Opdrachtgever: Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Verkenning additionele varianten voor het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Resultaten MHW- en kostenberekeningen

Auteurs: Ton Botterhuis
Jan Stijnen
Marit Zethof
Joost Beckers (Deltares)

PR2259 november 2011

Inhoud

Lijst van tabellen ..... **iii**

Lijst van figuren ..... **v**

1 Inleiding **1**
1.1 Kader 1
1.2 Probleem en doelstelling 1
1.3 Afbakening onderzoeksgebied 2
1.4 Leeswijzer 3

2 Uitgangspunten en randvoorwaarden **5**
2.1 Inleiding 5
2.2 Gebiedsinformatie 5
2.2.1 Referentiesituatie 5
2.2.2 Standaardmaatregelen 5
2.2.3 Additionele varianten 6
2.2.4 Variatie in afvoerverdeling 8
2.2.5 Scenario's 12
2.3 Gebruikte modellentrein 13
2.3.1 Rekenmethoden 13
2.3.2 Schematisatie referentie 14
2.3.3 Schematisatie extra varianten 16
2.4 Kostenberekeningen 17
2.4.1 Berekening van MHW effecten 17
2.4.2 Berekening van benodigde dijkverhoging 18
2.4.3 Berekening van kosten voor dijkverhoging 18

3 Toelichting additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen **21**
3.1 Inleiding 21
3.2 Oplossingsrichting 2: Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde 21
3.2.1 Variant 2a: Nieuwe Lek 21
3.2.2 Variant 2b: Waal 23
3.2.3 Variant 2c: IJssel 23
3.2.4 Variant 2d: Nieuwe Lek + zuidelijke keringen 24
3.2.5 Variant 2e: Waal + zuidelijke keringen 25
3.2.6 Variant 2f: IJssel + zuidelijke keringen 26
3.2.7 Variant 2g: Nieuwe Lek + verbreding Nieuwe Merwede 26
3.2.8 Variant 2h: Waal + verbreding Nieuwe Merwede 27
3.2.9 Variant 2i: IJssel + verbreding Nieuwe Merwede 28
3.3 Oplossingsrichting 3: Gesloten aan zee- en rivierzijde 29
3.3.1 Variant 3c: Gesloten zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek + verbrede Nieuwe Merwede 29
3.3.2 Variant 3d: Gesloten zee- en rivierzijde + Waal + verbrede Nieuwe Merwede 30

4 MHW's van de additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen 31
4.1 Inleiding 31
4.2 Oplossingsrichting 2: Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde 31
4.2.1 Variant 2c: IJssel 31
4.2.2 Variant 2d: Nieuwe Lek + zuid. keringen 33
4.2.3 Variant 2e: Waal + zuid. keringen 34
4.2.4 Variant 2f: IJssel + zuid. keringen 35
4.2.5 Variant 2g: Nieuwe Lek + verbrede Nieuwe Merwede 35
4.2.6 Variant 2h: Waal + verbrede Nieuwe Merwede 36
4.2.7 Variant 2i: IJssel + verbrede Nieuwe Merwede 38
4.3 Oplossingsrichting 3: Gesloten aan zee- en rivierzijde 39
4.3.1 Variant 3c: Zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek + Nieuwe Merwede 39
4.3.2 Variant 3d: Zee- en rivierzijde + Waal + Nieuwe Merwede 40
4.4 Samenvatting resultaten 41

5 Kosten van de additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen 45
5.1 Vergelijking resultaten met Beckers et al. (2011) 45
5.2 Kosten oplossingsrichtingen, zonder aanscherping van de norm 46
5.3 Kosten oplossingsrichtingen, met aanscherping van de norm 47

6 Conclusies 51
6.1 MHW-resultaten 51
6.1.1 Oplossingsrichting 2: Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde 51
6.1.2 Oplossingsrichting 3: Gesloten aan zee- en rivierzijde 53
6.2 Resultaten van de kostenberekeningen 53

7 Literatuur 55

Bijlage A Grafieken MHW-opgave 59

Bijlage B Geografische weergave MHW-opgave 79

Lijst van tabellen

Tabel 2-1: Afvoerverdeling over de Rijntakken (Silva en van der Linden, 2007). 5
Tabel 2-2: Overzicht van de eerste generatie oplossingsrichtingen inclusief de onderscheiden varianten en de additionele varianten (zoals die in deze studie zijn doorgerekend). 7
Tabel 2-3: Afvoercondities voor de IJsselvarianten voor Rijndominante berekeningen, zoals gegeven in de MHW-processor versie 3.2. 9
Tabel 2-4: Resultaat gevoeligheidsanalyse voor klimaatscenario W2100: vergelijking tussen de maatgevende waterstand in de Referentiesituatie van 2015 en de IJsselvarianten. 12
Tabel 2-5: Overzicht gebruikte klimaatscenario's. 12
Tabel 2-6: Overzicht rekenmethoden die gebruikt zijn in deze verkenning. 14
Tabel 2-7: Afvoercondities per zichtjaar voor Rijndominante berekeningen zoals gegeven in de MHW-processor versie 3.2. 14
Tabel 2-8: Combinaties van zeewaterstand en windsnelheid in de MHW-processor versie 3.2 bij gebruik van 108 combinaties. Windrichting is constant 293° (WNW). 15
Tabel 2-9: Combinaties van windrichting en windsnelheid in de MHW-processor versie 3.2 bij gebruik van 3384 combinaties. 15
Tabel 4-1: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's. 32
Tabel 4-2: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd' voor twee klimaatscenario's. 33
Tabel 4-3: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's. 34
Tabel 4-4: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's. 35
Tabel 4-5: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd' voor twee klimaatscenario's. 36
Tabel 4-6: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's. 37
Tabel 4-7: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's. 38
Tabel 4-8: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd' voor twee klimaatscenario's. 39
Tabel 4-9: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's. 40
Tabel 4-10: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Verbeterd Afsluitbaar Zee- en Rivierzijde'. 41
Tabel 4-11: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Verbeterd Afsluitbaar Zee- en Rivierzijde, waarbij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil alleen van zuid naar noord keren'. 42
Tabel 4-12: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Verbeterd Afsluitbaar Zee- en Rivierzijde, met een verbrede Nieuwe Merwede'. 42

Tabel 4-13: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Gesloten Zee- en rivierzijde, met en zonder een verbrede Nieuwe Merwede'. 43
Tabel 5-1: Vergelijking tussen berekende kosten (in miljoenen euro) in huidige studie met de resultaten uit Beckers (2011). 45
Tabel 5-2: Overzicht van de kosten (in miljoenen euro) van de verschillende oplossingsvarianten en klimaatverandering voor verschillende zichtjaren. 46
Tabel 5-3: Overzicht van de kosten (in miljoenen euro) van de verschillende oplossingsvarianten en klimaatverandering voor verschillende zichtjaren, inclusief aanscherpen van de norm. 48

Lijst van figuren

Figuur 1-1: Tekstkader over relatie klimaatopgave versus overige opgaven langs de Lek. 2
Figuur 1-2: Afbakening onderzoeksgebied. 2
Figuur 1-3: Trajecten waarover de MHW's en MHW-verschillen zijn weergegeven. Traject 1: Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek Traject 2: Nieuwe Waterweg – Oude Maas – Merwede – Waal Traject 3: Haringvliet – Hollandsch Diep – Nieuwe Merwede – Waal 4
Figuur 2-1: Werking van de zuidelijke rivierkeringen, waarbij ze geopend worden als de waterstand in de Rijnmondring hoger is dan de waterstand op het Haringvliet. Links staat het verloop van de waterstanden op het Haringvliet en de Rijnmondring, rechts de werking van de schuiven van de rivierkeringen. 10
Figuur 2-2: Resultaat gevoeligheidsanalyse voor klimaatscenario W2100: vergelijking tussen de maatgevende waterstand bij Referentie 2015 en de IJsselvarianten. 10
Figuur 2-3: Resultaat gevoeligheidsanalyse voor klimaatscenario W2100: vergelijking tussen de maatgevende waterstand bij oplossingsrichting Verbeterd Afsluitbaar en de IJsselvarianten. 11
Figuur 2-4: Voorbeeld van een kostenfunctie. De zwarte en grijze symbolen zijn kosten voor dijkverhogingen, berekend met KOSWAT. De rode lijn is een fit op de waarden tussen 0 en 2 decimeringshoogten. Deze fit is gebruikt voor de berekeningen. 19
Figuur 3-1: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'. 22
Figuur 3-2: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd'. 23
Figuur 3-3: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'. 24
Figuur 3-4: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'. 25
Figuur 3-5: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd'. 25
Figuur 3-6: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'. 26
Figuur 3-7: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'. 27
Figuur 3-8: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd'. 27
Figuur 3-9: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'. 28
Figuur 3-10: Variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'. 29
Figuur 3-11: Variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd en de Nieuwe Merwede is verbreed'. 30
Figuur 5-1: Vergelijking van de kosten voor de oplossingsvarianten tussen de huidige en de aangescherpte norm. 49
Figuur A-1: Trajecten waarover de MHW's en MHW-verschillen zijn weergegeven. Traject 1: Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek Traject 2: Nieuwe Waterweg – Oude Maas – Merwede – Waal Traject 3: Haringvliet – Hollandsch Diep – Nieuwe Merwede – Waal 59
Figuur A-2: MHW's bij variant 2c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 60

Figuur A-3: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 61
Figuur A-4: MHW's bij variant 2d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 62
Figuur A-5: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 63
Figuur A-6: MHW's bij variant 2e voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 64
Figuur A-7: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2e voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 65
Figuur A-8: MHW's bij variant 2f voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 66
Figuur A-9: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2f voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 67
Figuur A-10: MHW's bij variant 2g voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 68
Figuur A-11: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2g voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 69
Figuur A-12: MHW's bij variant 2h voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 70
Figuur A-13: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2h voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 71
Figuur A-14: MHW's bij variant 2i voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 72
Figuur A-15: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2i voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 73
Figuur A-16: MHW's bij variant 3c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 74
Figuur A-17: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 75
Figuur A-18: MHW's bij variant 3d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 76
Figuur A-19: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3. 77
Figuur B-1: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2c voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 79
Figuur B-2: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2d voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 80
Figuur B-3: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2e voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 81
Figuur B-4: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2f voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 82
Figuur B-5: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2g voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 83
Figuur B-6: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2h voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 84
Figuur B-7: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2i voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 85
Figuur B-8: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3c voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 86
Figuur B-9: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3d voor twee klimaatscenario's (geografische weergave). 87

1 Inleiding

1.1 Kader

In de eerste helft van 2011 is onder regie van Deltares[1] (Jeuken et al., 2011) een uitgebreide Kentallen Kosten Baten Analyse (KKBA) uitgevoerd van vier langetermijnstrategieën voor het oplossen van de veiligheids- en zoetwateropgave in 2100 (in synergie met ruimtelijke en economische aspecten). Deze opgave ontstaat als gevolg van klimaatverandering en socio-economische veranderingen. De KKBA beoordeelt de mogelijke strategieën op een aantal functies, waaronder de binnendijkse veiligheid en beoogt een voorkeur voor een oplossings-richting te bepalen. De KKBA is gebaseerd op maatgevende hoogwaterstand- en kruinhoogte-berekeningen van de hoekpunten (en varianten) die door HKV LIJN IN WATER en Deltares zijn uitgevoerd (Slootjes et al., 2011). Op dit moment zijn er vier *eerste generatie* oplossings-richtingen bestudeerd, die naar verwachting hoekpunten zijn van het veld waarbinnen de uiteindelijke oplossing gevonden zal worden.

Daarnaast is in opdracht van de werkgroep *3D Veiligheid* door Delta-deelprogramma Rivieren[2] (DP-R) een verkenning gedaan naar de gevoeligheid van de investeringskosten en overstromingskansen van de hoekpunten voor aanscherping van de normen (Beckers et al., 2011). Er is gekeken naar de verandering in investeringskosten en schaderisico's van de hoekpunten, indien in het studiegebied (uitgezonderd van de Zuid-Westelijke Delta) de norm uniform 1/10.000 per jaar wordt verondersteld. Mogelijk leiden nieuwe normen tot andere uitkomsten van kosten en baten, waarbij hoekpunten, die nu als relatief ongunstig worden bestempeld, gunstiger uit de bus komen.

1.2 Probleem en doelstelling

Uit de KKBA is de conclusie getrokken dat de oplossingsrichting waarbij het huidige hoofdwatersysteem gehandhaafd blijft, de economisch meest voordelige variant is. Een risico van deze conclusie is dat andere varianten voortijdig uit beeld raken en niet meer worden beschouwd als mogelijke strategieën binnen het Deltaprogramma. Door de Reflectiecommissie Water en Ruimte van Deltaprogramma Rijnmond Drechtsteden (DP-RD) is b.v. geconstateerd dat er enige belangrijke varianten ontbreken aan de hoekpunten 'Verbeterd afsluitbaar open zee- en rivierzijde' en 'Gesloten aan zee- en rivierzijde'.

De doelstelling van het voorliggende project is om ervoor te zorgen dat de 2 bovengenoemde hoekpunten in beeld blijven en deze te nuanceren door enkele kansrijke varianten nader te onderzoeken op hun effectiviteit ten aanzien van de waterveiligheidsopgave. Een nevendoel van het project is om ook de kosten van de verschillende varianten in beeld te brengen en daarbij verschillende normen in beschouwing te nemen. Invoering van nieuwe, scherpere normen kan een bijkomend effect hebben op de verschillende varianten. Van belang is dan of scherpere normen leiden tot een andere verhouding (in termen van kosten) van de varianten.

[1] Het betreft hier een samenwerking van een aantal marktpartijen, partijen uit het Delta-deelprogramma Rijnmond Drechtsteden (DP-RD) waaronder het havenbedrijf, grote gemeentes, waterschappen, en TNO.

[2] i.s.m. Deltaprogramma Rijnmond Drechtsteden (DP-RD) en Deltaprogramma Zuid-Westelijke Delta (DP-ZWD).

Klimaatopgave langs de Lek

Een belangrijk doel in het rivierengebied is om de Lek te ontzien tot 2100. Als we dit interpreteren als "geen dijkversterkingen", dan moet rekening gehouden worden met 6 variabelen die in de loop van de tijd veranderen, te weten:

1. Zeespiegelstijging
2. Toename (maatgevende) afvoeren
3. Zetting en klink
4. Autonome bodemdaling
5. Sedimentatie (incl. baggeren)
6. Overhoogte

De eerste twee vormen de klimaatopgave en zijn gemodelleerd in deze en eerdere studies. De opgave voor wat betreft zetting, klink en bodemdaling langs de Lek kan echter oplopen tot meer dan 1 meter, en is daarmee groter dan de klimaatopgave. Deze opgave wordt echter momenteel niet duidelijk gepresenteerd. Bodemdaling komt alleen voor in de kostenbepaling zoals gebruikt in WV21 (Kind et al., 2011).

Samengevat betekent dit dat er ondanks het oplossen van de klimaatopgave langs de Lek (zeespiegelstijging en toename maatgevende afvoeren) nog steeds dijkversterkingen nodig zijn. Tenzij met de varianten om de klimaatopgave op te lossen een dusdanige verlaging van de waterstanden langs de Lek wordt gerealiseerd dat zetting, klink en bodemdaling worden gecompenseerd.

Figuur 1-1: Tekstkader over relatie klimaatopgave versus overige opgaven langs de Lek.

1.3 Afbakening onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied (Figuur 1-2) wordt aan de zeezijde begrensd door de Haringvlietsluizen en de Europoortkering. De oostelijke begrenzing van het gebied op de rivieren ligt bij Heusden (Maas), Tiel (Waal) en Hagestein (Lek). In het zuiden loopt de grens langs de zuidrand van het Haringvliet en Hollandsch Diep. Het onderzoeksgebied is gelijk aan het gebied dat in Jeuken et al. (2011) is onderzocht.



Figuur 1-2: Afbakening onderzoeksgebied.

Het effectgebied van de studie ligt zuidelijker en oostelijker, namelijk tot en met het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen, een deel van het rivierengebied en het IJsselmeer, omdat effecten van de hoekpunten doorwerken over de grenzen van het onderzoeksgebied. De effecten buiten het onderzoeksgebied zijn echter geen onderdeel van deze modelstudie.

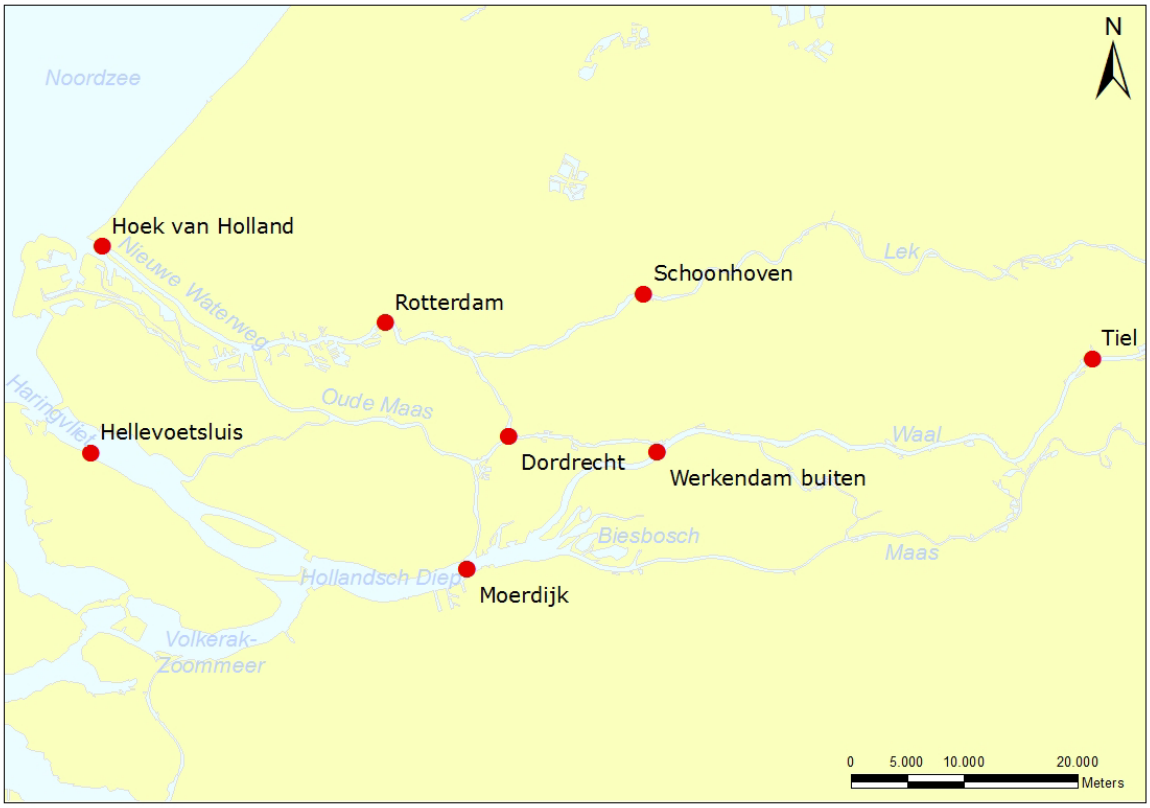
1.4 Leeswijzer

Opbouw rapport

De rapportage begint in hoofdstuk 2 met een beschrijving van de uitgangspunten en randvoorwaarden voor de hydraulische modellering en de berekening van de maatgevende waterstanden en benodigde kruinhoogten. Het hoofdstuk geeft een beschrijving van het gebied, de varianten en de gehanteerde klimaatscenario's. Ook worden de modellentrein en de uitgangspunten voor de kostenberekeningen beknopt doorgenomen. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de varianten die "nieuw" zijn in dit rapport, ten opzichte van de reeds doorgerekende varianten uit eerdere studies. De vier eerste generatie oplossingsrichtingen die binnen het DP-RD worden gehanteerd als hoekpunten van het speelveld worden binnen deze rapportage steeds als basis gebruikt in hoofdstuk 3, 4 en 5. De additionele varianten die in hoofdstuk 3 zijn beschreven, worden in hoofdstuk 4 en 5 uitgewerkt. In hoofdstuk 4 is uiteengezet wat de consequenties van de nieuwe varianten zijn op de maatgevende waterstanden en de benodigde kruinhoogten. De kosten van de additionele varianten zijn in beeld gebracht in hoofdstuk 5. De rapportage eindigt met hoofdstuk 6 waarin de belangrijkste conclusies van het onderzoek nog eens zijn verzameld.

Tabellen, figuren en kaarten

Het rapport bevat een groot aantal tabellen, figuren en kaarten, welke zijn afgedrukt in de hoofdstukken en de bijlagen. De resultaten met maatgevende waterstanden zijn weergegeven voor 8 locaties en over drie trajecten zoals weergegeven in Figuur 1-3 Figuur 1-4. Er is geen traject opgenomen voor de Maas, omdat alleen Rijndominante berekeningen zijn uitgevoerd.



Figuur 1-3: Locaties waarvoor de MHW's en MHW-verschillen zijn weergegeven: Hoek van Holland, Rotterdam, Dordrecht, Schoonhoven, Hellevoetsluis, Moerdijk, Werkendam en Tiel.



Figuur 1-4: Trajecten waarover de MHW's en MHW-verschillen zijn weergegeven.
Traject 1: Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek
Traject 2: Nieuwe Waterweg – Oude Maas – Merwede – Waal
Traject 3: Haringvliet – Hollandsch Diep – Nieuwe Merwede – Waal.

De resultaten zijn steeds op 2 manieren getoond:

1. Absolute waarden van MHW's horende bij een bepaald klimaatscenario in combinatie met een of meerdere maatregelen.
2. Relatieve verschillen ten opzichte van de referentiesituatie 2015 (huidige situatie, zonder klimaatverandering, zie paragraaf 2.2.1 voor een beschrijving). Deze verschillen zijn gepresenteerd in grafieken en geografische kaarten.

2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

2.1 Inleiding

Omdat in Jeuken et al. (2010) is gebleken dat de effecten van verschillende aannames, uitgangspunten en randvoorwaarden voor de modelinstrumenten van grote invloed zijn op de resultaten, is op basis daarvan besloten om een uitgangspuntennotitie te schrijven (zie Slootjes en De Waal, 2011). Deze uitgangspuntennotitie, die is geschreven ten behoeve van de hoekpunten uit de studie van Deltares en HKV LIJN IN WATER (Slootjes et al., 2011) geldt als startpunt van het huidige onderzoek.

In het voorliggende hoofstuk wordt aangegeven welke facetten in deze opdracht anders zijn dan in de uitgangspuntennotitie van Slootjes en De Waal (2011). In de paragraaf met gebiedsinformatie (paragraaf 2.2) worden onder andere de additionele varianten van het huidige onderzoek geïntroduceerd en wordt uitgelegd hoe deze zich verhouden tot de 4 bestaande hoekpunten van het DP-RD. Daarnaast wordt ingegaan op de gevoeligheidsanalyse die heeft geleid tot de modellering van de *IJsselvariant*. In paragraaf 2.3 wordt de gebruikte modellentrein kort doorlopen (denk aan de verschillende modellen met de bijbehorende schematisaties die zijn gebruikt als invoer voor deze modellen). Tot slot worden in paragraaf 2.4 de uitgangspunten voor de kostenberekeningen beschreven.

2.2 Gebiedsinformatie

2.2.1 Referentiesituatie

De referentiesituatie is gelijk aan de referentiesituatie in Slootjes et al. (2011). Het referentiejaar ten opzichte waarvan de oplossingsrichtingen worden vergeleken is 2015. Het uitgangspunt is dat alle kortetermijnmaatregelen uit de PKB Ruimte voor de Rivier en de Maaswerken zijn gerealiseerd. Dit zijn voor de Rijn-Maasmonding: Ontpoldering Noordwaard, Overdiepse Polder, Avelingen en Waterberging Volkerak-Zoommeer.

2.2.2 Standaardmaatregelen

De standaardmaatregelen zijn gelijk aan die in Slootjes et al. (2011) zijn meegenomen. Als langetermijnmaatregel is het ontzien van de Nederrijn-Lek bij afvoeren van de Bovenrijn hoger dan 16.000 m^3/s meegenomen (conform het Nationaal Waterplan). Dat betekent dat alle Nederrijnafvoer – (ongeveer) 2/9 deel van het totaal – bóven de 16.000 m^3/s verdeeld is volgens de huidige afvoerverdeling over de Waal en de IJssel. Tabel 2-1 geeft weer hoe de afvoeren over de takken zijn verdeeld in de berekeningen.

Riviertak	Referentie 2015 (16.000 m^3/s)	KNMI W-2050 / G-2100 (17.000 m^3/s)	KNMI W-2100 (18.000 m^3/s)
Waal	10.165	10.970	11.758
NederRijn - Lek	3.376	3.376	3.376
IJssel	2.459	2.654	2.866

Tabel 2-1: Afvoerverdeling over de Rijntakken (Silva en van der Linden, 2007).

2.2.3 Additionele varianten

In Slootjes et al. (2011) zijn vier oplossingsrichtingen bekeken die naar verwachting de hoekpunten vormen van het veld waarbinnen de uiteindelijke oplossing gevonden zal worden:
1. Verbeterd afsluitbaar zeezijde;
2. Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
3. Gesloten zee- en rivierzijde;
4. Volledig open.

Bij een aantal van deze hoekpunten zijn in Slootjes et al. (2011) al enkele subvarianten uitgewerkt. Door de Reflectiecommissie Water en Ruimte van DP-RD is geconstateerd dat er echter informatie ontbreekt over bepaalde varianten van de hoekpunten 'Verbeterd afsluitbaar open zee- en rivierzijde' en 'Gesloten zee- en rivierzijde'.

Binnen het voorliggende onderzoek is het hoekpunt 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde' daarom uitgebreid met 2 extra varianten: een variant waarbij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil alleen van zuid naar noord keren en een variante met een verbrede Nieuwe Merwede. Om het overzicht over alle varianten (en daarbij behorende subvarianten) te behouden is binnen deze rapportage de onderstaande indeling gehanteerd. De voor het voorliggende onderzoek nieuw gedefinieerde (sub)varianten zijn *schuingedrukt* weergegeven. (zie Tabel 2-2).

Oplossingsrichting		**Variant**	**Kenmerken**
1	Verbeterd afsluitbaar zeezijde		• verbeterde faalkans Europoortkering 1/1000;
2	Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	a. Nieuwe Lek	• verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde; • een nieuwe blauwe of groene rivier is aangelegd.
		b. Waal	• verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde; • al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.
		c. IJssel	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.*
		d. Nieuwe Lek + zuidelijke keringen	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;* • *een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd*
		e. Waal + zuidelijke keringen	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;* • *al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.*
		f. IJssel + zuidelijke keringen	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;* • *een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.*

Oplossingsrichting		Variant	Kenmerken
		g. Nieuwe Lek + verbrede Nieuwe Merwede	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *de Nieuwe Merwede wordt verbreed;* • *een nieuwe blauwe of groene rivier is aangelegd.*
		h. Waal + verbrede Nieuwe Merwede	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *de Nieuwe Merwede wordt verbreed;* • *al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.*
		i. IJssel + verbrede Nieuwe Merwede	• *verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;* • *de Nieuwe Merwede wordt verbreed;* • *een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.*
3	Volledig gesloten	a. Zeezijde + waterberging Grevelingen	• gesloten zeezijde; • aanvullende waterberging in de Grevelingen.
		b. Zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek	• gesloten zee- en rivierzijde; • een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.
		c. Zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek + Nieuwe Merwede	• *gesloten zee- en rivierzijde;* • *de Nieuwe Merwede wordt verbreed;* • *een nieuwe blauwe of groene rivier is aangelegd.*
		d. Zee- en rivierzijde + Waal + Nieuwe Merwede	• *gesloten zee- en rivierzijde;* • *de Nieuwe Merwede wordt verbreed;* • *al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.*
		e. Zee- en rivierzijde + Haringvliet	• *gesloten zee- en rivierzijde;* • verwijdering van Haringvlietdam; • geen extra berging in Zuidwestelijke delta.
4	Volledig open		• open zee- en rivierzijde; • verwijdering van Haringvlietdam, Hollandsche IJssel kering en Europoortkering.

Tabel 2-2: Overzicht van de eerste generatie oplossingsrichtingen inclusief de onderscheiden varianten en de additionele varianten (zoals die in deze studie zijn doorgerekend).

In hoofdstuk 3 van Slootjes et al. (2011) zijn een aantal van deze varianten nader toegelicht (de niet schuingedrukte varianten). Hier volstaan we met een verwijzing naar deze rapportage, omdat een uitvoerige beschrijving van reeds doorgerekende varianten alleen maar afleiden van het doel van het voorliggende onderzoek. De nieuwe (schuingedrukte) varianten uit Tabel 2-2 lichten we hieronder nader toe.

Ad 2c) *IJsselvariant*
Omdat in Jeuken et al. (2011) is gebleken dat het afvoeren van al het Lekwater via de Waal van grote invloed is op de maatgevende waterstanden langs de Waal, is een IJsselvariant bedacht (variant 2c). In deze variant is gekeken welke hoeveelheid water van de Nederrijn/Lek via de IJssel moet worden gestuurd, zodat in de Rijn- en Maasmonding (waar het Lekwater uiteindelijk uitkomt) de consequenties niet al te groot zijn. Argumentatie bij een dergelijke variant is bijvoorbeeld dat dijkversterkingen langs de Nederrijn-Lek bijzonder kostbaar zijn, en dat er daarnaast nauwelijks ruimte kan worden gevonden in het bestaande rivierbed. Met behulp van een gevoeligheidsanalyse is vastgesteld welke hoeveelheid water via de Lek kan worden afgevoerd (zie paragraaf 2.2.4).

De subvarianten Nieuwe Lek en Waal zijn gelijk aan de varianten zoals beschreven in Slootjes et al. (2011).

Ad 2d) t/m 2f) *Zuidelijke keringen*
Uit Knoben (2011) blijkt dat het open houden van de rivierkeringen in het Spui en de Dordtse Kil ontlastend werkt voor de wateropgave binnen de ring van keringen van het hoekpunt 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde'. De waterstand op het Haringvliet is over het algemeen lager dan binnen de ring van (rivier)keringen. Omdat de stroming van noord naar zuid loopt (van Rotterdam/Dordrecht naar het Haringvliet) is er in dit onderzoek voor gekozen om de alleen de stroming *van zuid naar noord* te laten keren.

Ad 2g) t/m 2i) *Verbreding Nieuwe Merwede*
Ondanks dat uit eerdere studies is gebleken dat het splitsingspunt Beneden Merwede en Nieuwe Merwede een knelpunt vormt bij de oplossingsrichting 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde', is er in Jeuken et al. (2011) niet voor gekozen om compenserende maatregelen te nemen om dit knelpunt op te lossen. In het voorliggende onderzoek wordt dit wél onderzocht. Hiertoe wordt in een extra variant de Nieuwe Merwede verbreed. Omdat het hier gaat om een schatting van het effect, wordt gerekend met een profiel van de Nieuwe Merwede dat twee keer zo breed is.

Opmerking
Naast bovengenoemde varianten kwam tijdens het project de wens naar voren om enkele andere (extra) varianten door te rekenen met andere afvoerverdelingen op de IJsselkop en Pannerdensche Kop. Door gebrek aan tijd en budget is het niet gelukt om deze mee te nemen binnen het huidige project. Als verkenning zijn de voor het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden meest voor de hand liggende varianten verkenning onderzocht (zie ook de inleiding). In een vervolgfase van het Deltaprogramma zal het speelveld uitgebreider door DP-RD worden verkend.

2.2.4 Variatie in afvoerverdeling

Zoals gezegd is in Jeuken et al. (2011) gebleken dat het afvoeren van al het Lekwater via de Waal van grote invloed is op de maatgevende waterstanden langs de Waal. In de IJsselvariant (variant 3c) is onderzocht welke hoeveelheid water van de Nederrijn/Lek via de IJssel moet worden gestuurd, zodat in het Rijn- en Maasmonding (waar het Lekwater uiteindelijk uitkomt) de consequenties niet al te groot zijn.

De voorliggende paragraaf geeft een beschrijving van de gevoeligheidsanalyse die is uitgevoerd om vast te stellen welke hoeveelheid water via de Lek kan worden afgevoerd. In deze analyse is gekeken naar het effect op de maatgevende waterstand voor de volgende locaties: Hoek van Holland, Rotterdam, Dordrecht, Schoonhoven, Hellevoetsluis, Moerdijk, Werkendam en Tiel. Er zijn verschillende (maximale) afvoerdebieten over de Lek gehanteerd, om een zo compleet mogelijk beeld te kunnen schetsen. Hierbij zijn steeds de klimaatcondities in 2100 gehanteerd als uitgangspunt. Het afvoeren van water via de zuidelijke rivierkeringen (in het Spui en de Dordtse Kil) richting het Haringvliet blijft mogelijk. Er is tevens een kering aanwezig in de Beneden Merwede.

Zoals hierboven vermeld zijn verschillende Lekdebieten doorgerekend, die als constant maximum over die riviertak worden gezien. Specifiek gaat het om de volgende debieten: 300,

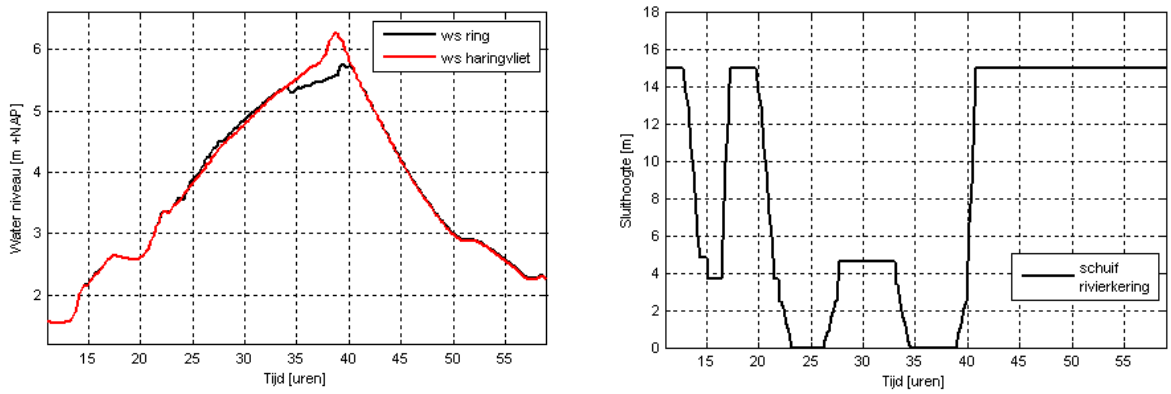
600, 900, 1200, 1500, 2100 en 3000 m^3/s. Als in de gevoeligheidsanalyse bijvoorbeeld maximaal 300 m^3/s over de Lek kan worden afgevoerd, dan wordt verondersteld dat het resterende Lekwater via de IJssel wordt afgevoerd. Per afvoerniveau bij Lobith is in Tabel 2-7 voor verschillende Lekdebieten bepaald welke hoeveelheid over de IJssel wordt afgevoerd.

afvoer conditie	**Rijnafvoer [m^3/s]**	**Waalafvoer [m^3/s]**	**IJssel variant – Q(Lek) maximaal**					
			300 m^3/s		**600 m^3/s**		**900 m^3/s**	
			Lek [m^3/s]	**IJssel [m^3/s]**	**Lek [m^3/s]**	**IJssel [m^3/s]**	**Lek [m^3/s]**	**IJssel [m^3/s]**
q1	*600*	*550*	*25*	*25*	*25*	*25*	*25*	*25*
q2	*2000*	*1401*	*300*	*299*	*308*	*291*	*308*	*291*
q3	*4000*	*2697*	*300*	*1003*	*600*	*703*	*750*	*553*
q4	*6000*	*3997*	*300*	*1703*	*600*	*1403*	*900*	*1103*
q5	*8000*	*5296*	*300*	*2404*	*600*	*2104*	*900*	*1804*
q6	*10000*	*6473*	*300*	*3227*	*600*	*2927*	*900*	*2627*
q7	*13000*	*8285*	*300*	*4415*	*600*	*4115*	*900*	*3815*
q8	***18000***	***11758***	***300***	***5942***	***600***	***5642***	***900***	***5342***
q9	*20000*	*12906*	*300*	*6794*	*600*	*6494*	*900*	*6194*

afvoer conditie	**IJssel variant – Q(lek) maximaal**							
	1200 m^3/s		**1500 m^3/s**		**2100 m^3/s**		**3000 m^3/s**	
	Lek [m^3/s]	**IJssel [m^3/s]**	**Lek [m^3/s]**	**IJssel [m^3/s]**	**Lek [m^3/s]**	**IJssel [m^3/s]**	**Lek [m^3/s]**	**IJssel [m^3/s]**
q1	*25*	*25*	*25*	*25*	*25*	*25*	*25*	*25*
q2	*308*	*291*	*308*	*291*	*308*	*291*	*308*	*291*
q3	*750*	*553*	*750*	*553*	*750*	*553*	*750*	*553*
q4	*1158*	*845*	*1158*	*845*	*1158*	*845*	*1158*	*845*
q5	*1200*	*1504*	*1500*	*1204*	*1572*	*1132*	*1572*	*1132*
q6	*1200*	*2327*	*1500*	*2027*	*2077*	*1450*	*2077*	*1450*
q7	*1200*	*3515*	*1500*	*3215*	*2100*	*2615*	*2747*	*1968*
q8	***1200***	***5042***	***1500***	***4742***	***2100***	***4142***	***3000***	***3242***
q9	*1200*	*5894*	*1500*	*5594*	*2100*	*4994*	*3000*	*4094*

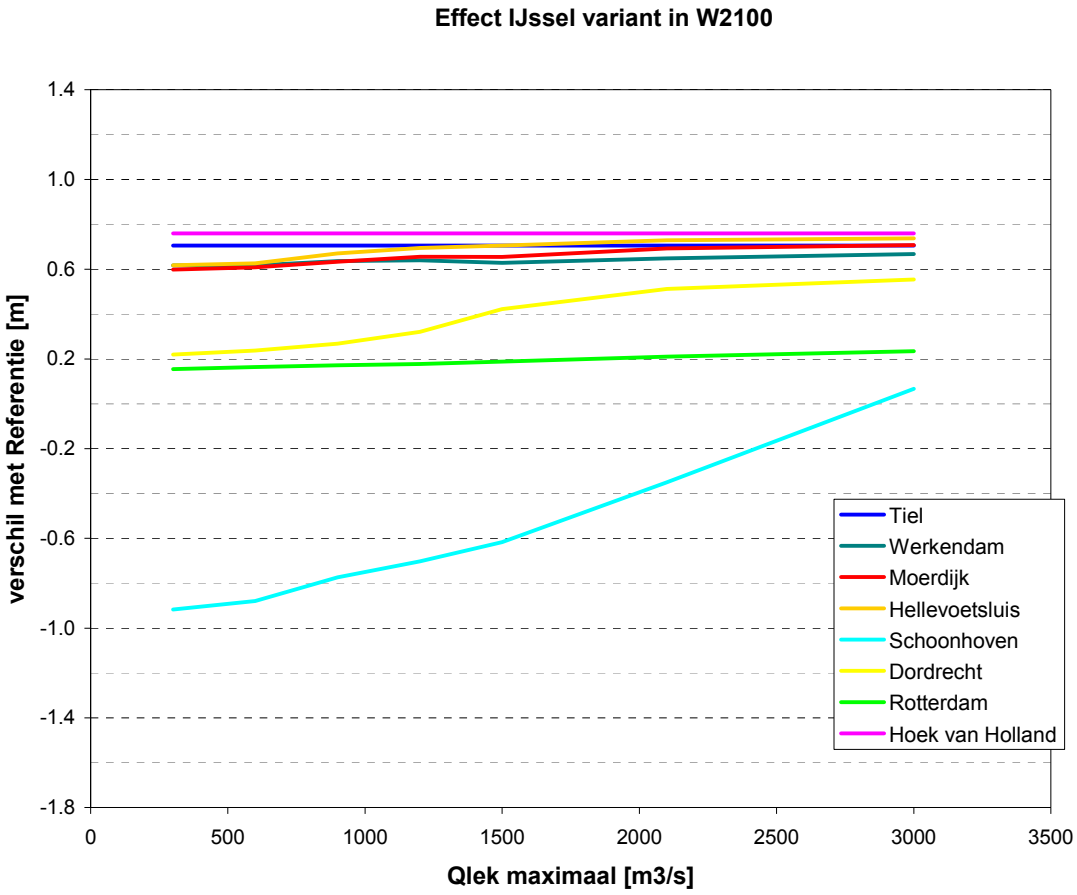
Tabel 2-3: Afvoercondities voor de IJsselvarianten voor Rijndominante berekeningen, zoals gegeven in de MHW-processor versie 3.2.

De zuidelijke rivierkeringen worden gesloten als de Hartelkering (bij storm op zee) is gesloten en de afvoer via het Spui of de Dordtse Kil (richting het zuiden) lager is 200 m^3/s. Gedurende een storm zullen deze rivierkeringen worden geopend als de waterstand in de Rijnmondring 0,1 meter hoger is dan de waterstand op het Haringvliet. De keringen sluiten weer als het verval over het kunstwerk is afgenomen tot 0,01 m. Dit mechanisme is in onderstaande figuur weergegeven.



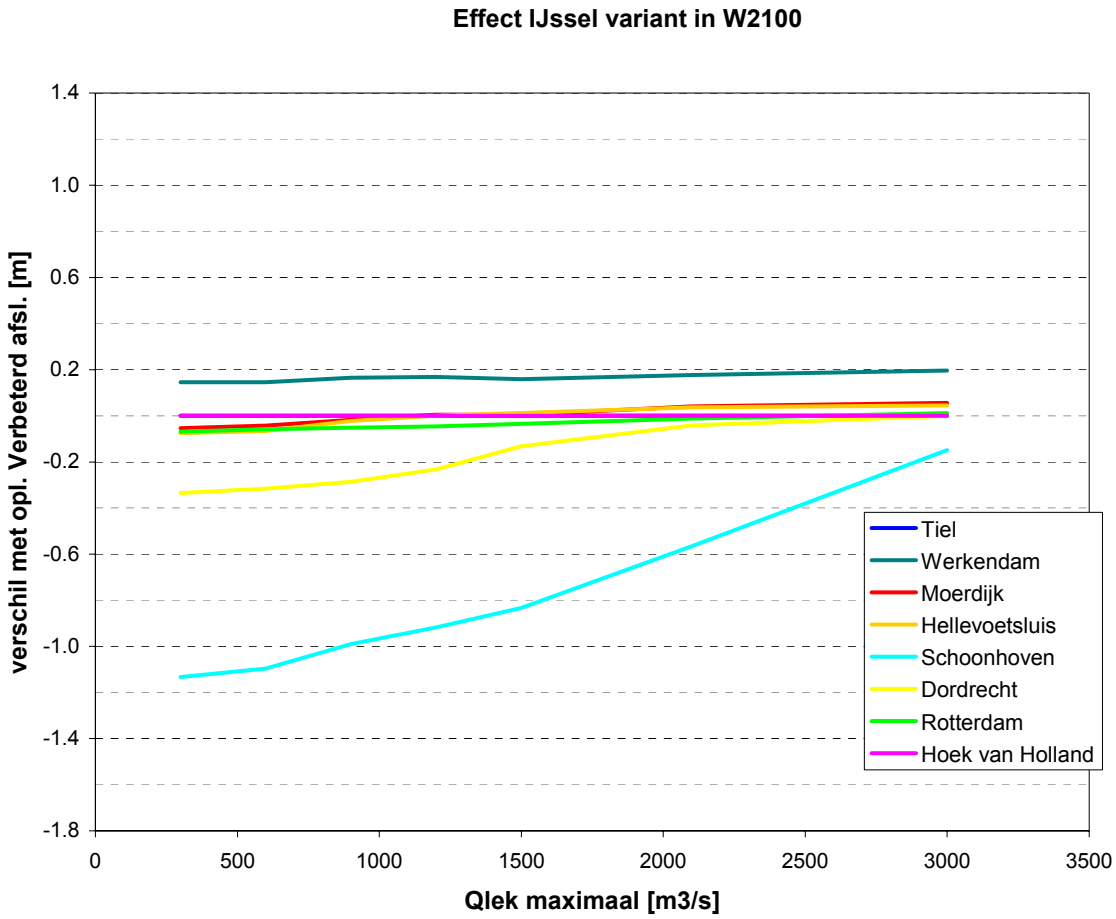
Figuur 2-1: Werking van de zuidelijke rivierkeringen, waarbij ze geopend worden als de waterstand in de Rijnmondring hoger is dan de waterstand op het Haringvliet. Links staat het verloop van de waterstanden op het Haringvliet en de Rijnmondring, rechts de werking van de schuiven van de rivierkeringen.

Met de MHW-processor zijn de (maximale) afvoerniveaus van de Lek uit Tabel 2-7 of Tabel 2-3 doorgerekend bij een zeespiegelstijging van 0,85 m. Vervolgens zijn de resultaten van deze 7 berekeningen met Hydra-B vertaald naar maatgevende waterstanden voor de locaties Hoek van Holland, Rotterdam, Dordrecht, Schoonhoven, Hellevoetsluis, Moerdijk, Werkendam en Tiel. Het resultaat van de resterende wateropgave is te zien in de onderstaande figuur.



Figuur 2-2: Resultaat gevoeligheidsanalyse voor klimaatscenario W2100: vergelijking tussen de maatgevende waterstand bij Referentie 2015 en de IJsselvarianten.

Een betere indruk van het effect van de IJsselvarianten wordt verkregen als de resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden vergeleken met de maatgevende waterstanden van oplossingsrichting 'Verbeterd Afsluitbaar zeezijde'. In deze vergelijking (Figuur 2-3) valt namelijk de invloed van klimaatverandering, het ontzien van de Nederrijn - Lek en de verbetering van de faalkans van de Europoortkering weg.



Figuur 2-3: Resultaat gevoeligheidsanalyse voor klimaatscenario W2100: vergelijking tussen de maatgevende waterstand bij oplossingsrichting Verbeterd Afsluitbaar zeezijde en de IJsselvarianten.

Uit de resultaten concluderen we het volgende:

- In Figuur 2-3 is te zien dat bij Schoonhoven (langs de Lek) de maatgevende waterstand maximaal met 1,1 meter daalt als de afvoer over de Lek niet groter is dan 300 m^3/s. Het effect op de maatgevende waterstanden van het omleiden van de Lekafvoer naar de IJssel neemt af tot ongeveer 15 cm als de maximale afvoer over de Lek beperkt blijft tot 3000 m^3/s. Ter vergelijking het volgende: bij een maatgevende afvoer op de Bovenrijn bij Lobith van 18.000 m^3/s in 2100, wordt volgens het huidige beleid (inclusief ontzien van de Nederrijn - Lek) niet meer dan 3376 m^3/s via de Lek afgevoerd.
- Het effect van de IJsselvarianten met een maximaal debiet van meer dan 2100 m^3/s over de Lek, is bij Dordrecht verwaarloosbaar. Als slechts 300 m^3/s over de Lek wordt afgevoerd, geeft dit bij Dordrecht een verlaging van de maatgevende waterstand met 0,35 m t.o.v. de oplossingsrichting 'Verbeterd Afsluitbaar zeezijde'.
- Het effect bij Rotterdam, Hellevoetsluis en Moerdijk is gering. Het gaat slechts om een verlaging (of verhoging) van enkele centimeters. Bij Hoek van Holland en Tiel hebben de IJsselvarianten geen effect.

- Als gevolg van de kering in de Beneden Merwede treedt bij Werkendam een verhoging van de maatgevende waterstand op van 0,15 tot 0,20 m. Hierin is door een betere aansturing van het gedrag van de keringen vermoedelijk nog wel wat winst te behalen.

In overleg met de opdrachtgever is afgesproken om maximaal 1000 m^3/s via de Lek af te voeren. De maatgevende afvoer op de IJssel wordt dan ongeveer 5400 m^3/s in 2100. Bij deze afvoer op de Lek volgt een maatgevende waterstand bij Dordrecht van ongeveer 3,20 m+NAP in de variant *'Zuidelijke rivierkeringen openen door verval, Lek ontzien door IJssel, rivierkering in de Beneden Merwede' (variant 2f).* Ten opzichte van de referentie betekent dit een verhoging van ongeveer 0,3 m in de maatgevende waterstanden bij Dordrecht (zie Tabel 2-4).

Locatie	***Referentie***	***IJssel variant – Q(Lek) maximaal***						
		300 m^3/s	***600 m^3/s***	***900 m^3/s***	***1200 m^3/s***	***1500 m^3/s***	***2100 m^3/s***	***3000 m^3/s***
	[m+NAP]	***[m]***	***[m]***	***[m]***	***[m]***	***[m]***	***[m]***	***[m]***
Hoek van Holland	5,16	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Rotterdam	3,62	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,23
Dordrecht	2,89	0,22	0,24	0,27	0,32	0,42	0,51	0,55
Schoonhoven	4,21	-0,92	-0,88	-0,77	-0,70	-0,62	-0,35	0,07
Hellevoetsluis	2,47	0,62	0,63	0,67	0,69	0,71	0,73	0,74
Moerdijk	2,65	0,60	0,61	0,63	0,66	0,66	0,69	0,71
Werkendam	3,76	0,62	0,62	0,64	0,64	0,63	0,65	0,67
Tiel	11,60	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

Tabel 2-4: Resultaat gevoeligheidsanalyse voor klimaatscenario W2100: vergelijking tussen de maatgevende waterstand in de Referentiesituatie van 2015 en de IJsselvarianten.

2.2.5 Scenario's

De scenario's voor 2050 en 2100 zijn gelijk aan de scenario's in Slootjes et al. (2011). De effecten van de extra varianten moeten bepaald worden voor het zichtjaar 2050 en 2100 voor zowel huidige en aangescherpte normen als voor de klimaatverandering. Tabel 2-5 geeft de scenario's voor de hydraulische berekeningen in deze verkenning.

Scenario	**Maatgevende Rijnafvoer [m^3/s]**	**Gekoppelde Maasafvoer [m^3/s]**	**Zeespiegelstijging [m]**
S0 Referentie 2015	16.000	3504	0,08
S1 W-2050 / G-2100	17.000	3739	0,35
S2 W-2100	18.000	3974	0,85

Tabel 2-5: Overzicht gebruikte klimaatscenario's.

In de hydraulische berekeningen is geen rekening gehouden met aftoppen van de rivierafvoer. Er is wel rekening gehouden met een fysisch maximum van 18.000 m^3/s in de probabilistische berekeningen. De tabel geeft de maatgevende Rijnafvoeren met de daaraan gekoppelde Maasafvoeren. De reden hiervoor is dat uitgegaan is (en wordt) van Rijndominantie. We sluiten hiermee aan bij de aanpak in Jeuken et al. (2011), waarbij slechts één afvoerstochast wordt gebruikt. Voor alle locaties (ook die op de Maas) wordt de Rijnafvoer als stochast gebruikt. Aan iedere Rijnafvoer wordt één afvoerniveau van de Maas gekoppeld: de mediaan van alle Maasafvoeren die bij de beschouwde Rijnafvoer kunnen optreden.

De laterale debieten zijn gekoppeld aan het afvoerniveau bij Lobith. Uitgegaan wordt van de laterale debieten zoals gehanteerd in de HR2006 (Van der Veen, 2005). Beschikbare analyses geven geen uitsluitsel over een trend in het stormklimaat. In deze studie wordt daarom uitgegaan van een ongewijzigd stormklimaat. Alle berekeningen worden in eerste instantie uitgevoerd met 0,85 m absolute zeespiegelstijging in 2100. Tegelijkertijd wordt ook getoetst aan een ondergrens van 0,35 m zeespiegelstijging (bovengrens W-scenario 2050 / ondergrens G-scenario 2100).

2.3 Gebruikte modellentrein

Om de effecten van de extra varianten op de waterveiligheid in beeld te brengen, worden de effecten in beeld gebracht voor onderstaande aspecten:

1. Verdeeld over het gebied
   - waterstandsniveaus bij vaste terugkeertijden
   - hydraulische belastingen ('benodigde kruinhoogtes') bij vaste terugkeertijden
   - hydraulische belastingen in relatie tot aanwezige kruinhoogtes bij vaste terugkeertijden

2. Gesommeerd over het gebied
   - kosten (zie paragraaf 2.4).

2.3.1 Rekenmethoden

De rekenmethoden zijn gelijk aan de methoden in Slootjes et al. (2011). Om de effecten van de maatregelen op de waterstanden en hydraulische belastingniveaus te kunnen bepalen zijn verschillende (reken)methoden nodig. Deze rekenmethoden zijn uitvoerig besproken in Slootjes en De Waal (2011) en Slootjes et al. (2011). In dit hoofdstuk worden de gebruikte methoden slechts kort beschreven; voor de details verwijzen we naar bovengenoemde rapporten. Het totale pakket aan rekenmethoden (samen met de gebruikte schematisaties) wordt verder in deze rapportage het *Deltamodel versie 0.1* genoemd.

Voor het berekenen van de hydrodynamica wordt het 1D model Sobek-RE gebruikt. Enerzijds omdat het 2D model WAQUA-model destijds niet gereed was (en nog niet geschikt is voor toepassing in beleidsstudies), anderzijds omdat we dan zo goed mogelijk aansluiten bij de eerdere onderzoeken. Daarnaast gaat het in deze fase van het Deltaprogramma nog om een verkenning. Het detailniveau van Sobek is hiervoor voldoende.

De stappen van de productiesommen voor de hydrodynamica zijn in vergaande mate geautomatiseerd in de 'MHW-processor'. De MHW-processor is een instrument dat een (enigszins) officiële status heeft, omdat het in de PKB Ruimte voor de Rivier is gebruikt. Bovendien is er geen goed alternatief. Van de MHW-processor bestaan verschillende versies. Voor de studies binnen DP-RD is tot nu toe gebruik gemaakt van versie 3.2. Inmiddels is ook een concept gereed van versie 4.1. Omdat in de hier beoogde analyses geen verschil bestaat tussen versie 3.2 en 4.1 en omdat versie 4.1 nog niet formeel geaccepteerd is, is versie 3.2 gebruikt.

Er zijn verschillende Hydra-modellen beschikbaar voor het benedenrivierengebied. De verschillen zitten onder meer in de te beschouwen stochasten en de mogelijkheden voor detailanalyses. Voor de studies voor DP-RD is tot nu toe gebruik gemaakt van Hydra-B (en niet van Hydra-Zoet). Onderstaande tabel geeft een overzicht van de toegepaste modellen.

	Korte termijn (deze verkenning)	Lange termijn (wens)
Hydrodynamica	1D: Sobek-RE (v2.52.006)	1D: Sobek-RE / 2D: Waqua
Productieschil Sobek	MHW processor (v3.2, Sobekhart: v2.52.003)	MHW processor (redesign)
Probabilistiek	Hydra-B (v3.5.9 Hydra-B TMR2006)	Hydra-Zoet
Golven	Bretschneider	Bretschneider / SWAN
Kosten	WV21 methode	Detailontwerpen

Tabel 2-6: Overzicht rekenmethoden die gebruikt zijn in deze verkenning.

2.3.2 Schematisatie referentie

De schematisatie van de referentie is gelijk aan de schematisatie in Slootjes et al. (2011).

Sobek-schematisatie
De Sobek-schematisatie is gebaseerd op de Sobek-WTI2011-schematisatie. In deze schematisatie zijn de maatregelen uit de PKB Ruimte voor de Rivier opgenomen, welke volgens planning in 2015 zijn gerealiseerd. Dit heeft geresulteerd in de basisschematisatie voor de referentie 2015 "DP-RD versie B (MHW-p)" Deze basisschematisatie is beschreven in bijlage D van Slootjes et al. (2011).

Rivierafvoer
In de berekeningen is uitgegaan van 9 afvoerniveaus voor de afvoer van Rijn en Maas, gecombineerd met 6 zeewaterstanden. Naast de combinaties tussen zeestand en rivierafvoer worden twee verschillende situaties voor de Europoortkering (Maeslantkering en Hartelkering) meegenomen in de berekeningen: een gesloten en een open situatie. Bij het bepalen van de maatgevende hoogwaterstand en de benodigde kruinhoogte wordt rekening gehouden met de kans op een open en een gesloten situatie.

Voor het berekenen van de maatgevende hoogwaterstand in de as van de rivier wordt uitgegaan van een gekoppelde windsnelheid aan het stormniveau en wind uit één richting (293°, WNW). In totaal worden dan 108 (9x6x2) berekeningen gemaakt. Voor het berekenen van de benodigde kruinhoogte bij de oeverlocaties wordt wél rekening gehouden met de twee extra stochasten windsnelheid en windrichting. Er zijn dan in totaal 3384 combinaties doorgerekend.

afvoer conditie	***Rijnafvoer [m³/s]***				***Maasafvoer [m³/s]***			
	HR2006	***2015***	***2050***	***2100***	***HR2006***	***2015***	***2050***	***2100***
q1	600	600	600	600	55	55	55	55
q2	2000	2000	2000	2000	217	217	217	217
q3	4000	4000	4000	4000	687	687	687	687
q4	6000	6000	6000	6000	1156	1156	1156	1156
q5	8000	8000	8000	8000	1626	1626	1626	1626
q6	10000	10000	10000	10000	2095	2095	2095	2095
q7	13000	13000	13000	13000	2800	2800	2800	2800
q8	16000	16000	**17000**	**18000**	3504	**3622**	**3739**	**3974**
q9	18000	18000	**20000**	20000	3974	**3974**	**4443**	4443

Tabel 2-7: Afvoercondities per zichtjaar voor Rijndominante berekeningen zoals gegeven in de MHW-processor versie 3.2.

Er wordt gerekend met Rijndominantie. Dit betekent dat voor alle locaties in de Rijn-Maasmonding de Rijnafvoer als afvoerstochast wordt behandeld. Ieder klimaatscenario heeft een ander afvoerniveau vanaf afvoerstap *q8* (Tabel 2-7).

Windrichtingen, windsnelheden en zeewaterstanden
Voor de windrichtingen wordt onderscheid gemaakt tussen oostelijke en westelijke windrichtingen. De achtergrond van deze opsplitsing is dat voor de westelijke richtingen stormvloeden kunnen optreden, maar niet voor de oostelijke (Tabel 2-8 en Tabel 2-9).

Waterstand conditie	**Zeewaterstand [m]**	**Windsnelheid [m/s]**
h1	0	3,00
h2	1,29	14,14
h3	2,47	20,38
h4	3,54	24,76
h5	4,57	31,79
h6	5,59	35,96

Tabel 2-8: Combinaties van zeewaterstand en windsnelheid in de MHW-processor versie 3.2 bij gebruik van 108 combinaties. Windrichting is constant 293° (WNW).

Oostsector	
Windrichting	9 oostelijke richtingen: NNO, NO, ..., ZZW
Windsnelheid	0, 10, 20, 30
Westsector	
Windrichting	7 westelijke richtingen: ZW, WZW, ..., N
Windsnelheid	0, 10, 20, 30, 42

Tabel 2-9: Combinaties van windrichting en windsnelheid in de MHW-processor versie 3.2 bij gebruik van 3384 combinaties.

Er wordt uitgegaan van een stormopzetduur van 35 uur ten opzichte van de vigerende duur van 29 uur. De vorm en het faseverschil tussen opzet en getij blijven gelijk aan het vigerend beleid. Voor de concept Hydraulische Randvoorwaarden 2011 is ook de vorm van de stormopzetduur gewijzigd. Deze vorm kon echter niet toegepast worden in het gebruikte instrumentarium (MHW-processor). Daarom is gekozen om de vigerende vorm van de stormopzet aan de basis te verbreden naar 35 uur. Door de langere stormopzetduur zullen de MHW's in de Rijn-Maasmonding stijgen. In Slootjes et al. (2011) is gekeken naar de gevoeligheid voor een aantal locaties in het gebied voor een verandering van de stormduur van 29 naar 35 uur. Het maximale verschil treedt op in het Hollandsch Diep. In het meest extreme klimaatscenario (2100) is dat ruim 12 centimeter bij Rak Noord en Moerdijk. In de referentie voor 2015 is ook rekening gehouden met deze langere stormopzetduur. Het effect van een langere stormopzetduur komt dus niet tot uiting in de opgave voor het deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden.

Inzetcriterium waterberging
In de Planstudie Waterberging Volkerak-Zoommeer wordt ervan uitgegaan dat waterberging wordt ingezet wanneer een waterstand van 2,60 m+NAP of hoger wordt voorspeld bij Rak-Noord. Het modelleren hiervan is niet geautomatiseerd, waardoor het veel tijd kost en foutgevoelig is. In deze verkenning wordt daarom uitgegaan van waterberging zodra de Europoortkering sluit. Uit een gevoeligheidsanalyse (Gao, 2010) blijkt dat dit geen significante

invloed heeft op de MHW's in het Rijn- Maasmondgebied, maar alleen op de inzetfrequentie van de waterberging zelf. Daarop ligt in dit onderzoek echter niet de nadruk.

Hydra-schematisatie
Voor de schematisatie in de probabilistische modellering (i.c. Hydra-B) wordt verwezen naar de documentatie in De Waal (2007). De instellingen in Hydra-B worden gelijk genomen aan de defaultinstellingen.

Stormvloedkeringen
Hieronder worden enkele keuzes m.b.t. de stormvloedkeringen expliciet benoemd:

1. Europoortkering
    1. *Afhankelijk falen:* wat betreft de Maeslantkering en de Hartelkering wordt alleen de situatie van 'afhankelijk falen' beschouwd. Deze keringen worden samen als één kering *(en dus één stochast) beschouwd:* de Europoortkering.
    2. *Faalkans Europoortkering:* voor de referentiesituatie wordt gerekend met een faalkans van 1/100 per sluitvraag voor het niet sluiten van de Europoortkering. De faalkans voor het niet openen van de Europoortkering wordt buiten beschouwing gelaten.
    3. *Sluitcriterium Europoortkering:* de Europoortkering sluit in de huidige situatie bij een voorspelde waterstand van NAP +3,0 m of hoger bij Rotterdam en/of bij een voorspelde waterstand van NAP +2,9 m of hoger bij Dordrecht. Gerekend wordt met een afwijking van de voorspelling van gemiddeld μ=-0,09 m, met een standaardafwijking van σ=0,18 m.

2. Haringvlietsluizen
    1. *Faalkans Haringvlietsluizen:* uitgangspunt is dat niet wordt gerekend met een faalkans van de Haringvlietsluizen.
    2. *Spuiprogramma:* Voor de referentiesituatie wordt uitgegaan van het huidige spuiprogramma.

3. Hollandse IJsselkering
    1. *Faalkans Hollandse IJsselkering:* uitgangspunt is dat niet wordt gerekend met een faalkans van de Hollandse IJsselkering.
    2. *Sluitprocedure:* huidige modellering volgens de HR.

2.3.3 Schematisatie extra varianten

Sobek-schematisatie
In bijlage E van Slootjes et al. (2011) is beschreven hoe de oplossingsrichtingen in de Sobek-schematisatie zijn geïmplementeerd.

De schematisatie van de keringen in het Spui en de Dordtse Kil die alleen van zuid naar noord keren is verkregen door de regeling van het sluiten van deze keringen aan te passen in de schematisatie van de betreffende variant.

De schematisatie van de verbrede Nieuwe Merwede is overgenomen uit KvK (2010). Daar is uitgegaan van een verbreding van het stroomvoerende en stroombergende oppervlak met een factor twee.

De schematisatie van de IJsselvariant is nader bepaald in een gevoeligheidsanalyse (zie paragraaf 2.2.4). Op basis van de gevoeligheidsanalyse is ervoor gekozen dat maximaal 1000 m^3/s door de Lek en dat het resterende Lekwater via de IJssel wordt afgevoerd. Per afvoerconditie uit Tabel 2-7 is per stap in de analyse de extra IJsselafvoer bepaald.

Stormvloedkeringen
Hieronder worden wijzigingen genoemd in de schematisatie van de stormvloedkeringen:

1. Europoortkering
   - *Faalkans Europoortkering*: In alle varianten waar sprake is van een afsluitbare kering wordt de faalkans verkleind naar 1/1000 per sluitvraag.
   - *Sluitcriterium Europoortkering*: In alle klimaatscenario's en alle varianten wordt vastgehouden aan de vigerende sluitcriteria.

2. Haringvlietsluizen
   - *Spuiprogramma*: Voor de Haringvlietsluizen is uitgegaan van een alternatief spuiprogramma voor de Haringvlietsluizen. Bij Bovenrijn afvoeren hoger dan 2000 m^3/s wordt maximaal gespuid.

2.4 Kostenberekeningen

Voor het maken van de kostenberekeningen zijn hydraulische belastingniveaus nodig. Deze worden vervolgens omgerekend naar de benodigde kruinverhoging van de dijktrajecten. Daarnaast worden de daarbij behorende kosten bepaald op basis van de kostenfuncties uit het project WV21 (De Grave en Baarse, 2011). Ook worden de effecten van oplossingsrichtingen (varianten), klimaatverandering en normaanscherping (basisvariant) apart en in combinatie met elkaar in beeld gebracht. Deze paragraaf beschrijft de daarbij gevolgde aanpak en aannames.

2.4.1 Berekening van MHW effecten

Oplossingsrichtingen
De MHW effecten van oplossingsrichtingen zijn berekend als het verschil tussen de MHW's in de referentie (zonder ingrepen) en de betreffende variant. Hiervan is het effect van klimaatverandering in eerste instantie afgetrokken om de effecten van klimaatverandering en oplossingsrichtingen apart te kunnen beschouwen. Het MHW effect voor een dijktraject is berekend als het gemiddelde effect over de dijkvakken binnen dit traject. Daarbij is geen rekening gehouden met het feit dat sommige dijkvakken langer zijn dan andere dijkvakken.

Klimaatverandering
Het effect van klimaatverandering is op twee manieren bepaald:
- Door het verschil in MHW te berekenen tussen de MHW's in de referentieberekeningen en die in 2015, 2050 en 2100.
- Door uit te gaan van de gemiddelde MHW verhoging en bodemdaling per jaar en per dijktraject zoals gebruikt binnen WV21 (Kind et al., 2011).

De eerste berekening wordt het meest nauwkeurig geacht. Echter, om te kunnen vergelijken met een eerdere serie berekeningen (Beckers et al., 2011) is voor 2050 ook de tweede methode gebruikt. Deze methode hanteert een vaste MHW verhoging en bodemdaling per jaar. Dit getal

wordt vermenigvuldigd met het aantal jaren tot aan het zichtjaar. Uitgaande van de referentie in 2010 wordt dus voor het zichtjaar 2050 met 40 vermenigvuldigd.

Normaanscherping
De MHW effecten van normaanscherping zijn berekend door middel van een aanscherpingfactor ten opzichte van een referentiesituatie. Dijkringen worden een factor 5 of 8 veiliger verondersteld. De normfrequentie gaat dan uit van respectievelijk 1/1.250 en 1/2.000 naar 1/10.000 per jaar. Met behulp van de decimeringshoogtes kan dit vertaald worden in een verhoging van het MHW.

Combinatie van effecten
Aangenomen wordt dat de gezamenlijke effecten op de MHW's van klimaatverandering, normaanscherping en de oplossingsrichtingen gelijk zijn aan de som van de afzonderlijke effecten. De bijdragen aan het totale MHW effect worden simpelweg bij elkaar opgeteld.

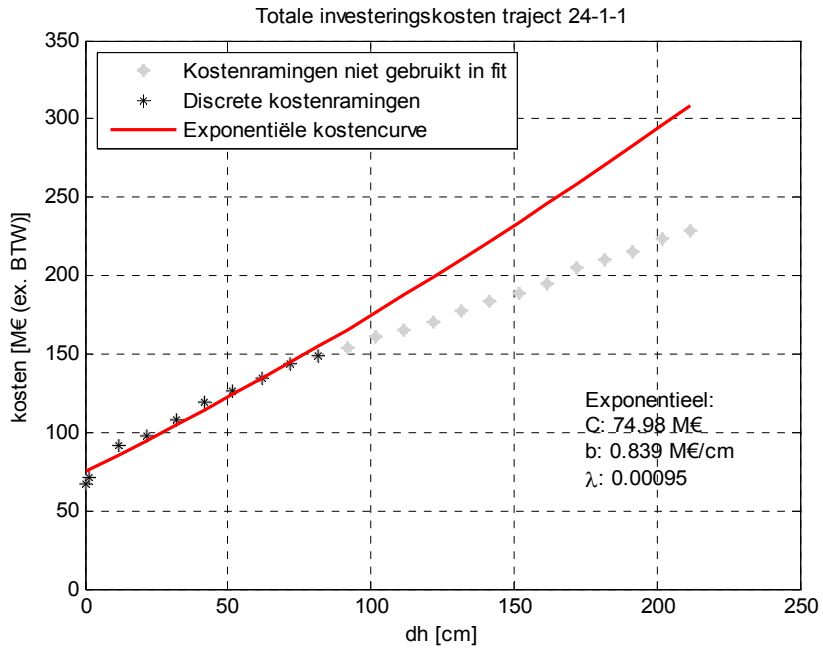
2.4.2 Berekening van benodigde dijkverhoging

Een berekend MHW effect kan vertaald worden naar een dijkverhoging met behulp van de verhouding tussen de decimeringshoogten: door vermenigvuldigen met DHK/DHW. DHK is de decimeringshoogte van de kruinhoogte. DHW is de decimeringshoogte van de waterstand. Daarbij wordt aangenomen dat de decimeringshoogtes constant zijn. Deze aanname is zeker niet overal correct, maar momenteel is geen andere informatie beschikbaar.

In de gekozen aanpak leidt een verhoging van het MHW dus automatisch tot een veiligheids-opgave. In werkelijkheid hoeft dit niet zo te zijn, aangezien bekend is dat sommige dijktrajecten een overhoogte hebben. Indien deze overhoogte voldoende is om het hogere MHW te kunnen keren is er geen noodzaak tot dijkversterking. De gekozen aanpak leidt daarom vrijwel zeker tot een conservatieve schatting van de kosten. Helaas is overhoogte vaak lastig te bepalen en betekent overhoogte niet altijd ook oversterkte. De beschikbare gegevens over dijkhoogtes en de daarvan afgeleide overhoogtes binnen WV21 zijn nog onvoldoende gevalideerd.

2.4.3 Berekening van kosten voor dijkverhoging

De kosten van de benodigde dijkverhogingen worden berekend met behulp van de kostenfuncties die met het programma KOSWAT voor elk dijktraject zijn afgeleid in het kader van het project WV21 (De Grave en Baarse, 2011). Een voorbeeld van een kostenfunctie voor dijktraject 24-1-1 (bij Werkendam) is weergegeven in Figuur 2-4. Het geldigheidsbereik van de fit is hier duidelijk te zien. Figuur 2-4 is een voorbeeld waar de kostenfunctie zeer beperkt geldig is (maar wel voldoende voor WV21). Voor andere dijktrajecten is het geldigheidsbereik groter. In sommige gevallen liggen de geraamde kosten voor extreme dijkverhogingen ook boven de kostenfunctie. In de meeste gevallen liggen zij er echter onder, zoals bij dijktraject 24-1-1.



Figuur 2-4: Voorbeeld van een kostenfunctie. De zwarte en grijze symbolen zijn kosten voor dijkverhogingen, berekend met KOSWAT. De rode lijn is een fit op de waarden tussen 0 en 2 decimeringshoogten. Deze fit is gebruikt voor de berekeningen.

Daarom wordt in deze studie een algemene correctie uitgevoerd voor kosten van zeer extreme dijkverhogingen. Deze reductiefactor is gebaseerd op visuele inspectie van een groot aantal kostenfuncties voor dijkvakken waar extreme dijkverhogingen werden berekend. De reductiefactor hangt af van de benodigde dijkverhoging en van de decimeringshoogte van de kruinhoogte:

$$\text{Reductiefactor} = \begin{cases} 1 & \text{Als } \Delta h < 2 \text{ DHK} \\ 0{,}95^{\left(\frac{\Delta h}{\text{DHK}} - 2\right)} & \text{Als } \Delta h > 2 \text{ DHK} \end{cases}$$

De reductiefactor treedt in werking als de benodigde dijkverhoging groter is dan tweemaal de decimeringshoogte. Voor 10 maal de decimeringshoogte is de reductiefactor gelijk aan 0,7. Voor 20 maal de decimeringshoogte is de reductiefactor 0,3. Met deze reducties wordt voorkomen dat de zeer onzekere (en waarschijnlijk te hoge) kosten voor extreme dijkverhogingen het eindresultaat te zeer gaan bepalen.

Binnen WV21 is gewerkt met twee varianten van de kostenfuncties: voor de eerste en voor de tweede referentiesituatie. In de onderhavige studie is gekozen voor de kostenfuncties uit de tweede referentiesituatie. Deze kostenfuncties houden rekening met de grotere betekenis van piping. Hierdoor vallen met name in het rivierengebied maatregelen duurder uit dan bij de eerste referentiesituatie.

De berekende kosten betreffen de kosten voor dijkversterking van dijktrajecten die in de MHW berekeningen zijn meegenomen (zie Figuur 1-2). Effecten buiten dit studiegebied vallen automatisch ook buiten de kostenramingen. Dat betreft onder andere de kosten voor dijkverhoging langs de IJssel in geval van een verhoogde afvoer langs deze riviertak.

De berekende kosten betreffen alleen de kosten voor dijkverhoging van primaire keringen. De kosten voor de bouw en het onderhoud van nieuwe kunstwerken (behorend bij de oplossingsrichtingen) zijn dus niet meegenomen in de totale kosten. Ook de kosten voor het op orde brengen van de C-keringen langs de Hollandse IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal zijn niet in rekening gebracht. Deze C-keringen dienen bij voortzetting van huidig beleid te worden versterkt. Echter, de noodzaak hiertoe vervalt indien de norm van dijkring 15 en/of 44 wordt aangescherpt tot 1/10.000 per jaar. Hetzelfde geldt voor oplossingsrichtingen waarbij het gebied waarin de C-keringen liggen aan de zee- en rivierzijde volledig wordt afgesloten.

3 Toelichting additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen

3.1 Inleiding

In deze verkenning zijn 9 varianten van de oplossingsrichting 2 "Verbeterd afsluitbaar open zee- en rivierzijde" en 2 varianten van de oplossingsrichting 3 "Gesloten zee- en rivierzijde" onderzocht (zie Tabel 2-2). Het voorliggende hoofdstuk geeft een beschrijving van deze 11 varianten. De oplossingsrichtingen zijn gedefinieerd vanuit het perspectief van hoogwaterbescherming, en niet vanuit zoetwatervoorziening. Op de effecten van de varianten voor de zoetwatervoorziening wordt in dit rapport niet ingegaan. Elke oplossingsrichting is verder vormgegeven door uit te gaan van een aantal uitgangspunten. Hieronder staan de uitgangspunten die voor alle oplossingsrichtingen en varianten gelijk zijn:

- Voor alle oplossingsrichtingen is ervan uitgegaan dat de projecten Noordwaard, Overdiepse Polder, Avelingen, en waterberging Volkerak-Zoommeer zijn uitgevoerd en wordt tevens uitgegaan van het ontzien van de Nederrijn - Lek bij afvoeren van de Bovenrijn hoger dan 16.000 m^3/s.
- Het lekdebiet van de Maeslant- en Hartelkering blijft gelijk. De hoogte van de stormvloedkeringen groeit mee met de zeespiegelstijging.
- Voor de Haringvlietsluizen is uitgegaan van een alternatief spuiprogramma voor de Haringvlietsluizen: bij Bovenrijn-afvoeren hoger dan 2000 m^3/s wordt maximaal gespuid.

De rest van het hoofdstuk beschrijft de 9 varianten die horen bij oplossingsrichting 2 (paragraaf 3.2) en de 2 varianten die horen bij oplossingrichting 3 (paragraaf 3.3).

3.2 Oplossingsrichting 2: Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde

De essentie van deze oplossingsrichting is dat het hoofdwatersysteem gehandhaafd blijft zoals we het nu kennen in de Rijn-Maasmonding. De hoogwaterbescherming voor Rijnmond-Drechtsteden wordt gerealiseerd met verbeterde afsluitbare keringen aan de zeezijde, in combinatie met beweegbare keringen in de omliggende riviertakken. Deze oplossingsrichting heeft als achterliggende gedachte om de Drechtsteden bij hoogwatersituaties behalve van stormvloed ook van rivieraanvoer af te sluiten. In deze oplossingsrichting worden naast de bestaande te verbeteren Maeslantkering, Hartelkering en Haringvlietsluizen nog tenminste 4 nieuwe afsluitbare keringen in de riviertakken rond het gebied beschouwd: in de Lek, in de Beneden Merwede, in de Dortse Kil en in het Spui.

3.2.1 Variant 2a: Nieuwe Lek

Kenmerken van variant 2a
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.

In Variant 2a 'Nieuwe Lek' wordt een nieuwe blauwe of groene rivier aangelegd (een 'Nieuwe Lek'). De afvoer die bij de IJsselkop over de Lek gestuurd wordt, is gebaseerd op de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken (Figuur 3-1). Met een nieuwe rivier (*lees: kanaal*) wordt de

hydraulisch meest eenvoudige situatie gesimuleerd. De eventuele aanleg van een nieuwe watergang heeft grote invloed op het gebied en de effecten op de omgeving moeten dan ook zorgvuldig worden onderzocht. De werking van dit systeem is afhankelijk van een voldoende kleine faalkans van de vele hoogwaterkeringen. Belangrijke aandachtspunten zijn: de faalkans van de keringen, de sluitfrequentie, de omvang van aanvullende dijkversterkingen, de kwetsbaarheid van buitendijkse gebieden, de waterverdeling over de bovenrivieren en het beperken van zoutindringing.

Specifieke uitgangspunten voor deze oplossingsrichting zijn:

- De Hollandsche IJsselkering blijft gehandhaafd (in het model heeft deze geen faalkans).
- De rivierkeringen in Lek, Spui, Dordtse Kil en Beneden Merwede worden aangelegd op de locaties zoals aangegeven in het advies van de commissie Veerman en krijgen dezelfde faalkans (1/1000) en hetzelfde sluitcriterium als de Maeslantkering. Ze worden gesloten als de stormvloedkeringen in de Nieuwe Waterweg sluiten. Voor de Spuikering en Drechtkering (in de Dordtse Kil) geldt dat ze sluiten als de stormvloedkering is gesloten en de waterstand in het Rijnmondgebied lager is dan op het Haringvliet.
- Aangenomen is dat de rivierkeringen falen afhankelijk van de Maeslantkering. Dit is vanwege technische beperkingen van de modellen, maar simuleert tevens dat bij falen van de Europoortkering de rivierkeringen waarschijnlijk beter open kunnen staan.
- Ondanks dat uit eerder studies is gebleken dat het splitsingspunt Beneden Merwede en Nieuwe Merwede een knelpunt vormt bij deze oplossingsrichting (Jeuken et al., 2010), zijn niet op voorhand compenserende maatregelen meegenomen om dit knelpunt op te lossen. In variant 2g t/m 2i wordt gewerkt met een verbrede Nieuwe Merwede om dit knelpunt op te lossen (paragraaf 3.2.7).



Figuur 3-1: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

3.2.2 Variant 2b: Waal

Kenmerken van variant 2b
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

In Variant 2b 'Waal' wordt al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd. De afvoer die bij de Pannerdensche Kop extra over de Waal gestuurd wordt, is gebaseerd op de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken (Figuur 3-2). Ondanks dat verwacht mag worden dat bij deze oplossingsrichting de waterstanden op de Waal zullen toenemen, zijn niet op voorhand compenserende maatregelen meegenomen. De werking van dit systeem is afhankelijk van een voldoende kleine faalkans van de hoogwaterkeringen. Belangrijke aandachtspunten zijn: de faalkans van de keringen, de sluitfrequentie, de omvang van aanvullende dijkversterkingen, de kwetsbaarheid van buitendijkse gebieden, de waterverdeling over de bovenrivieren en het beperken van zoutindringing.



Figuur 3-2: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd'.

3.2.3 Variant 2c: IJssel

Kenmerken van variant 2c
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.

In Variant 2c 'IJssel' wordt een deel van het Lekwater bij IJsselkop over de IJssel gestuurd (Figuur 3-3). De afvoer die bij de IJsselkop extra over de IJssel gestuurd wordt, is gebaseerd op de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken waarbij de resterende afvoer over de Lek niet groter mag zijn dan 1.000 m^3/s (zie Tabel 2-3). Verwacht wordt dat bij deze oplossingsrichting de waterstanden op de IJssel sterk zullen toenemen (verdubbeling van de maatgevende afvoer). Deze effecten vallen echter buiten het studiegebied van dit onderzoek en zullen derhalve niet gepresenteerd worden in deze rapportage. Een goede werking van deze

oplossingsrichting is afhankelijk van een voldoende kleine faalkans van de hoogwaterkeringen. Belangrijke aandachtspunten zijn: de faalkans van de keringen, de sluitfrequentie, de omvang van aanvullende dijkversterkingen, de kwetsbaarheid van buitendijkse gebieden, de waterverdeling over de bovenrivieren en het beperken van zoutindringing.

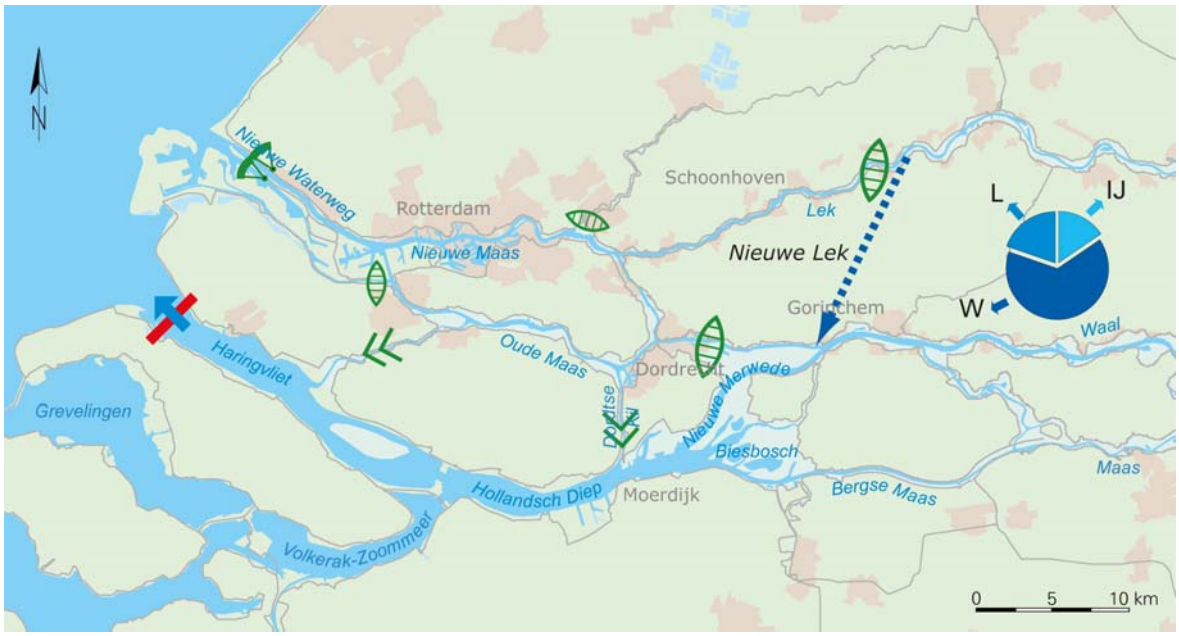


Figuur 3-3: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'.

3.2.4 Variant 2d: Nieuwe Lek + zuidelijke keringen

Kenmerken van variant 2d
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.

Variant 2d 'Nieuwe Lek en zuidelijke keringen' is vergelijkbaar met variant 2a 'Nieuwe Lek'. Het verschil tussen de 2 varianten zit bij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil (Figuur 3-4). Uit Knoben (2011) blijkt dat het open houden van de rivierkeringen in het Spui en de Dordtse Kil ontlastend werkt voor de wateropgave binnen de ring van keringen van het hoekpunt "Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde". De waterstand op het Haringvliet is over het algemeen lager dan binnen de ring van (rivier)keringen. Omdat de stroming van noord naar zuid loopt (van Rotterdam/Dordrecht richting het Haringvliet) is in deze variant gekozen om de stroming alleen *van zuid naar noord* te laten keren.



Figuur 3-4: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

3.2.5 Variant 2e: Waal + zuidelijke keringen

Kenmerken van variant 2e
- verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde.
- keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord.
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

Variant 2e 'Waal en zuidelijke keringen' is vergelijkbaar met variant 2b 'Waal'. Het verschil tussen de 2 varianten zit bij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil (Figuur 3-5). Net als in variant 2d is in deze variant gekozen om de stroming alleen *van zuid naar noord* te laten keren.



Figuur 3-5: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd'.

3.2.6 Variant 2f: IJssel + zuidelijke keringen

Kenmerken van variant 2f
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;
- een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.

Variant 2f 'IJssel en zuidelijke keringen' is vergelijkbaar met variant 2c 'IJssel'. Het verschil tussen de 2 varianten zit bij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil (Figuur 3-6). Net als in variant 2d en 2e is in deze variant gekozen om de stroming alleen *van zuid naar noord* te laten keren.

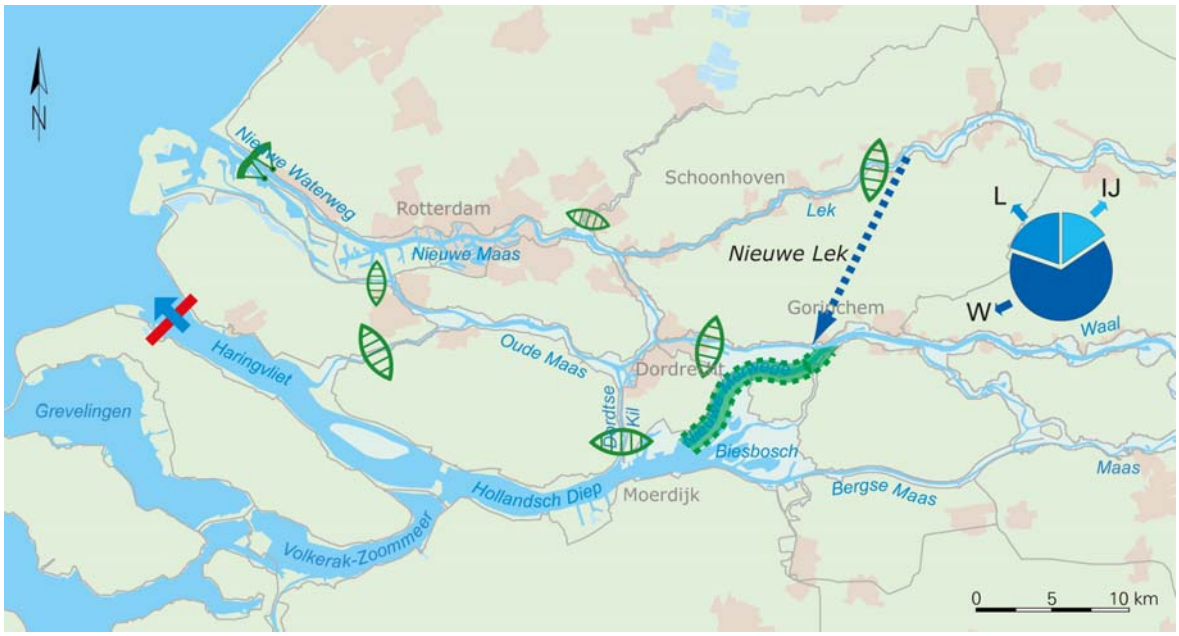


Figuur 3-6: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'.

3.2.7 Variant 2g: Nieuwe Lek + verbreding Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 2g
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.

Variant 2g 'Nieuwe Lek en verbreding Nieuwe Merwede' is vergelijkbaar met variant 2a 'Nieuwe Lek' met uitzondering van de Nieuwe Merwede (Figuur 3-7). Uit eerdere studies is gebleken dat het splitsingspunt van de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede een hydraulisch knelpunt is in de oplossingsrichting "Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde" (Jeuken et al., 2011). In variant 2g is ervoor gekozen om compenserende maatregelen te nemen om dit knelpunt op te lossen, door de Nieuwe Merwede te verbreden. Omdat het hier gaat om een schatting van het effect, is gerekend met een profiel van de Nieuwe Merwede dat twee keer zo breed is.



Figuur 3-7: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

3.2.8 Variant 2h: Waal + verbreding Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 2h
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

Variant 2h 'Waal en verbreding Nieuwe Merwede' is vergelijkbaar met variant 2b 'Waal'. Net als in variant 2g is het hydraulische knelpunt bij het splitsingspunt van de Beneden en de Nieuwe Merwede opgelost door de Nieuwe Merwede te verbreden met een factor twee.



Figuur 3-8: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd'.

3.2.9 Variant 2i: IJssel + verbreding Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 2i
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.

Variant 2i 'IJssel en verbreding Nieuwe Merwede' is vergelijkbaar met variant 2c 'IJssel'. Net als in variant 2g en 2h is het hydraulische knelpunt bij het splitsingspunt van de Beneden en de Nieuwe Merwede opgelost door de Nieuwe Merwede te verbreden met een factor twee.



Figuur 3-9: Variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'.

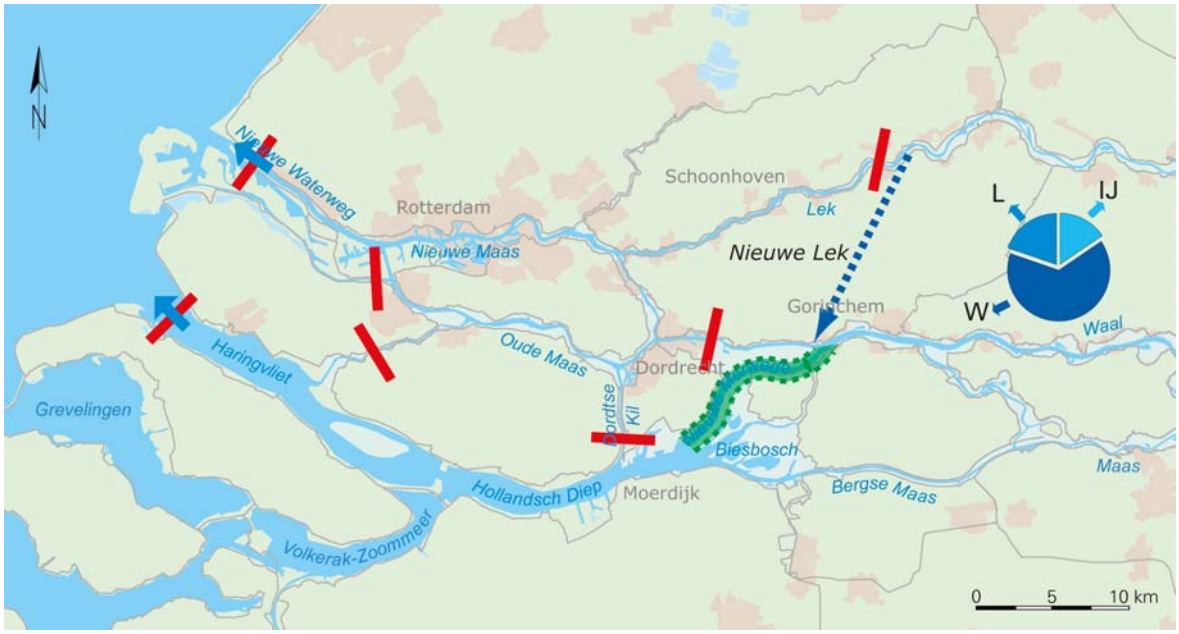
3.3 Oplossingsrichting 3: Gesloten aan zee- en rivierzijde

De belangrijkste gedachte achter deze oplossingsrichting is om enerzijds de kustlijn verder te verkorten door de aanleg van een dam in de Nieuwe Waterweg, en anderzijds de rivieren buiten het Rijnmondgebied te houden door de aanleg van dammen of beweegbare rivierkeringen in het Spui, de Dordtse Kil, de Beneden Merwede en de Lek. In de dam in de Nieuwe Waterweg zijn twee grote zeesluizen opgenomen. Een afgesloten Nieuwe Waterweg kan ook worden gecombineerd met een open Haringvliet. Door het volledig afsluiten van de Rijnmondregio van de zee en het rivierwater, wordt een 'Rijnmondring' gecreëerd, waarbinnen het waterpeil volledig beheerd kan worden.

3.3.1 Variant 3c: Gesloten zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek + verbrede Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 3c
- oplossingsrichting gesloten zee- en rivierzijde;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed.

Variant 3c 'Gesloten zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek en zuidelijke keringen' is vergelijkbaar met variant 3b 'Gesloten zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek'. In variant 3c is het hydraulische knelpunt bij het splitsingspunt van de Merwedes opgelost door de Nieuwe Merwede met een factor twee te verbreden (Figuur 3-10), op dezelfde wijze als in varianten 2g t/m 2i.

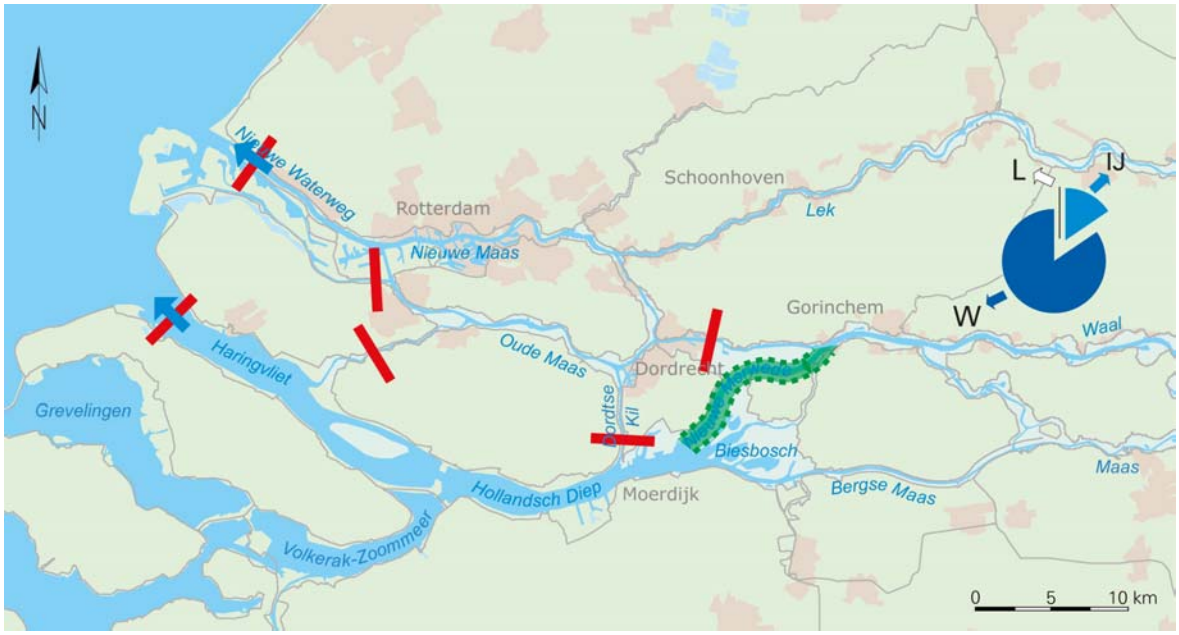


Figuur 3-10: Variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

3.3.2 Variant 3d: Gesloten zee- en rivierzijde + Waal + verbrede Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 3d
- oplossingsrichting gesloten zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

In variant 3d 'Gesloten zee- en rivierzijde + Waal en verbrede Nieuwe Merwede' wordt al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd. De afvoer die bij de Pannerdensche Kop extra over de Waal gestuurd wordt, is gebaseerd op de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken (Figuur 3-11). Het hydraulische knelpunt bij het splitsingspunt van de Merwedes is in deze variant opgelost door de Nieuwe Merwede met een factor twee te verbreden, op dezelfde wijze als in varianten 3c en 2g t/m 2i.



Figuur 3-11: Variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd en de Nieuwe Merwede is verbreed'.

4 MHW's van de additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen

4.1 Inleiding

Het doel van het deelprogramma DP-RD is om een oplossingsrichting te bepalen voor het borgen van de hoogwaterbescherming en het zoetwaterbeheer voor de lange termijn. Op dit moment zijn vier 1e generatie oplossingsrichtingen / hoekpunten geïdentificeerd. In de voorliggende verkenning zijn 9 varianten van de oplossingsrichting 'Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde' en 2 varianten van de oplossingsrichting 'Gesloten' onderzocht. Het effect van deze varianten op de MHW's wordt in dit hoofdstuk gepresenteerd in tabellen met de resultaten per variant voor acht locaties verspreid over het gebied. Onder de tabellen volgt steeds een beschouwing van de resultaten. Ondersteunend aan de tekst zijn in Bijlage A grafieken opgenomen met MHW's en MHW-verschillen over riviertrajecten. In Bijlage B zijn de resultaten ook geografisch weergegeven.

In de volgende paragrafen (4.2.1 t/m 4.3.2) worden de resultaten van de nieuwe varianten binnen de 4 oplossingsrichtingen één voor één besproken. Deze varianten komen overeen met de schuingedrukte regels uit het overzicht in Tabel 2-2 van paragraaf 2.2.3. Voor het gemak van de lezer is aan het begin van elke paragraaf een tekstblokje te vinden met daarin een beknopte beschrijving van de kenmerken van de betreffende oplossingsrichting. In paragraaf 4.4 is tot slot een samenvatting gegeven van de resultaten.

4.2 Oplossingsrichting 2: Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde

4.2.1 Variant 2c: IJssel

Kenmerken van variant 2c
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.

Uit Slootjes et al (2011) is al gebleken dat het verkleinen van de faalkans van de Europoortkering geen uitkomst biedt om de stijging van de MHW's door klimaatverandering rondom de Drechtsteden volledig te compenseren. De Drechtsteden vallen in het overgangsgebied, waar ook de rivierafvoer van invloed is op de MHW. Variant 2c ('Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd') sluit de Drechtsteden bij hoogwatersituaties gedeeltelijk van de rivierafvoer af.

De oplossingsrichting 'Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde' heeft drie subvarianten die verschillen in de wijze van omgaan met de afvoer van de Lek:
- het omleiden van de Lekafvoer naar het zuiden, via een 'Nieuwe Lek';
- het afvoeren van de gehele Lekafvoer over de Waal, vanaf Pannerdensche Kop;
- het afvoeren van een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel.

De effecten van de derde variant van deze oplossingsrichting op de MHW's zijn opgenomen in Tabel 4-1. De tabel geeft in de kolom 3 en 4 de MHW's bij huidig beheer en klimaatverandering.

Dit zijn de resultaten zoals gepresenteerd in Slootjes et al. (2011). In de laatste 2 kolommen staan de MHW's voor de variant 'waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd'.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	MHW referen-tie 2015	MHW huidig beheer [m+NAP]		MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant IJssel [m+NAP]	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	KNMI W2100 (S2)	KNMI W2050 of G2100 (S1)	KNMI W2100 (S2)
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,8
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	2,9	3,2
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	3,4	3,5
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,6	3,1
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,8	3,2
Werkendam	3,8	4,0	4,2	4,1	4,8
Tiel	11,6	12,0	12,3	12,0	12,3

Tabel 4-1: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's.

Bij Dordrecht is de MHW-daling t.o.v. het huidig beheer door het omleiden van de rivierafvoer in het KNMI-scenario W2050 gelijk aan 0,2 m en in het scenario W2100 gelijk aan 0,3 m. Deze afname is iets groter dan in de varianten 2a en 2b (zie Slootjes et al., 2011). Dit is het gevolg van een keuze in de modellering. Zowel hydraulische berekeningen met een open als een dichte kering wordt in de varianten 2b en 2c gerekend met het omleiden van de rivierafvoer. Hierdoor nemen in variant 2b de waterstanden bij Dordrecht in de open situatie toe (immers zowel de Lek- als de Waalafvoer stromen dan via de Beneden en Nieuwe Merwede naar zee). In variant 2c nemen hierdoor de waterstanden bij Dordrecht in de open situatie af (een gedeelte van de Lekafvoer bereikt de Rijnmondregio immers niet).

Variant 2c levert een MHW-verlaging t.ov. huidig beheer van ca 0,8 - 0,9 m bij Schoonhoven, als gevolg van de afname van de afvoer op de Lek. In variant 2b (waarbij er geen afvoer over de Lek plaats vindt) is deze afname nog iets groter (orde 1,0 – 1,1 m, zie Slootjes et al., 2011).

Tegelijkertijd leidt deze variant tot hogere waterstanden bij Werkendam. Doordat de Beneden Merwede wordt afgesloten door een stormvloedkering moet namelijk gedurende een storm meer water via de Nieuwe Merwede worden afgevoerd. De capaciteit van de Nieuwe Merwede is niet groot genoeg om deze extra hoeveelheid water zonder toename van het verval te verwerken. Omdat in deze variant alleen de Waalafvoer door de Nieuwe Merwede moet worden afgevoerd, is de stijging van de MHW bij Werkendam geringer dan in varianten 2a en 2b. Bij Tiel heeft deze waterstandstoename geen effect meer. Variant 2c levert dezelfde MHW's bij Tiel als het doorzetten van het huidig beheer (zie Tabel 4-1).

De lagere waterstanden bij Hellevoetsluis en Moerdijk zijn het gevolg van de afname van het volume aan water dat gedurende de storm op het Haringvliet geborgen moet worden, doordat een deel van de Lekafvoer over de IJssel wordt geleid.

4.2.2 Variant 2d: Nieuwe Lek + zuid. keringen

Kenmerken van variant 2d
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.

Uit Knoben (2011) blijkt dat het open houden van de rivierkeringen in het Spui en de Dordtse Kil ontlastend werkt voor de wateropgave binnen de ring van keringen van het hoekpunt 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde'. De waterstanden op het Haringvliet zijn over het algemeen lager dan binnen de ring van (rivier)keringen. Omdat de stroming van noord naar zuid loopt (van Rotterdam/Dordrecht naar het Haringvliet) is, is er in dit onderzoek voor gekozen om alleen de stroming *van zuid naar noord* te laten keren. Tabel 4-2 geeft in de kolom 3 en 4 de MHW's bij huidig beheer en klimaatverandering. Dit zijn de resultaten zoals gepresenteerd in Slootjes et al. (2011). In de laatste 2 kolommen staan de MHW's voor het alternatief 'waarbij een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde + zuidelijke keringen, variant Nieuwe Lek [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,8
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	3,0	3,1
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	4,2	4,3
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,7	3,2
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,9	3,4
Werkendam	3,8	4,0	4,2	4,5	5,1
Tiel	11,6	12,0	12,3	12,0	12,4

Tabel 4-2: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd' voor twee klimaatscenario's.

De aanpassing van de zuidelijke rivierkeringen levert geen verlaging op van de maatgevende waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht. T.o.v. de studie van Knoben (2011) is de sluiting van de zuidelijke rivierkeringen aangepast in variant 2d. De keringen worden gesloten als de Hartelkering (bij storm op zee) is gesloten en de afvoer via het Spui of de Dordtse Kil (richting het zuiden) minder is dan 200 m^3/s. Op dat moment is de waterstand in de Rijnmondring bij het sluiten van de zuidelijke keringen nagenoeg gelijk aan de waterstand op het Haringvliet.

Gedurende een storm zullen deze rivierkeringen worden geopend als de waterstand in de Rijnmondring 0,1 meter hoger is dan de waterstand op het Haringvliet. De keringen sluiten weer als het verval over het kunstwerk is afgenomen tot 0,01 m. Hierdoor is de waterstand in de Rijnmondring gedurende de storm nagenoeg gelijk aan de waterstand op het Haringvliet.
Het vermoeden is dat door het snelle openen van de oostelijke rivierkeringen na de storm, er gedurende een paar uur veel water de 'Rijnmondring' in stroomt (eerder geconstateerd in Slootjes et al., 2011). Dit heeft tot gevolg dat de geringe verlaging door het openen van de zuidelijke keringen gedurende de storm (om het lekdebiet van de Europoortkering te ledigen), te niet wordt gedaan. De resultaten die voor deze variant berekend zijn, zijn gelijk aan de resultaten waarbij de zuidelijke keringen gesloten blijven gedurende de storm.

4.2.3 Variant 2e: Waal + zuid. keringen

Kenmerken van variant 2e
- verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde.
- keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord.
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

In de laatste 2 kolommen van Tabel 4-3 staan de MHW's voor de variant waarbij al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde + zuidelijke keringen, variant Waal [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,7
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	3,0	3,2
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	3,2	3,3
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,8	3,3
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	3,0	3,5
Werkendam	3,8	4,0	4,2	4,9	5,7
Tiel	11,6	12,0	12,3	13,6	14,0

Tabel 4-3: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's.

Net als de resultaten van variant 2d, blijkt ook hier dat het openen van de zuidelijke keringen weinig tot geen verlaging van de waterstanden geeft binnen de Rijnmondring. De resultaten voor deze variant zijn praktisch gelijk aan de resultaten waarbij de zuidelijke keringen gesloten blijven gedurende de storm (zie ook Tabel 4-10 in paragraaf 4.4). De uitleg die in de vorige paragraaf is opgenomen, is ook op dit resultaat van toepassing.

4.2.4 Variant 2f: IJssel + zuid. keringen

Kenmerken van variant 2f
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord;
- een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.

De MHW's voor de variant waarbij 'een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' staan in Tabel 4-4. Uit deze resultaten is te zien dat ze niet afwijken van de variant, waarbij de zuidelijke keringen gesloten blijven gedurende de storm (variant 2c). Het openen van de zuidelijke keringen gedurende een storm heeft ook bij deze variant nauwelijks effect.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde + zuidelijke keringen, variant IJssel [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,8
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	2,9	3,2
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	3,4	3,5
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,6	3,1
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,8	3,2
Werkendam	3,8	4,0	4,2	4,1	4,8
Tiel	11,6	12,0	12,3	12,0	12,3

Tabel 4-4: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de kering in het Spui en de Dordste Kil alleen van zuid naar noord keren, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's.

4.2.5 Variant 2g: Nieuwe Lek + verbrede Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 2g
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.

Door het omleiden van de Lek- en de Waal-afvoer naar de Nieuwe Merwede zullen de maatgevende waterstanden op bovenstrooms gelegen locaties langs de Boven Merwede toenemen. In variant 2a neemt de waterstand bij Werkendam door het omleiden toe met bijna 1,5 meter in W2100. De capaciteit van de Nieuwe Merwede is niet groot genoeg om de extra hoeveelheid water zonder toename van verval af te kunnen voeren naar het Hollandsch Diep. Door het verbreden van de Nieuwe Merwede kan deze opstuwing met ruim 1 meter omlaag worden gebracht. Ondanks de verbreding van de Nieuwe Merwede met een factor 2 neemt de

maatgevende waterstand bij Werkendam (door het omleiden van de gehele afvoer van Lek en Waal via de Nieuwe Merwede) nog steeds met ongeveer 0,4 meter toe.

Van deze stijging wordt een deel veroorzaakt door een stijging van de waterstand op het Hollandsch Diep. Het andere deel komt door een toename van het verval over de Nieuwe Merwede: doordat de hydraulische capaciteit van de verbrede Nieuwe Merwede niet groot genoeg is, vindt nog steeds opstuwing plaats. Verdere vergroting van de capaciteit van de Nieuwe Merwede zou voor meer verlaging van de MHW's kunnen zorgen, maar dit is niet onderzocht.

Tabel 4-5 geeft in de kolom 3 en 4 de MHW's bij huidig beheer en klimaatverandering. Dit zijn de resultaten zoals gepresenteerd in Slootjes et al. (2011). In de laatste twee kolommen staan de MHW's voor de variant 'waarbij een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde + verbrede Nieuwe Merwede, variant Nieuwe Lek [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,8
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	2,9	3,1
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	4,2	4,4
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,7	3,2
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,9	3,4
Werkendam	3,8	4,0	4,2	3,6	4,2
Tiel	11,6	12,0	12,3	11,9	12,3

Tabel 4-5: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd' voor twee klimaatscenario's.

Door de verbreding van de Nieuwe Merwede stroomt minder water de Rijmond-ring binnen na het openen van de oostelijke rivierkeringen na een storm (er is immers minder verval over de rivierkering in de Beneden Merwede). Het gevolg hiervan is dat de MHW's bij Dordrecht in deze variant een klein beetje dalen (ongeveer 0,10 m) t.o.v. varianten 2a en 2d.

4.2.6 Variant 2h: Waal + verbrede Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 2h
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

Door het omleiden van de Lek-afvoer over de Waal nemen de maatgevende waterstanden niet alleen toe op de Boven Merwede, maar ook op de Waal. Door de verbreding van de Nieuwe

Merwede neemt het effect van deze omleiding bij Werkendam sterk af. Het effect van de omleiding bij Tiel verandert door de verbreding van de Merwede nauwelijks. In Tabel 4-10 van paragraaf 4.4 staan de resultaten van variant 2b uit Slootjes et al. (2011). Daar is te zien dat de MHW's van variant 2h bij Tiel praktisch gelijk zijn aan de MHW's van variant 2b.

In de hydraulische berekeningen met zowel open als gesloten keringen wordt in de varianten 2b, 2e en 2h gerekend met het omleiden van de rivierafvoer. Hierdoor nemen in deze varianten de waterstanden bij Tiel in de open situatie toe (zowel de Lek- als de Waalafvoer stromen dan immers via de Waal naar zee). Dit is een keuze geweest in Slootjes et al. (2011), omdat het rekeninstrumentarium niet de mogelijkheid biedt om te differentiëren met de aansturing van de kunstwerken bij verschillende stormsituaties. Voor locaties langs de Waal geeft deze keuze een overschatting op de MHW's, omdat de afvoer op de Waal bij lage zeewaterstanden te groot is. Voor locaties langs de Lek geeft deze keuze een onderschatting. Het is mogelijk om in de open situaties de afvoer normaal via de Lek te laten lopen. Dan wordt echter een fout gemaakt bij het bepalen van het effect van falende stormvloedkeringen, immers de open situatie is gelijk aan het niet hoeven sluiten van de keringen, maar ook aan het falen van de keringen. Omdat de hoge zeewaterstanden het meest bijdragen aan de MHW's in het zee- en overgangsgebied, correspondeert de open situatie vaker met het falen van de stormvloedkeringen. Een aanpassing van deze keuze is dus wel mogelijk, maar betekent aanpassing van de modellentrein. Voor het zee- en overgangsgebied voldoet de keuze wel (of geeft slechts een geringe over- of onderschatting).

In Tabel 4-6 is te zien dat de waterstanden op het Haringvliet en het Hollandsch Diep toenemen als gevolg van de verbreding. Doordat het omgeleide water makkelijker kan afstromen naar het Haringvliet neemt de maatgevende waterstand bij Moerdijk en Hellevoetsluis toe.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde + verbrede Nieuwe Merwede, variant Waal [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,7
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	2,9	3,1
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	3,1	3,2
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,8	3,3
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	3,0	3,5
Werkendam	3,8	4,0	4,2	3,9	4,5
Tiel	11,6	12,0	12,3	13,6	13,9

Tabel 4-6: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's.

4.2.7 Variant 2i: IJssel + verbrede Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 2i
- oplossingsrichting verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- een deel van het Lekwater wordt bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd.

Het omleiden van een deel van de Lek-afvoer naar de IJssel in combinatie met het verbreden van de Nieuwe Merwede geeft een sterke afname van de maatgevende waterstanden bij Werkendam (zie Tabel 4-7). Door de verbreding van de Nieuwe Merwede neemt het verval over deze watergang flink af (0,4 - 0,6 m). Dit effect is niet meer merkbaar verder bovenstrooms op de Waal bij Tiel.

Doordat een deel van de Lek-afvoer de Rijnmondregio niet bereikt, nemen de waterstanden op het Haringvliet en het Hollandsch diep minder toe (ook na de verbreding van de Nieuwe Merwede).

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde + verbrede Nieuwe Merwede, variant IJssel [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	3,5	3,8
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	2,9	3,2
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	3,3	3,4
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	2,6	3,1
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	2,8	3,2
Werkendam	3,8	4,0	4,2	3,4	3,8
Tiel	11,6	12,0	12,3	11,9	12,3

Tabel 4-7: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Afsluitbaar aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's.

4.3 Oplossingsrichting 3: Gesloten aan zee- en rivierzijde

4.3.1 Variant 3c: Zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek + Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 3c
- oplossingsrichting gesloten zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd.

In Slootjes et al (2011) heeft de oplossingsrichting 'Gesloten' drie varianten:
- 'Gesloten zeezijde': zonder dammen in de rivieren, maar wel met extra waterberging in de Grevelingen.
- 'Gesloten aan zee- en rivierzijde', waarbij ook in de riviertakken dammen met spuisluizen zijn aangelegd. Hierdoor ontstaat een gesloten Rijnmondring met beheerst peil.
- 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, open Haringvliet, geen waterberging Zuidwestelijke Delta': idem, maar met de Haringvlietdam geheel verwijderd.

In de voorliggende studie zijn twee additionele varianten van de tweede variant doorgerekend. In Tabel 4-8 staan de MHW's voor de variant 3c 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd'.

Gesloten zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Gesloten zee- en rivierzijde + verbrede Nieuwe Merwede, variant Nieuwe Lek [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	1,2	1,1
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	1,4	1,3
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	1,3	1,2
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	3,0	3,5
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	3,2	3,7
Werkendam	3,8	4,0	4,2	4,5	4,8
Tiel	11,6	12,0	12,3	12,1	12,4

Tabel 4-8: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en een nieuwe blauwe of groene rivier wordt aangelegd' voor twee klimaatscenario's.

Door verbreding van de Nieuwe Merwede wordt het negatieve effect van de oorspronkelijke variant 'Gesloten zee- en rivierzijde' op de maatgevende waterstanden bij Werkendam en Tiel kleiner. De maatgevende waterstand neemt nog steeds toe met ongeveer 0,5 m (t.o.v. huidig beheer), maar dit is veel minder dan de toename van ongeveer 2 meter zónder de verbreding van de Merwede. Bij Tiel (verder bovenstrooms) is nog maar een gering effect 0,1 m merkbaar van de afsluiting van de Rijnmond-regio, t.o.v. 0,3 m.

Ook bij deze variant treedt een toename van de maatgevende waterstanden op het Haringvliet en het Hollandsch diep op. Deze toename is gelijk aan de toename bij de gesloten variant zonder verbreding van de Nieuwe Merwede.

4.3.2 Variant 3d: Zee- en rivierzijde + Waal + Nieuwe Merwede

Kenmerken van variant 3d
- oplossingsrichting gesloten zee- en rivierzijde;
- de Nieuwe Merwede wordt verbreed;
- al het Lekwater wordt bij de Pannerdensche Kop over de Waal gestuurd.

De MHW's voor de variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, en al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd' geven een vergelijkbaar beeld als de resultaten van variant 3c. In Tabel 4-9 is te zien dat alleen de effecten bij Tiel anders worden door de toename van de afvoer op de Waal in deze variant. Het effect bij Tiel is echter vergelijkbaar met andere varianten waarbij al het Lekwater bij de Pannerdensche Kop over de Waal wordt gestuurd. Dit effect is al eerder besproken in paragraaf 4.2.3 en 4.2.6.

Gesloten zee- en rivierzijde	**MHW referen-tie 2015**	**MHW huidig beheer [m+NAP]**		**MHW Gesloten zee- en rivierzijde + verbrede Nieuwe Merwede, variant Waal [m+NAP]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	5,4	5,9	5,4	5,9
Rotterdam	3,6	3,9	4,3	1,1	1,1
Dordrecht	2,9	3,1	3,5	1,3	1,3
Schoonhoven	4,2	4,2	4,4	1,2	1,2
Hellevoetsluis	2,5	2,7	3,2	3,0	3,5
Moerdijk	2,6	2,9	3,3	3,2	3,7
Werkendam	3,8	4,0	4,2	4,5	4,8
Tiel	11,6	12,0	12,3	13,6	13,9

Tabel 4-9: MHW's bij huidig beheer en bij de variant 'Gesloten aan zee- en rivierzijde, waarbij de Nieuwe Merwede wordt verbreed, waarbij een deel van het Lekwater bij de IJsselkop over de IJssel wordt gestuurd' voor twee klimaatscenario's.

4.4 Samenvatting resultaten

Bij de presentatie van de resultaten voor de additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen is steeds een vergelijking gemaakt met het huidige beheer. Dit is gedaan om het effect van de inrichtingsvariant aan te tonen. Uiteindelijk is het van belang in welke mate de variant de MHW-opgave kan oplossen. Daarom zijn in de volgende tabellen de MHW-verschillen opgenomen ten opzichte van de referentiesituatie van 2015.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde	MHW referen-tie 2015	2a MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde variant Nieuwe Lek [m]		2b MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde variant Waal [m]		2c MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde variant IJssel [m]	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	KNMI W2100 (S2)	KNMI W2050 of G2100 (S1)	KNMI W2100 (S2)	KNMI W2050 of G2100 (S1)	KNMI W2100 (S2)
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8
Rotterdam	3,6	-0,1	0,2	-0,1	0,1	-0,1	0,2
Dordrecht	2,9	0,1	0,3	0,1	0,3	0,0	0,3
Schoonhoven	4,2	0,0	0,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8
Hellevoetsluis	2,5	0,2	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6
Moerdijk	2,6	0,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6
Werkendam	3,8	0,7	1,4	1,1	1,9	0,3	1,1
Tiel	11,6	0,4	0,8	2,0	2,4	0,4	0,7

Tabel 4-10: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Verbeterd Afsluitbaar Zee- en Rivierzijde'.

In Tabel 4-10 is te zien dat de MHW-daling bij Dordrecht in variant 2c iets groter is dan in de varianten 2a en 2b. Dit is het gevolg van de keuze om in de hydraulische berekeningen voor zowel de dichte als de open keringsituatie te rekenen met het omleiden van de rivierafvoer. Variant 2c levert een geringere MHW-verlaging op bij Schoonhoven dan variant 2b. Door de bovenstaande keuze wordt deze daling in beide varianten enigszins overschat. De toename van de waterstanden bij Werkendam is in variant 2c geringer dan bij de varianten 2a en 2b. Bij Tiel heeft alleen het omleiden van de Lekafvoer via de Waal nog effect.

De aanpassing van de zuidelijke rivierkeringen levert eigenlijk geen noemenswaardige verlaging op van de maatgevende waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht. In alle varianten is bij het sluiten van de zuidelijke keringen de waterstand in de Rijnmondring nagenoeg gelijk aan de waterstand op het Haringvliet. Gedurende een storm wordt door het openen van de keringen de waterstand in de ring gelijk gehouden aan de waterstand op het Haringvliet. Het vermoeden is dat er na de storm gedurende een paar uur veel water de Rijnmondring instroomt als gevolg van de opstuwing op de Beneden Merwede. Hierdoor wordt het effect van de varianten 2d, 2e en 2f teniet gedaan (zie Tabel 4-11).

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, waarbij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil alleen van zuid naar noord keren	**MHW referen-tie 2015**	**2d MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant Nieuwe Lek [m]**		**2e MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant Waal [m]**		**2f MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant IJssel [m]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8
Rotterdam	3,6	-0,1	0,2	-0,1	0,1	-0,1	0,2
Dordrecht	2,9	0,1	0,3	0,1	0,3	0,0	0,3
Schoonhoven	4,2	0,0	0,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8
Hellevoetsluis	2,5	0,2	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6
Moerdijk	2,6	0,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6
Werkendam	3,8	0,7	1,4	1,1	1,9	0,3	1,1
Tiel	11,6	0,4	0,8	2,0	2,4	0,4	0,7

Tabel 4-11: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Verbeterd Afsluitbaar Zee- en Rivierzijde, waarbij de keringen in het Spui en de Dordtse Kil alleen van zuid naar noord keren'.

Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, met een verbrede Nieuwe Merwede	**MHW referen-tie 2015**	**2g MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant Nieuwe Lek [m]**		**2h MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant Waal [m]**		**2i MHW Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde, variant IJssel [m]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holland	5,2	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8
Rotterdam	3,6	-0,1	0,2	-0,1	0,1	-0,1	0,2
Dordrecht	2,9	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3
Schoonhoven	4,2	0,0	0,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8
Hellevoetsluis	2,5	0,3	0,7	0,4	0,9	0,2	0,6
Moerdijk	2,6	0,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6
Werkendam	3,8	-0,2	0,4	0,2	0,7	-0,4	0,1
Tiel	11,6	0,3	0,7	2,0	2,3	0,3	0,7

Tabel 4-12: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Verbeterd Afsluitbaar Zee- en Rivierzijde, met een verbrede Nieuwe Merwede'.

Door het omleiden van de Lek- en de Waal-afvoer naar de Nieuwe Merwede zullen de maatgevende waterstanden toenemen op bovenstrooms gelegen locaties langs de Boven Merwede. Door het verbreden van de Nieuwe Merwede kan deze opstuwing omlaag worden gebracht (zie Tabel 4-12). Ondanks de verbreding van de Nieuwe Merwede met een factor 2, neemt de maatgevende waterstand bij Werkendam nog wel toe bij de varianten 2g, 2h en 2i. Deze toename is het grootst in variant 2h. Als een gedeelte van de Lek afvoer via de IJssel wordt omgeleid, is de toename bij Werkendam in het scenario W2100 nog maar 0,1 m. In het scenario W2050 is zelfs een afname van de MHW bij Werkendam met 0,4 m berekend.

Gesloten zee- en rivierzijde, met een verbrede Nieuwe Merwede	**MHW referen-tie 2015**	**3b MHW Gesloten zee- en rivierzijde [m]**		**3c MHW Gesloten zee- en rivierzijde, variant Nieuwe Lek [m]**		**3d MHW Gesloten zee- en rivierzijde, variant Waal [m]**	
		KNMI W2050 of G2100 (S1)	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2050 of G2100 (S1)**	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2100 (S2)**	**KNMI W2100 (S2)**
		Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m	Zeespiegel +0,35 m	Zeespiegel +0,85 m
	[m+NAP]	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s	Q_{rijn}: 17.000 m^3/s	Q_{rijn}: 18.000 m^3/s
Hoek v. Holl.	5,2	0,2	0,7	0,2	0,7	0,2	0,7
Rotterdam	3,6	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
Dordrecht	2,9	-1,6	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6
Schoonhoven	4,2	-3,0	-2,9	-2,9	-3,0	-3,0	-3,0
Hellevoetsluis	2,5	0,6	1,1	0,5	1,0	0,6	1,1
Moerdijk	2,6	0,6	1,1	0,6	1,0	0,6	1,0
Werkendam	3,8	2,1	2,3	0,8	1,0	0,8	1,0
Tiel	11,6	0,7	1,0	0,5	0,8	2,0	2,3

Tabel 4-13: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en 'Gesloten Zee- en rivierzijde, met en zonder een verbrede Nieuwe Merwede'.

Door verbreding van de Nieuwe Merwede neemt het negatieve effect van de oorspronkelijke variant 'Gesloten' op de maatgevende waterstanden bij Werkendam en Tiel af. De maatgevende waterstand neemt nog steeds toe met ongeveer 0,8-1,0 meter (t.o.v. de referentie), maar dit is veel minder dan de toename van ruim 2 meter zónder de verbreding van de Merwede. Bij Tiel (verder bovenstrooms) is nog maar een gering effect 0,1 m merkbaar als de Lekafvoer via de nieuwe watergang (Nieuwe Lek) wordt afgeleid. Omleiding van de Lekafvoer via de Waal, heeft bij Tiel hetzelfde effect als bij de afsluitbare varianten 2b, 2e en 2h.

5 Kosten van de additionele varianten van de eerste generatie oplossingsrichtingen

5.1 Vergelijking resultaten met Beckers et al. (2011)

Tabel 5-1 geeft een vergelijking van de berekende kosten (in miljoenen euro) in onderhavige studie met de eerdere resultaten volgens Beckers et al. (2011). Het effect van klimaatverandering is in beide studies bepaald op basis van de jaarlijkse MHW-verhoging en bodemdaling per dijktraject zoals gebruikt binnen WV21 (zie paragraaf 4.2). De resultaten voor het deelgebied Rijnmond-Drechtsteden zijn daardoor vergelijkbaar. Voor de kosten van klimaatverandering en normaanscherping bij voortzetting van het huidige beleid zijn de kosten identiek. Voor de combinaties met oplossingsrichtingen 2a en 2b zijn de kosten kwalitatief vergelijkbaar, maar ze wijken in absolute zin af. De oorzaak voor deze verschillen ligt in het feit dat in Beckers et al. (2011) de MHW effecten van de oplossingsrichtingen voor een groot gebied rond een referentielocatie gelijk zijn verondersteld. In de huidige studie zijn de MHW-effecten in meer detail (per dijktraject) berekend.

Voor deelgebieden anders dan Rijnmond-Drechtsteden zijn de verschillen met Beckers et al. (2011) groter. Dit komt doordat niet alle dijktrajecten uit deze deelgebieden in de voorliggende studie zijn beschouwd. De kostenramingen in de huidige studie betreffen alleen de dijken in het studiegebied (zie Figuur 1-2). In de Zuidwestelijke Delta en langs de rivieren is slechts een deel van de dijktrajecten in de kostenraming meegenomen. De dijktrajecten langs de IJssel ontbreken in het geheel.

Voorliggende studie W+2050 (effect klimaat uit WV21)	Klimaatverandering	Normaanscherping	Klimaat + 2a: Nw Lek	Klimaat + 2b: Waal
Rijnmond-Drechtsteden	2900	1900	2800	2500
Zuidwestelijke delta	300	0	200	300
Rivieren - Rijn en Waal	1500	1500	1700	4600
Rivieren Maas	500	400	500	600
(Beckers, 2011)				
Rijnmond-Drechtsteden	2900	1900	2600	1800
Zuidwestelijke delta	2000	0	2000	2000
Rivieren - Rijn en Waal	1600	1400	1600	2800
Rivieren Maas	600	600	600	600

Tabel 5-1: Vergelijking tussen berekende kosten (in miljoenen euro) in huidige studie met de resultaten uit Beckers et al. (2011).

5.2 Kosten oplossingsrichtingen, zonder aanscherping van de norm

In Tabel 5-2 is een overzicht te vinden van de kosten (in miljoenen euro) van de verschillende varianten van de oplossingsrichtingen. De tabel bevat resultaten voor 2 verschillende manieren van omgaan met klimaatseffecten ('berekend' en 'WV21') en voor twee zichtjaren (2050 en 2100). De methode 'WV21' gaat uit van een vaste MHW verhoging en bodemdaling per jaar. Deze methode is alleen voor het zichtjaar 2050 gebruikt, vanwege te verwachten onnauwkeurigheid voor een langere tijdshorizon. De methode 'berekend' leidt de MHW verhoging door klimaatverandering af uit de verschillen tussen de referentieberekeningen (zonder ingrepen) voor verschillende zichtjaren. Daarbij wordt het effect van bodemdaling opgeteld. Deze laatste methode komt uit op lagere kosten (10-30%). De oorzaak is gelegen in het feit dat de methode WV21 een lineaire toename van de MHW's in de tijd aanneemt. In de methode 'berekend' wordt rekening gehouden met niet-lineaire effecten. Bij een lineaire toename van de maatgevende afvoer neemt de maatgevende waterstand minder dan lineair toe.

Opmerking
Merk op dat de kosten van de individuele oplossingsrichtingen *niet* zijn meegenomen. Alleen de kosten van dijkverhogingen zijn beschouwd en bijvoorbeeld niet de kosten voor het aanpassen van de verbreding van de Nieuwe Merwede.

Klimaateffecten	2050	WV21	2050	Berekend	2100	Berekend
Oplossingsvariant	Kosten Rijnmond-Drechtsteden	Kosten alle deelgebieden	Kosten Rijnmond-Drechtsteden	Kosten alle deelgebieden	Kosten Rijnmond-Drechtsteden	Kosten alle deelgebieden
2a: Nieuwe Lek	2800	5300	2100	4400	3200	7400
2b: Waal	2500	8000	2000	7400	2900	9600
2c: IJssel	2100	4200	1500	3400	2100	4300
2d: Nieuwe Lek + Zuidelijke keringen	2500	8000	2000	7400	3200	7400
2e: Waal + Zuidelijke keringen	2500	8000	2000	7400	2900	9600
2f: IJssel + Zuidelijke keringen	2100	4200	1500	3400	2600	5700
2g: Nieuwe Lek + Nieuwe Merwede	2400	4600	1700	3800	2900	6600
2h: Waal + Nieuwe Merwede	2200	7400	1500	6600	2600	8900
2i: IJssel + Nieuwe Merwede	1800	3500	1000	2700	2300	5200
3c: Gesloten, Nieuwe Lek	1300	4000	1200	3800	1600	5400
3d: Gesloten, Waal	1300	6900	1300	6700	1600	8300

Tabel 5-2: Overzicht van de kosten (in miljoenen euro) van de verschillende oplossingsvarianten en klimaatverandering voor verschillende zichtjaren.

De kosten voor het deelgebied Rijnmond-Drechtsteden betreffen alle primaire keringen in dit gebied. De kosten voor de overige deelgebieden beslaan slechts een gedeelte van de

dijktrajecten, omdat het studiegebied niet alle dijktrajecten omvat waar mogelijk een effect optreedt. De kosten voor dijkverhoging langs de IJssel blijven bijvoorbeeld geheel buiten beeld. De totale kosten voor Rijnmond-Drechtsteden en de effecten in overige gebieden zijn desondanks weergegeven in de tabel om een inschatting te kunnen maken van de *kwalitatieve* effecten van de oplossingsrichtingen buiten het deelgebied Rijnmond-Drechtsteden.

De resultaten geven een beeld van de verschillen tussen de oplossingsrichtingen. Als goedkoopste variant lijkt '2i IJssel en verbreden Nieuwe Merwede' eruit te springen. Daarbij moet worden opgemerkt dat in deze kostenraming niet de verhoging van de keringen langs de IJssel is opgenomen. De laatste twee varianten (3c en 3d) lijken ook voordelig uit te pakken, maar ook hierbij wordt opgemerkt dat niet alle kosten in beeld zijn gebracht. De kosten voor kunstwerken en het verhogen (indien nodig) van de keringen rond het Grevelingen-Zoommeer zijn bijvoorbeeld niet meeberekend.

5.3 Kosten oplossingsrichtingen, met aanscherping van de norm

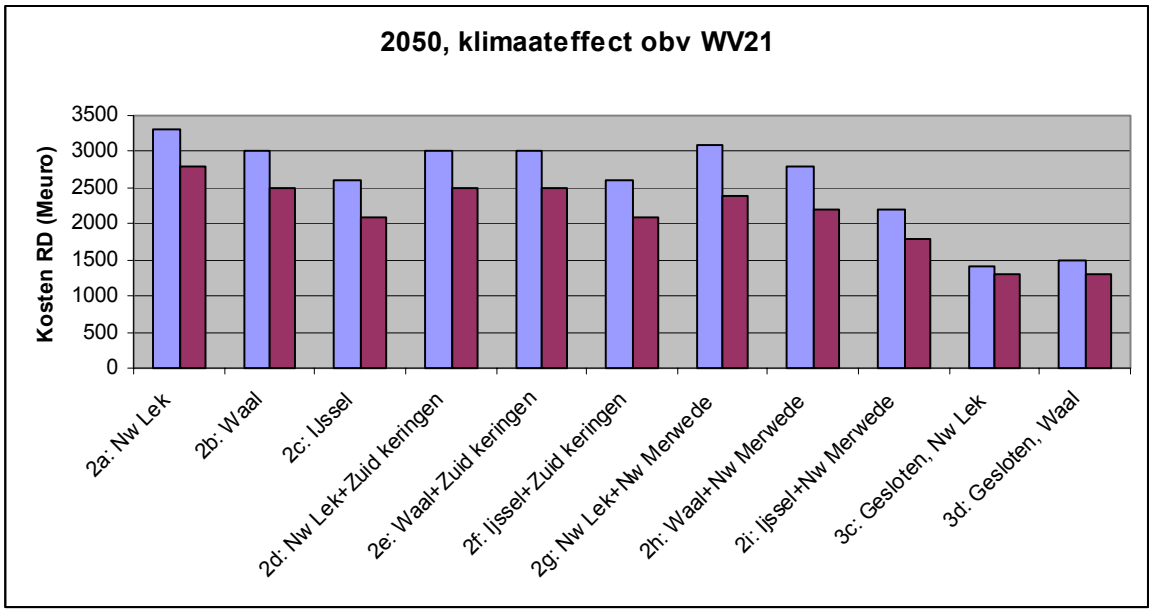
Tabel 5-3 geeft een overzicht van de kosten (in miljoenen euro) van de verschillende oplossingsrichtingen, klimaatverandering. Dit keer is echter rekening gehouden met het aanscherpen van de veiligheidsnormen in de regio. Berekend zijn de investeringskosten van de additionele varianten, indien voor alle dijkringen in het boven- en benedenrivierengebied een aangescherpte norm van 1/10.000 per jaar geldt. Mogelijk leidt deze scherpere norm tot andere uitkomsten, waarbij hoekpunten, die eerst als relatief ongunstig worden bestempeld, gunstiger uit de bus kunnen komen.

Net als in Tabel 5-2 zijn twee verschillende methoden gebruikt om de effecten van klimaatverandering te bepalen. De extra kosten voor de basisvariant van normaanscherping, waarin het gehele rivierengebied een norm van 1/10.000 per jaar krijgt, bedragen enkele honderden miljoenen euro tot meer dan een miljard euro voor het deelgebied Rijnmond-Drechtsteden.

Klimaateffecten	2050	WV21	2050	Berekend	2100	Berekend
Oplossingsrichtingen	Kosten Rijnmond-Drechtsteden	Kosten alle deelgebieden	Kosten Rijnmond-Drechtsteden	Kosten alle deelgebieden	Kosten Rijnmond-Drechtsteden	Kosten alle deelgebieden
2a: Nieuwe Lek	3300	6800	2700	6000	3800	9000
2b: Waal	3000	9500	2500	8800	3400	11100
2c: IJssel	2600	5600	2200	5000	2600	5800
2d: Nieuwe Lek + Zuidelijke keringen	3000	9500	2500	8800	3800	9000
2e: Waal + Zuidelijke keringen	3000	9500	2500	8800	3400	11000
2f: IJssel + Zuidelijke keringen	2600	5600	2200	5000	3000	7100
2g: Nieuwe Lek + Nieuwe Merwede	3100	6300	2400	5500	3500	8300
2h: Waal + Nieuwe Merwede	2800	9000	2200	8300	3100	10400
2i: IJssel + Nieuwe Merwede	2200	5000	1800	4500	2800	6700
3c: Gesloten, Nieuwe Lek	1400	5200	1400	5000	1700	6500
3d: Gesloten, Waal	1500	8000	1400	7800	1800	9400

Tabel 5-3: Overzicht van de kosten (in miljoenen euro) van de verschillende oplossingsvarianten en klimaatverandering voor verschillende zichtjaren, inclusief aanscherpen van de norm.

De aanscherping van de normen heeft weinig effect op de rangorde van oplossingsvarianten in termen van kosten. Figuur 5-1 laat zien dat de onderlinge verhouding van de kosten van de oplossingsvarianten in de meeste gevallen ongeveer gelijk blijft. Er zijn enkele uitzonderingen: voor de methode met het 'berekende klimaateffect voor 2050' treden bijvoorbeeld enkele verschuivingen op. De gesloten varianten 3c en 3d zijn met normaanscherping voor Rijnmond-Drechtsteden de goedkoopste opties. Zonder normaanscherping is variant 2i de goedkoopste. Dit zijn echter uitzonderingen. Het globale beeld blijft zoals dat naar voren komt uit de figuur.



Figuur 5-1: Vergelijking van de kosten voor de oplossingsvarianten tussen de huidige en de aangescherpte norm.

6 Conclusies

6.1 MHW-resultaten

In deze paragraaf worden de belangrijkste conclusies gegeven voor de effecten op de maatgevende waterstanden van de additionele varianten van de 1e generatie oplossingsrichtingen (hoekpunten).

6.1.1 Oplossingsrichting 2: Verbeterd afsluitbaar aan zee- en rivierzijde

In Slootjes et al.(2011) was al geconcludeerd: *"De oplossingsrichting 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde' kent naast een verbeterde Maeslantkering ook stormvloedkeringen in de riviertakken die het gebied aan de oostzijde tijdelijk kunnen afsluiten. Aanvullend op de positieve effecten van verbeterd afsluitbaar, levert het toevoegen van rivierkeringen nog 0,1 tot 0,2 meter extra MHW-daling op bij Dordrecht bij een zeespiegelstijging van 35 en 85 cm. Het beïnvloedingsgebied van de rivierkering is klein en beperkt zich tot de Drechtsteden (bij Rotterdam is er geen effect). De huidige MHW bij Dordrecht van 2,9 m+NAP kan echter niet worden gehandhaafd met deze oplossing. Deze loopt bij 85 cm zeespiegelstijding en een maatgevende afvoer bij Lobith van 18.000 m^3/s op tot 3,2 m+NAP."*

Keringen in het Spui en de Dordtse Kil keren alleen van zuid naar noord

De aanpassing van de zuidelijke rivierkeringen levert geen extra verlaging op van de maatgevende waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht. Door het snelle openen van de oostelijke rivierkeringen na de storm wordt de geringe verlaging door het openen van de zuidelijke keringen gedurende de storm teniet gedaan. De resultaten die voor deze variant berekend zijn, zijn gelijk aan de resultaten waarbij de zuidelijke keringen gesloten blijven gedurende de storm.

De Nieuwe Merwede wordt verbreed

Door het omleiden van de Lek- en de Waalafvoer naar de Nieuwe Merwede zullen de maatgevende waterstanden toenemen op bovenstrooms gelegen locaties langs de Boven Merwede. De capaciteit van de Nieuwe Merwede is niet groot genoeg om de extra hoeveelheid water zonder toename van verval af te voeren. Door het verbreden van de Nieuwe Merwede kan deze opstuwing sterk worden verlaagd. Ondanks de verbreding van de Nieuwe Merwede met een factor 2, neemt de maatgevende waterstand bij Werkendam nog steeds toe. Deze toename is het geringst bij de omleiding van een deel van de Lekafvoer via de IJssel.

Het effect van de verbreding van de Nieuwe Merwede is lokaal. Ver bovenstrooms van Werkendam (langs de Waal bij Tiel bijvoorbeeld) is het effect van de verbreding verwaarloosbaar.

Afvoer van de Lek

De afvoer van de Lek kan bij (al dan niet tijdelijke) afsluiting van het gebied niet meer door het gebied stromen en moet worden omgeleid. Hiertoe zijn drie varianten onderzocht:

a) De Lek wordt via een bypass (Nieuwe Lek) naar de Beneden Merwede omgeleid.
b) Bij Pannerden wordt het water dat volgens de huidige afvoerverdeling over de Lek zou gaan via een regelwerk permanent over de Waal gestuurd (ongeveer 3500 m^3/s extra bij maatgevende omstandigheden).
c) Bij de Arnhem wordt een gedeelte van het water dat volgens de huidige afvoerverdeling over de Lek zou gaan via een regelwerk permanent over de IJssel gestuurd (ongeveer 2500 m^3/s extra bij maatgevende omstandigheden).

In het eerste geval (a) wordt de Lek westwaarts van Vianen sporadisch ontzien bij extreme combinaties van storm en rivierafvoer. In het tweede (b) en derde geval (c) wordt de gehele Lek permanent ontzien. Dit zien is te zien in de MHW-resultaten bij Schoonhoven. In variant (a) stijgen de MHW's t.o.v. de referentie 2015 met maximaal 0,1 meter bij 0,85 meter zeespiegelstijging en een afvoer van 18.000 m^3/s. In variant (b) neemt de MHW bij Schoonhoven af tot ongeveer 1,0 meter onder de huidige MHW. De Waal moet dan echter al het Lekwater extra kunnen opvangen. In variant (c) nemen de MHW’s bij Schoonhoven af tot bijna een meter. Bij deze variant moet de IJssel onder maatgevende omstandigheden twee keer zoveel water afvoeren.

Als voor variant (b) wordt gekozen is het effect van de maatregel zelfs op de MHW’s langs de Waal aanzienlijk. In termen van een MHW-opgave t.o.v. de referentie 2015 levert deze maatregel afhankelijk van het klimaatscenario en de gekozen variant een verhoging van tussen de 1,0 en 2,4 meter bij Tiel. Als voor variant (c) wordt gekozen, zal het effect van de maatregel zelf op de MHW’s op de IJssel aanzienlijk zijn. Dit is echter niet onderzocht.

Door het omleiden van de afvoer via de IJssel, stroomt er onder maatgevende omstandigheden minder water naar de Rijnmondregio. Dit heeft een gering maar positief effect op de MHW’s in de regio.

Samengevat

De doorgerekende 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde' varianten leveren winst op voor de Lek en de Drechtsteden, in termen van het verlagen van de MHW-opgave. Voor de Nieuwe en Boven Merwede kan de vergroting van de opgave worden gecompenseerd door de Nieuwe Merwede te verbreden. Afhankelijk van de afvoervariant wordt op de Waal of de IJssel de opgave aanzienlijk vergroot.

Opmerking

In Slootjes et al.(2011) was al opgemerkt: *"Bij deze oplossingsrichting moet worden aangetekend dat een onafhankelijke aansturing (en ook onafhankelijk falen) van zee- en rivierkeringen in de gebruikte modellen technisch momenteel niet mogelijk is. Er is gewerkt met een sluitcriterium voor de rivierkeringen dat gelijk is aan het sluitcriterium voor de Europoortkering. Hierdoor is het niet mogelijk om tot een goede optimalisatie te komen van de inzet van deze keringen en moet een slag om de arm worden gehouden bij het gebruik van de resultaten."*

6.1.2 Oplossingsrichting 3: Gesloten aan zee- en rivierzijde

In Slootjes et al.(2011) was al geconcludeerd: *"Om dijkversterking overbodig te maken kan de Rijnmondring (zowel aan rivier als zeezijde) in plaats van met beweegbare keringen ook worden afgesloten door middel van dammen met schutsluizen. De faalkans van deze kunstwerken kan worden beschouwd als vrijwel nul. Het gebied van Rotterdam tot en met de Drechtsteden ligt dan aan een volledig peilbeheerst watersysteem."*

Ook voor dit hoekpunt zal er een oplossing voor de Lek moeten worden gezocht. Doorgerekend zijn twee varianten:

a) De Lek wordt via een bypass (Nieuwe Lek) naar de Beneden Merwede omgeleid.
b) Bij Pannerden wordt het water dat volgens de huidige afvoerverdeling over de Lek zou gaan via een regelwerk permanent over de Waal gestuurd (ongeveer 3500 m^3/s extra bij maatgevende omstandigheden).

Als permanent al het water van de Waal en de Lek wordt afgevoerd via de Nieuwe Merwede, Hollandsch Diep en Haringvliet stijgen de MHW's in het gehele gebied buiten de Rijnmondring. Dit effect is te verkleinen maar niet te voorkomen door de Nieuwe Merwede te verbreden.

Samengevat

De varianten van deze oplossingsrichting kennen dezelfde voordelen voor de Lek als de varianten van 'Verbeterd afsluitbaar zee- en rivierzijde'. Het effect op het hoogstedelijk gebied is aanzienlijk, omdat dit volledig wordt ontzien. De opgave voor het rivierengebied is daarentegen zeer groot, net als voor het Haringvliet en Hollandsch Diep. Het effect voor het rivierengebied kan worden verkleind door de Nieuwe Merwede te verbreden.

6.2 Resultaten van de kostenberekeningen

De resultaten van de berekeningen geven een beeld van de kosten van verschillende combinaties van klimaateffecten, normaanscherping en oplossingsrichtingen. De nadruk ligt daarbij op het deelgebied Rijnmond-Drechtsteden en de kosten van dijkverhoging in dit gebied.

Als goedkoopste variant lijkt '2i: IJssel plus verbreden Nieuwe Merwede' eruit te springen. Daarbij moet worden opgemerkt dat in deze kostenraming niet de verhoging van de keringen langs de IJssel is opgenomen. De laatste twee varianten (3c en 3d) lijken ook voordelig uit te pakken, maar ook hierbij moet worden opgemerkt dat niet alle kosten in beeld zijn gebracht.

Combineren van de klimaatopgave met normaanscherping heeft weinig effect op de rangorde van de oplossingsrichtingen in termen van kosten. Hoewel er enkele uitzonderingen op deze regel zijn is het globale beeld dat de verhouding tussen de oplossingsrichtingen ongeveer gelijk blijft.

De kostenraming zijn echter uitermate grofstoffelijk en in zekere zin ook onvolledig: de kosten van kunstwerken en dijkverhogingen buiten het studiegebied zijn niet beschouwd. De kosten voor dijkverhoging bovenstrooms van Heusden, Tiel en Hagestein en langs de IJssel ontbreken in de kostenberekeningen. Ook het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen vallen buiten het studiegebied. Het kostenplaatje is dus niet volledig en daarom dienen de resultaten in kwalitatieve zin te worden geïnterpreteerd. De absolute getallen kunnen alleen met grote terughoudendheid worden gebruikt en zeker niet voor begrotingsdoeleinden.

7 Literatuur

(Beckers et al., 2011)
Effecten en kosten van klimaatverandering, nieuwe normering en oplossingsrichtingen voor de Rijn-Maasmonding. J.Beckers, H. Van der Most en N. Asselman. Deltares memo, oktober 2011.

(De Grave en Baarse, 2011)
Kosten van maatregelen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. P. de Grave en G. Baarse, Rapportage Deltares project 1204144.

(Gao, 2010)
Sobek-schematisatie en MHW-processor (Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden). Q. Gao. Deltares memo, 30 juli 2010.

(Jeuken et al., 2010)
Klimaatbestendigheid en opties voor adaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Analyse van recente resultaten uit Klimaatbestendig NL Waterland en Kennis voor klimaat.
A. Jeuken, N. Slootjes, N. van Oostrom. Deltares – HKV rapport 1202138-000, mei 2010.

(Jeuken et al., 2011)
Eerste generatie oplossingsrichtingen voor klimaatadaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Syntheserapport: verkenning van kosten en baten. A. Jeuken, J. Kind en J. Gauderis. Project 1204302-000, Deltares, juni 2011.

(Kind et al., 2011)
Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw. J. Kind, Deltares, 2011.

(Knoben, 2011)
Verdiepingsonderzoek naar oplossingsvariant Afsluitbaar zee- en rivierzijde, Een onderzoek naar verlaagde sluitcriteria van de Europoortkering en falen rivierkeringen in het kader van het Deltaprogramm Rijnmond-Drechtsteden, W.J.M. Knoben, Universiteit Twente, Enschede, in opdracht van: HKV LIJN IN WATER, 2011.

(Slootjes en De Waal, 2011)
Uitgangspunten en randvoorwaarden berekeningen waterveiligheid – keuzenotitie. N. Slootjes en H. de Waal. HKV LIJN IN WATER memorandum PR1997.10, 21 februari 2011.

(Slootjes et al., 2011)
Resultaten MHW berekening t.b.v. probleemanalyse en verkenning hoekpunten, Voor het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden. N. Slootjes, A. Jeuken, T. Botterhuis en Q. Gao. Deltares en HKV LIJN IN WATER, Delft. In opdracht van: Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden.

(Silva en van der Linden, 2007)
Van Lobith en Eijsden naar zee. Aanspraak op ruimte en afvoercapaciteit in het rivierbed op de lange termijn vanuit de veiligheid tegen overstroming. W. Silva en T. van der Linden. Rijkswaterstaat RIZA. Mei 2007.

(Stijnen en Slootjes, 2010)
Eerste verkenning Waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden. J.W. Stijnen en N. Slootjes. Kennis voor Klimaat – Hotspot Regio Rotterdam. HKV LIJN IN WATER, rapport PR1555.20.

(Van der Veen, 2005)

Laterale toestroming voor NDB-model voor HR2006. R. van der Veen, 2005. Memo ADV*2005-013A. Rijkswaterstaat RIZA, Arnhem.

(De Waal, 2007)

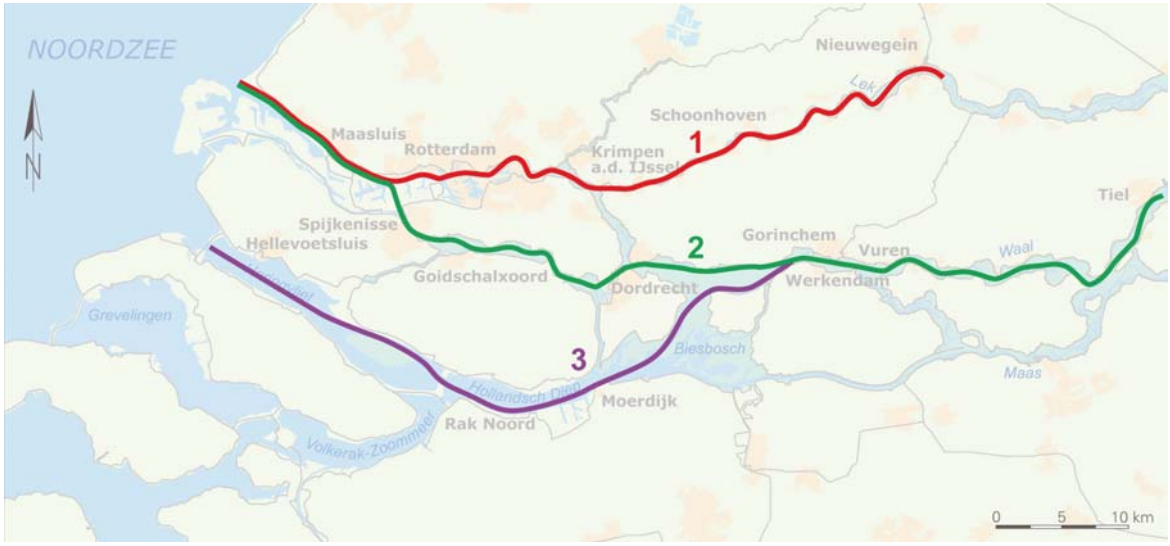
Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren.Thermometerrandvoorwaarden 2006. J.P. de Waal. RIZA-rapport 2007.023. ISBN 978-90-369-1402-4.

Bijlagen

Bijlage A Grafieken MHW-opgave

Bijlage A.1 Inleiding

Bijlage A bevat een groot aantal figuren. De resultaten met maatgevende waterstanden zijn weergegeven over drie trajecten zoals weergegeven in Figuur A-1. Er is geen traject opgenomen voor de Maas, omdat alleen Rijndominante berekeningen zijn uitgevoerd.



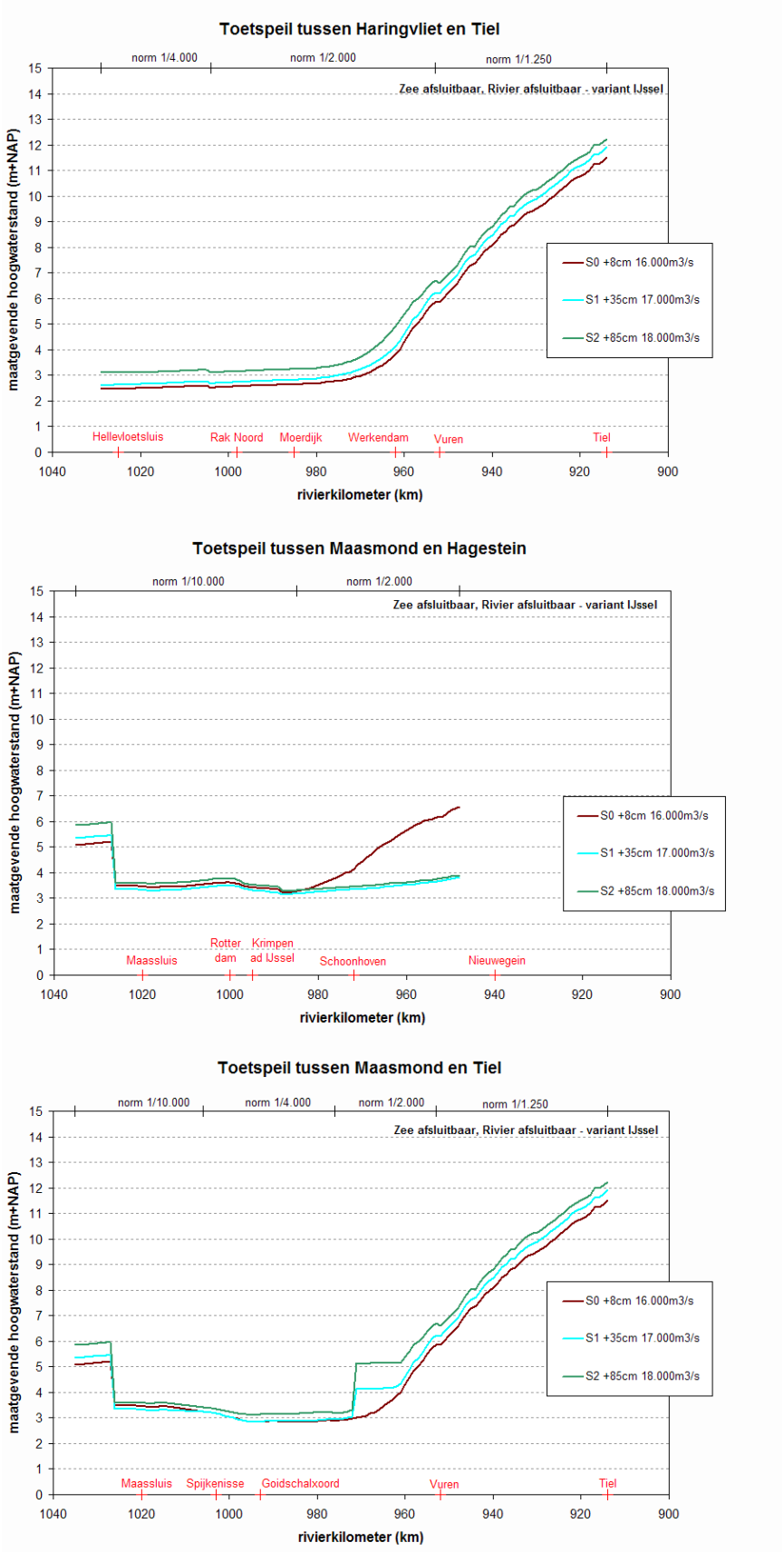
Figuur A-1: Trajecten waarover de MHW's en MHW-verschillen zijn weergegeven.
Traject 1: Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek
Traject 2: Nieuwe Waterweg – Oude Maas – Merwede – Waal
Traject 3: Haringvliet – Hollandsch Diep – Nieuwe Merwede – Waal

De resultaten zijn steeds op 2 manieren getoond:

1. Absolute waarden van MHW's horende bij een bepaald klimaatscenario in combinatie met een (of meerdere) maatregelen.
2. Relatieve verschillen ten opzichte van de referentiesituatie 2015 (huidige situatie, zonder klimaatverandering, zie paragraaf 2.2.1 voor een beschrijving). Deze verschillen zijn gepresenteerd in grafieken en geografische kaarten.

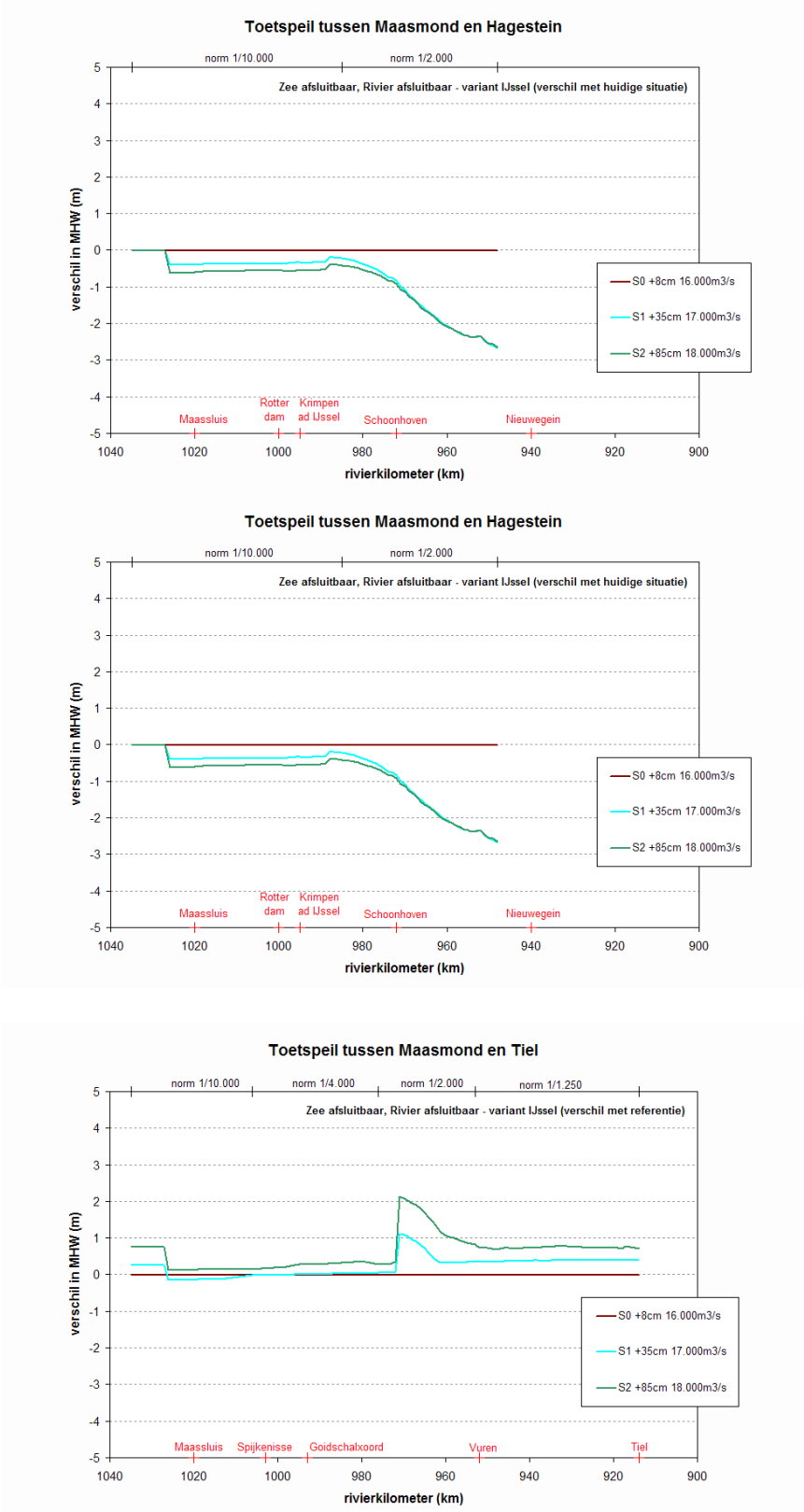
Bijlage A.2 Variant 2c: IJssel

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-2: MHW's bij variant 2c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

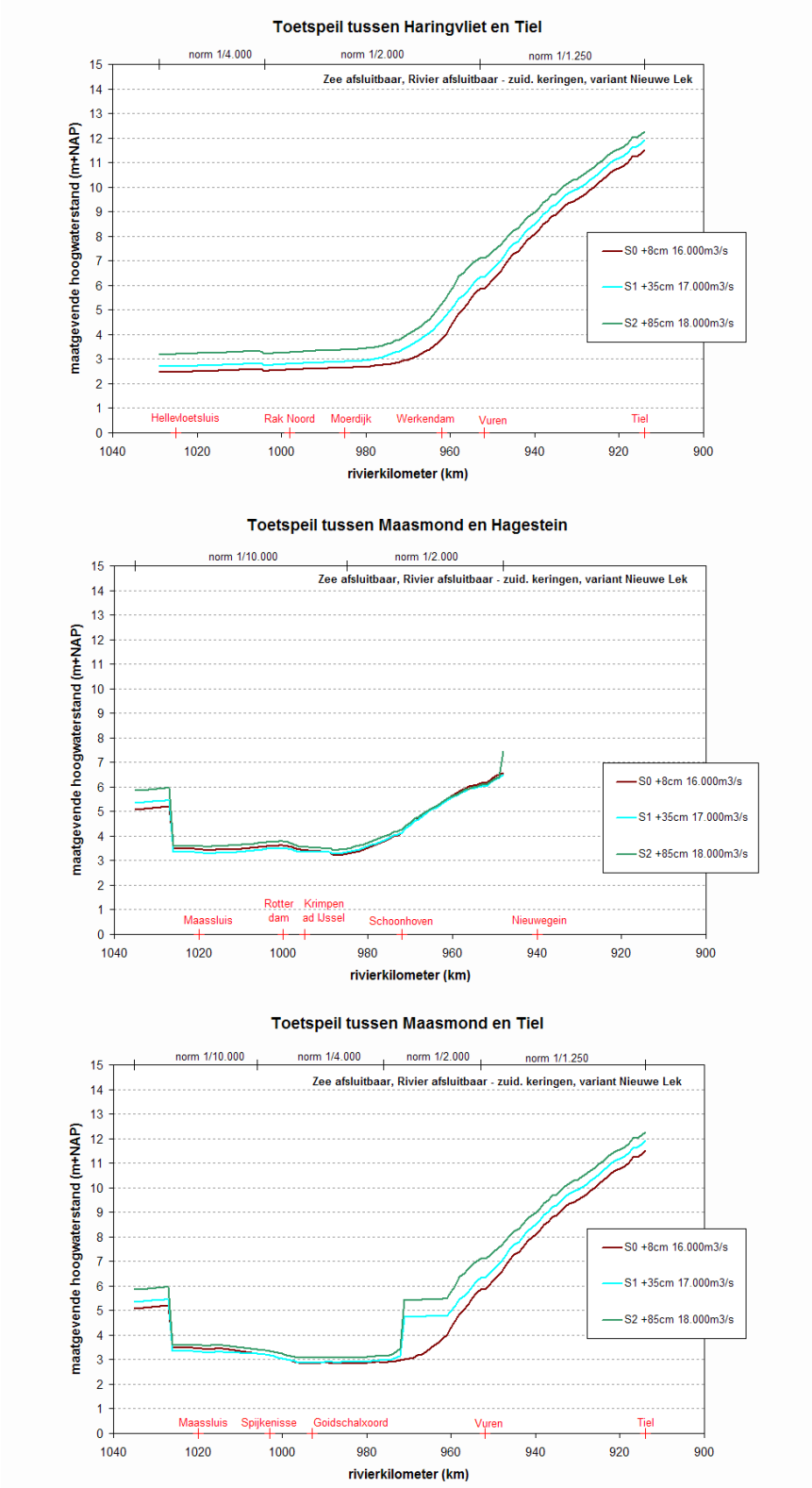
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-3: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

Bijlage A.3 Variant 2d: Nieuwe Lek + zuidelijke keringen

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-4: MHW's bij variant 2d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

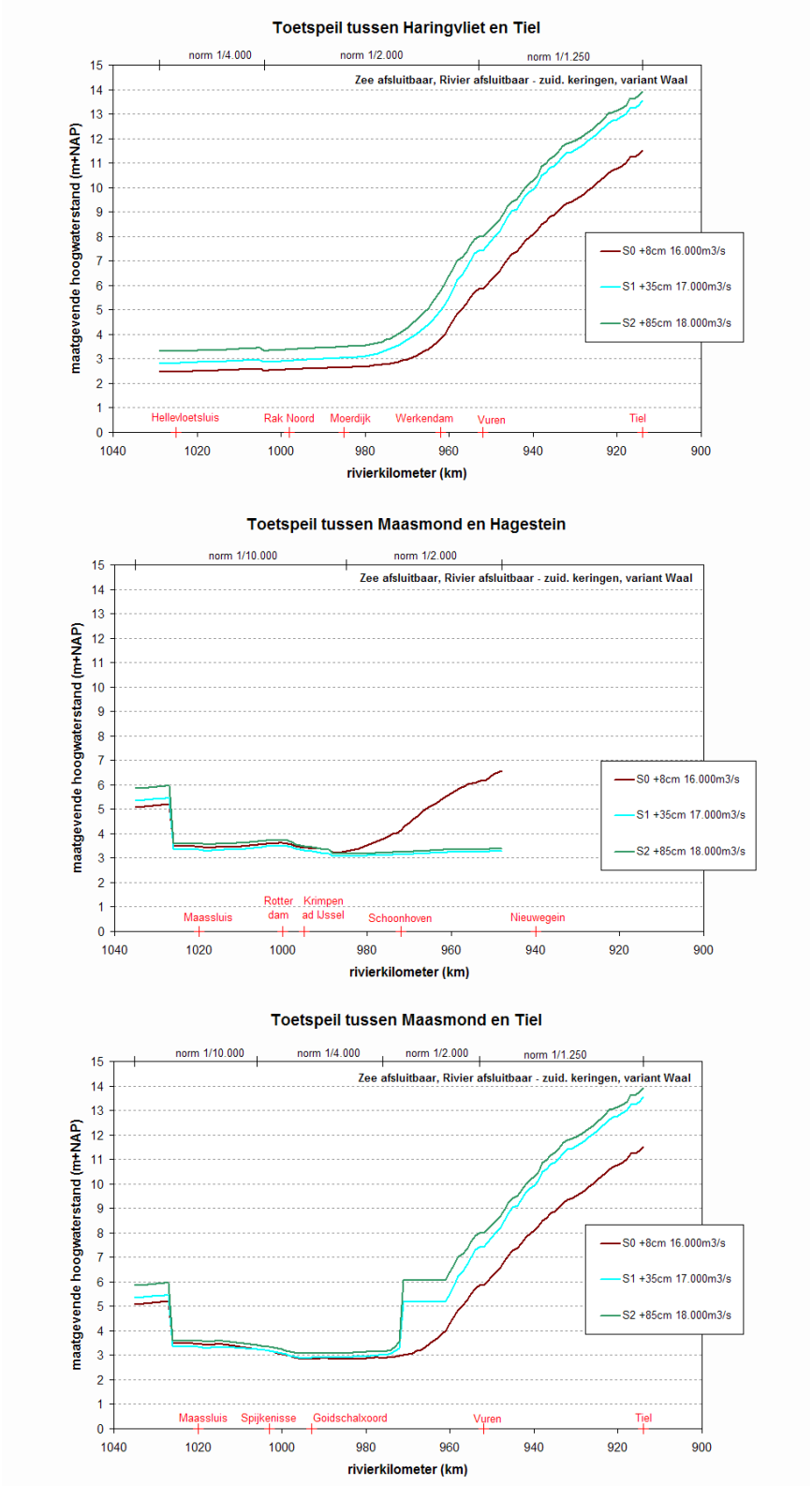
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-5: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

Bijlage A.4 Variant 2e: Waal + zuidelijke keringen

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-6: MHW's bij variant 2e voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

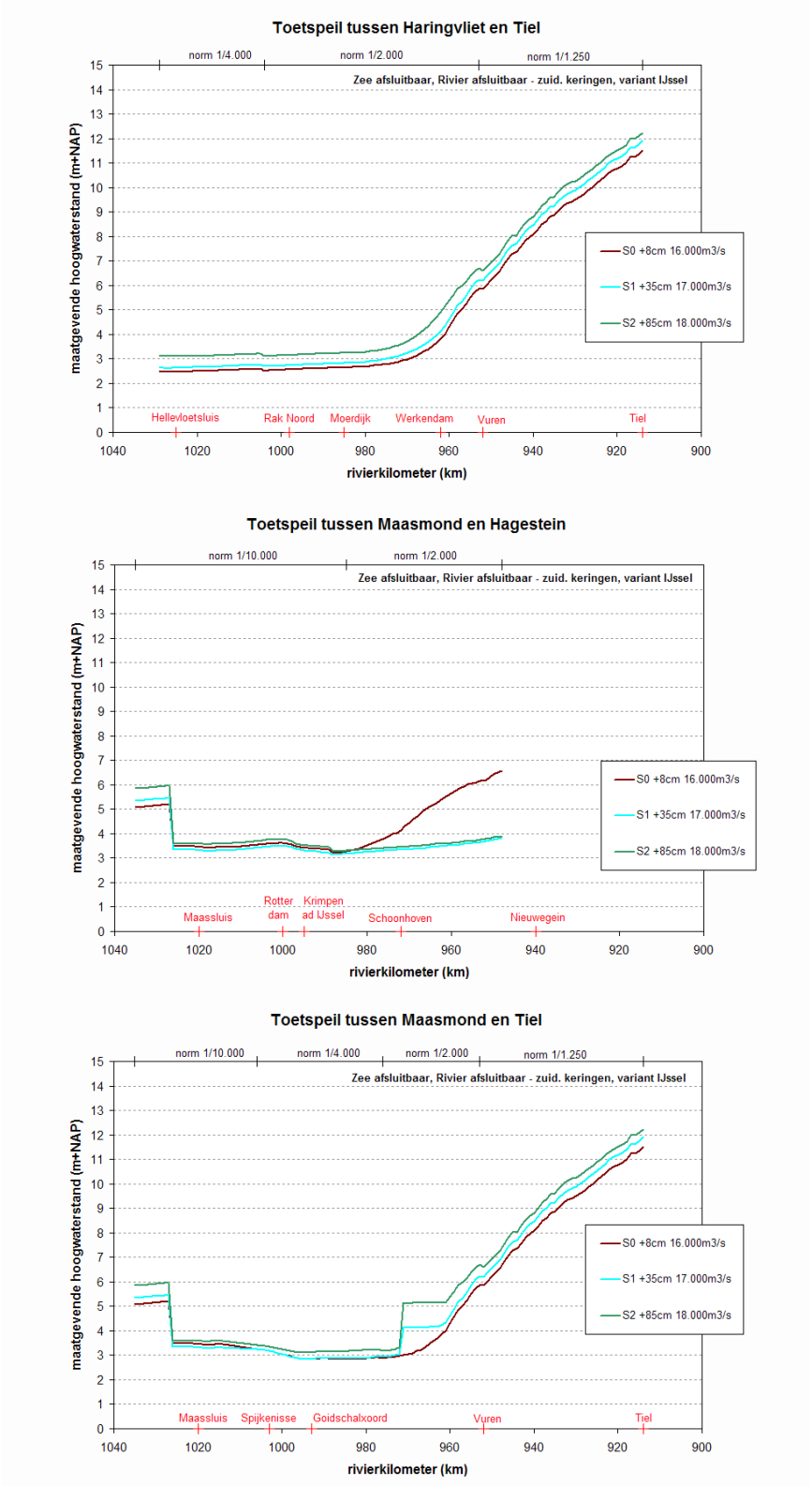
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-7: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2e voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

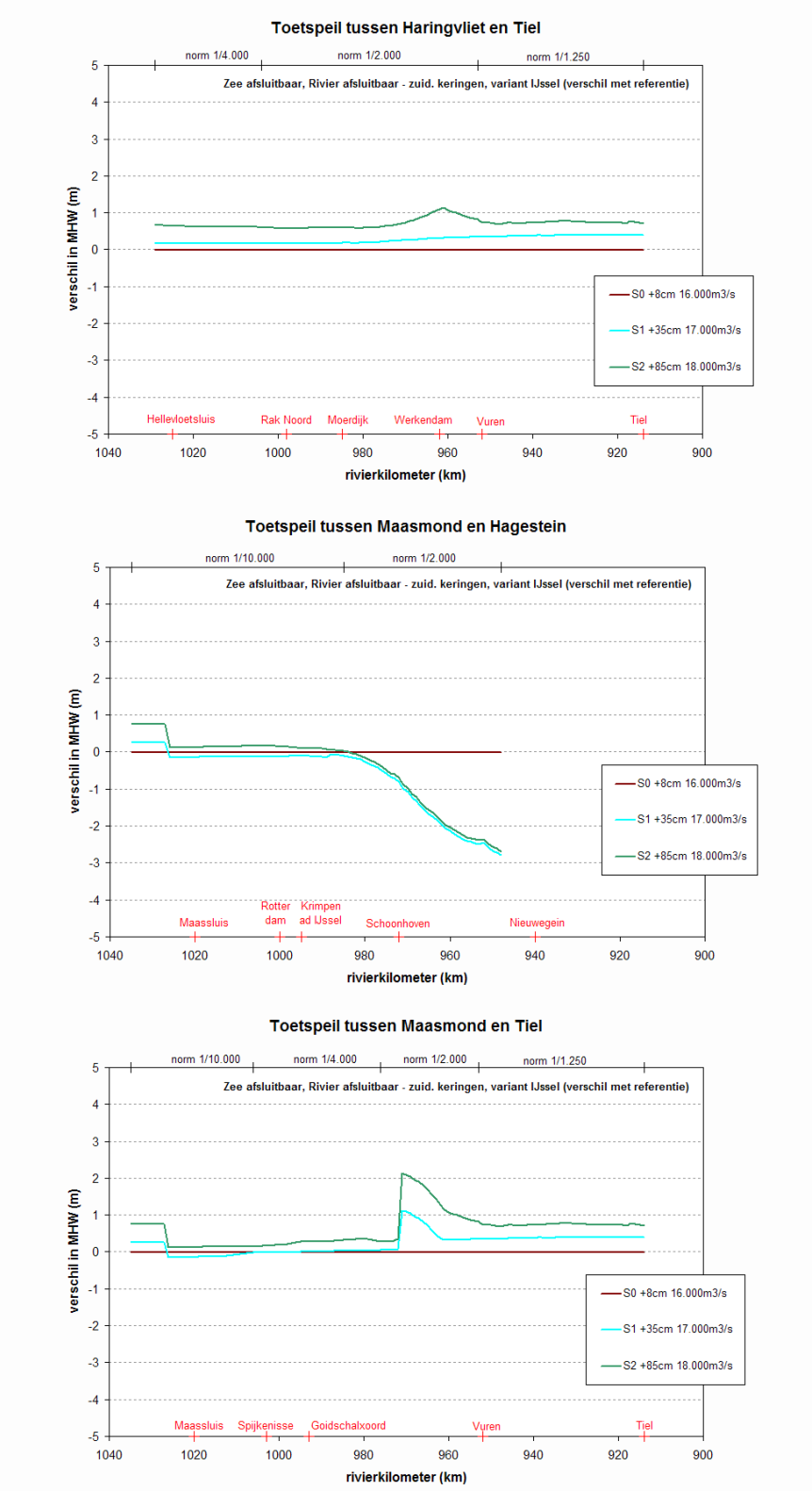
Bijlage A.5 Variant 2f: IJssel + zuidelijke keringen

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-8: MHW's bij variant 2f voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

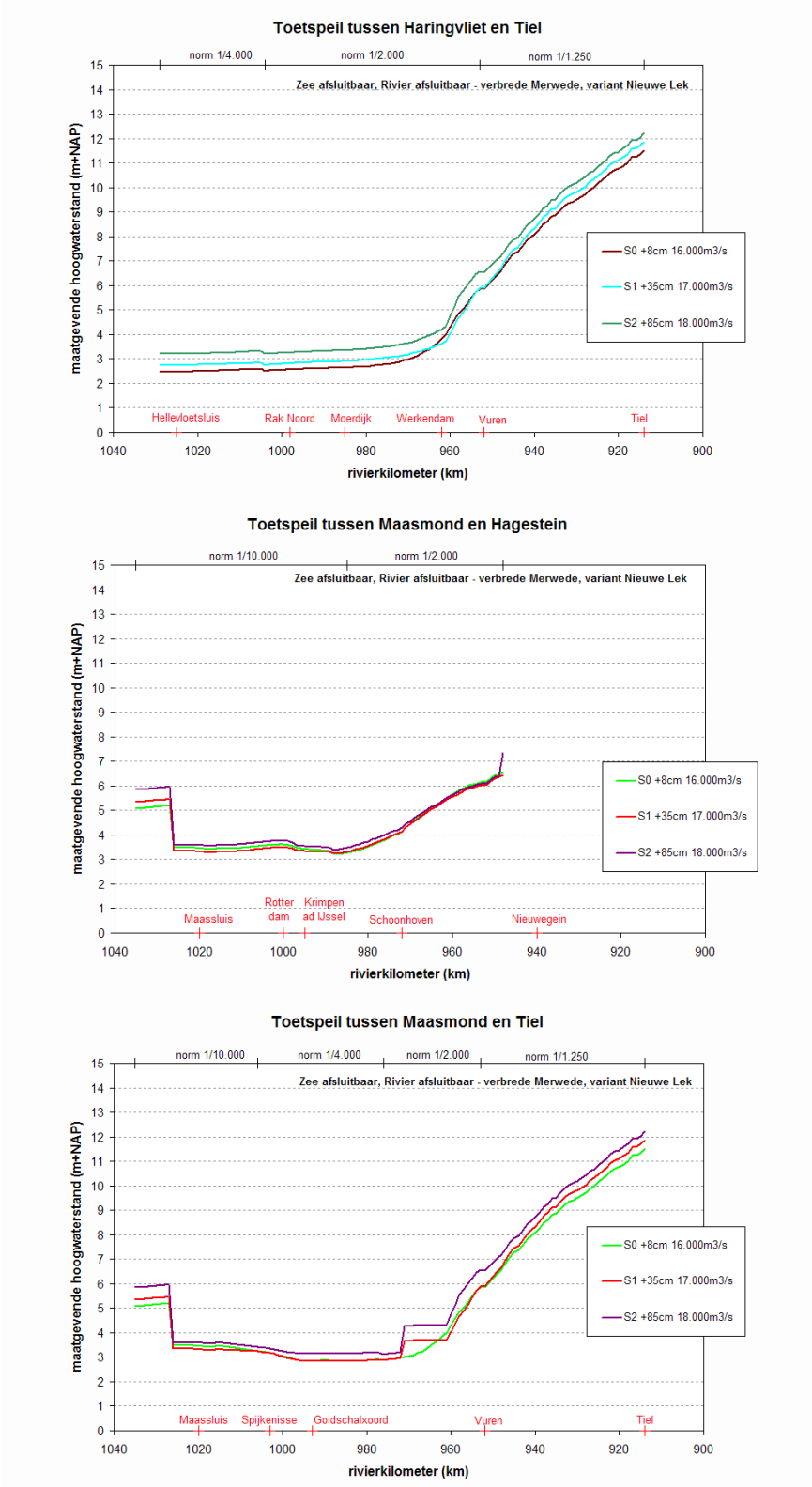
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-9: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2f voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

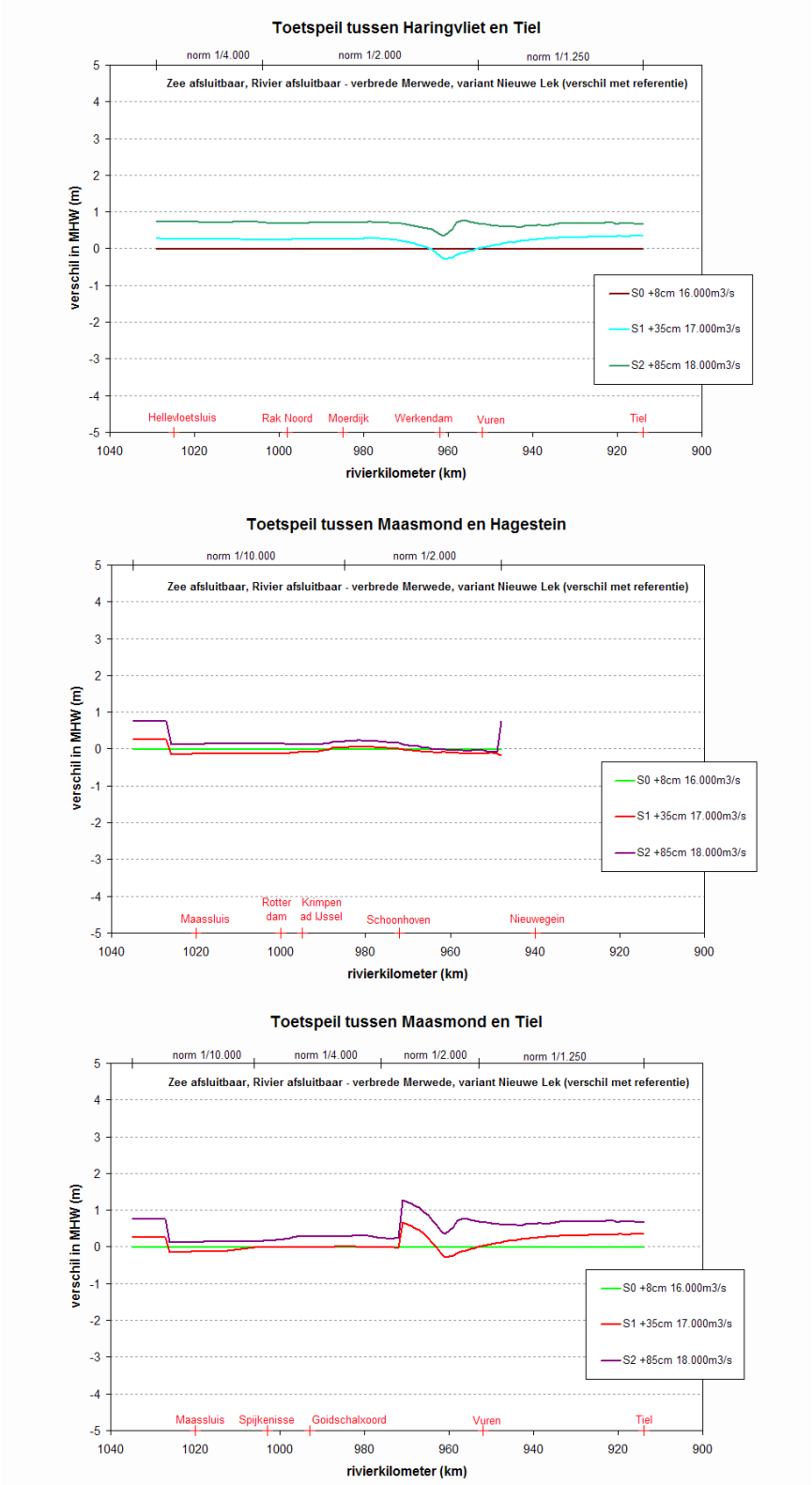
Bijlage A.6 Variant 2g: Nieuwe Lek + verbreding Nieuwe Merwede

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-10: MHW's bij variant 2g voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-11: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2g voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

Bijlage A.7 Variant 2h: Waal + verbreding Nieuwe Merwede

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-12: MHW's bij variant 2h voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

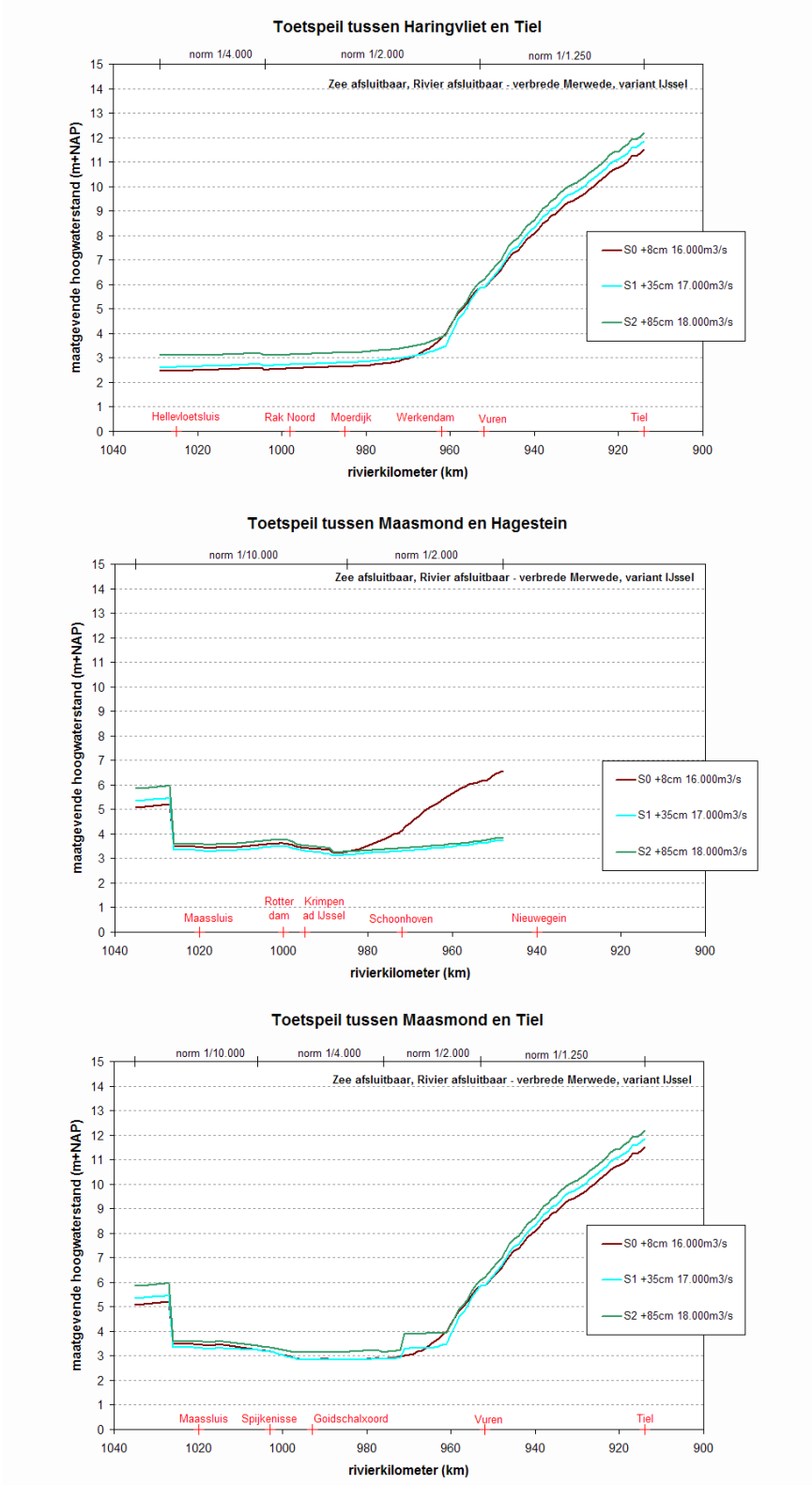
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-13: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2h voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

Bijlage A.8 Variant 2i: IJssel + verbreding Nieuwe Merwede

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-14: MHW's bij variant 2i voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-15: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2i voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

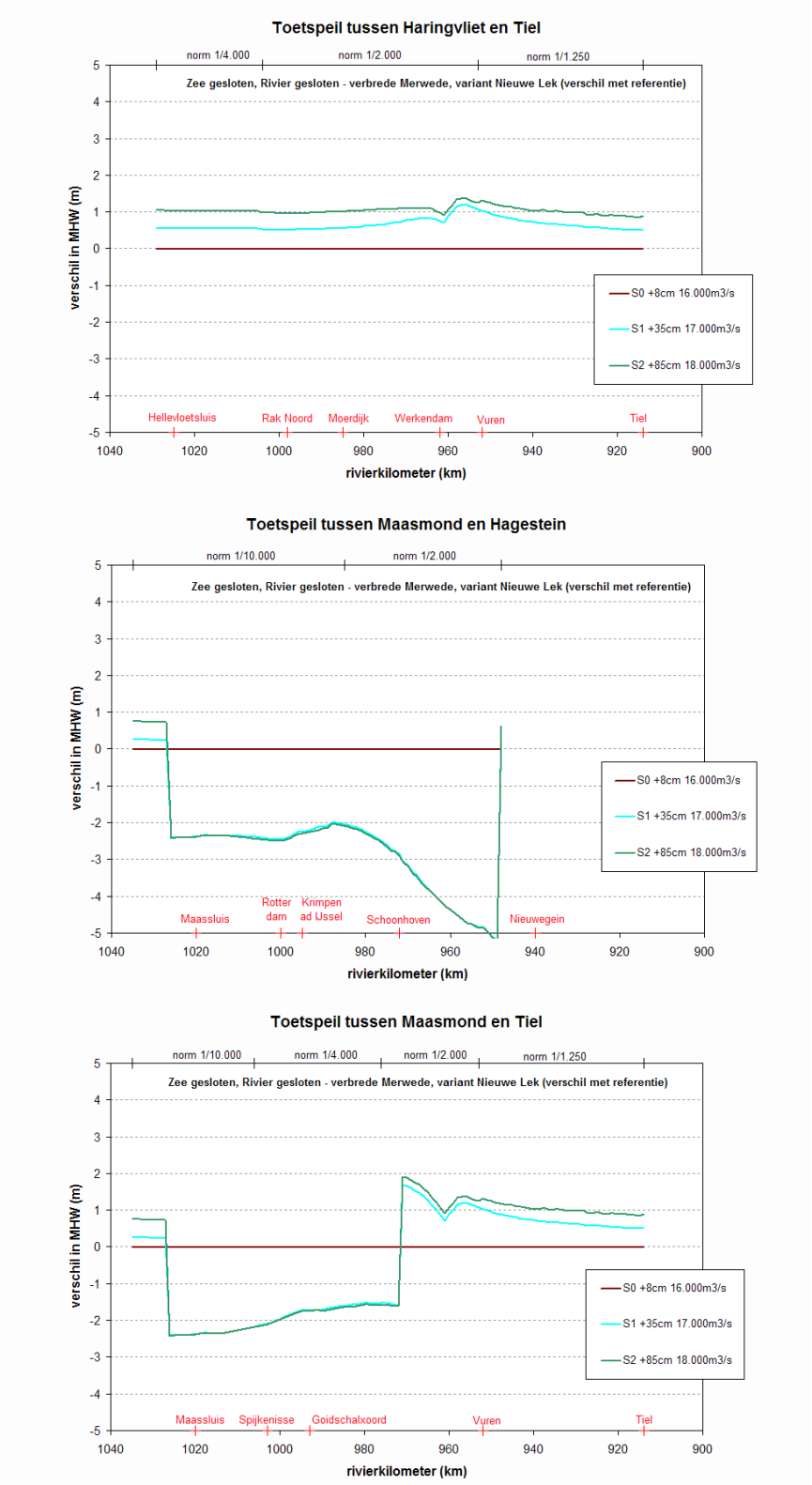
Bijlage A.9 Variant 3c: gesloten zee- en rivierzijde + Nieuwe Lek + verbreding Nieuwe Merwede

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-16: MHW's bij variant 3c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

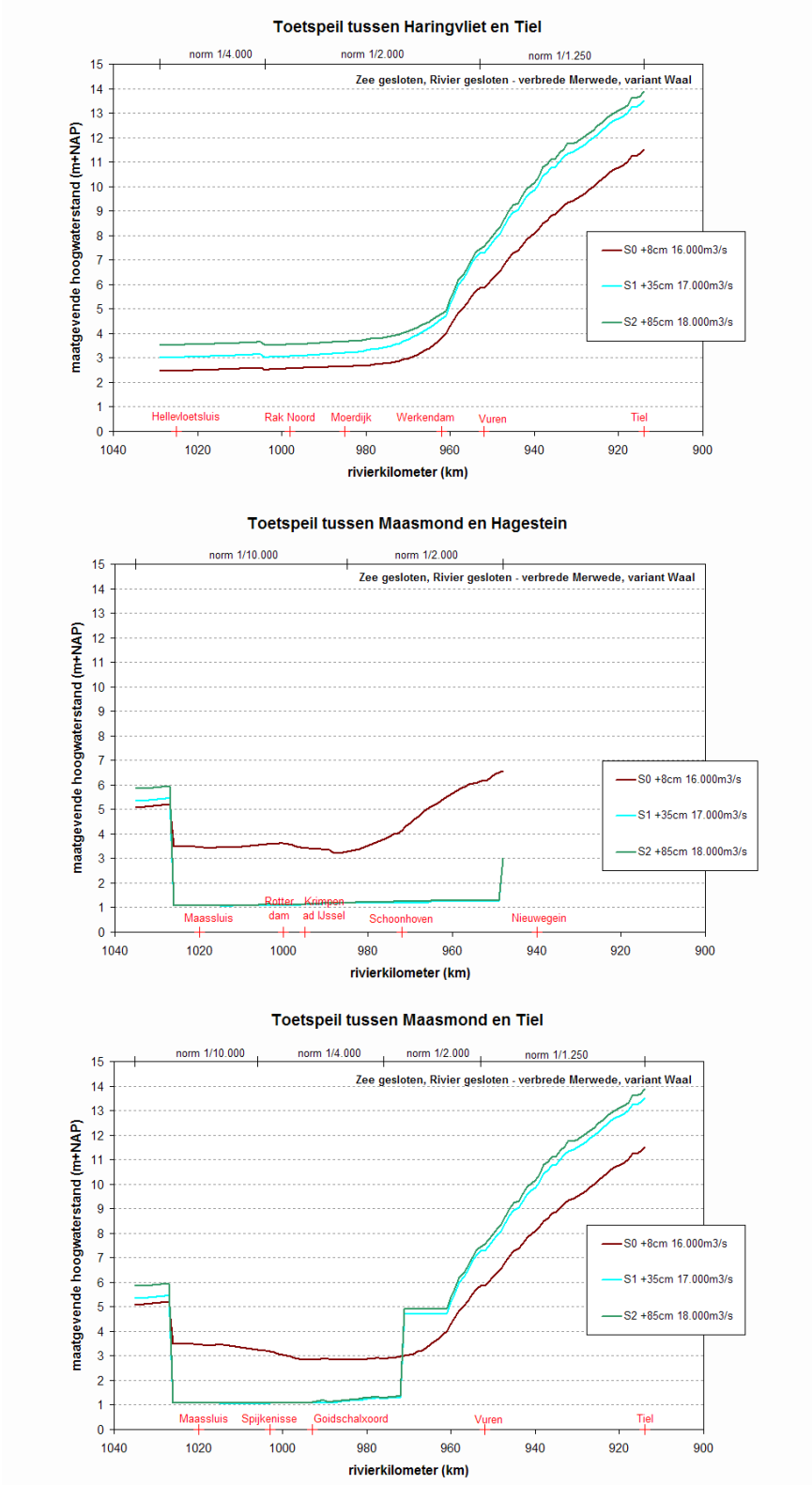
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-17: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3c voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

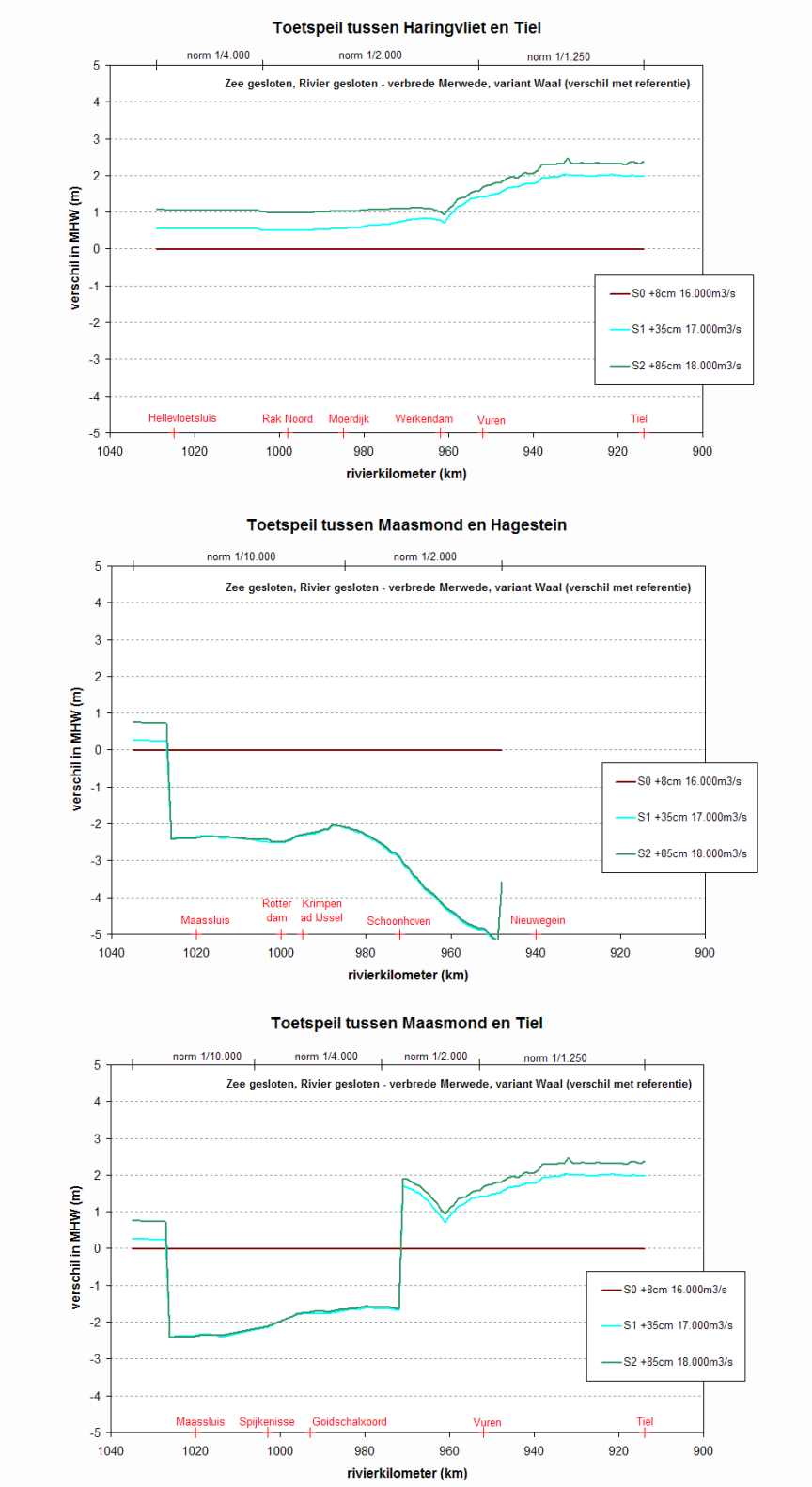
Bijlage A.10 Variant 3d: gesloten zee- en rivierzijde + Waal + Nieuwe Merwede

1. Absolute waarden van MHW's



Figuur A-18: MHW's bij variant 3d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

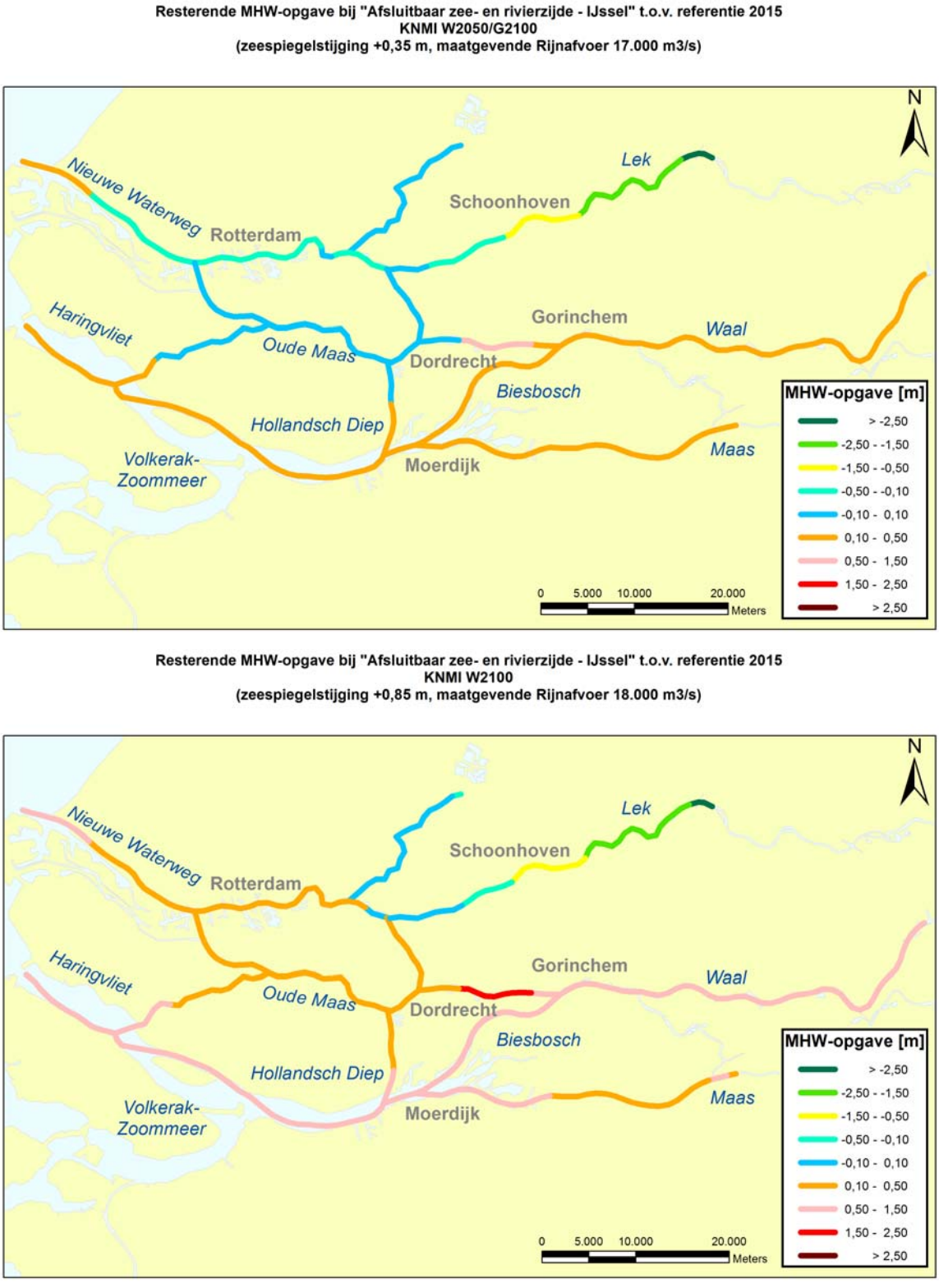
2. Relatieve MHW-verschillen t.o.v. referentie 2015



Figuur A-19: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3d voor twee klimaatscenario's op traject 1, 2 en 3.

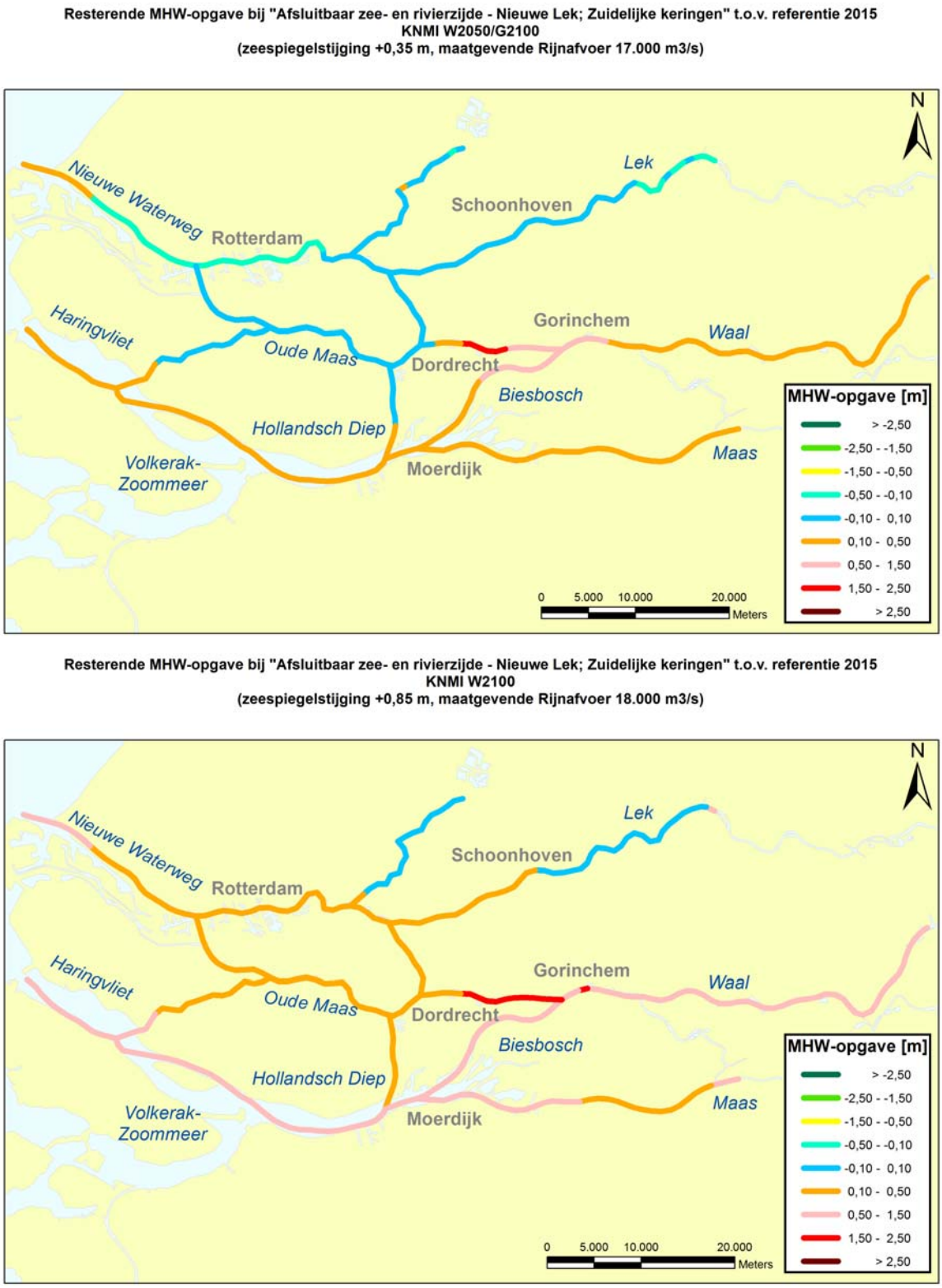
Bijlage B Geografische weergave MHW-opgave

Bijlage B.1 Variant 2c: IJssel



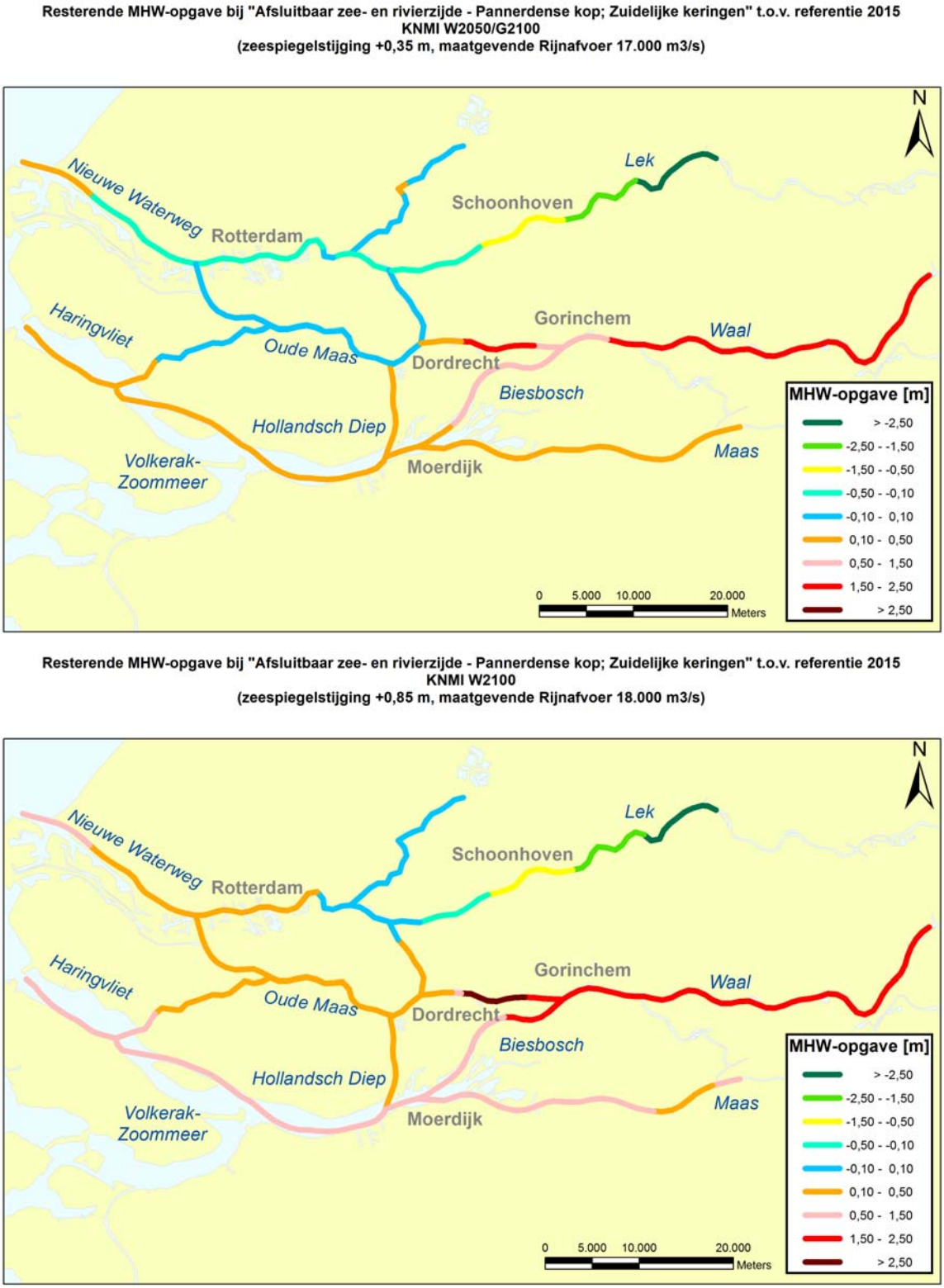
Figuur B-1: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2c voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.2 Variant 2d: Nieuwe Lek + zuidelijke keringen



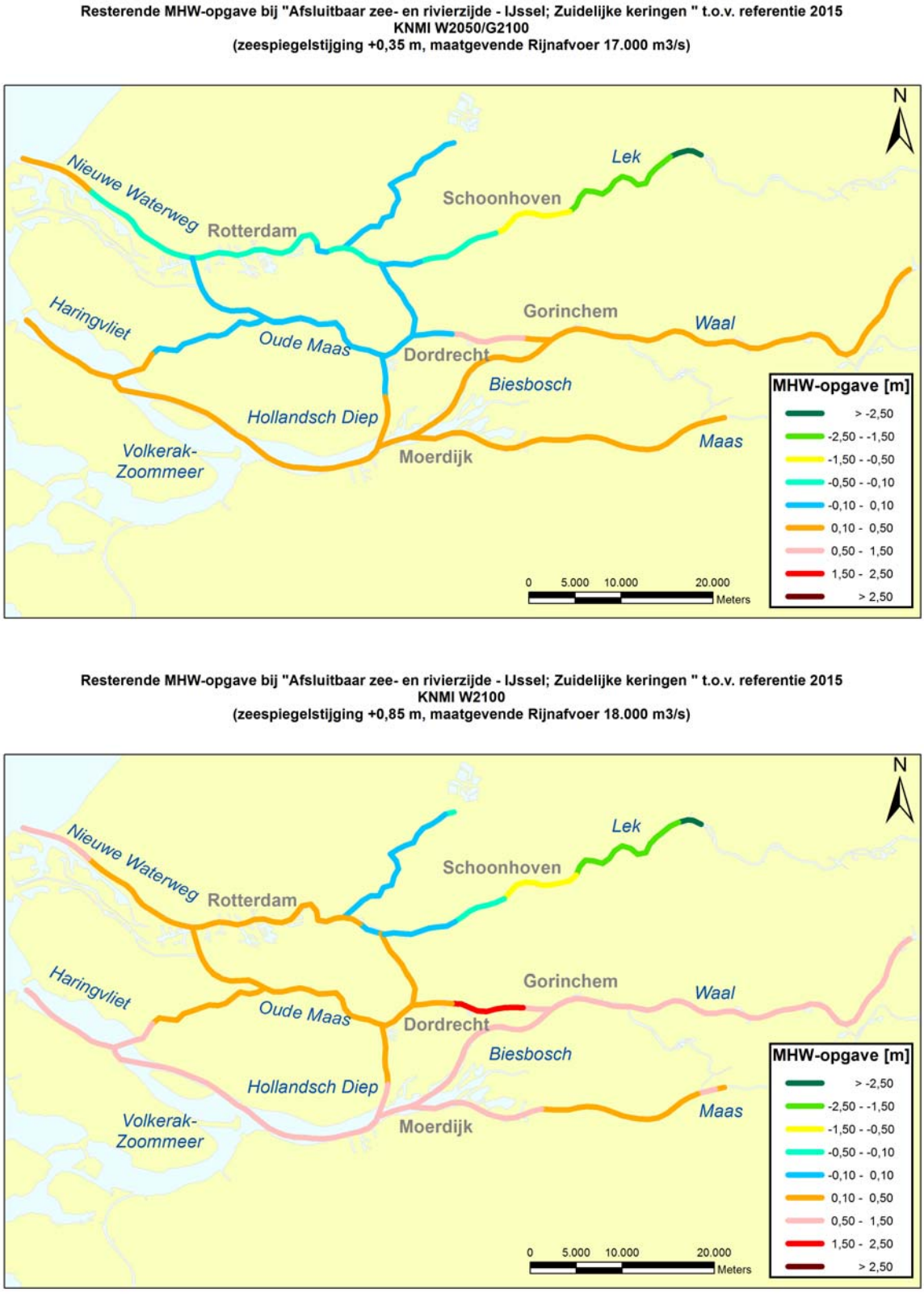
Figuur B-2: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2d voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.3 Variant 2e: Waal + zuidelijke keringen



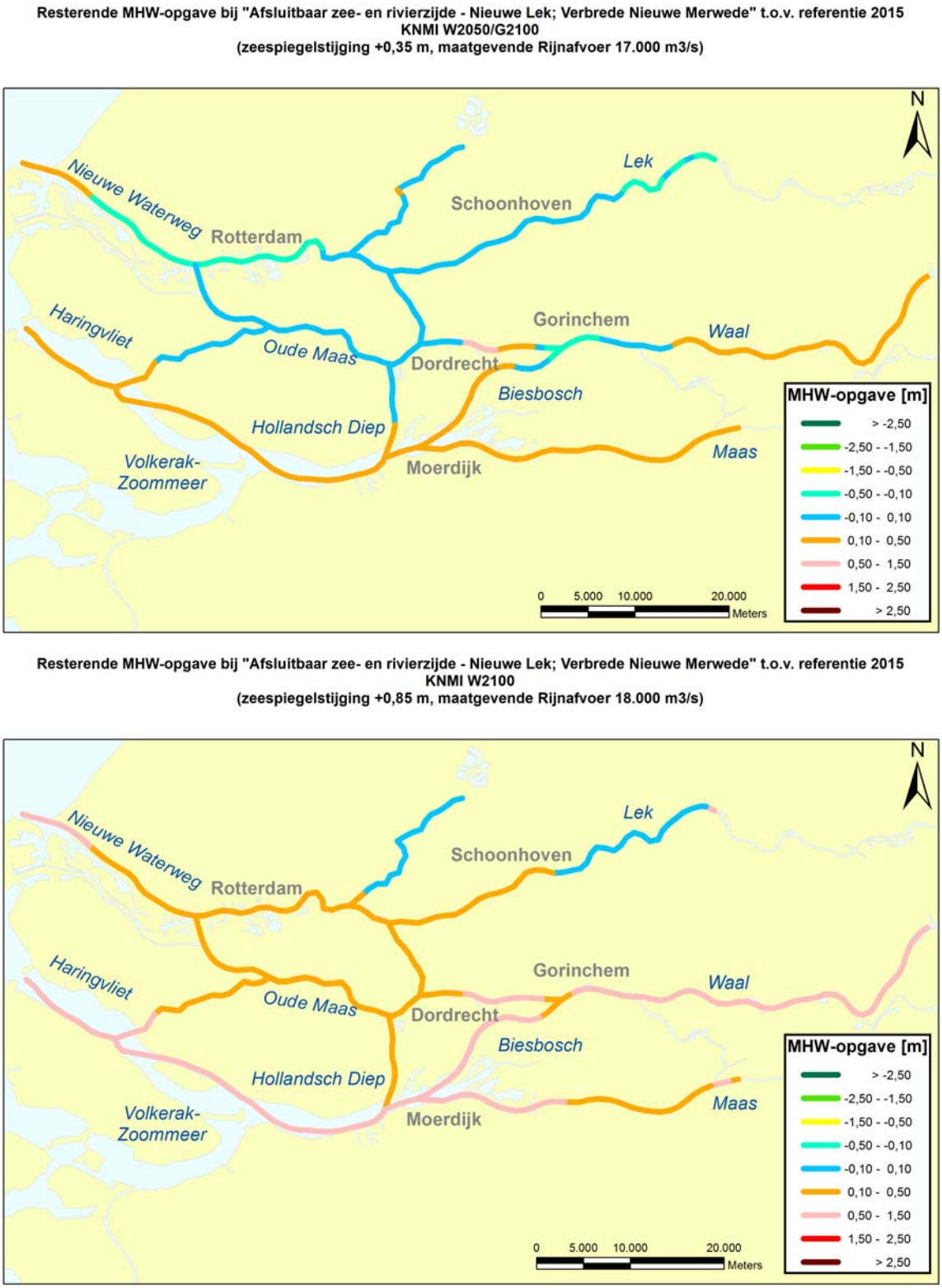
Figuur B-3: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2e voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.4 Variant 2f: IJssel + zuidelijke keringen



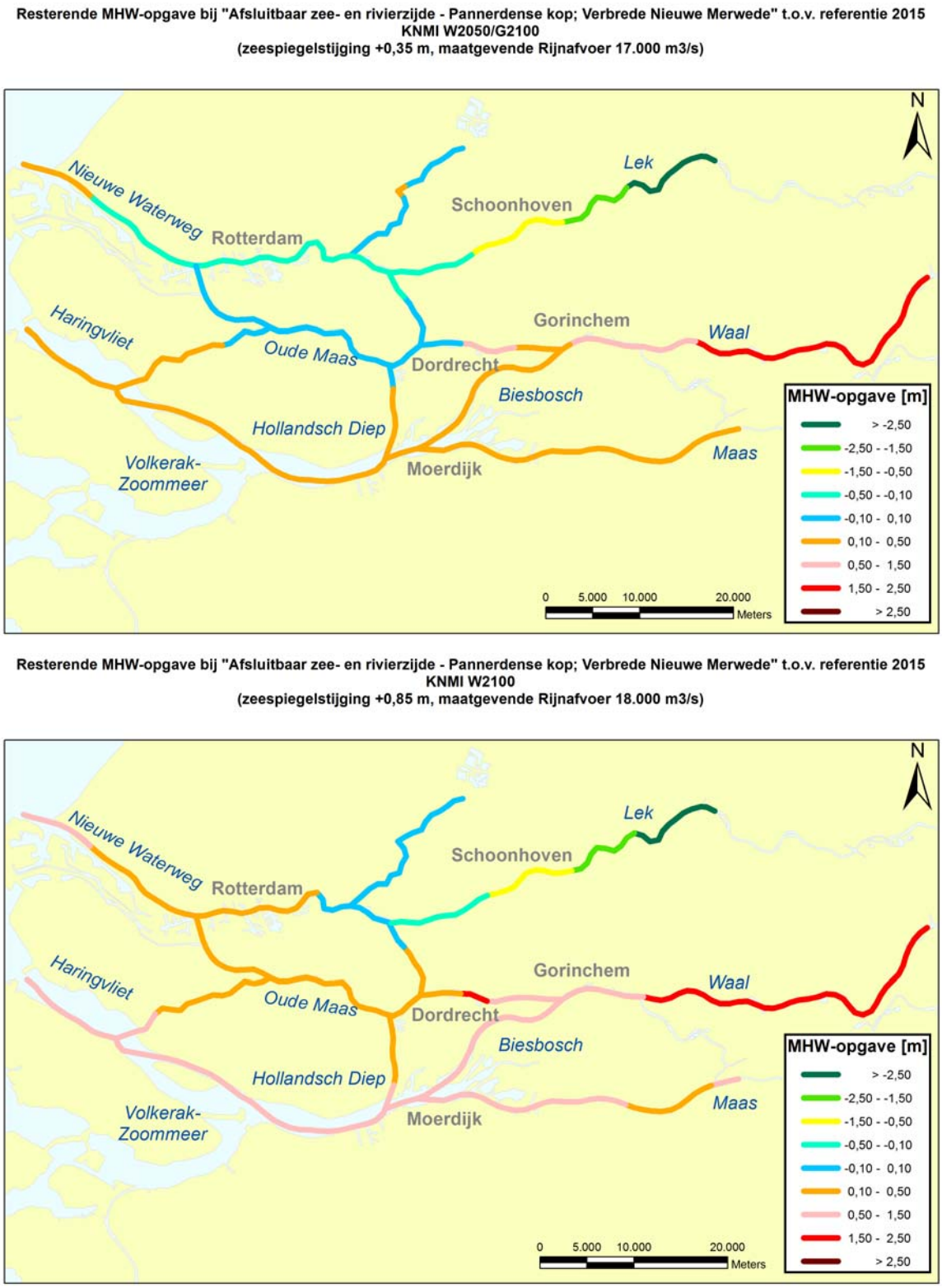
Figuur B-4: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2f voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.5 Variant 2g: Nieuwe Lek + verbreding Nieuwe Merwede



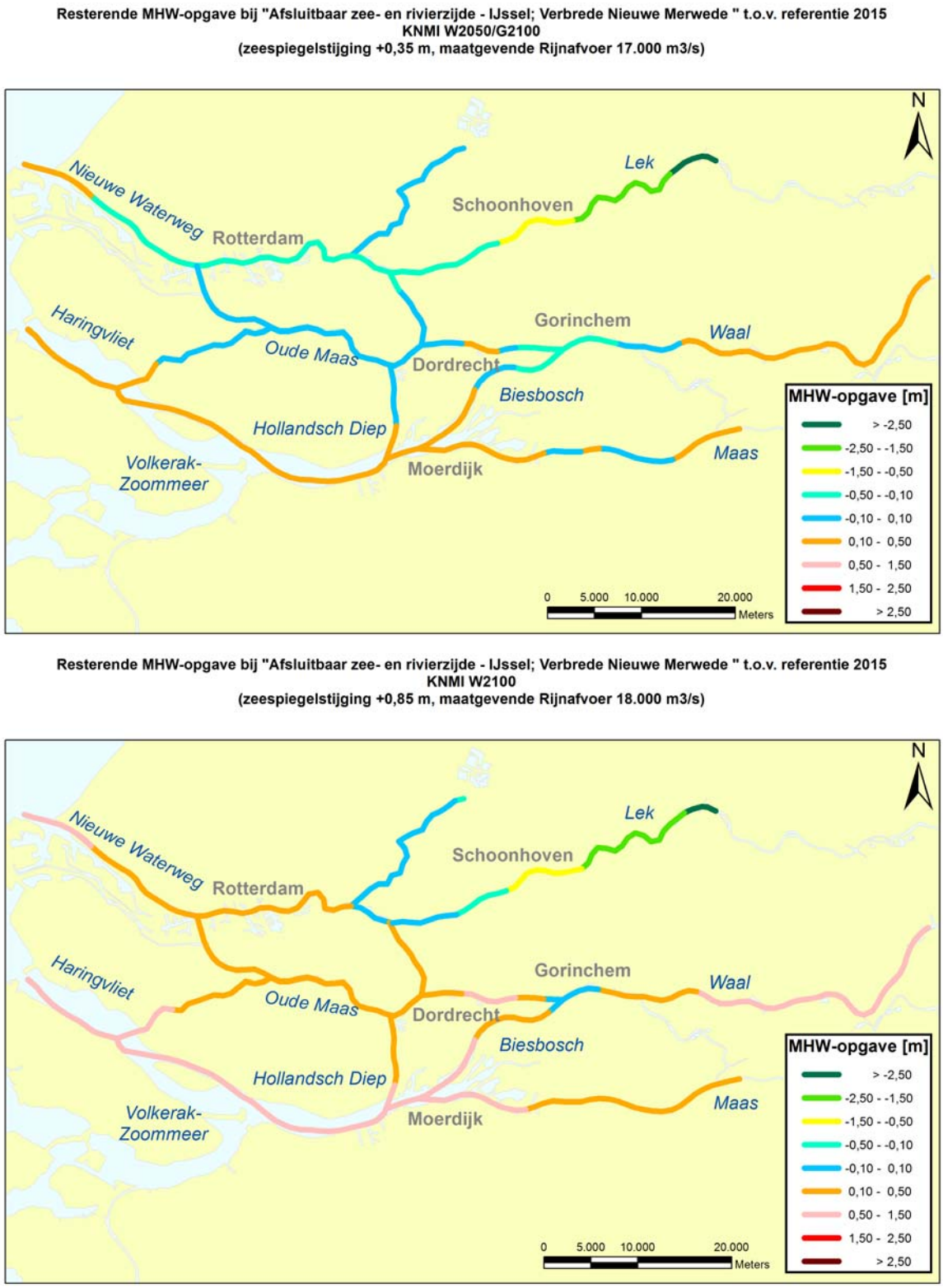
Figuur B-5: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2g voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.6 Variant 2h: Waal + verbreding Nieuwe Merwede



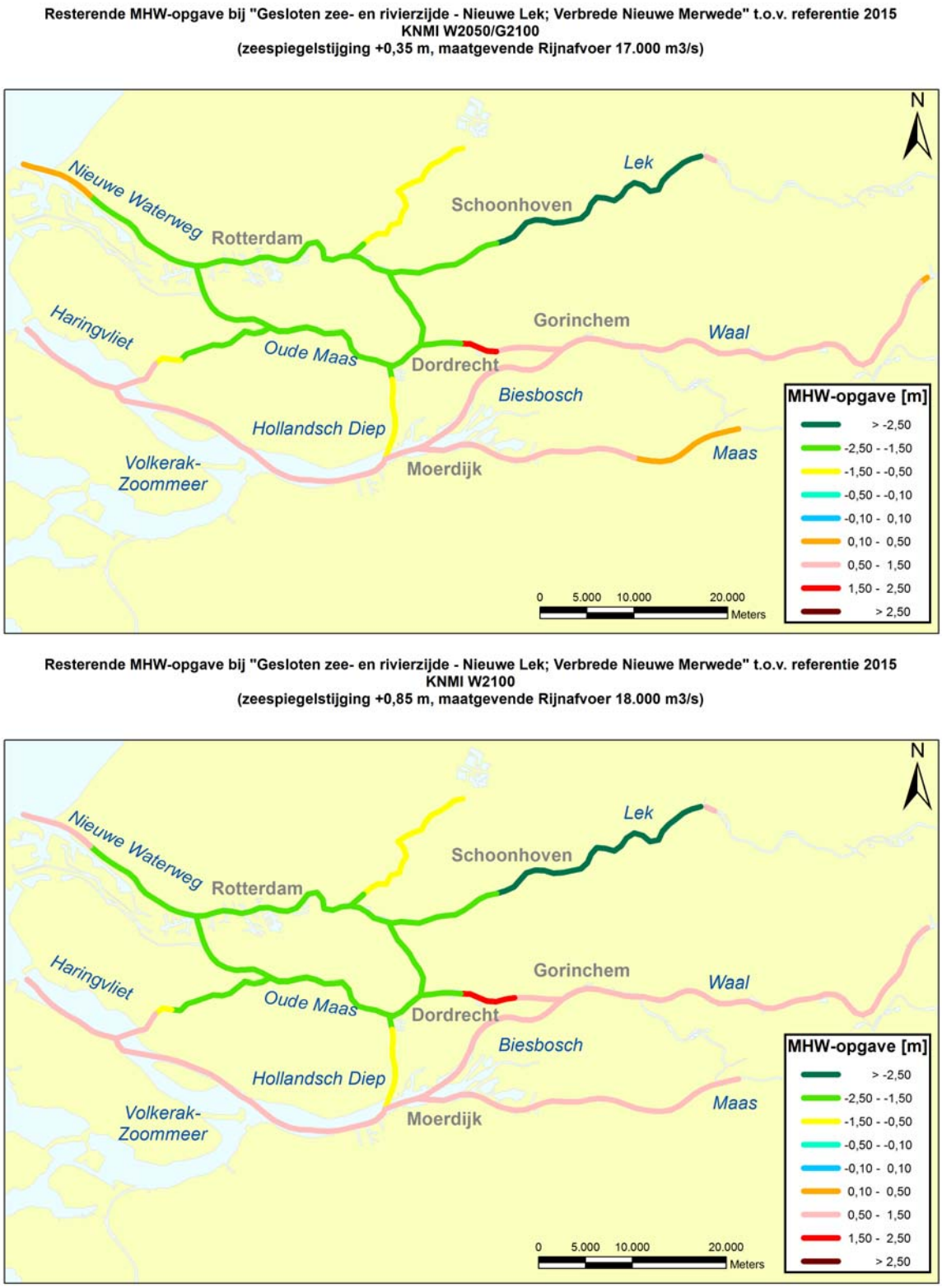
Figuur B-6: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2h voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.7 Variant 2i: IJssel + verbreding Nieuwe Merwede



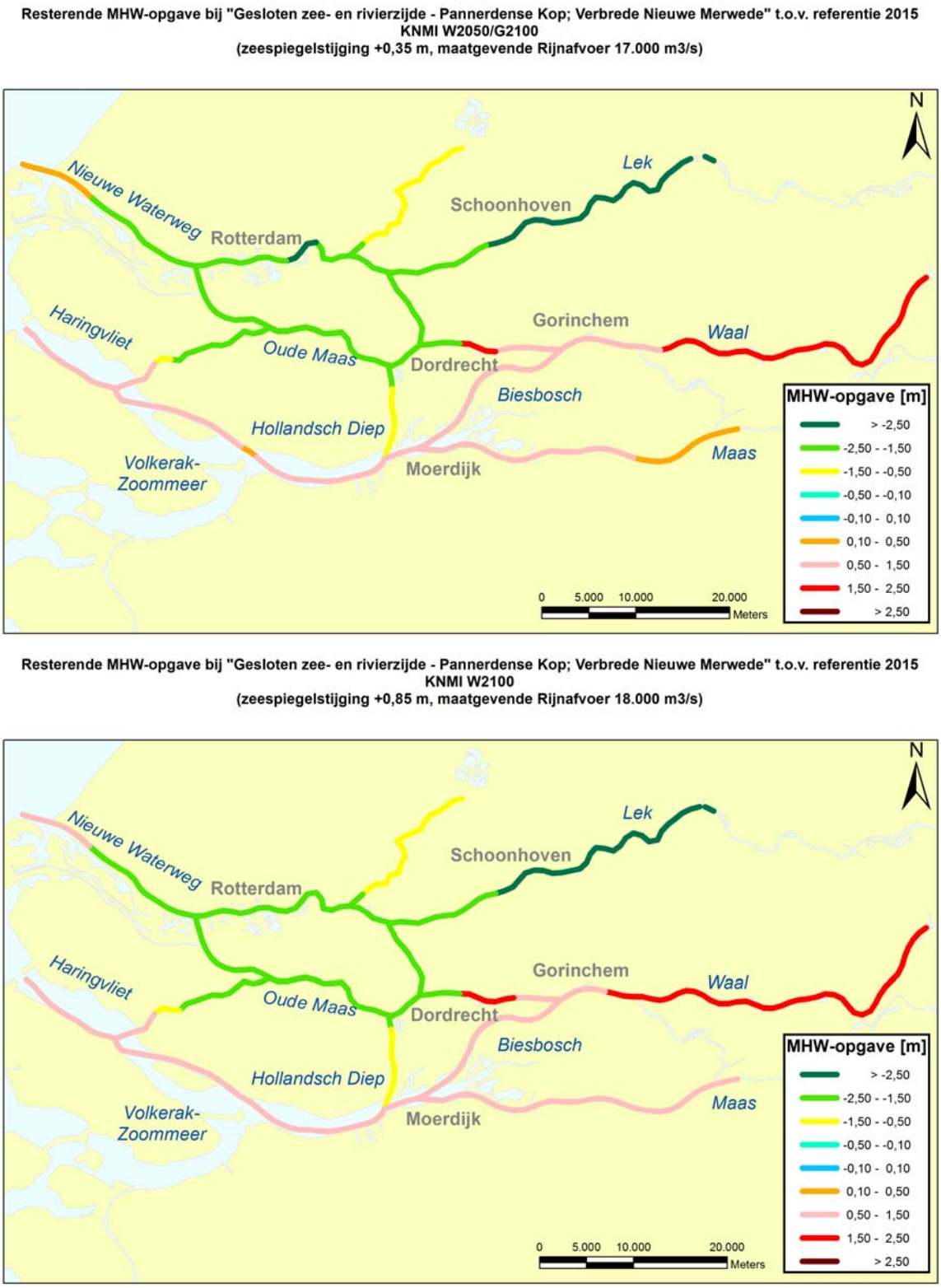
Figuur B-7: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 2i voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.8 Variant 3c: gesloten zee- en rivierzijde + verbreding Nieuwe Lek + Nieuwe Merwede



Figuur B-8: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3c voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).

Bijlage B.9 Variant 3d: gesloten zee- en rivierzijde + Waal + Nieuwe Merwede



Figuur B-9: MHW-verschil tussen Referentie 2015 en variant 3d voor twee klimaatscenario's (geografische weergave).