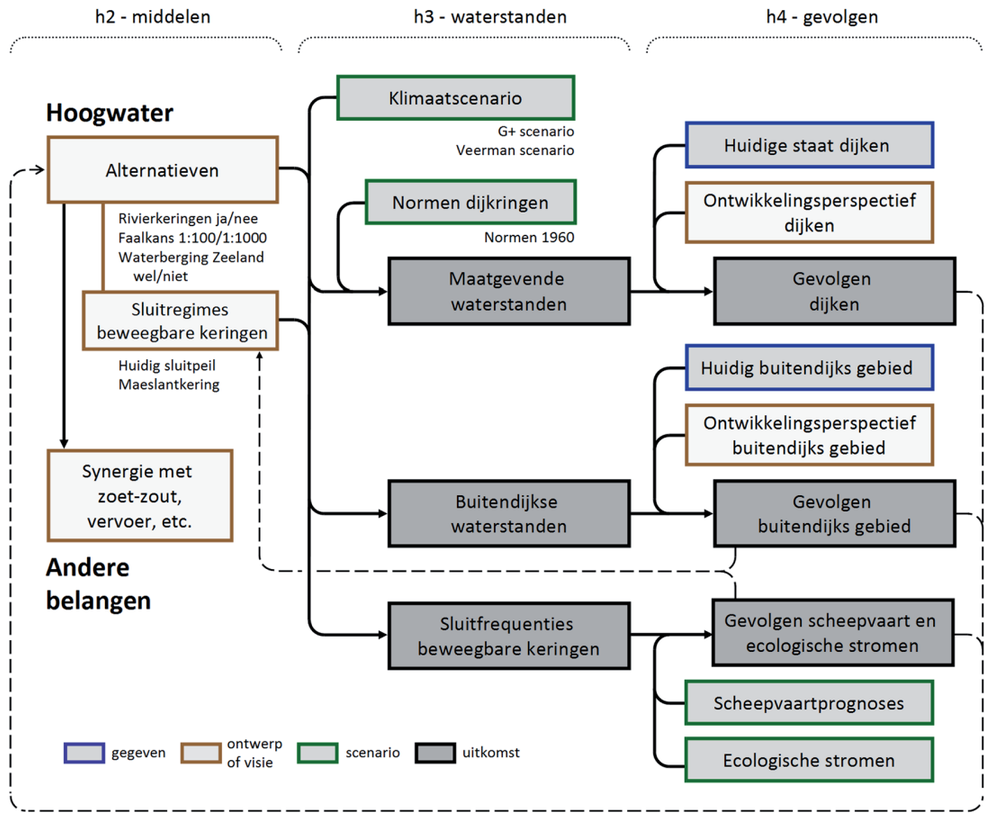
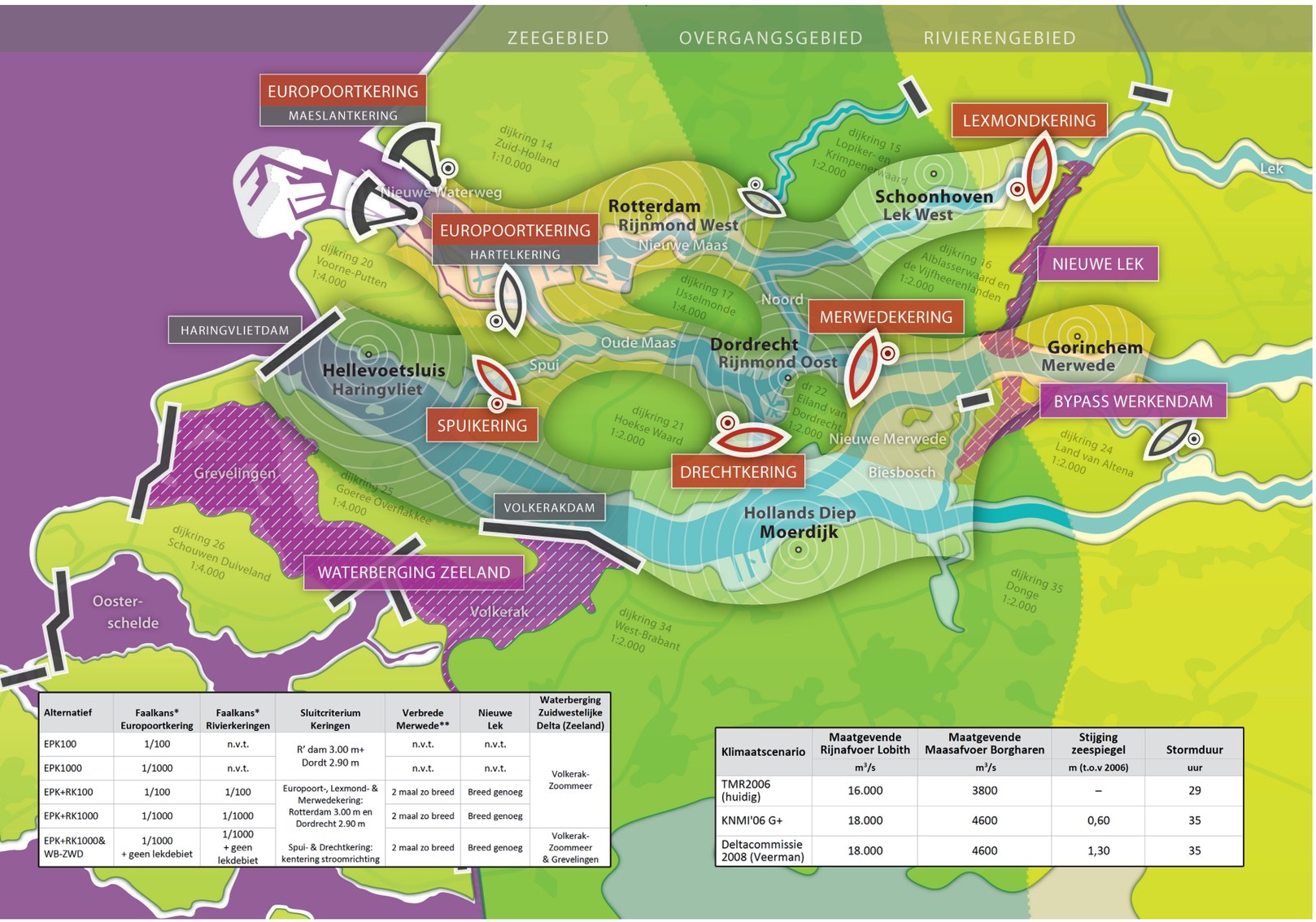
Afsluitbaar Open Rijnmond

een systeembenadering

Technische Universiteit Delft

zomer 2010


h2 - middelen
h3 - waterstanden
h4 - gevolgen
Hoogwater
Alternatieven
Rivierkeringen ja/nee
Faalkans 1:100/1:1000
Waterberging Zeeland
wel/niet
Sluitregimes beweegbare keringen
Huidig sluitpeil
Maeslantkering
Synergie met zoet-zout, vervoer, etc.
Andere belangen
Klimaatscenario
G+ scenario
Veerman scenario
Normen dijkringen
Normen 1960
Maatgevende waterstanden
Buitendijkse waterstanden
Sluitfrequenties beweegbare keringen
Huidige staat dijken
Ontwikkelingsperspectief dijken
Gevolgen dijken
Huidig buitendijks gebied
Ontwikkelingsperspectief buitendijks gebied
Gevolgen buitendijks gebied
Gevolgen scheepvaart en ecologische stromen
Scheepvaartprognoses
Ecologische stromen
gegeven
ontwerp of visie
scenario
uitkomst



Alternatief	Faalkans* Europoortkering	Faalkans* Rivierkeringen	Sluitcriterium Keringen	Verbrede Merwede**	Nieuwe Lek	Waterberging Zuidwestelijke Delta (Zeeland)
EPK100	1/100	n.v.t.	R' dam 3.00 m+ Dordt 2.90 m	n.v.t.	n.v.t.	Volkerak-Zoommeer
EPK1000	1/1000	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	
EPK+RK100	1/100	1/100	Europoort-, Lexmond- & Merwedekering: Rotterdam 3.00 m en Dordrecht 2.90 m	2 maal zo breed	Breed genoeg	
EPK+RK1000	1/1000	1/1000		2 maal zo breed	Breed genoeg	
EPK+RK1000& WB-ZWD	1/1000 + geen lekdebiet	1/1000 + geen lekdebiet	Spui- & Drechtkering: kentering stroomrichting	2 maal zo breed	Breed genoeg	Volkerak-Zoommeer & Grevelingen

Klimaatscenario	Maatgevende Rijnafvoer Lobith	Maatgevende Maasafvoer Borgharen	Stijging zeespiegel	Stormduur
	m^3/s	m^3/s	m (t.o.v 2006)	uur
TMR2006 (huidig)	16.000	3800	–	29
KNMI'06 G+	18.000	4600	0,60	35
Deltacommissie 2008 (Veerman)	18.000	4600	1,30	35

Figuur 0.1: de Rijn-Maasmond als hydraulisch-ruimtelijk 'systeem' met zes 'deelgebieden' en diverse 'middelen' om waterstandsverhogingen over het gebied te spreiden: 'beweegbare hoogwaterkeringen' (rood) en 'systeem-uitbreidingen' (paars). De getallen per dijkring zijn de overschrijdingsnormen voor overstromingsveiligheid uit de Waterwet (kaart Sendra Design Studio).

Tabel 0.2: uitgangspunten voor de klimaatscenario's die zijn gebruikt voor de waterstandsanalyses, door HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$, voor de 'integrale verkenning Afsluitbaar Open Rijnmond'.

Tabel 0.3: definiëring van de in deze studie onderzochte alternatieven. De locaties van de Europoortkering en de rivierkeringen zijn te zien op de kaart.
Alle alternatieven implementeren de maatregelen 'Noord-waard', 'Waterberging Volkerak-Zoommeer' en 'afvoer-begrenzing Lek' uit de 'Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier'.
** Een faalkans van 1/1000 betekent dat alle keringen tegelijkertijd niet sluiten op een moment dat volgens het beslissingsondersteunend systeem wel had gemoeten; dit kan liggen aan een voorspellingsfout, een bedieningsfout of een technisch mankement.*
*** Het effect van een 'Verbrede (Nieuwe) Merwede' is ook te bereiken met een 'Bypass Werkendam'.*

Afsluitbaar Open Rijnmond een systeembenadering

Rotterdam Climate Proof **Technische Universiteit Delft**

Colofon

Opdrachtgevers Rotterdam Climate Proof
Kennis voor Klimaat; ministerie van VROM

en Provincie Zuid-Holland
Delft Infrastructures & Mobility Initiative, Technische Universiteit Delft
Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Waterschap Hollandse Delta
Hoogheemraadschap van Delfland

Projectleiding Matthijs Kok, TU Delft

Deelprojectleiders Jan Stijnen, HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$ en
Nadine Slootjes, HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$
Maurits de Hoog, TU Delft en
Anne Loes Nillesen, Defacto Architectuur en Stedenbouw
Ton de Nijs, RIVM
Tiedo Vellinga, Havenbedrijf Rotterdam

Reviews Nick van Barneveld, Rotterdam Climate Proof
Jeroen Aerts, VU Amsterdam
Robert Vos, Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden

Integratierapport Ties Rijcken, TU Delft

Kaarten Defacto Architectuur en Stedenbouw
Sendra Design Studio

Foto's Anna Dijk
Ties Rijcken

KvK-rapportnummer 029/2010

ISBN/EAN 978-94-90070-29-8

Websites www.kennisvoorklimaat.nl
www.aor.tudelft.nl

Copyright © 2010 **Technische Universiteit Delft**

Dit rapport integreert **zes deelrapporten**

Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden	Jan Stijnen, HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$ Nadine Slootjes, HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$
Multifunctionele Keringen	Floris van der Ziel, Royal Haskoning Anna Dijk, Dijk Architectuur
Stedenbouw & multifunctionele dijken	Maurits de Hoog, TU Delft Anne Loes Nillesen, Defacto Architectuur en Stedenbouw Laura Kleerekoper, TU Delft Verena Balz, TU Delft Marco Gazzola, Defacto Architectuur en Stedenbouw Ad van der Toorn, TU Delft
Natuur en Milieu	Ton de Nijs, RIVM Jacqueline Claessens, RIVM
Waterfrontontwikkeling	Roland Goetgeluk, ABF research
Scheepvaart	Tiedo Vellinga, Havenbedrijf Rotterdam Michiel de Jong, TU Delft

Te downloaden op **www.afsluitbaaropenrijnmond.tudelft.nl**

Inhoud

Samenvatting

Van idee naar systeembenadering **7**
Middelen **9**
Waterstanden **11**
Gevolgen **13**
Conclusies en aanbevelingen **15**

Summary

A systems approach **18**
Means **18**
Water levels **19**
Consequences **19**
Conclusions and recommendations **21**

De Rijn-Maasmond

Foto-essay

Rijnmond West **24**
Lek West **30**
Rijnmond Oost **36**
Merwede **42**
Hollands Diep **48**
Haringvliet **52**

Afbakening

Onderzoekscontext **1**

1.1 Rotterdam, de Drechtsteden en water **59**
1.2 De visie van de Deltacommissie **60**
1.3 Huidige fase: divergeren **61**
1.4 De ‘integrale verkenning afsluitbaar open Rijnmond’ **63**
1.5 Conceptuele en geografische afbakening **64**
1.6 Onderzoeksmethode **65**

Bevindingen

Middelen **2**

2.1 Beweegbare hoogwaterkeringen **69**
2.2 Multifunctionele beweegbare hoogwaterkeringen **73**
2.3 Ruimte voor extra afvoer en berging **75**

Waterstanden **3**

3.1 Waterstandsberekeningen **81**
3.2 Hoogwaterstanden per klimaatscenario en alternatief **83**
3.3 Onzekerheden in de analyses en inzichten in het systeem **87**

Gevolgen **4**

4.1 De dijken in de Rijn-Maasmonding **91**
4.2 Het beïnvloeden van buitendijkse waterstanden **95**
4.3 Buitendijkse risico's **99**
4.4 Scheepvaart en ecologische stromen **103**

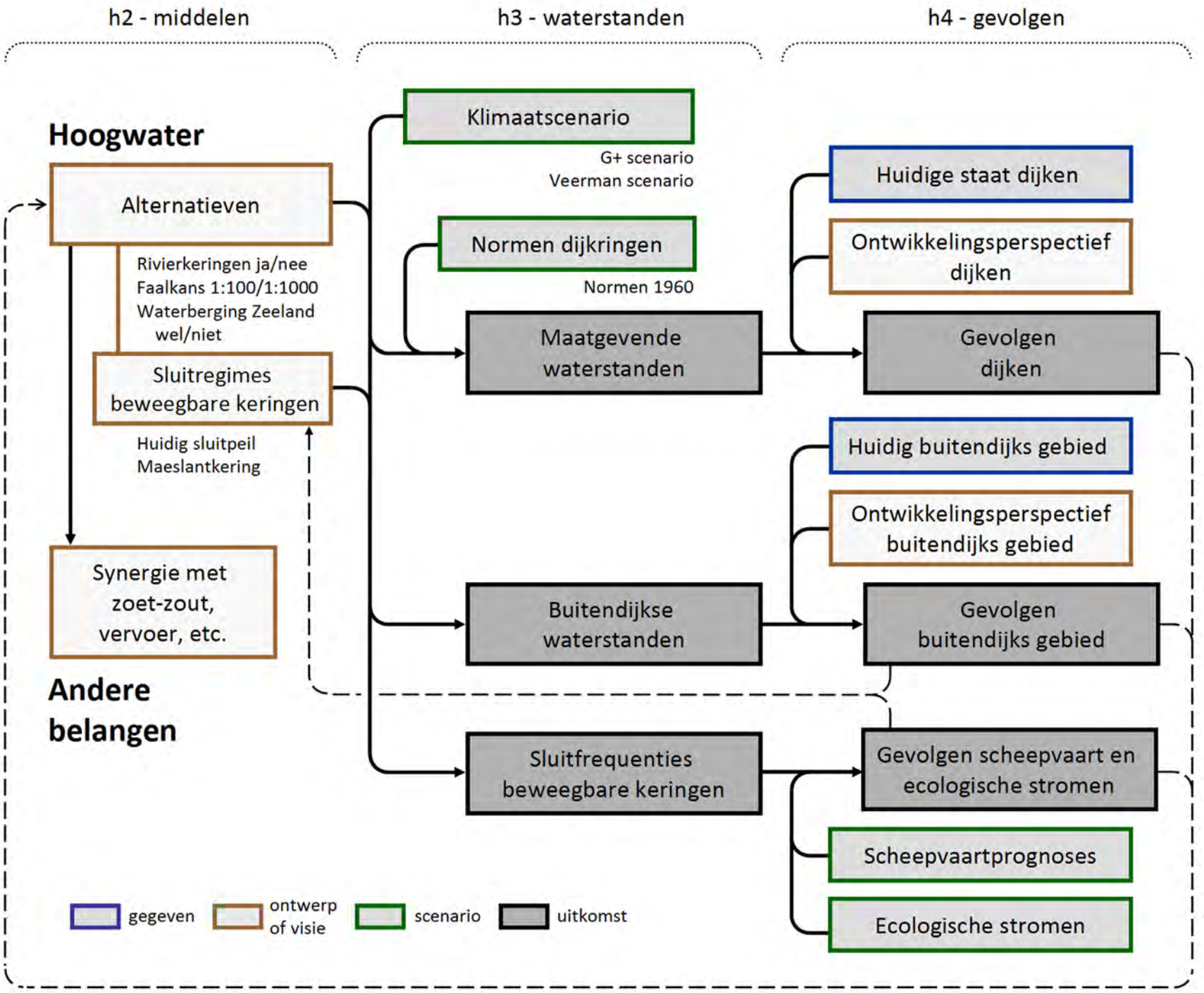
Uitkomsten

De overstromingsveiligheid van de Rijn-Maasmond **5**

5.1 De alternatieven onderling vergeleken **109**
5.2 Conclusies, onzekerheden en vervolgonderzoek **111**
5.3 Reflectie **120**

Bonus **'AOR-SG'** **123**

Geraadpleegde documenten **134**
Noten **136**


h2 - middelen
h3 - waterstanden
h4 - gevolgen
Hoogwater
Alternatieven
Rivierkeringen ja/nee
Faalkans 1:100/1:1000
Waterberging Zeeland wel/niet
Sluitregimes beweegbare keringen
Huidig sluitpeil Maeslantkering
Synergie met zoet-zout, vervoer, etc.
Andere belangen
Klimaatscenario
G+ scenario
Veerman scenario
Normen dijkringen
Normen 1960
Maatgevende waterstanden
Buitendijkse waterstanden
Sluitfrequenties beweegbare keringen
Huidige staat dijken
Ontwikkelingsperspectief dijken
Gevolgen dijken
Huidig buitendijks gebied
Ontwikkelingsperspectief buitendijks gebied
Gevolgen buitendijks gebied
Gevolgen scheepvaart en ecologische stromen
Scheepvaartprognoses
Ecologische stromen
gegeven
ontwerp of visie
scenario
uitkomst

Samenvatting

Van idee naar systeembenadering

De Technische Universiteit Delft schreef in de lente van 2008 een adviesrapport voor de tweede Deltacommissie en plaatste daarin een kleurrijke tekening van een alternatief voor de lange-termijn waterveiligheid van Rotterdam en de Drechtsteden. De Deltacommissie illustreerde met de tekening hun 'afsluitbaar open' aanbeveling voor de Rijnmond, en adviseerde om daar op korte termijn nader onderzoek naar te doen.

Inmiddels is de studie 'Afsluitbaar Open Rijnmond – een eerste integrale verkenning' uitgevoerd, onder leiding van dezelfde onderzoekers die de oorspronkelijke schets maakten voor de Deltacommissie, in opdracht van Rotterdam Climate Proof en Kennis voor Klimaat. Deze studie leverde zes deelrapporten en dit integratierapport.

Het advies van de Deltacommissie was een visie en de bijgevoegde tekening een idee. In overeenstemming daarmee heeft de 'integrale verkenning' twee doelen. Ten eerste een beoordeling van de effectiviteit van het geschetste idee en ten tweede het verkrijgen van inzicht in de invloed van toegevoegde beweegbare hoogwaterkeringen op de samenhang tussen de componenten van de Rijn-Maasmond als 'geïntegreerd systeem': de binnendijkse en buitendijkse overstromingsrisico's, de scheepvaart en de ontwikkeling van de dijkzones en het buitendijks gebied (met een focus op de regio Rijnmond-Drechtsteden).

De gekozen methode om deze doelen te bereiken is het onderzoeken van vijf alternatieven; allen varianten op een afsluitbaar open Rijn-Maasmond aan de zeezijde of aan zee- én rivierzijde. De figuur op pagina 9 laat zien dat de alternatieven vooral een hulpmiddel zijn om een systeembenadering te ontwikkelen.

In de systeembenadering is het startpunt de bestaande geometrie van het gehele buitendijkse gebied (droog én nat) samen met de huidige aangrenzende dijken. Daar worden beweegbare hoogwaterkeringen zoals de bestaande stormvloedkeringen in de Europoort en de door de Deltacommissie geopperde nieuwe 'rivierkeringen' aan toegevoegd. Dit zijn 'sturingselementen' die het water onder verschillende hydraulische omstandigheden in gewenste richtingen kunnen leiden. Het is ook mogelijk om de bestaande geometrie te veranderen, door het systeem te koppelen aan een aangrenzend watersysteem (de Zeeuwse bekkens) of een geheel nieuwe buitendijkse waterweg aan te leggen in het huidige binnendijkse gebied. Toevoeging van sturingselementen en wijzigingen in de huidige geometrie van het systeem (of: 'ruimtelijke maatregelen') worden in deze systeembenadering beide 'middelen' genoemd. Tabel 0.3 in de omslag van dit rapport toont parameters voor een aantal middelen en laat zien hoe deze de vijf alternatieven definiëren.

Figuur 0.4: 'systeembenadering' voor de overstromingsveiligheid en gerelateerde belangen in de Rijn-Maasmond. Dijkverhogingen en buitendijkse aanpassingen zijn hier geen 'middelen' (hoofdstuk 2) maar 'gevolgen' (hoofdstuk 4) die gedeeltelijk een 'wettelijke uitkomst' zijn van de maatgevende waterstanden (hoofdstuk 3). Het diagram is toepasbaar op vele denkbare combinaties van middelen, maar in dit rapport zijn vijf alternatieven bekeken. Enkele keuzes en aannames staan in deze figuur direct onder de tekstblokken (bijvoorbeeld 'Normen 1960' onder 'Normen dijkringen'). Ecologische stromen spelen een rol in het systeem, maar zijn in deze studie niet nader onderzocht. De gestreepte lijnen zijn terugkoppelingen om tot nieuwe alternatieven (combinaties van middelen) te komen.

HYDRAULISCHE BELASTINGNIVEAUS

100 cm + NAP

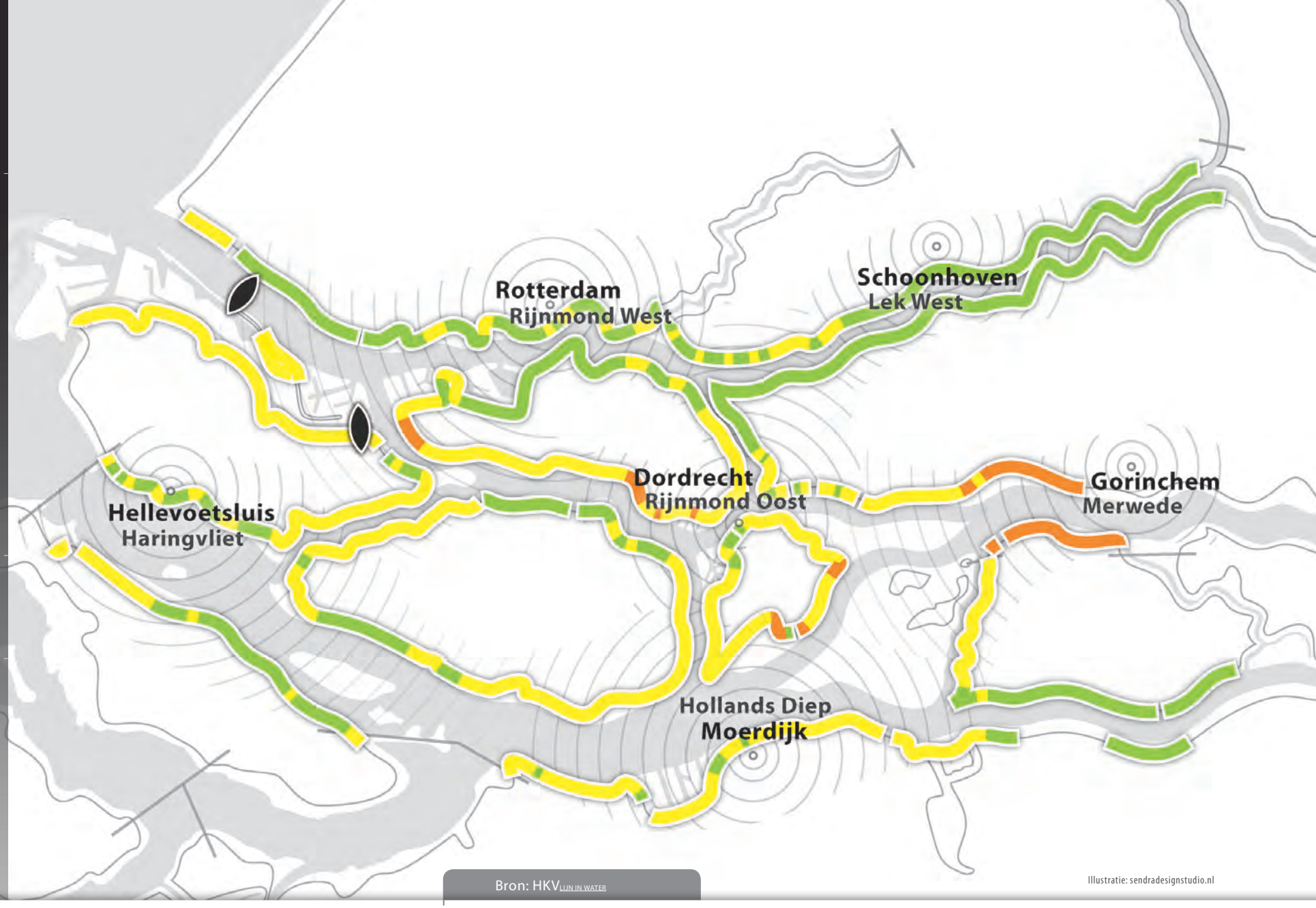
66 cm

33 cm

0 cm + NAP

GEEN GEGEVENS

BEWEEGBARE KERING



Bron: HKV LIJN IN WATER

Illustratie: sendradesignstudio.nl

Waterstanden

Rijn-Maasmond Afsluitbaar Open

Toename van de 'hydraulische belastingniveaus' (waarin ook de golfoploop is verwerkt) onder het 'G+'- klimaatscenario in 2100, zonder aanvullende beweegbare 'rivierkeringen', bij een faalkans van de Europoortkering van 1/100.

Deze kaart is een bewerking van de resultaten van het onderzoeksproject 'Afsluitbaar Open Rijnmond - een eerste integrale verkenning'. Alle rapporten van dit onderzoek zijn te downloaden op www.aor.tudelft.nl. Aan de gegevens kunnen geen rechten worden ontleend. De onderliggende analyses bevatten onzekerheden, onvolledigheden en subjectieve elementen (die de onderzoekers graag toelichten). *augustus 2010*

TU Delft

ROTTERDAM.CLIMATE.INITIATIVE
Climate Proof

Kennis voor Klimaat

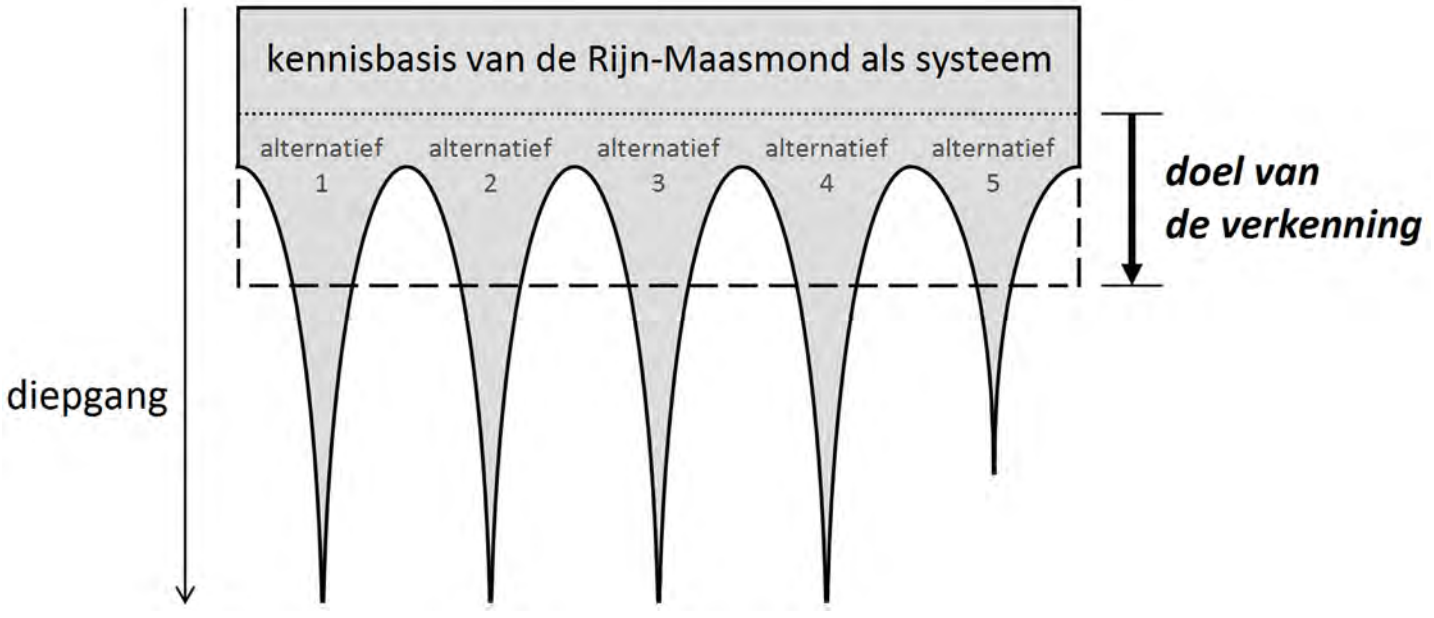
Uit de alternatieven volgen waterstanden, samen met een gegeven normering, klimaatverandering en sluitregimes van de beweegbare keringen en doorlaatmiddelen – zie de pijlen linksboven in het diagram op de omslagflap. De waterstanden en sluitfrequenties (die volgen uit het klimaatscenario en de sluitregimes) zijn de schakel tussen de alternatieven en de gevolgen van de alternatieven op de dijken, het buitendijks gebied en de scheepvaart. Scheepvaart is te zien als een netwerk van scheepvaart'stromen' door het gebied. Evenzo zijn er ecologische stromen die het liefst ongehinderd hun richting vinden, zoals vismigraties en nutriëntenstromen. Deze zijn niet onderzocht, maar zijn omwille van de volledigheid van de systeembenadering toch opgenomen in het diagram. Hetzelfde geldt voor gerelateerde doelen als zoetwatervoorziening en vervoer.

De gevolgen hangen niet alléén af van waterstanden en sluitfrequenties, maar ook van scheepvaartprognoses en van het ontwikkelingsperspectief op de dijken en het buitendijks gebied. Een samengesteld beeld van de gevolgen biedt tot slot twee belangrijke terugkoppelingen in de systeembenadering. Als eerste suggesties voor andere alternatieven, bijvoorbeeld een aanvullende ruimtelijke maatregel of het weglaten van een beweegbare kering. Als tweede het wijzigen van een sluitregime voor een afzonderlijke beweegbare kering, of alle beweegbare keringen tezamen. De sluitregimes verdienen speciale aandacht, omdat ze een invloedrijke maar tevens de meest flexibele component zijn van de alternatieven.

Middelen

Het deelrapport 'Multifuctionele beweegbare keringen', door twee voormalige TU Delft-afstudeerders op hetzelfde thema, heeft waterbouwkundige en architectonische aspecten van stormvloedkeringen en rivierkeringen onderzocht. Conclusies zijn dat deze objecten landschappelijk goed in te passen zijn, veel kansen bieden om andere functies in zich te verenigen en uitstekend 'flexibel', duurzaam en zelfs 'verplaatsbaar' te bouwen zijn. Uit onderzoek naar de bouwkosten van bestaande beweegbare keringen is afgeleid dat de vier beweegbare keringen uit het rapport van de Deltacommissie samen 850 miljoen euro kunnen gaan kosten.

Bij beweegbare keringen heeft de faalkans (de kans op niet-sluiten)

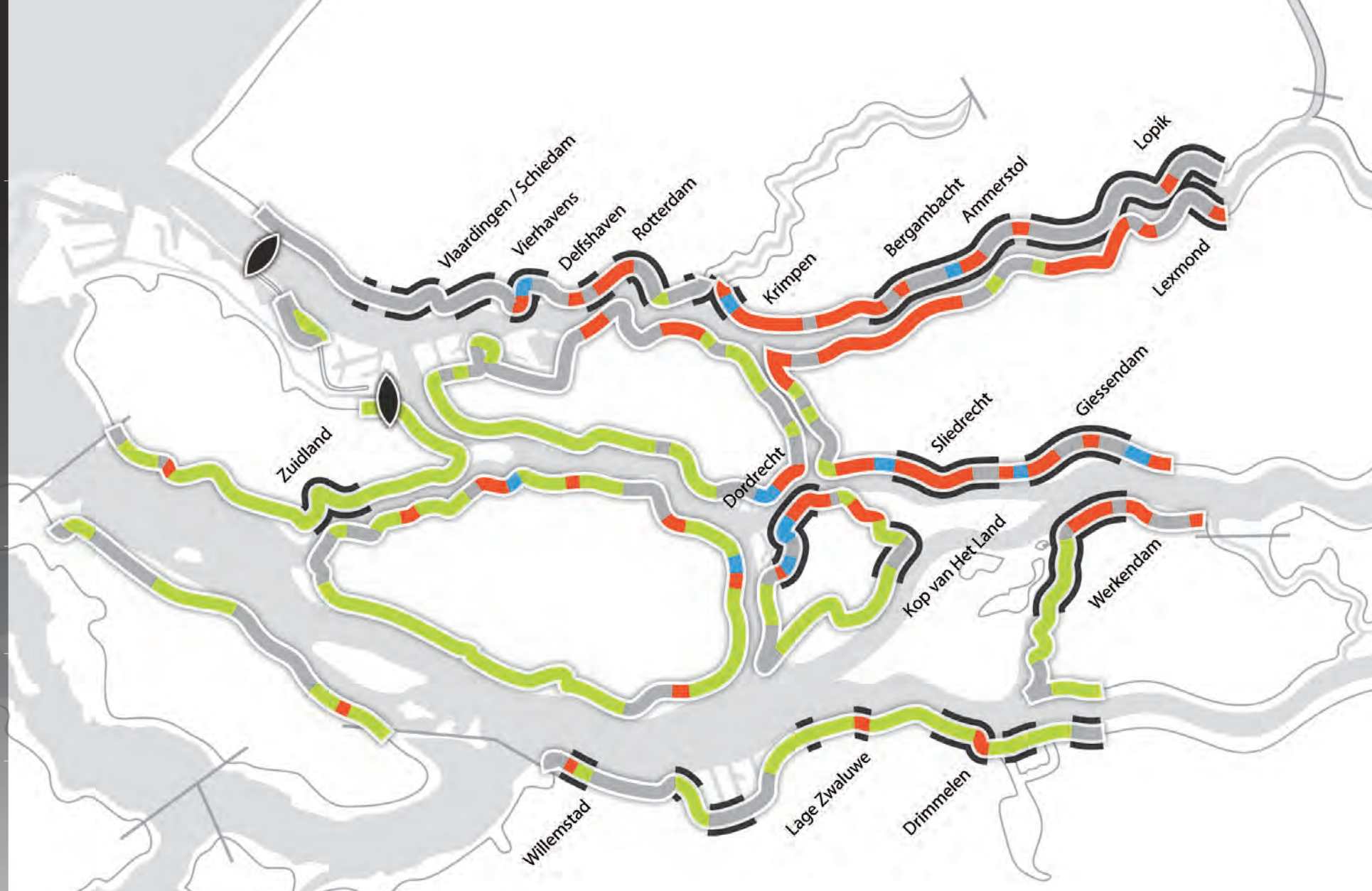


DIJKTYPEN

- HOOGWAARDIG BEBOUWD
- LAAGWAARDIG BEBOUWD
- HOOGWAARDIG OPEN
- LAAGWAARDIG OPEN
- GEEN GEGEVENS

- RELATIEF LAGE DIJKTRACES

- BEWEEGBARE KERING



Bron: TU Delft, Defacto, HKV LIJN IN WATER

Illustratie: sendradesignstudio.nl

Dijken

Rijn-Maasmond Afsluitbaar Open

Dijkenclassificatie en dijken met relatief lage kruinhoogte (één van de maten voor de sterkte van de dijk) onder het 'Deltacommissie 2008'- klimaatscenario in 2100, zonder aanvullende beweegbare 'rivierkeringen', bij een faalkans van de Europoortkering van 1/100, bij de huidige veiligheidsnormering.

Deze kaart is een bewerking van de resultaten van het onderzoeksproject 'Afsluitbaar Open Rijnmond - een eerste integrale verkenning'. Alle rapporten van dit onderzoek zijn te downloaden op www.aor.tudelft.nl. Aan de gegevens kunnen geen rechten worden ontleend. De onderliggende analyses bevatten onzekerheden, onvolledigheden en subjectieve elementen (die de onderzoekers graag toelichten). *augustus 2010*

TU Delft

ROTTERDAM CLIMATE INITIATIVE
Climate Proof

Kennis voor Klimaat

per sluitvraag een aanzienlijke invloed op maatgevende waterstanden en daarmee op de gevolgen voor de dijken. Deelrapport 'Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden', van HKV LIJN IN WATER, laat zien hoe twee Maeslantkeringen met elk een faalkans van ééns per tweehonderd sluitvragen een gecombineerde faalkans op kunnen leveren van 1/10.000. Een faalkans van 1/1000 in één enkele kering kan een technisch haalbare uitdaging zijn door een een fundamenteel herontwerp van het besturings- en beslissingssysteem.

Deelrapporten 'Eerste verkenning waterveiligheid' en 'Natuur en milieu', door het RIVM, gingen nader in op de ruimtelijke maatregelen 'Nieuwe Lek', de verbreding van de Nieuwe Merwede en waterberging in Zeeland. De Nieuwe Lek is haalbaar, maar ingrijpend. Het kan nieuwe natuur opleveren, net als de verbreding van de Nieuwe Merwede, maar tegen hogere kosten dan als elders dezelfde hoeveelheid natuur gemaakt zou worden (maar zonder waterveiligheid als primair doel). Rond de Nieuwe Merwede heerst het Natura 2000 kader, dat dijkverlegging zal bemoeilijken. Het rapport 'Stedenbouw en multifunctionele dijken' oppert een derde interessante ruimtelijke maatregel in het oosten van de Rijn-Maasmond: een bypass ten oosten van Werkendam. Dit kan een vergelijkbaar effect op de waterstanden hebben als een verbrede Merwede.

Waterstanden

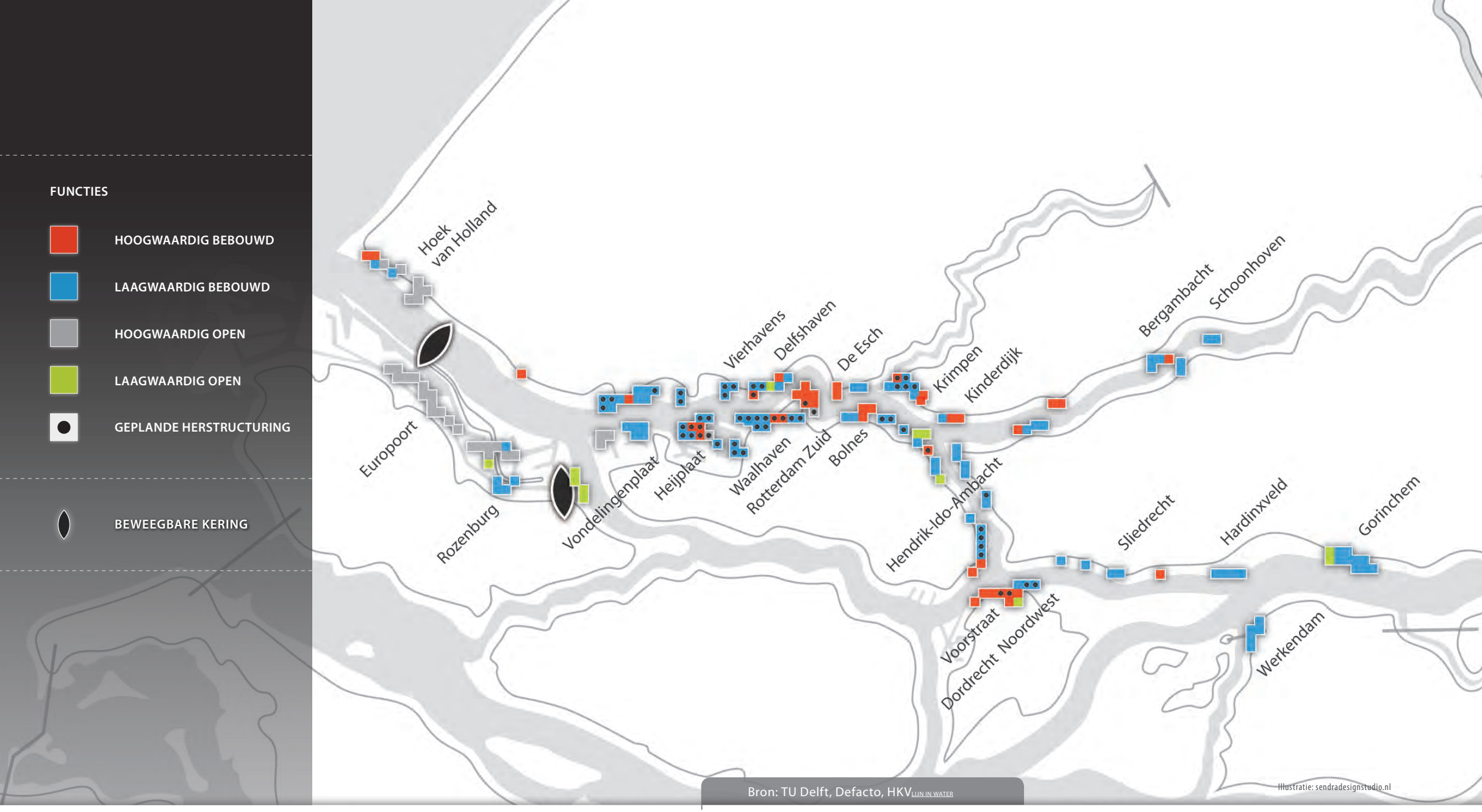
De tekening in het rapport van de Deltacommissie suggereert dat de maatgevende waterstanden (waterstanden waar de dijken tegen bestand moeten zijn volgens de wettelijke veiligheidsnormering) binnen de 'ring' van beweegbare keringen niet zullen stijgen ondanks de klimaatverandering. Het deelrapport 'Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden' onderzocht deze veronderstelling voor de klimaatscenario's 'KNMI-G+' en 'Deltacommissie 2008' (of 'Veerman') – zie tabel 0.2 in de omslag, en werkte met de vijf genoemde alternatieven (tabel 0.3).

Het blijkt dat in een open of afsluitbaar open systeem de dagelijkse waterstanden met de zeespiegel meestijgen in het 'zee-gedomineerde' gebied en het 'overgangsgebied'– zie de kaart in de omslag. Op deze kaart staan ook zes steden in zes regionale deelgebieden. Voor deze steden werden maatgevende hoogwaterstanden berekend voor de twee klimaatscenario's en de vijf alternatieven. Bij het 'G+'-scenario kan een kleinere faalkans van de Europoortkering in Rotterdam de huidige toetspeilen handhaven, de Merwedekering (die nog niet bestaat) doet dit in Dordrecht in combinatie met waterberging in Zeeland. De keringen in het Spui en de Dordtse Kil blijken in het 'G+'-klimaatscenario niet effectief te zijn en in het 'Deltacommissie 2008'-klimaatscenario waarschijnlijk ook niet als er voldoende waterberging in Zeeland gerealiseerd is.

Bij de 1,30 meter zeespiegelstijging van de Deltacommissie 2008 zal het niet langer mogelijk zijn om de MHW's gelijk te houden aan de huidige toetspeilen in een afsluitbaar open systeem, zelfs niet met aanvullende overslag- en lekvrije beweegbare keringen met een faalkans van 1/1000 en met extra waterberging in de Zuidwestelijke Delta (kenmerken van het 'AOR-PLUS'-alternatief). Deze maatregelen kunnen de maatgevende waterstanden wel verlagen met een extra 30 tot 50 centimeter, maar dit compenseert dus niet de toename in maatgevende waterstanden bij een zeespiegelstijging van 1,30 meter.

De integrale verkenning maakt ook gebruik van resultaten over buitendijkse waterstanden en risico's, onderzocht in de parallelle studie 'waterveiligheid buitendijks' van Rotterdam Climate Proof en Kennis voor Klimaat. De grootste bebouwde gebieden liggen rond de Nieuwe Maas, de Noord en de Beneden Merwede. Het blijkt dat het buitendijks gebied vaker en dieper zal overstromen in een afsluitbaar open systeem als de sluitpeilen van de beweegbare keringen gelijk blijven aan het huidige criterium van de Europoortkering. Een kleinere faalkans verandert hier weinig aan, zoals te zien is in het schema op de achter-omslagflap, vooral omdat de meeste schade optreedt in situaties waarin de kering nog net niet gesloten wordt, maar er wel hoog water is. In Rijnmond-Oost, het gebied rondom Dordrecht, kunnen beweegbare rivierkeringen het buitendijks gebied beschermen, maar een ander sluitregime dan het huidige sluitpeil voor de Europoortkering zou meer effect sorteren dan de huidige 2,90 meter in Dordrecht. Immers, veel buitendijkse gebieden in Rijnmond-oost liggen lager dan 2,90 meter.

Voor de waterstandsberekening blijkt de gehanteerde stormduur grote invloed te hebben op de waterstanden. Waterstromen bij de splitsingspunten geven ook onzekerheden, maar deze zijn te verminderen met nauwkeuriger modellen.



Bron: TU Delft, Defacto, HKV LIJN IN WATER

Buitendijks gebied

Rijn-Maasmond Afsluitbaar Open

Classificatie van buitendijkse gebieden (exclusief agrarische- en natuurgebieden) in Rijnmond-Drechtsteden die een kans van 1 op 100 zullen hebben om te overstromen in 2100, zonder aanvullende beweegbare 'rivierkeringen', onder het 'G+'-klimaatscenario bij een faalkans van de Europoortkering van 1/100.

Deze kaart is een bewerking van de resultaten van het onderzoeksproject 'Afsluitbaar Open Rijnmond - een eerste integrale verkenning'. Alle rapporten van dit onderzoek zijn te downloaden op www.aor.tudelft.nl. Aan de gegevens kunnen geen rechten worden ontleend. De onderliggende analyses bevatten onzekerheden, onvolledigheden en subjectieve elementen (die de onderzoekers graag toelichten). *augustus 2010*

TU Delft

ROTTERDAM CLIMATE INITIATIVE
Climate Proof

Kennis voor Klimaat

Gevolgen

Het parallelle onderzoeksproject ‘waterveiligheid buitendijks’ leverde buitendijkse waterstanden aan twee studies binnen ‘Afsluitbaar open Rijnmond – een integrale verkenning’: ‘Stedenbouw & multifunctionele dijken’, door de TU Delft en ‘Natuur en Milieu’ (RIVM). Het deelrapport ‘Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden’ (HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$), gaf de ligging van relatief lage dijktracés door aan ‘Stedenbouw & multifunctionele dijken’. De studie ‘Scheepvaart’, door TU Delft en Havenbedrijf Rotterdam, ontving van HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$ de sluitfrequenties per klimaatscenario. Een laatste deelstudie, door ABF research, richtte zich op de woningmarktontwikkeling van Rotterdam en de Drechtsteden, met speciale aandacht voor ‘Waterfrontontwikkeling’. Op grond van deze studie vallen de komende jaren ongeveer 1000 nieuwe woningen per jaar te verwachten in de gemeente Rotterdam, waarvan een deel buitendijks, als gevolg van gemeentelijk beleid en preferenties van woonconsumenten; voor de rest van de regio zijn vergelijkbare prognoses te maken.

‘Stedenbouw & multifunctionele dijken’ bracht de dijken in de Rijn-Maasmond onder in negen categorieën, elk met een andere functie, bebouwingsgraad en dijkverhogingskosten. Ook het buitendijks gebied werd opgedeeld in verschillende functies. Twee conclusiekaarten tonen waar respectievelijk de relatief lage dijktracés liggen, en waar de meest kwetsbare buitendijkse delen zich bevinden.

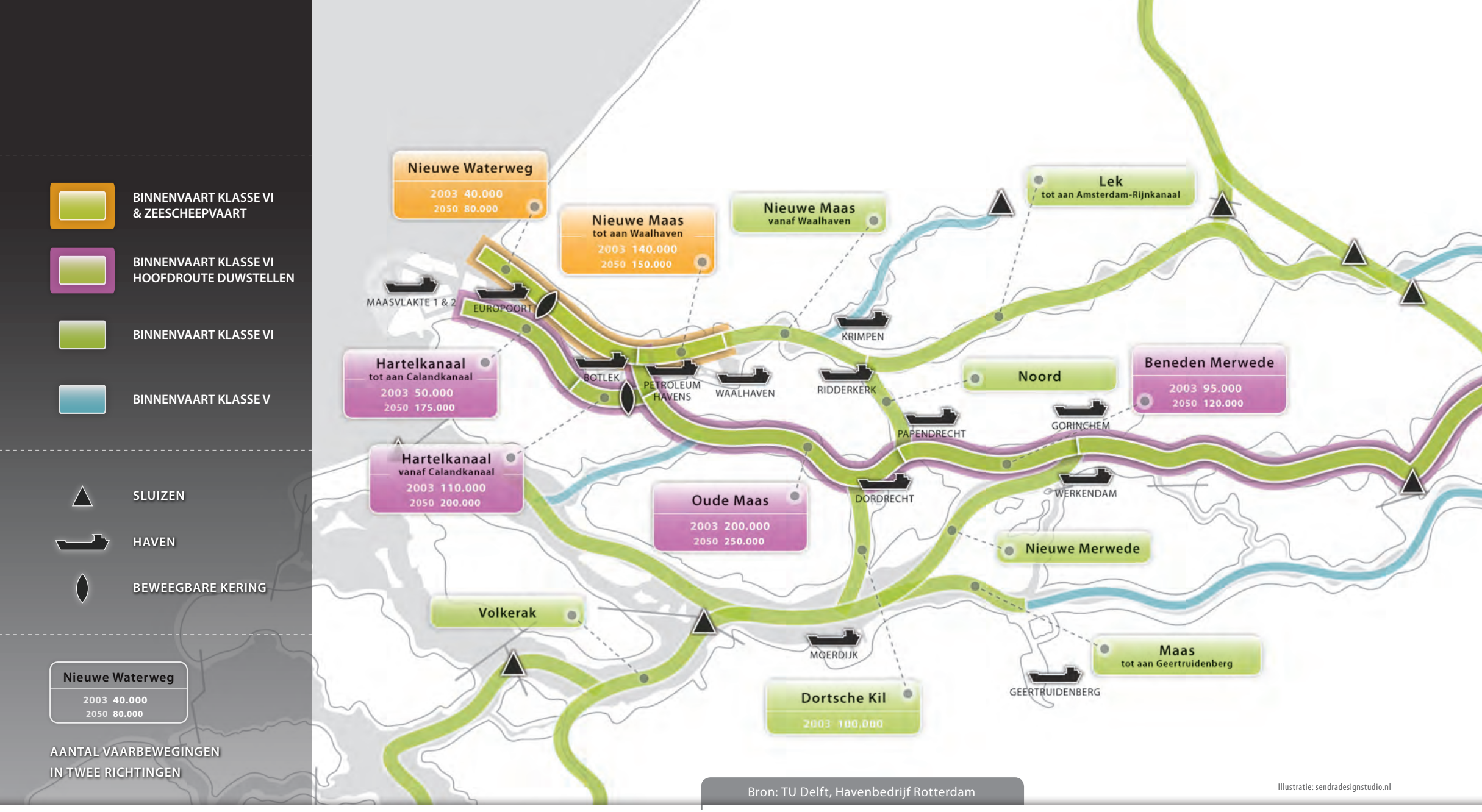
De dijkverhogingskosten per alternatief zijn in dit integratierapport direct gekoppeld aan de maatgevende waterstanden, omdat het te intensief bleek om de gefragmenteerde overhoogte (en overdimensionering) in het gebied in de berekeningen op te nemen. Dit levert, bij de huidige veiligheidsnormen, een plausibele bovengrens op voor de dijkversterkingskosten over de gehele 21ste eeuw. Deze varieert voor de verschillende alternatieven en klimaatscenario’s tussen 0,9 en 9 miljard euro (huidig prijspeil). De bedragen zijn om uiteenlopende redenen zeer indicatief, maar geven wel aan dat de spreiding van waterstandstoenames richting gebieden met dijken met minder dijkverhogingskosten (zoals kale ‘grasdijken’), door de beweegbare keringen en de waterberging in Zeeland, gunstig is.

Het jaarlijkse buitendijkse risico voor woningen en infrastructuur (gesommeerde kans maal schade voor diverse ‘terugkeertijden’) kan de komende eeuw oplopen tot tussen 0,7 en 1,6 miljoen euro per jaar, een toename met een factor 5 tot 10 ten opzichte van het huidige risico, zo blijkt uit de parallelle studie ‘waterveiligheid buitendijks’. Het merendeel van de schade ontstaat bij waterstanden die vaak voorkomen (zoals ééns per 10 jaar), waarbij de beweegbare keringen overwegend niet gesloten zijn. Hierbij komt de milieuschade. Er zijn in het buitendijks gebied momenteel ruim 100 bodemsaneringslokaties en bedrijven die met vervuilende stoffen werken die jaarlijks een kans van 1 op 1000 hebben om te overstromen. Dit kan de komende eeuw oplopen naar 350, zo blijkt uit het rapport ‘Natuur en Milieu’.

Het scheepvaartrapport berekende de schade voor de scheepvaart als deze een volledige dag stil ligt. Dit had in 2007 1,8 miljoen euro (voor 24 uur) kunnen bedragen voor de binnenvaartschepen (waarvan driekwart door het Hartelkanaal vaart en niet langs de Maeslantkering), en 0,75 miljoen euro voor zeeschepen (allen geblokkeerd door de Maeslantkering). In 2050 blijft dit bedrag gelijk voor de zeeschepen, maar voor de binnenvaart zal het toenemen met bijna 50%. Hiermee is het totale schadebedrag ruim 3 miljoen euro (huidig prijspeil) voor een sluiting van 24 uur. Bij het ‘Deltacommissie 2008’-klimaatscenario kan er in 2050 al sprake zijn van een sluiting van één maal per jaar. Dan zal de scheepvaartschade groter zijn dan de buitendijkse schade, wat extra ongunstig is voor de scheepvaart omdat de buitendijkse schade in werkelijkheid minder zal zijn door adaptieve maatregelen, en de scheepvaartschade juist groter door de afname van de betrouwbaarheid van de open achterlandverbinding voor de schippers en de imagoschade van de gehele haven.

Als het klimaat verandert leiden gelijkblijvende sluitpeilen dus tot een snellere stijging van de scheepvaartschade dan de buitendijkse schade, maar sluitregimes zijn eenvoudig te wijzigen om deze balans in evenwicht te houden. De kostenposten voor de binnendijkse veiligheid zijn waarschijnlijk dominant in de uiteindelijke afweging, maar de scheepvaart en het buitendijks gebied zijn wel significant.

De studie ‘Stedenbouw & multifunctionele dijken’ heeft naast kostenoverwegingen een andere benadering aangedragen om tot nieuwe



Bron: TU Delft, Havenbedrijf Rotterdam

Illustratie: sendradesignstudio.nl

Scheepvaart

Rijn-Maasmond Afsluitbaar Open

Scheepvaartroutes, vaarbewegingen in 2003 en prognoses voor het aantal scheepvaartbewegingen voor het jaar 2050, gebaseerd op de Milieu-effect Rapportage van de tweede Maasvlakte.

Deze kaart is een bewerking van de resultaten van het onderzoeksproject 'Afsluitbaar Open Rijnmond - een eerste integrale verkenning'. Alle rapporten van dit onderzoek zijn te downloaden op www.aor.tudelft.nl. Aan de gegevens kunnen geen rechten worden ontleend. De onderliggende analyses bevatten onzekerheden, onvolledigheden en subjectieve elementen (die de onderzoekers graag toelichten). *augustus 2010*

TU Delft

ROTTERDAM CLIMATE INITIATIVE
Climate Proof

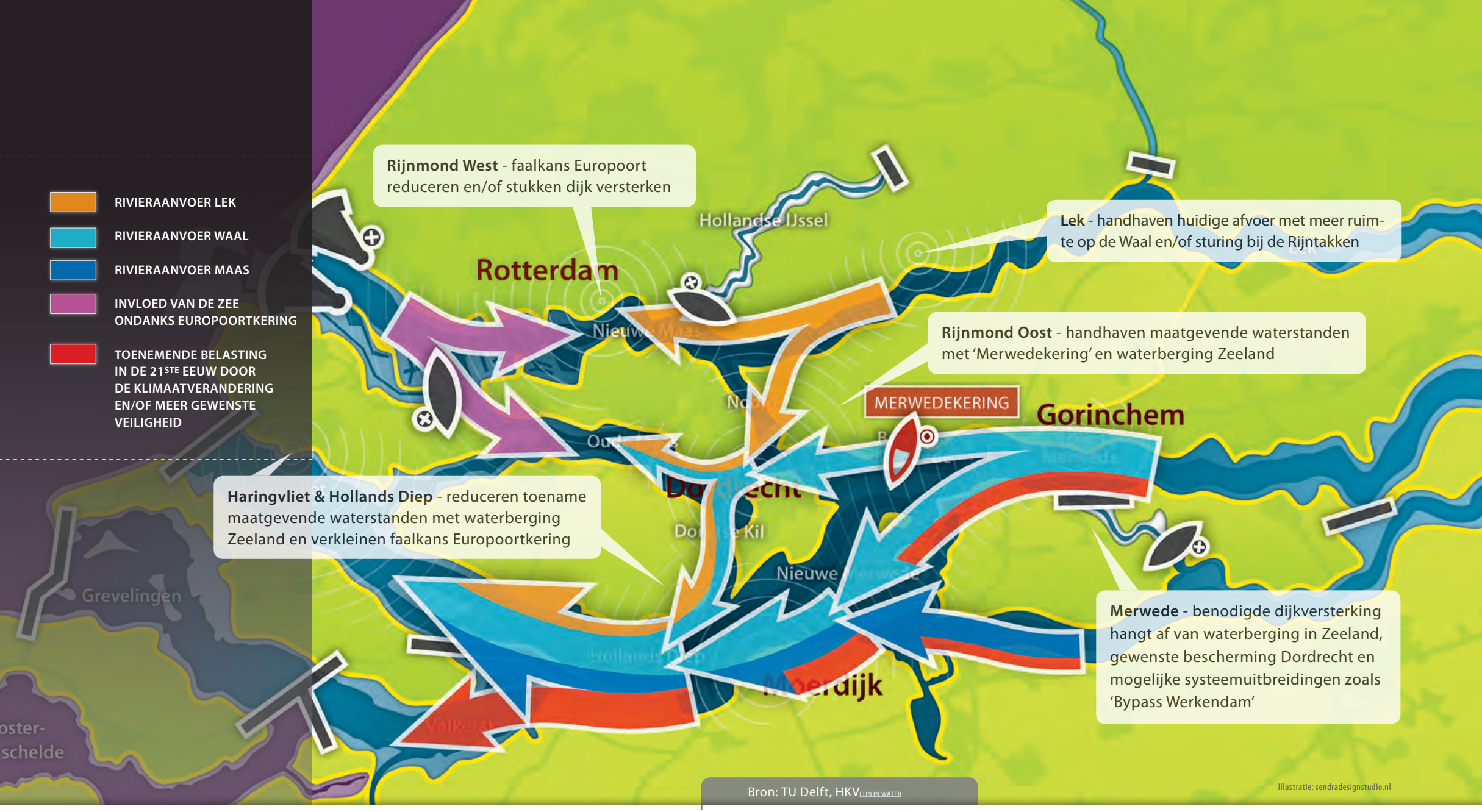
Kennis voor Klimaat

alternatieven te komen. Dijkringen IJsselmonde en het eiland van Dordrecht horen momenteel niet bij de Randstad. Als deze in het kader van de nieuwe normering een gelijke norm krijgen als dijkring 14, is dat te zien als nationale keuze om deze gebieden bij de Randstad te voegen. Hogere normen leiden er waarschijnlijk eerder toe om met beweegbare keringen, dammen of waterbouwkundige objecten die daar tussen in zitten, enkele rivierarmen af te sluiten (dicht, afsluitbaar open of 'iets daar tussen in'). Deze objecten en een zware dijk aan de zuidzijde kunnen symbolisch zijn voor het 'verleggen van dijkring 14' en het 'omhelzen' van IJsselmonde en Dordrecht door de Randstad. Ze 'temmen' de Nieuwe Maas, de Lek, de Noord en wellicht zelfs de Beneden Merwede. Deze waterlichamen worden minder ruig en gericht op zwaar transport maar meer op recreatie en stedelijk 'intiem' gebruik van de oevers. Dit komt niet alleen kwantitatief tot uitdrukking in geringere overstromingsrisico's voor de buitendijkse gebieden, maar ook kwalitatief. Er ontstaan betere verbindingen met de binnendijkse waterwegen en er komen jachthavens en woongebieden in het water op plekken waar voorheen niet gebouwd mocht worden vanwege de milieucontouren rond routes van zware schepen met giftige stoffen. Er zal dan een ruimtelijke beleving van het water ontstaan waar het grootste deel van de Randstad al lang vertrouwd mee is.

Conclusies en aanbevelingen

1.
Waren de rivierkeringen en de 'Nieuwe Lek' uit de tekening in het rapport van de Deltacommissie een goed idee? Bij een zeespiegelstijging van 1,30 meter (het 'Deltacommissie 2008'-klimaatscenario) zorgen ze voor een verminderde stijging van de maatgevende waterstanden binnen de keringen van 30 centimeter in Dordrecht en 10 centimeter in Rotterdam. Daarnaast geeft het verkleinen van de faalkans van de Europoortkering een verlaging van 10 centimeter in Dordrecht en 50 centimeter in Rotterdam. Aanvullende waterberging in Zeeland, lagere faalkansen, minder lekdebiet en slimmere aansturing van de beweegbare keringen kunnen de waterstanden tot 30 à 50 centimeter verder verlagen. Alles opgeteld en met besef van de vele onzekerheden in de aannames, is het waarschijnlijk niet mogelijk om in het afsluitbaar open systeem zoals getekend in het rapport van de Deltacommissie, bij 1,30 meter zeespiegelstijging, de huidige maatgevende hoogwaterpeilen te handhaven in de Rijnmond en de Drechtsteden. De voorgestelde maatregelen 'vertragen' het stijgen van de waterstanden wel degelijk.

2.
Toenemende maatgevende waterstanden hoeven niet overal tot dijkverhoging te leiden omdat de Deltawerken vooral in het westen van de Rijn-Maasmonding voor aanzienlijke (maar gefragmenteerde) 'overhoogte' in het dijkensysteem hebben gezorgd. Waarschijnlijk betekenen hogere waterstanden in het algemeen wel hogere dijkenonderhoudskosten en bovendien kan een lagere maatgevende waterstand een normale dijk in een aantrekkelijke 'deltadijk' veranderen. Waar dijkverhoging noodzakelijk is zal dat te zijner tijd in de verstedelijkte gebieden stedenbouwkundig een grote inspanning vergen, maar niet onmogelijk zijn – zo is er bijvoorbeeld ruimte te vinden om dijken desnoods rivierwaarts te verleggen, zoals dat in het verleden ook geregeld gedaan is. Nader onderzoek moet zich niet alleen richten op de tracés met wel of geen overhoogte maar ook met 'overdimensionering'.



Visie

Rijn-Maasmond Afsluitbaar Open

Voldoende waterberging in de Zuidwestelijke Delta en een 'Merwedekering' handhaven nog vele decennia de huidige toetspeilen in de Drechtsteden, door rivierwater af te buigen bij een zware storm op zee.

Deze kaart is een bewerking van de resultaten van het onderzoeksproject 'Afsluitbaar Open Rijnmond - een eerste integrale verkenning'. Alle rapporten van dit onderzoek zijn te downloaden op www.aor.tudelft.nl. Aan de gegevens kunnen geen rechten worden ontleend. De onderliggende analyses bevatten onzekerheden, onvolledigheden en subjectieve elementen (die de onderzoekers graag toelichten). *augustus 2010*

TU Delft · ROTTERDAM.CLIMATE.INITIATIVE Climate Proof · Kennis voor Klimaat

3.
Bij het KNMI-G+-klimaatscenario kunnen de huidige toetspeilen in Rotterdam en Dordrecht zeer waarschijnlijk gehandhaafd blijven tot het jaar 2100, met extra waterberging in de Zuidwestelijke Delta, een Europoortkering met een faalkans van 1/1000 en een aanvullende Merwedekering. De exacte werking van een Merwedekering zonder de 'Nieuwe Lek' en de drie andere rivierkeringen verdient nader onderzoek. Voor de langere termijn zijn er uiteenlopende oplossingen, allen combinaties van strategisch geplaatste beweegbare keringen, dammen, systeemuitbreidingen en/of dijkversterkingen. Oplossingen zijn door te voeren met uiteenlopende 'routeplannen' of langs verschillende 'tijdslijnen'.

4.
Bij gelijk blijvende sluitpeilen van de Europoortkeringen en eventueel daaraan gekoppelde nieuwe rivierkeringen zal een zeespiegelstijging van 1,30 meter ertoe leiden dat deze meer dan 30 maal per winterhalfjaar moeten sluiten; dit betekent een door de scheepvaartsector onaanvaarbaar geachte inkomstendelving en onbetrouwbaarheid van de verbinding met het achterland. Een zeespiegelstijging van 60 cm betekent gemiddeld ééns per jaar sluiten, wat waarschijnlijk acceptabel zal zijn voor de scheepvaart. Bij de huidige sluitregimes zullen de beweegbare keringen niet verhinderen dat de buitendijkse overstromingsrisico's met een factor 5 à 10 toenemen, richting 1 à 2 miljoen euro per jaar bij 1,30 meter zeespiegelstijging. Buitendijks gebied kan zich aanpassen, op gebouwniveau, blokniveau maar ook door het in zijn geheel te omdijken, bijvoorbeeld als de aangrenzende hoofdwaterkering eveneens verhoogd moet worden. Dit zal echter kostbaar zijn, vooral daar waar géén herstructurering is gepland. Op hun beurt kunnen schepen omvaren, bijvoorbeeld langs de Oude Maas en zelfs onder het eiland van Dordrecht door, en daarmee lagere sluitpeilen (hogere sluitfrequenties) mogelijk maken van een kering in de Beneden Merwede, de Noord of de Oude Maas.

5.
Tenzij er voor een 'radicale' oplossing gekozen wordt ten faveure van één van de belangen, zal de balans tussen de stedenbouwkundige bezwaren van dijkverhoging, het binnendijkse en buitendijkse overstromingsrisico, de betrouwbaarheid van de binnenvaart en vrije ecologische stromen gedurende de gehele 21ste eeuw voortdurend bewaard moeten worden met maatwerk. Beweegbare keringen ondersteunen deze balans omdat hun sluitingsregimes elk moment te wijzigen zijn. Ze kunnen afwisselend de scheepvaart of juist het buitendijks gebied bevoordelen, in afwachting van andere maatregelen, zoals dijkverhoging en grootschalige buitendijkse aanpassing (gunstig voor de scheepvaart), een aanvullende beweegbare kering met een laag sluitpeil (gunstig voor het buitendijks gebied) of extra waterberging in Zeeland (gunstig voor zowel de scheepvaart als het buitendijks gebied). Op dit moment kan de sluitfrequentie van de Europoortkering (gemiddeld eens in de twaaf jaar) bijvoorbeeld nog best wat omhoog, of kan de Hartelkering minder vaak sluiten dan de Maeslantkering (momenteel zijn deze gekoppeld), en dergelijke beheersmaatregelen geven het buitendijks gebied tijd om zich aan te passen.

6.
Momenteel zijn de sturingsmiddelen in de Rijn-Maasmond ofwel dammen met spuisluizen (zoals de Haringvlietdam en de Volkerakdam), ofwel volledig beweegbare stormvloedkeringen (zoals de Maeslantkering). Wellicht zijn er waterbouwkundige werken te ontwerpen die hier tussen in zitten, met een kleinere faalkans maar toch een grote doorlaatcapaciteit voor scheepvaart, hoge rivierafvoeren en ecologische stromen. Een dergelijk object kan stedenbouwkundig en architectonisch meerwaarde geven aan zijn omgeving, als oeververbinding, openbare ruimte of ruimtelijk icoon.

Summary

A systems approach

In spring 2008, Delft University of Technology wrote a report for the national 'Second Delta Committee'. The report included a colorful drawing of an option for the long-term flood safety of Rotterdam and the Drecht Cities. The Delta Committee used this image to illustrate their 'closable-but-open' recommendation for the Rhine estuary and explicitly recommended further research in the near future.
Meanwhile the study 'Rhine estuary closeable but open – a multidisciplinary exploration' has been carried out for Rotterdam Climate Proof and Knowledge for Climate, conducted by the same researchers that made the initial drawing for the Deltacommittee. Six specialized reports together with this integration report are the result of this study.
The recommendation for a closable-but-open Rhine estuary, as formulated by the Delta Committee, represents a vision and the accompanying image represents an idea. In accordance to this vision and initial idea, this multidisciplinary exploration has set two goals. The first is to study the effectiveness of the idea, and the second is to gain insight in the influence of new movable flood barriers on the interplay between the components of the Rhine-Meuse estuary as an 'integrated system'. These different components are: the flood risks of the inner and the outer dike areas, shipping, and the spatial development of the levees and the outer dike areas (with a focus on the Rijnmond and the Drechtsteden region). The method chosen to achieve these goals includes five particular alternatives. These alternatives are all variations on the initial idea of a 'closable-but-open Rhine-Meuse estuary', on either the seaside or on both the sea and riverside, and researching them will address goal one. However, studying the alternatives will primarily serve the second goal: to develop a systematical approach to the case.

The starting point of this systems approach is the existing geometry of the entire outer dike area (dry and wet) together with the adjacent dikes (levees). To this geometry, additional 'means' can be added. First, the movable flood barriers, such as the existing barriers in the Europoort and the new barriers as suggested in the recommendation by the Deltacommitte. These objects can direct the water in desired directions under different hydraulic conditions. Second, it is possible to alter the existing geometry by connecting it to an adjacent system like the basins in Zealand or creating an entire new outer dike waterway in the current inner dike area. Both these additions will be called 'means' in the systems approach used in this research. The table in the cover of this report shows the parameters of these 'means' and demonstrates how the five alternatives are defined by a number of parameters.
Water levels follow from the alternatives, including 'closing regimes' of the movable barriers, and from national flood protection norms and climate change scenarios. These water levels, and also the closing frequencies of the barriers, are the crucial link between the alternatives and the consequences of the alternatives on the levees, the outer dike area, and shipping. Just as shipping can be perceived as a netwerk of 'flows' of ships through the system, also the ecological 'flows' play a part in the systems approach. The ecological flows have not been explicitly studied in the current research, nor have related goals such as freshwater supply and transportation infrastructure, but they have to be taken into account for a complete systems approach.
The consequences do not only depend on the water levels and closing frequencies but also on shipping prognoses and the urban or spatial developments of the levees and the outer dike areas. Finally, an integrated image of the various consequences offers two important 'feedback loops' in the systematical approach. The first are suggestions for other alternatives, such as an additional system expansion or to omit of one of the movable barriers. The second is the alteration of the closing regime for one of the movable barriers or for all the barriers together. These closing regimes deserve special attention since they are an influential and at the same time the most flexible parameter of the alternatives.

Means

The report 'multifunctional movable barriers', made by two former TU Delft graduates, describes the research on the hydraulic as well as the architectural aspects of movable flood barriers for sea and river. It concludes that these objects can fit nicely in the various types of the Dutch water landscape. They also offer plenty of opportunities to integrate with secondary functions and they can be designed to be 'flexible', sustainable and even 'displacable'. Research on building costs shows that the four movable barriers in the initial plan can cost around 850 million euro all together.
The failure probability per closing request of a movable barrier is of significant importance to the design water levels (dictated by national flood norms) and with that to the consequences for the levees. The specialized report 'First explo-

ration flood safety Rijnmond-Drecht Cities', made by HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$, shows how two Maeslant barriers with each an own probability for failure of once every two-hundred closing requests, can result in a combined probability of 1/10.000. A failure probability of 1/1000 in one single barrier can be a feasible technical challenge by making a 'fundamental redesign of the control and decision system', according to hydraulic engineering professor Han Vrijling, in a column in this report.
The reports 'First exploration flood safety' by HKV, and 'Nature and environment', written by RIVM, look more closely into the spatial matters of the new waterway the 'New Lek', into the widening of the New Merwede and into water storage in Zealand. Proposed new river the 'New Lek' is feasible, but will have a high impact and high costs. Like the widening of the Nieuwe Merwede, it can generate new nature but at higher costs than creating the same amount of nature elsewhere (without water safety as primary goal). The area around the New Merwede is dominated by the Natura 2000 legislation, which will create difficulties for the possible relocation of levees.
The report 'Urbanism and multifunctional levees' suggests an interesting third spatial measure in the east of the Rhine-Meuse estuary: creating a bypass along the eastside of Werkendam. This can affect the surrounding water levels similar to widening the Merwede.

Water levels

The image of the initial plan, as presented in the report by the Deltacommittee, suggests that the design water levels (the water levels to which the levees need to be resistant according to nationally set legal standards) within the 'ring' of movable barriers and levees, will not go up, despite the effects of climate change. The report 'First exploration water safety Rijnmond-Drecht Cities' researches this statement for the climate scenarios 'KNMI-G+' and 'Delta Committee 2008' and worked with the five alternatives.
It appears that in an open or closable-open system the daily water levels will increase in accordance with the sealevel rise in the areas dominated by sea, and the area dominated by both sea and rivers. These areas are visualized in the map inside the cover. This map also shows six cities, representing six areas of the project region. Calculations have been made for each of these cities to show the design water levels in the two climate scenarios and in the five alternatives. A smaller failure probability of the Europoort barrier in Rotterdam will be able to cope with the current normative water levels in the 'G+ scenario'. The Merwede barrier (which does not yet exist) would do the same in Dordrecht when combined with water storage in Zealand. The barriers in Spui and Dordtse Kil appear ineffective in the 'G+' scenario as well as the 'Deltacommittee 2008' scenario if combined with an appropriate amount of water storage in Zealand.
With a sealevel rise of 1.30 meter, as stated in the 'Deltacommittee 2008 scenario', it will no longer be possible to keep the design water levels equal to the current ones in a closable-but-open system, not even with additional overflow-free and leak-free movable barriers with a probability of failure of 1/1000 and additional water storage in the South Western Delta (the characteristics of the 'AOR-PLUS-alternative'). These measurements can lower the design water levels with an extra 30 to 50 centimeter, but this will not be enough to compensate the sealevel rise of 1.30 meter.
This interdisciplinary exploration also uses results on water levels and risks in outer dike areas from the parallel study 'water safety outer dike areas' by Rotterdam Climate Proof and Knowledge for Climate. The largest urbanized areas are situated along the Nieuwe Maas, the Noord and the Beneden Merwede. It appears that the unembanked areas will flood more frequently and deeper with a closable-but-open system, when the critical closing levels of the barriers stay equal to the current closing level of the Europoort barrier. A smaller failure probability will hardly change this, because most damage occurs in the situation where the water level is high, but when barrier is not closed yet. In the east of the Rijnmond, the area around Dordrecht, the outer dike areas can be protected by the new barriers, but a different closing regime from the current closing level of 2.90 meter for the Europoort barrier, is expected to be more effective, since most of the outer dike areas in the Eastern Rijnmond are situated below 2.90 meter.
The duration of a storm appears to have a big influence on the calculations of the water levels. Water flows at junctions also provide uncertainties in the analyses, but using more advanced and accurate models can minimize this uncertainty.

Consequences

The parallel Rotterdam Climate Proof research project 'water safety unembanked areas' provided information on the water levels of the unembanked areas as a basis for two studies within 'Rhine estuary 'closeable but open' – a multidisciplinary exploration'. First, 'Urbanism and multifunctional levees' by Delft University of Technology and second 'Nature and Environment' conducted by RIVM. The report 'First exploration flood safety Rijnmond-Drechtsteden' by HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$, provided the locations of relative low levees to the group 'Urbanism and multifunctional levees', and it provided the closing frequencies per climate scenario to the study 'Shipping', done by Delft University of Technology and the Port of Rotterdam. A separate study conducted by ABF

Research focused on the developments of the housing market in Rotterdam and the Drechtsteden, with a special attention for waterfront development. This study expects that each year around 1000 new houses will be built in the municipality of Rotterdam. A significant part of these will be located in unembanked areas, as the result of municipal policy and housing consumer preferences. For the rest of the region, comparable prognoses can be made.
The study 'Urbanism and multifunctional levees' categorized the levees in the Rhine – Meuse estuary in seven different types. Each of these has a different intensity of buildings and different costs for reinforcement. Besides the levees, the unembanked areas were also divided in different categories. Two concluding maps show first of all where the relatively low levees are situated, and second where the most vulnerable outer dike areas can be found.
In this report, the costs of reinforcing levees per alternative have been connected directly to the design water levels because it appeared too intensive to include the fragmented 'over-height' (and over-dimensioning) in the calculations. This provides a plausible maximum for the costs of the reinforcements of the levees with maintaining the current safety standards, over the entire 21st century. This number varies between 0.9 and 9 billion euro for the different alternatives and climate scenarios (based on current prices). The cost-indications are quite uncertain for different reasons, but show nevertheless that dispersion of the water level-rise is possible by use of movable barriers and water storage in Zealand. Directing water flows towards areas where the fortification of the levees is less expensive (as for example for empty 'grass levees') has a positive effect on the total costs.
The parallel study 'water safety outer dike areas' shows that the yearly risk for outer-dike housing and infrastructure (the sum of probability times damage, for various 'return periods') can vary between 0.7 and 1.5 million euros per year for the coming century. Most of the damage is done by water levels that occur once every ten years, when the barriers are predominantly still open. Additional to this damage in costs is the environmental risk. Currently, a little over a 100 companies situated in unembanked locations with polluting materials in their subsoil or facilities, have a flood-risk of 1 to 1000. This number can increase to 350 sites in the upcoming century, according to the report 'Nature and Environment'.
The shipping report has calculated what the damage to the shipping industry would be, when it would not be able to operate for one entire day. This could have cost 1.8 million euros in 2007 for the inland shipping (of which three-quarter travels through the Hartelcanal and does not pass the Measlant barrier) and 0.75 million euros for sea shipping (all blocked by the Measlant barrier). In 2050 the cost for this last category would be the same as in 2007, but for the inland shipping the cost will increase with almost 50%. This sets the total amount of the damage when closing the port for 24 hours, to over 3 million euro (current prices). With the 'Deltacommittee 2008' climate scenario , this situation of closing down the shipping industry of the Rijnmond can occur once every year around 2050. In that case, the costs for the shipping industry will be bigger than the risk to the unembanked areas. This situation would have an extra impact on the shipping industry since the damage in outer dike areas will be less than now calculated, because of the development of adaptive measurements. The damage to the shipping industry on the other hand, will be bigger because of the decrease of the reliability of the open hinterland connection and the image of the port of Rottredam in general.
When climate changes and the closure-levels of the barriers will remain the same, this will lead to a faster increase of damage to shipping, than to damage in the outer dike areas. Fortunately, the closing regimes can be easily altered to maintain this balance. The costs for the inner dike safety will probably be dominant in the final decision process, but the shipping and outer dike areas are significant to the whole.
The study 'Urbanism and multifunctional levees' recommends a number of alternative approaches besides the most general approach where costs are the main parameter for decision making. The 'dike-rings' IJsselmonde and the Island of Dordrecht are currently not a part of the Randstad. To provide these dike-rings with the same norms as dike-ring 14 (the Randstad) would be a national statement to include these areas to the Randstad as a whole. Higher norms will probably once lead to the choice to close some of the rivers off with movable barriers or dams (closed, closable-open, or something in between). These objects and the levee on the south become a symbol for the extension of dike-ring 14, and for the Randstad 'embracing' IJsselmonde and Dordrecht. The barriers alltogether will 'tame' the Nieuwe Maas, the Lek, the Noord and maybe even the Beneden Merwede. These waterways will become less wild and fluctuating and less used by heavy transport. It will give space for more recreation and urban 'intimate' use of the shores. The wins are not only expressed in quantitative features, such as the lower flood risks in the outer dike areas, but also qualitatively. Connections with the inner dike waterways will be easier, new marinas and residential water-areas can be built on locations where it previously had been impossible to develop, because of the environmental contours around hazardous shipping routes. A more intimate experience of the water of the Rijnmond will evolve, similar to which the Randstad has already grown accustomed to.

Conclusions and recommendations

1. Was the idea as drawn in the Delta Committee report a good one? With 1.30 meter sealevel rise (as defined in the Deltacommittee 2008 climate scenario), all four of the river-barriers, together with the 'Nieuwe Lek', will result in a lesser increase of the design water levels of 30 centimeter in Dordrecht and 10 centimeter in Rotterdam. Additionally, lowering the failure probability of the Europoort Barrier will result in a lesser increase of 10 centimeter in Dordrecht and 50 centimeter in Rotterdam. Measurements like additional water storage in Zealand, lower probabilities of failure, less leaking and smarter control of the movable barriers can additionally decrease the rising design water levels up to 30 to 50 centimeter. All together, it will probably not be possible to maintain the current design water levels under a closable-but-open Rhine estuary in the region Rijnmond-Drechtsteden with the idea presented in the Delta Committee report when sealevel rises 1.30 meter. The increase of the design water levels can yet be slowed down significantly.

2. Increasing design water levels do not necessarily lead to reinforcements of the levees because the Deltaworks have provided a substantial (but fragmented) 'overheight' in the levee-system in the Western part of the Rhine estuary. Higher water levels will probably result in higher maintenance costs for the levees and lower water levels can transform a normal levee into a fashionable 'Delta Dike'. Along the more urbanized sections, reinforcement of the levees will be an expensive undertaking, but it will be possible. There is for example space available to move the levee in the direction of the river, as has been done several times in the past. Closer research will need to focus not only on sections with or without 'overheight' but also with 'over-dimension' of the current levees.

3. Under the KNMI-G+-climate scenario the current design water levels in Rotterdam and Dordrecht can most probably be maintained until 2100, with the addition of extra water storage capacity in the South Western Delta, a Maeslant barrier with a failure probability of 1/1000 and an additional 'Merwede barrier'. The exact functioning of this barrier without the 'Nieuwe Lek' and the other three river barriers needs closer research. On the longer run, many solutions will be possible, all combinations of movable barriers on strategic locations, dams, additions to the system, and/or levee reinforcements. These should be conceived using 'road maps' and along 'timelines'.

4. A sealevel rise of 1.30 meter will lead to a closing frequency of 30 times every winter when the current closing regime of the Europoort barrier will be maintained for the Europoort barriers and the new barriers. This will lead to an unreliable shipping connection to the hinterland and unacceptable financial damage to the shipping sector. A sealevel rise of 60 centimeter will result in a closure frequency of once every year, which will probably be acceptable to the Port of Rotterdam and the shipping industry in general.
Maintaining the current closing regimes at a sealevel rise of 1.30 meter, the movable barriers will not be able to prevent an increase of outer dike flooding with a factor 5 to 10, to 1 or 2 million euros a year. The outer dike areas can cope with more frequent flooding by adaptive measurements on different levels: buildings, building blocks or even enclosing an entire area with a new levee construction (for example when the adjacent levee needs fortification anyway). The shipping industry can look for new possible routes, like the Oude Maas or all the way south to Dordrecht. This would create the possibility to use lower closing levels for probable barriers in the Beneden Merwede, the Noord or the Oude Maas.

5. Unless a radical solution in favour of one of the interests would be adopted sometime during the 21st century, the Rhine-Meuse estuary system will have to ongoingly implement highly customized measures. Maintaining the flood safety of the region the coming centuries will mean keeping a delicate balance between complicated fortification of the urbanized levees, the flood risks for the inner and outer dike areas, the reliability for inland shipping, and ecological flows through the region. The movable barriers can coordinate this balance since their closing regimes can easily be altered at any given moment. They can favor either shipping or the outer dike areas. In the current situation for example, the closing frequency of the Europoort Barrier could still go up, as the average closing rate is still only once every 12 years. Control measurements like these provide time for the outer dike areas to adjust to higher water levels.

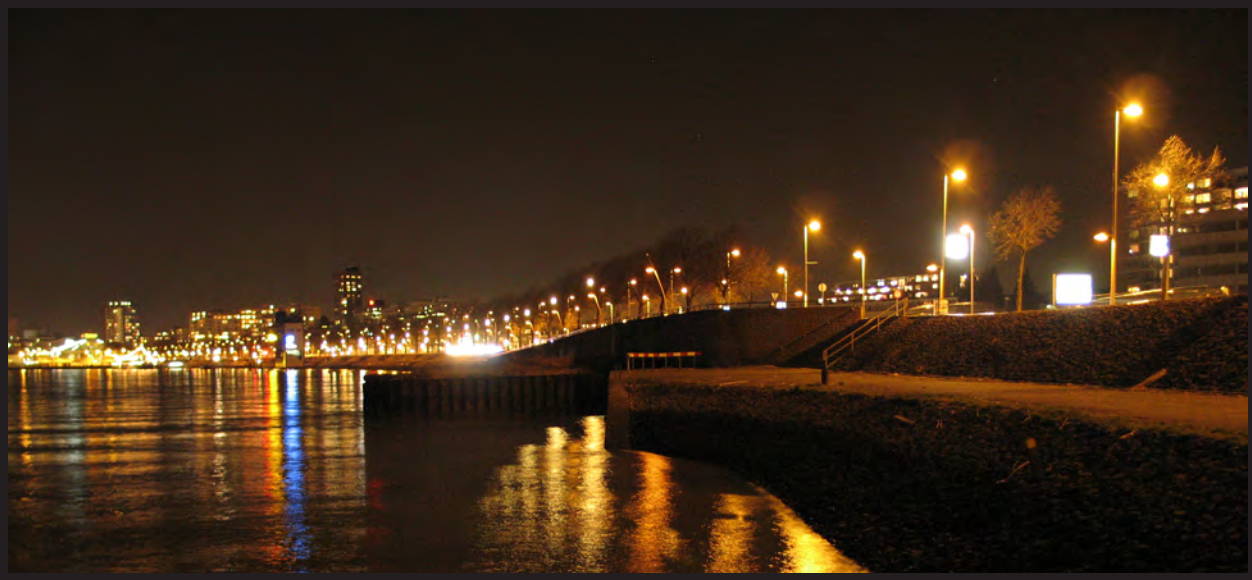
6. Currently, the objects that control water flows in the Rhine-Meuse estuary are either dams with gates (the Haringvliet dam and the Volkerak dam), or movable barriers like the Maeslant barrier. A new design that mediates between these two types of barriers could be an interesting alternative. This would be a barrier with a lower probability of failure but a high capacity for shipping passage, river discharge and ecological flows. When designed with care, a waterwork like this can blend in well with its urban or rural surroundings and provide additional value as it connects the opposite shores, creates new public space or serves as a landmark.

de Rijn-Maasmond

foto essay

dijkring 14
Zuid-Holland
1:10.000
Nieuwe Waterweg
Rotterdam
Rijnmond West
Nieuwe Maas
dijkring 15
Lopiker- en
Krimpenerwaard
1:2.000
dijkring 20
Voorne-Putten
1:4.000
dijkring 17
IJsselmonde
1:4.000
Noord
dijkring 16
Alblasserwaard en
de Vijfheerenlanden
1:2.000
Oude Maas
Spui
dijkring 21
Hoekse Waard
1:2.000
dr 22
Eiland van
Dordrecht
1:2.000
Nieuwe Merwede
dijkring 24
Land van Altena
1:2.000
Biesbosch
Grevelingen
dijkring 25
Goeree Overflakkee
1:4.000
dijkring 26
Schouwen Duiveland
1:4.000
Ooster-
schelde
Volkerak
dijkring 34
West-Brabant
1:2.000
dijkring 35
Donge
1:2.000

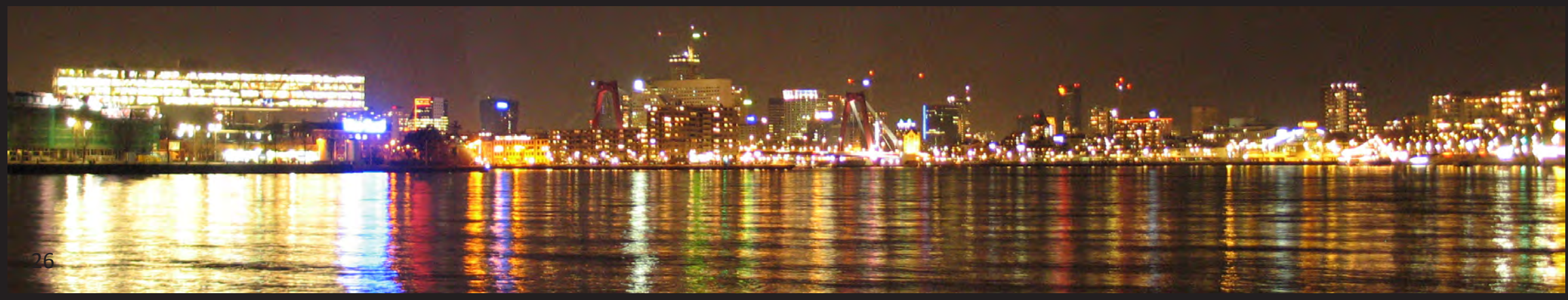
Kop van Zuid



Boompjes

Schiedam

Vlaardingen

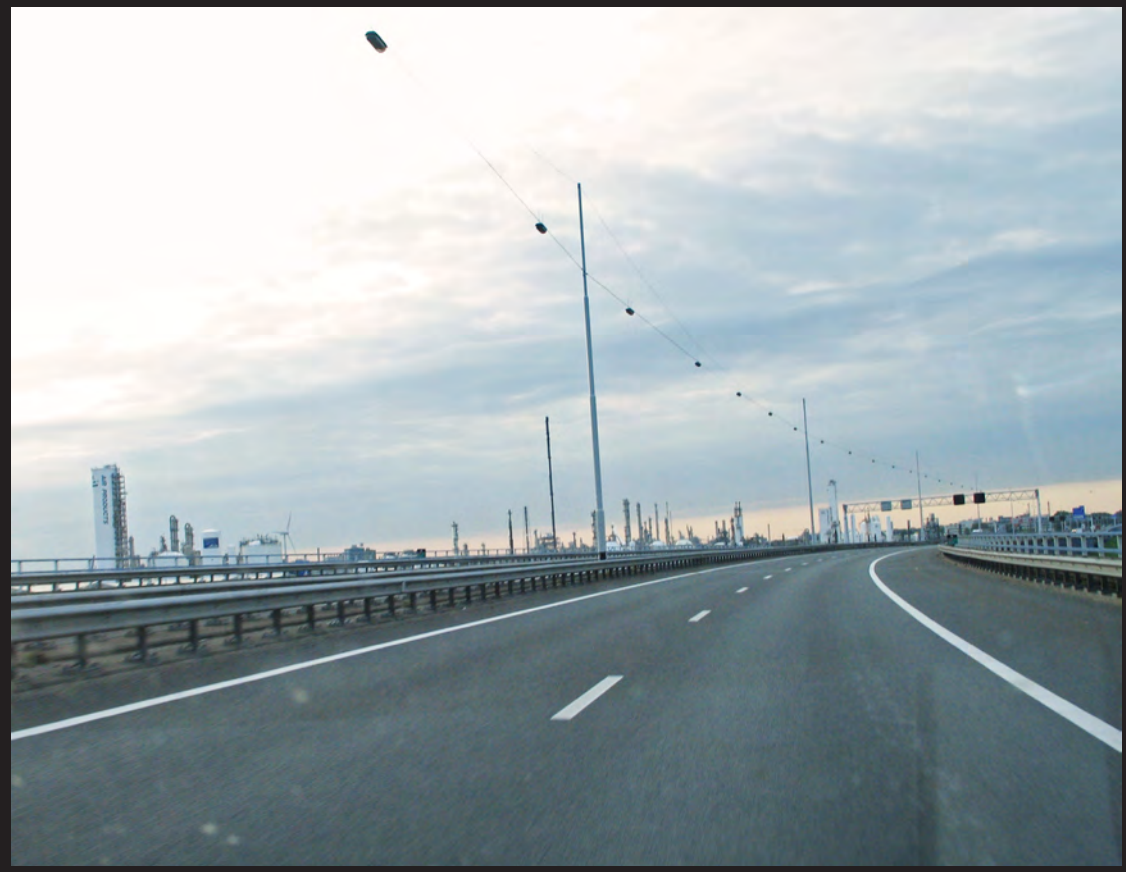


Rotterdam Zuid

Leuvenhaven, Rotterdam (binnendijks)

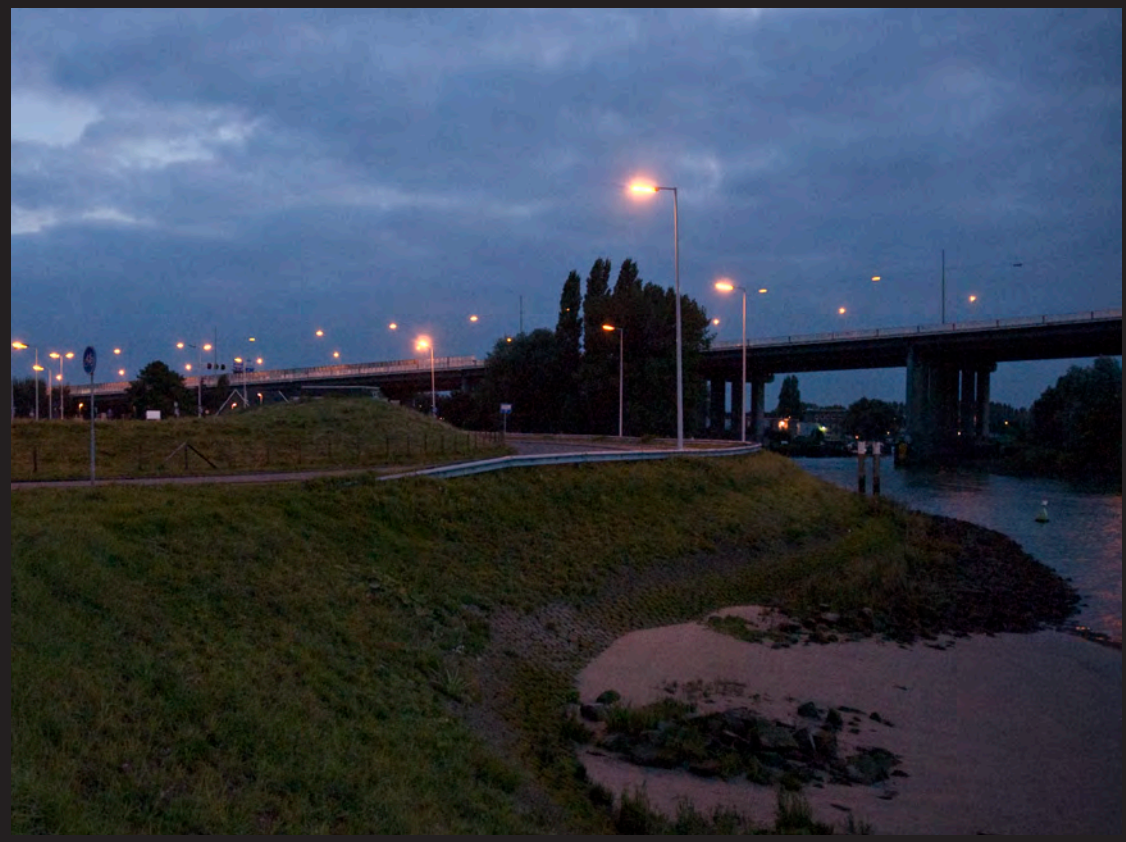
Bartel Wiltonkade, noordzijde Nieuwe Maas (ter hoogte van de Waalhaven)

Delflandsedijk, Maassluis



Europoort

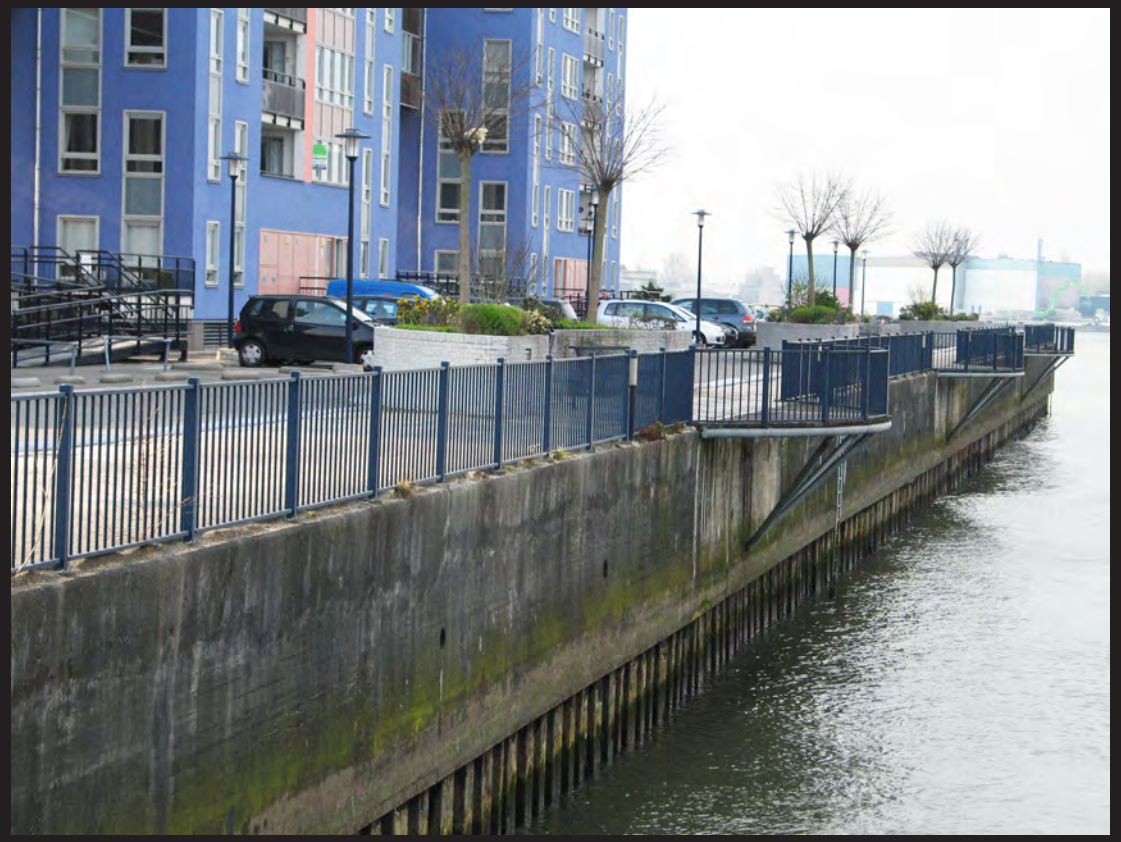
Botlek



Feijenoord

Rotterdam oost

Oude Maas



Rotterdam oost

Bolnes

dijkring 14
Zuid-Holland
1:10.000
Nieuwe Waterweg
dijkring 15
Lopiker- en
Krimpenerwaard
1:2.000
Schoonhoven
Lek West
Lek
Nieuwe Maas
dijkring 16
Alblasserwaard en
de Vijfheerenlanden
1:2.000
dijkring 17
IJsselmonde
1:4.000
Noord
Oude Maas
Spui
dijkring 20
orne-Putten
000
dijkring 21
Hoekse Waard
1:2.000
dr 22
Eiland van
Dordrecht
1:2.000
Nieuwe Merwede
Biesbosch
dijkring 24
Land van Altena
1:2.000
dijkring 25
Goeree Overflakkee
1:4.000
Volkerak
dijkring 34
West-Brabant
1:2.000
dijkring 35
Donge
1:2.000

Opperduit

Langerak

Krimpen aan de Lek, tegenover Kinderdijk

Jaarsveld

Lekkerkerk

Ammerstol

Achthoven

Bergstoep

Willige Langerak

Schoonhoven

Jaarsveld

Uitweg

Achthoven

Opperduit

dijkring 14
Zuid-Holland
1:10.000
Nieuwe Waterweg
dijkring 15
Lopiker- en
Krimpenerwaard
1:2.000
dijkring 20
Voorne-Putten
1:4.000
Nieuwe Maas
dijkring 16
Alblasserwaard en
de Vijfheerenlanden
1:2.000
dijkring 17
IJsselmonde
1:4.000
Noord
Oude Maas
Dordrecht
Rijnmond Oost
Spui
dr 22
Eiland van
Dordrecht
1:2.000
dijkring 21
Hoekse Waard
1:2.000
Nieuwe Merwede
dijkring 24
Land van Altena
1:2.000
Grevelingen
Biesbosch
dijkring 25
Goeree Overflakkee
1:4.000
kring 26
ouwen Duiveland
1:4.000
dijkring 35
Donge
1:2.000
Volkerak
dijkring 34
West-Brabant
1:2.000

Groenedijk

Dordrecht

Alblasserdam

Voorstraat, Dordrecht

Oude Maas, Dordrecht

Rivierdijk, Sliedrecht

Plan Tij, Dordrecht

Nieuwe Maas, Ridderkerk

Ridderkerk

Krimpen aan de Lek

Julianahaven, Dordrecht

Kiltunnel

Dordtse Kil

dijkring 14
Zuid-Holland
1:10.000
Nieuwe Waterweg
dijkring 15
Lopiker- en
Krimpenerwaard
1:2.000
Lek
Nieuwe Maas
dijkring 16
Alblasserwaard en
de Vijfheerenlanden
1:2.000
dijkring 17
IJsselmonde
1:4.000
Noord
Oude Maas
Spui
Gorinchem
Merwede
dijkring 21
Hoekse Waard
1:2.000
dr 22
Eiland van
Dordrecht
1:2.000
Nieuwe Merwede
dijkring 24
Land van Altena
1:2.000
dijkring 35
Donge
1:2.000
Volkerak
dijkring 34
West-Brabant
1:2.000

Beneden Merwede, Sliedrecht (Adriaan Volkersingel)

Giessendam

Rivierdijk, Sliedrecht

Baanhoek, Sliedrecht

Rivierdijk, Sliedrecht

Bandijk, Biesbosch

Wantijdijk, Dordrecht

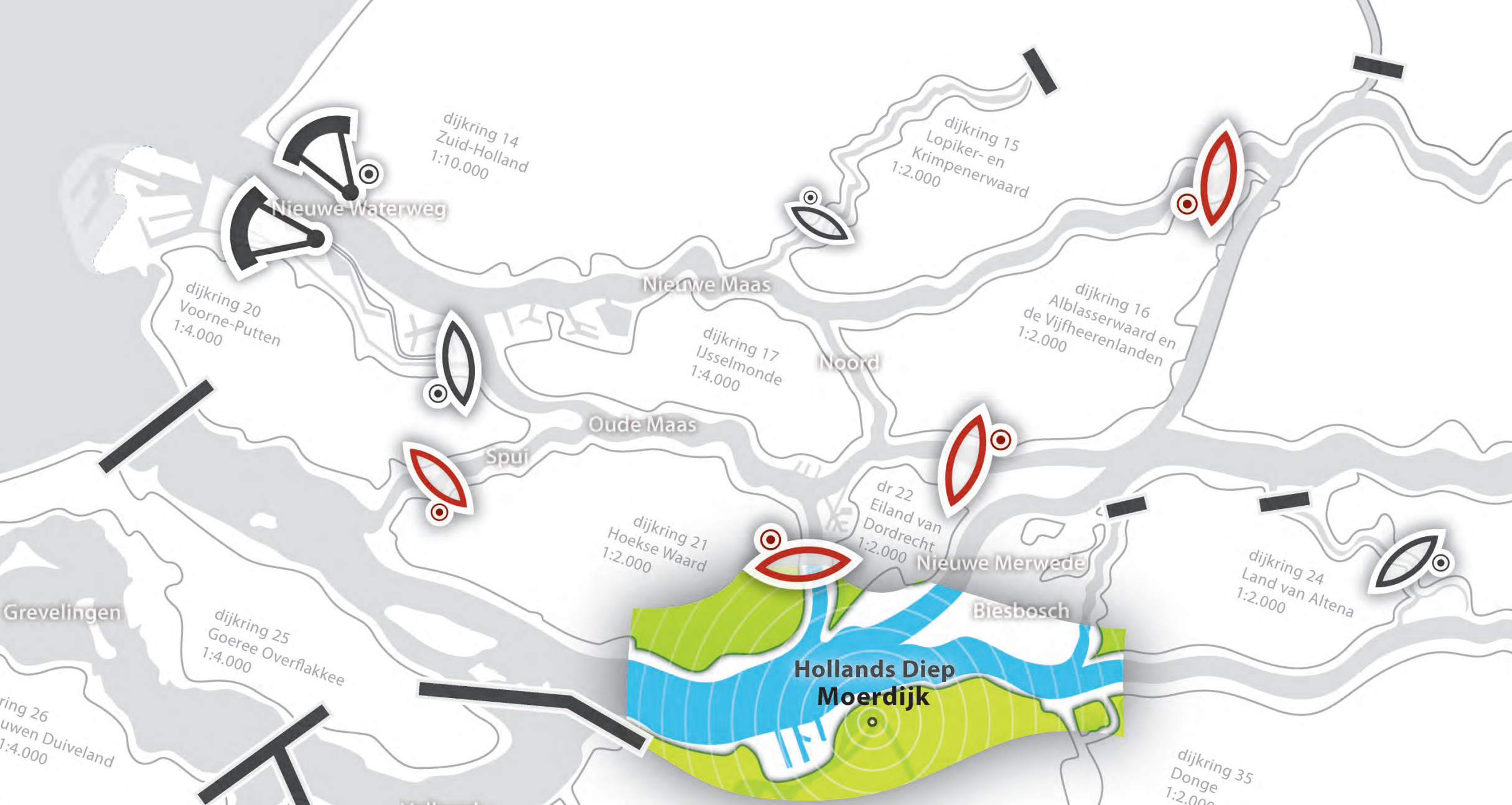
Zeedijk, Eiland van Dordrecht

Nieuwe Wolpherensedijk, Gorinchem

Boven-Hardinxveld, splitsingspunt Merwedes (kijkrichting west)

Boven-Hardinxveld, splitsingspunt Merwedes (kijkrichting oost)

Waaldijk


dijkring 14
Zuid-Holland
1:10.000
Nieuwe Waterweg
dijkring 15
Lopiker- en
Krimpenerwaard
1:2.000
Nieuwe Maas
dijkring 20
Voorne-Putten
1:4.000
dijkring 17
IJsselmonde
1:4.000
Noord
dijkring 16
Alblasserwaard en
de Vijfheerenlanden
1:2.000
Oude Maas
Spui
dijkring 21
Hoekse Waard
1:2.000
dr 22
Eiland van
Dordrecht
1:2.000
Nieuwe Merwede
Biesbosch
dijkring 24
Land van Altena
1:2.000
Grevelingen
dijkring 25
Goeree Overflakkee
1:4.000
Hollands Diep
Moerdijk
dijkring 35
Donge
1:2.000
dijkring 34
West-Brabant
1:2.000
Volkerak

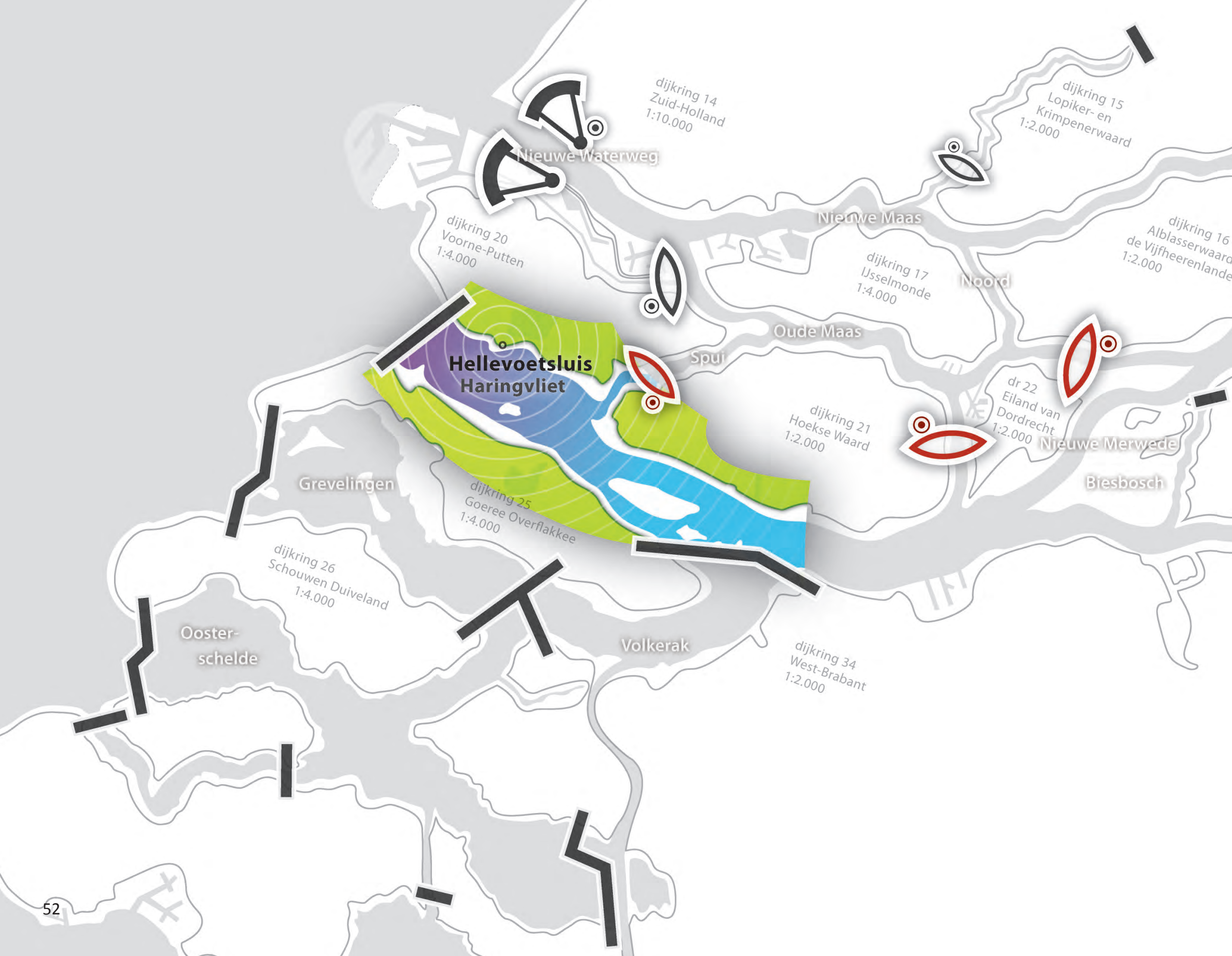
Biesbosch

Steurgat

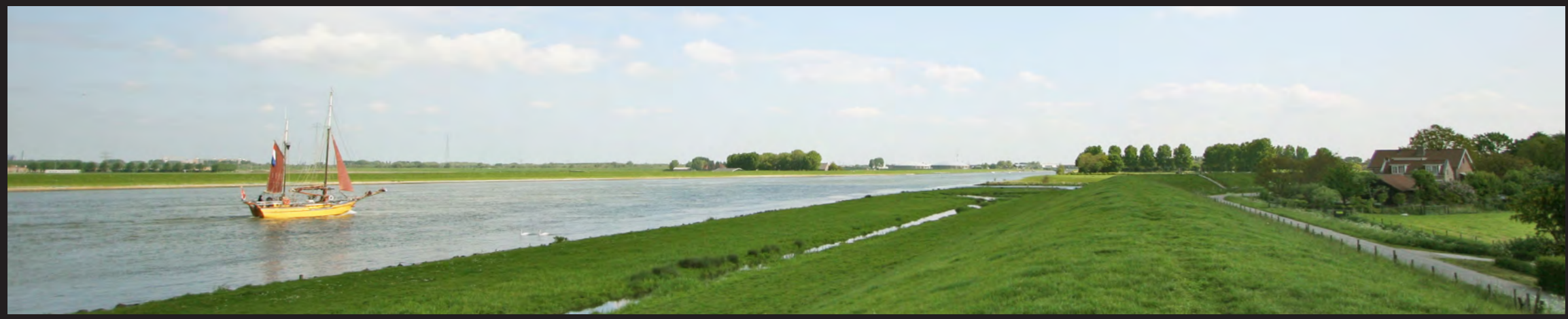
Nieuwe Merwedeweg, Eiland van Dordrecht

Hollands Diep noordwest

Willemstad


dijkring 14
Zuid-Holland
1:10.000
Nieuwe Waterweg
dijkring 15
Lopiker- en
Krimpenerwaard
1:2.000
dijkring 20
Voorne-Putten
1:4.000
Nieuwe Maas
dijkring 17
IJsselmonde
1:4.000
Noord
dijkring 16
Alblasserwaard
de Vijfheerenlande
1:2.000
Oude Maas
Spui
Hellevoetsluis
Haringvliet
dijkring 21
Hoekse Waard
1:2.000
dr 22
Eiland van
Dordrecht
1:2.000
Nieuwe Merwede
Biesbosch
Grevelingen
dijkring 25
Goeree Overflakkee
1:4.000
dijkring 26
Schouwen Duiveland
1:4.000
Ooster-
schelde
Volkerak
dijkring 34
West-Brabant
1:2.000

Spui westzijde



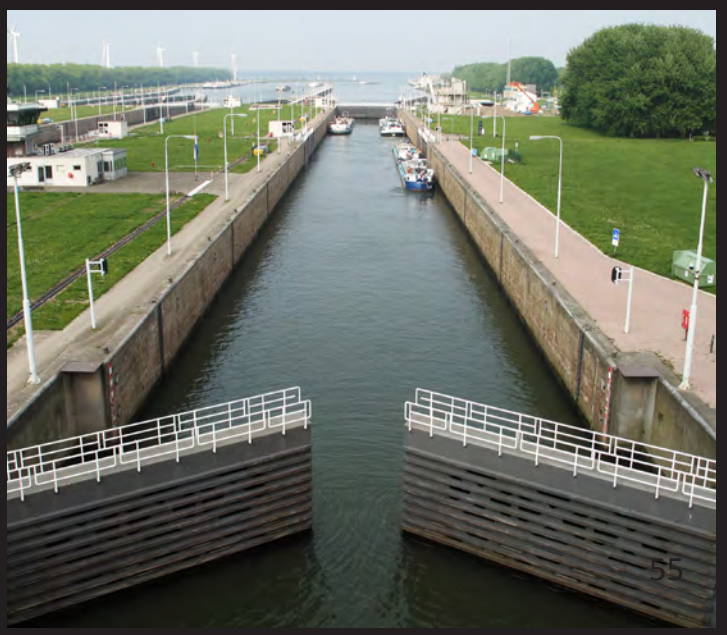
Spui oostzijde

Hellevoetsluis

Haringvliet noordzijde

Haringvlietdijk noordwest

Numansgors



Volkeraksluizen

Afbakening

Figuur 10: Mogelijke invulling van de 'afsluitbaar open'-variant voor het Rijnmondgebied (Ties Rijcken, TU Delft, 2008)

Afsluitbaar open

Het Rijnmondgebied wordt zowel vanuit zee als vanuit de rivier beschermd met keringen. Figuur 10 geeft een mogelijke invulling van het principe. Nader onderzoek moet uitwijzen hoe 'afsluitbaar open' het beste kan worden vormgegeven.

In deze variant staan bij normale omstandigheden de Haringvlietsluizen open, behalve bij een stormvloed. In het Haringvliet keert daardoor de zoet-zoutgradiënt terug, zodanig dat bij een lage rivierafvoer het Spui nog beschikbaar blijft voor waterinlaat. In combinatie met de peilvariatie onder invloed van het getij ontstaan goede mogelijkheden voor natuurherstel. Energiewinning met getij-energie wordt mogelijk bij de Haringvlietsluizen.

In de Nieuwe Waterweg zal bij lage rivierafvoer de zouttong verder landwaarts opdringen, waardoor verzilting van Zuid-Holland dreigt. Voor de grondgebonden land- en tuinbouw kan dit gecompenseerd worden door wateraanvoer vanuit het IJsselmeer, hetgeen aanpassingen aan de infrastructuur vereist. Voor zover nodig (en bovenop de mogelijkheden van zoetwateraanvoer via het Spui), moeten aanvullende voorzieningen worden getroffen. Ook kan voor de zoetwatervoorziening gedacht worden aan lokale berging in oude diepe. Deze waterberging kan ook benut worden voor het opvangen van wateroverlast en worden gecombineerd met woningbouw en natuurontwikkeling.

Figuur 1.1: Pagina 66 uit het rapport 'Samen werken met water', van de 'Tweede Delta-commissie' met toelichting op de 'afsluitbaar open' visie van de commissie en de illustratie van de visie met het idee van de TU Delft.

1 Onderzoekscontext

1.1 Rotterdam, de Drechtsteden en water

De waterinfrastructuur van de Rijn-Maasmond faciliteert een ontmoeting van grote krachten. Bij een extreme noordwesterstorm dringt de Noordzee er binnen door de 16 meter diepe Nieuwe Waterweg, met een basispeil van 5 meter en golven van meer dan 6 meter hoog[1]. De invloed van de zee reikt tot vijftig kilometer landinwaarts, langs de vertakte mondingen van de Rijn en de Maas. Op een normale dag voeren deze rivieren samen ruim 2 miljoen liter water per seconde af naar zee, bijna anderhalf keer zo veel als de Donau[2]. Bij extreme neerslag bovenstrooms verwerken ze 20.000 m^3 per seconde. De waterinfrastructuur van het gebied moet niet alleen uitzonderlijke stormvloeden en extreme rivierafvoeren aankunnen, maar ook vele combinaties van zware stormen en hevige rivierafvoeren tegelijkertijd.

Het hart van de Rijnmond[3] is het centrum van Rotterdam. In het oosten liggen de Drechtsteden, zeven stedelijke kernen die samen de vierde stad van Nederland zouden zijn[4]. In het westen bevinden zich de grootste haven en de grootste olieraffinagecapaciteit van Europa.

Door de eeuwen heen heeft de regio zich effectief tegen het water beschermd, met dijken, dammen en een stormvloedkering, zonder het contact met het water te verliezen. IJsselmonde bijvoorbeeld, is de enige dijkring in Nederland waar het veiligheidsniveau structureel hoger is dan voorgeschreven wordt door het rijk, maar de buitendijkse gebieden aan de randen zijn de dichtst bevolkte van Nederland. De Europoort is de uitvalsbasis voor de grootste binnenvaartvloot ter wereld. De buitendijkse Biesbosch ten oosten van Dordrecht is een uitgestrekt nationaal park, volop bezocht door watersporters, natuurliefhebbers en fouragerende vogels.

Met de klimaatverandering neemt de kracht van de zee en de rivieren toe. Bovendien is er, los van de klimaatverandering, een discussie gaande over verhoging van de veiligheidsniveaus vanwege de gestegen waarde achter de dijken. Maatregelen om het veiligheidsniveau gelijk te houden of te bevorderen zijn kostbaar en zullen inpassingsproblemen geven, maar kunnen ook ten goede komen aan de transportinfrastructuur, zoetwatervoorziening of aan natuurontwikkeling.

Gezien de kracht van het water en de intensiteit van de investeringen in de Rijn-Maasmond verdient de waterveiligheid er een diepgaande analyse, een breed perspectief en een verre blik.

1.2 De visie van de Deltacommissie

Tussen de klimaatverandering en de lokale waterveiligheidsgevolgen ervan voor de steden in de Rijn-Maasmond staat het beleid van de Rijksoverheid. In 2009 nam het rijk de Rijnmond-aanbeveling van de tweede Deltacommissie op in het Nationaal Waterplan. Het devies voor de lange termijn is dat de Rijnmond regio 'afsluitbaar open' dient te zijn. Periodieke dijkversterkingen houden het systeem open voor scheepvaart en ecologie[5], maar worden ontlast met beweegbare waterkeringen die alleen onder extreme omstandigheden sluiten.

Zorgvuldig beschouwd is dit een voortzetting van het huidige beleid. Immers, de bestaande Europoortkeringen houden de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal open voor normale en hoge afvoeren van de Rijn, voor de binnenvaart en voor getij, maar sluiten gemiddeld eens in de twaalf jaar. Het Haringvliet is afgesloten, maar de Haringvlietdam is niet helemaal dicht. De dam bevat spuisluizen met een capaciteit groter dan de maatgevende afvoeren van de Rijn en de Maas tezamen[6]. Deze spuien onder normale omstandigheden Maaswater bij laag tij van oost naar west en voeren een deel van de Rijnafvoer door onder extreme omstandigheden. De sluizen in de dam sluiten bij een hoge zeewaterstand en tevens bij lage rivierwateraanvoer. Daarnaast is er een bescheiden sluis voor scheepvaart.

De Deltacommissie adviseerde drie toevoegingen aan het bestaande systeem. Ten eerste de wens om onder normale omstandigheden de Haringvlietsluizen van west naar oost te openen en daarmee zout water toe te laten in het Haringvliet voor het herstel van ecologische gradiënten. Ten tweede een aantal rivierkeringen die hoog rivierwater richting het Haringvliet en de Zeeuwse wateren afleiden om de dijken en het buitendijks gebied in het verstedelijkte noorden te ontzien.

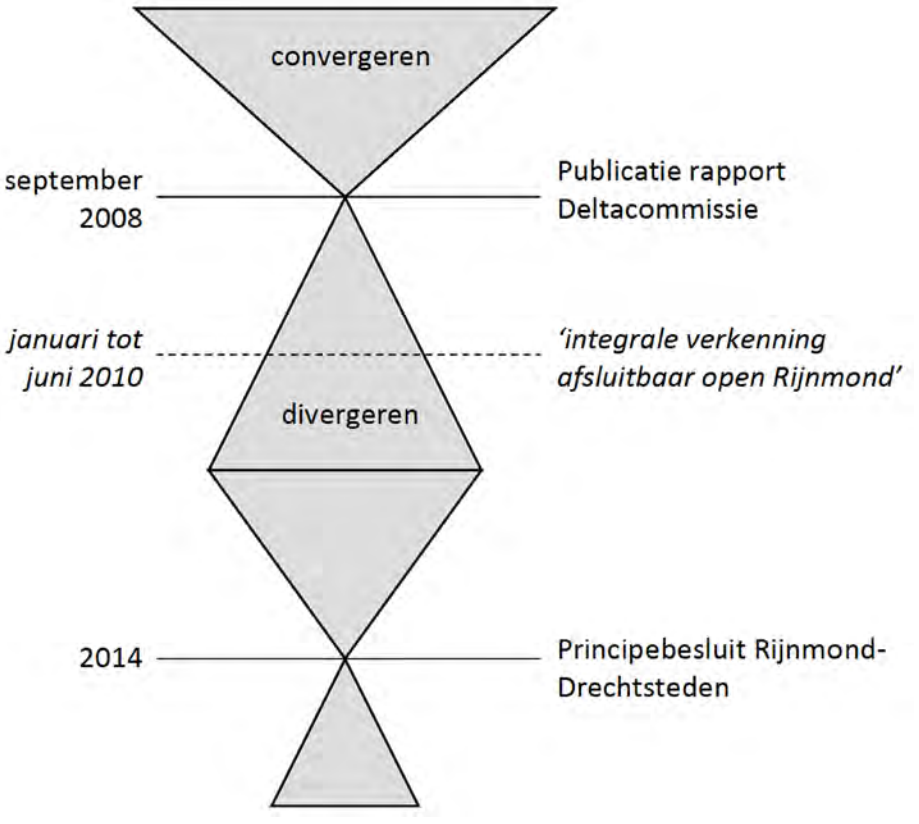
Bij een stijgende zeespiegel mag de zee dus dieper binnen dringen, behalve bij extreme stormen, maar ook bij extreem lage rivierafvoeren. De Haringvlietsluizen zullen deze indringing beperken tot aan de monding van het Spui, maar de Europoortkering vervult deze functie niet voor de Nieuwe Waterweg en de Oude Maas. Daarom moet er, ten derde, volgens de commissie in droge zomers zoet water kunnen worden aangevoerd vanuit het IJsselmeer[7]. Zo moet de Rijnmond nog lange tijd afsluitbaar open kunnen blijven.

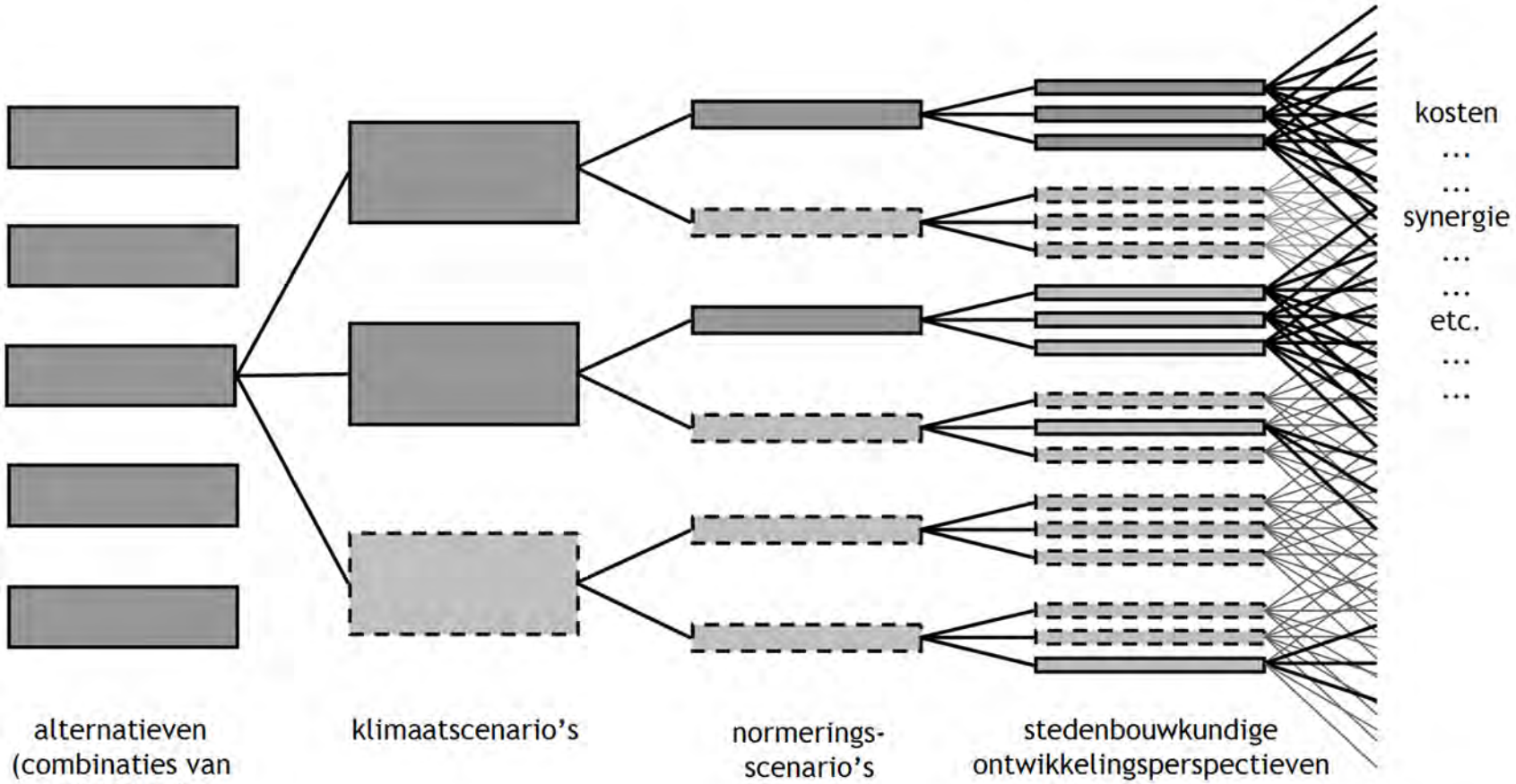
De adviezen van de Deltacommissie zijn alom gehoord en breed gesteund, maar voor veel lokale partijen is het nog onduidelijk wat de lokale gevolgen zijn voor de korte termijn. Aanbeveling 10 van de Deltacommissie gebood op korte termijn onderzoek te doen naar een afsluitbaar open Rijnmond, en doelde daarmee vooral op de rivierkeringen en het dieper binnendringende zout.

1.3 Huidige fase: divergeren

Als lokale instanties willen weten wat de mogelijke gevolgen van mogelijk nationaal beleid zijn voor hun regio, kunnen zij zich tot de wetenschap richten. Toen de gemeente Rotterdam en de Technische Universiteit Delft elkaar gevonden hadden, ontstond aansluiting met het nationale wetenschappelijke programma Kennis voor Klimaat, het Havenbedrijf Rotterdam, Rijkswaterstaat Zuid-Holland, de regionale waterschappen en de provincie Zuid-Holland. De academici zochten ondersteuning bij een aantal adviesbureaus waaronder HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$.

Een jaar na de oplevering van het eindrapport van de Deltacommissie lanceerde het ministerie van Verkeer en Waterstaat het Deltaprogramma, dat het advies van de Deltacommissie in de praktijk moet brengen. Dit programma is onderverdeeld in regionale deelprogramma's conform de aanbevelingen van de commissie. De lokale overheden van de Rijn-Maasmond participeren in het deelprogrammabureau Rijnmond-Drechtsteden. Dit deelprogramma inventariseert momenteel de lopende studies, mogelijkheden en wensen in de regio. De opdrachtomschrijving voor het deelprogramma vermeldt dat er toegewerkt wordt naar een principebesluit in 2014 over de 'oplossingsrichtingen op hoofdlijnen: open maken, afsluiten of afsluitbaar open maken'[8]. Na de convergerende aanbeveling van de Deltacommissie is er nu dus ruimte om te divergeren, niet alleen binnen de richting 'afsluitbaar open', maar ook daarbuiten.





Figuur 1.2: de systeembenadering op de omslagflap is honderden malen te doorlopen. Er zijn immers vele alternatieven (combinaties van middelen) te ontwerpen, scenario's te kiezen en stedenbouwkundige ontwikkelingsperspectieven te schetsen. Deze studie kiest voor vijf alternatieven, de huidige veiligheidsnormering en twee klimaatscenario's (zie tabel 0.2 in de omslag). De stedenbouwkundige verkenning zoekt voor deze tien combinaties naar geschikte ontwikkelingsperspectieven en oppert een aantal nieuwe alternatieven.

1.4 De ‘integrale verkenning afsluitbaar open Rijnmond’

Voor de lokale partijen rees na het lezen van het rapport van de Deltacommissie als eerste de vraag, of het idee zoals geschetst in het rapport een effectief plan zou zijn voor de lokale veiligheids-vraagstukken. Zelfs deze specifieke vraag divergeert. Hoort de Europoortkering er wel of niet bij? En wat is dan de faalkans van de Maeslantkering? En is die gelijk aan die van de rivierkeringen? Is de omstreden ‘Nieuwe Lek’ echt nodig, of kunnen we de Lekafvoer ook bij de bovenstroomse splitsingspunten afbuigen? En hoe zullen de projecten Noordwaard en waterberging in Zeeland worden uitgevoerd? Alleen al uit deze vragen volgen vele varianten om te onderzoeken.

De effectiviteit van het concept hangt bovendien sterk af van de opvolging van aanbeveling 1 van de Deltacommissie: het aanpassen van de normering voor de Nederlandse dijkringen. In 2005 becijferde het Centraal Planbureau dat de wettelijke veiligheidsnorm van het eiland van Dordrecht drie maal lager was dan het economisch optimum, de normen voor de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard (Rijnmond oost) twee maal[9]. De website van het deltaprogramma vermeldt dat in 2017 nieuwe veiligheidsnormen zullen worden vastgelegd in de Waterwet. Men verwacht echter dat deze in 2011 al bekend zullen zijn.

De huidige normen zijn niet alleen overwegend lager dan de economische optima, ze worden langs problematische dijkvakken ook wel eens niet gehaald. Klimaatverandering, nieuwe normen en achterstallige dijkversterkingen zijn drijvende krachten voor een grootschalige aanpassing aan de waterinfrastructuur in de Rijnmond regio, maar ze zijn omgeven met onzekerheden.

Het idee achter een afsluitbaar open Rijnmond is om dijken en buitendijks gebied te ontzien van grote waterstandsverhogingen en de scheepvaart te blijven bedienen met open vaarroutes. Hoe wenselijk dat is, volgt uit scheepvaartprognoses en regionale stedelijke ontwikkelingsperspectieven, die uiteen lopen met economische en demografische scenario’s.

Er zijn, kortom, vele combinaties van varianten, normeringsscenario’s, klimaatveranderings-scenario’s, stedenbouwkundige ontwikkelingsperspectieven en scheepvaartprognoses te onderzoeken voor de vraag ‘of het plan van de Deltacommissie een goed idee is’.

Om met deze ‘integrale verkenning’ voldoende diepgang te bereiken zijn er vijf alternatieven gekozen: een afsluitbaar open Rijnmond mét en zonder de nieuwe rivierkeringen uit het rapport van de Deltacommissie[10], met faalkansen voor de beweegbare keringen van 1/100 en 1/1000, en een vijfde alternatief waaraan extra rivierwaterberging in de Zuidwestelijke Delta is toegevoegd en het lekdebiet van de Europoortkering op 0 is gesteld. Ook het aantal scenario’s is beperkt. De huidige dijkringnormering blijft ongewijzigd, uitgangspunt is dat de steden zich voorspoedig ontwikkelen en het aantal klimaatscenario’s is twee: het KNMI ‘G+’-scenario en het ‘Veerman’-scenario. Hiermee blijft het aantal combinaties hanteerbaar en resteert er een duidelijk afgebakende ruimte voor exercities naar andere alternatieven en scenario’s. Zie ook de figuur en de tabellen op het uitklapblad om dit rapport.

1.5 Conceptuele en geografische afbakening

Het waterveiligheidsdoel is niet het enige watergerelateerde ruimtelijke doel in de Rijn-Maasmond en ook hangen ‘waterdoelen’ samen met andere ruimtelijke vraagstukken. De benedenrivieren zijn verbonden met de bovenrivieren, de zee en de Zeeuwse bekkens. Dit vereist vooraf een indicatie van de conceptuele en geografische grenzen.

Het doel van deze verkenning is de effectiviteit van de nieuwe rivierkeringen voor de overstromingsveiligheid van de Rijn-Maasmond te onderzoeken en daarmee inzicht te krijgen in het watersysteem als geheel. Startpunt is de Waterwet, met minimale beschermingsniveaus voor maximale overschrijdingsfrequenties van waterstanden per dijkring. Deze beschermingsniveaus en overschrijdingsfrequenties zijn gelijk voor elk alternatief, maar de resulterende waterstanden en daarmee de gevolgen voor de dijken, zijn dat niet. Het onderzoek behandelt, op conceptueel niveau, de waterstanden, de gevolgen voor de dijken, het buitendijks gebied, de scheepvaart en de ecologische stromen, zoals vismigraties (dit laatste echter in beperkte mate). Het kijkt ook naar synergiemogelijkheden met andere natte en droge doelen, voor zover deze een direct gevolg zijn van het gekozen alternatief en variëren tussen verschillende alternatieven - zo kan een nieuwe rivierkering wellicht dienst doen als tijdelijke zoet-zout scheiding of samenvallen met een brug of transportknooppunt.

Het openen van de Haringvlietdam valt onder Afsluitbaar Open Rijnmond als visie zoals de Deltacommissie die formuleerde. Echter, de effectiviteit van de rivierkeringen en de Europoortkering staan los van de afweging rondom de Haringvlietdam zolang deze bij een storm op zee afsluitbaar blijft. Daarom blijft het openen van het Haringvliet buiten beschouwing.

In de gebiedsafbakening staat het droge en natte buitendijkse gebied met de aangrenzende dijken[11] van de Rijn-Maasmond centraal, en zijn Rotterdam en Dordrecht de belangrijkste steden. Buiten beschouwing vallen aangrenzende watersystemen die geheel of vrijwel los staan van de alternatieven afweging, zoals de kust en de Hollandse IJssel. De Waal en de Maas worden beschouwd tot het punt waar de zee, in alle alternatieven, geen invloed meer heeft. Het Volkerak-Zoommeer en de Rijntakken zijn verwante watersystemen met een bijzondere rol in het Rijnmond-vraagstuk.

1.6 Onderzoeksmethode

Het ‘grote doel’ van een afsluitbaar open Rijnmond is om de lokale maatgevende waterstandsverhogingen als gevolg van een veranderend klimaat en mogelijke nieuwe veiligheidsnormering te concentreren in gebieden waar die verhogingen de minste negatieve effecten hebben, met middelen die de moeite waard zijn.

Deze studie kiest vijf alternatieven - niet om de beste te bepalen, maar om inzicht te verkrijgen in de Rijn-Maasmonding als systeem. De waterbouwkundige en ruimtelijke middelen die de alternatieven definiëren zijn de nieuwe beweegbare stormvloed- en rivierkeringen en uitbreiding van het watersysteem met nieuw buitendijks gebied of koppeling aan de Zeeuwse wateren. De methode in deze studie beschouwt aanpassingen aan de bestaande dijken of het buitendijks gebied niet als middelen maar als uitkomsten van de dijkringnormering, het klimaatscenario en de gespecificeerde toegevoegde waterbouwkundige en ruimtelijke middelen[12] (zie ook het diagram op de omslag van dit rapport). Gevolgen van een alternatief voor het buitendijks gebied en de scheepvaart hangen af van sluitregimes van eventuele aanvullende beweegbare keringen. Voorlopig worden deze gekoppeld aan het sluitpeil van de Europoortkering, maar het zal blijken dat dit bijvoorbeeld het buitendijks gebied in Dordrecht niet ten goede komt. Een dergelijke terugkoppeling (de stippellijn in diagram 0.4) vindt in deze studie niet plaats, maar het speelt een belangrijke rol in het systeemdenken.

Voor het gemak deelt dit integratierapport het gebied in zes deelgebieden op, rond de steden Rotterdam, Dordrecht, Hellevoetsluis, Moerdijk, Schoonhoven en Gorinchem; zie de kaart in de omslag van dit rapport. Waterstandsberekeningen voor deze steden leveren representatieve waterpeilverhogingen per deelgebied, die verschillen in elk alternatief.
De studie weegt de alternatieven uiteindelijk niet af maar vergelijkt ze wel met elkaar. Hiertoe dienen een grove inschatting van dijkversterkingskosten als functie van stijgende maatgevende hoogwaterpeilen en enkele buitendijkse schade-indicaties. Andere waarden, zoals het conserveren van historische stadsgezichten en karakteristieke landschappen, zijn wel bekeken maar niet op gelijk niveau gebracht voor alle vijf alternatieven. De gevolgen voor de scheepvaart zijn dat wel, en eveneens de synergiemogelijkheden van de middelen, het volgende hoofdstuk.

Bevindingen

2 Middelen

2.1 Beweegbare hoogwaterkeringen

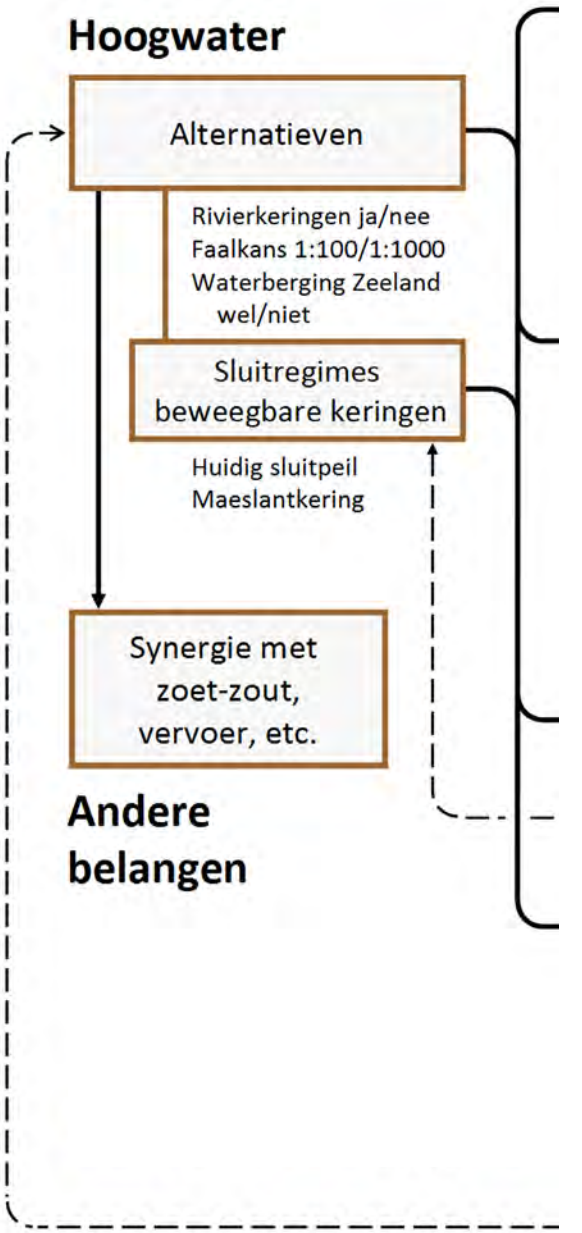
In de methode van deze studie wordt een alternatief gedefinieerd door de geometrie van het gehele buitendijkse gebied en door daaraan toegevoegde 'middelen': systeemuitbreidingen zoals de 'Nieuwe Lek', en sturingswerken, zoals de Maeslantkering[14] (respectievelijk paars en rood op de kaart in de omslag). Dijkprofielen zijn geen startpunt voor een alternatief, maar volgen 'per definitie' bij gegeven dijkringnormering uit de samenstelling van stroomvoerende en stroombergende volumes, de ligging van stormvloedkeringen, rivierkeringen en dammen met doorlaatmiddelen.

Bij elk alternatief in deze verkenning bevindt zich een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg met een faalkans van 1/100 (de huidige faalkans) of 1/1000 per sluitvraag. Drie van de vijf alternatieven bevatten rivierkeringen op de locaties conform de illustratie in het rapport van de Deltacommissie, eveneens met faalkansen van 1/100 of 1/1000 per sluitvraag (zie tabel 0.3 en figuur 0.1 op de omslag). De vraag is nu welke technieken en welke synergiemogelijkheden er mogelijk zijn bij de gegeven locaties en gewenste faalkansen, en dit is de vraag die het deelproject 'Multifunctionele Beweegbare Waterkeringen'[15] zich heeft gesteld.

Startpunt van de oefening zijn de randvoorwaarden per lokatie. De keringen dienen onder normale omstandigheden een doorstroomopening en brughoogte te hebben om de meest veeleisende van de passerende stromen doorgang te kunnen verlenen: rivierwaterafvoer, scheepvaart, sediment en ecologische stromen. Een overzicht van waterwegen-brancheorganisatie PIANC geeft zestien technische principes voor 'moveable weirs and storm surge barriers'[16]. Hiervan vallen er een paar af op grond van de vereiste doorstroomopeningen en de gewenste faalkansen. De conventionele sectordeur en de hefdeur scoren goed op faalkans omdat er veel ervaring mee is en omdat de deuren sluiten door de zwaartekracht[17]. De moderne balgstuw en parachutekering hebben eveneens een gunstige faalkans en scoren bovendien op duurzaamheid en landschappelijke inpassing[18].

Uit een overzicht van recentelijk gebouwde beweegbare keringen is een kostenfunctie afgeleid. Deze functie stelt dat de kosten afhangen van de sterkte en daarmee van de breedte, de kerende hoogte en het maximale waterstandsverschil over de kering. Het gebruikte kengetal heeft daarmee de dimensie '€/m³' en is het gemiddelde van de waarden zoals berekend voor de afzonderlijke bekende keringen[19]. Deze kostenfunctie wordt niet beïnvloed door de gewenste faalkans, maar in de praktijk moet het mogelijk zijn met extra budget de faalkans te reduceren.

De Maeslantkering was ontworpen met een faalkans van 1/1000 maar de gekozen segment-



Bestaande beweegbare keringen	Type	Seg-menten	Jaar	Breedte deur	Hoogte deur	Maximale waterstands-verschil	Bouwkosten (prijspeil 2010)	Bouwkosten per m3
		aantal		m	m	m	miljoen €	1000 €/m.m.m
Nieuwe Waterweg (Maeslant)	Drijvende segmentdeur	1	1991	360	22	5	945	24
Hartelkanaal	Verticale hefdeur	2	1991	170	9.3	5.5	294	34
Oosterschelde	Verticale hefdeur	60	1986	2400	14	5	2,910	17
Ramspol	Balgstuw	2	1996	240	9	3.2	173	25
Eems (Duitsland)	Sectordeur + 2 andere typen	3	1998	360	8.5	3.8	464	40
Thames (Engeland)	Sectordeur + ander type	9	1980	530	17	7.2	2,600	40
Nakdong (Zuid-Korea)	Verticale hefdeuren			200	10	2	125	31
Nieuwe beweegbare keringen							**Geschatte bouwkosten**	**Gemiddelde kosten per m3 (kengetal)**
Spui				100	10	4	120	30
'Drechtkering' (Dordtse Kil)				240	10	4	290	
Merwede				210	10	4.5	280	
'Lexmondkering' (Lek)				120	10	4.5	160	

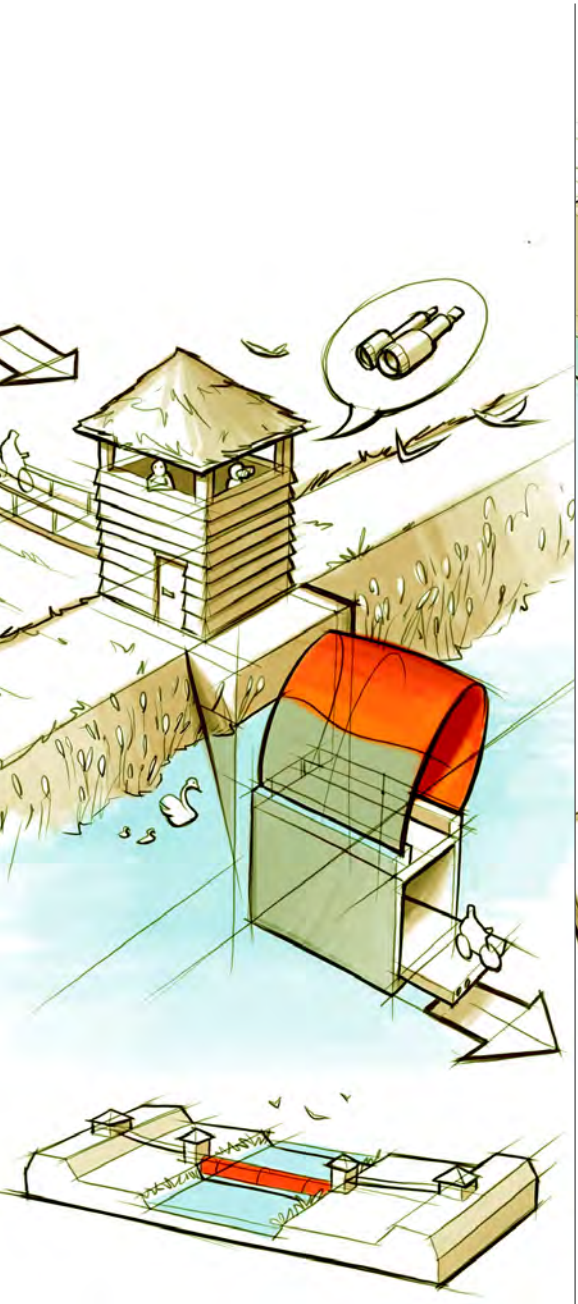
Tabel 2.1: berekening van gemiddelde bouwkosten voor bestaande beweegbare stormvloedkeringen, per breedte en hoogte van de deur en het maximale waterstandsverschil. Daaruit volgt een kengetal voor de kosten van de nieuwe beweegbare keringen. Omdat deze geen stormvloed keren maar rivierafvoer ombuigen, zullen de kosten waarschijnlijk lager uitvallen. Vaak is onduidelijk of in de kosten van de bestaande keringen aanvullende werken (zoals aansluiting op bestaande dijken en bodembeschermingen) zijn opgenomen. Dat geeft dus onzekerheid in het kengetal (analyse door Ad van der Toorn, TU Delft).

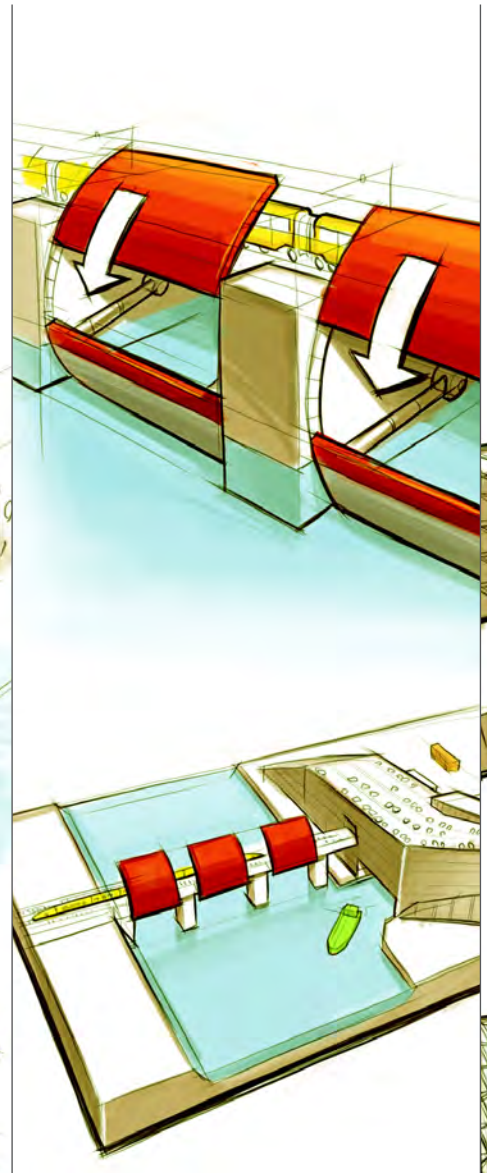
deuren blijken in een theoretische risico-analyse achteraf[20] toch niet boven de 1/100 uit te kunnen komen[21]. Drie alternatieven gebruiken een faalkans van 1/1000 voor de Maeslantkering. Een prijzige manier om dit te bereiken is door een tweede kering vóór of achter de eerste te bouwen[22], maar wellicht kan een fundamenteel herontwerp van het besturings- en beslissingssysteem (zie de tekstbox op deze pagina) de faalkans van de Maeslantkering verlagen. Een dergelijk herontwerp zal ook inzicht geven in de mogelijkheden om nieuwe keringen te bouwen met een faalkans van 1/1000 of lager.

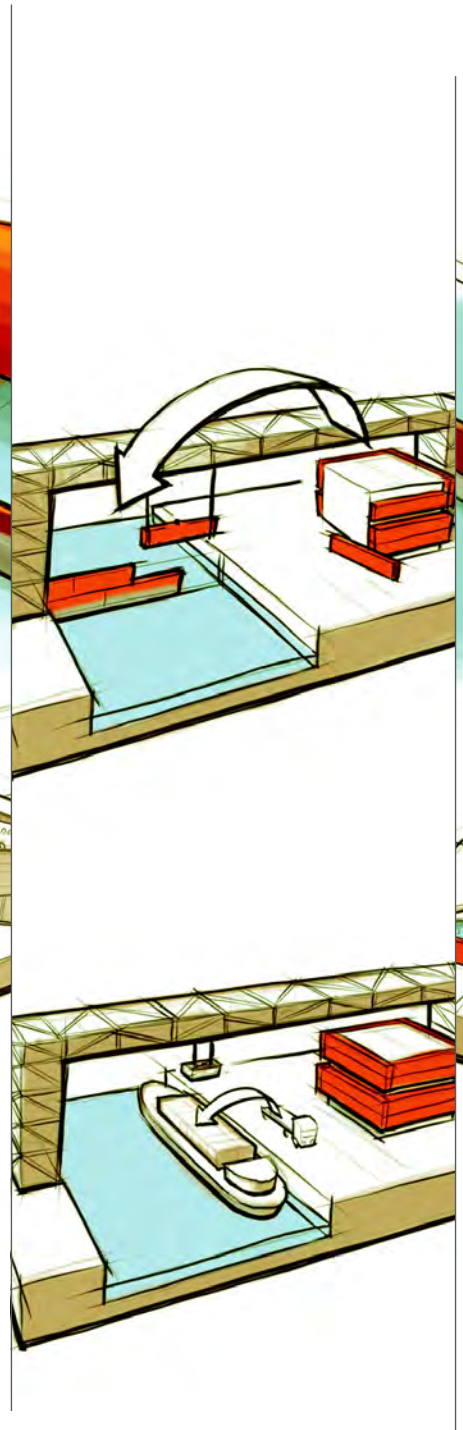
Tabel 2.1 bevat objecten met één primaire functie, het keren van hoog water. Als daar functies aan toegevoegd worden, nemen de bouwkosten toe, maar de bijkomende baten moeten dit opbrengen.

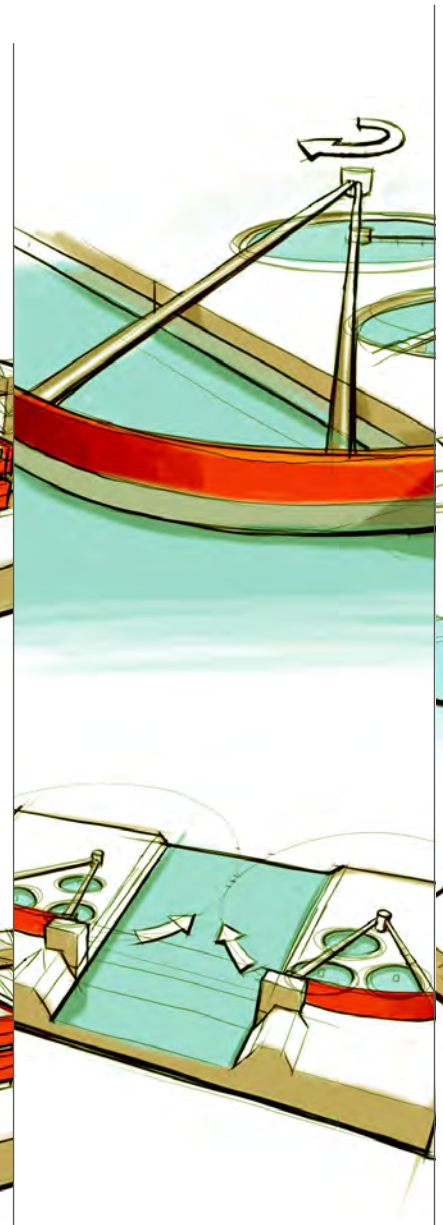
De faalkans van stormvloedkeringen (door prof. J. K. Vrijling)

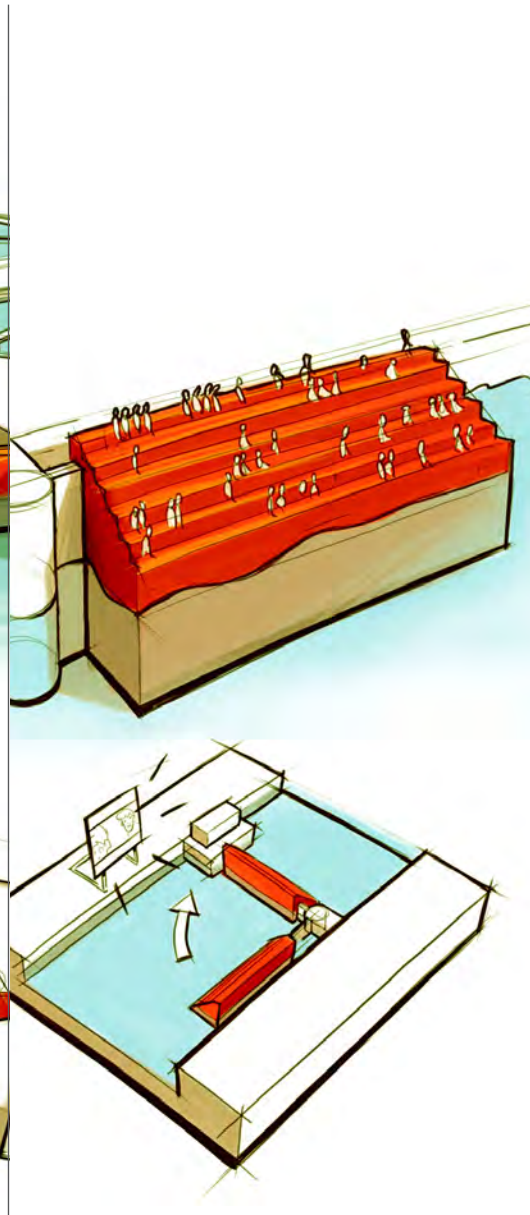
Het afsluiten van zeegaten is al eeuwenlang een hoeksteen van de strijd tegen het water. Bijna alle rivieren die in zee uitstromen zijn afgesloten door een dam met een spuisluis en een schutsluis. Een van de oudsten is de Dam in Amsterdam. De langste is de Afsluitdijk, die twee schutsluizen en twee uitwateringssluizen bevat.
De voordelen zijn beveiliging van het achterland tegen overstroming uit zee, het verminderen van de te onderhouden dijklengte, zoet water voor de landbouw, rustiger vaarwater en een oeververbinding. Ook het oude Deltaplan volgt dit beginsel. De kentering kwam met de Oosterschelde. Zoet water voor de landbouw was niet langer nodig en men wilde het getij zoveel mogelijk handhaven. De dichte dam werd vervangen door een stormvloedkering. Zo'n kering moet wel betrouwbaar sluiten anders is hij niet erg effectief. De faalkans van de bewegingswerken en de menselijke bediening moest kleiner zijn dan 1%.
Omdat het erg moeilijk bleek te zijn om de bebouwde dijken langs onder andere de Merwede te verhogen, werd ook een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg gebouwd. Vanwege de scheepvaart mocht deze kering slechts zelden (1/10 jaar) gesloten worden. Dat vereist een hoge betrouwbaarheid van sluiten. Voor het ontwerp werd uitgegaan van een faalkans van 0.1% per sluitvraag. Een factor 10 beter dan de SVKO leek haalbaar.
De verwezelijking bleek moeilijker dan verwacht. Omdat men nu een waarde van 1% heeft bereikt moeten de dijken in het achterland worden versterkt. Dat is een weinig ambitieuze oplossing.
Het moet mogelijk zijn om met moderne middelen een beter resultaat te boeken, gegeven hoe betrouwbaar bijvoorbeeld de nieuwste verkeersvliegtuigen zijn, die automatisch starten en landen. Om dat te bereiken is meer nodig dan een diepgaande analyse van de Maeslantkering met complexe foutenbomen. Alleen door een fundamenteel herontwerp van het besturings- en beslissingssysteem is dit te bereiken. Een prachtige uitdaging die past in de traditie om grenzen te verleggen in de Nederlandse waterbouw!











2.2 Multifunctionele beweegbare hoogwaterkeringen

De keringen in de Oosterschelde, de Eems en de Nakdong rivier (zie tabel 2.1) zijn geïntegreerd met een brug. De Hartelkering niet, maar er loopt een brug vlak langs. De Maeslantkering, de Thames barrier en de balgstuw bij Ramspol zijn volstrekt monofunctioneel. Veel civiele werken bieden ruimte voor openbare functies, zoals fietspaden over de dijk of zitplekken langs een sluis. Het is zeldzaam dat bedrijfsruimte wordt geïntegreerd, maar het gebeurt, zoals de oefenruimte van de schietvereniging in de 'plofsluis' boven het Amsterdam-Rijnkanaal.

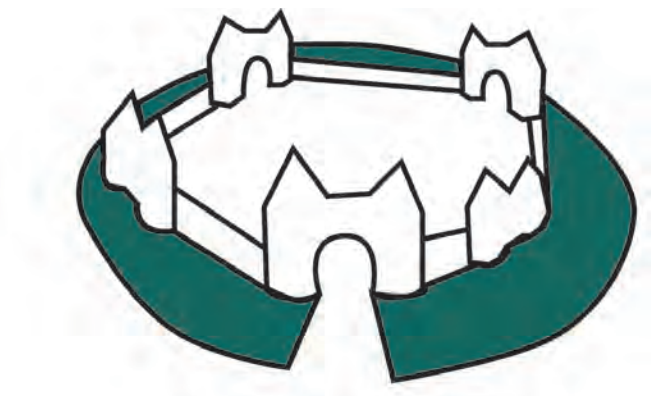
De studie naar beweegbare hoogwaterkeringen toont elf creatieve ideeën voor functiecombinaties, te zien in collages 2.2a en b. Integratie met vervoer en transport biedt veel kansen, niet alleen met een brug maar ook kan een hoogwaterkering samenvallen met een overslagpunt, waarbij de kranen voor de containers ook dienen om caissons af te zinken bij hoog water. Een verkeerstunnel kan de 'drempel' zijn waarmee de hoogwaterkering aansluit op de bodem van de rivier, en een dergelijke synergie kan bouwprocedures en bouwkosten van twee projecten integreren en verlagen.

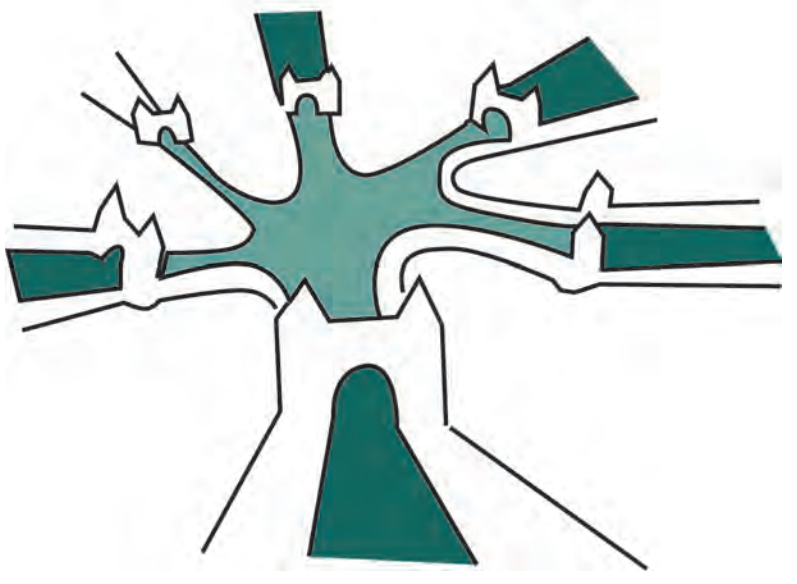
Grote civiele werken trekken bekijks in de openbare ruimte, en dit is te versterken door hier bij het ontwerp al rekening mee te houden. Een hefdeur wordt een openluchtbioscoopscherm, een draaideur een tribune en sequentiële sectordeuren overdekken een transferium of bieden luwte in een 'delta park' over de rivier. Holle hefdeuren zijn in de vele jaren dat ze niet gebruikt worden te benutten als loods of donkere paddestoelenkwekerij.

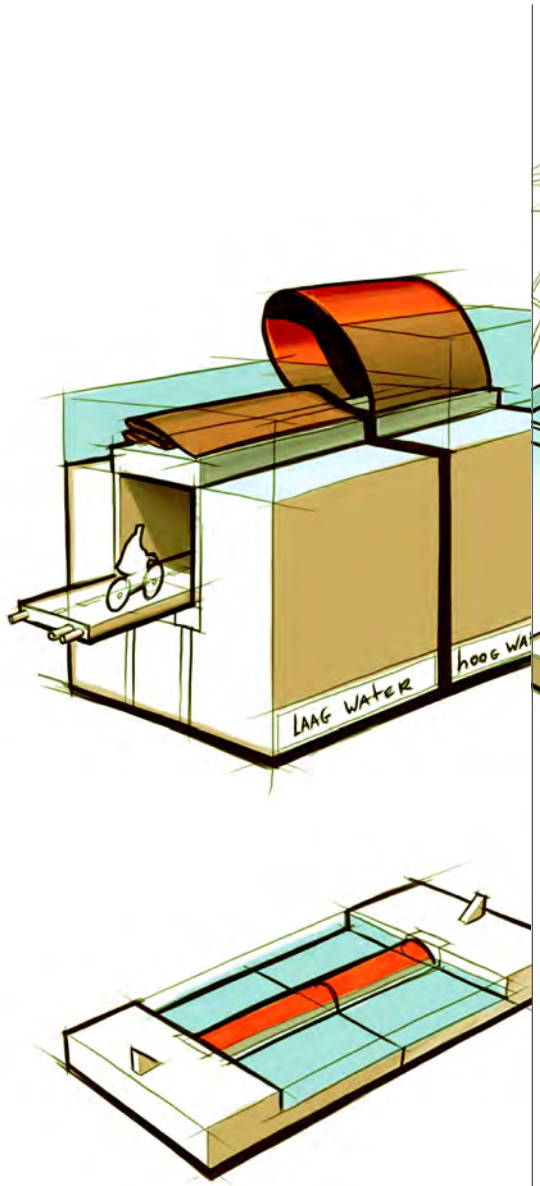
Een beweegbare kering kan water afbuigen dat te hoog staat, maar ook water weren dat te zout is, zoals de Suisun Salinity Control Gates in California doen. Een tweede Maeslantkering

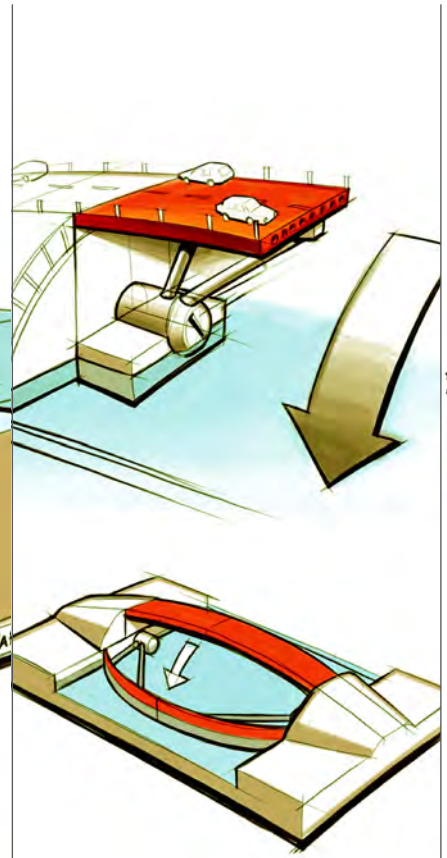
Figuren 2.2a en b (volgende pagina): ideeschetsen voor beweegbare hoogwaterkeringen en functiecombinaties (concepten Anna Dijk, TU Delft / Posad en Floris van der Ziel, TU Delft, Royal Haskoning, schetsen Jelle van der Vlucht, TU Delft).

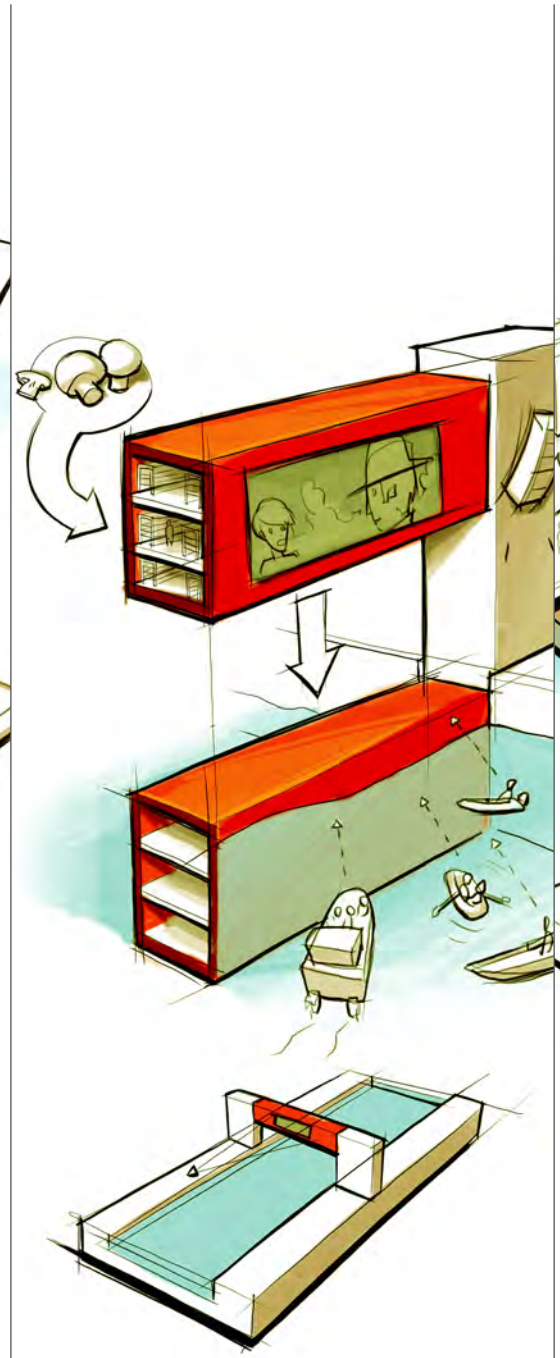
Figuur 2.3: beweegbare hoogwaterkeringen kunnen een symbolische 'icoonfunctie' in het landschap vervullen. Deze schets plaatst het historische concept van de gracht met de stadspoorten tegen het inverse idee 'Waterpoort' (schets Anna Dijk).

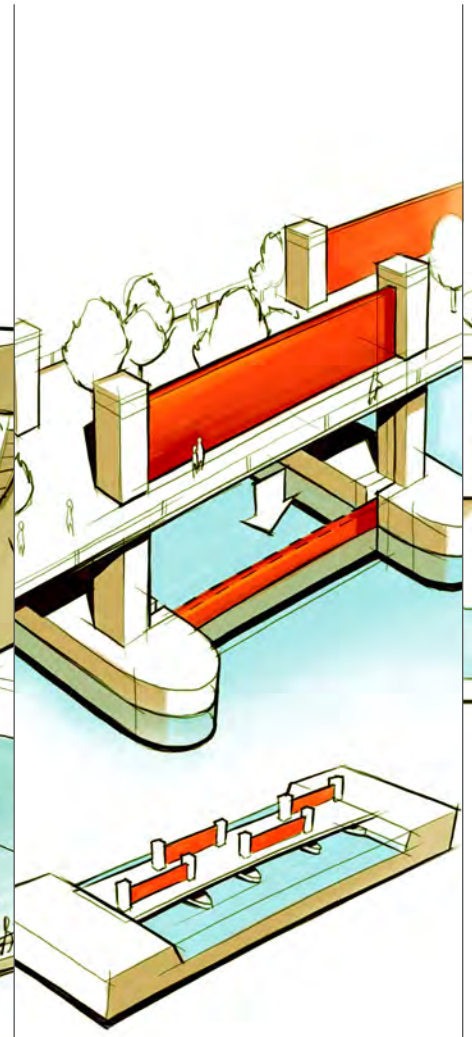


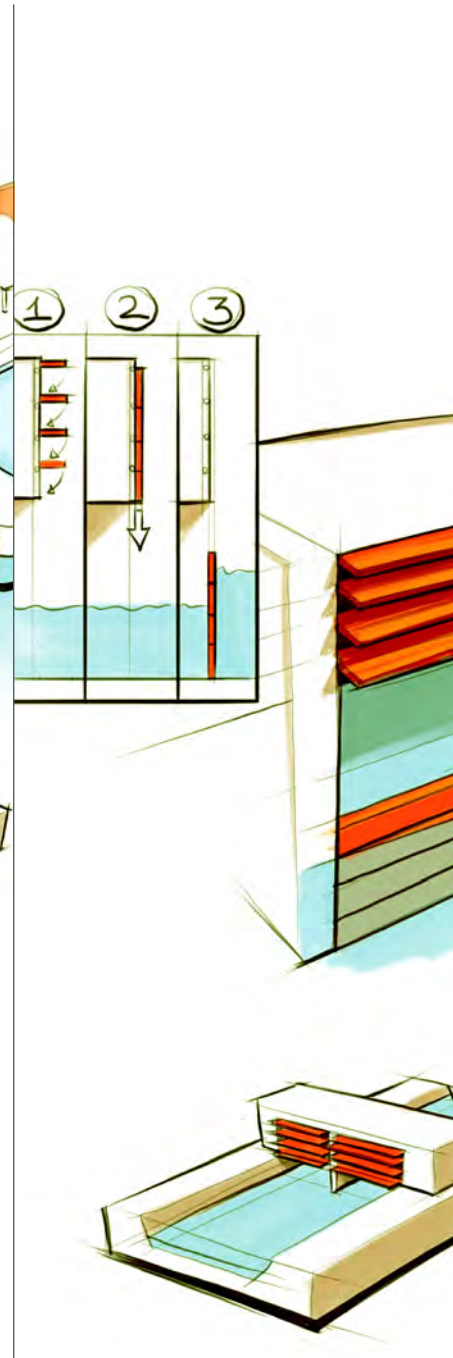



LAAG WATER
HOOG WA








1
2
3

achter het splitsingspunt tussen de Nieuwe Waterweg en de Oude Maas kan deze functie vervullen om de zoetwateraanvoer voor Zuid-Holland te beschermen.

De functiecombinatie die altijd haalbaar zal zijn, is die van regionaal of nationaal icoon. Een architect heeft hier gevoel voor, gedemonstreerd door de Erasmusbrug, die na de oplevering meteen het beeldmerk van Rotterdam werd. Openbare ruimte is prima mogelijk en zelfs integratie van privatie functies is te overzien, zolang de waterkerende functie op bouwcomponentniveau gescheiden blijft van de nevenfunctie, zodat bediening en beheer er geen hinder van zullen ondervinden. Zo zal de scheidingswand tussen de schietvereniging en het kruit van de plofsluis vast en zeker dik genoeg zijn[23].

Synergiemogelijkheden van de beweegbare hoogwaterkeringen zullen niet doorslaggevend zijn voor de nationale waterveiligheidskoers in de Rijn-Maasmonding, maar ze zouden wel eens een ver reikende positieve uitstraling kunnen hebben in de vakwereld en daarbuiten.

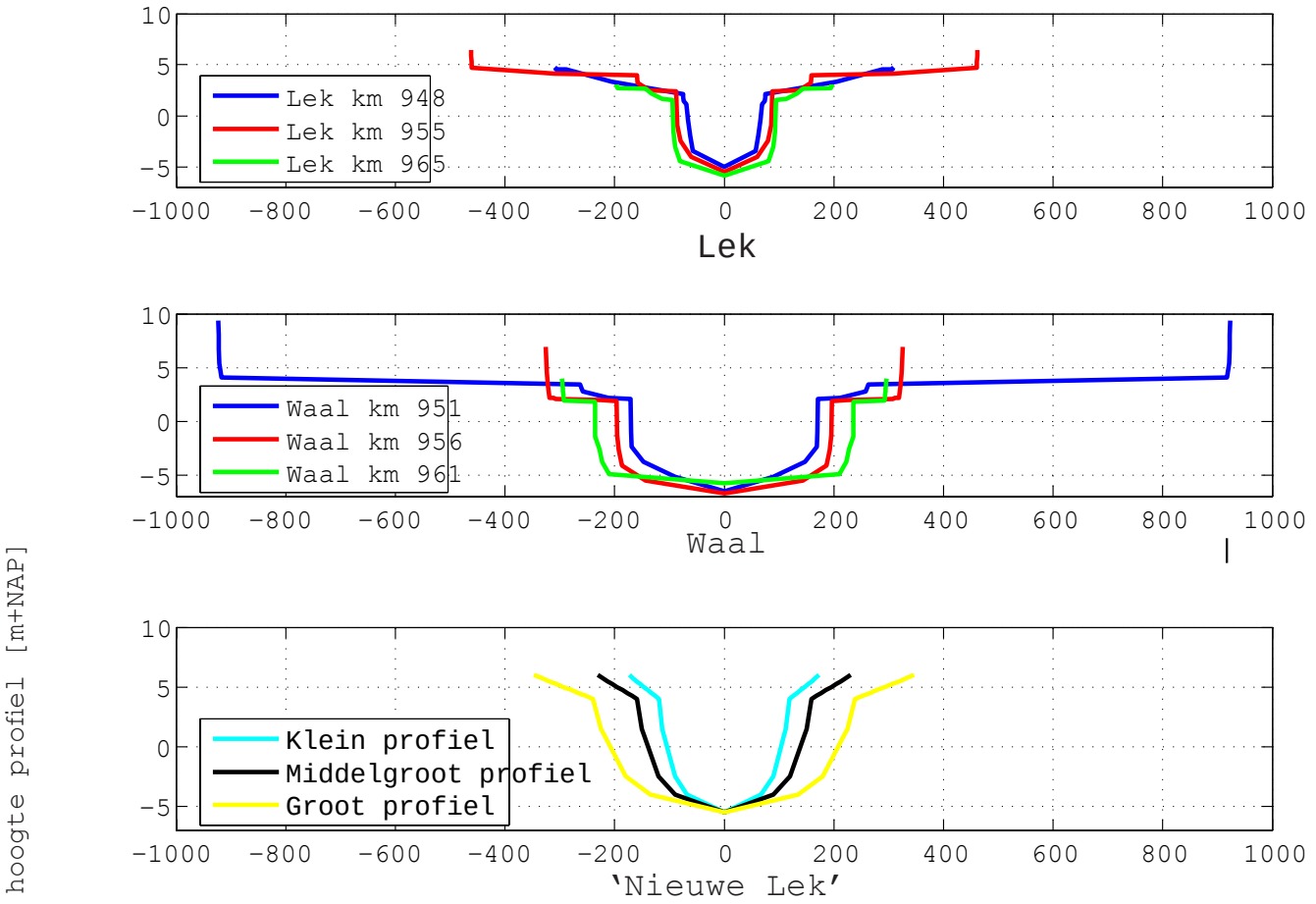
2.2 Ruimte voor extra afvoer en berging

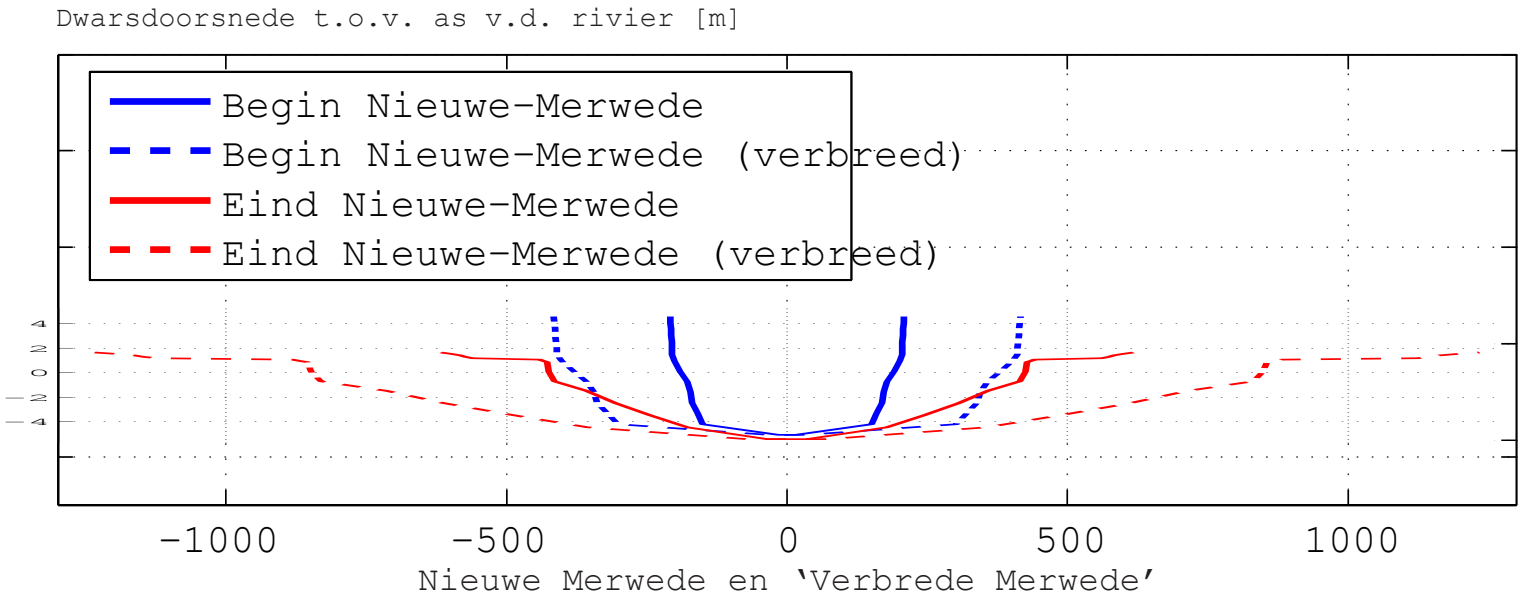
Stormvloedkeringen en rivierkeringen stuwen het water naar gebieden waar de dijken die makkelijker kunnen opvangen, of waar extra ruimte voor water beschikbaar is.

De afbeelding in het rapport van de Deltacommissie bevat de ‘Nieuwe Lek’, een passage langs de A27 tussen de Lek en de Boven Merwede. Langs deze as is er ruimte omdat het aantal woningen beperkt is door de ligging langs de A27, maar de nieuwe dijken en de nieuwe rivier zullen dure knelpunten opleveren waar ze de N214, de A15, de Betuwelijn en het kanaal van Steenenhoek kruisen.

In de ‘maatgevende situaties’[24] voor het overgangsgebied (zie figuur 0.1) valt een storm op zee samen met een flinke rivierafvoer. In de meeste gevallen[25] staat het water in de Lek dan enkele meters hoger dan in de Merwede, en kan het dus buiten de Randstad om naar het zuiden stromen. Om het Haringvliet te bereiken is de huidige capaciteit van de Nieuwe Merwede echter ontoereikend. Onderdeel van de definiëring van de alternatieven is dan ook om de afvoercapaciteit van de Nieuwe Merwede te vergroten. Behalve met dijkverhoging[26] is dit te bereiken door het kanaal te verbreden, door winterdijken te verleggen, de afvoer door de Biesbosch nog verder te vergroten dan met het huidige Noordwaard-project, of met een ‘bypass’ ten oosten van Werkendam. Tabel 2.5 toont een overzicht van maatregelen met kostenposten, negatieve effecten en mogelijkheden voor synergie met bijvoorbeeld natuurontwikkeling.

Als het water van de Waal en de Lek het Haringvliet bereikt, stijgt het waterpeil er, omdat een storm de afvoer via de Haringvlietsluizen naar zee onmogelijk maakt. Stel dat het peil in het Haringvliet minder zou stijgen, dan is dat niet alleen gunstig voor het Haringvliet, maar ook voor Werkendam en dus zelfs voor de omgeleide afvoer van de Lek. Het Haringvliet





Figuur 2.4: profielen van enkele bestaande en nieuwe rivieren. De getekende 'Nieuwe Lek' en de 'Verbrede Merwede' in de figuren zijn onderzocht bij de berekeningen in deze studie; zie het rapport 'Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden, door HKV LIJN IN WATER (figuren enigszins bewerkt).

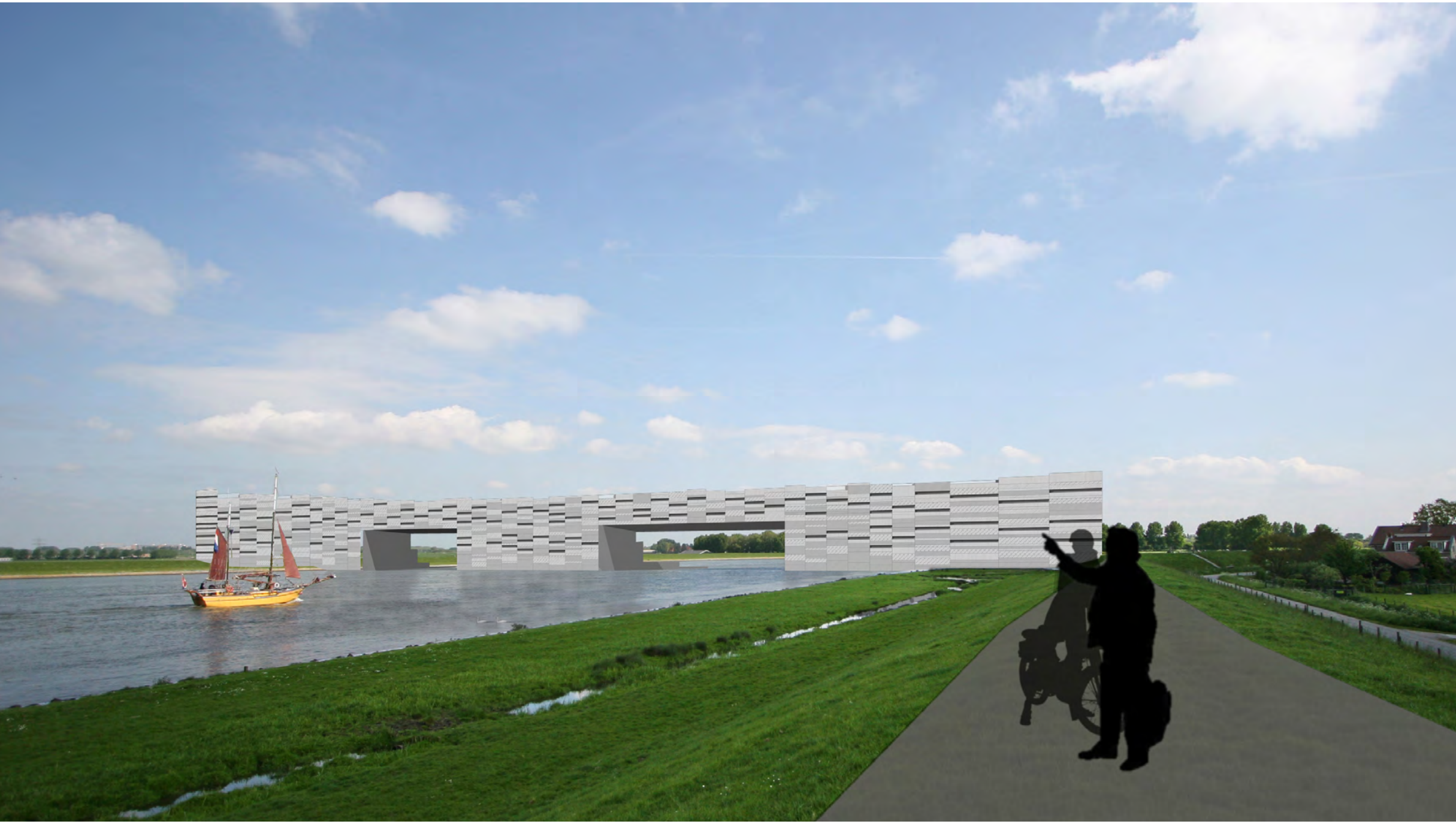
kan ‘afwateren’ op het Volkerak, het Volkerak op de Grevelingen en de Oosterschelde. Deze bekkens vullen zich dan gestaag, net zoals het Haringvliet, totdat de storm op zee weer voorbij is en de gehele delta het opgespaarde rivierwater kan spuien.

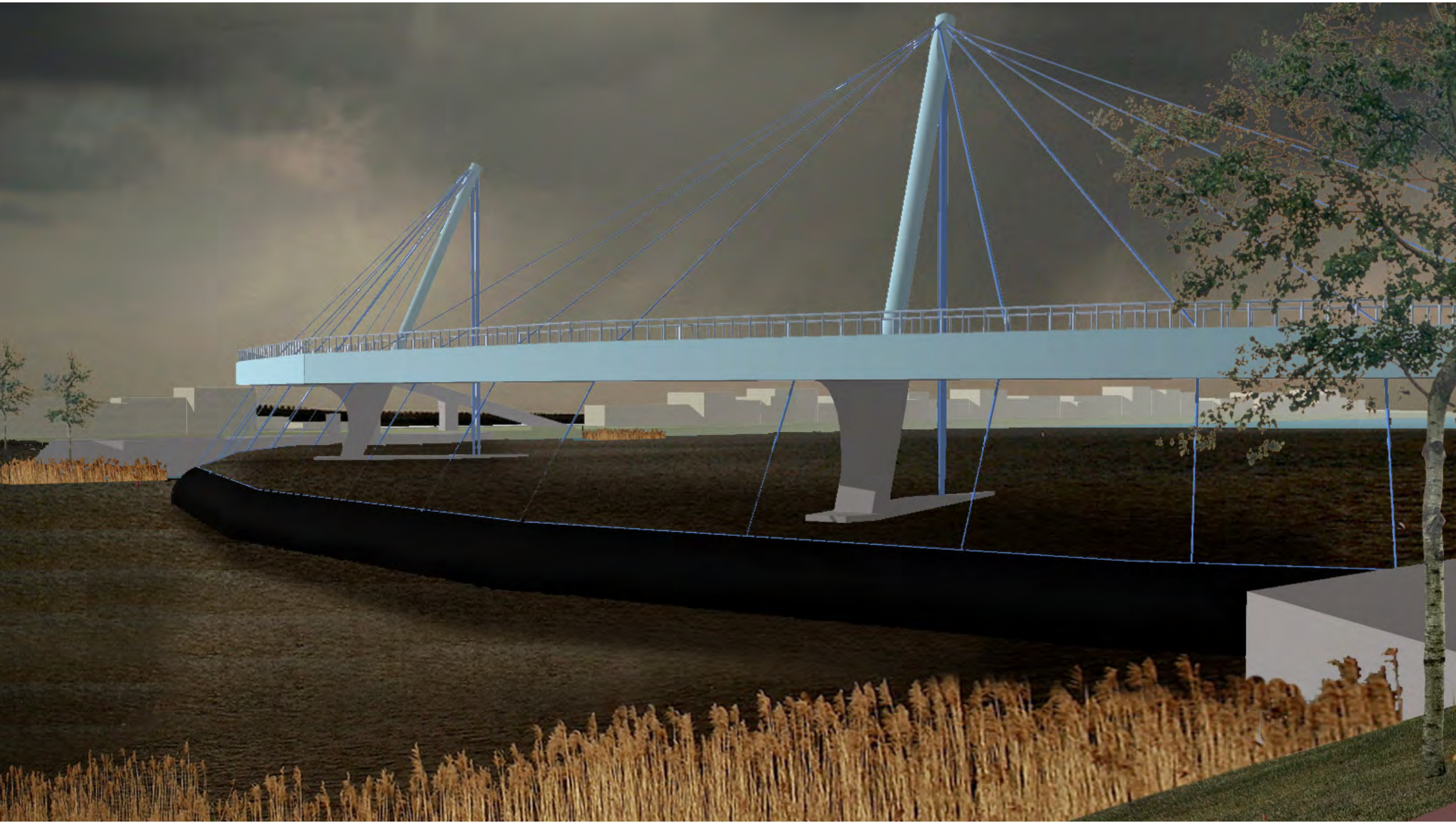
Hiervoor is het dan wel vereist dat de randen van de gekoppelde waterbergingsbekkens worden aangepast op hogere maximale peilen[27], en dat de Zeeuwse dammen worden voorzien van brede doorlaatmiddelen. Het is denkbaar dat de Zeeuwse rivierwaterbergingscapaciteit zich stap voor stap uitbreidt, afhankelijk van de snelheid van de klimaatverandering. Het gebied kan daarmee eveneens langzaam worden ingericht voor meer estuariene dynamiek. Aangepaste randen voor peilopzet faciliteren getij, en grotere doorlaatmiddelen bieden meer ecologische uitwisseling tussen de bekkens en de Noordzee[28].

Het hoofdstuk ‘middelen’ is het meest ontwerpende onderdeel van deze studie. In de ontwerpende sessies is gebleken dat er nog veel meer beweegbare keringen, doorlaatmiddelen en systeemuitbreidingen te verzinnen zijn, en dat nieuwe dammen en scheepvaartkanalen ook tot het middelen-arsenaal behoren. In extreme visies worden bestaande dammen (vooral de Haringvlietdam) zelfs afgebroken, en ook dat biedt weer nieuwe alternatieven. Dit gebeurt echter niet in het volgende hoofdstuk, want daarin wordt nu juist onderzocht of het mogelijk is met de vijf gekozen alternatieven de huidige toetspeilen te handhaven.

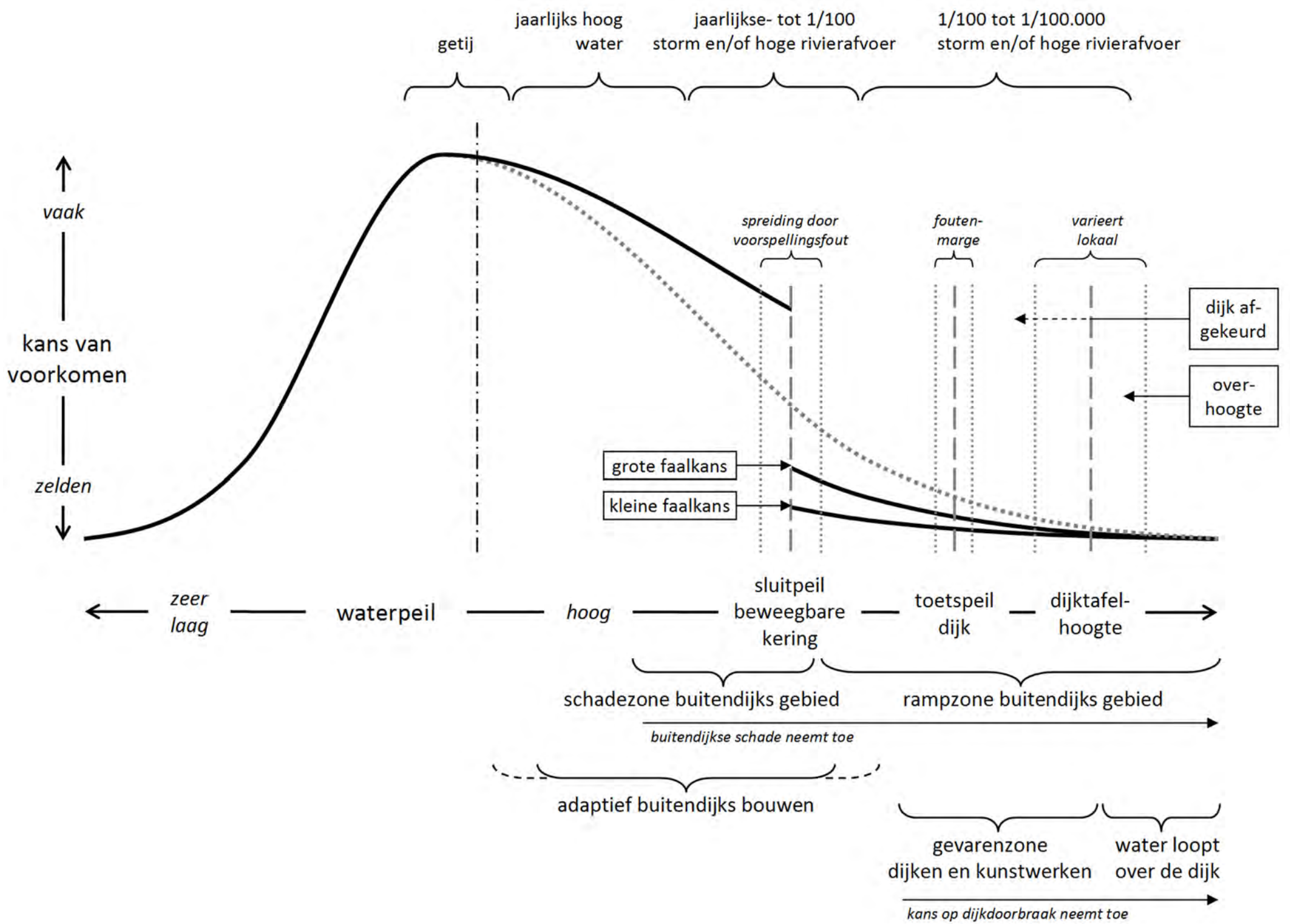
Middelen	Kosten en negatieve effecten	Synergiemogelijkheden
Beweegbare keringen in Spui, Dordtse Kil en Merwede	Bouwkosten, onderhoud, hinder scheepvaart, hinder ecologische stromen	Oeververbinding, goederenoverslag, zoet-zout scheiding, openbare ruimte, bedrijfsruimte, icoonfunctie
Lexmondkering en ‘Nieuwe Lek’	Opkopen grond en panden, bouwkosten kering, dijken, bruggen en tunnels, onderhoud, vernietiging cultuurlandschap, blokkeren uitzicht vanaf A27	Natuur en recreatie, waterwonen, combinatie met spoorlijn Utrecht-Breda
Verbreding Nieuwe Merwede	Kosten verleggen zomerdijken, uitbaggeren, meer onderhoud, vernietiging ecosystemen huidige oevers	Meer oppervlaktewaternatuur
Bypass Werkendam	Opkopen grond en panden, bouwkosten dijken en bruggen, onderhoud, vernietiging cultuurlandschap, blokkeren uitzicht, begrenzen Werkendam	Natuur en recreatie, waterwonen, bouw nieuwe haven
Waterberging Volkerak-Zoommeer, Grevelingen en Oosterschelde	Bouwkosten aanpassing doorlaatmiddel, aanpassing dijken, kunstwerken en buitendijks gebied	Ruimte voor getij, verkorten schuttijden naar Haringvliet, verfraaien dijken Volkerak, met doorlaatmiddel meer nutriënten inbrengen

Tabel 2.5: aspecten van de ‘middelen’ zoals gebruikt in deze studie; zie de kaart in de omslag voor de locaties in het gebied.





Figuren 2.6a en b: twee uitgewerkte concepten voor beweegbare hoogwaterkeringen. Rechts de 'Parachutekering': een waterkering in de Beneden Merwede is gemaakt van hoogwaardig en duurzaam doek en het kunstwerk wordt gecombineerd met een fietsbrug (afstudeereindwerk Floris van der Ziel, TU Delft / Royal Haskoning). Links de 'Barrier Building', dat een ontspanningscentrum en hotel onderbrengt in een hoogwaterkering in het Spui (afstudeereindwerk Anna Dijk, TU Delft / Posad).


getij
jaarlijks hoog water
jaarlijkse- tot 1/100 storm en/of hoge rivierafvoer
1/100 tot 1/100.000 storm en/of hoge rivierafvoer
vaak
kans van voorkomen
zelden
spreiding door voorspellingsfout
fouten-marge
varieert lokaal
dijk af-gekeurd
over-hoogte
grote faalkans
kleine faalkans
zeer laag
waterpeil
hoog
sluitpeil beweegbare kering
toetspeil dijk
dijktafel-hoogte
schadezone buitendijks gebied
rampzone buitendijks gebied
buitendijkse schade neemt toe
adaptief buitendijks bouwen
gevarenzone dijken en kunstwerken
water loopt over de dijk
kans op dijkdoorbraak neemt toe

3 Waterstanden

3.1 Waterstandsberekeningen

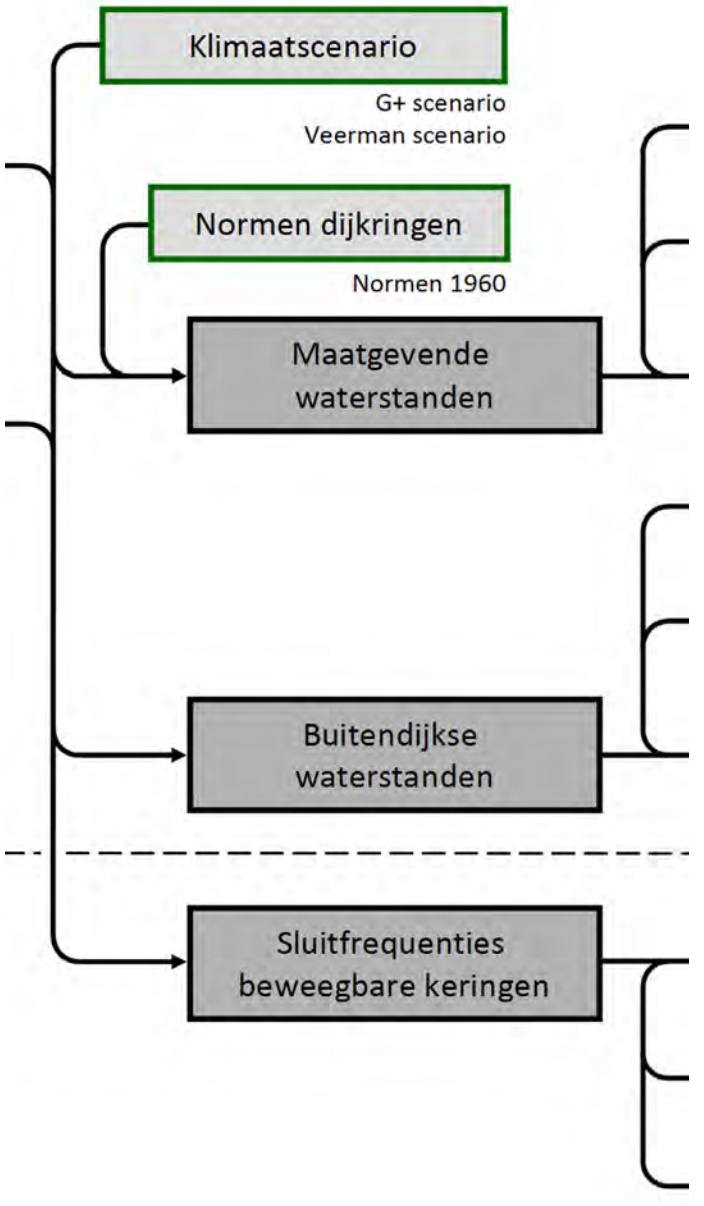
Na de watersnoodramp van 1953 bouwde het Waterloopkundig Laboratorium te Delft een groot fysiek model van het Nederlandse watersysteem in geschakelde Amerikaanse legertenten. De directeur van het onderzoeksinstituut schreef in het gewichtige hoofdrapport van de eerste Deltacommissie in 1960 dat het werken met het model in de legertenten 'veel weg had van een kruip-door-sluip-door spelletje'[29]. De modellen die in 2010 waterstanden doorrekenen nemen minder ruimte in beslag, maar men kan er niet meer doorheen sluipen.

In het programma Sobek bestaat het virtuele watersysteem uit geschakelde homogene waterlichamen met instroom- en uitstroomprofielen, een lengtedoorsnede en kenmerken zoals de ruwheid van de bodem. De waterlichamen kunnen naadloos in elkaar overgaan, of discontinu, als er zich tussen twee lichamen bijvoorbeeld een dam met een doorlaatmiddel of een gemaal bevindt.

Als het systeem in het gewenste detail beschreven krijgt Sobek van het programma Hydra-B een rivierafvoer, zeewaterstand, windsterkte, windrichting, stormduur en andere invoeren. In de Rijn-Maasmond regio komt daar bij of de Europoortkering (waaronder de Maeslantkering) open of gesloten is. Al deze condities hebben een kans van voorkomen en een mate van onderlinge correlatie. De door Sobek berekende waterstanden in het hele gebied hebben dus een kans van optreden gelijk aan de kans van voorkomen van de combinatie van de ingevoerde condities die gegeven is door Hydra-B.

Op een gegeven lokatie in het gebied is het nuttig om de gehele kansverdeling van de waterstanden te kennen. Lage waterstanden zijn bijvoorbeeld bruikbaar voor vaarroutes, hoge waterstanden voor buitendijks bouwen en het bepalen van brughoogtes. Dijken worden ontworpen om extreme waterstanden (in het puntje van de kansverdeling) te kunnen keren. Een groot aantal berekeningen van Sobek zijn om te zetten in lokale kansverdelingen, zoals schematisch weergegeven in de figuur hiernaast[30].

In deze studie is gewerkt met negen hoge afvoeren van Rijn en Maas, zes stormvloedniveaus, twee toestanden van de Maeslantkering en één windrichting. Waterstanden met een kans van overschrijden van 1 op 10 tot 1 op 1000 zijn relevant voor het buitendijks gebied. Voor dijken in het benedenrivierengebied zijn waterstanden nodig met een overschrijdingskans van 1 op 2000 tot 1 op 10.000, afhankelijk van de dijkring waartegen het water drukt (zie figuur 0.1). Dit zijn de 'maatgevende waterstanden', 'toetspeilen' genoemd als ze een wettelijke status hebben.



Klimaatscenario KNMI G+						
	EPK100	EPK100	EPK1000	EPK+RK100	EPK+RK1000	AOR-PLUS
	Toetspeil	Verschil maatgevend hoog water met het toetspeil in 2006 (meters)				
	2006	2100				
Rotterdam	3.6	**0.5**	**0**	**0.5**	**0**	**0**
Dordrecht	3	**0.3**	**0.3**	**0.1**	**0.1**	**0**
Moerdijk	2.6	**0.5**	**0.5**	**0.6**	**0.6**	**0.5**
Hellevoetsluis	2.5	**0.5**	**0.5**	**0.6**	**0.6**	**0.4**
Gorinchem	5.6	**0.8**	**0.8**	**1.5**	**1.5**	**0.5**
Schoonhoven	4.2	**0.1**	**0.1**	**-0.7**	**-0.9**	**-0.9**
Klimaatscenario Deltacommissie 2008						
	EPK100	EPK100	EPK1000	EPK+RK100	EPK+RK1000	AOR-PLUS
	Toetspeil	Verschil maatgevend hoog water met het toetspeil in 2006 (meters)				
	2006	2100				
Rotterdam	3.6	**1.2**	**0.7**	**1.1**	**0.6**	**0.6**
Dordrecht	3.0	**0.9**	**0.8**	**0.6**	**0.5**	**0.3**
Moerdijk	2.6	**1.1**	**1.1**	**1.2**	**1.2**	**1.0**
Hellevoetsluis	2.5	**1.2**	**1.1**	**1.2**	**1.2**	**1.1**
Gorinchem	5.6	**0.9**	**0.9**	**1.7**	**1.7**	**0.9**
Schoonhoven	4.2	**0.5**	**0.4**	**-0.2**	**-0.6**	**-0.6**

Tabel 3.1: veranderende maatgevende waterstanden bij twee klimaatscenario's, vijf alternatieven op zes locaties in de Rijn-Maasmond (zie ook de omslag van dit rapport), berekend met Hydra-B en Sobek. Als gevolg van de 'Nieuwe Lek' nemen de waterstanden bij Gorinchem sterk toe, die bij Schoonhoven nemen juist af. Waarschijnlijk is het mogelijk om de huidige Lek-afvoer nog een tijd te handhaven en de toenemende waterstand bij Gorinchem daarmee te verminderen. Het is nog de vraag wat dit precies zal betekenen voor Dordrecht. Het rapport binnen deze studie, 'eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden', van HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$ gaat dieper in op de gevolgen van de 'Nieuwe Lek' op de aangrenzende waterlichamen (bron tabel HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$).

Varianten op een afsluitbaar open Rijn-Maasmond verschillen onderling in de mate waarin de maatgevende hoogwaterstanden in de deelgebieden de toetspeilen voor de periode 2006-2011 overschrijden bij veranderende klimaatcondities. Deze verschillen zijn het startpunt voor een indicatie van de effectiviteit.

3.2 Maatgevende hoogwaterstanden per klimaatscenario en alternatief

Sinds 1885, het jaar dat het Normaal Amsterdams Peil werd ingevoerd, steeg de zeespiegel ruim 20 cm[31]. Voor de komende eeuw verwacht het KNMI op grond van internationaal klimaatonderzoek een sterkere stijging, van 15 tot 35 cm in 2050 en 35 tot 85 centimeter in 2100. De Deltacommissie 2008 stelde dat we ons moeten voorbereiden op nog hogere 'plausibele bovengrenzen'.

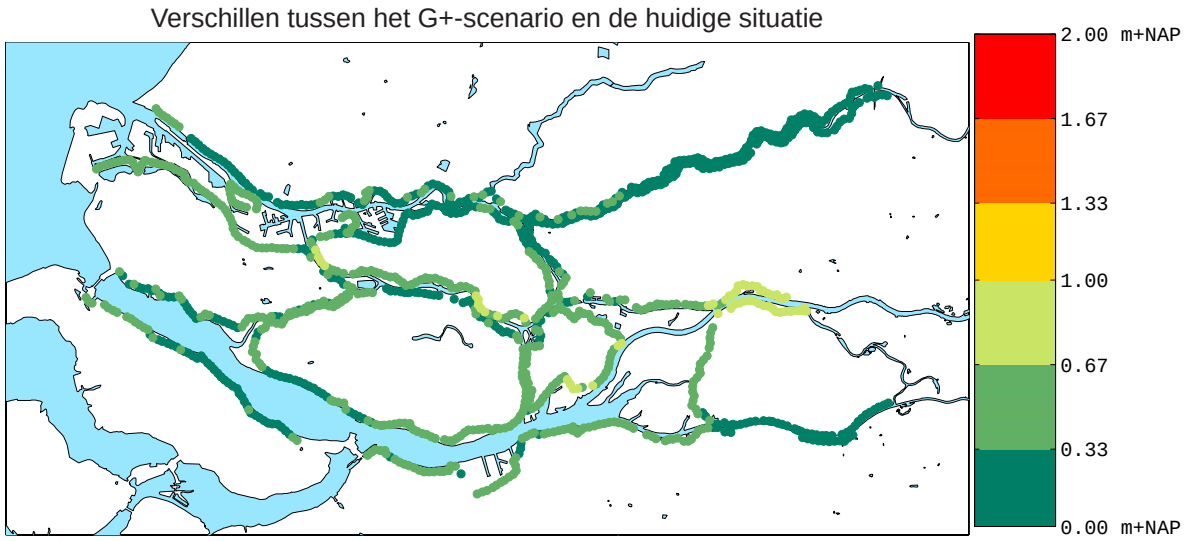
Met de gedefinieerde de alternatieven uit tabel 0.3 en de twee gekozen klimaatscenario's in tabel 0.2 op het omslagblad heeft HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$ een aantal waterstanden berekend: zeven waterstanden met een terugkeertijd tussen 10 en 10.000 jaar voor het buitendijks gebied[32], en de maatgevende waterstanden voor de steden in de deelgebieden uit kaart 0.1. De verschillen tussen de huidige toetspeilen en de maatgevende hoogwaterstanden per alternatief en klimaatscenario staan in tabel 3.1.

In de tabel is te zien dat de rivierkeringen (het verschil tussen de alternatieven 'EPK' en 'EPK+RK') en de toegenomen rivierafvoer vrijwel geen invloed hebben in Rijnmond West. De maatgevende waterstanden worden er bepaald door de zeespiegelstijging en de faalkans van de Europoortkering. Een verlaging van deze faalkans van 1/100 naar 1/1000 per sluitvraag (de vereiste faalkans bij het besluit tot de aanleg in 1986) kan bij 60 cm zeespiegelstijging grotendeels de huidige toetspeilen handhaven[33]. Het rapport van HKV laat ook zien dat een verkleining van de faalkans naar 1/10.000 niet hetzelfde gunstige effect heeft. Tabel 3.1 toont voorts dat tussen 0,60 en 1,30 meter de maatgevende hoogwaters in Rotterdam bij

Klimaatscenario	Maatgevende Rijnafvoer Lobith	Maatgevende Maasafvoer Borgharen	Stijging zeespiegel	Stormduur
	m^3/s	m^3/s	m (t.o.v 2006)	uur
TMR2006 (huidig)	16.000	3800	–	29
KNMI'06 G+	18.000	4600	0,60	35
Deltacommissie 2008 (Veerman)	18.000	4600	1,30	35

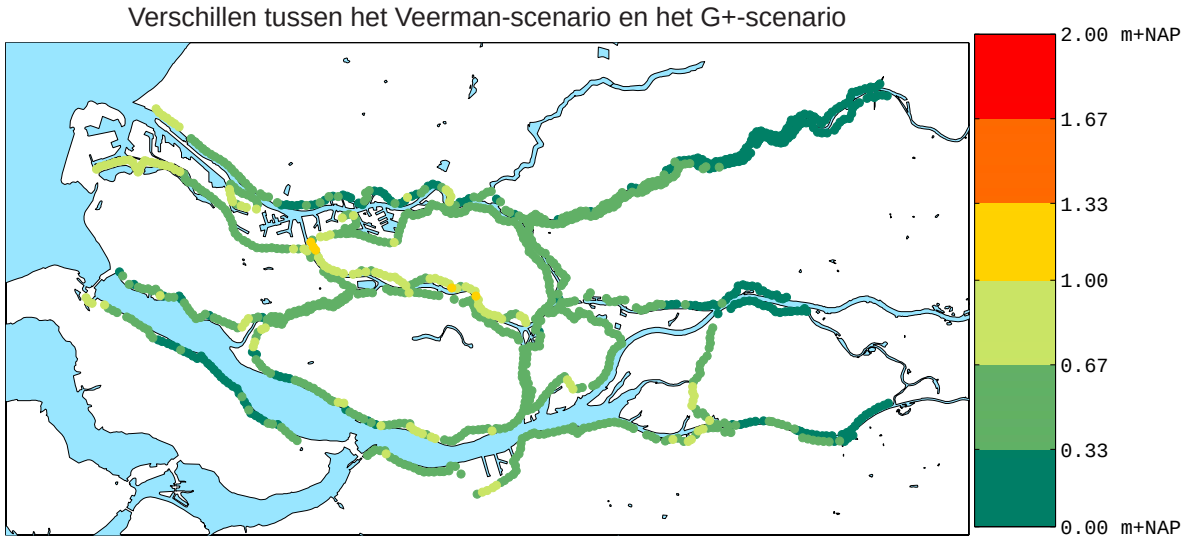
Tabel 3.2 (gelijk aan 0.2): instellingen voor de klimaatscenario's zoals toegepast in deze studie (bron HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$).

Figuur 3.3a: verschillen tussen de hydraulische belastingniveaus en de huidige situatie bij een faalkans van de Europoortkering van 1/100 per sluitvraag (alternatief 'EPK100') in het G+-scenario. De belastingniveaus stijgen ongeveer en grotendeels met de zeespiegel mee, maar (ongeveer en grotendeels) minder op locaties met buitendijkse gebieden die golfoploop dempen. De lichtgroene delen bij de Boven Merwede zijn voornamelijk het gevolg van de toegenomen rivierafvoer van 16.000 naar 18.000 m3/seconde (figuren HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$).

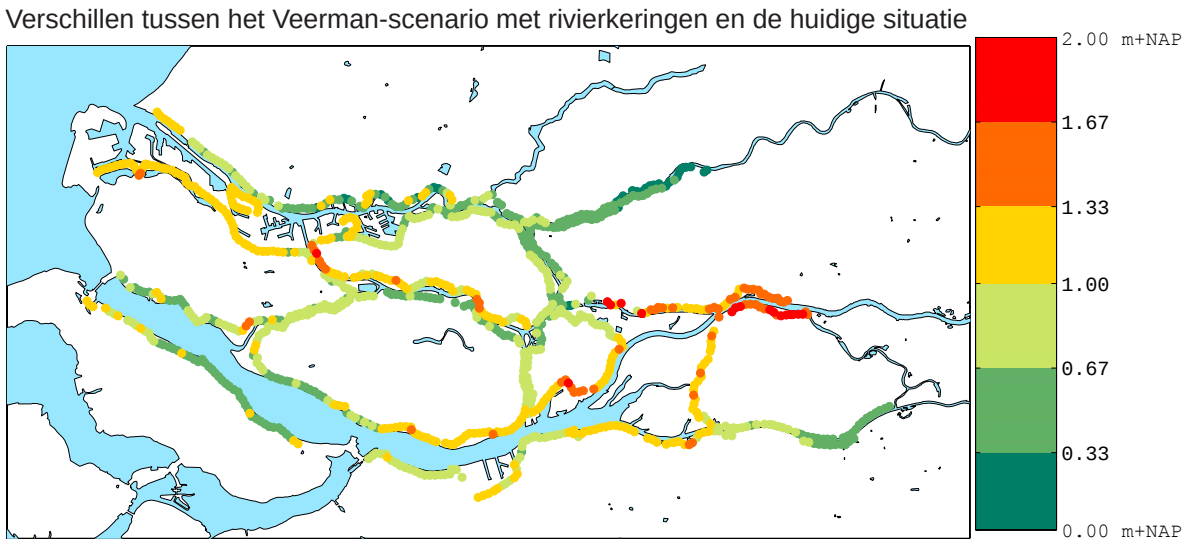


Figuur 3.3b: verschillen tussen de hydraulische belastingniveaus in het G+-klimaatscenario en het Veerman-scenario bij een faalkans van de Europoortkering van 1/100 per sluitvraag (alternatief 'EPK100') . De hydraulische belastingniveaus stijgen verder met de zeespiegel mee.

Zie de tabel in de omslag voor de gebruikte klimaatveranderingscijfers .



Figuur 3.3c: verschillen tussen de hydraulische belastingniveaus met de aanvullende 'rivierkeringen' (zie de figuren in de omslag) en de huidige situatie bij een faalkans van de Europoortkering van 1/100 per sluitvraag (alternatief 'EPK+RK100') in het Veerman-scenario. Rijmond Oost en de Lek worden enigszins ontzien, het deel van de Merwede ten oosten van de 'Merwedekering' krijgt juist hogere belastingniveaus te verwerken.



béide faalkansen van de Europoortkering in gelijke mate met de zeespiegel mee stijgen. Aan de positieve invloed voor Rotterdam van een lage faalkans van Maeslantkering en Hartelkering zitten blijkbaar grenzen[34].

De Europoortkering houdt de zee buiten als de zee te hoog staat. De rivierkeringen effectief inzetten blijkt ingewikkelder te zijn. De afbeelding in het rapport van de Deltacommissie toont twee keringen die rivierwater uit het oosten afbuigen naar het zuiden (de Lexmondkering en de Merwedekering), en twee keringen die verhinderen dat het water van het Haringvliet en het Hollands Diep in het zuiden naar het noorden stroomt (de Spuikering en de Drechtkering – zie figuur 0.1). Om de illustratie van de Deltacommissie volledig te doorgronden gebruikte deze studie óf alle vier rivierkeringen tezamen, óf geen enkele. De rivierkeringen werden met dezelfde sluitcriteria als die voor de Maeslantkering aangestuurd[35], maar de keringen in Spui en Dordtse Kil gingen pas dicht als het water naar het noorden ging stromen. Ondanks deze extra instelling onstond het inzicht dat het raadzamer zou zijn om alle zes keringen met afzonderlijke specifieke sluitcriteria te bedienen. Dan wordt bijvoorbeeld bij bepaalde combinaties van hoge rivierafvoer en storm op zee de Europoortkering nog niet gesloten, maar de Merwedekering al wel, om buitendijkse gebieden in Rijnmond-Oost te beschermen[36].

De Merwedekering heeft een gunstig effect ten westen ervan, maar een ongunstig effect in het oosten. In tabel 3.1 krijgt Gorinchem 70 cm extra MHW-verhoging bij het G+-scenario en 80 cm bij het Veerman-scenario als gevolg van de rivierkeringen. Dit effect is waarschijnlijk te verzachten door de afvoer van de Lek anders te regelen en met een Merwedekering die de doorstroming slimmer reguleert. In ieder geval zal extra waterberging in Zeeland gunstig zijn voor Gorinchem, Dordrecht en voor de effectiviteit van de Merwedekering[37]. Het hydraulica-deelrapport van HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$ bij deze studie gaat nader in op de voordelen van het slimmer aansturen van de verschillende keringen, en op waterberging in de Zuidwestelijke Delta.

Bij het lezen van tabel 3.1 is het dus niet zo zeer zaak om de alternatieven als geheel te beoordelen als effectief, aantrekkelijk, ongunstig of onhaalbaar, maar meer om inzicht te krijgen in de werking van de keringen afzonderlijk, en van de invloed van de klimaatverandering op de verschillende onderdelen van het systeem.

Figuren 3.3a-c: de maatgevende waterstanden in tabel 3.1 gelden in het midden van de rivier. Deze figuren tonen de 'hydraulische belastingniveaus', waar golfoploop en golfoverslag in verwerkt zijn, berekend voor de rand van de rivier. Dit zijn géén ontwerpkruinhoogten voor de dijken: daarbij spelen nog veel meer aspecten een rol, zoals de waakhoogte, de levensduur (planperiode), begaanbaarheid van de kering tijdens hoogwater, klink, zetting en andere faalmechanismen. In de Rijnmond zijn 'overhoogte' en 'overdimensionering' aanwezig, als gevolg van de Deltawerken en ook van bebouwing op dijken, die vaak alleen werd toegestaan als de dijk tevens extra verstevigd werd. De lichtgroene en oranje delen van de dijken hoeven daarom niet noodzakelijkerwijs te leiden tot dijkversterking (figuren HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$).

Hollandse IJssel
Rotterdam
Lek
Nieuwe Maas
Noord
Oude Maas
Gorinchem
Boven Merwede
Haringvliet
Dordrecht
Dordtse Kil
Nieuwe Merwede
Grevelingen
Hollands Diep
Moerdijk
Volkerak
Ooster-
schelde

3.3 Onzekerheid in de analyses en inzicht in het systeem

Er zijn dus tekortkomingen geconstateerd in de effectiviteit van de alternatieven, zoals het nut van de kering in het Spui. Hiernaast kennen de hydraulische condities en modellen ook onzekerheden.

In de 'Systeemanalyse Rijn-Maasmonding' rapporteerde Rijkswaterstaat Zuid-Holland in januari 2008 de zwakke plekken en toekomstige knelpunten in hun beheersgebied aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat. De onzekerheden in de uitgangspunten waren vooral de duur, opbouw en voorspelnauwkeurigheid van de stormen, het aandeel van de wind in het waterbewegingsmodel en de afvoerverdeling over de verschillende splitsingspunten. Los van de klimaatscenario's was daardoor de bandbreedte tussen boven- en ondergrenzen van de maatgevende waterstanden 0,50 meter voor 2011 en 1,00 meter voor 2100[38].

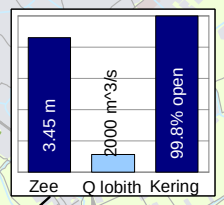
Ondanks de kennisachterstand in de aansturing van de keringen en de onzekerheden in de hydraulica ontstaat er door bestudering van het watersysteem inzicht in de globale effecten op de zes deelgebieden van de zeespiegelstijging, een hogere rivierafvoer, de plaatsing van de keringen en de ruimtelijke maatregelen, zoals kwalitatief aangegeven in tabel 3.5. Ze zouden kwantitatief te maken zijn door steeds alle factoren behalve één constant te houden en vervolgens de correlatie met elk van de andere te onderzoeken door ook die weer één voor één te varieren, maar dat reikt hier te ver. Grof gesteld werkt de zeespiegelstijging in een open systeem geleidelijk steeds minder door tot daar waar het rivierbed zo hoog ligt dat de zeeïnvloed er ophoudt en het omgekeerde geldt voor de extra rivierafvoer. Systeemaanpassingen zoals vergroting van berging of afvoer en de beweegbare keringen hebben het meeste effect in de nabije omgeving van de aanpassingen, en werken verder door als de aanpassing ingrijpender is.

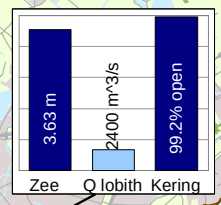
In de Rijn-Maasmonding is het dus mogelijk om met waterbouwkundige en ruimtelijke middelen de lokale waterstandsverhogingen als gevolg van een veranderend klimaat en mogelijke nieuwe veiligheidsnormering te spreiden. Of de middelen de moeite waard zijn, hangt af van de vraag waar die waterstandsverhogingen de minste negatieve effecten hebben.

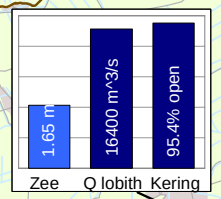
Figuren 3.4a en 3.4b: een maatgevende situatie rond Dordrecht. Er is storm op zee en er is bovengemiddelde (maar geen maximale) rivierafvoer. Ondanks de Europoortkering oefent de zee invloed uit, door het lekken van de kering en door de kans dat de kering te laat gesloten is.
Bij drie alternatieven in deze studie (zie de tabel in de omslag) werd de afvoer van de Lek geheel omgeleid bij de Rijntakken of langs een 'Nieuwe Lek', met behulp van keringen in de Beneden Merwede en de Dordtse Kil. De figuur toont schematisch de aanzienlijke toegenomen benodigde doorvoercapaciteit van de Nieuwe Merwede, die twee maal zo breed is verondersteld in de modellen.
De rode onderkant van de pijlen staat voor extra capaciteit vanwege de klimaatverandering of de wens voor meer veiligheid (tekeningen Sendra Design Studio).

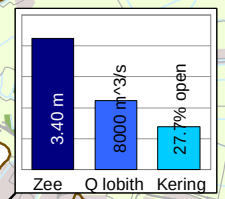
WATERSTAND

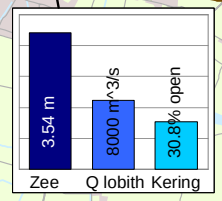
- 2.50 - 2.75
- 2.76 - 3.00
- 3.01 - 3.50
- 3.51 - 4.00
- 4.01 - 4.50
- 4.51 - 5.00
- 5.01 - 5.50
- dijkringen
- rijkswegen
- spoorwegen
- provincialewegen
- overigewegen
- rivieren
- bos
- kassen
- zand
- steden
- water
- dijkringen_gebied

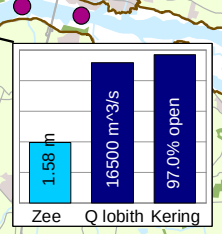


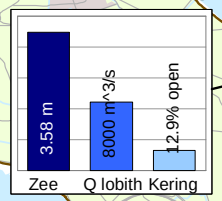


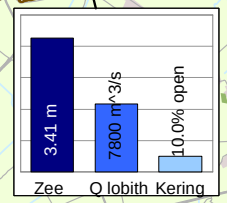












Invloed op het maatgevend hoogwaterpeil									
	Zeespiegel stijging en stormduur	(Toene-mende) rivierafvoer	Faalkans Europoort-kering	Lekken Europoort-kering	Merwede-kering*	Faalkans Merwede-kering*	Nieuwe Lek of Arnhem-kering	Verbrede Merwede of Bypass Werkendam	Berging Zuidweste-lijke Delta
Rijnmond West (Rotterdam)	Groot	Niet	Groot	Gering	Gering	Niet	Gering	Gering	Niet
Rijnmond Oost (Dordrecht)	Groot	Redelijk	Gering	Gering	Groot	Redelijk	Redelijk	Groot	Redelijk
Haringvliet (Hellevoetsluis)	Groot	Redelijk	Gering	Gering	Niet	Niet	Niet	Niet	Redelijk
Hollands Diep (Moerdijk)	Groot	Redelijk	Niet	Niet	Gering	Gering	Gering	Gering	Groot
Merwede (Gorinchem)	Gering	Groot	Niet	Niet	Redelijk	Gering	Groot	Groot	Gering
Lek West (Schoonhoven)	Gering	Niet (beleid)[48]	Gering	Niet	**	**	Groot	**	Niet

Tabel 3.5: invloed van wijzigingen in het huidige systeem op de maatgevende waterstanden. De invloeden gelden voor elk onderdeel afzonderlijk, dus niet in combinatie met een andere, maar in combinatie kunnen ze elkaars invloed versterken of verzwakken. De kwalificaties volgen uit inzichten opgedaan na vele excercities en discussies. Ze zijn daarom niet gekwantificeerd en kunnen na diepere studie wellicht enigszins afwijken.
De 'Arnhemkering' kan een alternatief zijn voor de 'Nieuwe Lek'; de kering stuwt water over de Waal in plaats van de Lek, in het geval van hoge (maar geen maximale) rivierwaterafvoer in combinatie met een storm op zee. De 'Verbrede Merwede' betreft de Nieuwe Merwede.
** De werking van de Merwedekering zonder de keringen in het Spui, de Dordtse Kil en de 'Nieuwe Lek' behoeft nader onderzoek; deze kwalificaties zijn vermoedens.*
*** Deze invloeden zijn er alleen bij een specifieke 'Nieuwe Lek' en 'Lexmondkering'.*

Figuur 3.6: bijdragen van drie factoren in de samenstelling van het huidige toetspeil op een aantal locaties in de Rijn-Maasmond: de zeeïnvloed, de rivierafvoer en of de Europoortkering open of gesloten is. In Dordrecht wordt het toetspeil vooral bereikt bij een gesloten Europoortkering en als gevolg van de rivierafvoer, die in Dordrecht nog invloed heeft (figuur HKV$_{\text{LIJN IN WATER}}$).

valt niet in het huidige 'hoogwaterbeschermingsprogramma'

valt binnen het huidige 'hoogwaterbeschermingsprogramma'

Figuur 4.1: relatief laag liggende dijken in de Rijn-Maasmond; de dijktracés zijn verkregen met een 'kruinhoogte analyse', waarin de hydraulische belastingniveaus voor het alternatief 'EPK100' in het 'Veerman'-klimaatscenario zijn vergeleken met de actuele kruinhoogtes. Het hoogtebestand was niet volledig, en ook zijn de aangegeven tracés alleen beoordeeld op hoogte, en niet op sterkte. De grijze en zwarte delen vallen momenteel binnen het hoogwaterbeschermingsprogramma (kaart: Defacto Architectuur en Stedenbouw, bronnen: HKV LIJN IN WATER en Deltares (WV21; R. Hoogendoorn)).

4 Gevolgen

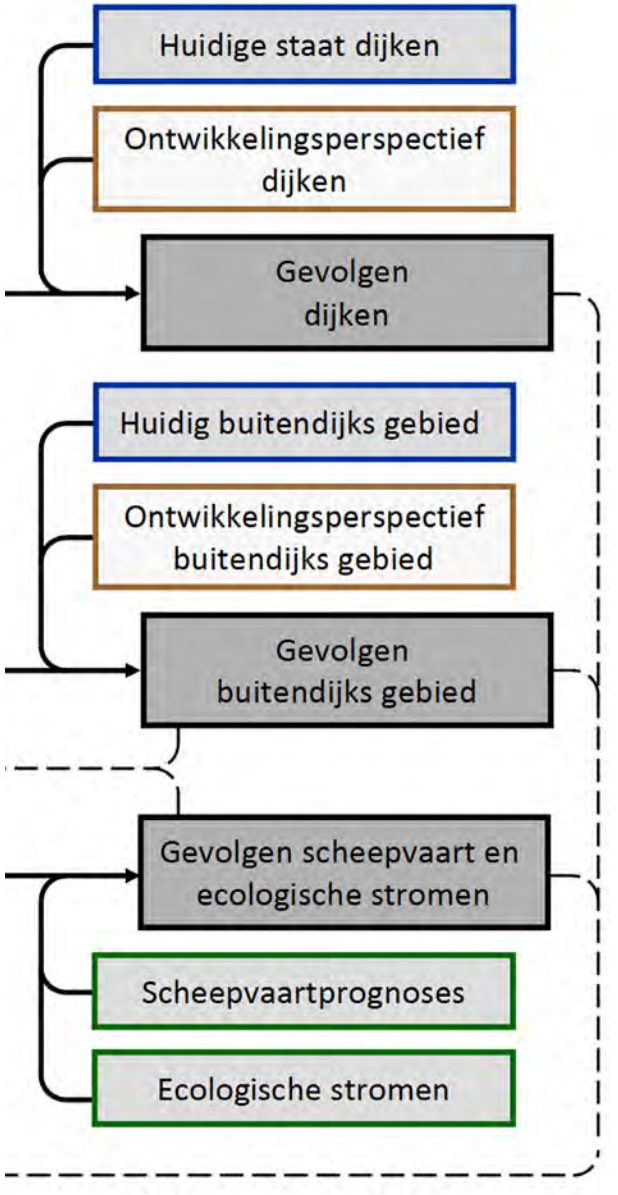
4.1 De dijken in de Rijn-Maasmonding

Een dijk is niet simpelweg groen, gemaakt van klei en trapeziumvormig, maar dikwijls bekleed met steen of asfalt en met functies zoals infrastructuur en bebouwing. De samenstelling is heterogeen en vaak niet geheel bekend. De doorsnede varieert met het soort waterlichaam, de ligging van het buitendijks en binnendijks gebied, en de toegevoegde functies. Een dijk transformeert door de jaren heen mee met de omringende ruimtelijke ordening en met veranderende hydraulische condities. Dit laatste betekent zelden simpelweg ophogen, maar doorgaans een verbetering van het gehele profiel en functionaliteit met lokaal maatwerk[39]. Het komt ook voor dat maatgevende waterpeilen toenemen maar er aan de dijk niets hoeft te gebeuren omdat de dijk hoger en sterker aangelegd was dan strikt noodzakelijk was of later bleek. Deze overdimensionering wordt 'overhoogte' genoemd en komt in de Rijn-Maasmond veel voor, als gevolg van de aanleg van de Haringvlietdam, de Volkerakdam en de Europoortkering. Ook zijn veel Rijnmonddijken gecombineerd met infrastructuur en andere functies, waarbij de dijken extra zwaar ontworpen werden.

Om de effecten van de veranderende watercondities op de dijken bij verschillende alternatieven te bepalen zouden van elke dijkmoot de samenstelling en de mogelijke stedenbouwkundige transformatiewensen bestudeerd moeten worden. Dit gebeurt momenteel in het project 'Veiligheid Nederland in Kaart' en ook de zesjaarlijkse dijkentoetsing door de waterschappen evalueert in hoog detail. Deze verkenning was genoodzaakt een versimpelde benadering te gebruiken om een indicatie te geven van de effecten van veranderende waterpeilen op de dijken voor de vijf alternatieven.

In theorie neemt de binnendijkse overstromingsveiligheid altijd af bij elke stijging van de hoogwaterniveaus[40]. Een dijk kan ook bezwijken als het waterpeil het maximum nog niet heeft bereikt, door andere faalmechanismen zoals piping, fouten gemaakt in de aanleg van de dijk, of ongeoorloofde aanpassingen aan het dijklichaam door particuliere gebruikers[41]. Over de gehele 21ste eeuw speelt ook 'zetting' van dijken een rol. Veel dijkvakken mogen nu wellicht voldoende hoog zijn, maar zullen in 2100 een stuk zijn ingezakt[42]. Over een eeuw beschouwd nemen de dijkversterkingskosten voor een significant deel onafhankelijk van de overhoogte toe met stijgende maatgevende waterstanden.

Dijkverbeteringen aan bebouwde dijken zijn kostbaarder en problematischer dan aan kale grasdijken[43]. Tabel 4.3 deelt dijken in zeven verschillende categorieën in en geeft een indicatie voor de kosten gemoeid met één meter dijkverhoging[44]. In het volgende hoofdstuk



onbebouwde dijk

- gras dijk
- infradijk
- harde dijk

bebouwde dijk

- bedrijfs bebouwing
- historische bebouwing
- bebouwing woningen
- tweezijdig bebouwd

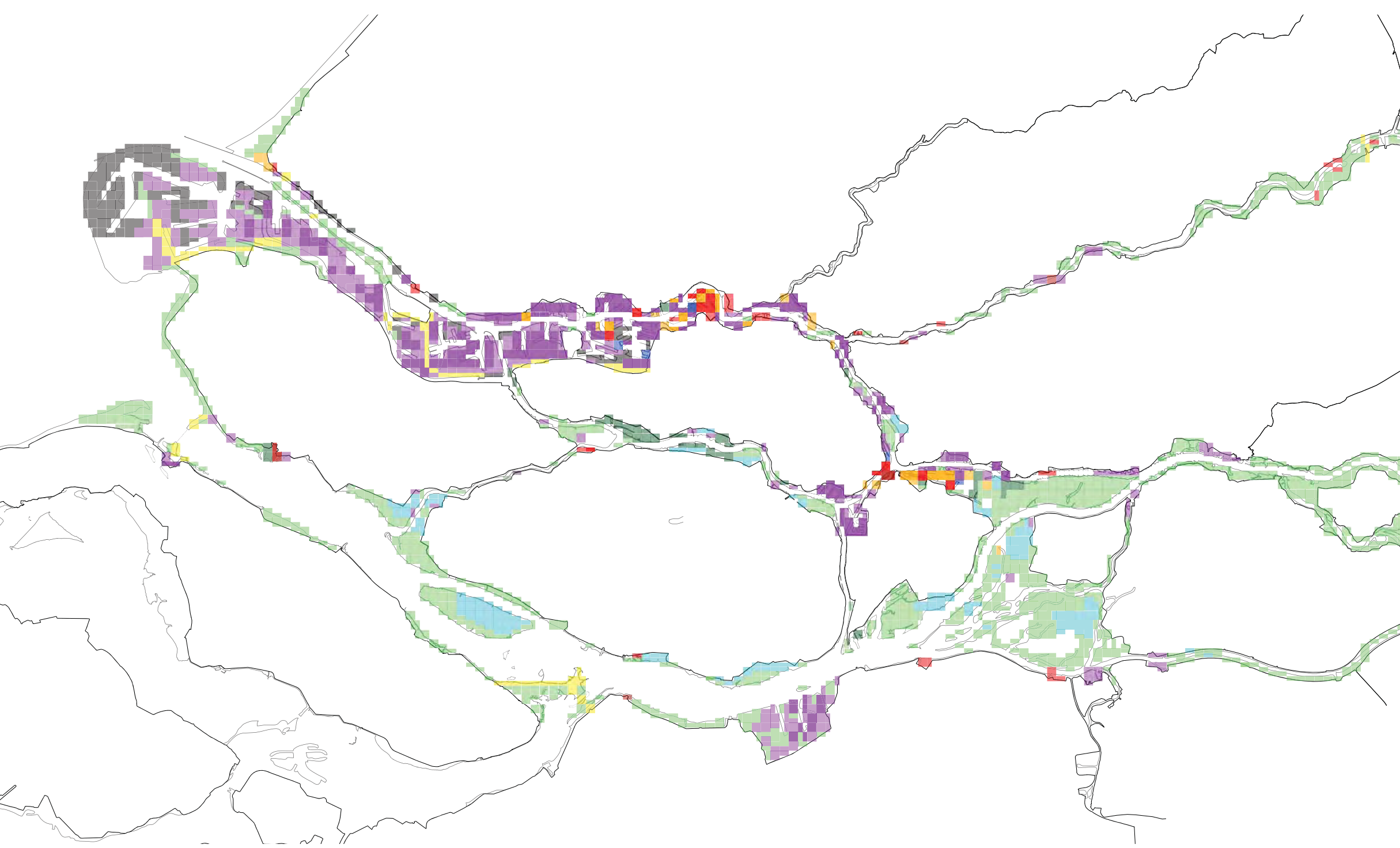
Figuur 4.2: verschillende soorten dijken in de Rijn-Maasmond. Er zijn vele indelingen mogelijk. Bij het typologiseren van dijken is het startpunt hoe de dijk civieltechnisch, stedenbouwkundig en architectonisch een dijkversterking of -verhoging zal ondergaan. Deze indeling categoriseert in enkelzijdige-, dubbelzijdige of ontbrekende bebouwing (civieltechisch) en in het type bebouwing (stedenbouwkundig/architectonisch) (kaart: Defacto Architectuur en Stedenbouw).

zullen per deelgebied de gewogen dijkverhogingskosten simpelweg vermenigvuldigd worden met de waterstandstoename[45]. Dit is een grove benadering waarin de overhoogte verdwijnt, maar het geeft een bovengrens voor de totale dijkversterkingskosten. Bovendien maakt het een vergelijking mogelijk tussen de alternatieven en geeft het inzicht in het systeem als geheel.

Om toch nog enig gevoel te krijgen voor de overhoogte in het gebied is een database[46] met kruinhoogtes van ongeveer driekwart van de dijken in de Rijn-Maasmond gebruikt om de laagste dijktracés in het gebied op te sporen – zie kaart 4.1. Als de maatgevende waterstanden in een deelgebied toenemen is de kans groot dat deze stukken als eerste aan de beurt zullen zijn om versterkt te worden.

Dijktype			Dijkversterking en onderhoud	Kosten dijkverhoging miljoen €/m/km	Synergie mogelijkheden*
Niet-bebouwd	Gras		Makkelijk, wel vaak natura 2000	6	Recreatie, soms wonen
	Verhard		Intensief maar minder frequent	12	Van alles
	Infrastructuur		Zeer intensief vanwege doorgaand verkeer	15	Groot-onderhoud, opheffen of verbreden weg
Bebouwd	Eenzijdig	Wonen	Bebouwde zijde lastig, onbebouwde zijde mogelijk maar kostbaar	21	Park, speeltuin, openbare ruimte, nog meer woningen op onbebouwde zijde
		Kantoren		18	Parkeren, park, nog meer kantoren op onbebouwde zijde
		Historisch		24	Park of openbare ruimte op onbebouwde zijde
	Tweezijdig		Geeft protest en moeilijke procedures	36	Sloop gebouwen

Tabel 4.3: classificatie van dijktypes in de Rijn-Maasmond. De kosten voor dijkverhoging zijn gebaseerd op bouwkosten met een geschatte aanpassing voor stedenbouwkundige en architectonische aspecten die niet bij de bouwkostenberekening zijn meegenomen, zoals bewonersoverlast.
** Er is momenteel veel aandacht voor multifunctionele dijken, zoals 'deltadijken'. In deze studie zijn synergiemogelijkheden verkend voor verschillende dijktypes en locaties , maar waarschijnlijk zijn de mogelijkheden voor synergie niet doorslaggevend voor de afweging tussen de alternatieven.*



Figuur 4.5: het buitendijks gebied in de Rijn-Maasmond; net als bij de dijken is de indeling gebaseerd op functie en dichtheid. Het is te zien dat het overgrote deel van het hoogwaardige gebied zich in Rotterdam en de Drechtsteden bevindt. In deze kaart is de hoogteligging niet opgenomen (kaart: Defacto Architectuur en Stedenbouw).

4.2 Het beïnvloeden van buitendijkse waterstanden

Een dijk geeft duidelijkheid. Aan de ene kant is het water gecontroleerd, aan de andere kant niet. Hoewel: veel buitendijkse gebieden in Nederland bevatten ook gecontroleerd water. De Oosterschelde gaat dicht op een moment dat na sluiting de waterstand net achter de kering 3m+NAP zal zijn. Op het Markermeer is er kans op een flinke ongevraagde windopzet maar het meer wordt door de mens gevuld en bemalen. Het peilbesluit voor het Volkerak-Zoommeer dicteert een winterpeil van 0,15 en een zomerpeil van 0,10 meter boven NAP.

Als het buitendijks gebied in de Rijn-Maasmonding meer invloed op de waterstanden wenst kunnen beweegbare hoogwaterkeringen en waterberging in Zeeland dat bieden, mits ze vaker mogen worden ingezet dan strikt nodig voor de binnendijkse veiligheid.

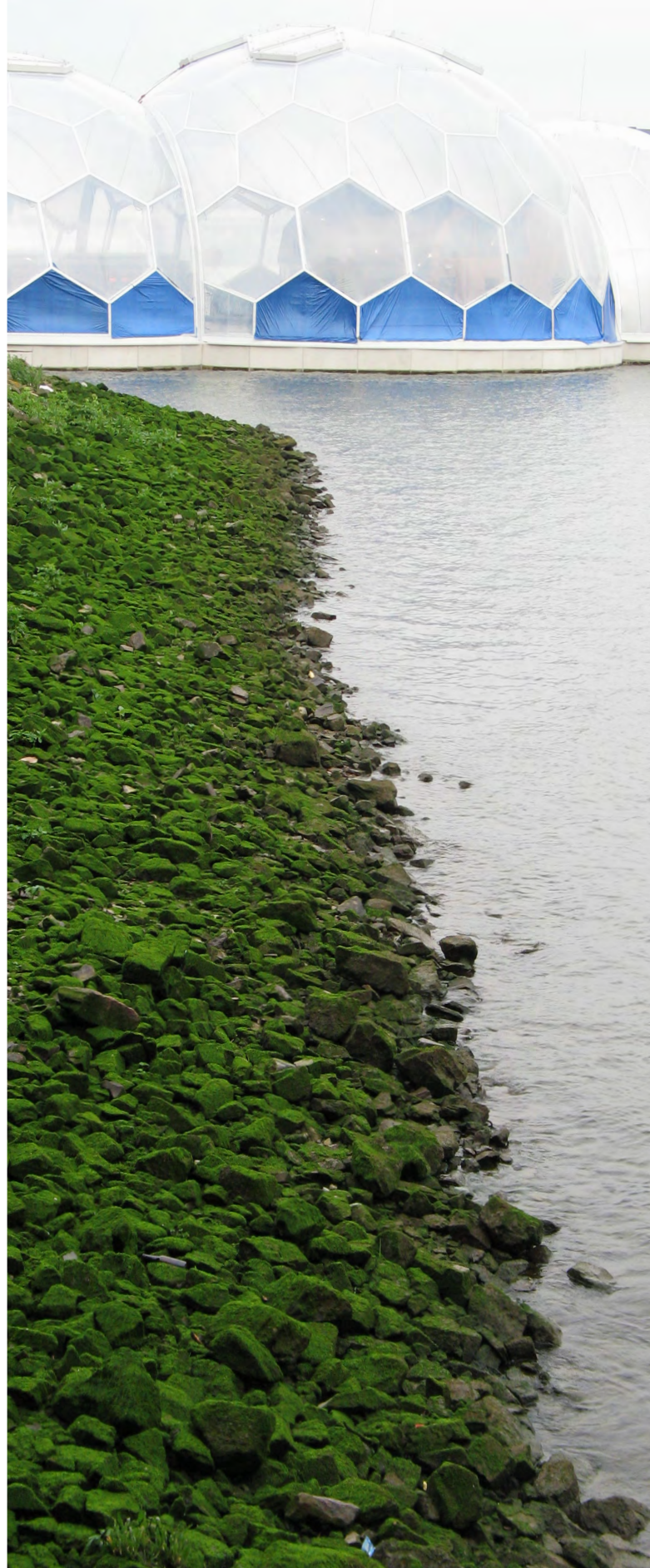
De buitendijkse functies hebben zich door de eeuwen heen geleidelijk steeds beter geschikt naar wisselende waterpeilen. Funderingen van buitendijkse gebouwen liggen tussen 2,5 en 5 meter boven NAP. Bij hoog water lopen kades wel eens onder, nemen wachttijden in schutsluizen toe en is er extra kweldruk. Boten en drijvende constructies moeten afmeren aan hoge palen en lange loopbruggen[47]. Dit alles levert meerkosten ten opzichte van een vast gecontroleerd peil, zoals bij het meeste water in de Nederlandse steden, maar voor Rotterdam en Dordrecht zijn dit inmiddels juist kwaliteiten die horen bij een ‘stad aan de rivier’.

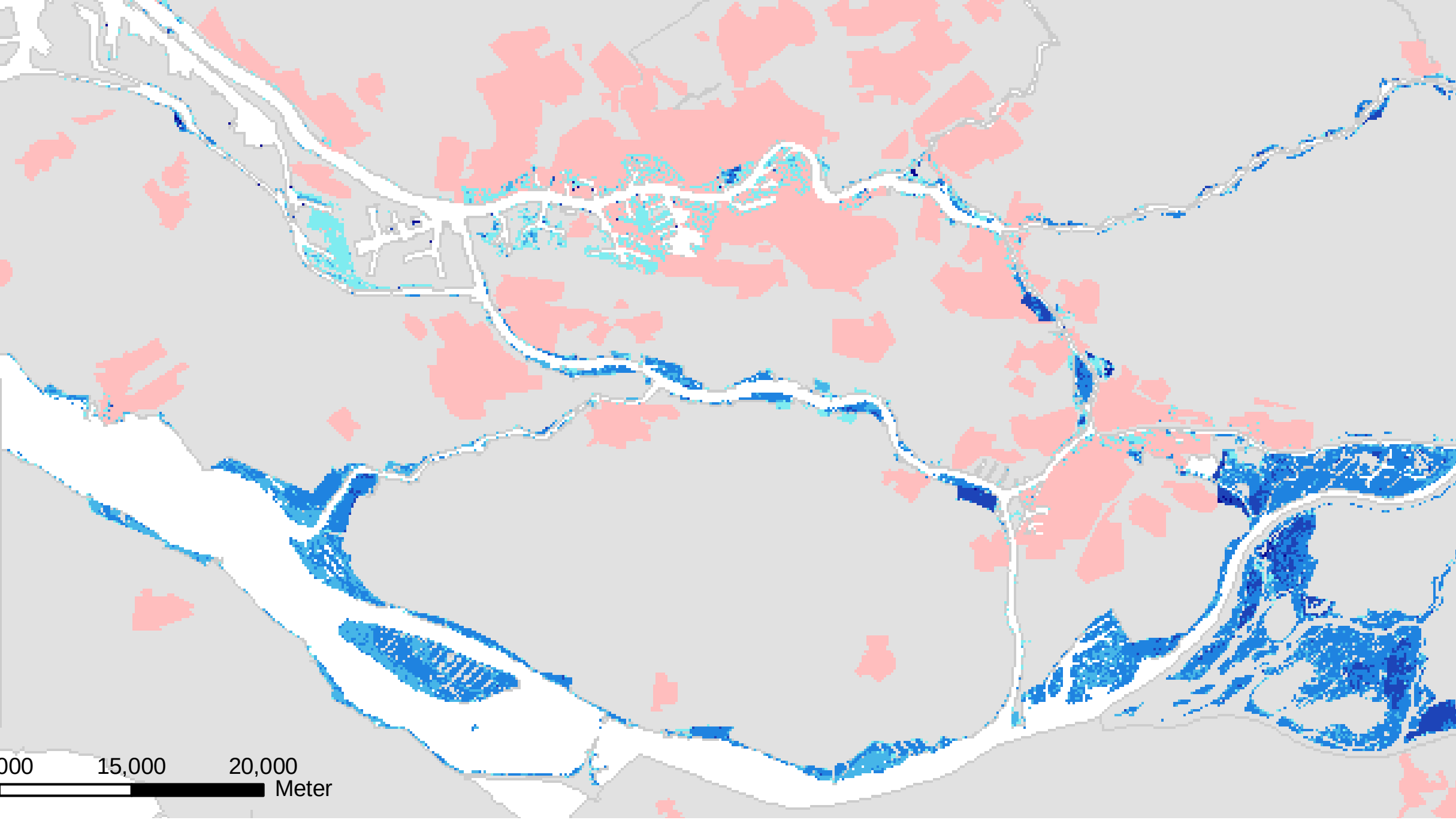
Deze kwaliteit manifesteert zich dagelijks tot eens in de tien jaar (zie de kansverdeling in figuur 4.7). Bij waterstanden die minder dan eens per tien jaar voorkomen beginnen er verspreid over het gebied problemen te ontstaan. Door de klimaatverandering zal het steeds vaker voorkomen dat de magie van hoog water omslaat in vervelende schade. Dan zijn er twee mogelijkheden: de grens consolideren met bovenregionale waterbouwkundige ingrepen, of oprekken met lokale maatregelen - dit laatste wordt ‘adaptief bouwen’ genoemd (zie figuur 4.7).

In de buitendijkse gebieden van Rijnmond-Drechtsteden bevinden zich momenteel ruim 30.000 woningen[48]. In en nabij de stedelijke kernen trekken woningbouw en recreatie aan en trekken industrie en landbouw weg[48]. Woningmarktonderzoeksbureau ABF becijferde als onderdeel van deze verkenning dat de behoefte van woningen in de regio Rotterdam de komende decennia toe zal nemen met ongeveer 1000 woningen per jaar, en dat het aannemelijk is dat een deel hiervan buitendijks gebouwd zal worden[49] - dit ondanks de vermeende ‘krimp’ in de Rijnmond regio, maar wel bij een optimistisch landelijk economisch scenario.

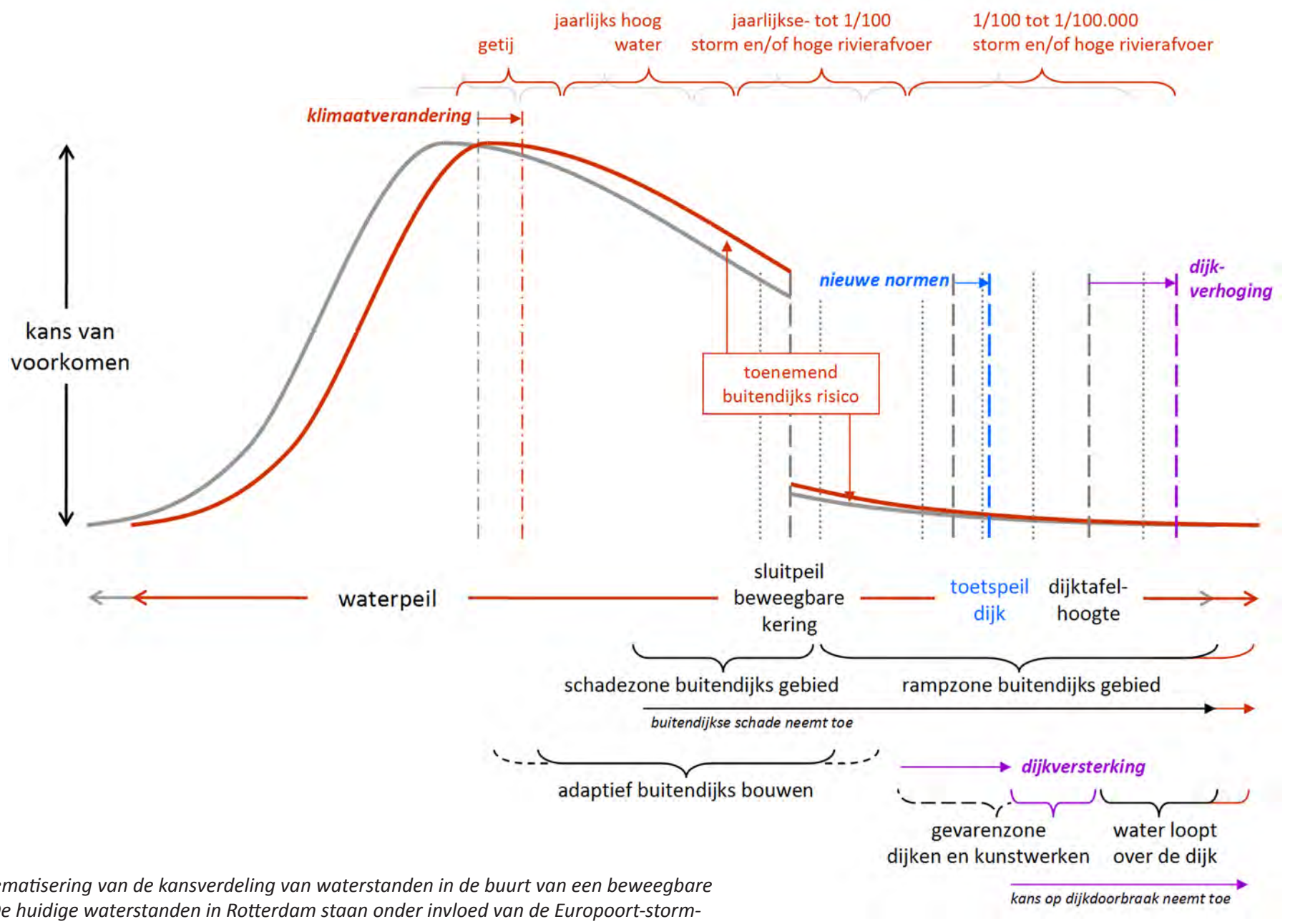
Bij herontwikkeling zijn overstromingsschadereducerende aanpassingen makkelijker dan bij bestaande functies. Aanpassingen aan bestaande én nieuwe bebouwing zullen voordeliger zijn dan ‘schade pakken’, anders zou men daar immers voor moeten kiezen[50]. Een aanpassing wordt nog aantrekkelijker als het de ‘adaptieve kwaliteit’ oplevert voor een Stad aan de Rivier. Dit extra voordeel gaat bij kleinere kansen minder op omdat de kwaliteit dan te zelden beleefd wordt.

Voor de buitendijkse gevolgen van een Rijnmond-alternatief zijn de vragen dus bij welke terugkeertijd de grens ligt tussen kwaliteit en schade door hoog water, hoeveel er herontwikkeld zal worden en natuurlijk de vraag hoe groot de schade die men moet reduceren of incasseren dan wel zal zijn.

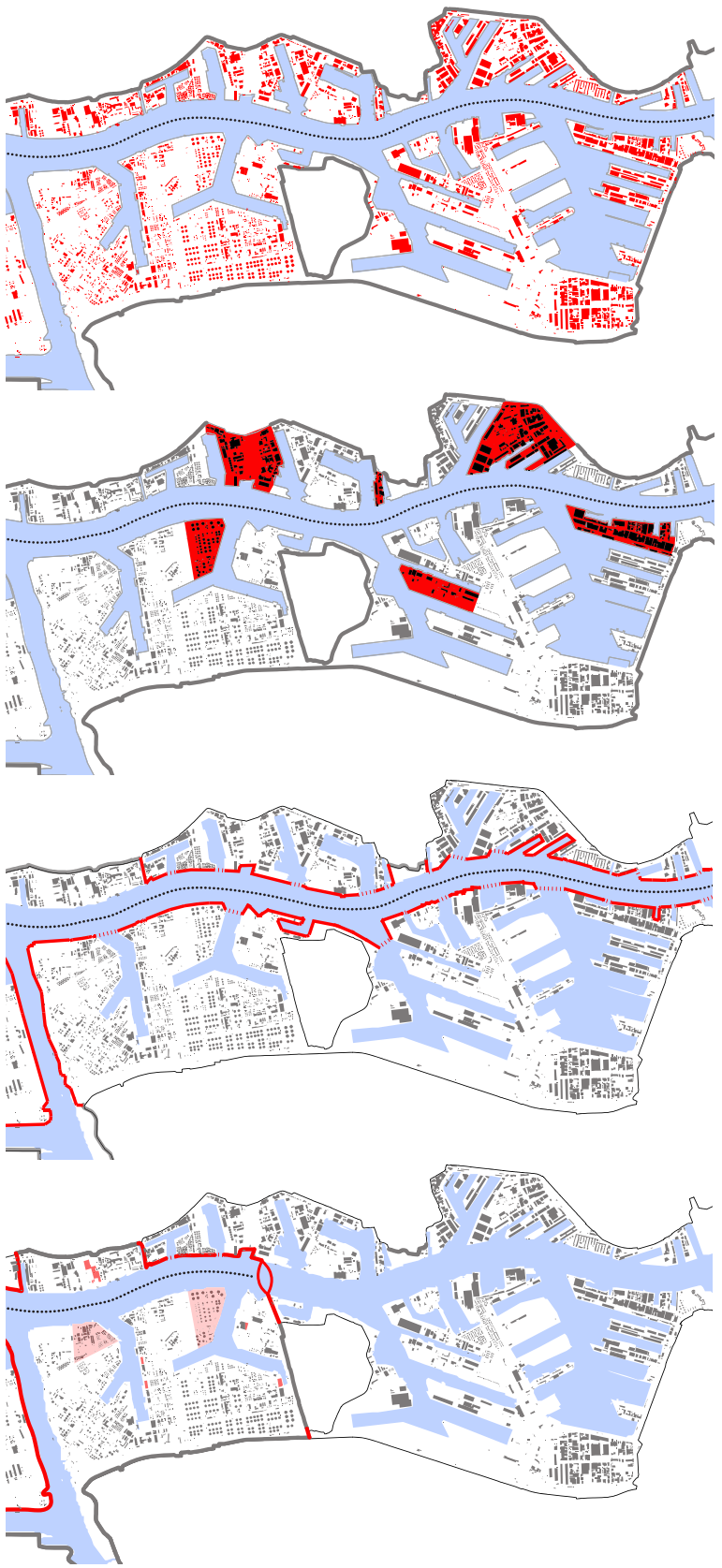


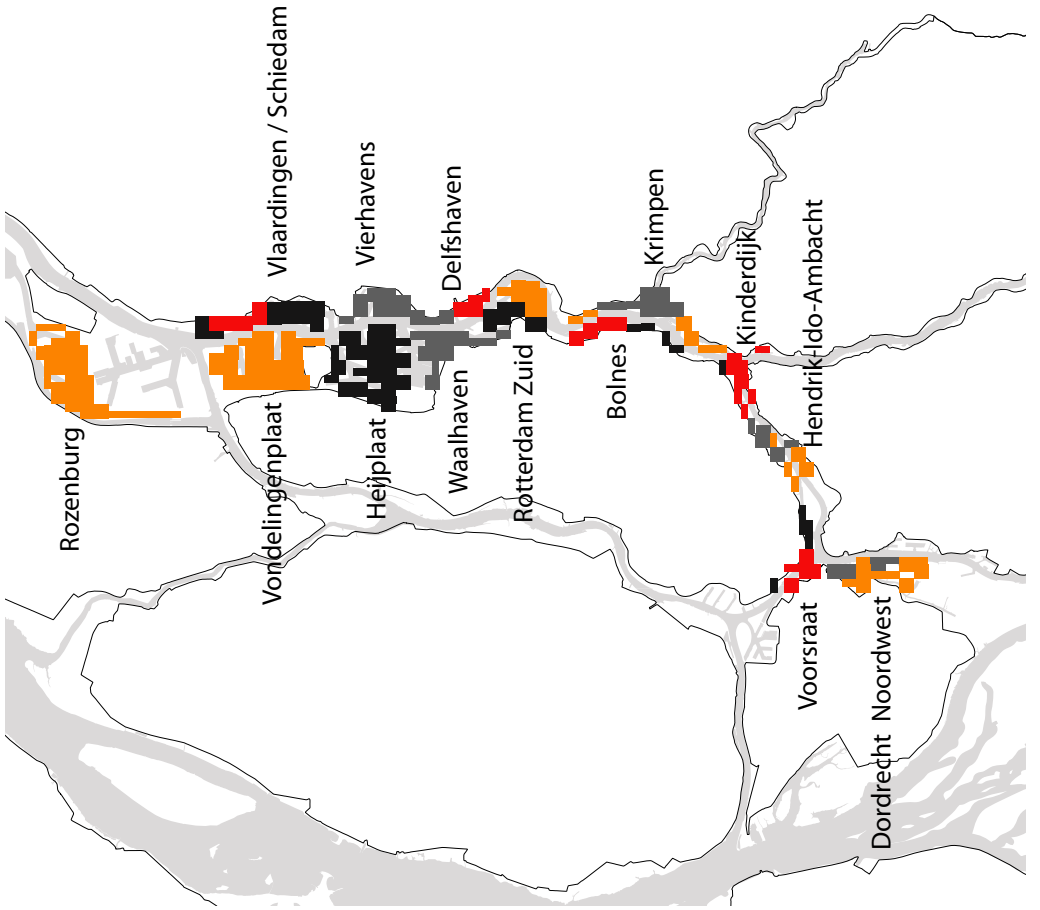


Figuur 4.6: een voorbeeld van een buitendijkse overstromingskaart. De terugkeertijd is hier 100 jaar, het klimaatscenario is 'Veerman 2100'. In de parallelle studie 'waterveiligheid buitendijks' (HSRR02), door Rotterdam Climate Proof, zijn 35 buitendijkse overstromingskaarten gemaakt: met 'EPK100' (voor het huidige klimaat en de 'KNMI-G+-' en 'Veerman' klimaatscenario's), en met 'EPK+RK100' (voor de twee klimaatscenario's), alles met de terugkeertijden 10, 50, 100, 1000, 2000, 4000 en 10.000 jaar. Het is te zien dat er ondanks de Europoortkering nog steeds een risico is. Dit wordt veroorzaakt door de faalkans, het sluitcriterium, het lekken en de kans op te laat sluiten van de twee Europoortkeringen, en door de rivierwateraanvoer, waar de Europoortkering geen invloed op heeft (kaart: $HKV_{LIJN\ IN\ WATER}$).



Figuur 4.7: een schematisering van de kansverdeling van waterstanden in de buurt van een beweegbare hoogwaterkering. De huidige waterstanden in Rotterdam staan onder invloed van de Europoort-stormvloedkering en het is te zien hoe de buitendijkse schade toeneemt met de klimaatverandering zolang het sluitpeil niet wijzigt. In Dordrecht is de invloed van de Europoortkering gering en is er nauwelijks een discontinuiteit zoals in deze figuur. Met de komst van een beweegbare rivierkering in de Merwede kan deze discontinuiteit wel ontstaan en is de buitendijkse schade te reduceren, in een mate die vooral afhangt van het sluitpeil en enigszins van de faalkans.
Dijkprofielen worden gedimensioneerd op waterstanden die zeer zelden voorkomen. De figuur illustreert hoe er geen absolute en kraakheldere hoogtes zijn waarbij een dijk wel of niet doorbreekt, maar dat er sprake is van een 'gevarenzone', met een toenemende kans op doorbreken of 'overtoppen'. Voor de veronderstelde toegevoegde waarde van 'Deltadijken' is het van belang deze gevarenzone nauwkeurig te onderzoeken. In grote delen van de Rijn-Maasmond is overhoogte of 'overdimensionering' aanwezig en daarmee is de dijk deels al een Deltadijk. Overigens kan een 'normale dijk' ook een Deltadijk worden door de maatgevende waterstand te verlagen met een beweegbare hoogwaterkering.





figuur 4.8: inzicht in buitendijkse risico's en mogelijke aanpassingsmaatregelen is te verkrijgen door het bepalen van de aanwezige functies en de overstromingsdieptes (zie de vorige pagina's) en vervolgens het onderzoeken van de herstructurerings-plannen en de lokaal haalbare waterbestendige maatregelen. Bovenstaande kaart toont buitendijkse gebieden die zullen overstromen zonder aanvullende maatrege-len (zoals waterberging in Zeeland of aanpassingen aan de Maeslantkering) in het 'Veerman'-klimaatscenario, onderverdeeld in stadsdelen waar herstructurering wel en niet gepland is (kaart: Defacto Architectuur en Stedenbouw).

figuur 4.9a-d: principes voor het aanpassen van buitendijks gebied: maatregelen op gebouwniveau en blokniveau, het rivierwaarts verleggen van de bestaande pri-maire kering om het buitendijks gebied heen, gebruik van een dam of beweegbare kering. De schetsen zijn indicatief en niet ontwerpend (figuren: Defacto Architec-tuur en Stedenbouw).

4.3 Buitendijkse risico's

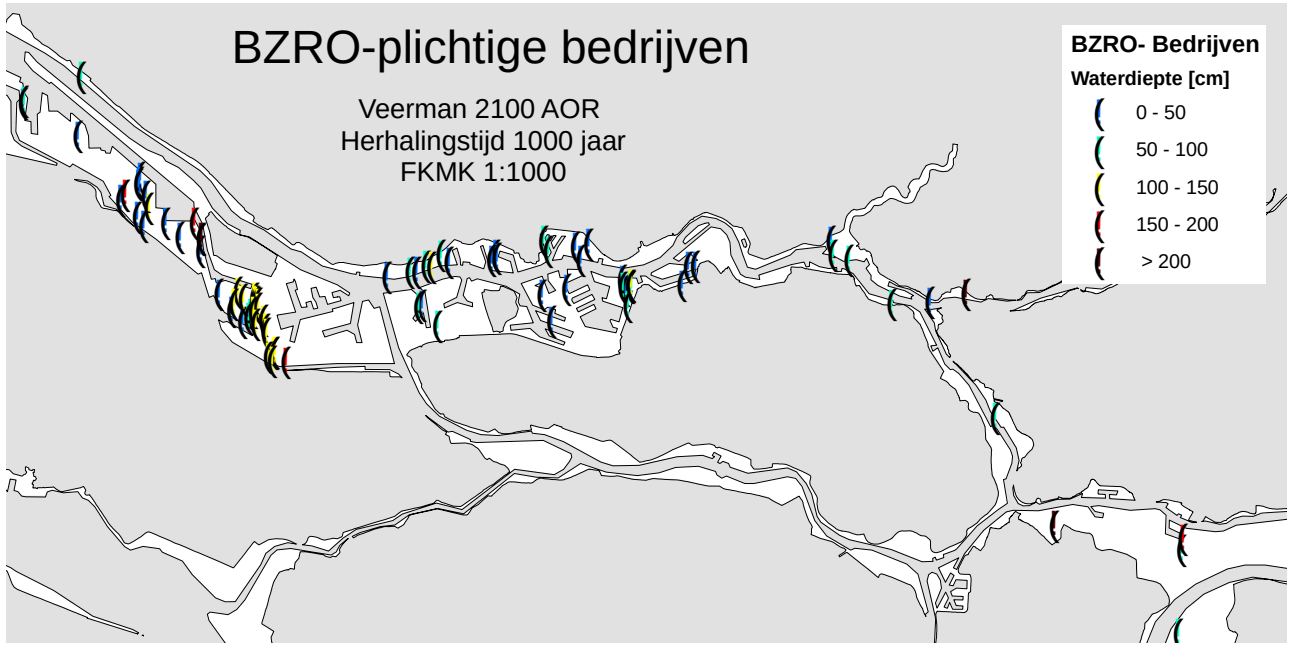
Buitendijkse overstromingsschade is in drie stappen te berekenen. Om te beginnen zijn de waterstanden nodig, met een bepaalde terugkeertijd (hoe groter de terugkeertijd, hoe hoger de waterstanden), een klimaatscenario en een gegeven alternatief (bijvoorbeeld 'EPK1000', inclusief het sluitcriterium voor de Europoortkering). De tweede stap is het bewerken van een buitendijkse hoogtekaart op overstromingen[51] - de overstromingsdiepte is het verschil tussen de waterstand en de hoogteligging van een stukje buitendijks blootgesteld gebied. Als derde is de kwetsbaarheid van de aanwezige functies van belang; een braakliggend terrein mag gerust overstromen terwijl een ondergelopen chemische fabriek of metro ingang veel schade geeft. Het totale risico is de gesommeerde schade gedeeld door de bijbehorende terugkeertijden.

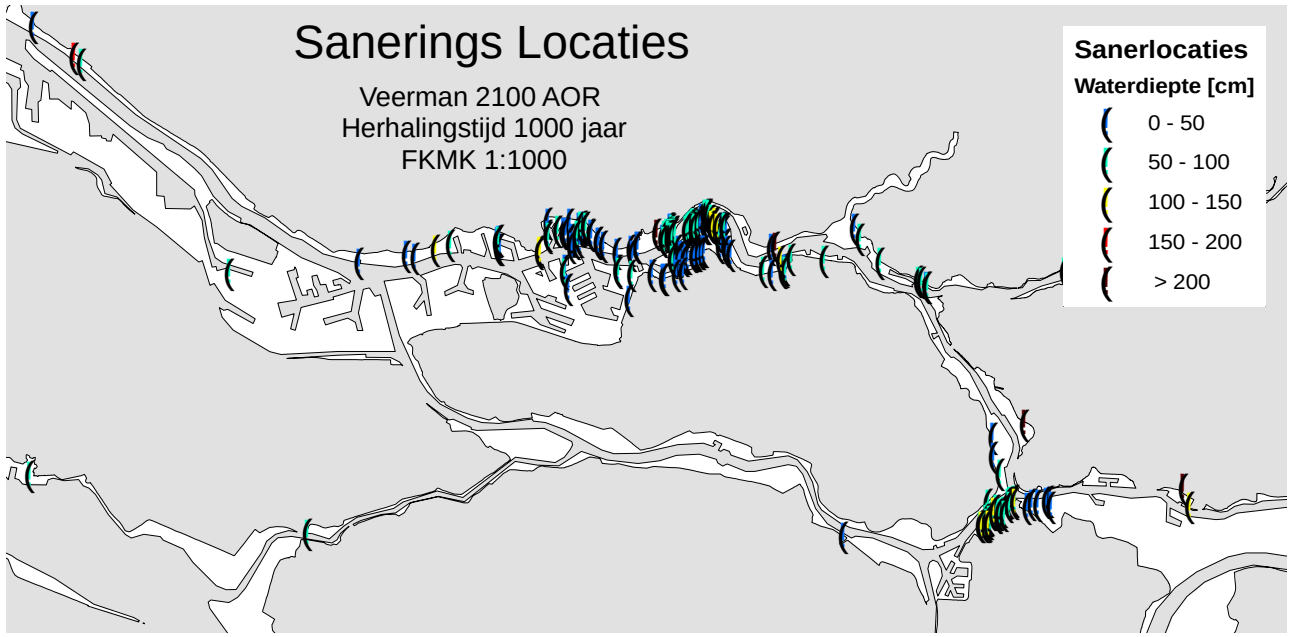
De 'integrale verkenning Afsluitbaar Open Rijnmond' heeft voor de risico's een aantal recente studies bestudeerd en gebruik gemaakt van de resultaten van het parallelle onderzoek 'waterveiligheid buitendijks', door Rotterdam Climate Proof/Kennis voor Klimaat. Tabel 4.10 toont een overzicht van deze studies, die zich vooral hebben gericht op de drie overstromingsrisico-stappen, en minder op herontwikkeling, buitendijkse aanpassingen en de kwaliteit van adaptief bouwen[52]. Twee deelonderzoeken binnen de integrale verkenning hebben buitendijkse milieurisico's onderzocht[53] en een ontwerpend onderzoek gedaan naar buitendijkse aanpassingen bij een terugkeertijd van duizend jaar[54].

De evaluatie van het sluitingsregime van de Maeslantkering (door Rijkswaterstaat Zuid-Holland) becijferde een overstromingsrisico van tussen de 1 en 2 miljoen euro in 2007, maar verwacht dat het werkelijke risico lager is door onder andere lokale adaptatiemaatregelen. Dit

Studie	Opdrachtgever	Jaartal	Water-standen	Hoogte-kaart	Kwets-baarheid	Grens adaptief bouwen	Percentage herontwikkeling
Systeemanalyse Rijn-Maasmonding[69]	Rijkswaterstaat Zuid-Holland	2008	Nauwkeurig	Nauw-keurig	Indicatief	Niet	Niet
Evaluatie sluitingsregime Maeslantkering[70]	Rijkswaterstaat Zuid-Holland	2009	Nauwkeurig	Nauw-keurig	Indicatief	Niet	Niet
De toekomst ligt buitendijks[71]	Explorelab Provincie Zuid-Holland	2009	Indicatief	Indicatief	Indicatief	Niet	Indicatief
HSSR02[72]	Rotterdam Climate Proof	2010	Zeer nauwkeurig	Zeer nauwkeurig	Nauw-keurig	Niet	Niet

Tabel 4.10: bestudeerde buitendijkse Rijnmond studies buiten 'afsluitbaar open Rijnmond – een integrale verkenning '. In de kolommen staat welke aspecten van de buitendijkse situatie het betreffende rapport beschrijft. Het op handen zijnde onderzoeksproject 'adaptief bouwen' van Rotterdam Climate Proof gaat nader in op de rol van herontwikkeling en de invloed van de ruimtelijke kwaliteit van adaptief bouwen op de haalbaarheid van maatregelen om de kwetsbaarheid van het buitendijks gebied te verminderen.





Figuur 4.11: buitendijkse milieurisico's. In Nederland kunnen bedrijven met een bepaalde hoeveelheid gevaarlijke stoffen vallen onder de werking van het Besluit Risico's Zware Ongevallen (BRZO), dat drempelwaarden voor diverse gevaarlijke stoffen en stofcategorieën bevat. Als deze bedrijven en ook bodemsaneringslocaties overstromen kunnen milieuverontreinigingen zich door het water verspreiden. De kaarten tonen het alternatief mét de rivierkeringen en de Europoortkering met beide een faalkans van 1/100, bij een herhalingstijd van 1000 jaar. Bij het huidige sluitregime en de huidige faalkans van de Europoortkering blijven er dus milieurisico's bestaan (figuren RIVM).

wordt beaamd door de recente studie van Rotterdam Climate Proof, die zeer gedetailleerde overstromingsdieptes en kwetbaarheidsfuncties gebruikte en de gemiddelde jaarlijkse schade momenteel inschat op 158.000 euro per jaar. Het Veerman scenario zal dit ongeveer vertienvoudigen. De invloed van een verkleinde faalkans van de Europoortkering en eveneens van de rivierkeringen is beperkt: tussen 15 en 20%. De grootste invloed op het buitendijkse risico hebben de sluitpeilen van de beweegbare hoogwaterkeringen, en die zijn bij de waterstandsberekeningen vastgesteld op het huidige sluitpeil van de Europoortkering. Dit is momenteel 3,00 meter voor Rotterdam en 2,90 m voor Dordrecht; dit is gelijk aan het Dordtse toetspeil, wat de geringe invloed van de rivierkeringen op het buitendijks risico in Rijnmond-oost zou kunnen verklaren[55].

In alle studies bestaat het overgrote deel van het buitendijkse risico uit schade met een terugkeertijd van 10 jaar. Het betreft waarschijnlijk storm-rivierafvoer combinaties waarbij de Europoortkering nog open is. Dit zal vaker voorkomen bij een stijgende zeespiegel. Het is daarom raadzaam om het sluitregime van de Europoortkering en eventuele aanvullende rivierkeringen aan een nader onderzoek te onderwerpen, waarbij de nadelige effecten van hoge sluitfrequenties voor de scheepvaart het 'contragewicht' vormen tegen het buitendijkse overstromingsrisico (zie ook de gestreepte peilen in het diagram op de omslag).

Het buitendijkse risico is ook te verminderen met lokale adaptieve maatregelen. Het stedenbouw onderzoek binnen deze studie deed een ontwerpende oefening[56] waarin het buitendijks gebied beschermd moet zijn tegen waterstanden met een terugkeertijd van 1000 jaar. Het blijkt dat dit beschermingsniveau bij de twee klimaatscenario's aanzienlijke aanpassingen in het buitendijks gebied vereist op blokniveau, kavelniveau, op 'bekken'-niveau (zie figuren 4.9a-c), of met een extra rivierkering (figuur 4.9d).

Een speciale rol speelt de milieuschade. Het RIVM bekeek onder andere buitendijkse saneringslocaties en bedrijven die met gevaarlijke stoffen werken ('BRZO-plichtige') bedrijven. Deze bevinden zich verspreid over het gebied, vooral in Rotterdam en Dordrecht; zie figuren 4.11 voor de resultaten.

Het blijkt dat de hoogteligging, kwetsbaarheid en herstructurering van het buitendijks gebied lokaal sterk varieren. Het meest 'problematisch' zijn relatief laaggelegen gebieden met kwetsbare functies waar geen herstructurering wordt verwacht. Kaart 4.8 toont het buitendijkse ruimtegebruik en geeft een indicatie van laag gelegen gebieden die wel en die niet herstructureren op de middellange termijn.

Het wordt ook wel eens geopperd om de Rijn-Maasmond volledig af te dammen. Het systeem moet dan nog altijd voldoende rivierwater kunnen afvoeren en kunnen bergen bij een storm op zee, maar een dam in de Nieuwe Waterweg of Nieuwe Maas zou de dijken aanzienlijk ontlasten. Het buitendijks gebied zal karakter verliezen maar voordelen terug krijgen. Dammen zijn echter een gruwel voor de scheepvaart en het schrikbeeld voor vismigraties en andere ecologische stromen.

CB
HANDELSONDERNEMING
BEERENS B.V.
Brijder Versluis
Concordia
TRANSITO
BEATRIXHAVEN
WERKENDAM

4.4 Scheepvaart en ecologische stromen

Voor de ruim honderdduizend binnenvaartschepen die elk jaar van de Maasvlaktes en de Europoort naar het achterland varen is de sluiting van de Maeslantkering minder bedreigend dan wel eens wordt gedacht. Driekwart van deze vloot vaart momenteel door het Hartelkanaal en het Calandkanaal richting de Oude Maas, en passeert dus niet de Maeslantkering maar de Hartelkering. Voor zeeschepen is de Measlantkering van grote invloed, elk jaar varen er 25.000 langs. Hiervan houdt bijna 90% koers op de diepe havens van Rotterdam, de rest slaat af naar de Oude Maas, richting de zeehavens van Dordrecht en Moerdijk.

Het scheepvaartrapport binnen deze studie gebruikt de prognoses voor de onderbouwing van de tweede Maasvlakte om via het jaar 2033 een voorspelling te doen voor de scheepvaart in het jaar 2050. De binnenvaartscheepsbewegingen langs de Hartelkering nemen toe met 60%. De 18.000 binnenvaartschepen die jaarlijks de Maeslantkering passeren groeien met 80%; het aantal passerende zeeschepen blijft ongeveer gelijk omdat de uitbreiding van de zeehavens ten westen van de Maeslantkering plaats vindt.

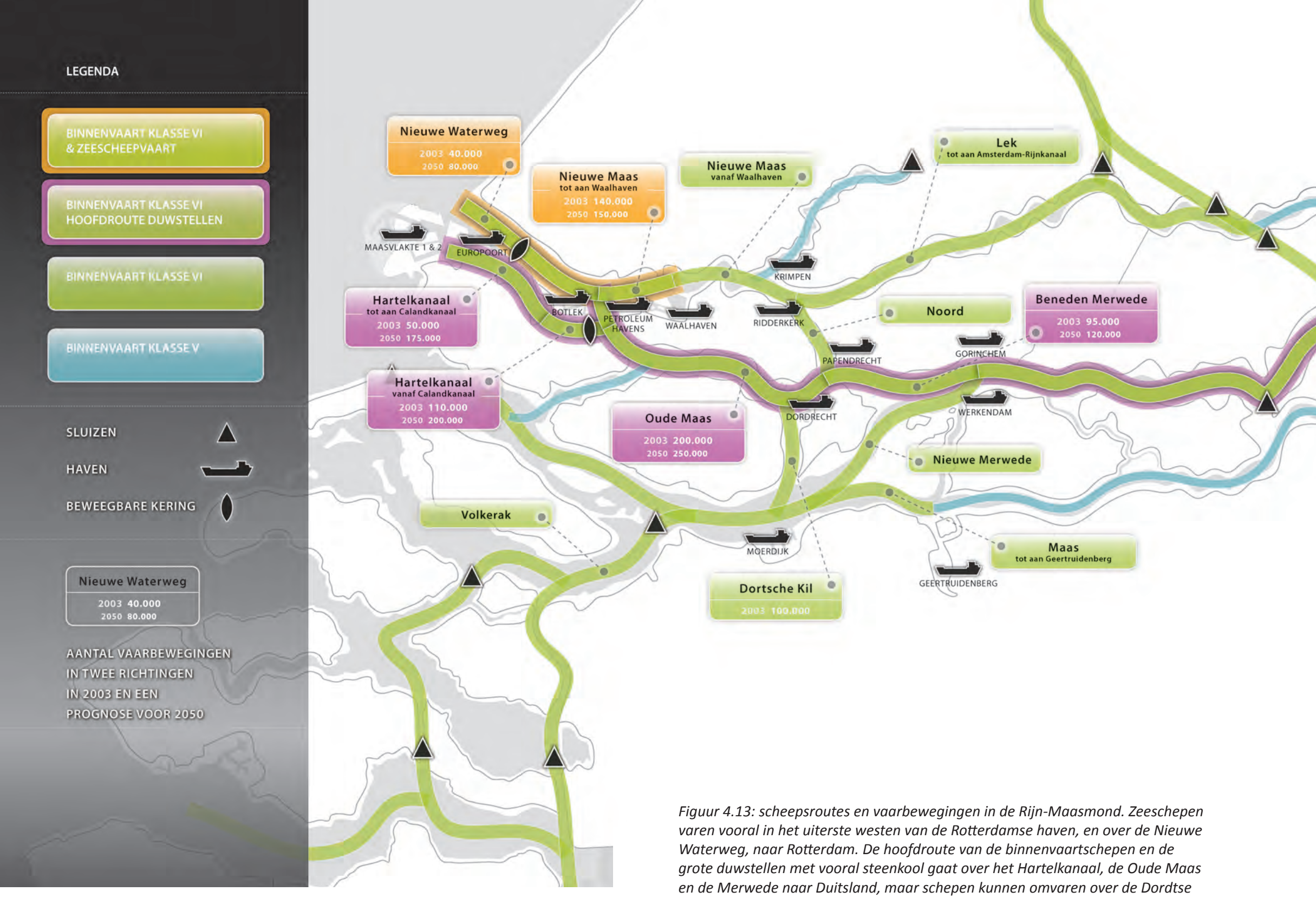
Als in één van de vijf alternatieven de Europoortkering sluit, vermindert dit de omzet van de scheepvaart en worden er 'wachturen' in rekening gebracht. Omdat voor alle keringen (stormvloedkeringen én rivierkeringen) de sluitcriteria gelijk zijn en nagenoeg alle schepen één van de keringen zal passeren, is het mogelijk om per alternatief de schade als functie van de sluitingsduur met één kental uit te drukken (dit gebeurt in hoofdstuk 6) – zie tabel 4.12.

Er zijn manieren om deze wachttijd te verminderen. Als het sluitpeil van een beweegbare kering omhoog mag zal deze minder vaak sluiten. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de Hartelkering minder vaak te laten sluiten dan de Maeslantkering (een geopende Hartelkering doet de maatgevende waterstanden ten oosten ervan iets minder snel toenemen dan een open Maeslantkering). Bij de waterstandsberekeningen bleek dat het slim aansturen van de rivierkeringen voordeel oplevert voor de maatgevende waterstanden, en een dergelijke optimalisatie zal ook voor de scheepvaartschade opgaan.

Daarnaast kan bijvoorbeeld het containertransport gebruik maken van het spoor en de weg,

Klimaatscenario	Sluitfrequentie Europoortkering per jaar
Huidig	eens per 12 jaar
KNMI-G+	1x per jaar
Veerman	30x per jaar

Tabel 4.12: sluitfrequentie Europoortkering bij verschillende klimaatscenario's en het huidige 'sluitregime': een voorspelde waterstand van 2,90 m bij Dordrecht en 3,00 m in Rotterdam. De rivierkeringen in deze studie worden met dit regime aangestuurd. Alle scheepsbewegingen passeren één van de beweegbare keringen, dus de schadeverwachting voor de scheepvaart per jaar is met deze frequenties te berekenen (bron: $HKV_{LIJN\ IN\ WATER}$).



Figuur 4.13: scheepsroutes en vaarbewegingen in de Rijn-Maasmond. Zeeschepen varen vooral in het uiterste westen van de Rotterdamse haven, en over de Nieuwe Waterweg, naar Rotterdam. De hoofdroute van de binnenvaartschepen en de grote duwstellen met vooral steenkool gaat over het Hartelkanaal, de Oude Maas en de Merwede naar Duitsland, maar schepen kunnen omvaren over de Dordtse Kil en de Nieuwe Merwede als een eventuele Merwedekering gesloten zou zijn (kaart: Sendra Design Studio).

kunnen bedrijven anticiperen op sluitingen als deze ruim van te voren voorspeld worden en is de schade te verzachten met het aanleggen van sluizen, zoals die nu al langs de Hartelkering en de Hollandse IJsselkering liggen. De scheepvaartstudie toont weliswaar aan dat sluizen met voldoende capaciteit om de gehele vloot te schutten niet rendabel zullen zijn bij beperkte inzetfrequenties, maar wellicht kan één enkele kolk of één complex er af om de schippers met de meeste haast tegemoet te komen.

Hiertegenover staan de indirecte schade voor de logistieke bedrijven en de imagoschade voor de haven in zijn geheel. Het is voor een vervoerder aantrekkelijker om jaarlijks voor 10.000 euro te moeten omvaren, dan elk jaar een kans van 1 op 10 te moeten nemen op tien keer zo veel wachtschade, vanwege de algemene betrouwbaarheid van zijn bedrijf. Voor het havenbedrijf Rotterdam is de volledig open vaarverbinding met het achterland een zwaarwegend argument om overslagbedrijven aan zich te binden.

De meest aantrekkelijke optie om de scheepvaartschade te beperken is om één of meerdere routes zo lang mogelijk open te houden. Dat levert dan wel meerkosten op door omvaren, maar daar kunnen de logistieke ketens beter op anticiperen dan op totale stremming. De route die zich hiervoor het beste leent gaat in ieder geval over de Oude Maas, het tracé waar de grote duwstellen met vooral steenkool over naar het Ruhrgebied varen (zie kaart 4.13).

De scheepvaart is gebaat bij open verbindingen, en dat geldt ook voor ecologische stromen zoals vismigraties en nutriëntenstromen. Deze zijn niet nauwkeurig onderzocht in deze verkenning, maar de verwachting is dat een sluitfrequentie van 30 maal (zie tabel 4.12) per jaar voor ecologische stromen problemen zal geven; minder dan de schade die de dammen in de naburige Zeeuwse wateren hebben gebracht, maar niet te negeren[57].

Scheepvaartschade (voor 24 uur sluiting)		2007	2050
Binnenvaart	aantal geblokkeerde scheepsbewegingen	535	750
	Miljoen € schade door stremming	1,8	2.5
Zeescheepvaart	aantal geblokkeerde scheepsbewegingen	63	63
	Miljoen € schade door stremming	0,75	0,75
Totaal	**Miljoen € schade door stremming**	**2,5**	**3,2**

Tabel 4.14: overzicht schadekosten binnenvaart en zeescheepvaart bij 24 uur stremming door gesloten keringen (huidig prijspeil). Met de verwachting dat de grootte van de schepen zal toenemen en dat het aandeel container- en tankschepen nog iets meer zal groeien ten koste van bulkvaart is dit een optimistische schatting.

Uitkomsten

Alternatief			**EPK100**	**EPK100**		**EPK1000**		**EPK+RK100**		**EPK+RK1000**		**EPK+RK1000**	
faalkans keringen			100	100		1000		100		1000		1000	
	Totale dijk-lengte	Gemiddelde dijkversterkings kosten	2006 Toetspeil	2100 ΔMHW	**Kosten totaal***	2100 ΔMHW	**Kosten totaal***	2100 ΔMHW	**Kosten totaal***	2100 ΔMHW	**Kosten totaal***	2100 ΔMHW	**Kosten totaal***
	(km)	(M€/km/1 m)	(m)	(m)	**(G€)**	(m)	**(G€)**	(m)	**(G€)**	(m)	**(G€)**	(m)	**(G€)**
				Klimaatscenario KNMI G+									
Rijnmond West	130	12	3,6	0,5	**1,1**	0	**0,0**	0,5	**1,1**	0	**0,0**	0	**0,0**
Rijnmond Oost	84	19	3	0,3	**0,7**	0,3	**0,7**	0,1	**0,2**	0,1	**0,2**	0	**0,0**
Hollands Diep	81	9	2,6	0,5	**0,5**	0,5	**0,5**	0,6	**0,6**	0,6	**0,6**	0,5	**0,2**
Haringvliet	86	9	2,5	0,5	**0,5**	0,5	**0,5**	0,6	**0,7**	0,6	**0,7**	0,4	**0,2**
Merwede**	60	16	5,6	0,8	**1,1**	0,8	**1,1**	1,5	**2,0**	1,5	**2,0**	0,5	**0,6**
Lek West**	55	19	4,2	0,1	**0,1**	-0,1	**-0,1**	-0,7	**-1,0**	-0,9	**-1,3**	-0,9	-
totaal					**4,0**		**2,7**		**3,6**		**2,2**		**0,9**
				Klimaatscenario Deltacommissie 2008 ('Veerman')									
Rijnmond West	130	12	3,6	1,2	**2,6**	0,7	**1,5**	1,1	**2,4**	0,6	**1,3**	0,6	**1,3**
Rijnmond Oost	84	19	3,0	0,9	**2,0**	0,8	**1,8**	0,6	**1,3**	0,5	**1,1**	0,3	**0,7**
Hollands Diep	81	9	2,6	1,1	**1,1**	1,1	**1,1**	1,2	**1,2**	1,2	**1,2**	1,0	**1,0**
Haringvliet	86	9	2,5	1,2	**1,3**	1,1	**1,2**	1,2	**1,3**	1,2	**1,3**	1,1	**1,2**
Merwede**	60	16	5,6	0,9	**1,2**	0,9	**1,2**	1,7	**2,3**	1,7	**2,3**	0,9	**1,2**
Lek West**	55	19	4,2	0,5	**0,7**	0,4	**0,6**	-0,2	**-0,3**	-0,6	**-0,9**	-0,6	-
totaal					**9,0**		**7,4**		**8,3**		**6,4**		**5,4**
	a	*b*		*c*	*a x b x c*	*d*	*a x b x d*	*e*	*a x b x e*	*f*	*a x b x f*	*g*	*a x b x g*

Tabel 5.1. Totale dijkversterkingskosten per alternatief en klimaatscenario. In elk alternatief vinden stijgingen van de maatgevende waterstanden ('MHW's') plaats, en daarmee zal de klimaatverandering altijd leiden tot een stijging van de totale dijkversterkingskosten in het gehele gebied. Beweegbare keringen en systeem-uitbreidingen (zoals waterberging in Zeeland) concentreren MHW-stijgingen in gebieden waar de gemiddelde dijkversterkingskosten lager zijn. Zie de kaart in de omslag van dit rapport voor de ligging van de deelgebieden (kolommen 1 en 2). M€ = miljoenen euro's; G€ = miljarden euro's.
** De dijkversterkingskosten per deelgebied zijn een product van de totale dijk-lengte, de gemiddelde dijkversterkingskosten voor 1 meter dijkverhoging in het gehele deelgebied maal de toename van de waterstanden (ΔMHW) maal een fac-tor 1,4 voor de vaste kosten en de golfoploop.*
*** de maatgevende waterstandsdaling op de Lek kan geen 'baten' opleveren. De negatieve post blijft toch staan om de hoge waterstandstoename op de Merwede te compenseren. Er zal geen water van de Lek naar de Merwede gestuurd worden als er nog ruimte op de Lek is.*

5 De overstromingsveiligheid van de Rijn-Maasmond

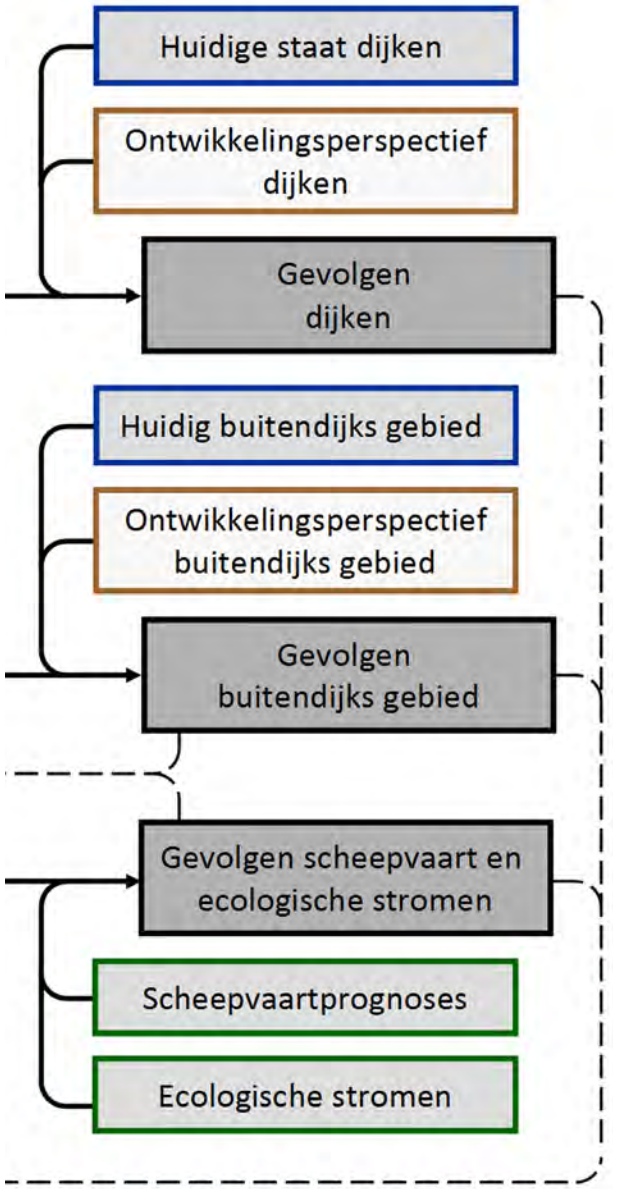
5.1 De alternatieven onderling vergeleken

Het idee achter de rivierkeringen uit de tekening in het rapport van de Deltacommissie is om de waterstandsverhogingen als gevolg van de klimaatverandering te beperken en te concentreren in waterlichamen waar een verhoging minder vervelende ruimtelijke gevolgen heeft. Wat is vervelend? Deze studie zette een paar stappen in de richting van een grondige inventarisatie.

De eerste stap gaat uit van de veronderstelling dat op termijn van een eeuw een verhoging van de maatgevende hoogwaterstand voor dicht bebouwde dijken kostbaarder is dan voor 'kale grasdijken'[58]. De stedenbouwkundige analyse heeft de dijklengtes opgemeten en elk deelgebied een gewogen dijkverhogingskostenkental gegeven. Dit vermenigvuldigd met de waterstandsverhoging en gesommeerd voor alle deelgebieden geeft een indicatie voor de dijkverhogingskosten - zie tabel 5.1. Door de overhoogte in het gebied is dit een bovengrens, maar bij nieuwe normen wellicht niet meer. Omdat het gaat om een vergelijking tussen de alternatieven en inzicht in het systeem volstaat het prijspeil van 2010.

Volgende stappen zijn het betrekken van de huidige overdimensionering van dijktracés (waaronder 'overhoogte' van de kruinen) en van andere functies die problemen ondervinden door hogere waterstanden, zoals kunstwerken en het identificeren van bebouwde lage dijken, lage dijken met veel onzekerheid over de samenstelling of anderszins stedenbouwkundig als problematisch beschouwde dijken. Dergelijke knelpunten zullen een belangrijke rol spelen, maar de gemiddelde dijkverhogingskosten geven inzicht in het systeem als geheel.

In tabel 5.1 is te zien dat Rijnmond West een min of meer onafhankelijke regio is waar de Europoortkering zorgt voor een aantrekkelijke reductie van de waterstanden ten opzichte van de andere deelgebieden, omdat Rotterdam een hoge bebouwingsgraad heeft. Het idee van de rivierkeringen is om de waterstanden te reduceren in Rijnmond Oost ten koste van het Hollands Diep en het Haringvliet, en dat pakt inderdaad gunstig uit: Rijnmond Oost kent over 84 km dijk gemiddelde dijkverhogingskosten van 19 miljoen euro per kilometer voor een meter dijkverhoging. Het Haringvliet en Hollands Diep, tellen samen 167 km dijken met overwegend grasdijken. Door het grote oppervlak van Haringvliet en Hollands Diep stijgt het maatgevend hoog water hier minder dan het in Rijnmond Oost daalt. De Merwedekering en de Nieuwe Lek stuwen het water in het deelgebied Merwede echter aanzienlijk op. Door de Nieuwe Lek daalt het water weer in Lek West; deze onmogelijke negatieve kostenpost bijft toch in de tabel staan omdat er in de werkelijkheid geen water van de Lek naar de Merwede gestuurd zal worden als er nog ruimte op de Lek is[59].



Alternatief		Dijken	Buitendijks gebied				Scheepvaart		Middelen	
zie de kaart en de tabel in de omslagpagina voor een beschrijving van de alternatieven		'MHW Kosten'	Schades (terugkeertijd 10 jaar)*	Schades (terugkeertijd 100 jaar)*	Saneringslocaties overstroomd (terugkeertijd 1000 jaar)	BRZO-plichtige bedrijven overstroomd (terugkeertijd 1000 jaar)	Sluitfrequentie per jaar	Schade door stremming**	Bouwkosten	Synergie****
		Miljard €	Miljoen €	Miljoen €	Aantal	Aantal		Miljoen €	Miljoen €	
EPK100	G+	4,0	11	20	148	32	1	4,7	-	niet
	Veerman	9,0	18	40	245	94	30	onacceptabel		
EPK1000	G+	2,7	-	-	-	-	1	4,7	1239***	misschien
	Veerman	7,4	-	-	-	-	30	onacceptabel		
EPK+RK100	G+	3,6	8	16	138	32	1	4,7	850 + de kosten voor de Nieuwe Lek en de verbrede Merwede	redelijk
	Veerman	8,3	15	33	217	87	30	onacceptabel		
EPK+RK1000	G+	2,2	-	-	-	-	1	4,7	850 + de kosten voor de Nieuwe Lek en de verbrede Merwede	redelijk
	Veerman	6,4	-	-	-	-	30	onacceptabel		
'AOR-PLUS'	G+	0,9	-	-	-	-	1	4,7	850 + de kosten voor de Nieuwe Lek, de verbrede Merwede en de extra waterberging in Zeeland	veel
	Veerman	5,4	-	-	-	-	30	onacceptabel		

Tabel 5.2. Een vergelijking tussen de vijf alternatieven voor 2100. Het is nadrukkelijk geen afweging. De alternatieven met de rivierkeringen kunnen beter worden aangestuurd en de 'MHW-kosten' voor de dijken zijn zeer grof berekend, waarschijnlijk een bovengrens en niet uitgezet in de tijd. Ook de buitendijkse schades bevatten nog veel onzekerheden. Bij de investeringen in de dijken en de beweegbare keringen is niet meegenomen wanneer deze gedaan worden; ze dienen om de alternatieven te kunnen vergelijken en niet om een kosten-baten analyse te maken.
** Gebaseerd op gegevens uit de parallelle buitendijkse studie van Rotterdam Climate Proof.*
*** Gebaseerd op het huidige EPK-sluitcriterium en een stremmingsduur gelijk aan de stormduur van 35 uur. Bij een sluitfrequentie van 30 maal per jaar zal er ook schade aan ecologie zijn.*
**** dit zijn de bouwkosten van een tweede Europoortkering, identiek aan de eerste (huidig prijspeil-zie ook tabel 2.1). Zie voor de mogelijkheden voor het verlagen van de faalkans van de huidige Europoortkering de tekstbox op pag 71.*
***** Dit betreft dus synergie met de beweegbare keringen en waterberging en niet de dijken en het buitendijks gebied.*

De werking van de Merwedekering rondom Dordrecht kan nog veel verfijning gebruiken. Figuren 5.3a en b tonen hoe de Merwedekering en de Drechtkering in deze studie de stroming rond het Eiland van Dordrecht beïnvloeden. Figuur 5.3b uit een suggestie voor een slimmere aansturing van de Merwedekering. Het idee is dat deze kering zo veel water van de Waal door laat, dat deze bij de zeeinvloed en de Lek 'opgeteld' gelijk blijft aan de huidige maatgevende waterstand in Dordrecht. Het extra deel van de Waal dat naar het zuiden wordt gestuwd, moeten de Biesbosch en de Nieuwe Merwede opvangen. Hoe verder de zeespiegel stijgt, hoe meer moeite dit zal kosten, maar in de Biesbosch zal daar meer ruimte voor zijn dan in Dordrecht en Sliedrecht (er is zelfs wat voor te zeggen dat frequente hoge waterstanden in een natuur- en recreatiegebied kwaliteit toevoegen, terwijl ze in stedelijk gebied op de zenuwen werken).

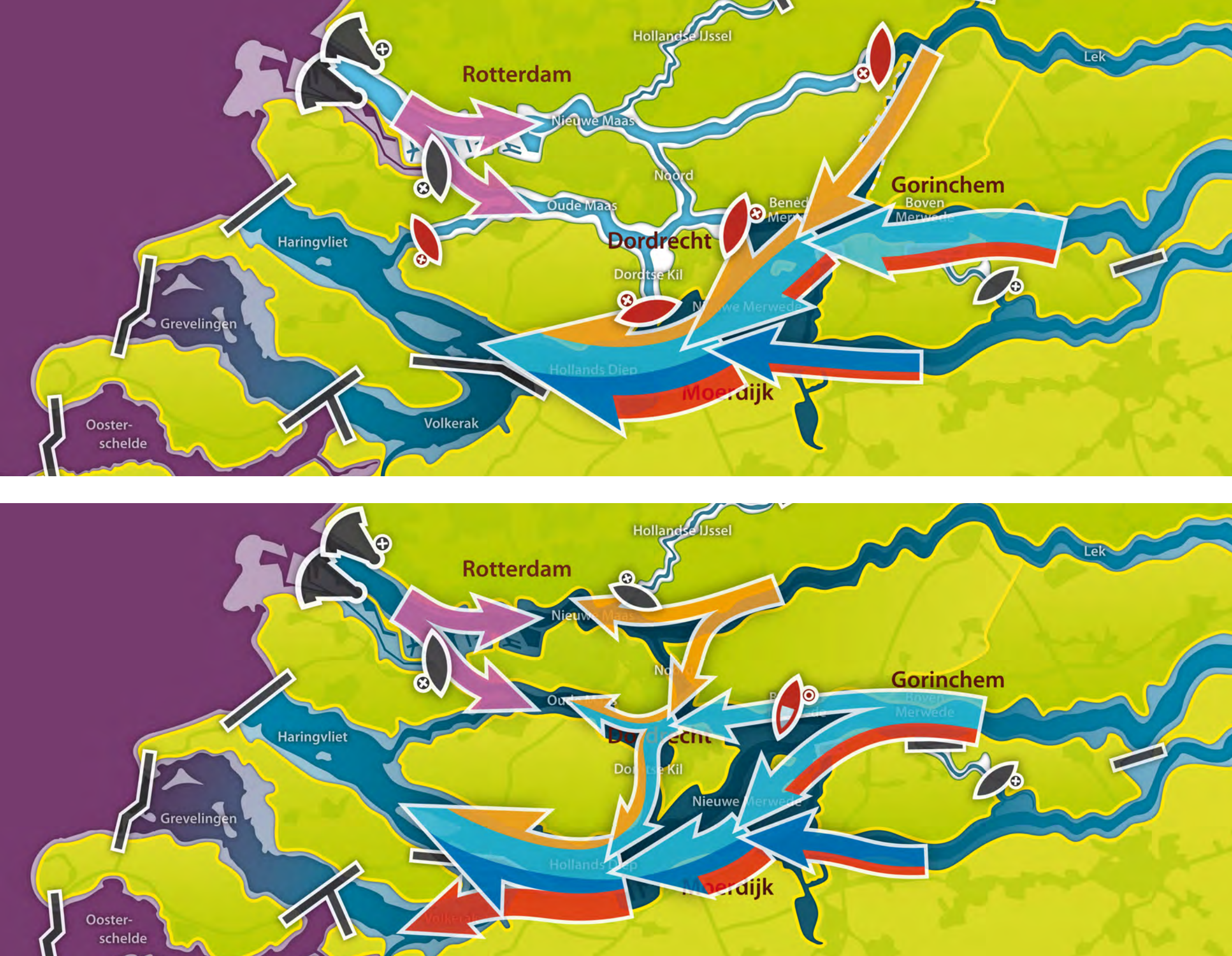
In deze vorm is de Merwedekering echter niet onderzocht. Deze studie bekeek de Europoortkering, de vier rivierkeringen en de Nieuwe Lek tezamen, en extra waterberging in de Zeeuwse wateren. Dit leverde vijf alternatieven, in tabel 5.2 uitgezet tegen de gevolgen. Het vijfde alternatief scoort het beste, maar zo was het alternatief ook samengesteld. Het doel van de tabel is geenszins om een keuze te maken, maar om een methode te tonen, hierover te discussiëren, deze aan te passen en uit te breiden.

5.2 Conclusies, onzekerheden en vervolgonderzoek

Het doel van deze studie in zijn eenvoudigste vorm was om te onderzoeken 'of het plaatje in het rapport van de Deltacommissie een goed idee was' voor de waterveiligheid van Rotterdam en de Drechtsteden.

Rotterdam zal meer gebaat zijn bij een lagere faalkans van Europoortkering dan bij welke andere maatregel dan ook. De vier rivierkeringen en de Nieuwe Lek tezamen bieden pas zinvolle bescherming in de Rijn-Maasmond bij een zeespiegelstijging van ongeveer een meter. Bij een geringere stijging hebben de Spuikering en de Drechtkering weinig nut. Door de afgeleide Lekafvoer is de opstuwing bij Gorinchem enorm. Het stijgende basispeil van de zee en de faalkans van de hoogwaterkeringen zorgen er bovendien voor dat de maatgevende waterstanden binnen de keringen toch nog toenemen ten opzichte van de toetspeilen uit 2006. Bij handhaving van de huidige sluitregimes kan de sluitfrequentie oplopen tot 30 maal per winterhalfjaar, dat is bijna elke week. Het aangepaste watersysteem zoals getekend in het rapport van de Deltacommissie kent dus aanzienlijke bezwaren.

Is er een alternatief denkbaar voor de Rijn-Maasmonding waarbij een meter zeespiegelstijging noch de dijken, evenmin het buitendijks gebied, noch de scheepvaart en de ecologische stromen dupeert? Een betere vraagstelling is hoe de negatieve gevolgen van de klimaatverandering zo lang mogelijk uitgesteld kunnen worden, en hoe ze het eerlijkst te verdelen zijn over de betrokken maatschappelijke sectoren. Er is geen evidente 'beste oplossing' voor de Rijn-

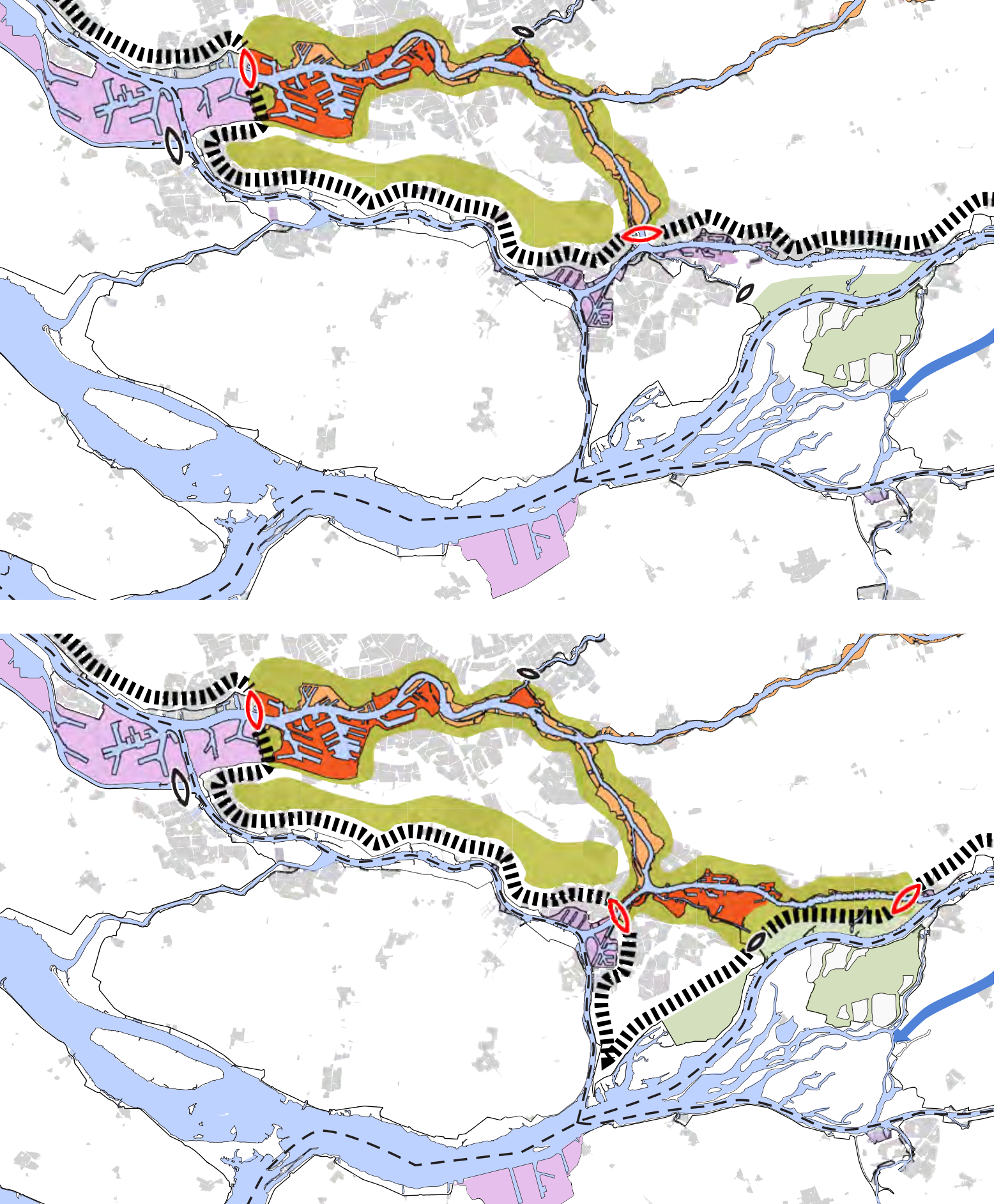

Hollandse IJssel
Rotterdam
Lek
Nieuwe Maas
Noord
Oude Maas
Gorinchem
Boven
Merwede
Dordrecht
Haringvliet
Dordtse Kil
Grevelingen
Hollands Diep
Moerdijk
Volkerak
Ooster-
schelde

Maasmond. In deze studie is gebleken dat onderzoek naar een alternatief als geheel inzicht oplevert in aspecten van het probeem en componenten van de oplossing afzonderlijk. Door deze ontleding geeft een bovenregionale oplossing in de verre toekomst inzicht in lokale urgente knelpunten en bijbehorende regionale oplossingen dichter bij het heden. Waarschijnlijk zal de balans tussen de stedenbouwkundige bezwaren van dijkverhoging, het binnendijkse en buitendijkse overstromingsrisico, de betrouwbaarheid van de binnenvaart en vrije ecologische stromen gedurende de gehele 21ste eeuw voortdurend bewaard moeten worden met maatwerk.

Tabel 5.5 toont de opbouw van het rapport met de conclusies en onderzoeksvragen per onderdeel. De tabel laat zien welke gerelateerde onderzoeksprojecten er nu lopen en wat voor soort onderzoek de vraagstellingen vereisen, van inventarisatie tot ontwerpend onderzoek. Het zal zinvol zijn om een nadere analyse te verrichten naar de overhoogte en de onzekerheid over de opbouw in de diverse dijkensamenstelling in de Rijn-Maasmond. Dit komt aan bod in de projecten Veiligheid Nederland in Kaart en in de dijkentoetsingsronde van 2012.

De beweegbare rivierkeringen zijn ontstaan vanuit de gedachte dat ze de negatieve gevolgen van een zeespiegelstijging eerlijk verdelen over de scheepvaart en de waterfronten. In tabel 5.1 is het effect van de rivierkeringen voor Dordrecht positief maar voor Gorinchem aanzienlijk negatief. Zijn de rivierkeringen dus onaantrekkelijk? Door de statistische complexiteit van de vele mogelijke combinaties van rivierafvoeren, zeewaterstanden, faalkansen en kansen op telaat-sluiten, is een beweegbare kering minder effectief dan op het eerste zicht lijkt. Als beweegbare rivierkeringen uit het beeld verdwijnen zou dat het Rijnmond-vraagstuk aanzienlijk vereenvoudigen. Maar toch: wanneer de Merwedekering functioneert zoals bedoeld stuurt deze het water van de Waal door de ruime Nieuwe Merwede en de Noordwaard naar de bergingsbekkens in het zuiden. Door deze afbuiging blijft een deel van de capaciteit in de smalle oude

Figuren 5.3a-b (5.3a=3.4b) een maatgevende situatie rond Dordrecht. Er is storm op zee en er is bovengemiddelde (maar geen maximale) rivierafvoer. Ondanks de Europoortkering oefent de zee invloed uit door het lekken van de kering of door de kans dat de kering te laat gesloten is.
Bij drie alternatieven in deze studie (zie de tabel in de omslag) werd de afvoer van de Lek geheel omgeleid bij de Rijntakken of langs een 'Nieuwe Lek', met behulp van keringen in de Beneden Merwede en de Dordtse Kil. De figuur toont schematisch de toegenomen benodigde doorvoercapaciteit van de Nieuwe Merwede en de Biesbosch, waardoor de Merwede veel breder uitgegraven zou moeten worden. Dat zal op de middellange termijn niet nodig zijn. Een enkele kering in de Beneden Merwede samen met waterberging in de Zuidwestelijke Delta en een versterkte Europoortkering kan waarschijnlijk het huidige veiligheidsniveau rond Dordrecht verhogen of nog een tijd handhaven als het klimaat verandert, en daarmee dijkversterking en dijkverhoging rond Dordrecht, Sliedrecht en andere Drechtsteden ontzien of 'afzwakken'.
De rode onderkant van de pijlen staat voor extra capaciteit vanwege de klimaatverandering, de wens voor meer veiligheid, of beide.



Figuren 5.4a en b: nieuwe alternatieven 'dijkring 14 langs de Oude Maas' en 'dijkring 14 langs de Oude Maas en onderlangs Dordrecht'. De keringen in deze tekeningen kennen een lage faalkans en een hoge sluitfrequentie, of kunnen zelfs een soort dammen worden. Hiermee ontstaat er een nadrukkelijk stedenbouwkundig verschil tussen het gebied binnen de keringen, en erbuiten. Binnen de keringen zijn de waterrecreatie en het buitendijks bouwen 'intiemer', zoals in de rest van de binnendijkse Randstad (kaarten: Maurits de Hoog en Anne Loes Nillesen).

Zie de volgende pagina's voor nog drie alternatieven en de legenda.

Maas tussen Dordrecht en Zwijndrecht beschikbaar voor doorvoer van de Lek en het accomoderen van de zeespiegelstijging en en dit zal tientallen kilometers dijkversterking in de Drechtsteden vele decennia uitstellen.

Grondige inventarisatie van de overhoogte in de Rijn-Maasmonding en een haalbaarheidsstudie voor de Merwedekering zijn twee aanbevelingen voor de korte termijn. Voor de langere termijn adviseert deze integrale verkenning een diepgaand ontwerpend onderzoek van uiteenlopende maatregelen in verschillende volgordes van uitvoering geprojecteerd in de gehele 21ste eeuw.

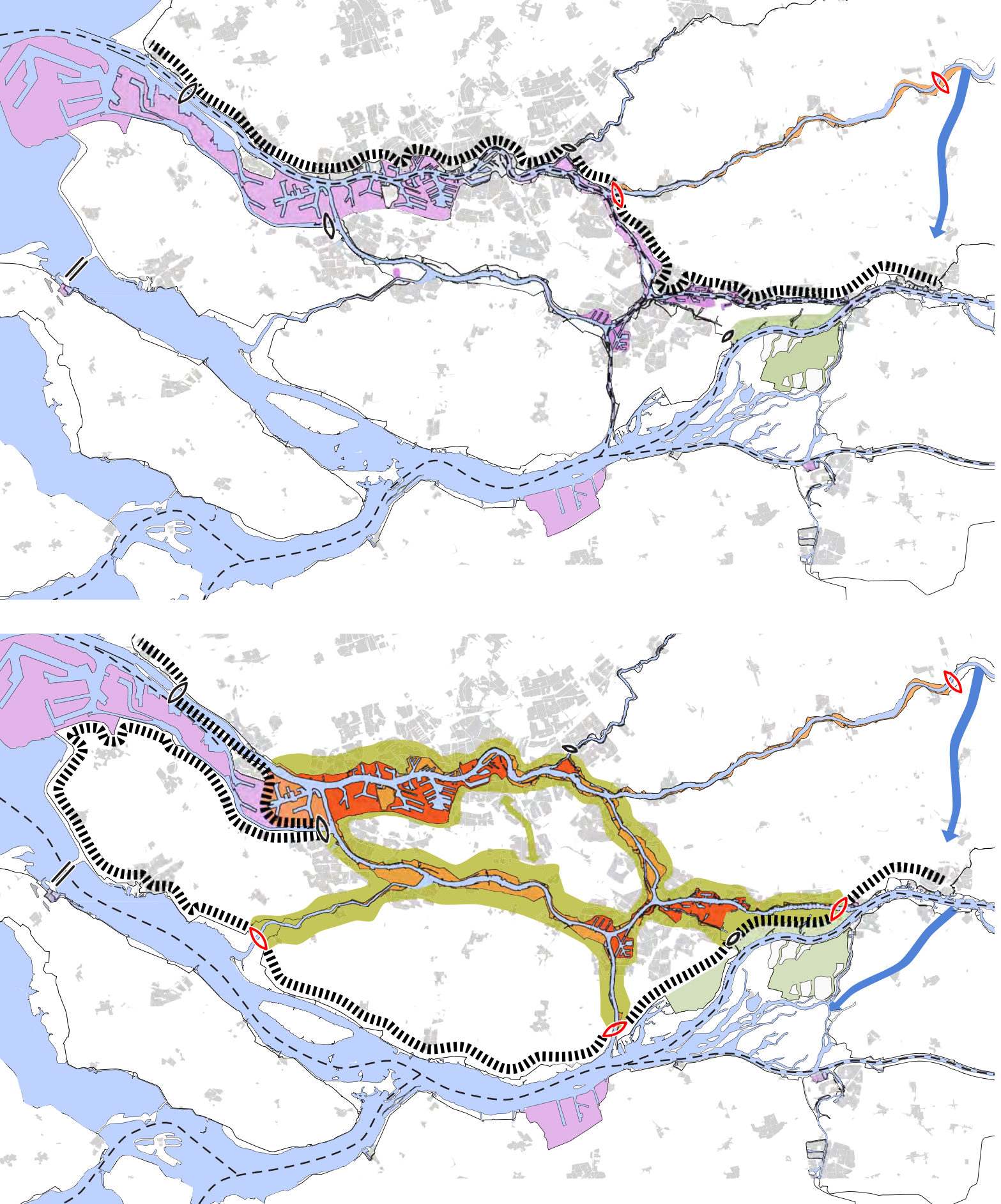
Naar een grote Randstad (prof. ir. Maurits de Hoog)

Om een Groen Hart te behouden werd in de jaren '50 en '60 in het nationale ruimtelijke beleid gekozen voor 'uitstraling' van de Randstad. De sprong over de rivier, die Rotterdam al in de 19de eeuw gemaakt had, kreeg een vervolg in een omvangrijke verstedelijking op het Eiland van IJsselmonde en Voorne-Putten, in de Hoekse Waard en op het Eiland van Dordrecht. Hier wonen nu bijna 800.000 mensen; 60.000 van hen buitendijks. Dit is een complete Delta-stad. Dijken en keringen beschermen de Delta-stad, maar die bescherming is minder goed als binnen 'dijkring 14' in het kerngebied van Holland.

Voor de bescherming van de Rijnmond en de Drechtsteden tegen stormen en hoge rivierafvoeren in de komende eeuw circuleren nu uiteenlopende alternatieven: een Open, Afsluitbaar Open en Gesloten Rijnmond. We focussen snel op verschillen en mogelijkheden tot optimalisering. Het is ook verleidelijk om snel het tijdsaspect als selectiecriterium in de overwegingen te betrekken: wat moet eerst, wat kan later? De ontwikkeling van het klimaat in de komende decennia kan immers noodzaken tot meer of minder ingrijpende maatregelen. Een goed monitoring-systeem is daarom vanzelfsprekend van levensbelang.

Aan dit debat gaat echter de overweging vooraf op welke wijze wij een duurzame bescherming van de Delta-stad als geheel willen aanpakken. Zouden we hier niet dezelfde veiligheidsnormen moeten hanteren als binnen dijkring 14? Of geldt juist hier het adagium van de Deltacommissie 'veiligheid x 10'? Moet 'buitendijks wonen' werkelijk een particulier risico zijn?

Duurzame bescherming van de vitale stedelijke functies in het buitendijks gebied en in de Delta-stad als geheel kan leiden tot een heel ander type afwegingen en ontwerpopgaven. Handhaven wij een doorgaande scheepvaartroute langs Dordrecht en over de Merwede? Hoe kan het buitendijks gebied van Dordrecht adequaat beschermd worden? Blijft het Dordtse Groothoofdsplein de mooiste stedelijke ruimte van Nederland? Wat worden de recreatieve kwaliteiten van de Delta-stad?



Figuren 5.4c-d: twee sterk uiteenlopende alternatieven. Links boven: openhouden van de Rijn-Maasmond. Veel dijken worden rivierwaarts verlegd en havens worden lokaal afgesloten. Links onder: het gebied grootschalig afsluiten met 'dam-achtige beweegbare keringen' of 'beweegbare kering-achtige dammen'. Dijkring 14 breidt uit en de Randstad omarmt IJsselmonde en de Drecht-steden.

Figuur X5.4e: het alternatief in 5.4d zal de Rotterdamse haven hinderen. Het concept op de rechterpagina ontsluit het Hartelkanaal daarom met het zuiden en oosten via een nieuw kanaal langs de huidige Bernisse (een idee ontleend aan 'Blauw Bloed', door Kuijper Compagnons, EO Wijers inzending 2008).

Concepten: Maurits de Hoog en Anne Loes Nillesen, TU Delft. Kaarten: Defacto Architectuur en Stedenbouw.

LEGENDA

- Bestaande beweegbare kering
- Nieuwe beweegbare kering
- ‘Groot-dijkring 14’
- Open scheepvaartroute
- Systeemuitbreiding
- Bedrijven bereikbaar met open scheepvaartroute
- Buitendijks beschermd gebied
- Buitendijkse herontwikkeling
- Natuur/recreatie binnen de kering
- Natuur/recreatie buiten de kering

Middelen	Conclusie	Onzekerheden	Soort vervolgonderzoek	Gerelateerde recente of lopende onderzoeken
Europoortkering	Cruciaal voor Rijnmond west en rest Rijnmond	Hoe is de faalkans te verkleinen?	Waterstandsanalyses, waterbouwkundig, stedenbouwkundig en architectonisch ontwerp, faalkans analyses	
		Idee: Nieuwe Waterweg dicht, Hartelkanaal afsluitbaar open?		
Merwedekering	Wellicht oplossing voor dicht bebouwde dijken Beneden Merwede en Dordrecht	Hoe kering inpassen, hoeveel dijkversterking aansluitende dijken nodig? Kering niet open/dicht maar 'afknijpend'?	Waterstandsanalyses, waterbouwkundig ontwerp, faalkans analyses	Delta Interventions[80]
Spuikering	Discutabel	Bij welke klimaatomstandigheden zou de kering nut hebben?	Waterstandsanalyses	
Drechtkering	Waterberging in Zeeland stelt nut kering uit	Lange termijn: wellicht kering tussen Dordrecht en Zwijndrecht beter om oude Maas open te houden voor scheepvaart?	Waterstandsanalyses, waterbouwkundig, stedenbouwkundig en architectonisch ontwerp	Delta Interventions
Beweegbare keringen algemeen	Stormvloedkering altijd nuttig, nut rivierkering ingewikkelder	Hoe verhoudt zich de voorspelfout tot de faalkans, hoe zijn de faalkansen te reduceren,?	Faalkans analyses, waterbouwkundig ontwerp	KvK2-flexibele keringen[81]
		Wat is de schade aan ecologische stromen bij hoge sluitfrequenties?	Waterstandsanalyses, ecologische analyses	
	Veel kansen voor synergie	Leuk voor conceptontwerpers, maar willen lokale partijen het ook?	Betrekken lokale partijen, verder ontwerpen	
	Denk ook richting dam	Hoe ingrijpend zijn dammen?	Waterstandsanalyses, enzovoort	
Nieuwe Lek + Lexmondkering	Kosten-baten Twijfelachtig, misschien meer nut op lange termijn	Arnhemkering+bypass Werkendam wellicht beter idee?	Waterstandsanalyses, landschaps ontwerp, waterbouwkundig ontwerp	
Waterberging Zuidwestelijke Delta	Nuttig voor Rijn-Maasmond zuid en oost	Wat zijn de kosten en de baten van aanschakeling van de diverse bekkens?	Onderzoek, ontwerp	Startnotitie MER 2009[82] Planstudie gereed 2011[83]
Waterstanden	**Conclusie**	**Onzekerheden**	**Soort vervolgonderzoek**	**Gerelateerde recente of lopende onderzoeken**
Toename waterstanden	Met keringen en waterberging huidige waterstanden in G+ deels te handhaven, bij Veerman scenario lastig	Stormduur, stormopbouw, golfwerking, afvoerverdeling, gedrag water rond splitsingspunten	Hydraulisch 'diepte'onderzoek	
Werking keringen in de modellen	Slimmere aansturing keringen kansrijk	Invloed onzekerheid in belastingsfactoren op slimme aansturing		

Gevolgen	Conclusie	Onzekerheden	Soort vervolgonderzoek	Gerelateerde recente of lopende onderzoeken
Dijken	Veel overhoogte verspreid over regio	Niet alleen overhoogte maar ook 'overdimensionering', Zetting in de 21ste eeuw	Inventarisatie, onderzoek	Toetsingsronde 2012[84] VNK[85]
	Lokaal hoge bebouwingsgraden	Veiligheid bebouwde dijken en kunstwerken		
		Waar en hoe vindt herontwikkeling plaats?	Stedenbouwkundig en architectonisch onderzoek & ontwerp	Delta Interventions, RCP inpasbare dijken[86],
		Waar gaan de normen wijzigen?	Onderzoek, beleidskeuze	WV21[87] Normeringsstudie [88]
Buitendijks gebied	Overstromingsrisico gereduceerd door beweegbare keringen maar blijft aanwezig	Wat zijn de lokale overstromingsrisico's precies	Inventarisatie, onderzoek	RCP waterveiligheid buitendijks[89],
		Waar vindt herontwikkeling plaats, en hoe?	Stedenbouwkundig onderzoek & ontwerp	RCP adaptief bouwen[90], Delta Interventions
	Sluitregime heeft meeste invloed op grote overstromingskansen, faalkans op kleinere kansen	Wanneer en hoe zouden de sluitpeilen voor de bestaande en eventuele nieuwe in de 21ste eeuw kunnen wijzigen?[91]	Waterstandsanalyses, risicoanalyses	
Scheepvaart	Betrouwbaarheid scheepvaartroutes belangrijker dan kans op schade	Wat zijn de gespecificeerde schaderisico's en betrouwbaarheidsrisico's per nieuw alternatief?	Onderzoek	
		Wat is de 'dempende' werking van toegevoegde sluizen?	Onderzoek en waterbouwkundig ontwerp	
Ecologische stromen	Ook schade bij hoge sluitfrequenties	Wat zijn de ecologische stromen en wat zijn de schades?	Ecologisch onderzoek	

Tabel 5.5 - de conclusies en de onzekerheden opgesomd conform de structuur van de systeembenadering: middelen, waterstanden en gevolgen. Waterstands-analyses staan centraal in het gesuggereerde benodigde vervolgonderzoek. De kolom met gerelateerde lopende onderzoeken is uiteraard onvolledig en moet aangevuld worden met op handen zijnde onderzoeksprojecten, zoals onderzoek dat het Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden zal gaan verrichten.

5.1 Reflectie

Tabel 5.5 stelt voor om de alternatieven te variëren, en de waterstandsberekeningen en de gevolgbepalingen te verfijnen. Na een conceptuele verkenning is het nuttig om niet alleen de verdieping te zoeken, maar ook om even afstand van het vraagstuk te nemen en op de gehanteerde fundamentele benadering te reflecteren. Deze slotparagraaf houdt drie benaderingen om overstromingsveiligheid te vergroten tegen het licht[60].

In deze studie stonden de maatgevende waterstanden centraal[61]. Deze volgden uit de huidige wettelijke overstromingsnormen die eind jaren '50 zijn ontwikkeld in een wetenschappelijke analyse van kansen op overstromingsschades versus de kosten van dijkversterking per dijkring[62]. Ze zijn te beschouwen als de 'grondwet' van de Nederlandse overstromingsveiligheid: de normen zijn op nationaal niveau vastgesteld, worden maar zelden gewijzigd en hebben lokaal grote gevolgen[63]. Ze worden echter niet overal gehaald: het Centraal Planbureau schreef in de kosten-baten analyse voor Ruimte voor de Rivier van 2005 bijvoorbeeld dat de wettelijke maximale overschrijdingsfrequenties in het rivierengebied 'in de praktijk eerder als streefgetal dan als absolute norm dienen'. Er zijn ook dijkvakken en dijkringen met juist een zwaardere bescherming dan voorgeschreven wordt door de geldende norm.

Het normensysteem biedt een nationale meetlat voor de veiligheid, maar is daarmee niet zaligmakend. Enerzijds zijn de normen niet heilig, anderzijds kunnen ze verouderen, juist omdat een normwijziging zo ingrijpend is. Als de huidige 'urgentie' van ingrijpen in de Rijn-Maasmond wordt afgemeten aan de mate waarin het systeem aan de nu geldende normen voldoet, is er in de jaren '50 bepaald wat een halve eeuw later urgent is. Het Deltaprogramma neemt een principebesluit over nieuwe normen in 2011 en beoogt deze in de wet vast te leggen in 2017. Het is de vraag hoe het onderzoek voor de Rijn-Maasmond op deze ontwikkeling moet aansluiten. Het zou bijvoorbeeld interessant zijn om te onderzoeken of de 'dijkring-overschrijdende' beweegbare keringen en de ruimtelijke middelen (zoals waterberging in Zeeland) tot hogere normen in het gebied zouden leiden[64], gegeven dat ze besparen op dijkversterkingskosten en bijkomende baten bieden.

Is het mogelijk om noch op de nieuwe normen te wachten, noch erop vooruit te lopen? Een andere benadering is om niet een zo objectief mogelijke specificatie van de kosten en baten centraal te stellen, maar vooral een 'groots en meeslepende' ruimtelijke visie te formuleren en dat vlammend aan de volksvertegenwoordigers te verkopen om de Nederlandse mondiale koppositie in integrale waterinfrastructuurontwikkeling mee te versterken en veel werkgelegenheid te creëren. 'Meebewegen met de natuur' is zo'n visie: maak zo veel mogelijk Rijn- en Maasmondingen open en laat Nederland daarmee wereldwijd voorop lopen in ecovriendelijkheid. Een ander groots perspectief is bijvoorbeeld om de Zuidwestelijke Delta te verbouwen tot 'de meest geavanceerde delta ter wereld', met een high-tech meetsysteem, regelbare doorlaatmiddelen en verplaatsbare beweegbare keringen, die zo ontworpen zijn dat

de faalkans, de functiecombinaties en de doorlaatcapaciteit voor hoog water, scheepvaart en ecologische stromen eenvoudig aan te passen zijn aan de veranderingen in het klimaat en de samenleving[65]. Op basis van een dergelijk aantrekkelijk beeld geeft het rijk budgetten voor de regio Rijn-Maasmond en deze worden vervolgens ingezet na een debat binnen de waterwereld over de beste invulling van de visie.

Het uitgangspunt 'decentraal wat kan, centraal wat moet' zet de normenbenadering en de 'groots-en-meeslepend-benadering' onder druk. Het is ook mogelijk om afgebakende lokale of regionale projecten te onderbouwen met kosten en uiteenlopende baten, waaronder de overstromingsrisicoreductie van dijkringen die beïnvloed worden door het project, maar ook synergie met andere ruimtelijke doelen en bijvoorbeeld innovatie en kennisontwikkeling. Een dergelijke 'projectenbenadering' zal niet zo zeer gericht zijn op het strikt halen van de overstromingsnormen, maar op het vergroten van de veiligheid (materiele schade, slachtoffers en imago) van een stukje Nederland op zo'n effectief mogelijke manier, met zo veel mogelijk bijkomende baten, gegeven een bepaald budget of tegen voorgestelde kosten. Projectteams zullen op zoek gaan naar de zwakste schakel van een dijkring of cluster van dijkringen omdat daar de meeste veiligheidswinst te behalen valt – voor de Rijnmond bijvoorbeeld de Beneden-Merwede en de westkant van Dordrecht.

Waar de normenbenadering past in de lijn van de 'rationele planning' is de projectenbenadering 'postmodern' omdat het meer ruimte geeft aan subjectieve aspecten als communicatie en organisatie rondom een project, die 'toevallig' heel effectief mogen zijn, als de juiste mensen op het juiste moment samenkomen. In theorie is de projectenbenadering toe te passen zonder een normensysteem[66], maar in de huidige praktijk bieden de normen een bruikbaar en vertrouwd nationaal kader. Binnen de normenbenadering past de projectbenadering uitstekend, omdat de normen wel een veiligheidsniveau dicteren, maar niet op welke wijze de normen gehaald moeten worden.

Het zou wel eens kunnen zijn dat het huidige waterveiligheidsbeleid wordt ontwikkeld vanuit de voorgaande drie benaderingen tezamen. De normen voeden het nationale debat over veiligheidsniveaus, integreren samenhangende regio's en geven houvast aan het dijkenonderhoud. Groots en meeslepende visies motiveren de waterwereld en doen het goed in het buitenland. De projectenbenadering geeft ruimte aan spraakmakende en stimulerende maatregelen en projectteams.

Langs welke lijn of met welke overkoepelende benadering dan ook, de waterinfrastructuur in de Rijn-Maasmond verdient een diepgaande analyse, een breed perspectief en een verre blik. Niet alleen vanwege de kracht van het water en de intensiteit van de ruimtelijke investeringen, ook omdat het van ons analytische en creatieve vermogen het uiterste vergt - en dat is een doel op zich.

Beneden Merwede

Bonus: ‘AOR-SG’

In februari 2008 ging ik met de vakgroep waterbouw van de TU Delft op excursie naar het ‘dijk-in-duin’ project in Noordwijk. Een projectmedewerker vertelde – ik weet de details niet meer precies – dat een bepaald gebouw aan het waterfront op een bepaald moment in de ontwikkeling van de Noordwijkse zeewering van ‘buitendijks’ opeens ‘binnendijks’ werd, en dat de vastgoedwaarde daarmee in één klap tientallen procenten steeg. Een paar weken later reed ik rond langs de dijken van Rotterdam en de Drechtsteden. Op het punt waar de Boven Merwede zich splitst, zag ik voor me dat bij klimaatverandering of strengere normen de enige oplossing zou zijn om het water van de Waal op die plek naar het zuiden te sturen. Die avond zat ik op Google earth te turen naar het gebied. De Waal moet wel af te leiden zijn, maar wat te doen met de Lek? Opeens zag ik een open strook langs de A27 en werd de ‘Nieuwe Lek’ geboren. Tot diep in de nacht maakte ik een tekening waarin de hele ‘Beneden-Lek’, de Beneden Merwede, de Noord en het grootste deel van de Nieuwe Maas volledig werden afgedamd. In Noordwijk had ik immers begrepen dat het omzetten van buitendijks naar binnendijks gebied klinkende munt oplevert! Ik had toen nog onvoldoende besef van de grote diversiteit van het buitendijks gebied en de complexe relatie tussen de buitendijkse ontwikkeling en de waterstandskansverdeling.

Daarna ontstond in een interactie met de vakgroep waterbouw en met het secretariaat en leden van de Deltacommissie het plaatje dat in september 2008 in het Deltacommissierapport belandde. Sindsdien heb ik met honderden mensen over het idee gesproken en begon ik me drie dingen af te vragen: hoe zetten we de verschillende mogelijke maatregelen uit tegen de onzekerheid van de klimaatverandering, hoe zorg je dat er een effectieve vrije uitwisseling op gang komt van ideeen voor fysieke maatregelen en kritiek op uitgangspunten en hoe zorg je dat betrokkenen een kennisniveau bereiken waarmee ze serieus mee kunnen praten.

Ik ben natuurlijk niet de enige die zich deze vragen stelt, maar ik lever graag een bijdrage vanuit mijn achtergrond als productontwerper en mijn affiniteit met visuele communicatie. In maart 2010 verbleef ik een maand in Californië, het mekka van informatie- en communicatietechnologie. Ik bedacht daar de interactieve applicatie ‘AOR-SG’ en werkte dat vervolgens verder uit met Sendra Design Studio.

AOR-SG is een ‘serious game’ waarin spelers budgetten krijgen om in overstromingsveiligheid en bijkomende doelen te investeren. Voordat het spel begint kiest de speler een aantal scenario’s die zijn spelverloop en scores sterk zullen beïnvloeden. Het spel is nadrukkelijk interactief: het wil enerzijds gebruikers gevoel bijbrengen van de werking van het watersysteem, en anderzijds preferenties, ideeën en kritiek aan hen onttrekken om te verwerken in ‘updates’ van de applicatie.

Ik hoop, dat ik dit idee verder kan brengen. Ik denk natuurlijk dat het de veiligheid in de Rijn-Maasmond ten goede zal komen, en het is geweldig om daaraan te werken. Maar ook denk ik dat het inzicht zal geven in democratisering van maatschappelijke vraagstukken en subjectiviteit van waarheid, waar ik veel belangstelling voor heb.

Ties Rijcken, Molenpolder 2010

DANKBAARHEID

DANKBAARHEID

AOR-SG

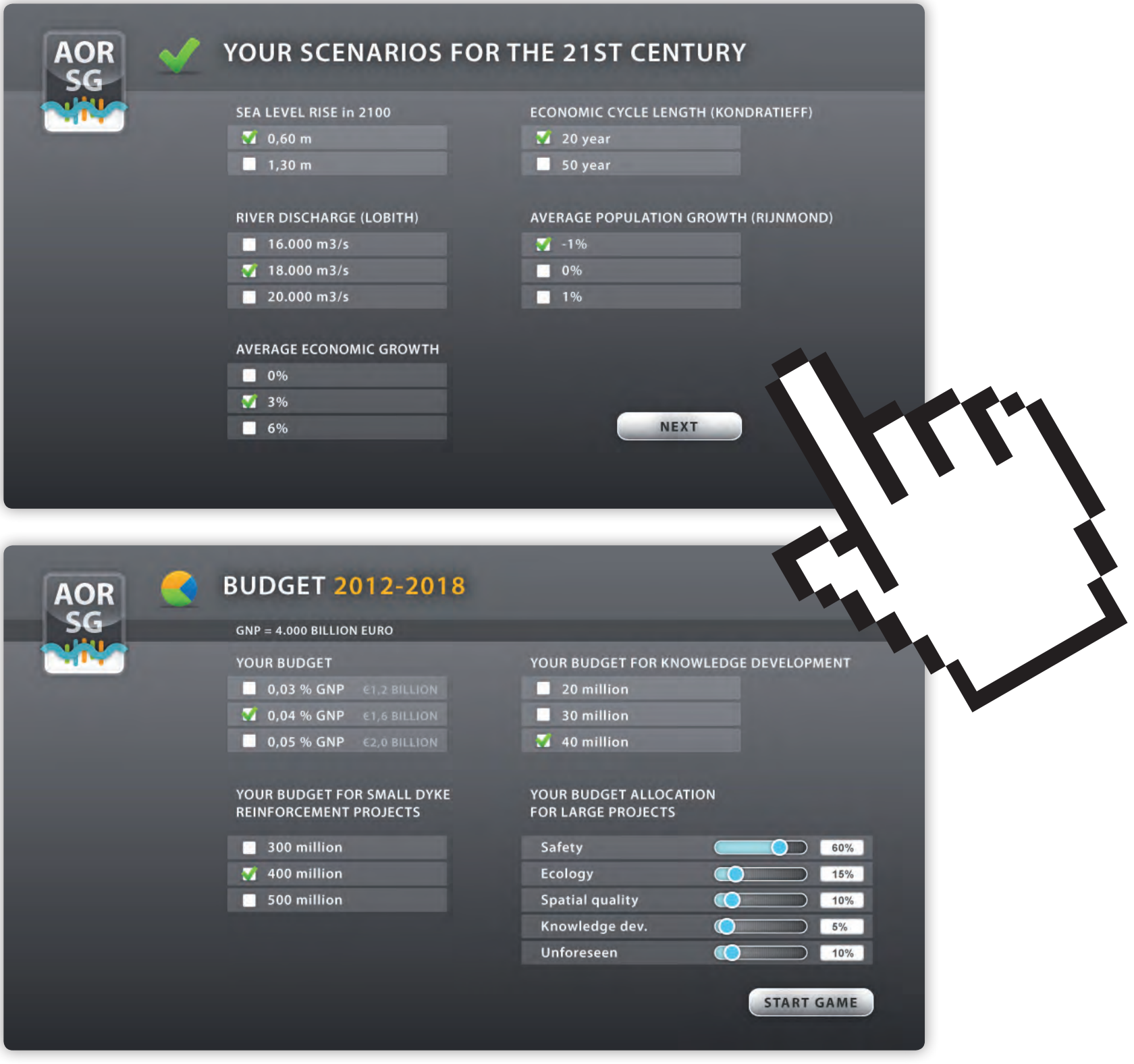
demo stills

AOR
SG
DEMO
LOADING

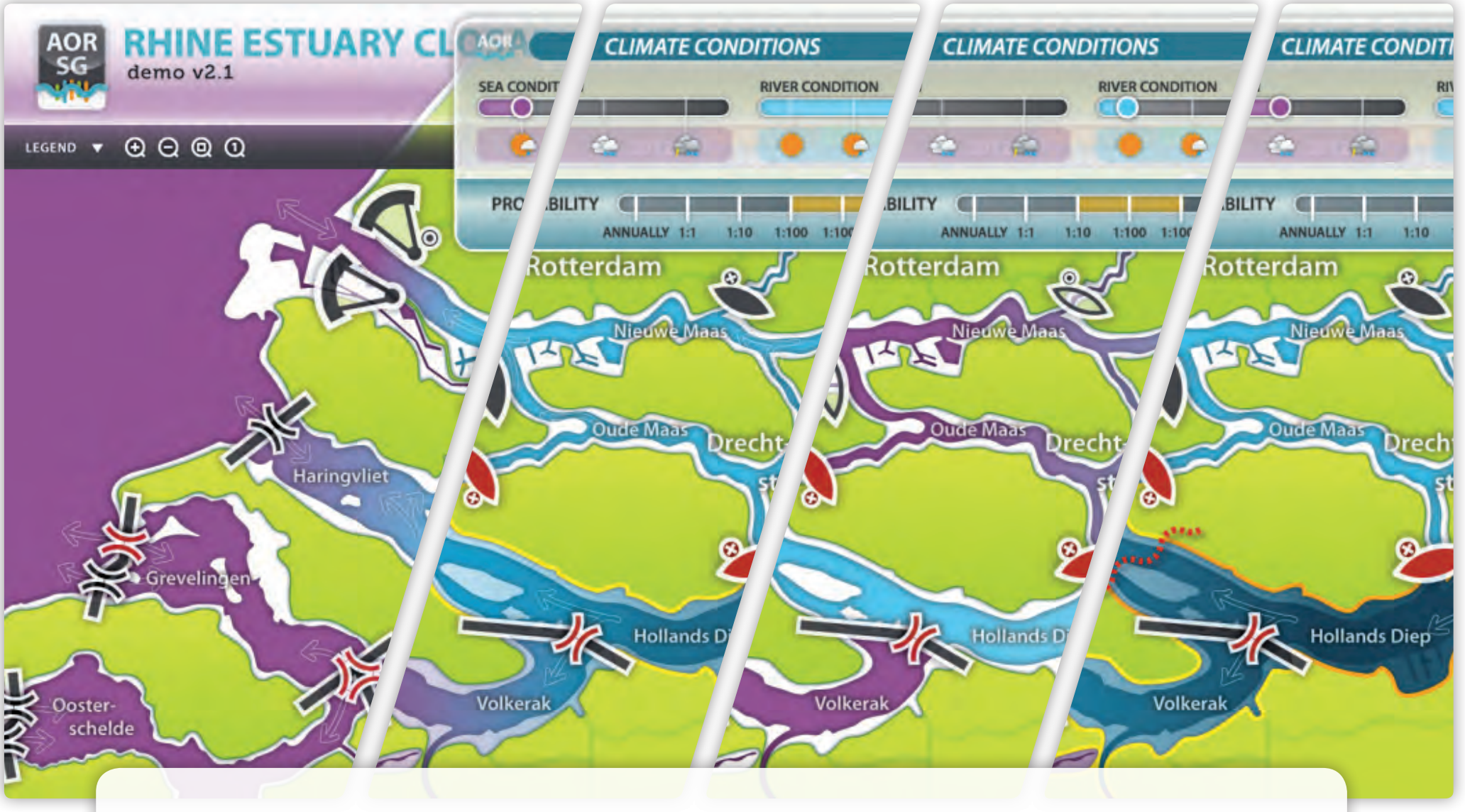
Welcome to AOR-SG, a Serious Game for the flood safety of the Rhine-Meuse estuary in the 21st century.

You will invest in the 'Rijnmond-Drechtsteden' water infra-structure to meet safety and ecology goals.

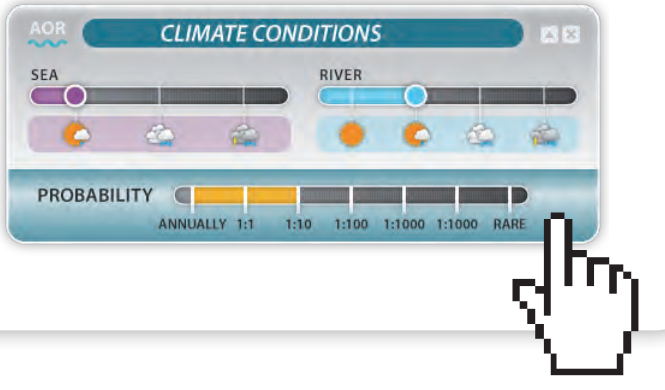
You will get bonus points for spatial quality, and penalties for fresh water supply and shipping. **Play wisely**


AOR SG
YOUR SCENARIOS FOR THE 21ST CENTURY
SEA LEVEL RISE in 2100
0,60 m
1,30 m
ECONOMIC CYCLE LENGTH (KONDRATIEFF)
20 year
50 year
RIVER DISCHARGE (LOBITH)
16.000 m3/s
18.000 m3/s
20.000 m3/s
AVERAGE POPULATION GROWTH (RIJNMOND)
-1%
0%
1%
AVERAGE ECONOMIC GROWTH
0%
3%
6%
NEXT
AOR SG
BUDGET 2012-2018
GNP = 4.000 BILLION EURO
YOUR BUDGET
0,03 % GNP €1,2 BILLION
0,04 % GNP €1,6 BILLION
0,05 % GNP €2,0 BILLION
YOUR BUDGET FOR KNOWLEDGE DEVELOPMENT
20 million
30 million
40 million
YOUR BUDGET FOR SMALL DYKE REINFORCEMENT PROJECTS
300 million
400 million
500 million
YOUR BUDGET ALLOCATION FOR LARGE PROJECTS
Safety 60%
Ecology 15%
Spatial quality 10%
Knowledge dev. 5%
Unforeseen 10%
START GAME

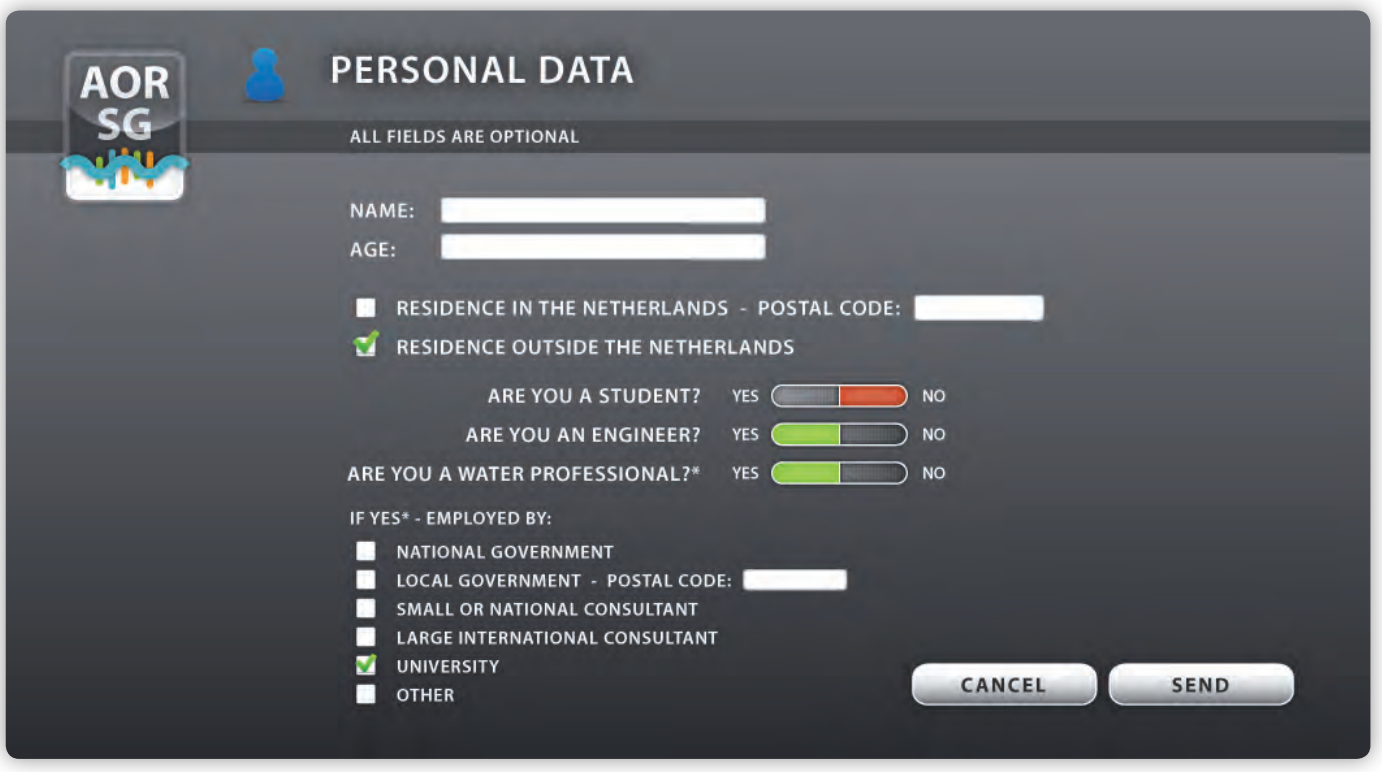
AOR SG
RHINE ESTUARY CLOSABLE BUT OPEN
demo v2.1
TU Delft
LEGEND
YEAR 2012
SAFETY
80%
OTHER SCORES
100
NOTICE: You can now choose from the following projects
Rotterdam
Nieuwe Maas
HARINGVLIET PUMPING STATION & TIDAL ENERGY PLANT
MERWEDE BARRIER
DYKE PROJECT VOORSTRAAT DORDRECHT
Oude Maas
Noord
Nieuwe Merwede
Hollands Diep
RIVER WATER STORAGE VOLKERAK
Volkerak
Nederrijn
Waal
Pannerden
AOR Editor
Arnhem Barrier
NONE
FAILURE RATE
1:1000
CLOSING FREQ.
1 x a year
AOR Info
URBANIZATION
ON
OFF
SHIPPING
FRESH WATER SUPPLY
megen
NOTIFY US
YEAR 2012
IF YOU DISAGREE WITH PROJECT PARAMETERS SUCH AS COSTS
TO LET US KNOW WE LACK A RELEVANT BACKGROUND REPORT
IF YOU HAVE A BETTER IDEA
YOUR E-MAIL ADDRESS
COMMENTS
EXIT
SUBMIT



We now make a leap to the year 2072. You have built five new river barriers and the green river "Nieuwe Lek". At any time during the game you can see how the water system reacts to your adjustments and different combinations of sea and river climate conditions.



AOR SG
GAME OVERVIEW & RESULTS
2012 - 2072
SEE YOUR RESULTS
Your budget choice totals
Your projects
Your scores
Comparison to previous players
You can continue or quit, with or without sending your gameplay to AOR-SG.
If you do, and you've played seriously, we will use your data for scientific purposes and policy support - thanks in advance.
CONTINUE GAME
QUIT WITHOUT SENDING
SAVE TO CONTINUE LATER
QUIT AND SEND YOUR DATA


AOR SG
PERSONAL DATA
ALL FIELDS ARE OPTIONAL
NAME:
AGE:
RESIDENCE IN THE NETHERLANDS - POSTAL CODE:
RESIDENCE OUTSIDE THE NETHERLANDS
ARE YOU A STUDENT? YES NO
ARE YOU AN ENGINEER? YES NO
ARE YOU A WATER PROFESSIONAL?* YES NO
IF YES* - EMPLOYED BY:
NATIONAL GOVERNMENT
LOCAL GOVERNMENT - POSTAL CODE:
SMALL OR NATIONAL CONSULTANT
LARGE INTERNATIONAL CONSULTANT
UNIVERSITY
OTHER
CANCEL
SEND

AOR
SG
DEMO
SAVING DATA FOR SCIENTIFIC RESEARCH

Geraadpleegde documenten

Beleidsdocumenten Rijnmond-Drechtsteden en Zuidwestelijke Delta

Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta (hoofdrapport), N. Slootjes, M.K. Karelse, J. Bulthuis ea., Rijkswaterstaat (juni 2010)

Plan van aanpak (concept), Deltadeelprogramma Rijnmond-Drechtsteden (mei 2010)

Veilig Veerkrachtig Vitaal, ontwerp-uitvoeringsprogramma ZWD 2010-2015+ (versie voor consultatie), Stuurgroep en adviesgroep Zuidwestelijke Delta (april 2010)

Opdracht Rijnmond-Drechtsteden, voorbereiding van de waterstaatkundige en ruimtelijke verkenning, Directoraat-Generaal Water (december 2009)

Batenverkenning Klimaatbestendigheid Nederland Waterland, W. Jonkhoff, T. Groen, T. en E. Rietveld (TNO december 2009)

Deltaverbanden, waterhuishoudkundige samenhang en interacties in de Zuidwestelijke Delta, T. Coosen, H. van Pagee en L. de Jong, Stuurgroep Zuidwestelijke Delta (september 2009)

Veilig buitendijks bouwen, Provincie Zuid-Holland (oktober 2009)

Evaluatie sluitingsregime Maeslantkering (consequentiedocument), J.K. Muntinga, Rijkswaterstaat Zuid-Holland (juli 2009)

Toekomstbeeld Zuidwestelijke Delta 2050, A. Hofland, e.a., H+N+S landschapsarchitecten en Deltares, Stuurgroep Zuidwestelijke Delta (juni 2009)

Integrale ruimtelijke verkenning afsluitbaar open houden van de regio Rijnmond-Drechtsteden, R. Piek, Provincie Zuid-Holland (maart 2009)

Contourennotitie Buitendijkse ontwikkelingen Zuid-Holland, Provincie Zuid-Holland (september 2008)

Maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer. N. Slootjes, R.P. Nicolai en C. Geerse, Memorandum HKVlijn in water, projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer (december 2008)

Ontwerp Nationaal Waterplan, Directoraat-Generaal Water (december 2008)

Samenwerken met water, Deltacommissie (September 2008)

Systeemanalyse Rijn-Maasmonding (hoofdrapport), I. De Jongh, ea., Rijkswaterstaat Zuid-Holland (december 2007)

Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat (augustus 2007)

Kosten-baten analyse voor Ruimte voor de Rivier deel 1, veiligheid tegen overstromen, C.J.J. Eijgenraam, e.a., Centraal Planbureau (April 2005)

Kosten-baten analyse voor Ruimte voor de Rivier deel 2, kosteneffectiviteit van maatregelen en pakketten, C.J.J. Eijgenraam, e.a., Centraal Planbureau (April 2005)

De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland – Hoofdrapport, Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003)

Proefproject dijkverbetering Sliedrecht, Rijkswaterstaat directie sluizen en stuwen (1986)

Rapport van de Deltacommissie - deel 4, Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1960).

Dijkenbouw en buitendijks gebied

Vulnerability assessment based on direct flood damages (concept), W. Veerbeek, C. Zevenbergen en B. Gersonius, Rotterdam Climate Proof/ Kennis voor Klimaat (mei 2010)

Water safety, flood depth and extent (concept), H.J. Huizinga, Rotterdam

Climate Proof/Kennis voor Klimaat (mei 2010)

Vulnerability of port infrastructure in unembanked areas (concept), A.J. Lansen, Rotterdam Climate Proof/Kennis voor Klimaat (mei 2010)

Design of floodproof urban riverfronts (concept proefschrift), B. Stalenberg, Technische Universiteit Delft (juni 2010)

De toekomst ligt buitendijks (afstudeerverslag), M. van Doorn, en M. Engelsma, Xplorelab Provincie Zuid Holland, Hogeschool Rotterdam, Erasmus Universiteit (juni 2009)

Klaar voor hoog water (onderzoeksvoorstel), Rotterdam Climate Proof (december 2009)

Grondslagen voor waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (januari 1998)

Waterkering Dordrecht (afstudeerverslag), S. Van 't Verlaat, Technische Universiteit Delft (juni 1998)

Overig

Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta, Deltares/ Kennis voor Klimaat/ programmabureau Zuidwestelijke Delta e.a. (maart 2010)

Rivieren en Inspiratie, R. de Koning, en L. Eshuis, Programmadirectie Ruimte voor de Rivier (2008)

Aandacht voor Veiligheid, J. Aerts, T. Sprong, B. Bannink (eds.), Leven met Water/Klimaat voor Ruimte/DG Water (2008)

Waarde van wonen aan de rivier; hoogwaterbestendig maken en verplaatsen van woningen langs rivieren, CURNET/Rijkswaterstaat (2008)

Herstel van estuariene dynamiek in de zuidwestelijke Delta, M. Baptist, e.a.., Wageningen Imares (december 2007)

Noten

1 Onderzoekscontext

1 *Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen*, V&W 2007, met een aanpassing na reacties van Jan Stijnen en Robert Vos (Waterdienst).

2 *Rivieren en Inspiratie*, de Koning en Eshuis 2008.

3 Het is niet kraakhelder waar de grenzen van de Rijnmond versus de Rijn-Maasmond liggen. Overigens ziet dit rapport de Rijn-Maasmonding als het hoofdwatersysteem van de regio en de Rijn-Maasmond (zonder '-ing') als de gehele regio, dus inclusief het binnendijks gebied.

4 www.drechtweb.nl.

5 Ecologische uitwisselingshinder door de Haringvlietdam is een bekend probleem. Als ergens in de noordelijke rivierarmen van de Rijn-Maasmond ing een afsluiting zou komen, zal dat eveneens migratieroutes van vissen, nutriëntenstromen of andere 'ecologische stromen' hinderen.

6 De hoeveelheid water dat doorgevoerd wordt hangt af van het waterstandsverschil aan beide zijden. Wikipedia noemt een capaciteit van circa 25.000 m3/seconde. De Rijn en de Maas tezamen zijn momenteel ingericht voor een afvoercapaciteit van bijna 19.000 m3/s.

7 Er wordt ook een zin gewijd aan seizoensberging in diepe droogmakerijen.

8 Het concept-projectplan maakt onderscheid in AOR mét en zonder de nieuwe rivierkeringen.

9 Bovendien was in 2001 de overstromingskans (1/730) voor de Krimpenerwaard drie maal lager dan de wettelijke kans (1/2000), voor de Alblasserwaard twee maal (1/905 tov de norm 1/2000). Ruimte voor de Rivier en de Lekdijkversterkingen zullen dit verbeteren. Kosten-baten analyse voor Ruimte voor de Rivier, Eijgenraam 2005.

10 Hier horen de 'Nieuwe Lek' en een verbreding van de Merwede ook bij.

11 De grenzen van het studiegebied liggen aan de binnenzijde van de dijken die het droge en natte buitendijkse gebied omspannen, tot daar waar de dijk stedenbouwkundig en architectonisch uit het zicht is.

12 De bestaande geometrie (in het platte vlak) is de basis van de definiëring van een alternatief. De dijken rondom een bekken als het Volkerak-Zoom meer vallen hier als geheel onder de 'middelen' omdat het Volkerak-Zoom meer buiten de Rijn-Maasmonding valt. Waterberging in de Zuidwestelijke Delta is in deze systeembenadering een 'totaalpakket' met één kosten- en batenplaatje.

2 Middelen

14 Uiteraard zijn wijzigingen en toevoegingen aan het bestaande systeem in dit rapport voldoende om een alternatief te definiëren.

15 *Multifunctionele Keringen*, Van der Ziel en Dijk 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

16 *Multifunctionele Keringen*, Van der Ziel en Dijk 2010.

17 Overigens heeft de Hollandse IJsselkering een grote (nog niet officieel vastgestelde) faalkans. De zwaartekracht alléén is dus niet voldoende... (met dank aan Robert Vos).

18 *Multifunctionele Keringen,* Van der Ziel en Dijk 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

19 Bij de bestaande hoogwaterkeringen gaat het veelal om keringen aan of nabij zee, waar ook sprake is van een negatief verval over de kering en een redelijke golfbelasting, die een extra verval over de kering geven. Het hier afgeleide kengetal zal daardoor aan de hoge kant zijn. Vaak is onduidelijk of in de kosten van de bestaande keringen ook nog andere kosten voor aanvullende werken, zoals aansluiting op bestaande dijken, zijn opgenomen of omgekeerd of 'natte' onderdelen van zo'n kering, zoals bodembeschermingen, er wel in zitten. Dat geeft dus een bijdrage aan de onzekerheid, dus spreiding in het kengetal (met dank aan Ad van der Toorn).

20 Dit is een 'theoretische analyse' – het is immers niet mogelijk om de faalkans te baseren op statistische gegevens omdat de Maeslantkering maar zo zelden sluit.

21 *Systeemanalyse Rijn-Maasmonding*, De Jongh 2007 (zie vooral de brief van Horvat&Partners met de second opinion haalbaarheid faalkans Maeslantkering, in de bijlage).

22 *Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden*, Stijnen en Slootjes 2010, (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl)

23 Dit is een grapje. De plofsluis is niet meer in gebruik als waterkering. Meer informatie over dit merkwaardige bouwwerk in *Multifunctionele Keringen*, Van der Ziel en Dijk 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

3 Waterstanden

24 Elk punt op een dijk in het Nederlandse hoofdwatersysteem kent een maatgevende situatie: de meest extreme belasting die de dijk nog moet kunnen weerstaan. De maatgevende situatie vindt plaats bij een kritieke kans die op nationaal niveau is afgesproken. In feite zijn er meerdere combinaties van belastingen denkbaar met dezelfde kans, vooral in het overgangsgebied (waar rivier en zee elkaar ontmoeten). Bijvoorbeeld een extreme zee met een flinke rivierafvoer, een flinke rivierafvoer met een extreme zee, of combinaties daartussenin. Het kan zijn dat een bepaalde maatregel in één van deze maatgevende situaties heel effectief is, maar in andere niet, en dat de maatregel daarom de maatgevende waterstand (dat dus een soort 'statistische optelsom' is van alle maatgevende situaties) maar in een gering mate vermindert.

25 Het huidige toetspeil (2006, dus zonder Nieuwe Lek) bij Lexmond (noordzijde Nieuwe Lek') 6,1 meter. Bij Schoonhoven is het 4,4 meter; het verschil is dus 1,7 meter aflopend van noord naar zuid. Deze peilen gelden voor situaties die niet gelijktijdig optreden, bij Schoonhoven een combinatie van en hoge zeewaterstand en een hoge rivierafvoer en bij Lexmond de maximale rivierafvoer. Echter, het betekent dat er in ieder geval een zuidwaards verval mogelijk is tussen de twee punten in het systeem.

26 Niet alleen de dijken langs de Nieuwe Merwede zouden dan verhoogd moeten worden, ook langs de Boven Merwede en de Nieuwe Lek zelf.

27 De dijken rond het Volkerak-Zoommeer zijn nog vrij hoog door de overhoogte ten gevolge van de Deltawerken, maar lokaal zijn er buitendijkse activiteiten en aansluitingen op het binnendijkse watersysteem die kosten zullen moeten maken bij hogere toetspeilen.

28 Een verschil is natuurlijk wel de frequentie van benutting. Ecologische stromen zullen de doorlaatmiddelen dagelijks willen gebruiken, hoogwaterberging gebeurt maar zelden. Zie ook het rapport Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta, Slootjes ea. 2010.

29 *Rapport van de Deltacommissie - deel 4*, 1960.

30 Dit blijkt lastig te doorgronden. Robert Vos (Waterdienst) formuleert het in een review van deze tekst als volgt: 'de kansverdelingen van de betrokken stochasten zeestand en rivierafvoer zijn gegeven aan de rand van het modelsysteem. Daarnaast zijn er nog de stochasten wind, windrichting en faalkans Europoortkering. Voor een zekere realisatie van deze stochasten wordt een SOBEK-som gedraaid. Alle SOBEK-sommen samen vormen een database waaruit het probabilistische model Hydra-B kan samplen (eg. interpoleren), om op een zekere locatie bij een gegeven overschrijdingsfrequentie voor een zeker faalmechanisme (bv. waterstand op de as van de rivier, of golfoverslag) een illustratiepunt (design point) te bepalen. Voor het faalmechanisme waterstand wordt hierbij het toetspeil verkregen. SOBEK functioneert feitelijk als een fysische transformator tussen de randen van het systeem en de beschouwde locatie.'

31 Bron: Wikipedia.

32 Zie de rapporten van de parallelle Rotterdam Climate Proof Studie 'Waterveiligheid Buitendijks' (HSRR01-05); in het bijzonder *Water safety, flood depth and extent (concept)*, Huizinga 2010.

33 Bij het ontwerp van de Maeslantkering moest voor de bepaling van de MHW's rekening worden gehouden met een sluitfrequentie-eis van ongeveer 1 keer per 10 jaar (momenteel is deze sluitfrequentie ongeveer 1/12 per jaar). Verder werd gesteld dat de sluitfrequentie mocht toenemen gedurende de planperiode van 50 jaar tot 1 keer per 5 jaar. In de ontwerpdocumenten van de kering is aangegeven dat voor de constructie zelf rekening moest worden gehouden met een zeespiegelstijging van 0,25 meter, waarbij aangetoond moest worden dat een eenvoudige aanpassing van de constructie mogelijk moest zijn voor een zeespiegelstijging van 0,5 m. Uit het rapport *Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden*, Stijnen en Slootjes 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

34 Dit is er waarschijnlijk in gelegen dat de faalkans uit twee faalmechanismen bestaat: de kans op fysiek falen (bezwijken) én op te laat sluiten. Ook kan het lekdebiet een rol spelen.

35 Het sluitregime van de Europoortkering is een voorspeld peil van 3,00 m in Rotterdam of 2,90 m in Dordrecht.

36 In Rotterdam is het toetspeil 3,60 meter. De Maeslantkering sluit bij een voorspelde waterstand van 3,00 meter, 60 centimeter lager dus dan het toetspeil. Voor Dordrecht sluit de Maeslantkering op 2,90 meter, en dit is gelijk aan het toetspeil. Buitendijkse gebieden liggen doorgaans lager dan de dijken (maar wel weer hoger dan het toetspeil; dit komt voort uit de golfoverslag). Het is waarschijnlijk gunstig voor het Dordtse buitendijks gebied als het sluitpeil van de Europoortkering en een eventuele Merwedekering lager zou zijn dan 2,90 meter.

37 De interactie tussen de verschillende varianten van waterberging in de Zuidwestelijke Delta en de mogelijke beweegbare keringen in de Rijn-Maasmond verdient nader onderzoek. Alle alternatieven in deze studie gebruiken berging op het Volkerak-Zoommeer met het huidige doorlaat middel in de Volkerakdam, zoals opgenomen in de 'Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier', maar dit levert maar 10 cm MHW-verlaging op in het Haringvliet. Een breder doorlaatmiddel en koppeling met de Grevelingen sorterten meer effect, en bovendien verder stroomopwaarts, in de richting van Dordrecht en Gorinchem. Zie voor de ZWD-bergings-instellingen van het vijfde alternatief van deze studie ('AOR-PLUS') het rapport *Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden*, Stijnen en Slootjes 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning) en vooral het kersverse *Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta*, Slootjes ea 2010.

38 *Systeemanalyse Rijn-Maasmonding*, De Jongh 2007.

4 Gevolgen

39 Zie de bijlage in het stedenbouw-rapport over de studie naar 64 publicaties over de multifunctionele dijk, klimaatdijk, adaptieve dijk, superdijk, doorbraakvrije dijk, overloopdijk, wijk op de dijk, trapdijk, terpendijk en trippledijk, *Stedenbouw en multifunctionele dijken*, De Hoog, Nillesen e.a. 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

40 Het is niet 'er op of er onder'; als het waterpeil op een lokatie het maatgevend peil begint te naderen en vervolgens overschrijdt, neemt de faalkans van de dijk toe, als gevolg van uiteenlopende bezwijkmechanismen. Een verschuiving van de waterstandskansverdeling naar boven betekent dus (in theorie) altijd een verhoging van het overstromingsrisico, ook al is de exacte opbouw van de dijk, en daarmee de faalkans, niet geheel bekend.

41 Over de dijken in Sliedrecht werd geschreven 'ongeoorloofde ingrepen van bewoners vormen de grootste bedreiging voor de veiligheid', *Proefproject dijkverbetering Sliedrecht*, Rijkswaterstaat directie sluizen en stuwen 1986.

42 In de *Systeemanalyse Rijn-Maasmonding*, De Jongh 2007, wordt gesproken over de 'restlevensduur van dijken', die afneemt als de maatgevende water stand toenemen.

43 In stedelijk gebied liggen bovendien meer kunstwerken, die kostbaar zijn om aan te passen. 'Het totaal is zo sterk als de zwakste schakel', waar bij zwakte ook onzekerheid over de opbouw kan inhouden. Hoe meer schakels, hoe lager de faalkans van elke schakel dient te zijn. Proefproject dijkverbetering Sliedrecht, Rijkswaterstaat directie sluizen en stuwen 1986.

44 De kosten voor dijkverhoging zijn gebaseerd op bouwkosten met een geschatte aanpassing voor stedenbouwkundige en architectonische aspecten die niet bij de bouwkostenberekening zijn meegenomen, zoals bewonersoverlast. Zie de bijlage in het rapport Stedenbouw en multifunctionele dijken, De Hoog en Nillesen e.a. 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

45 Inclusief een factor 1,4 voor de toenemende golfoploop en de vaste dijk verhogingskosten.

46 De database gebruikt door $HKV_{\text{LIJN IN WATER}}$ is afkomstig uit het project Waterveiligheid 21ste eeuw (WV21; R. Hoogendoorn, Deltares).

47 Dit zijn allemaal voorbeelden van 'adaptief bouwen'. Let wel dat de term adaptief bouwen op dit moment niet eenduidig gedefinieerd is.

48 *Stedenbouw en multifunctionele dijken*, De Hoog en Nillesen e.a. 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

49 *Waterfrontontwikkeling*, Goetgeluk 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl). Uit de historische trends komt naar voren dat met name de volgende gebieden in trek zijn: centrumstedelijke gebieden in Rotterdam en Dordrecht, groenstedelijke gebieden in vooral de gemeente Rotterdam en dorpslandelijke gebieden zoals langs de Lek. Gegeven de aard van de potentiële waterwoonconsument en zijn voorkeuren is het groenstedelijke woonmilieu de grote concurrent voor waterwonen in de oude havens. Als uitgegaan wordt van een optimisch economisch scenario, dan neemt de behoefte van woningen toe in de regio Rotterdam met circa 1000 koopwoningen per jaar. De grootste vraag is de zogenaamde grondgebonden woning, en het is de vraag of de stadshavens in deze behoefte gaan voorzien.

50 Buitendijkse gebouwen verplaatsen, opvijzelen en dergelijke is mogelijk, maar het kost wel geld en moeite. Binnen de 40 projecten van Ruimte voor de Rivier zijn 125 gebouwen hoogwaterbestendig gemaakt. Waarde van wonen aan de rivier; hoogwaterbestendig maken en verplaatsen van woningen langs rivieren, CURNET/Rijkswaterstaat 2008.

51 De software gebruikt allerlei slimme filters om lokale buitendijkse dijkringetjes te herkennen (die dus niet overstromen ondanks hun lage ligging).

52 Er is een studie op handen naar adaptief bouwen bij Rotterdam Climate Proof/Kennis voor Klimaat, maar hier zijn nog geen resultaten van bekend. Het doel van de tabel met gedane studies is onder andere om te tonen dat

juist het adaptief bouwen nog het minst bestudeerd is.

53 *Natuur en Milieu*, De Nijs ea. 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

54 *Stedenbouw en multifunctionele dijken*, De Hoog en Nillesen e.a. 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

55 In Rotterdam is het toetspeil 3,60 meter. De Maeslantkering sluit bij een voorspelde waterstand van 3,00 meter: 60 centimeter lager. Voor Dordrecht sluit de Maeslantkering op 2,90 meter, en dit is – in tegenstelling tot Rotterdam - gelijk aan het toetspeil. Buitendijkse gebieden liggen doorgaans lager dan de dijken (maar wel weer hoger dan het toetspeil; denk ook aan de golfoverslag). Het is waarschijnlijk gunstig voor het Dordtse buitendijks gebied als het sluitpeil van de Europoortkering en een eventuele Merwedekering lager zou zijn dan 2,90 meter.

56 *Stedenbouw en multifunctionele dijken*, De Hoog en Nillesen e.a. 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl).

57 Het is ook mogelijk om in het gebied geen beweegbare keringen, maar dammen te plaatsen, of objecten tussen beweegbare keringen en dammen in. De systeembenadering is zodanig opgezet, dat deze er 'in te stoppen' zijn.

5 De overstromingsveiligheid van de Rijn-Maasmonding

58 Het kan wel eens voorkomen dat dijkverhoging in een complex gebied 'mee kan liften' met andere ontwikkelingen, en dat de dijkverhogingskosten daarmee gunstig uitpakken. Het komt evenzogoed voor, dat ruimtelijke ordening (bijvoorbeeld de aanleg van een boulevard langs het water), wil meeliften met dijkverhoging. Nog vaker zal het voorkomen dat een stukje stad er prima bijligt, en geenszins op dijkverhoging zit te wachten. Hoe het ook zij, een kale grasdijk in landelijk gebied is gemiddeld genomen makkelijker aan te passen dan een dijk in stedelijk gebied, die verwoven is met infrastructuur, bebouwing, kabels en leidingen en bestemmingsplannen.

59 Zie ook *Eerste verkenning waterveiligheid Rijnmond-Drechtsteden*, Stijnen en Slootjes 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te down loaden op www.aor.tudelft.nl).

60 Hoogleraar bestuurskunde aan de Erasmus Universiteit Geert Teisman schrijft in een correspondentie over deze paragraaf dat deze drie benaderingen overeen blijken te komen met drie bestuurskundige 'sturingsbenaderingen': monosectorale sturing, programmatisch werken en project matig werken.

61 Deze verkenning gebruikte maatgevende waterstanden en leidde direct daaruit een indicatie af voor de kosten van dijkversterking. Een maatgevende waterstand is echter ontoereikend: uit de maatgevende waterstand volgen de 'maatgevende hydraulische belastingen' en deze leiden samen met de samenstelling van een betreffend dijkvak tot aanpassingen aan de dijk met 'maatwerk'.

62 De formule van Prof. D. van Dantzig (Econometrica 1956) werkte met een vaste waarde voor de overstromingskans direct na investeren. Bij economische groei is echter niet de overstromingskans, maar de verwachte jaarlijkse schade de centrale variabele in een optimale veiligheidsstrategie. Het Centraal Planbureau heeft de formules van van Dantzig inmiddels aangepast voor hun kosten-baten analyses voor overstromingsveiligheidsprojecten. Tussen norm en systeem staan de rekenregels waarmee de dijken worden gedimensioneerd, en ook deze zijn inmiddels veranderd. De normen uit de jaren '50 gelden echter nog altijd als uiterste overschrijdingsfrequenties.

63 In het rivierengebied zijn in de jaren '80 de normen verlaagd van 1/3000 naar 1/1250.

64 Hierbij moeten dan dezelfde besliscriteria gebruikt worden als bij het nationale normendebat.

65 In de laatste paragraaf in het rapport *Multifunctionele Keringen*, Van der Ziel en Dijk 2010 (deelrapport binnen de integrale verkenning, te downloaden op www.aor.tudelft.nl), reflecteert ir. Floris van der Ziel op een systeem van dergelijke 'flexibele keringen'.

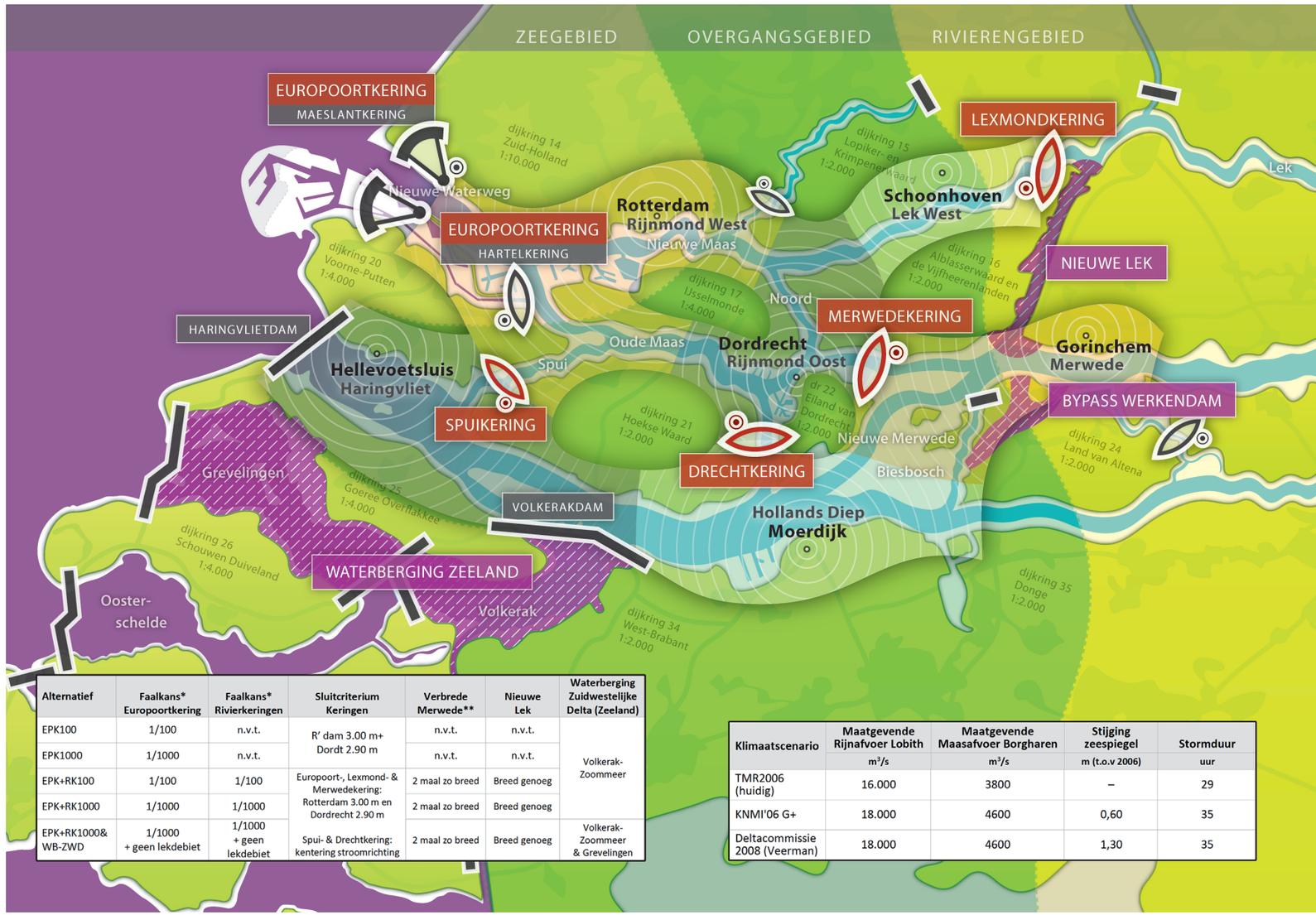
66 In een veiligheidsbenadering zonder normen zou periodiek (bijvoorbeeld elke 6 jaar) het overstromingsrisico voor alle dijkringdelen worden berekend, conform de dan heersende ruimtelijk-economische en klimatologische omstandigheden. Deze periodieke analyse toont dan tevens de zwakste plekken, zodat projectteams uiteenlopende voorstellen kunnen doen om tegen aantrekkelijke kosten en bijkomende baten het overstromingsrisico te reduceren. Hiermee verdwijnt het nadeel van de 'veroudering' van de normen, maar het gevaar is dat de berekende overstromingsrisico's oppervlakkig zullen zijn en daarmee te weinig daadkracht bieden, terwijl de normen pas na een diepgaande analyse en langdurig nationaal debat tot stand komen en er juist daardoor grote kracht van uit gaat.

Make no little plans; they have no magic to stir men's blood and probably will not themselves be realized. Make big plans; aim high in hope and work, remembering that a noble diagram once recorded will never die, but long after we are gone will be a living thing, asserting itself with ever growing insistency.

- Daniel Burnham, architect en stedenbouwkundige

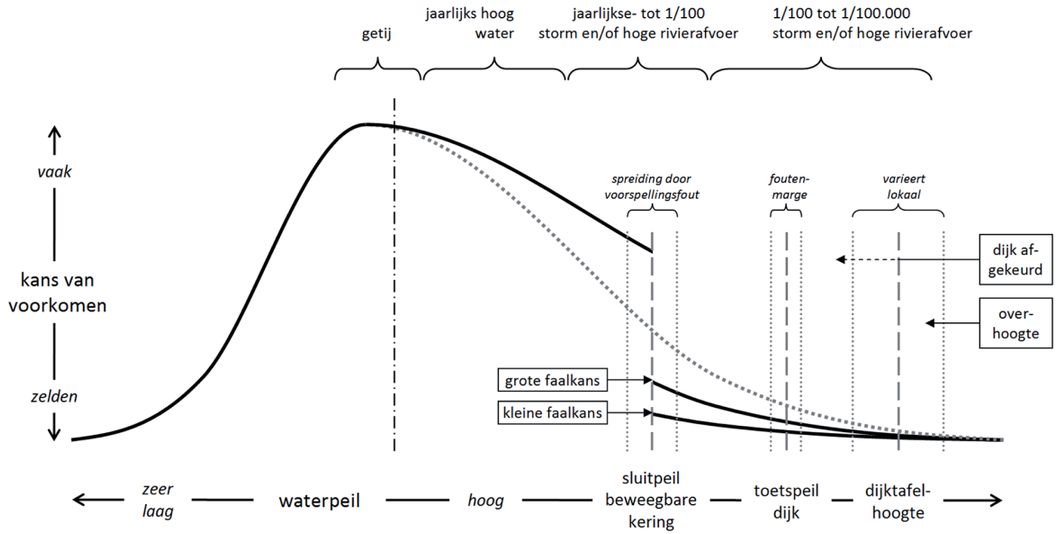
For many complex decision problems, there are neither obvious decision makers nor clear decision processes. Such processes evolve over time and the decision makers emerge during this evolution. Yet the design of a logical identification and structuring of objectives and means will be of great significance for all involved.

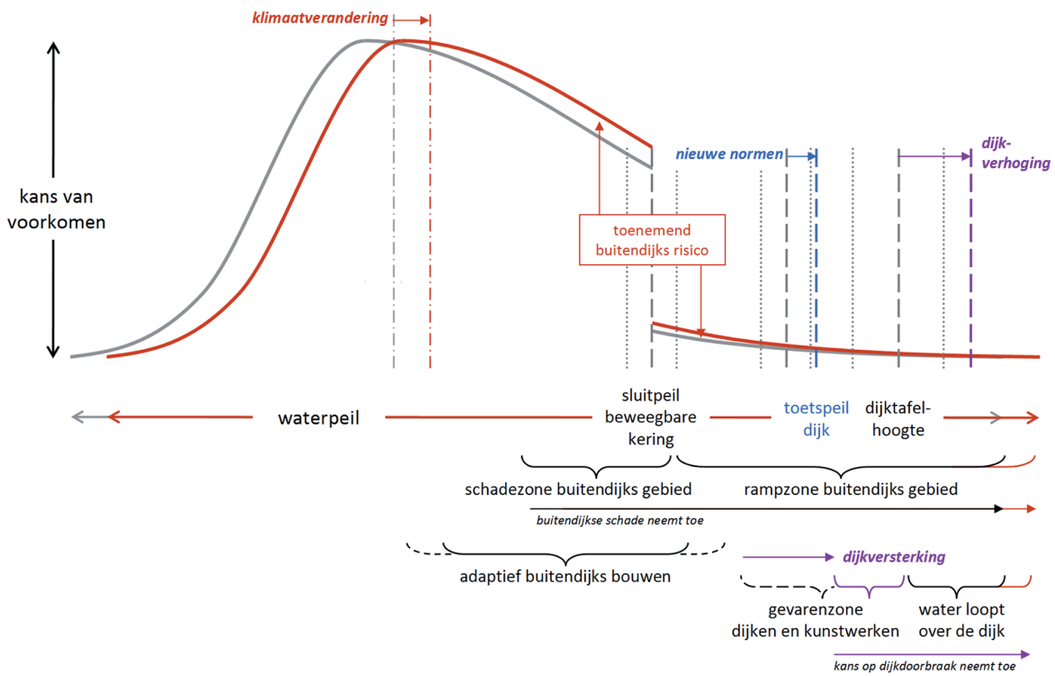
- Ralph Keeney, civiel ingenieur en beleidsanalist

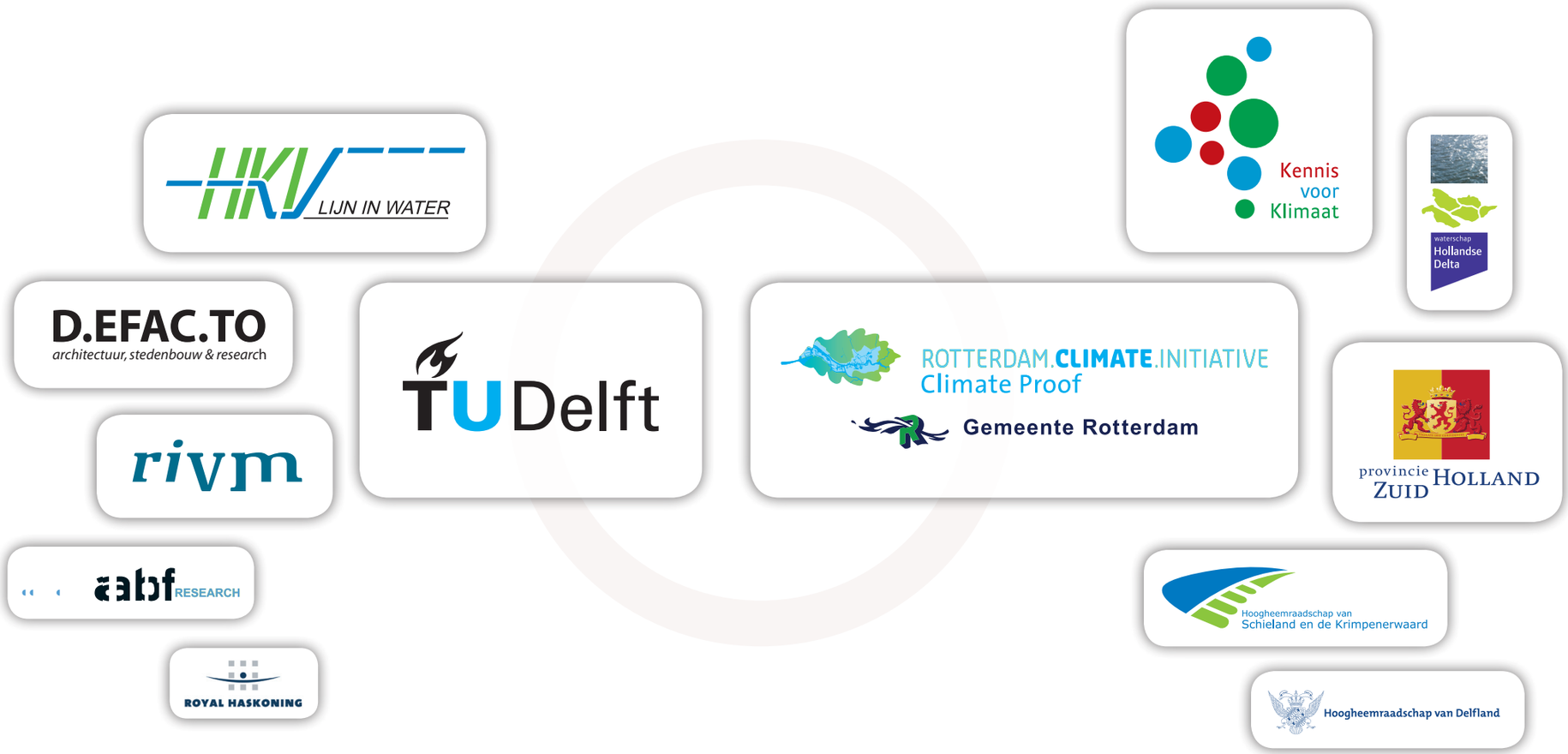


Alternatief	Faalkans* Europoortkering	Faalkans* Rivierkeringen	Sluitcriterium Keringen	Verbrede Merwede**	Nieuwe Lek	Waterberging Zuidwestelijke Delta (Zeeland)
EPK100	1/100	n.v.t.	R' dam 3.00 m+ Dordt 2.90 m	n.v.t.	n.v.t.	Volkerak-Zoommeer
EPK1000	1/1000	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	
EPK+RK100	1/100	1/100	Europoort-, Lexmond- & Merwedekering: Rotterdam 3.00 m en Dordrecht 2.90 m	2 maal zo breed	Breed genoeg	
EPK+RK1000	1/1000	1/1000		2 maal zo breed	Breed genoeg	
EPK+RK1000& WB-ZWD	1/1000 + geen lekdebiet	1/1000 + geen lekdebiet	Spui- & Drechtkering: kentering stroomrichting	2 maal zo breed	Breed genoeg	Volkerak-Zoommeer & Grevelingen

Klimaatscenario	Maatgevende Rijnafvoer Lobith	Maatgevende Maasafvoer Borgharen	Stijging zeespiegel	Stormduur
	m^3/s	m^3/s	m (t.o.v 2006)	uur
TMR2006 (huidig)	16.000	3800	–	29
KNMI'06 G+	18.000	4600	0,60	35
Deltacommissie 2008 (Veerman)	18.000	4600	1,30	35


getij
jaarlijks hoog water
jaarlijkse- tot 1/100 storm en/of hoge rivierafvoer
1/100 tot 1/100.000 storm en/of hoge rivierafvoer
vaak
kans van voorkomen
zelden
spreiding door voorspellingsfout
fouten-marge
varieert lokaal
dijk af-gekeurd
over-hoogte
grote faalkans
kleine faalkans
zeer laag
waterpeil
hoog
sluitpeil beweegbare kering
toetspeil dijk
dijktafel-hoogte


klimaatverandering
kans van voorkomen
nieuwe normen
dijk-verhoging
toenemend buitendijks risico
waterpeil
sluitpeil beweegbare kering
toetspeil dijk
dijktafel-hoogte
schadezone buitendijks gebied
rampzone buitendijks gebied
buitendijkse schade neemt toe
adaptief buitendijks bouwen
dijkversterking
gevarenzone dijken en kunstwerken
water loopt over de dijk
kans op dijkdoorbraak neemt toe



Integratierapport bij het onderzoeksproject

Afsluitbaar Open Rijnmond - een eerste integrale verkenning