

Afsluitbare waterkeringen in de Rijnmond

Beantwoording van vragen Deltadeelprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Auteurs: Ton Botterhuis (HKV [LIJN IN WATER](#))
Ties Rijcken (TU Delft)
Matthijs Kok (HKV [LIJN IN WATER](#))
Ad van der Toorn (TU Delft)

Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl) binnen Thema 1 'Climate-proof flood risk management' en werd medegefinancierd door het Deltaprogramma, deelprogramma Rijnmond – Drechtsteden, en Rotterdam Climate Proof.

KvK rapportnummer: 50/2012

Projectnummer: PR2002

Contactinformatie

HKV [LIJN IN WATER](#) B.V.

dr. ir. M. Kok

Postbus 2120

8203 AC LELYSTD

Tel: 0320-294201

m.kok@hkv.nl

Inhoud

Lijst van tabellen.....	iii
Lijst van figuren	vii
1 Inleiding	1-1
2 Effect van een partieel functionerende Maeslantkering.....	2-1
2.1 Introductie en aanpak	2-1
2.2 Effect partieel functioneren	2-6
2.3 Conclusies	2-10
3 Faalkans systematiek.....	3-1
3.1 Introductie en aanpak	3-1
3.2 Bevindingen.....	3-1
4 Optimaliseren van het sluitpeil	4-1
4.1 Introductie en aanpak	4-1
4.1.1 Samenvatting vooronderzoek Deltares	4-1
4.1.2 Samenvatting vooronderzoek Wouter Knoben	4-3
4.1.3 Samenvatting vooronderzoek HKV.....	4-4
4.2 Effect aanpassen van het sluitpeil	4-5
4.2.1 Introductie	4-5
4.2.2 Sluitfrequentie	4-5
4.2.3 Waterstanden.....	4-7
4.3 Conclusies	4-14
5 Suggesties voor een ander type kering	5-1
5.1 Introductie en aanpak	5-1
5.2 Overzicht van bestaande typen	5-2
6 Ontwerp van een tweede linie achter de Europoortkering	6-1
6.1 Introductie en aanpak	6-1
6.1.1 Probleemstelling.....	6-1
6.1.2 Locatie tweede linie keringen.....	6-1
6.1.3 Tussen dichte dammen en open zeearmen.....	6-2
6.1.4 Betrouwbaarheid keringen	6-4
6.1.5 Leeswijzer	6-4
6.2 Varianten voor een tweede linie	6-5
6.2.1 Varianten	6-5
6.2.2 Hydraulische berekeningen hoofdvarianten	6-9
6.2.3 Multifunctionaliteit.....	6-10
6.2.4 Relatie met zoetwatervoorziening.....	6-13
6.2.5 Relatie met scheepvaart	6-15
6.3 Conclusies en aanbevelingen.....	6-16
6.3.1 Voorkeursvarianten.....	6-16
6.3.2 Aanbevelingen.....	6-18

7	Referenties.....	7-1
Bijlage A	Verificatie berekening faalmodi Maeslantkering.....	A-1
Bijlage B	Resultaat berekening faalmodi Maeslantkering.....	B-1
Bijlage C	Resultaat berekening aanpassing sluitpeil	C-1

Lijst van tabellen

Tabel 2-1:	Faalkansen per keer sluiten voor de verschillende toestanden van de gedeeltelijk falende Maeslantkering.	2-6
Tabel 2-2:	Lokale waterstand bij Rotterdam als gevolg van het gedeeltelijk falen van de Maeslantkering (bij randvoorwaarden $Q_{lobith} = 13000 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_{zee} = 4,1 \text{ m+NAP}$ en windsnelheid = $35,96 \text{ m/s}$).....	2-7
Tabel 2-3:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Rotterdam (in zwart toetspeilen in m+NAP en in rood verschil met referentie in m).....	2-9
Tabel 2-4:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Dordrecht (in zwart toetspeilen in m+NAP en in rood verschil met referentie in m).	2-9
Tabel 4-1:	De toetspeilen (of de maatgevende waterstanden van HR2006) voor de drie steden.....	4-2
Tabel 4-2:	De effecten van de keringconfiguraties op de maatgevende waterstanden bij het zichtjaar 2100. DH: toename in de maatgevende waterstand tussen het zichtjaar 2100 en HR2006. Faalkans: faalkans van de Maeslantkering.	4-2
Tabel 4-3:	Het effect van de voorspelfout van de Europoortkering op de maatgevende waterstand bij huidig beheer (sluitpeil RD 3.0m; 2.9m).....	4-2
Tabel 4-4:	Het effect van de sluitstrategie van de Europoortkering op de maatgevende waterstand bij huidig beheer (sluitpeil Rotterdam 3,0m+NAP; Dordrecht 2,9m+NAP).....	4-4
Tabel 4-5:	Het effect van de sluitstrategie van de Europoortkering op de maatgevende waterstand bij huidig beheer (sluitpeil Rotterdam 3,0m+NAP; Dordrecht 2,9m+NAP).....	4-4
Tabel 4-6:	Overzicht gebruikte klimaatscenarios (bron: Slootjes et al., 2011).	4-5
Tabel 4-7:	Effect van aanpassing van het sluitpeil (verandering voor Rotterdam en Dordrecht gelijk) op de sluitfrequentie van de Europoortkering voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).	4-6
Tabel 4-8:	Effect van gewenste sluitfrequentie van de Europoortkering op benodigde aanpassing van het sluitpeil (verandering voor Rotterdam en Dordrecht gelijk) voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).	4-7
Tabel 4-9:	Effect van de klimaatverandering op de waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht voor verschillende klimaatscenarios: verschil in waterstand tussen WT2011 en de verschillende scenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	4-7
Tabel 4-10:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenarios: verschil in waterstand tussen geen aanpassing van het sluitpeil en aanpassing van het sluitpeil (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie, geen verschil is weergegeven met '-').	4-8
Tabel 4-11:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenarios: verschil in waterstand tussen geen aanpassing van het sluitpeil en aanpassing van het sluitpeil (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie, geen verschil is weergegeven met '-').	4-9
Tabel 4-12:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de MHW bij Rotterdam voor verschillende faalkansen EPK, voorspelfouten Maasmond waterstand en klimaatscenarios.	4-12
Tabel 4-13:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de MHW bij Hellevoetsluis voor verschillende faalkansen EPK, voorspelfouten Maasmond waterstand en klimaatscenarios.	4-13
Tabel 4-14:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de MHW bij Hellevoetsluis voor verschillende faalkansen EPK, voorspelfouten Maasmond waterstand en klimaatscenarios.	4-13
Tabel 5-1:	Overzicht van diverse keringen met verschillende sluitingsmechanismen.....	5-3
Tabel 6-1a:	Overzicht van type beweegbare keringen.	6-3
Tabel 6-2b:	Overzicht van type beweegbare keringen.	6-4
Tabel 6-3:	Effecten van de varianten beschouwd in deze studie. Klimaatscenario: zeespiegelstijging 85 cm; Max. afvoer Lobith $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Rood betekent: aparte run gedaan, zwart: de getallen zijn samengesteld uit andere runs.	6-8

Tabel 6-4:	Locaties voor beweegbare keringen getoetst aan kansen voor multifunctionaliteit (groen = grote kans, geel = redelijke kans).	6-11
Tabel B-1:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Maassluis (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-2
Tabel B-2:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Rotterdam (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-2
Tabel B-3:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Spijkenisse (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-2
Tabel B-4:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Goidschalxoord (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-2
Tabel B-5:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Dordrecht (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-3
Tabel B-6:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Hellevloetsluis (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-3
Tabel B-7:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Moerdijk (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-3
Tabel B-8:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Werkendam (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).	B-3
Tabel C-1:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-1
Tabel C-2:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-2
Tabel C-3:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-3
Tabel C-4:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-4
Tabel C-5:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-5
Tabel C-6:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-6
Tabel C-7:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-7
Tabel C-8:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-8
Tabel C-9:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevloetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-9
Tabel C-10:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevloetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-10
Tabel C-11:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevloetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).	C-11

Tabel C-12:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevoetsluis voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-12
Tabel C-13:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-13
Tabel C-14:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-14
Tabel C-15:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-15
Tabel C-16:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-16
Tabel C-17:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-17
Tabel C-18:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-18
Tabel C-19:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-19
Tabel C-20:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-20
Tabel C-21:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-21
Tabel C-22:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-22
Tabel C-23:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-23
Tabel C-24:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).....	C-24

Lijst van figuren

Figuur 2-1:	Boomdiagram waarin de Maeslant- en de Hartelkering bij falen volledig afhankelijk worden verondersteld en waarbij twee toestanden mogelijk zijn, nl. geheel gesloten en geheel geopend.	2-1
Figuur 2-2:	Boomdiagram waarin de Maeslant- en de Hartelkering bij falen volledig onafhankelijk worden verondersteld en waarbij vier toestanden mogelijk zijn, nl. beide keringen geheel gesloten $D_W D_H$, Maeslantkering open en Hartelkering gesloten $O_W D_H$, Maeslantkering gesloten en Hartelkering open $D_W O_H$ en beide geheel geopend $O_W O_H$	2-3
Figuur 2-3:	Aangepaste boomdiagram waarin de Maeslantkering gedeeltelijk faalt, waarbij vier toestanden mogelijk zijn, nl. beide keringen geheel gesloten $D_W D_H$, Maeslantkering uitgevaren (maar niet afgezonken) en Hartelkering gesloten $O_W D_H$, Maeslantkering niet uitgevaren (maar wel afgezonken) en Hartelkering open $D_W O_H$ en beide geheel geopend $O_W O_H$	2-4
Figuur 2-4:	Vergelijking tussen de resultaten berekend door de Goederen (2006) en de nieuwe berekening met het 'Deltamodel vs0.1' (hierbij is de probabilistische berekening van de Goederen toegepast).....	2-6
Figuur 2-5:	Weergave van het ruimtelijke effect van de verkleining van de faalkans van de Europoortkering op de maatgevende waterstanden (bron: Slootjes et al., 2011).....	2-8
Figuur 2-6:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Rotterdam en Dordrecht (verschil met referentie als functie van kansbijdrage en faalmodus doorstroomopening).	2-9
Figuur 4-1:	Weergave van het alternatief Afsluitbaar zee- en rivierzijde – variant Nieuwe Lek (bron: Slootjes et. al, 2011).	4-3
Figuur 4-2:	Effect van aanpassing van het sluitpeil (verandering voor Rotterdam en Dordrecht gelijk) op de sluitfrequentie van de Europoortkering voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).	4-6
Figuur 4-3:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).	4-10
Figuur 4-4:	Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenarios (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).	4-11
Figuur 6-1:	Schematische weergave van de locatie van de tweede linie keringen.	6-2
Figuur 6-2:	Ligging van de locaties waarvoor effecten zijn bepaald.	6-9
Figuur 6-3:	De locaties voor mogelijke beweegbare keringen uit Tabel 6-1, kansen voor combinaties met oeververbindingen (en reeds bestaande oeververbindingen)	6-12
Figuur 6-4:	Mogelijkheid om een tunnel te combineren met een hoogwaterkering. De tunnel is dan tevens de drempel voor de beweegbare onderdelen van de kering. Ook kan de tunnel wellicht toegang bieden tot onderhoud aan de kering. Procedures voor beide werken kunnen samen vallen en daarmee de bouw versnellen of op kosten besparen.	6-12
Figuur 6-5:	Boven de jaren van sluiting van de inlaatpunten (oranje-rood), onder twee mogelijke locaties voor een zoet-zout scheiding (de rode ellipsen).	6-14
Figuur 6-6:	Overzicht van de scheepvaartbewegingen in het Rijnmondgebied.....	6-15
Figuur 6-7:	Overwegingen voor de locatie van de tweede linie.....	6-16
Figuur A-1:	Vergelijking tussen de resultaten berekend door De Goederen (2006) en de nieuwe berekening met het 'Deltamodel vs0.1' (hierbij is de probabilistische berekening van De Goederen toegepast).	A-1
Figuur B-2:	Effect partieel falen op het toetspeil bij Maassluis, Spijkenisse, Goidschalxoord, Hellevloetsluis, Moerdijk en Werkendam (verschil met referentie als functie van kansbijdrage en faalmodus doorstroomopening).	B-1

1 Inleiding

In het onderzoeksprogramma van Kennis voor Klimaat (trance 2, thema 1 met als titel: *Climate-proof Flood Risk Management*, uitgevoerd door een consortium onder leiding van Deltares) is in project 1.1 *flexible flood barrier systems* aangegeven dat er onderzoek wordt uitgevoerd naar de faalkans van de flexibele keringen, zoals bijvoorbeeld de Maeslantkering. Deze kering in de Nieuwe Waterweg is aangelegd om het dichtbevolkte gebied van Zuid-Holland Zuid te beschermen. Een uitgebreide modelstudie (Slootjes et al., 2011) is uitgevoerd naar de effecten van klimaatverandering op de maatgevende hoogwaterstanden in dit gebied door het Delta-deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden (DP-RD). Daarom is er contact gezocht met het DP-RD om afstemming te krijgen tussen beide onderzoeken. Op basis van dit contact zijn er 5 onderzoeksvragen opgesteld.

Hieronder staan allereerst de onderzoeksvragen die door het Delta-deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden zijn gesteld:

1. *Leidt het meenemen van het partieel functioneren van de Maeslantkering tot significant andere maatgevende hoogwaterstanden. Achtergrond is dat de Maeslantkering in uitgevaren toestand (maar nog niet afgezonken) de waterstand achter de kering sterk verlaagd. Hoe kan de kans op niet-uitvaren verder verkleind worden?*
2. *Een faalkansanalyse is voor het bepalen van de maatgevende hoogwaterstanden anders dan voor Beheer en Onderhoud. De cruciale vraag is, moeten we (en indien ja, waarom) voor de toetsing van de Maeslantkering voor de Waterwet een andere systematiek toepassen dan voor het Beheer en Onderhoud.*
3. *Optimaliseren van de sluitstrategie (met name sluitpeil) voor stormomstandigheden bij zeespiegelstijging. De vraag is of het sluitpeil bij verdergaande klimaatverandering van invloed is op de maatgevende hoogwaterstanden. Onderzocht moet worden of het mogelijk is om de sluitfrequentie slechts gering te laten toenemen en de hoogwaterstanden gelijk te houden met een andere sluitstrategie.*
4. *Hoe kan een fundamenteel betere faalkans van één waterkering worden verkregen? Deze vraag is algemeen, en kan worden beantwoord door verschillende categorieën van afsluitbare waterkeringen te maken. Ook kan dan van deze waterkeringen een indicatie verkregen worden van de faalkans.*
5. *Met welk ontwerp van twee stormvloedkeringen (waarvan één de Maeslantkering) kan een fundamenteel betere bescherming voor de Rijnmond-Drechtsteden worden verkregen? Van belang is ook op welke locatie deze komt te liggen.*

In het eerste hoofdstuk van dit rapport wordt het reeds uitgevoerde onderzoek van De Goederen (De Goederen, 2006) beschreven voor het beantwoorden van de eerste vraag. Daarna volgt een beknopte opsomming van werkzaamheden om het effect van een gedeeltelijk falende Maeslantkering op een andere wijze probabilistisch te bepalen. Belangrijk is te beseffen dat vraag 1 slechts deels wordt beantwoord in deze rapportage. We hebben niet onderzocht hoe de kans op falen van de gehele of delen van de kering daadwerkelijk kan worden verkleind.

Vraag 2 zal worden beantwoord door het interviewen van enkele experts. In hoofdstuk 3 staat een korte beschrijving van de werkzaamheden die zijn verricht voor de beantwoording van deze vraag. In de beantwoording die daarop volgt is gewerkt naar een advies over het bepalen van

de faalkans van de Maeslantkering voor de berekening van maatgevende hoogwaterstanden en het bepalen van de faalkans voor Beheer en Onderhoud.

In hoofdstuk 3 worden de reeds uitgevoerde onderzoeken van Deltares (Gao et al. 2010), Wouter Knoben (Knoben, 2011) en HKV kort besproken. Daarna volgt een analyse naar de optimalisatie van het sluitpeil.

Vraag 4 is algemeen en kan worden beantwoord door verschillende categorieën van afsluitbare waterkeringen te maken. In het kader van Kennis voor Klimaat is een rapportage opgesteld naar multifunctionele beweegbare keringen (Dijk en Van der Ziel, 2010). Op basis van deze rapportage wordt een opsomming gemaakt van mogelijke keringen. Daarna volgt een kwalitatieve beschrijving van de werking van de keringen en hun effect op de maatgevende hoogwaterstanden.

Vraag 5 wordt als volgt opgevat: Als er een *tweede verdedigingslinie* achter de Europoortkering zou komen, op welke wijze hangen bij een conceptontwerp daarvan de volgende ontwerpaspecten samen: waterbouwkundig keerprincipe, locatie(s), sluitregime(s) en multifunctionaliteit in hun invloed op waterstanden, stedenbouw, scheepvaart, en andere doelen. In hoofdstuk 6 wordt de aanpak en de beantwoording van deze vraag besproken.

2 Effect van een partieel functionerende Maeslantkering

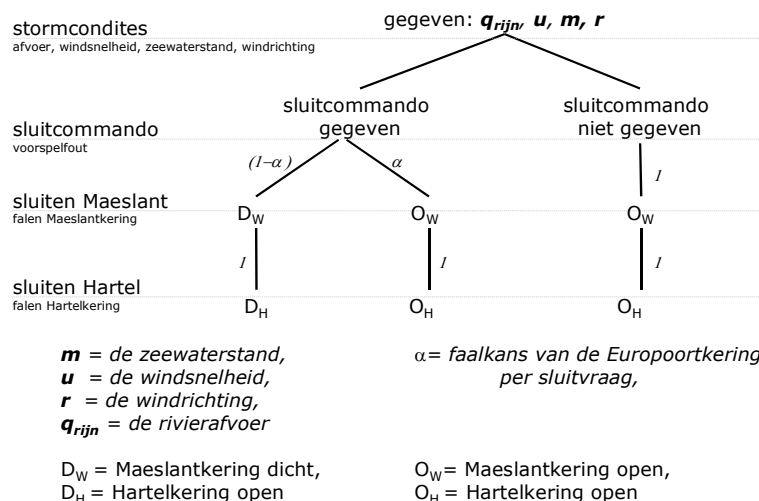
2.1 Introductie en aanpak

Binnen het project Kennis voor Klimaat (tranch 2, thema 1) is als eerste de volgende vraag geformuleerd:

Leidt het meenemen van het partieel functioneren van de Maeslantkering tot significant andere maatgevende hoogwaterstanden. Achtergrond is dat de Maeslantkering in uitgevaren toestand (maar nog niet afgezonken) de waterstand achter de kering sterk verlaagd (De Goederen, 2006). Hoe kan de kans op niet-uitvaren verder verkleind worden?

Deze vraag wordt in dit hoofdstuk deels beantwoord. We hebben niet onderzocht hoe de kans op falen van de gehele (of delen van de) kering daadwerkelijk kan worden verkleind. Wij bepalen, mede aan de hand van het werk van De Goederen (De Goederen, 2006), het effect van een gedeeltelijk falende Maeslantkering. Hiervoor gebruiken we een andere probabilistisch methode dan door De Goederen is gebruikt. In de huidige beoordelingssystematiek wordt Hydra-B gebruikt om de maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) te berekenen. Voor de berekening van de hydraulische randvoorwaarden (HR) heeft de hele Europoortkering (EPK) een faalkans van 1/100 per sluitvraag. Falen betekent in de huidige beoordelingssystematiek dat de EPK (Maeslant- en Hartelkering) geheel open blijft.

In Figuur 2-1 wordt met behulp van een boomdiagram het falen van de EPK in huidige beoordelingssystematiek uitgelegd. Bij normaal gebruik van Hydra-B kunnen twee toestanden van de EPK worden opgegeven, namelijk een gesloten toestand $D_W D_H$ en een open toestand $O_W O_H$ (O = open en D = dicht).



Figuur 2-1: Boomdiagram waarin de Maeslant- en de Hartelkering bij falen volledig afhankelijk worden verondersteld en waarbij twee toestanden mogelijk zijn, nl. geheel gesloten en geheel geopend.

Hydra-B bevat ook een kansverdeling voor de fout in de waterstandsvoorspelling. In Figuur 2-1 is dit weergegeven met de mogelijkheid dat het *sluitcommando* niet wordt gegeven. Er zijn twee redenen voor het *niet geven* van een sluitcommando: de verwachte waterstand is beneden sluitpeil of een foutieve voorspelling wordt afgegeven. Gevolg van het niet geven van een sluitcommando is dat beide keringen open blijven. In de figuur is ook te zien dat na het geven van een sluitcommando beide keringen toch open kunnen blijven staan. Dit is het gevolg van het falen van de kering. Wanneer het sluitcommando gegeven is, is de kans op een open kering gelijk aan de faalkans. Indien het falen van de Hartelkering volledig afhankelijk is verondersteld van het falen van de Maeslantkering, dan is de kans gelijk aan 1 op het falen van de Hartelkering bij een falende Maeslantkering (zie figuur). In het onderstaande kader, staat de berekening van de kans op een gesloten $D_W D_H$ en een open toestand $O_W O_H$, bij een faalkans van 1 keer per 100 sluitvragen.

De kans op falen van de EPK $\alpha = 1$ keer per 100 sluitvragen, dus de kans op toestand $O_W O_H$

$Pr(OO \text{ geg. } q_{rijn}, u, m, r)$

$$= \alpha * Pr(\text{sluitcommando geg. } q_{rijn}, u, m, r) + Pr(\text{niet sluitcommando geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

$$= 1/100 * Pr(\text{sluitcommando geg. } q_{rijn}, u, m, r) + Pr(\text{niet sluitcommando geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

en de kans op toestand $D_W D_H$

$Pr(DD \text{ geg. } q_{rijn}, u, m, r)$

$$= (1-\alpha) * Pr(\text{sluitcommando geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

$$= (1-1/100) * Pr(\text{sluitcommando geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

Hydra-B biedt voor geavanceerde gebruikers de mogelijkheid om het onafhankelijk falen van de Maeslantkering en Hartelkering mee te nemen in de probabilistische berekening (zie Figuur 2-2). Er worden dan vier toestanden van de EPK opgegeven, nl.

- een gesloten toestand van beide keringen $D_W D_H$,
- een gesloten toestand van de Maeslantkering en een open toestand van de Hartelkering $O_W D_H$,
- een open toestand van de Maeslantkering en een gesloten toestand van de Hartelkering $O_W D_H$ en
- een open toestand van de Maeslantkering en een open toestand van de Hartelkering $O_W O_H$.

In het kader hieronder is de berekening van de kans op deze vier toestanden nog eens opgeschreven.

De kans op falen van de MLK = α_W en de kans op falen van de HK = α_H . Dus de kans op toestanden $O_W O_H$, $D_W O_H$, $O_W D_H$ en $D_W D_H$

$Pr(OO \text{ geg. } q_{rijn}, u, m, r)$

$$= \alpha_W * \alpha_H * Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r) + Pr(\text{niet sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

$Pr(DO \text{ geg. } q_{rijn}, u, m, r)$

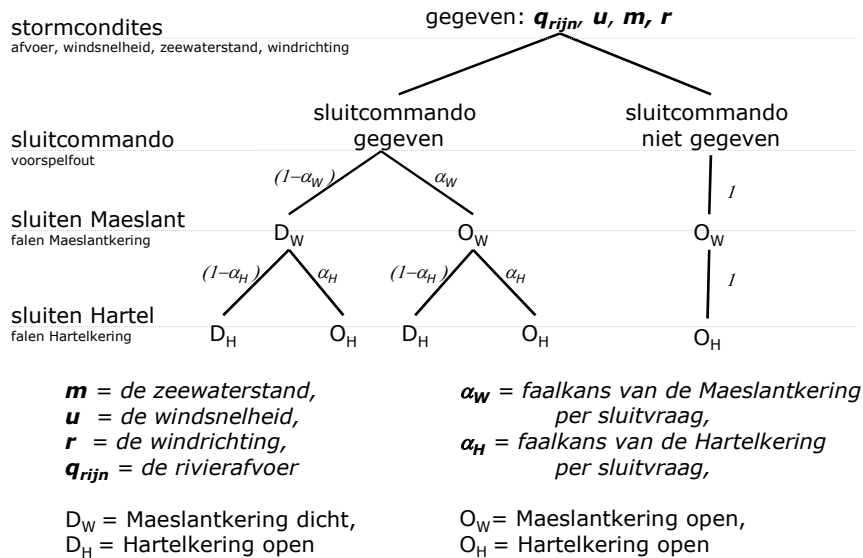
$$= (1-\alpha_W) * \alpha_H * Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

$Pr(OD \text{ geg. } q_{rijn}, u, m, r)$

$$= \alpha_W * (1-\alpha_H) * Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$

$Pr(DD \text{ geg. } q_{rijn}, u, m, r)$

$$= (1-\alpha_W) * (1-\alpha_H) * Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r)$$



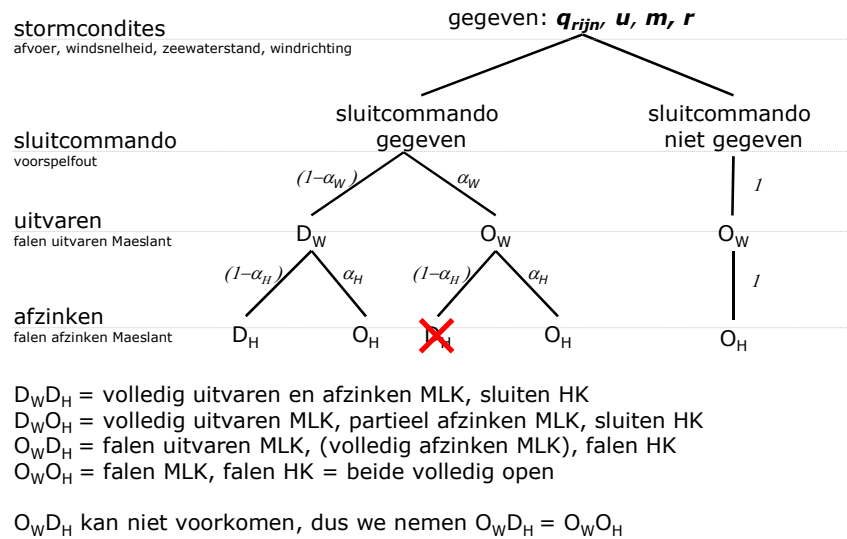
Figuur 2-2: Boomdiagram waarin de Maeslant- en de Hartelkering bij falen volledig onafhankelijk worden verondersteld en waarbij vier toestanden mogelijk zijn, nl. beide keringen geheel gesloten $D_W D_H$, Maeslantkering open en Hartelkering gesloten $O_W D_H$, Maeslantkering gesloten en Hartelkering open $D_W O_H$ en beide geheel geopend $O_W O_H$.

De toestanden van de EPK in Figuur 2-2 kunnen ook anders worden gedefinieerd, zolang de onderliggende gegevens van de waterstandberekeningen maar overeenkomen met de toestand van de keringen. Ze zijn te vervangen door toestanden waarbij het gedeeltelijk functioneren van de Maeslantkering wordt meegenomen met zowel een gesloten toestand, een gedeeltelijk gesloten toestand en een geheel open toestand, nl.

- een gesloten toestand van beide keringen,
- een uitgevaren Maeslantkering maar niet afgezonden Maeslantkering en een gesloten toestand van de Hartelkering,
- een niet uitgevaren Maeslantkering en een open toestand van de Hartelkering en
- een open toestand van de Maeslantkering en een open toestand van de Hartelkering.

In Figuur 2-3 is het aangepaste boomdiagram weergegeven, waarin het gedeeltelijk functioneren van de Maeslantkering is opgenomen. Fysisch geredeneerd is de derde toestand niet mogelijk (zie kruis in de figuur). De kering kan niet afzinken als hij niet uitgevaren is. Het onderliggende wiskundige model dwingt ons om deze toestand wel op te nemen in de berekening. De onderliggende waterstandgegevens zijn gelijk aan de gegevens waarbij zowel de Maeslantkering als de Hartelkering geheel geopend zijn (de vierde toestand dus).

De gezamenlijke kans op de toestanden waarin de kering geheel of gedeeltelijk faalt is gelijk aan 1/100 per sluitingsvraag. De kans op de tweede toestand is gelijk aan de kans op wel uitvaren maar niet afzinken. De kansen voor de andere twee toestanden volgen uit de kans voor wel uitvaren maar niet afzinken. In het kader op de volgende pagina wordt dit verder uitgelegd.



Figuur 2-3: Aangepaste boomdiagram waarin de Maeslantkering gedeeltelijk faalt, waarbij vier toestanden mogelijk zijn, nl. beide keringen geheel gesloten $D_W D_H$, Maeslantkering uitgevaren (maar niet afgezonken) en Hartelkering gesloten $O_W D_H$, Maeslantkering niet uitgevaren (maar wel afgezonken) en Hartelkering open $D_W O_H$ en beide geheel geopend $O_W O_H$

De kans op falen van de EPK = 1 keer per 100 sluitvragen, de kans op falen van uitvaren van de MLK = α_W en de kans op falen van afzinken van de MLK = α_H , dan is de kans op toestanden $O_W O_H$, $D_W O_H$, $O_W D_H$ en $D_W D_H$

$$\begin{aligned} & \alpha_W * \alpha_H * \Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r) + \Pr(\text{niet sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r) \\ & (1 - \alpha_W) * \alpha_H * \Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r) \\ & \alpha_W * (1 - \alpha_H) * \Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r) \\ & (1 - \alpha_W) * (1 - \alpha_H) * \Pr(\text{sluitcomm. geg. } q_{rijn}, u, m, r) \end{aligned}$$

Als de waarde van α_H gekozen wordt dan volgt via

$$1 - (1 - \alpha_W) * (1 - \alpha_H) = 1/100 \text{ of } (1 - \alpha_H) * \alpha_W + \alpha_H = 1/100$$

de waarde voor α_W

In 2006 heeft De Goederen onderzocht wat de gevolgen zijn van het gedeeltelijk functioneren van de Maeslantkering voor de toetspeilen in het Rijnmondgebied. De Goederen vergelijkt de situatie waarbij de Maeslantkering geheel faalt met de situatie waarbij de Maeslantkering gedeeltelijk faalt. Als resultaat vindt hij een sterke invloed van de gedeeltelijk functionerende Maeslantkering. In de berekeningen uit 2006 is de gesloten toestand vervangen door een toestand waarbij de Maeslantkering gedeeltelijk faalt. Vervolgens is berekend, de toename in toetspeil t.o.v. een correcte werking van de Maeslantkering. Deze toename is vergeleken met de toename waarbij de Maeslantkering altijd faalt. Het verschil in toename is destijds gepresenteerd als effect van het gedeeltelijk functioneren.

Voor het bepalen van het effect van gedeeltelijk functioneren gebruiken wij het voorliggende kansmodel. Verwacht kan worden dat het effect van het gedeeltelijk functioneren nu geringer zal zijn, omdat de kans op het gedeeltelijk functioneren nu niet 1-1/100 is, maar een deel van de faalkans (1/100).

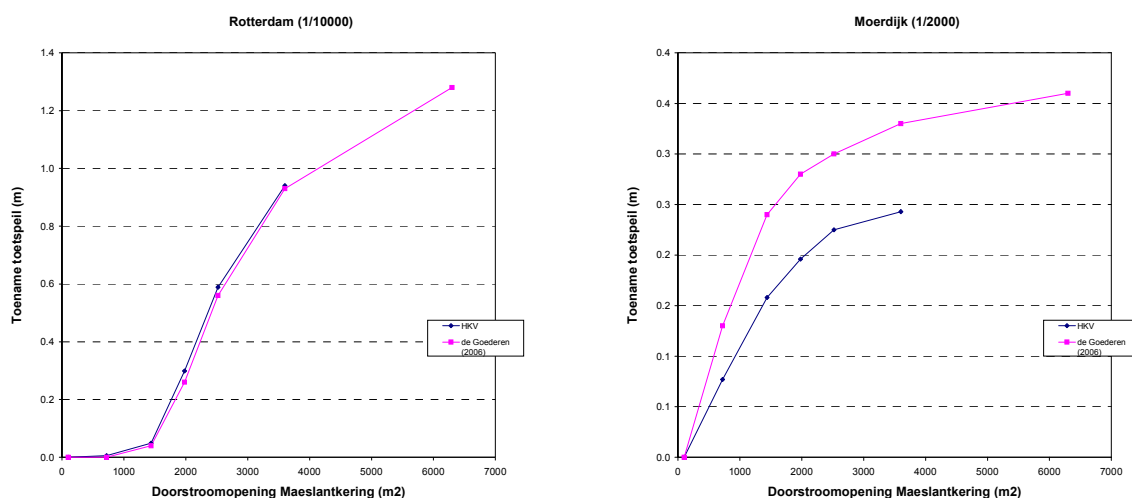
Voor enkele gekozen kansen op de faalmodi van De Goederen is zijn analyse herhaald. De waterstanden achter de kering worden uitgerekend met een hydraulisch model (SOBEK), en zijn afhankelijk van de locatie. Hierbij maken wij gebruik van MHW-berekeningen met het 'Deltamodel vs0.1'. Het Deltamodel vs0.1 is dezelfde Sobekschematisatie, MHWp en Hydra-B als gebruikt door Slootjes et al. (2011). In het model is (overeenkomstig met De Goederen, 2006) alleen de resterende doorstroombopening van de Maeslantkering na sluiting aangepast, om het gevolg van een gedeeltelijk functionerende kering te kunnen berekenen.

De waterstanden achter de kering worden bepaald door de waterstand op zee, en de afvoer van Rijn en Maas. We hebben de nadruk gelegd op de *huidige situatie*: het referentiejaar ten opzichte waarvan het effect van gedeeltelijk functioneren is bepaald, is 2015. Het uitgangspunt is dat alle kortetermijnmaatregelen uit de PKB Ruimte voor de Rivier zijn gerealiseerd. Dit zijn voor de Rijn-Maasmonding: Ontpoldering Noordwaard, Overdiepse Polder, Avelingen en Waterberging Volkerak-Zoommeer. De zeespiegelstijging is gelijk aan 8 cm en de maatgevende afvoer bij Lobith is 16000 m³/s. Voor het afleiden van de waterstanden worden naast 9 rivierafvoeren (Rijndominant), 6 zeewaterstanden en 4 toestanden van de Europoortkering ook de windsnelheid en -richting als variabele meegenomen (216 combinaties) in de probabilistische berekening met Hydra-B.

Resultaat van deze analyse zijn de waterstanden (voor verschillende terugkeertijden) als functie van de (gedeeltelijke) faalkans van de Europoortkering. Wij zijn ervan uitgegaan dat de faalkans voor de gehele Europoortkering 1/100 per sluitingsvraag. Vervolgens is de bijdrage van het niet afzinken bepaald via een gevoeligheidsanalyse.

2.2 Effect partieel functioneren

Ter controle van onze waterstandberekeningen met 'Deltamodel vs0.1' is in Figuur 2-4 een vergelijking gemaakt tussen de berekeningen van De Goederen en de opnieuw uitgevoerde berekeningen. Een volledig overzicht voor 5 locaties is gegeven in Bijlage A. Vlak achter de Europoortkering worden vergelijkbare resultaten berekend. Verder landinwaarts treden verschillen in de berekende waterstanden op. De korte termijn maatregelen uit de PKB Ruimte voor de Rivier zijn wel in het Deltamodel opgenomen en niet in de modellering die De Goederen heeft gebruikt. Deze maatregelen zijn voor de Rijn-Maasmonding: Ontpoldering Noordwaard, Overdiepse Polder, Avelingen en Waterberging Volkerak-Zoommeer. Daar waar deze maatregelen effect hebben treden ook de verschillen op.



Figuur 2-4: Vergelijking tussen de resultaten berekend door de Goederen (2006) en de nieuwe berekening met het 'Deltamodel vs0.1' (hierbij is de probabilistische berekening van de Goederen toegepast).

Resultaat van de uitgevoerde analyse zijn waterstanden (voor verschillende terugkeertijden) als functie van de (gedeeltelijke) faalkans van de Europoortkering. Wij zijn uitgegaan van een faalkans voor de gehele Europoortkering van 1/100 per sluitingsvraag. Vooruitlopend op mogelijke maatregelen ter verhoging van de veiligheid van de kering, is nu gekozen voor een kansbijdrage van 95%, 75%, 50%, 25% en 5% voor de modus *correct uitvaren – falen afzinken*. Als de bijdrage van modus *correct uitvaren – falen afzinken* aan de faalkans 25 procent is, dan is de kans op deze modus 0.25 maal 1/100. De gezamenlijke kans van de modi *falen afzinken – falen uitvaren* en *falen afzinken – correct uitvaren* is dan 0.75 maal 1/100.

Toestand Maeslantkering		Bijdrage toestand <i>correct uitvaren – falen afzinken</i> aan 1 per 100 keer				
		5%	25%	50%	75%	95%
falen afzinken	falen uitvaren	4.7E-06	1.9E-05	2.5E-05	1.9E-05	4.7E-06
correct afzinken	falen uitvaren	9.5E-03	7.5E-03	5.0E-03	2.5E-03	5.0E-04
falen afzinken	correct uitvaren	5.0E-04	2.5E-03	5.0E-03	7.5E-03	9.5E-03
correct afzinken	correct uitvaren	9.9E-01	9.9E-01	9.9E-01	9.9E-01	9.9E-01

Tabel 2-1: Faalkansen per keer sluiten voor de verschillende toestanden van de gedeeltelijk functionerende Maeslantkering.

De berekening van de toetspeilen is gebaseerd op vier sets van 54 berekeningen. In tegenstelling tot de toetspeilen in Slootjes et al. (2011) is in deze berekeningen met Hydra-B onafhankelijk falende keringen meegenomen. Niet alleen de kans op gedeeltelijk functioneren maar ook de resterende doorstroomopening in de Nieuwe Waterweg is van belang. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor 6 toestanden van de Maeslantkering, waarin telkens de resterende doorstroomopening is gevarieerd. Hiervoor zijn de faalmodi van De Goederen gebruikt. Voor de locatie Rotterdam is in Tabel 2-2 het verschil in lokale waterstand als gevolg van het gedeeltelijk functioneren van de Maeslantkering weergegeven.

Faalmodus Maeslantkering	Randvoorwaarden combinatie	Toestand Maeslantkering		Lokale waterstand (m+NAP)
Afzinken tot resterende opening 2 m	Q7 H4 35.96m/s	falen afzinken	falen uitvaren	4.48
		correct afzinken	falen uitvaren	4.48
		falen afzinken	correct uitvaren	3.74
		correct afzinken	correct uitvaren	3.68
Afzinken tot resterende opening 4 m	Q7 H4 35.96m/s	falen afzinken	falen uitvaren	4.48
		correct afzinken	falen uitvaren	4.48
		falen afzinken	correct uitvaren	3.74
		correct afzinken	correct uitvaren	3.68
Afzinken tot resterende opening 5.5 m	Q7 H4 35.96m/s	falen afzinken	falen uitvaren	4.48
		correct afzinken	falen uitvaren	4.48
		falen afzinken	correct uitvaren	3.97
		correct afzinken	correct uitvaren	3.68
Afzinken tot resterende opening 7 m	Q7 H4 35.96m/s	falen afzinken	falen uitvaren	4.48
		correct afzinken	falen uitvaren	4.48
		falen afzinken	correct uitvaren	4.13
		correct afzinken	correct uitvaren	3.68
Afzinken tot resterende opening 10 m	Q7 H4 35.96m/s	falen afzinken	falen uitvaren	4.48
		correct afzinken	falen uitvaren	4.48
		falen afzinken	correct uitvaren	4.31
		correct afzinken	correct uitvaren	3.68

Tabel 2-2: Lokale waterstand bij Rotterdam als gevolg van het gedeeltelijk functioneren van de Maeslantkering (bij randvoorwaarden $Q_{lobith} = 13000 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_{zee} = 4,1 \text{ m+NAP}$ en windsnelheid = 35,96 m/s).

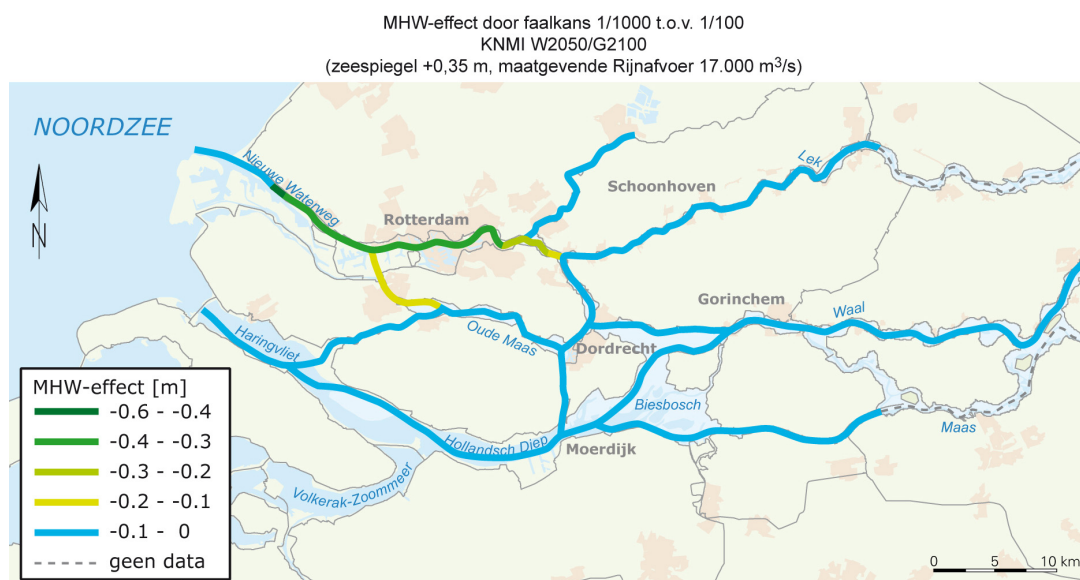
In 6 berekeningen met een al dan niet volledige sluiting van de Maeslantkering sluit de Hartelkering in alle gevallen op correcte wijze. Het tijdstip van sluiten van de Maeslantkering bij *niet-volledig sluiten* is gelijk aan het sluitmoment bij een correcte sluiting. De 6 toestanden voor de Maeslantkering zijn als volgt

1. Correcte sluiting: na invaren zinkt de kering volledig af.
2. Afzinken 2 m: na invaren zinkt de kering af tot een spleetopening van 2 m.
3. Afzinken 4 m: na invaren zinkt de kering af tot een spleetopening van 4 m.
4. Afzinken 5.5 m: na invaren zinkt de kering af tot een spleetopening van 5.5 m.
5. Afzinken 7 m: na invaren zinkt de kering af tot een spleetopening van 7 m.
6. Afzinken 10 m: na invaren zinkt de kering niet af. In de berekening is dit vertaald als afzinken tot een spleetopening van 10 m (de werkelijke

spleetopening in een dergelijke situatie is uiteraard niet constant maar varieert met de waterstand ter plaatse van de kering).

Vervolgens is de randvoorwaardendatabase die als invoer dient van de Hydra-B berekening aangepast. De mogelijke toestanden van de keringen is uitgebreid naar 4 (zie Tabel 2-2). De lokale waterstand voor de toestanden '*falen afzinken* + *falen uitvaren*' en '*correct afzinken* + *falen uitvaren*' is gelijk gesteld aan de lokale waterstand berekent met een geopende Europoortkering. De lokale waterstand voor de toestand '*falen afzinken* + *correct uitvaren*' is gelijk aan de lokale waterstand berekent met een gedeeltelijk geopende Maeslantkering (afhankelijk van de faalmodus) en een gesloten Hartelkering. De toestand '*correct afzinken* + *correct uitvaren*' is gelijk aan de berekening met een gesloten Europoortkering.

In Figuur 2-5 is te zien tot hoe ver oostwaarts een verandering van de faalkans (of faalmodus) van de Europoortkering doorwerkt zoals dat is berekend in Slootjes et al. (2011). Verwacht mag worden het effect van het meenemen van gedeeltelijk functioneren in de bepaling van de toetspeilen vergelijkbaar naar het oosten doorwerkt als de aanpassing van de totale faalkans van de kering.



Figuur 2-5: Weergave van het ruimtelijke effect van de verkleining van de faalkans van de Europoortkering op de maatgevende waterstanden (bron: Slootjes et al., 2011).

Voor elke faalmodus is een randvoorwaardendatabase gemaakt. Met deze databases is voor elke bijdrage van het gedeeltelijk functioneren aan de totale faalkans een probabilistische berekening gemaakt. De resultaten van deze berekeningen zijn in Bijlage B gepresenteerd op 6 locaties in het benedenrivierengebied. Voor de locaties Rotterdam en Dordrecht worden de effecten op het toetspeil in dit hoofdstuk gepresenteerd. Opgemerkt wordt dat de resultaten zijn berekend in een gevoeligheidsanalyse en alleen dienen om het mogelijke effect van partieel functioneren van de Europoortkering te laten zien. De werkelijke bijdrage en de werkelijke resterende doorstroomopening van de Maeslantkering is (nog) onbekend, omdat de werkelijke kansbijdrage van de faalmodi onbekend is en daarnaast is onbekend of de gebruikte faalmodi realistisch zijn. Ter interpretatie van de resultaten wordt opgemerkt dat verwacht mag worden dat het *niet-uitvaren* een redelijke grote kansbijdrage heeft.

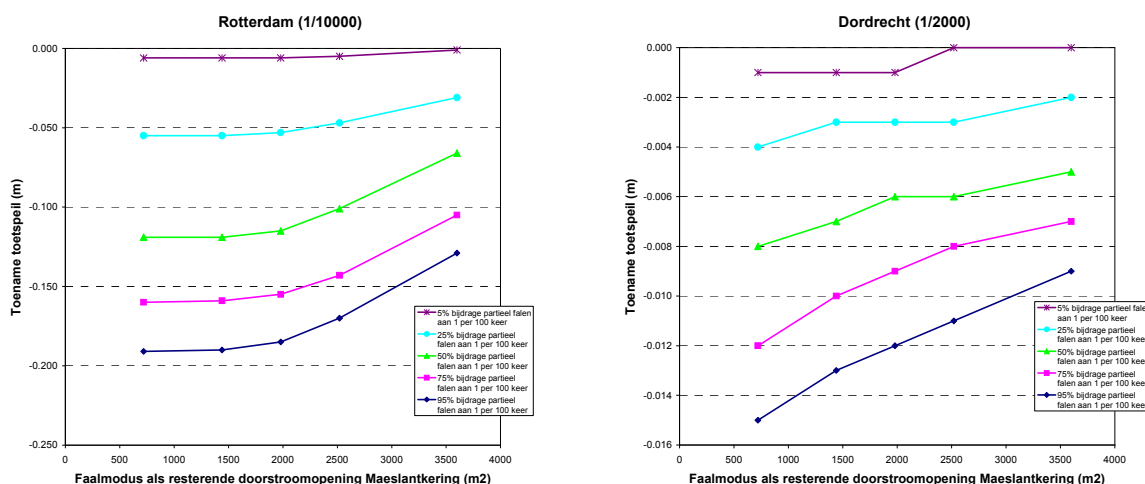
Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage toestand <i>correct uitvaren</i> - <i>falen afzinken</i> aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken tot 2.0 m.	3.43	-0.19	3.46	-0.16	3.50	-0.12	3.56	-0.05	3.61	-0.01
afzinken tot 4.0 m.	3.43	-0.19	3.46	-0.16	3.50	-0.12	3.56	-0.05	3.61	-0.01
afzinken tot 5.5 m.	3.43	-0.19	3.46	-0.16	3.50	-0.12	3.57	-0.05	3.61	-0.01
afzinken tot 7.0 m	3.45	-0.17	3.48	-0.14	3.52	-0.10	3.57	-0.05	3.61	0.00
afzinken tot 10.0 m	3.49	-0.13	3.51	-0.11	3.55	-0.07	3.59	-0.03	3.62	0.00

Tabel 2-3: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Rotterdam (in zwart toetspeilen in m+NAP en in rood verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage toestand <i>correct uitvaren</i> - <i>talen afzinken</i> aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken tot 2.0 m.	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken tot 4.0 m.	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken tot 5.5 m.	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken tot 7.0 m	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken tot 10.0 m	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	-0.00	2.89	0.00	2.89	0.00

Tabel 2-4: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Dordrecht (in zwart toetspeilen in m+NAP en in rood verschil met referentie in m).

Overeenkomstig met eerdere resultaten is het effect van het meenemen van partieel functioneren nabij de Maeslantkering het grootst. Als de gedeeltelijke functionerende kering een grote kansbijdrage heeft in de probabilistische berekening, dan is de afname van het toetspeil bij Rotterdam en Maassluis groter dan 10 cm. Verder landinwaarts neemt het effect snel af tot slechts enkele centimeters bij Spijkenisse en Goidschalxoord. Nog verder landinwaarts bij Dordrecht en Werkendam is het effect zeer gering.



Figuur 2-6: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Rotterdam en Dordrecht (verschil met referentie als functie van kansbijdrage en faalmodus doorstroomopening).

In Figuur 2-6 is te zien dat het effect van een gedeeltelijk functionerende Maeslantkering toeneemt met een toename van de kansbijdrage en afneemt met een toename van de resterende doorstroomopening van de Maeslantkering.

2.3 Conclusies

De resultaten zijn berekend in een gevoeligheidsanalyse en dienen alleen dienen om het mogelijke effect van de berekening van partieel functioneren van de Europoortkering op de extreme waterstanden te laten zien. De werkelijke bijdrage van partieel functioneren en de werkelijke resterende doorstroomopening van de Maeslantkering is (nog) onbekend. Zodra een realistische inschatting gemaakt kan worden voor de faalmodi en de kansbijdragen kunnen betrouwbaardere effecten worden bepaald.

Tegen bovenstaande achtergrond volgen deze conclusies:

1. Het effect van een gedeeltelijk functionerende Maeslantkering neemt toe met een toename van de kansbijdrage en neemt af met een toename van de resterende doorstroomopening van de Maeslantkering.
2. Zoals bij eerdere resultaten is het effect van het meenemen van partieel functioneren dichtbij de Maeslantkering het grootst.
3. Als de gedeeltelijk functionerende kering zwaar meetelt in de probabilistische berekening (m.a.w. als de kering faalt dan faalt hij nooit volledig), dan is de afname van het toetspeil bij Rotterdam en Maasluis groter dan 10 cm.
4. Verder landinwaarts neemt het effect snel af tot slechts enkele centimeters bij Spijkenisse en Goidschalxoord.
5. Dit zijn resultaten van een gevoeligheidsanalyse en dienen alleen om het mogelijke effect van partieel functioneren van de Maeslantkering op de toetspeilen te laten zien.
6. De kans van voorkomen van de verschillende faalmodi is nog onbekend en moet met de foutenboom van de Maeslantkering berekend worden.

3 Faalkans systematiek

3.1 Introductie en aanpak

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de vraag:

Een faalkansanalyse is voor het bepalen van de maatgevende hoogwaterstanden anders dan voor Beheer en Onderhoud. De cruciale vraag is, moeten we (en indien ja, waarom) voor de toetsing van de Maeslantkering voor de Waterwet een andere systematiek toepassen dan voor het Beheer en Onderhoud.

Deze vraag is beantwoord door de vraag per e-mail voor te leggen aan vier experts (Ton Vrouwenvelder, Han Vrijling, Timo Schweckendiek en Ruben Jongejan).

3.2 Bevindingen

Het antwoord op de vraag of we een andere systematiek moeten toepassen voor het bepalen van de maatgevende hoogwaterstanden dan in Beheer en Onderhoud is eenduidig: nee.

Argumentatie is: *"Het lijkt een verkeerde gedachte om afgezien van de mate van detaillering voor technische doeleinden andere getallen te hanteren dan voor beleidsdoeleinden. Dat loopt gewoon een keer spaak omdat beleid altijd weer vertaald moet worden naar technische of organisatorische maatregelen".*

Over de omvang van de foutenboom van de Maeslantkering is opgemerkt: *"Versimpelen van de foutenboom moet inderdaad wel kunnen. Voor B&O zou de keuze van de basisgebeurtenissen vooral gebaseerd moeten zijn op de te beheren componenten terwijl voor andere type studies waarschijnlijk een hoger aggregatieniveau handiger is. Beleid moet altijd weer geïmplementeerd worden en dan gaat het met verschillende sets getallen ergens een keer mis. Bovendien geloof ik er niet in dat bij een foutenboom met duizenden basisgebeurtenissen de experts op verschillende onderdelen een vergelijkbare maat van conservatisme kunnen hanteren. Daardoor komt ook de vergelijkbaarheid en de informatie over relatieve bijdragen in het geding. Kortom conservatieve schattingen alleen ter vereenvoudiging en waar het de beslissing niet wezenlijk beïnvloedt".*

Daarnaast werd echter ook opgemerkt:

"Ik denk dan ook dat een aanpak (m.b.t. de invoer van de foutenboom) die voor beheer en onderhoud geschikt is, niet noodzakelijkerwijs geschikt is voor ontwerp, toetsing en beleidsstudies. Daarbij gaat het overigens niet alleen over het object zelf, maar ook over de achterliggende keringen. De faalkans van een beweegbare kering komt immers tot uitdrukking in de hydraulische randvoorwaarden. Het bovenstaande heb ik eens kort met een deskundige van RWS/DI besproken. Hij deelde de opvatting dat de verschillende toepassingen andere eisen stellen aan foutenboomanalyses, maar meende dat de uitkomsten van de huidige foutenboomanalyses van de beweegbare keringen realistisch zijn (niet bovenmatig conservatief".

Het is verder opvallend dat de gehanteerde foutenboom niet algemene ondersteuning ondervindt:

"Het gaat niet over een foutenboom, maar een betrouwbare stormvloedkering. De boom is een hulpmiddel om dat te realiseren. Welke delen van het systeem bedreigen de betrouwbaarheid het meest en wat kunnen we daaraan doen.

Het systeem bestaat uit:

- *Buitenwereld; natuur en scheepvaart*
- *Bos/ mens*
- *Bes/ mens*
- *Kering bewegingswerken*
- *Kering deuren.*

De boom moet helpen de zwakke punten te vinden. Onze afstudeerder van de TUD (meende toen dat kort gezegd geen zwakke punten waren, maar dat de kering zwak was door het grote aantal punten. Zou kunnen maar dat is in strijd met Pareto's 80/20 regel. Ook is de boom gebruikt om Probo (PRObabilistische Beheer en Onderhoud) te bewijzen en niet om de kering veilig te maken. Volgens mij moet je bij de kering beginnen en bepalen wat de zwakke punten zijn en kijken of je die kunt verbeteren."

Tenslotte wordt het voorstel gedaan om deze materie verder te doordenken:

"In een goede risico-analyse komen geen conservatieve schattingen voor, of het moet zijn ter vereenvoudiging zolang dat geen pijn doet. Daar zit denk ik het probleem niet. Het probleem is dat risico-analisten geen onzekerheden willen overslaan. Volgens mij is dit wel een goede zaak om een keer bij elkaar te komen en een helder beleidsstuk voor risico-analisten op te stellen. Daarna bespreken in ENW-Veiligheid en door naar ENW-kerngroep. Het probleem is ook breder dan de SVK in de Waterweg, denk maar aan de WTI discussies. Beleidsmakers kiezen vaak naar het hun uitkomt of bepaalde onzekerheden wel of niet worden meegenomen".

Samenvattend is de conclusie van deze korte verkenning dat:

1. het is niet aantrekkelijk om voor beleidsstudies een andere foutenboom te gebruiken dan in beheer en onderhoud, omdat er dan onherroepelijk een onwenselijke divergentie ontstaat tussen beleid en invoering van technische of organisatorische maatregelen;
2. de huidige foutenboom van de Maeslantkering vindt niet overal waardering. Er is een gevoel van onbehagen die lastig te duiden is. Het lijkt te maken te hebben met de mate van detaillering van de foutenboom, waardoor er geen overzicht meer is wat nu belangrijk is, en om de invoer van de foutenboom (de faalkansen per onderdeel), waar een beperkte mate van onderbouwing voor bestaat. Er is daarom wel gesuggereerd om ook een vliegtuig op deze manier door te rekenen, die dan waarschijnlijk ook een grote faalkans zou krijgen. Omdat er echter vele identieke vliegtuigen zijn die elke dag belast worden, worden we daar 'gered' door de casuïstiek (de relatief lage aantallen ongevallen), die natuurlijk ook ontstaan zijn uit de maatregelen die genomen zijn na elk ongeval. Omdat er maar één Maeslantkering bestaat, ontbreken deze leermomenten voor deze kering.

4 Optimaliseren van het sluitpeil

4.1 Introductie en aanpak

Binnen het project Kennis voor Klimaat (tranch 2, thema 1) is de derde vraag:

Optimaliseren van de sluitstrategie (met name sluitpeil) voor stormomstandigheden bij zeespiegelstijging. De vraag is of het sluitpeil bij verdergaande klimaatverandering van invloed is op de maatgevende hoogwaterstanden. Onderzocht moet worden of het mogelijk is om de sluitfrequentie slechts gering te laten toenemen en de hoogwaterstanden gelijk te houden met een andere sluitstrategie.

We hebben voor verschillende klimaatscenario's onderzocht in welke mate de sluitfrequentie en de maatgevende hoogwaterstanden (MHWs of toetswaterstanden) veranderen als de sluitpeilen bij Rotterdam en Dordrecht worden aangepast. Voor het huidige beheer van de Maeslantkering is de sluitstrategie al regelmatig onderwerp geweest van onderzoek. Het effect van een andere sluitstrategie bij zeespiegelstijging is al onderzocht door Deltares en Wouter Knoben (onder begeleiding van HKV). Door HKV is tenslotte ook een kleine gevoeligheidsanalyse van de sluitstrategie uitgevoerd.

De vraag is of het sluitpeil bij verdergaande klimaatverandering van invloed is op de toetswaterstanden. Bij een ongewijzigd sluitpeil zal de frequentie van sluiten toenemen als gevolg van klimaatverandering. Indien het mogelijk is om de sluitfrequentie slechts gering te laten toenemen en de toetswaterstanden gelijk te houden met een andere sluitstrategie, dan lijkt het wenselijk om een andere sluitstrategie te hanteren. Uiteindelijk is de sluitstrategie een afweging tussen de kosten (bijvoorbeeld voor scheepvaart) en baten (met name waterveiligheid). De invloed van het sluitpeil op de buitendijkse gebieden is hierbij ook van belang.

In de volgende paragrafen volgt eerst een samenvatting van het onderzoek van Deltares, het onderzoek van Wouter Knoben en uitkomsten uit nieuwe berekeningen door HKV.

4.1.1 Samenvatting vooronderzoek Deltares

De invloed van de sluitstrategie op de MHWs is door Deltares onderzocht in de studie Klimaatbestendigheid NL (Gao et al., 2010). In Tabel 4-1 en Tabel 4-2 zijn de resultaten van dit onderzoek weergegeven. Voor alle berekeningen is het klimaatscenario voor het zichtjaar 2100 aangehouden: de absolute zeespiegelstijging is 1,30 m (incl. een bodemdaling van 10 cm) en een W+ -scenario voor de Rijnafvoer. Uit deze tabellen blijkt dat het meegroeien van het sluitpeil met de zeespiegelstijging nauwelijks effect heeft op de MHWs bij Rotterdam, Dordrecht en Hellevoetsluis bij de huidige faalkans van de Europoortkering. Bij een afname van de faalkans neemt het effect van het sluitpeil toe.

Locatie	Norm	Keringconfiguratie	Toetspeilen [m+NAP]
Rotterdam	1/10,000	Europoortkering als stormvloedkering, de Haringvlietkering als spuisluisen	3.6
Dordrecht	1/2,000		2.9
Hellevoetsluis	1/4,000		2.6

Tabel 4-1: De toetspeilen (of de maatgevende waterstanden van HR2006) voor de drie steden.

Locatie	Norm	Keringconfiguratie	Alternatief sluitpeil (Rotterdam 4.2m+NAP; Dordrecht 4.1m+NAP)		Huidig sluitpeil (Rotterdam 3.0m+NAP; Dordrecht 2.9m+NAP)	
			DH[m] faalkans 10^{-2}	DH[m] faalkans 10^{-4}	DH[m] faalkans 10^{-2}	DH[m] faalkans 10^{-4}
Rotterdam	1/10,000	Europoortkering als stormvloedkering, Haringvlietkering als spuisluisen	1.2	1.0	1.2	0.8
Dordrecht	1/2,000		1.3	1.3	1.3	1.3
Hellevoetsluis	1/4,000		1.4	1.4	1.4	1.4

Tabel 4-2: De effecten van de keringconfiguraties op de maatgevende waterstanden bij het zichtjaar 2100. DH: toename in de maatgevende waterstand tussen het zichtjaar 2100 en HR2006. Faalkans: faalkans van de Maeslantkering.

Aanvullend heeft Deltares de invloed van de voorspelfout op de MHWs onderzocht bij het alternatief Afsluitbaar zee- en rivierzijde – variant Nieuwe Lek (zie Figuur 4-1). De Europoortkering kent twee onzekerheden: de faalkans en de voorspelfout. De voorspelfout speelt alleen een bepalende rol als de faalkans klein is. In Tabel 4-3 is het resultaat van deze analyse weergegeven. Uit de tabel blijkt dat de invloed van de voorspelfout toeneemt met een afname van de faalkans van de Europoortkering.

Rotterdam							
1. Defaultwaarden voor de voorspelfout: $\mu = -0.09$; $\sigma = 0.18$.							
Faalkans keringen	10^{-0}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-8}
Maatgevende waterstand [m+NAP]	5.97	4.77	4.21	3.69	3.61	3.60	3.60
2. de voorspelfout $\mu = 0$; $\sigma = 10^{-6}$							
Maatgevende waterstand [m+NAP]	5.97	4.77	4.21	3.67	3.21	2.99	2.96
Dordrecht							
1. Defaultwaarden voor de voorspelfout: $\mu = -0.09$; $\sigma = 0.18$.							
Faalkans keringen	10^{-0}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-8}
Maatgevende waterstand [m+NAP]	5.30	4.03	3.55	3.45	3.45	3.45	3.45
2. de voorspelfout $\mu = 0$; $\sigma = 10^{-6}$							
Maatgevende waterstand [m+NAP]	5.30	4.03	3.52	3.19	3.16	3.16	3.16

Tabel 4-3: Het effect van de voorspelfout van de Europoortkering op de maatgevende waterstand bij huidig beheer (sluitpeil RD 3.0m; 2.9m).

4.1.2 Samenvatting vooronderzoek Wouter Knoben

In zijn onderzoek heeft Wouter Knoben (Knoben, 2011) gekeken naar het effect dat lagere sluitcriteria hebben op de MHW's en de waterstanden bij verschillende terugkeertijden, die van belang zijn voor de buitendijkse gebieden. Daarnaast is onderzocht hoe dit effect verandert als de faalkans van de keringen kleiner wordt en welke invloed een lager sluitcriterium op de sluitfrequentie van de keringen heeft. Hij heeft dit effect bepaald voor het alternatief Afsluitbaar zee- en rivierzijde – variant Nieuwe Lek (uit Slootjes et al., 2011), zie figuur 4-1.



Figuur 4-1: Weergave van het alternatief Afsluitbaar zee- en rivierzijde – variant Nieuwe Lek (bron: Slootjes et. al, 2011).

Bij de huidige faalkans van de Europoortkering heeft het verlagen van de sluitcriteria weinig nut. Binnen de keringen daalt de MHW alleen bij Schoonhoven met 0.1 m, tegenover een toename van de MHW's op alle locaties buiten de keringen met minstens 0.1 m. In de huidige aanpak treedt bij Gorinchem een knelpunt in de waterafvoer op, waardoor de MHW daar met 0.4 m stijgt bij criteriumverlaging. Met een kleinere faalkans van de keringen dalen de MHW's binnen de keringen tussen de 0.1 m en 0.3 m. De MHW's buiten de keringen stijgen evenveel als bij de huidige faalkans.

Het verlagen van het sluitcriterium bij Dordrecht heeft weinig invloed op de sluitfrequentie van de keringen. Gemiddeld 2.7 sluitingen per jaar worden er 4.2 bij een criteriumverlaging van 0.5 m. Het criterium bij Rotterdam heeft een grotere invloed. Bij een verlaging van 0.5 m neemt de sluitfrequentie toe tot 37.7 keer per jaar. De sluitfrequentie is niet afhankelijk van de faalkans van de keringen, maar van het aantal keer dat voorspeld wordt dat bij Rotterdam of bij Dordrecht het sluitpeil wordt overschreden.

De waterstanden met terugkeertijden van 10, 50 en 100 jaar dalen binnen de keringen tussen de 0.1 m en 0.3 m, afhankelijk van de locatie en de mate van verlaging van de sluitcriteria. Bij Gorinchem ontstaat een knelpunt in de waterafvoer (waterstanden stijgen daar tussen de 0.3 m en 0.6 m). Hierdoor dalen de waterstanden op de andere locaties buiten de keringen met ongeveer 0.1 m. Bij de huidige faalkans is het effect voor terugkeertijd 1000 jaar beperkt, op de stijging van de waterstand bij Gorinchem na.

Met een kleinere faalkans voor de keringen worden ook voor terugkeertijd 1000 jaar dalingen in de waterstanden binnen de keringen mogelijk. De waterstanden buiten de keringen stijgen niet, of weinig (0.1 m). Uitzondering is Gorinchem waar de waterstanden nog steeds toenemen met ongeveer 0.4 m. Het verlagen van het sluitcriterium bij Dordrecht, in combinatie met een kleinere faalkans van de keringen, combineert dalingen van de MHW's binnen de keringen, dalingen van de waterstanden met lage terugkeertijden met slechts beperkte stijgingen hiervan buiten de keringen en een beperkte toename in sluitfrequentie. Als laatste wordt opgemerkt dat in de berekeningen van Wouter Knoben het openen van de rivierkeringen na de storm, niet is geoptimaliseerd. Verwacht mag worden dat een optimalisatie van het openen van de rivierkeringen een daling van de MHW's zal opleveren.

4.1.3 Samenvatting vooronderzoek HKV

De invloed van de sluitstrategie op de MHW's is door HKV ter voorbereiding van dit onderzoek ook onderzocht. In Tabel 2-4 en Tabel 2-5 zijn de resultaten van dit onderzoek weergegeven. Voor alle berekeningen zijn de klimaatscenario's van het Deltaprogramma (zie Tabel 4-6) aangehouden. Uit deze tabellen blijkt ook dat het meegroeien van het sluitpeil met de zeespiegelstijging nauwelijks effect heeft op het toetspeil bij Rotterdam en Dordrecht bij de huidige faalkans van de Europoortkering. Bij geringere frequenties van de optredende waterstanden is er wel een effect van verandering van het sluitpeil. Naarmate de zeespiegel verder stijgt, neemt het effect van het sluitpeil af.

Terugkeertijd	Sluitstrategie	Rotterdam			
		Huidig (WTI2011)	KNMI'06 W (2050)	KNMI'06 W (2100)	Veerman (2100)
10 jaar	sluitpeil -30cm	-0.14	-0.17	-0.19	-0.13
	sluitpeil +30cm	0.10	0.14	0.19	0.19
100 jaar	sluitpeil -30cm	-0.20	-0.20	-0.12	0.00
	sluitpeil +30cm	0.18	0.20	0.19	0.06
1000 jaar	sluitpeil -30cm	-0.18	-0.11	0.00	0.00
	sluitpeil +30cm	0.20	0.18	0.02	0.00
2000 jaar	sluitpeil -30cm	-0.15	-0.03	0.00	0.00
	sluitpeil +30cm	0.19	0.16	0.00	0.00
10000 jaar	sluitpeil -30cm	0.00	0.00	0.00	0.00
	sluitpeil +30cm	0.10	0.01	0.00	0.00

Tabel 4-4: Het effect van de sluitstrategie van de Europoortkering op de maatgevende waterstand bij huidige beheer (sluitpeil Rotterdam 3,0m+NAP; Dordrecht 2,9m+NAP).

Terugkeertijd	Sluitstrategie	Dordrecht			
		Huidig (WTI2011)	KNMI'06 W (2050)	KNMI'06 W (2100)	Veerman (2100)
10 jaar	sluitpeil -30cm	-0.07	-0.09	-0.04	-0.07
	sluitpeil +30cm	0.06	0.08	0.09	0.11
100 jaar	sluitpeil -30cm	-0.09	-0.09	-0.02	0.00
	sluitpeil +30cm	0.09	0.10	0.08	0.03
1000 jaar	sluitpeil -30cm	-0.09	-0.05	0.00	0.00
	sluitpeil +30cm	0.11	0.09	0.02	0.00
2000 jaar	sluitpeil -30cm	-0.08	-0.03	0.00	0.00
	sluitpeil +30cm	0.11	0.09	0.00	0.00
10000 jaar	sluitpeil -30cm	-0.03	0.00	0.00	0.00
	sluitpeil +30cm	0.09	0.04	0.00	0.00

Tabel 4-5: Het effect van de sluitstrategie van de Europoortkering op de maatgevende waterstand bij huidige beheer (sluitpeil Rotterdam 3,0m+NAP; Dordrecht 2,9m+NAP).

4.2 Effect aanpassen van het sluitpeil

4.2.1 Introductie

Het aanpassen van het sluitpeil heeft als doel het aantal sluitingen te beperken. Bij een ongewijzigd sluitpeil zal de frequentie van sluiten toenemen als gevolg van klimaatverandering (met name zeespiegelstijging). Indien het mogelijk is om de sluitfrequentie slechts gering te laten toenemen en de toetswaterstanden gelijk te houden met een ander sluitpeil, dan is het wenselijk om een dergelijke sluitstrategie te hanteren. Het effect van deze aanpassing van de sluitstrategie op de waterstanden bij geringere frequenties dan de normfrequentie (eens per 10, 100 en 1000 jaar), zijn voor de gevolgen voor de buitendijkse gebieden ook van belang.

Voor het optimaliseren van het sluitpeil hebben wij de volgende aanpak gevolgd. In het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden (Slootjes et. al, 2011) zijn in de probleemanalyse berekeningen gemaakt voor vier klimaatscenario's (Tabel 4-6). In die hydraulische berekeningen is geen rekening gehouden met het aftoppen van de rivierafvoer. Er is wel rekening gehouden met een fysisch maximum van 18.000 m³/s in de probabilistische berekeningen. De Tabel 4-6 geeft de maatgevende Rijnafvoeren met de daaraan gekoppelde Maasafvoeren. De reden hiervoor is dat uitgegaan is (en wordt) van Rijndominantie. De sluitfunctie en de randvoorwaardendatabases van deze berekeningen zijn gebruikt om uit te zoeken in welke mate de waterstand in de gesloten situatie mag/moet veranderen, zodat het gewenste effect op de sluitfrequentie wordt bereikt.

Scenario	Maatgevende Rijnafvoer [m ³ /s]	Gekoppelde Maasafvoer [m ³ /s]	Zeespiegelstijging [m]
Referentie 2015	16.000	3504	0.08
W-2050 / G-2100	17.000	3739	0.35
W-2100	18.000	3974	0.85
Veerman-2100	18.000	3974	1.30

Tabel 4-6: Overzicht gebruikte klimaatscenario's (bron: Slootjes et al., 2011).

Resultaat van de analyse zijn de resulterende waterstanden (voor verschillende terugkeertijden) als functie van de faalkans van de Europoortkering, de voorspelfout en het sluitpeil. Wij hebben de volgende sluitpeil aanpassingen doorgerekend: -0,50; -0,30; -0,10; 0,00; +0,10; +0,30; +0,50; +0,70; +0,90; +1,10; +1,30 en +1.50 m. In elke berekening is het sluitpeil van Rotterdam en Dordrecht in gelijke mate aangepast. Daarnaast is voor de Europoortkering de volgende faalkans aangehouden 1/100, en voor de voorspelfout de standaard voorspelfout.

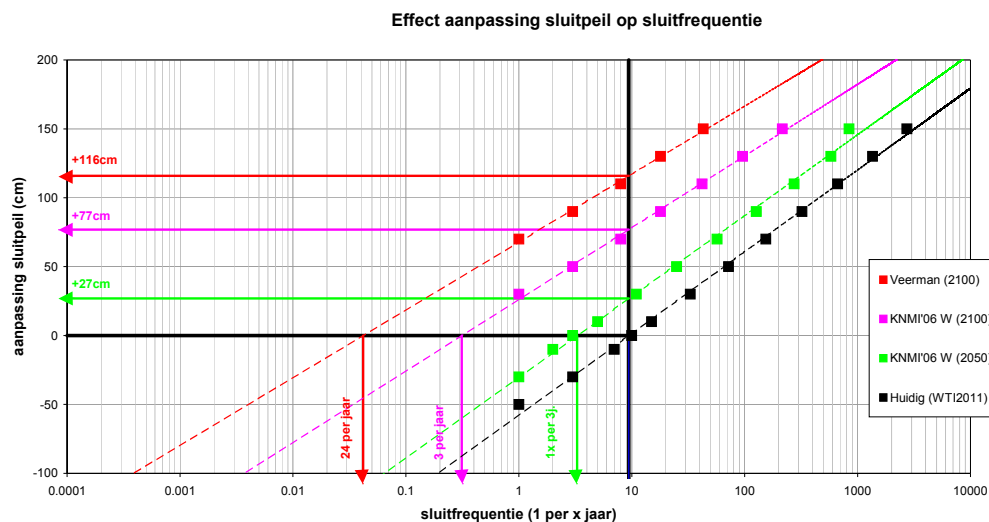
4.2.2 Sluitfrequentie

In Tabel 4-7 is voor verschillende klimaatscenario's weergegeven het effect van de aanpassing van het sluitpeil (met de faalkans van de Europoortkering gelijk aan 1/100 en de standaard voorspelfout). Frequenties met meerdere sluitingen per jaar zijn weergegeven met het teken '-'. '.

Opgelegde aanpassing	Gerealiseerde sluitfrequentie in 1 keer per x jaar			
	Huidig (WTI2011)	KNMI'06 W (2050)	KNMI'06 W (2100)	Veerman (2100)
sluitpeil -50cm	1	-	-	-
sluitpeil -30cm	3	1	-	-
sluitpeil -10cm	7	2	-	-
sluitpeil -0cm	10	3	-	-
sluitpeil +10cm	15	5	1	-
sluitpeil +30cm	33	11	1	-
sluitpeil +50cm	72	25	3	1
sluitpeil +70cm	154	57	8	1
sluitpeil +90cm	322	127	18	3
sluitpeil +110cm	665	274	42	8
sluitpeil +130cm	1358	581	96	18
sluitpeil +150cm	2734	841	216	43

Tabel 4-7: Effect van aanpassing van het sluitpeil (verandering voor Rotterdam en Dordrecht gelijk) op de sluitfrequentie van de Europoortkering voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).

In Figuur 4-2 is resultaat uit de voorgaande tabel weergegeven in een grafiek. Verondersteld is dat op een logaritmische schaal een lineaire relatie bestaat tussen de sluitfrequentie en de aanpassing van het sluitpeil. De lineaire relaties zijn als onderbroken lijnen in de figuur weergegeven. Op basis van deze lijnen kan nu geschat worden welke aanpassing van het sluitpeil nodig is om de sluitfrequentie in een willekeurig scenario niet te laten wijzigen. Tevens kan in de figuur worden afgelezen welke sluitfrequentie wordt bereikt in een willekeurig scenario als het sluitpeil niet wordt gewijzigd.



Figuur 4-2: Effect van aanpassing van het sluitpeil (verandering voor Rotterdam en Dordrecht gelijk) op de sluitfrequentie van de Europoortkering voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).

In de onderstaande tabel is op basis van de veronderstelde lineaire relaties weergegeven welke aanpassing van het sluitpeil nodig is om een bepaalde sluitfrequentie te realiseren. In de tabel is te zien indien de sluitfrequentie mag toenemen tot 1 x per 5 jaar dat dan het sluitpeil in 2100 (volgens scenario KNMI'06 W) moet worden verhoogd met 63 cm.

Gewenste sluitfrequentie	Benodigde aanpassing sluitpeil in cm.			
	Huidig (WTI2011)	KNMI'06 W (2050)	KNMI'06 W (2100)	Veerman (2100)
25x per jaar	-141	-112	-46	-1
10x per jaar	-117	-89	-26	19
5x per jaar	-99	-71	-10	34
1x per jaar	-58	-30	26	68
1x per 2 jaar	-40	-13	42	83
1x per 5 jaar	-16	11	63	102
1x per 10 jaar	2	28	78	117

Tabel 4-8: Effect van gewenste sluitfrequentie van de Europoortkering op benodigde aanpassing van het sluitpeil (verandering voor Rotterdam en Dordrecht gelijk) voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).

4.2.3 Waterstanden

In Tabel 4-10 en Tabel 4-11 wordt het effect van een aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht en Rotterdam getoond voor verschillende waterstanden. Per scenario is het verschil tussen de berekening met het aangepaste sluitpeil en het huidige sluitpeil te zien. Ter aanvulling op deze tabellen is in Tabel 4-9 de toename in waterstanden bij Dordrecht en Rotterdam als gevolg van de klimaatverandering afgedrukt. De som van het verschil in Tabel 4-9 en respectievelijk Tabel 4-10 of Tabel 4-11 geeft de verandering van de waterstanden als gevolg van klimaat- en sluitpeilverandering. In Bijlage C worden ook voor ander locaties deze resultaten gepresenteerd.

Herh.tijd (jaar)	Verandering van de waterstand als gevolg van de klimaatverandering							
	Rotterdam				Dordrecht			
	Huidig (WTI2011)	KNMI'06 W (2050)	KNMI'06 W (2100)	Veerman (2100)	Huidig (WTI2011)	KNMI'06 W (2050)	KNMI'06 W (2100)	Veerman (2100)
	(m+NAP)	(m)	(m)	(m)	(m+NAP)	(m)	(m)	(m)
10	2,9	0,1	0,3	0,5	2,3	0,2	0,5	0,6
100	3,1	0,1	0,3	0,5	2,6	0,2	0,5	0,7
1000	3,3	0,1	0,5	0,9	2,8	0,2	0,6	0,9
2000	3,3	0,1	0,5	0,9	2,9	0,2	0,6	1,0
4000	3,5	0,2	0,7	1,1	3,0	0,2	0,7	1,1
10000	3,6	0,3	0,7	1,1	3,1	0,2	0,7	1,1

Tabel 4-9: Effect van de klimaatverandering op de waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's: verschil in waterstand tussen WTI2011 en de verschillende scenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

In de tabellen is te zien dat het effect van een verandering van het sluitpeil op het toetspeil afneemt naar mate de zeespiegel en de maatgevende afvoer toeneemt als gevolg van klimaatontwikkeling. Zowel bij Dordrecht als Rotterdam is dit effect te zien. Om de sluitfrequentie gelijk te houden, moet in 2100 het sluitpeil met ruim 75 cm worden verhoogd. Dit leidt tot een toename van het toetspeil bij Rotterdam van ongeveer 2 cm en bij Dordrecht van bijna 20 cm. Als de sluitfrequentie mag toenemen met een factor 2 (1 keer per 5 jaar), dan neemt het toetspeil bij Rotterdam niet toe en bij Dordrecht is de toename ongeveer 10 cm.

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.26	-0.14	-0.04	-	0.04	0.10	0.13	0.15	0.15	0.16
	100	-0.33	-0.20	-0.06	-	0.06	0.18	0.28	0.36	0.42	0.45
	1000	-0.26	-0.18	-0.06	-	0.06	0.20	0.33	0.46	0.59	0.69
	2000	-0.24	-0.17	-0.06	-	0.06	0.20	0.33	0.47	0.59	0.70
	4000	-0.07	-0.07	-0.04	-	0.05	0.17	0.31	0.45	0.59	0.73
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.22	0.36	0.50	0.68
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.30	-0.17	-0.06	-	0.05	0.14	0.20	0.25	0.27	0.28
	100	-0.32	-0.20	-0.07	-	0.07	0.20	0.31	0.42	0.51	0.57
	1000	-0.12	-0.11	-0.05	-	0.06	0.18	0.31	0.45	0.58	0.70
	2000	-0.09	-0.09	-0.05	-	0.05	0.17	0.30	0.44	0.57	0.70
	4000	-	-	-	-	0.01	0.08	0.20	0.33	0.47	0.60
	10000	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.18	0.31	0.45
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.24	-0.19	-0.07	-	0.06	0.19	0.30	0.40	0.47	0.52
	100	-0.13	-0.12	-0.05	-	0.06	0.10	0.25	0.37	0.42	0.50
	1000	-	-	-	-	-	0.02	0.12	0.24	0.36	0.49
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.20	0.32	0.45
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.14	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.13
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.13	-0.13	-0.06	-	0.06	0.19	0.32	0.45	0.56	0.66
	100	-	-	-	-	-	0.06	0.18	0.31	0.44	0.57
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.11	0.23
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.08	0.19
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

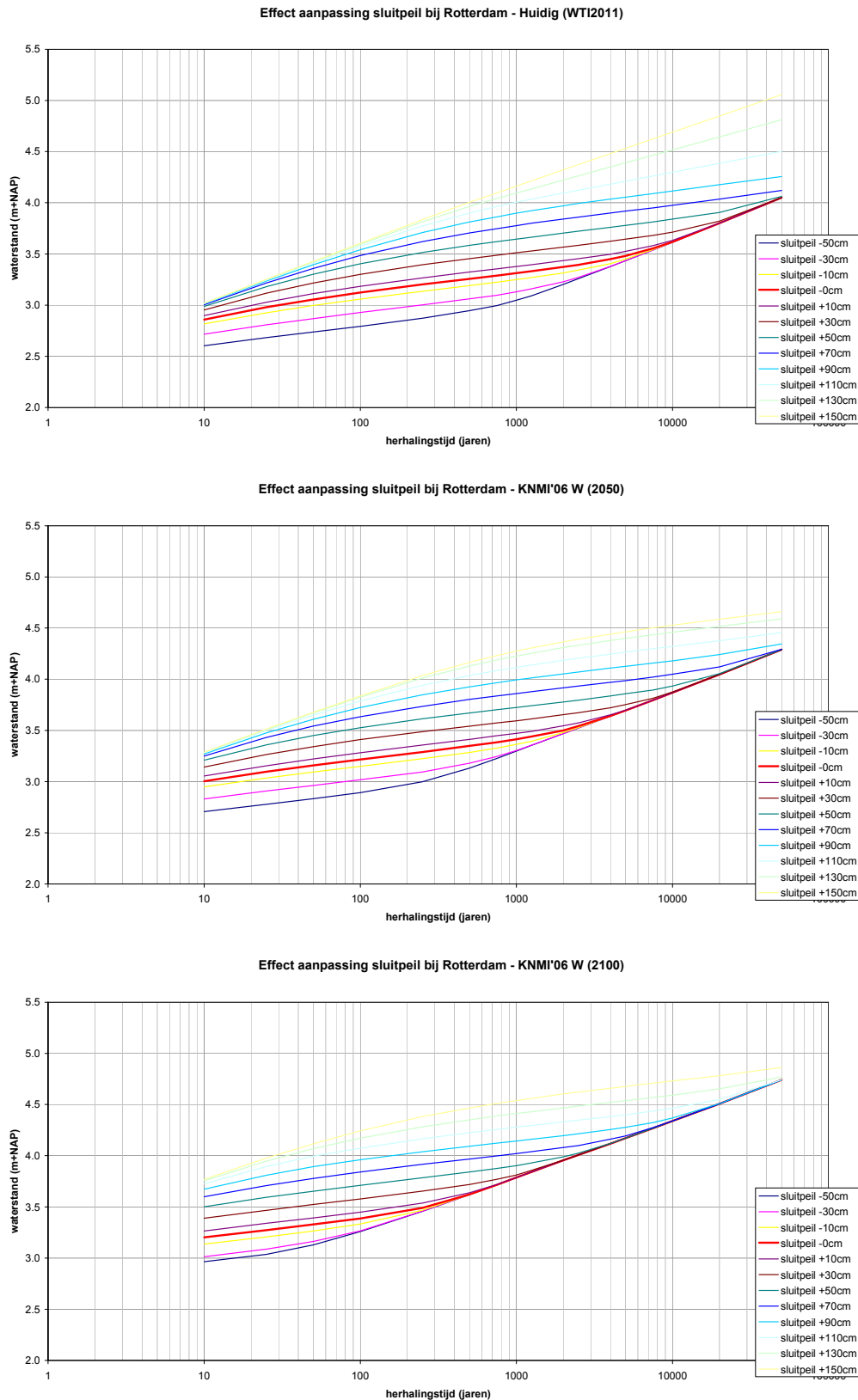
Tabel 4-10: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's: verschil in waterstand tussen geen aanpassing van het sluitpeil en aanpassing van het sluitpeil (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie, geen verschil is weergegeven met '-').

De aanpassing van het sluitpeil heeft het meeste effect op de waterstanden met kleine herhalingstijden (grote frequenties). Dit is deels een verklaring voor het verschil in effect op de toetspeilen van Rotterdam en Dordrecht. De normfrequentie bij Dordrecht is groter. Bij de lagere waterstanden is de gesloten kering situatie dominanter, door het aanpassen van het sluitpeil neemt de kans op de gesloten kering situatie af.

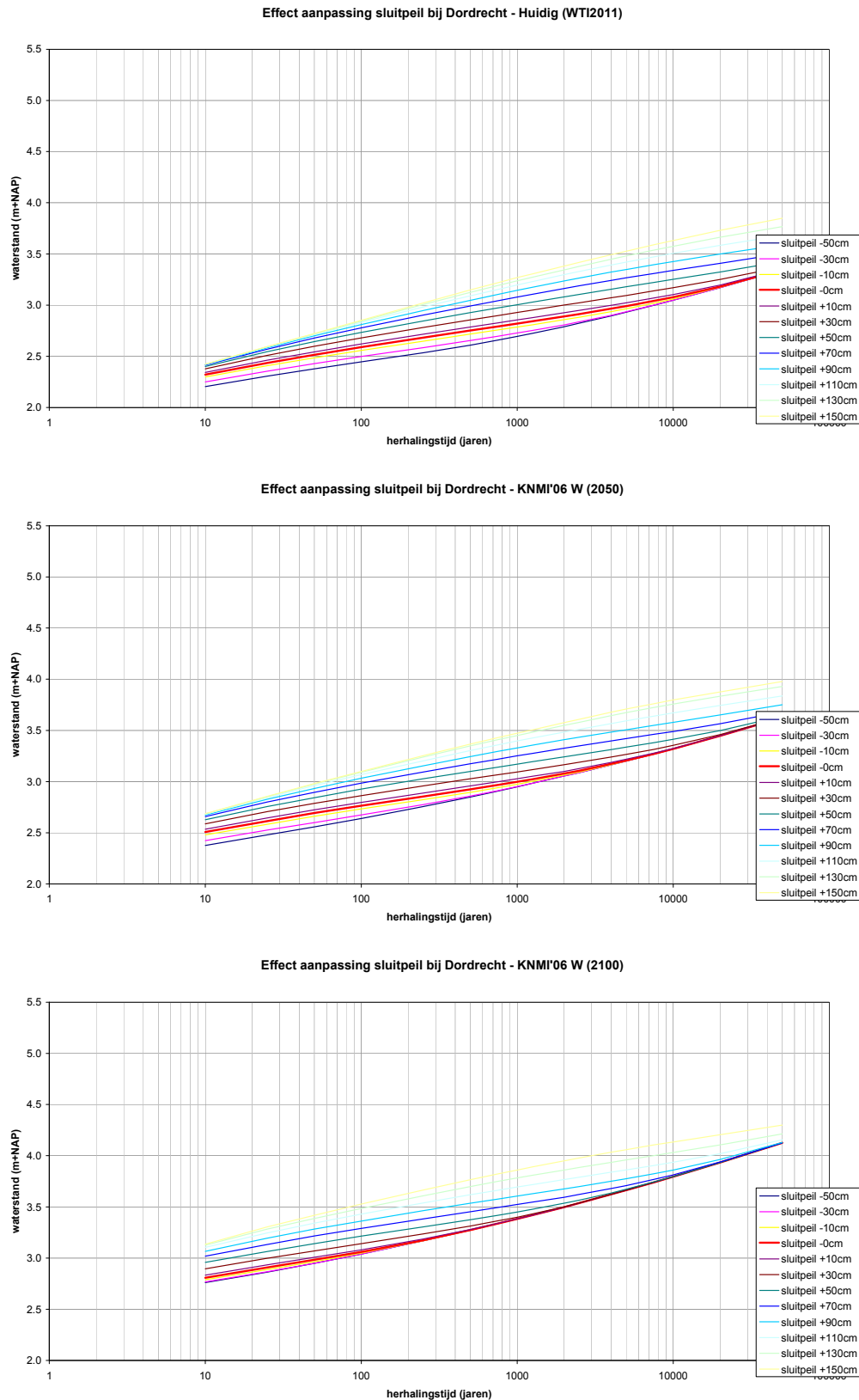
Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT12011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.14	0.19	0.22	0.24
	1000	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.04	0.11	0.19	0.26	0.32	0.38
	2000	-0.12	-0.09	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.26	0.33	0.39
	4000	-0.07	-0.07	-0.03	-	0.03	0.11	0.19	0.28	0.36	0.43
	10000	-0.03	-0.03	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.17
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.16	0.22	0.27	0.30
	1000	-0.05	-0.05	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.25	0.33	0.40
	2000	-0.04	-0.04	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.25	0.33	0.40
	4000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.07	0.14	0.22	0.31	0.39
	10000	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.17	0.26	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.08	0.15	0.23	0.30	0.37
	1000	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.14	0.22	0.31
	2000	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.21	0.30
	4000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22
	10000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.14
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.07	-0.07	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.28	0.36	0.43
	100	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.14
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01

Tabel 4-11: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's: verschil in waterstand tussen geen aanpassing van het sluitpeil en aanpassing van het sluitpeil (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie, geen verschil is weergegeven met '-').

In Figuur 4-3 en Figuur 4-4 zijn de getallen uit voorgaande tabellen gepresenteerd.



Figuur 4-3: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).



Figuur 4-4: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout).

Deltares (Gao, 2010) heeft eerder geconcludeerd dat het meegroeien van het sluitpeil met de zeespiegelstijging nauwelijks effect heeft op de MHWs bij de huidige faalkans van de Europoortkering. Bij een afname van de faalkans neemt het effect van het sluitpeil toe.

In Tabel 4-12, Tabel 4-13 en Tabel 4-14 blijkt dat bij een geringere stijging van de zeespiegel dan waar Deltares (V2100) meegerekend heeft het sluitpeil weldegelijk van invloed is op de MHWs. Deze invloed is bij Hellevoetsluis en Dordrecht groter dan bij Rotterdam. Overeenkomstig met Deltares vinden wij ook dat indien de faalkans van de EPK afneemt, de invloed van het sluitpeil zal toenemen.

Aanvullend heeft Deltares (Gao, 2010) de invloed van de voorspelfout op de MHWs onderzocht. De Europoortkering kent twee onzekerheden: de faalkans en voorspelfout. De voorspelfout speelt alleen een bepalende rol als de faalkans klein is. Uit hun analyse blijkt dat de invloed van de voorspelfout toeneemt met een afname van de faalkans van de Europoortkering. Ook wij vinden deze relaties (zie Tabel 4-12, Tabel 4-13 en Tabel 4-14).

Faalkans EPK	Voorspelling	Klimaat scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil									
			-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
1/100	Standaard fout	Huidig	-	-	-	-	0.02	0.10	0.22	0.36	0.50	0.68
		W2050	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.18	0.31	0.45
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.13
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/100	Geen fout	Huidig	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.26	0.44
		W2050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.22
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/1000	Standaard fout	Huidig	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
		W2050	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
		W2100	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03
1/1000	Geen fout	Huidig	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
		W2050	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 4-12: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de MHW bij Rotterdam voor verschillende faalkansen EPK, voorspelfouten Maasmond waterstand en klimaatscenario's.

Faalkans EPK	Voorspelling	Klimaat scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil									
			-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
1/100	Standaardfout	Huidig	-0.12	-0.09	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.26	0.33	0.39
		W2050	-0.04	-0.04	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.25	0.33	0.40
		W2100	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.21	0.30
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13
1/100	Geen fout	Huidig	-0.07	-0.07	-0.03	-	0.04	0.11	0.19	0.24	0.36	0.42
		W2050	-	-	-	-	0.01	0.07	0.15	0.24	0.33	0.41
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.14	0.23
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06
1/1000	Standaardfout	Huidig	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
		W2050	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
		W2100	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
1/1000	Geen fout	Huidig	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
		W2050	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
		W2100	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09

Tabel 4-13: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de MHW bij Hellevoetsluis voor verschillende faalkansen EPK, voorspelfouten Maasmond waterstand en klimaatscenario's.

Faalkans EPK	Voorspelling	Klimaat scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil									
			-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
1/100	Standaardfout	Huidig	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.08	0.18	0.28	0.37	0.45
		W2050	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.15	0.26	0.36
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.14
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
1/100	Geen fout	Huidig	-	-	-	-	-	-	0.08	0.14	0.32	0.42
		W2050	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.17	0.29
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/1000	Standaardfout	Huidig	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
		W2050	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
		W2100	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
1/1000	Geen fout	Huidig	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
		W2050	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
		W2100	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
		V2100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01

Tabel 4-14: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de MHW bij Hellevoetsluis voor verschillende faalkansen EPK, voorspelfouten Maasmond waterstand en klimaatscenario's.

4.3 Conclusies

Op basis van de resultaten die in de voorgaande paragrafen zijn gepresenteerd, worden de volgende conclusies getrokken:

- Als de sluitfrequentie mag toenemen tot 1 x per 5 jaar, dan moet het sluitpeil in 2100 (in scenario KNMI'06 W2100) worden verhoogd met circa 60cm. Een stijging van het sluitpeil met 30 cm levert een sluitfrequentie van 1x per jaar.
- Als het sluitpeil wordt verhoogd overeenkomstig met de zeespiegelstijging (om te grote toename van de sluitfrequentie te voorkomen) heeft dit een gering effect op de MHWs. Er dient rekening te worden gehouden met een effect van enkele centimeters bij locaties in het overgangsgebied.
- Het aanpassen van het sluitpeil heeft een grote invloed op de waterstanden met grote frequenties en dus voor de buitendijkse gebieden. Bij een sterke zeespiegelstijging (bijv. 1.30m) is deze invloed aanzienlijk geringer dan bij een lichte stijging (bijv. 0.35m).
- De invloed van de voorspelfout op de MHWs neemt toe met een afname van de faalkans van de Europoortkering. Deze invloed is groter bij een geringe zeespiegelstijging dan bij extremere stijgingen.

5 Suggesties voor een ander type kering

5.1 Introductie en aanpak

Binnen het project Kennis voor Klimaat (tranch 2, thema 1) is als aangaande het ontwerpen van een nieuwe kering op de locatie van de Maeslantkering de volgende vraag geformuleerd:

Hoe kan een fundamenteel betere faalkans van één waterkering worden verkregen? Deze vraag is algemeen, en kan worden beantwoord door verschillende categorieën van afsluitbare waterkeringen te maken. Ook kan dan van deze waterkeringen een indicatie verkregen worden van de faalkans.

De theoretische bovengrens van een betere bescherming vanaf zeezijde wordt verkregen door uit te gaan van een theoretische faalkans = 0 voor de Europoortkering. Omdat in de praktijk de faalkans van de Europoortkering echter in de orde 1/100 ligt, kan een aanmerkelijk lagere faalkans (orde 10^{-4}) worden verkregen door op deze locatie een andere kering te bouwen.

Dat een dergelijke grote verlaging van de faalkans effect heeft, is in algemene zin reeds aangetoond in het rapport "Resultaten MHW berekeningen t.b.v. probleemanalyse en verkenning hoekpunten" van HKV en Deltares, (Slootjes et. al., 2011). Een verlaging van de faalkans van de Europoortkering van 1:100 naar 1:10.000 resulteert voor Rotterdam in een MHW verlaging van 0,4m tot 0,9m bij een zeespiegelstijging van respectievelijk 0,35m en 1,30m. Voor Dordrecht is die MHW-verlaging door een lagere faalkans echter minder (10-20 cm) aanwezig, blijkbaar omdat andere invloeden zoals een hoge Rijnafvoer daar veel dominantier zijn.

De relatief grote faalkans van de Europoortkering (lees hier met name de Maeslantkering) lijkt vooral een gevolg van fundamentele keuzes in het ontwerp, met name het eenvoudige onderhoudsconcept in het droge parkeerdok versus het gecompliceerde sluitingsconcept (opdrijven, invaren en afzinken). Daarom is een aanmerkelijke verlaging van de faalkans van de Europoortkering zelf vooralsnog moeilijk te realiseren, omdat het ontwerp met de twee deuren inherent is aan dit concept.

Een andere waterkering is daarom een reële optie. Van belang is dan welke faalkans kan worden verwacht dit is derhalve afhankelijk van het type kering. De mogelijkheden voor een ander type kering zullen in de volgende paragrafen worden verkend en van daaruit zullen suggesties worden gedaan. Vraag 4 is algemeen en kan worden beantwoord door verschillende categorieën van afsluitbare waterkeringen te maken. In het kader van Kennis voor Klimaat is een rapportage opgesteld naar multifunctionele beweegbare keringen (Dijk en Van der Ziel, 2010). Op basis van deze rapportage wordt een opsomming gemaakt van mogelijke keringen. Daarna volgt een kwalitatieve beschrijving van de werking van de keringen en hun effect op de maatgevende hoogwaterstanden.

5.2 Overzicht van bestaande typen

(De tekst in deze paragraaf is sterk gebaseerd op Dijk en Van der Ziel (2010).)

Het onderscheid in de typen beweegbare waterkering wordt gekenmerkt door het sluitingsmechanisme, oftewel het type *deur* (hefdeur, vizierdeur, roldeur, opblaasbare balg). In Dijk en Van der Ziel (2010) zijn verschillende type keringen en elementen van een beweegbare kering bekeken. De keuze voor een bepaald concept van een multifunctionele kering is uiteindelijk afhankelijk van de locatie specifieke randvoorwaarden en mogelijkheden. Enkele randvoorwaarden zijn de breedte van de waterweg, het debiet en het sedimenttransport, de benodigde scheepvaartcapaciteit, waterstanden, golfcondities en de bodemcondities.

Een verscheidenheid aan types keringen zijn in een eigenschappentabel (Tabel 5-1) opgesomd. [Design of Movable Weirs and Storm Surge Barriers, PIANC InCom WG26, 2005]. In Dijk en Van der Ziel (2010) wordt benadrukt dat de tabel niet universeel is en dat elke kering in combinatie met de locatie vaak een uniek ontwerp oplevert. Uit de tabel valt af te lezen wat voor eigenschappen de verschillende type keringen en sluitingsmechanismen hebben in vergelijking met elkaar. Door middel van een kleurcode zijn deze eigenschappen grofweg op waarde geschat (de gegeven getallen zijn indicatief). De eigenschappen, zoals de toepasbare breedte en hoogte van de deuren, bepalen in sterke mate welke type keringen geschikt zijn.

Verondersteld wordt dat de huidige breedte van de waterweg gehandhaafd moet worden voor de waterafvoer, sedimentafvoer en de scheepvaartcapaciteit. De kering moet dus relatief breed zijn of uit meerdere deuren naast elkaar bestaan. Ook de scheepvaartbelemmering, en dus het aantal middenhoofden en deuren, moet beperkt blijven, terwijl de doorvaarhoogte gehandhaafd moet blijven. Verder moet er een vrij groot waterstandverval over de deur(en) opgevangen worden in de orde grootte van 4 à 5 meter.

In de tabel valt te zien dat de segmentdeur (Maeslantkering), de rolstuw, de punt- en waaierdeur en de swingdeur om diverse redenen minder goed scoren. De keringen die positief beoordeeld worden zijn allereerst conventionele keringen waar veel ervaring mee is. De hefdeur en de sectordeur zijn hiervan twee voorbeelden; met het bewegingsmechanisme van boven naar beneden hebben ze in principe een lage faalkans. Aan de andere kant scoren modernere keringen, zoals de automatisch opdrijvende deur, de balgstuw en de parachutekering, ook goed.

De faalkans kan per type kering sterk verschillen, maar de uitwerking van het ontwerp en de randsystemen, zoals de voorspelling van de waterstanden, zijn vergelijkbaar en bepalen mede de faalkans. De vergelijking van de faalkans per type is louter indicatief. Een lage faalkans kan gerealiseerd worden door een eenvoudig systeem te ontwerpen. De hoeveelheid beweegbare delen en handelingen om te sluiten dient daarbij beperkt te zijn. Een hefdeur heeft bijvoorbeeld een relatief lage faalkans, doordat de deur door de zwaartekracht sluit en er veel ervaring is met het ontwerp, de bediening en het onderhoud.

Niet alleen het technische ontwerp bepaalt de faalkans. Ook de besturing, computersystemen, en voorspelfout spelen een belangrijke rol. Ter toelichting: een software model voorspelt de waterstand waarbij de kering gesloten moet worden, zodat deze tijdig gesloten is. Echter door een *slim ontwerp* kunnen deze bijdragen in de faalkans wel verkleind worden. Voor een kering die snel gesloten kan worden hoeft de voorspelling minder ver in de toekomst te liggen, waardoor de bijbehorende voorspelfout relatief klein is.

TYPE DEUR / BEWEGINGS-MECHANISME	EIGENSCHAPPEN												
	maximale breedte deur [m]	maximale hoogte deur [m]	maximaal verval [m]	modulair uitbereikbaar [ja/nee]	2 richtingen kieren [ja/nee]	gecontroleerd waterlevel [ja/nee]	schutsluis functie 3 [ja/nee]	openen met head mogelijk [ja/nee]	scheepvaart belemmering [categorie]	materiaal gebruik [categorie]	faalkans gevoeligheid [categorie]	onderhoud [categorie]	zichtbaarheid [categorie]
 sectordeur	15 - 40	8	2	ja	mogelijk	nee	mogelijk	?	geen	groot	groot	groot	gemiddeld
 balg	20 - 120	10	6	ja	ja	nee	nee	?	geen	laag	gemiddeld	laag	laag
 klep	2 - 6	8	2	ja	nee	nee	mogelijk	?	geen	gemiddeld	groot	groot	laag
 puntdeur	4 - 20	25	10	ja	nee	nee	ja	?	gemiddeld (beetje smal)	gemiddeld	laag	gemiddeld	gemiddeld
 swingdeur	20 - 80	20	6	nee	mogelijk	nee	nee	?	geen	groot	groot	laag	groot
 rolstuw	10 - 50	5	2	ja	nee	ja	nee	?	groot	groot	gemiddeld	groot	groot
 waaierdeur	4 - 20	20	10	nee	nee	nee	ja	?	gemiddeld (beetje smal)	groot	laag	gemiddeld	gemiddeld
 oprijvende deur	5 - 50	5	2	ja	ja	nee	mogelijk	?	geen	gemiddeld	gemiddeld (kan auto, maar kan ook vast zitten)	groot	laag
TYPE DEUR / BEWEGINGS-MECHANISME	EIGENSCHAPPEN												
	maximale breedte deur [m]	maximale hoogte deur [m]	maximaal verval [m]	modulair uitbereikbaar [ja/nee]	2 richtingen kieren [ja/nee]	gecontroleerd waterlevel [ja/nee]	schutsluis functie 3 [ja/nee]	openen met head mogelijk [ja/nee]	scheepvaart belemmering [categorie]	materiaal gebruik [categorie]	faalkans gevoeligheid [categorie]	onderhoud [categorie]	zichtbaarheid [categorie]
 Poiree / schotten	1 - 4	5	3	ja	ja, = goed mogelijk	ja	nee	?	groot	groot	laag	veel	groot
 vizier (hor. as)	15 - 65	10	3	ja	mogelijk	ja	nee	?	gemiddeld	laag	laag	gemiddeld	groot
 radiaal stuw / sectordeur	20 - 100	8	6	ja	nee, = heel slecht mogelijk	ja	nee	?	groot	gemiddeld	laag	gemiddeld	groot
 hefdeur	10 - 60	12	4	ja	ja	ja	ja	?	gemiddeld	groot	laag	gemiddeld	groot
 plofdam	5 - 40	5	1	ja	ja	nee	nee	?	groot	groot	laag	laag (het is een weggooi kring)	groot
 roldeur	10 - 60	20	6	nee	ja	nee	ja	?	geen	groot	groot	groot	gemiddeld
 parachute	5 - 250?	20	5	ja	mogelijk	nee	mogelijk	?	geen	laag	gemiddeld	laag	laag
 segmentdeur	20 - 360	20	2	nee	nee	nee	nee	?	geen	gemiddeld	groot	groot	groot

Tabel 5-1: Overzicht van diverse keringen met verschillende sluitingsmechanismen

6 Ontwerp van een tweede linie achter de Europoortkering

6.1 Introductie en aanpak

6.1.1 Probleemstelling

Binnen het project Kennis voor Klimaat (tranch 2, thema 1) is als laatste de volgende vraag geformuleerd:

Met welk ontwerp van 2 stormvloedkeringen (waarvan 1 de Maeslantkering) kan een fundamenteel betere bescherming voor de Rijnmond-Drechtsteden worden verkregen?

Deze vraag is in dit onderzoek als volgt geïnterpreteerd:

Met welk ontwerp van een 'tweede linie' waterkeringen (waarbij de Maeslantkering te samen met de Hartelkering als de eerste linie is opgevat (de 'Europoortkering') kan een fundamenteel betere bescherming voor de Rijnmond-Drechtsteden worden verkregen?"

De theoretische bovengrens van een betere bescherming vanaf zeezijde wordt verkregen door uit te gaan van een theoretische faalkans = 0 voor de Europoortkering. Omdat in de praktijk de faalkans van deze eerste linie waterkeringen echter in de orde 1:100 ligt, kan een aanmerkelijk lagere faalkans (orde 10^{-4}) met een tweede linie onafhankelijk falende waterkeringen worden verkregen.

Dat een dergelijke grote verlaging van de faalkans effect heeft, is in algemene zin reeds aangetoond in het rapport "Resultaten MHW berekeningen t.b.v. probleemanalyse en verkenning hoekpunten" (Slootjes et al., 2011). Immers in tabel 4.2 van die rapportage wordt duidelijk dat een faalkans verlaging van de Europoortkering van 1:100 naar 1:10.000 voor Rotterdam resulteert in een MHW verlaging van 0,4m tot 0,9m bij een zeespiegelstijging van 0,35m respectievelijk 1,30m. Voor Dordrecht is die MHW-verlaging door een lagere faalkans echter minder (10-20 cm) aanwezig, blijkbaar omdat andere invloeden als een hoge Rijnafvoer daar veel dominanter zijn.

Een tweede linie waterkeringen is daarom een reële optie. Van belang is dan op welke locatie deze kering komt of deze keringen komen te liggen, welke faalkans kan worden verwacht (o.a. afhankelijk van het type kering), welk operationeel gebruik verstandig lijkt (vooral sluitpeil) en of er nog andere functies aan kunnen worden gekoppeld (zoals oeververbindingen). De mogelijkheden zullen in de volgende paragrafen worden verkend en van daaruit zullen suggesties worden gedaan voor nadere uitwerking en aanvullende berekeningen.

6.1.2 Locatie tweede linie keringen

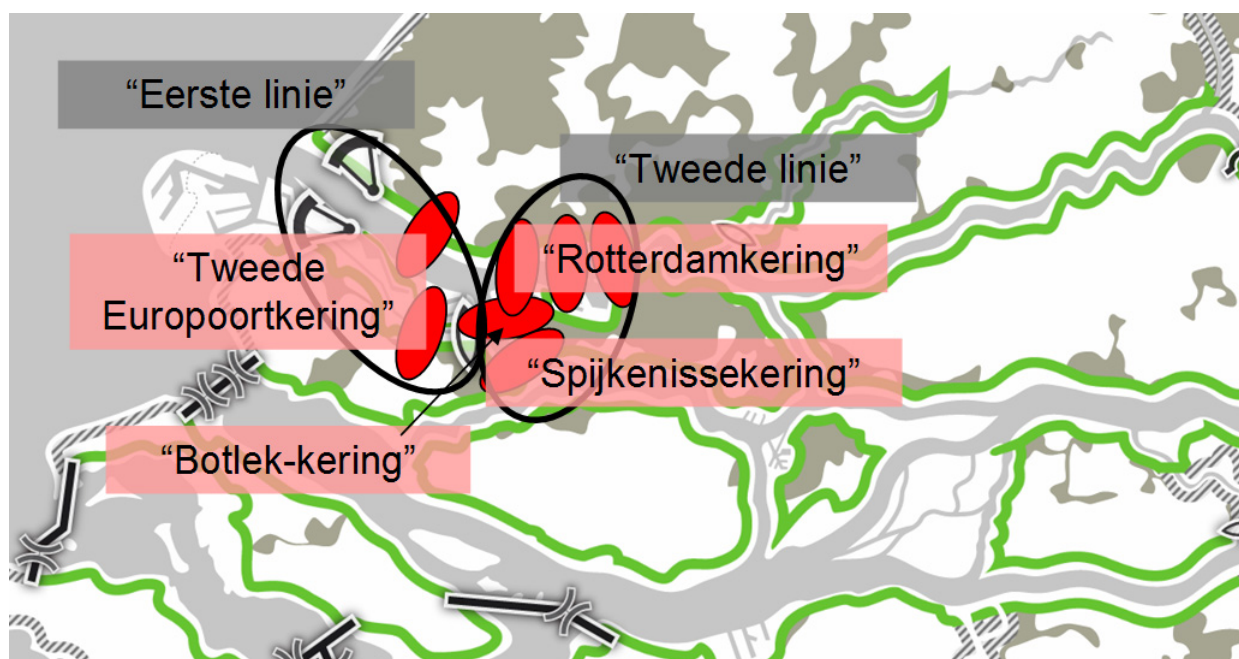
Wanneer de tweede linie keringen slechts zou worden gezien als een tweede set van waterkeringen naast de bestaande Europoortkering, die dan gezamenlijk een dubbele betrouwbare kering vormen, dan zouden ze direct achter de bestaande Maeslantkering en Hartelkering kunnen worden gebouwd in respectievelijk de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal. Wanneer we er van uitgaan dat de faalkans van deze tweede linie van keringen

minstens het betrouwbaarheidsniveau van de huidige Maeslantkering respectievelijk Hartelkering zullen halen, is deze variant feitelijk al uitgezocht in de eerder genoemde studie. Want het maakt voor het effect op de Rijnmond-Drechtsteden niet uit of de Europoortkering wat betreft faalkans bij sluiten nu zelf sterk verbeterd wordt of dat dit wordt bereikt via een in serie geschakelde tweede set van hoogwaterkeringen.

Maar die tweede linie hoogwaterkeringen kunnen ook verder in het achterland worden geplaatst. Bijvoorbeeld één kering in de Nieuwe Maas en één in de Oude Maas, daarmee lijkt meer operationele vrijheid te ontstaan. Men zou Rotterdam als stad al kunnen beschermen, terwijl Rotterdam als haven vaker of langer open kan blijven (incl. de binnenvaart via de Oude Maas). Iets wat bij het recente onverwachte hoogwater met ondergelopen kelders van begin december 2011 wellicht al had gewerkt.

Een sub-optimalisatie zit dan nog in de keus welk deel van het Waal- / Eemhaven-complex binnen of buiten die tweede linie keringen komt te liggen. Mede gelet op het verschuiven van haven- naar stedelijke (woon-)functies.

Deze meer landinwaarts geplaatste keringen kunnen op termijn wel gepaard gaan met mogelijke dijkverhogingen in het gebied tussen de eerste en tweede linie hoogwaterkeringen.



Figuur 6-1: Schematische weergave van de locatie van de tweede linie keringen.

6.1.3 Tussen dichte dammen en open zeearmen

Om de voortdurende dreiging vanuit zee het hoofd te kunnen bieden werden in het verleden zeegaten of estuaria afgesloten met een dichte dam. Dat was economisch vaak voordeliger dan het ophogen van veel primaire zeedijken, die immers dan secundaire meerdijken waren geworden. Indien er sprake was van afvoer vanuit een rivier, diende die dam natuurlijk wel voorzien te worden van een spuisluis en indien er ook nog sprake was van scheepvaart werd tevens een schutsluis in de dam opgenomen. Zo ontstond een waterkering, met een relatief hoog veiligheidsniveau (bijv. Afsluitdijk).

Vanwege scheepvaartreizen en/of milieubelangen, én de toegenomen technische mogelijkheden, werden de laatste grote riviermondingen of estuaria echter niet meer permanent afgesloten, maar gingen alleen dicht bij verwachte extreme hoogwaterstanden door middel van beweegbare keringen. Hiervan bestaan vele varianten, afhankelijk van het belang dat men hecht aan geheel vrije doorvaart, aan getijreductie, aan betrouwbaarheid, aan onbelemmerd uitzicht in de open situatie, aan onderhoudbaarheid, etc.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van type beweegbare keringen en een aantal specifieke kenmerken. Een aantal typen zijn duidelijk gericht op "vrije doorvaart" in de geopende situatie, zoals de sectordeuren met horizontale as (bijv. toegepast in de Thames- en Ems-Barrier), sectordeuren met verticale as (bijv. toegepast in de Measlantkering en New Orleans/West closure complex), de flap- en klep-keringen (bijv. toegepast in Venetië), de zak- en roldeuren (bijv. toegepast in St-Petersburg en de sluizen van IJmuiden) en de balgkering (zoals o.a. toegepast in Ramspol).

TYPE DEUR / BEWEGINGS-MECHANISME	EIGENSCHAPPEN												
	maximale breedte deur [m]	maximale hoogte deur [m]	maximaal verval [m]	modulair uitbreidbaar [ja/nee]	2 richtingen kieren [ja/nee]	gecontroleerd waterlevel [ja/nee]	schutsluis functie 1 [ja/nee]	openen met head mogelijk [ja/nee]	scheepvaart belemmering [categorie]	materiaal gebruik [categorie]	faalkans gevoeligheid [categorie]	onderhoud [categorie]	zichtbaarheid [categorie]
 sectordeur	15 - 40	8	2	ja	mogelijk	nee	mogelijk	?	geen	groot	groot	groot	gemiddeld
 balg	20 - 120	10	6	ja	ja	nee	nee	?	geen	laag	gemiddeld	laag	laag
 klep	2 - 6	8	2	ja	nee	nee	mogelijk	?	geen	gemiddeld	groot	groot	laag
 puntdeur	4 - 20	25	10	ja	nee	nee	ja	?	gemiddeld (beetje smal)	gemiddeld	laag	gemiddeld	gemiddeld
 swingdeur	20 - 80	20	6	nee	mogelijk	nee	nee	?	geen	groot	groot	laag	groot
 rolstuw	10 - 50	5	2	ja	nee	ja	nee	?	groot	groot	gemiddeld	groot	groot
 waaierdeur	4 - 20	20	10	nee	nee	nee	ja	?	gemiddeld (beetje smal)	groot	laag	gemiddeld	gemiddeld
 oprijvende deur	5 - 50	5	2	ja	ja	nee	mogelijk	?	geen	gemiddeld	gemiddeld (kan auto, maar kan ook vast zitten)	groot	laag

Tabel 6-1a: Overzicht van type beweegbare keringen.

Wanneer het puur om de combinatie hoogwaterkering en spui-capaciteit gaat, komen vooral simpele en betrouwbare typen als hefschuiven en vizierschuiven in beeld (bijv. toegepast in de Oosterscheldekering respectievelijk de Haringvlietsluizen). Maar bij dit type is sprake van een beperkte doorvaarthoogte en dus hooguit geschikt voor binnenvaart (o.a. toegepast bij Hartelkering, Kromme Nolkering en de kering bij Krimpen).

TYPE DEUR / BEWEGINGS-MECHANISME	EIGENSCHAPPEN												
	maximale breedte deur [m]	maximale hoogte deur [m]	maximaal verval [m]	modulair uitbereikbaar [ja/nee]	2 richtingen kieren [ja/nee]	gecontroleerd waterlevel [ja/nee]	schutsluis functie ³ [ja/nee]	openen met head mogelijk [ja/nee]	scheepvaart belemmering ² [categorie]	materiaal gebruik [categorie]	faalkans gevoeligheid ¹ [categorie]	onderhoud [categorie]	zichtbaarheid [categorie]
 Poort / schotten	1 - 4	5	3	ja	ja, = goed mogelijk	ja	nee	?	groot	groot	laag	veel	groot
 vizier (hor.as)	15 - 65	10	3	ja	mogelijk	ja	nee	?	gemiddeld	laag	laag	gemiddeld	groot
 radiaal stuw / sectordeur	20 - 100	8	6	ja	nee, = heel slecht mogelijk	ja	nee	?	groot	gemiddeld	laag	gemiddeld	groot
 hefdeur	10 - 60	12	4	ja	ja	ja	ja	?	gemiddeld	groot	laag	gemiddeld	groot
 plofdam	5 - 40	5	1	ja	ja	nee	nee	?	groot	groot	laag	laag (het is een wiggoel kering)	groot
 roldeur	10 - 60	20	6	nee	ja	nee	ja	?	geen	groot	groot	groot	gemiddeld
 parachute	5 - 250 ?	20	5	ja	mogelijk	nee	mogelijk	?	geen	laag	gemiddeld	laag	laag
 segmentdeur	20 - 360	20	2	nee	nee	nee	nee	?	geen	gemiddeld	groot	groot	groot

Tabel 6-2b: Overzicht van type beweegbare keringen.

6.1.4 Betrouwbaarheid keringen

In het algemeen kan men stellen dat de betrouwbaarheid van een hoogwaterkering primair zal afhangen van de eenvoud van het concept (met name de sluitprocedure) en secundair van de "redundancy", die door de ontwerpers op alle niveaus van het systeem is aangebracht. Denk bijvoorbeeld aan de "toegestane" vijf weigerende hefschuiven van de Oosterscheldekering versus het sluiten van de twee relatief kwetsbare armen met bolscharnier van de Maeslantkering.

In dat licht is als hoogwaterkering de Oosterscheldekering te verkiezen boven een Maeslantkering, maar vanwege andere eisen als "vrije doorvaart" en aspecten als "onderhoudbaarheid" komt men soms toch tot andere compromis oplossingen, die geringer kunnen scoren wat betreft één enkel aspect als betrouwbaarheid.

6.1.5 Leeswijzer

In de voorgaande tekst is het probleem geïntroduceerd en de verschillende variabelen in kaart gebracht. De volgende paragraaf toont de varianten die zijn doorgerekend op waterstanden en sluitfrequenties en trekt daar conclusies uit. Vervolgens wordt de multifunctionaliteit beschouwd, en de relaties met de zoetwatervoorziening en de scheepvaart. Hierna vallen wellicht enkele varianten af. Een favoriete variant wordt vervolgens bepaald of opnieuw samengesteld op grond van verschillende effecten en aspecten. In de laatste paragraaf wordt tenslotte de voorkeursvariant kwalitatief geplaatst in het grotere kader van dijkversterking, scheepvaartbelangen, risicoreductie buitendijks en multifunctionele meerwaarde.

6.2 Varianten voor een tweede linie

6.2.1 Varianten

De varianten voor de 'tweede linie' worden gespecificeerd in Tabel 6-3, waar tevens de bijbehorende waterstanden en sluitfrequenties te zien zijn (de tabel is op A3 formaat en apart bijgevoegd).

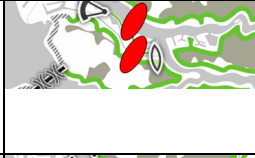
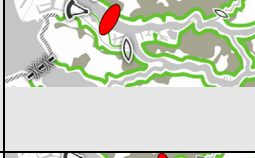
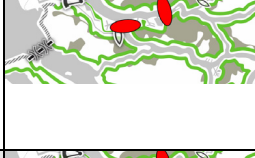
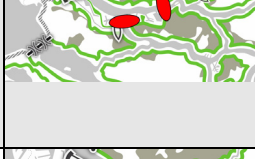
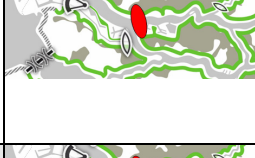
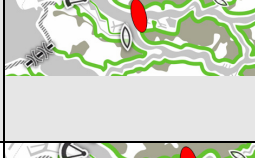
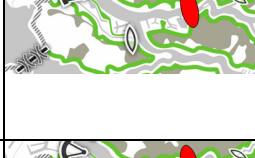
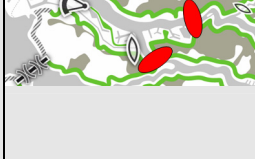
De varianten zijn als volgt samengesteld. De parameters die gevarieerd worden zijn de locaties, de sluitpeilen en de faalkansen. Het sluitpeil voor Dordrecht wordt bij alle varianten op de huidige 2.90 m+NAP gehandhaafd. Of een verlaging van het peil tot bijvoorbeeld 2.70 m+NAP een gunstig effect heeft voor Dordrecht (de MHW's én de buitendijkse gebieden in de Drechtsteden), is onderzocht in dit rapport in dit hoofdstuk 4. De veronderstelling is dat dit effect vergelijkbaar op zal gaan bij de 'tweede linie'-varianten. Een nieuwe kering zou sneller kunnen sluiten dan de bekende Maeslant- en Hartelkeringen, en daarmee een gunstig effect hebben. Ook kan een nieuw soort kering zodanig ontworpen worden dat het lekdebiet geringer is. Deze parameters worden echter niet gevarieerd bij de varianten, omdat te veronderstellen is dat deze parameters min of meer bij elke variant het (beperkt) gunstige effect van enkele cm MHW verlaging zullen hebben.

Voor alle keringen geldt dat ze in de open situatie een doorstroomprofiel hebben van 50% ten opzichte van de huidige situatie zonder kering.

Variant A: twee nieuwe keringen in de nabijheid van de bestaande Europoortkering, met beide een faalkans van 1:100 onafhankelijk ten opzichte van de faalkans van de Europoortkering, en gelijke sluitpeilen, geven als het ware een Europoortkering met een faalkans van 1:10.000.

Variant J: Het 'natte oppervlak' van de Hartelkering onder NAP is orde 900 vierkante meter; slechts 15% van die onder de Maeslantkering. Wellicht is het al gunstig om 'slechts' een tweede linie achter de Maeslantkering aan te leggen, en niet achter de huidige Europoortkering. Een variatie op J is om de extra kering achter de Maeslantkering als het ware in tweeën te splitsen en achter de monding van de Oude Maas te plaatsen, tussen de Botlek en de Petroleumhavens, zodat de scheepvaart tussen Europoort en de Oostelijke havens niet gehinderd wordt door een tweede Maeslantkering. Als deze twee keringen sluiten, kan de Maeslantkering zelfs vaker en langer open blijven (hoger sluitpeil), voor de zeescheepvaart naar de havens van Rotterdam.

Varianten G, H en F onderzoeken het effect van een kering die alleen Rotterdam beschermt. Het vermoeden is dat deze kering op Dordrecht en de zuidelijke waterlichamen weinig effect heeft, maar op Rotterdam aanzienlijk, vooral als het sluitpeil laag is. Om de rest van de Rijn-Maasmonding ook te beschermen dient een extra kering in de Oude Maas (bij Spijkenisse): varianten C, B en D. Hier wordt gevarieerd in sluitpeilen en faalkansen.

		Omschrijving	Locatie beweegbare kering	Sluitpeil Rdam (m)	Sluitpeil Dordt(m)	Faalkans		Sluitfrequentie (1 maal per X jaar)	Rotterdam (m)		Maassluis (m)		Goidschalksoord (m)		Dordrecht (m)	
									MHW	1/100	MHW	1/100	MHW	1/100	MHW	1/100
								ref 2015 →	3.60	3.12	3.44	2.93	2.86	2.53	2.89	2.59
ref		Huidige situatie	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	0.70	0.26	0.70	0.24	0.64	0.40	0.61	0.46
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	-	-	-		-								
			Oude Maas	-	-	-		-								
A		Dubbele Europoortkering	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:10.000		0.1	-0.03	0.22	-0.07	0.20	0.45	0.33	0.44	0.36
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:10.000		0.1								
			Nieuwe Maas	-	-	-		-								
			Oude Maas	-	-	-		-								
J*		Tweede linie in Nieuwe Waterweg, niet in Hartelkanaal	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:10.000		0.1	-0.03	0.22	-0.07	0.20	0.48	0.36	0.46	0.40
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas					-								
			Oude Maas					-								
K		Tweede linie achter Nieuwe Waterweg, niet in Hartelkanaal	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.24	0.70	0.24	0.49	0.36	0.46	0.40
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Oude Maas	3.00	2.90	1:100		0.1								
L		Tweede linie achter Nieuwe Waterweg met laag sluitpeil	Nieuwe Waterweg	3.60	2.90	1:100		9.5	-0.01	0.19	0.71	0.45	0.46	0.31	0.45	0.38
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:100		0.05								
			Oude Maas	3.00	2.90	1:100		0.1								
G1		Rdamkering- west Met hoog sluitpeil	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.19	0.70	0.24	0.64	0.40	0.55	0.44
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Oude Maas	-	-	-		-								
H1		Rdamkering- west Met laag sluitpeil	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.19	0.70	0.24	0.64	0.40	0.55	0.44
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:100		0.05								
			Oude Maas	-	-	-		-								
F1 *		Rdamkering- oost Met laag sluitpeil	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.19	0.70	0.24	0.64	0.40	0.55	0.44
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:100		0.05								
			Oude Maas	-	-	-		-								
F2 *			Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.10	0.20	0.70	0.24	0.64	0.40	0.50	0.43
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:1000		0.05								
			Oude Maas	-	-	-		-								
C1		Volledige tweede linie met hoog sluitpeil voor Dordt, laag voor Rdam	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.19	0.70	0.23	0.48	0.31	0.49	0.38
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:100		0.05								
			Oude Maas-west	3.00	2.90	1:100		0.1								

		Omschrijving	Locatie beweegbare kering	Sluitpeil Rdam (m)	Sluitpeil Dordt(m)	Faalkans		Sluitfrequentie (1 maal per X jaar)	Rotterdam (m)		Maassluis (m)		Goidschalksoord (m)		Dordrecht (m)	
									MHW	1/100	MHW	1/100	MHW	1/100	MHW	1/100
								ref 2015 →	3.60	3.12	3.44	2.93	2.86	2.53	2.89	2.59
C2			Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.11	0.18	0.69	0.24	0.40	0.30	0.41	0.34
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:1000		0.05								
			Oude Maas-west	3.00	2.90	1:1000		0.05								
B1 *		Volledige tweede linie met hoog sluitpeil voor Dordt en Rdam	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.23	0.70	0.24	0.49	0.36	0.50	0.40
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Oude Maas-west	3.00	2.90	1:100		0.1								
B2 *			Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.10	0.20	0.69	0.24	0.40	0.30	0.41	0.35
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	3.00	2.90	1:1000		0.1								
			Oude Maas-west	3.00	2.90	1:1000		0.1								
D1 *		Volledige tweede linie met laag sluitpeil voor Dordt en Rdam	Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.01	0.19	0.70	0.23	0.48	0.31	0.49	0.38
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:100		0.05								
			Oude Maas	2.00	2.90	1:100		0.05								
D2 *			Nieuwe Waterweg	3.00	2.90	1:100		0.1	-0.11	0.18	0.69	0.24	0.40	0.29	0.41	0.33
			Hartelkanaal	3.00	2.90	1:100		0.1								
			Nieuwe Maas	2.00	2.90	1:1000		0.05								
			Oude Maas	2.00	2.90	1:1000		0.05								

Tabel 6-3: Effecten van de varianten beschouwd in deze studie. Klimaatscenario: zeespiegelstijging 85 cm; Max. afvoer Lobith 18.000 m3/s. Rood betekent: aparte run gedaan, zwart: de getallen zijn samengesteld uit andere runs.

6.2.2 Hydraulische berekeningen hoofdvarianten

In Tabel 6-3 staan de waterstanden en sluitfrequenties per variant. Er zijn vier locaties gekozen, zie de kaart. Locatie Maassluis ligt ten oosten van de 'Tweede Maeslantkering'.



Figuur 6-2: Ligging van de locaties waarvoor effecten zijn bepaald.

Uit de berekeningen zijn de volgende conclusies te trekken, steeds per variant, van boven naar onder:

Variant A

- De Europoortkering sluit bij 0,85 cm zeespiegelstijging 10 maal per jaar bij de huidige sluitpeilen.
- Een dubbele Europoortkering vangt voor Rotterdam en Maassluis de volledige zeespiegelstijging op.
- Een dubbele Europoortkering leidt nog wel tot waterstandstijgingen voor het buitendijks gebied.
- Goidschalxoord en Dordrecht hebben enig voordeel (max 20 cm MHW verlaging) maar minder dan Rotterdam, buitendijks zelfs vrijwel niet.

Varianten J, K

- Een extra Maeslantkering is eigenlijk al voldoende; een extra Hartelkering (verlagen van de faalkans van de Hartelkering van 1:100 naar 1:10.000) draagt nauwelijks bij aan een verlaging van de MHW's.

Variant L

- Als het sluitpeil van de Europoortkering verhoogd wordt naar 3,60 m+NAP (Rotterdam) en 2,90 m+NAP (Dordrecht), dan sluit deze bij 0,85 cm eens per 10 jaar, gelijk aan de huidige sluitfrequentie.
- Als het sluitpeil van de 'Rotterdamkering' naar 2 m+NAP gaat, sluit deze bij 0,85 cm 20 maal per jaar, aangezien dit in de wintermaanden is, zal dit ongeveer eens per week zijn; bij elke milde storm gaat hij dus al dicht.
- Als de Rotterdamkering een sluitpeil heeft van 2 m+NAP, is de 1/100 waterstand toch nog 3.31 m+NAP. De verklaring hiervoor is gelegen in de bijdrage van de rivierafvoer. Bij gemiddelde rivierafvoer en oostenwind levert de rivierafvoer in Rotterdam al een waterstand

van 3 m+NAP. Een sluitpeil van 2 m+NAP heeft dus weinig zin om het buitendijks gebied te beschermen, als de afvoerverdeling van de rivier niet tevens aangepast zou worden.

Varianten G, H

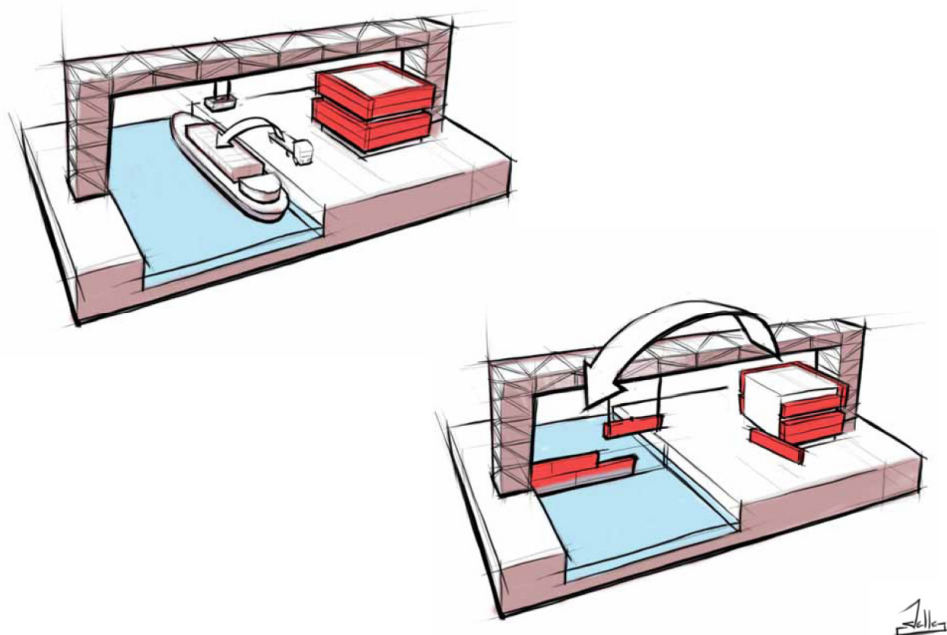
- Als de kering bij Spijkenisse wegvalt (ten opzichte van de beide keringen uit varianten L en K) leidt dat tot 10 cm MHW-verhoging in Dordrecht. Let wel dat G en H zijn samengesteld uit andere berekeningen en niet apart zijn doorgerekend.

Varianten F1 en F2

- Een faalkans van 1:1000 i.p.v. 1:100 (dus een totale faalkans voor de dubbele linie van respectievelijk 1:100.000 en 1:10.000) geeft voor Rotterdam toch nog een extra 10 cm MHW daling, voor Dordrecht scheelt dit ook nog vijf cm (terwijl de Oude Maas 'open' blijft!).
- De faalkans haalt voor de buitendijkse gebieden niet veel uit (die worden immers bepaald door de rivierafvoer).

Varianten B, C, D

- Een verlaging van het sluitpeil van 3 m+NAP naar 2 m+NAP betekent 'slechts' 2 maal zo vaak sluiten, en heeft weinig effect op de MHW's en het buitendijks gebied (zie ook de conclusie van variant L).
- Verlaging van de faalkans van de tweede linie met een factor 10 (van 1:100 naar 1:1000) (zodat het samen met de Europoortkering uitkomt op 1:100.000) heeft nog effect: bijna 10 cm voor Rotterdam én Dordrecht.



6.2.3 Multifunctionaliteit

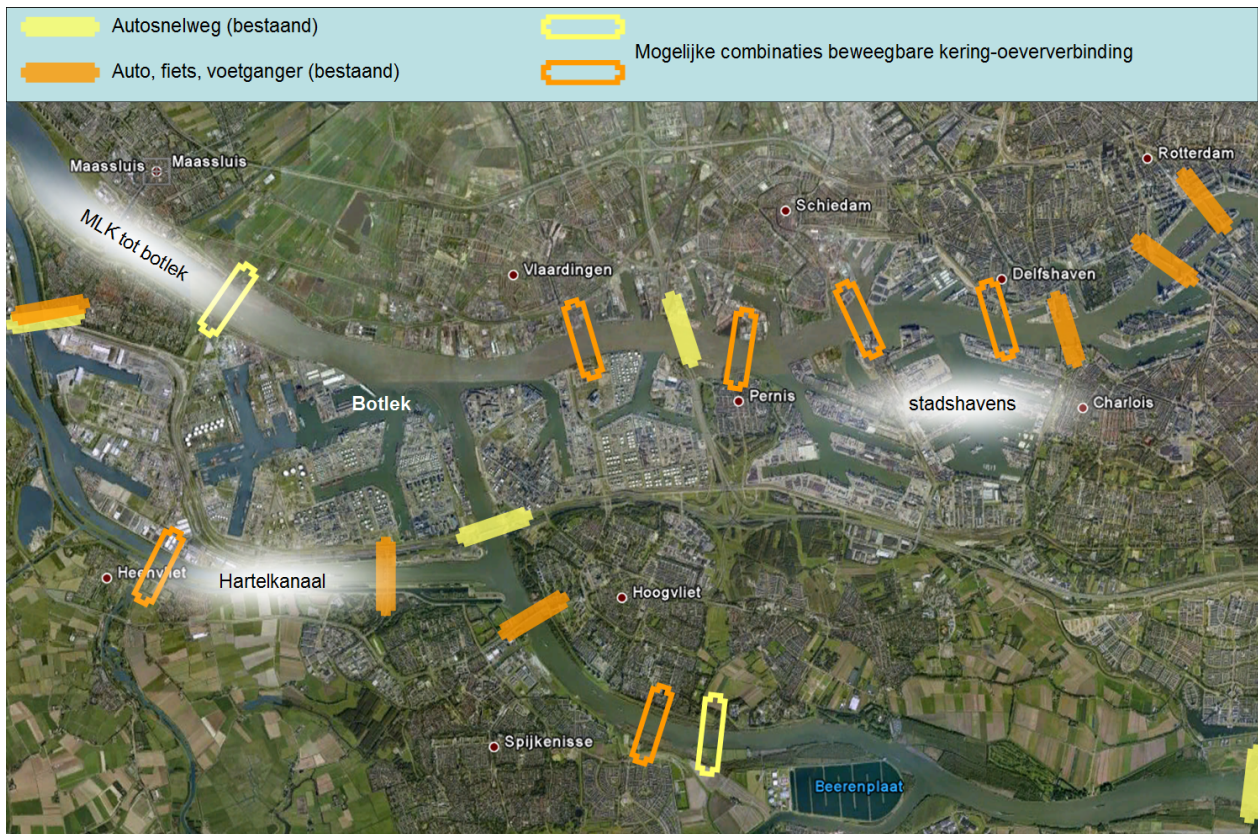
Voor de multifunctionaliteit verwijzen we naar het rapport 'multifunctionele beweegbare hoogwaterkeringen' door Floris van der Ziel en Anna Dijk (Dijk en Van der Ziel, 2010). Hun bevindingen en ideeën vatten we in deze paragraaf samen in oeververbinding, openbare ruimte, gebouwen (woningbouw/utiliteitsbouw), zoet-zout scheiding en overige mogelijkheden. Hieronder valt bijvoorbeeld het idee 'watertransferium' en 'overslagterminalkering'. Dit laatste

idee valt wellicht goed samen met overslag tussen zeeschepen en binnenvaartschepen, die eventueel doorgang kan vinden als de beweegbare kering gesloten is; de goederen worden dan als het ware 'over de kering heen' geheven.

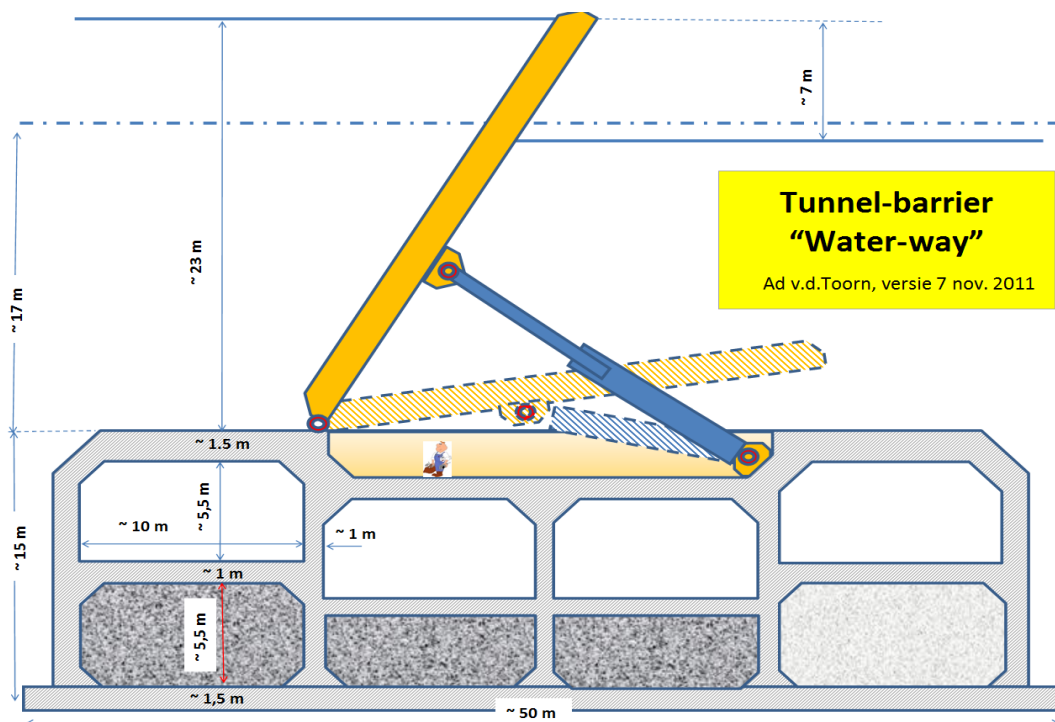
Uit de Tabel 6-4 blijkt dat vooral de kering in het stedelijk gebied veel kansen biedt. Het kan een stimulans zijn voor de Rotterdamse transformatie van haven naar stad, die verwacht wordt in de komende eeuw (vanuit het oosten naar het westen), net zoals de Erasmusbrug een impuls was voor de kop van Zuid. Het aantal architectonische mogelijkheden is eindeloos; van een restaurant en openbaar uitkijkpunt in het midden van de rivier tot een combinatie met woontorens aan de weerszijden van de brug. Waterbouwkundig synergievoordeel is dat de brug toegang voor onderhoud aan de kering verschaft, zoals bij de Oosterscheldekering.

	Oeververbinding (auto/fiets/trein)	Openbare ruimte	Woningbouw/ utiliteitsbouw	Zoet-zout scheiding	Overig, bvb Overslag
Maeslantkering -Botlek	Combi Blankenburgtunnel	x	x	x	?
	Verbinding Maassluis/Rozenburg				
Hartelkanaal	Heenvliet/Geervliet- Botlek/Brittaniehaven?	x	x	x	?
Vlaardingen, Pernis, stads- havens-west	Wellicht ter ontlasting Beneluxtunnel	Weinig ruimte elders beschikbaar, misschien tzt samen met herstructurering havens		Misschien als havens volledig weg zijn	Overslag zeeschepen binnenvaart?
Stadshavens- oost (ten oosten vd Waalhaven)	Vele mogelijkheden; stimulans ontwikkeling stadshavens			Parksluizen weer in gebruik	'Water- transferium'
Spijkenisse	Verbinding Hoogvliet en Spijkenisse-oost	x		x	?
	Combinatie met A4				
Botlek	Ontlasting Botlekbrug	x		x	Overslag zeeschepen binnenvaart?

Tabel 6-4: Locaties voor beweegbare keringen getoetst aan kansen voor multifunctionaliteit (groen = grote kans, geel = redelijke kans).



Figuur 6-3: De locaties voor mogelijke beweegbare keringen uit Tabel 6-1, kansen voor combinaties met oeververbindingen (en reeds bestaande oeververbindingen)



Figuur 6-4: Mogelijkheid om een tunnel te combineren met een hoogwaterkering. De tunnel is dan tevens de drempel voor de beweegbare onderdelen van de kering. Ook kan de tunnel wellicht toegang bieden tot onderhoud aan de kering. Procedures voor beide werken kunnen samen vallen en daarmee de bouw versnellen of op kosten besparen.

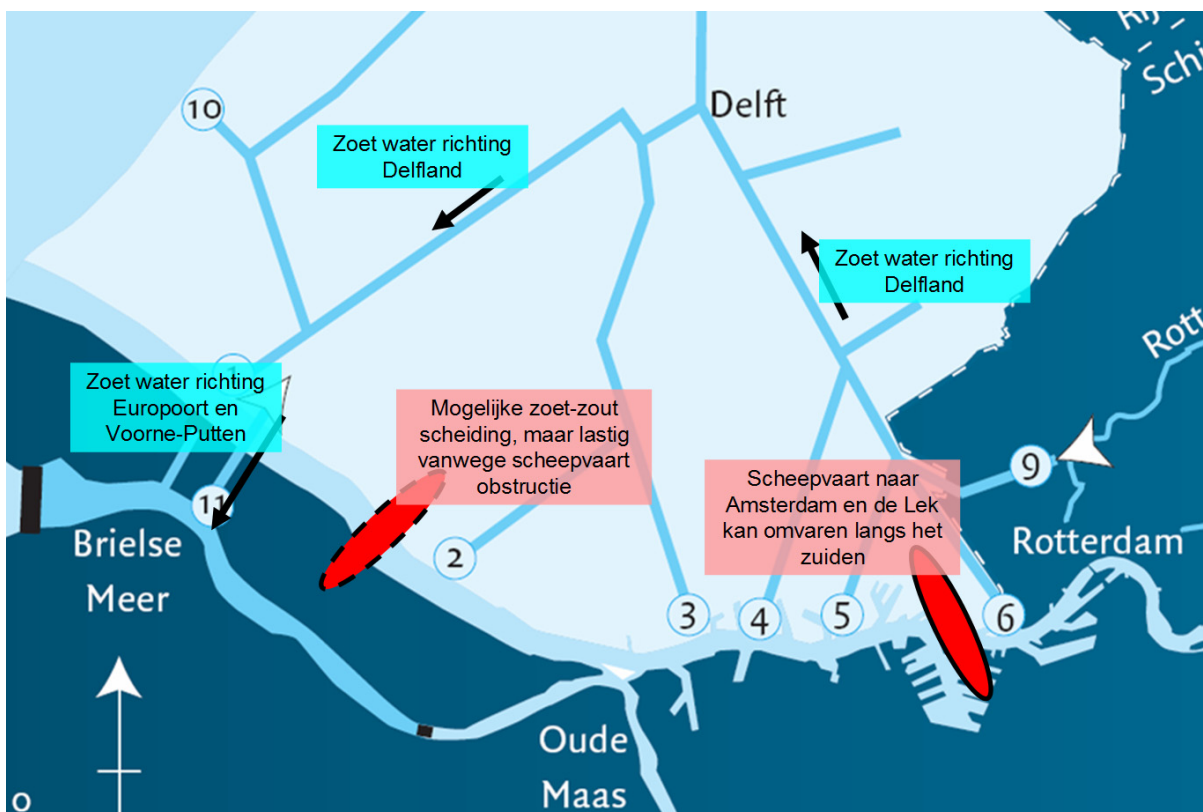
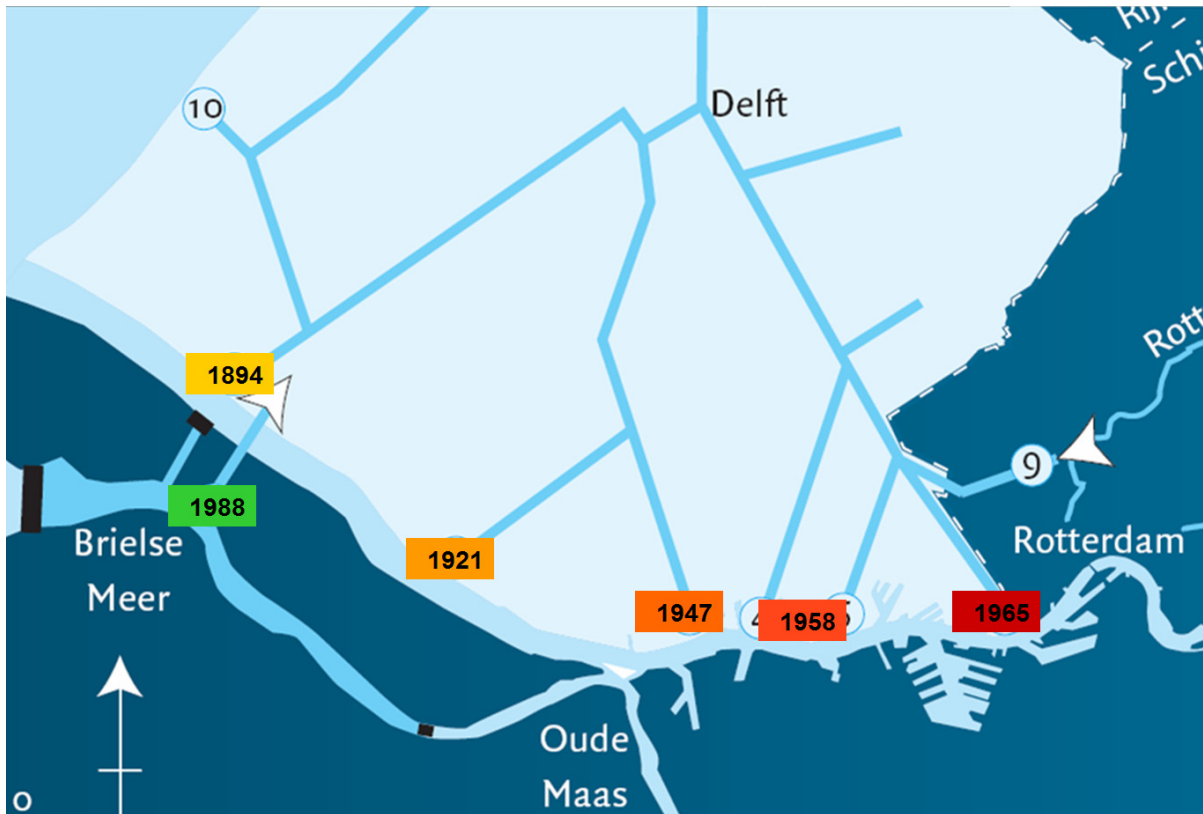
6.2.4 Relatie met zoetwatervoorziening

Van oudsher voorzien dammen in riviermondingen in vier kernfuncties: de zee buiten houden, waterniveau verhogen voor de scheepvaart, oeververbinding en het scheiden van zoet en zout. Afhankelijk van de precieze omstandigheden wordt één van deze functies wel eens minder goed voorzien. De dam en sluizen in het Noordzeekanaal bijvoorbeeld, dient niet echt als zoet-zout scheiding, omdat de spuisluizen voor de scheepvaart zo groot zijn dat bij het schutten een grote hoeveelheid zout water naar binnen komt. Dit zoute water zakt door het gewicht naar de bodem, helemaal tot in de grachten van Amsterdam (er komen ook haringen mee naar binnen, zodat er dus 'haringen in Amsterdam' zwemmen!). Deze zoute onderlaag mengt met de bovenlaag door wind en scheepvaart, waardoor het water in het Noordzeekanaal niet geschikt is om de landbouwgebieden ten noorden en zuiden ervan te voorzien van zoet water.

Een extra beweegbare kering in de Rijnmond zou ook als zoet-zout scheiding kunnen dienen.

In Figuur 6-5 is te zien dat de historische inlaatpunten langs de Maas gedurende een eeuw gesloten werden; dit als gevolg van het graven van de Nieuwe Waterweg en de verdieping van de Nieuwe Maas voor de zeescheepvaart. In 1988 werd de Brielse Meer pijplijn aangelegd om het westelijke Delfland te voorzien van water uit het Haringvliet. Hierdoor werd Delfland onafhankelijk van het oostelijke Schieland, dat in tijden van schaarste het zoete water uit het oosten niet altijd doorvoerde naar Delfland.

Als er een zoet-zout scheiding komt ten westen van een opgeheven inlaatpunt, bijvoorbeeld de parksluizen (gesloten in 1965), kan dit inlaatpunt weer gebruikt worden. Dit stelt wel eisen aan de beweegbare hoogwaterkering: het lekdebiet moet zodanig zijn dat de vermenging met de zoetwateraanvoer uit het Oosten (via de Lek en de Noord) een toelaatbaar chloridegehalte levert voor de inlaatpunten. Met een zoet-zoutscheiding in Rotterdam zal waarschijnlijk het inlaatpunt Gouda voor altijd veilig gesteld zijn, ook bij een zeker zoutlek. Maar het herstellen van de parksluizen kan nog een ander voordeel hebben: via de binnendijkse waterwegen is nu Delfland te voorzien, en het is zelfs wellicht mogelijk om de pijplijn naar het Brielse Meer van stroomrichting om te draaien, zodat Voorne-Putten en de Europoort geen zoet water meer krijgen vanuit het Haringvliet, maar vanuit Delfland! Dit zou aan de ecologische wens voor een zouter Haringvliet bijdragen.



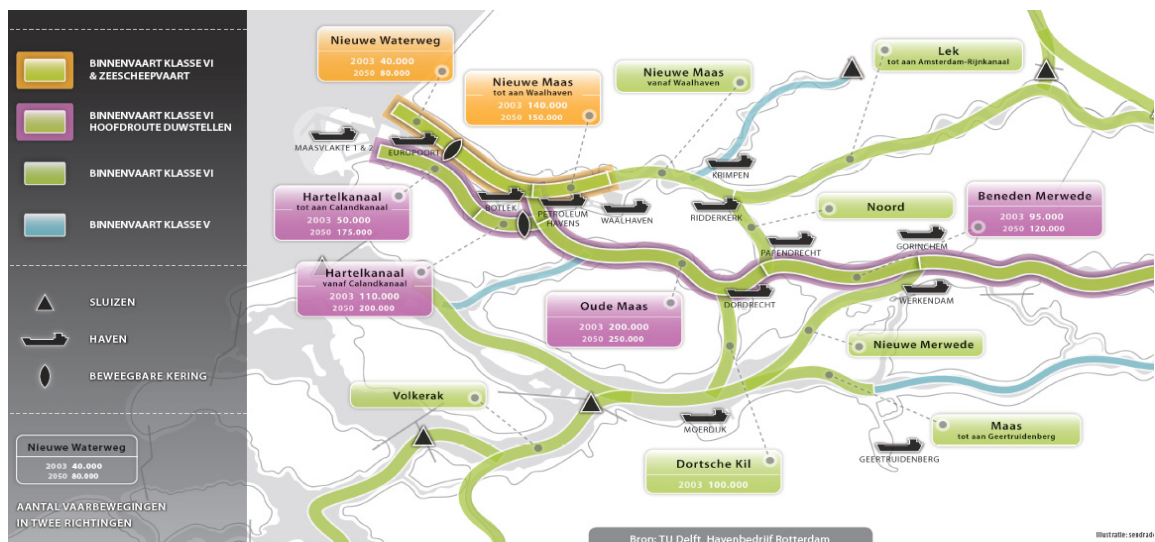
Figuur 6-5: Boven de jaren van sluiting van de inlaatpunten (oranje-rood), onder twee mogelijke locaties voor een zoet-zout scheiding (de rode ellipsen).

6.2.5 Relatie met scheepvaart

Voor druk bevaren routes is frequente obstructie van de scheepvaart ongewenst. Voor de zeescheepvaart die de Maeslantkering passeert zou men bijvoorbeeld een maximum van eens per enkele jaren kunnen beogen. Voor de binnenscheepvaart, dwz het Hartelkanaal en de Oude Maas, bijvoorbeeld maximaal eens per jaar. Een object in het oosten van de Nieuwe Maas zou vaker mogen sluiten omdat de schepen richting Amsterdam en de Lek ook kunnen omvaren om IJsselmonde heen. Om bij de Lek te komen is dat eigenlijk maar 15 km extra. Als een schip 30 km/uur vaart, betekent dat een langere vaartijd van 30 minuten. Dit zal een schipper vast kiezen boven 45 minuten wachten (dit is de gemiddelde schuttijd inclusief wachttijd). Probleem hierbij is dan weer de capaciteit van de Oude Maas. Hierover lopen de schattingen uiteen, maar het 'knooppunt Heerjansdam' is op te heffen door de bocht uit te baggeren. In de toekomst zullen bovendien de vaarbewegingen sterker gecoördineerd worden door een centraal logistiekstelsel, waardoor de capaciteit van alle vaarwegen ook toenemen zal.

Als een beweegbare kering tevens als zoet-zout scheiding wordt ingezet, zal deze niet alleen sluiten bij hoogwater, doorgaans in de winterperiode, maar ook bij droogte, doorgaans in de zomer. In de winter duurt een sluiting hooguit twee dagen. Zomersluitingen duren enkele weken. Dat betekent een flinke scheepvaartobstructie. Dit is op te lossen met sluizen zoals die ook langs de Hollandse IJsselkering en de Hartelkering liggen. Het schutten van schepen kost tijd, gemiddeld ca. 45 minuten per schip, mits er voldoende capaciteit is. De economische haalbaarheid van toegevoegde sluizen is onderzocht in een studie van KvK-1. Het komt er op neer dat sluizen voor het schutten van de volledige vloot ten tijde van stremming niet uit kan als dit laag frequent gebeurt. Het 'verzachten van de wonde' voor de schippers met de meeste haast, door een enkele kolk, zoals langs het Hartelkanaal, is wel te overwegen.

Vanwege de mogelijkheid van omvaren is een object in de Nieuwe Maas die volledig afsluit bij hoogwater én als zoet-zout scheiding niet ondenkbaar. De Rotterdammers hebben dan bovendien zoet water zonder scheepvaart in een droge zomer, wanneer het vaak ook lekker warm is en men wel eens de behoefte mocht hebben om een duik te nemen in de Nieuwe Maas.

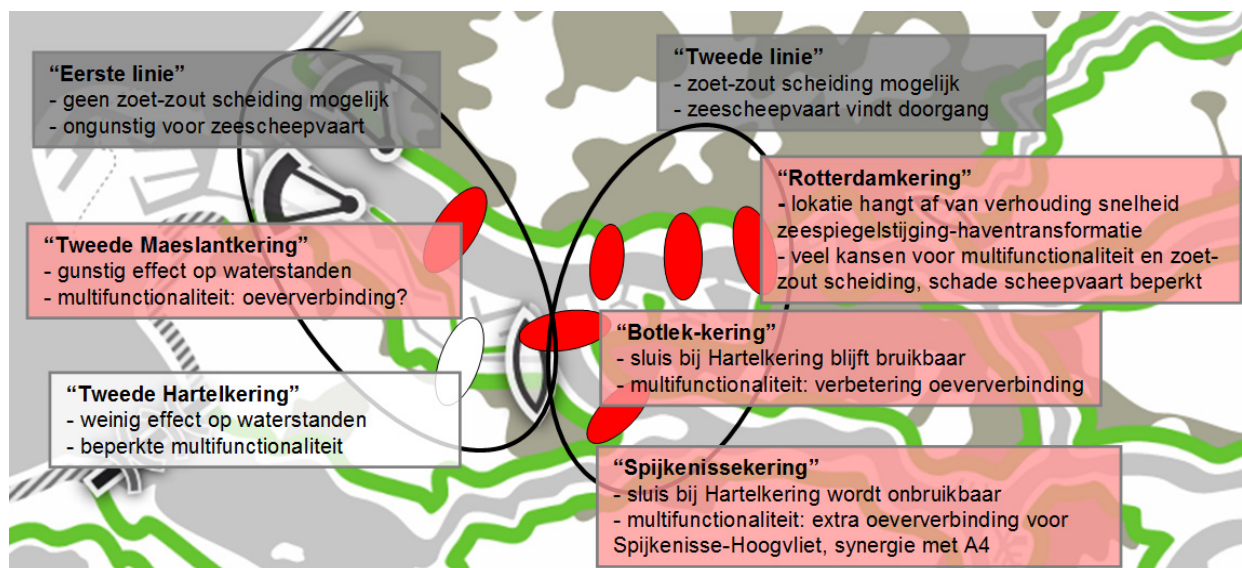


Figuur 6-6: Overzicht van de scheepvaartbewegingen in het Rijnmondgebied.

6.3 Conclusies en aanbevelingen

6.3.1 Voorkeursvarianten

Van de varianten die in de figuur hieronder staan valt alleen de "Tweede Hartelkering" echt af. Alle andere varianten hebben gunstige effecten op de MHW's in het gebied.



Figuur 6-7: Overwegingen voor de locatie van de tweede linie.

In deze studie ontbreekt een kwantitatieve kosten-baten analyse op alle relevantie criteria (MHW's, buitendijks, scheepvaart en multifunctionaliteit), en tevens een vergelijking met alternatieven zonder een 'tweede linie'. Hier volgt een poging tot een kwalitatieve redeneerlijn.

1. De primaire afweging is die tussen scheepvaart en dijkversterking. Het buitendijks gebied speelt ook een rol, maar het blijkt dat een tweede linie alléén geen soelaas biedt; immers, een sluitpeil van maar liefst 2 m+NAP leidt alsnog voor 1/100 waterstanden in Rotterdam en Dordrecht boven de huidige. Wil men die waterstanden verlagen, zullen aanvullende maatregelen nodig zijn in het oosten en zuiden.
2. Als blijkt dat dijkversterking te kostbaar is, is er vervolgens de keuze tussen de versterking van de eerste linie ten westen van de Oude Maas (de "tweede Maeslantkering"), of het aanleggen van een tweede linie ten oosten en zuiden van de Nieuwe Waterweg. Bij het versterken van de eerste linie moet het sluitpeil groeien richting 3,50 m+NAP, om een voor de zeescheepvaart acceptabele sluitfrequentie te behouden. Het is hier niet bekeken wat dit hoge sluitpeil betekent voor de buitendijkse gebieden in Rotterdam en elders. Bij het aanleggen van een tweede linie kunnen de sluitpeilen tussen de eerste linie en de tweede variëren, om de ideale sluitfrequentie voor respectievelijk de zeescheepvaart (die de eerste linie passeren moet) en de binnenvaart (die langs de tweede linie moet) in te stellen, en toch ook op de een of andere manier het buitendijks gebied te beschermen. Voorts kan multifunctionaliteit een rol spelen bij de keuze tussen de eerste of de tweede linie. In stedelijk gebied (de tweede linie) zijn er bredere kansen voor multifunctionaliteit en is er synergie mogelijk met een zoet-zout scheiding.

De kosten van een hoogwaterkering zijn min of meer evenredig met het natte oppervlak van en het te keren verval over die kering. Daarom zal een kering in de Nieuwe Maas, landinwaarts van het Waal-/ Eemhaven-complex, goedkoper uitvallen dan een kering in de Nieuwe Waterweg.

3. De locatie van de Rotterdamkering zal afhangen van de snelheid van de zeespiegelstijging versus het wegtrekken van de haven activiteiten. Als de zeespiegel snel stijgt, zal een kering ver in het Oosten, bijvoorbeeld vlak achter de ingang van de Waalhaven, nodig zijn om de zeeschepen voor de Waalhaven te blijven faciliteren. Als de Waalhaven al helemaal is getransformeerd tot stad, en er geen zeeschepen meer komen, kan de nieuwe kering verder naar het westen komen te liggen. Dan is er de keuze tussen de "Botlekkring" en de "Spijkenissekering". Een aardigheid van de Botlek kering is dat de sluis die nu reeds langs de Hartelkering ligt, nog gebruikt kan worden als de Hartelkering én de tweede linie gesloten zijn (maar de Maeslantkering nog open is voor de zeescheepvaart); er is als het ware een mogelijkheid om langs de tweede linie te "glippen". De kansen voor multifunctionaliteit zijn bij beide eigenlijk alleen gelegen in meekoppelen met een oeververbinding, zoals het verlengen van de A4 over de Oude Maas. De Spijkenisse locatie zal wellicht toch de voorkeur krijgen omdat het een prettige gedachte is dat de Hartelkering 'mag' falen. Ook is het bij de Spijkenissekering mogelijk om deze te sluiten en de Hartelkering nog open te laten, voor het beetje scheepvaart tussen het Hartelkanaal en de Havens van Rotterdam ten westen van de Rotterdamkering.

Gezien de uitkomsten van deze analyse kan in het algemeen gesteld worden dat een tweede linie met hoogwaterkeringen er zeker toe doet, immers ze doen bij een haalbaar geachte faalkans van 1:1000 bijna de gehele zeespiegelstijging van 0,85 meter te niet wat betreft het MHW bij Rotterdam. Het effect in Dordrecht is maximaal 20 cm, maar dit geldt wel voor vrijwel het hele zuiden en oosten van de Rijn-Maasmond, dus het zal ten opzichte van dijkversterking in het gehele gebied toch wel aantikken. Bovendien is uit de gevoeligheidsanalyse waterberging Volkerak-Zoommeer gebleken dat waterberging veel effectiever is als de Europoortkering betrouwbaarder is. Als men vervelende dijkversterkingen in de Rijn-Maasmonding wil voorkomen, zal de 'tweede linie' de klus moeten klaren samen met maatregelen aan de rivierzijde en waterberging in de zuidwestelijke delta. Het blijkt dat de buitendijkse gebieden er door de 'tweede linie' minder op vooruit gaan dan verwacht. Dit wordt toegeschreven aan de invloed van de rivierafvoer en de relatie met de waterbergingsmogelijkheden in de zuidwestelijke delta. Als de afvoerverdeling bij de Rijntakken en de Merwedese aan te passen mocht zijn, en de waterberging in de zuidwestelijke delta goed is in te zetten, dan zou dat de buitendijkse gebieden ten goede moeten kunnen komen. Dit kan voorts ook weer gunstig zijn voor de MHW's, vooral in Dordrecht.

Als laatste nog een opmerking over het befaamde cruise schip dat aanmeert bij Hotel New York, tot voorbij de tweede linie dus. De tweede linie zal gesloten zijn op ongezette tijden: het kan voorkomen dat het cruise schip jaren lang ongestoord Rotterdam in kan varen, het kan ook gebeuren dat Rotterdam een maand lang is afgesloten. Een oplossing hiervoor is om bij het aanleggen van de beweegbare hoogwaterkering in Rotterdam een aantrekkelijke afmeerplaats te ontwerpen voor het cruise schip. Als de kering de voorgestelde ruimtelijke impuls is voor de stadshavensontwikkeling, zal het cruise schip dat eveneens zijn.

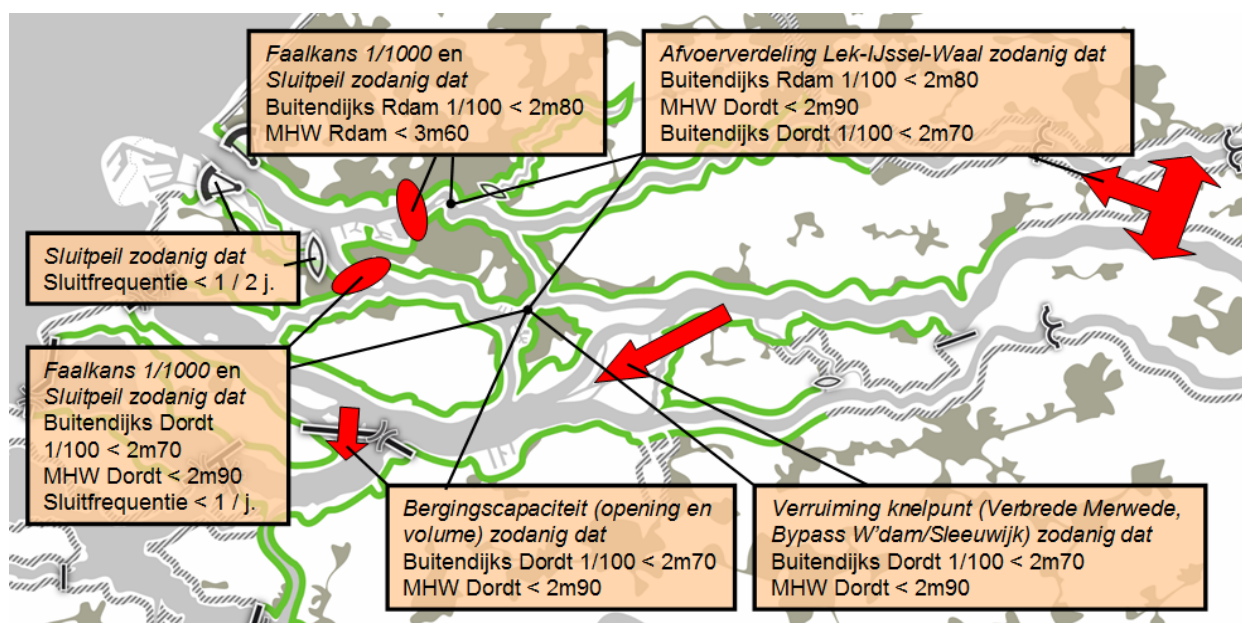
6.3.2 Aanbevelingen

U raadt het al: de grote aanbeveling is om het effect van de 'tweede linie' op de gehele Rijn-Maasmonding te onderzoeken tezamen met maatregelen in het oosten en het zuiden: het beïnvloeden van de afvoerverdeling over alle riviertakken door middel van regelwerken, overlaten, bypasses en andere ruimtelijke maatregelen, plus het vergroten van de mogelijkheden voor waterberging in de zuidwestelijke delta, zoals een grote overlaat in de Volkerakdam (het westelijke deel).

Voor studies naar de MHW's is het niet nodig met de sluitpeilen te variëren zolang deze enkele decimeters onder de bestaande toetspeilen blijven. Voor het buitendijks gebied en de scheepvaart moet in volgende studies wel met de sluitpeilen gevarieerd worden; voor de tweede linie tussen 2 m+NAP en 3 m+NAP maar ook tussen 3 en 4 m+NAP voor de eerste linie. Als er sturingsmogelijkheden zijn aan alle zijden, moeten sluitpeilen grote invloed kunnen hebben op buitendijkse waterstanden.

De tweede linie biedt zeer interessante aanknopingen voor multifunctionaliteit. Daarvoor kan het deltaprogramma aansluiten bij de lange termijn zoetwaterdiscussie, vanwege de grote voordelen van een goed afsluitbaar object in de Nieuwe Maas. Het Deltaprogramma kan verder zijn licht opsteken bij het debat rondom de Blankenburgtunnel en de A4 over de Oude Maas. Een combinatie tussen deze oeververbindingen met een hoogwaterkering kan technisch en procedureel synergievoordelen bieden.

Bij de auteurs is een beeld ontstaan van een oplossing voor de Rijn-Maasmonding die de MHW's én buitendijkse waterstanden overal stevig zou moeten kunnen verlagen, zie de prent onder aan deze pagina. Het uitgangspunt hierbij is om de 'knoppen' waar aan te draaien is, af te stemmen op de doelen in Rotterdam en Dordrecht. Dit komt neer op een grote overlaat in de Volkerakdam, een bypass Werkendam of zelfs Sleeuwijk, een verbreding van de Nieuwe Merwede en maatregelen om de afvoer te sturen (vooral om de Lek te ontzien). Het zou inzicht verschaffen om deze 'uiterste' oplossing te plaatsen naast een variant die juist helemaal niks doet aan verlaging van waterstanden, en de uiteindelijke oplossing zoekt in dijkversterking en aanpassing van het buitendijks gebied.

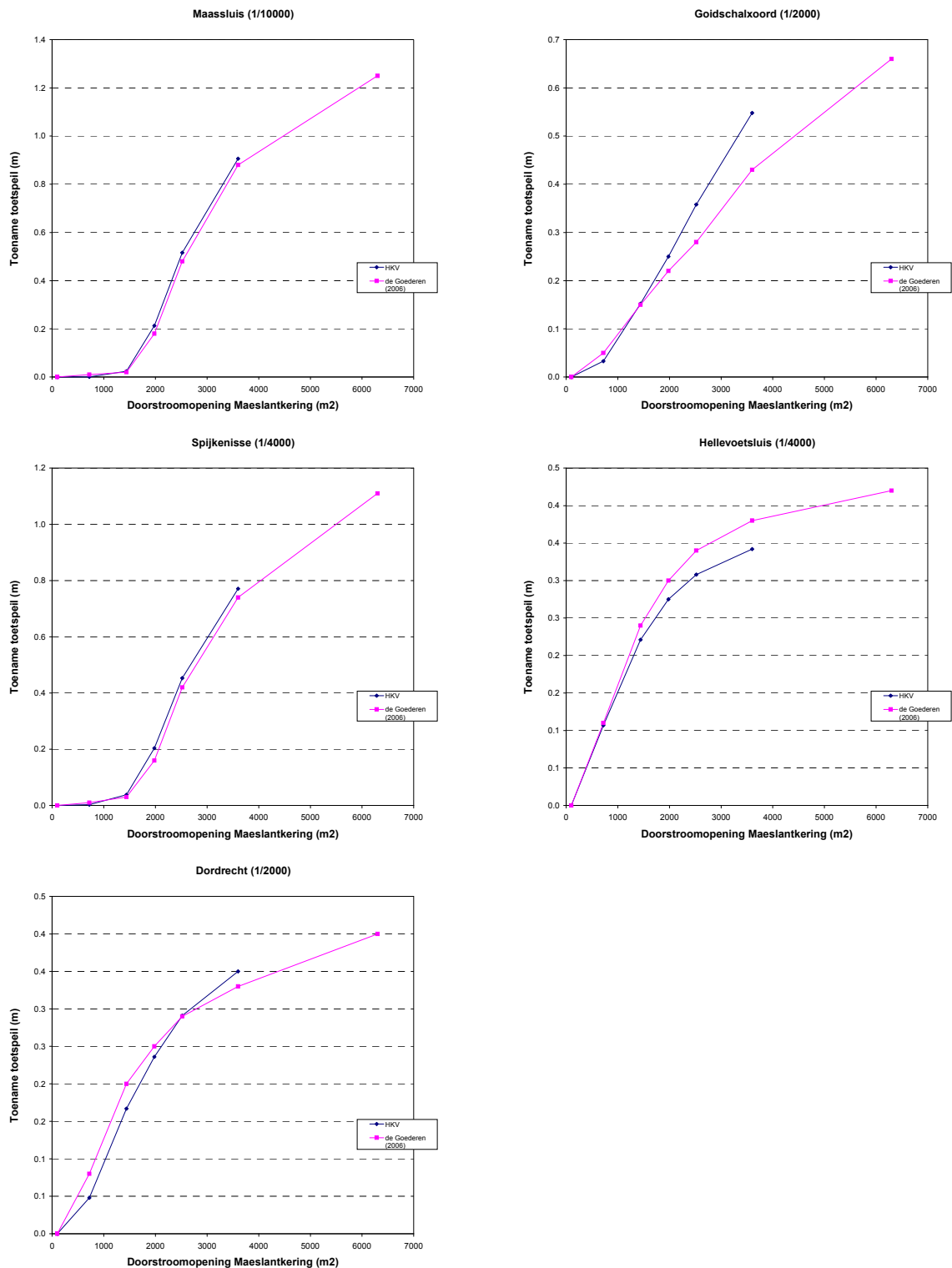


7 Referenties

- Dijk, A. en F. van der Ziel (2010), *Multifunctionele beweegbare waterkeringen, Projectgroep Afsluitbaar Open Rijnmond*, Haskoning, Nijmegen in opdracht van Kennis voor Klimaat.
- Gao, Q., E. Van Velzen en J. Van Zetten (2010), *Effecten van klimaatverandering en maatregelen op toetspeilen in de Rijn-Maasmonding, Verkennende Berekeningen Klimaatbestendigheid Waterland Nederland, Technisch achtergrond rapport*, Deltares, Delft, in opdracht van: Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Goederen, S. de (2006), *Gevolgen van (gedeeltelijk) functioneren Maeslantkering op hoogwaterstanden en toetspeilen*, RIZA werkdocument 2006.X, Versie 2.
- Keulen, B.A.M en L.H.M van Zuilen (2006), *Second Opinion Faalkans Maeslantkering, Integrale Rapport*, Horvat & Partners, Rotterdam, in opdracht van Rijkswaterstaat Zuid-Holland.
- Knoben, W.J.M. (2011), *Verdiepingsonderzoek naar oplossingsvariant Afsluitbaar zee- en rivierzijde, Een onderzoek naar verlaagde sluitcriteria van de Europoortkering en falen rivierkeringen in het kader van het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden*, Universiteit Twente, Enschede, in opdracht van: HKV lijn in water.
- Slootjes, N., A. Jeuken, T. Botterhuis en Q. Gao (2011), *Resultaten MHW berekeningen t.b.v. probleemanalyse en verkenning hoekpunten, voor het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, Delft*, in opdracht van: Delta-deelprogramma Rijnmond Drechtsteden.

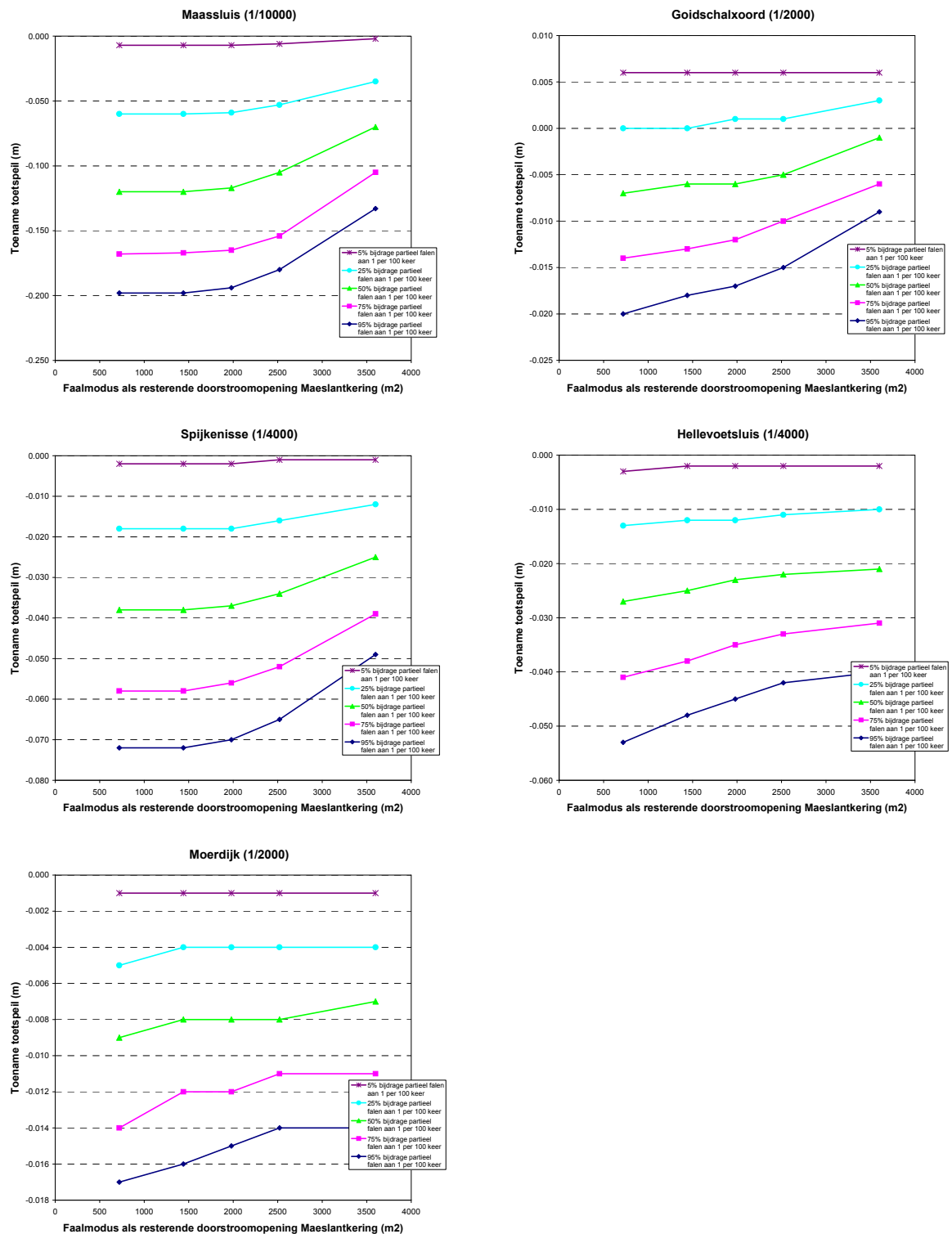
Bijlagen

Bijlage A Verificatie berekening faalmodi Maeslantkering



Figuur A-1: Vergelijking tussen de resultaten berekend door De Goederen (2006) en de nieuwe berekening met het 'Deltamodel vs0.1' (hierbij is de probabilistische berekening van De Goederen toegepast).

Bijlage B Resultaat berekening faalmodi Maeslantkering



Figuur B-2: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Maassluis, Spijkenisse, Goidschalxoord, Hellevoetsluis, Moerdijk en Werkendam (verschil met referentie als functie van kansbijdrage en faalmodus doorstroomopening).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	3.25	-0.20	3.28	-0.17	3.32	-0.12	3.38	-0.06	3.44	-0.01
afzinken 4,0 m.	3.25	-0.20	3.28	-0.17	3.32	-0.12	3.38	-0.06	3.44	-0.01
afzinken 5,5 m.	3.25	-0.19	3.28	-0.17	3.33	-0.12	3.39	-0.06	3.44	-0.01
afzinken 7,0 m	3.26	-0.18	3.29	-0.15	3.34	-0.11	3.39	-0.05	3.44	-0.01
afzinken 10,0 m	3.31	-0.13	3.34	-0.11	3.37	-0.07	3.41	-0.04	3.44	0.00

Tabel B-1: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Maassluis (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	3.43	-0.19	3.46	-0.16	3.50	-0.12	3.56	-0.05	3.61	-0.01
afzinken 4,0 m.	3.43	-0.19	3.46	-0.16	3.50	-0.12	3.56	-0.05	3.61	-0.01
afzinken 5,5 m.	3.43	-0.19	3.46	-0.16	3.50	-0.12	3.57	-0.05	3.61	-0.01
afzinken 7,0 m	3.45	-0.17	3.48	-0.14	3.52	-0.10	3.57	-0.05	3.61	0.00
afzinken 10,0 m	3.49	-0.13	3.51	-0.11	3.55	-0.07	3.59	-0.03	3.62	0.00

Tabel B-2: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Rotterdam (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	3.12	-0.07	3.13	-0.06	3.15	-0.04	3.17	-0.02	3.19	0.00
afzinken 4,0 m.	3.12	-0.07	3.13	-0.06	3.15	-0.04	3.17	-0.02	3.19	0.00
afzinken 5,5 m.	3.12	-0.07	3.14	-0.06	3.15	-0.04	3.17	-0.02	3.19	0.00
afzinken 7,0 m	3.13	-0.06	3.14	-0.05	3.16	-0.03	3.18	-0.02	3.19	0.00
afzinken 10,0 m	3.14	-0.05	3.15	-0.04	3.17	-0.02	3.18	-0.01	3.19	0.00

Tabel B-3: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Spijkenisse (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	2.76	-0.02	2.77	-0.01	2.78	-0.01	2.78	0.00	2.79	0.01
afzinken 4,0 m.	2.77	-0.02	2.77	-0.01	2.78	-0.01	2.78	0.00	2.79	0.01
afzinken 5,5 m.	2.77	-0.02	2.77	-0.01	2.78	-0.01	2.79	0.00	2.79	0.01
afzinken 7,0 m	2.77	-0.01	2.77	-0.01	2.78	0.00	2.79	0.00	2.79	0.01
afzinken 10,0 m	2.78	-0.01	2.78	-0.01	2.78	0.00	2.79	0.00	2.79	0.01

Tabel B-4: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Goidschalxoord (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	2.88	-0.02	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken 4,0 m.	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken 5,5 m.	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken 7,0 m	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00
afzinken 10,0 m	2.88	-0.01	2.88	-0.01	2.89	-0.01	2.89	0.00	2.89	0.00

Tabel B-5: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Dordrecht (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	2.42	-0.05	2.43	-0.04	2.45	-0.03	2.46	-0.01	2.47	0.00
afzinken 4,0 m.	2.42	-0.05	2.43	-0.04	2.45	-0.02	2.46	-0.01	2.47	0.00
afzinken 5,5 m.	2.43	-0.04	2.44	-0.04	2.45	-0.02	2.46	-0.01	2.47	0.00
afzinken 7,0 m	2.43	-0.04	2.44	-0.03	2.45	-0.02	2.46	-0.01	2.47	0.00
afzinken 10,0 m	2.43	-0.04	2.44	-0.03	2.45	-0.02	2.46	-0.01	2.47	0.00

Tabel B-6: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Hellevoetsluis (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	2.63	-0.02	2.63	-0.01	2.64	-0.01	2.64	-0.01	2.65	0.00
afzinken 4,0 m.	2.63	-0.02	2.64	-0.01	2.64	-0.01	2.64	0.00	2.65	0.00
afzinken 5,5 m.	2.63	-0.02	2.64	-0.01	2.64	-0.01	2.64	0.00	2.65	0.00
afzinken 7,0 m	2.63	-0.01	2.64	-0.01	2.64	-0.01	2.64	0.00	2.65	0.00
afzinken 10,0 m	2.63	-0.01	2.64	-0.01	2.64	-0.01	2.64	0.00	2.65	0.00

Tabel B-7: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Moerdijk (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Faalmodus Maeslantkering	Bijdrage partieel functioneren aan 1 per 100 keer									
	95%		75%		50%		25%		5%	
afzinken 2,0 m.	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00
afzinken 4,0 m.	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00
afzinken 5,5 m.	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00
afzinken 7,0 m	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00
afzinken 10,0 m	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00	3.76	0.00

Tabel B-8: Effect partieel functioneren op het toetspeil bij Werkendam (toetspeilen in m+NAP en verschil met referentie in m).

Bijlage C Resultaat berekening aanpassing sluitpeil

Resultaten voor locatie Rotterdam

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT12011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.26	-0.14	-0.04	-	0.04	0.10	0.13	0.15	0.15	0.16
	100	-0.33	-0.20	-0.06	-	0.06	0.18	0.28	0.36	0.42	0.45
	1000	-0.26	-0.18	-0.06	-	0.06	0.20	0.33	0.46	0.59	0.69
	2000	-0.24	-0.17	-0.06	-	0.06	0.20	0.33	0.47	0.59	0.70
	4000	-0.07	-0.07	-0.04	-	0.05	0.17	0.31	0.45	0.59	0.73
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.22	0.36	0.50	0.68
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.30	-0.17	-0.06	-	0.05	0.14	0.20	0.25	0.27	0.28
	100	-0.32	-0.20	-0.07	-	0.07	0.20	0.31	0.42	0.51	0.57
	1000	-0.12	-0.11	-0.05	-	0.06	0.18	0.31	0.45	0.58	0.70
	2000	-0.09	-0.09	-0.05	-	0.05	0.17	0.30	0.44	0.57	0.70
	4000	-	-	-	-	0.01	0.08	0.20	0.33	0.47	0.60
	10000	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.18	0.31	0.45
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.24	-0.19	-0.07	-	0.06	0.19	0.30	0.40	0.47	0.52
	100	-0.13	-0.12	-0.05	-	0.06	0.19	0.32	0.45	0.57	0.69
	1000	-	-	-	-	-	0.02	0.12	0.24	0.36	0.49
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.20	0.32	0.45
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.14	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.13
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.13	-0.13	-0.06	-	0.06	0.19	0.32	0.45	0.56	0.66
	100	-	-	-	-	-	0.06	0.18	0.31	0.44	0.57
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.11	0.23
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.08	0.19
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-9: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.36	-0.21	-0.05	-	0.05	0.12	0.15	0.16	0.18	0.19
	100	-0.37	-0.26	-0.09	-	0.09	0.27	0.42	0.48	0.59	0.62
	1000	-0.04	-0.04	-0.04	-	0.04	0.22	0.39	0.48	0.75	0.91
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.19	0.37	0.46	0.73	0.91
	4000	-	-	-	-	-	0.01	0.12	0.21	0.47	0.66
	10000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.26	0.44
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.38	-0.26	-0.09	-	0.09	0.20	0.29	0.33	0.35	0.36
	100	-0.21	-0.20	-0.09	-	0.09	0.26	0.44	0.62	0.73	0.80
	1000	-	-	-	-	-	0.05	0.19	0.37	0.54	0.72
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.14	0.32	0.49	0.67
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.24	0.42
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.22
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.03	-0.03	-0.02	-	0.08	0.25	0.43	0.58	0.67	0.73
	100	-	-	-	-	-	0.07	0.22	0.40	0.57	0.75
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.11	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.24
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-	-	-	-	-	0.09	0.26	0.43	0.61	0.76
	100	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.21	0.39
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-10: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.15	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.19	0.22	0.25
	1000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.33	0.39
	2000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
	4000	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
	10000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.18
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.31
	1000	-0.07	-0.06	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	2000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.03	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.24	0.32	0.38
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
	4000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.30	0.38	0.45
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.40
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.19
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03

Tabel C-11: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.05	-0.03	-	0.03	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.22	0.26	0.29
	1000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.36	0.43
	2000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
	4000	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.10	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35
	1000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.17	0.27	0.36	0.44
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
	4000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.15	0.24	0.34	0.43	0.51
	100	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13	0.24	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-12: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Rotterdam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Resultaten voor locatie Dordrecht

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.14	0.19	0.22	0.24
	1000	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.04	0.11	0.19	0.26	0.32	0.38
	2000	-0.12	-0.09	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.26	0.33	0.39
	4000	-0.07	-0.07	-0.03	-	0.03	0.11	0.19	0.28	0.36	0.43
	10000	-0.03	-0.03	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.17
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.16	0.22	0.27	0.30
	1000	-0.05	-0.05	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.25	0.33	0.40
	2000	-0.04	-0.04	-0.02	-	0.03	0.09	0.17	0.25	0.33	0.40
	4000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.07	0.14	0.22	0.31	0.39
	10000	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.17	0.26	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.08	0.15	0.23	0.30	0.37
	1000	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.14	0.22	0.31
	2000	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.21	0.30
	4000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22
	10000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.14
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.07	-0.07	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.28	0.36	0.43
	100	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.14
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01

Tabel C-13: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.08	-0.03	-	0.02	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.20	0.26	0.28
	1000	-0.08	-0.08	-0.03	-	0.04	0.11	0.19	0.24	0.35	0.41
	2000	-0.07	-0.07	-0.03	-	0.04	0.11	0.19	0.24	0.36	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.03	0.10	0.18	0.22	0.37	0.45
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.14	0.18	0.32	0.42
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.09	-0.08	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.24	0.30	0.34
	1000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34	0.41
	2000	-	-	-	-	0.01	0.07	0.15	0.24	0.33	0.41
	4000	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.16	0.26	0.36
	10000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.29
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.27	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.05	0.11	0.20	0.29	0.36
	1000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.08	0.15	0.24
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.14	0.23
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.07
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-	-	-	-	0.03	0.12	0.21	0.31	0.39	0.47
	100	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.19	0.29
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-14: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT12011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.15	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.19	0.22	0.25
	1000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.33	0.39
	2000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
	4000	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
	10000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.18
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.31
	1000	-0.07	-0.06	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	2000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.03	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.24	0.32	0.38
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
	4000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.30	0.38	0.45
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.40
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.19
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03

Tabel C-15: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.05	-0.03	-	0.03	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.22	0.26	0.29
	1000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.36	0.43
	2000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
	4000	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.10	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35
	1000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.17	0.27	0.36	0.44
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
	4000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.15	0.24	0.34	0.43	0.51
	100	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13	0.24	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-16: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Dordrecht voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Resultaten voor locatie Hellevoetsluis

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.16	-0.10	-0.03	-	0.03	0.07	0.09	0.11	0.11	0.11
	100	-0.12	-0.09	-0.03	-	0.04	0.11	0.18	0.24	0.28	0.30
	1000	-0.05	-0.04	-0.03	-	0.04	0.12	0.22	0.31	0.39	0.45
	2000	-0.04	-0.04	-0.03	-	0.03	0.12	0.21	0.30	0.39	0.46
	4000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.08	0.18	0.28	0.37	0.45
	10000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.22	0.32	0.41
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.19	-0.12	-0.04	-	0.04	0.11	0.16	0.20	0.21	0.22
	100	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.13	0.21	0.29	0.35	0.39
	1000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.14	0.24	0.33	0.42
	2000	-	-	-	-	0.01	0.05	0.13	0.23	0.32	0.41
	4000	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.15	0.26	0.36
	10000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.19	0.30
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.05	-0.02	-	0.03	0.12	0.20	0.28	0.34	0.39
	100	-	-	-	-	0.01	0.05	0.12	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.23
	2000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.12	0.21
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.14
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.07
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.19	0.29	0.39	0.47
	100	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.18	0.29
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.06
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-17: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevoetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.20	-0.14	-0.04	-	0.03	0.08	0.11	0.12	0.13	0.13
	100	-0.05	-0.05	-0.04	-	0.02	0.14	0.23	0.27	0.35	0.37
	1000	-	-	-	-	-	0.06	0.18	0.23	0.39	0.47
	2000	-	-	-	-	-	0.05	0.17	0.23	0.39	0.47
	4000	-	-	-	-	-	-	0.08	0.14	0.32	0.42
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.24	0.36
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.15	-0.14	-0.06	-	0.06	0.15	0.22	0.26	0.28	0.28
	100	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.03	0.12	0.25	0.35	0.43	0.48
	1000	-	-	-	-	-	-	0.04	0.16	0.27	0.38
	2000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.14	0.26	0.37
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.17	0.29
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.21
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-	-	-	-	0.01	0.07	0.20	0.29	0.38	0.43
	100	-	-	-	-	-	-	0.03	0.12	0.23	0.35
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.13
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.11
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-	-	-	-	-	-	0.07	0.20	0.33	0.44
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.17
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-18: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevoetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.15	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.19	0.22	0.25
	1000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.33	0.39
	2000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
	4000	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
	10000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.18
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.31
	1000	-0.07	-0.06	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	2000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.03	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.24	0.32	0.38
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
	4000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.30	0.38	0.45
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.40
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.19
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03

Tabel C-19: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevoetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.05	-0.03	-	0.03	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.22	0.26	0.29
	1000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.36	0.43
	2000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
	4000	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.10	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35
	1000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.17	0.27	0.36	0.44
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
	4000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.15	0.24	0.34	0.43	0.51
	100	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13	0.24	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-20: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Hellevoetsluis voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Resultaten voor locatie Schoonhoven

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.09	0.11	0.11	0.12
	100	-0.03	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
	1000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
	2000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
	4000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
	10000	-0.01	-0.01	-	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.08	-0.05	-0.02	-	0.02	0.06	0.10	0.13	0.15	0.16
	100	-0.04	-0.02	-0.01	-	-	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
	1000	-0.03	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
	2000	-0.04	-0.02	-0.01	-	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
	4000	-0.04	-0.03	-0.01	-	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07
	10000	-0.03	-0.02	-0.01	-	0.01	0.04	0.06	0.09	0.11	0.12
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.03	-0.01	-	0.01	0.04	0.07	0.10	0.14	0.17
	100	-0.08	-0.06	-0.02	-	0.02	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11
	1000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.04	0.07	0.10	0.12	0.13
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.04	0.07	0.10	0.12	0.13
	4000	-	-	-	-	0.01	0.04	0.07	0.10	0.14	0.16
	10000	-	-	-	-	-	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.08	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.17	0.21	0.25
	100	-0.03	-0.03	-0.02	-	0.02	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19
	1000	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.08	0.12	0.15
	2000	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.08	0.12	0.15
	4000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05	0.10	0.14
	10000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05	0.10

Tabel C-21: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.10	-0.07	-0.03	-	0.03	0.09	0.12	0.13	0.15	0.15
	100	-0.03	-0.02	-	-	0.01	0.02	0.04	0.05	0.08	0.10
	1000	-0.03	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
	2000	-0.03	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
	4000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
	10000	-0.01	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.07	-0.05	-0.02	-	0.02	0.06	0.11	0.15	0.17	0.19
	100	-0.04	-0.02	-	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
	1000	-0.03	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
	2000	-0.03	-0.03	-0.01	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
	4000	-0.04	-0.04	-0.03	-	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
	10000	-0.02	-0.02	-0.02	-	-	0.04	0.06	0.08	0.11	0.12
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.03	-0.01	-	0.01	0.03	0.06	0.10	0.13	0.17
	100	-0.06	-0.06	-0.03	-	0.03	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12
	1000	-	-	-	-	0.01	0.04	0.07	0.10	0.12	0.14
	2000	-	-	-	-	-	0.04	0.07	0.10	0.12	0.14
	4000	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.09	0.12	0.16
	10000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.07	0.12	0.16
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.04	-0.04	-0.04	-	0.05	0.11	0.16	0.19	0.24	0.28
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.16	0.18	0.20
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.06	0.10	0.14
	2000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.06	0.10	0.14
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.07	0.11
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07

Tabel C-22: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.15	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.19	0.22	0.25
	1000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.33	0.39
	2000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
	4000	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
	10000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.18
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.31
	1000	-0.07	-0.06	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	2000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.03	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.24	0.32	0.38
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
	4000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.30	0.38	0.45
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.40
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.19
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03

Tabel C-23: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.05	-0.03	-	0.03	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.22	0.26	0.29
	1000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.36	0.43
	2000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
	4000	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.10	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35
	1000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.17	0.27	0.36	0.44
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
	4000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.15	0.24	0.34	0.43	0.51
	100	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13	0.24	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-24: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Schoonhoven voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Resultaten voor locatie Moerdijk

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.13	-0.08	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.10	-0.07	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.20	0.23	0.25
	1000	-0.05	-0.05	-0.02	-	0.03	0.10	0.18	0.26	0.33	0.38
	2000	-0.04	-0.04	-0.02	-	0.03	0.10	0.18	0.26	0.34	0.39
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.08	0.16	0.26	0.34	0.42
	10000	-	-	-	-	0.01	0.05	0.12	0.22	0.31	0.40
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.10	-0.03	-	0.03	0.09	0.14	0.18	0.19	0.20
	100	-0.08	-0.06	-0.03	-	0.03	0.11	0.18	0.24	0.29	0.33
	1000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.06	0.14	0.22	0.31	0.38
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	4000	-	-	-	-	-	0.03	0.08	0.17	0.26	0.36
	10000	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.21	0.31
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.04	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.22	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.05	0.11	0.19	0.27	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.15	0.24
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.06	0.14	0.23
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.15
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.18	0.27	0.36	0.43
	100	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20	0.30
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-25: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.13	-0.10	-0.03	-	0.03	0.08	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.18	0.20	0.27	0.29
	1000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.07	0.17	0.22	0.34	0.40
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.06	0.16	0.21	0.34	0.41
	4000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.14	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.08	0.25	0.36
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.11	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.18	0.22	0.24	0.25
	100	-0.03	-0.03	-0.01	-	0.02	0.10	0.19	0.27	0.33	0.37
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.08	0.17	0.28	0.36
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.07	0.16	0.27	0.36
	4000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.19	0.31
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.23
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.01	-0.01	-	-	0.02	0.07	0.15	0.23	0.29	0.34
	100	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.14	0.23	0.32
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.06	0.17
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.15
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-	-	-	-	-	0.03	0.12	0.23	0.33	0.42
	100	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.22
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-26: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.15	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.19	0.22	0.25
	1000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.33	0.39
	2000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
	4000	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
	10000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.18
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.31
	1000	-0.07	-0.06	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	2000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.03	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.24	0.32	0.38
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
	4000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.30	0.38	0.45
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.40
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.19
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03

Tabel C-27: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.05	-0.03	-	0.03	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.22	0.26	0.29
	1000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.36	0.43
	2000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
	4000	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.10	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35
	1000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.17	0.27	0.36	0.44
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
	4000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.15	0.24	0.34	0.43	0.51
	100	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13	0.24	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-28: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Moerdijk voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Resultaten voor locatie Werkendam

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
	100	-0.01	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
	1000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
	2000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
	4000	-0.01	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
	10000	-0.01	-0.01	-	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07
	100	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
	1000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
	2000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
	4000	-0.04	-0.03	-0.01	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	10000	-0.03	-0.02	-0.01	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.01	-	-	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11
	100	-0.03	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
	1000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.01	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
	2000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
	4000	-	-	-	-	-	0.03	0.04	0.06	0.06	0.07
	10000	-	-	-	-	-	0.01	0.03	0.05	0.07	0.08
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.03	-0.02	-0.01	-	0.02	0.05	0.08	0.13	0.17	0.22
	100	-	-	-	-	0.01	0.02	0.05	0.06	0.08	0.11
	1000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.04	0.05	0.06
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.04	0.05	0.06
	4000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.03	0.05	0.07
	10000	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.06

Tabel C-29: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
	100	-0.01	-0.01	-	-	-	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04
	1000	-0.02	-0.01	-	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.03
	2000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
	4000	-0.02	-	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
	10000	-0.01	-	-	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.02
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07
	100	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05
	1000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
	2000	-0.02	-0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	4000	-0.04	-0.04	-0.02	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	10000	-0.03	-0.03	-0.01	-	-	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.01	-	-	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.11
	100	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
	1000	-	-	-	-	0.02	0.03	0.05	0.05	0.06	0.06
	2000	-	-	-	-	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
	4000	-	-	-	-	-	-	0.04	0.06	0.06	0.07
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.07	0.08
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-	-	-	-	0.02	0.04	0.08	0.12	0.17	0.22
	100	-	-	-	-	-	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
	1000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.03	0.04	0.06
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.05	0.06
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.07
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.05

Tabel C-30: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/100 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WT2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.07	-0.02	-	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10
	100	-0.15	-0.09	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.19	0.22	0.25
	1000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.33	0.39
	2000	-0.14	-0.10	-0.04	-	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.40
	4000	-0.10	-0.08	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.29	0.38	0.45
	10000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.11	0.20	0.29	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.14	-0.09	-0.03	-	0.03	0.08	0.12	0.15	0.17	0.18
	100	-0.13	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.23	0.27	0.31
	1000	-0.07	-0.06	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	2000	-0.06	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.27	0.35	0.42
	4000	-0.02	-0.02	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43
	10000	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.41
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.05	-0.04	-0.02	-	0.02	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30
	100	-0.03	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.16	0.24	0.32	0.38
	1000	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35
	2000	-	-	-	-	-	0.02	0.08	0.16	0.25	0.34
	4000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.18	0.27
	10000	-	-	-	-	-	-	0.01	0.04	0.11	0.20
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.10	-0.09	-0.04	-	0.04	0.12	0.21	0.30	0.38	0.45
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.31	0.40
	1000	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10	0.19
	2000	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.09	0.17
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.08
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03

Tabel C-31: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en standaard voorspelfout, in vet de normfrequentie).

Klimaat-scenario	Verandering van de waterstand in m. als functie van de aanpassing van het sluitpeil										
	Herh.tijd (jaar)	-50cm	-30cm	-10cm	-0cm	+10cm	+30cm	+50cm	+70cm	+90cm	+110cm
Huidig WTI2011	Sluitfreq.	1.35	2.94	6.39	9.42	13.89	30.19	65.63	142.69	310.21	674.40
	10	-0.12	-0.05	-0.03	-	0.03	0.07	0.10	0.11	0.12	0.12
	100	-0.14	-0.05	-0.03	-	0.03	0.10	0.17	0.22	0.26	0.29
	1000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.36	0.43
	2000	-0.09	-0.04	-0.03	-	0.04	0.11	0.20	0.29	0.37	0.44
	4000	-0.03	-0.02	-0.03	-	0.04	0.12	0.20	0.30	0.40	0.48
	10000	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18	0.27	0.38	0.47
KNMI'06 W (2050)	Sluitfreq.	0.46	1.01	2.22	3.28	4.86	10.65	23.35	51.18	112.19	245.93
	10	-0.13	-0.08	-0.03	-	0.03	0.09	0.15	0.18	0.20	0.21
	100	-0.10	-0.09	-0.03	-	0.03	0.10	0.18	0.25	0.30	0.35
	1000	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.09	0.17	0.27	0.36	0.44
	2000	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.02	0.09	0.17	0.26	0.36	0.44
	4000	-	-	-	-	-	0.04	0.12	0.20	0.31	0.41
	10000	-	-	-	-	-	-	0.06	0.15	0.24	0.35
KNMI'06 W (2100)	Sluitfreq.	0.03	0.08	0.20	0.31	0.49	1.18	2.86	6.93	16.79	40.70
	10	-0.02	-0.02	-0.02	-	0.02	0.07	0.14	0.21	0.28	0.32
	100	-	-	-	-	0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
	1000	-	-	-	-	-	-	0.03	0.11	0.18	0.28
	2000	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09	0.17	0.27
	4000	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.10	0.18
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.12
Veerman (2100)	Sluitfreq.	-	0.01	0.03	0.04	0.07	0.17	0.43	1.10	2.80	7.14
	10	-0.01	-0.01	-0.01	-	0.04	0.15	0.24	0.34	0.43	0.51
	100	-	-	-	-	-	-	0.06	0.13	0.24	0.34
	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.10
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.09
	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel C-32: Effect van aanpassing van het sluitpeil op de waterstanden bij Werkendam voor verschillende klimaatscenario's (faalkans 1/1000 en geen voorspelfout, in vet de normfrequentie).