

Invloed Hoge Scenario's voor Zeespiegelstijging voor Rijn- Maas Delta

Herijking VKS DPRD en DB RMD, onderdelen 1 en 2



Invloed Hoge Scenario's voor Zeespiegelstijging voor Rijn-Maas Delta

Herijking VKS DPRD en DB RMD, onderdelen 1 en 2

Jarl Kind
Karin de Bruijn
Ferdinand Diermanse
Karolina Wojciechowska
Frans Klijn
Raymond van der Meij
Arno Nolte
Kees Sloff

Titel

Invloed Hoge Scenario's voor Zeespiegelstijging voor Rijn-Maas Delta

Project

11203724-008

Kenmerk

11203724-008-BGS-0002

Pagina's

121

Trefwoorden

Zeespiegelstijging, effecten, adaptatie, Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Samenvatting

Dit rapport geeft antwoord op de vraag van het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden (DPRD) wat de effecten zijn van hogere scenario's voor zeespiegelstijging op de voorkeursstrategie (VKS) DPRD en op de Deltabeslissing Rijn-Maasdelta. Deze vragen zijn deels kwalitatief en deels kwantitatief beantwoord. Tevens geeft het rapport opties voor mogelijke aanpassingen van de VKS.

Referenties

-

Versie	Datum	Auteurs	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	Maart 2019	Jarl Kind		Ad Jeuken		Henriette Otter	
0.2	Mei 2019	Ferdinand Diermanse	<i>v/a HA</i>	Ad Jeuken	<i>[Handwritten Signature]</i>	Henriette Otter	<i>[Handwritten Signature]</i>

Status

definitief

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Aanleiding en vraagstelling	1
2	Consequenties van een hogere zeespiegelstijging voor de VKS DPRD en DB RMD	3
2.1	De DB RMD en VKS DPRD	3
2.2	MLK+ en Plan Sluizen	4
2.2.1	Effecten op de stormvloedkeringen	7
2.2.2	Effecten op de waterstanden	8
2.2.3	Rivierbodem	13
2.2.4	Grens zee-/riviervedomineerd	14
2.2.5	Effectiviteit rivierverruiming	15
2.2.6	Evacuatiefracties	16
2.2.7	Buitendijkse natuur	17
2.2.8	Buitendijkse haven- en woongebieden	17
2.2.9	Ruimtebeslag dijken	19
2.2.10	Scheepvaart/haven	20
2.2.11	Afweging MLK+/Plan Sluizen	21
2.2.12	Afvoerverdeling	21
2.2.13	Waterberging in de Zuidwestelijke Delta	22
2.2.14	Zoetwaterbeschikbaarheid	22
3	Mogelijke aanpassingsopties	23
4	Overige aanbevelingen	25
5	Literatuur	27

Bijlage(n)

A	Consequenties voor stormvloedkeringen en waterstanden	A-1
A.1	Kwalitatieve beschouwing van de invloed van zeespiegelstijging op overstromingsrisico's	A-1
A.2	Doorgerekende scenario's	A-3
A.2.1	Zeespiegelstijgingen	A-3
A.2.2	Rivierafvoeren	A-3
A.2.3	Faalkans Maeslantkering	A-3
A.3	Beschikbare modellen voor het berekenen van frequenties van waterstanden	A-3
A.4	Houdbaarheid stormvloedkeringen	A-4
A.4.1	Sluitfrequentie Europoort kering	A-4
A.4.2	Sluitfrequentie Hollandse IJsselkering	A-7
A.4.3	Kerend vermogen Maeslantkering, Haringvlietdam en Hollandse IJsselkering	A-8
A.5	Maatgevend hoogwater (MHW) en hydraulisch belastingniveau (HBN) bij open afsluitbare kering	A-10
A.6	Berekening van waterstanden voor de gesloten variant bij 1m zeespiegelstijging	A-14

A.7	Berekening van waterstanden voor de gesloten variant bij 2 en 3m zeespiegelstijging	A-16
A.7.1	Inleiding	A-16
A.7.2	Rekenmethode	A-16
A.7.3	Rekenvoorbeelden	A-17
A.7.4	Maatgevende condities	A-24
B	Consequenties voor de rivierbodem	B-1
C	Consequenties voor de grens tussen zee- en/riviergedomineerd gebied en voor de effectiviteit van rivierverruiming	C-1
D	Consequenties voor de evacuatiefracties, LIR en MKBA	D-1
E	Consequenties voor buitendijkse natuur	E-1
F	Consequenties voor buitendijks woon- en havengebied	F-1
G	Consequenties voor ruimtebeslag dijken	G-1
H	Consequenties voor de haven/scheepvaart	H-1
I	Consequenties voor de afweging MLK/Plan Sluizen	I-1
J	Consequenties voor de afvoerverdeling van de Rijn	J-1
K	Consequenties voor waterberging ZWD	K-1
L	Ruimte binnen de norm	L-1
M	Gevoeligheidsanalyse bodemdaling en economische groei	M-1
N	Expertworkshop 19 februari 2019	N-1
N.1	Opzet en deelnemers Workshop	N-1
N.2	Terugmelding groep Natuur	N-2
N.3	Groep Waterveiligheid	N-3
N.4	Groep Haven en scheepvaart	N-4
O	Zoetwatervoorziening	O-1

1 Introductie

1.1 Aanleiding en vraagstelling

Uit recent onderzoek is gebleken dat zeespiegelstijging de belangrijkste externe ontwikkeling is die op de langere termijn mogelijk invloed heeft op de voorkeursstrategie van het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden (VKS DPRD) en op de Deltabeslissing Rijn-Maas Delta (DB RMD) (Haasnoot *et al.*, 2018; Diermanse 2018; De Bruijn *et al.*, 2019). Daardoor is in de regio Rijnmond-Drechtsteden de behoefte ontstaan om de effecten van hogere zeespiegelstijging-scenario's nader te onderzoeken, om een eerste inventarisatie te maken van mogelijk uit te voeren aanpassingen in de strategie, en om de gevolgen daarvan voor keuzes op de korte termijn in kaart te brengen. Binnen deze context voert Deltares een opdracht uit voor DPRD, waarin 13 vragen naar de consequenties van zeespiegelstijging deels kwantitatief en deels kwalitatief worden beantwoord. Voor het DPRD-gebied gaat het daarbij om de effecten van een zeespiegelstijging van 1 en 2 meter in 2100, en (als 'pilot') 3 meter in 2150. Voor het gebied van de DB RMD gaat het om de effecten van een zeespiegelstijging van 1 en 2 meter in 2100.

De gevraagde analyses maken deel uit van een omvangrijker onderzoek, dat door DPRD in vier fases met vier bijbehorende deelproducten is gepland:

- 1) Inschatting consequenties zeespiegelstijging op gebied DPRD (medio februari 2019);
- 2) Voorstel mogelijke aanpassingsopties (eind februari 2019);
- 3) Voorstel kansrijke aanpassingsopties (begin juni 2019);
- 4) Voorstel aanpassingsopties en onderbouwing daarvan (begin oktober 2019).

De opdracht aan Deltares betreft de deelproducten 1 en 2 en de resultaten daarvan staan in deze rapportage.

De resultaten van deelproduct 1 zijn op 19 februari 2019 in een workshop met experts en stakeholders besproken en zijn mogelijke opties voor aanpassing van de VKS DPRD en DB RMD geïdentificeerd. Een deelnemerslijst van de workshop en de terugmeldingen die gedaan zijn tijdens de workshop, zijn bijgesloten als Bijlage N bij dit rapport.

Deze rapportage bestaat uit twee delen. In de Bijlagen A tot en met M zijn de antwoorden op alle 13 door DPRD gestelde vragen behandeld. De vragen die betrekking hebben op de effecten van zeespiegelstijging (Bijlagen A tot en K) zijn daarnaast ook samengevat in de hoofdttekst. Naast deze vragen zijn er nog twee vragen die geen directe relatie hebben met de zeespiegelstijging. Deze zijn uitsluitend in Bijlagen L en M beantwoord.

2 Consequenties van een hogere zeespiegelstijging voor de VKS DPRD en DB RMD

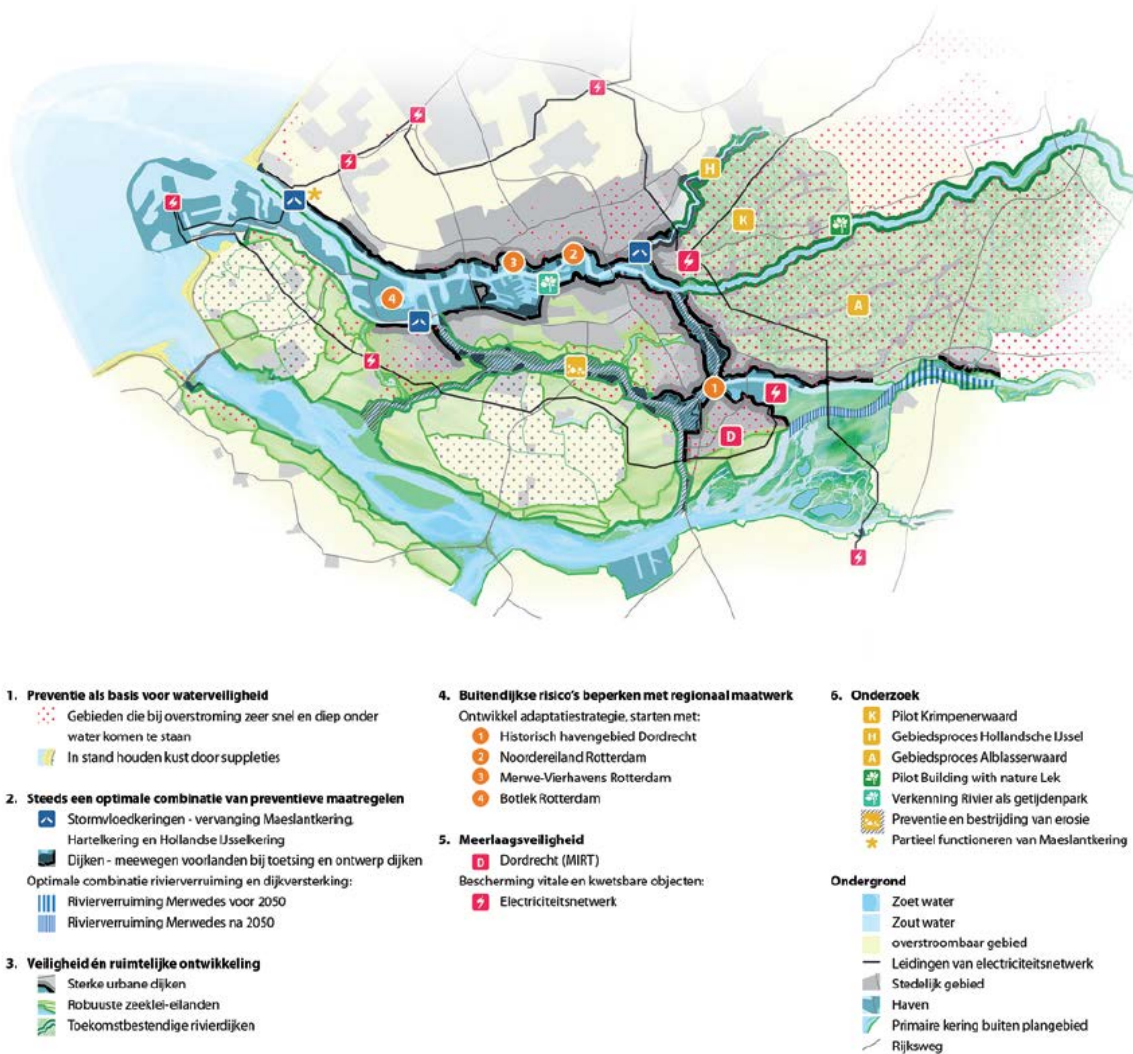
2.1 De DB RMD en VKS DPRD

De Deltabeslissing Rijn-Maas Delta (DB RMD) is vastgesteld in 2014 in het Deltaprogramma 2015 (DP2015). Kern van deze beslissing is om de Nieuwe-Waterweg open te houden, om de huidige afspraken over de afvoerdeling van de Rijn over de rijntakken in ieder geval tot 2050 in stand te houden, en om rivierwater niet te bergen in de Grevelingen. De Voorkeursstrategie Rijnmond-Drechtsteden (VKS DPRD) is eveneens vastgesteld in het DP2015 en bouwt voort op deze deltabeslissing. In de VKS DPRD geldt preventie als belangrijkste pijler voor waterveiligheid. Aanvankelijk werd in de VKS uitgegaan van het op termijn vervangen van de Maeslantkering (MLK) voor een soortgelijke stormvloedkering. Als gevolg van het onderzoek naar Plan Sluizen in het kader van de Motie Geurts (Rijkswaterstaat 2015) wordt met ingang van het DP2017 ook het op termijn vervangen van de MLK door sluiscomplexen als optie genoemd.

De onderbouwende studies voor de VKS DPRD en DB RMD dateren van 2014 of eerder en zijn gebaseerd op analyses die uitgaan van de Deltascenario's Rust en Stoom, waarin de zeespiegel in 2100 met 35 en 85 cm is gestegen ten opzichte van 1995. Sindsdien is er sprake van voortschrijdend inzicht en nieuwe kennis op meerdere fronten dan zeespiegelstijging alleen. Deze andere nieuwe inzichten worden in deze studie niet nader verkend. Wel is volgens een recente analyse in het kader van de herijking van het Deltaprogramma voor DPRD zeespiegelstijging de belangrijkste bron van onzekerheid (De Bruijn *et al.*, 2019).



Figuur 2.1. De Deltabeslissing Rijn-Maasdelta



Figuur 2.2. De Voorkeursstrategie van het Deltaprogramma Rijnmond Drechtsteden

2.2 MLK+ en Plan Sluizen

In dit onderzoek worden de effecten van 1, 2 en 3 meter zeespiegelstijging op de VKS DPRD en DB RMD in beeld gebracht. Een belangrijke keuze (systemeeringreep) is of de Maeslantkering (MLK) op termijn vervangen wordt door een nieuwe afsluitbare kering ("MLK+") of door een alternatief plan "gesloten zeezijde" met een onder andere sluizen (waarvan het "Plan Sluizen" een uitgewerkt voorbeeld is; andere plannen zijn ook denkbaar, voor een eerste inventarisatie zie hoofdstuk 3). Deze keuze is belangrijk, enerzijds voor de vraag in welke mate hoge zeewaterstanden doorwerken in het achterland - en daarmee onder andere de hoogteopgave van de dijken, de veiligheid tegen overstromen binnen- en buitendijks en de natuurwaarden in het gebied bepalen -, en anderzijds voor de bereikbaarheid van de haven. In deze studie wordt daarom veel aandacht besteed aan de onderlinge verschillen in gevolgen van de beide opties (MLK+ versus gesloten zeezijde).

Omdat het Plan Sluizen als enige gesloten zeezijde variant al is uitgewerkt (zie RWS, 2015) worden de termen “Plan Sluizen” en “gesloten zeezijde” in dit rapport als equivalent beschouwd; in werkelijkheid zijn er uiteraard andere gesloten zeezijde varianten mogelijk.

Voor de MLK+ en Plan Sluizen kunnen uiteenlopende keuzes worden gemaakt ten aanzien van zowel het functioneren als de dimensionering en ontwerp. Voor een zeespiegelstijging tot ca. 1 meter zijn deze al eerder ingeschat en kunnen deze worden overgenomen uit de beschikbare voorgaande studies (Rijkswaterstaat 2015; DP2015). Een ontwerp voor de MLK+ en Plan Sluizen voor een zeespiegelstijging van meer dan 1 meter (in deze opdracht 2 en 3 meter) is echter niet eerder uitgewerkt. Om de effecten daarvan te kunnen bepalen, zijn daarover in het kader van deze studie en in overleg met de opdrachtgever keuzes gemaakt. Deze liggen daarmee nadrukkelijk niet vast en uiteraard zijn vele andere keuzes in de toekomst ook mogelijk.

In deze studie zijn daarmee de uitgangspunten voor de MLK+ bij een zeespiegelstijging van meer dan 1 meter:

- een kans van 1/1000 dat de sluiting faalt; en
- een sluitfrequentie van maximaal 3 x per jaar, daarboven wordt het sluitpeil aangepast.

De sluitfrequentie hangt direct samen met het sluitpeil (zie Bijlage A). Een relatief laag sluitpeil betekent dat stormen op zee buiten gehouden worden en dat de hoogwaterstanden achter de kering beperkt blijven, wat gewenst is vanuit een waterveiligheidsperspectief. Een relatief laag sluitpeil betekent ook dat de kering relatief vaak sluit, wat ongunstig is voor de scheepvaart en voor de economische ontwikkeling in het havengebied. De maximale sluitfrequentie van 3 x per jaar is gebaseerd op een expert inschatting van wat mogelijk is binnen de mechanische begrenzings van de kering. Deze grens is niet heel hard, het is goed denkbaar dat 4 of 5 keer sluiten per jaar ook nog wel mogelijk is, maar niet bijvoorbeeld 10 keer per jaar. Vaker sluiten betekent ook dat de kering mogelijk in het zomerhalfjaar sluit, wanneer het onderhoud plaats vindt. De afweging sluitpeil – sluitfrequentie is een belangrijke om in de toekomst de MLK+ verder op te optimaliseren. Verder geldt dat het handhaven van het sluitpeil van NAP+3m bij een zeespiegelstijging van 2m om andere redenen ook niet realistisch is. Het sluitpeil van NAP+3m wordt dan vrijwel elke dag bereikt, hetgeen betekent dat de kering nagenoeg permanent gesloten zou moeten worden.

Het Plan Sluizen zoals dat onderzocht is door Rijkswaterstaat in het kader van Motie Geurts voor een zeespiegelstijging tot 1 meter betreft onder meer sluizen in de Oude en Nieuwe Maas, een spuisluis van 2000 m³/s in de Nieuwe Maas, gemalen van 3000 m³/s en waterberging op de Oosterschelde (Rijkswaterstaat 2015) (Figuur 2.3). Het plan is tot stand gekomen en geoptimaliseerd met behulp van modelberekeningen in meerdere iteraties. Het gebied achter de sluizen wordt peil beheerst en beschermd tegen hoge waterstanden op zee. De Rijn en Maas afvoeren worden deels onder vrij verval gespuid, weggemalen of tijdelijk geborgen op de Oosterschelde. Het deel van de Nieuwe-Waterweg dat voor de sluizen komt te liggen, maar aanvankelijk achter de MLK lag, wordt niet langer door een kering tegen hoge zeewaterstanden beschermd. Daarnaast nemen hier de hoogwaterstanden door opstuwning verder toe. Achter de sluizen is er geen getijslag meer, neemt het zoutgehalte af en vermindert of verdwijnt de sedimentatie. Het Plan Sluizen is in het kader van deze studie niet aangepast (geoptimaliseerd) voor hoger zeespiegelstijgingen van 2 of 3 meter. Wel is het effect van het installeren van extra gemaalcapaciteit (tot 2000 m³/s extra bovenop de 3000 m³/s die al onderdeel is van het plan) verkend (zie Bijlage A).

Figuur 2.3 geeft een overzicht van de belangrijkste infrastructurele maatregelen in Plan Sluizen. Figuur 2.4 geeft een *artist impression* van de sluisen in de Nieuwe Maas.



Figuur 2.3. Overzicht van de belangrijkste infrastructurele maatregelen in Plan Sluizen (bron: Rijkswaterstaat 2015)



Figuur 2.4. Artist impression Plan Sluizen in de Nieuwe Maas (Bron: Frédéric Ruys, Vizualism, 2016)

De consequenties van hogere scenario's voor de zeespiegelstijging (meer dan 1 meter) op de VKS DPRD (2 en 3 meter) en de DB RMD (2 meter) zijn binnen deze opdracht deels kwantitatief en deels kwalitatief ingeschat. Kwantitatieve inschattingen betreffen de effecten op de waterstanden en stormvloedkeringen. De overige inschattingen van de effecten zijn in eerste instantie kwalitatief van aard.

Naast hogere zeewaterstanden zijn in de Delta-scenario's ook aannames gedaan over hogere rivierafvoeren. In de analyses in het huidige rapport is daar ook rekening mee gehouden. In de modelberekeningen voor de scenario's met 1, 2 en 3 m zeespiegelstijging is voor de rivierafvoer het W+-scenario voor het jaar 2100 gebruikt. Feitelijk wordt dus het gecombineerde effect beschouwd van 1, 2 en 3m zeespiegelstijging enerzijds en hogere extreme rivierafvoeren anderzijds.

2.2.1 Effecten op de stormvloedkeringen

Tabel 2.1 en Tabel 2.2 geven een overzicht van de sluitfrequentie, het sluitpeil en de herhalingsijd van de overschrijding van het ontwerppeil (als proxy van de sterkte van de kering) bij verschillende maten van zeespiegelstijging. De sluitfrequentie van de Maeslantkering neemt toe van 1/15 per jaar (nu) naar 3 keer per jaar bij 1m zeespiegelstijging. Bij verdere zeespiegelstijging neemt het sluitpeil toe om de sluitfrequentie constant te houden.

Tabel 2.1 Gehanteerde sluitpeilen en sluitfrequenties voor de MLK bij verschillende zeespiegelstijgingen

Zeespiegelstijging (m)	Faalkans MLK kering	Sluitpeil Rotterdam (m+NAP)	Sluitfrequentie (per jaar)
0 (huidig)	1/100	3,00	1/15
1	1/1.000	3,00	3
2	1/1.000	3,80	3
3	1/1.000	4,55	3

Tabel 2.2 Indicatie van de terugkeertijden (jaren) van de overschrijding van het ontwerppeil voor de stormvloedkeringen voor verschillende waarden van de zeespiegelstijging.

Zeespiegelstijging (m)	Terugkeertijd (jaar)		
	Maeslantkering	Haringvliet	Hollandse IJsselkering
0	>1.000	>3.000	>1.000.000
1	>60	>100	>100.000
2	<10	<10	>10.000

Bijlage A beschrijft de effecten voor de stormvloedkeringen.

De huidige MLK sluit bij een peil van NAP+3 meter met een kans van 1/15 per jaar. Uitgegaan wordt dat bij vervanging van de MLK voor de MLK+ (vanaf 1 meter zeespiegelstijging) de faalkans van de kering afneemt van 1/100 naar 1/1.000 per sluitvraag. Uitgaande van een maximale sluitfrequentie van de MLK+ van 3 keer per jaar, zijn de bijbehorende sluitpeilen bepaald (Tabel 2.1).

De Hollandse IJsselkering (HIJK) sluit momenteel gemiddeld 3 x per jaar. De sluitfrequentie bij de zeespiegelstijging van 1, 2 en 3m is met het huidige modelinstrumentarium niet goed te bepalen; bij een zeespiegelstijgingsscenario van 0,5 meter neemt deze al toe tot minimaal 6 x per jaar, maar hogere sluitfrequenties kunnen met het bestaande instrumentarium niet worden bepaald. In Rijkswaterstaat (2015) is er van uitgegaan dat deze kering in 2100 bij 85 cm zeespiegelstijging 65 keer per jaar sluit. Bij 1 meter zeespiegelstijging zal dat nog vaker zijn en bij 2 of 3 meter zeespiegelstijging zal deze kering permanent gesloten zijn in het hypothetische geval dat geen nieuwe maatregelen worden getroffen in de tussentijd. Frequent sluiten is voor de constructie overigens geen probleem; het ontwerp is hierop gebaseerd. Frequentier sluiten is dus vooral een probleem voor de scheepvaart en voor de afwatering van de Hollandse IJssel.

Het kerende vermogen is voor de waterveiligheid een belangrijke eigenschap van de stormvloedkeringen. Het ontwerppeil is hiervoor als proxy gebruikt. Tabel 2.2 geeft een inschatting van de frequentie waarin deze overschreden wordt bij verschillende zeespiegelstijgingen.

Overschrijding van het ontwerppeil betekent niet per definitie dat deze keringen 'falen' of 'bezijken', maar wel dat de constructies eventueel aangepast moeten worden om te voorkomen dat er water over de kering komt.

2.2.2 Effecten op de waterstanden

MLK+: *Bij een toename van 0 naar 1m zeespiegelstijging (en bijbehorende veranderingen in rivierafvoer en kenmerken Maeslantkering) nemen de MHWs in het grootste deel van het gebied toe met 0,25-0,5 m. Bij de toename van 0 naar 2 m zeespiegelstijging is de toename in de MHW over het hele gebied in de orde van grootte van 1 m; bij de toename van 0 naar 3 m zeespiegelstijging is de toename in de MHW over het hele gebied in de orde van grootte van 1,5-2 m. Gesloten zeezijde: voor de meeste locaties benedenstrooms geeft de afsluiting van de zeezijde (in vergelijking met MLK+) een reductie in MHW bij 1m zeespiegelstijging van ongeveer 0,5m; verder bovenstrooms is deze reductie minder groot. Voor 2 en 3 m zeespiegelstijging zijn geen gedetailleerde berekeningen beschikbaar, maar zullen MHWs substantieel hoger zijn omdat dan pas bij hogere waterstanden gespuid kan worden.*

Bijlage A beschrijft de berekeningswijze van de maatgevende hoogwaterstanden¹ (MHWs).

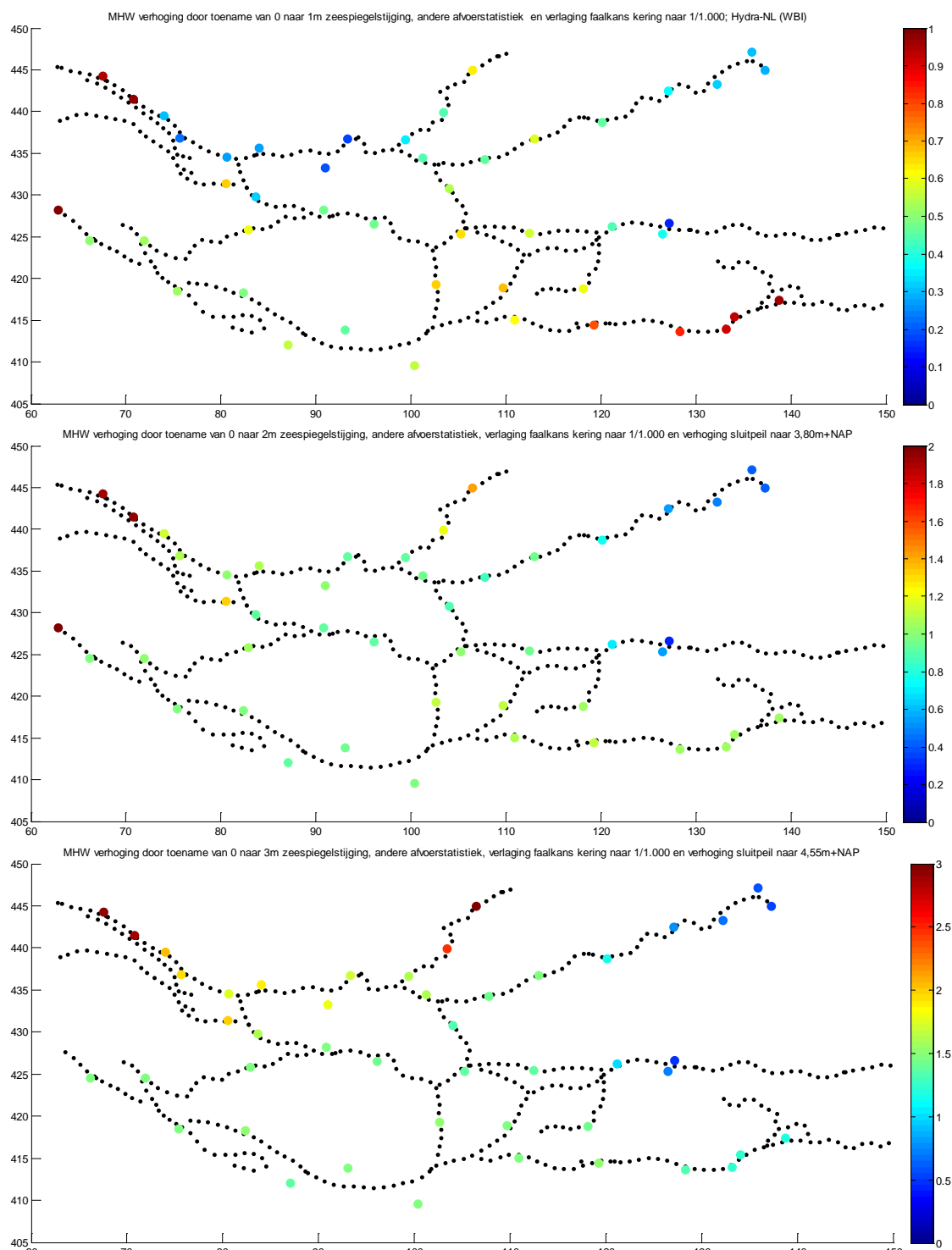
MLK+

Figuur 2.5 geeft de toename van de maatgevende hoogwaterstand (MHW) bij verschillende mate van zeespiegelstijgingen. Naast zeespiegelstijging is ook rekening gehouden met de verwachte veranderingen in rivierafvoeren, de faalkans van de Maeslantkering en het sluitpeil van de Maeslantkering.

¹ Formeel is de term 'MHW' niet meer valide sinds de invoering van de nieuwe normering, maar informeel wordt deze term nog regelmatig gehanteerd. Het is de waterstand met een overschrijdingsfrequentie die getalsmatig gelijk is aan de norm.

Bij de toename van 0 naar 1 m zeespiegelstijging (en bijbehorende veranderingen in rivierafvoer en kenmerken Maeslantkering) zijn de grootste verschillen zichtbaar bij de bovenstroomse locaties langs de Maas en aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkeringen. Voor de locaties bovenstrooms wordt de toename in MHW vrijwel volledig veroorzaakt door de verwachte toename in extreme afvoeren. Voor de zuidelijke benedenstroomse locaties (Hollands Diep, Haringvliet) is de toename van het MHW in de orde van 0,5m, voor de noordelijk gelegen locaties ten oosten van de Maeslantkering is de toename in de orde van 0,25m. Voor de laatste groep locaties wordt het effect van 1m zeespiegelstijging grotendeels gemitigeerd door de afname in de faalkans van de Maeslantkering van 1/100 naar 1/1.000.

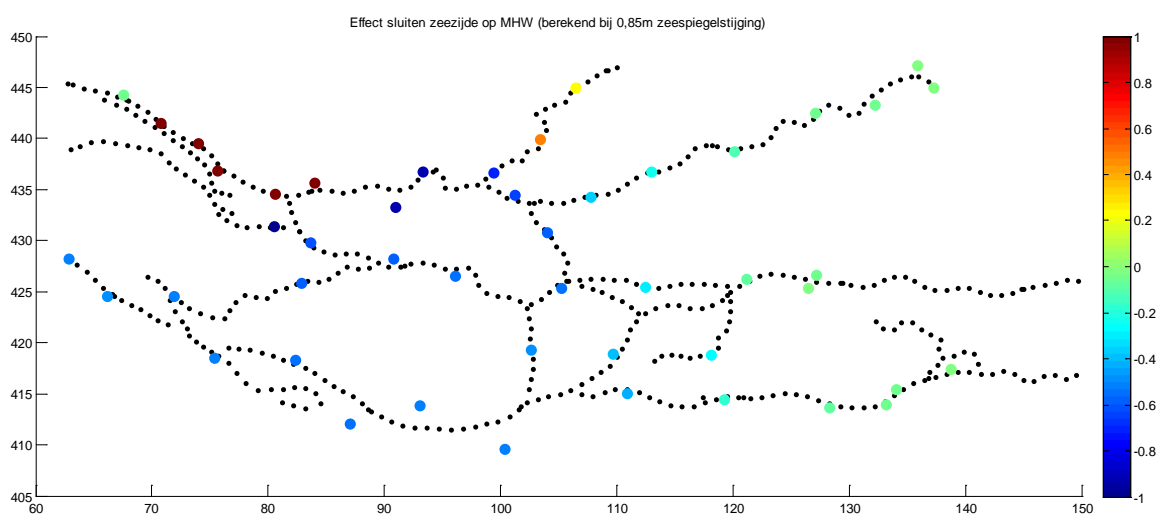
Bij de toename van 0 naar 2m zeespiegelstijging is de toename in MHW over het hele gebied in de orde van grootte van 1m, met uitzondering van locaties aan de aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkeringen (~2m toename) en bovenstrooms langs de Lek en Waal (tussen 0,5 en 1 m toename). Bij de toename van 0 naar 3m zeespiegelstijging is de toename in de MHW over het hele gebied in de orde van grootte van 1,5-2m, met uitzondering van locaties aan de aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkeringen (~3m toename) en bovenstrooms langs de Lek en Waal (tussen 0,5 en 1,5 m toename). Voor de zuidelijke benedenstroomse locaties (Hollands Diep, Haringvliet) is de toename van het MHW lager dan voor de noordelijk gelegen locaties ten oosten van de Maeslantkering (dit in tegenstelling tot de situatie bij 1 m zeespiegelstijging).



Figuur 2.5 Toename MHW op 47 locaties door diverse veranderingen van “randvoorwaarden”. Boven: 1m zeespiegelstijging en verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en toename extreme rivierafvoeren. Midden: 2m zeespiegelstijging, verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en ophoging sluitpeil Rotterdam van NAP+3,0m naar NAP +3,85 m en toename extreme rivierafvoeren. Onder: 3m zeespiegelstijging, verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en ophoging sluitpeil Rotterdam van NAP +3,0 m naar NAP +4,55 m en toename extreme rivierafvoeren.

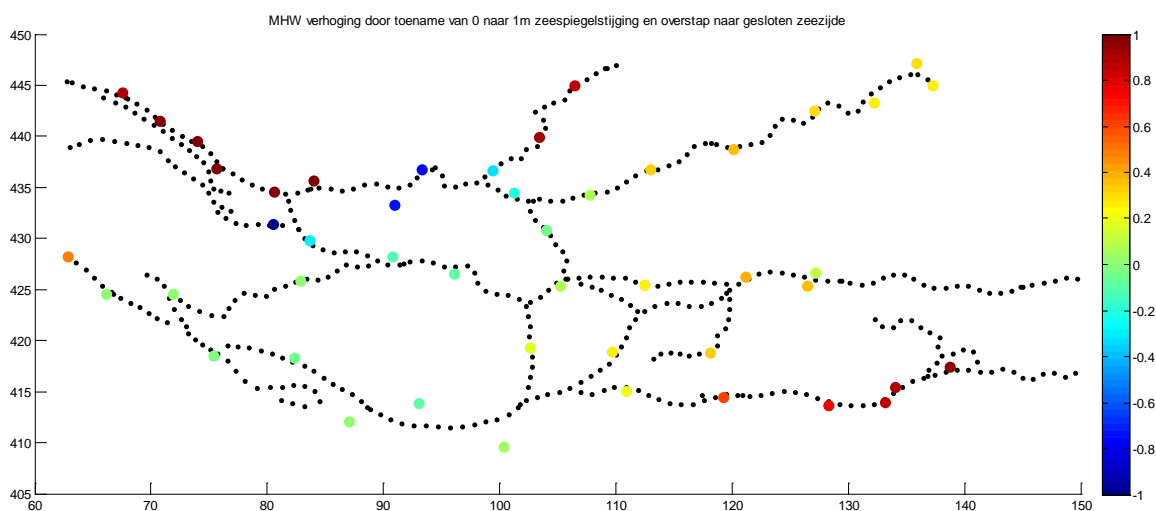
Plan Sluizen

Figuur 2.6 geeft de effecten op de MHWs voor Plan Sluizen bij 0,85 meter zeespiegelstijging. Merk op dat de kleurschaal in deze figuur begrensd is van -1m tot 1m. Voor een aantal locaties zijn de verschillen groter, bijvoorbeeld direct aan de zeezijde van de sluizen. Daar kunnen de verschillen oplopen tot 2,5 meter als gevolg van opstuwung bij de sluis. Bij alle overige locaties leidt de overgang naar de gesloten zeezijde tot een verlaging van de MHW variërend van 0 tot 1 m. Voor de meeste locaties benedenstrooms is de reductie in MHW in de orde van grootte van 0,5m. Verder bovenstrooms is deze reductie minder groot. Helemaal bovenstrooms is er geen verschil in MHW tussen de open en gesloten zeezijde varianten; hier wordt de MHW volledig bepaald door de afvoer.



Figuur 2.6 Toename van het MHW als gevolg van het afsluiten van de zeezijde bij een zeespiegelstijging van 0,85m. De kleurschaal is begrensd van -1m tot 1m, voor een aantal locaties zijn de verschillen groter.

Figuur 2.7 toont de toename van het MHW als gevolg van de combinatie van 1 m zeespiegelstijging, toename rivierafvoeren en van het afsluiten van de zeezijde. Voor bovenstroomse locaties is er sprake van een sterke toename vanwege een toename in extreme rivierafvoeren. Voor de zuidelijke benedenstroomse locaties leiden deze veranderingen netto tot een kleine toe-of afname van het MHW, voor de meer noordelijk gelegen locaties ten oosten van de sluizen is er sprake van een substantiële afname van de MHW. Voor de laatste groep locaties wordt het effect van 1m zeespiegelstijging dus volledig gemitigeerd door de afsluiting van de zeezijde. Direct aan de buitenzijde van de sluizen is sprake van een toename in de MHW van ongeveer 3 m.



Figuur 2.7 Toename van het MHW als gevolg van de combinatie van 1m zeespiegelstijging en het afsluiten van de zeezijde. De kleurschaal is begrensd van -1m tot 1m, voor een aantal locaties zijn de verschillen groter.

De MHW effecten voor Plan Sluizen bij 1 meter zeespiegelstijging zijn gebaseerd op uitgebreide modelberekeningen in meerdere iteratieslagen in het kader van de motie Geurts (Rijkswaterstaat 2015), waarbij Plan Sluizen steeds is bijgesteld op basis van de uitkomsten van de berekeningen. Een dergelijke exercitie, waarbij het ontwerp van Plan Sluizen verder wordt geoptimaliseerd voor 2 en 3 meter zeespiegelstijging, past niet binnen de huidige opdracht. Binnen deze opdracht zijn daarom middels een eenvoudig ‘bakjesmodel’ de effecten van meer dan 1 meter zeespiegelstijging voor Plan Sluizen verkend, waarbij water geborgen kan worden in Zuid-Hollandse en Zeeuwse wateren. Deze analyse geeft inzicht in het verloop van de waterstand aan de binnenzijde van de sluizen tijdens condities van extreem hoge afvoeren (al dan niet in combinatie met hoge zeewaterstanden). Met dit model kunnen echter (vooralsnog) geen probabilistische berekeningen uitgevoerd worden. Het is daarom niet mogelijk om op basis van deze modelberekeningen te bepalen wat de verschillen in MHW's zijn tussen de twee varianten (MLK+ en gesloten zeezijde) bij 2 en 3 m zeespiegelstijging.

Uit de verkenning met het bakjesmodel blijkt dat het toevoegen van extra pompcapaciteit (bijv. 2000 m³/s bovenop de 3000 m³/s die al in Plan Sluizen opgenomen is), waarschijnlijk niet leidt tot significante verlagingen van de MHW. Dat komt doordat onder maatgevende condities de rivierafvoer van de Rijn groter is dan de pompcapaciteit, zodat een groot deel van de afvoer gespuid zal moeten worden. Spuien is alleen mogelijk is als de binnenwaterstand hoger is dan de buitenwaterstand. De binnenwaterstand neemt daarom eerst sterk toe totdat voldoende gespuid kan worden. De hoeveelheid pompcapaciteit heeft daar beperkt invloed op. Wel leidt extra pompcapaciteit tot het beter beheersen van het binnenpeil onder “dagelijkse omstandigheden” en tot een verlaging van de frequentie en/of duur van minder extreme waterstanden.

Op de Nieuwe-Waterweg, buiten de sluizen, bedraagt de geschatte toename van de MHW ten opzichte van het huidige MHW ongeveer 3 meter bij een zeespiegelstijging van 1 meter, 4 meter bij een zeespiegelstijging van 2 meter en 5 meter bij een zeespiegelstijging van 3 meter.

2.2.3 Rivierbodem

MLK+: *De zeespiegelstijging kan leiden tot een toename van de bodemdynamiek in het Spui, Oude Maas en Dordtsche Kil. Nieuwe erosiekuilen kunnen blijven ontstaan en bestaande kuilen blijven doorgroeien. Gesloten zeezijde: in deze variant treedt het effect van de erosiekuilen niet op. De effecten van versnelde zeespiegelstijging zijn minder abrupt en significant dan de effecten van de beoogde afsluiting. De huidige grootschalige erosie van de takken zal door afsluiten van de zeezijde grotendeels stoppen, en mogelijk omslaan in sedimentatie.*

Bijlage B beschrijft in meer detail de consequenties voor de rivierbodem.

MLK+

De verwachte morfologische effecten voor de MLK+ zijn:

1. bij een snelle stijging van het zeeniveau kan aanzanding in de rivieren deze niet volgen. Verkennende berekeningen laten zien dat het lengteprofiel van de Merwede en Waal per jaar ruwweg 20 mm mee kan stijgen. Bij een versnelde zeespiegelstijging zou dat vanaf 2060-2070 overschreden kunnen gaan worden. In het getij-gedomineerde gebied zal de stijging van waterstanden leiden tot een toename van het getijvolume, waardoor versnelde zeespiegelstijging kan leiden tot een toename van bestaande erosietrends;
2. nieuwe erosiekuilen in de riviertakken kunnen blijven ontstaan door het aansnijden van zandlagen tijdens doorgaande erosie van de riviertakken, of nabij constructies in de rivier (brugpijlers, havenhoofden, etc.); en
3. bestaande erosiekuilen blijven doorgroeien, en kunnen op termijn problemen opleveren voor stabiliteit van keringen en infrastructuur (dijkstabiliteit en zettingsvloeiingen).

Plan Sluizen

De te verwachten effecten van Plan Sluizen zijn een grove schatting op basis van kennis van het huidige systeem:

1. Getijstroming door het midden en de oostelijke delen van de Rijn-Maasmonding zal verdwijnen:
 - de huidige grootschalige erosie van de takken zal grotendeels stoppen, en mogelijk (afhankelijk van continuering van het aanbod van sediment vanuit rivieren) omslaan in sedimentatie;
 - het effect van 'spoelen' van slib van de rivierbedding door de relatief hoge stroomsnelheden tijdens de getijcyclus verdwijnt, wat mogelijk kan leiden tot een toename van slibafzetting op de rivierbodem (verandering substraat);
 - het risico van ontstaan van nieuwe erosiekuilen zal afnemen: door het stoppen van de insnijding van de riviertakken neemt de kans af dat zandpakketten bloot worden gelegd en leiden tot erosiekuilen; en
 - de groei van bestaande erosiekuilen zal afnemen, maar niet tot stilstand komen. Tijdens spui-condities kunnen mogelijk nog steeds voldoende stroomsnelheden optreden voor verdere erosie, maar waarschijnlijk minder snel.
2. Sedimentatie in havenbekkens binnen de sluizen zal door het verdwijnen van getijde en zout aanzienlijk veranderen. De uitwisseling van slib tussen rivier en havens zal afnemen omdat het slibrijke water niet meer met elk opkomend getij de haven in zal stromen.

Mogelijk is met eenvoudige constructieve maatregelen de resterende uitwisseling te beperken.

3. Het sedimentatie en erosiegedrag in het hele gebied zal aanzienlijk veranderen:

- door getij stroomt in de huidige situatie tweemaal daags een debiet van orde 10,000 m³/s door de monding van de Nieuwe-Waterweg, en wordt daarmee zowel landwaarts als zeewaarts een grote hoeveelheid sediment verplaatst. Door de dammen/sluizen wordt de komberging achter de monding sterk gereduceerd, waardoor ook de uitwisselen van water en sediment in de monding sterk afneemt. Niet alleen het sediment/erosie gedrag zal veranderen, maar ook de samenstelling ervan ten opzichte van de huidige situatie. Vooralsnog is niet te stellen welke richting dit op zal gaan. Dit hangt vooral sterk af van de sedimentconcentratie bij de monding (m.n. bij opkomend getij) en de mate waarin het sediment in de Nieuwe-Waterweg en havenbekkens kan sedimenteren voordat het water terugstroomt. Hier zal de versnelde zeespiegelstijging ook een rol spelen;
- door de afwezigheid van zout in het gebied binnen de sluizen zal het cohesieve sediment niet uitvlokken (flocculatie) en minder snel sedimenteren. Dat biedt kansen om een deel van het slib te spuien door de sluizen. Aan de zeezijde van de sluizen zal dit gespuide slibrijke zoete water een zout milieu instromen en alsnog uitvlokken. De mogelijkheden voor spuien nemen door de zeespiegelstijging af, waarna kan worden overwogen de pompen in te zetten voor het handhaven van voldoende doorstroming;
- door het verdwijnen van de getijstromingen in de trajecten binnen de sluizen zal de afvoerverdeling van rivierwater (met sediment) veranderen, afhankelijk van spuidebieten op de nieuwe sluizen en de Haringvlietsluizen. Ook hierbij zal door zeespiegelstijging het spuien op de verschillende keringen veranderen, wat invloed zal hebben op de verdeling van afvoeren naar de verschillende takken.

2.2.4 Grens zee-/riviergedomineerd

MLK+: *Bij een stijging van het zeeniveau met 1 meter zal de grens langs de Waal met ca 11 km landinwaarts verschuiven naar Haaften-Gameren; bij 2 meter naar Hurwenen – Heesselt en bij 3 meter naar Tiel-Dreumel. Voor de Lek komt de grens bij 1 meter zeespiegelstijging te liggen bij de stuw bij Hagestein, en voor de Maas bij de stuw bij Lith. Gesloten zeezijde: De grens tussen het boven- en benedenrivierengebied bij Plan Sluizen verliest zijn betekenis. Bij Plan Sluizen is er achter de sluizen geen invloed meer van het getij.*

Bijlage C gaat dieper in op de vraag waar bij een hogere zeespiegel de grens tussen het zee- en rivier gedomineerde gebied (of boven- en benedenrivierengebied) komt te liggen.

Het resultaat is van belang voor de vragen over evacuatie en rivierverruiming, die in de volgende paragrafen aan bod komen.

De huidige grens tussen het beneden- en bovenrivierengebied zoals die gehanteerd wordt in de waterstaatskundige modellen ligt bij Schoonhoven, Vuren en Keizersveer. Deze grens is pragmatisch bepaald en ligt ca. 1 meter boven zeeniveau.

2.2.5 Effectiviteit rivierverruiming

In variant MLK+ is rivierverruiming effectief voor maatregelen tussen Werkendam en Haaften tot 1 m zeespiegelstijging; maatregelen tussen Haaften en St. Andries zijn nog effectief bij 2 m zeespiegelstijging; en maatregelen tussen St Andries en Tiel zijn nog effectief bij 3 m zeespiegelstijging. In de gesloten zeezijde variant zal de effectiviteit ook afnemen met stijgende zeespiegel. De verwachting is dat rivierverruiming langer effectief blijven in vergelijking met MLK+, maar dit zal met modelberekeningen vastgesteld moeten worden.

Bijlage C gaat dieper in op de effectiviteit van rivierverruiming bij hoge zeespiegelstanden.

Op zowel de Lek als de Maas is de grens tot waar het getij² kan komen hard, want deze wordt bij gemiddelde omstandigheden bepaald door de (dan gesloten) stuwen. Het getij komt onder gemiddelde omstandigheden (zeespiegel en afvoer) tot stuw Hagestein (iets ten oosten van Vianen) op de Lek (getijslag daar meestal tussen 1,0 en 1,5 m), en tot stuw Lith op de Maas (ver ten oosten van Den Bosch; getijslag nog ca 20 cm).

Op de Waal kan het getij in principe verder doordringen, omdat er geen stuwen in de weg liggen. Het getij is meestal nog goed merkbaar tot Zaltbommel (kvr 935; getijslag < 20 cm).

MLK+

Op basis van de bevindingen over de effectiviteit van maatregelen uit het programma Ruimte voor de Rivier lijkt rivierverruiming gericht op het vergroten van de afvoercapaciteit nog doelmatig te zijn als deze begint op een locatie die minimaal circa 1 m hoger is dan de gemiddelde zeestand. Door de oogharen bezien betekent dit voor de MLK+, dat:

- maatregelen tussen Werkendam en Haaften nog effectief zijn tot 1 m zeespiegelstijging;
- maatregelen tussen Haaften en St. Andries nog effectief zijn bij 2 m zeespiegelstijging; en
- maatregelen tussen St Andries en Tiel nog effectief zijn bij 3 m zeespiegelstijging.

De rivierverruimende maatregelen langs de Merwedens die onderdeel zijn van de VKS zijn dus mogelijk niet meer effectief bij zeespiegelstijgingen van meer dan 1 meter. De Lek is in deze analyse niet beschouwd omdat deze bij hogere afvoeren in alle plannen tot dusver worden ontzien, waardoor rivierverruimende maatregelen niet worden overwogen.

Plan Sluizen

Voor Plan Sluizen geldt in principe dezelfde regel als voor de MLK+, maar dient de effectiviteit gerelateerd te worden aan het in te stellen binnenpeil op het Hollands Diep en Haringvliet. Indien dit peil vergelijkbaar is met het huidige gemiddelde peil, zal dat betekenen dat maatregelen verder benedenstrooms langer effect hebben in vergelijking met de MLK+.

² NB: met getij is hier steeds bedoeld verhoging en verlaging van de waterstand; de stroomrichting verandert alleen hoogst zelden, de stroomsnelheid varieert wel (een beetje).

2.2.6 Evacuatiefracties

MLK+: Door zeespiegelstijging kan een rivier-gedomineerd traject gradueel meer storm-gedomineerd worden. Dit doet de geschatte evacuatiefractie van 0,46 geleidelijk afnemen naar de waarde van 0,08 voor storm-gedomineerde trajecten. Bij 1 m en 2 m zeespiegelstijging zijn vrijwel alle evacuatiefracties in het gebied al gelijk aan 0,08; bij 3 m geldt dit voor alle trajecten. Gesloten zeezijde: in vergelijking met de MLK+ variant zal de toename van het storm-gedomineerde gebied minder groot zijn. De precieze verandering is afhankelijk van de gekozen uitwerking van het plan, de peilen in het gebied achter de keringen en de pompcapaciteit.

Bijlage D gaat dieper in op de evacuatiefracties.

De meeste normen voor waterveiligheid zijn gebaseerd op de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), berekeningen van het lokaal individueel risico (LIR) en het groepsrisico (GR). Hierin speelt de inschatting van de overlijdenskans een belangrijke rol. De overlijdenskans hangt weer af van verschillende factoren, waaronder de mogelijkheid tot evacueren. Omdat de voorspeltijd voor extreme hoogwater op de rivier langer is dan voor zee en omdat ook het zeer onverwachte falen van de Maeslantkering een rol speelt bij overstromingen vanuit zee, worden voor zeegedomineerde gebieden kleinere evacuatiefracties (8%) gehanteerd dan voor riviergedomineerde gebieden (46%).

Door zeespiegelstijging schuift de grens zee/riviergedomineerd op naar het oosten. Op basis hiervan zouden de evacuatiefracties naar beneden bijgesteld kunnen worden in delen van het gebied.

In principe leidt een verlaging van de evacuatiefractie *ceteris paribus* tot een hogere overstromingskans en daarmee tot een hogere veiligheidsnorm. In de praktijk zijn de huidige normen van 2017 vastgesteld op basis van verwachte situatie rond 2050, onder de aanname dat rond die tijd de normen opnieuw zullen worden herzien. Tot 2050 is de verwachte zeespiegelstijging beperkt en ligt een bijstelling van de norm op basis van aangepaste evacuatiefracties als gevolg van zeespiegelstijging niet direct voor de hand.

MLK+

Tabel 2.3 geeft voor verschillende dijktrajecten de geschatte evacuatiefracties voor de MLK+ bij verschillende toenames van de zeespiegel.

Tabel 2.3 *Geschatte evacuatiefracties bij het handhaven van de MLK voor in de huidige situatie rivier gedomineerde dijktrajecten*

No	Naam	Evacuatiefractie bij verschillende zeespiegelstijgingen			
		Huidig	+1m	+2m	+3m
15-1	Lopiker-en Krimpenerwaard – Oost	0,46	0,3*	0,08	0,08
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Merwede	0,46	0,08	0,08	0,08
16-3	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-West	0,46	0,08	0,08	0,08
16-4	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-Oost	0,46	0,46	0,3*	0,08
24-2	Land van Altena 2	0,46	0,08	0,08	0,08
24-3	Land van Altena 3	0,46	0,08	0,08	0,08
24-1	Land van Altena 1	0,43	0,08	0,08	0,08
35-1	Donge 1	0,43	0,08	0,08	0,08

* Voor deze trajecten komt de grens tussen zee- en riviergedomineerd binnen het traject te liggen. Zowel zee- als riviergedomineerde gebeurtenissen kunnen voorkomen. Daarom is grofweg het gemiddelde van 8 en 46% evacuatie genomen.

Plan Sluizen

Het effect van plan Sluizen op de voorspelbaarheid van overstromingen hangt af van de precieze invulling, de afhankelijkheid van de werking van de pompen en de gevoeligheid voor falen van een van de pompen. Indien de overstromingen vooral optreden als gevolg van hoge rivierafvoeren, dan zullen de evacuatiefracties gaan richting die van de riviergedomineerde events (46%), maar indien in het systeem de grootste faalkansbijdrage wordt geleverd door minder goed voorspelbare factoren zoals de werking van de pompen, of storm, dan gaan de evacuatiefracties richting de 8%, de waarde horend bij storm gedomineerde events.

2.2.7 Buitendijkse natuur

MLK+: *Bij hogere (binnen)waterstanden verdrinkt er steeds meer buitendijkse natuur: bij 1 m ruim de helft van Tiengemeten en Biesbosch, bij 2 m bijna alles behalve de kades, en bij 3 m 'alles' buitendijs. Sedimentatie (tot 20mm/jaar) vertraagt dit verdrinkingsproces, maar zal onvoldoende zijn om verdrinking van buitendijkse natuur te voorkomen. Bij Plan Sluizen verdrinkt afhankelijk van het ingestelde binnenpeil de huidige natuur en verandert de dynamiek. De natuurtypen die afhankelijk zijn van getijden (zoet en zout; nat en droog) zullen verdwijnen. Er vindt geen sedimentatie van betekenis plaats die verdrinking van natuurgebieden kan vertragen of voorkomen.*

Bijlage E beschrijft meer uitgebreid de consequenties voor de buitendijkse natuur.

2.2.8 Buitendijkse haven- en woongebieden

MLK+: *Bij 1m zeespiegelstijging is de overstromingsfrequentie van de kades van het Noordereiland ongeveer 3 keer per jaar; bij 2 m zeespiegelstijging zullen deze substantieel vaker overstromen met grotere waterdieptes; bij 3 m zeespiegelstijging zal het Noordereiland (bij de huidige inrichting) vrijwel dagelijks water staan en zullen de Botlek en Vondelingenplaat ongeveer driemaal per jaar onder water komen te staan. Gesloten zeezijde: bij 1m zeespiegelstijging is de overlast voor buitendijkse gebieden minder groot dan in de huidige situatie, als gevolg van de afsluiting met sluizen. Bij meer dan 1m zeespiegelstijging zal de frequentie en mate van overlast ook voor deze variant toenemen. De mate waarin is echter niet goed in te schatten zonder aanvullende probabilistische berekeningen.*

Bijlage F beschrijft meer uitgebreid de consequenties voor de buitendijkse haven- en woongebieden.

In de huidige situatie zijn er in het DPRD gebied buitendijkse gebieden die al bij een eens in de 10 jaar waterstand kunnen overstromen, zoals de kades van het Noordereiland (maaielhooftte ongeveer 3 m). Ook de Waal- en Eemhavens kennen lage locaties. De kop van Feijenoord en de Heijplaat lopen deels onder met dieptes van meer dan 50 cm bij eens in de 100 jaar waterstanden.

De maaiveldhooftte van de oostelijke havens (Botlek en Vondelingenplaat) is ongeveer 4 a 4,2 m. Deze hebben nu een overstromingskans van ongeveer 1/1000 per jaar. De Europoort en Maasvlaktes zijn opgehoofd tot een maaiveldhooftte van 5 tot 6 m en worden in de huidige situatie nauwelijks bedreigd door overstroming. De effecten van de twee strategieën verschillen met name voor de Botlek en de gebieden oostelijk van de Maeslantkering. De beschrijving concentreert zich daarom daar op. De zeespiegelstijging zal vanzelfsprekend ook voor de meer westelijk gelegen Europoort en Maasvlaktes leiden tot een significante toename van de overstromingskans.

MLK+

Bij een zeespiegelstijging van 1 m zal de Maeslantkering vaker dicht gaan, zullen gebieden die nu eens in de 10 jaar onderlopen een overstromingsfrequentie van 3 keer per jaar krijgen en zullen schades die in de huidige situatie horen bij eens in de 1000 jaar gebeurtenissen, 10 keer vaker (dus eens per 100 jaar) zullen voorkomen. Ook kan bij 1/100 gebeurtenissen de Maastunnel onder water lopen.

Bij een zeespiegelstijging van meer dan 1 m is er in deze studie van uitgegaan dat ook het sluitpeil van de MLK+ wordt aangepast, zodat de sluitfrequentie maximaal drie keer per jaar blijft. De sluitpeilen nemen hierdoor toe van 3 m bij Rotterdam bij 1m zeespiegelstijging naar 3,80 m bij 2 m zeespiegelstijging, en 4,55 m bij 3 m zeespiegelstijging. Dit betekent dat de overstromingsfrequentie van de kades van het Noordereiland bij 1m zeespiegelstijging ongeveer 3 keer per jaar wordt, bij 2 m zeespiegelstijging zullen deze substantieel vaker overstromen en met grotere waterdieptes. Bij 3 m zeespiegelstijging zal het Noordereiland vrijwel dagelijks overstromen en zullen de Botlek en Vondelingenplaat ongeveer driemaal per jaar onder water komen te staan door water vanuit de Nieuwe Waterweg³. Een meer uitgebreide beschrijving is gegeven in bijlage F.

Plan Sluizen

In Plan Sluizen wordt de waterstand ten oosten van de keringen gehandhaafd op een gekozen binnenpeil. Bij 1m zeespiegelstijging zijn de MHWs in dit gebied als gevolg van het implementeren van de sluizen lager dan in de referentie-situatie. De overlast van buitendijkse gebieden is dan ook lager dan verwacht in vergelijking met de referentiesituatie. Bij hogere zeespiegelstijgingen dan 1m zal ook in het geval van Plan Sluizen de frequentie en mate van overlast toenemen. De mate waarin is echter niet goed in te schatten zonder aanvullende probabilistische berekeningen.

³ De Botlek wordt aan de zuidzijde beschermd tegen overstroming vanuit het Hartelkanaal door de tuimelkade. De kruinhooftte is bij aanleg in 1996 gelegd op +5.25 m NAP, de maatgevende hoogwaterstand inclusief seichestoelag bij een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar. Ook de grotendeels hooggelegen A15 draagt bij aan bescherming. De overstromingskans vanuit het Hartelkanaal neemt ook toe door zeespiegelstijging.

De gebieden ten westen van de sluizen in Plan Sluizen krijgen te maken met de volledige zeespiegelstijging en opstuwning. Voor het gebied dat nu achter de MLK ligt, maar ten westen van de sluizen, betekent dit een zeer grote stijging van de buitendijkse waterstanden. De overstromingskansen van die gebieden worden dermate groot dat maatregelen toegevoegd dienen te worden aan Plan Sluizen. Niet alleen de economische schade wordt daar groot, ook kan er ernstige milieuschade optreden. Daar in dit gebied petrochemische industrie en tankopslag is gevestigd, zullen er ook vanuit externe veiligheid eisen aan de overstromingskansen van dit terrein worden gesteld.

Het is niet realistisch te veronderstellen dat het landgebruik in combinatie met de huidige bescherming onveranderd kan blijven. In bijlage F wordt meer informatie gegeven.

2.2.9 Ruimtebeslag dijken

MLK+: 1 m zeespiegelstijging leidt tot een extra ruimtebeslag van ca 0 tot 10 meter; 2 m zeespiegelstijging tot een extra ruimtebeslag van ca 10 tot 20 meter en 3 m zeespiegelstijging tot een extra ruimtebeslag van ca 20 tot 40 meter. Bij 3m meter zeespiegelstijging, wordt de opgave dusdanig groot dat zware, constructieve maatregelen mogelijk de voorkeur verdienen. Gesloten zeezijde: bij 1m zeespiegelstijging zal de toename in ruimtebeslag beperkter zijn dan bij MLK+, ongeveer de helft. Uitzondering zijn de locaties aan de zeewaartse zijde van de sluizen waar extra dijkversterking nodig zal zijn. Bij 2 en 3m zeespiegelstijging zal het ruimtebeslag fors toenemen, maar op basis van de huidige modelberekeningen is niet te zeggen met hoeveel.

Bijlage G gaat dieper in op het ruimtebeslag voor dijken.

In het gebied van DPRD is in dichtbebouwde gebieden ruimte niet beschikbaar, of tegen zeer hoge kosten. Een hogere te keren waterstand kan daar worden opgelost door het nemen van constructieve oplossingen. De kosten hiervan zijn hoog, maar het ruimtebeslag beperkt.

In de onderstaande analyse is alleen rekening gehouden met opgaven voor het faalmechanisme macrostabiliteit. Piping is dus buiten beschouwing gelaten. Er zijn weliswaar gebieden in de regio Rijnmond Drechtsteden waar lange benodigde piping-bermen berekend worden. Deze lange bermen zullen echter niet klakkeloos worden aangelegd; er zal in veel gevallen naar alternatieven worden gezocht. De rekenkundige verandering van berm lengte bij verschillende strategieën en zeespiegelstijgingen is daarom vooralsnog niet een goede indicator om de voorkeursstrategie op aan te passen. Er is nog te weinig kennis van wat er straks daadwerkelijk gebouwd gaat worden om nu de voorkeursstrategie op aan te passen. Eerst moeten we een beter beeld hebben bij het rendement van de innovatieve maatregelen. Als het goedkoop is om het mechanisme volledig uit te sluiten, dan is piping geen sturende parameter voor de beleidskeuze. Wordt het heel duur, dan wordt piping heel belangrijk en doen de veranderende waterstanden er toe voor dit mechanisme. Deze onzekerheid heeft meer impact dan de verschillende strategieën en zeespiegelstijgingen. In dat licht is het beter de strategie over een aantal jaar te evalueren. Dan is beter bekend tot welke kosten de piping-opgave leidt en wat de impact is van de innovatieve maatregelen.

MLK+

Voor grondoplossingen is een globale inschatting gemaakt op basis van vuistregels en gebiedskenmerken. Hieruit ontstaat voor de MLK+ globaal het volgende beeld:

- 1 meter zeespiegelstijging leidt tot een extra ruimtebeslag van ca 0 tot 10 meter;
- 2 meter zeespiegelstijging leidt tot een extra ruimtebeslag van ca 10 tot 20 meter; en
- 3 meter zeespiegelstijging leidt tot een extra ruimtebeslag van ca 20 tot 40 meter.

Het grootste ruimtebeslag is daar waar zeespiegelstijging het sterkst doorwerkt in de waterstanden.

Plan Sluizen

De MHWs achter de sluizen liggen naar verwachting 0 tot 1 meter lager dan die in MLK+. De indicatie van het extra ruimtebeslag voor de dijken zal hierdoor in Plan Sluizen voor deze scenario's enigszins lager liggen dan voor de MLK+.

Voor zowel MLK+ als Plan Sluizen geldt dat de hogere zeespiegelstijgingen leiden tot grotere ruimtebeslagen dan die bekend zijn in het huidige HWBP. De resultaten van de analyses zijn onzeker. Daarnaast loopt er momenteel divers onderzoek om de sterkte van waterkeringen beter te kwantificeren en om innovatieve maatregelen te nemen.

2.2.10 Scheepvaart/haven

In de variant MLK+ nemen de scheepvaartkosten toe bij 1m zeespiegelstijging als gevolg van de toename van de sluitfrequentie van eens per 15 jaar naar 3 keer per jaar. Scheepvaartkosten zijn voor MLK+ echter significant lager dan voor de gesloten zeezijde variant. De mate waarin is afhankelijk van het gekozen sluitpeil en daarmee de sluitfrequentie van de MLK. Bij 2 en 3m zeespiegelstijging kunnen de kosten gelijk blijven aan die bij 1m zeespiegelstijging als besloten wordt om het sluitpeil zó op te hogen dat de sluitfrequentie gelijk blijft. Bij de gesloten zeezijde-variant zullen de scheepvaartkosten verder toenemen bij hogere zeespiegelstijging (2 en 3m), tenzij het streefpeil aan de binnenzijde van de kering "meebeweegt" met de zeespiegelstijging.

Bijlage H gaat dieper in op de kosten voor de scheepvaart en haven.

De kosten voor de scheepvaart en haven zijn eerder geschat in het kader van de motie Geurts, voor een zeespiegelstijging van 85 cm in 2100 (Rijkswaterstaat 2015).

MLK+

De kosten voor de scheepvaart en haven nemen toe indien de sluitfrequenties van de stormvloedkeringen toenemen. De sluitfrequentie is echter een keuze; deze hoeft bij een verdergaande zeespiegelstijging niet toe te nemen als het sluitpeil wordt verhoogd (zie paragraaf 2.2.1). Ter illustratie: Rijkswaterstaat gaat er in de analyses voor motie Geurts van uit dat de MLK 6,5 keer per jaar sluit als de zeespiegel met 85 cm stijgt, terwijl er in dit rapport vanuit gegaan wordt dat de MLK+ maximaal 3 keer per jaar sluit indien de zeespiegel met 2 of 3 meter stijgt. Meer zeespiegelstijging hoeft niet te betekenen dat de scheepvaartkosten verder toenemen.

Plan Sluizen

Ook bij Plan Sluizen hoeven de scheepvaartkosten bij meer zeespiegelstijging niet toe te nemen; de schepen moeten in dit plan hoe dan ook geschut worden. De hoeveelheid tijd die met het schutten gemoeid is, is afhankelijk van het peilverschil aan beide kanten van de sluis. De schuttijd zal derhalve toenemen bij toenemende zeespiegelstijging, tenzij het peil aan de binnenzijde 'meebeweegt' met de zeespiegelstijging. Een tweede aspect zijn de kosten door het verlies aan concurrentiepositie voor de Rotterdamse haven. Bij hogere zeespiegelstijgingen zullen concurrerende havens ook eerder achter sluisen verdwijnen; bij de haven van Antwerpen is dat al het geval. Een in de meeste tijd vrij toegankelijke haven (MLK+) geeft dan een relatief groter voordeel en het verlies daarvan van deze vrije toegang bij Plan Sluizen wordt relatief belangrijker.

2.2.11 Afweging MLK+/Plan Sluizen

In het scenario 'Stoom' leidt het op termijn (rond 2070) vervangen van de MLK voor de MLK+ tot vergelijkbare totale kosten als het Plan Sluizen, waarbij aangetekend is dat de onzekerheid rondom veel kosten en effecten erg groot is. Bij 2m en 3m zeespiegelstijging is op basis van de huidige modelberekeningen niet vast te stellen welke variant tot hogere kosten leidt, daar zijn aanvullende analyses voor nodig.

Bijlage I gaat dieper in op de afweging MLK+/Sluizen.

Rijkswaterstaat (2015) concludeert op basis van een inschatting van alle kosten en maatschappelijke effecten van de MLK+ en Plan Sluizen dat de totalen van deze elkaar niet veel ontlopen indien de zeespiegel met 85 cm stijgt. Plan Sluizen zou daarom een serieus te overwegen optie zijn voor de langere termijn bij verdere zeespiegelstijging. Wel dient opgemerkt te worden dat de onzekerheid rondom al deze kosten groot is, en dat de effecten voor de natuur in het totaal niet zijn beschouwd.

Meer zeespiegelstijging levert zowel argumenten voor als tegen Plan Sluizen op, en argumenten voor en tegen de MLK+ op (zie de voorgaande paragrafen en Bijlage 1). Of dit per saldo gunstig voor een van beide opties uitpakt, is zonder uitgebreide kwantitatieve analyses niet te zeggen. In zijn algemeenheid zijn voordelen van Plan Sluizen lagere waterstanden in het stedelijk gebied rondom Rotterdam en de Alblasserwaard, en nadelen de hogere risico's voor buitendijkse gebieden voor de sluisen (Botlek), het verdwijnen van getijde natuur en het belemmeren van een vrije doorvaart naar de haven.

2.2.12 Afvoerverdeling

Bij een hogere zeespiegelstijging lijkt een onderzoek naar een mogelijk andere verdeling van de Rijnafvoer het onderzoeken waard. Het IJsselmeer, het Markermeer en de randmeren bieden namelijk gezamenlijk meer bergingsruimte dan beschikbaar in de Zuidwestelijke Delta. Verder is het gebied in noordelijk Nederland minder kwetsbaar voor de gevolgen van overstromingen. Dat zou pleiten voor het ontzien van het westen van het land. De "noodzaak" voor een dergelijke maatregel neemt toe als de zeespiegel verder toeneemt. Dat geldt voor zowel de MLK+ variant als de gesloten zeezijde variant.

Bijlage J gaat verder in op de afvoerverdeling.

Bij een hogere zeespiegelstijging lijkt een onderzoek naar een mogelijk andere verdeling van de Rijnafvoer het onderzoeken waard omdat nog te bezien valt welk gebied (het noorden met daarin de IJssel en het IJsselmeer, of het westen met daarin de Rijn-Maasdelta) op nationale schaal gezien het beste in staat is de lasten van verdere klimaatverandering op te vangen, zeker wanneer de spui en bergende capaciteit afnemen met toenemende zeespiegelstijging.

In dat kader zou gedacht kunnen worden aan:

- Plan Sluizen met meer water naar het IJsselmeer en minder naar het westen;
- Een tussenoplossing met een stormvloedkering in het Haringvliet (vrij verval in plaats van pompen; behoud zoetwatergetij) en een sluizenplan met pompen voor het noordelijk deltabekken. Daarbij hetzij
 - de Lek al vanaf de IJsselkop vrijwaren van hoogwaterafvoertaak en de gewenste verdeling over IJssel en Waal nader onderzoeken; of,
 - de Lek door Betuwe of Vijfheerenlanden-Alblasserwaard naar Merwede leiden.

2.2.13 Waterberging in de Zuidwestelijke Delta

MLK+ Tot 1 m zeespiegelstijging is waterberging in het Volkerak-Zoommeer nog effectief; de berging wel veel vaker worden ingezet dan nu het geval is. Bij meer dan 1m zeespiegelstijging is waterberging in het Volkerak-Zoommeer naar verwachting niet meer effectief. Extra berging zoals Grevelingen en Oosterschelde kan bij 2 of 3 meter zeespiegelstijging mogelijk effectief zijn als de het peil bij aanvang van een storm laag gehouden kan worden. Gesloten zeezijde: het Volkerak-Zoommeer kan bij deze variant mogelijk ook effectief zijn bij 2 en 3m zeespiegelstijging, mits het beginwaterpeil laag worden gehouden wordt. Extra berging zoals Grevelingen en Oosterschelde kan bij 2 of 3 meter zeespiegelstijging mogelijk effectief zijn als ook daar de binnenpeilen laag gehouden kunnen worden.

Bijlage K gaat dieper in op de waterberging in de Zuidwestelijke Delta.

In de VKS DPRD en DB RMD is waterberging in de Zuidwestelijke Delta niet opgenomen. Waterberging op de Oosterschelde is niet opgenomen omdat dit technisch/constructief niet als mogelijk werd beschouwd (de kering is niet waterdicht gebouwd), risicovol is, en tot ongewenste economische en ecologische gevolgen leidt. Tot waterberging op het Volkerak-Zoommeer is in het kader van Ruimte voor de Rivier overigens wel besloten.

2.2.14 Zoetwaterbeschikbaarheid

MLK+: bij 1m zeespiegelstijging verandert de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) van een noodmaatregel in een structurele maatregel. Het Spui ter hoogte van Bernisse zal vaker en langduriger verziltten ten gevolge van nalevering volgend op achterwaartse verzilting. Bij een zeespiegelstijging van 2 m voldoet de KWA niet meer en zijn permanente aanvoeren vanuit ARK en Lek noodzakelijk. Voor 3 meter zeespiegelstijging zijn geen resultaten beschikbaar. Gesloten zeezijde: het zoute zeewater stroomt niet meer door het open estuarium het land binnen. Een robuuste zoetwatervoorziening van West-Nederland is daarmee een positief effect van het plan Sluizen.

Bijlage O gaat dieper in op de zoetwaterbeschikbaarheid

3 Mogelijke aanpassingsopties

Een van de conclusies uit dit onderzoek is dat bij een verdergaande zeespiegelstijging van 2 en 3 meter zowel bij de MLK+ als bij Plan Sluizen de maatgevende hoogwaterstanden in het DPRD-gebied waarschijnlijk fors zullen toenemen, met consequenties voor onder andere de benodigde dijkversterkingen, het buitendijks gebied en de natuur. Een conclusie die overigens voorlopig is, omdat de waterstandseffecten in deze studie met vereenvoudigde methoden en benaderingen zijn ingeschat. Deze conclusie roept de vraag op in hoeverre het nodig is om de VKS DPRD en DB RMD aan te passen voor mogelijk hogere zeespiegelstijgingsscenario's. Deze vraag is voorgelegd in een workshop op 19 januari 2019 aan experts en stakeholders uit het DPRD-gebied, waarin tevens de resultaten van het onderzoek naar de effecten van hogere zeespiegelstijgingsscenario's (deelproduct 1) zijn gepresenteerd.

Onderzoek andere opties/systemingrepen d.m.v. een systeemanalyse

Een belangrijke aanbeveling is om in een beleidsanalyse meer opties te onderzoeken dan de twee opties die in de huidige VKS DPRD zijn genoemd (MLK+ en Plan Sluizen) en in dit onderzoek zijn meegenomen. Deze systeemanalyse zou een groter gebied dan het DPRD moeten beslaan: ook de afvoerverdeling over de Rijntakken, het peil in het IJsselmeergebied en het peil en de kunstwerken in de Zuidwesterlijke delta zouden hierin moeten worden meegenomen. In dit kader zijn zeer veel opties en combinaties denkbaar. Twee opties waar gedacht aan zou kunnen worden, zijn

- een tussenoplossing met een nieuwe stormvloedkering in het Haringvliet (vrij verval in plaats van pompen; behoud zoetwatergetij) en een sluizenplan met pompen voor het noordelijk deltabekken. De Lek zou al vanaf de IJsselkop gevrijwaard kunnen worden van een hoogwaterafvoertaak en de gewenste afvoerverdeling over de IJssel en Waal zou nader onderzocht kunnen worden. Een alternatief is om de Lek door de Betuwe of Vijfheerenlanden-Alblasserwaard naar de Merwede te leiden;
- een tussenoplossing met een stormvloedkering in de Grevelingen en een sluizenplan met pompen voor het noordelijk deltabekken. Het Haringvliet zou in dit geval een zoetwaterbekken kunnen worden.

Een dergelijke beleidsanalyse zou over ongeveer 20 jaar kunnen worden uitgevoerd, wanneer ook meer bekend is over het tempo van de zeespiegelstijging. Belangrijke daarbij is de vraag wat deze opties impliceren in termen van 'open te houden opties' (geen lock-in of lock-out), de noodzaak om ruimte te reserveren, en om anticiperend ruimtelijk beleid (haven naar buiten?) te voeren.

Afsluitbaar Open (MLK+)

Voor het vervangen van de MLK door de MLK+ zijn er een aantal opties voor aanpassing van de VKS:

- het optimaliseren van de sluitfrequentie / het sluitpeil van de MLK+;
- onderzoek naar alternatieve locaties voor de MLK+;
- de MLK+ dubbel uitvoeren en hiermee de faalkans nog verder terugbrengen; en
- adaptatiestrategieën voor buitendijkse gebieden die bij een zeespiegelstijging van meer dan 1 meter mogelijk dienen te worden herzien.

Gesloten (Plan Sluizen)

Voor Plan Sluizen zijn de volgende opties voor aanpassing genoemd:

- Plan Sluizen met meer water naar het IJsselmeer en minder naar het westen;
- Onderzoek naar andersoortige sluizen met een zo groot mogelijke mate van bereikbaarheid en minimaal tijdsverlies;
- Alternatieve locaties van de sluizen;
- Berging toevoegen in de Zuidwestelijke delta; en
- Grotere gemaal capaciteit.

Overige aanpassingsopties

Normen naar beneden bijstellen (in combinatie met differentiatie in gebieden), meer schade accepteren en/of meerlaagsveiligheidsbeleid.

4 Overige aanbevelingen

Onderstaande aanbevelingen zijn gebaseerd op het onderzoek en de workshop.

Instrumentarium

Het verdient aanbeveling om het vereenvoudigde model voor de werking van het gebied met gesloten zeezijde, waarin de waterstandseffecten van spuien, gemalen en waterberging relatief eenvoudig gemodelleerd zijn en waarvan de contouren beschreven zijn in Bijlage A, door te ontwikkelen voor gebruik in beleidsanalyses. Aanvullend is het aan te bevelen om voor diverse mogelijke gebiedsinrichtingen bij de gesloten zeezijde simulaties uit te voeren met het Deltamodel (of een upgrade daarvan) bij 2 en 3m zeespiegelstijging om meer details beschikbaar te hebben over maatgevende belastingen en zoetwaterbeschikbaarheid. Dit zal inzicht geven in de (on-)mogelijkheden bij 2 en 3m zeespiegelstijging en aangeven welke gebiedsinrichting optimaal is voor de verschillende doelen.

Voor de afsluitbaar open situatie is het de vraag of het huidige instrumentarium voldoende nauwkeurig is om maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) te berekenen voor extreme zeespiegelstijging (2m zeespiegelstijging of meer). Dit, omdat het instrumentarium gebruik maakt van modelberekeningen met het huidige getijverloop; alleen de pieken van de stormopzet worden evenredig opgeschaald met de zeespiegelstijging. We bevelen aan om te onderzoeken hoe groot de invloed hiervan is op de berekende MHW's bij extreme zeespiegelstijging. Indien hieruit blijkt dat deze invloed groter is dan gewenst bevelen we aan om een model te maken waarmee relatief snel (hooguit enkele dagen rekentijd) de invloed van zeespiegelstijging op MHW's doorgerekend kan worden. In feite een model vergelijkbaar met het Deltamodel, maar dan met uitgangspunten die beter aansluiten bij WBI2017.

Modelberekeningen voor de gesloten zeezijde variant

Op diverse onderdelen in dit rapport konden geen uitspraken gedaan worden over de onderlinge vergelijking tussen de variant MLK+ en de variant gesloten zeezijde bij 2m en 3m zeespiegelstijging. Een belangrijke reden is het ontbreken van probabilistische modelberekeningen van maatgevende hoogwaterstanden voor de gesloten zeezijde variant. Het uitvoeren van dergelijke berekeningen zal veel aanvullend inzicht verschaffen dat ook voor andere beleidsanalyses relevant kan zijn.

Kosten en technische haalbaarheid

In het kader van deze studie zijn geen nieuwe kosten van de maatregelen bepaald, en is niet ingegaan op de technische specificaties / haalbaarheid van de MLK+ en Plan Sluizen bij 2 en 3 meter zeespiegelstijging. Aanbevolen wordt om hier nader onderzoek naar te doen.

Kennisborging kosten scheepvaart en havens

Er heeft geen borging plaatsgevonden van de kennis die in het Deltaprogramma is opgedaan voor het ramen van de effecten van sluizen en keringen voor de scheepvaart en havens. Voor toekomstige analyses is het belangrijk om stabiele kennis over de kosten van de scheepvaart (in geval van een gesloten Nieuwe Waterweg) beschikbaar te hebben en te borgen. De studie van Rijkswaterstaat (2015) over de Motie Geurts wijst hier ook op.

Ruimtelijk beeld 2100

Het wordt aanbevolen om een ruimtelijk beeld te maken van het DPRD gebied in 2100 en een verhaallijn hoe vaak de stormvloedkeringen / sluisen sluiten, waar schepen heen kunnen, welke natuur nog mogelijk is en welke gebieden nog bewoonbaar blijven of sterk aangepast dienen te worden. Een dergelijk beeld kan bijdragen aan een discussie over de in de toekomstige te verkiezen strategie.

Concurrentiepositie

Aanbevolen wordt om uit te zoeken of er lange termijn strategieën zijn te ontwikkelen waarbij waterveiligheid wordt gewaarborgd en tevens positieve effecten zijn op havens en scheepvaart (mede met het oog op de concurrentiepositie van de Rotterdamse haven ten opzichte van onder andere Antwerpen en Hamburg).

Overige

Onderzoek naar de consequenties van Plan Sluizen op het dagelijks waterbeheer en de natuur van de deltawateren Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Deze zijn in rapport van Rijkswaterstaat (2015) niet beschreven.

Het is aan te bevelen alle rivierverruimingsmaatregelen niet alleen op effectiviteit te beoordelen bij het huidig zeepeil, maar ook bij hoger zeepeilen.

5 Literatuur

De Bruijn, K.M. *et al.* (2019). Analyse van de aannames en uitgangspunten van de Deltabeslissingen en voorkeursstrategieën ten behoeve van de zes-jaarlijkse herijking. Memo dd 13-02-2019. In opdracht van Staf Deltacommissaris Deltares, Delft.

Deltares, 2018: Verkenning naar de effecten van extreme zeespiegelstijging in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Deltares in samenwerking met de gemeente Rotterdam en het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Haasnoot, M., L. Bouwer, F. Diermanse, J. Kwadijk, A. van der Spek, G.Oude Essink, J. Delsman, O. Weiler, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K.Sloff, E. Mosselman, 2018, Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002.

Rijkswaterstaat (2015), Motie Geurts, Deltaprogramma: onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en zoetwatervoorziening. 'Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg'. 19 november 2015, Definitief concept.

A Consequenties voor stormvloedkeringen en waterstanden

Auteurs: Ferdinand Diermanse en Karolina Wojciechowska

A.1 Kwalitatieve beschouwing van de invloed van zeespiegelstijging op overstromingsrisico's

Open afsluitbare kering

De stijging van de zeespiegel leidt om meerdere redenen tot een toename van het overstromingsrisico in het benedenrivierengebied:

1. het leidt tot een toename van de frequentie van hoogwatergebeurtenissen waarbij de Maeslantkering ten onrechte niet sluit;
2. het leidt tot hogere waterstanden tijdens een gebeurtenis waarbij de kering ten onrechte niet sluit;
3. het leidt tot hogere waterstanden in het gebied bij aanvang van elke stormgebeurtenis;
4. het leidt tot hogere piekwaterstanden aan de buitenzijde van de stormvloedkeringen.

ad 1]

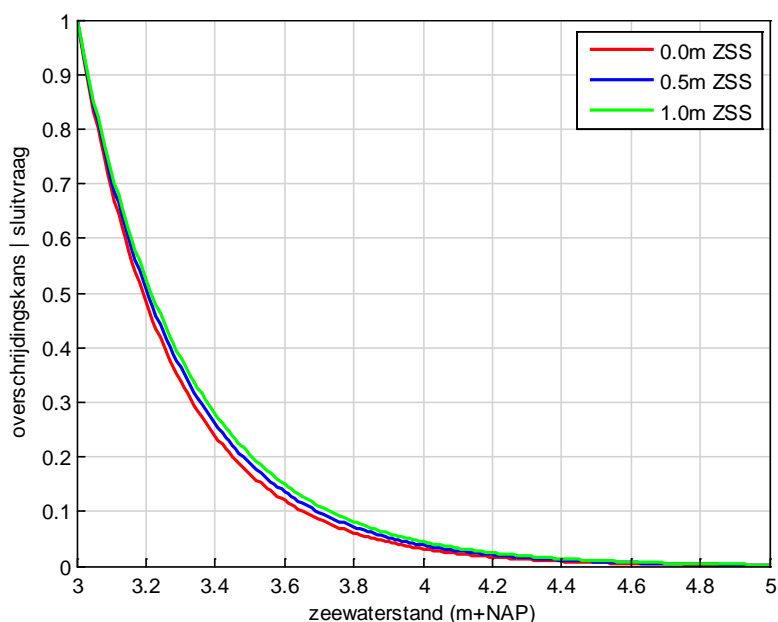
De zeespiegelstijging heeft tot gevolg dat het sluitpeil met een grotere frequentie wordt overschreden (aangenomen dat het sluitpeil onveranderd blijft). De kering zal dus vaker moeten sluiten en daardoor zal de kering ook vaker ten onrechte niet sluiten. In het zeedomineerde deel van het benedenrivierengebied zijn de gebeurtenissen waarbij de kering ten onrechte niet sluit sterk bepalend voor maatgevende hoogwaterstanden (MHWs). Voor locaties langs de Nieuwe-Waterweg geldt dat overschrijdingsfrequenties van hoge waterstanden met vrijwel dezelfde vermenigvuldigingsfactor toenemen als de sluitfrequentie van de Maeslantkering.

ad 2]

Een toename van de zeespiegel leidt er toe dat de kans op overschrijden van extreem hoge zeewaterstanden toenemen. Dat betekent dat op het moment dat de Maeslantkering ten onrechte niet sluit, de zeewaterstand gevoelsmatig naar verwachting hoger is dan in de huidige situatie (met 0m zeespiegelstijging). Figuur A.1 laat echter zien dat dit niet/nauwelijks het geval is. De kansverdeling van de piek van de zeewaterstand, *gegeven een sluitvraag*, verandert nauwelijks als gevolg van de zeespiegelstijging. Deze observatie is als volgt te verklaren. De zeespiegelstijging leidt tot een toename in de kans op overschrijden van hoge zeewaterstanden. Deze toename is, in relatieve zin, min of meer gelijkmatig voor alle waterstanden boven het sluitpeil van NAP+3m. Dat betekent dat de verhouding tussen de kans op een waterstand tussen de NAP+3,0m en NAP+3,5m enerzijds en een waterstand tussen de NAP+3,5m en NAP+4,0m anderzijds nauwelijks verandert als gevolg van de zeespiegelstijging. Het zijn deze onderlinge verhoudingen die bepalend zijn voor de conditionele kansverdeling van Figuur A.1. Vandaar dat deze conditionele kansverdeling nauwelijks verandert als gevolg van de zeespiegelstijging.

ad 3]

In de situatie van een open kering resulteert een verhoging van de zeewaterstand in een (vrijwel) gelijke toename van de waterstand in het zee-dominante deel van het benedenrivierengebied. Als gevolg van zeespiegelstijging is de zeewaterstand bij aanvang van een storm dus hoger dan in de referentiesituatie (1995). Zeespiegelstijging leidt er daarom toe dat een deel van het bergingsvolume in het benedenrivierengebied al "opgebruikt" is op het moment dat de kering gesloten wordt en dat heeft weer een verhogend effect op de maximale waterstanden tijdens de storm.



Figuur A.1 De overschrijdingskans van de piekzeewaterstand, gegeven een sluitvraag. Deze figuur is afgeleid op basis van de kansverdeling van de zeewaterstand bij Hoek van Holland volgens WBI2017 (zonder inachtneming van onzekerheden) en de aanname dat de kering sluit als deze waterstand boven de NAP+3m uit komt

ad 4]

Een toename van de zeespiegel leidt tot een vergelijkbare toename van de maximale waterstand aan de buitenzijde van de kering tijdens een storm. Dat stelt hogere eisen aan het kerende vermogen van de stormvloedkeringen.

Gesloten variant

Ook voor de gesloten variant leidt de stijging van de zeespiegel eveneens om meerdere redenen tot een toename van het overstromingsrisico in het benedenrivierengebied:

1. het leidt tot hogere buitenwaterstanden, waardoor de tijdspanne afneemt waarbinnen gespuid kan worden;
2. hogere buitenwaterstanden stellen zwaardere eisen aan het kerende vermogen van de keringen aan de zeezijde.

A.2 Doorgerekende scenario's

A.2.1 Zeespiegelstijgingen

In dit project worden berekeningen uitgevoerd voor zeespiegelstijgingen van 1, 2 en 3 m. De zeespiegelstijging wordt doorgaans weergegeven ten opzichte van het referentiejaar 1995. Echter, we gebruiken in dit project het WBI-instrumentarium (Hydra-NL) om waterstanden en hydraulische belastingniveaus uit te rekenen, en WBI gaat uit van het peiljaar 2023. Daar zit dus een verschil tussen. Er zijn verschillende opties om hier mee om te gaan:

- 1 Aannemen dat het verschil klein genoeg is om te negeren en dus geen correctie toe te passen;
- 2 Een correctie van orde 6 cm zeespiegelstijging tussen 1995 en 2023 (uitgaande van 2 mm/jaar stijging);
- 3 Een correctie van 17 cm; dit is de zeespiegelstijging tussen 1995 en 2023 volgens het Delta-scenario Warm/Stoom.

In het recente verleden zijn verschillende keuzen gemaakt voor deze correctie. Dat scheidt mogelijk verwarring en kan tot kleine onderlinge verschillen leiden. In de huidige studie zijn we uitgegaan van optie 1 bij het bepalen van sluitfrequenties, in lijn met de analyses naar de sluitfrequenties die berekend zijn tijdens de 'hackathon Rijnmond Drechtsteden' (Deltares, 2018b) en eveneens gerapporteerd zijn in het rapport van de landelijke studie naar effecten van zeespiegelstijging (Deltares, 2018a).

Voor de huidige studie heeft de keuze geen grote invloed omdat het vooral gaat om de onderlinge vergelijking van de situaties met 1m, 2m en 3m zeespiegelstijging. Ongeacht welke keuze gemaakt wordt zit er altijd 1 of 2 m verschil tussen deze drie scenario's. Echter, voor toekomstige analyses is het aan te bevelen om te komen tot een eenduidige keuze.

A.2.2 Rivierafvoeren

Naast hogere zeewaterstanden zijn in de Delta-scenario's ook aannames gedaan over hogere rivierafvoeren. In de analyses in het huidige rapport is daar ook rekening mee gehouden. In de modelberekeningen voor de scenario's met 1, 2 en 3 m zeespiegelstijging is voor de rivierafvoer het W+-scenario voor het jaar 2100 gebruikt.

A.2.3 Faalkans Maeslantkering

De faalkans van de Maeslantkering per sluitvraag in de huidige situatie is geschat op 1/100. De verwachting bestaat dat dit in de toekomst verlaagd kan worden naar 1/1.000. Voor alle scenario's met zeespiegelstijging van 1m of meer zijn de modelsimulaties daarom uitgevoerd met een faalkans van 1/1000 per sluitvraag.

A.3 Beschikbare modellen voor het berekenen van frequenties van waterstanden

In de huidige studie rekenen we de waterstanden in het benedenrivierengebied uit met het probabilistische rekenmodel Hydra-NL. Hydra-NL is, naast Riskeer/Hydra-Ring, het formele rekenprogramma om frequentielijnen van waterstanden en hydraulische belastingen te bepalen in het kader van het WBI (wettelijke beoordelingsinstrumentarium) en het OI (ontwerpinstrumentarium). Hydra-NL maakt ook deel uit van het Deltaprogramma. In het Deltaprogramma is Hydra-NL gevoed met andere databases met resultaten van hydraulische modelsimulaties dan de WBI-databases.

Omdat we in dit rapport vergelijkingen maken met het Deltamodel, spreken we ten behoeve van het onderscheid van "Hydra-NL-WBI" om aan te geven wanneer het de Hydra-NL variant betreft die voor het WBI wordt toegepast.

De belangrijkste verschillen tussen Hydra-NL-WBI en het Deltamodel zijn:

- Modelsimulaties met Sobek (Deltamodel) en WAQUA (Hydra-NL-WBI);
- Een factor 100 meer modelsimulaties (stochastcombinaties) met Hydra-NL-WBI;
- Verschillende afvoerstatistieken;
- Rekening houden met statistische onzekerheden in Hydra-NL-WBI; dit is niet het geval in het Deltamodel.
- Invloed zeespiegelstijging verwerkt in het getijverloop (Deltamodel) versus alleen verwerkt in de piekwaterstanden (Hydra-NL-WBI).

In deze studie is Hydra-NL-WBI toegepast om de berekeningen uit te voeren voor de situatie met de afsluitbaar open keringen (MLK en MLK+) voor de referentie-situatie en voor 1m, 2m en 3m zeespiegelstijging. Voor de variant met de gesloten zeezijde is Hydra-NL-WBI niet geschikt omdat de WBI-databases geen resultaten bevatten van modelsimulaties met een gesloten zeezijde. Voor de situatie met gesloten zeezijde is daarom gebruik gemaakt van berekeningen die met het Deltamodel zijn uitgevoerd in het kader van de studie naar het Plan Sluizen (RWS, 2015). Deze berekeningen zijn destijds uitgevoerd voor zeespiegelstijgingen tot 0,85m en geven daarom voldoende inzicht in de maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) bij 1 m zeespiegelstijging. Om ook inzicht te krijgen in waterstanden bij 2 en 3m zeespiegelstijging in de variant van gesloten hebben we gebruik gemaakt van een eenvoudig "bakjesmodel" dat speciaal in het kader van dit project is ontwikkeld (zie paragraaf A.7).

A.4 Houdbaarheid stormvloedkeringen

A.4.1 Sluitfrequentie Europoort kering

De Maeslantkering vormt samen met de Hartelkering en de dijkverbinding Rozenburg de Europoortkering. De Maeslantkering sluit bij een waterpeil van NAP+3m bij Rotterdam en NAP+2,9m bij Dordrecht. De sluiting en de voorgaande beslissing zijn volledig geautomatiseerd. Het effect van de sluitfrequentie van de Maeslantkering is in 2018 onderzocht in het kader van de 'hackathon Rijnmond Drechtsteden' (Deltares, 2018b) en het rapport van de landelijke studie naar effecten van zeespiegelstijging (Deltares, 2018a). Er zijn sindsdien geen nieuwe inzichten; de onderstaande tekst is daarom grotendeels overgenomen uit de beide rapporten en vervolgens aangevuld met extra analyses.

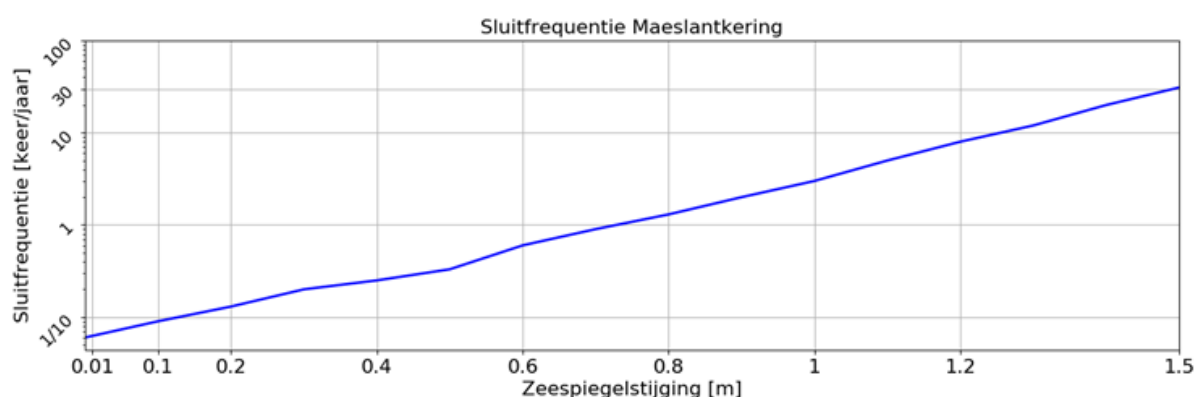
De sluitfrequentie van de Maeslantkering is in de huidige en voornoemde studies met Hydra-NL-WBI afgeleid. De berekeningen in Hydra-NL-WBI zijn uitgevoerd onder de aanname dat de Maeslantkering en de Hartelkering volledig afhankelijk zijn (beide worden tegelijkertijd gesloten). De sluitfrequenties in deze studie representeren dus de sluitfrequenties van de Europoortkering. Benadrukt wordt dat de onderliggende Hydra-NL-WBI berekeningen in dit geval geen gebruik maken simulaties met de gesloten kering; de eerder besproken fout die Hydra-NL-WBI maakt is daardoor in dit geval beperkt. Ook speelt de faalkans van de kering in deze berekeningen geen rol.

Een gevolg van de zeespiegelstijging is dat de sluitfrequentie van de Maeslantkering toeneemt, *indien de sluitcriteria ongewijzigd blijven*. Dat is nadelig om drie redenen:

- De Nieuwe Waterweg zal vaker gesloten zijn voor de scheepvaart;
- Het stelt zwaardere mechanische eisen aan de constructie;
- Er is een grotere kans op sluiten in de zomerperiode die nu voor onderhoud en testen gereserveerd is.

Ten aanzien van het tweede punt is de inschatting (op basis van expert judgement) dat de maximaal toelaatbare sluitfrequentie van de Maeslantkering gelijk is aan ongeveer 3 keer per jaar.

Met behulp van Hydra-NL-WBI is berekend wat de invloed is van zeespiegelstijging op de sluitfrequentie van deze keringen (Figuur A.2), onder de aanname van gelijkblijvende sluitcriteria. Hieruit blijkt dat de grens van 3 keer sluiten per jaar bereikt wordt bij een zeespiegelstijging van ongeveer 1 m.



Figuur A.2 Sluitfrequentie Maeslantkering als functie van de zeespiegelstijging

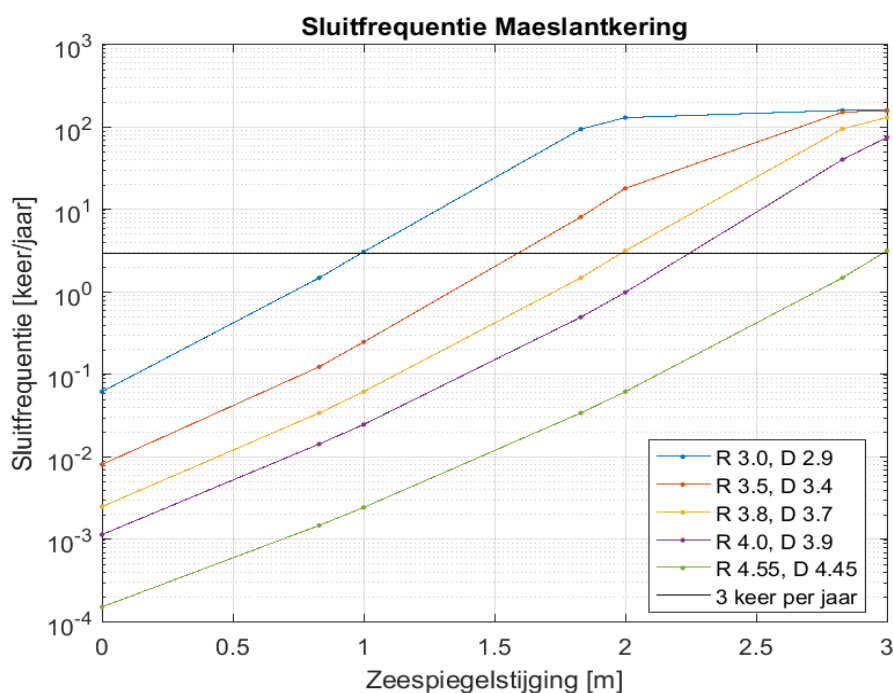
Dit betekent overigens niet dat de Maeslantkering niet meer bruikbaar is bij een zeespiegelstijging van meer dan 1 meter. Dat zou alleen het geval zijn als de sluitcriteria niet veranderen, maar dat is dan ook niet aan te raden. Bij hogere zeespiegels is er altijd een mix van sluitcriteria, faalkans sluiting en voorspelnaauwkeurigheid te vinden met een acceptabele sluitfrequentie die andere gebruiksfuncties als scheepvaart niet overmatig hindert en waar de keringen constructief aan kunnen voldoen. Het sterker dan het volgens deze mix laten oplopen van de sluitfrequentie levert vrijwel geen lagere binnendijkse overstromingsrisico's op. Het levert wel een voordeel op voor buitendijkse gebieden omdat deze minder frequent zullen overstromen. Dit voordeel is echter betrekkelijk gering en bij versnelde zeespiegelstijging zeer tijdelijk.

Het is daarom aan te raden om de sluitcriteria aan te passen bij toenemende zeespiegel om de sluitfrequentie in te perken. Uiteraard stelt dit wel strengere eisen aan de waterkeringen in het achterland, de hydraulische belastingen zullen immers toenemen. Tevens geldt dat de buitendijkse gebieden dan regelmatig onder zullen lopen. Dit is echter onvermijdelijk in de huidige voorkeursstrategie; de zeespiegelstijging heeft onherroepelijk grote invloed op maatgevende waterstanden in het achterland.

Om meer inzicht te krijgen in de wisselwerking tussen zeespiegelstijging, sluitpeil en sluitfrequentie zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd met Hydra-NL. Tabel A.1 en Figuur A.3 geven het overzicht van de resultaten. Bij een verhoging van de sluitpeilen met 0,5 m sluit de kering gemiddeld eens per 4 jaar bij een zeespiegelstijging van 1 m en 18 keer per jaar bij een zeespiegelstijging van 2 m. Deze verhoging van de sluitpeilen is onvoldoende voor een zeespiegelstijging van 3 m (dan moet de kering namelijk vrijwel continu gesloten worden). Bij een verhoging van de sluitpeilen met 1 m sluit de kering gemiddeld eens per 40 jaar bij een zeespiegelstijging van 1 m en één keer per jaar bij een zeespiegelstijging van 2 m. In dit geval is de kering ca. 50% van het winterhalfjaar gesloten bij een zeespiegelstijging van 3 m. Uitgaande van de maximale toelaatbare sluitfrequentie van 3 keer per jaar (bij een zeespiegelstijging van 1, 2 en 3 m) zijn in deze studie de bijbehorende sluitpeilen iteratief afgeleid. Bij een zeespiegelstijging van 1 m zijn wordt bij de huidige sluitpeilen nog net voldaan aan de sluitfrequentie van 3 keer per jaar. Bij een zeespiegelstijging van 2 m moeten de sluitpeilen met 0,8 m verhoogd worden om te voldoen aan de sluitfrequentie van 3 keer per jaar. In het geval van een zeespiegelstijging van 3 m is dat 1,55 m.

Tabel A.1 Relatie tussen zeespiegelstijging en sluitfrequentie van de Maeslantkering voor verschillende sluitpeilen bij Rotterdam en Dordrecht.

Toename sluitpeilen:	+0 cm	+50 cm	+80 cm	+100 cm	+155 cm
Sluitpeil Rotterdam [m+NAP]:	3,00	3,50	3,80	4,00	4,55
Sluitpeil Dordrecht [m+NAP]:	2,90	3,40	3,70	3,90	4,45
Zeespiegelstijging [m]	Sluitfrequentie Maeslantkering [keer/(winterhalf-)jaar]				
0.0	1/16	1/122	1/396	1/864	1/6518
1.0	3,1	1/4	1/16	1/40	1/405
2.0	131,3	18,2	3,2	1,0	1/16
3.0	160,7	159,2	131,6	75,6	3,2



Figuur A.3 Relatie tussen zeespiegelstijging en sluitfrequentie van de Maeslantkering voor verschillende sluitpeilen bij Rotterdam (R) en Dordrecht (D). De sluitpeilen worden in m+NAP weergegeven.

A.4.2 Sluitfrequentie Hollandse IJsselkering

De sluitprocedure van de Hollandse IJsselkering is als volgt (RWS-RIZA, 2007): de kering sluit als een stormvloed verwacht wordt. Met een stormvloed wordt bedoeld een waterstand ter plaatse van de stuw van NAP+2,25 m of hoger. De kering dient te sluiten op een moment dat bij gesloten kering aan de binnenzijde (Hollandsche IJssel) de waterstand lager is dan of maximaal gelijk is aan NAP +2,25 m. Dit geldt bij lage stormvloeden, waarbij de (verwachte) waterstand lager is dan NAP +3,00 m bij Hoek van Holland. Bij hogere stormvloeden (Hoek van Holland hoger dan NAP +3,00 m) start de sluiting bij stroomkentering (dit is het moment dat het water richting Hollandsche IJssel gaat stromen). Bij nagenoeg gelijke waterstand gaat de stuw weer open.

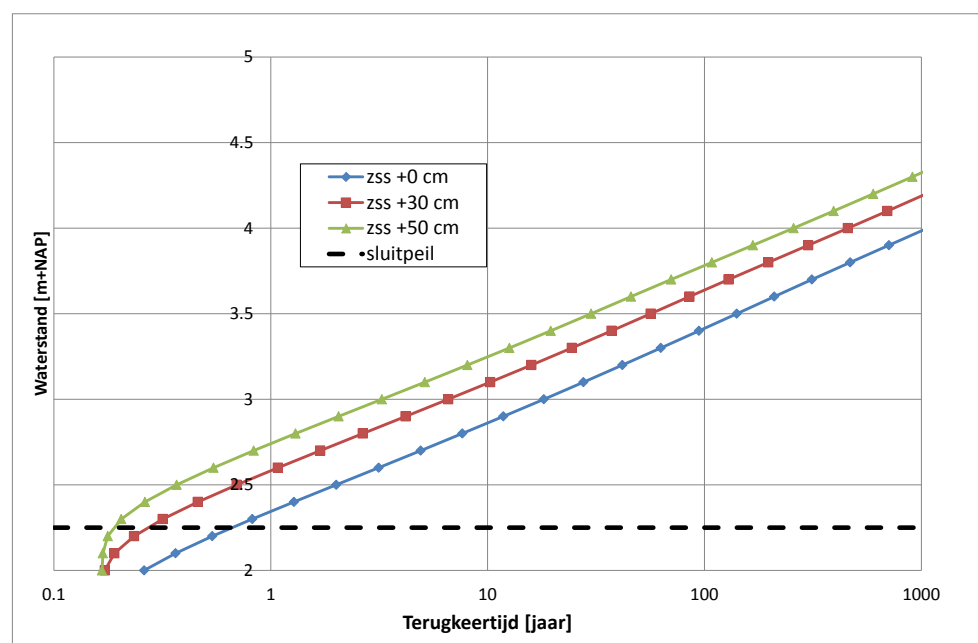
De kering wordt gemiddeld 3 keer per jaar gesloten (RWS, 2013). Bij een stijgende zeespiegel zal deze frequentie toenemen. De mate waarin deze frequentie toeneemt, is helaas niet nauwkeurig te berekenen met het beschikbare WBI-instrumentarium. Dat heeft te maken met het feit dat het WBI-instrumentarium in beginsel niet is opgesteld om hoogfrequente gebeurtenissen (3 keer per jaar is voor waterveiligheid hoogfrequent) te analyseren.

Berekende frequenties met het probabilistische rekenmodel Hydra-NL, onderdeel van het WBI-instrumentarium, gaan bijvoorbeeld tot een maximum van 6 keer per jaar. Dat heeft te maken met het feit dat het winterhalfjaar wordt gemodelleerd als 6 gebeurtenissen van elk een maand. Een waterstand kan in het rekenmodel per gebeurtenis maar één keer een drempelwaarde overschrijden. Het sluitcriterium van NAP+2.25m kan dus ook maar één keer per gebeurtenis overschreden worden en dus maximaal 6 keer per jaar. In werkelijkheid kan de kering uiteraard wel meer dan 1 keer per maand gesloten worden, en dat zal ook regelmatig gebeuren bij een significante mate van zeespiegelstijging (bij gelijkblijvend sluitpeil). Dat effect ontbreekt dus in de uitvoer van Hydra-NL.

Figuur A.4 toont drie met Hydra-NL berekende frequentielijnen voor respectievelijk 0, 0,3 en 0,5 m zeespiegelstijging. De Figuur toont ook het sluitpeil van NAP +2,25 m. Deze waarde wordt volgens Hydra-NL 1,5 keer per jaar overschreden in de huidige situatie. Dit loopt op naar 3,7 keer per jaar bij 0,3 m zeespiegelstijging en 5,3 keer per jaar bij 0,5m zeespiegelstijging. Vanwege de beperkte validiteit van Hydra-NL in dit frequentiebereik zijn deze frequenties naar verwachting een onderschatting van de werkelijke frequenties. De berekende frequentie van 1,5 keer per jaar is bijvoorbeeld lager dan de 3 keer per jaar die genoemd is in RWS (2013). En de 5,3 keer per jaar bij 0,5m zeespiegelstijging is bijna gelijk aan de bovengrens van 6 keer per jaar die gerelateerd is aan het rekenconcept van Hydra-NL. In werkelijkheid zal de kering bij 0,5m zeespiegelstijging meerdere keren sluiten per maand in het winterhalfjaar (bij het huidige sluitpeil) maar dat wordt niet weergegeven in de Hydra-NL uitvoer.

Om de frequentie van sluiten bij stijgende zeespiegel met grotere nauwkeurigheid te bepalen is het aan te bevelen een frequentie-analyse te doen op basis van gemeten waterstanden. Dit kan gedaan worden voor een locatie in de buurt van de kering of voor locatie Hoek van Holland. Een dergelijke analyse is relatief eenvoudig omdat er geen kansverdelingen gefit hoeven te worden. Er is immers geen extrapolatie nodig omdat we hier in het hoogfrequente bereik zitten. Het is feitelijk een kwestie van “turven” hoe vaak de waterstand bepaalde drempelwaarden overschrijft. Helaas was het niet mogelijk binnen de beperkingen van dit project om een dergelijke analyse uit te voeren. We bevelen aan dit in een vervolgfase wel te doen, omdat dit naar verwachting “laaghangend fruit” is.

Wat vast staat is dat de Hollandse IJsselkering tenminste 6 keer per jaar zal sluiten bij een zeespiegelstijging van meer dan 0,5 m. Vanuit constructief oogpunt is dit naar verwachting geen probleem, omdat de kering gebouwd is om relatief frequent te sluiten. Het zal uiteraard wel een grotere belemmering voor de scheepvaart gaan opleveren. Een economische analyse zal nodig zijn om te bepalen bij welke frequentie op dit punt een knippunt bereikt wordt. Ten slotte geldt dat een toename van de sluitfrequentie ook betekent dat de kans op een sluiting in de zomerperiode gaat toenemen. Dit kan mogelijk een belemmering vormen bij het onderhoud van de kering.



Figuur A.4 Frequentielijnen van de waterstand voor de Hollandse IJsselkering voor 0, 0,3 en 0,5m zeespiegelstijging.

A.4.3 Kerend vermogen Maeslantkering, Haringvlietdam en Hollandse IJsselkering

Het kerend vermogen van de Haringvlietdam en de Maeslantkering is in 2018 verkend in het kader van het rapport van de landelijke studie naar effecten van zeespiegelstijging (Deltares, 2018a). Er zijn sindsdien geen nieuwe inzichten; de onderstaande tekst en analyse is daarom deels overgenomen uit dat rapport. In de huidige studie is daar een vergelijkende analyse voor de Hollandse IJsselkering aan toegevoegd. Uit consistentieoverwegingen met (Deltares, 2018a) hebben we hier ook aangenomen dat er tussen 1995 en 2017 al 17 cm zeespiegelstijging heeft plaatsgevonden (zie de verhandeling in paragraaf A.2).

Het kerend vermogen is voor de waterveiligheid de belangrijkste eigenschap van deze kunstwerken. De eisen die hiervoor aan de kunstwerken gesteld worden vinden hun oorsprong in de in 2017 ingevoerde nieuwe normen. Toch is er niet voor gekozen om deze analyse uit te voeren in het licht van de nieuwe normering, om verwarring met de formele beoordeling te voorkomen. De voorliggende verkenning voor de lange termijn is dan ook geen beoordeling op grond waarvan de keringen goed- of afgekeurd zouden moeten worden. Die beoordeling vindt immers plaats in een ander traject, waarin door de keringbeheerders voor alle keringen een beoordeling wordt opgesteld.

De verkenning start met een schatting van wat de keringen aan waterstanden kunnen keren. Er is bewust voor gekozen om de golfbelasting buiten de analyses te houden. Het nader vaststellen van de mate van golfoverslag vraagt om uitgebreider onderzoek, waarin gebruik gemaakt wordt van meer detailgegevens van de keringen dan voor de onderhavige studie beschikbaar waren. Waar mogelijk zijn de ontwerppeilen van de keringen gebruikt als maat voor de vergelijking met toekomstige stormvloedwaterstanden. Voor de kunstwerken waarvoor geen ontwerppeil beschikbaar is, is de kerende hoogte als maat genomen.

De volgende ontwerppeilen, verkregen bij contactpersonen bij Rijkswaterstaat, zijn gebruikt in de analyses:

- *Maeslantkering:* Voor de Maeslantkering gebruiken we als criterium de gemiddelde kerende hoogte van NAP +5 m. Die is gelijk aan het niveau van de bovenzijde van de sluitdeuren.
- *Haringvlietdam:* Voor de Haringvlietdam gebruiken we als criterium de kerende hoogte van de binnenste deur van de spuisluis. Deze is NAP +5 m.
- *Hollandse IJsselkering:* Voor de Hollandsche IJsselkering gebruiken we het stormvloedpeil van NAP +4,4 m waarop de kering is ontworpen.

Een vergelijking tussen de ontwerppeilen en veranderende overschrijdingsfrequenties laat zien wat we kunnen verwachten van het waterkerende vermogen van stormvloedkeringen bij verschillende maten van zeespiegelstijging. Uiteraard kan door het versterken of verhogen van de keringen een aanpassing worden gedaan waardoor de stormvloedkering hogere waterstanden kan keren. Verder geldt dat een overschrijding van het ontwerppeil in de huidige toestand van de keringen niet per definitie betekent dat deze keringen 'falen' of 'bezwijken'.

Tabel A.2 toont de relatie tussen enerzijds de mate van zeespiegelstijging en anderzijds de terugkeertijd van de overschrijding van het ontwerppeil. Deze tabel laat zien dat bij een zeespiegelstijging van rond de 2 m de terugkeertijd voor de Maeslantkering en het Haringvliet minder is dan 10 jaar. Het ligt binnen de bandbreedte van de onzekerheden in de zeespiegelstijging dat we dit binnen deze eeuw kunnen bereiken (Deltares, 2018a). Het ligt ook binnen de bandbreedte van de projecties dat dit mogelijk pas lange tijd na 2100 bereikt gaat worden. De terugkeertijd van de overschrijding van het ontwerppeil van de Hollandsche IJsselkering is daarentegen heel groot. Zelf bij 2m zeespiegelstijging is deze nog groter dan 10.000 jaar.

Tabel A.2 Indicatie van de terugkeertijden (jaren) van de overschrijding van het ontwerppeil voor de stormvloedkeringen voor verschillende waarden van de zeespiegelstijging. De terugkeertijden zijn afgerond. Tussen de 10.000 en 1000 op 1000-tallen; tussen 1000 en 100 op 100-tallen en beneden de 100 op 10-tallen.

Zeespiegelstijging (m)	Terugkeertijd (jaar)		
	Maeslantkering	Haringvliet	Hollandsche IJsselkering
0	>1.000	>3.000	>1.000.000
0.25	>500	>1.000	>1.000.000
0.5	>300	>600	>1.000.000
0.75	>100	>300	>100.000
1	>60	>100	>100.000
1.25	>30	>50	>100.000
1.5	>20	>20	>10.000
1.75	<10	>10	>10.000
2	<10	<10	>10.000

A.5 Maatgevend hoogwater (MHW) en hydraulisch belastingniveau (HBN) bij open afsluitbare kering

Het doel van deze exercitie is het afleiden van maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) op ongeveer 50 locaties verspreid over het gebied voor de situatie met de afsluitbaar open Maeslantkering. We gebruiken het model Hydra-NL WBI om de invloed van zeespiegelstijging en andere veranderingen (sluitpeil, faalkans kering, hogere rivierafvoeren) op maatgevende hoogwaterstanden (MHW) en hydraulische belastingniveaus (HBN) te bepalen. We leiden deze af voor de vier situaties van Tabel A.3.

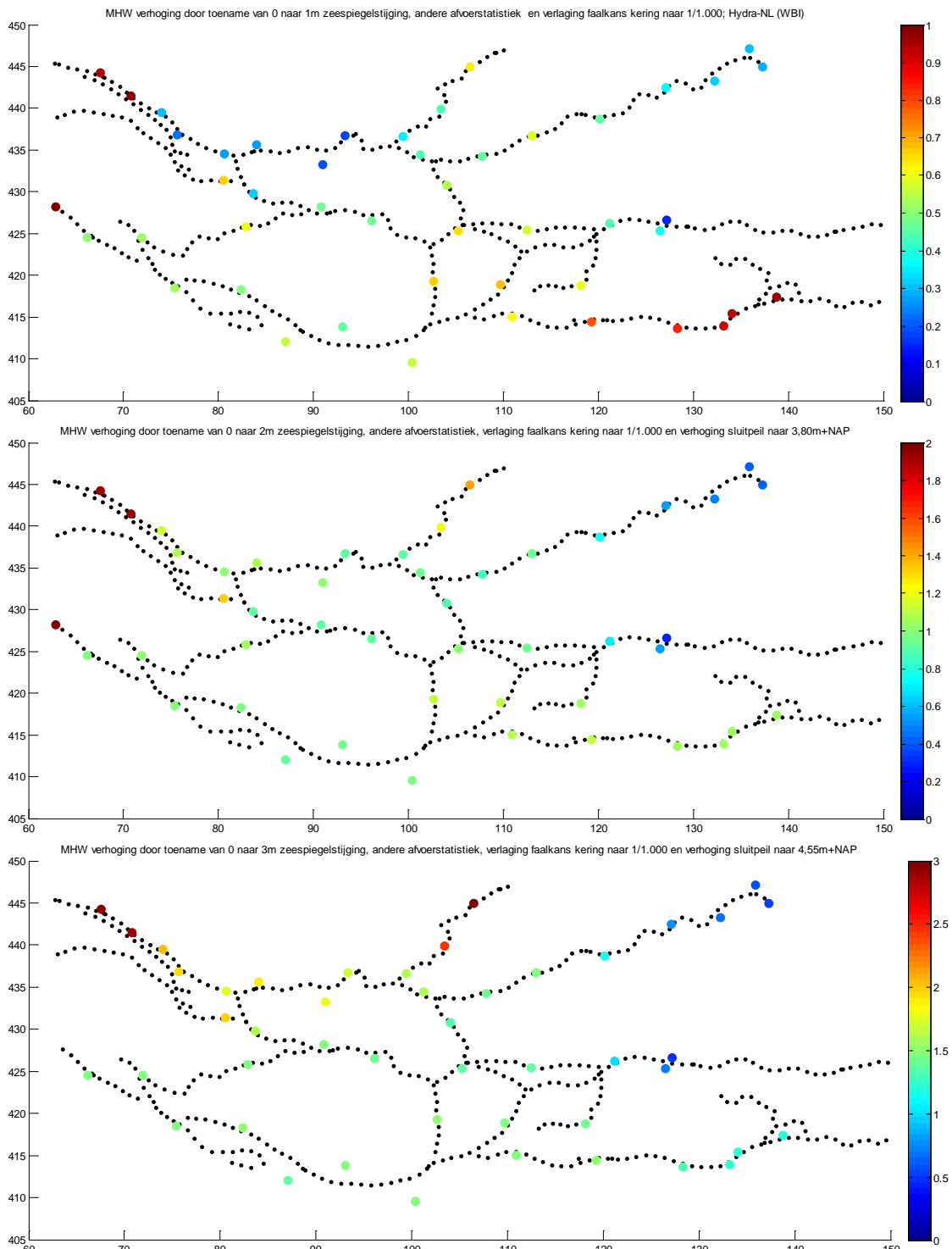
Tabel A.3 Overzicht van situaties waarvoor MHW's worden bepaald

Id	ZSS (m)	Faalkans kering	Sluitpeil Rotterdam (m+NAP)	Sluitfrequentie (per jaar)	Afvoerstatistiek
H0	0	1/100	3,00	1/15	WBI2017
H1	1	1/1.000	3,00	3	W+ 2100
H2	2	1/1.000	3,80	3	W+ 2100
H3	3	1/1.000	4,55	3	W+ 2100

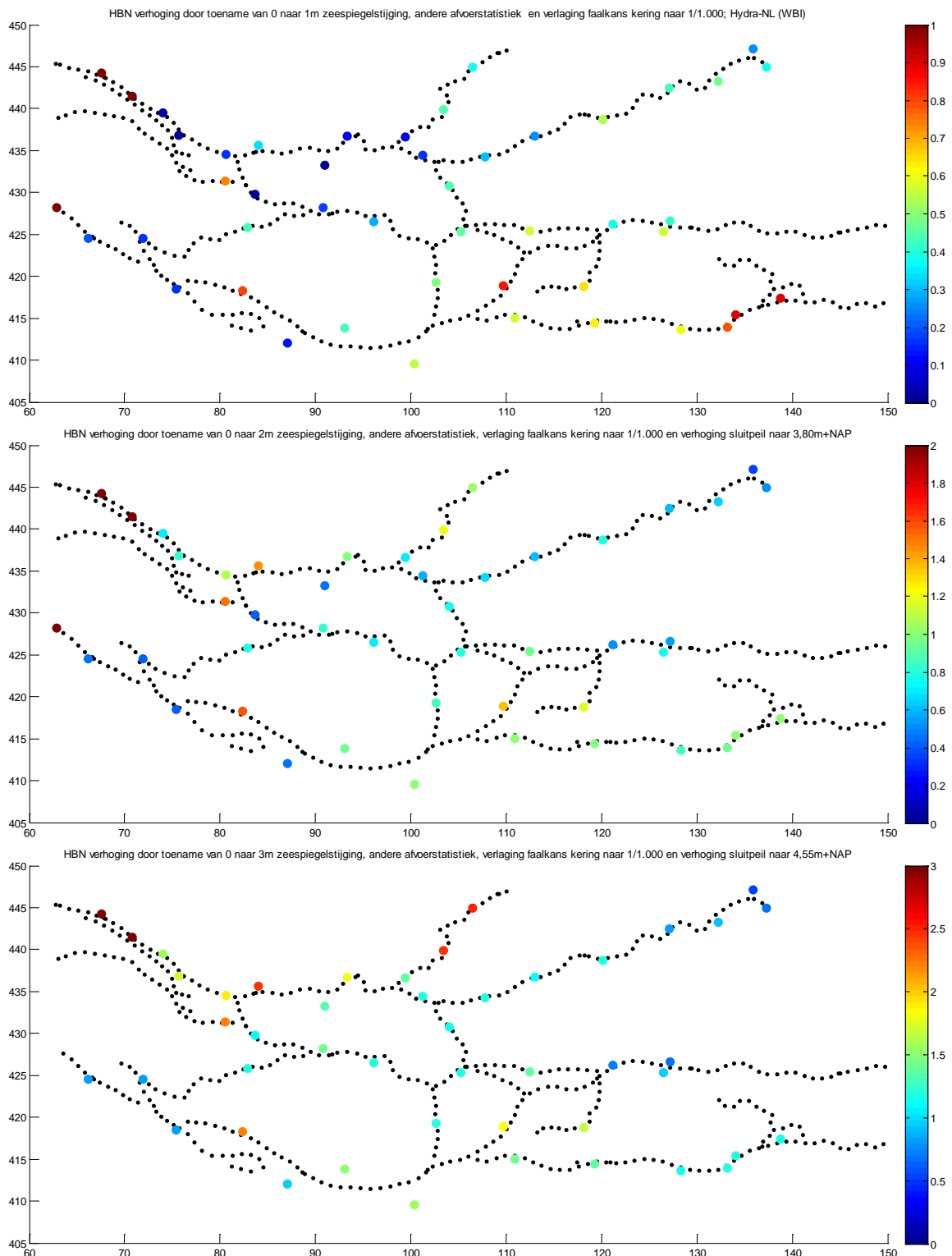
Figuur A.9 toont de aldus berekende toename in MHW's voor de verschillende niveaus van zeespiegelstijging. Figuur A.6 toont de resulterende HBN-toename voor 1, 2 en 3 m zeespiegelstijging. In grote lijnen zijn de toenames in HBN vergelijkbaar met de toenames in MHW.

Bij de toename van 0 naar 1 m zeespiegelstijging (en bijbehorende veranderingen in rivierafvoer en kenmerken Maeslantkering) zijn de grootste verschillen zichtbaar bij de bovenstroomse locaties langs de Maas en aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkeringen. Voor de locaties bovenstrooms wordt de toename in MHW vrijwel volledig veroorzaakt door de verwachte toename in extreme afvoeren. Voor de zuidelijke benedenstroomse locaties (Hollands Diep, Haringvliet) is de toename van het MHW in de orde van 0,5m, voor de noordelijk gelegen locaties ten oosten van de Maeslantkering is de toename in de orde van 0,25m. Voor de laatste groep locaties wordt het effect van 1m zeespiegelstijging grotendeels gemitigeerd door de afname in de faalkans van de Maeslantkering van 1/100 naar 1/1.000.

Bij de toename van 0 naar 2 m zeespiegelstijging is de toename in de MHW over het hele gebied in de orde van grootte van 1m, met uitzondering van locaties aan de aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkeringen (~2m toename) en bovenstrooms langs de Lek en Waal (tussen 0,5 en 1 m toename). Bij de toename van 0 naar 3m zeespiegelstijging is de toename in de MHW over het hele gebied in de orde van grootte van 1,5-2 m, met uitzondering van locaties aan de aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkeringen (~3 m toename) en bovenstrooms langs de Lek en Waal (tussen 0,5 en 1,5 m toename). Voor de zuidelijke benedenstroomse locaties (Hollands Diep, Haringvliet) is de toename van het MHW lager dan voor de noordelijk gelegen locaties ten oosten van de Maeslantkering (dit in tegenstelling tot de situatie bij 1m zeespiegelstijging).



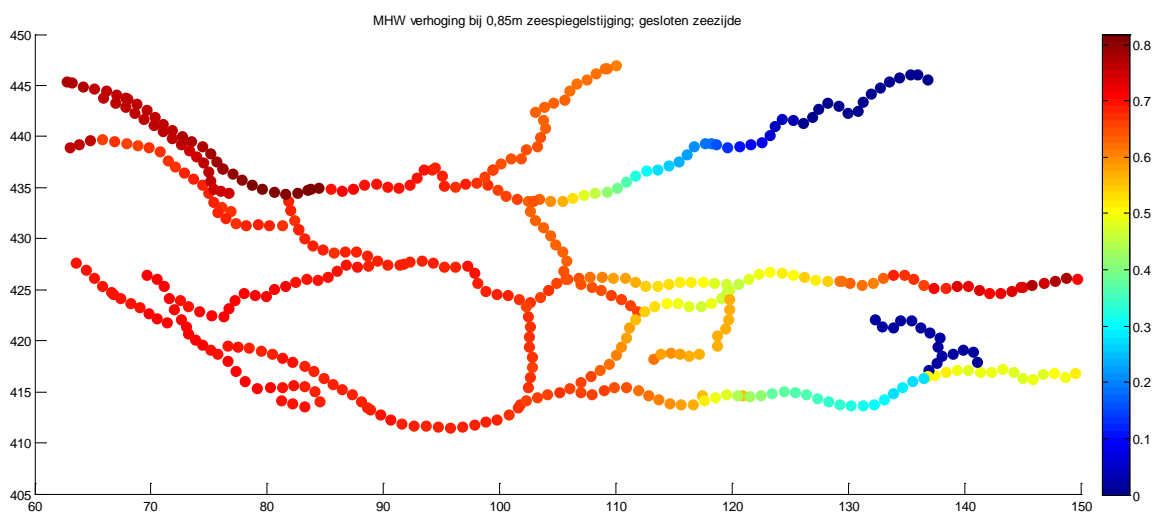
Figuur A.5 Toename MHW op 47 locaties door diverse veranderingen van “randvoorwaarden”. Boven: 1m zeespiegelstijging en verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en toename extreme rivierafvoeren. Midden: 2m zeespiegelstijging, verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en ophoging sluitpeil Rotterdam van NAP+3,0m naar NAP+3,85m en toename extreme rivierafvoeren. Onder: 3m zeespiegelstijging, verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en ophoging sluitpeil Rotterdam van NAP+3,0m naar NAP+4,55m en toename extreme rivierafvoeren.



Figuur A.6 Toename HBN op 47 locaties door diverse veranderingen van "randvoorwaarden". Boven: 1m zeespiegelstijging en verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en toename extreme rivierafvoeren. Midden: 2m zeespiegelstijging, verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en ophoging sluitpeil Rotterdam van NAP+3,0m naar NAP+3,85m en toename extreme rivierafvoeren. Onder: 3m zeespiegelstijging, verlaging faalkans van 1/100 naar 1/1.000 en ophoging sluitpeil Rotterdam van NAP+3,0m naar NAP+4,55m en toename extreme rivierafvoeren.

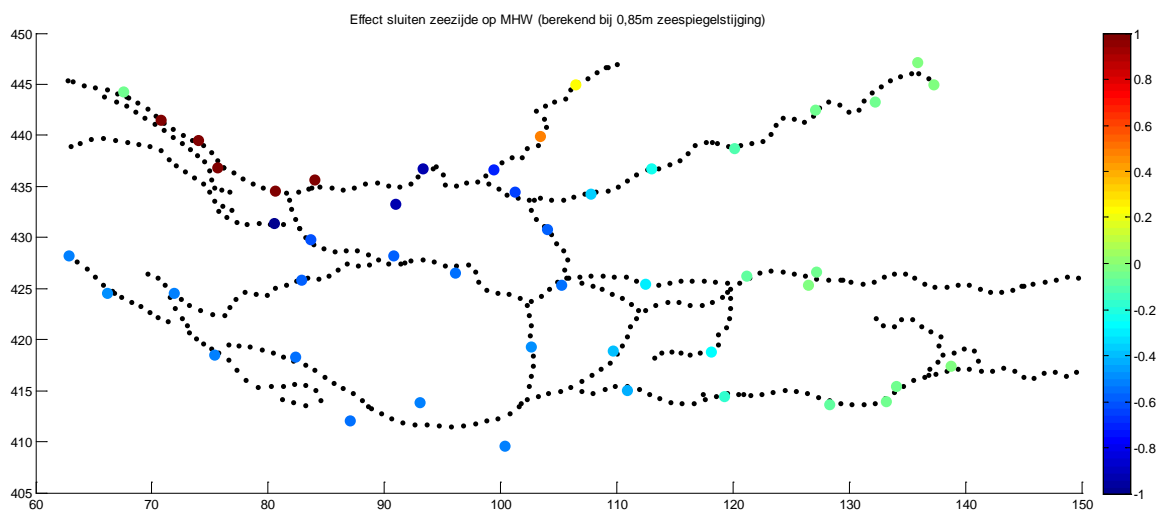
A.6 Berekening van waterstanden voor de gesloten variant bij 1m zeespiegelstijging

Ook voor de gesloten variant moeten waterstanden in het benedenrivierengebied berekend worden voor 1, 2 en 3 m zeespiegelstijging. Voor de situatie met 1m zeespiegelstijging kunnen de resultaten van de analyses in het kader van het rapport van de motie Geurts (RWS WVL, 2015) hergebruikt worden (rekening houdend met het feit dat daar met een zeespiegelstijging van NAP+0,85m is gerekend). Figuur A.7 toont de toename van het MHW als gevolg van 0,85m zeespiegelstijging in de hypothetische situatie dat bij 0m zeespiegelstijging het plan Sluizen al gerealiseerd is. Voor grote delen van het gebied ligt de toename van het MHW in het bereik van 0,6-0,7m. Dat betekent dat ook in het geval van een gesloten zeezijde een groot deel van de zeespiegelstijging (~70-80%) doorwerkt in de MHW's aan de binnenzijde van de sluizen. De toename bij 1m zeespiegelstijging kan geschat worden door de uitkomsten van Figuur A.7 te delen door 0,85.



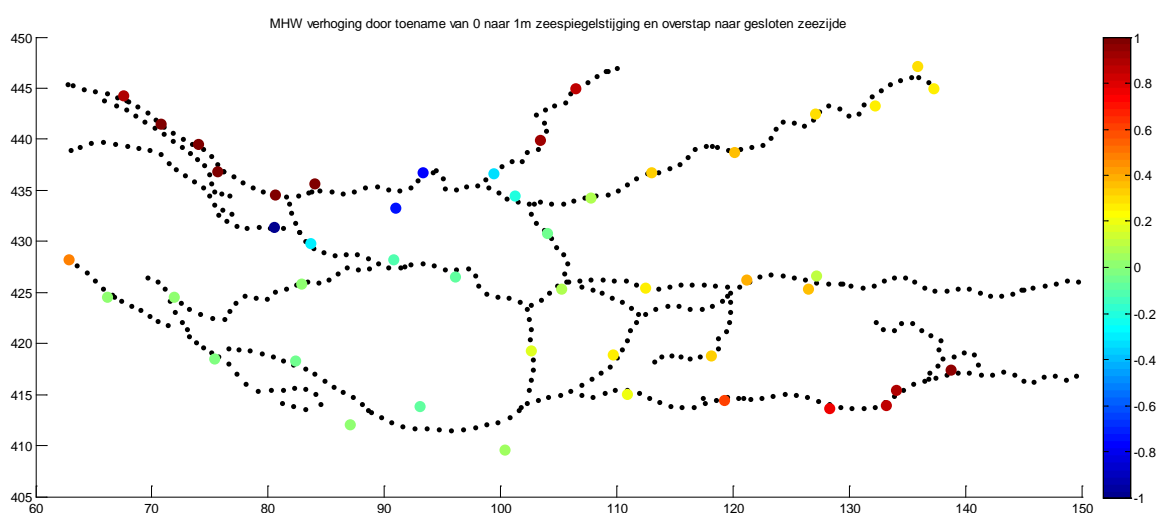
Figuur A.7 Toename van het MHW als gevolg van 0,85m zeespiegelstijging in de hypothetische situatie dat bij 0m zeespiegelstijging het plan Sluizen al gerealiseerd is.

Figuur A.8 toont de toename van de MHW als gevolg van het afsluiten van de zeezijde, bij 0,85m zeespiegelstijging. Merk op dat de kleurschaal in deze figuur begrensd is van -1m tot 1m. Voor een aantal locaties zijn de verschillen groter, bijvoorbeeld direct aan de zeezijde van de sluizen. Daar kunnen de verschillen oplopen tot 2,5 meter als gevolg van opstuwning bij de sluis. Bij alle overige locaties leidt de overgang naar de gesloten zeezijde tot een verlaging van de MHW variërend van 0 tot 1 m. Voor de meeste locaties benedenstrooms is de reductie in MHW in de orde van grootte van 0,5. Verder bovenstrooms is deze reductie minder groot. Helemaal bovenstrooms is er geen verschil in MHW tussen de open en gesloten zeezijde varianten; hier wordt de MHW volledig bepaald door de afvoer.



Figuur A.8 Toename van het MHW als gevolg van het afsluiten van de zeezijde bij een zeespiegelstijging van 0,85m. De kleurschaal is begrensd van -1m tot 1m, voor een aantal locaties zijn de verschillen groter.

Figuur A.9 toont de toename van het MHW als gevolg van de combinatie van 1m zeespiegelstijging, toename rivierafvoeren en van het afsluiten van de zeezijde. Voor bovenstroomse locaties is er sprake van een sterke toename vanwege een toename in extreme rivierafvoeren. Voor de zuidelijke benedenstroomse locaties leiden deze veranderingen netto tot een kleine toe-of afname van het MHW, voor de meer noordelijk gelegen locaties ten oosten van de sluisen is er sprake van een substantiële afname van de MHW. Voor de laatste groep locaties wordt het effect van 1m zeespiegelstijging dus volledig gemitigeerd door de afsluiting van de zeezijde. Direct aan de buitenzijde van de sluisen is sprake van een toename in de MHW van ongeveer 3m.



Figuur A.9 Toename van het MHW als gevolg van de combinatie van 1m zeespiegelstijging en het afsluiten van de zeezijde. De kleurschaal is begrensd van -1m tot 1m, voor een aantal locaties zijn de verschillen groter.

A.7 Berekening van waterstanden voor de gesloten variant bij 2 en 3m zeespiegelstijging

A.7.1 Inleiding

Voor de situatie met 2 en 3m zeespiegelstijging kunnen de resultaten van de analyses in het kader van het rapport van de motie Geurts niet hergebruikt worden omdat die analyses betrekking hadden op een zeespiegelstijging van 0,85m. Voor die situatie kan naar verwachting ook niet de gebiedsinrichting van het plan Sluizen overgenomen worden in het rekenmodel. Bij dergelijke waterstanden zijn de opties om te spuien immers verder ingeperkt, hetgeen mogelijk vraagt om een andere indeling van het gebied en ander ontwerp van de keringen i.v.m. het plan sluizen. In de studie in het kader van plan Sluizen zeespiegelstijging zijn diverse varianten doorgerekend om een goede inrichting te kunnen bepalen bij zeespiegelstijgingen in de orde van grootte van 0,85 m. Een dergelijke exercitie opnieuw uitvoeren voor 2 en 3 m zeespiegelstijging past niet binnen de huidige opdracht.

A.7.2 Rekenmethode

Om toch inzicht te krijgen in mogelijke waterstanden bij 2 en 3 m zeespiegelstijging in de gesloten variant, is gekozen voor een zeer eenvoudige benadering waarbij het gebied gemodelleerd is als een bakjesmodel. Dit model wordt gebruikt om het waterstandsverloop van een hoogwatergebeurtenis te simuleren. Een hoogwatergebeurtenis is een gebeurtenis met een hoge Rijnafvoer, een hoge zeewaterstand, of een combinatie van beide. De rivierafvoer heeft een trapeziumvormig verloop met een totale tijdsduur van 30 dagen. De stormopzet heeft eveneens een trapeziumvormig verloop, maar een kortere duur (2 dagen). De stormopzet wordt gesuperponeerd op een "standaard" getijverloop. Het getijverloop wordt verhoogd met de aangenomen zeespiegelstijging.

Het inkomende water kan uit het gebied gepompt worden met de aanwezige gemalen. De capaciteit van de gemalen is een modelparameter die gevarieerd kan worden.

Indien de waterstand aan de binnenzijde van het gebied hoger is dan de buitenzijde kan het onder vrij verval gespuid worden. De spuicapaciteit is aangenomen gelijk te zijn aan de spuicapaciteit van de Haringvlietsluizen (maar dat kan eenvoudig aangepast worden). Dit zijn 17 sluizen met elk een breedte van 56,4m en een drempelhoogte van NAP-5,5m. Het debiet door een spuisluis bepalen we met de volgende formule:

$$Q_{sluis} = \mu A \sqrt{2g(h_{binnen} - h_{buiten})}$$

Waarin:

Q_{sluis}	=	Spuicapaciteit	[m ³ /s]
μ	=	Afvoercoëfficiënt (aanname: $\mu=1$)	[-]
g	=	Gravitatieconstante	[ms ⁻²]
h_{binnen}	=	Waterstand aan de binnenzijde van de sluis	[m]
h_{buiten}	=	Waterstand aan de buitenzijde van de sluis	[m]
A	=	Oppervlakte van het water dat door de spuiopening stroomt	[m ²]

Andere belangrijke parameters en variabele van het model zijn:

Tabel A.4: Parameters van het balansmodel voor de situatie met gesloten zeezijde

beschrijving	eenheid	waarde
zeespiegelstijging	[m]	variabel
Piekafvoer van de Rijn	[m ³ /s]	variabel
Basisafvoer Rijn	[m ³ /s]	2.000
Fractie Rijn-afvoer naar de IJssel	[-]	0,154
Afvoer Maas als fractie van Rijnafvoer	[-]	0,154
Oppervlakte gebied	[km ²]	variabel
Piek van de stormopzet	[m]	variabel
Startmoment van de stormopzet, relatief t.o.v de start van de afvoerhydrograaf	[dagen]	variabel
Streefpeil	[m+NAP]	variabel
Pompcapaciteit van de gemalen	[m ³ /s]	variabel

Voor de herleiding van het oppervlak van het gebied wordt verwezen naar Tabel A.6. In de meeste simulaties gaan we er van uit dat alle wateren van Tabel A.6 bergend oppervlak zijn, dus in totaal ongeveer 1.000 km² aan bergend oppervlak. We doen echter ook een simulatie waarin alleen de Zuid-Hollandse wateren en het Volkerak-Zoommeer beschikbaar zijn voor berging, dus in totaal ongeveer 450 km² aan bergend oppervlak.

Tabel A.5: oppervlakte van open wateren in het gebied (bron: WL | Delft Hydraulics, 1997)

Zuid-Hollandse wateren	ha GIS	corr factor	echte ha
Uiterwaard Lek	769	0.9	690
Uiterwaard Krimpen	410	0.9	370
Nieuwe Maas	10165	0.5	5080
Merwede	4169	0.8	3340
Oude Maas	2954	0.9	2660
Hollands Diep	14580	0.8	11660
Waal	1051	1	1050
Haringvliet	10743	1	10740
Totaal Zuid Holland	44841	1	35600
Zeeuwse Wateren			
Volkerrak	9053	1	9050
Oosterschelde	35465	1	35465
Grevelingen	14176	1	14180
Veerse meer	4152	1	4150
Totaal Zeeland	62846	1	62850
Totaal Z_Hol + Zeeland			98440

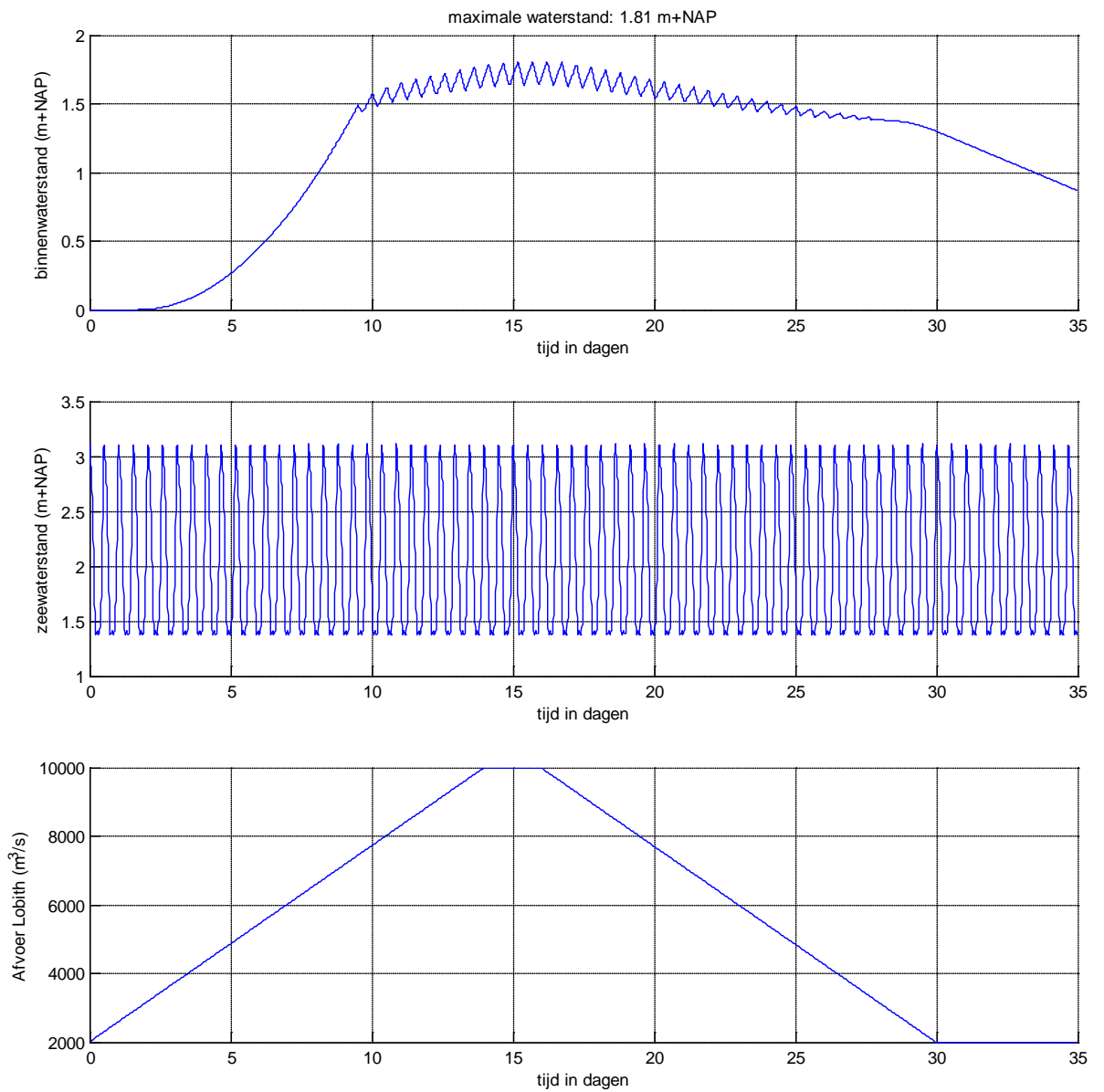
A.7.3 Rekenvoorbeelden

Om de werking van het model te illustreren zijn vijf modelsimulaties uitgevoerd, zie Tabel A.6. Figuur A.10 - Figuur A.14 tonen de resulterende tijdsverlopen van de zeewaterstand, de rivierafvoer en de binnenwaterstand. In alle berekeningen is de zeespiegelstijging gelijk aan 2m en de piek van de Rijnafvoer gelijk aan 10.000 m³/s.

Tabel A.6 Modelberekeningen. Grijs gemarkeerd zijn de afwijkingen ten opzichte van modelberekening 2

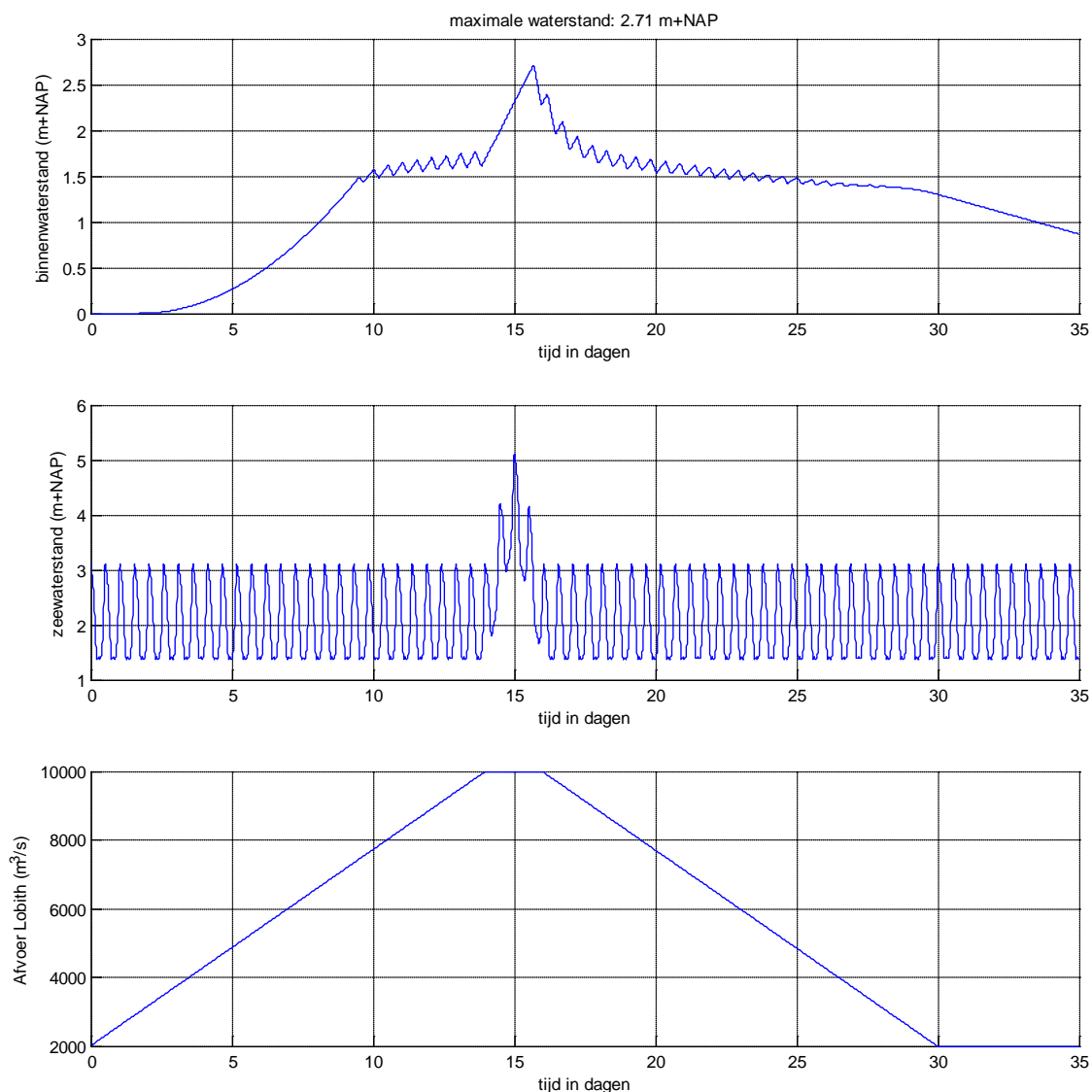
beschrijving	eenheid	Modelsimulatie				
		1	2	3	4	
Zeespiegelstijging	[m]	2	2	2	2	2
Piekafvoer van de Rijn	[m ³ /s]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Piek van de stormopzet	[m]	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Startmoment van de stormopzet,	[dagen]	-	14	25	14	14
Streefpeil	m+NAP	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
Pompcapaciteit van de gemalen	[m ³ /s]	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Oppervlakte gebied	km	1.000	1.000	1.000	1.000	450
Maximale waterstand binnenzijde	m+NAP	1,81	2,71	1,81	2,71	3,26

In de eerste modelsimulatie is er geen sprake van een stormopzet. Na ongeveer vijf dagen is de inkomende afvoer in het gebied hoger dan de pompcapaciteit van de gemalen. De binnenwaterstand is echter lager dan de buitenwaterstand (zelfs bij eb) zodat er niet gespuid kan worden. Als gevolg daarvan neemt de waterstand in het gebied toe. Dit zet door tot het moment dat de binnenwaterstand hoger wordt dan de buitenwaterstand bij eb. Vanaf dat moment kan er bij eb gespuid worden en is er min of meer sprake van een evenwichtssituatie. Vanaf het moment dat de afvoer onder het niveau van de pompcapaciteit zakt, daalt de binnenwaterstand na ongeveer een week terug naar het streefpeil.



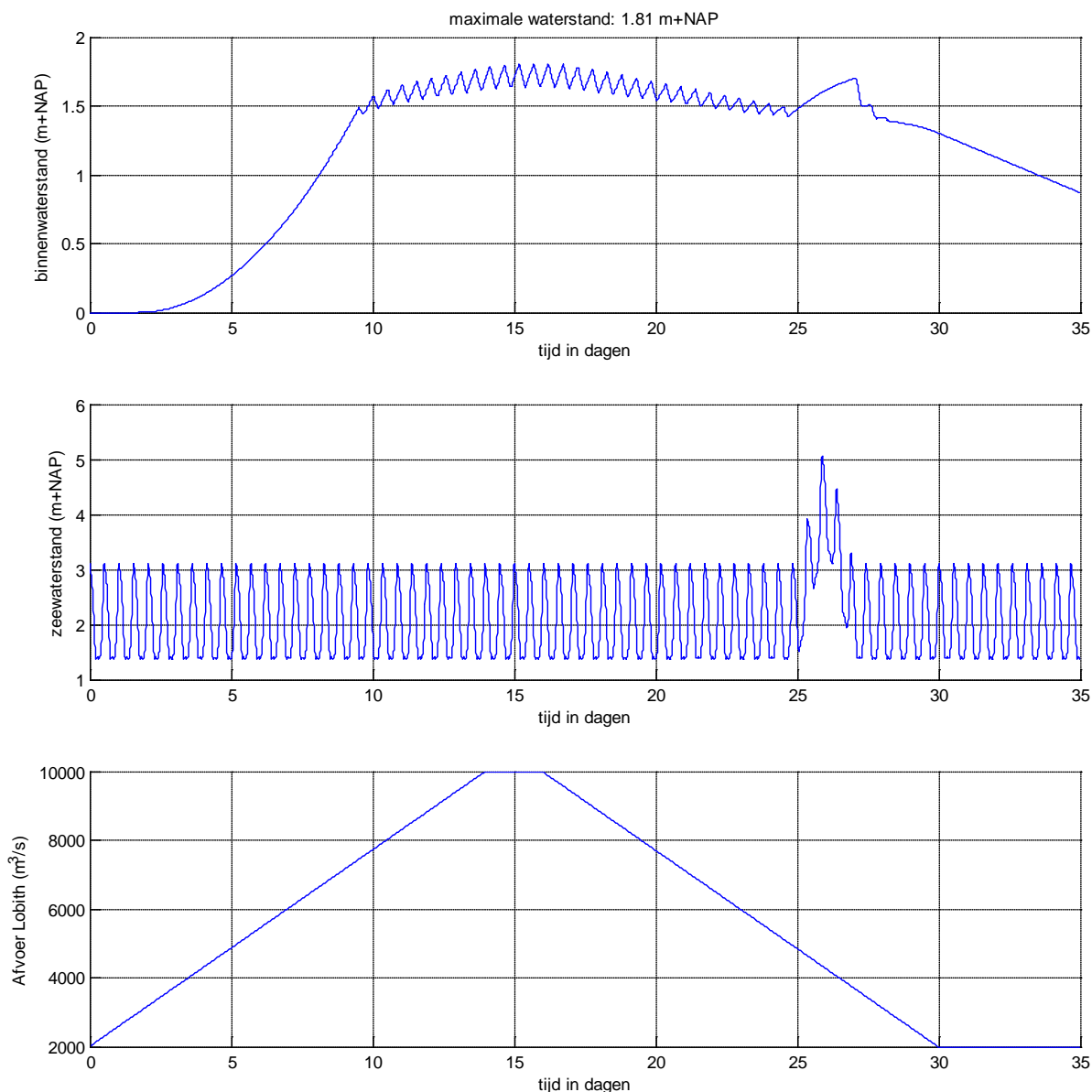
Figuur A.10 Tijdsverloop van de binnenwaterstand (boven) de zeewaterstand (midden) en rivierafvoer (onder).
Modelberekening 1.

In de tweede modelsimulatie is er sprake van 2 m stormopzet op een zeer ongunstig tijdstip, namelijk als de afvoer op/rond de piekwaarde is. Als gevolg daarvan kan enige tijd niet gespuid worden. De waterstand aan de binnenzijde neemt snel toe, tot het niveau dat de binnenwaterstand hoger wordt dan de buitenwaterstand bij eb. Vanaf dat moment kan er bij eb weer gespuid worden. Als gevolg van de stormopzet is de maximale waterstand aan de binnenzijde ongeveer 0,6 m hoger dan in de eerste modelsimulatie.



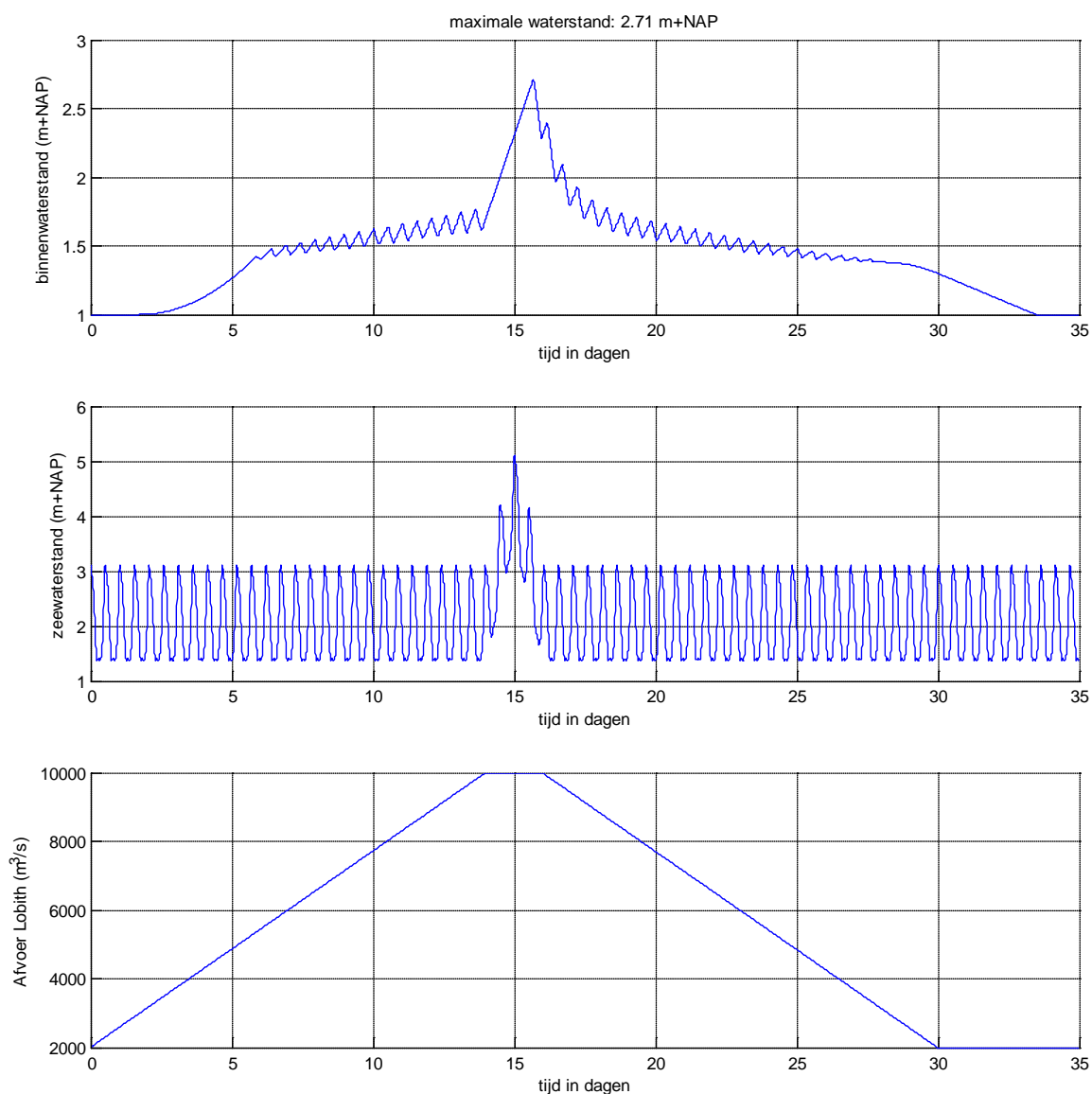
Figuur A.11 Tijdsverloop van de binnenwaterstand (boven) de zeewaterstand (midden) en rivierafvoer (onder).
Modelberekening 2.

In de derde modelsimulatie is er wederom sprake van 2 m stormopzet, maar dit keer op een minder ongunstig tijdstip, nl. ver na het optreden van de piek van de afvoer. Tijdens het optreden van de stormopzet kan weer tijdelijk niet gespuid worden, maar de afvoer is dan al weer zodanig afgenomen dat de gemalen dit volledig kunnen wegpompen. De maximale waterstand is daardoor gelijk aan die van modelsimulatie waarin geen sprake was van stormopzet.



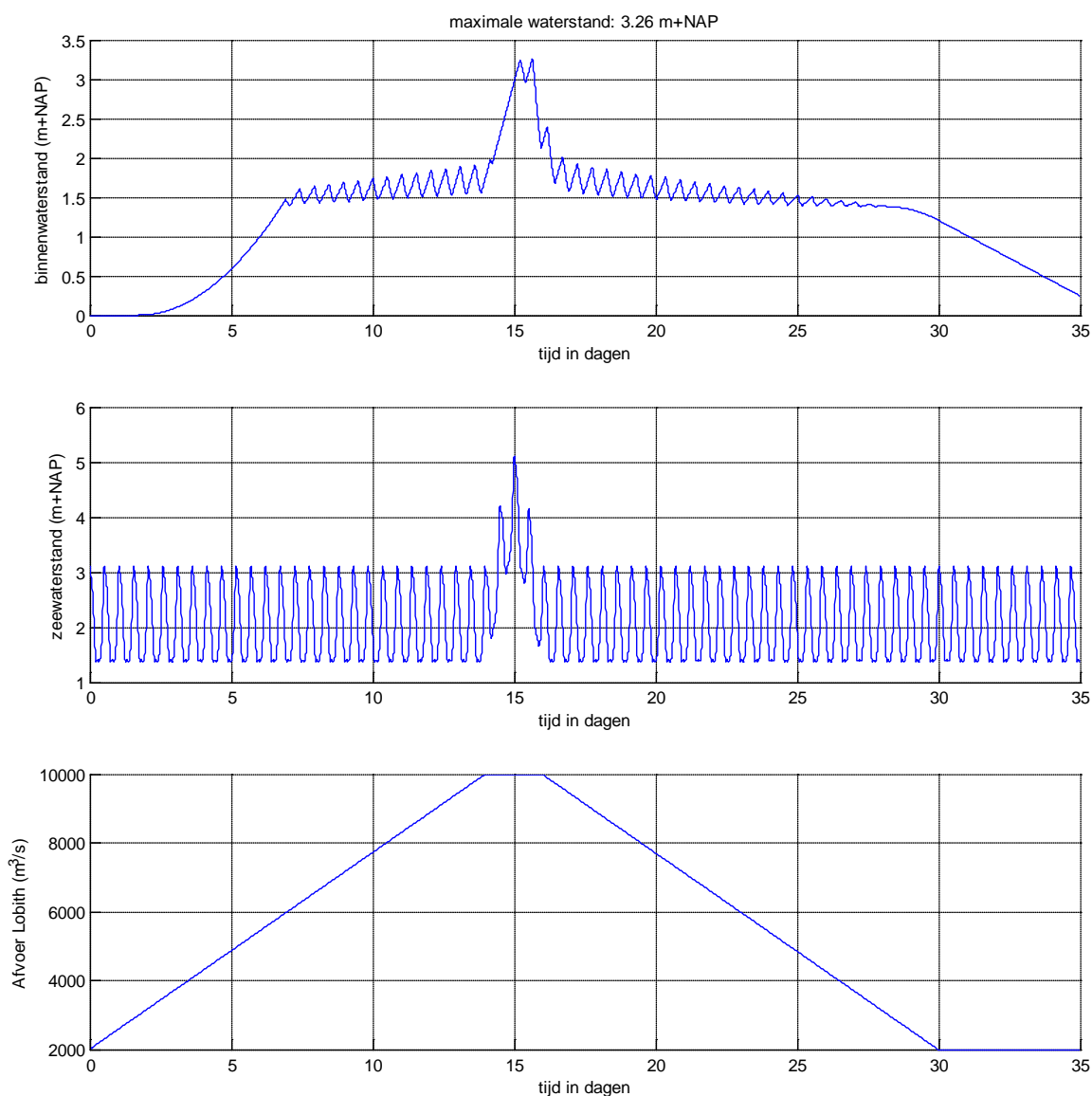
Figuur A.12 Tijdsverloop van de binnenwaterstand (boven) de zeewaterstand (midden) en rivierafvoer (onder).
Modelberekening 3.

In de vierde modelsimulatie is er, vergelijkbaar met modelsimulatie 2, sprake van 2 m stormopzet op een zeer ongunstig tijdstip. In deze simulatie is het streefpeil gelijk aan NAP+1m, dus 1m hoger dan in modelsimulatie 2. Het startpeil bij aanvang van de gebeurtenis is dus hoger dan in simulatie 2. Het blijkt dat deze hogere startwaarde niet van invloed is op de piek van de waterstand; die is gelijk aan NAP+2,71, net als in simulatie 2. Door de hogere startwaterstand worden in het vervolg weliswaar in eerder stadium hogere waterstanden bereikt, maar dat brengt als voordeel mee dat ook eerder gespuid kan worden.



Figuur A.13 Tijdsverloop van de binnenwaterstand (boven) de zeewaterstand (midden) en rivierafvoer (onder).
Modelberekening 4.

In de vijfde modelsimulatie zijn de condities weer grotendeels hetzelfde als in modelsimulatie 2, maar is sprake van een kleiner oppervlak aan beschikbaar bergend gebied (450 km^2 versus 1.000 km^2). Dit heeft tot gevolg dat de piek van de waterstand substantieel hoger uitvalt: NAP +3.26 om NAP +2.71, ofwel ruim een halve meter groter. Dit geeft een indruk van de mogelijk meerwaarde voor waterveiligheid van het beschikbaar maken van de Zeeuwse wateren voor bergend oppervlak voor rivierafvoeren in de gesloten zeezijde variant.



Figuur A.14 Tijdsverloop van de binnenwaterstand (boven) de zeewaterstand (midden) en rivierafvoer (onder).
Modelberekening 5.

A.7.4 Maatgevende condities

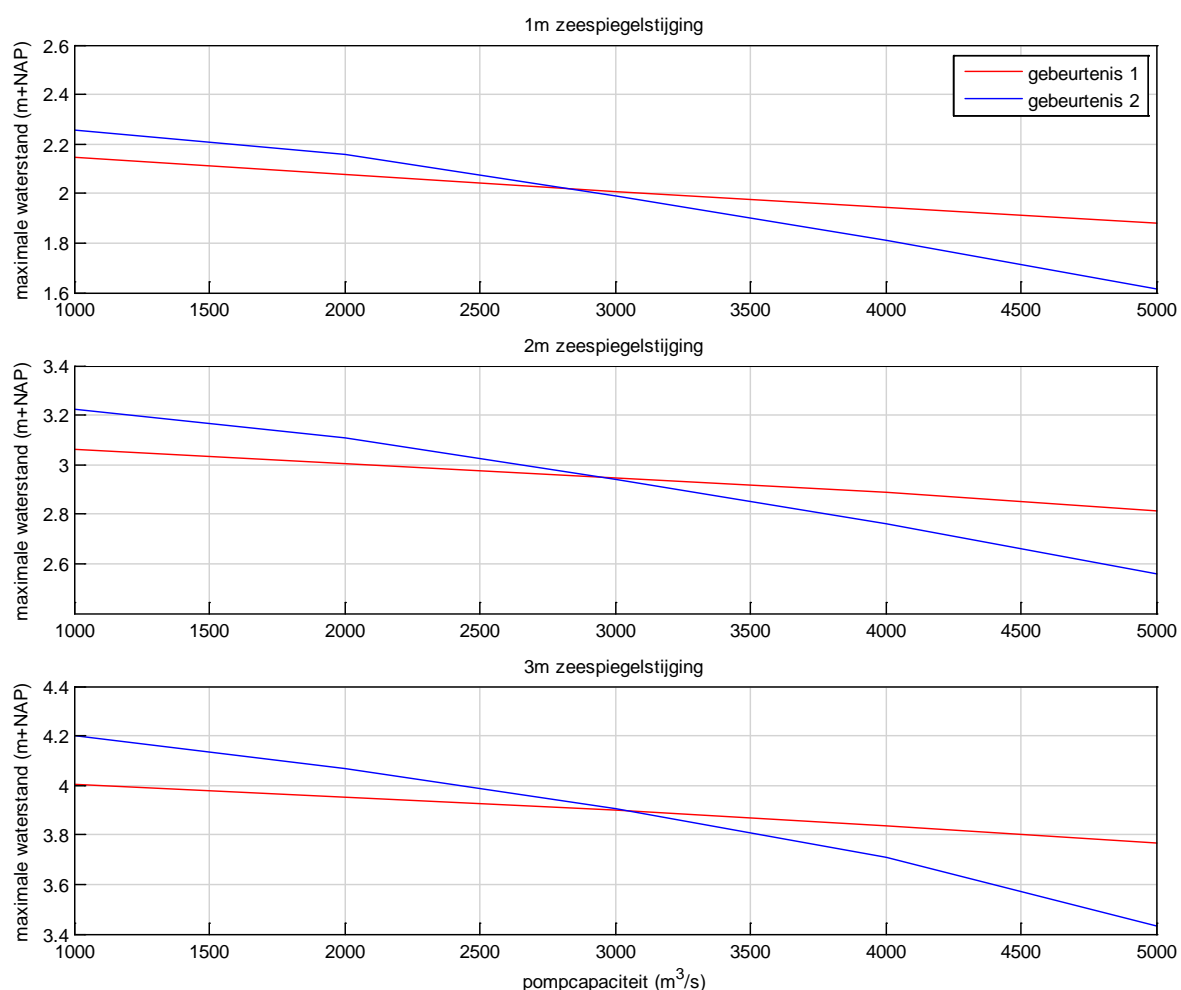
De simulaties uit de vorige paragraaf geven een goed beeld van de relatieve invloed van de afvoer en de stormopzet op waterstanden aan de binnenzijde van de sluis. Om voor een dergelijk systeem een frequentielijn van waterstanden (en daaruit volgende MHWs) af te leiden moeten in principe alle mogelijk combinaties van afvoer en stormopzet beschouwd worden, net als in een Hydra-model. Echter, een dergelijke toepassing is probabilistisch nog iets complexer dan de Hydra-methode omdat de relatieve timing van de stormopzet ten opzichte van de rivierafvoer in dit geval iets complexer is. In Hydra-NL is ieder getij namelijk een afzonderlijke gebeurtenis met elk een kans op een bepaald maximum. Maar hier hebben we te maken met het cumulatieve effect van meerdere getijperioden achter elkaar niet kunnen spuien. Het bouwen van een "Hydra-schil" om het rekenmodel vergt daarom enige tijd en past daarom niet binnen de opzet van dit project.

Om toch een gevoel te krijgen van het verloop van waterstanden onder maatgevende condities zijn op basis van Hydra-NL illustratiepunten afgeleid. Illustratiepunten zijn maatgevende combinaties van afvoer een zeewaterstand (en in het geval van het benedenrivierengebied ook windsnelheid, windrichting en de toestand van de kering). Deze condities verschillen per locatie. Voor bovenstroomse locaties zijn vooral gebeurtenissen met hele hoge afvoeren maatgevend; terwijl benedenstrooms in de Nieuwe Waterweg gebeurtenissen dominant zijn met een hoge zeewaterstand en een falende kering. Voor de situatie met gesloten zeezijde zijn het vooral gebeurtenissen met hoge afvoeren die relevant zijn, omdat bij hoge zeewaterstanden in combinatie met lage afvoeren het streefpeil gehandhaafd kan worden door inzet van de gemalen. Daarom hebben we illustratiepunten gebruikt van een bovenstroomse locatie en een locatie uit het overgangsg gebied (Dordrecht). Tabel A.7 geeft het overzicht van deze illustratiepunten.

Tabel A.7 Illustratiepunten voor twee locaties bij een terugkeertijd van 10.000 jaar.

Gebeurtenis	Locatie	Afvoer (m ³ /s)	Zeewaterstand (m+NAP)
1	Bovenstrooms Waal	15.750	2,34
2	Dordrecht	11.250	3,28

Deze illustratiepunten kunnen beschouwd worden als twee mogelijk maatgevende gebeurtenissen. Deze gebeurtenissen zijn doorgerekend met verschillende waarden van de zeespiegelstijging (1, 2 en 3 m) en verschillende pompcapaciteiten (oplopend in stappen van 1.000 m³/s tot 5.000 m³/s). Voor elk van deze situaties is de maximale waterstand in het gebied afgeleid. Figuur A.15 toont de resultaten.



Figuur A.15 Maximale waterstanden aan de binnenzijde van de kering voor verschillende gebeurtenissen, zeespiegelstijgingen en pompcapaciteiten.

Uit Figuur A.15 blijkt dat gebeurtenis 1 resulteert in hogere waterstanden indien de pompcapaciteit groter is dan 3.000 m³/s, terwijl gebeurtenis 3 resulteert in hogere waterstanden indien de pompcapaciteit kleiner is dan 3.000 m³/s. Het plan Sluizen voorziet in een pompcapaciteit van 3.000 m³/s. Bij hogere waarden van de zeespiegelstijging zal de pompcapaciteit eerder toe- dan afnemen. Daaruit kunnen we concluderen dat gebeurtenis 1 in dit verband het meest relevant is. Tabel A.8 toont de maximale waterstanden van gebeurtenis 1 voor diverse combinaties van zeespiegelstijging en pompcapaciteit. De belangrijkste conclusies hieruit zijn:

- De maximale waterstanden aan de binnenzijde van de sluis nemen bijna even veel toe als de zeespiegel;
- De pompcapaciteit heeft slechts een beperkte mitigerende invloed op maatgevende condities.

De eerste conclusie is redelijk in lijn met de bevindingen op basis van het deltamodel (paragraaf A.6) De tweede conclusie impliceert niet dat het vergroten van de pompcapaciteit niet zinvol is. De pompcapaciteit is namelijk bepalend voor het aantal dagen per jaar dat het streefpeil wordt overschreden. Bijvoorbeeld: de kans dat op een willekeurige dag in het jaar de afvoer van de Rijn bij Lobith hoger is dan 3.000 m³/s is gelijk aan 0,17 (17%).

Voor afvoeren van 4.000 m³/s en 5.000 m³/s zijn deze kansen gelijk aan 0,07 (7%) en 0,03 (3%). Deze percentages geven direct een indicatie van de frequentie van overschrijden van het streefpeil als functie van de beschikbare pompcapaciteit. Een toename in de pompcapaciteit leidt dus tot een afname van het aantal dagen waarop het streefpeil wordt overschreden. Voor “bovengemiddelde” rivierafvoeren is de beschikbare pompcapaciteit dus zeer relevant. Voor extreme, voor hoogwaters maatgevende, afvoeren is de invloed beperkt.

Tabel A.8 Berekende waterstanden voor gebeurtenis 1 van Tabel A.7 voor combinaties van zeespiegelstijging en pompcapaciteit

Zeespiegelstijging (m)	Pompcapaciteit (m ³ /s)		
	3.000	4.000	5.000
1,0	2,01	1,94	1,88
2,0	2,95	2,89	2,81
3,0	3,90	3,84	3,77

We merken voor de volledigheid op dat de hier gepresenteerde getallen slechts indicatief van aard zijn, mede om de volgende redenen:

- Er zijn andere manieren van inrichten van het mogelijk;
- We hebben gerekend met een eenvoudig bakjesmodel gebruikt en kunnen dus geen lokale verschillen vaststellen;
- Er zijn geen frequentielijnen en dus geen MHW's afgeleid vanwege het (vooralsnog) ontbreken van een probabilistische rekenshil.

De resultaten in deze paragraaf hebben betrekking op het gebied aan de binnenzijde van de sluizen. Voor locaties direct aan de buitenzijde van de sluizen is in paragraaf A.6 vastgesteld dat de MHW als gevolg van de combinatie van 1m zeespiegelstijging en van het afsluiten van de zeezijde met ongeveer 3m toe neemt. Bij 2 en 3m zeespiegelstijging is deze toename bij benadering 4m resp 5m.

Literatuur

Deltares, 2018a: Een verkenning van mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Rapport Deltares in opdracht van de staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat WVL, juli 2018.

Deltares, 2018b: Verkenning naar de effecten van extreme zeespiegelstijging in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Deltares in samenwerking met de gemeente Rotterdam en het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden.

HKV en TU Delft, 2012: Afsluitbare waterkeringen in de Rijnmond; beantwoording van vragen Deltadeelprogramma Rijnmond-Drechtsteden.

RWS-RIZA, 2007: Waterloopkundige berekeningen TMR 2006 Benedenrivierengebied Beschrijving van de waterloopkundige methode, RWS RIZA rapport 2007.017

RWS, 2013: Hollandse IJsselkering maart 2013, stormvloedkering in de Hollandse IJssel, factsheet Rijkswaterstaat, maart 2013

RWS WVL, 2015. Motie Geurts, Deltaprogramma: Onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en zoetwatervoorziening. "Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg". Harold van Waveren, Arthur Kors, Astrid Labrujere, Defne Osmanoglu. Rijkswaterstaat WVL, 2015.

WL | Delft Hydraulics, 1997: De Rijn op termijn, intern strategisch onderzoeksproject, maart 2009. Hoofdauteur: Jaap Kwadijk

B Consequenties voor de rivierbodem

Auteur: Kees Sloff

Onder invloed van het samenspel tussen bewegingen van water en sediment veranderen rivieren zich voortdurend. Dit samenspel zorgt in de Rijn-Maasdelta voor grootschalige trends in verandering van de bodemligging. De huidige en toekomstige trends worden gestuurd door (1) de waterstanden bij de monding, (2) veranderingen in eigenschappen als geometrie en ruwheid van het beschouwde riviertraject (bijvoorbeeld door adaptatiemaatregelen), en (3) toevoer van water en sediment van de rivieren. Menselijke ingrepen in het stroomgebied in de afgelopen decennia, zoals sluiting Haringvliet en verdieping Dordtsche Kil en Nieuwe-Waterweg, hebben een veel groter effect op de morfologische ontwikkeling van de waterlopen gehad dan klimaatverandering. De verwachte adaptatiemaatregelen in reactie op (versnelde) zeespiegelstijging zullen ook overheersend zijn op morfologische ontwikkeling in de toekomst.

De huidige trends in morfologische ontwikkeling zijn een grootschalige erosie in het middengebied (Oude Maas, Spui, Noord, Dordtsche Kil) en grootschalige sedimentatie in de Boven-Merwede, Hollands Diep, en de Noordrand (Nieuwe Maas en Nieuwe-Waterweg) (Becker, 2015). De sedimentatietrends worden grotendeels tenietgedaan door baggerwerk (en zandwinning). De erosie wordt bepaald door het getijvolume dat zich tweemaal daags vanuit de Nieuwe-Waterweg monding richting het Haringvliet beweegt en terug, in combinatie met een beperkt aanbod van sediment. Het spuidebiet van de Haringvlietsluizen speelt daarbij ook een doorslaggevende rol. Daarnaast is sprake van een groot aantal erosiekuilen, deels stabiel en deels groeiend. De erosiekuilen zijn ontstaan door het aansnijden van zandpakketten in slecht erodeerbare klei/veen bodem, of door stromingscondities vlak bij constructies zoals kribben, brugpijlers of havenhoofden. Erosie leidt tot diverse problemen voor kabels, leidingen en tunnels, voor stabiliteit van de oevers en waterkeringen, en voor veranderende waterverdeling en zoutindringing.

Voor het karakteriseren van het systeemgedrag is het ook belangrijk onderscheid te maken tussen sedimenttransport van zand en slib fracties. Daarnaast is ook de herkomst van sediment, vanuit de rivier en vanuit zee, van belang voor de morfologie. Zo is in de bedding van de Nieuwe-Waterweg een belangrijk deel van het sediment afkomstig uit de zee.

In eerdere studies (o.a. Haasnoot et al. 2018, Sloff et al, 2011, etc.) zijn de belangrijkste effecten van klimaatverandering en zeespiegelstijging voor de morfologie van de Rijn-Maasdelta ingeschat. Deze zijn:

- De zeespiegelstijging kan leiden tot een vergroot getijvolume in het getijgedomnieerde gebied en kan zorgen voor toename van de bodemdynamiek in het Spui, Oude Maas en Dordtsche Kil. De toegenomen variabiliteit in neerslag zal afhankelijk van het gekozen scenario leiden tot een vermindering of versterking van de bodemafname in de Merwedens. Ook is een geringe toename in de variabiliteit van de bodemligging verwacht, wat zal leiden tot een toename in het benodigde sedimentbeheer (Ottevanger en Becker, 2016).

- In theorie zal, als belangrijkste effect van de gemiddelde waterstandsstijging, aanzanding optreden als gevolg van afnemende stroomsnelheden. Deze invloed zou zich kunnen uitbreiden naar de bovenrivieren, en zelfs tot in Duitsland. In de praktijk zal door baggerwerk deze aanzanding deels worden verwijderd voor het handhaven van waterdiepte, met name in het overgangsgebied in Lek, Merwedede en Waal waar waterstanden niet alleen door zeespiegel maar ook rivierafvoer worden bepaald. Bij een stijgende bodem en een lage rivierafvoer kunnen dan diepteproblemen ontstaan.
- Het effect op de aanvoer van sediment hangt af van het gekozen klimaatscenario (Krekt et al. 2011). Ottevanger en van der Mark (2015) tonen dat verminderde sedimentaanbod (scenarios W+ en G+) zorgt voor een relatieve toename van de afvoer richting de Nieuwe Merwede. Dit zorgt ook weer voor een toename van de dynamiek in de Dordtsche Kil en het Spui. Toch kan worden verondersteld dat de effecten op de morfologie waarschijnlijk vooral zullen voortkomen uit het vergrote getijvolume (Ottevanger en Becker, 2016).

In het onderzoek van Haasnoot et al. (2018) is de vraag vervolgens gesteld hoe de bodemligging in de Rijn-Maasdelta zich morfologisch zal aanpassen aan een versneld stijgende zeespiegel. Belangrijk daarbij is dat de keuzes voor ingrepen die worden gedaan om de effecten van de zeespiegelstijging op waterstanden en zoutindringing te mitigeren een belangrijke en maatgevende invloed hebben op de morfologische ontwikkeling. Een exacte kwantificering van de effecten (zowel van de zeespiegelstijging als de ingrepen) is echter niet mogelijk door de hoge mate van complexiteit van het samenspel tussen stroming, zout, sediment en morfologie. De benodigde informatie kan volgen uit een uitgebreide modelstudie en analyse, maar deze is nog niet uitgevoerd. Vooralsnog worden de effecten van versnelde zeespiegelstijging daarom kwalitatief gepresenteerd.

In de analyse van morfologische effecten in deze studie is gekeken naar de alternatieven "MLK+" (afsluitbaar-open) en "plan sluisen" (na motie Geurts). In beide gevallen is in de analyse uitgegaan van de scenario's voor versnelde zeespiegelstijging zoals eerder in dit rapport beschreven.

In het alternatief MLK+ (afsluitbaar – open) wordt initieel geen grootschalige verandering van dagelijks stroombeeld en riviergeometrie geïntroduceerd. De afsluiting van de MLK en toevoer van zoetwater blijven incidentele gebeurtenissen die geen grote invloed hebben op de trends zoals die zijn beschreven in Haasnoot et al. (2018). De morfologische effecten voor het plan MLK+ in de situatie met versnelde zeespiegelstijging zijn dan als volgt:

- Bij een snelle stijging van het zeeniveau, kan aanzanding in de rivieren deze niet volgen. Een snelle berekening (Haasnoot et al., 2018) laat zien dat het lengteprofiel van de Merwede en Waal per jaar ruwweg 20 mm kan stijgen. Als hier van uit wordt gegaan, zou dat vanaf 2060-2070 overschreden gaan worden bij een versnelde zeespiegelstijging (uitgaande dat rond die periode de stijging van 20 mm/jaar gaat overschrijden). In het getij-gedomineerde gebied zal de stijging van waterstanden dan leiden tot een toename van het getijvolume, waardoor deze versnelde zeespiegelstijging zelfs kan leiden tot een toename van de erosietrends. Uit verkennende berekeningen (Sloff et al, 2011a, Sloff et al, 2011b) blijkt dat de toename van getijvolume kan leiden tot een toename van het netto sedimenttransport in de benedenrivieren, en daarmee versterking van de bestaande erosietrends.

- Nieuwe erosiekuilen in de riviertakken kunnen blijven ontstaan door het aansnijden van zandlagen tijdens doorgaande erosie van de riviertakken, of nabij constructies in de rivier (brugpijlers, havenhoofden, etc).
- Bestaande erosiekuilen blijven doorgroeien, en kunnen op termijn problemen opleveren voor stabiliteit van keringen en infrastructuur (dijkstabiliteit en zettingsvloeiingen).
- Het plan sluisen (na motie Geurts) is een substantiële systeemgreep, en het is niet mogelijk een betrouwbare inschatting te maken van de morfologische effecten. Verwacht wordt dat de effecten van versnelde zeespiegelstijging minder abrupt en significant zijn dan de effecten van de beoogde afsluiting van de riviertakken in dit plan. In het plan worden twee dammen gebouwd, in de Nieuwe Maas en in de Oude Maas, met spuisluizen in NM (2000 m³/s), gemalen (3000 m³/s), schutsluizen, en berging in Oosterschelde. De MLK vervalt. Ook het Hartelkanaal wordt afgesloten ter hoogte van de Beerdam. Figuur B.1 toont de voorgestelde kering in de Nieuwe Maas (bij Vlaardingen) met schutsluizen aan de Noordzijde en spuisluizen aan de Zuidzijde. De dammen zorgen voor een volledige scheiding tussen zout getijdewater (Nieuwe Waterweg) en zoet binnenwater zonder getij.



Figuur B.1: artist impression van de sluis in Nieuwe Maas ter hoogte van Vlaardingen in het plan van F. Spaargaren et al. Bron: Frédéric Ruys, *Vizualism*, 2016

In onderstaande is een overzicht gegeven van de te verwachten effecten van het plan, maar met de kanttekening dat dit slechts een grove schatting betreft op basis van kennis van het huidige systeem.

- Getijstrooming door in midden en oostelijke delen van de Rijn-Maasmonding zal verdwijnen:
 - De huidige grootschalige erosie van de takken zal grotendeels stoppen, en mogelijk (afhankelijk van continuering van het aanbod van sediment vanuit rivieren) omslaan in sedimentatie.

- Het effect van 'spoelen' van slib van de rivierbedding door de relatief hoge stroomsnelheden tijdens de getijdencyclus verdwijnt, wat mogelijk kan leiden tot een toename van slibafzetting op de rivierbodem (verandering substraat).
- Het risico van ontstaan van nieuwe erosiekuilen zal afnemen: door het stoppen van de insnijding van de riviertakken neemt de kans af dat zandpakketten bloot worden gelegd en leiden tot erosiekuilen.
- De groei van bestaande erosiekuilen zal afnemen, maar niet tot stilstand komen. Tijdens spui-condities kunnen mogelijk nog steeds voldoende stroomsnelheden optreden voor verdere erosie, maar waarschijnlijk minder snel.
- Sedimentatie in havenbekkens binnen de sluizen zal door verdwijnen van getijde en zout aanzienlijk veranderen:
 - De uitwisseling van slib tussen rivier en havens zal afnemen omdat het slibrijke water niet meer met elk opkomend getij de haven in zal stromen. Met eenvoudige middelen is de resterende uitwisseling te beperken (bijvoorbeeld current-deflection walls).
- Het sedimentatie en erosiegedrag in het hele gebied zal aanzienlijk veranderen:
 - Door getij stroomt in de huidige situatie tweemaal daags een debiet van orde 10,000 m³/s door de monding van de Nieuwe Waterweg, en wordt daarmee zowel landwaarts als zeewaarts een grote hoeveelheid sediment verplaatst. Door de dammen/sluizen wordt de komberging achter de monding sterk gereduceerd, waardoor ook de uitwisselen van water en sediment in de monding sterk afneemt. Niet alleen het sediment/erosie gedrag zal veranderen, maar ook de samenstelling ervan ten opzichte van de huidige situatie. Vooralsnog is niet te stellen welke richting dit op zal gaan. Dit hangt vooral sterk af van de sedimentconcentratie bij de monding (m.n. bij opkomend getij) en de mate waarin het sediment in de Nieuwe Waterweg en havenbekkens kan sedimenteren voordat het water terug stroomt. Hier zal de versnelde zeespiegelstijging ook een rol spelen.
 - Door de afwezigheid van zout in het gebied binnen de sluizen zal het cohesieve sediment niet uitvlokken (flocculatie) en minder snel sedimenteren. Dat biedt kansen om een deel van het slib te spuien door de sluizen. Aan de zeezijde van de sluizen zal dit gespuide slibrijke zoete water een zout milieu instromen en alsnog uitvlokken. De mogelijkheden voor spuien nemen door de zeespiegelstijging af, waarna kan worden overwogen de pompen in te zetten voor het handhaven van voldoende doorstroming.
 - Door het verdwijnen van de getijstromingen in de trajecten binnen de sluizen zal de afvoerverdeling van rivierwater (met sediment) veranderen, afhankelijk van spuidebieten op de nieuwe sluizen en de Haringvlietssluisen. Ook hierbij zal door zeespiegelstijging het spuien op de verschillende keringen veranderen, wat invloed zal hebben op de verdeling van afvoeren naar de verschillende takken.

Zoals aangegeven zal de uiteindelijke morfologische ontwikkeling van de riviertakken voor beide alternatieven in sterke mate afhangen van de ingrepen die worden genomen. Verwacht wordt dat met sedimentbeheer (baggeren, storten, suppleren) de erosie zoveel mogelijk wordt gestopt, en dat zo mogelijk met ingrepen wordt geprobeerd de bodemligging de gemiddelde waterstand te laten volgen. Een lange-termijn visie ten aanzien van het beheer van de bodemligging is nog in ontwikkeling (heden 2019), rekening houdend met de vele functies van de rivieren in het Rijnmaasmonding gebied.

Literatuur

Becker, A. (2015). Sediment in (be)weging: deel 2 (periode 2000-2012). Deltares-rapport 1208925-000.

M. Haasnoot, L. Bouwer, F. Diermanse, J. Kwadijk, A. van der Spek, G.Oude Essink, J. Delsman, O. Weiler, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K.Sloff, E. Mosselman, 2018, Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002.

Krekt, A.H., T.J. van der Laan, R.A.E. van der Meer, B. Turpijn, O.E. Jonkeren, A. van der Toorn, E. Mosselman, J. van Meijeren, T. Groen (2011) Climate change and inland waterway transport : impacts on the sector, the Port of Rotterdam and potential solutions. ISBN/EAN 978-94-90070-434.

Ottevanger W., R. van der Mark (2015) Morfodynamische modelering Rijn-Maasmonding. Deltares, concept rapportage met kenmerk 1208925 000-ZWS-0030

Ottevanger, W. en A. Becker (2016) Inschatting van toekomstige bodemontwikkelingen Rijn-Maasmonding: Onderdeel van "Advies beheer rivierbodembodem RMM". Deltares rapport 1208925-000.

Sloff, C.J. G.A. van den Ham, E. Stouthamer, J.W. van Zetten (2011a) Beheer bodemligging in Spui, Oude Maas en Noord. Deltares rapport 1203316-000.

Sloff, C.J., M.F.M. Yossef, R. van der Mark (2011b): Deltaprogramma Rivieren morfologie en scheepvaart; bepalen opgave 2100. Deltares-rapport 1203442.

C Consequenties voor de grens tussen zee- en/riviergedomineerd gebied en voor de effectiviteit van rivierverruiming

Auteur: Frans Klijn

Algemeen

Bij de rivieren zijn drie deelgebieden te onderscheiden, het bovenrivierengebied waarin de waterstanden door de afvoer en de capaciteit van het winterbed van de rivier bepaald worden, het estuarium waarin de waterstanden volledig door de zeewaterstand bepaald worden en een overgangsgebied (benedenrivieren) waarin zowel de zeewaterstand als de afvoer van de rivier van invloed zijn.

Zeer grofweg kan men stellen dat waar de rivierwaterstand gelijk is aan de gemiddelde buitenwaterstand op zee (0 m NAP) de waterstand volledig door de buitenwaterstand wordt bepaald; tussen 0 en +1 m zijn zowel de afvoer van de rivier als de buitenwaterstand van invloed en boven de +1 m is vooral de afvoer van de rivier van belang.

Tot 1 a 2 m boven de gemiddelde zeestand is nog wel getij-invloed merkbaar, maar bij grote rivierafvoeren zijn de zeestand en getij-invloed nauwelijks meer bepalend voor de hoogwaterstanden. Daarom spreekt men daar van het bovenrivierengebied. De grens tussen bovenrivierengebied en overgangsgebied kan dus eigenlijk alleen goed worden vastgesteld door alle mogelijke combinaties van rivierafvoer en storm op zee door te rekenen, over het gehele gebied. Dat is tot nu toe niet gedaan (en zelfs nog niet mogelijk?), zodat de grens op pragmatische wijze is bepaald. Daarbij wordt onder meer gekeken naar hoever het getij nog goed merkbaar is.

Waar bepaalt de zee de waterstanden en tot waar komt het getij?

Momenteel ligt het punt waar de waterstand vrijwel volledig door de zeewaterstand wordt bepaald ongeveer bij de westpunt van de Biesbosch.

Op zowel de Lek als de Maas is de grens tot waar het getij⁴ kan komen hard, want deze wordt bij gemiddelde omstandigheden bepaald door de (dan gesloten) stuwen. Het getij komt onder gemiddelde omstandigheden (zeespiegel en afvoer) tot stuw Hagestein (iets ten oosten van Vianen) op de Lek (getijslag daar meestal tussen 1,0 en 1,5 m), en tot stuw Lith op de Maas (ver ten oosten van Den Bosch; getijslag nog ca 20 cm).

Op de Waal kan het getij in principe verder doordringen, omdat er geen stuwen in de weg liggen. Het is meestal nog goed merkbaar tot Zaltbommel (kml 935; getijslag < 20 cm).

Grens bovenrivieren

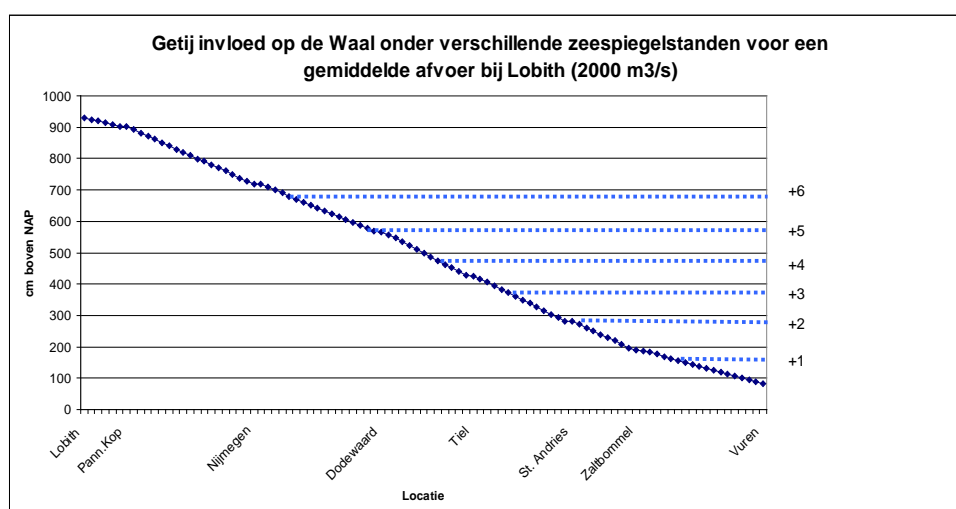
In de praktijk heeft men de grens tussen bovenrivieren en overgangsgebied veel meer naar het westen gelegd dan de getijgrens. Op de Lek ongeveer bij Schoonhoven, op de Waal bij Vuren (je vindt ook Werkendam) en op de Maas bij Keizersveer (je vindt ook Dongemond). Die locaties komen overeen met een gemiddelde waterhoogte van ong. 1 m + NAP.

⁴ NB: met getij is hier steeds bedoeld verhoging en verlaging van de waterstand; de stroomrichting verandert alleen hoogst zelden, de stroomsnelheid varieert wel (een beetje).

Het waterstandsverloop bij grote Rijnafvoeren (tussen 6000 en 16000 m³/s) is op de vrij afstromende rivieren ong. 1 m per 11 km (+/- 2km). Dat betekent dat bij iedere m zeespiegelstijging de grens van wat we bovenrivieren noemen ong. 11 km landinwaarts verschuift. Voor de Waal betekent dat dus van kmr (kilometerraai) 950 (Vuren) naar 939, naar 928, naar 917, ofwel:

- Bij 1 m stijging komt de grens uit bij Haafden-Gameren (enkele kilometers benedenstrooms van Zaltbommel);
- Bij 2 m stijging bij Hurwenen-Heesselt (een aantal kilometers bovenstrooms van Zaltbommel (935));
- Bij 3 m stijging tussen Tiel (915) en Dreumel.

Figuur C.1 Reikwijdte van de invloed van het getij op de Waal (grens bovenriviereengebied) bij verschillende mate van zeespiegelstijging bij gemiddelde afvoer (uit Klijn et al., 2007). Figuur C.1 geeft een indicatie hoe de grens van Vuren stroomopwaarts verschuift langs de Waal voor verschillende zeespiegelstanden en een gemiddelde afvoer bij Lobith (uit Klijn et al. 2007).

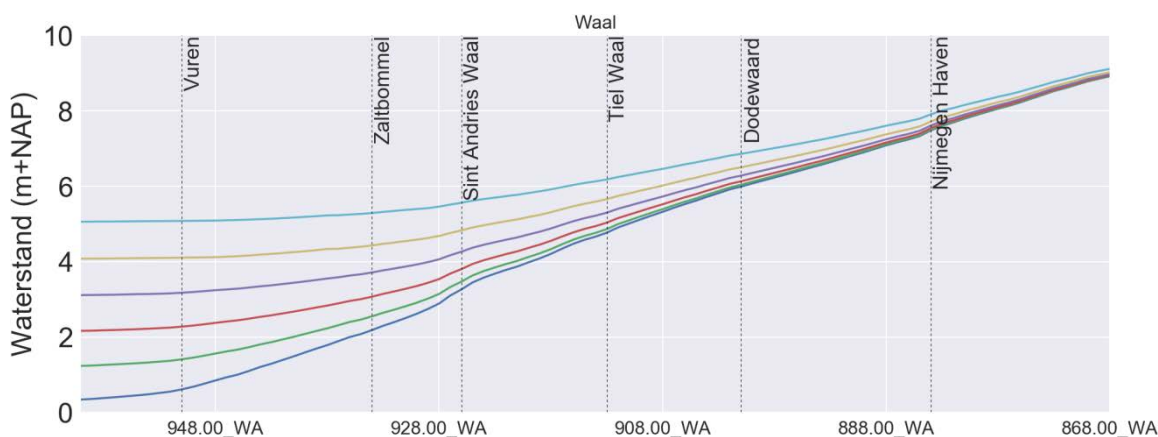


Figuur C.1 Reikwijdte van de invloed van het getij op de Waal (grens bovenriviereengebied) bij verschillende mate van zeespiegelstijging bij gemiddelde afvoer (uit Klijn et al., 2007).

Doorwerking hogere zeestanden in waterstanden op de bovenrivieren

Als we de grens van het bovenriviereengebied relateren aan de getijslag of een pragmatisch 1 m boven gemiddeld zeeniveau, wil dat niet zeggen dat we de invloed van hogere zeestanden niet merken in de waterstanden op de bovenrivieren. Althans, op die rivieren waar geen stuw in de weg ligt, dus de vrij-afstromende Waal. Op de Lek zal de invloed van de zee niet voorbij stuw Hagestein reiken (stuwpeil 3,0 m), behalve bij grote Rijnafvoeren als de stuwen open staan. Op de Maas zal de invloed van een verhoogde zeestand niet snel voorbij de stuw bij Lith reiken (stuwpeil 4,9 m); ook hier, tenzij de stuwen zijn geopend in verband met een grote rivierafvoer.

Haasnoot et al. (2018) geven de stuwkrommen voor de Waal, waarbij is aangenomen dat de zeestand bepalend is voor de waterstand in het benedenrivierengebied, dus Haringvliet-Hollands Diep en tot en met de Merwedede (Figuur C.2)⁵. Aan die stuwkrommes is zien is dat de invloed van een hogere zeespiegel wel tot in Nijmegen merkbaar is, zij het dat het effect van een 3 m hogere zeestand daar bij gemiddelde rivierafvoeren slechts orde een decimeter is. Bij Tiel levert een 3 m hogere zeestand wel een 0,5 hogere waterstand op (bij gemiddelde afvoeren).

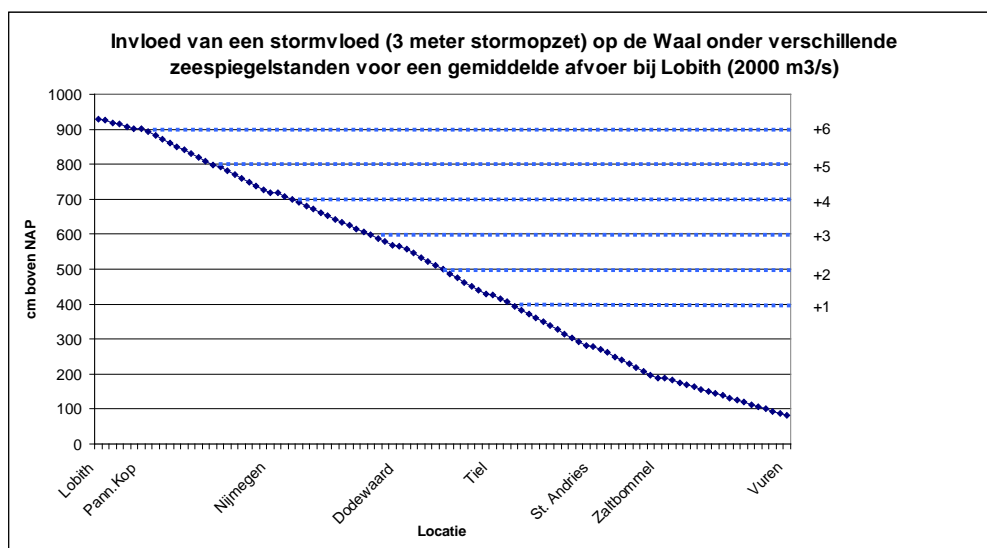


Figuur C.2 Stuwkrommes op de Waal bij verschillende (met 1 tot 5 m verhoogde) zeestanden en bij een gemiddelde afvoer van 2200 m³/s (Haasnoot et al., 2018).

In Klijn et al. (2007) is indicatief aangegeven hoe ver een stormvloed landinwaarts zou reiken op de Waal bij verschillende zeestanden (Figuur C.3). Bij 1 m hogere zeestand zou de waterstand die bij een 3 m stormopzet hoort al tot Tiel reiken, bij 3 m hogere zeestand tot voorbij Dodewaard.

NB: De hier gegeven indicaties betreffen eerste grove schattingen waarbij nog niet met stuwkrommen was gerekend. En ter relativering: de maatgevende waterstanden zoals die tot 2017 golden zijn nog beduidend hoger dan de waterstanden die door stormvloed kunnen worden veroorzaakt, nl. circa 11 m +NAP bij Tiel en ongeveer 12 m +NAP bij Dodewaard.

⁵ Er is uitgegaan van de huidige dimensies van zomer- en winterbed; de rivier zal zich morfologisch aanpassen, waardoor het totale beeld kan gaan veranderen. Daar is voor deze eerste orde-benadering geen rekening mee gehouden.



Figuur C.3 Reikwijdte van de invloed van een stormvloed op de Waal bij verschillende mate van zeespiegelstijging bij gemiddelde afvoer en gesloten stormvloedkeringen (uit Klijn et al., 2007).

Over de doelmatigheid van rivierverruiming

Over het algemeen geldt dat hoe meer stroomafwaarts een rivierverruiming wordt voorgenomen, des te minder effectief deze is. De effectiviteit is immers gerelateerd aan de hellingshoek van de stuwkromme.

De rivierverruiming Noordwaard (beginnend bij kmr 961 op de Merwede) en Overdiepse Polder (langs de Bergse Maas) zijn in het kader van Ruimte voor de Rivier effectief gebleken, ook al liggen ze in het overgangsgebied (tussen 0 en 1 m NAP). Daarvoor zijn twee redenen. Ten eerste is het overgangsgebied tussen volledig afvoergedomineerde en uitsluitend stormvloedgedomineerde hoogwaterstanden enkele tientallen kilometers lang, en per rivier verschillend afhankelijk van de morfologie (breedte, breedte-diepteverhouding). Ten tweede hebben rivierverruiming die de afvoercapaciteit van de rivier vergroten⁶ effect op de waterstanden tot vele (soms tientallen) kilometers bovenstrooms van de locatie van de maatregel, waar deze door de rivierafvoer worden bepaald.

Dat betekent dat rivierverruiming gericht op het vergroten van de afvoercapaciteit nog doelmatig bijdraagt aan waterstandsverlaging als deze begint op een locatie die maximaal circa 1 m hoger is dan de gemiddelde zeestand. Door de oogbaren gezien betekent dit, dat:

- maatregelen tussen Werkendam en Haften nog effectief zijn tot 1 m zeespiegelstijging;
- maatregelen tussen Haften en St. Andries nog effectief zijn bij 2 m zeespiegelstijging;
- en maatregelen tussen St. Andries en Tiel nog effectief zijn bij 3 m zeespiegelstijging.

⁶ We rekenen maatregelen die zijn gericht op vergroting van de komberging, zoals Volkerak-Zommeer, niet tot de rivierverruiming in strikte zin. Dergelijke maatregelen dienen op een andere wijze te worden beschouwd.

Literatuur

Haasnoot, M., L.M. Bouwer, F. Diermanse, J.C.J. Kwadijk, A. van der Spek, G. Oude Essink, J. Delsman, O. Weiler, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K. Sloff & E. Mosselman, 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002.

Klijn, F., P. Baan, K.M. de Bruijn & J. Kwadijk (2007). Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat; verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later. WL-rapport Q4290, Delft.

D Consequenties voor de evacuatiefracties, LIR en MKBA

Auteur: Karin de Bruijn

Door zeespiegelstijging zal de grens tussen het storm-gedomineerde en het rivier-gedomineerde gebied naar het oosten opschuiven. In beiden gebieden worden verschillende evacuatiefracties gehanteerd. De evacuatiefracties van het storm-gedomineerde gebied zijn veel kleiner dan die van het rivier-gedomineerde gebied, omdat stormen minder goed en minder ver vooruit voorspeld kunnen worden dan hoge rivierafvoeren. Indien het storm-gedomineerde gebied naar het oosten opschuift, zal mogelijk in de meer oostelijke gebieden de evacuatiefractie meer bepaald worden door stormen en dus omlaag gaan.

Aanpak

Het effect van zeespiegelstijging op de evacuatiefracties en de implicaties voor het LIR en de MKBA kunnen we eenvoudig inschatten door de volgende stappen te doorlopen:

1. Voor die trajecten die veranderen van storm- naar rivier-gedomineerd berekenen we de verandering in de evacuatiefractie en achterblijversfractie, en de nieuwe LIR waarde⁷
2. Vervolgens geven we voor alle trajecten een indicatie van het effect op de MKBA eis door de toename in het aantal slachtoffers puur alleen door wijziging in de evacuatiefractie te bepalen en de bijdrage van de slachtoffers aan de totale gevolgen te beoordelen. Ook kijken we naar het potentiële effect op de groepsrisico's.

De analyse beperkt zich tot het effect van potentieel andere evacuatiefracties. We kijken niet naar het effect op het overstromingsverloop. Dit verloop kan ook wijzigen zeker als overstromingen bij lagere rivierafvoeren plaats vinden (in combinatie met storm) terwijl voorheen uitgegaan is van hogere rivierafvoeren. Het is mogelijk dat de hoeveelheid water die binnenstroomt bij storm-gedomineerde events kleiner is, omdat deze een kortere duur hebben dan hoge rivierafvoeren.

In Bijlage C is aangegeven hoe de grens opschuift in het huidige systeem bij verschillende zeespiegelgrenzen. We gaan er daarbij vanuit dat storm van doorslaggevend belang is voor hoogwaters en potentiële overstromingen in het gebied met rivierwaterstanden die meer dan 1 m boven de zeespiegel liggen. Het verhang op de Rijn is ongeveer 1m per 11km bij grote Rijnafvoeren⁸. Stel dat bij iedere meter zeespiegelstijging de grens met 11km naar het oosten verschuift, dan worden nieuwe grenzen als in Tabel D.1 weergegeven.

De evacuatiefracties zoals gebruikt bij het vaststellen van de nieuwe normering bedragen in het rivier-gedomineerde gebied nu 46%. In het stormgedomineerde gebied is gerekend met 8% evacuatie (Kolen et al., 2013). Deze waardes zijn bewust conservatief gekozen: er is een bandbreedte bepaald en de ondergrens van deze band is gekozen. De volgende tabellen geven de resultaten voor de aanname dat door het opschuiven van het storm-gedomineerde gebied, de evacuatiefracties van het nu rivier-gedomineerde gebied gelijk worden aan die van het storm-gedomineerde gebied. In werkelijkheid kan het zijn dat er meer voorspellingstijd is dan in de gebieden vlakbij de Maeslantkering en dat de evacuatiemogelijkheden dus iets groter zijn. Dit is dus een conservatieve aanpak.

⁷ In het westen van de Alblasserwaard en de Betuwe wordt het LIR bepaald door meerdere trajecten. We geven voor die gebieden en de aanliggende trajecten een indicatie van de verandering.

⁸ Dit is een zeer grove indicatie: het vervang verschild per riviertak en hangt ook af van de afvoer. Deze aanname is niet bepalend voor de verdere redentatie.

Tabel D. 1. Ligging van de grens van stormgedomineerd versus afvoergedomineerde hoogwaters uitgaande van de vuistregel van 11km opschuiving per m zeespiegelstijging en open stuwen

Riviertak	Zeestand (Referentie)	+0.15	+1m	+2m	+3m
Lek	Schoonhoven (kmr 972) Tussen 15_1/15_2; 16_2/16_3		Jaarsveld (kmr 961) In 15_1; Tussen 16_3/ 16_4	Vreeswijk (kmr 950) Tussen 15_1 en 44_1; In 16_4.	Culemborg (kmr 939) In 44_1; Tussen 16_4 en 43_1
Merwede	Werkendam (kmr 962) 16_1/16_2 West van 24_3		Dalem (kmr 952) Tussen 16_1 en 43_6 Tussen 24_3 en 38_1	Oostelijk van DPRD gebied	Oostelijk van DPRD gebied
Maas	Oost van 24_1 Oost van 35_1		Oostelijk van DPRD gebied	Oostelijk van DPRD gebied	Oostelijk van DPRD gebied

Tabel D.2. Resulterende evacuatiefracties in de voorkeursstrategie voor de nu riviergedomineerde dijktrajecten in DPRD

No.	Naam	Evacuatiefractie bij verschillende zeespiegelstanden			
		Referentie	1m	2m	3m
15-1	Lopiker-en Krimpenerwaard - Oost	0.46	0.3*	0.08	0.08
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Merwede	0.46	0.08	0.08	0.08
16-3	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-West	0.46	0.08	0.08	0.08
16-4	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-Oost	0.46	0.46	0.3*	0.08
24-2	Land van Altena 2	0.46	0.08	0.08	0.08
24-3	Land van Altena 3	0.46	0.08	0.08	0.08
24-1	Land van Altena 1	0.43	0.08	0.08	0.08
35-1	Donge 1	0.43	0.08	0.08	0.08

* Voor deze trajecten komt de grens tussen zee- en riviergedomineerd binnen het traject te liggen. Zowel zee- als riviergedomineerde gebeurtenissen kunnen voorkomen. Daarom is grofweg het gemiddelde van 8 en 46% evacuatie genomen.

Verandering van de LIR waarden

Indien de evacuatiefractie voor alle breslocaties in een normtraject zou veranderen van 0.46 naar 0.08, dan verandert de achterblijffractie van 0.54 naar 0.92. De LIR eis wordt in dat geval een factor 1.7 strenger. Voor de meeste trajecten betekent dat, dat de normklasse niet zal veranderen. Immers er is een factor 3 tussen de normen. Bovendien is het LIR niet voor alle trajecten de bepalende factor voor de norm. Tabel D.4 hieronder geeft de oude LIR eis, de klasse waar deze in valt, de factor waarmee het LIR verandert door de verandering in evacuatiefractie indien het traject storm gedomineerd zou worden, de nieuwe LIR-klasse en een indicatie van het effect op de norm. Indien de norm niet bepaald wordt door de LIR-eis omdat de MKBA- en/of Groepsrisico kanseis strenger is, dan leidt een strengere LIR-eis dus niet tot een strengere kanseis aan het traject.

Tabel D.4 laat zien dat alleen voor normtraject 24_3 een overgang van rivier- naar storm gedomineerd tot een strengere kanseis aan het normtraject: Deze zou wijzigen van 1/10000 per jaar naar 1/30000 per jaar.

Tabel D.4. Overzicht van het effect van een potentiële toename van het LIR door een wijziging van type normtraject van rivier- naar stormgedomineerd.

Traject	LIR	Oude klasse	Factor	Nieuwe LIR	Nieuwe klasse	Effect op normkans	Bepalend voor norm
15-1	4900	3000	1.7	8330	10000	Nee	MKBA
16-1	45800	30000	1.7	77860	100000	Nee	GR
16-3	16300	10000	1.7	27710	30000	Nee	MKBA
16-4	13700	10000	1.7	23290	30000	nee	LIR
24-1	1900	3000	1.7	3230	3000	nee	MKBA
24-2	700	1000	1.7	1190	1000	nee	LIR & MKBA
24-3	13300	10000	1.6	22610	30000	Ja	LIR
35-1	1100	1000	1.6	1870	3000	Nee	MKBA

In de variant van de gesloten zeezijde verandert het storm-gedomineerde gebied ook als gevolg van een verder stijgende zeespiegel. De precieze verandering is afhankelijk van de gekozen uitwerking van het plan, de peilen in het gebied achter de keringen en de pompcapaciteit. In vergelijking met de MLK+ variant zal de toename van het storm-gedomineerde gebied echter minder groot zijn. De stormopzet op zee werkt immers niet meer direct door op het gebied omdat de zeezijde gesloten is. De stormopzet reduceert alleen de mogelijkheid tot spuien, waardoor het indirect wel invloed kan hebben als de rivierafvoer op hetzelfde moment hoger is dan de pompcapaciteit. De getallen in Tabel D.4 hierboven kunnen beschouwd worden als een bovengrens voor -de gesloten zeezijde variant, omdat de toename van storm-gedomineerd gebied kleiner zal zijn dan voor MLK+.

Effect op het groepsrisico en de MKBA

De verandering van de evacuatiefractie en daarmee de kans om weg te komen van een factor 1.7 zal ook effect hebben op het aantal slachtoffers. Het effect op de totale schade is voor deze trajecten echter beperkt: de maximale toename is die in dijkkring 16_1 en bedraagt slechts 30%. Zie Tabel D.5.

Het effect op het groepsrisico is met name relevant voor traject 16_3. Het aantal slachtoffers daar zou bij wijziging van het evacuatiepercentage van 46 naar 8 % stijgen van 1100 naar $1100 \cdot 1.7 = 1870$. Daar de norm al zeer streng is hoeft dit niet te leiden tot een strengere eis aan dit traject.

Tabel D.5. Effect van kleinere evacuatiefracties op de totale schade van dijktrajecten in het overgangsgebied (schades in M€)

Traject	Slachtoffers gemonetariseerd DP2015	Totale schade DP2015	Totale schade wanneer stormgedomineerd	Toename factor
15-1	20000	90000	104000	1.16
16-1	43000	107000	137100	1.28
16-3	15000	65000	75500	1.16
16-4	14000	66000	75800	1.15
24-1	1000	7500	8200	1.09
24-2	100	1100	1170	1.06
24-3	3000	18000	20100	1.10
35-1	900	7300	7930	1.08

Literatuur

Kolen, B., Maaskant, B., Terpstra, T., (2013). Evacuatieschattingen Nederland. Addendum. Rapport PR2753.10. HKV Lijn in Water, Delft.

E Consequenties voor buitendijkse natuur

Auteur: Frans Klijn

Algemeen

De vraag die voorligt is wat een verschillende mate van zeespiegelstijging gaat betekenen voor de buitendijkse natuur in het benedenrivierengebied, mede in afhankelijkheid van de gekozen strategie: stormvloedkering(en) of sluizen; en in afhankelijkheid van de snelheid van sedimentatie in de intergetijdengebieden en op buitendijkse voorlanden (gorzen en uiterwaarden).

Daarbij is het belangrijk van tevoren vast te stellen dat het beheer van de Haringvlietsluizen voor het antwoord op deze vraag het allerbelangrijkst is: worden deze op een kier gehouden, weer volledig gesloten of als stormvloedkering beheerd ('open')? Bij een lange-termijnoplossing met stormvloedkering(en) (MLK+) zijn alle drie opties denkbaar, bij een oplossing met sluizen (Plan Sluizen) is gesloten voor de hand liggend, en op een klein kiertje denkbaar. Dat levert de volgende alternatieven en varianten:

1. Afsluitbaar open
 - a. Spui
 - b. Kier
 - c. Meestal open
2. Sluizen
 - a. Spui
 - b. Kiertje

Voor de staat en ontwikkeling (smogelijkheden) van de buitendijkse natuur kunnen we enige informatie halen uit de analyses die eerder zijn gedaan voor Rijnmond-Drechtsteden (Maarse, 2011). In die analyses is vooral gekeken naar het verschil tussen inrichtingsalternatieven en slechts naar twee verschillende zeespiegelstijgingsscenario's: G en W+ in 2100, overeenkomend met respectievelijk 35 en 85 cm stijging. Nu hebben we te maken met veel grotere mate van zeespiegelstijging, dus kunnen we slechts iets indicatiefs zeggen over de geschatte mate van veranderingen.

De bovengenoemde alternatieven en varianten komen sterk overeen met de toenmalige 'oplossingsrichtingen' 1) Afsluitbaar open zeezijde, en 4) Open, respectievelijk 3c) Gesloten zeezijde en 3b) Gesloten Nieuwe Waterweg, open Haringvliet (zie Maarse, 2011).

Voor de vraag of de sedimentatie in intergetijdengebied en terrestrische buitendijkse gebieden de zeespiegelstijging kan bijhouden is het recente proefschrift van Verschelling (2018) nog relevant.

De belangrijkste criteria voor een beoordeling van gevolgen voor de natuur; en de belangrijkste milieufactoren

In het rapport van Maarse (2011) zijn de volgende criteria gebruikt voor een beoordeling van de effecten op natuur, of beter natuurontwikkelingsmogelijkheden (actuele natuur in de toekomst valt lastig te voorspellen; over de milieucondities valt wel iets te zeggen):

- Natuurlijkheid
- Diversiteit
- Connectiviteit

Om de mate van **natuurlijkheid** te beoordelen wordt onderscheid gemaakt tussen de natuurlijkheid van processen en daarmee samenhangend de natuurlijkheid van resulterende patronen. Voor de natuurlijkheid van processen zijn in het Rijnmond-Drechtstedengebied met name die processen van belang die worden aangeduid als estuariene dynamiek, te weten:

- hydrodynamiek – waterstandsverschillen (getijslag, inundatiefrequentie), stroming en golfslag
- morfodynamiek - erosie, transport en afzetting van sediment
- zoutdynamiek – wisseling van zoutgehalte.

De combinatie van deze processen bepaalt welke verschillende natuurtypen in het gebied kunnen ontstaan. Voor de huidige quick-scan volstaan we met een kwalitatieve beoordeling van de hydrodynamiek: welk getijslag is te verwachten en tot waar is deze merkbaar?

De **diversiteit** aan milieutypen en dus de te verwachten diversiteit aan soorten wordt beoordeeld op basis van (de diversiteit aan) ecoseries. Dat zijn ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ('milieutypen') die homogeen zijn voor wat betreft de belangrijkste abiotische milieufactoren die voor plantengroei en diergemeenschappen van belang zijn (naar Klijn, 1989). Niet alleen de variatie en relatieve hoeveelheden van verschillende ecoseries zijn relevant, ook hun ruimtelijke verdeling. Sommige ecoseries zijn bovendien waardevoller vanwege hun grote zeldzaamheid op wereldschaal. Zo zijn intergetijdgebieden niet alleen schaars in Nederland, maar ook op mondiale schaal. Het behouden of creëren van deze gebieden is dan ook belangrijker dan alleen vanuit nationaal perspectief.

Een grote mate van **connectiviteit** is van belang voor het voortbestaan van levensvatbare populaties van (zeldzame of bedreigde) soorten. Zo is het benedenrivierengebied voor trekvis van belang om van zoete naar zoute wateren te kunnen trekken en omgekeerd. Mogelijkheden voor vismigratie zijn niet alleen van belang voor de visstand in Nederland maar voor het gehele stroomgebied. De connectiviteit is relatief groot als natuurtypen in grote arealen voorkomen, en als er geen barrières in de vorm van dammen of keringen in de weg liggen, of sprake is van natuureilandjes in 'ecologische woestijnen'.

De belangrijkste milieufactoren zijn uit deze criteria gemakkelijk af te leiden, evenals schatters (proxies), die een indicatie kunnen geven van wat te verwachten valt:

- de mate van **natuurlijkheid** van de hydrodynamiek (**getijslag/** cumulatieve inundatieduur)
- de **diversiteit** aan milieutypen die samenhangt met het bestaan van **gradiënten** (diep-ondiep, , vaak overspoeld-zelden overspoeld, zout-brak-zoet, nat-droog, zand-klei)
- de mate van connectiviteit tussen wateren onderling, c.q. afwezigheid van **barrières**.

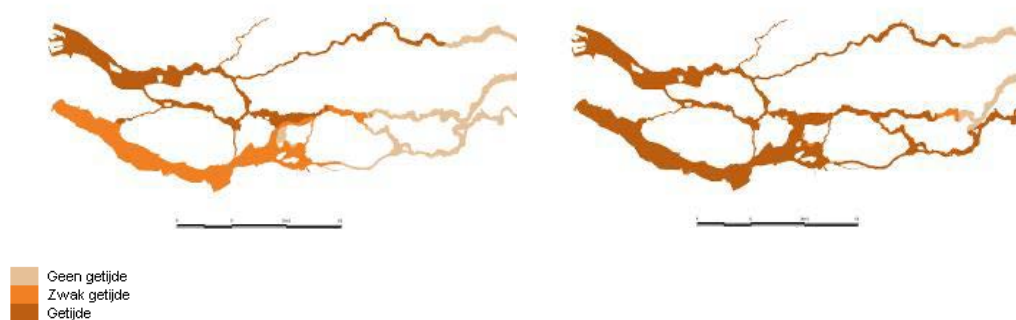
Ook het totaal areaal aan natuur is belangrijk, maar we gaan er hier vanuit dat dat niet wordt beïnvloed door de inrichtingsalternatieven en varianten.

Interpretaties van de consequenties van de ingrepen en indicaties van de richting van veranderingen

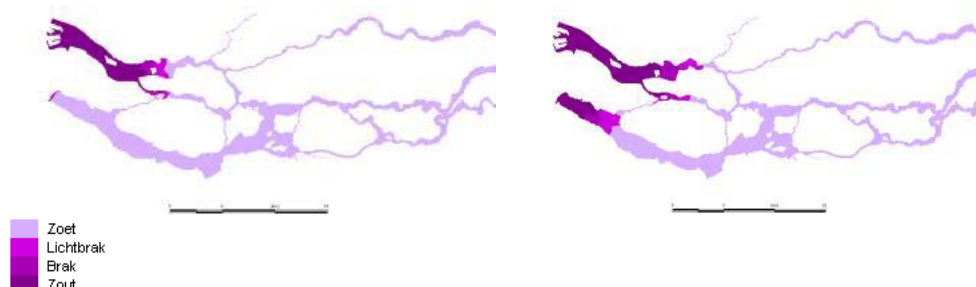
In alternatief afsluitbaar open (1) zal alleen de zeespiegelstijging de ecologische ontwikkeling beïnvloeden. Omdat de ecologische ontwikkeling vooral door dagelijkse/jaarlijkse fluctuaties wordt bepaald (en dus niet door extremen), zal deze naar verwachting de volgende effecten hebben:

- Getijslag blijft gelijk (0), inundatieduur terrestrische ecoseries in overgangsgebied neemt toe, in bovenrivierengebied gelijk (maar de grens is opgeschoven, zie bijlage C).
- Diversiteit kan gelijk blijven indien alle milieus langs de verschillende gradiënten kunnen opschuiven (dit valt niet kwantitatief vast te stellen zonder modellering).
- Er zijn geen nieuwe permanente barrières voorzien, dus geen verschil (0).

Verschillen tussen met alleen spuien (a), met kier (b) en met stormvloedbeheer Haringvlietsluis (c) blijven in grote lijnen gelijk aan zoals vastgesteld in de daarvoor gedane verkenningen. De zoutgrens zal niet of hooguit marginaal opschuiven, omdat deze vooral afhankelijk is van de tegendruk die door de rivierafvoeren wordt bepaald (en die is voor deze quick-scan gelijk verondersteld).

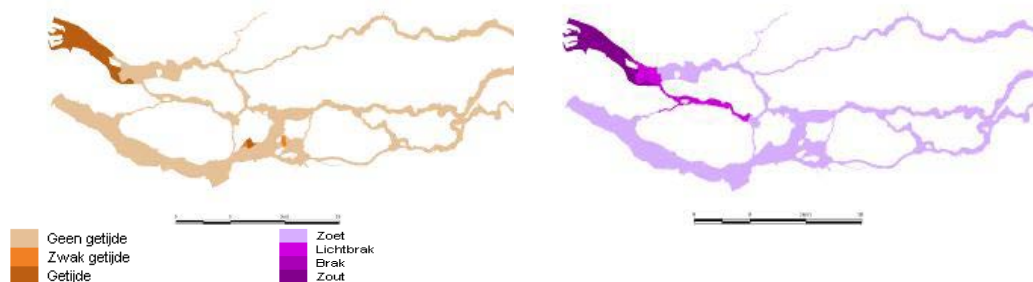


Figuur E.1 Verwachte getijinvloed bij 'afsluitbaar open' met dichte HV-sluisen (links) en met stormvloedkering (rechts) bij 85 cm zeespiegelstijging (gemiddelde rivierafvoer; uit Maarse, 2011). Naar verwachting heeft een hogere zeestand weinig invloed op de grote lijnen van dit patroon, maar schuiven de grenzen tussen de klassen steeds verder naar rechts met de verschuivende grens van het bovenrivierengebied.



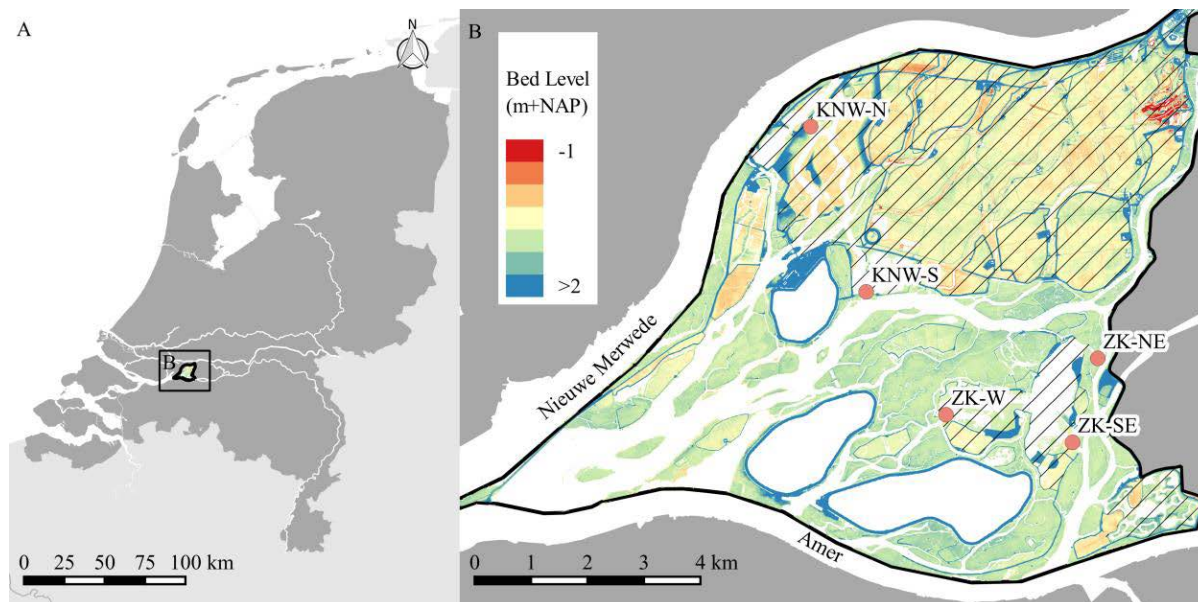
Figuur E.2 Verwachte zoutgehalten bij 'afsluitbaar open' met dichte HV-sluisen (links) en met stormvloedkering (rechts) bij 85 cm zeespiegelstijging (gemiddelde rivierafvoer; uit Maarse, 2011). Naar verwachting heeft een hogere zeestand weinig invloed op dit patroon.

Bij plan sluisen kan het getij niet langer doordringen in het noordelijk deltabekken. In het Haringvliet kan dat alleen als het beheer van de kier zou worden gehandhaafd; gezien de onmogelijkheid dan tijdig voldoende te kunnen spuien met het oog op peilbeheer, ligt deze variant niet voor de hand. Een opening van minder dan een uur tijdens laagwater is tot x m zeespiegelstijging het enig denkbare, maar dat leidt niet tot een ecologisch significante getijslag.



Figuur E.3 Getijslag en zoutgradiënt bij een sluisencomplex in de Nieuwe Waterweg, bij 85 cm zeespiegelstijging. Naar verwachting zal bij hogere zeestanden dit patroon niet sterk afwijken.

De gevolgen van 1, 2 of 3 m zeespiegelstijging voor de natuur(ontwikkelingsmogelijkheden) in het benedenrivierengebied en de overgangsgebieden zijn bij plan sluisen dus vergelijkbaar op de criteria natuurlijkheid (hydrodynamiek), diversiteit (zoutgradient) en connectiviteit (barrieres), maar welke milieutypen kunnen worden aangetroffen, en in welke kwantitatieve verhoudingen, hangt af van het ingestelde peil aan de binnenzijde van de keringen: wordt dat gehandhaafd op 0 of 1 m, of mag dat meestijden naar 2 of 3 m? Afhankelijk van het antwoord op die vraag zal minder of meer verdrinken.



Figuur E.4 Hoogteligging van de Brabantse Biesbosch (uit Verschelling, 2018).

Een blik in de topografische atlas geeft wat dat laatste betreft de volgende eerste indruk (eventueel met hoogtebestand (AHN) nader/preciezer te kwantificeren): bij 1 m hoger peil zullen de Beninger en Korendijkse slikken onder water verdwijnen, de helft tot 2/3 van Tiengemeten en ruim de helft van de Biesbosch.

Bij 2 m hoger peil steken van Tiengemeten en de Biesbosch alleen nog wat kades en andere antropogene ophogingen boven water uit. Bij 3 m peilverhoging zijn er vrijwel geen buitendijkse delen meer die nog boven water uitsteken, want ook de meeste kades en zomerdijken zijn lager dan 3 m.

Samengevat voor plan Sluizen (geheel dichte kust, met of zonder pompen):

- Getijslag valt weg (brakke en zoete getijdegebieden verdwijnen (--)), bij pompen verandert inundatieduur terrestrische ecoseries in overgangsgebied (neemt af (-)); in bovenrivierengebied geen veranderingen (grens bovenrivieren afhankelijk keuze peil HD-HV (0)).
- Zoutgradiënt verdwijnt, ondiep-diep- en nat-drooggradiënten nemen sterk af bij beheerd peil ((0); dit kan alleen kwantitatief worden vastgesteld door modellering).
- Er zijn permanente barrières die vistrek sterk belemmeren (--);
- Keuze peil is allesbepalend voor buitendijkse gebieden: hoe hoger het peil, hoe meer er 'verdrinkt' (zie ook hierna).

Kan sedimentatie de zeespiegelstijging bijhouden, c.q. compenseren voor de stijgende peilen?

Hierboven is aangegeven hoeveel buitendijkse gronden bij instantane peilverhoging zullen verdrinken. Nu gaat zeespiegelstijging in werkelijkheid niet in grote stappen, maar geleidelijk. En kan sedimentatie voor sommige gebieden de stijging misschien (enigszins) bijbenen.

Voor het beantwoorden van die vraag is het onderzoek van Verschelling (2018) relevant, evenals dat van Van der Deijl (2018). Zij hebben zich namelijk beziggehouden met de snelheid van sedimentatie in de Biesbosch, na de ontpoldering van de Noordwaard.

Allereerst is in dit verband belangrijk vast te stellen dat de plaats waar sedimentatie optreedt afhankelijk is van veel factoren, en niet het minst van de hydrodynamiek. In een stagnant meer (gesloten/plan Sluizen) zal de sedimentatie van fijn materiaal geconcentreerd zijn in de diepe wateren, waar de stroomsnelheid afneemt; dat is (nu nog) bij de Moerdijkbrug en in het Hollands Diep. Bij een hoger peil zal het in de Beneden-Merwede en Nieuwe Merwede zijn. Grof sediment zal deels in de uiterwaarden worden afgezet, in het bovenrivieren- en overgangsgebied; en misschien in de Biesbosch, als overslaggrond of oeverwal. Dat grove sediment zal zeker niet voorbij het Hollands Diep kunnen komen.

Bij het ontbreken van een getijslag zal er vrijwel zeker geen sedimentatie van betekenis kunnen plaatsvinden op buitendijkse gronden; denk aan de Beninger en Korendijkse Slikken, Klein Profijt, Tiengemeten, de oeverlanden langs het Hollands Diep of op de platen/gorzen van de Biesbosch. Daarvoor is immers geregelde inundatie (liefst 2 maal daags) met sedimenthoudend water nodig. Dat betekent dat er in principe een groot verschil zal zijn tussen de ontwikkeling bij een open (afsluitbaar) systeem met getij (en troebel water?) en een gesloten systeem zonder getij. In dat laatste geval is verdrinking onontkoombaar, in het eerste kan sedimentatie misschien nog plaatselijk enig soelaas bieden of de verdrinking vertragen.

Verschelling (2018) heeft voor de Noordwaard met behulp van een modelsimulatie vastgesteld dat de sedimentatie daar sneller gaat dan de erosie, maar concludeert dat de sedimentatie niet snel genoeg gaat om de zeespiegelstijging door klimaatverandering bij te houden. En die conclusie trekt hij reeds voor het huidige tempo van zeespiegelstijging. Dat betekent dat een snellere zeespiegelstijging zeker niet kan worden bijgehouden.

Literatuur

Maarse, M. (met medewerking van Victor Beumer, Frans Klijn, Lineke Woelders & Johan van Zetten), 2011. *Eerste generatie oplossingsrichtingen voor klimaatadaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Deelrapport: effecten op natuur*. Deltares-rapport 1204302-000, Delft

Verschelling, E., 2018. *Drowning or emerging. The effect of climate change on the morphology of tidal freshland wetlands*. Utrecht Studies in Earth Sciences 166, Utrecht.

F Consequenties voor buitendijks woon- en havengebied

Auteur: Karin de Bruijn

In diverse studies zijn de gevolgen en risico's van zowel de VKS als voor Plan Sluizen bepaald bij de deltasceario's uit 2015: rekening houdend met 35 en 85 cm zeespiegelstijging t.o.v. 1995 (zie literatuur). Er zijn nog geen berekeningen gedaan voor meer extreme zeespiegelstijgingen.

De studies zijn onderling niet goed vergelijkbaar, omdat de schademodellen, schadefuncties, het gebied en de gebruikte waterdiepte kaarten verschillen. Ook is het niet altijd helder welke correctiefactoren, economische groei en discontovoet gebruikt zijn in de schadebedragen. De beschikbare informatie is gebruikt als basis voor de hier onder beschreven redentatie.

MLK+

In de huidige situatie zijn er gebieden die al bij een eens in de 10 jaar waterstand bedreigd worden zoals kades van het Noordereiland (maaiveldhoogte ongeveer 3m). De kop van Feijenoord en de Heijplaat lopen deels onder met dieptes van meer dan 50 cm bij eens in de 100 jaar waterstanden. Bij een zeespiegelstijging van 1m kan de overstromingskans van deze gebieden oplopen naar 1/10 en kunnen waterdieptes voorkomen van 1m. Ook kan bij 1/100 gebeurtenissen in 2100 de Maastunnel onder water lopen. De maaiveldhoogte van de oostelijke havens buiten de sluizen (Botlek en Vondelingenplaat) is ongeveer 4 a 4.2 m. Deze hebben nu een overstromingskans van ongeveer 1/1.000 per jaar. De Europoort en Maasvlaktes zijn opgehoogd tot een maaiveldhoogte van 5-6 m en hebben nu een zeer kleine overstromingskans.

In de variant MLK+ wordt de Maeslantkering aangepast cq vervangen door een nieuwe afsluitbare kering. Bij een zeespiegelstijging van meer dan 1m wordt ook het sluitpeil aangepast, zodat de sluitfrequentie maximaal drie maal per jaar blijft. De sluitpeilen nemen toe van 3m bij Rotterdam bij 1m zeespiegelstijging naar 3.80 m bij 2m zeespiegelstijging en 4.55 m bij 3 m zeespiegelstijging. Dit betekent dat in de voorkeursstrategie de overstromingsfrequentie van de kades van het Noordereiland ongeveer 3 keer per jaar wordt, bij 2m stijging ook grotere waterdieptes bereikt kunnen worden en dat bij 3m stijging ook de Botlek en Vondelingenplaat ongeveer driemaal per jaar onder water komen te staan (zie Tabel F.1).

Tabel F.1. Samenvatting van de implicaties van de variant MLK+ bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging t.o.v. 1990 (m)	Sluitpeil bij Rotterdam (m+NAP)	Implicaties
0.15	3	<ul style="list-style-type: none"> Overstromingskans van 1/10 per jaar met waterdiepte < 0.25 m in aangepaste gebieden zoals kades Noordereiland Industrie + woongebieden: overstromingskans van 1/100 tot 1/10000 per jaar Natte natuur/recreatie vaak en diep onder water
0.85 / 1	3	<ul style="list-style-type: none"> Overstromingsfrequentie 3 keer per jaar met diepte < 0.25 m in aangepaste gebieden Kans op grotere waterdieptes neemt toe. Feyenoord, Heijplaat en Maastunnel vaker onder water Schades nu horend bij 1/1.000 horen in dit scenario bij 1/100 gebeurtenissen
• 2	• 3.80	<ul style="list-style-type: none"> Overstromingsfrequentie 3 keer per jaar met diepte van ongeveer 50 cm in gebieden die nu eens in de 10 jaar overstromen. Overstromingskans van overige gebieden neemt ook toe.
• 3	• 4.55	<ul style="list-style-type: none"> Overstromingsfrequentie 3 keer per jaar, diepte > 1m in bewoonde gebieden en havens; in Botlek diepte zo'n 25 cm.

De schades horend bij deze strategie zijn bepaald voor het scenario met 1m zeespiegelstijging (Huizinga, 2011; Van Ledden et al., 2017). Ze zijn weergegeven in Tabel F.2 en F.3. Deze laten beiden zien dat de huidige eens in de 1000 jaar schade overeenkomt met de schade die in 2100 eens in de 100 jaar wordt verwacht, indien de zeespiegel met ongeveer 1m stijgt.

Tabel F.2. Schade in M€ voor het totale buitendijkse gebied van DPRD (bron: Huizinga 2011 KKBA en Huizinga 2015 VKS, prijspeil 2011, ref2015 en W2100 VKS). Economische groei is niet meegenomen.

	Ref2015	VKS2100
Prijspeil	2011	2011
1/10 per jaar	200	511
1/100	377	657
1/1000	614	1009

Tabel F.3. Schade in M€ voor het Botlekgebied en Vondelingenplaat voor de variant MLK+ en de referentie (bron: Van Ledden et al., 2018) prijspeil 2015. (Economische groei is niet meegenomen)

Jaar	Referentie			2100		
	Direct	Indirect	Som	Direct	Indirect	Som
1/100	50	0.2	50	400	91	500
1/1000	400	91	500	1300	9000	10300
1/10000	900	2700	3600	1600	13000	15000
Risico	1.6	1.7	3.3	17	32	49

Plan Sluizen

In het plan Sluizen is de waterstand ten oosten van de keringen gehandhaafd op een gekozen peil. Bij 1m zeespiegelstijging zijn de MHWs in dit gebied als gevolg van het implementeren van de sluizen lager dan in de referentie-situatie. De overlast van buitendijkse gebieden is dan ook lager dan verwacht in vergelijking met de referentiesituatie. Bij hogere zeespiegelstijgingen dan 1m zal ook in het geval van Plan Sluizen de frequentie en mate van overlast toenemen. De mate waarin is echter niet goed in te schatten zonder aanvullende probabilistische berekeningen.

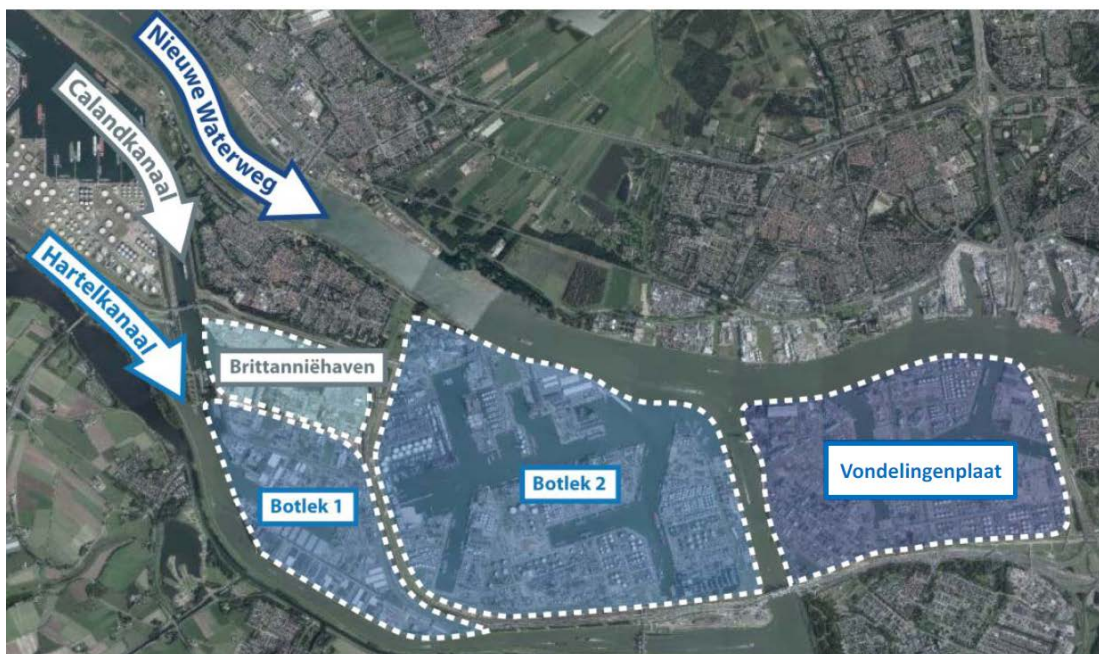
De gebieden ten westen van de sluizen in plan Sluizen krijgen te maken met de zeespiegelstijging. Voor het gebied dat nu achter de MLK ligt en straks ten westen van de Sluizen betekent dit een zeer grote stijging van de buitendijkse waterstanden. De overstromingskansen van die gebieden worden dermate groot dat maatregelen getroffen dienen te worden en toegevoegd aan Plan Sluizen. Niet alleen de economische schade wordt daar groot, maar ook kan er ernstige milieuschade optreden. Daar in dit gebied voornamelijk petrochemische industrie en tankopslag is gevestigd, zullen er vanuit externe veiligheid eisen aan de overstromingskansen van dit terrein worden gesteld. Het is niet realistisch te veronderstellen dat het landgebruik in combinatie met de huidige bescherming onveranderd zal blijven.

Indien Plan Sluizen uitgevoerd zou worden, zou het gebied direct ten westen van de sluizen dat nu beschermd wordt door de MLK (Botlek en mogelijk de Vondelingenplaat⁹) aangepast moeten worden. De maatregelen daarvan zouden beschouwd kunnen worden als deel van het plan en bij de kosten kunnen worden opgeteld. Het gebied kan of beschermd worden met kades, of opgehoogd worden. Ook kan het landgebruik aangepast worden. Het berekenen van het economisch schaderisico bij zeespiegelstijgscenari'o's van 2 en 3m zonder rekening met houden met adaptie levert geen realistische informatie voor het plan. Zelfs bij 85 cm zeespiegelstijging neemt daar de schade al zeer sterk toe (van 29 miljoen in de voorkeursstrategie naar 1 miljard bij Plan Sluizen voor een eens in de 100 jaar event).

⁹ Afhankelijk van de exacte locatie van de sluizen

Tabel F.4. Schades voor de Botlek en het totale buitendijkse gebied van Rijnmond Drechtsteden in M€ (prijspeil 2011) bij 85 cm zeespiegelstijging voor de Voorkeursstrategie en Plan Sluizen. In rood is ook de schade bepaald door Van Ledden et al. (2018) weergegeven. Deze hebben betrekking op overstromingen vanuit het Hartelkanaal.

Frequentie	MLK+		Plan Sluizen	
	Botlek	Totaal	Botlek	totaal
1/10	13	511	510	600
1/100	29 (50)	657	966	1200
1/1000	46 (500)	1009	1376	1700
Risico (M€/jaar)	2	70	62	76



Figuur F.1. Gebieden die in Plan Sluizen buiten de sluizen komen te liggen, en nu wel achter de MLK liggen

Europaort en Maasvlaktes

Voor de Europaort en Maasvlaktes maakt de keuze voor Plan Sluizen of de VKS geen significant verschil in waterstanden en overstromingskansen. De ruimtelijke ontwikkeling van deze gebieden kan wel beïnvloed worden door de scheepvaartmogelijkheden in het gebied. Deze gebieden zijn daarom nu niet verder beschouwd. Adaptatie aan de zeespiegelstijging is wel belangrijk, ook in deze gebieden. De huidige adaptatiestrategieën welke gericht zijn op 85 cm zeespiegelstijging in 2100 zouden aangevuld kunnen worden met een doorkijk naar meer extreme zeespiegelstanden.

Adaptatie

In de huidige adaptatieplannen zijn maatregelen en adaptatiepaden geïdentificeerd voor een situatie van 35 tot 85 cm zeespiegelstijging. Deze maatregelen omvatten noodmaatregelen en risicocommunicatie, het verbeteren van keringen, kades en de Maeslantkering en ook het waterrobuust aanleggen van nieuwe ontwikkelingen (Van Ledden et al., 2017).

Deze adaptatiestrategie zal bij grote zeespiegelstijging, uitgebreid moeten worden met aanvullende maatregelen voor de Maasvlakte, Europoort, Botlek, de Vondelingenplaat, Waal en Eemhaven, Merwevierhavens en de bewoonde gebieden in Rotterdam. Waarschijnlijk zijn ook aanvullende maatregelen bij Dordrecht noodzakelijk. Ophogen, het aanbrengen of versterken van kades rond de Botlek, of landgebruiksveranderingen zouden overwogen kunnen worden.

Literatuur

Groeneweg, j., & De Ridder, M. (2018). Inundatiehoogstes Europoort en maasvlakte. Nummer: 11202835-002

Huizinga J., & Botterhuis, T. (2015). Doorrekenen variant RMM Plan sluisen, toelichting bepaling buitendijkse economische schade. Memo van 17 juli 2015. HKV 2015. R3014_30 Memo_buitendijks (definitief)

Huizinga, J., (2011). Eerste generatie oplossingsrichtingen voor klimaatadaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden . Deelrapport: effecten op buitendijkse overstromingsrisico's. Rapport PR1997.12. HKV Lijn in Water, Lelystad.

Slager, De Bruijn, Burzell, Bouwer, Wagenaar (2013). Verbeteringen gevolgenbepaling van overstromingen in buitendijkse gebieden RD. 1208261.

Van de Visch, J., Bos, M., en Schaap, A., (2018). Waterveiligheid Waal-Eemhaven: Adaptatiestrategie Waal-Eemhaven. Rapport T&PBF4776R001F1.2 HaskoningDHV, Nijmegen.

G Consequenties voor ruimtebeslag dijken

Auteur: Raymond van der Meij

Introductie

Hogere maatgevende rivierwaterstanden dwingen tot hogere, maar ook bredere dijken. Deze bijlage geeft een schets van de relatie tussen de verschillende klimaatscenario's en het daarbij veroorzaakte extra ruimtebeslag van de watering.

Als basis voor de analyse van het ruimtebeslag dienen de waterstandsveranderingen als gevolg van drie mogelijke zeespiegelstijgingsscenario's met 1, 2 en 3 meter, uitgaande dat de Maeslantkering gehandhaafd blijft (MLK/MLK+; zie Bijlage A). Deze veranderende MHWs moeten vertaald worden naar een verandering in het ruimtebeslag. De meest dominante mechanismes voor het ruimtebeslag zijn piping en macrostabiliteit. De invloed van de scenario's op het ruimtebeslag door deze twee mechanismen worden behandeld in de volgende twee paragrafen.

Piping

Er is veel onzekerheid in het algemeen met betrekking tot de pipingbermen die aangelegd gaan worden binnen de huidige dijkversterkingsprojecten. Die onzekerheid is ongeveer van dezelfde ordegrrootte als de onzekerheid door de klimaatscenario's.

Rijnmond-Drechtsteden betreft grotendeels een getijdegebied. Met de huidige stand van kennis het in WBI wordt de pipingopgave in het getijdegebied voorlopig uitgesteld. Het is niet duidelijk of de getijdeafzettingen gevoelig zijn voor het mechanisme piping. Daarnaast is de belasting in een getijdegebied kortdurend waardoor de kans op een doorgaande pipe misschien wel verwaarloosbaar klein wordt. Deze aspecten maken het aanleggen van bermen in het grootste gedeelte van de regio voorbarig.

Daarbovenop is in dit gebied – ook meer stroomopwaarts - relatief veel gebied bebouwd. Hier zal een constructieve maatregel moeten plaatsvinden. Voor piping is deze maatregel meestal niet of weinig waterstand-afhankelijk en is de impact van de maatregel dus weinig afhankelijk van de verschillende klimaatscenario's.

Piping is daarom buiten beschouwing gelaten. Er zijn weliswaar gebieden in de regio Rijnmond Drechtsteden waar lange benodigde piping-bermen berekend worden. Deze lange bermen zullen echter niet klakkeloos worden aangelegd; er zal vaak naar alternatieven worden gezocht. De rekenkundige verandering van de berm lengte bij verschillende strategieën een zeespiegelstijgingen is daarom vooralsnog niet een goede indicator om de voorkeursstrategie op aan te passen. Er is nog te weinig kennis van wat er straks daadwerkelijk gebouwd gaat worden om nu de voorkeursstrategie op aan te passen. Eerst moeten we een beter beeld hebben bij het rendement van de innovatieve maatregelen. Als het goedkoop is om het mechanisme volledig uit te sluiten, dan is piping geen sturende parameter voor de beleidskeuze. Wordt het heel duur, dan wordt piping heel belangrijk en doen de veranderende waterstanden er toe voor dit mechanisme. Deze onzekerheid heeft meer impact dan de verschillende strategieën en zeespiegelstijgingen. In dat licht is het beter de strategie over een aantal jaar te evalueren. Dan is beter bekend tot welke kosten de piping-opgave leidt en wat de impact is van de innovatieve maatregelen.

In dit licht wordt er in deze studie vanuit gegaan dat, gegeven de huidige stand van de kennis met betrekking tot piping, de voorkeurstrategie niet kan/hoeft te worden aangepast voor dit mechanisme.

Macrostabieliteit

Normaal gesproken kost het rekenwerk voor een ontwerp van een waterkering op macrostabieliteit enkele dagen tijd. De analyse van de invloed van de klimaatscenario's op het ruimtebeslag wordt daarom voor deze studie met een aantal vuistregels gedaan. De belangrijkste uitgangspunten hierin zijn de volgende:

- Er is gemiddeld 15 meter bermbreedte nodig om 1 extra meter waterstand te kunnen keren bovenop de huidige dijk.
- In de praktijk verloopt de bermbreedte relatief grillig. Voor deze studie heeft differentiatie op de 15 meter plaatsgevonden op basis van de volgende stuurcriteria:
 - dikte slappe lagen;
 - sterkte slappe lagen;
 - hoogte dijk;
 - tijdseffecten;
 - kans op reductie door opdrijven;
 - bebouwd/landelijk.
- Alle locaties zijn globaal op deze criteria zijn gescoord om de "default" berm bij te sturen.

Hieruit volgt de volgende schattingen van de bermen om een beeld te krijgen van de impact van de klimaatscenario's.

Tabel G.1: Extra ruimtebeslag dijken bij verschillende zeespiegelstijgingen (MLK/MLK+)

Locatie	Toename MHW bij zeespiegelstijging van			Toename Berm bij zeespiegelstijging van		
	1 meter	2 meter	3 meter	1 meter	2 meter	3 meter
Hoek van Holland	0,9	1,8	2,7	10	20	30
Maassluis	0,2	1,1	2,0	2	12	22
Vlaardingen	0,3	1,1	2,0	4	17	30
Rotterdam	0,3	1,1	2,0	2	9	16
Krimpen ad IJssel	0,3	0,9	1,6	4	15	26
Gouda brug	0,0	0,8	2,3	0	12	38
Spijkenisse	0,4	1,1	1,9	6	18	31
Goidschaloord	0,6	1,4	2,2	7	17	26
Dordrecht	0,7	1,5	2,3	6	12	18
Hellevoetsluis	0,8	1,7	2,6	9	19	29
Rak noord	0,8	1,6	2,4	8	17	26
Moerdijk	0,8	1,6	2,4	11	24	36
Krimpen ad Lek	0,4	1,2	1,9	7	19	30

Locatie	Toename MHW bij zeespiegelstijging van			Toename Berm bij zeespiegelstijging van		
	1 meter	2 meter	3 meter	1 meter	2 meter	3 meter
Schoonhoven	0,2	0,5	0,9	5	12	20
Werkendam buiten	0,6	1,2	1,7	13	25	38
Vuren	0,6	1,2	1,9	14	29	43
Keizersveer	0,6	1,2	1,8	10	21	32
Heesbeen	0,6	1,2	1,8	13	26	39

In bebouwde gebieden is het ruimtebeslag kleiner dan in landelijke gebieden. Dit betekent niet dat de kosten daarom lager zijn; integendeel. In bebouwde gebieden moeten eerder constructies worden toegepast waardoor er minder ruimtebeslag zal plaatsvinden.

De grove schattingen van de impact op het ruimtebeslag zal lokaal sterk variëren. Ook het gemiddelde beeld is nog niet “stabiel”. Mogelijk levert onderzoek de komende jaren op dat een meter waterstandsverhoging gemiddeld meer of minder dan 15 meter ruimtebeslag vereist. In dat geval worden de bovenstaande getallen structureel anders.

Conclusies

De toename van het ruimtebeslag van scenario met 1 meter zeespiegelstijging is behapbaar. Dergelijke ordegrottes kunnen met de reguliere dijkversterkingen in de tijd worden meegenomen. Wanneer de belasting toeneemt richting scenario 3 meter zeespiegelstijging, wordt de opgave dusdanig groot dat het niet meer past binnen de kosten-baten analyse waar het WBI op gebaseerd is. Bij dergelijke opgaves moet overwogen worden mechanismes “uit te sluiten” eventueel door zware, constructieve maatregelen te treffen.

Dit zou een omslag in beleid betekenen. Een dergelijke omslag is prematuur, gegeven de onzekerheid van de belasting- en sterktevoorspelling.

Het is onzeker wat de impact van de klimaatverandering is op de hydraulische belasting op de waterkeringen is. Deze onzekerheid wordt verdisconteerd in drie klimaat scenario's. De sterkte van de waterkeringen is even onzeker. In het WBI wordt veel nieuwe kennis toegepast. Er zijn nog relatief veel kennisleemtes die mede de onzekerheden veroorzaken. Zowel het WBI als de POV's doen veel onderzoek om de sterkte beter te kunnen kwantificeren. De verwachting is dat de komende jaren de onzekerheid afneemt. Deze onzekerheid zal in de loop van de tijd ook afnemen met betrekking tot de klimaatscenario's.

In dit licht is het prematuur om, gegeven de huidige kennis van de sterkte van de waterkeringen, de voorkeursstrategie aan te passen op basis van dit ruimtebeslag. Het is wel belangrijk om te zien dat de klimaat scenario's met de grootste waterstandstoenames leiden tot ruimtebeslagen die het HWBP niet gewend is. Er zal een fundamenteel andere werkwijze moeten komen om de waterkeringen sterk genoeg te maken om zodat deze belastingen kunnen worden opgenomen.

Naar verwachting kan over enkele jaren het benodigde ruimtebeslag meer precies worden ingeschat. Geadviseerd wordt om deze analyse nogmaals uit te voeren over een aantal jaar en te kijken hoe de inzichten veranderen.

H Consequenties voor de haven/scheepvaart

Auteur: Jarl Kind

In deze bijlage wordt ingegaan op de vraag wat in kwalitatieve termen de gevolgen zijn voor de scheepvaart en de concurrentiepositie van de haven van hogere zeespiegelstijgingsscenario's (2 en 3 meter) ten opzichte van het scenario waarin de zeespiegel met ca 1 meter stijgt.

De kosten voor de haven en scheepvaart in 2100 voor het scenario Stoom (zeespiegelstijging van 85 centimeter, hoge economische groei) zijn door Ecorys geraamd in het kader van de studie van Rijkswaterstaat (2015) naar Plan Sluizen/motie Geurts. In de totale kostenvergelijking van MLK+/Plan Sluizen spelen deze kosten een belangrijke rol (zie Bijlage I). Tabel H.1 geeft deze kosten weer.

Tabel H.1 Kosten voor de scheepvaart en haven (in mln Euro per jaar) voor de MLK+ en Plan Sluizen voor het jaar 2100 in het scenario Stoom, zoals gebruikt in de studie van Rijkswaterstaat (2015)

Strategie	Onderdeel	Bedrag (mln euro per jaar)	Opmerking
MLK+	Scheepvaartkosten	198	Op basis van sluiten van de MLK 6,5 x per jaar en HIJK 65 x per jaar
Plan Sluizen	Scheepvaartkosten	227	Scheepvaartkosten voor sluizen. MLK en HIJK zijn vervallen
	Concurrentiepositie haven	31	
	Totaal	258	
Verskil		60	

Bron: Ecorys 2015

Het is onduidelijk of en hoe de kosten voor de scheepvaart en haven veranderen bij verhoogde zeespiegelstijgingen van 2 en 3 meter. Voor de MLK+ strategie is dat voor een belangrijk deel afhankelijk van de sluitfrequentie van de MLK/MLK+. Merk op dat Rijkswaterstaat (2015) er bij 0,85 centimeter stijging van uitgaat is gegaan dat de MLK 6,5 keer per jaar sluit in 2100, terwijl in deze studie er vanuit gegaan wordt dat dit niet vaker is dan 3 keer per jaar (ook bij 2 en 3 meter stijging), door de sluitpeilen te verhogen (zie Bijlage A). Dat betekent dat het verschil tussen de MLK+ en Plan Sluizen van 60 miljoen euro per jaar fors toeneemt. Hoeveel deze toename is, kan op basis van de rapporten van Ecorys (2015) niet exact worden bepaald. Het is echter realistisch dat de scheepvaartkosten bij een sluitfrequentie van 3 keer per jaar bij benadering de helft zijn van de kosten bij een sluitfrequentie van 6,5 keer per jaar. De kosten voor MLK+ komen dan ongeveer uit op 100 miljoen Euro per jaar; ongeveer 160 miljoen euro per jaar lager dan voor Plan Sluizen.

Een tweede aspect is de kosten door het verlies aan concurrentiepositie voor de Rotterdamse haven. Bij hogere zeespiegelstijgingen zullen concurrerende havens ook eerder achter sluizen verdwijnen; bij de haven van Antwerpen is dat al het geval. Een in de meeste tijd vrij toegankelijke haven (MLK+) geeft dan een relatief groter voordeel en het verlies daarvan van deze vrije toegang bij Plan Sluizen wordt relatief belangrijker.

Conclusie: scheepvaartkosten zullen voor MLK+ significant lager uitvallen dan voor de gesloten zeezijde variant. De mate waarin is afhankelijk van het gekozen sluitpeil en daarmee de sluitfrequentie van de MLK. Bij hogere zeespiegelstijging (2 en 3m) zullen de scheepvaartkosten voor de gesloten zeezijde-variant verder toenemen, tenzij het streefpeil aan de binnenzijde van de kering meebeweegt met de zeespiegelstijging. De schuttijden zijn immers afhankelijk van het waterstandsverschil tussen de binnen- en buitenzijde van de sluis. Voor de MLK+ variant zullen de kosten gelijk blijven bij 2 en 3m zeespiegelstijging, mits het sluitpeil zó wordt aangepast dat de sluitfrequentie gelijk blijft.

Opmerking

De scheepvaartkosten (Ecorys 2015) zijn gebaseerd op tellingen van en prognoses voor toekomstige scheepspassages; op schattingen van passagetijden, kentallen voor wachtkosten en inschattingen van effecten op de concurrentiepositie. Al deze aspecten zijn onzeker, zoals de studie van Rijkswaterstaat (2015) ook al heeft aangegeven. Zo heeft Ecorys in 2015 schattingen van scheepvaartkosten afgegeven die tot een factor 75 lager zijn dan die uit eerder analyses van 2014 (Stone *et al.*, 2014). Ook WVL (2015) concludeert dat de cijfers niet stabiel zijn. Volgens het havenbedrijf (Marc Eisma, persoonlijke communicatie) is deze grote reductie (factor 75) in berekende kosten het gevolg van een fout die inmiddels verwijderd is uit de programmatuur.

Literatuur

Ecorys, 2015, Beantwoording motie Geurts: effecten scheepvaart. Resultaten en technische bijlage.

Rijkswaterstaat (2015), Motie Geurts, Deltaprogramma: onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en zoetwatervoorziening. 'Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg'. 19 november 2015, Definitief concept.

Stone, K., J. Kind en M. Maarse, 2014, Kosten-batenanalyse voor varianten afsluiting zeezijde Rijnmond-Drechtsteden. Deltares rapport 1209121-009.

I Consequenties voor de afweging MLK/Plan Sluizen

Auteur: Jarl Kind

In de studie Plan Sluizen door Rijkswaterstaat (2015) zijn de totale kosten (dat wil zeggen, de som van de investeringskosten en kosten van onderhoud en beheer van alle maatregelen, en alle positieve en negatieve maatschappelijke effecten voor de haven/scheepvaart, zoetwatervoorziening en waterveiligheid uitgedrukt in geld) van Plan Sluizen afgewogen tegen de totale kosten van het op termijn vervangen van de MLK voor de MLK+, voor de Deltascenario's Rust (lage economische groei, 35 cm zeespiegelstijging in 2100) en Stoom (hoge economische groei, 85 cm zeespiegelstijging in 2100). Uit de WVL studie blijkt dat in het scenario Stoom het op termijn (rond 2070) vervangen van de MLK voor de MLK+ tot vergelijkbare totale kosten leidt als Plan Sluizen, waarbij aangetekend is dat de onzekerheid rondom veel kosten en effecten erg groot is, en dat de effecten voor de natuur niet zijn meegewogen. De vraag van DPRD is of meer zeespiegelstijging tot een verandering van de eerder gemaakte kostenvergelijking leidt. Deze vraag dient kwalitatief te worden beschouwd.

De resultaten van de eerder gemaakte kostenvergelijking voor het scenario Stoom zijn samengevat in onderstaande Tabel (bron: Kind 2015). Benadrukt wordt dat dit kosten zijn die contant gemaakt zijn met een discontovoet van 4,5% per jaar naar basisjaar 2015, terwijl er vanuit gegaan is dat de MLK+ en Sluizen pas in 2070 worden gerealiseerd. Voor een relatieve kostenvergelijking van MLK+ en Plan Sluizen maakt dit niet uit (de alternatieven lopen immers pas vanaf 2070 uiteen), maar de nominale kosten en effecten zijn vele malen groter.

Het verschil in kosten (215 miljoen euro contante waarde) is klein ten opzichte van de totale contante waarde van MLK+ en Plan Sluizen (ruimt 7000 miljoen euro contante waarde). Opvallend is dat Plan Sluizen leidt tot een relatief klein verschil in de contante waarde van de kosten voor dijken. Het belangrijkste effect van Plan Sluizen zijn de negatieve effecten (kosten) voor de haven en de scheepvaart, naast het verlies aan natuur dat niet in de afweging is meegenomen.

Tabel I.1: Contante waarde kosten en effecten van MLK+ en Plan Sluizen voor het Deltascenario Stoom (mln euro, contante waarde bij een discontovoet van 4,5%) (bron: Kind, 2015).

Onderdeel	MLK+	Plan Sluizen	Vershil
A. Kosten van maatregelen, incl. beheer en onderhoud			
A.1 VKS DPRD	298	72	-226
A.2 VKS DP-ZWD	200	105	-95
A.3 (Plan) Sluizen	107	388	281
A.4 Kleinschalige wateraanvoer (KWA)	18	18	0
A.5 Dijkverhoging en -versterking	2002	1985	-17
Subtotaal	2626	2568	-58
B. Effecten			
B.1 Verwachte overstromingsschade binnendijks	1812	1795	-17
B.2 Verwachte overstromingsschade buitendijks	1524	1543	19
B.3 Haven en scheepvaart	1064	1354	290
B.4 Zoetwaterschade	232	212	-20
Subtotaal	4631	4904	273
TOTAAL GENERAAL	7257	7472	215

Bovenstaande kosten en effecten zullen veranderen bij meer zeespiegelstijging. In Tabel 1.2 wordt een inschatting gegeven in hoeverre dat als argument voor of tegen Plan Sluizen (en daarmee voor de MLK+) leidt.

Tabel I.2: Argumenten voor of tegen Plan Sluizen bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging (op basis van expertoordelen)

Onderdeel	Argument voor of tegen Plan Sluizen bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging (op basis van expertoordeel)	
A.1 Extra kosten MLK+	Voor	Bij hogere zeespiegelstijging zullen de kosten van de VKS (waaronder die voor de nieuwe MLK+) toenemen.
A3. Extra kosten Plan Sluizen	Tegen	Bij hogere zeespiegelstijging zullen de kosten, inclusief de energiekosten, van Plan Sluizen toenemen.
A.5 Dijkverhoging en -versterking	Neutraal?	In deze studie worden de effecten op de waterstanden bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging voorlopig gelijk ingeschat voor zowel de MLK+ als Plan Sluizen (zie Bijlage A).
	Tegen	Bij Plan Sluizen treedt er wel extra opstuwing op in de Nieuwe Waterweg waarvoor de dijken extra moeten worden verhoogd (zie Bijlage A).
B.1 Verwachte overstromingsschade binnendijks	Neutraal?	In deze studie worden de effecten op de waterstanden bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging voorlopig gelijk ingeschat voor zowel de MLK+ als Plan Sluizen (zie Bijlage A).
	Tegen	Bij Plan Sluizen treedt er wel extra opstuwing op in de Nieuwe Waterweg waarvoor de dijken extra moeten worden verhoogd en/of de risico's toenemen (zie Bijlage A).
B.2 Verwachte overstromingsschade buitendijks	Neutraal?	In deze studie worden de effecten op de waterstanden bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging voorlopig gelijk ingeschat voor zowel de MLK+ als Plan Sluizen (zie Bijlage A).
	Tegen	Buiten de kering neemt met Plan Sluizen het buitendijks overstromingsrisico sterk toe en dienen adaptatiemaatregelen genomen te worden (Bijlage F) .
B.3 Haven en scheepvaart	Neutraal	De sluitfrequenties zijn een keuze en deze hoeven niet toe te nemen bij meer zeespiegelstijging als de sluitpeilen worden verhoogd.
	Tegen	Bij meer zeespiegelstijging zal het relatieve concurrentievoordeel van de haven toenemen als deze open blijft, indien de concurrerende havens achter sluizen verdwijnen.
Buitendijkse natuur	Tegen	Getijdenatuur verdwijnt / verdwijnt eerder in Plan Sluizen (zie Bijlage F).
Morfologie	Voor?	De morfologische risico's lijken kleiner te zijn in Plan Sluizen (zie Bijlage B).

Literatuur

Kind, Jarl (2015), Contante Waarde Berekening Onderzoek Plan Sluizen (motie Geurts) – Definitief. Deltares Memo, 25 september 2015, project 1220089.

Rijkswaterstaat (2015), Motie Geurts, Deltaprogramma: onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en zoetwatervoorziening. 'Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg'. 19 november 2015, Definitief concept.

J Consequenties voor de afvoerverdeling van de Rijn

Auteur: Frans Klijn

Interpretatie van de vraag

Een extreme zeespiegelstijging heeft consequenties voor hoe gemakkelijk/moeilijk de grote rivieren hun water op zee kunnen lozen. Dat blijkt al uit de stuwkrommes die zijn getoond bij de beantwoording van de vraag waar de grens van het bovenrivierengebied komt te liggen (zie bijlage C). Het zou kunnen dat de beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling over de Rijntakken in dat licht zou moeten worden heroverwogen. Ofwel:

Welk deel van het Rijnwater willen/kunnen we lozen dan wel tijdelijk opslaan/uitpompen uit het Rijnmond-Drechtstedengebied (+ ZW-delta), en welk deel liever via/uit het IJsselmeergebied?

Daarbij speelt natuurlijk een rol of de verdeling van het water wel heel anders kan, en welke aanpassingen aan de Rijntakken daarvoor nodig zijn.

Ter inleiding, en gebruikt materiaal

De afvoer van de Rijn wordt bij Pannerden en IJsselkop verdeeld over de drie Rijntakken: Waal (circa 2/3), Nederrijn-Lek (circa 2/9) en IJssel (circa 1/9). In grote lijnen geldt deze verdeling van hoogwaterafvoeren in de praktijk al enkele eeuwen, vanaf het moment dat het Pannerdens Kanaal is gegraven en de IJsselkop is aangepast. Laagwaterafvoeren worden anders verdeeld, namelijk ten behoeve van de scheepvaart; dat kan omdat de Nederrijn-Lek is gekanaliseerd en de bovenste stuw als kraan kan dienen. In 2006 is door het beleid heel precies vastgesteld hoe de op dat moment vastgestelde maatgevende afvoer van 16.000 m³/s verdeeld dient te worden over de drie Rijntakken.

De Maas wordt nergens verdeeld (behalve bij laagwater, om de Belgische en Brabantse kanalen van water te voorzien) en alle hoogwater komt dus in het Hollands Diep-Haringvliet terecht.

Inmiddels is met de invoering van de nieuwe normen het begrip maatgevende afvoer inhoudsloos geworden. Daarom is recentelijk voor de Rijntakken verkend hoe de beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling moet worden geïnterpreteerd in het licht van de nieuwe risicobenadering, waarin niet langer wordt uitgaan van een 'enkelvoudige maatgevende afvoer'. En tevens of er aanleiding is de afvoerverdeling te wijzigen (Asselman et al., 2018). De vraag is daarbij ten eerste qua inhoudelijke scope beperkt tot de vraag of een andere afvoerverdeling economisch efficiënter is, en ten tweede qua geografische scope tot de noodzakelijke aanpassingen (dijken en rivierverruiming) en overstromingsrisico's langs de bovenrivieren. Er is dus niet gekeken naar andere overwegingen dan geld, noch naar waar het water terecht komt. Daarmee is deze studie voor de voorliggende vraag nauwelijks bruikbaar/relevant.

Een veel bredere kijk op de problematiek is gevolgd in de studie Rijn op Termijn (Baan & Klijn, 1998; Kwadijk, ongepubl.). Maar daarvoor is slechts uitgegaan van 1 m zeespiegelstijging en is verkend hoe om te gaan met een extreme Rijnafvoer van 20.000 m³/s.

Qua scope is die verkenning veel breder geweest, maar qua diepgang en detailniveau is deze niet te vergelijken; het was een eerste verkenning. Daarmee is deze studie voor de voorliggende vraag interessanter qua scope, maar tevens onvoldoende voor een voldoende fundering van een definitief antwoord.

Gezien de beperkte beschikbaarheid van relevant materiaal en het karakter van de onderhavige studie, worden hier slechts indicaties gegeven van mogelijke antwoorden en uit te voeren verkenningen benoemd.

Zaken die er voor een landelijke lange-termijnafweging toe doen

Een eerste principiële vraag is of we om een stukje Nederland (circa 10.000 km²) veilig te houden de afvoeren uit het gehele stroomgebied van de Rijn (185.000 km², vanaf de Italiaanse grens in Zwitserland) en dat van de Maas (35.000 km²) willen uitpompen of toch liever (grotendeels) onder vrij verval naar zee willen afvoeren. Op dit moment is voor het IJsselmeer gekozen voor een strategie waarin ook pompen een rol spelen; maar daarbij is nog niet gekeken naar extreme zeespiegelstijging, en gaat het slechts om de IJssel (circa 11 % van de Rijnafvoer). Kort samengevat: een keuze voor pompen betekent pompen, of dat nu naar het westen (Noordzee) of noorden (Waddenzee) is. Een sleutelvraag is dus: (deels) meestijden of niet?

Voor de afvoerverdeling is relevant dat het hoogwateraanbod op dit moment sterk verschilt tussen noord (IJsselmeer) en west (Rijnmond-Drechtsteden). Via de IJssel komt circa 11% van de Rijnafvoer naar het noorden. Het Rijnmondgebied krijgt 8/9 van de Rijnafvoer via Waal (6/9) en Lek (2/9) plus de Maasafvoer aangevoerd. Dat betekent dat de belasting die nu eens per 100 jaar en door het veranderende afvoerregime van de rivieren (zie Sperna Weiland et al., 2015; Klijn et al., 2015) eind van deze eeuw eens per 10 jaar moet worden opgevangen met een combinatie van tijdelijke berging en pompen ongeveer als volgt is:

- IJssel: 1450 m³/s
- Rijn- Maasmondgebied: 11.550 + 3200 = 14.750 m³/s

Het westen krijgt bij de huidige afvoerverdeling dus ruim 10 keer meer water te verwerken dan het noorden.

Ten derde is relevant dat het noordelijk deltabekken qua bergend oppervlak minder groot is dan het IJsselmeer. Het effectief (niet-hoogwatervrij) buitendijks oppervlak ten noorden van de Volkeraksluizen is ongeveer 35.600 ha (Kwadijk, ongepubl.). Als we Volkerak, Grevelingen en Oosterschelde tevens als bergingsgebied zouden bijschakelen, kunnen daar nog ongeveer 58.700 aan worden toevoegd (afgeleid uit Kwadijk, ongepubl.). Samen dus 94.300 ha. Het noordelijk IJsselmeer is alleen al 140.000 ha, het Markermeer en Gooimeer kunnen daar nog 80.000 ha aan toevoegen (Baan & Klijn, 1998), maar zijn wel heel moeilijk aan te passen aan flexibele en hogere peilen. Samenvattend: er gaat ruim 10 keer meer water naar een gebied met een bergend oppervlak dat 4 x kleiner is dan dat van het IJsselmeer; of op z'n allergunstigst nog zeker 30% kleiner.

Vervolgens kan nog een grove risico-redenering worden gevolgd. Als we risico interpreteren als combinatie van gevaar (*hazard*) en kwetsbaarheid (*vulnerability*), dan ligt het gevaar in de hoeveelheid water die een overstroming kan veroorzaken en de kwetsbaarheid in het aantal inwoners en het schadepotentieel. Het gevaar is hiervoor al benoemd en grofstoffelijk gekwantificeerd. Resteert een overweging van verschillen in kwetsbaarheid.

Het is evident dat de kwetsbaarheid van de relevante (overstroombare) omgeving van Rijnmond-Drechtsteden veel groter is dan die van de gebieden rond het noordelijk IJsselmeer (kop van Noord-Holland, delen van Flevoland en Overijssel, Friesland): meer inwoners, een groter direct schadepotentieel en een grotere betekenis voor de economie van het land. Dat zou pleiten voor het ontzien van het westen van het land.

Als we ook nog kijken naar waar het water langs moet, dan wordt dat beeld nog versterkt. Want de IJssel is een verhoudingsgewijs 'lage' rivier in een natuurlijk rivierdal, waaruit mensen gemakkelijk naar hogere gronden kunnen evacueren, terwijl de Waal een 'hoge' rivier is die tussen badkuipen doorloopt. De Betuwe en Alblasserwaard zijn daarbij te beschouwen als zeer kwetsbare dijkkringgebieden (opgesloten tussen rivieren, diep gelegen, niet gecompartmenteerd) met een bovenregionale betekenis omdat belangrijke oost-westverbindingen (A15, Betuwelijn) en noord-zuidverbindingen (A2, A50) hier doorheen lopen.

Consequenties voor te onderzoeken alternatieven?

Als we de overwegingen over de afvoerverdeling in relatie zien tot de mogelijke strategieën voor de Rijn-Maasmond, dan lijken de volgende opties het onderzoeken waard in het licht van mogelijk extreme zeespiegelstijging:

- Plan sluzen met meer water naar het IJsselmeer en minder naar het westen (Rijn-Maasdelta op de juiste (= nationale) schaal
- Het onderscheiden van een tussenoplossing met een stormvloedkering in het Haringvliet (vrij verval in plaats van pompen; behoud zoetwatergetij) en een sluzenplan met pompen voor het noordelijk deltabekken.
 - Daarbij hetzij Lek al vanaf IJsselkop vrijwaren van hoogwaterafvoertaak en gewenste verdeling over IJssel en Waal nader onderzoeken,
 - hetzij Lek door Betuwe of Vijfheerenlanden-Alblasserwaard naar Merwede leiden (zie hoekpuntenverkenning DP-RD uit 2011; maar omweg).

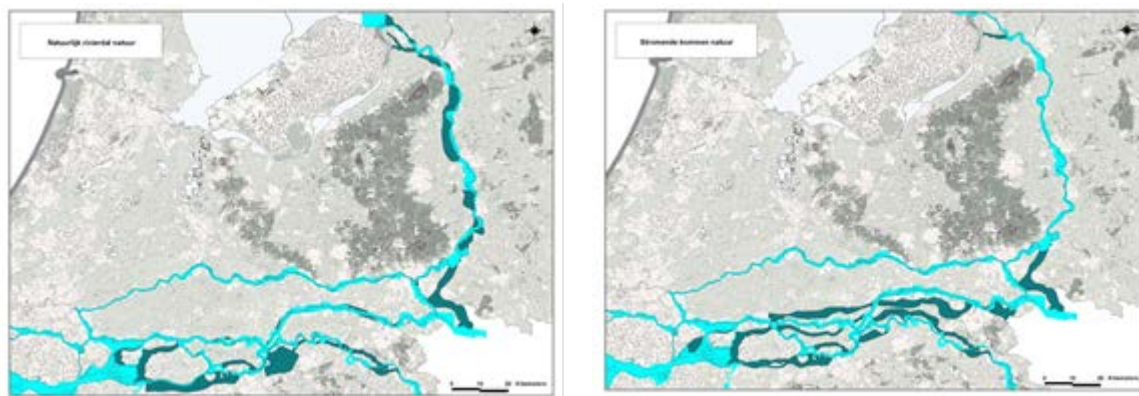
Inspiratie voor de inrichting van het rivierengebied kan worden gevonden in Rijn op Termijn (Baan & Klijn, 1998) en in grootschalige maatregelen langs Waal, Maas en IJssel, zoals verkend in de context van IRMA-Sponge (Vis et al., 2001), de Spankrachtstudie (door RIZA), of door Alterra & WL (Klijn et al., 2002; 2004).



a) Natuurlijk rivierdal, grootschalig (NRgr)



b) Stromende kommen, grootschalig (SKgr)



c) Natuurlijk rivierdal, beperkt (NR)

d) Stromende kommen, beperkt (SK)

Figuur J.16 Vergrote afvoercapaciteit rivieren met ruimte voor natuur (uit Klijn et al., 2002); mogelijke maatregelen bij wijziging afvoerverdeling (variant a) komt voor de IJssel overeen met Rijn op Termijn).

Literatuur

Asselman, N.E.M., P. de Grave, O. Weiler & A. Spruyt, 2018. Mogelijke varianten afvoerverdeling Rijn. Deltares-rapport 11202191, Delft.

Baan, P & F. Klijn, 1998. De Rijn op Termijn. Een veerkrachtstrategie. WL| delft hydraulics, rapport R3124.10, Delft.

Klijn, F., S.A.M. van Rooij, M. Haasnoot, L.W.G. Higler & B.S.J. Nijhof, 2002. Ruimte voor de rivier, ruimte voor de natuur? Fasen 2 en 3: Analyse van alternatieven en contouren van een lange-termijnvisie. Alterra-rapport xxx/ WL-rapport Q2824.10, Wageningen.

Klijn, F., J.D. Karssemeijer & S.A.M. van Rooij, 2004. Welke ruimte biedt ruimte voor de rivier aan de natuur? Landschap 21 (2004)/1: 29-45.

Klijn, F, M. Hegnauer, J. Beersma & F. Sperna Weiland, 2015. Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren. Deltares-rapport 1220042, Delft. DOI: 10.13140/RG.2.1.4399.5601.

Kwadijk, J., ongepubl. Rijn op Termijn. Deelproject Nat en Droog. WL| delft hydraulics, ongepubliceerd memo, 1997.

Vis, M., F. Klijn, S.A.M. van Rooij & M. van Buuren (eds.), 2001. Living with floods. Resilience strategies for flood risk management and multiple land use in the lower Rhine River basin. Final report. WL-report R3470, Delft.

K Consequenties voor waterberging ZWD

Auteurs: Frans Klijn en Arno Nolte

Vooraf

Op dit moment is alleen het Volkerak-Zoommeer in functie als waterbergingsgebied. Van de Grevelingen is vastgesteld dat waterberging hier duurder uitpakt dan dijkverzwaring in het noordelijk deltabekken. En van de Oosterschelde dat de lekverliezen langs en over de huidige kering waterberging hier weinig effectief maken. Daarom zijn deze twee wateren in de voorkeursstrategie voor 2050 niet meer in beeld voor waterberging.

In het algemeen geldt dat waterberging effectiever is naarmate 1) het oppervlak bergingsgebied groter is, en naarmate 2) het startwaterpeil lager is.

Afsluitbaar Open Nieuwe Waterweg

Bij een afsluitbaar open Nieuwe Waterweg (en afsluitbaar Haringvliet) zal het waterpeil in het noordelijk deltabekken de stijging van de zeespiegel in grote lijnen volgen. Dat betekent dat de Maeslantkering vaker zal worden gesloten omdat de (voorspelde of gerealiseerde) sluitpeilen worden overschreden. Bij een zeespiegelstijging van meer dan 1 m zal waarschijnlijk voor een hoger sluitpeil moeten worden gekozen om te voorkomen dat de Maeslantkering te vaak moet sluiten.

Voor het **Volkerak-Zoommeer** geldt dan dat dit een effectief waterbergingsgebied zal blijven, zolang het huidige peilbeheer kan worden gehandhaafd. Want dan verandert er niets aan het oppervlak noch aan het startpeil. Wel zal het bergingsgebied vaker worden ingezet, omdat de Maeslantkering vaker dichtgaat en de waterstanden te Dordrecht en/of bij de Volkeraksluizen vaker te hoog worden. Bij een zeespiegelstijging van 60 cm en een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s neemt kans op inzet toe tot 1/25 per jaar ten opzichte van 1/1400 per jaar nu¹⁰. Bij verdere zeespiegelstijging zal de kans op inzet verder toenemen, waardoor de berging niet langer het karakter van noodmaatregel heeft en er structurele consequenties voor gebruiksfuncties zullen zijn.

Omdat het Volkerak-Zoommeer op peil wordt gehouden door lozing naar de Westerschelde onder vrij verval, verwachten we dat 1 m zeespiegelstijging nog geen problemen zal opleveren¹¹. Het getijverschil op de Westerschelde is bij Bathse Sluis namelijk erg groot (gewoonlijk tussen 3 en 6 m (doodtij/springtij) afhankelijk van de rivierafvoer). Bij laagwater zal dus naar verwachting nog steeds gespuid kunnen worden. Maar aanstaande beslissingen over het weer zout maken van het Volkerak-Zoommeer en het terugbrengen van getij kunnen al bij een 1 m hogere zeespiegel invloed hebben op de spuiomogelijkheden en dus de bergingscapaciteit.

¹⁰ Rijkswaterstaat (2005): Hoogwaterberging Volkerak-Zoommeer, Verdiepingslag voor Ruimte voor de Rivier, N. Slootjes (RWS RIZA), Rotterdam, juli 2005.

¹¹ De huidige Voorkeursstrategie Zuidwestelijke Delta gaat tot 80 cm zeespiegelstijging uit van voortzetting van de huidige plannen, waarbij de ontwerp Rijksstructuurvisie Grevelingen Volkerak-Zoommeer een zout Volkerak-Zoommeer als voorkeursvariant noemt. Waterberging is onderdeel van deze voorkeursvariant.

Of het waterpeil op het VZM bij 2 m zeespiegelstijging nog kan worden gehandhaafd door middel van spuien alleen, is zonder nader onderzoek moeilijk te beoordelen. Bij 3 m zal het zeer waarschijnlijk niet meer mogelijk zijn zonder bemaling (pompen).

Voor waterberging op **Grevelingen en Oosterschelde** is het denkbaar dat dit qua kosteneffectiviteit weer een interessant alternatief wordt als de dijken in het noordelijk deltabekken op zeer grote schaal verzaagd en verhoogd zouden moeten worden. Dan is iedere toevoeging van bergingsoppervlak interessant. De effectiviteit als bergingsgebied hangt ook dan echter af van de beginwaterstand.

De **Grevelingen** is nu nog een afgesloten zout meer met stagnant peil, dat via spuisluizen in de Brouwersdam wordt gereguleerd. Door op de Oosterschelde te spuien¹² kan eventueel van de grote getijslag aldaar worden geprofiteerd, en kan bij 1 m zeespiegelstijging het huidige meerpeil waarschijnlijk worden gehandhaafd. Bij 2 m zeespiegelstijging kan dit mogelijk niet meer zonder pompen en bij 3 m zeker niet.

Momenteel wordt echter overwogen de doorlaat in de Brouwersdam te vergroten en eventueel van getijdeturbines en/of pompen te voorzien, waarbij 40 cm zeespiegelstijging als uitgangspunt wordt genomen voor het te handhaven peilregime. Voor het peilbeheer bij grotere zeespiegelstijging zijn nog geen alternatieven uitgewerkt. Waterberging op het Grevelingenmeer blijft een optie, maar wat de precieze consequenties zijn voor de bergingscapaciteit bij 1, 2 en 3 m zeespiegelstijging is zonder nader onderzoek niet te zeggen.

De **Oosterschelde** is afsluitbaar met de Oosterscheldekering, waardoor de beginwaterstand afhangt van het moment van sluiting. Vanaf het moment van sluiting wordt echter ook het lekverlies langs de deuren belangrijk. De Oosterscheldekering heeft als hoogwaterkering een functionele levensduur die wordt bepaald door de hoogte van de deuren. Die zijn nog functioneel tot ong. 0,5 m zeespiegelstijging, maar kunnen worden verhoogd/vervangen zodat ze 1,5 m zeespiegelstijging aankunnen (Passchier et al., 2009)¹³. Dat leidt tot de conclusie dat de Oosterschelde zonder pompen een effectief bergingsgebied kan zijn bij 1 – 1,5 zeespiegelstijging. Daarna moet vanuit hoogwaterbeschermingsoptiek worden gekozen voor een open (al dan niet afsluitbaar) of gesloten Oosterschelde; dus hogere dijken of pompen. In het eerste geval is de Oosterschelde geen effectief potentieel bergingsgebied meer. In het tweede geval hebben we een situatie gecreëerd die kan worden gekenschetst als een *Afsluitbaar Open noordelijk deltabekken, met een afgesloten zuidwestelijke delta*.

Die laatste situatie vraagt een brede afweging, omdat deze niet zonder grote consequenties voor economie (schelpdierkweek) en natuur kan. Een zout getijdegebied met groot getijverschil wordt immers veranderd in een stagnant meer, naar keuze zout of zoet.

¹² De middelen daarvoor zijn nog niet aanwezig. De huidige hevel heeft daarvoor onvoldoende capaciteit.

¹³ De functionaliteit van de Oosterschelde-kering als waarborg voor een open getijdesysteem (zeearm) voor scheldiervisserij, aquacultuur en natuur loopt waarschijnlijk veel eerder tegen grenzen aan. De sluitfrequentie van de Oosterscheldekering loopt bij de vigerende sluitcriteria op van eens per anderhalf jaar nu, via 5 keer per jaar bij 0,5 m zeespiegelstijging, en 45 keer per jaar bij 1,0 m zeespiegelstijging, tot vrijwel permanent gesloten bij een 1,5 m hogere zeespiegel.

Plan Sluizen

Bij Plan Sluizen wordt geprobeerd de beginwaterstanden in het noordelijk deltabekken niet met de zeespiegel te laten meestijgen door pompcapaciteit in Haringvliet en Nieuwe Waterweg te realiseren.

Voor de waterberging **Volkerak-Zoommeer** *betekent dit dat de effectiviteit onveranderd blijft* ten opzichte van de huidige situatie, zolang de beginwaterstand ('het streefpeil') gelijk wordt gehouden. Dat wil zeggen dat ook de inzetfrequentie door stijging van de zeespiegel niet hoeft toe te nemen.

Dus ook nu geldt voor het VZM: *tot 1 m zeespiegelstijging waarschijnlijk verwachten we geen problemen*. Of het waterpeil op het VZM bij 2 m zeespiegelstijging kan worden gehandhaafd zonder inzet van pompen, is zonder nader onderzoek moeilijk te beoordelen. *Bij 3 m zal het zeer waarschijnlijk niet meer mogelijk zijn zonder bemaling (pompen)*.

Voor potentiële waterberging op **Grevelingen en/of Oosterschelde** geldt hetzelfde als in de situatie met een afsluitbaar open Nieuwe Waterweg: het wordt mogelijk een interessanter alternatief voor grootschalige dijkverzwaring langs het noordelijk deltabekken, omdat de duur van sluiting bij hogere zeestanden langer is en de pompcapaciteit in HV en NWW om redenen van efficiëntie beperkt zal worden. Maar om bij zeespiegelstijgingen van 2 of 3 m nog effectief te kunnen zijn, zullen de beginwaterstanden laag gehouden moeten worden en dat kan waarschijnlijk niet zonder afsluiting van de Oosterschelde en pompen; waarmee de totale pompcapaciteit alsnog moet worden vergroot.

In algemene zin blijft staan dat hoe groter het oppervlak bergingsgebied, hoe gunstiger.

In deze situatie hebben we dan op termijn een situatie gecreëerd die kan worden gekenschetst als een gesloten noordelijk deltabekken met een gesloten zuidwestelijke delta eraan gekoppeld; en een gesloten kust (met een paar sluizen) van Antwerpen (Belgische grens) tot voorbij Delfzijl (Duitse grens).

L Ruimte binnen de norm

Auteur: Karin de Bruijn

Achtergrond

De normen voor de waterkeringen zijn gebaseerd op de criteria MKBA, LIR en Groepsrisico. Voor alle drie is een overstromingskans bepaald. De strengste van deze drie criteria bepaalt voor de meeste trajecten de norm. De overstromingskansen zijn vervolgens afgerond naar normklassen. Zo krijgen de trajecten met een overstromingskans tussen de 1/1700 en 1/5500 de norm 1/3000 per jaar, en 1/5500 tot 1/17000 de norm 1/10.000 per jaar. Voor enkele dijktrajecten is vanwege de aanwezigheid van vitale infrastructuur een normklasse hoger gekozen dan verwacht zou worden op basis van deze drie criteria.

Doel en aanpak

DPRD vraagt hoeveel ruimte er nog is voor economische groei binnen de norm, of te wel:

“Hoeveel kan de schade toenemen zonder dat het normtraject aan een andere normklasse zou worden toebedeeld?”

Om deze vraag te beantwoorden, is bepaald met welke factor de overstromingsgevolgen (zoals berekend voor DP2015) mogen toenemen zonder dat het dijktraject in een andere normklasse zou vallen. Hiertoe zijn voor ieder normtraject de maximale gevolgen bepaald horend bij de bovengrens van de huidige normklasse en gedeeld door de gevolgen gebruikt in DP2015. De gevolgen van een overstroming bestaan uit economische schade, getroffen en slachtoffers. Slachtoffers en getroffen zijn door middel van een bedrag per getroffen en slachtoffer bij de economische schade opgeteld. In deze analyse is aangenomen dat de verhouding tussen schade, getroffen en slachtoffers gelijk blijft en is de maximale toename van het totale gevolgsbedrag bekeken.

In eerste instantie is de analyse per dijktraject gedaan. Daar er echter gebieden zijn welke beschermd worden door meerdere dijktrajecten, is vervolgens nog een globale indicatie per dijkkring gegeven, waarbij de ruimte gelijk gesteld is aan de meest strenge eis van de dijktrajecten van de dijkkring. Zo kan de schade in dijkkring 16 (Alblasserwaard) op basis van de eis aan dijktrajecten langs de Merwede ver toenemen, maar op basis van de eisen van dijktrajecten aan de Lek veel minder. Deze Lekdijktrajecten zijn dan ook bepalend voor de ruimte in de norm.

Voorbeeld

Als voorbeeld is hier de berekening voor traject 14_1 gegeven met als MKBA eis 1/10300 en Schade in 2050 van 71 miljard €. De MKBA eis wordt berekend als: $MKBA_{eis} = 38^* \text{Schade}_{2050} / \text{'kosten 10 keer veiliger'}$. De MKBA-eis is in deze formule uitgedrukt als herhalingsperiode (e.g. 30.000 jaar ipv 1/30.000).

De overstromingskansnorm van dit traject wordt bepaald door het groepsrisico en heeft als signaleringswaarde 1/30.000 per jaar en valt in de klasse tot 1/55.000 per jaar. De kosten om dit traject 10 keer veiliger te maken zijn geschat op 106 M€, en de totale gevolgen voor 2050 bedragen 71 miljard euro.

Bij een MKBA eis van 1/55.000 kunnen de maximale gevolgen als volgt berekend worden:

*Maximale gevolgen (in M€): = Kosten 10keer veiliger * herhalingsijd MKBA-eis/ 38 = 106 * 55000/38 = 153000 M€ = 153 miljard euro.*

De ruimte in de norm is in dit geval 153/71 miljard is een factor 2.15.

Inperking: In eerste instantie zijn nieuwe inzichten in dijkversterkingskosten, landgebruik /objectdata en schadebedragen/schadefuncties niet meegenomen en is puur gekeken wat de ruimte in de norm is gegeven de inzichten uit DP2015. In de discussie wordt hier nader op ingegaan. Ook is er alleen gekeken naar het effect van economische groei op de eis vanuit het MKBA. De effecten op het LIR en Groepsrisico zijn naar verwachting zeer beperkt. Het aantal inwoners is immers geen parameter voor het LIR. Wel is het zo dat de kans om op tijd een veilige plek te bereiken (de inverse van de evacuatiefractie) in theorie kan afnemen indien de bevolking sterk groeit zonder dat er veilige plekken of uitvalswegen bijkomen. Ook kan het aantal potentiële slachtoffers toenemen indien gebouwd wordt op gevaarlijke plekken. Dit zou het groepsrisico enigszins kunnen vergroten. Het groepsrisico wordt echter bepaald door locaties waar nu al veel slachtoffers vallen en de toename daar door nieuwbouw is relatief klein.

Resultaten

De ruimte in de norm is weergegeven in Tabel L.1. Deze varieert per traject. In trajecten waarvan de norm bepaald wordt door de MKBA eis is deze ruime en factor 1 tot 3, in de overige meestal een factor 3-5 en soms ruim een factor 20. Ook trajecten met een zeer lage kanseis welke ver onder de 1/300 jaar norm zouden zijn uitkomen, maar toch een norm van 1/300 hebben gekregen, kunnen economisch relatief veel groeien zonder dat deze in een strengere normklasse zouden terecht komen. De grootste relatieve groeiruimte hebben 14_4 (Hoek van Holland), 19_1 (Rozenburg), 14_2 (Zuid-Holland Nieuwe Maas) en 16_2 (Albasserwaard-Merwede). Echter het gebied dat beschermd wordt door dijktraject 16_2 komt overeen met dat beschermd door 16_3 (Albasserwaard Lek) welke minder ruimte geeft voor groei. De absolute ruimte is het grootst in de normtrajecten 14_2, 19, 16 vanuit de Merwede en 15_1 Oost. Deze kunnen dus het meest in economische waarde toenemen zonder dat ze van klasse veranderen.

De dijkkring(delen) zijn weergegeven in Tabel L.2. Investeringsruimte is er met name in het gebied in Dijkkring 14 ten noorden van de Nieuwe Maas (14_2) en in Rozenburg. In Rozenburg wordt de norm bepaald door de kanseis vanuit het groepsrisico, en niet vanuit de MKBA. Ook is er een sterke relatieve groei mogelijk in de Noordwaard. In absolute zin is de mogelijke groei daar kleiner. Er is immers nog weinig waarde aanwezig.

Het minste ruimte hebben de dijkkringen Voorne-Putten ten westen van het Kanaal door Voorne, Pernis, het westen van het Land van Altena, en de Lopiker en Krimpenerwaard, en het Eiland van Dordrecht ten zuiden van de Zeedijk.

Tabel L.1: Ruimte in de norm bepaald per normtraject uitgedrukt als factor waarmee de gevolgen mogen toenemen (-) en als absoluut getal waarmee de schade mag toenemen (M euro) zonder het traject een andere normklasse zou behoren te krijgen. Ook is het criterium welke bepalend is geweest voor de norm gegeven. .

Naam	Traject	Normkans (1/jaar)	Factor ruimte (-)	Absoluut verschil (M€)	Bepalend criterium
Hollandse IJssel dkr14	14-1	1:30000	2.15	81767	MKBA
Zuid-Holland - Nieuwe Maas	14-2	1:100000	16.5	1094028	GR
Zuid-Holland - Nieuwe Waterweg	14-3	1:10000	3.53	28477	LIR
Zuid-Holland - Hoek van Holland	14-4	1:10000	19.4	15884	Aanvullend
Lopiker-en Krimpenerwaard - Oost	15-1	1:30000	2.88	164989	MKBA
Lopiker-en Krimpenerwaard - West	15-2	1:10000	1.35	20827	LIR & MKBA
Hollandse IJssel dkr15	15-3	1:10000	2.28	21417	LIR & MKBA
Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Merwede	16-1	1:100000	6.80	619751	GR&LIR
Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Merwede/Noord/Lek	16-2	1:30000	9.52	480871	GR&LIR
Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-West	16-3	1:30000	2.83	118303	LIR & MKBA
Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-Oost	16-4	1:30000	2.41	92747	LIR & MKBA
IJsselmonde - Zuid	17-1	1:3000	6.83	14705	LIR
IJsselmonde - Noord-West	17-2	1:3000	2.75	14082	MKBA
IJsselmonde - Noord-Oost	17-3	1:100000	2.61	65307	MKBA
Pernis	18-1	1:10000	1.26	946	LIR & MKBA
Rozenburg	19-1	1:100000	17.09	384002	GR
Voorne-Putten duin	20-1	1:30000	1.82	7348	MKBA
Voorne-Putten 1	20-2	1:10000	3.64	24109	LIR
Voorne-Putten 2	20-3	1:30000	5.14	103753	GR & LIR
Voorne-Putten 3	20-4	1:1000	1.10	277	LIR&MKBA
Hoekse Waard 1	21-1	1:3000	3.54	10379	LIR
Hoekse Waard 2	21-2	1:300	3.35	1257	LIR&MKBA (MKBA is 1/164)
Eiland van Dordrecht 1	22-1	1:3000	1.42	2846	LIR&MKBA
Eiland van Dordrecht 2	22-2	1:10000	5.66	83165	LIR & GR
Noordwaard	23-1	1:3000	23.25	2377	LIR
Land van Altena 1	24-1	1:10000	1.82	6161	MKBA
Land van Altena 2	24-2	1:1000	1.43	482	LIR&MKBA
Land van Altena 3	24-3	1:10000	2.78	31105	LIR
Goeree-Overflakkee Haringvliet	25-2	1:1000	3.08	2332	LIR en MKBA
West-Brabant 1	34-1	1:1000	3.40	3104	LIR
West-Brabant 2	34-2	1:1000	3.24	2364	LIR
Geertruidenberg	34a-1	1:3000	2.64	2883	LIR & MKBA
Donge 1	35-1	1:10000	2.02	7488	MKBA

Tabel L.2: Ruimte in de norm bepaald per dijkkring(deel) uitgedrukt als factor waarmee de gevolgen mogen toenemen (-) zonder het traject een andere normklasse zou behoren te krijgen.

Dijkkring(deel)	Factor ruimte	Opmerking.
14_1	2.2	Dijkkring 14 omgeving Gouda en noordzijde Hollandse IJssel
14-2	>15	Nieuwe Maas noordzijde
14-3 &4	3.0	HvH en NWW noordzijde
15	1.5	Gehele dijkkring
16	2.8	Factor bepaald door traject 16_3 (Lek)
17-1	6.8	IJsselmonde Zuidzijde
17-2 & 3	2.6	IJsselmonde Noord- en Oostzijde
18	1.3	Pernis
19	17	Rozenburg
20	1.8	West van Kanaal door Voorne Putten, bepaald door norm van duin
20	3.6	Noord- en Oostzijde langs Hartelkanaal en Spui
20	1.1	Zuidzijde langs Haringvliet
21	3.4	Hoekse Waard
22-1	1.4	Ten zuiden van Zeedijk
22-2	5.7	Ten noorden van Zeedijk
23-1	23	Er is heel weinig schade. Procentueel is er binnen de norm veel ruimte, maar absoluut gezien kan er maar 2.4 miljard bij komen zonder dat het dijktraject van normklasse te verandert.
24-1	1.8	In het grootste deel van de dijkkring
24-2	1.4	Westzijde
25-2	3.1	Goeree-Overflakkee
34	3.3	Donge
34a-1	2.6	
35-1	2.0	

Conclusie en discussie

De ruimte in de norm varieert per traject. Deze is het grootst in dijkkringdelen en trajecten waarvan de norm bepaald wordt door het LIR en GR en het kleinst in delen waarvan de norm bepaald wordt door de MKBA.

In het getal gebruikt voor DP2015 is al een schadetoename inbegrepen van 1.9% percent per jaar vanaf 2011 tot 2050, wat neerkomt op een factor 2.083. De berekende ruimte hier komt daar dus nog bovenop.

De gebieden waarvan de norm bepaald wordt vanuit het LIR/GR komen hier naar voren als gebieden met veel ruimte voor investeringen. Echter ze zijn vaak relatief gevaarlijk: ze bevatten gebieden die snel diep worden, of vaak overstromen of van waaruit het moeilijk is om weg te komen. Vandaar de dominante eis vanuit het LIR of GR. Bij investeringen is het wel raadzaam rekening te houden met de grotere kans op slachtoffers of gevaar.

De MKBA-eis is gebaseerd op een afweging van kosten van dijkversterking en de resulterende risicoreductie door de dijkversterking. Inmiddels zijn er nieuwe inzichten over de kosten van dijkversterking, schadebedragen en schadefuncties. Ook zijn er nieuwe landgebruik- en objectgegevens beschikbaar en zijn de discontovoet en is er een nieuwe verwachting voor de gemiddelde economische groei tot aan 2050. Deze nieuwe gegevens en inzichten zouden, indien de MKBA opnieuw gedaan zou worden, mogelijk tot enigszins andere overstromingskansen vanuit de MKBA kunnen leiden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat uit gevoeligheidsanalyses is gebleken dat de MKBA vrij robuust is. In 2023 worden de normen van de waterkeringen geëvalueerd. De nieuwe inzichten zijn hier niet meegenomen.

Toelichting: schade bepaling in DP2050:

T.b.v. de bepaling van de totale schade zijn in DP250 de volgende stappen doorlopen (Factsheets normering primaire waterkering, 2016):

- Met behulp van HIS-SSM is de schade bepaald voor 2000, en vervolgens geïndexeerd naar het prijspeil van 2011 met een (indexeringsfactor 1,4). Daarnaast is het bedrag van de schade vermenigvuldigd met factor 1,5 (d.w.z. verhoogd met een opslag van 50%) om rekening te houden met schadeposten die niet of onvolledig in het schadebedrag van HIS-SSM begrepen zijn. Bij deze opslagfactor wordt een risicopremie van 10% geteld (d.w.z. de factor wordt verhoogd van 1,5 tot 1,6) om risicoaversie in rekening te brengen.
- Ook worden de getroffen en slachtoffers gemonetariseerd voor 2011. Aan iedere getroffen wordt een geldwaarde van 12.500 euro toegekend. Dit bedrag vertegenwoordigt de immateriële schade aan de bezittingen van de getroffen (verlies van onvervangbare bezittingen zoals souvenirs) en de persoonlijke kosten van evacuatie (ongemak, inkomensverlies,...). Voor dodelijke slachtoffers is een bedrag van 6,7 miljoen euro per persoon gebruikt. Hierin zijn inbegrepen 5 gewonden per dodelijk slachtoffer. Het grootste deel van het bedrag van 6,7 miljoen euro wordt vertegenwoordigd door de immateriële schade van een dodelijk slachtoffer, in de literatuur de 'waarde van een statistisch mensenleven' of 'value of a statistical life' (VOSL) genoemd. In feite gaat om het om de waarde die mensen hechten aan een vermindering van de kans om voortijdig ten gevolge van een overstroming te overlijden.
- Totale schade in 2011 is gelijk aan de om van de drie schadebepalingen voor economische schade, slachtoffers en getroffen.
- De totale schade in 2050 wordt berekend door rekening te houden met een gemiddelde economische groei van 1,9% per jaar. Deze groei vindt plaats over 39 jaar (tussen 2011 en 2050) en bedraagt dus 1.019^{39} is een factor 2.083.

De totale schade voor 2050 wordt dus bepaald als:

$$\begin{aligned} \text{Totale Schade}_{2050} &= (\text{Totale Schade}_{2011}) * 1.019^{39} = \\ &= (\text{Schade}_{2011} + \text{Getroffenen} * 12.500\text{€} + \text{Slachtoffers} * 6,7 \text{ M€}) * 1,019^{39} \end{aligned}$$

M Gevoelighedsanalyse bodemdaling en economische groei

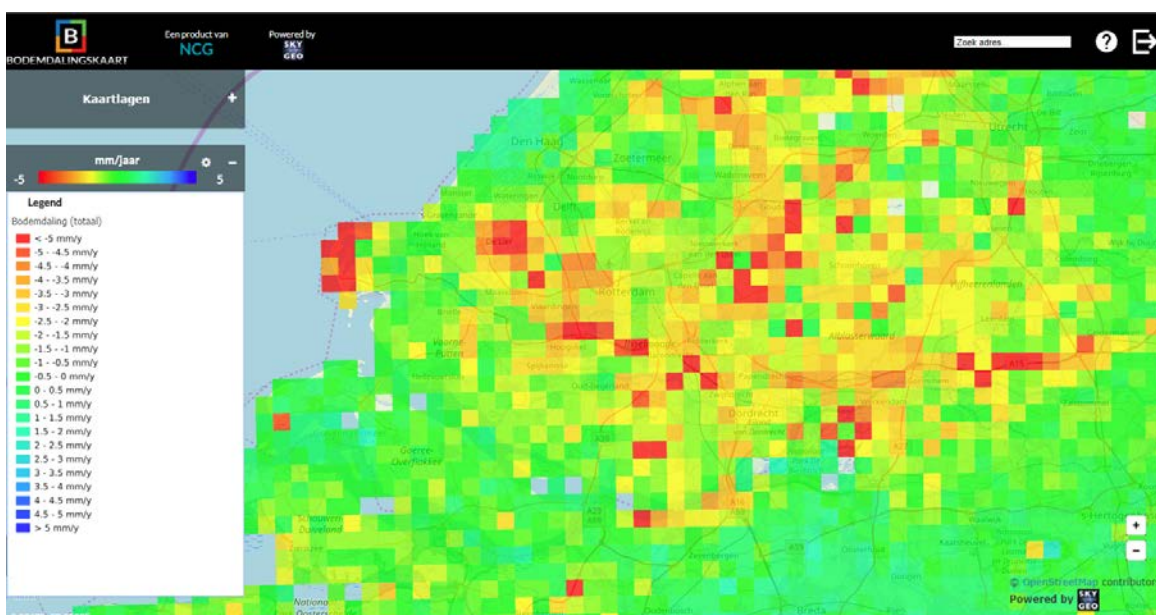
Auteur: Jarl Kind

In dit onderzoek is met name gekeken naar de consequenties van mogelijk hogere scenario's van zeespiegelstijging op de VKS DPRD en op de dijkversterkingsopgave. Een van de aanvullende vragen van DPRD is om in kwalitatieve termen de consequenties van bodemdaling en economische groei in beeld te brengen voor de dijkversterkingsopgave, en om deze te relateren aan de onzekerheid in de zeespiegelstijging.

Bodemdaling

De uiteindelijke dijkversterkingsopgave wordt bepaald door de relatieve waterstandstijging, die het totaal is van absolute waterstandstijging en bodemdaling. De absolute waterstandstijging bij de zeespiegelstijgingen van 1, 2 en 3 meter zijn beschreven in Bijlage A.

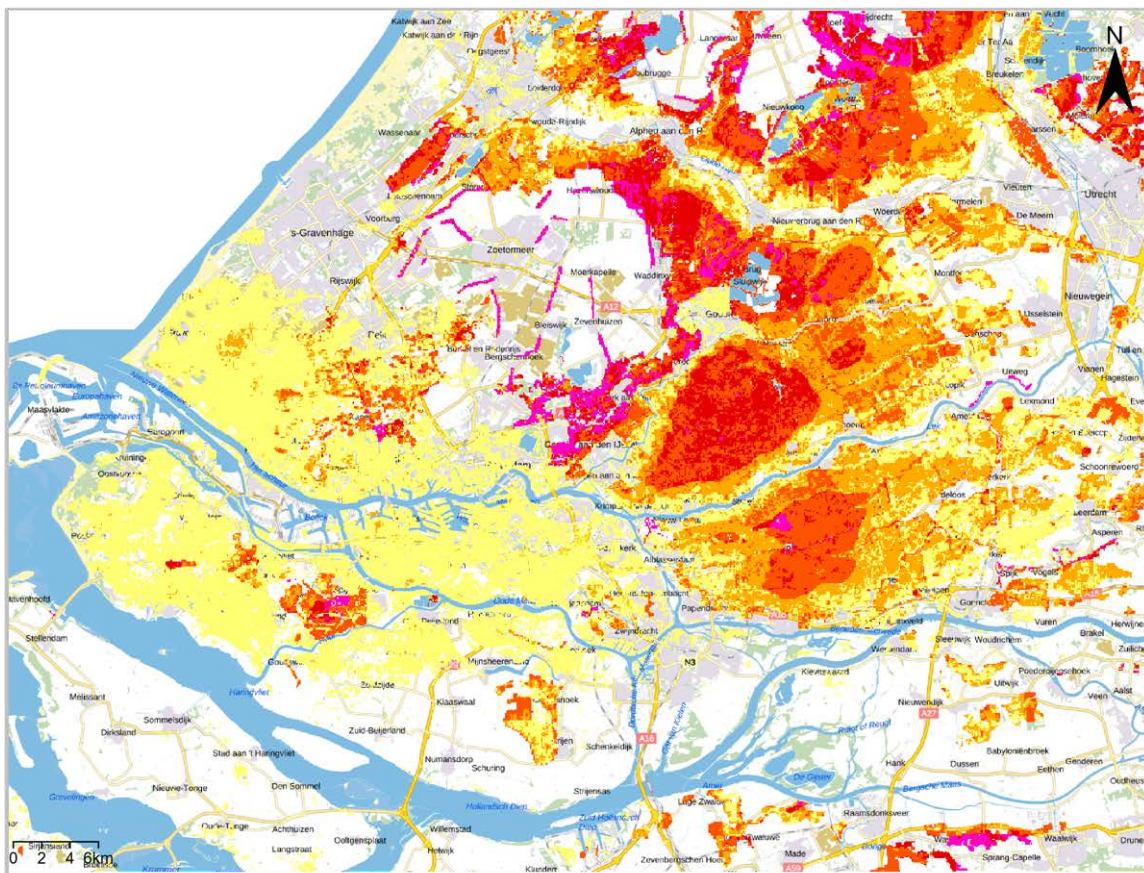
Figuur M.1 geeft een kaart met de actuele bodemdaling. In het DPRD gebied bedraagt deze ca 2 mm/jaar (groentinten), 2 tot 4 mm/jaar (geel en oranje tinten) en 5 mm/jaar (roodtinten). Als deze daling doorzet, dan betekent dat tussen 2000 en 2050 zo'n 10 cm (groentinten), 10 tot 20 cm (geel en oranje) en 25 cm (roodtinten) bodemdaling, en in 2100 20 cm (groentinten), 20 tot 40 cm (geel en oranjentinten) en 50 cm (roodtinten) bodemdaling.



Figuur M.1 Actuele bodemdaling (bron: bodemdalingskaart.nl)

Figuur M.2 geeft de verwachte bodemdaling tot tussen 2016 - 2050 bij het huidige klimaat en Figuur M.3 de extra bodemdaling tussen 2016 - 2050 als gevolg van klimaatverandering. Het verwachte beeld voor 2050 is consistent met het beeld dat ontstaat op basis van een extrapolatie van de actuele bodemdaling.

Globaal kan gesteld worden dat het effect van bodemdaling in 2100 vergelijkbaar is met de effecten van circa een halve meter zeespiegelstijging.



Bodemdaling 2016-2050

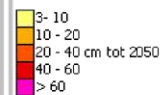
Bodemdaling ontstaat door krimp, oxidatie en samendrukken van (slappe) grond. Dit leidt tot volumeverlies. Bodemdaling kan schade veroorzaken aan infrastructuur, huizen en kunstwerken en ook het overstromingsrisico neemt toe.

Deze kaart laat zien welke delen van Nederland te maken kunnen hebben met bodemdaling door lage grondwaterstanden en gaswinning. Bij deze kaart is uitgegaan van gelijkblijvend klimaat.

Deze kaart is door Deltares, WENr en TNO ontwikkeld voor de Klimaateffectatlas. Belasting van zout en andere delfstoffenwinning en geologische daling - die in de orde grootte is van 0,1-0,4 mm per jaar - zijn niet meegenomen. Voor meer toelichting op deze kaartlaag: ga naar de Story Map via de banner rechtsonder op de Klimaateffectatlas.

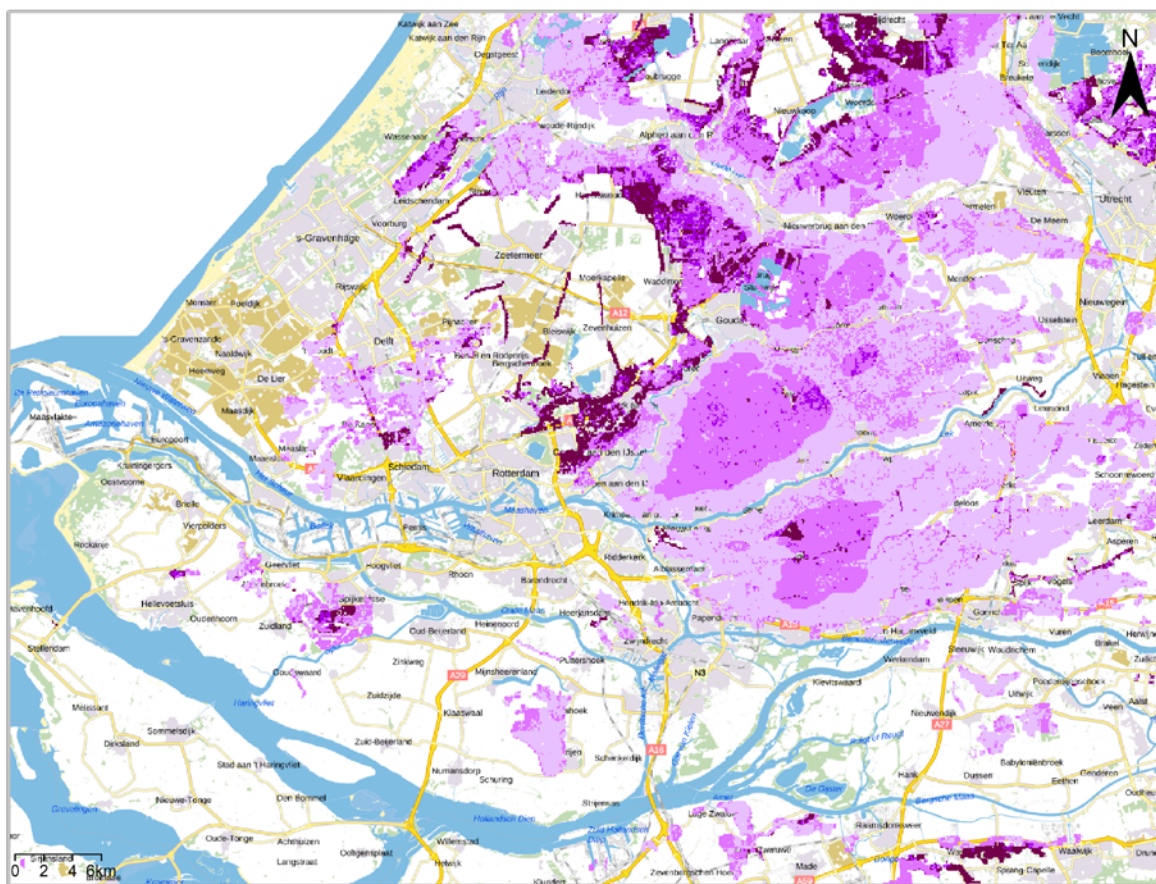
Klimaateffecten

Bodemdaling 2016-2050



<http://Klimaateffectatlas.wur.nl> printdatum: 24 January 2019


Figuur M.1 Verwachte bodemdaling tot 2050, op basis van huidig klimaat



Bodemdaling 2016-2050
 Bodemdaling ontstaat door krimp, oxidatie en samendrukken van (slappe) grond. Dit leidt tot volumeverlies. Bodemdaling kan schade veroorzaken aan infrastructuur, huizen en kunstwerken en ook het overstromingsrisico neemt toe.

Deze kaart laat de aanvullende bodemdaling door lage grondwaterstanden zien als gevolg van klimaatverandering. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Het WH-scenario kent van de vier KNMI'14-scenario's de laagste grondwaterstanden en daarmee de meeste bodemdaling. Door klimaatverandering dalen grondwaterstanden in veengebieden en neemt de snelheid van veenoxidatie toe, wat beiden leidt tot een toename van bodemdaling.

Deze kaart is door Deltares, WEnR en TNO ontwikkeld voor de Klimateffectatlas. Voor meer toelichting op deze kaartlaag: ga naar de Story Map via de banner rechtsonder op de Klimateffectatlas.

 Klimateffectatlas

<http://klimateffectatlas.wur.nl> printdatum: 24 January 2019

Klimateffecten
 Bodemdaling 2016-2050

0 - 5
5 - 10 cm aanvullende bodemdaling door klimaatverandering
10 - 15
> 15

Figuur M.2 Verwachte extra bodemdaling tot 2050 door klimaatverandering

Economische scenario's

De economisch optimale normen zijn gebaseerd op de verwachte schade in het jaar 2050, en de verwachting dat de normen rond die tijd ook opnieuw zullen worden herzien. Het uitgangspunt in de berekeningen is geweest dat in alle dijkringen/normtrajecten de jaarlijkse economische groei (BNP) vanaf 2011 1,9% per jaar bedraagt.

In de MKBA (Kind 2011) is uitgegaan van de Deltascenario's 2012 en is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een lagere economische groei van 0,7% per jaar en een hogere economische groei van 2,6% per jaar. In de Deltascenario's van 2015 wordt uitgegaan van een kleinere bandbreedte: een lage economische groei van 1% per jaar en een hoge van 2% per jaar.

Tabel M.1 geeft de relatieve verschillen weer in de bandbreedte van de economisch optimale overstromingskansen voor de verschillende Deltascenario's. De laatste kolom dient gelezen te worden als volgt: als in WV21 respectievelijk DPV een optimale overstromingskans van 1/1000 per jaar gevonden is, dan is de bandbreedte die hierbij hoort volgens de Deltascenario's 2012 1/630 tot 1/1306 per jaar. Volgens de Deltascenario's 2015 is dat 1/708 tot 1/1036 per jaar. De bovenband bij DPV ligt dicht bij de basisuitkomst van DPV, omdat in DPV gerekend is met 1,9% per jaar en de bovenband 2% bedraagt.

Tabel M.1 Economische optimale overstromingskansen bij verschillende economische groeiscenario's

	Jaarlijkse groei van het BNP	Factor Schade 2050/2011	Relatieve optimale overstromingskansen per jaar
Basis voor de economische optimale norm (WV21 en DPV)	1,9%	2,1	1/1000
Deltascenario's 2012:			
Laag	0,7%	1,3	1/630
Hoog	2,6%	2,7	1/1306
Deltascenario's 2015:			
Laag	1,0%	1,5	1/708
Hoog	2,0%	2,2	1/1039

Na afronding van de MKBA WV21 is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierin is de economische groei van de 2012 Deltascenario's ruimtelijk gedifferentieerd op basis van door PBL aangeleverde gegevens. Voor het DPRD gebied leverde dit geen andere inzichten op ten aanzien van de eerder afgeleide economische optimale overstromingskansen (Kind, 2012).

Wel dient bedacht te worden dat de totale onzekerheid rondom de optimale overstromingskansen aanzienlijk is, maar dat dit vooral samen hangt met andere factoren, zoals de raming van de overstromingsschade. In de MKBA WV21 is in de Monte Carloanalyse een factor 5 tot 10 bandbreedte berekend rondom de economische optimale overstromingskansen, op basis van een 80% respectievelijk 90% betrouwbaarheidsinterval. Dat wil zeggen dat met redelijke zekerheid (80%) de optimale overstromingskans niet meer dan een factor 2,5 naar beneden of naar boven zal afwijken van de berekende waarde, en met een nog grotere zekerheid (90%) niet meer dan een factor 5 naar beneden of boven zal afwijken.

De decimeringshoogtes in het DPRD gebied liggen globaal tussen 40 en 100 cm (Kind, 2011); de decimeringshoogte geeft het waterstandsverschil bij een kans toe- of afname met een factor 10.

De onzekerheid in de optimale kans als gevolg van onzekerheid in de economische groei is echter veel kleiner dan een factor 10 en derhalve is voor de dijkversterkingsopgave in het DPRD gebied de invloed hiervan ten opzichte van de gehanteerde zeespiegelstijgingsscenario's beperkt.

Conclusies

- Het effect van bodemdaling in 2100 is globaal vergelijkbaar met de effecten van circa een halve meter zeespiegelstijging.
- De invloed van onzekerheid in de economische groei op de dijkversterkingsopgave in het DPRD gebied is klein in vergelijking met de invloed van de onzekerheid in de zeespiegelstijging.

Literatuur

Kind, Jarl (2011), Maatschappelijke Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21^e eeuw.

Kind, Jarl (2012), Gevoeligheidsanalyse economisch optimale overstromingskansen voor de deltascenario's 2012.

N Expertworkshop 19 februari 2019

N.1 Opzet en deelnemers Workshop

Op dinsdag 19 februari is van 13.00 – 16.30 een workshop gehouden bij Deltares, Delft.

Het doel van deze workshop was

- 1 het presenteren van de concept resultaten van de inschatting van de consequenties van zeespiegelstijging op het gebied van het deltaprogramma Rijnmond Drechtsteden en de delta beslissing Rijn-Maasdelta;
- 2 het verzamelen van feed back en aanvullende informatie
- 3 het inventariseren van mogelijke aanpassingsopties

Namens het Deltaprogramma RD waren aanwezig:

- Arie de Gelder (HHSK)
- Corjan Gebraad (Gemeente Rotterdam)
- Elisabeth de Nooijer (WSR)
- Evert van der Meide (PZH)
- Gijs Bloemberg (HHD)
- Henri van der Meijden (WSHD)
- Ina Konterman (RWS WNZ)
- Joost de Nooijer (HBR)
- Marc Eisma (HBR)
- Pim Neefjes (RWS WNZ)
- Rene Piek (PZH)
- Rik Heinen (Gemeente Dordrecht)
- Robert Vos (RWS WV)
- Roeland van Woerkom (WSHD)
- Sacha de Goederen (RWS WNZ).

Deelnemers vanuit Deltares:

- Ad Jeuken
- Ferdinand Diermanse
- Frans Klijn
- Jarl Kind
- Karin de Bruijn
- Karolina Wojciechowska
- Raymond van der Meij.

Het restant van deze bijlage is een verslag van de inbreng door de aanwezigen van de workshop. Het beschrijft dus niet noodzakelijkerwijs de mening en inzichten van Deltares.

N.2 Terugmelding groep Natuur

Vragen rond kosteneffectiviteit en functionele levensduur **berging**:

- Hoelang is VZM nog effectief als bergingsgebied (bij welke zeespiegelstijging); verschil tussen met stormvloedkering en met sluisen?
- Hoe zit het met de frequentie van berging op VZM bij snellere zeespiegelstijging, c.q. wanneer is die berging niet meer effectief?
- Wanneer moeten er pompen bij (en hoe groot) om peil op VZM te kunnen handhaven?
- Hoe zit het met de *trade-off* tussen bergingsgebied vergroten (VZM-Grevelingen-Oosterschelde) en pompcapaciteit vergroten? Beide kosten geld
- Wordt het beeld over de (nu geringe) kosteneffectiviteit van berging Grevelingen anders bij grotere zeespiegelstijging? En omgekeerd: hoelang kan berging Grevelingen soelaas bieden, c.q. wanneer is die oplossing afgeschreven?
- Wordt kans op spijt een punt van aandacht als we nu (een klein) getij op de Grevelingen herstellen en een waterkrachtcentrale zouden bouwen; of is het omgekeerde waar (altijd goed, vast eerste stap)?
- Voor Oosterschelde sommen nodig met (oplopend) sluitpeil en sluitfrequentie (en beperkte lekverliezen?)

Opmerkingen en vragen rond **sedimentatie**:

- Klopt het beeld dat bij plan sluisen de erosie in Spui, Kil en Oude Maas geen probleem meer vormen?
- Is meer getijstroom toestaan door Haringvlietdam ook effectief om die erosie te stoppen/remmen? (schijnt door Deltares onderzocht te zijn voor WNF: wie?)
- Dat oeverlanden verdrinken wordt onderkend; heeft ook consequenties voor golfaanval op dijken (effect voorlanden vervalt).
- Hoelang zouden we met voorlanden en Tiengemeten en Biesbosch kunnen meegroeien bij verschillende getijslag (verschillende grootte opening HV-sluisen); knikpunt qua zeespiegelstijgingstempo?

Opmerkingen over **natuur**:

- Het ontbreken van vertegenwoordigers vanuit natuur(beschermings)organisaties bij deze bijeenkomst is een gemis; hoe (alsnog) betrekken?
- Duidelijk is dat plan sluisen conflicteert met het streven naar DeltaNatuur (geen brak- en zoetwatergetijdegebied meer).
- Vanuit de natuur zou op termijn een scheiding tussen noordelijk deltabekken (sluisen) en zuidrand (afsluitbaar) veel beter uitpakken dan Plan Sluisen.

Over **rivierverruiming**:

- Bij afsluitbaar-open blijven maatregelen bij Werkendam, Hardinxveld, Avelingen en Sleeuwijk waarschijnlijk zinvol tot 1 m zeespiegelstijging, maar
- Het is aan te bevelen alle rivierverruimingsmaatregelen niet alleen op effectiviteit te beoordelen bij huidig zeepeil, maar ook bij hoger zeepeil (scenario's).
- Bij plan Sluisen is de effectiviteit van rivierverruimingsmaatregelen afhankelijk van het streefpeil/te handhaven peil op HV-HD.

Over de afvoerverdeling:

- De punten van aandacht zoals die in de presentatie zijn genoemd, worden herkend. Nu even wachten tot het op papier komt.
- Afweging is op een groter schaalniveau dan de RM-delta (of beter: de RM-delta is groter dan Rijnmondgebied, en omvat ook IJssel en IJsselmeer). Hoger tillen binnen DP?

Over aanpassen VKS en/of DB-RMM:

- Er lijkt geen aanleiding de strategie voor 2050 aan te passen (is ook adaptief)
- Aanvulling met een beleid inzake RO en bouweisen is wel gewenst en ook mogelijk; lijkt niet urgent, want de 250.000 nieuwe woningen zijn bijna allemaal inbreidingen.
- Principiële keuzes: risico-neutraal bouwen? Nog erg weinig aandacht voor, behalve in Dordt op de Staart (voorbeeld).

Algemeen

- Binnen 20 jaar weer een volledige beleidsanalyse doen, als meer bekend is over de zeespiegelstijging die kan worden verwacht (tempo).
- Al eerder verkennen welke andere opties er nog zijn behalve de 2 nu genoemde (afsluitbaar en plan Sluizen), en vooral wat die impliceren in termen van 'open te houden opties' (geen *lock-in* of *lock-out*) en/of noodzakelijke reserveringen of anticiperend ruimtelijk beleid (haven naar buiten?). Denk aan Vijf eilanden-plan (noordelijk deltabekken achter sluizen/ zuidrand open voor afvoer onder vrij verval = ook scheiding functies), afvoerverdeling bij Pannerden veranderen (meer IJssel, deel extra Waalafvoer via (Bergse) Maas), of Lek door Betuwe of Vijfheerenlanden-Alblasserwaard.
- Plan B?

N.3 Groep Waterveiligheid**Aanpassing VKS?**

- maatwerk buitendijks gaat misschien niet meer boven 1m
- adaptief dijken bouwen, uitbreidbaarheid en ruimtereservering
- keuze MLK is zo belangrijk dat de huidige VKS misschien beter herschreven kan worden in twee VKS-opties

Wat zouden de eerstvolgende acties moeten zijn / onderzoeksvragen?

- Algemeen: Snelheid van zeespiegelstijging is wellicht belangrijker dan mate van stijging. Dit aspect zou wellicht nog meer aandacht verdienen
- Afwegingskader sluitpeil (verdrinken buitendijks vs te vaak sluiten kering) zoek naar het economisch optimum
- Buitendijks nauwkeuriger overstromingsdieptes bepalen
- Overige havengebieden buitendijks
- Extra afvoer naar de IJssel, wat betekent dat voor DPRD (en de rest van Nederland)
- Combinatie van frequentie en diepte verandert door zeespiegelstijging, dus ook normen. Wat betekent dit voor de normen en voor de VKS?
- Uitgiftepeilen buitendijks in relatie tot "geen spijt"?
- Waterstand aan de buitenzijde van de sluizen bepalen (bij plan Sluizen)

- MHWs (frequentielijnen) in geval van plan Sluizen: probabilistische uitrekenen in plaats van individuele events

N.4 Groep Haven en scheepvaart

Oplossingsrichtingen

- Groter kijken, bijvoorbeeld zeewaartse uitbreiding van de haven
- Meer schade accepteren, normen naar beneden bijstellen en meerlaagsveiligheid
- Andere locaties van de MLK, MLK dubbel uitvoeren
- Andere locaties van de sluizen (met maximale bereikbaarheid en bevaarbaarheid)
- Ander type sluizen met kortere schuttijden?
- Rijnafvoer, meer via IJsselmeer
- Rek opzoeken in het huidige systeem (sluitpeil en sluitfrequentie)
- Waterberging

Vragen / aanbevelingen

- Technische haalbaarheid van sluizen / MLK bij 3 meter zeespiegelstijging
- Houdbaarheid adaptatiestrategieën van de haven bij hoge zss
- Kennisborging scheepvaartschades (scenario's voor aantal zeeschepen en vertaling naar schade)

O Zoetwatervoorziening

Deze gegevens zijn gebaseerd op Deltares (2018), mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Er is geen nieuw onderzoek uitgevoerd.

Inleiding

Zeespiegelstijging beïnvloedt de zoetwatervoorziening in (o.a.) de westelijke provincies van Nederland. Het belangrijkste effect is de verdeling tussen zoet en zout oppervlaktewater in dit gebied. Zeewater stroomt door het deels open estuarium het land binnen, maar wordt door zoet rivierwater tegengehouden. Een stijging van de zeespiegel heeft tot gevolg dat het zoute water verder landinwaarts komt. Naast het indringen van zout zeewater via het open water, leidt zeespiegelstijging ook tot een toename van zoute kwel - als eerste in een smalle strook langs de kust en het estuarium en op zeer lange termijn ook in de diepe polder - en daarmee tot een grotere zoetwatervraag voor doorspoeling van het polderwatersysteem.

MLK+

Bij een zeespiegelstijging van 1 m zal de monding van de Hollandse IJssel naar schatting bijna jaarlijks gedurende 1 tot 3 maanden te hoge zoutconcentraties kennen. De Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) verandert daarmee van een noodmaatregel in een structurele maatregel en mogelijk zijn permanente aanvoerroutes vanuit ARK en Lek noodzakelijk. Bij een zeespiegelstijging van 2 m voldoet de KWA niet meer en zijn permanente aanvoeren vanuit ARK en Lek noodzakelijk. Over 3 meter zeespiegelstijging zijn geen uitspraken gedaan in Haasnoot et al (2018).

Bij een zeespiegelstijging van 1 m of meer komt de zoetwateraanvoer naar het Brielsemeer onder druk te staan. Het Spui ter hoogte van Bernisse zal vaker en langduriger verzilten ten gevolge van nalevering volgend op achterwaartse verzilting. Er zal een alternatief voor de aanvoer naar het Brielsemeersysteem nodig zijn als blijkt dat Spijkenisse onder deze omstandigheden mogelijk onvoldoende alternatief biedt.

Plan Sluizen

Met Plan Sluizen stroomt het zoute zeewater niet meer door het open estuarium het land binnen. Een robuuste zoetwatervoorziening van West-Nederland is daarmee een positief effect van het plan Sluizen, (Rijkswaterstaat 2015)

In de afweging tussen MLK+ en plan Sluizen, zoals voorzien in het deltaprogramma rond het jaar 2040, dient dit effect meegenomen te worden. Bij de zoetwatermaatregelen die genomen worden voordat er een besluit is genomen over mogelijke vervanging van de Maeslantkering is het goed om te onderzoeken of deze maatregelen no-regret acties zijn als de Maeslantkering eventueel met een sluis vervangen wordt.

Referentie

Deltares, 2018: Een verkenning van mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Rapport Deltares in opdracht van de staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat WVL, juli 2018.