

Kosten en effecten van waterberging Grevelingen

**Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta en
Rijnmond-Drechtsteden**



Kosten en effecten van waterberging Grevelingen

**Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta en
Rijnmond-Drechtsteden**

Nadine Slootjes

Redactie:
Met Andere Woorden

Met bijdragen van:
Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta
Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden
Deltaprogramma Expertise Centrum Kosten
DHV
Waterschap Brabantse Delta

1207303-000

Titel

Kosten en effecten van waterberging Grevelingen

Opdrachtgever

Deltaprogramma
Zuidwestelijke Delta en
Rijnmond-Drechtsteden

Project

1207303-000

Kenmerk

1207303-000-VEB-0005

Pagina's

74

Trefwoorden

Waterberging Grevelingen, Deltaprogramma, hoogwaterbescherming, maatgevende
hoogwaterstanden, dijkinvesteringkosten

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
def	dec. 2012	Nadine Sloopjes		Frans Klijn		Cees van de Gucht	

Status

definitief

Samenvatting

1. Aanleiding en doel

In de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer spelen verschillende vraagstukken rond het waterbeheer. Zo wordt gedacht over het terugbrengen van het getij in de Grevelingen en het weer zout maken van het Volkerak-Zoommeer. Voor de hoogwaterbescherming van de regio Rijnmond-Drechtsteden kan het in extreme situaties bovendien wenselijk zijn tijdelijk rivierwater te bergen in de Grevelingen; voor het Volkerak-Zoommeer is daar al een besluit over genomen.

Een besluit over waterberging in de Grevelingen vraagt onder andere inzicht in de effecten en kosten van die maatregel. In deze studie is onderzocht wat de investeringskosten van waterberging in de Grevelingen zijn en welke mogelijke besparingen op dijkversterkingen daartegenover staan.

In aanvulling hierop zijn andere mogelijke bijdragen van waterberging op kwalitatieve wijze bepaald: de mogelijke verkleining van de dijkversterkingsopgave op korte termijn (nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma), de mogelijke verkleining van de opgave als bij een volgende toetsing van waterkeringen van een langere stormopzetduur zou worden uitgegaan en de mogelijke vermindering van de buitendijkse schade bij Dordrecht. Het onderzoek is uitgevoerd met bijdragen van Rijkswaterstaat, waterschappen, DHV en het Deltaprogramma. Deze samenvatting geeft de resultaten weer.

2. Waterberging in Rijnmond-Drechtsteden: hoe werkt het?

Overgangsgebied rivieren en zee

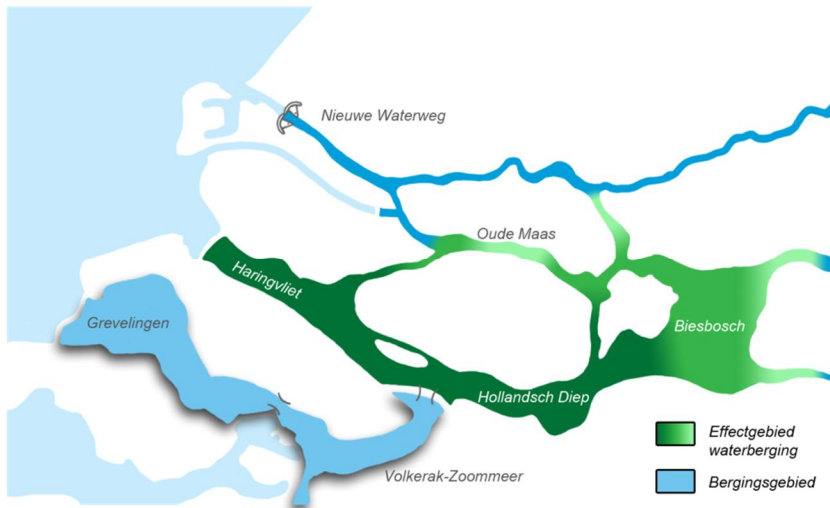
Het zuidelijk deel van de regio Rijnmond-Drechtsteden bestaat globaal uit Biesbosch, Oude Maas, Hollandsch Diep en Haringvliet. In deze regio liggen steden als Dordrecht, Moerdijk, Middelharnis en Geertruidenberg.

In dit gebied ontmoeten het rivierwater en de zee elkaar: de waterstanden worden bepaald door zowel de rivierafvoer als de waterstand op zee. Extreem hoge waterstanden treden in Rijnmond-Drechtsteden op als een storm op zee samenvalt met een vrij hoge rivierafvoer. Vanwege de storm op zee zijn in dat geval de stormvloedkeringen gesloten (Maeslantkering en Hartelkering) en de Haringvlietssluisen staan dicht. Ook bij laagwater staat het water op zee bij zo'n storm hoog. Het rivierwater kan daardoor niet naar zee stromen en verzamelt zich op in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Hoe meer water de rivier afvoert, hoe sneller de waterstanden stijgen.

Het principe van waterberging

Waterberging in de Grevelingen en in het Volkerak-Zoommeer werken op dezelfde manier. Inzet vindt plaats als de stormvloedkeringen gesloten zijn en voorspeld is dat op het Hollandsch Diep ter hoogte van de Volkeraksluizen NAP +2,6 m bereikt wordt. Zodra de Maeslantkering en Hartelkering dichtgaan, worden de Volkeraksluizen geopend. Een deel van het rivierwater stroomt via de sluisen naar het Volkerak-Zoommeer en vandaar via een doorlaatmiddel in de Grevelingendam verder naar de Grevelingen. Zo kan het rivierwater zich over een groter gebied verspreiden, waardoor de waterstanden in Rijnmond-Drechtsteden

minder snel stijgen. Het effect is het grootst nabij het inlaatpunt van de waterbergingsgebieden (Volkeraksluizen), in het Hollandsch Diep en Haringvliet.



Waterberging Grevelingen en effectgebied

Waterberging en Maeslantkering hangen met elkaar samen

In extreme omstandigheden moet de Maeslantkering sluiten, maar de verwachting is dat dit niet altijd goed zal gaan. Het sluiten van de kering kan mislukken door menselijk of technisch falen. Berekend is dat het sluiten van de kering gemiddeld één keer per honderd sluitingen zal mislukken (faalkans 1/100). Bij het bepalen van de benodigde dijkhoogte wordt rekening gehouden met de kans dat het sluiten niet lukt.

Waterberging is alleen aantrekkelijk als de Maeslantkering gesloten is. Als het sluiten niet lukt, wordt het waterbergingsgebied niet ingezet en treedt geen waterstanddaling op. Hoe groter de kans op het mislukken van een sluiting van de Maeslantkering is, hoe sterker de situaties zonder waterberging doorwerken in de benodigde dijkhoogte en hoe kleiner het effect van de waterberging op de benodigde dijkhoogte is. Het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering heeft daarom een relatie met het effect van waterberging.

3. Opzet van het onderzoek

Aanpak en uitgangspunten

Waterberging in de Grevelingen is mogelijk in te zetten voor verschillende opgaven voor de waterveiligheid. Deze studie geeft kwantitatief inzicht in het effect van waterberging op de opgave die ontstaat door de zeespiegelstijging, hogere rivierafvoeren en bodemdaling/zetting op lange termijn, waardoor dijktrajecten in de toekomst niet meer aan de beschermingsnormen zullen voldoen. Door klimaatverandering neemt de schade in buitendijks stedelijk gebied toe. Het effect van waterberging op deze schade is kwalitatief onderzocht.

Daarnaast geeft de studie kwalitatief inzicht in het effect van waterberging op de dijkversterkingsopgave op korte termijn (nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma) en op de dijkversterkingsopgave die ontstaat als bij de vierde toetsing van waterkeringen met een langere stormopzetduur wordt gerekend (35 uur in plaats van 29 uur). De Deltacommissaris adviseert om in onderzoeken voor het Deltaprogramma met zowel 29 als 35 uur te rekenen. Het effect van waterberging op de overstromingsrisico's en de eventuele noodzaak voor andere normen is niet onderzocht.

Het onderzoek brengt in beeld in hoeverre de maatgevende hoogwaterstanden deze eeuw stijgen en waar dijkversterkingen nodig zijn om aan de wettelijke normen te blijven voldoen. Deze analyse is uitgevoerd voor een referentiesituatie waarin het watersysteem onveranderd blijft en voor enkele varianten met waterberging. De maatgevende hoogwaterstanden zijn berekend voor een scenario met matige klimaatverandering (zeespiegelstijging circa 30 cm in de periode 2015-2100) en een scenario met snelle klimaatverandering (zeespiegelstijging circa 80 cm in de periode 2015-2100).

Een hogere maatgevende hoogwaterstand hoeft niet altijd tot dijkversterking te leiden. De dijken in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden zijn gemaakt in de tijd dat er nog geen stormvloedkeringen waren. Op veel plaatsen zijn ze hoger dan op dit moment noodzakelijk is ('overhoogte'). Anderzijds kunnen de waterkeringen in de loop van de tijd lager worden door zetting van de grond. Daarom is bepaald hoe hoog de dijken aan het einde van de eeuw zijn, rekening houdend met zowel de overhoogte als verwachte zettingen. Deze hoogte is vergeleken met de berekende maatgevende hoogwaterstand (inclusief golven).

Varianten waterberging Grevelingen

Waterberging in de Grevelingen is op verschillende manieren te realiseren. De basis is het waterbergingsgebied in de Grevelingen. Deze maatregel is te combineren met pompen op de Brouwersdam, een kleinere faalkans van de Maeslantkering en een andere afvoerverdeling van de rivieren. Zo zijn vier varianten te onderscheiden:

- 1 Waterberging
Met de variant 'waterberging' stroomt bij maatgevende omstandigheden water van het Hollandsch Diep via doorlaatmiddelen in de Volkeraksluizen en de Grevelingendam naar de Grevelingen. Volkerak-Zoommeer en Grevelingen vullen zich tegelijkertijd met water.
- 2 Waterberging + pompen
Op dit moment vindt onderzoek plaats naar een getijcentrale voor energieopwekking op de Brouwersdam. De turbines van zo'n centrale kunnen tevens als pomp fungeren, om voorafgaand en tijdens waterberging water uit de Grevelingen naar zee af te voeren. Zo kan meer water uit Rijnmond-Drechtsteden wegstromen naar het waterbergingsgebied en blijven de waterstanden op de Grevelingen lager dan zonder pomp.
- 3 Waterberging + pompen + kleinere faalkans Maeslantkering
In dit geval vindt waterberging plaats zoals in de tweede variant. Daarbij gaat deze variant ervan uit dat de kans op mislukte sluitingen van de Maeslantkering met een factor 10 te verkleinen is van 1/100 tot 1/1000 (variant 3a). Als vingeroefening is ook gerekend met een dam in de Nieuwe Waterweg, met sluizen voor de scheepvaart, waarbij is aangenomen dat faalkans 0 bedraagt (variant 3b).
- 4 Waterberging + pompen + ze sluizen + gewijzigde afvoerverdeling
Het Deltaprogramma verkent de voor- en nadelen voor waterveiligheid van een andere afvoerverdeling over de Rijntakken. Een gewijzigde afvoerverdeling leidt tot een grotere afvoer over de Waal, om de Nederrijn-Lek te ontzien. Dit levert een extra opgave voor de regio Rijnmond-Drechtsteden langs de Merwedeweg op.

4. Effecten op maatgevende hoogwaterstanden

Door klimaatverandering stijgen de maatgevende hoogwaterstanden (MHW's). Zonder waterberging stijgen de maatgevende hoogwaterstanden in het onderzoeksgebied tot 2100 met 20-30 cm in het scenario met matige klimaatverandering en met 60-70 cm in het scenario met snelle klimaatverandering.

Waterberging Grevelingen (variant 1) zorgt voor een daling van de maatgevende waterstanden in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden met 10-20 cm. Het effect is het grootst bij Moerdijk en kleiner bij Dordrecht. Waterberging heeft geen effect bij Rotterdam, omdat de zee daar bepalend is voor de maatgevende hoogwaterstand. Bij waterberging met pompen (variant 2) dalen de MHW's in 2100 10 cm meer dan zonder pomp, uitgaande van snelle klimaatverandering. Bij gematigde klimaatverandering hebben pompen geen extra effect.

Waterberging met pompen én een kleinere faalkans van de Maeslantkering (variant 3a) heeft alleen bij snelle klimaatverandering een groter effect op de maatgevende hoogwaterstanden. Het effect van waterberging is ook in dit geval alleen in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden merkbaar. Daar dalen de MHW's nog eens 10 cm extra. Als de Maeslantkering vervangen zou worden door een permanente afsluiting van de Nieuwe Waterweg, met sluizen voor de scheepvaart (faalkans praktisch 0) is het effect van waterberging in de Grevelingen het grootst: 30-40 cm bij snelle klimaatverandering en is ook effect bij Rotterdam merkbaar.

Bij zeesluizen en met gewijzigde afvoerverdeling (variant 4) blijft waterberging even effectief als bij de huidige afvoerverdeling.

Variant		MHW-daling (cm)			
		Moerdijk	Hellevoet-sluis	Dordrecht	Rotterdam
1	Waterberging Grevelingen	20	10	10	0
2	Waterberging met pompen	20-30	10-20	10-20	0
3a	Waterberging met pompen en faalkans Maeslantkering 1/1000	20-30	20-30	10-20	0
3b	Waterberging met pompen en zeesluizen Nieuwe Waterweg	30-40	30-40	20-30	20-30
4	Waterberging met pompen, zeesluizen en gewijzigde afvoerverdeling	30-40	30-40	20-30	20-30

Verlaging van maatgevende hoogwaterstanden in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden met drie varianten voor waterberging in de Grevelingen. Bij gematigde klimaatverandering dalen de MHW's minder dan bij snelle klimaatverandering.

5. Effect op kosten van dijkversterkingen

Het onderzoek heeft in beeld gebracht welke dijken in de regio Rijnmond-Drechtsteden in 2100 te laag zijn, door de berekende stijging van de maatgevende hoogwaterstanden te vergelijken met de hoogte van de dijken (rekening houdend met zetting en overhoogte). Dijkversterkingen kunnen ook noodzakelijk zijn omdat ze niet sterk genoeg zijn. Daar is in dit

onderzoek geen rekening mee gehouden. Zonder waterberging bedragen de nominale kosten voor dijkversterkingen in Rijnmond-Drechtsteden deze eeuw circa 2,1 miljard euro bij langzame klimaatverandering en circa 2,8 miljard euro bij snelle klimaatverandering (bandbreedte -25% tot +40%; exclusief btw, prijspeil 2012).

Bij beperkte klimaatverandering (W-scenario in 2050 en G-scenario in 2100) bedraagt de besparing door waterberging 35-45 miljoen euro ten opzichte van de referentie. Deze relatief beperkte besparing hangt samen met de beperkte dijkversterkingsopgave in die omstandigheden. In combinatie met een kleinere faalkans van de Maeslantkering pakt de besparing door waterberging in 2050 ongunstiger uit. De besparing is dan 25 miljoen euro. Het verkleinen van de faalkans lost namelijk zonder waterberging al een deel van de opgave op. Bij snelle klimaatverandering verdubbelt de besparing door waterberging Grevelingen juist en bedraagt dan 100-115 miljoen euro. Gecombineerd met een kleinere faalkans of zeesluizen neemt de besparing door waterberging nog meer toe, tot 185-235 miljoen euro. Bij snelle klimaatverandering zijn immers meer dijken te laag en waterberging levert dan besparingen op over een grotere lengte aan te versterken dijken.

Voor de variant met gewijzigde afvoerverdeling is het niet mogelijk de besparingen goed in beeld te brengen, omdat voor deze situatie geen berekeningen beschikbaar zijn voor een referentie zonder waterberging. De verwachting is dat waterberging Grevelingen bij een gewijzigde afvoerverdeling meer besparingen oplevert, omdat meer dijken langs de Waal en Merwedese te laag zullen zijn. De totale opgave is echter ook groter.

Variant		Besparing dijkinvesteringskosten		
		W2050	G2100	W2100
1	Waterberging Grevelingen	-40	-35	-100
2	Waterberging met pompen	-40	-45	-115
3a	Waterberging met pompen en faalkans Maeslantkering 1/1000	-25	-45	-185
3b	Waterberging met pompen en zeesluizen Nieuwe Waterweg	-70	-40	-235

Vermindering van de kosten voor dijkversterkingen tot het einde van de eeuw door waterberging in de Grevelingen. Een kleinere faalkans van de Maeslantkering/zeesluizen leidt ook zonder waterberging tot lagere kosten voor dijkversterkingen. De kostenbesparing van dat effect is hier niet opgenomen.

6. Kosten van waterberging Grevelingen

DHV en het Expertisecentrum Kosten van het Deltaprogramma hebben de investeringskosten voor de inrichting van de Grevelingen als waterbergingsgebied geschat. De totale investeringskosten voor waterberging bedragen circa 230 miljoen euro. De totale kosten voor het beheer en onderhoud zijn ongeveer 2 miljoen euro per jaar. Deze ramingen hebben een nauwkeurigheid van ongeveer $\pm 50\%$. Verder hangen de investeringskosten sterk af van de mogelijkheden om mee te koppelen met andere investeringen, zoals de aanleg van een vierde schutkolk bij de Volkeraksluizen en de bouw van een getijcentrale op de Brouwersdam. Deze investeringen zijn ten dele ook private investeringen. Als het Volkerak-Zoommeer zout wordt, hoeft de doorstroomopening tussen Grevelingen en Volkerak-Zoommeer niet afsluitbaar te zijn. Deze twee besparingen samen halveren de totale investeringskosten voor waterberging Grevelingen tot ongeveer 125 miljoen euro.

Niet inbegrepen zijn de kosten voor het compenseren van gevolgen voor de regionale waterhuishouding en natuur en de eventuele schade in de Grevelingen bij inzet van het waterbergingsgebied. Ook de aanleg van een getijcentrale op de Brouwersdam en het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering zijn niet in de kostenschattting opgenomen.

Investeringskosten	Variant 1: waterberging	Variant 2*: waterberging + pompen	Variant 3**: waterberging + pompen + kleinere faalkans	Variant 4***: waterberging + pompen + faalkans 0 + wijziging afvoerverdeling
Doorlaatmiddel Volkerakdam	113	113	113	113
Doorlaatmiddel Grevelingendam (540 m ²)	70	70	70	70
Pompen	0	8	8	8
Dijkversterkingen Grevelingen	10	10	10	10
Bescherming buitendijks gebied Grevelingen	34	24	24	24
Jachthavens Grevelingen aanpassen	5	5	5	5
Totaal	232	229	229	229

*Niet inbegrepen: de kosten voor de aanleg van een getijcentrale op de Brouwersdam

**Niet inbegrepen: de kosten voor het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering

***: Niet inbegrepen: de kosten voor het kunstwerk om de afvoerverdeling te wijzigen

Investeringskosten aanleg waterberging (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

7. Conclusie: vergelijking van kosten

Met dit onderzoek is het mogelijk de (nominale) investeringskosten voor waterberging in de Grevelingen te vergelijken met te besparen (nominale) kosten op dijkinvesteringen. Bij weinig klimaatverandering blijken de kosten voor waterberging aanzienlijk hoger dan de besparingen op dijkversterkingen. Bij snelle klimaatverandering zijn de investeringskosten ongeveer twee keer zo hoog als de bespaarde kosten. Door te kiezen voor een zout Volkerak-Zoommeer, getij op de Grevelingen en een vierde scheepvaartkolk bij de Volkeraksluizen nemen de investeringskosten van waterberging af. Dan vallen de kosten en kostenbesparing bij snelle klimaatverandering tot aan het einde van deze eeuw ongeveer gelijk uit. Deze investeringen maken bovendien een getijcentrale op de Brouwersdam kansrijk, die op zijn beurt de effectiviteit van waterberging kan vergroten door de inzet van pompen.

Bij deze conclusie gelden kanttekeningen: 1) de berekende kosten hebben een aanzienlijke bandbreedte (investeringskosten ±50%, dijkinvesteringskosten -25% en +40%), 2) de besparingen weerspiegelen alleen het effect van waterberging op de benodigde dijkhoogte (besparingen door een gunstig effect op de dijksterkte zijn niet onderzocht) en 3) in het

onderzoek is gerekend met de gemiddelde dijkhoogte van trajecten van circa vier kilometer, waardoor sommige besparingen buiten beeld blijven (onder meer de Voorstraat in Dordrecht).

Een goede afweging vereist niet alleen inzicht in de kosten, maar ook in de baten van waterberging. Voor waterveiligheid kan waterberging meer baten hebben dan in deze studie zijn onderzocht. Zo is waterberging in te zetten als maatregel om een eventueel hoger beschermingsniveau te realiseren (deltabeslissing normering) of om buitendijkse schade te beperken. Ook kan waterberging het waterveiligheidssysteem robuuster maken of slachtofferrisico's verminderen. Die baten zijn niet bepaald.

Verder geeft het rapport Uitvoeringsstrategie Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en zoetwater in de Zuidwestelijke Delta inzicht in mogelijke baten voor andere ruimtelijke functies in het gebied (Van Rhee, 2012).

8. Overige inzichten uit het onderzoek

Schade buitendijks

In Rijnmond-Drechtsteden ligt een groot gebied buitendijks, waaronder de binnenstad van Dordrecht. Door klimaatverandering zal het buitendijkse gebied vaker overstroomd. Bij gematigde klimaatverandering vermindert waterberging Grevelingen het buitendijkse schaderisico niet. Dat komt doordat het schaderisico wordt bepaald door de gebeurtenissen die vaker dan eens per 100 jaar voorkomen (relatief weinig schade, hoge frequentie), terwijl waterberging bij gematigde klimaatverandering maar ongeveer eens per 500 jaar wordt ingezet. Door waterberging veel vaker in te zetten, is het schaderisico wel te verminderen. Bij snelle klimaatverandering neemt de frequentie van de inzet van waterberging toe tot eens per 20 jaar. Dan vermindert waterberging het buitendijkse schaderisico bij Dordrecht wel. Er is op dit moment geen betrouwbaar instrument om kwantitatieve uitspraken te doen over de schadereductie in euro's.

Stormopzetduur

Dit onderzoek gaat uit van een stormopzetduur van 35 uur. Het huidige beleid gaat nog uit van 29 uur. Bij verlenging van de stormopzetduur van 29 naar 35 uur stijgen de maatgevende hoogwaterstanden in het Haringvliet, Hollandsch Diep en het oostelijke deel van de Oude Maas. In de huidige situatie stijgen de MHW's met 5 tot 10 cm. In de periode 2050-2100 stijgen de maatgevende hoogwaterstanden nog eens ongeveer 5 cm extra. Door waterberging in de Grevelingen dalen de maatgevende hoogwaterstanden in de loop van de eeuw met 10-30 cm, afhankelijk van de inrichtingsvariant. Daarmee zou waterberging in de Grevelingen de effecten van een langere stormopzetduur al op korte termijn kunnen compenseren, ervan uitgaande dat waterberging bij het huidige klimaat een vergelijkbaar effect heeft.

Partieel functioneren Maeslantkering

In deze studie is aangenomen dat de Nieuwe Waterweg bij het falen van de Maeslantkering helemaal openblijft. Uit een recente analyse blijkt dat het in zo'n situatie vaak wel mogelijk is de Nieuwe Waterweg gedeeltelijk af te sluiten, om de gevolgen te beperken (partieel functioneren). In deze studie is ervan uitgegaan dat waterberging niet wordt ingezet als een sluiting van de Maeslantkering faalt. Bij partieel functioneren zou dat wel kunnen. In dat geval neemt de effectiviteit van waterberging toe; het effect zal dan tussen de effecten van variant 2 en variant 3b in zitten.

Effecten voor Nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma

De mogelijke bijdrage van waterberging Grevelingen aan het nieuwe Hoogwaterbeschermingsprogramma is kwalitatief ingeschat. Pas bij een MHW-daling van circa 30 cm is de bijdrage naar verwachting significant. De variant waterberging Grevelingen met pompen levert een MHW-daling van circa 30 cm op in het Hollandsch Diep en Haringvliet. De dijken die daar zijn afgekeurd op piping, zijn misschien gebaat bij waterberging Grevelingen (circa 2,2 km). Op basis van dit onderzoek is het niet mogelijk hier zekerheid over te geven. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig met berekeningen. Voor de overige trajecten in het nieuwe Hoogwaterbeschermingsprogramma lijkt de bijdrage van waterberging Grevelingen gering.

Gevolgen voor regionale waterhuishouding

Waterberging in de Grevelingen heeft een aantal gevolgen voor de regionale waterhuishouding. Bij inzet van het waterbergingsgebied is extra pompcapaciteit nodig om het regionale water van Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee af te kunnen voeren naar de Grevelingen. Daarnaast zijn maatregelen nodig om de effecten van opstuwing op Mark en Dintel op te vangen: versterking van de regionale keringen langs Mark en Vliet en de inzet van mobiele pompen bij gemalen en beken die tijdelijk niet op deze rivieren kunnen lozen. Deze laatste maatregelen zijn ook al nodig als alleen het Volkerak-Zoommeer waterbergingsgebied wordt. Door ook de Grevelingen in te zetten als waterberging, loopt de waterstand in het Volkerak-Zoommeer minder hoog op. Bij waterberging met inzet van pompen (varianten 2 t/m 4) is het verschil aanzienlijk. Bij waterberging in Volkerak-Zoommeer en Grevelingen zijn altijd hogere dijken of andere maatregelen langs de regionale rivieren nodig, maar bij de varianten met pompen op de Brouwersdam op minder plaatsen of minder ingrijpend dan bij alleen waterberging op het Volkerak-Zoommeer.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doel	2
1.3 Afbakening	2
1.4 Totstandkoming	2
2 Het principe van waterberging Grevelingen	3
2.1 Hoge waterstanden in Rijnmond-Drechtsteden	3
2.2 De werking van waterberging in Volkerak-Zoommeer en Grevelingen	3
3 Opgaven voor de waterveiligheid	5
3.1 Waterberging en opgaven waterveiligheid	5
3.2 Langetermijnopgave dijkversterkingen door klimaatverandering	5
3.3 Langetermijnopgave buitendijkse schade	6
3.4 Kortetermijnopgave nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma	6
3.5 Kortetermijnopgave langere stormopzetduur	7
4 Opzet van de studie	9
4.1 Inleiding	9
4.2 Afbakening onderzoeksgebied	9
4.3 Klimaatscenario's	9
4.4 Rekenmethode maatgevende hoogwaterstanden en benodigde kruinhoogte	10
4.5 Rekenmethode dijkinvesteringskosten	10
4.6 Rekenmethode buitendijkse schade	12
4.7 Rekenmethode investeringskosten waterberging	13
5 Varianten waterberging Grevelingen	15
5.1 Referentie en vier varianten	15
5.2 Toelichting op de varianten	16
5.2.1 Variant 1: waterberging	16
5.2.2 Variant 2: waterberging + pompen	17
5.2.3 Variant 3: waterberging + pompen + kleinere faalkans Maeslantkering	18
5.2.4 Variant 4: waterberging + pompen + zeesluizen + gewijzigde afvoerverdeling	18
6 Effecten op maatgevende hoogwaterstanden	19
6.1 Inleiding	19
6.2 Referentievariant	19
6.3 Varianten met waterberging	20
6.4 Effect van een langere stormopzetduur	21
6.5 Partieel functioneren Maeslantkering	21
7 Effecten op kosten van dijkversterkingen	23
7.1 Inleiding	23
7.2 Referentievariant	23
7.3 Dijkinvesteringskosten per variant	24
7.4 Nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma	25
8 Kosten van waterberging Grevelingen	29

8.1	Investeringskosten per variant	29
8.2	Toelichting op de kosten	30
9	Overige effecten van waterberging	33
9.1	Dordrecht: buitendijks schade en de Voorstraat	33
9.1.1	Effect op buitendijkse schade	33
9.1.2	Voorstraat in Dordrecht	34
9.2	Robuustheid	35
9.3	Regionale waterhuishouding	36
9.4	Natuur	37
10	Conclusies en aanbevelingen	39
10.1	Conclusies	39
10.2	Aanbevelingen	41
11	Referenties	43
 Bijlagen		
A	MHW-effecten per variant	A-1
A.1	Waterberging Grevelingen	A-1
A.2	Waterberging Grevelingen en gemaal op de Brouwersdam	A-1
A.3	Waterberging Grevelingen, pompen en kleinere faalkans	A-3
A.3.1	Faalkans Maeslantkering 1/1000	A-3
A.3.2	Zeesluizen Nieuwe Waterweg	A-4
A.4	Waterberging Grevelingen, pompen en kleinere faalkans en gewijzigde afvoerverdeling	A-5
B	Dijkinvesteringskosten per variant	B-1
B.1	Waterberging Grevelingen	B-1
B.2	Waterberging Grevelingen + pompen	B-1
B.3	Waterberging Grevelingen + pompen + verkleinde faalkans Maeslantkering	B-2
B.4	Waterberging Grevelingen + pompen + dam met scheepvaartsluizen	Error! Bookmark not defined.
C	Analyse waterberging op faalmechanismen	C-1
C.1	Golfoverslag	C-1
C.2	Macro-instabiliteit binnentalud	C-2
C.3	Piping en heave	C-4
D	Factsheets investeringskosten	D-1

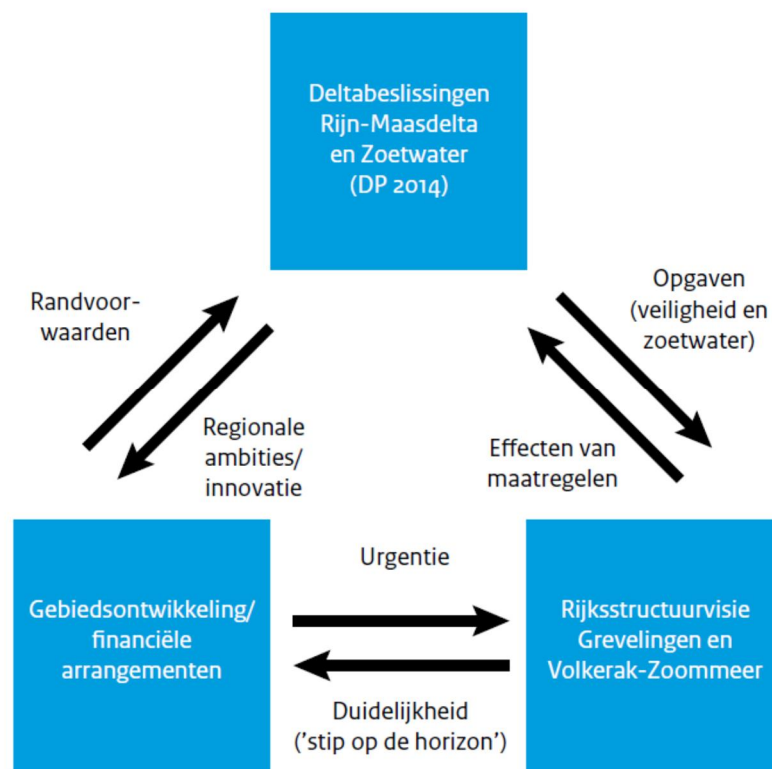
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer spelen verschillende vraagstukken rond het waterbeheer. Beide meren hebben regelmatig te kampen met een slechte waterkwaliteit. Oplossingen zijn bekend, maar ingrijpend. Denk aan het terugbrengen van het getij in de Grevelingen en het weer zout maken van het Volkerak-Zoommeer. Voor de waterveiligheid in de regio Rijnmond-Drechtsteden kan het in extreme situaties bovendien wenselijk zijn tijdelijk rivierwater te bergen in de Grevelingen; voor het Volkerak-Zoommeer is daar al een besluit over genomen.

Rijk en regio werken via drie wegen toe naar besluiten over deze waterhuishoudkundige vraagstukken:

- Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer: het Rijk legt in een rijksstructuurvisie besluiten over de toekomstige waterhuishouding van de beide meren vast.
- Programma Gebiedsontwikkeling Grevelingen en Volkerak-Zoommeer: de provincies Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland zetten ambities van marktpartijen en regionale overheden om in bindende afspraken over uitvoering en financiering. De resultaten van het programma dragen ook bij aan de economische onderbouwing van de rijksstructuurvisie.
- Deltaprogramma: het Deltaprogramma neemt in 2014 een aantal Deltabeslissingen over de waterveiligheid en zoetwatervoorziening van Nederland.



Figuur 1.1 Relatie rijksstructuurvisie, Programma Gebiedsontwikkeling en Deltaprogramma (Programmabureau Zuidwestelijke Delta, 2012)

1.2 Doel

Waterberging Grevelingen kan voor het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden een oplossing zijn om de opgave voor waterveiligheid (deels) op te lossen of dijkinvesteringen uit te stellen. Dat kan mogelijk besparingen opleveren. Een onderbouwd besluit over deze maatregel vraagt inzicht in de effectiviteit en de kosten van waterberging in de Grevelingen.

Dit onderzoek brengt het effect van waterberging Grevelingen op de maatgevende hoogwaterstand in beeld. Dat effect is vertaald in de mogelijke besparingen op de dijkversterkingen die in de loop van deze eeuw in de regio Rijnmond-Drechtsteden nodig zijn (2050-2100). Die besparingen zijn vergeleken met de aanlegkosten van waterberging in de Grevelingen.

In aanvulling hierop zijn andere mogelijke voordelen van waterberging op kwalitatieve wijze bepaald: de mogelijke verkleining van de dijkversterkingsopgave op korte termijn (nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma), de mogelijke compensatie van de dijkversterkingsopgave die ontstaat als bij een volgende toetsing van waterkeringen met een langere stormopzetduur gerekend wordt en de mogelijke vermindering van de buitendijkse schade bij Dordrecht.

Waterberging Grevelingen kan nadelige gevolgen hebben voor de regionale waterhuishouding rond Volkerak-Zoommeer en Grevelingen. Deze studie geeft ook inzicht in deze effecten.

1.3 Afbakening

De resultaten van dit onderzoek maken een vergelijking mogelijk tussen de (nominale) investeringskosten voor waterberging in de Grevelingen en de te besparen (nominale) kosten op dijkinvesteringen. Een goede afweging vereist echter niet alleen inzicht in de kosten, maar ook in de baten van waterberging. Het rapport Uitvoeringsstrategie Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en zoetwater in de Zuidwestelijke Delta geeft bijvoorbeeld inzicht in mogelijke baten voor andere ruimtelijke functies in het gebied (Van Rhee, 2012).

Ook voor waterveiligheid kan waterberging meer baten opleveren dan in deze studie zijn onderzocht. Deze studie is toegespitst op het effect van waterberging op de waterstanden die de dijkhoogte bepalen. Waterberging kan ook het waterveiligheidssysteem robuuster maken of slachtofferrisico's verminderen. Die baten zijn niet bepaald.

De mogelijke bijdrage van waterberging Grevelingen aan het bereiken van hogere beschermingsniveaus is niet in deze studie meegenomen. Een onderzoek daarnaar kan relevant zijn voor het eiland van Dordrecht en de Alblasserwaard, die beide door het Deltaprogramma Veiligheid als 'aandachtsgebied' voor hogere normen zijn aangemerkt.

Effecten van waterberging op de natuur in de Grevelingen zijn in deze studie niet onderzocht. Hiervoor wordt verwezen naar de Gevoeligheidsanalyse waterberging Zuidwestelijke Delta (RWS, 2010).

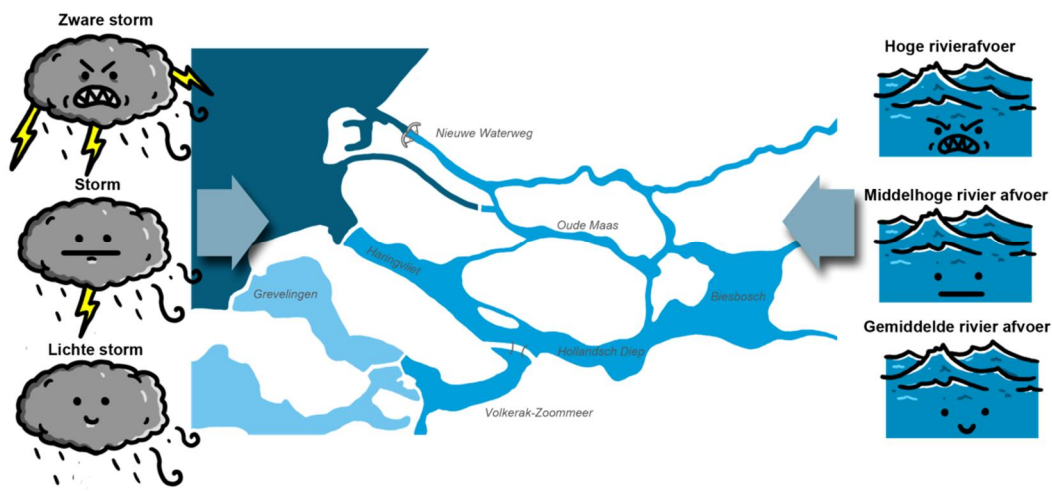
1.4 Totstandkoming

Het onderzoek is uitgevoerd onder begeleiding en met bijdragen van Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta, Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Waterdienst, Expertisecentrum Kosten van het Deltaprogramma, DHV en Waterschap Brabantse Delta (namens de waterschappen Brabantse Delta, Hollandse Delta en Scheldestromen).

2 Het principe van waterberging Grevelingen

2.1 Hoge waterstanden in Rijnmond-Drechtsteden

Het zuidelijk deel van de regio Rijnmond-Drechtsteden bestaat globaal uit Biesbosch, Oude Maas, Hollandsch Diep en Haringvliet. In deze regio liggen steden als Dordrecht, Moerdijk, Middelharnis en Geertruidenberg.



Figuur 2.1 Dreigend hoogwater in de monding van de Rijn en Maas treedt op bij een combinatie van storm en gemiddeld hoge tot hoge rivierafvoer

In dit gebied ontmoeten het rivierwater en de zee elkaar: de waterstanden zijn een gevolg van zowel de rivierafvoer als de waterstand op zee. Extreem hoge waterstanden treden in Rijnmond-Drechtsteden op als een storm op zee samenvalt met een vrij hoge rivierafvoer. Vanwege de storm op zee zijn in dat geval de stormvloedkeringen gesloten (Maeslantkering en Hartelkering) en staan ook de Haringvlietssluisen dicht. Ook bij laagwater staat het water op zee bij zo'n storm hoog. Het rivierwater kan niet naar zee stromen en hoopt zich op in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Hoe meer water de rivier afvoert, hoe sneller de waterstanden stijgen.

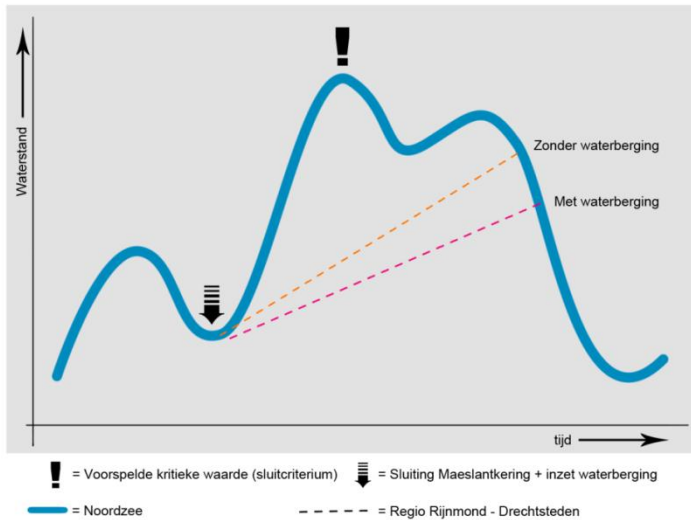
Maatgevende hoogwaterstand (MHW)

Voor elk dijkkringgebied geldt een wettelijke beschermingsnorm, bijvoorbeeld 1/4000 per jaar voor Goeree-Overflakkee. De maatgevende hoogwaterstand is de waterstand die bij deze beschermingsnorm hoort. In het geval van Goeree-Overflakkee is de MHW de waterstand die statistisch gezien eens in de 4000 jaar wordt overschreden. De dijken moeten de maatgevende hoogwaterstand (inclusief golven) kunnen keren.

2.2 De werking van waterberging in Volkerak-Zoommeer en Grevelingen

Waterberging in de Grevelingen en in het Volkerak-Zoommeer werken op dezelfde manier. Inzet vindt plaats als de stormvloedkeringen gesloten zijn: zodra de Maeslantkering en Hartelkering dichtgaan, worden de Volkeraksluizen geopend. Een deel van het zich ophopende rivierwater stroomt via de sluizen naar het Volkerak-Zoommeer en vandaar via

een doorlaatmiddel in de Grevelingendam verder naar de Grevelingen. Zo kan het rivierwater zich over een groter gebied verspreiden, waardoor de waterstanden in Rijnmond-Drechtsteden minder snel stijgen. Het effect is het grootst in de nabijheid van de waterbergingsgebieden, in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden.



Figuur 2.2 Principeschets waterstandsverloop Noordzee en regio Rijnmond-Drechtsteden met en zonder waterberging

In extreme omstandigheden moet de Maeslantkering sluiten, maar de verwachting is dat dit niet altijd goed zal gaan. Het sluiten van de kering kan mislukken door menselijk of technisch falen. Berekend is dat het sluiten van de kering gemiddeld één keer per honderd sluitingen zal mislukken (faalkans 1/100). Bij het bepalen van de hoogte van de dijken wordt rekening gehouden met de kans dat het sluiten niet lukt. Waterberging is alleen aantrekkelijk als de Maeslantkering gesloten is. Als het sluiten niet lukt, wordt het waterbergingsgebied niet ingezet en treedt geen waterstanddaling op. Hoe groter de kans op het mislukken van een sluiting van de Maeslantkering is, hoe sterker de situaties zonder waterberging doorwerken in de benodigde dijkhoogte en hoe kleiner het effect van de waterberging op de benodigde dijkhoogte is. Het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering heeft daarom een relatie met het effect van waterberging.



Figuur 2.3 Bergingsgebied en effectgebied waterberging

3 Opgaven voor de waterveiligheid

3.1 Waterberging en opgaven waterveiligheid

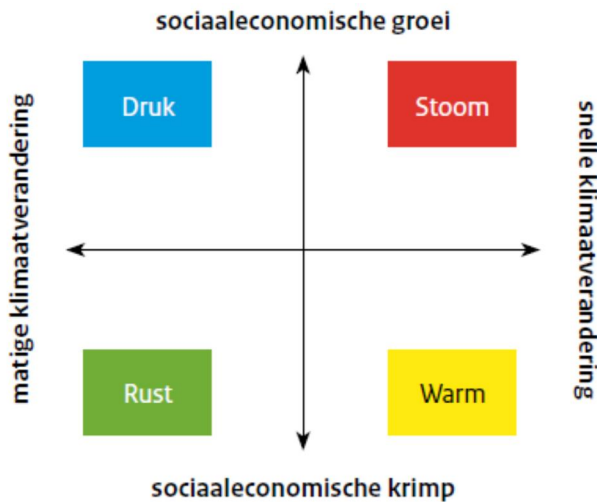
In dit onderzoek is geanalyseerd of waterberging Grevelingen de volgende opgaven voor waterveiligheid kan verminderen:

- de langetermijnopgave die voortkomt uit klimaatverandering (zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren) en zetting, waardoor dijktrajecten in de toekomst niet meer aan de veiligheidsnormen voldoen;
- de langetermijnopgave die voortkomt uit klimaatverandering (zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren), waardoor buitendijkse gebieden vaker overstromen en meer schade ontstaat;
- de kortetermijnopgave die voortkomt uit de derde toetsing van de primaire waterkeringen (nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma);
- de kortetermijnopgave die ontstaat als bij de vierde toetsing van de primaire waterkeringen gerekend wordt met een langere stormopzetduur (35 uur in plaats van 29 uur).

De eerste drie opgaven komen voort uit het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden. De vierde opgave komt voort uit een advies van de Deltacommissaris om in onderzoeken voor het Deltaprogramma ook met een stormopzetduur van 35 uur te berekenen. Een andere opgave die het Deltaprogramma verkent is de eventuele noodzaak van aanpassing van de wettelijke beschermingsnormen. De bijdrage van waterberging aan die opgave is in deze studie niet onderzocht.

3.2 Langetermijnopgave dijkversterkingen door klimaatverandering

In de komende eeuw zullen zowel het klimaat als de sociaaleconomische situatie van Nederland veranderen. Het Deltaprogramma heeft daar verschillende toekomstscenario's voor uitgewerkt: de zogenaamde Deltascenario's. Deze scenario's geven inzicht in de bandbreedte van de mogelijke klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkeling, vanaf nu tot 2100 (Figuur 3.1). De scenario's over de verandering van het klimaat zijn afkomstig van het KNMI (2006): het G-scenario met matige klimaatverandering (Deltascenario's Rust en Druk) en het W⁺-scenario met snelle klimaatverandering (Deltascenario's Stoom en Warm).



Figuur 3.1 Schematische weergave van de Deltascenario's (Deltares, 2011)

De klimaatscenario's geven aan dat de waterstanden op zee en de rivierafvoeren in de toekomst zullen stijgen. Daardoor zijn op lange termijn hogere dijken nodig om de huidige bescherming te kunnen blijven bieden. Dit is de opgave voor de lange termijn. De opgave hangt af van de snelheid waarmee de klimaatveranderingen zich voltrekken. Die snelheid verschilt per klimaatscenario.

De opgave door klimaatverandering wordt versterkt door een ander proces: zetting. Zetting is het proces waarbij grond onder invloed van een belasting wordt samengedrukt. Als zetting optreedt in en onder het dijklichaam, wordt de dijk in de loop van de tijd lager. Vooral in het oostelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden is de zetting aanzienlijk door de slappe ondergrond. Zetting is overigens iets anders dan klink, die optreedt in poldergebieden door bemaling en oxidatie van veen.

De combinatie van hogere waterstanden en lagere dijken leidt tot een opgave voor dijkversterkingen op lange termijn.

3.3 Langetermijnopgave buitendijkse schade

Ook in de buitendijkse gebieden neemt de kans op hoogwater toe door zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren. Het ruimtegebruik van buitendijkse gebieden wordt intensiever door stedelijke herstructurering. Ook zal het aantal buitendijkse bewoners naar verwachting toenemen, van 65.000 nu tot 80 à 100.000 in 2050. Door deze ontwikkelingen neemt het potentieel aantal getroffen en de potentiële schade bij overstromingen toe door klimaatverandering. Deze studie is toegespitst op de buitendijkse schade bij Dordrecht, omdat daar een aanzienlijk buitendijs gebied ligt in het invloedgebied van de waterberging Grevelingen.

3.4 Kortetermijnopgave nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma

In de periode 2006-2011 heeft de derde landelijke toetsing van primaire waterkeringen plaatsgevonden. Een deel van de dijken in de regio blijkt niet aan de normen te voldoen. De benodigde dijkverbeteringen komen in het uitvoeringsprogramma 'nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma' te staan. Het programma heeft een groslijst opgesteld van dijktrajecten waar de komende jaren vermoedelijk verbeteringen plaatsvinden.

3.5 Kortetermijnopgave langere stormopzetduur

De stormopzetduur geeft aan hoe lang een storm op zee de waterstand opstuwt. Het toetsinstrumentarium voor de Rijn-Maasmonding gaat tot nu toe uit van een stormopzetduur van 29 uur. Uit onderzoek in het kader van het project 'Wettelijk Toetsinstrumentarium 2011' blijkt dat 29 uur een onderschatting is (onder meer Tijssen & Diermanse, 2009). De stormopzet en stormopzetduur zijn daarom opnieuw geanalyseerd. Daaruit blijkt dat een stormopzetduur van 35 uur een beter uitgangspunt is. Over het hanteren van deze langere opzetduur is nog geen besluit genomen.

De Deltacommissaris adviseert om in de onderzoeken voor het Deltaprogramma met een stormopzetduur van 29 en 35 uur te rekenen. De effecten van klimaatverandering op de opgave voor de dijken zijn in deze studie steeds berekend met een stormopzetduur van 35 uur. Omdat tot nu toe in de wettelijke toetsing van de primaire waterkeringen is gerekend met een stormopzetduur van 29 uur, is in deze studie onderzocht in welke mate de MHW's stijgen door over te stappen van 29 naar 35 uur en in hoeverre waterberging deze waterstandstijging kan beperken.

4 Opzet van de studie

4.1 Inleiding

Het onderzoek brengt in beeld wat het effect van waterberging op de maatgevende hoogwaterstanden is, welke besparingen te bereiken zijn op dijkversterkingen, in welke mate het buitendijkse schaderisico kan afnemen en wat de kosten van de aanleg van het waterbergingsgebied zijn. Dit hoofdstuk geeft de aanpak van de studie en de belangrijkste uitgangspunten weer.

4.2 Afbakening onderzoeksgebied

De berekeningen in deze studie betreffen het gebied dat aan de zeezijde begrensd wordt door de Maeslantkering, Hartelkering, Haringvlietsluizen en Brouwersdam en aan de oostzijde door de lijn Heusden (Maas), Tiel (Waal) en Hagestein (Lek).



Figuur 4.1 Afbakening onderzoeksgebied

4.3 Klimaatscenario's

De effecten op maatgevende waterstanden zijn in deze studie voor twee klimaatscenario's berekend: het scenario W^+ met snelle klimaatverandering en het scenario G met langzame klimaatverandering (zie paragraaf 3.2). Voor het scenario W^+ (Stoom en Warm) zijn de zichtjaren 2050 en 2100 onderzocht; voor het scenario G (Rust en Druk) is alleen het zichtjaar 2100 beschouwd.

Scenario	Deltascenario	Zichtjaar	Maatgevende Rijnafvoer (m ³ /s)	Zeespiegel t.o.v. 1990 (m)
Referentie 2015	-		16.000	0,08
KNMI W ⁺ -2050 (snelle klimaatverandering)	Stoom en Warm	2050	17.000	0,35
KNMI G-2100 (gematigde klimaatverandering)	Druk en Rust	2100	17.000	0,35
KNMI W ⁺ -2100 (snelle klimaatverandering)	Stoom en Warm	2100	18.000	0,85

Tabel 4.1 In deze studie gebruikte klimaatscenario's en zichtjaren

4.4 Rekenmethode maatgevende hoogwaterstanden en benodigde kruinhoogte

De maatgevende hoogwaterstanden en de benodigde kruinhoogte van de dijken zijn berekend met een vereenvoudigde methode voor het vaststellen van de hydraulische randvoorwaarden voor het toetsen van dijken. Deze paragraaf geeft een korte beschrijving van deze methode. Meer informatie is te vinden in Botterhuis (2013) en Geerse (2010).

Methode

De waterstanden in de monding van de Rijn en de Maas worden deels bepaald door de hoeveelheid water die de rivieren afvoeren en deels door de waterstanden op zee. Daarnaast zijn de windsnelheid en -richting van invloed. Er is een oneindig aantal combinaties van rivierafvoeren en zeewaterstanden die tot dezelfde hoogwaterstand leiden: een zware storm met een lage afvoer, een extreem hoge rivierafvoer met een minder zware storm en alle combinaties daartussenin. De combinaties hebben verschillende kansen van optreden. Een zeer zware storm (11 Bft) met een hoge rivierafvoer heeft bijvoorbeeld een veel kleinere kans van optreden dan een 'gewone' storm (8 Bft) met diezelfde rivierafvoer. Bij het berekenen van de maatgevende hoogwaterstand wordt rekening gehouden met deze variabelen waarvan de statistiek bekend is:

- Rijnafvoer bij Lobith of Maasafvoer bij Lith;
- zeewaterstand in Maasmond;
- windveld (snelheid en richting) boven het gebied (statistiek van Schiphol);
- beheersituatie (open of dicht) van de Maeslantkering en Hartelkering.

Het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI), dat de hydraulische randvoorwaarden voor het toetsen van dijken levert, bestaat uit 6768 hydraulische berekeningen waarbij de bovengenoemde variabelen steeds variëren. Voor beleidsanalyses is een vereenvoudigde aanpak ontwikkeld. Deze bestaat uit 108 hydraulische berekeningen, gebaseerd op 9 afvoerniveaus, 6 stormniveaus met gekoppelde windsnelheid en 2 situaties van de Europoortkering (open of dicht). De stormopzetduur wordt in de berekeningen niet als variabele beschouwd: er wordt uitgegaan van een vaste duur van 29 of 35 uur.

Voor deze studie is de vereenvoudigde aanpak gehanteerd. Vervolgens is met behulp van het instrumentarium Hydra per locatie de maatgevende hoogwaterstand berekend, uitgaande van de wettelijke beschermingsnorm (zie paragraaf 2.1). Het Hydra-instrumentarium berekent ook de benodigde kruinhoogte van een dijk, rekening houdend met golven en het profiel van de dijk. Op deze manier zijn de maatgevende hoogwaterstanden en de benodigde kruinhoogten bepaald voor de referentiesituatie en verschillende varianten van waterberging Grevelingen.

Uitgangspunten en aannamen

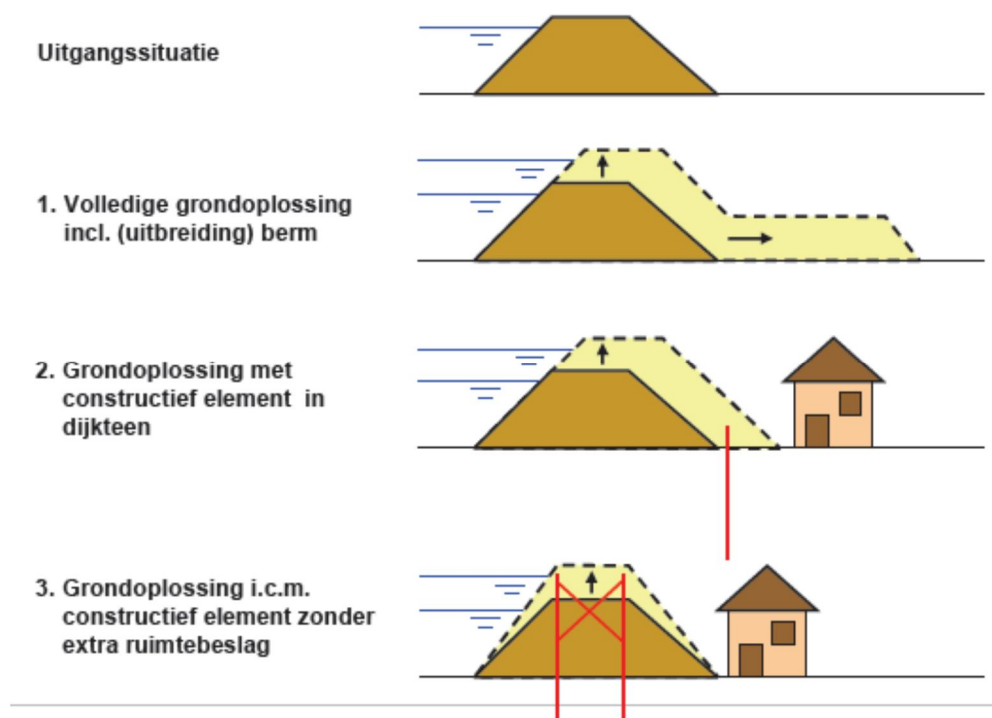
Voor de berekeningen is aangenomen dat alle kortetermijnmaatregelen uit de pkb Ruimte voor de Rivier zijn uitgevoerd, voor zover deze relevant zijn voor het onderzoeksgebied: Waterberging Volkerak-Zoommeer, Ontpoldering Noordwaard, Nevengeul Avelingen en Ontpoldering Overdiepe Polder.

4.5 Rekenmethode dijkinvesteringskosten

In deze studie zijn de kosten voor benodigde dijkversterkingen geschat met een methode uit de studie Waterveiligheid 21^e eeuw van het Deltaprogramma Veiligheid. Deze paragraaf geeft een korte beschrijving van deze methode. Meer informatie is te vinden in De Grave en Baarse (2011) en Sloopjes (2012). Deze aanpak is ook gevolgd bij de probleemanalyse van het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden.

Methode

De berekeningen die in de vorige paragraaf zijn beschreven, geven als resultaat de benodigde kruinhoogte van de dijken in de referentiesituatie en bij verschillende varianten van waterberging. De benodigde kruinhoogte is vervolgens vergeleken met de werkelijk aanwezige dijkhoogte, rekening houdend met zetting van de dijken tot het einde van deze eeuw (zie paragraaf 3.2). De dijkhoogte in 2100 is gebaseerd op de huidige dijkhoogte volgens de derde toetsronde en lineaire extrapolatie van de gemeten zetting (Van der Kraan, 2012).



Figuur 4.2 Ontwerpregels voor dijkversterking in de toegepaste methode

Aangenomen is dat dijkversterkingen nodig zijn als de benodigde kruinhoogte volgens de berekeningen hoger is dan de werkelijke kruinhoogte inclusief zetting. Voor deze locaties is met het instrument KOSWAT een nieuwe dijk ontworpen op basis van de uitgangssituatie, de ondergrond en de beschikbare ruimte. Voor dit ontwerp berekent KOSWAT de investeringskosten. Het ontwerp hangt af van de beschikbare ruimte rond de dijk. Als sprake

is van veel ruimte en een slappe ondergrond, kiest het instrument voor de relatief goedkope vorm van dijkversterking met grond en een extra steunberm. Weinig ruimte voor versterking leidt tot de keuze voor verticale staalconstructies, die minder ruimte vragen maar wel duurder zijn. Het ontwerp hangt bovendien af van eventuele noodzakelijke maatregelen tegen opbarsten en piping en voor het verbeteren van de macrostabiliteit. De noodzaak daarvoor is gebaseerd op een globale inventarisatie van kenmerken van bodemopbouw en grondgesteldheid en de hydraulische belasting.

In deze studie is ook onderzocht of waterberging Grevelingen kan bijdragen aan de reductie van de opgave van het nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma. Dit programma bevat voor een aantal trajecten dijkversterkingen. Voor deze trajecten is geïnventariseerd welke faalmechanismen tot het afkeuren van de dijken hebben geleid. Vervolgens is kwalitatief ingeschat hoe de daling van de maatgevende hoogwaterstand door waterberging Grevelingen doorwerkt op die faalmechanismen.

Uitgangspunten en aannamen

Uitgangspunt voor de kostenberekeningen is dat steeds voldaan moet worden aan de huidige beschermingsnormen. De referentie is het jaar 2015. Aangenomen is dat het hoogwaterbeschermingsprogramma 2 op dat moment is gerealiseerd. Daarnaast is aangenomen dat dijken met overhoogte in vergelijkbare mate overstierde hebben. Dit leidt vermoedelijk tot een onderschatting van de kosten, omdat uit de laatste toetsing blijkt dat veel dijken in de regio Rijnmond-Drechtsteden wel hoog, maar niet sterk genoeg zijn.

Het ontwerp van dijkverbeteringen speelt in op de nieuwste inzichten in piping uit de studie Veiligheid Nederland in Kaart (VNK). Waar dijkverbetering nodig is en ook piping speelt, is gekozen voor een extra breed ontwerp. Dit is conform de methode die in de studie Waterveiligheid 21^e eeuw van het Deltaprogramma Veiligheid is gehanteerd.

De onzekerheidsmarge tussen de bovengrens en ondergrens van de kostenschatting ligt gemiddeld tussen ongeveer -25% tot + 40% (De Grave & Baarse, 2011).

4.6 Rekenmethode buitendijkse schade

Methode

In deze studie is ook ingeschat in welke mate buitendijkse schade door overstromingen kan afnemen door waterberging in de Grevelingen. De basis hiervoor is een hoogtekaart van het buitendijkse gebied rond Dordrecht. Voor dit gebied is de waterdiepte bij verschillende waterstanden in kaart gebracht. Dit is gedaan voor waterstanden vanaf NAP +2 m, oplopend in stapjes van 0,2 m tot 3,8 m. Het resultaat zijn tien waterdieptekaarten. Deze zijn gesplitst in een set met alleen de buitendijkse gebieden bij Dordrecht en een set van het hele buitendijkse gebied in de regio. Dit rapport presenteert alleen de resultaten van het historisch buitendijks gebied van Dordrecht. De resultaten voor het gebied rondom de Drechtsteden is beschreven door Wagenaar (2012).

Aan de hand van de waterdieptekaarten zijn per waterstand de economische schadebedragen bepaald (Wagenaar, 2012). De methode wordt echter onvoldoende betrouwbaar geacht om deze getallen in deze rapportage over te nemen. De beoordeling van het effect van waterberging op de buitendijkse schade is daarom verder kwalitatief beschouwd.

4.7 Rekenmethode investeringskosten waterberging

Methode

De inzet van waterberging op de Grevelingen vraagt investeringen in de inrichting van het gebied en voor beheer en onderhoud. De kosten zijn gebaseerd op een globale raming, met een nauwkeurigheid van $\pm 50\%$. Deze raming betreft een actualisatie van de raming uit de Gevoeligheidsanalyse Zuidwestelijke Delta uit 2010 (Van Kruchten et al., 2012). Het Expertisecentrum Kosten van het Deltaprogramma heeft hieraan bijgedragen. De waterschappen hebben de raming aangevuld met de kosten voor dijkversterkingen langs de Grevelingen (Witter, 2012).

De belangrijkste veranderingen in de geactualiseerde raming zijn:

- De ramingen zijn gebaseerd op het prijspeil van 1 januari 2012. De elementprijzen zijn geïndexeerd ten opzichte van 1 januari 2009. Op basis van het ECK-kostenmodel is hiervoor een opslagpercentage van 16,5% bepaald. Met dit opslagpercentage zijn alle elementprijzen en kengetallen aangepast.
- In de nieuwe, globale raming zijn risico's en onzekerheden niet verwerkt: het betreft een zogenaamde deterministische raming. De oude raming was een probabilistische raming, waarbij risico's en onzekerheden wel zijn meegenomen. Een probabilistische raming valt over het algemeen hoger uit dan een deterministische raming.
- De beheer- en onderhoudskosten zijn doorgerekend met een discontovoet van 5,5%. Omdat het in deze studie om een eerste, globale raming gaat, is voor beheer en onderhoud een percentage van de investeringskosten genomen.

De uiteindelijke kostenraming per variant is de optelsom van de kosten voor de aanleg van een aantal nieuwe doorlaatmiddelen, aanpassing van bestaande kunstwerken en maatregelen om buitendijks gebied langs de Grevelingen te beschermen tegen hoge waterstanden, inclusief het beheer en onderhoud van de constructies. De benodigde maatregelen zijn op verschillende manieren in te vullen, waardoor een groot aantal combinaties van kosten mogelijk is.

Uitgangspunten en aannamen

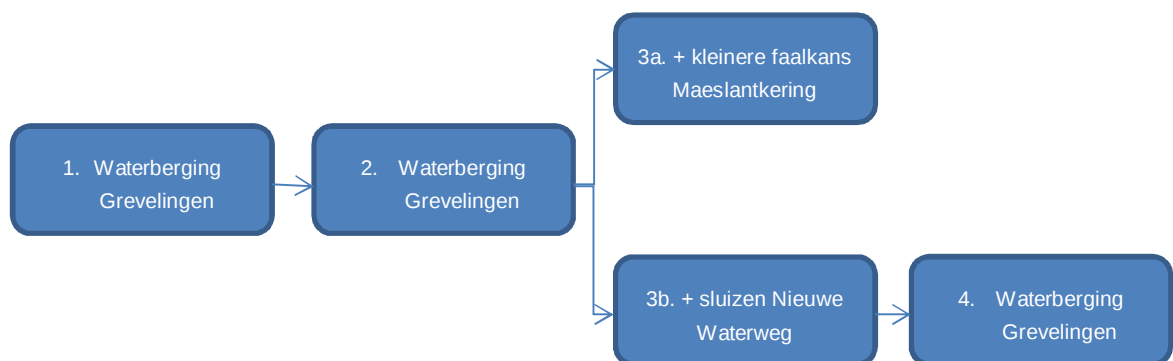
Het uitgangspunt voor het berekenen van de kosten is dat het Volkerak-Zoommeer al is ingericht als waterbergingsgebied. Deze studie geeft alleen de additionele kosten voor de inrichting van de Grevelingen als waterbergingsgebied.

5 Varianten waterberging Grevelingen

5.1 Referentie en vier varianten

Het effect van waterberging in de Grevelingen is in deze studie in beeld gebracht ten opzichte van een referentie: het huidige watersysteem zonder waterberging Grevelingen. De effecten zijn voor vier varianten van waterberging bepaald. Iedere volgende variant voegt een element toe aan de voorgaande variant:

1. Waterberging
Met de variant 'waterberging' stroomt bij maatgevende omstandigheden water van het Hollandsch Diep via doorlaatmiddelen in de Volkeraksluizen en de Grevelingendam naar de Grevelingen. Volkerak-Zoommeer en Grevelingen vullen zich tegelijkertijd met water.
2. Waterberging + pompen
Op dit moment vindt onderzoek plaats naar een getijcentrale voor energieopwekking op de Brouwersdam. De turbines van zo'n centrale kunnen tevens als pomp fungeren, om voorafgaand en tijdens waterberging water uit de Grevelingen naar zee af te voeren. Zo kan meer water uit Rijnmond-Drechtsteden wegstromen naar het waterbergingsgebied en blijven de waterstanden op de Grevelingen lager dan zonder pomp.
3. Waterberging + pompen + kleinere faalkans Maeslantkering
In dit geval vindt waterberging plaats zoals in de tweede variant. Daarnaast neemt de aangenomen kans op mislukte sluitingen van de Maeslantkering af met een factor 10 (van 1/100 tot 1/1000) (variant 3a). Als vingeroefening is ook gerekend met een dam in de Nieuwe Waterweg, met sluizen voor de scheepvaart en een aangenomen faalkans van 0 (variant 3b).
4. Waterberging + pompen + zeesluizen + gewijzigde afvoerverdeling
Deze variant gaat uit van andere verdeling van rivierwater over de Rijntakken, waarbij minder water afstroomt via Nederrijn-Lek en meer via Waal-Merwede. De gewijzigde afvoerverdeling is gecombineerd met variant 3, uitgaande van sluizen in de Nieuwe Waterweg (faalkans 0).



Figuur 5.1 Vier varianten van waterberging Grevelingen

5.2 Toelichting op de varianten

Hieronder volgt per variant gedetailleerdere informatie over de invulling en de overwegingen die daarbij gespeeld hebben.



Figuur 5.2 Overzicht van de dammen en stormvloedkeringen in de Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke Delta

5.2.1 Variant 1: waterberging

Afmetingen van de spuinmiddelen

Bij inzet van het waterbergingsgebied moet een aanzienlijke stroom water van het Hollandsch Diep naar de Grevelingen kunnen stromen. Dat vereist een voldoende grote doorstroombopening bij de Volkeraksluizen en in de Grevelingendam.

Voor optimaal functioneren van het waterbergingsgebied is het noodzakelijk de doorstroombopening in de Volkeraksluizen te vergroten. Uit de Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta (2010) blijkt dat de spuikokers vergroot kunnen worden met een oppervlak van 800 m². De totale doorstroombopening van de Volkeraksluizen komt daarmee op 1350 m².

Het Volkerak-Zoommeer is van de Grevelingen gescheiden door de Grevelingendam. In deze dam is nu geen doorlaatmiddel aanwezig. De berekeningen van effecten op waterstanden zijn uitgegaan van een doorlaatmiddel van 1350 m², net als in de Volkeraksluizen. Daarna is onderzocht wat de optimale capaciteit van een doorlaatmiddel in deze dam is ten behoeve van waterberging Grevelingen. De kritische factor blijkt de maximaal toelaatbare stroomsnelheid te zijn. Bij een groot doorlaatmiddel is de stroomsnelheid laag en bij een klein doorlaatmiddel hoog. Het debiet zal gelijk zijn; dit hangt af van het verval tussen het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen. Bij een doorlaatoening van 540 m² is de maximale stroomsnelheid 5 m/s. Deze stroomsnelheid is nog toelaatbaar voor de constructie van een spuinmiddel. Dit kleinere doorlaatmiddel zal dezelfde effecten op waterstanden en

dijkinvesteringskosten hebben als het doorlaatmiddel van 1350 m². De investeringskosten verschillen wel; deze zijn apart in beeld gebracht (hoofdstuk 8).

Meer informatie over de uitgangspunten en randvoorwaarden voor de spuinmiddelen is opgenomen in het deelrapport Hydraulica (Botterhuis, 2012).

Moment van waterberging

De Maeslantkering en de Hartelkering sluiten als de waterstand bij Rotterdam naar verwachting hoger wordt dan NAP +3,0 m of bij Dordrecht hoger dan NAP +2,90 m. Bij hoge rivierafvoeren (> 6000 m³/s bij Lobith) sluiten de stormvloedkeringen tijdens de kentering (laag water), om zoveel mogelijk bergingscapaciteit in de Rijn-Maasmonding te creëren. Oostwaarts van de keringen is de waterstand dan meestal voldoende laag om de rivierafvoer te kunnen bergen zonder de maatgevende waterstanden te bereiken. Alleen als de rivierafvoer zo groot is dat op Haringvliet en Hollandsch Diep maatgevende waterstanden verwacht worden, is het nodig water te bergen in de Zuidwestelijke Delta. Aangenomen is dat de Volkeraksluizen opengaan zodra de Maeslantkering en Hartelkering gesloten zijn en de waterstand nabij de Volkerakspuisluizen naar verwachting NAP +2,6 m of hoger zal zijn. Het water op het Hollandsch Diep staat dan nog relatief laag. De hoogste waterstand zal daar na circa 24 uur optreden.

Aanvangspeilen van de bekkens

Aangenomen is dat de meerpeilen in het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen gelijk blijven tot 2050: NAP -0,10 m in Volkerak-Zoommeer en NAP -0,20 m in Grevelingen. Bij snelle zeespiegelstijging zijn deze peilen in 2100 niet realistisch, tenzij de waterstand met gemalen laag gehouden wordt. Voor 2100 is daarom aangenomen dat de peilen zullen stijgen met 50% van de zeespiegelstijging. Uit de Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta (RWS, 2010) is gebleken dat de keuze voor het beginpeil van de meren geen effect heeft op de mate van MHW-daling in het gebied van Rijnmond-Drechtsteden.

5.2.2 Variant 2: waterberging + pompen

In de MIRT-Verkenning Grevelingen wordt verkend of het haalbaar is om een getijcentrale in de Brouwersdam aan te leggen. De turbines van een getijcentrale zijn ook als pomp in te zetten. In deze studie is uitgegaan van 72 turbines/pompen, met een totaal debiet van 2380 m³/s. In de studie is gerekend met een maximale opvoerhoogte van 2 m (standaard voor pompen bij een getijcentrale) en van 4 m (speciaal voor waterberging). Dit rapport geeft de resultaten weer voor een opvoerhoogte van 2 m.

In de studie is niet berekend of de stroomsnelheid bij de Grevelingendam toeneemt bij inzet van pompen. De verwachting is dat dit niet het geval is. Door het pompen zal namelijk ook de waterstand op het Volkerak-Zoommeer dalen, zodat het verval tussen beide meren gelijk blijft.

In deze variant is een ander meerpeil voor Grevelingen gehanteerd dan in variant 1. Pompen maken het mogelijk het waterpeil voorafgaand aan waterberging te verlagen, zodat meer rivierwater naar het bergingsgebied kan stromen. Daarom is in deze variant uitgegaan van een meerpeil van NAP -1 m bij de start van de waterberging.

5.2.3 Variant 3: waterberging + pompen + kleinere faalkans Maeslantkering

Voor deze variant zijn twee opties onderzocht: een optie waarbij de faalkans van de Maeslantkering afneemt tot 1/1000 per sluitvraag en een optie met een dam met scheepvaartsluizen in de Nieuwe Waterweg met aangenomen de faalkans 0.

5.2.4 Variant 4: waterberging + pompen + zeesluizen + gewijzigde afvoerverdeling

Het Deltaprogramma verkent de voor- en nadelen van een andere afvoerverdeling over de Rijntakken, als mogelijke bijdrage aan de opgaven voor waterveiligheid. De gewijzigde afvoerverdeling leidt tot een hogere afvoer over de Waal, om de Nederrijn-Lek te ontzien. Dit leidt tot een extra dijkopgave voor de regio Rijnmond-Drechtsteden langs de Merwedese.

In deze variant is ervan uitgegaan dat de afvoer van de Lek maximaal 1200 m³/s blijft zodra de afvoer bij Lobith boven de 6000 m³/s komt. Vanaf een afvoer van 12.000 m³/s bij Lobith gaat ook de afvoer van de Lek weer toenemen. Het resultaat is dat de Waal bij maatgevende afvoeren 800 m³/s extra afvoert. Deze gewijzigde afvoerverdeling is in de berekeningen gecombineerd met waterberging volgens variant 3, met sluizen in de Nieuwe Waterweg (faalkans 0).

6 Effecten op maatgevende hoogwaterstanden

6.1 Inleiding

Door klimaatverandering stijgen de maatgevende hoogwaterstanden in de loop van deze eeuw. Waterberging in de Grevelingen kan deze stijging deels teniet doen. Dit hoofdstuk presenteert eerst de stijging van de maatgevende hoogwaterstanden in de referentiesituatie (zonder waterberging of andere veranderingen in het watersysteem) en vervolgens het dalende effect van de vier varianten van waterberging (zie hoofdstuk 5).

6.2 Referentievariant

De belangrijkste uitgangspunten voor de referentie zijn:

- Inzet van de Maeslantkering vindt plaats volgens het huidige protocol; de faalkans bedraagt 1/100 per sluitvraag.
- De afvoerverdeling over de Waal, Nederrijn-Lek en IJssel verandert niet.
- In maatgevende omstandigheden vindt waterberging in het Volkerak-Zoommeer plaats.
- Stormopzetduur bedraagt 35 uur.

Tabel 6.1 geeft de stijging van de maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) in de referentie weer voor de twee klimaatscenario's. Op de Oude Maas (Dordrecht), het Haringvliet (Hellevoetsluis) en het Hollandsch Diep (Moerdijk) stijgen de MHW's bij snelle klimaatverandering met 20-30 cm in 2050 en met 60-80 cm in 2100. Bij gematigde klimaatverandering stijgen de MHW's met 20-30 cm in 2100. De zeespiegelstijging heeft een dominant effect op de MHW's. Een zeespiegelstijging van circa 80 cm ten opzichte van de 2015 zorgt bij Hellevoetsluis en Dordrecht voor een stijging van de MHW's met respectievelijk 70 en 50 cm. Hogere maatgevende afvoeren hebben minder invloed: circa 10 cm bij de genoemde locaties (Slootjes et al, 2011).

Locatie	MHW 2015	MHW-stijging	
		KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
	Zeespiegel +0,08 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	Q _{rijn} : 16.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	0,3	0,7
Dordrecht	2,9	0,2	0,6
Moerdijk	2,6	0,2	0,7
Hellevoetsluis	2,5	0,3	0,8

Tabel 6.1 MHW in de referentiesituatie voor 2015 en de stijging bij twee klimaatscenario's (Slootjes et al., 2011)

6.3 Varianten met waterberging

Tabel 6.1 geeft aan in welke mate de MHW's in 2100 dalen ten opzichte van de referentie door de verschillende varianten van waterberging. Het laagste getal is de daling bij weinig klimaatverandering (W2050 en G2100), het hoge getal is de daling bij veel klimaatverandering (W2100). In bijlage A staan de absolute MHW-waarden per variant en per klimaatscenario.

Variant		MHW-daling (cm)			
		Moerdijk	Hellevoet-sluis	Dordrecht	Rotterdam
1	Waterberging Grevelingen	20	10	10	0
2	Waterberging met pompen	20-30	10-20	10-20	0
3a	Waterberging met pompen en faalkans Maeslantkering 1/1000	20-30	20-30	10-20	0
3b	Waterberging met pompen en zeesluizen Nieuwe Waterweg	30-40	30-40	20-30	20-30
4	Waterberging met pompen, zeesluizen en gewijzigde afvoerverdeling	30-40	30-40	20-30	20-30

Tabel 6.2 MHW-daling door waterberging ten opzichte van de referentie in 2100

Met de variant Waterberging Grevelingen (variant 1) dalen de maatgevende hoogwaterstanden in 2100 bij snelle klimaatverandering met 10-20 cm ten opzichte van de referentie. De daling treedt alleen op in het zuidelijk deel van de regio Rijnmond-Drechtsteden. Bij Rotterdam is geen effect. Bij gematigde klimaatverandering dalen de MHW's minder sterk, omdat waterberging in dat geval minder vaak wordt ingezet. Aangenomen is dat de waterstand waarbij inzet van waterberging plaatsvindt in de periode tot 2100 gelijk blijft (NAP +2,6 m bij de Volkeraksluizen). Bij snelle klimaatverandering treedt die waterstand vaker op.

Bij waterberging met pompen (variant 2) dalen de MHW's in 2100 10 cm meer dan zonder pomp, uitgaande van snelle klimaatverandering. Bij gematigde klimaatverandering hebben pompen geen extra effect. Het positieve effect ontstaat vrijwel volledig doordat de waterstand in de Grevelingen voorafgaand aan de berging met pompen te verlagen is tot NAP -1 m.

Als aan waterberging met pompen ook een kleinere faalkans van de Maeslantkering wordt toegevoegd (variant 3a), dalen de MHW's op het Hollandsch Diep en Haringvliet 10 cm extra. Dit effect treedt alleen op bij snelle klimaatverandering. Bij Dordrecht daalt de MHW door waterberging met enkele centimeters. Bij Rotterdam treedt geen extra effect door waterberging op (wel door het verkleinen van de faalkans). Bij Rotterdam is ook met een faalkans van 1/1000 de zee-invloed volledig dominant, waardoor waterberging niet effectief is. Alleen bij vervanging van de Maeslantkering door een dam met sluizen (variant 3b) wordt de rivierinvloed op de MHW bij Rotterdam zo groot dat waterberging in de Grevelingen effect heeft. Ook op de andere locaties in Rijnmond-Drechtsteden is het effect van waterberging in dit geval het grootst. Bij Moerdijk en Hellevoetsluis dalen de MHW's met 30-40 cm ten opzichte van de referentie en bij Dordrecht en Rotterdam met 20-30 cm.

Het toevoegen van een gewijzigde rivierafvoer over de Rijntakken aan waterberging met pompen en zeesluizen (variant 4) heeft geen extra effect op de MHW's.

6.4 Effect van een langere stormopzetduur

De stijging van de MHW's in de referentie, zoals weergegeven in paragraaf 6.2, is gebaseerd op een stormopzetduur van 35 uur. Tot nu toe is voor de wettelijke toetsing van de dijken gerekend met een stormopzetduur van 29 uur (zie paragraaf 3.5). Voor het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden is onderzocht hoeveel de maatgevende hoogwaterstanden stijgen bij verlenging van de stormopzetduur van 29 uur naar 35 uur (Botterhuis en Sloopjes, 2011).

Een langere stormopzetduur heeft als gevolg dat de keringen bij storm langer dicht blijven staan. Dat heeft vooral effect op de waterstanden in het Haringvliet, Hollandsch Diep en het oostelijke deel van de Oude Maas. Hier hoopt het rivierwater zich langer op bij gesloten keringen. De situatie met gesloten keringen in combinatie met een hoge, maar niet extreem hoge rivierafvoer is hier bepalend voor de maatgevende hoogwaterstanden. Het effect van een langere stormopzetduur is groter naarmate het klimaatscenario extremer is.

Bij verlenging van de stormopzetduur van 29 naar 35 uur stijgen de maatgevende hoogwaterstanden in het overgangsgebied in de huidige situatie met 5 tot 10 cm. In de periode 2050-2100 stijgen de maatgevende hoogwaterstanden nog eens ongeveer 5 extra.

Locatie	2015	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
	Zeespiegel +0,08 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	Q_{rijn} : 16.000 m ³ /s	Q_{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q_{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	0,00	0,01	0,01
Dordrecht	0,03	0,07	0,10
Moerdijk	0,06	0,11	0,13
Hellevoetsluis	0,09	0,12	0,11

Tabel 6.3 MHW-stijging door verlenging stormopzetduur van 29 naar 35 uur

Met waterberging in de Grevelingen dalen de maatgevende hoogwaterstanden in de loop van de eeuw met 10-30 cm, afhankelijk van de inrichtingsvariant. Daarmee zou waterberging in de Grevelingen de effecten van een langere stormopzetduur al op korte termijn kunnen compenseren, ervan uitgaande dat waterberging bij het huidige klimaat een vergelijkbaar effect heeft.

6.5 Partieel functioneren Maeslantkering

In deze studie is aangenomen dat de Nieuwe Waterweg bij het falen van de Maeslantkering helemaal openblijft. Uit een recente analyse blijkt echter dat het in zo'n situatie vaak wel mogelijk is de Nieuwe Waterweg gedeeltelijk af te sluiten, om de gevolgen te beperken. In ruim 80% van de faalsituaties lijkt gedeeltelijk sluiten mogelijk. In ruim 50% van de gevallen lukt het waarschijnlijk zelfs één van de twee wanden uit te varen en volledig af te zinken (Kallen et al., 2012). Hierbij is niet onderzocht of de kering de krachten kan weerstaan die op het kunstwerk inwerken in de gedeeltelijk gesloten toestand. Een gedeeltelijke sluiting van de kering wordt ook wel 'partieel functioneren' genoemd.

Partieel functioneren heeft gevolgen voor de effectiviteit van waterberging. In deze studie is ervan uitgegaan dat waterberging niet wordt ingezet als een sluiting van de Maeslantkering mislukt. Bij partieel functioneren zou dat wel kunnen. Dat betekent dat in 80% van de gevallen waarin de Maeslantkering faalt, waterberging wel ingezet wordt. In die situatie kan waterberging mogelijk de hogere waterstanden door de instroom van zeewater in de regio Rijnmond-Drechtsteden gedeeltelijk compenseren. Ook is waterberging op die manier vaker in te zetten, waardoor het effect op de maatgevende hoogwaterstanden groter wordt. Het effect van waterberging zal in dat geval tussen de effecten van variant 2 en variant 3b in zitten.

7 Effecten op kosten van dijkversterkingen

7.1 Inleiding

Het vorige hoofdstuk geeft weer in welke mate de maatgevende hoogwaterstanden in de regio Rijnmond-Drechtsteden in de loop van de eeuw stijgen, zonder en met waterberging in de Grevelingen. Dit hoofdstuk geeft informatie over de benodigde kosten voor dijkversterkingen door deze hogere maatgevende hoogwaterstanden.

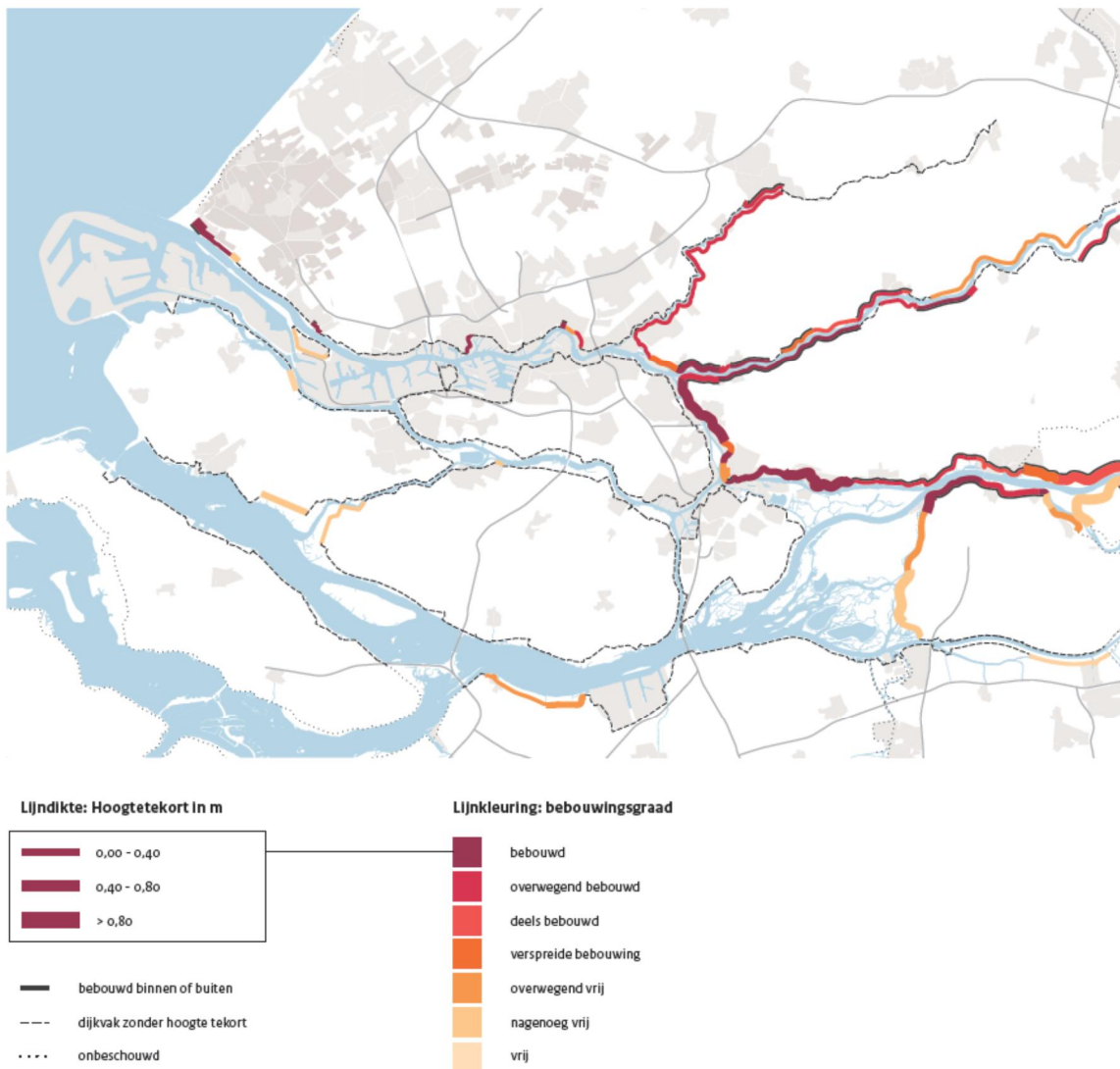
Een hogere maatgevende hoogwaterstand maakt dijkversterking niet altijd nodig. De dijken in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden zijn gemaakt in de tijd dat er nog geen stormvloedkeringen waren. Op veel plaatsen zijn ze hoger dan op dit moment noodzakelijk is. Anderzijds kunnen de waterkeringen in de loop van de tijd lager worden door zetting van de grond en bodemdaling. Het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden heeft bepaald hoe hoog de dijken in 2050 en 2100 zullen zijn, rekening houdend met de huidige overhoogte en zettingen (Van der Kraan, 2012). Aanneمة daarbij is dat het tweede Hoogwaterbeschermingsprogramma in 2015 is uitgevoerd.

In deze studie is alleen de hoogte van dijken in beschouwing genomen, niet de sterkte.

7.2 Referentievariant

Door de maatgevende hoogwaterstanden in de referentie te vergelijken met de berekende toekomstige dijkhoogte, is een beeld ontstaan van de dijken die in de loop van de eeuw te laag zijn (Figuur 7.1). Bij snelle klimaatverandering is in 2050 naar verwachting 20% van de dijken in het onderzochte gebied te laag (145 km) en aan het einde van de eeuw 30% (210 km). Bij gematigde klimaatverandering is aan het eind van deze eeuw 40% van de dijken te laag (255 km). Hierbij is aangenomen dat de huidige overhoogte van dijken benut wordt om de hogere waterstanden op te vangen.

Voor de dijken die te laag zijn, zijn de kosten voor dijkversterkingen berekend. Bij langzame klimaatverandering bedraagt het investeringsbedrag deze eeuw circa 2,1 miljard euro en bij snelle klimaatverandering circa 2,8 miljard euro (bandbreedte van -25% tot +40%; exclusief btw, prijspeil 2012).



Figuur 7.1 Dijken met hoogtetekort in 2100 bij snelle klimaatverandering (scenario W2100) (Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, 2012)

7.3 Dijkinvesteringskosten per variant

Tabel 7.1 toont de dijkinvesteringskosten in de regio Rijnmond-Drechtsteden voor de verschillende varianten met waterberging in de Grevelingen. De tabel bevat ter vergelijking ook de dijkinvesteringskosten in de referentie en bij varianten met verkleinde faalkans van de Maeslantkering zonder waterberging Grevelingen. Bijlage B geeft voor iedere variant de dijkinvesteringskosten per dijkkring weer.

Uit de tabel is af te leiden welke besparingen op dijkinvesteringskosten te bereiken zijn met waterberging Grevelingen. Bij beperkte klimaatverandering (W-scenario in 2050 en G-scenario in 2100) bedraagt de besparing 35-45 miljoen euro ten opzichte van de referentie. Deze relatief beperkte besparing hangt samen met de beperkte dijkopgave in die omstandigheden. In combinatie met een kleinere faalkans van de Maeslantkering pakt de besparing door waterberging in 2050 ongunstiger uit. De besparing is dan 25 miljoen euro. Het verkleinen van de faalkans lost namelijk zonder waterberging al een deel van de opgave

op. Bij snelle klimaatverandering verdubbelt de besparing van waterberging Grevelingen juist en bedraagt dan 80-95 miljoen euro. Gecombineerd met een kleinere faalkans of zeesluizen neemt de besparing door waterberging nog meer toe, tot 185-235 miljoen euro. Bij snelle klimaatverandering zijn meer dijken te laag en waterberging levert dan besparingen op over een langer traject.

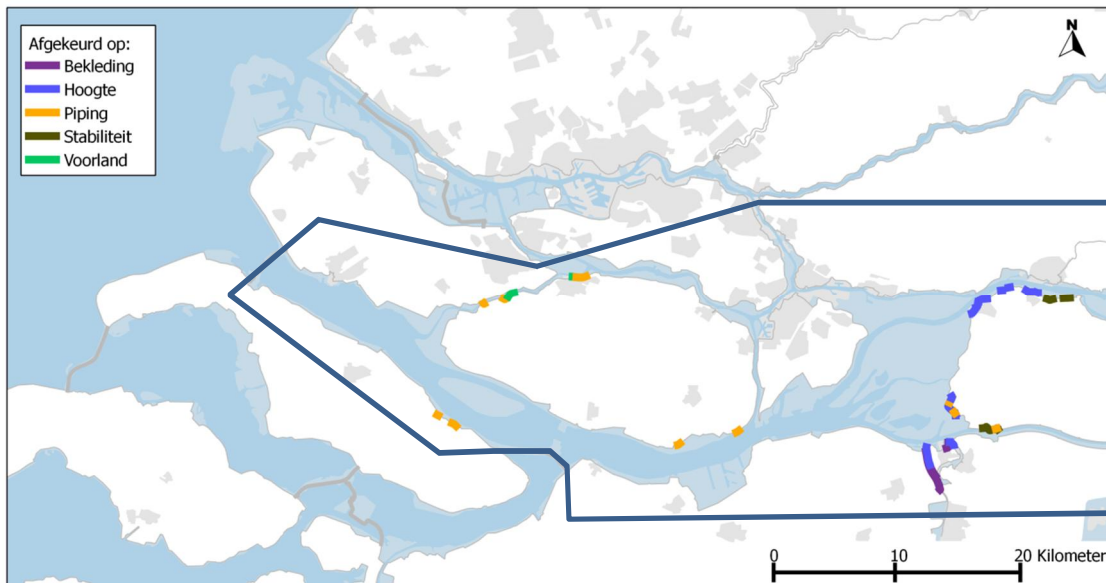
Voor de variant met gewijzigde afvoerverdeling is het niet mogelijk de besparingen goed in beeld te brengen, omdat voor deze situatie geen berekeningen beschikbaar zijn voor een referentie zonder waterberging. Het effect van waterberging op de maatgevende hoogwaterstand was voor deze variant af te leiden uit een vergelijking van variant 3b en 4. Voor de dijkinvesteringkosten is dat niet mogelijk. Opvallend is dat bij beperkte klimaatverandering de dijkinvesteringkosten in deze variant aanzienlijk hoger zijn dan in de andere varianten (*in het onderzochte gebied*). De gewijzigde afvoerverdeling leidt tot hogere kosten voor dijken langs de Alblasserwaard (dijkring 16) en het Land van Altena (dijkring 24). De besparingen die optreden langs de Lek (Alblasserwaard en Krimpenerwaard) wegen daar niet tegenop.

Variant		Dijkinvesteringkosten		
		W2050	G2100	W2100
Referentievariant faalkans Maeslantkering 1/100		1365	2090	2810
1	Waterberging Grevelingen	1325	2055	2710
2	Waterberging met pompen	1325	2045	2695
Systeemwijziging: faalkans Maeslantkering 1/1000 zonder waterberging		1345	2085	2720
3a	Waterberging met pompen en faalkans Maeslantkering 1/1000	1320	2040	2535
Systeemwijziging: zeesluizen (faalkans 0) zonder waterberging		1145	1640	2430
3b	Waterberging met pompen en zeesluizen Nieuwe Waterweg	1075	1600	2195
Systeemwijziging: gewijzigde afvoerverdeling		Niet berekend		
4	Waterberging met pompen, zeesluizen en gewijzigde afvoerverdeling	1880	2170	2610

Tabel 7.1 Nominale dijkinvesteringkosten voor de varianten van waterberging en bij verschillende klimaatscenario's en zichtjaren (bandbreedte van -25% tot +40%; exclusief btw, prijspeil 2012)

7.4 Nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma

In deze studie is kwalitatief verkend of waterberging in de Grevelingen een bijdrage kan leveren aan de opgave van het nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma. Op dit moment onderzoeken de waterkeringbeheerders welke dijkvakken versterking behoeven op grond van de laatste toetsing. Zij hebben voor het nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma een groslijst van projecten opgesteld. Figuur 7.1 toont de locaties in het gebied waar waterberging Grevelingen invloed heeft. Het gaat hier in totaal om ongeveer 18 km dijk.



Figuur 7.2 Locaties van dijkverbeteringsprojecten in het invloedsgebied van waterberging en het aspect waarop deze dijktrajecten zijn afgekeurd (bron: Groslijst nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma d.d. 17 september 2012)

Het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (2006) stelt dat een waterkering via meerdere toetssporen moet worden getoetst, om het effect van verschillende faalmechanismen te bepalen. Figuur 7.2 en Tabel 7.2 laten zien welke toetssporen tot het afkeuren van dijktrajecten in het onderzoeksgebied hebben geleid.

Toetssporen	Lengte (km)
Bekleding	4,8
Hoogte	6,0
Piping	3,7
Macro-stabiliteit binnentalud	2,4
Voorland	0,9
Totaal	17,8

Tabel 7.2 Lengte van de afgekeurde dijken per toetsspoor

Op basis van expert judgement is ingeschat op welke faalmechanismen/toetssporen waterberging Grevelingen een positief effect kan hebben (bijlage C). Hieruit blijkt dat waterstandsverlaging door waterberging gunstig is voor drie van de vijf toetssporen: hoogte, macro-instabiliteit binnentalud en piping. De effecten op bekleding en voorland (zettingsvloeiing) zijn verwaarloosbaar.

Voor de relevante faalmechanismen is geanalyseerd hoe groot de waterstanddaling door waterberging moet zijn om een gunstig effect te bereiken door het effect bij een MHW-daling van 10, 20, 30 en 50 cm te bepalen. De verwachting is dat een MHW-daling van 10-20 cm een verwaarloosbaar effect heeft op de drie faalmechanismen. Een significant effect is te verwachten vanaf een MHW-daling van 30 cm. Vanaf een daling van 50 cm is het effect op de faalmechanismen golfoverslag en piping zelfs aanzienlijk. Met een MHW-daling van 30-50 cm zal ook de macro-stabiliteit van het binnentalud toenemen. Aanvullend onderzoek met berekeningen is nodig om dit kwantitatief te kunnen onderbouwen.

De vereiste MHW-daling van ten minste circa 30 cm is te bereiken met de variant waterberging Grevelingen met pompen, op het Hollandsch Diep en Haringvliet. Daar liggen dijktrajecten met een totale lengte van 2,2 km die zijn afgekeurd vanwege piping. Waterberging op de Grevelingen zou daar een gunstig effect kunnen hebben, maar op basis van dit onderzoek is dit niet met zekerheid te zeggen. De verwachting is dat het effect van waterberging op de overige afgekeurde trajecten gering is.

8 Kosten van waterberging Grevelingen

8.1 Investeringskosten per variant

Het Expertisecentrum Kosten van het Deltaprogramma heeft de kosten voor de inrichting van de Grevelingen als waterbergingsgebied bepaald. De berekende kosten omvatten de aanleg van doorlaatmiddelen in de Volkerakdam en de Grevelingendam, het aanpassen van de turbines van een eventuele getijcentrale met een pompfunctie, aanpassingen aan dijken rond de Grevelingen, het omkaden van buitendijkse gebieden en aanpassingen aan jachthavens.

Investeringen	Variant 1: waterberging	Variant 2*: waterberging + pompen	Variant 3**: waterberging + pompen + kleinere faalkans	Variant 4***: waterberging + pompen + faalkans 0 + wijziging afvoerverdeling
Doorlaatmiddel Volkerakdam	113	113	113	113
Doorlaatmiddel Grevelingendam (540 m ²)	70	70	70	70
Pompen	0	8	8	8
Dijkversterkingen Grevelingen	10	10	10	10
Bescherming buitendijks gebied Grevelingen	34	24	24	24
Jachthavens Grevelingen aanpassen	5	5	5	5
Totaal	232	229	229	229

*Niet inbegrepen: de kosten voor de aanleg van een getijcentrale of doorlaatmiddel in de Brouwersdam

**Niet inbegrepen: de kosten voor het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering

***Niet inbegrepen: de kosten voor het kunstwerk om de afvoerverdeling te wijzigen.

Tabel 8.1 Investeringskosten aanleg waterberging (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

De totale investeringskosten voor waterberging bedragen circa 230 miljoen euro. De totale kosten voor het beheer en onderhoud zijn ongeveer 2 miljoen euro per jaar. De nauwkeurigheid van de ramingen is ongeveer $\pm 50\%$. Niet inbegrepen zijn de kosten voor het compenseren van gevolgen voor de regionale waterhuishouding en natuur en de eventuele schade in de Grevelingen bij inzet van het waterbergingsgebied. Ook de aanleg van een getijcentrale op de Brouwersdam en het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering zijn niet in de kosten opgenomen.

Uit de tabel blijkt dat de kosten van de vier varianten elkaar niet veel ontlopen. In de varianten twee tot en met vier moeten extra kosten worden gemaakt om de turbines van een getijcentrale op de Brouwersdam te kunnen gebruiken als pompen. Bij gebruik van pompen blijft de waterstand in de Grevelingen lager, waardoor in deze varianten minder

beschermende maatregelen voor het buitendijkse gebied van de Grevelingen nodig zijn. Per saldo zijn de kosten van de varianten met pompen daardoor vrijwel gelijk aan de kosten van de variant zonder pompen.

Grotere besparingen op de kosten zijn te bereiken als de aanleg van waterberging kan profiteren van andere grote ingrepen in het gebied. Als besloten wordt een vierde schutkolk aan te leggen in de Volkerakdam, nemen de kosten voor het doorlaatmiddel in deze dam af met circa 80 miljoen euro. Bij een besluit over een zout Volkerak-Zoommeer en herstel van getij op de Grevelingen, is een open verbinding tussen de twee meren mogelijk en nemen de kosten voor het doorlaatmiddel in de Grevelingendam af met 23 miljoen euro. Met deze twee besparingen samen halveren de totale investeringskosten voor waterberging Grevelingen tot ongeveer 125 miljoen euro.

8.2 Toelichting op de kosten

Het Expertisecentrum Kosten heeft de kosten per maatregel uitgewerkt in een factsheet gebaseerd op Van Kruchten et al. (2012). De factsheets zijn opgenomen in bijlage D. Hieronder volgt een korte toelichting per maatregel.

Doorlaatmiddel Volkerakdam

Uitgangspunt is dat het doorlaatmiddel in de Volkerakdam ongeveer 1350 m² groot moet zijn (zie paragraaf 5.2.1). Dit is te bereiken door het bestaande spuumiddel aan te passen en te vergroten. Daarvoor is het nodig de drempels van de vier bestaande spuiokers te verlagen en drie nieuwe spuiokers aan te brengen. De totale kosten daarvan bedragen 113 miljoen euro.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
Drempelverlaging	20	0,06	1
Extra spuiokers	92	0,83	15
Totaal	113	0,89	16

Tabel 8.2 Kosten doorlaatmiddel Volkerakdam (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

Er bestaan plannen om een vierde schutkolk aan te leggen bij de Volkeraksluizen. Als dat gebeurt is het beoogde doorstroomoppervlak met minder inspanning te bereiken. Het volstaat in dat geval de bestaande schutkolken aan te passen en te zorgen dat de vierde schutkolk geschikt is voor spuien. De totale kosten hiervan bedragen 32 miljoen euro. De aanleg van de vierde schutkolk zelf kost 112 miljoen euro.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
Aanpassen bestaande schutkolken	27	0,38	7
Inpassen 4e kolk t.b.v. spuien	5	0,07	2
Totaal	32	0,45	8

Tabel 8.3 Kosten doorlaatmiddel Volkerakdam met vierde kolk Volkeraksluizen (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

Doorlaatmiddel Grevelingendam

De berekeningen van de effecten op de waterstanden zijn uitgevoerd met een doorlaatmiddel in de Grevelingendam van 1350 m². Gebleken is dat hetzelfde effect te bereiken is met een kleiner doorlaatmiddel van 540 m² (zie paragraaf 5.2.1). De investeringskosten gaan daarom uit van een kleiner doorlaatmiddel. In de huidige situatie is het Volkerak-Zoommeer zoet en de Grevelingen brak tot zout. Ook zijn in beide meren verschillende peilen van toepassing. Uitgaande van deze situatie is het noodzakelijk dat het doorlaatmiddel afsluitbaar is, zodat alleen sprake is van een open verbinding bij inzet van de waterberging.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
540 m ² , open	47	0,14	3
1350 m ² , open	77	0,24	4
540 m ² , afsluitbaar	70	0,63	12
1350 m ² , afsluitbaar	120	1,08	19

Tabel 8.4 Kosten doorlaatmiddel Grevelingendam (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

Het doorlaatmiddel hoeft niet afsluitbaar te zijn als besloten wordt het Volkerak-Zoommeer zout te maken. De kosten zijn in dat geval lager.

Pompen

Aangenomen is dat de variant met pompen alleen van toepassing is als op de Brouwersdam een getijcentrale komt. De turbines van de getijcentrale zijn in dat geval aan te passen voor het gebruik als pompen. De kosten daarvan hangen af van het type turbine. De kostenberekening gaat uit van zogenoemde bulbturbines. Het aanpassen hiervan kost 8 miljoen euro.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
Aanpassen bulbturbines	8	0,07	1

Tabel 8.5 Kosten aanpassen bulbturbines getijcentrale (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

Dijkversterkingen Grevelingen

Bij inzet van waterberging stijgt de waterstand in de Grevelingen tijdelijk. De dijken zijn hoog genoeg, maar er zijn aanpassingen nodig om de dijkbekleding sterker te maken. De kosten daarvan bedragen 10 miljoen euro.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
Aanpassen dijkbekleding	10	0,002	0,03

Tabel 8.6 Kosten aanpassen bekleding dijken langs Grevelingen (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012) (Witter, 2012)

Bescherming buitendijks gebied Grevelingen

Rond de Grevelingen bevindt zich op verschillende locaties buitendijkse bebouwing. Deze bebouwing zal schade ondervinden bij inzet van waterberging, omdat de waterstand dan tijdelijk hoger is. In de kostenberekening is ervan uitgegaan dat de bebouwde gebieden met

kaden beschermd worden. De kosten hangen samen met de hoogte van de waterstand. Bij inzet van pompen loopt de waterstand minder hoog op en zijn op minder plaatsen kaden nodig. Met de standaard pompen wordt de waterstand ongeveer NAP +1,5 m. Bij pompen met een opvoerhoogte van 4 m is de maximale waterstand ongeveer NAP +1,0 m. Alternatief is de schade te accepteren.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
Kaden (zonder pompen)	34	0,03	1
Kaden (met pompen 2 m opvoerhoogte)	24	0,02	0,4
Kaden (met pompen 4 m opvoerhoogte)	15	0,02	0,3

Tabel 8.7 Kosten bescherming buitendijks gebied Grevelingen met kaden (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

Jachthavens aanpassen

Rond de Grevelingen liggen zeven buitendijkse jachthavens. Alle jachthavens hebben voor een deel vaste steigers. Bij inzet van waterberging levert dat problemen op, omdat de waterstand verandert. Een aantal drijvende steigers kan waarschijnlijk niet hoog genoeg opdrijven. De kostenberekening gaat uit van vervanging van de vaste steigers door drijvende steigers en aanpassing van enkele drijvende steigers. De kosten daarvan bedragen 6 miljoen euro.

Type maatregel	Aanlegkosten	Kosten beheer en onderhoud per jaar	Netto Contante Waarde over 100 jaar
Aanpassen steigers	5	0,03	0,5

Tabel 8.8 Kosten aanpassen steigers Jachthavens (miljoenen euro's, exclusief btw, prijspeil 2012)

9 Overige effecten van waterberging

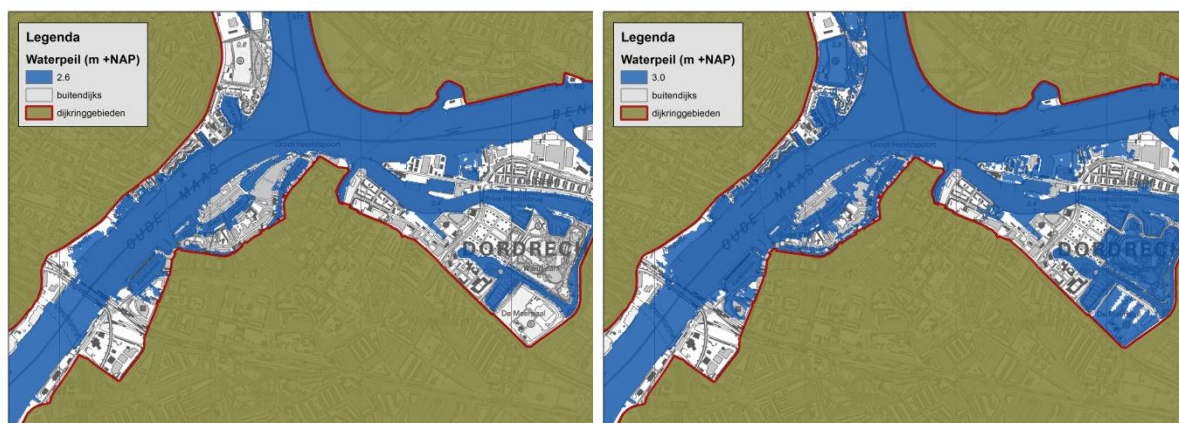
9.1 Dordrecht: buitendijkse schade en de Voorstraat

In de regionale analyse van het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden staat dat de Voorstraat en het buitendijkse historische havengebied van Dordrecht op termijn een knelpunt worden:

- Het buitendijkse historische havengebied zal door zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren vaker overstroomd. In deze studie is onderzocht welke bijdrage waterberging Grevelingen kan hebben aan het verminderen van de buitendijkse schade.
- De Voorstraat ligt in de oude binnenstad van Dordrecht. Deze winkelstraat, met aan beide zijden woningen, is ook een waterkering. Volgens de laatste toetsronde is de Voorstraat nu nog net hoog genoeg, maar de verwachting is dat de waterkering bij de volgende toetsronde onvoldoende hoog zal zijn. Opvallend is dat de Voorstraat niet uit de dijkopgave naarvoren komt (zie paragraaf 7.2).

Effect op buitendijkse schade

Bij een waterstand van NAP +2,5 m beginnen de kades in het buitendijkse historische havengebied van Dordrecht te overstroomd. Figuur 9.1 geeft aan welk gebied overstroomt bij een waterstand op de rivier van NAP +2,6 m en welk gebied bij NAP +3,0 m (10 cm boven het toetspeil). Door klimaatverandering zullen deze waterstanden vaker optreden en zal er vaker schade optreden. Tabel 9.1 geeft aan hoe vaak hoogwaterstanden op termijn zullen voorkomen.



Figuur 9.1 Overstroomd buitendijkse gebied van Dordrecht bij een waterstand op de rivier van NAP +2,6 m (links) en NAP +3,0 m (rechts)

Waterstand (m+NAP)	Terugkeertijden waterstand (j)		
	2015	W2050/G2100	W2100
2,6	200	50	> 10
2,8	1500	500	20
3	10000	1250	100
3,2	25000	7500	350
3,4	<50000	<50000	1400

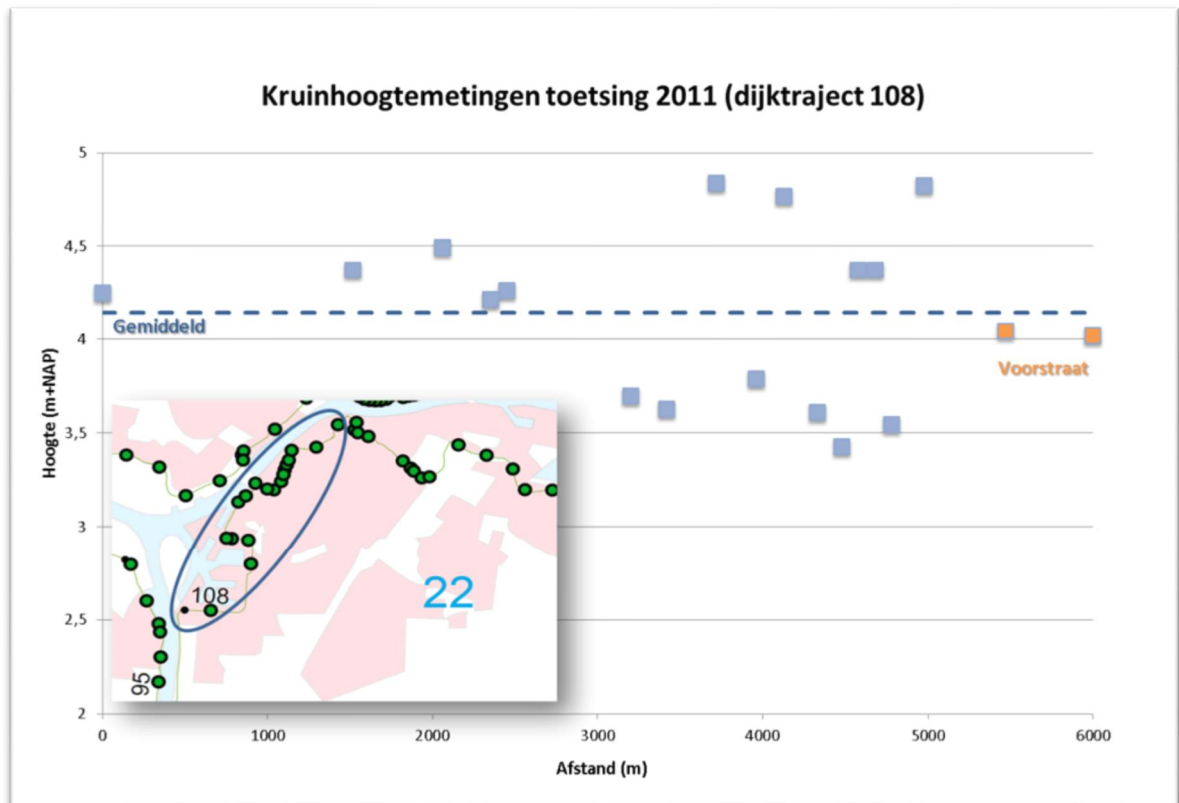
Tabel 9.1 Waterstanden bij Dordrecht met terugkeertijden (200 = gemiddeld eens per 200 jaar)

Voor de verschillende waterstanden op de rivier is berekend hoeveel schade in het buitendijkse gebied bij Dordrecht optreedt (Wagenaar, 2012). Dit is berekend met en zonder waterberging Grevelingen. Bij gematigde klimaatverandering vermindert waterberging Grevelingen het buitendijkse schaderisico niet. Dat komt doordat het schaderisico wordt bepaald door gebeurtenissen die vaker dan eens per 100 jaar voorkomen (relatief weinig schade, hoge frequentie), terwijl waterberging bij gematigde klimaatverandering maar ongeveer eens per 500 jaar wordt ingezet. Door waterberging veel vaker in te zetten, zou het schaderisico wel verminderd kunnen worden. Bij snelle klimaatverandering neemt de frequentie van de inzet van waterberging toe tot eens per 20 jaar. Dan kan waterberging het buitendijkse schaderisico bij Dordrecht wel verminderen. Er is op dit moment geen betrouwbaar instrument om ook kwantitatieve uitspraken te doen over de schadereductie in euro's.

Voorstraat in Dordrecht

Het Deltaprogramma gebruikt een instrumentarium dat is ontwikkeld voor het maken van kostenschattingen op nationaal en/of regionaal schaalniveau. Dat heeft tot gevolg dat bepaalde informatie geaggregeerd of uitgemiddeld wordt. Dit is gerechtvaardigd, omdat onnauwkeurigheden over zo'n groot gebied ook uitgemiddeld worden en het om vershilanalyses gaat. In KOSWAT zijn alle dijken in het onderzochte gebied opgedeeld in trajecten met een lengte van gemiddeld 4 km. Dat is minder nauwkeurig dan bij de toetsing wordt gebruikt. De indeling van de trajecten is gemaakt op basis van de ondergrond. Het kan dus voorkomen dat bij een uniforme bodemopbouw trajecten langer zijn dan 4 km. Dit is ook het geval bij het traject waar de Voorstraat in ligt. Dat traject is circa 7 km. De aangenomen hoogte over een traject is het gemiddelde van metingen. Figuur 9.2 laat dit zien voor het traject waarin de Voorstraat ligt. Er liggen slechts twee meetpunten uit de toetsing op de Voorstraat, beide op plaatsen waar de tweezijdige bebouwing onderbroken is. Die punten hebben een hoogte van circa NAP +4,0 m, terwijl de Voorstraat zelf op circa NAP +3,3 m ligt.

Voor afwegingen op lokale schaal zijn gedetailleerdere gegevens nodig. Het instrument dat in deze studie is gebruikt, is ontwikkeld voor het Deltaprogramma en niet geschikt voor dergelijke afwegingen. Door verder in te zoomen wordt het mogelijk te onderzoeken of waterberging Grevelingen van invloed is op investeringsbeslissingen. Uit bovenstaande voorbeeld blijkt dat een deel van de dijkvakken op dit traject mogelijk veel eerder versterkt moet worden dan uit de analyse op basis van de gemiddelde waarde blijkt. Waterberging Grevelingen zou ook voor die vakken een bijdrage kunnen leveren.

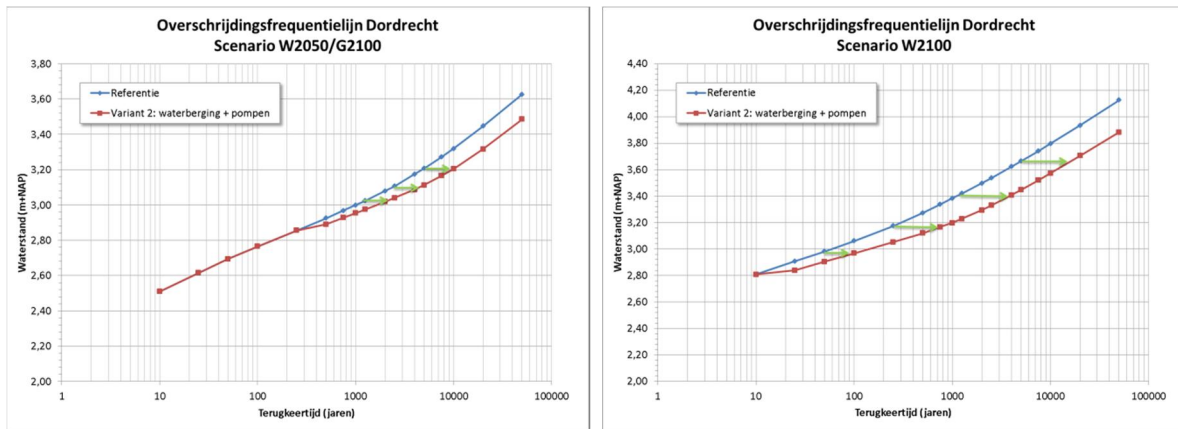


Figuur 9.2 Kruinhoogtemetingen en het gemiddelde van deze metingen in het traject waarin de Voorstraat valt

9.2 Robuustheid

Waterberging leidt niet alleen tot MHW-daling en besparing op dijkversterkingskosten, maar ook tot een robuuster watersysteem. Waterberging zorgt er namelijk voor dat hoge waterstanden minder vaak optreden, waardoor de kans op een overstroming kleiner wordt. Als het toch fout gaat, veroorzaken lagere waterstanden bovendien geringere schade.

Voor Dordrecht zijn de terugkeertijden van hoge waterstanden zonder waterberging en met waterberging volgens variant 2 berekend (Figuur 9.3). Vanaf de waterstand waarbij waterberging wordt ingezet, gaan de lijnen met en zonder waterberging uit elkaar lopen. Waterstanden die zonder waterberging eens per 25 jaar voorkomen, komen met waterberging nog maar 1/100 jaar voor (bij snelle klimaatverandering). Dit geeft een eerste inzicht in de bijdrage van waterberging aan de robuustheid van het systeem.



Figuur 9.3 Waterstand bij Dordrecht uitgezet tegen de terugkeertijd met en zonder waterberging Grevelingen, bij gematigde klimaatverandering (links) en snelle klimaatverandering (rechts)

9.3 Regionale waterhuishouding

De waterschappen Brabantse Delta, Scheldestromen en Hollandsche Delta hebben de gevolgen van waterberging in de Grevelingen op de regionale waterhuishouding in beeld gebracht (Witter, 2012; Douben & Majers, 2012).

Waterberging in de Grevelingen heeft gevolgen voor het regionale waterbeheer. Ten eerste wordt het bij inzet van het waterbergingsgebied moeilijker om het regionale water van Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland af te voeren naar de Grevelingen (Witter, 2012). Ten tweede heeft waterberging in de Grevelingen effect op de waterstanden op het Volkerak-Zoommeer, en daarmee op de afwatering van West-Brabant (Douben & Majers, 2012).

Afwatering Goeree-Overflakkee en Schouwen Duiveland

Bij waterberging stijgt de waterstand in de Grevelingen. De gemalen op Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland hebben in dat geval onvoldoende capaciteit om het regionale water uit de polders in de Grevelingen te pompen. De gemaalcapaciteit is in deze omstandigheden uit te breiden door bij deze gemalen mobiele pompen in te zetten. Als besloten wordt waterberging vaker in te zetten, zijn structurele maatregelen te overwegen.

In de studie over de gevolgen van waterberging in het Volkerak-Zoommeer is gerekend met kentallen voor de kosten van mobiele pompen. Op basis daarvan zijn ook de kosten voor mobiele pompen langs de Grevelingen geschat (Tabel 9.1).

Gemaal	Kosten (k€)* excl. btw
Den Osse	563
Dreischor	513
Kilhaven	311
Drie Polders	210
Battenoord	311
De Koudenhoek	25
Totaal	1933

*inclusief 10 K€ voor het plaatsen van de pompen

Tabel 9.1 Eenmalige investeringskosten mobiele pompen

Afwatering van Brabantse rivieren

De rivieren Mark en Dintel, Roosendaalse en Steenbergse Vliet en Zoom wateren af op het Volkerak-Zoommeer. Bij waterberging stijgt het waterpeil in dit meer. Daardoor wordt de afvoer van de Brabantse rivieren gestremd en stuwen de waterstanden op. Als alleen waterberging in het Volkerak-Zoommeer plaatsvindt, zijn op een aantal plaatsen langs de rivieren hogere dijken of inundatiegebieden nodig.

Door ook de Grevelingen in te zetten als waterberging, loopt de waterstand in het Volkerak-Zoommeer minder hoog op (Douben en Maijers, 2012). Bij waterberging zonder pompen (variant 1) is het verschil vrij klein. Als waterberging met inzet van pompen plaatsvindt (varianten 2 t/m 4), wordt het verschil aanzienlijk. In alle vier de varianten zijn hogere dijken langs de regionale rivieren nodig, maar met name bij de varianten 2 t/m 4 op minder plaatsen of minder ingrijpend dan met alleen waterberging op het Volkerak-Zoommeer.

Bij toevoeging van de Grevelingen als waterberging is bij een aantal gemalen in West-Brabant meer capaciteit van mobiele pompen nodig dan bij waterberging op het Volkerak-Zoommeer alleen (Douben & Maijers, 2012). Bij waterberging zonder pompen (variant 1) is bij 16 gemalen extra pompcapaciteit nodig, bij waterberging met pompen (varianten 2 t/m 4) bij 2 of 5 gemalen, afhankelijk van het klimaatscenario (G2100 of W2100). Waterberging op de Grevelingen vraagt geen extra pompcapaciteit bij beken die tijdelijk moeten worden afgesloten (Douben & Maijers, 2012). Bij waterberging in de Grevelingen volgens variant 1 duren de stremmingen van deze beken wel veel langer dan bij alleen berging op het Volkerak-Zoommeer.

Bij waterberging op de Grevelingen stuwen de waterstanden op de Mark en Vliet minder hoog op dan bij waterberging op alleen het Volkerak-Zoommeer. Het geïnundeerde oppervlak is daardoor kleiner. De inundaties duren wel langer bij waterberging zonder pompen (variant 1).

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies

Effecten op maatgevende hoogwaterstanden

- Het waterstanddalende effect van waterberging Grevelingen is het grootst op het Hollandsch Diep en Haringvliet. Het effect dempt uit richting het noorden en het oosten van de regio Rijnmond-Drechtsteden. Waterberging heeft geen effect bij Rotterdam, tenzij de Maeslantkering wordt vervangen door een dam.
- Waterberging is op verschillende manieren te realiseren. De variant met alleen berging in de Grevelingen levert een verlaging van de maatgevende hoogwaterstand met 10-20 cm op. Het inzetten van pompen op de Brouwersdam heeft alleen meerwaarde bij snelle klimaatverandering en levert dan circa 10 cm extra waterstanddaling op. Dat geldt ook voor waterberging in combinatie met een kleinere faalkans van de Maeslantkering. Bij vervanging van de Maeslantkering door een dam met zeesluizen wordt de faalkans praktisch nul. De verlaging van de maatgevende waterstand bedraagt dan 20-40 cm afhankelijk van de locatie en het klimaatscenario. Het wijzigen van de rivierafvoer over de Rijntakken heeft geen invloed op de effectiviteit van waterberging Grevelingen. Tabel 6.2 geeft een overzicht van de verlaging van de maatgevende waterstand per onderzochte variant van waterberging.
- Als wordt gerekend met een stormopzetduur van 35 uur in plaats van 29 uur stijgen de maatgevende hoogwaterstanden in het Haringvliet, Hollandsch Diep en het oostelijke deel van de Oude Maas met 5 tot 15 cm, afhankelijk van de klimaatontwikkeling. Waterberging in de Grevelingen zou de effecten van een langere stormopzetduur al op korte termijn kunnen compenseren.
- Als aangenomen wordt dat de Maeslantkering bij een mislukte sluiting toch gedeeltelijk kan functioneren (partieel functioneren), is de verwachting dat het effect van waterberging op de MHW's zal toenemen.

Mogelijke besparingen op dijkversterkingen

- Met waterberging is een besparing op dijkinvesteringkosten in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden te bereiken. De besparing tot 2100 bedraagt 35-45 miljoen euro bij matige klimaatverandering en 100-115 miljoen euro bij snelle klimaatverandering.
- Het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering lost zonder waterberging al een deel van de opgave op. Daardoor levert waterberging met matige klimaatverandering minder besparingen op in 2050: 25 miljoen euro. Bij snelle klimaatverandering loopt de besparing in 2100 op tot 185-235 miljoen euro. De besparingen van waterberging in combinatie met een gewijzigde afvoerverdeling zijn niet berekend, omdat het effect van de gewijzigde afvoerverdeling op zichzelf niet bekend was. Tabel 7.1 geeft een overzicht van de besparing op dijkinvesteringen.
- Besparing op het nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma (nHWBP) is naar verwachting pas significant als het effect van waterberging ten minste circa 30 cm bedraagt. Waterberging kan in dat geval dijkversterkingen over een lengte van 2,2 kilometer uitsparen. Deze conclusie is gebaseerd op de Groslijst

dijkversterkingsprojecten nHWBP en de daarin genoemde faalmechanismen van afgekeurde dijktrajecten (d.d. 17 september 2012).

Aanlegkosten van waterberging

- De totale investeringskosten voor waterberging bedragen circa 230 miljoen euro (bandbreedte $\pm 50\%$). De totale kosten voor het beheer en onderhoud zijn ongeveer 2 miljoen euro per jaar. De berekende kosten omvatten:
 - de aanleg van doorlaatmiddelen in de Volkerakdam en de Grevelingendam;
 - het aanpassen van de turbines van een eventuele getijcentrale met een pompfunctie;
 - aanpassingen van dijken rond de Grevelingen;
 - het omkaden van buitendijkse gebieden;
 - aanpassingen aan jachthavens.

Niet inbegrepen zijn de kosten voor het compenseren van gevolgen voor de regionale waterhuishouding en natuur en de eventuele schade in de Grevelingen bij inzet van het waterbergingsgebied. Ook de aanleg van een getijcentrale op de Brouwersdam en het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering zijn niet in de kosten opgenomen.
- Door te kiezen voor een zout Volkerak-Zoommeer, getij op de Grevelingen en een vierde scheepvaartkolk bij de Volkeraksluizen halveren de totale investeringskosten voor waterberging Grevelingen tot ongeveer 125 miljoen euro.

Vergelijking van kosten

Met dit onderzoek is het mogelijk de (nominale) investeringskosten voor waterberging in de Grevelingen te vergelijken met te besparen (nominale) kosten op dijkinvesteringen. Bij weinig klimaatverandering blijken de kosten voor waterberging aanzienlijk hoger dan de besparingen op dijkversterkingen. Bij snelle klimaatverandering zijn de investeringskosten ongeveer twee keer zo hoog als de bespaarde kosten. Door te kiezen voor een zout Volkerak-Zoommeer, getij op de Grevelingen en een vierde scheepvaartkolk bij de Volkeraksluizen zijn de investeringskosten van waterberging lager. Dan vallen de kosten en kostenbesparing bij snelle klimaatverandering tot en met einde van deze eeuw ongeveer gelijk uit. Deze investeringen maken bovendien een getijcentrale op de Brouwersdam kansrijk, die op zijn beurt de effectiviteit van waterberging kan vergroten door de inzet van pompen.

Bij deze conclusie gelden kanttekeningen: 1) de berekende kosten hebben een aanzienlijke bandbreedte (investeringskosten $\pm 50\%$, dijkinvesteringskosten -25% en $+40\%$), 2) de besparingen weerspiegelen alleen het effect van waterberging op de benodigde dijkhoogte (besparingen door een gunstig effect op de dijksterkte zijn niet onderzocht) en 3) in het onderzoek is gerekend met de gemiddelde dijkhoogte van trajecten van circa vier kilometer, waardoor besparingen op lagere dijkvakken buiten beeld blijven (onder meer de Voorstraat in Dordrecht).

Het is niet evenwichtig de aanlegkosten van waterberging alleen te vergelijken met besparingen op dijkversterkingen. Waterberging kan mogelijk meer bijdragen aan waterveiligheid opleveren dan in deze studie zijn onderzocht. Zo is de overstromingskans met waterberging te verkleinen in een groot geografisch gebied. Ook wordt het waterveiligheidssysteem robuuster met waterberging. De veiligheid is hiermee te vergroten in situaties waar de modellen geen rekening houden, zoals een langere stormduur of een hogere rivierafvoer. De bijdrage van waterberging aan de overstromingskans en robuustheid is niet onderzocht. Met het oog op de discussie over beschermingsniveaus in het Deltaprogramma is het aan te bevelen deze bijdragen verder te onderzoeken. Daarnaast

vereist een goede afweging inzicht in baten van waterberging voor andere functies. Het rapport Uitvoeringsstrategie Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en zoetwater in de Zuidwestelijke Delta geeft daar informatie over (Van Rhee, 2012).

Overige effecten van waterberging

- **Buitendijkse schade Dordrecht**
Bij gematigde klimaatverandering vermindert waterberging Grevelingen het buitendijkse schaderisico niet. Bij het snelle klimaatscenario neemt de frequentie van de inzet van waterberging toe tot eens per 20 jaar. Waterberging kan in die situaties het buitendijkse schaderisico bij Dordrecht wel verminderen. Er is op dit moment geen betrouwbaar instrument om kwantitatieve uitspraken te doen over de schadereductie in euro's.
- **Robuustheid**
Waterberging leidt niet alleen tot MHW-daling en besparing op dijkversterkingskosten, maar ook tot een robuuster watersysteem. Waterberging zorgt er namelijk voor dat hoge waterstanden minder vaak optreden en daarmee wordt de kans op een overstroming ook kleiner. En als het fout gaat veroorzaken lagere waterstanden ook geringere schade.
- **Gevolgen voor regionale waterhuishouding**
Bij inzet van het waterbergingsgebied Grevelingen is extra pompcapaciteit nodig om het regionale water van Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee af te kunnen voeren naar de Grevelingen. Daarnaast zijn maatregelen nodig om de effecten van opstuwing op Mark en Dintel op te vangen: versterking van de regionale keringen langs de Mark en Vliet en de inzet van mobiele pompen bij gemalen en beken die tijdelijk niet op deze rivieren kunnen lozen. Deze maatregelen zijn ook nodig als alleen het Volkerak-Zoommeer waterbergingsgebied wordt. Door ook de Grevelingen in te zetten als waterberging, loopt de waterstand in het Volkerak-Zoommeer minder hoog op. Bij waterberging met inzet van pompen (varianten 2 t/m 4) is het verschil aanzienlijk. Bij waterberging in Volkerak-Zoommeer en Grevelingen zijn altijd hogere dijken of andere maatregelen langs de regionale rivieren nodig, maar bij de varianten met pompen op de Brouwersdam op minder plaatsen of minder ingrijpend dan met alleen waterberging op het Volkerak-Zoommeer.

10.2 Aanbevelingen

Deze studie heeft een aantal inzichten opgeleverd die bij eventueel vervolgonderzoek aandacht verdienen:

- In deze studie zijn de kosten van waterberging en de mogelijke besparingen op kosten voor dijkversterkingen onderzocht. Waterberging levert vermoedelijk ook een positieve bijdrage aan het overstromingsrisico en de robuustheid van het watersysteem. Ook kan waterberging baten voor andere functies in het gebied hebben. Een goede kosten-batenafweging vraagt ook inzicht in deze bijdragen en baten.
- Vervolgonderzoek kan inzicht geven in de mate waarin dijkversterkingen zijn uit te stellen door inzet van waterberging. Daarvoor is het nodig meer in detail te bepalen welke dijktrajecten op welk moment te laag zijn.
- De bijdrage van waterberging Grevelingen aan de eventuele aanscherping van de beschermingsniveaus is in deze studie niet onderzocht. Een onderzoek naar deze bijdrage kan relevant zijn voor het eiland van Dordrecht en de Alblasserwaard, die beide

door het Deltaprogramma Veiligheid als 'aandachtsgebied' voor de normering zijn gekenmerkt.

- De besparing op buitendijkse schade is zeer onzeker. Op dit moment werkt Deltares aan een verbeteringslag om de onzekerheid te verkleinen. Het is aan te bevelen bij een vervolgfase deze analyse opnieuw uitvoeren met het nieuwe instrumentarium.
- Voor de inlaat van water naar het Volkerak-Zoommeer is in deze studie uitgegaan van het vergroten van de Volkeraksluizen. Mogelijk is een doorlaat in de Hellegatsdam een goed alternatief.
- Bij verdere uitwerking van waterberging Grevelingen is het aan te bevelen nader te analyseren op welke hoogte de golfklap- en golfoploopzones liggen bij een peilopzet tot maximaal NAP +2 m. Ook de geotechnische stabiliteit van de waterkeringen vraagt nader onderzoek. Hiermee is het mogelijk de aannamen te toetsen die ten grondslag liggen aan de raming van de aanlegkosten van waterberging.

11 Referenties

- Botterhuis T. en N. Slootjes, 2011. *Analyse effect stormopzetduur*. HKV-memorandum 1996.16, 7 juni 2011.
- Botterhuis, T., 2013. *Nader onderzoek Extra waterberging Zuidwestelijke Delta. Resultaten MHW- en kruinhoogteberekeningen*. HKV-rapport 2450.10, januari 2013.
- De Bruijn K.M., J. Kind, K. Slager, R. van Buren, M. van der Doef, M., 2012. *Verbeteringen van de gevolgenbepaling van overstromingen buitendijks in de regio Rijnmond-Drechtsteden*. DP Rijnmond-Drechtsteden. Deltares-rapport 1206053-000.
- De Grave, P & G. Baarse, 2011. *Kosten van maatregelen. Informatie ten behoeve van het project. Waterveiligheid 21e eeuw*. Deltares-rapport 1204144-003-ZWS-0001, 2011.
- Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, 2012. *Deltaprogramma 2013. Probleemanalyse Rijnmond-Drechtsteden*. September 2012.
- Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta, 2012. *Ambities verzilveren in Grevelingen en Volkerak-Zoommeer. Rijksstructuurvisie en Programma Gebiedsontwikkeling*. Brochure. November 2012.
- De Waal, J. P., 2007. *Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren, Thermometerrandvoorwaarden 2006*. J.P. de Waal, Rijkswaterstaat 2007, ISBN 978-90-369-1402-4.
- Douben, D. & J. Maijers, 2012. *Waterberging Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer; binnendijkse effecten West-Brabant*. Waterschap Brabantse Delta, Breda. November 2012.
- Geerse, C.P.M., 2010. *Overzichtdocument probabilistische modellen zoete wateren. Hydra-VIJ, Hydra-B en Hydra-Zoet*. Met medewerking van R. Slomp en H. Berger (RWS Waterdienst). HKV-rapport 1391.10, juli 2010.
- Kallen M., T. Botterhuis, M. Kok, 2012. *Onderzoek naar verbetering van de veiligheid die de Maeslantkering biedt*. HKV-rapport 2274.10.
- RWS, 2010. *Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta. Hoofdrapport*. Uitgevoerd door: N. Slootjes (HKV), 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). Juni 2010. Rijksoverheid – Rijkswaterstaat.
- Slootjes N., T. Botterhuis, A. Jeuken, Q. Gao, 2011. *Resultaten MHW berekeningen t.b.v. probleemanalyse en verkenning hoekpunten. Voor het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden*. Projectnummer 1202134-016. HKV/Deltares, Delft.
- Van Rhee, G., 2012. *Uitvoeringsstrategie Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en zoetwater in de Zuidwestelijke Delta. Optimale strategie door toepassing van Adaptief Deltamanagement*. Stratelligence-rapport, 6 juli 2012
- Van der Kraan, A., 2012. *Inventarisatie situatie primaire waterkeringen Deltadeelprogramma Rijnmond Drechtsteden*. Van der Kraan Waterstaatkundig & cartografisch Adviesbureau, 2012.

- Van Kruchten, Y., W. Mathijssen, G. Filé, 2012. *Extra Waterberging Zuidwestelijke Delta. Kostenraming*. DHV Dossier: BA9850, registratienummer: LW-AF20120762/RK; Definitief versie: 3.0, 9 mei 2012.
- Voorschrift Toetsen op Veiligheid, 2007. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid. Primaire Waterkeringen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Augustus 2007.
- Wagenaar, D., 2012. *Invloed van de waterdiepte op overstroomingsschade buitendijks in de regio Dordrecht*. Deltares-memo 1207303-003-VEB-0001.
- Witter, V., 2012. *Effecten van waterberging Grevelingen op regionale watersystemen*. Memo 27 juni 2012. Waterschap Brabantse Delta.

A MHW-effecten per variant

A.1 Waterberging Grevelingen

Met de variant 'waterberging' stroomt bij maatgevende omstandigheden water van het Hollandsch Diep via doorlaatmiddelen in de Volkeraksluizen en de Grevelingendam naar de Grevelingen. Volkerak-Zoommeer en Grevelingen vullen zich tegelijkertijd met water.

Kenmerken van variant 1

- Volkerakdam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Grevelingen-dam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Brouwersdam: geen doorlaatmiddel
- Nieuwe Waterweg: huidige stormvloedkering (faalkans 1/100)
- Afvoerverdeling: huidige verdeling

Tabel A.1 geeft in de kolom 2 t/m 4 de MHW's voor de referentie variant en in de laatste twee kolommen de MHW's voor de variant 'Waterberging Grevelingen'.

Locatie	MHW referentie 2015 [m+NAP]	MHW referentie [m+NAP]		MHW Waterberging Grevelingen [m+NAP]	
		KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
		Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,9	4,3
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	3,0	3,4
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,7	3,1
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,6	3,1

Tabel A.1 MHW bij de Referentievariant en bij de variant 'Waterberging Grevelingen' voor twee klimaatscenario's

A.2 Waterberging Grevelingen en gemaal op de Brouwersdam

In de vorige variant stroomt het bergingswater terug naar het Hollandsch Diep zodra het peil daarvan weer voldoende laag is. Bij deze variant is dat niet het geval, maar wordt het bergingswater vanuit de Grevelingen via de pompen van een mogelijk toekomstige getijdecentrale afgevoerd. Gebruik maken van een getijdecentrale in de Brouwersdam leidt niet tot extra kosten boven de investeringen die in de getijdecentrale zelf moeten worden gedaan. De gemaalfunctie van de centrale is 'standaard' in staat tot een opvoerhoogte van 2 meter.

Kenmerken van variant 2

- Volkerakdam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Grevelingen-dam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Brouwersdam: pomp met 2 m opvoerhoogte
- Nieuwe Waterweg: huidige stormvloedkering (faalkans 1/100)
- Afvoerverdeling: huidige verdeling

De pompfunctie van de getijcentrale zorgt bij het W2050/G2100 klimaatscenario niet voor meer MHW-daling ten opzichte van de variant zonder pomp. In het snelle klimaatscenario in 2100 is de MHW daling door de pomp 10 cm meer dan zonder pomp. Het positieve effect van pomp komt vrijwel volledig doordat het met de pomp mogelijk om de waterstand in de Grevelingen vooraf aan de berging te verlagen tot NAP -1 m. Hiervoor is ook met een pomp met een kleine opvoerhoogte effectief.

Locatie	MHW referentie 2015 [m+NAP]	MHW referentievariant [m+NAP]		MHW Waterberging + pompen Brouwersdam [m+NAP]	
		KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
		Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,9	4,3
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	3,0	3,3
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,7	3,0
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,6	3,0

Tabel A.2 MHW bij de Referentievariant en bij de variant 'Waterberging Grevelingen met pompen' voor twee klimaatscenario's

A.3 Waterberging Grevelingen, pompen en kleinere faalkans

A.3.1 Faalkans Maeslantkering 1/1000

In dit geval vindt waterberging plaats zoals in de tweede variant. Daarnaast neemt de aangenomen faalkans van de Maeslantkering af met een factor 10 (van 1/100 tot 1/1000).

Kenmerken van variant 3a

- Volkerakdam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Grevelingen-dam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Brouwersdam: pomp met 2 m opvoerhoogte
- Nieuwe Waterweg: stormvloedkering faalkans 1/1000
- Afvoerverdeling: huidige verdeling

In de tabel is naast de referentievariant met faalkans van de Maeslantkering 1/100, ter vergelijking ook de variant opgenomen met gewijzigde faalkans zonder waterberging Grevelingen. Zo kan onderscheid worden gemaakt tussen het effect van de systeemwijziging en het effect van waterberging.

Het aanpassen van de faalkans zorgt voor ongeveer een halve meter MHW-daling bij Rotterdam. Dit betekent dat in het scenario met gematigde klimaatverandering de MHW onder de referentie van 2015 blijft. Waterberging heeft ook in deze situatie geen effect bij Rotterdam. Ook bij faalkans 1/1000 is blijft de zee-invloed dominant.

In het zuidelijke deel van de regio Rijnmond-Drechtsteden leidt het verkleinen van de faalkans van de Maeslantkering bij Dordrecht en Hellevoetsluis in het snelle klimaatscenario tot 10 cm meer MHW-daling.

Locatie	MHW referentie 2015 [m+NAP]	MHW referentie [m+NAP]		MHW Maeslantkering 1/1000 [m+NAP]		MHW Waterberging + pompen + faalkans Maeslantkering 1/10000 [m+NAP]	
		KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
		Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,8	3,5	3,8
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	3,1	3,4	3,0	3,2
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,9	3,3	2,7	3,0
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,7	3,2	2,5	2,9

Tabel A.3 MHW bij de Referentievariant, Variant 'Verkleinde faalkans Maeslantkering (1/1000)' en variant 'Waterberging Grevelingen met pompen en verkleinde faalkans Maeslantkering (1/1000)' voor twee klimaatscenario's.

A.3.2 Zeesluizen Nieuwe Waterweg

In dit geval vindt waterberging plaats zoals in de tweede variant. Daarnaast is aangenomen dat de Maeslantkering is vervangen wordt door een dam in de Nieuwe Waterweg, met sluisen voor de scheepvaart. De aangenomen faalkans van deze sluisen is 0.

Kenmerken van variant 3b

- Volkerakdam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Grevelingen-dam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Brouwersdam: pomp met 2 m opvoerhoogte
- Nieuwe Waterweg: dam met zeesluizen
- Afvoerverdeling: huidige verdeling

In de tabel is naast de referentievariant met faalkans van de Maeslantkering 1/100, ter vergelijking ook de variant opgenomen met zeesluizen in de Nieuwe Waterweg zonder waterberging Grevelingen. Die maatregel zorgt op zichzelf al voor een flinke daling van de maatgevende hoogwaterstand: 80-90 cm bij Rotterdam en komt daarmee ook in het snelle klimaatscenario nog onder de referentie van 2015. Waterberging heeft in combinatie met de zeesluizen ook effect bij Rotterdam. Dit komt omdat door de aangenomen faalkans van 0, de zee-invoel niet meer van belang is. In combinatie met waterberging wordt de MHW bij Rotterdam nog eens 20-30 cm verlaagd. De vraag is in hoeverre dit nog noodzakelijk is, omdat de MHW ook zonder waterberging onder de referentie 2015 ligt. Als waterberging wordt gecombineerd met zeesluizen is het MHW-effect van waterberging in het zuidelijk deel van Rijnmond-Drechtsteden ongeveer 10 cm meer dan in combinatie met verkleinde faalkans van de Maeslantkering.

Locatie	MHW referentie 2015 [m+NAP]	MHW referentie [m+NAP]		MHW Zeesluizen Nieuwe Waterweg [m+NAP]		MHW Waterberging + pompen + zeesluizen Nieuwe Waterweg [m+NAP]	
		KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
		Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,0	3,5	2,8	3,2
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	3,0	3,4	2,8	3,1
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,8	3,3	2,6	2,9
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,6	3,1	2,4	2,8

Tabel A.4 MHW bij de Referentievariant, Variant 'Zeesluizen Nieuwe Waterweg' en variant 'Waterberging Grevelingen met pompen en zeesluizen Nieuwe Waterweg' voor twee klimaatscenario's.

A.4 Waterberging Grevelingen, pompen en kleinere faalkans en gewijzigde afvoerverdeling

Deze variant betreft een gewijzigde afvoerverdeling van het rivierwater over de Rijntakken, in dit geval een lagere afvoer via Nederrijn-Lek die wordt gecompenseerd door een hogere afvoer via Waal-Merwede.

Kenmerken van variant 3b

- Volkerakdam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Grevelingen-dam: doorstroomoppervlak 1350 m²
- Brouwersdam: pomp met 2 m opvoerhoogte
- Nieuwe Waterweg: dam met zeesluizen
- Afvoerverdeling: gewijzigde afvoerverdeling

Waterberging Grevelingen is qua mate van MHW-daling onafhankelijk van de afvoerverdeling over de Rijntakken. In beide situaties is de MHW-daling van waterberging 20-30 cm bij Rotterdam en Dordrecht en 30-40 cm op het Hollandsch Diep en Haringvliet.

Locatie	MHW referentie 2015 [m+NAP]	MHW Zeesluizen Nieuwe Waterweg [m+NAP]		MHW Zeesluizen Nieuwe Waterweg + gewijzigde afvoerverdeling [m+NAP]		MHW Waterberging + pompen + zeesluizen + gewijzigde afvoerverdeling [m+NAP]	
		KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100	KNMI W2050 of G2100	KNMI W2100
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
		Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 17.000 m ³ /s	Q _{rijn} : 18.000 m ³ /s
Rotterdam	3,6	3,0	3,5	2,9*	3,4*	2,7	3,1
Dordrecht	2,9	3,0	3,4	2,9*	3,3*	2,7	3,0
Moerdijk	2,6	2,8	3,3	2,8*	3,3*	2,6	2,9
Hellevoetsluis	2,5	2,6	3,1	2,6*	3,1*	2,4	2,7

* Deze getallen zijn niet berekend, maar afgeleid uit het verschil tussen de variant Zeesluizen en waterberging Grevelingen met en zonder gewijzigde afvoerverdeling. Hieruit is het effect van de gewijzigde afvoerverdeling gedestilleerd en opgeteld bij de variant Zeesluizen zonder waterberging.

Tabel A.5 MHW bij de Referentievariant, Variant 'Zeesluizen Nieuwe Waterweg+ gewijzigde afvoerverdeling' en variant 'Waterberging Grevelingen met pompen, zeesluizen Nieuwe Waterweg en gewijzigde afvoerverdeling' voor twee klimaatscenario's.

B Dijkinvesteringskosten per variant per dijkkring

B.1 Waterberging Grevelingen

Dijkkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	20	20	115
DIJKRING 15	50	365	440
DIJKRING 16	345	625	820
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	25
DIJKRING 20	15	25	30
DIJKRING 21	0	0	5
DIJKRING 22	0	0	0
DIJKRING 24	110	175	240
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	0	20
DIJKRING 35	0	0	15
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	225	240	305
DIJKRING 40	15	15	15
DIJKRING 41	100	105	130
DIJKRING 43	445	485	550
Totaal	1325	2055	2710

B.2 Waterberging Grevelingen + pompen

Dijkkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	20	20	115
DIJKRING 15	50	365	440
DIJKRING 16	345	620	815
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	25
DIJKRING 20	15	20	30
DIJKRING 21	0	0	0
DIJKRING 22	0	0	0

DIJKRING 24	110	175	235
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	0	20
DIJKRING 35	0	0	15
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	225	240	305
DIJKRING 40	15	15	15
DIJKRING 41	100	105	130
DIJKRING 43	445	485	550
Totaal	1325	2045	2695

B.3 Systemingreep: verkleinen faalkans Maeslantkering

B.3.1 Faalkans Maeslantkering 1/1000 zonder waterberging

Dijkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	20	20	50
DIJKRING 15	50	365	440
DIJKRING 16	345	625	825
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	25
DIJKRING 20	15	25	30
DIJKRING 21	0	0	25
DIJKRING 22	0	0	0
DIJKRING 24	130	185	250
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	20	55
DIJKRING 35	0	0	15
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	225	240	305
DIJKRING 40	15	15	15
DIJKRING 41	100	105	130
DIJKRING 43	445	485	555
Totaal	1345	2085	2720

B.3.2 Waterberging Grevelingen + pompen + faalkans Maeslantkering 1/1000^e

Dijkkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	20	20	50
DIJKRING 15	50	365	440
DIJKRING 16	340	615	755
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	25
DIJKRING 20	15	20	30
DIJKRING 21	0	0	0
DIJKRING 22	0	0	0
DIJKRING 24	110	175	235
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	0	0
DIJKRING 35	0	0	0
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	225	240	305
DIJKRING 40	15	15	15
DIJKRING 41	100	105	130
DIJKRING 43	445	485	550
Totaal	1320	2040	2535

B.3.3 Dam met zeesluizen zonder waterberging

Dijkkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	5	5	40
DIJKRING 15	0	105	310
DIJKRING 16	240	500	755
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	0
DIJKRING 20	5	5	35
DIJKRING 21	0	0	5
DIJKRING 22	0	0	0
DIJKRING 24	110	180	245
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	0	20

DIJKRING 35	0	0	15
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	225	240	305
DIJKRING 40	15	15	15
DIJKRING 41	100	105	130
DIJKRING 43	445	485	555
Totaal	1145	1640	2430

B.3.4 Waterberging Grevelingen + pompen + dam Nieuwe Waterweg met zeesluizen

Dijkkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	5	5	35
DIJKRING 15	0	105	260
DIJKRING 16	170	485	640
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	0
DIJKRING 20	5	5	35
DIJKRING 21	0	0	0
DIJKRING 22	0	0	0
DIJKRING 24	110	170	225
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	0	0
DIJKRING 35	0	0	0
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	225	240	305
DIJKRING 40	15	15	15
DIJKRING 41	100	105	130
DIJKRING 43	445	470	550
Totaal	1075	1600	2195

B.4 Systeemingreep: gewijzigde afvoerverdeling**B.4.1 Waterberging Grevelingen + pompen + dam Nieuwe Waterweg + gewijzigde afvoerverdeling**

Dijkkring	Dijkinvesteringskosten (miljoen euro)		
	W2050	G2100	W2100
DIJKRING 14	5	5	35
DIJKRING 15	0	0	145
DIJKRING 16	405	575	645
DIJKRING 17	0	0	0
DIJKRING 18	0	0	0
DIJKRING 19	0	0	0
DIJKRING 20	5	5	35
DIJKRING 21	0	0	0
DIJKRING 22	0	0	0
DIJKRING 24	270	315	365
DIJKRING 25	0	0	0
DIJKRING 34	0	0	0
DIJKRING 35	0	15	20
DIJKRING 36	0	0	0
DIJKRING 38	380	400	435
DIJKRING 40	20	20	20
DIJKRING 41	170	180	195
DIJKRING 43	625	655	715
Totaal	1880	2170	2610

C Analyse waterberging op faalmechanismen

Bron: G. Hoffmans (Deltares)

C.1 Golfoverslag

Voor (Nederlandse) dijken is onderzoek verricht naar golfoverslag en samengevat in het Technisch Rapport "Golfoploop en golfoverslag bij dijken". Dit Technisch Rapport is in Nederland vigerend om golfoverslag in zowel toets- als ontwerpomstandigheden te berekenen.

Golfoverslag vindt plaats wanneer onder extreme omstandigheden de waterstand erg hoog is en de hoogste golven de kruin van de dijk bereiken en over de kruin naar het binnentalud lopen. De eenvoudigste beschrijving van golfoverslag is het overslagdebiet. Dit is de hoeveelheid water per strekkende meter breedte die, gemiddeld per seconde overslaat. Het is een gemiddelde over bijvoorbeeld een uur of over de piek van de storm. Waarden die bij ontwerp en toetsing van dijken een rol spelen en hebben gespeeld, zijn 0,1, 1 en 10 l/s per m.

Vroeger werd ontworpen op 2% overslaande golven. Voor kleine golfhoogten, zoals op rivieren, kwam dit vrijwel overeen met 0,1 l/s per m golfoverslag. Voor grotere golven, zoals bij zee- en meerdijken, kwam dit meer overeen met 1 l/s per golfoverslag. In alle gevallen betekent het dat er maar erg weinig water over de dijk komt en dat is ook precies wat de Delta-commissie na 1953 beoogde.

Hoewel het gemiddeld overslagdebiet een eenvoudige maat is, beschrijft het de golfoverslag niet in detail. Ten eerste vindt de werkelijke overslag alleen plaats als een golf de kruin van de dijk bereikt en alleen de hoogste golven bereiken de kruin. Werkelijke golfoverslag vindt dan ook onregelmatig in de tijd plaats en elke keer komt er een zeker volume in een golf over de dijk. Ook deze overslaande volumes zijn verschillend in grootte. Daarnaast maakt het veel uit of golfoverslag plaatsvindt bij een grote golfhoogte voor de dijk of bij een kleine golfhoogte. Bij eenzelfde gemiddeld overslagdebiet geven kleine golven veel meer overslaande golven en zijn de overslaande volumes kleiner dan bij grote golven, waar minder golven over de dijk slaan, maar het volume in de golf veel groter is.

Elke dijk in Nederland kent zijn eigen toets- of ontwerpomstandigheden. Voor deze analyse is gekozen voor drie hydraulische belastingregimes, die vrijwel het hele bereik dekken van golfhoogten bij toetsen. Dit zijn golfhoogten van 1 m, 2 m en 3 m. Bij alle gevallen wordt uitgegaan van een golfsteilheid van 0,04, een buitentalud van 1V:4H en een duur per gemiddeld overslagdebiet van 6 uur. Tabel 1 geeft de piek en gemiddelde periode voor elke golfconditie, met daarnaast het aantal inkomende golven en het 2%-golfoplooppniveau.

Steilheid buitentalud is 1V:4H; Tijdsduur is 6 uur

	Golfhoogte		
	1 m	2 m	3 m
Piekperiode (s)	4,0	5,7	6,9
Gemiddelde periode (s)	3,3	4,7	5,8
Aantal golven (-)	6545	4596	3724
2% golfoploop (m)	1,99	3,98	5,94

Tabel C.1 Golfcondities bij drie golfhoogten (Bron TR Grasbekledingen bij dijken, 2012)

Tabel C.1 geeft voor elke golfhoogte en elk gemiddeld overslagdebiet van 0,1 tot en met 75 l/s per m de benodigde vrije kruinhoogte, het percentage overslaande golven, het aantal overslaande golven en het maximum volume van de grootste overslaande golf. Uit deze tabel volgt duidelijk dat er bij een golfhoogte van 1 m veel meer golven over de dijk zullen slaan dan bij een golfhoogte van 3 m (bij hetzelfde gemiddeld overslagdebiet) en dat het maximale volume van de grootste overslaande golf veel kleiner is.

Voorbeeld 1

Aannemende dat de golfhoogte gelijk is aan 1 m (zie ook voorbeeld 2 hieronder), dit is een gemiddelde waarde voor de regio Drechtsteden, en aannemende dat de getoetste dijkvakken zijn afgekeurd op een overslagdebiet van 10 l/s per m dan geeft een waterstandsverlaging van ongeveer een halve meter een overslagdebiet van 1 l/s per m (zie Tabel 2). Dit zou betekenen dat vele afgekeurde dijken, qua hoogte, net aan de norm (VTV-2006) zouden kunnen voldoen.

Voorbeeld 2

Aannemende dat de golfhoogte gelijk is aan 2 m, dit is een bovengrens, en aannemende dat de getoetste dijkvakken zijn afgekeurd op een overslagdebiet van 10 l/s per m dan geeft een waterstandsverlaging van een halve meter een overslagdebiet van 5 l/s per m (zie Tabel 2). Dit zou betekenen dat nagenoeg alle afgekeurde dijken conform WTI-2011 (Wettelijk Toetsinstrumentarium is officieel nog niet beschikbaar) aan de norm zouden kunnen voldoen.

Uit beide voorbeelden volgt, dat een waterstandsverlaging van 0,5 m een significant effect heeft op de hoogtetoets.

C.2 Macro-instabiliteit binnentalud

Met macrostabiliteit wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam bedoeld. Dit afschuiven gebeurt langs rechte en gebogen glijvlakken dan wel door plastische zones, waarin door overbelasting geen krachterevenwicht meer aanwezig is. Voor de stabiliteit van het binnentalud is of de situatie bij maatgevend hoogwater of de situatie bij extreme neerslag bepalend.

Golf- hoogte		Gemiddelde golfoverslagdebiet						
		0,1	1	5	10	30	50	75
1 m	Vrije kruinhoogte (m)	2,24	1,63	1,2	1,02	0,73	0,6	0,49
	Overslaande golven (%)	0,7	7,2	24	35,7	59	70	78,8
	Aantal overslaande golven (-)	45	471	1573	2336	3861	4583	5160
	Grootste overslaande volume (t)	256	440	831	1197	2359	3401	4617
2 m	Vrije kruinhoogte (m)	5,06	3,84	2,98	2,61	2,03	1,76	1,54
	Overslaande golven (%)	0,2	2,7	11,4	18,9	36,6	47	56
	Aantal overslaande golven (-)	9	126	525	867	1683	2160	2574
	Grootste overslaande volume (t)	769	1222	2018	2697	4707	6387	8278
3 m	Vrije kruinhoogte (m)	7,98	6,16	4,89	4,35	3,48	3,08	2,76
	Overslaande golven (%)	0,085	1,49	7,05	12,3	26,1	34,9	43
	Aantal overslaande golven (-)	3	55	262	456	972	1300	1600
	Grootste overslaande volume (t)	1424	2254	3478	4509	7375	9709	12263

Tabel C.2 Overslaggegevens bij verschillende golfhoogten (Bron TR Grasbekledingen bij dijken, 2012)

Bij het beschouwen van de macrostabiliteit van het binnentalud tijdens de situatie van maatgevend hoogwater wordt onderscheid gemaakt tussen het geval dat afdekkende klei- en veenlagen op een ondergrond door hoge potentialen in het watervoerende pakket al dan niet worden opgedrukt.

De waterstandsverlaging heeft effect op de waterspanningen. Verlaging van de waterstand kan leiden tot een vermindering van de waterspanningen in de watervoerende zandlagen onder de rivier, onder de dijken en achter de dijken in de aangrenzende polders. Indien de waterspanning een kritische waarde overschrijdt dan kan dit leiden tot stabiliteitsverlies.

De stabiliteitstoename van de dijk is afhankelijk van de grootte van de afname van de waterspanning in enerzijds het pleistocene zand en anderzijds in het slappe holocene pakket onder en achter de dijk. Als gevolg van de verlaagde waterspanning in de watervoerende lagen zal ook de kwel naar de polders afnemen.

Omdat de ondergrond in de regio Drechtsteden vele variaties kent, kan alleen een kwalitatieve inschatting worden gemaakt tussen waterstandsverlaging en macrostabiliteit binnentalud, i.e., waterstandsverlaging geeft een stabiliteitstoename. Voor het kwantificeren van deze relatie is meer onderzoek nodig.

C.3 Piping en heave

Stabiliteitsverlies door piping kan ontstaan, wanneer teveel gronddeeltjes uit de onderliggende grondlagen worden meegevoerd door een kwelstroom bij (langdurige) hoge waterstanden. Verschillende fasen bij het ontstaan van piping zijn toegelicht in het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen. Het optreden van deze interne erosie is aan de binnenzijde van de dijk zichtbaar doordat in sloten of op het maaiveld met het opwellende kwelwater zand wordt meegevoerd.

Onder heave wordt het ontstaan van drijfzand bij verticaal uittredend grondwater verstaan. Heave kan optreden in situaties waarbij een geconcentreerde verticale kwelstroming optreedt, bijvoorbeeld achter een kwelscherm aan de binnenzijde van de waterkering.

Aannemende dat het verval onder Toetscondities gelijk is aan 3 m (Toetspeil Dordrecht is ongeveer 3m+NAP en polderpeil is ongeveer NAP) dan geeft een waterstandsverlaging van 0,5 m en toepassing van de Bligh rekenregel een reductie van ongeveer 15% op de benodigde kwelweglengte ofwel een piping berm van 7,5 m behoeft niet te worden aangelegd bij een vereiste kwelweglengte van 50 m. Dit lijkt interessant vanwege het besparen op grondverzet, echter in een vervolgtraject zou moeten worden nagegaan wat de bandbreedtes zijn van zowel het verval als de vereiste kwelweglengtes. Thans is onduidelijk wat het verschil is tussen de aanwezige en de benodigde kwelweglengte voor de verschillende afgekeurde dijkvakken. Meer onderzoek hierna is wenselijk.

D Factsheets investeringskosten

Bron: M. de Vries (Expertisecentrum Kosten), opgesteld 7 november 2012

Noot: de genoemde bedragen in deze bijlage zijn inclusief 19 % btw. De hoofdtekst vermeldt alleen bedragen zonder btw.

D.1 Kostenraming spuicapaciteit Volkerakdam

Context:

De waterkwaliteit in het zoute Grevelingenmeer (GM) en het zoete Volkerak-Zoommeer (VZM) is onvoldoende a.g.v. te weinig doorstroming. Daarnaast is er mogelijk behoefte om bij hoge rivierwaterstanden water te kunnen bergen en/of af te kunnen afvoeren via de Zuidwestelijke Delta (ZWD). Hiervoor kan het GM worden ingezet¹, mits wordt besloten dat ook het VZM hiervoor eveneens wordt ingezet².

Maatregel:

Het huidige spuicomplex in de Volkerakdam heeft een doorstroomoppervlakte van 570 m² en is min of meer optimaal voor waterberging in het VZM³. Voor een efficiënte waterberging in GM is extra spuicapaciteit nodig in de Volkerakdam. Hiervoor zijn 3 opties:

1. aanpassen van het huidige spuimiddel;
2. geschikt maken van de huidige schutsluizen om te kunnen spuien⁴
3. zowel aanpassen spuimiddel als geschikt maken schutsluizen

Studie/ontwerp:

Optie 1:

Het aanpassen van het huidige spuimiddel vindt plaats d.m.v. het verlagen van de drempels van de 4 huidige spuiokers en het uitbreiden met 3 nieuwe spuiokers. De doorstroomoppervlakte wordt dan met ca. 800 m² vergroot tot ca. 1350 m².

Optie 2:

De huidige schutsluizen (3 beroepsvaartsluizen en 1 jachtensluis) worden geschikt gemaakt om te spuien door in elke sluis een vizierklep in te bouwen. De doorstroomoppervlakte wordt daarmee met 450 m² vergroot. Indien ook een 4^e schutsluis voor de beroepsvaart wordt aangelegd, kan de doorstroomoppervlakte met nog eens 200 m² worden vergroot. De totale doorstroomoppervlakte wordt dan met 650 m² vergroot tot ca. 1200 m².

Optie 3:

Indien zowel optie 1 als optie 2 wordt ingezet, dan wordt de doorstroomoppervlakte met 800 m² + 650 m² vergroot tot ca. 2000 m². Optie 3 wordt niet zinvol geacht omdat een doorstroomoppervlakte van 2000 m² geen significante verlaging van waterstanden geeft t.o.v.

¹ Ook de Oosterschelde kan mogelijk worden ingezet voor berging van rivierwater.

² De maatregel waterberging VZM is voorzien binnen het programma Ruimte voor de Rivier, maar een besluit hierover is nog niet genomen.

³ De doorstroomoppervlakte is bepaald t.o.v. N.A.P. + 1m. en er is rekening gehouden met contractie.

⁴ Is (i.v.m. stremmingen) waarschijnlijk alleen mogelijk i.c.m. de bouw van een 4^e schutsluis voor de beroepsvaart.

1350 m². Het verschil tussen 1350 m² (optie 1) en 1200 m² (optie 2) is v.w.b. verlaging van waterstanden nihil.

Ref: Hoofdrapport Gevoeligheidsanalyse Waterberging ZWD.pdf, definitief, 22 juni 2010.

Ref: 20120509 Kostenraming wbZWD, definitief v_3.0.pdf van 9 mei 2012.

Kosten:

Vermelde kosten zijn inclusief 19% btw.

In de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen is voor een optie 1 (het aanpassen van het huidige spuicomplex) een bedrag opgenomen van 118 miljoen euro en voor optie 2 (aanpassen schutsluizen) een bedrag van 17 miljoen euro. Prijspeil 2011.

Ref: MKBA Verkenning Grevelingen-eindconcept.pdf van 30 augustus 2011.

Voor een extra schutkolk wordt een bedrag genoemd van 201 miljoen euro. Prijspeil is niet genoemd.

Ref: Hoofdrapport Gevoeligheidsanalyse Waterberging ZWD.pdf, definitief, 22 juni 2010.

In 2012 heeft DHV de kosten nogmaals geraamd en onderbouwd met prijspeil 2012.

Optie 1 (het aanpassen van het huidige spuicomplex) is geraamd op 132 miljoen euro.

Optie 2 (aanpassen schutsluizen) is geraamd op **38** miljoen⁵ euro. Optie 2 is waarschijnlijk alleen mogelijk i.c.m. het bouwen van een 4^e schutkolk. Deze 4^e kolk is geraamd op 112 miljoen euro.

Ref: 20120509 Kostenraming wbZWD, definitief v_3.0.pdf van 9 mei 2012.

Het ECK heeft de kosten voor het aanpassen van het huidige spuicomplex verhoogd van 132 miljoen naar **134** miljoen euro (i.v.m. door DHV foutief ingevoerde breedte van de schuiven). Dit bedrag bestaat uit **24** miljoen voor drempelverlaging en voor **110** miljoen voor extra spuisluizen.

Voor de B&O-kosten hanteert het ECK de volgende percentages:

- voor de drempelverlaging: 0,3% van de aanlegkosten per jaar
- voor de extra spuikokers: 0,9% van de aanlegkosten per jaar
- voor geschikt maken schutsluizen: 1,4% van de aanlegkosten per jaar
- voor de nieuwe schutsluis (4^e kolk): 1,4% van de aanlegkosten per jaar

De netto contante waarde (NCW) is uitgerekend over 100 jaar met een discontovoet van 5,5%. Aldus ontstaat de volgende tabel.

Type maatregel	aanlegkosten	B&O-kosten per jaar	NCW over 100 jaar
Drempelverlaging	24	0,07	1
Extra spuikokers	110	0,99	18
Totaal aanpassen spuicomplex	134		
Aanpassen 3 schutkolken beroepsvaart	25	0,35	6
Aanpassen 1 schutkolk recreatievaart	7	0,10	2
Inpassen 4 ^e kolk t.b.v. spuien	6	0,08	2
Totaal aanpassen schutkolken	38		
Aanleg 4 ^e schutsluis beroepsvaart	112	1,57	28

Bedragen tabel in miljoen euro, incl. 19% btw, prijspeil 2012

⁵ Genoemde 38 miljoen euro is incl. het inpassen van een spuifunctie in de aan te leggen 4^e schutkolk

Verschillen analyse:

Als de aanlegkosten worden vergeleken met de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen kan worden geconcludeerd dat het aanpassen van het huidige spuinmiddeld duurder is geworden (nu 134 miljoen versus 118 miljoen in de MKBA) en het aanpassen van de schutkolken fors duurder (nu 25+7=32 miljoen versus 17 miljoen in de MKBA). Bovendien is het waarschijnlijk dat het aanpassen van de schutkolken alleen mogelijk is i.c.m. de aanleg van de 4^e schutsluis. Dit vanwege beperking van stremmingen bij het sluizencomplex, waar nu al een tekort aan schutcapaciteit is. De 4^e kolk kan gebouwd worden incl. spuifunctie. De meerkosten van aanleg zijn in dat geval 6 miljoen euro, bovenop de 112 miljoen euro voor de schutsluis.

Het verschil in prijspeil is bij deze globale analyse buiten beschouwing gelaten.

Bij het aanpassen van de huidige spuisluizen worden de verschillen veroorzaakt door:

Optie 1a, drempelverlaging: het niet ramen van benodigde aanpassingen van de huidige bodembescherming en benodigde aanpassingen aan de hoogte van de heftorens (nodig vanwege langere schuiven) en te lage kosten voor tijdelijke droogzetting.

Optie 1b, extra spuiokers: de tijdens de MKBA geraamde goedkopere Noord-variant is niet realistisch vanwege ruimtegebrek naast de jachtensluis. Nu is de Zuid-variant geraamd, die duurder is omdat de aarden dam, waarop een snelweg ligt, moet worden omgebouwd naar een brug of doorlaatconstructie.

Optie 2, aanpassen schutkolken: te lage prijs voor vizierklep en te weinig kosten opgenomen voor uitvoering in een bestaande situatie.

Optie 2, nieuwe 4^e schutkolk: het grondwerk was veel te hoog geraamd.

D.2 Kostenraming doorlaatmiddel Grevelingendam**Context:**

De waterkwaliteit in het zoute Grevelingenmeer (GM) en het zoete Volkerak-Zoommeer (VZM) is onvoldoende a.g.v. te weinig doorstroming. Daarnaast is er mogelijk behoefte om bij hoge rivierwaterstanden water te kunnen bergen en/of af te kunnen afvoeren via de Zuidwestelijke Delta (ZWD). Hiervoor kan het GM worden ingezet⁶, mits wordt besloten dat ook het VZM hiervoor eveneens wordt ingezet⁷.

Maatregel:

Voor wateruitwisseling tussen het VZM en het GM is een doorlaatmiddel nodig in de Grevelingendam⁸. De noodzaak voor afsluitbaarheid van het doorlaatmiddel hangt af van de keuze voor een zoet of zout VZM⁹. Optioneel is een doorlaatmiddel met vrije doorvaarhoogte t.b.v. de recreatievaart¹⁰.

⁶ Ook de Oosterschelde kan mogelijk worden ingezet voor berging van rivierwater.

⁷ De maatregel waterberging VZM is voorzien binnen het programma Ruimte voor de Rivier, maar een besluit hierover is nog niet genomen.

⁸ Indien gekozen wordt voor alleen afvoer van rivierwater via het GM (en geen wateruitwisseling tussen het VZM en het GM) kan ook een overlaat een optie zijn, mits waterafvoer via de Brouwersdam dan eveneens mogelijk is.

⁹ De keuze over een zoet of zout VZM wordt pas in een later stadium genomen.

Studie/ontwerp:

Bij een niet-afsluitbaar doorlaatmiddel is in de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen uitgegaan van een open verbinding, bestaande uit een vaste brug met een beweegbare klep¹¹.

Voor de doorstroomopening is 1350 m² aangehouden, met een latere optimalisatie naar 1000 m². Ook is gekeken naar een vaste brug met een doorvaarthoogte van 18 m.

Bij een afsluitbaar doorlaatmiddel is in de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen uitgegaan van een doorlaatmiddel met beweegbare schuiven en een brugdek zonder een beweegbare klep.

Ook hier is voor de doorstroomopening is 1350 m² aangehouden, met een latere optimalisatie naar 1000 m².

Ref: MKBA Verkenning Grevelingen-eindconcept.pdf van 30 augustus 2011.

Kosten:

Vermelde kosten zijn inclusief 19% btw.

In de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen is voor een open verbinding een bedrag opgenomen van 63 miljoen euro voor een open verbinding, 151 miljoen euro voor een afsluitbare verbinding en 125 miljoen euro voor een verbinding met een vrije doorvaarthoogte van 18 m. Prijspeil 2009.

Deze verbindingen zijn gebaseerd op een doorstroomopening van 1350 m².

Bij de gevoeligheidsanalyse is in de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen ook gekeken naar de kosten bij een doorstroomopening van 1000 m². De kosten worden dan 40 miljoen (open), 100 miljoen (afsluitbaar) en 100 miljoen euro (hoge brug)¹²

In 2012 heeft DHV de kosten nogmaals geraamd en onderbouwd met prijspeil 2012.

Ref: 20120509 Kostenraming wbZWD, definitief v_3.0.pdf van 9 mei 2012.

Voor een open verbinding in de vorm van een doorlaatmiddel zónder een beweegbare klep zijn de kosten geraamd op 63 miljoen euro voor een doorstroomopening van 540 m² en 106 miljoen euro voor een doorstroomopening van 1350 m².

De kosten voor een afsluitbare verbinding met brugdek (maar zonder beweegbare klep) zijn geraamd op 94 miljoen euro voor een doorstroomopening van 540 m² en 166 miljoen euro voor een doorstroomopening van 1350 m².

De door DHV geraamde kosten zijn door het ECK beoordeeld en deels gecorrigeerd.

De engineeringskosten zijn procentueel toegekend en veel te hoog. Het ECK heeft de volgende onderbouwing gebruikt. Voor de open doorlaatmiddelen (ongeacht de grootte):

46 weken * 10 fte * 40 uur/week * 100 euro per uur = 1,84 miljoen euro.

Voor de afsluitbare doorlaatmiddelen: 50% extra t.o.v. de open doorlaatmiddelen = 2,76 miljoen euro.

Voor de B&O-kosten hanteert het ECK de volgende percentages:

- voor open doorlaatmiddelen: 0,3% van de aanlegkosten per jaar
- voor afsluitbare doorlaatmiddelen: 0,9% van de aanlegkosten per jaar

¹⁰ Een open doorlaatmiddel met vrije doorvaarthoogte is alleen mogelijk bij een zout VZM.

¹¹ Een beweegbare klep lijkt niet realistisch gezien de hoofdverbindingsweg N59 die over de Grevelingendam loopt. Hier kunnen ongewenste verkeersopstoppen worden verwacht, zoals in het verleden bij Bruinisse speelden.

¹² Kosten uit 2010 en 2011 zijn met prijspeil 2009, onderbouwingen van de kosten zijn niet beschikbaar

De netto contante waarde (NCW) is uitgerekend over 100 jaar met een discontovoet van 5,5%. Aldus ontstaat de volgende tabel.

Type doorlaatmiddel	aanlegkosten ¹³	B&O-kosten per jaar	NCW over 100 jaar
540 m2, open	56	0,17	3
1350 m2, open	92	0,28	5
540 m2, afsluitbaar	83	0,75	14
1350 m2, afsluitbaar	143	1,29	23

Bedragen tabel in miljoen euro, incl. 19% btw, prijspeil 2012

Voor de grootte van het doorlaatmiddel is van belang of naast wateruitwisseling ook waterberging mogelijk moet zijn. In het Eindrapport Deelontwerpstudie PlanMer staat vermeld dat 535 m² nodig is voor wateruitwisseling tussen GM en VZM en dat minimaal 1350 m² nodig is voor waterberging in GM vanuit VZM.

Het ECK heeft de kosten voor een brug met een doorvaarthoogte van 18 m. niet beoordeeld. Er is geen toetsbare kostenraming van deze brug beschikbaar. De aangeleverde kostenraming van de brug (159 miljoen euro) komt niet overeen met het getal (108 miljoen euro) uit het hoofdrapport zelf. Mogelijk is niet de laatste versie van de kostenraming aangeleverd. Overigens staat in MKBA 125 miljoen euro bij een doorlaatopening van 1350 m2.

Ref: [Eindrapport Deelontwerpstudie PlanMer.pdf](#), definitieve versie 1.0 van 9 juni 2011.

Verschillen analyse:

Als de aanlegkosten worden vergeleken met de MKBA MIRT Verkenning Grevelingen kan worden geconcludeerd dat het open doorlaatmiddel fors duurder is geworden (nu 92 miljoen versus 63 miljoen in de MKBA) en het afsluitbare doorlaatmiddel juist iets goedkoper (nu 143 miljoen versus 151 miljoen in de MKBA). Deze vergelijking geldt voor doorlaatmiddelen met een doorstroomopening van 1350 m2. Kleinere openingen zijn niet vergelijkbaar, omdat in de MKBA is uitgegaan van 1000 m² en DHV heeft nu 540 m² aangehouden.

Het open doorlaatmiddel is fors duurder geworden omdat in 2012 is uitgegaan van de bouw van een spuimiddel zonder bewegingswerk en schuiven, terwijl in 2009 is uitgegaan van een brugverbinding, waarbij te weinig overige kosten (bouwput, bodembescherming, e.d.) zijn meegenomen.

Het afsluitbare doorlaatmiddel is goedkoper geworden, omdat in 2009 een kengetal onjuist is toegepast (het gebruikte kengetal is incl. grondwerk en vaste brug, terwijl deze bij het kengetal zijn opgeteld, bovendien waren de kosten voor een vaste brug te hoog ingeschat, omdat deze als rijdek bovenop het doorlaatmiddel kan worden aangebracht, waardoor er geen pijlers nodig zijn)

Het verschil in prijspeil is bij deze globale analyse buiten beschouwing gelaten.

¹³ De aanlegkosten zoals geraamd door DHV, incl. de ECK-correctie van te hoog ingeschatte engineeringkosten

D.3 Kostenraming getijcentrale/doorlaat Brouwersdam

Context:

De waterkwaliteit in het zoute Grevelingenmeer (GM) en het zoete Volkerak-Zoommeer (VZM) is onvoldoende a.g.v. te weinig doorstroming. Daarnaast is er mogelijk behoefte om bij hoge rivierwaterstanden water te kunnen bergen en/of af te kunnen afvoeren via de Zuidwestelijke Delta (ZWD). Hiervoor kan het GM worden ingezet¹⁴, mits wordt besloten dat ook het VZM hiervoor eveneens wordt ingezet¹⁵.

Maatregel:

Voor wateruitwisseling met cq. waterafvoer naar de Noordzee is een afsluitbaar doorlaatmiddel nodig in de Brouwersdam. Bij eerdere studies is gekeken naar zowel een doorlaatmiddel als een combinatie van een doorlaatmiddel met een getijdecentrale t.b.v. duurzame energieopwekking¹⁶. Technisch is het mogelijk om tijdens hoge waterstanden in het benedenrivierengebied de turbines die nodig zijn voor energieopwekking te laten pompen om water af te voeren naar de Noordzee¹⁷. De maatregel doorlaatmiddel/getijdecentrale in de Brouwersdam (BD) maakt onderdeel uit van een set maatregelen die nodig zijn bij waterberging en/of afvoer van rivierwater via het GM.

Studie/ontwerp:

Tijdens de MIRT Verkenning Grevelingen zijn in 2011 de volgende 3 varianten onderzocht:

1. variant 1: een doorlaat zonder getijdecentrale
2. variant 2a: een getijcentrale met luchturbines (hevelturbines)
3. variant 2b: een getijcentrale met bulbturbines

In het rapport LCC MIRT Verkenning Grevelingen (par. 2.2) is vermeld dat het aantal turbines en de waaierdiameter is afgeleid van een getijdeslag van 0,5 m. Voor de waaierdiameter is maximaal 3,5 m. aangehouden vanwege de diepte van de aanwezige bodembescherming. Het aantal turbines (72 st.) en de diameter van de waaiers (3,5 m) is bepaald na overleg met Nijhuis Pompen BV. De totale breedte van de getijdecentrale wordt volgens de opstellers van het rapport dan 550 m.

Voor het doorlaatmiddel zonder getijdecentrale is een breedte nodig van 200 m.

[Ref: LCC MIRT Verkenning Grevelingen 12 juli 2011 Definitief 9W7342.A0.](#)

Kosten:

Vermelde kosten zijn inclusief 19% BTW.

De kostenramingen voor de 3 varianten van het doorlaatmiddel/de getijdecentrale in de Brouwersdam zijn in 2010 opgesteld door Royal Haskoning en in 2011 opgenomen in een LCC (life cycle costing) document opgesteld door Witteveen & Bos en Royal Haskoning.

[Ref: LCC MIRT Verkenning Grevelingen 12 juli 2011 Definitief 9W7342.A0.](#)

De daarin gepresenteerde kosten hebben prijspeil 2011.

Naast de aanlegkosten zijn ook de B&O-kosten bepaald. Van alle B&O-kosten is de netto contante waarde (NCW) bepaald over een looptijd van 100 jaar en een discontovoet van 5,5%.

¹⁴ Ook de Oosterschelde kan mogelijk worden ingezet voor berging van rivierwater.

¹⁵ De maatregel waterberging VZM is voorzien binnen het programma Ruimte voor de Rivier, maar een besluit hierover is nog niet genomen.

¹⁶ De effectiviteit van energieopwekking is afhankelijk van het type turbine.

¹⁷ De mogelijkheid van de pompfunctie en de effectiviteit van de pompfunctie is afhankelijk van het type turbine.

Het ECK schat de bandbreedte van alle genoemde kosten in deze verkenningfase + en – 50%

De kostenramingen van RH en W&B zijn deels gecorrigeerd door het ECK.

[Ref: correcties op raming RH, versie 2 \(Excel bestand\).](#)

In dat bestand zijn toelichtingen gegeven op de berekeningen.

Variant 1: doorlaatmiddel zonder getijdecentrale

De aanlegkosten zijn bepaald door Royal Haskoning en deels gecorrigeerd door het ECK.

Kosten uit LCC MIRT Verkenning Grevelingen: 194 miljoen euro, prijspeil 2011.

Kosten volgens ECK: 156 - 171 miljoen euro, prijspeil 2011.

(156 als bodembescherming voldoet, 171 als bodembescherming niet voldoet)

Verskil wordt veroorzaakt door goedkopere droge uitvoering (i.p.v. natte uitvoering), foutcorrectie op berekening grondwerk, een goedkopere verkeersbrug en een lagere en meer realistische eenheidsprijs voor beton.

[Ref: correcties op raming RH, versie 2 \(Excel bestand\).](#)

De netto contante waarde (NCW) van B&O-kosten zijn bepaald door Witteveen & Bos en bedragen ca. 11,6 miljoen euro, incl. 19% BTW. Dit komt neer op ongeveer 642.500 euro per jaar, wat neer komt op 0,33% van de aanlegkosten, wat te laag is. Er blijken dan ook kostenposten te ontbreken dan wel veel te laag te zijn ingeschat. De B&O-kosten voor kunstwerken met bewegingswerk zoals (keer)sluizen en stormvloedkeringen zijn gemiddeld 0,9 % van de aanlegkosten per jaar, wat neer komt op een NCW van 25 miljoen (bij aanlegkosten 156 miljoen: 1,40 miljoen per jaar) tot 28 miljoen (bij aanlegkosten 171 miljoen: 1,54 miljoen per jaar).

Variant 2a: getijdecentrale met hevelturbines

De aanlegkosten zijn bepaald door Royal Haskoning en deels gecorrigeerd door het ECK.

Kosten uit LCC MIRT Verkenning Grevelingen: 298 miljoen euro, prijspeil 2011.

Kosten volgens ECK: 349 - 420 miljoen, prijspeil 2011.

(349 als bodembescherming voldoet en geen stormvloedschuiven nodig zijn; 420 miljoen als bodembescherming niet voldoet en wél stormvloedschuiven nodig zijn)

Verskil wordt veroorzaakt door vergeten posten (deels dijkbekleding, overgang getijdecentrale naar bodembescherming), duurdere posten dan geraamd, zoals verwijderen caissons, tijdelijk werk (wegomlegging, bouwkuip, bemaling), grondwerk, verkeersbrug, goedkopere eenheidsprijs voor beton, hogere risicoreservering van ca. 25% i.p.v. de veel te lage 10%.

Hevelturbines zijn nog geen bewezen techniek, de energieopbrengst is nog een risico. Verder is de opgave van kosten voor de hevelturbines niet geverifieerd. De combinatie van hevelturbines en pompfunctie t.b.v. waterafvoer is nog niet onderzocht.

De netto contante waarde (NCW) van de B&O-kosten zijn bepaald door Witteveen & Bos en bedragen ca. 48,9 miljoen euro, incl. 19% BTW. Dit komt neer op ongeveer 2,7 miljoen euro per jaar, wat neer komt op 0,9% van de aanlegkosten, wat te laag is. Er blijken dan ook kostenposten te ontbreken dan wel te laag te zijn ingeschat. ECK schat de ontbrekende kostenposten op 0,3% van de aanlegkosten per jaar. Het totaalpercentage voor B&O komt daarmee 1,2% van de aanlegkosten per jaar. Dit betekent een NCW van 76 miljoen (bij

aanlegkosten 349 miljoen: 4,19 miljoen per jaar) tot 91 miljoen (bij aanlegkosten 420 miljoen: 5,04 miljoen per jaar).

Variant 2b: getijdecentrale met bulbturbines

De aanlegkosten zijn bepaald door Royal Haskoning en deels gecorrigeerd door het ECK. Kosten uit LCC MIRT Verkenning Grevelingen: 525 miljoen euro, prijspeil 2011. Kosten volgens ECK: 619 - 689 miljoen euro, prijspeil 2011. 619 als bodembescherming voldoet en geen stormvloedschuiven nodig zijn; 689 miljoen als bodembescherming niet voldoet en wél stormvloedschuiven nodig zijn.

Verschil wordt veroorzaakt door vergeten posten (deels dijkbekleding, overgang getijdecentrale naar bodembescherming), duurdere posten dan geraamd, zoals verwijderen caissons, tijdelijk werk (wegomlegging, bouwkuip, bemaling), grondwerk, verkeersbrug, goedkopere eenheidsprijs voor beton, hogere risicoreservering van ca. 25% i.p.v. de veel te lage 10%.

Bulbturbines zijn weliswaar bewezen techniek, maar de energieopbrengst bij gereduceerd getijde (0,5 m.) is nog een risico. Verder is de opgave van kosten voor de bulbturbines met transformatoren e.d. niet geverifieerd.

De netto contante waarde (NCW) van B&O-kosten zijn bepaald door Witteveen & Bos en bedragen ca. 64,0 miljoen euro, incl. 19% BTW. Dit komt neer op ongeveer 3,5 miljoen euro per jaar, wat neer komt op 0,67% van de aanlegkosten, wat te laag is. Er blijken dan ook kostenposten te ontbreken dan wel veel te laag te zijn ingeschat. ECK schat de ontbrekende kostenposten op 0,3% van de aanlegkosten per jaar. Het totaalpercentage voor B&O komt daarmee 1,0% van de aanlegkosten per jaar, wat neer komt op een NCW van 112 miljoen (bij aanlegkosten 619 miljoen: 6,19 miljoen per jaar) tot 125 miljoen (bij aanlegkosten 689 miljoen: 6,89 miljoen per jaar).

Note: de B&O-kosten van kleinere waterkrachtcentrales in de Maas bedragen eveneens ca. 1% van de aanlegkosten per jaar.

http://www.engineering-online.nl/?com=content&action=hydroelectric_power

Extra: pompfunctie bij bulbturbines:

De extra aanlegkosten voor een pompfunctie i.c.m. bulbturbines wordt door de opstellers van het rapport LCC MIRT Verkenning Grevelingen ingeschat op ca. 9,5 miljoen euro, incl 19% BTW.

De extra onderhoudskosten worden ingeschat op 77.350 euro per jaar, incl 19% BTW. Dat is 0,8% van de aanlegkosten. Aangezien het meerkosten op B&O-kosten van de getijdecentrale betreft is dat volgens ECK voor de verkenningfase acceptabel. Het onderhoud kan immers gecombineerd worden. De NCW waarde over 77.350/jr over 100 jaar komt daarmee op 1,4 miljoen euro.

Type doorlaatmiddel / getijdecentrale	aanlegkosten	B&O-kosten per jaar	NCW over 100 jaar
Afsluitbaar doorlaatmiddel zonder nieuwe bodembescherming	156	1,40	25
Afsluitbaar doorlaatmiddel met nieuwe bodembescherming	171	1,54	28
Hevelturbines zonder stormdeuren en zonder nieuwe bodembescherming	349	4,19	76
Hevelturbines met stormdeuren en met nieuwe bodembescherming	420	5,04	91
Bulbturbines zonder stormdeuren en zonder nieuwe bodembescherming	619	6,19	112
Bulbturbines met stormdeuren en met nieuwe bodembescherming	689	6,89	125
Extra pompfunctie i.c.m. bulbturbines ¹⁸	10	0,08	1

Bedragen¹⁹ tabel in miljoen euro, incl. 19% btw, prijspeil 2011

D.4 Kostenraming overige kosten waterberging Grevelingen

Context:

De waterkwaliteit in het zoute Grevelingenmeer (GM) en het zoete Volkerak-Zoommeer (VZM) is onvoldoende a.g.v. te weinig doorstroming. Daarnaast is er mogelijk behoefte om bij hoge rivierwaterstanden water te kunnen bergen en/of af te kunnen afvoeren via de Zuidwestelijke Delta (ZWD). Hiervoor kan het GM worden ingezet²⁰, mits wordt besloten dat ook het VZM hiervoor eveneens wordt ingezet²¹.

Maatregel:

Bij waterberging in GM zijn naast voorzieningen voor het in- en uitlaten van water ook maatregelen nodig a.g.v. stijging van het waterpeil in GM.

Studie/ontwerp:

DHV heeft een inventarisatie gedaan naar aan te passen bestaande constructies en eventueel nieuwe voorzieningen.

De maatregelen bestaan uit:

- dijkverbetering in de vorm van extra dijkbekleding
- het omkaden van buitendijkse gebouwen
- het aanpassen van jachthavens (drijvende steiger i.p.v. vaste steigers)

Bij de peilopzet GM is gekeken naar 4 verschillende niveaus: NAP +0,5 m; NAP +1,0 m; NAP +1,5 m en NAP +2,0 m.

Ref: 20120509 kostenraming wbZWD, definitief_v3.0.pdf van mei 2012.

Kosten:

¹⁸ Extra pompfunctie i.c.m. bulbturbines is mogelijk, voor hevelturbines is dit twijfelachtig

¹⁹ Bedragen zijn gecorrigeerd door het ECK

²⁰ Ook de Oosterschelde kan mogelijk worden ingezet voor berging van rivierwater.

²¹ De maatregel waterberging VZM is voorzien binnen het programma Ruimte voor de Rivier, maar een besluit hierover is nog niet genomen.

Vermelde kosten zijn inclusief 19% BTW.

Prijspeil 2012. Door DHV (met ECK-index) geïndexeerd met 16,5% t.o.v. prijspeil 2009.

Voor de B&O-kosten hanteert het ECK de volgende percentages:

- voor dijkverbetering: 0,02% van de aanlegkosten per jaar (meerkosten B&O zijn beperkt)
- voor het omkaden van buitendijkse gebieden: 0,1% van de aanlegkosten per jaar
- voor het aanpassen van jachthavens: 0,6% van de aanlegkosten per jaar

De netto contante waarde (NCW) is uitgerekend over 100 jaar met een discontovoet van 5,5%. Aldus ontstaat de volgende tabel.

Type maatregel	aanlegkosten ²²	B&O-kosten per jaar	NCW over 100 jaar
Dijkverbetering NAP + 0,5 m	6	0,001	0,02
Dijkverbetering NAP + 1,0 m	10	0,002	0,04
Dijkverbetering NAP + 1,5 m	10	0,002	0,04
Dijkverbetering NAP + 2,0 m	10	0,002	0,04
Omkaden NAP + 0,5 m ²³	0	0	0
Omkaden NAP + 1,0 m	18	0,018	0,33
Omkaden NAP + 1,5 m	28	0,028	0,51
Omkaden NAP + 2,0 m	41	0,041	0,74
Aanpassen jachthavens ²⁴	6	0,036	0,65

Bedragen tabel in miljoen euro, incl. 19% btw, prijspeil 2012

Verschillen analyse:

Van de gepresenteerde maatregelen zijn geen eerdere kostenramingen opgesteld.

Een verschillenanalyse is daardoor niet mogelijk.

²² Het ECK heeft de kosten beperkt getoetst i.v.m. de relatief geringe omvang van de investeringen in vergelijking tot de kosten van dijkversterkingen bij DP-RD en de doorlaatmiddelen e.d. binnen DP-ZWD.

²³ Bij een peilopzet van NAP + 0,5 m. is omkaden niet noodzakelijk

²⁴ Bij alle varianten van peilopzet zijn de kosten voor aanpassen jachthavens gelijk