



Centraal Planbureau

CPB Notitie | 14 januari 2014

Economisch optimale waterveiligheid in het IJsselmeergebied

*Uitgevoerd op verzoek
van het ministerie van
Infrastructuur en Milieu*



Centraal Planbureau

CPB Notitie

Aan: Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Datum: 14 januari 2014

Betreft: MKBA Waterveiligheid Afsluitdijk - IJsselmeer - Markermeer

Centraal Planbureau

Van Stolkweg 14
Postbus 80510
2508 GM Den Haag

T (070) 338 3 334
I www.cpb.nl
E peter.zwaneveld@cpb.nl

Contactpersonen

Peter Zwaneveld, Gerard Verweij

Economisch optimale waterveiligheid in het IJsselmeergebied

**MKBA Waterveiligheid: Afsluitdijk, Houtribdijk, IJsselmeer, IJssel- en
Vechtdelta en Markermeer**

Samenvatting en conclusies

Inleiding en achtergrond¹

Deze studie onderzoekt de economisch optimale overstromingskans voor de Afsluitdijk in samenhang met de economisch optimale overstromingskansen in het gehele IJsselmeergebied. Het gaat hier om het gevaar van overstromen van de Afsluitdijk, de Houtribdijk en de dijken (a-keringen) rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer. Inzicht in de economisch optimale overstromingskansen is relevant voor het lopende beleidstraject (deelprogramma Veiligheid van het Deltaprogramma), dat tot doel heeft te komen tot geactualiseerde wettelijke waterveiligheidsnormen. De onderbouwing van de huidige normen dateert nog uit de jaren zestig van de vorige eeuw.

Voor een economisch optimaal veiligheidsniveau worden de kosten van dijkversterkingen afgewogen tegen de overstromingskansen bij verschillende klimaatontwikkelingen en de schades die optreden bij overstromen. Versterking van dijken en kunstwerken verkleint de kans op een bres in de dijk en daarmee de verwachte economische schade aan het achterland (inclusief slachtoffers en evacuatie). Deze verlaging van de verwachte economische schade vormt de baten van extra veiligheid. De investeringen in het versterken van dijken en kunstwerken vormen de kosten van extra veiligheid. De economisch optimale manier van versterking van dijken en kunstwerken is daarom deze dijken en kunstwerken zo aan te passen, dat deze extra kosten zichzelf terugverdienen door een kleinere verwachte economische schade. Dit optimum tussen kosten en baten wordt gerapporteerd in deze studie.

Deze studie bouwt voort op de methode en informatie van de meest recente studie naar welvaartseconomisch optimale waterveiligheidsnormen, de Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw (MKBA WV21) van Deltares. De belangrijkste verschillen met de MKBA WV21 zijn het beschouwen van *wederzijds afhankelijke* dijken en het beschouwen van de situatie dat IJsselmeerwater wordt weggepompt naar de Waddenzee. Het primaire doel van de Afsluitdijk en de Houtribdijk is het beschermen van het achterliggende gebied. De optimale veiligheid (en jaar van versterking) van deze 'voorliggende' dijken beïnvloedt dus de veiligheid van de achterliggende dijken en vice versa. Om dit adequaat te kunnen analyseren is een nieuw wiskundig-economisch model ontwikkeld, genaamd Dique-Opt.

De optimale investeringspatronen voor alle beschouwde dijken zijn bepaald met behulp van het Dique-Opt model. Deze patronen geven aan *wanneer* de dijken dienen te worden versterkt en *in welke mate*. Per dijkkringdeel wordt op basis van deze patronen een zogeheten 'toetskans' berekend. De overstromingskans van een dijkkringdeel in 2050 dient kleiner te zijn dan deze

¹ Op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft een commissie van economische deskundigen bestaande uit prof.dr. Ekko van Ierland (WUR), prof.dr. Carl Koopmans (SEO, VU; voorzitter), prof.dr. Piet Rietveld (VU) en prof.dr. Anne van der Veen (Universiteit Twente) een advies geschreven over deze CPB studie. Dit advies kan worden gedownload vanaf SEO website: <http://www.seo.nl/pagina/article/advies-van-de-commissie-van-economische-deskundigen-over-de-cpb-studie-economisch-optimale-watervei/>. Het advies kan ook bij de auteurs van deze CPB notitie worden opgevraagd.

toetskans. De toetskans is een 'voorstel' voor de nieuwe geactualiseerde wettelijke waterveiligheidsnormen vanuit een economisch perspectief.

Rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer worden zeventien dijkkringdelen onderscheiden (zie onderstaande figuur). Dit zijn gebieden die worden omsloten door waterkeringen en die tegen overstromingen dienen te worden beschermd.

Figuur 1 Beschouwde dijkkringdelen rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer



Uitleg: de Afsluitdijk heeft nummer 1; de Houtribdijk heeft nummer 4; bron: Kramer en Beckers (2012).

De resultaten worden zowel gepresenteerd voor het wegpompen van het IJsselmeerwater (door een pompinstallatie in de Afsluitdijk) naar de Waddenzee, als voor het continueren van het huidige beleid van spuien onder vrij verval. Bij pompen kan het huidige streefpeil van het IJsselmeer worden gehandhaafd, terwijl bij spuien het IJsselmeerpeil vanaf 2035 dient mee te stijgen met de zeespiegel. Daarnaast zijn met pompen de fluctuaties in de meerpeilen van het IJsselmeer en het Markermeer beter beheersbaar dan met spuien, wat leidt tot een (initieel) substantieel veiligere situatie. In beide gevallen wordt bovendien uitgegaan van een pompinstallatie in de Houtribdijk om het Markermeerpeil te beheersen.

Uit een eerdere CPB-studie (Bos et al., 2012) bleek, dat het wegpompen van IJsselmeerwater op de lange termijn de economisch meest gunstigste optie is. Daarom is in overleg met de begeleidingscommissies besloten de resultaten van de variant pompen het meest prominent weer te geven.

Hoofdconclusies

Het primaire doel van deze studie is het bepalen van de economisch optimale toetskans voor de Afsluitdijk en andere dijken. Uit de studie blijkt ook dat het welvaartsverhogend is de Afsluitdijk te versterken conform een recent kabinetsbesluit. Als daarnaast wordt uitgegaan van pompen op de Afsluitdijk en de Houtribdijk én indien alle dijkringdelen nu minimaal voldoen aan de huidige wettelijke normen, dan blijkt bovendien dat veel dijkringdelen in het IJsselmeergebied de komende decennia niet te hoeven worden versterkt. Sommige dijkringdelen, vooral in de IJssel- en Vechtdelta moeten nog wel worden versterkt, wat zo'n half miljard euro kost tot 2050, oftewel gemiddeld enkele tientallen miljoenen euro's per jaar. Daarnaast zijn er nog een aantal open vragen over de stabiliteit van de dijken rond het Markermeer en is niet duidelijk of de huidige dijken wel voldoen aan de huidige normen en wat de consequenties daarvan zijn. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

De hoofdconclusies zijn

1. Afsluitdijk 1/9.400 en Houtribdijk 1/60 bij 'pompen'

De primaire reden voor deze studie was het bepalen van de economisch optimale toetskans voor de Afsluitdijk. Voor de variant 'pompen' komen we tot een economisch optimale toetskans van 1/9.400 gegeven het W+-klimaatscenario en het sociaal-economische TM-scenario. Voor de variant 'meestijgen/spuien' vinden we een toetskans van 1/2.500. De huidige wettelijke norm van de Afsluitdijk is 1/10.000 (bij het spuien van IJsselmeerwater onder vrij verval naar de Waddenzee).

De kleinere toetskans bij pompen dan bij spuien is logisch. Bij het meestijgen van het IJsselmeerpeil met de zee moeten ook alle omliggende dijken rond het IJsselmeer worden versterkt en zal het overstromen van de Afsluitdijk minder extra gevaar opleveren. Bij overstromen van de Afsluitdijk moet worden gedacht aan het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk. Bij pompen blijft het IJsselmeerpeil (en de dijken eromheen) lager en leidt het overstromen van de Afsluitdijk tot een forse toename van de overstromingskansen voor de dijken rond het IJsselmeer. Daarom is bij pompen een kleinere toetskans economisch optimaal.

Bij scenario 'pompen' wordt de overstromingskans van de Houtribdijk zo klein dat het economisch niet rendabel is de Houtribdijk te versterken vóór het jaar 2300 (uitgaande van de veronderstelde startsterkte in 2015). De economisch optimale toetskans bij 'pompen' is 1/60. Bij het scenario 'spuien' wordt voor de Houtribdijk een economisch optimale toetskans gevonden van ongeveer 1/200. Het doorbreken van de Houtribdijk levert bij scenario 'spuien' een grotere bedreiging op voor Markermeerdijken dan bij pompen, waardoor het logisch is dat bij spuien een kleinere toetskans wordt gevonden. Bij scenario 'spuien' is het IJsselmeerpeil namelijk hoger dan bij 'pompen' waardoor er - nadat er een bres in de Houtribdijk is geslagen -

meer water het Markermeer instroomt. De huidige wettelijke norm voor de Houtribdijk is veel scherper, namelijk 1/10.000. Vanuit economisch perspectief hoeft de Houtribdijk dus de komende decennia zeer waarschijnlijk niet versterkt te worden.

2. Door 'pompen' meer veiligheid én lagere kosten dijkversterkingen dan bij 'meestijgen/spuien' voor een aantal dijkringen

Direct na het installeren van pompen in de Afsluitdijk (met een capaciteit van 2.000 m³/s) in 2020 wordt de overstromingskans (lees: kans op het ontstaan van een bres) van een aantal dijkringen rond het IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta fors kleiner. Ook de veronderstelde pomp in de Houtribdijk (met een capaciteit van 100 m³/s) verkleint de overstromingskans rond het Markermeer aanzienlijk. Deze grotere initiële veiligheid door de installatie van de pompen kan door twee oorzaken leiden tot kleinere economisch optimale overstromingskansen in 2050 ('toetskansen').

De eerste oorzaak is dat in een behoorlijk aantal gevallen door de pompen de overstromingskansen in de loop der tijd amper meer stijgen: het IJsselmeer- en het Markermeerpeil hoeven niet mee te stijgen met de zeespiegel en door de pompen wordt een stabiel meerpeil verkregen met aanmerkelijk minder gevaarlijke 'uitschieters naar boven'. Ook klimaatveranderingen kunnen door de pompen worden opgevangen zonder dat dit tot een merkbare stijging van de overstromingskans leidt. De initiële kleine overstromingskansen door de installatie van de pompen blijven dan vrijwel onveranderd. De na te streven overstromingskans in het jaar 2050 (lees: toetskans) kan in die gevallen dus zonder enige investeringskosten kleiner worden gekozen dan de overstromingskans in de huidige situatie (waarbij het IJsselmeerwater wordt gespuid onder vrij verval).

De tweede oorzaak is het gevolg van de situatie dat bij het wegpompen van IJsselmeerwater eenzelfde dijkverhoging voor sommige dijkringen meer veiligheid oplevert dan bij spuien. Of om het technisch te zeggen: de decimeringshoogte (=verhoging van het dijkkringdeel in centimeters, opdat de overstromingskans een factor tien kleiner wordt) is bij pompen geregeld kleiner dan bij spuien. Extra veiligheid is bij pompen in dat geval dus 'goedkoper' dan bij spuien. In een economische afweging is het dan logisch om meer veiligheid te 'kopen' met - soms - kleinere toetskansen tot gevolg.

Beide oorzaken leiden niet alleen tot grotere economisch optimale veiligheid, maar ook tot lagere investeringskosten om deze veiligheid te bereiken.

3. Beschouwen meervoudige overstromingskansen leidt voor een aantal dijkringdelen tot een kleinere 'toetskans' dan in MKBA WV21

In deze studie wordt gekeken naar alle overstromingskansen van een dijkkringdeel. In eerdere studies naar economisch optimale overstromingskansen (bijvoorbeeld de MKBA WV21) is naar één soort overstromingskans gekeken, te weten de kans dat een dijkkringdeel overstroomt onder de aanname dat de Afsluitdijk en de Houtribdijk oneindig sterk zijn. Met overstromen bedoelen we het ontstaan van een bres, zodat het gebied onder water komt te staan. Ook de huidige wettelijke veiligheidsnorm is gebaseerd op de veronderstelling dat de Afsluitdijk en de

Houtribdijk oneindig sterk zijn. De kans dat een dijkkringdeel overstroomt gegeven een oneindig sterke Afsluitdijk en Houtribdijk noemen wij de P1-overstromingskans.

Wanneer zoals in deze studie de kans op falen (lees: doorbreken) van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk wel wordt meegenomen, dan blijken zes additionele overstromingskansen potentieel van belang bovenop deze P1-overstromingskans. Deze kansen ontstaan door het mogelijk falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk met extra gevaar voor de achterliggende dijkringen als gevolg. Voor dijkringen rond het IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta zijn drie overstromingskansen relevant (falen van de Houtribdijk heeft geen invloed), terwijl voor dijkringen rond het Markermeer alle zeven overstromingskansen relevant zijn. De som van deze kansen geeft de totale overstromingskans van een dijkkringdeel. Regelmatig blijkt deze totale economisch optimale overstromingskans voor het jaar 2050 redelijk overeen te komen met de getalswaarde uit de MKBA WV21. Vaak is namelijk de totale verwachte schade bepalend voor het economisch optimale beschermingsniveau.

Omdat de P1-kans een deel is van de totale overstromingskans, is het logisch dat onze economisch optimale overstromingskansen volgens de P1-definitie kleiner zijn dan de toetskansen uit de MKBA WV21. De P1-kans is namelijk per definitie een deel van de totale overstromingskans en dus kleiner of gelijk aan de totale overstromingskans. Als de totale overstromingskans die wordt gevonden in deze studie min of meer gelijk is aan de getalswaarde uit de MKBA WV21, dan is het logisch dat de P1-overstromingskans kleiner is dan de getalswaarde uit de MKBA WV21. In een flink aantal gevallen is de P1-kans overigens vrijwel even groot als de totale overstromingskans en kunnen we de zes overige overstromingskansen negeren.

In sommige gevallen representeert de P1-kans echter een beperkt deel van de totale overstromingskans. In die gevallen levert het alleen kijken naar de P1-overstromingskans een te optimistisch beeld op van de daadwerkelijke veiligheid. De overige zes overstromingskansen dragen dan aanzienlijk bij aan de totale overstromingskans.

4. Bij de Afsluitdijk is de aanleg van een overslagbestendige dijk en het renoveren van de kunstwerken conform de door het kabinet vastgestelde Structuurvisie net aan welvaartsverhogend

Deze structuurvisie is onder alle onderzochte varianten welvaartverhogend, al is het (procentuele) verschil met de 'second best' oplossing niet groot. Deze 'second best' oplossing bestaat uit het verhogen en verbreden van het dijklichaam en het opnieuw bouwen van de kunstwerken in de periode 2020-2030. Conform de Structuurvisie wordt de Afsluitdijk in 2020 op een veiligheid (overstromingskans) gebracht van 1/100.000 per jaar. Dit is dus de overstromingskans direct na aanleg van de dijk en wordt ook wel de ontwerpkans genoemd. Indien wordt uitgegaan van een verhoging/verbreding van het dijklichaam en nieuwbouw van de kunstwerken dan wordt een optimale (ontwerp)kans gevonden van 1/40.000.

Indien de door ons gehanteerde kostenramingen voor de overslagbestendige dijk en het renoveren van de kunstwerken in de praktijk aanmerkelijk hoger blijken uit te vallen, dan is een - reguliere - verhoging en nieuwbouw mogelijk beter.

‘Economisch optimale’ overstromingskansen

Dijkringdelen (a-keringen) rond IJsselmeer, IJssel- en Vechtdelta en Markermeer

De economisch optimale toetskansen voor overstromen van de dijkringdelen in het ‘basisscenario’ staan weergegeven in onderstaande tabel. De onderstaande toetskansen zijn bepaald onder de aanname dat er *geen* eindige technische levensduur is van dijken en/of kunstwerken waardoor de dijkringdelen verplicht moeten worden versterkt. De toetskansen hebben betrekking op de situatie dat de overstromingskans zo groot wordt dat het economisch rendabel is om de dijken te versterken.

Met toetskansen bedoelen we de overstromingskans die elk dijkringdeel vanuit economisch perspectief maximaal moet hebben in het jaar 2050. Indien een dijkringdeel dus een overstromingskans heeft die groter is dan deze toetskans, dan dient het dijkringdeel versterkt te worden. Indien we deze toetskansen uitdrukken in de P1-overstromingskans noemen we die de P1-toetskans. Indien we deze toetskansen uitdrukken in de totale overstromingskans noemen we deze kans de Ptot-toetskans.

Tabel 1 Toetskansen volgens huidige wettelijke norm, de MKBA WV21 (2e ref.) en deze studie op basis van totale overstromingskans (Ptot-kans) en P1-overstromingskans (P1-kans) bij pompen en oneindige levensduur

Dijkringdelen	Wettelijke norm (a)	WV21-2e ref.	Ptot-kans	P1-kans
IJsselmeer				
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	1/1.300	1/17.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	1/1.600	1/2.800
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	1/3.000	1/5.200
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	1/15.000	1/87.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	1/42.000	1/190.000
IJssel- en Vechtdelta				
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	1/700	1/900
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	1/1.000	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	1/3.700	1/4.200
Salland	1/1.250	1/2.900	1/2.000	1/2.200
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	1/500	1/500
Markermeer				
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	1/12.000	1/12.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	1/27.000	1/36.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	1/11.000	1/12.000
Marken	1/1.250	1/400	1/500	1/600
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	1/2.700	1/2.700
Eempolder	1/1.250	1/1.100	1/1.800	1/1.900
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	1/2.100	1/2.100

Uitleg: Het ‘basisscenario’ betreft 5,5% discountvoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), W+-scenario en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk na het ontstaan van een bres.

(a) De wettelijke norm heeft - zoals in dit rapport verondersteld - betrekking op de overschrijdingskans. De echte overstromingskans (lees: de kans op het overstromen van het achterland) kan hiervan aanmerkelijk afwijken.

Bovenstaande tabel gaat uit van het wegpompen van het IJsselmeerwater met een pomp van 2.000 m³/s. Uit aanvullende berekeningen, mede voortbouwend op de gegevens uit bovenstaande tabel, blijkt dat door het pompen een zodanige veiligheid wordt gerealiseerd dat vele dijkkringdelen de komende decennia economisch gezien niet hoeven te worden versterkt. Dit geldt voor alle dijkkringdelen rond het Markermeer, behalve Flevoland-Zuidwest en de dijkkringdelen Zuid-West Friesland, West-Friesland (NH, noordelijk) en Wieringen-IJsselmeer die gelegen zijn rond het IJsselmeer. Deze conclusie is gebaseerd op de aanname dat de overschrijdingskans van een dijkkringdeel als geheel in 2015 precies voldoet aan de wettelijke norm.

Uit de tabel is op te maken dat zowel de P1-toetskans als de Ptot-toetskans voor ongeveer de helft van dijkkringdelen in dezelfde orde van grootte liggen als de huidige wettelijke normgetallen en de resultaten uit de MKBA WV21. Dit geldt bijvoorbeeld voor de Noordoostpolder, Flevoland-Noordoost en bijna alle dijkkringdelen in de IJssel- en Vechtdelta met als uitzondering dijkkringdeel Vollenhoven. In deze gevallen hebben zowel de pompen als het mogelijk falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk een zeer beperkt effect op het economisch optimale beschermingsniveau. De toetskans voor Vollenhove bij het W+-klimaatscenario wordt verstoord door de - enigszins toevallige - keuze van het jaar 2050. De toetskans voor Vollenhove voor bijvoorbeeld het jaar 2045 bij het W+-scenario betreft 1:1.000 (zowel Ptot- als P1-kansdefinitie). Als uitzondering op de regel, om altijd als toetsjaar het jaar 2050 te hanteren, is het beslist te overwegen om de toetskans voor Vollenhove te baseren op deze 2045-waarden. Hierdoor wordt een beter beeld verkregen van de gewenste veiligheid van het dijkkringdeel Vollenhove voor de komende decennia.

Voor de andere helft van de dijkkringdelen worden wel aanzienlijk andere toetskansen gevonden. Op basis van de tabel kan worden geconstateerd dat voor dijkkringdelen rond het Markermeer veelal aanzienlijk kleinere toetskansen worden gevonden dan de huidige wettelijke normen. Deze toetskansen zijn vooral het gevolg van de installatie van de pompen in de Houtribdijk en de Afsluitdijk. Omdat de totale overstromingskans (Ptot-kans) vrijwel even groot is als de P1-overstromingskans (P1-kans) is de conclusie gerechtvaardigd, dat de mogelijkheid van het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk voor deze dijkkringen vrijwel niet van belang is.

Voor de dijkkringdelen Zuid-West Friesland, West-Friesland (NH, noordelijk) en Wieringen IJsselmeer zorgt de faalkans van de Afsluitdijk wel voor een aanzienlijke toename van de totale overstromingskans. Dit kan in de tabel worden gezien doordat de Ptot-kans aanzienlijk groter is dan de P1-kans. De economisch optimale toetskansen (in P1-definitie) voor deze dijkkringdelen wijken dan ook aanzienlijk af van de huidige wettelijke normgetallen en de MKBA WV21.

De P1-overstromingskansen zijn waarschijnlijk praktisch het meest bruikbaar voor het 'toetsen' van dijken. Voor zover wij weten worden alle toetsvoorschriften van dijkkringdelen geformuleerd op basis van de P1-kansdefinitie. Ook hydraulische modellen zijn goed in staat de P1-overstromingskansen te bepalen. Het bepalen van de totale overstromingskans (dus

inclusief de additionele faalkans door het falen van de voorliggende Afsluitdijk en/of Houtribdijk) vereist de nodige aanpassingen aan deze modellen.

Voor burgers gaat het uiteindelijk uiteraard om de totale overstromingskans: dat is de kans dat het gebied waarin ze wonen onder water komt te staan.

Overige opmerkingen

Indien de gehanteerde aanname correct is dat de overschrijdingskans² van een dijkkringdeel als geheel in 2015 precies voldoet aan de wettelijke norm, dan is de conclusie gerechtvaardigd dat vele dijkkringdelen de komende decennia volgens de gehanteerde scenario's niet hoeven te worden versterkt. Het is - helaas - nog een open vraag of dit zo is. Er zijn signalen dat op bepaalde plekken sprake is van extra veiligheid in de vorm van 'overhoogte', maar die data lijken weinig betrouwbaar. Daarnaast kan er ook sprake zijn van minder veiligheid. Dit laatste heeft enerzijds te maken met het feit dat bepaalde dijkkringdelen zijn 'afgekeurd': ze voldoen op dit moment niet aan de toetsingscriteria voor de wettelijke norm op één of meerdere locaties. Anderzijds garandeert het voldoen aan de wettelijke norm van alle *individuele locaties* op een dijkkringdeel niet altijd dat een dijkkringdeel ook *als geheel* voldoet aan deze norm. Een voorbeeld om dit laatste te verduidelijken: indien een dijkkringdeel kan falen op twee locaties die elk falen onder elkaar uitsluitende omstandigheden, dan zal elk van deze locaties een overstromingskans moeten krijgen van de helft van de wettelijke norm van dit dijkkringdeel als geheel. Als elke locatie een overstromingskans heeft van 1/2.000, dan heeft het dijkkringdeel als geheel een overstromingskans van 1/1.000 (=1/2.000 + 1/2.000).

Om hier helderheid in te verkrijgen adviseren wij een vervolgonderzoek naar een heldere, breed toegankelijke 'standaard boekhouding' van de overstromingskansen voor alle dijkkringdelen. Waarschijnlijk wordt dit opgepakt in het kader van het project Wettelijk Toetsinstrumentarium 2017 en het project Veiligheid Nederland in Kaart.

Voor besluitvorming op de korte termijn adviseren wij om naast de in bovenstaande tabellen weergegeven 'toetskansen' ook goed rekenschap te geven van de optimale investeringspatronen. Deze patronen geven aan *wanneer* elk dijkkringdeel moet worden versterkt en in *welke mate*. Deze patronen staan in dit rapport weergegeven. De patronen kunnen verschillen op basis van de veronderstelde toekomstige ontwikkelingen. Door middel van gevoeligheidsanalyses wordt inzicht gegeven in deze onzekerheden. De toekomstige onzekerheden zijn expliciet in beeld te brengen door het uitrekenen van de optiewaarde, maar dit vereist nader onderzoek. In aanvulling op de investeringspatronen is zo veel als mogelijk

² De overschrijdingskans van een dijk betreft de kans dat het water hoger komt dan de kruin van de dijk, waarbij zodanig veel water over de dijk heenslaat dat de dijk faalt (i.e. er komt een bres in). Een dijk kan ook falen door andere hydraulische oorzaken, zoals bijvoorbeeld 'piping' (het ontstaan van geulen onder de dijk die ervoor zorgen dat een dijk uiteindelijk inzakt) en het wegschuiven van een dijk (zoals bijvoorbeeld in 2003 in Wilnis plaatsvond). Met de term overstromingskans wordt de kans op falen van een dijk aangeduid door alle mogelijke hydraulische oorzaken (dus overschrijding, piping, wegschuiven en eventueel nog andere hydraulische oorzaken).

informatie gegeven over de overstromingskansen en investeringskosten van dijken en dijkkringdelen. Deze informatie is nuttig bij de verdere uitwerking van het Deltaprogramma.

Een interessante vervolgvraag is welk investeringspatroon (economisch) optimaal is gegeven een bepaald *maximum budget* of andere (budgettaire) randvoorwaarden. De in dit rapport gepresenteerde investeringspatronen zijn bepaald onder de veronderstelling, dat voldoende middelen beschikbaar zijn of beschikbaar kunnen worden gemaakt voor alle economisch (of anderszins) gewenste investeringen.

De weergegeven toetskansen hebben een 'wekker'-functie. Als een dijk een overstromingskans heeft die groter is dan de toetskans, dan wordt deze 'afgekeurd' en dient een proces in gang te worden gezet om te bepalen welke actie opportuun is voor de versterking van het dijkkringdeel. Uit de toetskans kan echter niet worden afgeleid in welke mate de veiligheid vergroot moet worden en welke civieltechnische ingreep dan opportuun is. Hiertoe dient bij voorkeur een MKBA te worden opgesteld om op basis van de dan beschikbare informatie een nieuwe optimale investeringsbeslissing te bepalen. De weergegeven optimale investeringspatronen geven wel een indicatie aan welke mate van veiligheidsverbetering gedacht moet worden.

Aandacht voor de korte termijn

Welke dijkversterkingen in het IJsselmeergebied de komende decennia opportuun zijn, hangt af van de wijze waarop de peilen in het IJsselmeer en het Markermeer worden beheerst.

Uit de analyse blijkt dat de veiligheid rond het Markermeer aanzienlijk kan worden vergroot door beter peilbeheer. In dit rapport is dit bereikt door een pomp van 100 m³/s (totale contante kosten ongeveer 50 à 100 miljoen euro) te installeren op de Houtribdijk. De installatie van deze pomp (of een nog voordeliger optie) levert direct een hoger veiligheidsniveau op. Of de voorgenomen dijkversterkingen rond het Markermeer dan nog kosteneffectief zijn, dient nader te worden onderzocht. De huidige Markermeerdijken zijn afgekeurd op basis van het huidige wettelijke toetsinstrumentarium, dat op meer aspecten dan alleen de hoogte van de dijk toetst. Met name stabiliteit is voor deze dijken van belang.

Door het wegpompen van IJsselmeerwater naar de Waddenzee met een maximale pompcapaciteit van 2.000 m³/s wordt de veiligheid aanzienlijk verbeterd ten opzichte van de huidige situatie. Op basis van recente berichtgeving uit het project Afsluitdijk lijkt te worden gestreefd naar een pomp met een kleinere capaciteit plus spuicapaciteit bij Den Oever en Kornwerderzand. De vraag is of hiermee eenzelfde mate van veiligheid kan worden gerealiseerd als met een pomp van 2.000 m³/s.

Mocht de genoemde 'situatie met de kleinere pomp' substantieel onveiliger zijn dan de situatie met een pomp van 2.000 m³/s, dan is het de vraag welke aanpak in dat geval nodig is. Opties zijn (i) dijken eerder te versterken, (ii) de dijken toch te versterken conform het pomp-scenario met 2.000 m³/s en dan dus tijdelijk minder veiligheid te accepteren of (iii) op korte termijn te streven naar een grotere pompcapaciteit, opdat toch een veiligheid wordt bereikt vergelijkbaar met een pomp van 2.000 m³/s. Deze vragen vereisen nader onderzoek.

Ook de vraag of de stad Amsterdam gevaar loopt door het overstromen van Markermeerdijken, heeft nadere aandacht. Tot slot is het zinvol te onderzoeken of het loont om voldoende materiaal klaar te leggen om eventuele 'bressen' in de Afsluitdijk en Houtribdijk snel te kunnen repareren, indien een dijkdoorbraak plaats zou vinden. Dit kan veiligheidsbaten opleveren.

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies.....	3
1 Inleiding.....	15
1.1 Deltaprogramma en Nationaal Waterplan.....	15
1.2 MKBA WV21 en KEA Afsluitdijk.....	17
1.3 Doel van deze studie.....	20
1.4 Leeswijzer.....	21
2 Globale aanpak MKBA Waterveiligheid Afsluitdijk-IJsselmeergebied.....	23
2.1 Aanpak op hoofdlijnen.....	23
2.2 Beschouwde locaties en faalkansen.....	27
3 Bespreking inputgegevens.....	32
3.1 Achtergrond bij berekening overstromingskansen.....	32
3.1.1 Definities overschrijdings- en overstromingskansen en dijkkringdelen.....	34
3.1.2 Overschrijdingskans per locatie en dijkkringdeel.....	37
3.1.3 Uitgangssituatie.....	37
3.1.4 Overschrijdingskans, overstromingskans en berm.....	39
3.2 Samengestelde overstromingskansen.....	41
3.2.1 IJsselmeer bij 'pompen' en huidige sterkte Afsluitdijk (1/250 per jaar).....	41
3.2.2 IJsselmeer bij 'meestijgen' en huidige sterkte Afsluitdijk (1/250 per jaar).....	42
3.2.3 Markermeer bij huidige sterkte Afsluitdijk (1/250 per jaar).....	44
3.2.4 Verschil in overstromingskansen tussen pompen en spuien.....	48
3.2.5 Houtribdijk.....	49
3.2.6 Afsluitdijk.....	49
3.3 Kosten.....	50
3.3.1 Dijken rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer.....	50
3.3.2 Afsluitdijk.....	55
3.4 Schade bij falen.....	59
4 Resultaten.....	65
4.1 Wiskundig-economisch model levert optimaal investeringspatroon.....	65
4.2 Toetskans: 15 jaar, middenkans en investeringspatroon.....	66
4.2.1 15-jaarkans 2050.....	66
4.2.2 15-jaarkans of middenkans?.....	67
4.3 Betekenis en gebruik toetskans.....	68
4.4 Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA): welvaartsoptimaal?.....	72
4.5 Varianten.....	77
4.6 Basisvarianten.....	78
4.6.1 Pompen.....	79
4.6.2 Meestijgen/spuien.....	97
4.6.3 Uitgaven aan dijkversterkingen in de vier basisvarianten.....	100

5	Gevoeligheidsanalyses.....	104
5.1	Gevaar voor Amsterdam (dijkring 14) vanuit het Markermeer.....	105
5.2	Huidige wettelijke normen als minimumveiligheid.....	106
5.3	Discontovoet, WLO-scenario's en reparatietijd.....	108
5.4	Bermkosten.....	111
6	Conclusies.....	113
6.1	Afsluitdijk en Houtribdijk.....	113
6.2	Toetskansen bij 'pompen' (capaciteit: 2.000 m ³ /s) en W+-scenario.....	114
6.3	Toetskansen bij 'meestijgen/spuien' en het W+-scenario.....	117
6.4	Korte termijn: pompen en/of spuien, 'overveiligheid', 'piping-berm' en budget.....	118
6.5	Veiligheid Markermeer en Amsterdam.....	120
6.6	Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk: net aan welvaartsoptimaal.....	121
6.7	Betekenis en gebruik toetskansen.....	122
6.8	Wetenschappelijke resultaten.....	122
6.9	Vervolgonderzoek en data.....	123
7	Referenties.....	127
8	Bijlage A: optimale investeringspatronen bij meestijgen/spuien.....	131
9	Bijlage B: Middenkans 2050.....	138
9.1	Definitie Middenkans 2050.....	138
9.2	15-jaarkans of middenkans.....	139
9.3	Getalswaarden Middenkans 2050.....	140

1 Inleiding³

Deze studie rapporteert (welvaarts-) economisch optimale veiligheidsnormen voor de Afsluitdijk, de Houtribdijk, het IJsselmeer (inclusief IJssel- en Vechtdelta) en het Markermeer. Deze studie is uitgevoerd naar aanleiding van het verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) om een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uit te voeren naar het economisch optimale veiligheidsniveau voor de Afsluitdijk. De reden dat naast deze dijk ook alle achterliggende dijken en dijkkringen zijn geanalyseerd, is vanwege ons uitgangspunt om op wetenschappelijk correcte wijze de optimale veiligheid voor de Afsluitdijk te bepalen. De veiligheid van de Afsluitdijk kan niet los worden gezien van de veiligheid van de achterliggende dijkkringen, en vice versa.

Deze studie bouwt voort op eerdere studies naar welvaartseconomisch optimale waterveiligheidsnormen zoals uitgevoerd door Tinbergen (1954), Van Dantzig (1956), Eijgenraam (2005) en de - meest recente - studie naar de Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw (MKBA WV21; Kind, 2011).

1.1 Deltaprogramma en Nationaal Waterplan

De huidige wettelijke normen voor bescherming tegen (grootschalige) overstromingen vanuit zee, rivieren en meren vinden hun basis grotendeels in de jaren zestig van de vorige eeuw. Sinds die tijd is zowel het aantal mensen, als de economische waarde in de overstroombare gebieden sterk gestegen. De potentiële gevolgen van een overstroming zijn daardoor toegenomen. Ook is de kennis om overstromingsrisico's (kansen en gevolgen) te berekenen verbeterd en zijn (economische) methoden voor het onderbouwen van het maatschappelijk gewenste beschermingsniveau ontwikkeld.

³ We danken de volgende personen voor hun begeleiding en onmisbare hulp bij dit project.

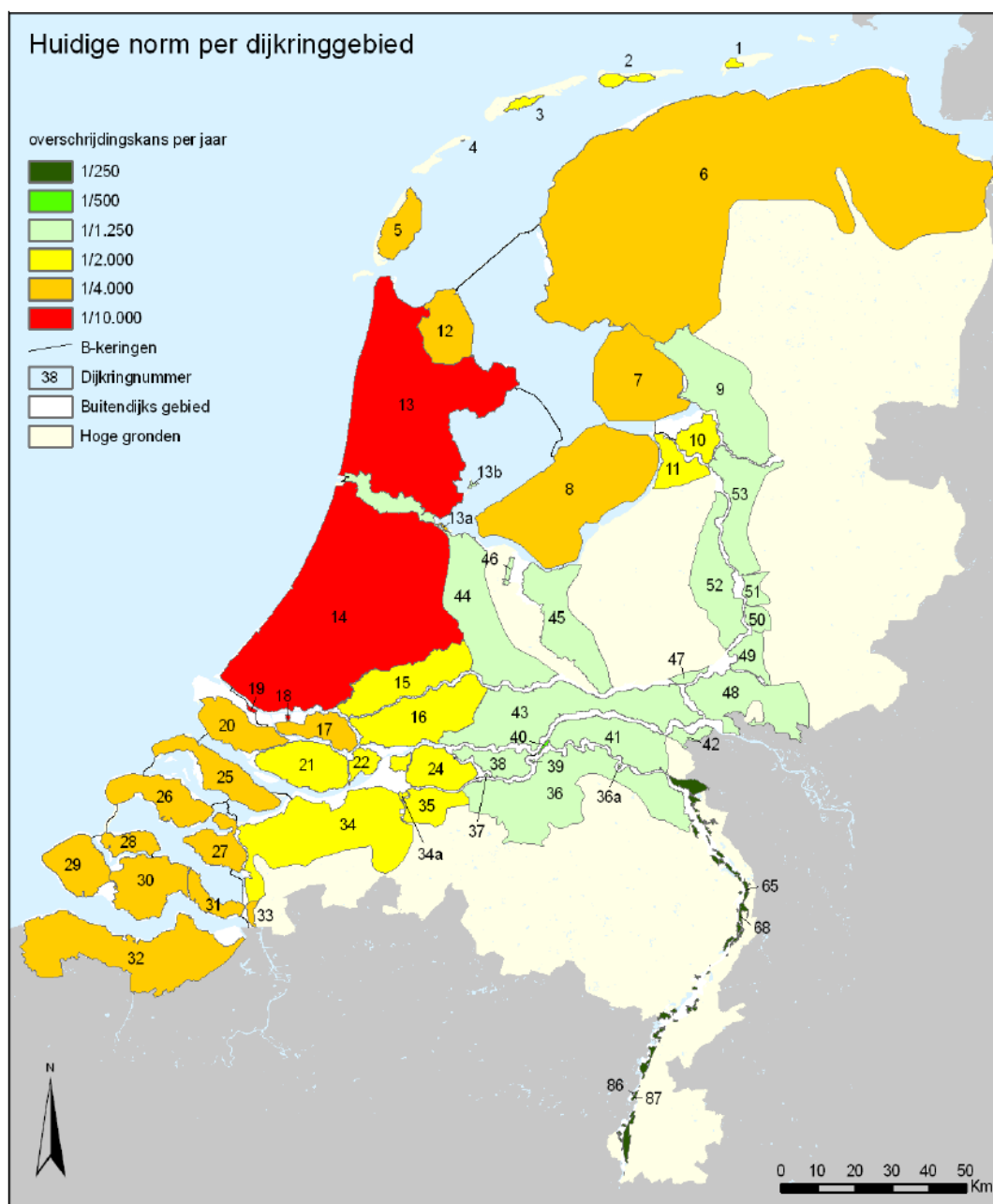
Intensieve begeleiding: Koos Poot (DGRW), Robert Slomp (RWS), Pieter Vermeer (DGRW), André Wooning (RWS).

Aanleveren van hydraulische basisdata: Joost Beckers (Deltares), Nienke Kramer (Deltares).

Ambtelijke en technische begeleidingscommissies: Henri Dijkman (MinFin), Peter de Grave (Deltares), Jarl Kind (Deltares), Hetty Klavers (DPIJ), Marilou Köbben (IenM-FMC), Martijn Looijer (MinFin), Eric Regeling (project Toekomst Afsluitdijk), Albert Remmerzwaal (DPIJ), Ard Wolters (SDG).

Wetenschappelijke begeleidingscommissie: Ekko van Ierland (Wageningen UR), Carl Koopmans (SEO Economisch Onderzoek, VU), Piet Rietveld (VU), Anne van der Veen (Universiteit Twente). Tijdens de afronding van dit rapport en het verwerken van zijn inhoudelijk zeer gedegen en geregeld humoristische commentaar, bereikte ons het verdrietige en onverwachte bericht van het overlijden van Piet Rietveld.

Figuur 1.1 Dijkringen in Nederland en de huidige beschermingsnormen uitgedrukt in overschrijdingskans per jaar



Bron: Kind (2011).

Voor de actualisering van de waterveiligheidsnormen is een aantal jaren terug het beleidstraject 'Waterveiligheid 21e eeuw' (WV21) in gang gezet. Inmiddels maakt de actualisering deel uit van het generieke deelprogramma Veiligheid van het Deltaprogramma. Binnen het deelprogramma Veiligheid staat de vraag centraal hoe Nederland in de toekomst kan worden beschermd tegen overstromingen op een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau.

Het deelprogramma Veiligheid onderzoekt onder meer in hoeverre het huidige beschermingsniveau tegen overstromingen nog voldoende aansluit bij de economische waarden en mogelijke slachtoffers achter de waterkeringen. Het Nationaal Waterplan (NWP, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009) schetst het kader voor de beleidsontwikkeling rond waterveiligheid. In het Nationaal Waterplan is aangegeven dat een maatschappelijke kosten-batenanalyse en analyses van slachtofferrisico's worden uitgevoerd ten behoeve van de onderbouwing van waterveiligheidsnormen.

1.2 MKBA WV21 en KEA Afsluitdijk

MKBA WV21

De voorliggende studie kan worden gezien als een vervolg op de MKBA WV21. In deze studie van Deltares zijn welvaartseconomisch optimale veiligheidsnormen afgeleid. De theorie, het wiskundige model en de software voor deze studie zijn in samenwerking met en in opdracht van Deltares ontwikkeld door het Centraal Planbureau, het ministerie van Infrastructuur en Milieu, Tilburg University, TU Delft en HKV consultants (Eijgenraam et al., 2013). Een beschrijving van het wiskundig-economisch model kan worden gevonden in Brekelmans et al. (2012). De gebruiksvriendelijke softwaremodule om dit model aan te sturen, heet OptimaliseRing (Duits, 2011). Dit model is ontworpen met als randvoorwaarde dat een dijkkringdeel 'op zichzelf staat'. Dit wil zeggen dat de overstromingskans niet afhankelijk is van de overstromingskans van andere dijken en dijkkringen. In de MKBA WV21 (Kind, 2011, p.4-5, 'Afbakening') valt te lezen dat in de MKBA WV21 de b-keringen (en de c-keringen) niet zijn meegenomen. De gelijktijdige optimalisatie 'die nodig is om de economisch optimale overstromingskansen voor b- en a-keringen te bepalen was niet haalbaar⁴ binnen de MKBA WV21' (Kind, 2011, p.5).

De gerapporteerde resultaten voor de IJsselmeer- en Markermeerdijken in de MKBA WV21 kunnen (en zullen) dan ook afwijken van de resultaten in deze studie. In de voorliggende studie is zo veel als mogelijk gebruik gemaakt van de gegevens zoals die voor de MKBA WV21 zijn verzameld.

Net als in de MKBA WV21 wordt in deze studie gesproken over de begrippen overschrijdingskans, overstromingskans, faalkans en toetskans. De tekstbox op de volgende pagina tracht in het kort de begrippen helder te definiëren.

⁴ In de MKBA WV21 (Kind, 2011, p.5) is gemeld dat 'open' b-keringen wel zijn meegenomen in de hydraulische randvoorwaarden. De huidige sterkte van die open b-keringen (Ramspol, Measlant en Oostschelde) is als vaststaand gegeven aangenomen en gegeven die sterkte zijn de achterliggende a-keringen geoptimaliseerd. De faalkansen van de huidige sluitbare b-keringen zijn dus verwerkt in de waterstandsberekeningen.

Definities van verschillende kansen

Door verschillende hydraulische oorzaken kan een bres in een dijk ontstaan. Zo kan het water een bepaald peil 'overschrijden' zodat het over de dijk heen slaat. Hierdoor kan er een bres in de dijk ontstaan. Er kunnen ook andere oorzaken zijn waardoor een dijk faalt, zoals 'piping' (i.e. het ontstaan van geulen onder de dijk die ervoor zorgen dat de dijk uiteindelijk inzakt) en het wegschuiven van een dijk (zoals bijvoorbeeld in 2003 in Wilnis plaatsvond). In dit kader wordt er vaak gesproken over overschrijdingskansen en overstromingskansen. Uit gesprekken blijken er meerdere definities van deze begrippen te bestaan, zowel op papier (zie bijvoorbeeld de Waterwet en VNK2, 2012) als in hoofden van deskundigen. In deze studie gebruiken we de volgende definities. Deze definities zijn in lijn met de in de MKBA WV21 gehanteerde begrippen (Kind, 2011).

Overschrijdingskans: Dit betreft de kans (in een winterperiode van 6 maanden) dat een zodanige waterstand wordt bereikt of overschreden dat er zoveel water over de dijk heen slaat waardoor er een overstroming plaatsvindt. Het water overschrijdt dan de kruin van de dijk waardoor er een bres ontstaat in de dijk. In de berekeningen is verondersteld dat indien het water over de dijk heen slaat met een debiet van minimaal 1 liter per meter per seconde, dat de dijk 'faalt' en er dus een overstroming plaatsvindt.

Overstromingskans: Dit betreft de kans (in een winterperiode van 6 maanden) die is verbonden aan alle mogelijke *hydraulische* oorzaken voor het falen van een dijk (inclusief inliggende kunstwerken) waardoor een overstroming plaatsvindt (lees: er komt een bres in de dijk zodat het gebied erachter onder water komt te staan). De overstromingskans van een dijk is dus altijd in de door ons gehanteerde definitie groter of gelijk aan de overschrijdingskans. Andere faalmechanismen dan overschrijden, betreffen 'piping' en het wegschuiven van een dijk. Het ontstaan van een bres door oorzaken zoals sabotage en het neerstorten van een vliegtuig worden niet in beschouwing genomen.

Naast de aanduiding 'overschrijdingskans' en 'overstromingskans' gebruiken we soms de aanduiding 'faalkans'. Conform bovenstaande definities komt het begrip 'faalkans' overeen met 'overstromingskans'.

Er bestaan in Nederland wettelijke waterveiligheidsnormen (zie figuur 1.1). Deze normen zijn nu nog gedefinieerd op basis van overschrijdingskans (min I&M, 2009,p.65). De nieuwe waterveiligheidsnormen worden gebaseerd op basis van overstromingskansen (min I&M, 2013).Regelmatig wordt getoetst of dijkkringdelen voldoen aan deze 'normen'. Hierbij wordt verondersteld dat de voorliggende b-keringen (in het door ons beschouwde gebied zijn dat de Afsluitdijk en de Houtribdijk) oneindig sterk zijn.

In deze studie kijken we ook naar de toename van de overstromingskans door het ontstaan van een bres (lees: falen) in de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk. In eerdere studies naar economisch optimale overstromingskansen (bijvoorbeeld de MKBA WV21) en de huidige wet (min I&M, 2009) is naar één van deze kansen gekeken, te weten de kans dat een dijkkringdeel overstroomt onder de aanname dat de Afsluitdijk en de Houtribdijk oneindig sterk zijn. Deze kans noemen wij de P1-overstromingskans. De overige zes overstromingskansen (P2 t/m P7) betreffen de toename van de kans door het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk.

Net als in de MKBA WV21 werken we toe naar één getal om het economisch optimale beschermingsniveau van een dijkkringdeel voor het jaar 2050 in uit te drukken. Dit getal noemen we 'toetskans'. De overstromingskans van een dijkkringdeel in 2050 dient kleiner te zijn dan deze 'toetskans'. De toetskans kan worden gezien als een 'voorstel' voor de nieuwe geactualiseerde wettelijke waterveiligheidsnormen vanuit een economisch perspectief. Bij het bepalen van de waarde van de toetskans houden we er rekening mee dat als uit toetsing blijkt dat de kans wordt overschreden, het uitvoeren van de verbeteringsmaatregelen nog zo'n 15 jaar duurt. Veelal drukken we die toetskans uit in de P1-overstromingskansdefinitie, opdat we een vergelijking kunnen maken met de huidige wettelijke normen en de uitkomsten van de MKBA WV21. Dan spreken we van de P1-toetskans. We drukken de toetskans ook uit op basis van totale overstromingskans, i.e. de som van alle zeven overstromingskansen P1 t/m P7. In dat geval spreken we van de P-totaal-toetskans (of Ptot-toetskans). Paragraaf 4.3 gaat in op de betekenis en gebruik van de toetskans. Definities van gebruikte begrippen staan ook in paragraaf 3.1.1.

KEA Afsluitdijk

In het project Toekomst Afsluitdijk wordt uitgegaan van de huidige geldende wettelijke veiligheidsnorm van een maximale overschrijdingskans van 1/10.000ste per jaar. In de door het CPB (Grevers en Zwaneveld, 2011) uitgevoerde KEA Afsluitdijk zijn zes projectalternatieven voor verbetering van de Afsluitdijk onderling vergeleken op hun welvaartseconomische effecten. Omdat bij het ontwerp van de projectalternatieven deze veiligheidsnorm uitgangspunt was, werd gesproken van een kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) van verschillende ontwerpalternatieven van de Afsluitdijk en niet van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA of KBA).

De vraag die in de KEA niet, maar wel in deze MKBA Waterveiligheid Afsluitdijk - IJsselmeergebied (kortweg: MKBA Waterveiligheid IJsselmeer) aan de orde komt, is of de gekozen veiligheidsnorm van 1/10.000ste⁵ per jaar (welvaarts)optimaal is. Deze norm is – voor zover ons bekend – niet afgeleid van een kosten-batenanalyse. Welke veiligheidsnorm voor de Afsluitdijk welvaartsoptimaal is, is een van de onderzoeksdoelen van deze studie.

De voorliggende studie doet ook uitspraken over de optimale veiligheidsnorm van de dijkringen die zijn gelegen aan het IJsselmeer (inclusief Houtribdijk en de monding van de IJssel- en Vechtdelta) en het Markermeer. Het primaire doel van de Afsluitdijk (en de Houtribdijk) is namelijk om samen met deze dijkringen het 'achterland' te beschermen. Het is dus logisch dat de optimale hoogte/sterkte van deze IJsselmeer- en Markermeerdijken (en daarmee de veiligheidsnorm) afhangt van de veiligheid van de voorliggende dijken (Afsluitdijk en - soms- Houtribdijk) en vice versa. Of om het te formuleren als vraag : is het verstandiger om geld te stoppen in een zeer veilige Afsluitdijk om daarmee geld te kunnen besparen op de achterliggende dijken, of kun je beter de omgekeerde strategie bewandelen, of - nog anders - is de schade bij elke dijkdoorbraak zo groot dat alle dijken zeer veilig (en dus hoog/sterk) moeten worden.

Het zou inhoudelijk logisch zijn geweest om eerst de MKBA Waterveiligheid IJsselmeer uit te voeren om de optimale veiligheidsnorm van de Afsluitdijk te bepalen, voordat er met behulp van een kosten-effectiviteitsanalyse wordt bepaald welk projectalternatief voor aanpassing van de Afsluitdijk het beste is opdat aan deze norm wordt voldaan. Ten behoeve van de politieke besluitvorming en de daarbij behorende korte doorlooptijd, was het echter noodzakelijk om de KEA Afsluitdijk eerst af te ronden.

Bepalen kosten en baten van veiligheid vereist een vernieuwende aanpak

Bij het (gedeeltelijk) loskoppelen van de KEA Afsluitdijk en de voorliggende MKBA Waterveiligheid IJsselmeer speelt mee dat het opstellen van de MKBA Waterveiligheid IJsselmeer niet eenvoudig is. De eerdere ontwikkelde methoden (Eijgenraam, 2005 en Brekelmans et al., 2012, die zijn gebruikt voor de MKBA WV21) gaan namelijk uit van op

⁵ De veiligheidsnorm van de Afsluitdijk is in 2004 verhoogd van 1/1.430 per jaar naar 1/10.000 per jaar (ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004).

zichzelf staande dijkringen, die geen onderlinge afhankelijkheden kennen. Ook betreft het situaties waarin een dijkkring een achterliggend (bewoond) dijkkringgebied moet beschermen.

Deze methoden zijn niet direct van toepassing op de Afsluitdijk, omdat dit een zogenaamde b-kering⁶ is die niet onmiddellijk een dijkkringgebied beschermt. Daarnaast staat de Afsluitdijk niet op zichzelf, maar ligt achter de Afsluitdijk het IJsselmeer waaraan a-keringen (lees: primaire waterkeringen) liggen, die wel dijkkringgebieden omringen en elk zelf ook aan een veiligheidsnorm moeten voldoen, of zelfs opnieuw b-keringen (o.a. de Houtribdijk). De kansen op falen van de achterliggende a- en b-keringen zijn dus afhankelijk van de faalkans van de Afsluitdijk. Het is daarom niet zonder meer logisch dat de meest efficiënte norm voor de Afsluitdijk bij benadering gelijk zou zijn aan de scherpste norm voor een a-kering in het achterland. Dit is wél de argumentatie geweest die heeft geleid tot de huidige wettelijke norm voor de Afsluitdijk. Dit argument was overigens niet gebaseerd op 'efficiency', maar op de wens een 'robuuste veiligheid' te bieden. De norm van 1/10.000ste per jaar voor de Afsluitdijk is gebaseerd op de - even hoge - norm voor dijkkringgebied 13 in Noord-Holland (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004, p. 67).

Het bepalen van optimale waterveiligheidsnormen voor het gehele IJsselmeergebied is weliswaar gerelateerd aan het bepalen van de normering van één a-kering, maar is zowel hydraulisch als ook wiskundig complexer. Ook de benodigde gegevens (met name de overstromingskansen) zijn omvangrijker.

1.3 Doel van deze studie

De hoofdvragen die in deze MKBA Waterveiligheid IJsselmeergebied centraal staan, zijn:

1. Hoe groot is de economisch optimale overstromingskans van de Afsluitdijk?
2. Hoe groot zijn de economisch optimale overstromingskansen per dijkkringdeel in het IJsselmeergebied, gegeven dat de voorliggende b-keringen (Afsluitdijk en Houtribdijk) kunnen falen? Hoe groot is de economische optimale overstromingskans van de inliggende b-kering (Houtribdijk)?
3. Welke (investerings-)kosten zijn verbonden aan het behalen van deze economisch optimale overstromingskansen?

⁶ De dijken, duinen en kunstwerken zijn afhankelijk van hun ligging en functie ingedeeld in a-, b-, c- en d-keringen.

Naast deze hoofdvragen zijn er enkele nevensdoelen en ‘tussenproducten’. Nevensdoelen zijn:

- a. Het analyseren van de welvaartseconomische effecten van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk. Ofwel: antwoord te geven op de vraag of het economisch gezien verstandig is om de grondige renovatie van de Afsluitdijk uit te stellen.
- b. Inzicht geven in de verschillen op het gebied van veiligheid tussen het wegpompen van het IJsselmeerwater naar de Waddenzee en het spuien van dit water onder vrij verval.

Belangrijke tussenproducten van deze studie die in vervolgstudies kunnen worden hergebruikt, zijn:

- c. Het ontwikkelen van een wiskundig-economisch model waarmee de economisch optimale veiligheid van onderling afhankelijke dijkkringdelen kan worden bepaald. Tevens streven we ernaar het model zo generiek mogelijk op te zetten, opdat velerlei feitelijke situaties zo goed mogelijk kunnen worden gemodelleerd.
- d. Het modelleren en bepalen van overstromingskansen als gevolg van de afhankelijkheden tussen voorliggende b-keringen (Afsluitdijk en Houtribdijk) en dijkkringdelen. De beschikbare hydraulische modellen kunnen de faalkans bepalen van een dijkkringdeel, gegeven een oneindig sterke Afsluitdijk en Houtribdijk. Voor deze studie moet ook de toename in de faalkans worden bepaald van een dijkkringdeel door het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt in het kort de gebruikte methode toegelicht. Specifieke aandacht is er voor de wijze waarop is voortgebouwd op de MKBA WV21.

Hoofdstuk 3 gaat in op de gegevens en uitgangspunten van de berekeningen.

Hoofdstuk 4 presenteert de belangrijkste resultaten. Ook wordt in dit hoofdstuk een MKBA opgesteld van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk. De vraag is hierbij of het welvaartseconomisch beter is om nu de Afsluitdijk te versterken conform het recente kabinetsbesluit, dan wel om de versterking/renovatie uit te stellen.

Hoofdstuk 5 gaat nader in op de conclusies die volgen uit de gevoeligheidsanalyses.

De belangrijkste conclusies van dit onderzoek worden verwoord in Hoofdstuk 6.

In de bijlagen wordt nadere detail-informatie gegeven. Daarnaast zijn meerdere notities beschikbaar die opvraagbaar zijn bij de auteurs. Dit betreft onder andere een gedetailleerde wiskundige beschrijving van het ontwikkelde model, genaamd Dique-Opt (Zwaneveld, 2011) en een gedetailleerde beschrijving van de statistische formules die zijn gebruikt om de verschillende overstromingskansen te berekenen (Zwaneveld en Verweij, 2012).

2 Globale aanpak MKBA Waterveiligheid Afsluitdijk-IJsselmeergebied

2.1 Aanpak op hoofdlijnen

Zoals beschreven, behelst het bepalen van de economisch optimale dijkhoogtes een afweging tussen enerzijds de extra kosten voor het versterken van de dijken versus de verandering in de kans (en de daarbij behorende schade) op 'falen' van een dijkkringdeel. Voortbouwend op eerder werk van Van Dantzig (1956), Eijgenraam (2006) en Brekelmans et al. (2012, gebruikt voor MKBA WV21) dient deze economische afweging te worden gevat in een wiskundig model. Met een dergelijk wiskundig model wordt dan gezocht naar een zo goed mogelijke investeringsstrategie.

Het model bepaalt (i) wanneer de dijken het beste kunnen worden opgehoogd en (ii) in welke mate die moeten worden opgehoogd. Dit is een ingewikkelde wiskundige puzzel vanwege de vele mogelijkheden, zoals: verhoog je de dijk in kleine stapjes of grote stappen?, welke hoogte moet je bereiken?, wanneer moet je investeren? Soms kan deze puzzel 'bewezen optimaal' worden opgelost, soms moet genoegen worden genomen met een 'voldoende goede' oplossing.

De wiskundige ideeën achter de ontwikkelde wiskundig economische modellen zijn beschreven in bijlage A van het Plan van Aanpak (Zwaneveld, 2010). *Wiskundig* zijn deze modellen volledig anders van opzet dan de eerdere modellen. De *economische* afweging tussen de investeringskosten en het resterende veiligheidsrisico blijft op hoofdlijnen identiek.

Het model is nader uitgewerkt opdat ook het Markermeer bij de afweging betrokken kan worden. Ook hebben we een naam gegeven aan het model 'Dique-Opt': CPB's model for Dikes - Integer Quantitative Economic OPTimization. In Zwaneveld (2011) wordt het Dique-Opt model besproken en wordt tevens ingegaan op de oplossingsstrategie zoals het CPB die heeft geïmplementeerd. Voordat het model en de oplossingsmethode zijn geprogrammeerd, is advies gevraagd aan de Universiteiten van Maastricht en Tilburg. Beide hebben bevestigd dat de beoogde wiskundige modellering en de bijbehorende oplossingsmethode in principe geschikt zijn voor het beoogde doel. Uit het advies bleek ook dat het correct vatten van de economische afweging in het wiskundige model en het oplossen van het model een wetenschappelijk ambitieuze uitdaging betreft.

In deze notitie gaan we niet in op de wiskundige vergelijkingen van het Dique-Opt model. Het model wordt - net als alle eerdere modellen voor waterveiligheidsnormen - gekarakteriseerd door keuzes op de volgende vier aspecten. Zoals uit de beschrijving blijkt, bouwen we hierbij voort op keuzes en gegevens uit de MKBA WV21.

1. *Ruimtelijke eenheden*: dijkkringdelen. Net als in de MKBA WV21 gaan we uit van de opdeling in dijkkringdelen (zie figuur 2.1). Dit omdat deze dijkkringdelen een redelijk uniform schadepatroon hebben.
2. *Faalkansen*. De faalkansen wijken essentieel af van de faalkansen in de MKBA WV21. De primaire reden is dat we kijken naar wederzijdse afhankelijkheden tussen dijken. Het betreft hier de wederzijdse afhankelijkheden van voorliggende b-keringen met achterliggende dijken⁷ (a-keringen genaamd). In de MKBA WV21 is gekeken naar één faalkans (P1 genaamd in deze notitie), waarbij wordt verondersteld dat de voorliggende b-keringen (Afsluitdijk en Houtribdijk) oneindig sterk zijn. In deze notitie bekijken we nog zes additionele faalkansen die het gevolg zijn van het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk. De som van de zeven faalkansen betreft de totale faalkans van een dijk(ringdeel). Ook kijken we naar de situatie waarin het IJsselmeerwater wordt weggepompt naar de Waddenzee in plaats van spuien onder vrij verval, dat in de MKBA WV21 is verondersteld. Ook dit leidt tot aanzienlijk andere waarden voor de faalkansen. Spuien wordt overigens ook in deze notitie bekeken. Door beperkt budget voor hydraulische berekeningen kijken we naar enkele representatieve locaties/trajecten per dijkkringdeel i.p.v. naar alle trajecten (MKBA WV21) waaruit een dergelijk deel bestaat. Zie paragraaf 3.3.1 voor een bespreking van de consequenties voor de uitkomsten.
3. *Kosten van dijkversterkingen*. De kosten van een versterking (incl. kunstwerken, natuurcompensatie e.d.) van a-keringen nemen we over uit de MKBA W21. We gaan uit van de oorspronkelijke⁸ gegevens uit de database waardoor verschillen kunnen optreden met de kostenfuncties uit de MKBA WV21. Het verschil tussen overschrijdingskans en overstromingskans wordt expliciet gemodelleerd. In dit kader onderscheiden we de aanleg van een 'berm' die de kans op 'piping' en 'het wegschuiven van een dijklichaam' minimaliseert. De beschouwde kosten betreffen aanpassing van dijklichamen, bijbehorende infrastructuur, dijkbekleding, kunstwerken en compenserende maatregelen voor o.a. natuur. Voor de verschillende soorten kunstwerken zijn 175 verschillende kostenramingen beschikbaar. Per dijkkringtraject is op basis van gedetailleerde modelberekeningen beoordeeld welke type maatregelen opportuun zijn om een bepaalde mate van veiligheid te bereiken. Hierbij is de meest kosteneffectieve oplossing gekozen.

⁷ De afhankelijkheid tussen a-keringen onderling is verwaarloosd en daarmee worden de overstromingskansen enigszins 'conservatief' ingeschat. Deze afhankelijkheid is als volgt. Indien een bres optreedt in een a-kering dan kan het uitstroomvolume via die bres 500 à 1.000 m³/s bedragen. Dat is meer dan de gemiddelde winterinstroom vanuit de IJssel van 275 m³/s, waardoor enige tijd ontlasting van andere dijkkringen kan plaatsvinden. Als de doorgebroken dijkkring eenmaal is 'volgelopen', dan is er ook geen effect meer op het IJsselmeerpeil. Ook wordt (impliciet) aangenomen dat c-keringen op orde blijven: deze worden impliciet meeverhoogd. Een doorbraak van Wieringen slaat dan niet door naar de rest van Noord-Holland; dit geldt ook voor de Knardijk tussen Flevoland Noordoost en Zuidwest, etc.

⁸ Voor de MKBA WV21 zijn de kostenfuncties (inclusief maatregelen tegen 'piping' en wegschuiven, 2de referentie) aangepast om in het startjaar (2015/2020) uit te kunnen gaan van een grotere overstromingskans (2de referentie) dan de kans die eigenlijk correspondeert met de dijkhoogte in het startjaar. Wij gaan dus uit van de niet-aangepaste gegevens. In de MKBA WV21 zijn 'fictieve' dijkverhogingen in het model geïntroduceerd, omdat het gebruikte wiskundig-economische model in de MKBA WV21 'puur hoogte gedreven is' (de Grave en Baarse, 2011, figuur 7.1, p.70). Vanwege de hierna genoemde tijd- en hoogte invariante modelparameters in dat model (Kind, 2011, p.19 en 20) kan de genoemde aanpassing van de kostenfuncties ook een effect hebben op de overstromingskansen en kosten bij andere 'hoogtes' of 'overstromingskansen'. De parameters zijn α (=parameter die de kansreductie bepaalt van een bepaalde dijkverhoging), λ (= parameter die de vaste en variabele kosten van een dijkverhoging bepaalt) en b (= schaalparameter die de variabele kosten van dijkverhogingen bepaalt).

Innovatieve nieuwe toevoegingen aan het systeem (bijvoorbeeld aanpassen Ramspolkering) zijn niet gekozen. De WV21-kostenfuncties zijn gedetailleerd bepaald op basis van het verhogen/versterken vanaf de huidige hoogte met behulp van een model (het KOSWAT-instrumentarium). De kosten van een tweede en verdere verhogingen zijn geschat op basis van 'expert judgement' (de Grave en Baarse, 2011). De kosten voor het versterken van de Afsluitdijk en de Houtribdijk zijn primair afgeleid van gegevens van Rijkswaterstaat (zie Grevers en Zwaneveld, 2011).

4. *Schade (materieel, persoonlijk en evacuatie) bij falen dijk(ringdeel)*. De schadebedragen bij falen zijn overgenomen uit de MKBA WV21 (zie Kind, 2011 en De Bruijn en Van der Doef, 2011). De economische schade omvat niet alleen materiële schade, maar ook schade door slachtoffers (doden en gewonden) en evacuatie. Het betreft een 'gewogen gemiddelde' schade waarbij verschillende faalomstandigheden (klein, midden, groot) zijn meegenomen. De schade bij falen hangt onder andere af van de locatie van schade en de groei van de economie en bevolking. Gerekend is met een jaarlijkse economische groei conform de WLO 2006 (Transatlantic Market scenario; CPB et al., 2006). Dit is, net als in de MKBA WV21, gelijk aan 1,9% per jaar en bestaat uit 1,7% bbp-groei per capita en 0,2% bevolkingsgroei. De schade stijgt ook (enigszins) als gevolg van een hoger peil (van het IJsselmeer en Markermeer) en hogere dijken. Ook hierin is de modelering in de MKBA WV21 gevolgd. Er is rekening gehouden met de schaa sprong in Almere. Het schadebedrag per dode (statistical life, inclusief vijf gewonden) is 8 mln euro (prijsspeil 2009).

In deze studie is de schade aan natuur en de zoetwatervoorziening als gevolg van het zout worden van het IJsselmeer na een bres in de Afsluitdijk niet gemonetariseerd. Een schatting van deze schade was bij de start van dit project niet beschikbaar. Daarbij speelt dat de omstandigheden waarbij er een bres in de Afsluitdijk kan ontstaan, kunnen worden betiteld als een 'nationale ramp' die tot grote ontwrichtingen, zoals overstromingen, zal leiden. Het is dus de vraag of de schade aan de natuur en de zoetwatervoorziening in zo'n situatie als 'substantieel' of als 'verwaarloosbaar' wordt beschouwd. Het apart beschouwen van bijvoorbeeld de schade aan de zoetwatervoorziening (voor landbouw, burgers en industrie) kan leiden tot een dubbeltelling met de 'gewone' overstromingsschade door falen van een dijkkringdeel. Inmiddels is er een rapport verschenen dat nader ingaat op de effecten van het zout worden van het IJsselmeer na het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk (De Vries et al., 2013). In paragraaf 3.4 worden de conclusies van dit rapport kort weergegeven.

Figuur 2.1 Dijkringdelen rond het IJsselmeer



Bron: Kramer en Beckers (2012)

In hoofdstuk 3 worden de faalkansen, kosten van dijkversterkingen en schade bij falen uitvoeriger beschreven. Tenzij expliciet anders aangegeven, luiden alle geldbedragen in marktprijzen en hebben betrekking op het prijspeil in 2009. Dit conform de meest recente afspraken over het gebruik van prijzen in MKBA's (Zwaneveld en Eijgenraam, 2011). Kostenfuncties voor dijkversterkingen zijn dus inclusief btw en inclusief een opslag voor kosten Rijkswaterstaat.

Het Diqe-Opt model is zodanig opgezet dat - vrijwel volledige - flexibiliteit aanwezig is ten aanzien van het 'format' waarin kosten van dijkverhogingen⁹ en faalkansen¹⁰ worden meegenomen in het wiskundige model. Dit om eventueel locatie-specifieke aspecten goed te kunnen modelleren en zo goed mogelijk de 'werkelijke' situatie te benaderen. De eerder ontwikkelde modellen (Eijgenraam, 2005 en Brekelmans et al. 2012) vereisen bepaalde specifieke functionele verbanden ('functies' voor kosten en schade en overschrijdingskansen),

⁹ We gebruiken inderdaad een ander 'format' kostenfuncties dan eerder gebruikelijk omdat dit beter aansluit bij de praktijk. Zie bijvoorbeeld paragraaf 3.1.4.

¹⁰ Vanwege de onderlinge afhankelijkheden en daarmee complexere faalkansen kijken we fors af van eerdere kansfuncties. Wel worden de vele onderdelen van de kansfunctie nog wel gemodelleerd als een - zeer gebruikelijke - 'exponentiële functie'.

waarvan niet kan worden afgeweken. Dit omdat de oplossingsmethode op deze functionele verbanden is gebaseerd.

Het Dique-Opt model is gemodelleerd in de veel gebruikte modelleertaal GAMS¹¹ (General Algebraic Modeling System) en is direct verbonden met de database van de MKBA WV21 (beschikbaar gesteld door Deltares). Het model wordt - optimaal - opgelost met de CPLEX-solver. Meerdere modellen bij het CPB en departementen draaien in GAMS. De 'solver' van het wiskundig-economische model van de MKBA WV21 die kan worden benaderd via *OptimaliseRing* is geprogrammeerd in de modelleertaal AIMMS. AIMMS en GAMS hebben grote overeenkomsten, zowel qua syntax als qua toepassingsmogelijkheden.

Tot slot kan ook in Bos et al. (2012, p.51-55) een bespreking van het Dique-Opt model worden gevonden. De daar gehanteerde aannames ten aanzien van kosten, schades en faalkansen kunnen verschillen van de in deze notitie gebruikte aannames. In paragraaf 4.4 bespreken we in een tekstbox het effect van deze verschillen op de conclusies uit de KEA DPIJ (Bos et al., 2012).

2.2 Beschouwde locaties en faalkansen

Een belangrijke stap is het bepalen welke dijkkringdelen worden beschouwd en welke locatie(s) per dijkkringdeel representatief¹² zijn. Hierbij is rekening gehouden met het beperkte budget voor hydraulische berekeningen. Bij het bepalen van de gewenste locaties kan worden voortgebouwd op ervaringen tijdens soortgelijke berekeningen voor de KEA Afsluitdijk en de MKBA WV21. Dit heeft ertoe geleid dat voor de meeste dijkkringdelen slechts één representatieve locatie wordt beschouwd (uit oogpunt van kostenreductie). In sommige gevallen is vastgesteld dat het falen van een dijkkringdeel op de ene locatie vooral afhankelijk is van de wind en op een andere locatie vooral afhankelijk van het meerpeil of dat verschillende locaties falen onder verschillende windrichtingen. Indien dit het geval is, worden er twee of meer locaties op één dijkkring beschouwd. De keuze voor de locaties is uiteindelijk na overleg met het CPB gemaakt door Deltares (Kramer en Beckers, 2012).

¹¹ Zie www.gams.com voor nadere informatie over GAMS. Voor AIMMS verwijzen we naar www.aimms.com

¹² In beleidstudies worden veelal representatieve 'vakken' gekozen met lengtes van tientallen kilometers. Bij de reguliere landelijke toetsrondes van alle dijkkringdelen wordt dijkvakken beschouwd van 100 meter lang.

Figuur 2.2 Geselecteerde locaties rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer



In aanvulling op de in de KEA Afsluitdijk beschouwde dijkkringdelen zijn er meer dijkkringdelen (en locaties) in de (monding van de) IJssel- en Vechtdelta beschouwd. Tevens is er een locatie (Muiden Haven) in de berekeningen opgenomen die mogelijk van invloed is op de overstromingsrisico's van de stad Amsterdam.

Een overzicht van de beschouwde dijkkringdelen en bijbehorende locaties staat in figuur 2.2 en tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beschouwde representatieve locaties per dijkkringdeel

Dijkkringdeel	Nr. Beschouwde locaties:		
	1	2	3
IJsselmeer			
Zuid-West Friesland	6-4	F100 Gaast	F280 StavorenNrd F425 Marderhoek
Noordoostpolder	7-1	N223 Westermeerdijk	N375 ZuidmrdijkO
Flevoland-Noordoost	8-1	F095 Ketelmeerdijk	F235 IJsselmrdijk
West-Friesland (NH) noord	13-2-1	06A Andijk WRK	04A Onderdijk
Wieringen IJsselmeer	12-1	01B Dijkgatbos	
IJssel- en Vechtdelta			
IJsseldelta	11-1	Kampen	
Mastenbroek	10-1	Wilsom	
Vollenhove	9-1	Zwartsluis	Hessenpoort
Salland	53-1	Langenholte	
Oost Veluwe	52-1	Hattem	
Markermeer			
Flevoland-Zuidwest	8-2	hm19.0 Oostvrdrsdijk	
West-Friesland (NH) zuid	13-2-2	06A Kroonhoeve Nrd	
Noord-Holland Waterland	13-4	30 Zuidpolder	
Marken	13b-1	45B MarkenNO	
Gooi en Vechtstreek	44-2	gav7 Muiden haven	
Eempolder	46-1	dp17.6 Eemdijk	
Gelderse Vallei-Meren	45-2	dp7.3 Wielse Sluis	
B-keringen			
Houtribdijk		H-IJM 144	

De totale overstromingskans van een dijkkringdeel als geheel bestaat uit verschillende componenten.

Allereerst zijn daar de faalkansen 'P1', 'P2' en 'P3'. Met 'faalkans' bedoelen we 'overstromingskans'. Paragraaf 3.1 gaat nader in op de verschillen en overeenkomsten tussen de begrippen 'overstromingskans' en 'overschrijdingskans'. De totale overstromingskans voor dijkringen rond het IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta bestaat uit de som van faalkansen P1 tot en met P3. De totale overstromingskans voor dijkringen rond het Markermeer bestaat uit de som van de faalkansen P1 tot en met P7.

De kans 'P1' betreft de *faalkans van een dijkkring gelegen aan het IJsselmeer of Markermeer bij een goed functionerende Afsluitdijk (en Houtribdijk)*. De Afsluitdijk en de Houtribdijk worden daarbij oneindig sterk verondersteld. Deze kans (en de bijbehorende verwachte schade) is - per definitie - onafhankelijk van de faalkans van de Afsluitdijk (en Houtribdijk). De faalkans P1 wordt vooral beïnvloed door de hoogte en sterkte van de dijk, de meerpeilstrategie¹³ ('pompen' of 'spuien') en de windsnelheid en windrichting. De verwachte schade wordt als

¹³ Het IJsselmeerpeil fluctueert van dag tot dag. De mate van fluctuatie hangt af van de meerpeilstrategie, dus bijvoorbeeld of men het peil tracht te beheersen met 'spuien' dan wel 'pompen' en of men voorafgaand aan een verwachte grote aanvoer van water uit de IJssel al preventief gaat spuien/pompen.

volgt berekend: verwachte schade = faalkans × schade. Deze P1-kans is de enige kans die in het wiskundig-economische model van de MKBA WV21 voorkomt. Alle andere kansen (P2 t/m P7) zijn nieuw en komen bovenop deze P1-kans.

De kans 'P2' is de *extra faalkans, om precies te zijn de toename van de faalkans ten opzichte van 'P1'*, die ontstaat voor een dijkkring gelegen aan het IJsselmeer *tijdens dezelfde storm als de Afsluitdijk faalt*. Als er een bres in de Afsluitdijk ontstaat tijdens een storm, dan zal er extra (Waddenzee)water het IJsselmeer in komen. In combinatie met de storm die dan nog voortduurt, is er een vergrote kans dat dijkringen aan het IJsselmeer doorbreken. De kans 'P2' voor dijkkringdelen gelegen aan het Markermeer betreft de extra faalkans dat het dijkkringdeel faalt tijdens dezelfde storm als de Afsluitdijk faalt. Verondersteld wordt dat de Houtribdijk intact blijft. Extra water in het IJsselmeer kan via problemen met peilbeheer een extra belasting opleveren voor dijken rond het Markermeer. De kans op de situatie dat tijdens eenzelfde storm de Afsluitdijk en de Houtribdijk falen en daardoor de dijkringen aan het Markermeer direct extra worden belast, wordt veronachtzaamd. Dijkkringen aan het Markermeer lopen dan waarschijnlijk geen extra gevaar. De hoeveelheid water die het IJsselmeer instroomt *tijdens* de storm waarin een bres in de Afsluitdijk ontstaat, is relatief beperkt. Dus de hoeveelheid daarvan die *tijdens deze storm* in het Markermeer terecht komt, lijkt zeer beperkt.

Vervolgens is er de kans 'P3'. Dit is de extra kans ten opzichte van 'P1' en 'P2' dat er schade ontstaat tijdens een *vervolg-storm* aan dijkringen rond het IJsselmeer in het halfjaar dat de bres in de Afsluitdijk nog niet is gerepareerd. De bres zorgt voor een open verbinding tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. Dit zorgt voor een hoger IJsselmeerpeil (mogelijk dan beter aangeduid met 'Zuiderzeepeil') en voor (beperkte) getijwerking. Daarbij stijgt de zeespiegel conform het W+-scenario met 85 cm in 2100 wat zich vertaalt in een hoger IJsselmeerpeil. Hierdoor neemt de kans op extra schade rond het IJsselmeer uiteraard ook toe. Deze extra schade kan eruit bestaan dat een bepaalde dijkkring voor de tweede keer doorbreekt. Dit is denkbaar omdat als een a-kering doorbreekt men waarschijnlijk de bres zo snel als mogelijk zal dichten.

Voor dijkringen rond het Markermeer heeft 'P3' betrekking op de extra faalkans ten opzichte van 'P1' en 'P2', die ontstaat doordat het Markermeerpeil bij een bres in de Afsluitdijk - maar een goed functionerende Houtribdijk - mogelijk minder goed beheerst kan worden.

De totale faalkans van een dijkkringdeel gelegen aan het IJsselmeer kan worden bepaald door de drie kansen op te tellen: totale faalkans = P1 + P2 + P3. Deze drie kansen zijn eerder berekend in het kader van de KEA Afsluitdijk en soortgelijke berekeningen worden ook voor de MKBA Waterveiligheid IJsselmeer uitgevoerd.

Voor dijkkringdelen aan het Markermeer worden in aanvulling op bovenstaande drie kansen nog de kansen 'P4', 'P5', 'P6' en 'P7' onderscheiden.

De kans 'P4' betreft de *extra faalkans* die ontstaat voor een dijkkring gelegen aan het Markermeer *tijdens dezelfde storm als de Houtribdijk faalt. De Afsluitdijk is dan nog wel intact (en blijft ook intact)*. Deze extra faalkans is afhankelijk van het instroomvolume tijdens deze storm.

De kans 'P5' betreft de *extra faalkans* dat de a-kering rond het Markermeer faalt *tijdens een vervolgstorm door het verhoogde meerpeil als gevolg van het eerder ontstaan van een bres in de Houtribdijk. De Afsluitdijk is en blijft dan intact*. Bij deze kans is het belangrijk te weten hoe lang het duurt voordat de Houtribdijk gerepareerd is (gegeven dus een goed functionerende Afsluitdijk). Hiervoor wordt minimaal een half jaar verondersteld: in de zomer na het ontstaan van de bres kan de Houtribdijk worden gerepareerd.

De kans 'P6' betreft de *extra faalkans* die ontstaat voor een dijkkring gelegen aan het Markermeer *tijdens dezelfde storm als de Houtribdijk faalt, terwijl er een bres in de Afsluitdijk zit*. Als er een bres ontstaat in de Houtribdijk tijdens een storm, dan zal er extra IJsselmeer- en Waddenzeewater in het Markermeer komen. In combinatie met de storm die dan nog voortduurt, is er een vergrote kans dat dijkkringdelen aan het Markermeer doorbreken.

Tot slot wordt kans 'P7' onderscheiden. Dit betreft de kans dat er extra schade ontstaat tijdens een *vervolgstorm* aan dijkringdelen rond het Markermeer in de periode dat er *zowel een bres zit in de Houtribdijk als de Afsluitdijk*. Dit zorgt dan voor een (veel) hoger peil van het Markermeer en mogelijk voor (zeer beperkte) getijwerking. De zeespiegel stijgt conform het W+-scenario met 85 cm in 2100 hetgeen zich vertaalt in een hoger Markermeerpeil. Voor deze kans is het belangrijk te weten hoe lang het duurt voordat de Houtribdijk gerepareerd wordt bij een bres in de Afsluitdijk. Standaard wordt een reparatietijd van een half jaar (6 maanden) verondersteld.

De totale faalkans van een dijkkring gelegen aan het Markermeer kan worden bepaald door de volgende kansen op te tellen: $\text{totale faalkans} = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7$.

Alle faalkansen zijn specifiek bepaald voor deze MKBA onder twee verschillende beleidsopties te weten het blijven spuien van IJsselmeerwater (inclusief het dus uiteindelijk in 2035 verhogen van het streefpeil van het IJsselmeer) en het wegpompen van het IJsselmeerpeil (dan kan het streefpeil gelijk worden gehouden). In de berekeningen is hierbij uitgegaan van het KNMI W+ klimaatscenario (o.a. 85 cm zeespiegelstijging in 2100 t.o.v. 1990). In nauw overleg tussen CPB en Deltares zijn de beschikbare hydraulische modellen gebruikt door Deltares om de vereiste 'basisdata' te berekenen (Kramer en Beckers, 2012). De berekeningen zijn uitgevoerd voor 2010 (op basis van de 'huidige' situatie), 2035 en 2100 en voor verschillende combinaties van dijkhoogte van zowel de a-keringen, de Houtribdijk als de Afsluitdijk. Op basis hiervan heeft het CPB de faalkansen bepaald. De aldus verkregen datapunten zijn via interpolatie en extrapolatie gebruikt om ook de overschrijdingskansen bij andere hoogtes en in andere jaren te verkrijgen. De resultaten zijn gereviewd en goedgekeurd op basis van de gebruikelijke interne procedure bij Deltares door twee medewerkers (naast de directe auteurs, zie Kramer en Beckers, 2012) en gecontroleerd door experts van de Waterdienst.

Een gedetailleerde beschrijving (inclusief statistische formules) van de wijze waarop de zeven overstromingskansen zijn berekend, is als achtergronddocument beschikbaar. Dit document is opvraagbaar bij de auteurs.

3 Bespreking inputgegevens

In paragraaf 3.1 wordt ingegaan op de gebruikte hydraulische gegevens en rekenschema's om de overstromingskansen te berekenen. Paragraaf 3.2 geeft de berekende overstromingskansen in grafieken weer. De kostengegevens worden gepresenteerd in paragraaf 3.3. Tot slot worden in paragraaf 3.4 de schadebedragen (bij overstromen) weergegeven.

3.1 Achtergrond bij berekening overstromingskansen

Bij alle hydraulische berekeningen is uitgegaan van (de bovenkant van) het W+-scenario. Enkele kenmerken van dit scenario zoals die wordt gehanteerd:

1. De zeespiegelstijging van 1990 tot 2050 bedraagt 35 cm.
2. De zeespiegelstijging van 2050 tot 2100 bedraagt nogmaals 50 cm. De totale zeespiegelstijging bedraagt dus 85 cm tussen 1990 en 2100.
3. We veronderstellen dat de zeespiegelstijging de afgelopen twee decennia (1990-2010) even hard is gestegen als de afgelopen ruim 100 jaar¹⁴ (PBL, 2011). Dit betekent dat de zeespiegel in de periode 1990-2010 met (afgerond) 4 cm is gestegen. De stijging tussen 2010 en 2050 conform het W+-scenario bedraagt dan dus nog 31 cm ($31/40 = 0,78$ cm/jaar).

De raming voor het W+ klimaatscenario is door het CPB gebruikt om ook de effecten bij een gematigd klimaatscenario te bepalen. Hierbij is verondersteld dat deze effecten kunnen worden gezien als een vertraagde versie van de effecten van het W+-klimaatscenario. Hiermee lijkt een zeer redelijke benadering te zijn verkregen van het echte KNMI G Klimaatscenario (35cm zeespiegelstijging 1990-2100, zie Bos et al., 2012, p.62). Dit scenario wordt aangeduid met pseudo G-scenario.

Gegeven deze klimaatscenario's wordt er een tweetal varianten voor het peilbeheer van het IJsselmeer onderscheiden.

¹⁴ Conform PBL (2011, Figuur B1) is de zeespiegel in de periode 1900-2010 bestegen met (circa) 20 cm. Dit is dus een stijging van 0,182 cm per jaar. De zeespiegel is volgens deze trend in de periode 1990-2010 gestegen met 3,62 cm, afgerond 4 cm. De zeespiegel stijgt volgens het W+-scenario in de periode 2010-2050 met 0,775cm (=31/40) per jaar. De zeespiegel is dus in 2035 met 19,4 cm (afgerond 19 cm) gestegen t.o.v. 2010. De zeespiegel stijgt tussen 2035 en 2100 dus nog met 62 cm. Als het IJsselmeer in deze periode één-op-één meestijgt met de zee, dan zou het streefpeil in 2100 +0,22 m NAP bedragen (huidig streefpeil in -0,40 NAP). Toch wordt een streefpeil van +0,30m NAP gehanteerd. Argumenten hiervoor zijn: (i) het huidige streefpeil wordt nu ook veelal niet gehaald bij spuien, dus is het verstandig iets hoger te zitten en (ii) ook in het Deltaprogramma IJsselmeergebied (DPIJ) wordt bij meestijgen in 2100 een streefpeil van +0,30m NAP gehanteerd.

Bij **variant 'pompen'** wordt uitgegaan van een pomp van 2.000 m³/s in de Afsluitdijk in 2020. Uit eerste berekeningen van Deltares en de CPB-inschatting in de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011, p.43, voetnoot 26) blijkt, dat een dergelijke pomp ruim voldoende moet zijn om het meerpeilniveau meestal te handhaven. Bij een hogere afvoer van de IJssel¹⁵ dan 2.000 m³/s treedt het IJsselmeer op als buffer waardoor het peil tijdelijk zal stijgen (zie voor meer informatie Kramer en Beckers, 2012). De capaciteit van de huidige spuisluizen bij Den Oever (DO) en Kornwerderzand (Kwz) blijft in alle hydraulische berekeningen in stand, al verliezen die in de loop der tijd hun functie door de verdergaande zeespiegelstijging. Bij versterking van de Afsluitdijk worden ze niet vernieuwd. Bij deze variant wordt er een pomp van 100 m³/s geïnstalleerd op de Houtribdijk in 2020 (in plaats van de nu aanwezige spuisluizen die verondersteld worden te zijn gesloten) en blijven de huidige streefpeilen van het Markermeer gehandhaafd.

Bij **variant 'meestijgen'** wordt uitgegaan van de bouw van ESA (Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk), waardoor de spuicapaciteit verdubbelt (KEA Afsluitdijk, Grevers en Zwaneveld, 2011, paragraaf 2.2). De capaciteit van de huidige spuisluizen bij Den Oever (DO) en Kornwerderzand (Kwz) blijft - net als in alle andere varianten en steekjaren - in stand. Bij nieuwbouw of versterking van de Afsluitdijk worden deze meegenomen. De huidige streefpeilen van het IJsselmeer blijven bij het W+-scenario tot 2035 gehandhaafd. Daarna stijgt het IJsselmeerpeil mee met de zeespiegelstijging. Het peil van het Markermeer wordt ontkoppeld van het peil van het IJsselmeer, door het installeren van een pomp (100 m³/s) op de Houtribdijk. Ook hier worden de spuisluizen in de Houtribdijk verondersteld te zijn gesloten. De huidige streefpeilen van het Markermeer (nu: identiek aan het IJsselmeer, dus -0,40m NAP in de winter) blijven gehandhaafd. Een dergelijke pomp is ruim voldoende om het Markermeerpeil goed te beheersen (Kramer en Beckers, 2012). De pomp van 100 m³/s blijkt een grote positieve invloed te hebben op de veiligheid van de dijkkringdelen rond het Markermeer.

Bij beide varianten wordt geen rekening gehouden met de faalkansen van de pompen en de spuisluizen zelf. In de hydraulische berekeningen (Kramer en Beckers, 2012) is verondersteld dat zowel de spuisluizen als de pompen technisch goed werken. Het vergt nader onderzoek om de faalkansen van de spuisluizen en pompen te bepalen op basis van technisch of menselijk falen. Voor het begrip is het belangrijk te beseffen dat het niet om één grote pomp of één grote spuisluis gaat. Meerdere kleinere pompen leveren samen de totale pompcapaciteit van 2.000 m³/s. Ook de spuisluizen bestaan uit meerdere onafhankelijk te openen sluisen die samen de totale benodigde spuicapaciteit leveren.

¹⁵ De kans op een IJsselafvoer van 2.400 m³/s of hoger is op dit moment 1/1.250. De gemiddelde IJsselafvoer in de winter bedraagt nu zo'n 650 m³/s (Grevers en Zwaneveld, 2011, par. 2.2). Een pomp van 2.000 m³/s is dus ruim voldoende om de gemiddelde IJsselafvoer weg te pompen. Kramer en Beckers (2012) bespreken uitgebreid het effect van de pomp van 2.000 m³/s op de variabiliteit van het IJsselmeerpeil.

De pompcapaciteit van 2.000 m³/s blijkt - op basis van de huidige inzichten - te klein om het binnenstromende Waddenzeewater weer weg te pompen, indien er een bres ontstaat in de Afsluitdijk. We veronderstellen bij variant pompen dat de pompen niet meer functioneren, nadat er een bres in de Afsluitdijk is geslagen. Dit om een worst-case scenario weer te geven.

Als representatieve bres in de Afsluitdijk wordt verondersteld dat de kunstwerken 'eruit vliegen', i.e. een bres van uiteindelijk zo'n 400 meter breed. Dit conform de berekeningen uit de KEA Afsluitdijk. De veiligheid van kunstwerken is namelijk veelal bepalend voor de veiligheid van een gehele dijk. Vervolgens duurt het tot de volgende zomer (6 maanden) voordat de bres is gerepareerd.

Daarnaast is het ook mogelijk dat de 'representatieve bres' ontstaat in het dijklichaam zelf (kunstwerken zijn dan bijvoorbeeld veel veiliger dan het dijklichaam). In dat geval lijkt, uit eerste berekeningen van Deltares, het logisch te veronderstellen dat er drie bressen ontstaan die in 12 uur lineair groeien naar een uiteindelijke breedte van 400 meter. Tijdens de storm waarbij deze bres ontstaat, bedraagt de waterstandsverhoging als gevolg van instroom bij zowel de varianten 'pompen' als 'meestijgen' enkele centimeters (Kramer en Beckers, 2012). Hier komt dan nog de extra waterstandsverhoging bij als gevolg van 'overslag'. Door beperkt budget voor hydraulische berekeningen is deze variant niet doorgerekend.

Tot slot bleek tijdens uitvoering van dit project dat er bressen in de Afsluitdijk kunnen ontstaan die mogelijk snel kunnen worden gerepareerd. Dit is in potentie relevant, omdat het de kans op vervolgschades (via P3 en P7) aanmerkelijk kan verkleinen. Uit navraag bij Deltares en de Waterdienst blijkt dat als kunstwerken het begeven, edoch de zijwanden van de schut- of spuisluizen blijven staan, het mogelijk moet zijn om die sluisen dan vol te storten met stenen. Doordat er schotten geplaatst kunnen worden aan beide kanten zullen de stenen niet wegspoelen. Bij een 'gewone bres' spoelen de stenen waarschijnlijk wel weg. Hoe snel een bres in de kunstwerken gedicht kan worden met stenen is niet bekend. Noch is bekend welke preventieve maatregelen er nodig zijn (bijvoorbeeld het klaarleggen van een grote stapel stenen met een shovel). Gezien de mogelijk beperkte meerkosten en de potentieel grote baten, verdient het aanbeveling dit aspect nader te onderzoeken.

3.1.1 Definitie overschrijdings- en overstromingskansen en dijkringdelen

Door verschillende hydraulische oorzaken kan een bres in een dijk ontstaan. Zo kan het water een bepaald peil 'overschrijden', zodat het over de dijk heen slaat. Hierdoor kan er een bres¹⁶ in de dijk ontstaan en dan is er sprake van een overstroming, waardoor schade ontstaat. Er kunnen ook andere oorzaken zijn waardoor een dijk faalt, zoals 'piping' (i.e. het ontstaan van geulen onder de dijk die ervoor zorgen dat de dijk uiteindelijk inzakt) en het wegschuiven van een dijk (zoals bijvoorbeeld in 2003 in Wilnis plaatsvond). Vaak wordt gesproken over overschrijdingskansen en overstromingskansen. Er blijken meerdere definities van deze

¹⁶ Indien er water over een dijk heen slaat zonder dat er een bres ontstaat, dan is er meestal geen sprake van een overstroming. Veelal zal dan de hoeveelheid water die over de dijk heen slaat, wel voor wateroverlast zorgen maar verder geen grote schade veroorzaken.

begrippen te bestaan, zowel op papier (zie bijvoorbeeld de Waterwet¹⁷ en VNK2, 2012) als in de hoofden van deskundigen. In deze studie gebruiken we de volgende definities. Deze definities zijn in lijn met de in de MKBA WV21 gehanteerde begrippen (Kind, 2011).

Overschrijdingskans: dit betreft de kans (in een winterperiode) dat een zodanige waterstand wordt bereikt of overschreden dat er zoveel water over de dijk heen slaat waardoor er een overstroming plaatsvindt. Het water overschrijdt dan de kruin van de dijk waardoor er een bres ontstaat in de dijk. In de berekeningen is verondersteld dat indien het water over de dijk heen slaat met een debiet van minimaal 1 liter per meter per seconde, dat de dijk 'faalt' en er dus een overstroming plaatsvindt.

Overstromingskans: dit betreft de kans (in een winterperiode van zes maanden) die is verbonden aan alle mogelijke *hydraulische* oorzaken voor het falen van een dijk (inclusief inliggende kunstwerken) waardoor een overstroming plaatsvindt (lees: er komt een bres in de dijk zodat het gebied erachter onder water komt te staan). De overstromingskans van een dijk is dus altijd in de door ons gehanteerde definitie groter of gelijk aan de overschrijdingskans. Andere faalmechanismen dan overschrijden betreffen 'piping' en het wegschuiven van een dijk. Het ontstaan van een bres door oorzaken zoals sabotage en het neerstorten van een vliegtuig worden niet in beschouwing genomen.

Naast de aanduiding 'overschrijdingskans' en 'overstromingskans' gebruiken we soms de aanduiding 'faalkans'. De dijk 'faalt' dan, hetgeen betekent dat er door welke hydraulische oorzaak dan ook - door het ontstaan van een bres een overstroming plaatsvindt. Conform bovenstaande definities komt het begrip 'faalkans' overeen met 'overstromingskans'.

De huidige Nederlandse wettelijke waterveiligheidsnormen zijn nu nog gedefinieerd op basis van overschrijdingskans (min I&M, 2009, p.65). De nieuwe waterveiligheidsnormen worden gebaseerd op overstromingskansen (min I&M, 2013). Regelmatig wordt getoetst of dijkkringdelen voldoen aan deze 'normen'.

Bij deze toetsing wordt verondersteld dat de voorliggende b-keringen (in het door ons beschouwde gebied zijn dat de Afsluitdijk en de Houtribdijk) oneindig sterk zijn. Ook in eerdere studies naar economisch optimale overstromingskansen (bijvoorbeeld de MKBA WV21) en de huidige wet (min I&M, 2009) is gekeken naar de kans dat een dijkkringdeel overstroomt onder de aanname dat alle voorliggende b- keringen (hier: de Afsluitdijk en de Houtribdijk) oneindig sterk zijn. Deze kans noemen wij de P1-overstromingskans.

In deze studie kijken we ook naar de toename van de overstromingskans door het ontstaan van een bres (lees: falen) in de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk. Deze toename vertaalt zich

¹⁷ Zie Waterwet, artikel 2.2: http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/geldigheidsdatum_18-04-2013

naar zes additionele faalkansen (P2 t/m P7 genaamd). Deze zes additionele kansen betreffen dus de toename van de kans door het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk.

Net als in de MKBA WV21 werken we toe naar één getal om het economisch optimale beschermingsniveau van een dijkkringdeel voor het jaar 2050 in uit te drukken. Dit getal noemen we ‘toetskans’. In paragraaf 4.3 gaan we nader in op de definitie en het gebruik van de toetskans. De overstromingskans van een dijkkringdeel in 2050 dient kleiner te zijn dan deze ‘toetskans’. De toetskans kan worden gezien als een ‘voorstel’ voor de nieuwe geactualiseerde wettelijke waterveiligheidsnormen vanuit een economisch perspectief. Bij het bepalen van de waarde van de toetskans houden we er rekening mee dat als uit toetsing blijkt dat de toetskans wordt overschreden, het uitvoeren van de verbeteringsmaatregelen nog zo’n 15 jaar duurt.

Veelal drukken we die toetskans uit in de P1-overstromingskansdefinitie opdat we een vergelijking kunnen maken met de huidige wettelijke normen en de uitkomsten van de MKBA WV21. Dan spreken we van de P1-toetskans. We drukken de toetskans ook uit op basis van totale overstromingskans. In dat geval spreken we van de Ptotaal-toetskans (of Ptot-toetskans). De totale overstromingskans bestaat uit de som van de kansen P1 t/m P7 voor dijkkringdelen rond het Markermeer en de som van P1 t/m P3 voor dijkkringdelen rond het IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta.

In deze studie gebruiken we een soms iets andere naamgeving voor dijkkringdelen dan in de MKBA WV21. We volgen de naamgeving uit de KEA DPIJ (Bos en Zwaneveld, 2012). Onderstaande tabel geeft inzicht in de overeenkomsten en verschillen in naamgeving.

Tabel 3.1 Dijkkringdeelnamen in dit rapport (Diqe-Opt), in MKBA WV21 en dijkkringdeelnummer

Naam dijkkringdelen	Dijkkringdeelnummer	
Diqe-Opt (dit rapport en KEA DPIJ)	MKBA WV21	Diqe-Opt en MKBA WV21
IJsselmeer		
Zuid-West Friesland	Friesland-Groningen-IJsselmeer	6-4
Noordoostpolder		7-1
Flevoland-Noordoost		8-1
West-Friesland (NH, noordelijk)	Noord-Holland-West_Friesland	13-2-1
Wieringen IJsselmeer		12-1
IJssel- en Vechtdelta		
IJsseldelta		11-1
Mastenbroek		10-1
Vollenhove		9-1
Salland		53-1
Oost Veluwe		52-1
Markermeer		
Flevoland-Zuidwest		8-2
West-Friesland (NH, zuidelijk)	Noord-Holland-West_Friesland	13-2-2
Noord-Holland-Waterland		13-4
Marken		13b-1
Gooi en Vechtstreek	Kromme Rijn-Meren	44-2
Eempolder		46-1
Gelderse Vallei-Meren		45-2

3.1.2 Overschrijdingskans per locatie en dijkkringdeel

Zoals eerder uitgelegd beschouwen we een of meer locaties per dijkkringdeel. De reden om meer dan één representatieve locatie per dijkkringdeel te kiezen¹⁸, is dat de verschillende locaties op een dijkkringdeel falen onder verschillende omstandigheden (bijvoorbeeld: wind uit een andere richting).

Indien elke locatie op een dijkkringdeel onder identieke omstandigheden faalt, dan kan - mits elke locatie op een dijkkringdeel een identieke overschrijdingskans heeft - de overschrijdingskans per locatie gelijk worden gesteld aan de overschrijdingskans van het gehele dijkkringdeel (en vice versa). In een dergelijke situatie wordt volstaan met één representatieve locatie per dijkkringdeel. Indien er echter twee locaties zijn per dijkkringdeel die elk falen onder onafhankelijk van elkaar optredende omstandigheden, dan worden er twee representatieve locaties per dijkkringdeel beschouwd. Om het dijkkringdeel als geheel een bepaalde overschrijdingskans te geven, dient elke locatie een overschrijdingskans te hebben die de *helft* is van de overstromingskans van het gehele dijkkringdeel. Tabel 2.1 geeft een overzicht hoeveel 'onafhankelijke' locaties per dijkkringdeel zijn verondersteld.

Indien er twee of meer 'representatieve' locaties per dijkkringdeel zijn, dan wordt de overschrijdingskans van het gehele dijkkringdeel dus bepaald door de sommatie van de overschrijdingskansen. Indien er twee representatieve locaties per dijkkringdeel zijn en elk heeft een overschrijdingskans van 1/1.000, dan is de overschrijdingskans van het dijkkringdeel als geheel 2/1.000 (=1/1.000+ 1/1.000). Indien er drie representatieve locaties per dijkkringdeel zijn met elk een overschrijdingskans van 1/1.000, dan is de totale overschrijdingskans van het dijkkringdeel als geheel 3/1.000, etc.

3.1.3 Uitgangssituatie

Als startsituatie veronderstellen we net als in de MKBA WV21, dat in 2015 de beschouwde dijkkringdelen een (*P1*-)overschrijdingskans hebben die gelijk is aan de huidige wettelijke veiligheidsnormen. We hebben getracht om betere informatie te verkrijgen van de actuele hoogte/sterkte en de bijbehorende overschrijdingskansen. Die blijkt helaas niet voorhanden. De informatie over overhoogte/oversterkte lijkt niet erg consistent en is daarmee onvoldoende betrouwbaar en roept - op moment van schrijven - nog veel vraagtekens op (zie Verweij en Zwaneveld, 2013). We veronderstellen dus - analoog aan de MKBA WV21 - dat er 'overhoogte' noch 'onderhoogte' aanwezig is.

Uit de laatste - derde - toetsronde voor waterkeringen (IVW/Waterbeheer, 2011, p.16) kan worden opgemaakt dat meerdere dijkkringdelen zijn 'afgekeurd'. De meest logische interpretatie hiervan is dat er minder veiligheid aanwezig is dan volgens de huidige wettelijke normen gewenst. Uit mondelinge informatie van de Waterdienst lijkt op meerdere locaties

¹⁸ Deze keuze sluit ook aan bij de suggestie van Deltares (Kramer en Beckers, 2012, p.27): "... als we de kansen van de berekende locaties optellen dan heeft dit een soortgelijk effect als de vertaling van overschrijdingskans per dijkvak naar overstromingskans per dijkkringdeel. Daarom worden de kansen voor de locaties opgeteld."

(bijvoorbeeld Vecht, Houtribdijk en mogelijk rond het Markermeer) sprake te zijn van daadwerkelijk grotere overschrijdings- en overstromingskansen dan geïmpliceerd door de wettelijke normen. In welke mate deze 'ondersterkte of onderhoogte' aanwezig is, viel bij aanvang van deze studie niet te zeggen. Daarom is hier geen rekening mee gehouden. Zie paragraaf 6.3 voor een nadere beschouwing van dit punt.

Elke locatie op een dijkkringdeel heeft in 2015 een zodanige hoogte, dat het dijkkringdeel als geheel een overschrijdingskans heeft die gelijk is aan wettelijke norm. De overschrijdingskans in 2015 wordt gebaseerd op de berekende kansen voor 2010 gecorrigeerd voor de bodemdaling tussen 2010 en 2015 (zie paragraaf 3.4). De kruinhoogte van dijken dalen daarbij even hard mee als de bodemdaling van het gebied. Dijken liggen 'op de ondergrond' en als de ondergrond daalt, dan dalen de dijken mee. Dit bepaalt de starthoogte van de dijkeringen in 2015.

De overschrijdingskans per beschouwde locatie wordt bepaald door de wettelijke norm per dijkkringdeel te delen door het aantal beschouwde locaties per dijkkringdeel. Voor twee dijkkringdelen zijn additionele keuzes noodzakelijk: Wieringen en West-Friesland (NH). Wieringen is gesplitst in een deel aan de Waddenzee en een deel aan het IJsselmeer. Aan het deel aan het IJsselmeer wordt de helft van de norm toegekend (faalkansen van beide delen lijken volledig onafhankelijk). Voor West-Friesland geldt dat de helft van de dijkkring aan het IJsselmeer en de andere helft aan het Markermeer ligt. Ook hier is een 50-50 verdeling gekozen, want de belastende windrichtingen op de dijk lijken onafhankelijk voor de twee delen.

In de MKBA WV21 is men op een andere wijze omgegaan met de omrekening van overschrijdingskans per individuele locatie naar de overschrijdingskans voor een dijkkringdeel als geheel. Men bepaalt de overschrijdingskans voor een dijkkringdeel door naar de grootste overschrijdingskans te kijken van de trajecten die onderdeel uitmaken van een dijkkringdeel (zie vergelijkingen 4, 9b en 9c in Brekelmans et al., 2012): de maximale overschrijdingskans van een traject is bepalend voor de overschrijdingskans van een dijkkringdeel als geheel. Daarnaast heeft men gebruik gemaakt van dijkkringfactoren. In een vervolgproject is meer inzicht verkregen in de hydraulische overstromingskansen van de MKBA WV21. Zie Verweij en Zwaneveld (2013) voor een bespreking.

Onderhoogte ten opzichte van de gehanteerde uitgangssituatie kan ook het gevolg zijn van de in de praktijk gehanteerde toetsingsregels. Die kunnen er mogelijk voor zorgen dat een dijkkringdeel als geheel een grotere overschrijdingskans heeft dan de wettelijke normen. Een voorbeeld waardoor onderhoogte kan ontstaan door praktische toepassing van de wettelijke norm: Stel een dijkkringdeel heeft een norm van 1:3.000 en de wens is om exact te voldoen aan de norm. Indien dit dijkkringdeel kan overstromen op drie plekken die elk falen door verschillende oorzaken (bijvoorbeeld wind uit een andere richting), dan zal elke locatie een overschrijdingskans van 1:9.000 dienen te krijgen om de totale gewenste overschrijdingskans voor het dijkkringdeel van 1:3.000 te realiseren. Indien in de praktijk elk van de drie locaties een overschrijdingskans wordt gegeven van 1:3.000, dan zal de totale overschrijdingskans van

een dijkkringdeel dus 1:1.000 bedragen. Deze overschrijdingskans is groter dan de wettelijke norm en dus is er feitelijk sprake van 'onderhoogte'.

3.1.4 Overschrijdingskans, overstromingskans en berm

Het verschil tussen overschrijdingskans en overstromingskans wordt als volgt gemodelleerd. Indien de dijkkring nog niet is verhoogd, dan kan de overstromingskans (dus falen als gevolg van alle mogelijke faaloorzaken zoals overschrijden, 'piping' of wegschuiven) nog niet gelijk worden verondersteld aan de overschrijdingskans (kans op het overschrijden van het water van een bepaalde hoogte, deze informatie komt uit de hydraulische modellen). De verhouding ('Factor: overschrijding -> overstromingskans, zie tweede kolom van Tabel 3.2') tussen deze beide kansen bij de aanvangshoogte (en sterkte) wordt afgeleid uit Tabel 3.2 uit de MKBA WV21 (Kind, 2011, p.28). Deze tabel biedt volgens Deltares en alle andere geraadpleegden¹⁹ op het moment van schrijven de best mogelijke inschatting.

Wel adviseren wij om nader onderzoek te doen om tot een gestandaardiseerde overstromingskansboekhouding te komen. Tijdens dit onderzoek zijn er meerdere aanknopingspunten gevonden voor nader onderzoek om met name de omrekening van overschrijdingskansen van individuele locaties naar de overstromingskans van een dijkkringdeel als geheel te verbeteren. Nieuwe inzichten zijn ook te verwachten op basis van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2, 2011).

Door het nemen van extra maatregelen (denk aan het aanleggen van een berm conform Figuur 7.1 uit de Grave en Baarse, 2011, p.70; andere technische oplossingen zoals een damwand zijn ook toegepast, indien opportuun) kan de overstromingskans worden gereduceerd (verkleind) met de (inverse van) de eerder genoemde overstromingskansfactor. Hiertoe wordt een specifieke eerste verhoging ($h = '1'$) in het model geïntroduceerd: de dijkkring(deel) wordt dan wel veiliger en sterker hoewel de hoogte gemeten in NAP gelijk blijft. Deze verhoging is alleen relevant indien de genoemde overstromingskansfactor groter dan één is. Indien de overstromingskansfactor gelijk is aan 'één', dan heeft een verhoging naar hoogte ' $h=1$ ' geen zin. Er wordt namelijk geen reductie van de overstromingskans door bereikt, terwijl er wel kosten tegenover staan.

Vanwege het apart en expliciet beschouwen van de aanleg van een 'berm' dient een inschatting gemaakt te worden van de kosten van het aanleggen van deze 'berm'. Deze (vaste) kosten zijn afgeleid van de in de MKBA WV21 gebruikte kostenfuncties. Allereerst zijn de additionele kosten bepaald van deze 'berm' (3e kolom in onderstaande tabel, 'méérkosten berm' bij reguliere verhoging) bij het ophogen van een dijkkringdeel. Omdat deze berm alleen bij de eerste versterkingsronde hoeft te worden aangelegd, worden deze kosten bij een tweede (of verdere) verhoging niet meegenomen. De kostenfuncties zijn hiervoor dan ook door het CPB

¹⁹ Dit zijn onder andere de leden van de technische begeleidingscommissie, de beleidsgerichte begeleidingscommissie en de wetenschappelijke begeleidingscommissie van dit onderzoek.

gecorrigeerd. Na het aanleggen van de 'piping-berm' (apart of als onderdeel van een echte verhoging van het dijkkringdeel) wordt de kans op falen door 'piping' of wegschuiven van het dijkkringdeel verwaarloosbaar geacht. Dan wordt dus de overschrijdingskans bepalend voor de totale overstromingskans.

Een andere vraag is welke kosten moeten worden gemaakt, indien alléén de 'berm' wordt aangelegd (dus zonder een verhoging van de kruin van de dijken). Deze schatting²⁰ ('aanlegkosten van alléén een berm') staat in de laatste kolom van onderstaande tabel.

Tabel 3.2 Factor: overschrijdingskans -> overstromingskans, méérkosten berm bij reguliere verhoging en aanlegkosten van alléén een berm per dijkkringdeel

Dijkkringdelen	Factor: overschrijding -> overstroming	Méérkosten 'berm' bij reguliere verhoging	Aanlegkosten van alléén een 'berm'
mln euro, pp. 2009 incl. btw (a)			
IJsselmeer			
Zuid-West Friesland	1	25	
Noordoostpolder	2	84	132
Noordelijk Flevoland	1	33	
West-Friesland (NH, noordelijk)	1	8	
Wieringen IJsselmeer	2	6	17
IJssel- en Vechtdelta			
IJsseldelta	2	33	116
Mastenbroek	2	44	96
Vollenhove	5	26	62
Salland	2,5	125	198
Oost Veluwe	5	86	172
Markermeer			
Zuidelijk Flevoland	2	5	96
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1	8	
Noord-Holland-Waterland	1	6	
Marken	2,5	4	13
Gooi- en Vechtstreek	2,5	19	46
Eempolder	2,5	6	25
Gelderse vallei	2,5	8	36

(a) bedragen inclusief opslag van 11% vanwege bouwrente(over 2 jaar).
 Uitleg: In de tekst boven deze tabel wordt een uitgebreide toelichting gegeven op de betekenis van de cijfers in deze tabel.
 Factor: overschrijdingskans -> overstromingskans = deze factor geeft aan hoeveel de overstromingskans van een dijkkringdeel groter is dan de overschrijdingskans. Een factor 2 betekent dus dat de overstromingskans tweemaal groter is dan de overschrijdingskans.
 De (minimale) bermkosten conform de aangeleverde data bij dijkkringdeel Wieringen IJsselmeer bedraagt ('minus') - 1 mln euro. Dit negatieve bedrag is uiteraard niet realistisch. Om toch een 'realistisch' bermbedrag af te leiden, zijn we uitgegaan van de kosten voor bermverlenging per km dijk lengte bij dijkkringdeel West-Friesland (Noord). De aldus berekende kosten van bermverlenging voor Wieringen IJsselmeer bedragen dan 6 mln euro.

²⁰ Deze kosten zijn als volgt bepaald. De aanlegkosten van alleen een berm zit tussen de 'minimale' kosten of méérkosten van de berm (3de kolom van onderstaande tabel) en de totale vaste kosten van het ophogen van een dijkkringdeel als geheel (dus inclusief de berm). Waar deze kosten in dit interval zitten, weten we niet en zal per dijkkringdeel verschillen. Als pragmatische schatting zijn we bij de aanlegkosten van de berm uitgegaan van het midden van dit interval. Dus de minimale kosten plus 50% van het interval. Op moment van schrijven is Deltares bezig met een rapport over de aanlegkosten van (alleen) een 'piping-berm' opdat een betere kostenschatting wordt verkregen.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de extra faalkans als gevolg van ‘piping en wegschuiven’ voor 5 van de 16 dijkkringdelen geen effect heeft op de overstromingskans bij de startsituatie. Voor de overige dijkkringdelen blijft de verhouding tussen overstromingskans en overschrijdingskans bij de aanvangshoogte/sterke beperkt tot een factor 2 à 2,5. De uitzondering betreft dijkkringdeel Oost Veluwe met een verschil van een factor 5. Uit de tabel blijkt ook dat falen door ‘piping en wegschuiven’ speelt bij alle dijkkringdelen in de IJssel- en Vechtdelta en bij ruwweg de helft van de dijkkringdelen rond het IJsselmeer en Markermeer.

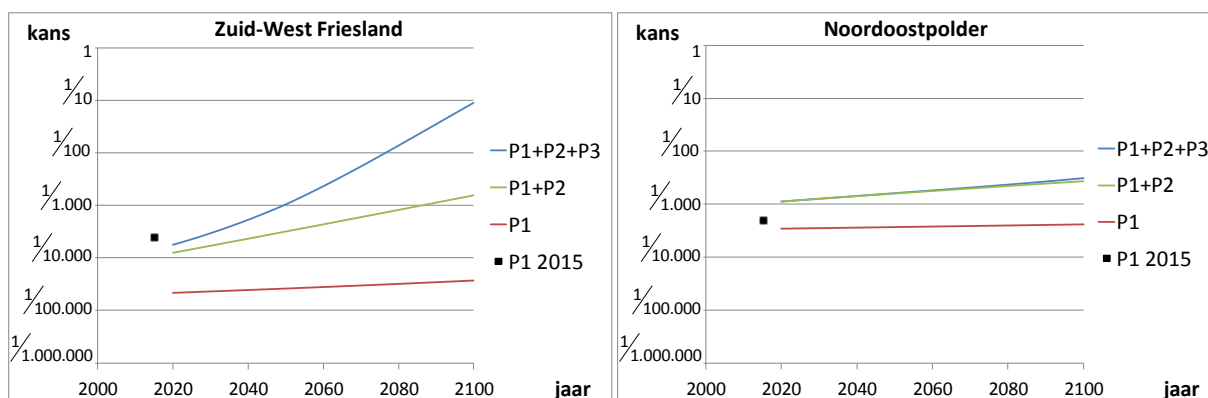
3.2 Samengestelde overstromingskansen

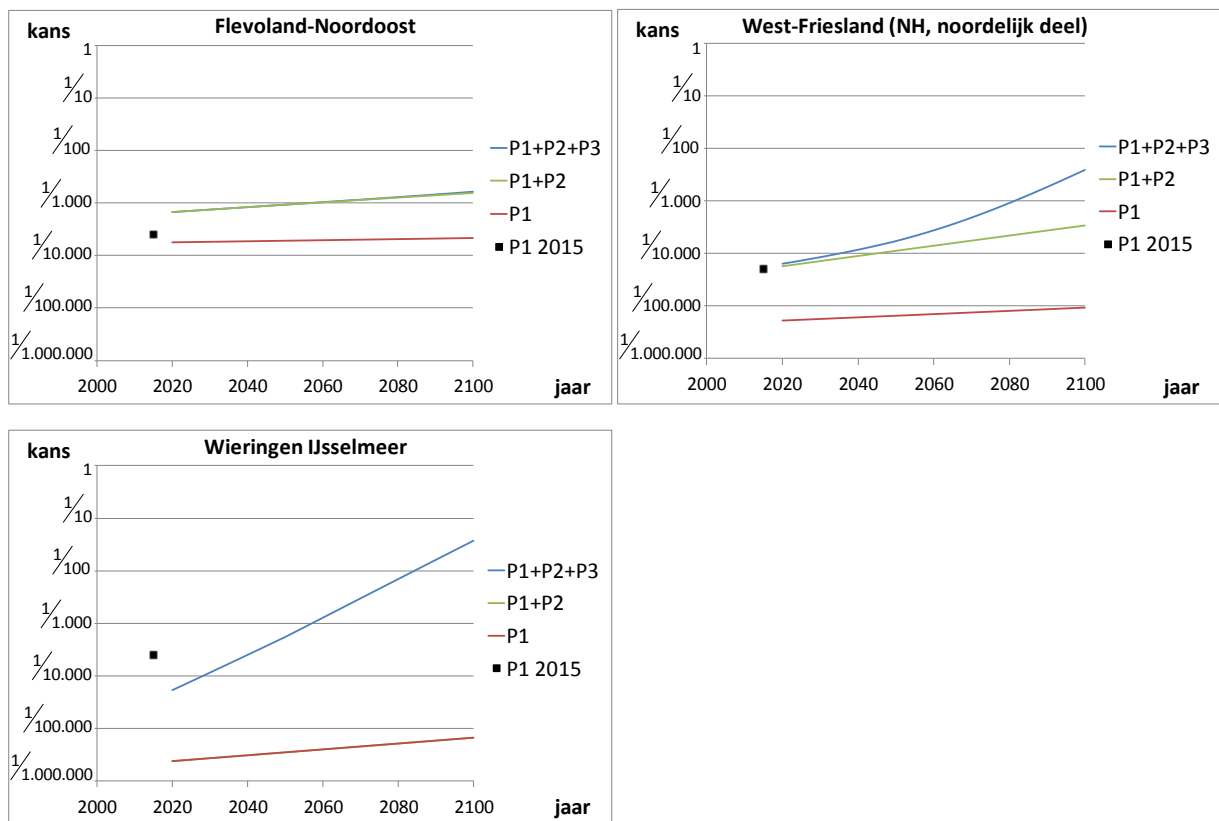
Onderstaande figuren geven zicht op enkele resultaten en onderlinge afhankelijkheden tussen de faalkansen van dijken. Alle data zijn afkomstig uit het Dique-Opt model

3.2.1 IJsselmeer bij ‘pompen’ en huidige sterkte Afsluitdijk (1/250 per jaar)

Onderstaande figuur (figuur 3.1) laat zien dat de verschillende faalkansen per locatie een (zeer) verschillend effect hebben op de totale overstromingskans. Initieel is de kans op falen in een vervolgstorm na het falen van de Afsluitdijk (P3) beperkt, maar vooral voor Zuid-West Friesland neemt die fors toe indien zowel de Afsluitdijk als het dijkkringdeel zelf niet worden opgehoogd. Voor locatie West-Friesland (NH) neemt P3 pas merkbare proporties aan op de lange termijn (als de faalkans van de Afsluitdijk dus groter wordt door de zeespiegelstijging).

Figuur 3.1 Samenstelling van de faalkansen van dijkringen rond het IJsselmeer onder het scenario pompen zonder implementatie Structuurvisie Afsluitdijk en zonder dijkverhogingen/versterkingen van dijkkringdelen





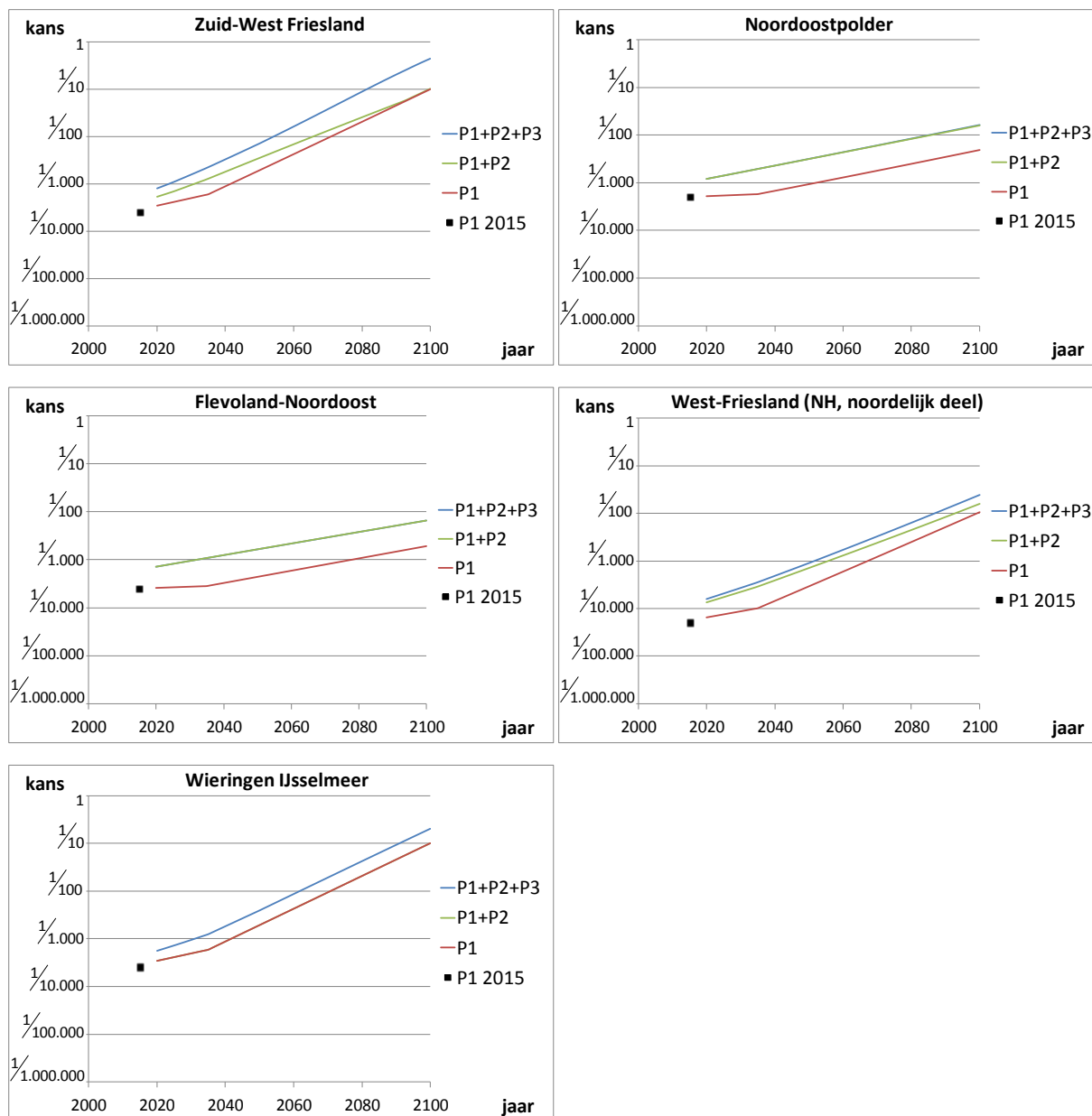
Uitleg: P1 2015 is de overstromingskans in 2015 ('bepalend voor starthoogte dijkkringdeel'). Alle dijkkringdelen en de Afsluitdijk houden in de figuur hun starthoogte, behorend bij deze overstromingskans P1 2015. De Afsluitdijk wordt dus niet verhoogd conform de Structuurvisie maar houdt de huidige hoogte (met veiligheid 1/250 in 2012). De P1 daalt in 2020 t.o.v. 2015 door de installatie van pompen in de Afsluitdijk.

3.2.2 IJsselmeer bij 'meestijgen' en huidige sterkte Afsluitdijk (1/250 per jaar)

Onderstaande figuren geven zicht op de samengestelde faalkansen voor de IJsselmeerdijken in het scenario meestijgen. Een vergelijking van de onderstaande grafieken met de bovenstaande grafieken leert dat de P1-overstromingskansen (i.e. faalkans van een dijkkring bij oneindig sterke Afsluitdijk) fors groter zijn bij 'meestijgen' dan 'pompen'. Dit is het logische gevolg van het meestijgen van het IJsselmeerpeil. Door de grotere P1-faalkansen is het ook logisch dat de additionele faalkansen als gevolg van het falen van de Afsluitdijk kleiner wordt. Het effect van het falen van de Afsluitdijk op de stijging van het IJsselmeerpeil is bij 'meestijgen' kleiner dan bij 'pompen', omdat het 'gewone' IJsselmeerpeil al hoger is.

De samengestelde faalkansen van de dijkkringdelen gelegen aan de IJssel- en Vechtdelta staan niet weergegeven. De totale faalkans van deze dijkkringdelen wordt primair bepaald door de P1-faalkans. De afvoer van de IJssel is namelijk dominant voor de overstromingskans tot ongeveer de stad Kampen. De Vechtdelta ligt achter de Ramspolkering waardoor ook daar de P1-faalkans dominant is. De additionele faalkansen (P2 en P3) zorgen zowel bij 'pompen' als 'spuien' voor een beperkte toename van de totale overstromingskans.

Figuur 3.2 Samenstelling van de faalkansen van dijkringen rond het IJsselmeer onder het scenario meestijgen zonder implementatie Structuurvisie Afsluitdijk en zonder dijkverhogingen/versterkingen van dijkringdelen



Uitleg: P1 2015 is de overstromingskans in 2015 ('bepalend voor starthoogte dijkringdeel'). Alle dijkringdelen en de Afsluitdijk houden in de figuur hun starthoogte, behorend bij deze overstromingskans P1 2015. De Afsluitdijk wordt dus niet verhoogd conform de Structuurvisie maar houdt de huidige hoogte (met veiligheid 1:250 in 2012). De P1 daalt in 2020 t.o.v. 2015 door de installatie van extra spuicapaciteit in de Afsluitdijk, maar stijgt door de zeespiegelstijging en de bodemdaling. In de meeste gevallen is de P1 in 2020 iets groter dan in 2015.

3.2.3 Markermeer bij huidige sterkte Afsluitdijk (1/250 per jaar)

Onderstaande figuren (figuur 3.3 en figuur 3.4) geven inzicht in de faalkansen van de dijkringdelen rond het Markermeer. Van de zeven onderscheiden faalkansen blijken alleen de P1 (faalkans bij oneindig sterke Afsluitdijk en Houtribdijk), de P5 (extra faalkans na alléén het falen van de Houtribdijk) en de P7 (extra faalkans na falen van zowel de Afsluitdijk als de Houtribdijk) van belang. De andere onderscheiden faalkansen zijn verwaarloosbaar klein.

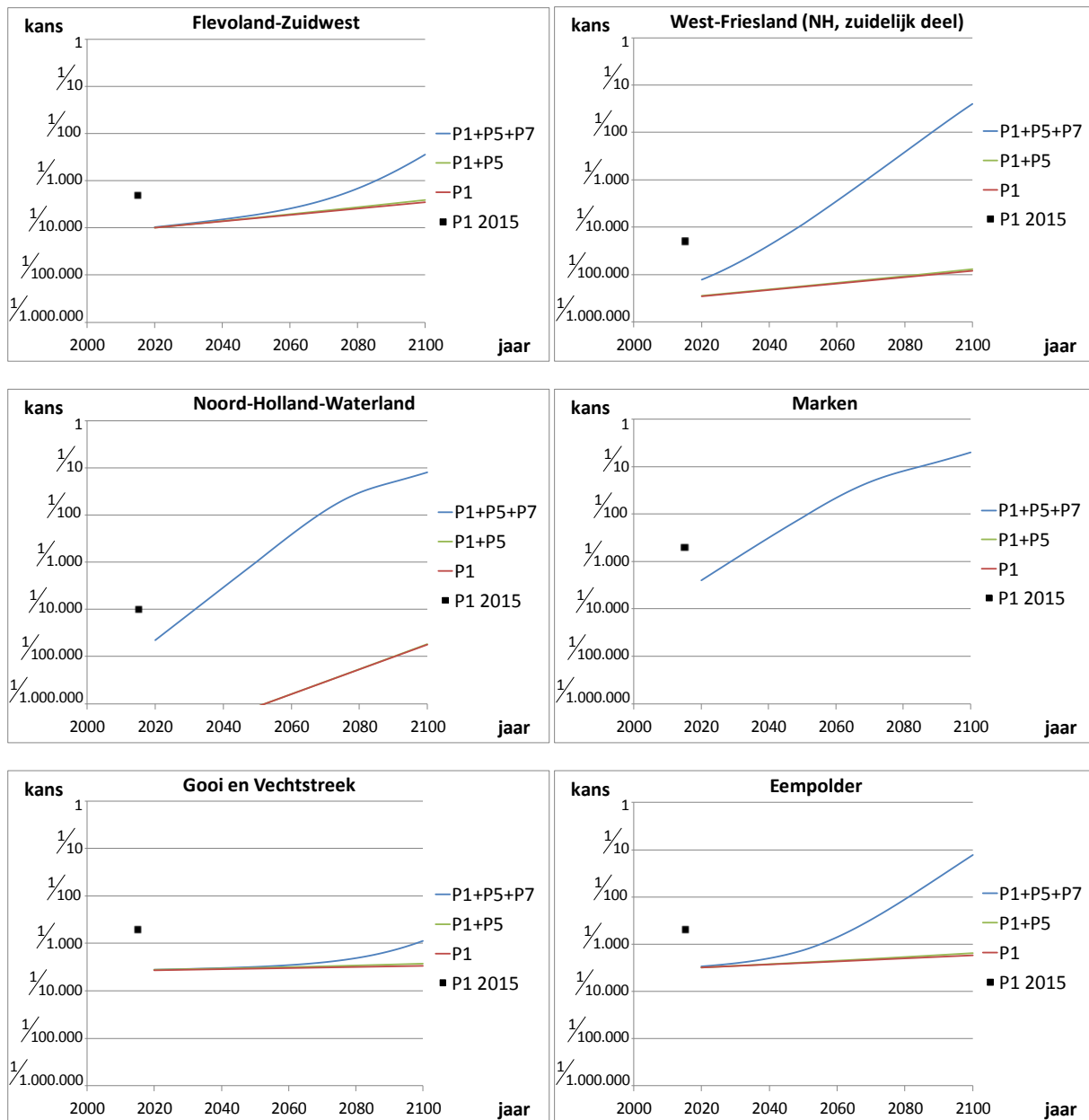
Een vergelijking van de faalkansen tussen de varianten 'pompen' en 'meestijgen/spuien' laat zien dat de P1-faalkansen bij 'meestijgen' sterker oplopen dan bij 'pompen'. De (in de hydraulische modellen) veronderstelde inzet van de pomp op de Houtribdijk (100 m³/s) bij spuien levert blijkbaar meer fluctuaties (naar boven!) van het Markermeerpeil op dan bij pompen. Dit leidt tot een aanzienlijke stijging van de faalkans en dus grotere onveiligheid. Een andere inzet van de genoemde pomp (en eventuele extra inzet van de pomp bij IJmuiden) biedt mogelijk soelaas. Omdat de weergegeven situatie in 2020 bij scenario 'meestijgen' veel overeenkomsten²¹ heeft met de huidige situatie, lijkt het nader onderzoeken van dit aspect een kansrijke onderzoeksrichting om tegen beperkte kosten de veiligheid van dijkringdelen rond het Markermeer te vergroten.

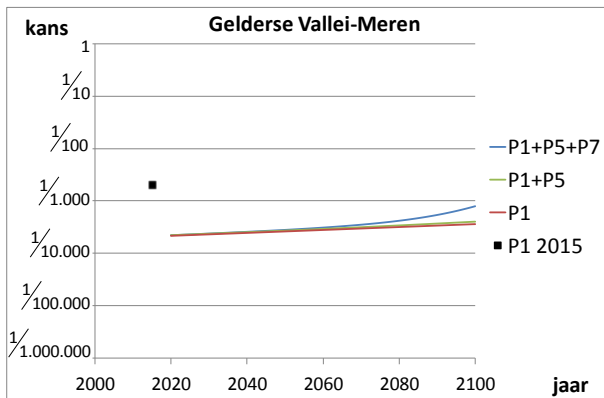
Uit de onderstaande figuren (vergelijk 'P5' in figuur 3.3. en figuur 3.4) blijkt ook, dat het alléén falen van de Houtribdijk (P5) voor sommige dijkringdelen rond het Markermeer bij 'meestijgen' leidt tot een merkbare stijging van de overstromingskans. Door de betere beheersing van het IJsselmeerpeil bij 'pompen' leidt het doorbreken van de Houtribdijk in geen enkel geval tot een merkbare stijging van de overstromingskans. De faalkans 'P5' is nihil in voor alle dijkringen in figuur 3.3 (scenario pompen), terwijl die in figuur 3.4.(scenario meestijgen) voor sommige dijkringdelen wel substantieel van omvang is.

Het installeren van een pomp op de Houtribdijk op zo kort mogelijke termijn vergroot de veiligheid rond het Markermeer aanmerkelijk. Dit valt op te maken uit het feit dat na installatie van een pomp van 100 m³/s op de Houtribdijk de overstromingskansen aanmerkelijk kleiner worden dan de huidige situatie. In onderstaande figuur 3.3 ('pompen') kan dit worden gezien doordat de zwarte punten (die de huidige P1-overstromingskans aanduidt) 'hoger' ligt dan de rode lijnen (die P1-overstromingskans weergeeft na installatie van de pomp).

²¹ Er zijn drie verschillen. Twee verschillen leiden tot een kleinere P1-faalkans in 2020 dan in 2012: (1) de veronderstelde pomp van 100 m³/s in plaats van de spuisluizen en (2) de realisatie van ESA. Het derde verschil leidt tot een grotere P1-faalkans in 2020 dan in 2012: (3) de ontwikkelingen volgens W+-klimaatscenario gedurende 8 jaar. De resulterende P1-faalkans in 2020 is per saldo aanmerkelijk kleiner dan in 2012 (zie figuur 4.6). Een pomp van 100 m³/s zorgt dus voor een aanmerkelijk grotere veiligheid, maar een nog grotere veiligheid moet ook haalbaar zijn.

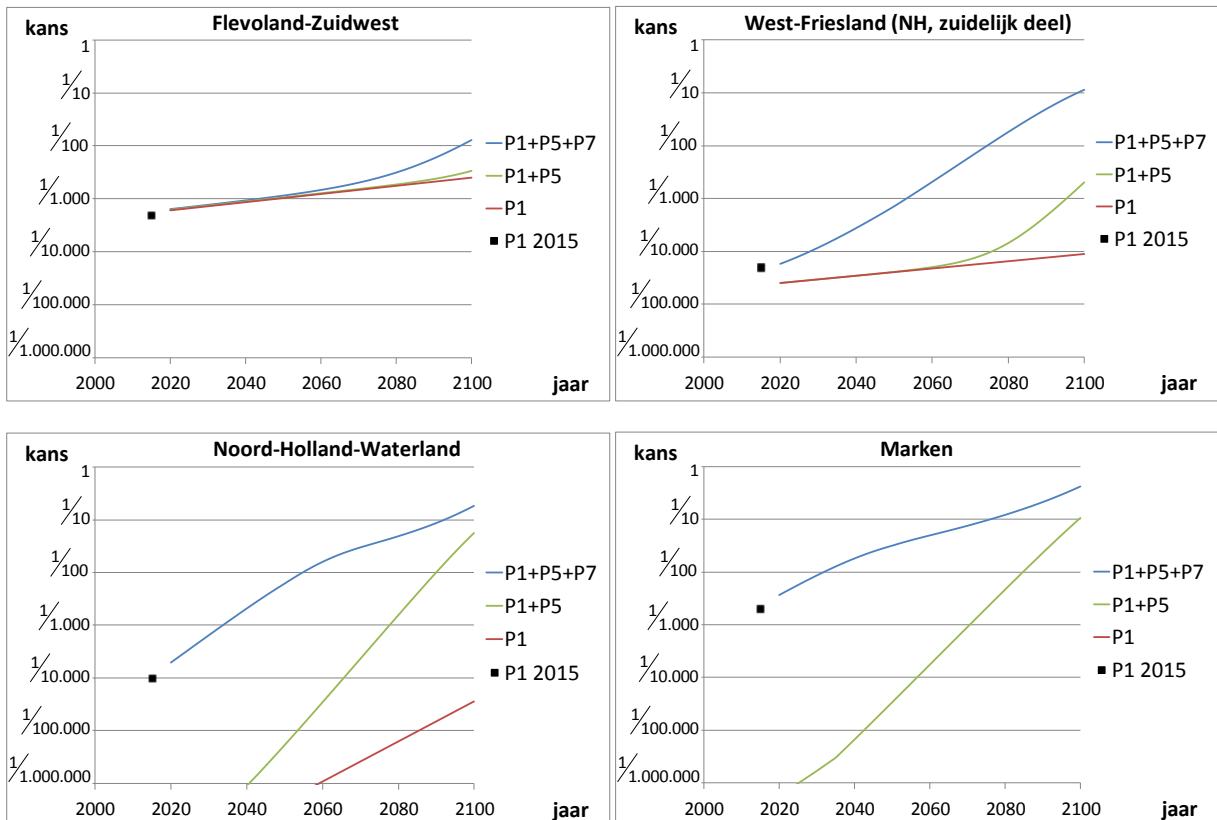
Figuur 3.3 Samenstelling van de faalkansen van dijkringen rond het Markermeer onder het scenario pompen zonder implementatie Structuurvisie Afsluitdijk en zonder dijkverhogingen/versterkingen van dijkringdelen

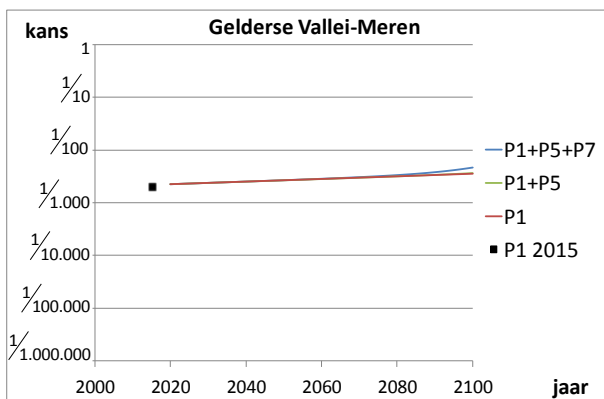
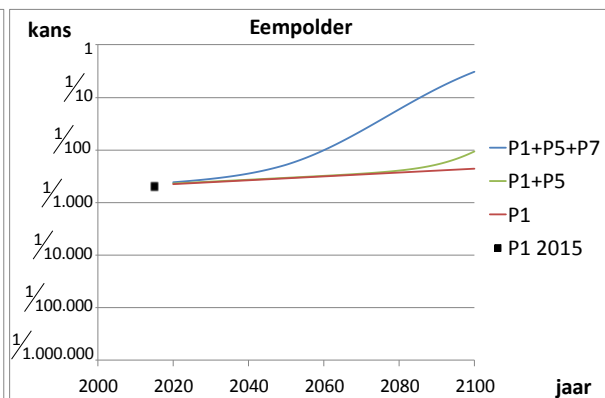
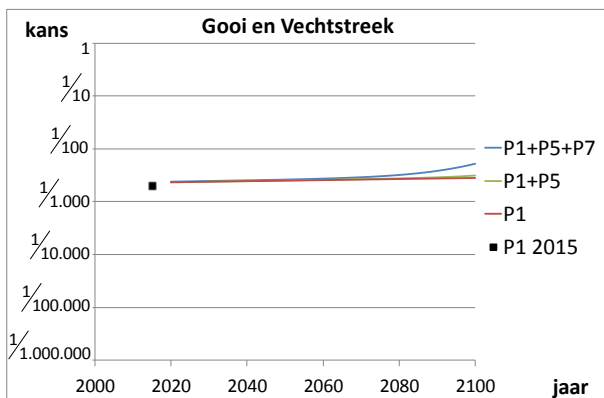




Uitleg: De overstromingskansen P1, P5 en P7 worden cumulatief weergegeven. De overige kansen worden niet weergegeven, omdat ze verwaarloosbaar klein zijn. Voor Marken geldt bovendien, dat ook de P1 te klein is ($< 1/1.000.000$) om in de figuur weer te geven. P1 2015 is de overstromingskans in 2015 ('bepaald door de starthoogte en -sterkte van het dijkkringdeel'). Alle dijkkringdelen en de Afsluitdijk houden in de figuur hun starthoogte, behorend bij deze overstromingskansen P1 2015. De Afsluitdijk wordt dus niet verhoogd conform de Structuurvisie maar houdt de huidige hoogte (met veiligheid 1:250 per jaar in 2012). De P1 daalt in 2020 t.o.v. 2015 door de installatie van pompen in de Afsluitdijken en de Houtribdijk.

Figuur 3.4 Samenstelling van de faalkansen van dijkringen rond het Markermeer onder het scenario meestijgen zonder implementatie Structuurvisie Afsluitdijk en zonder dijkverhogingen/versterkingen van dijkkringdelen



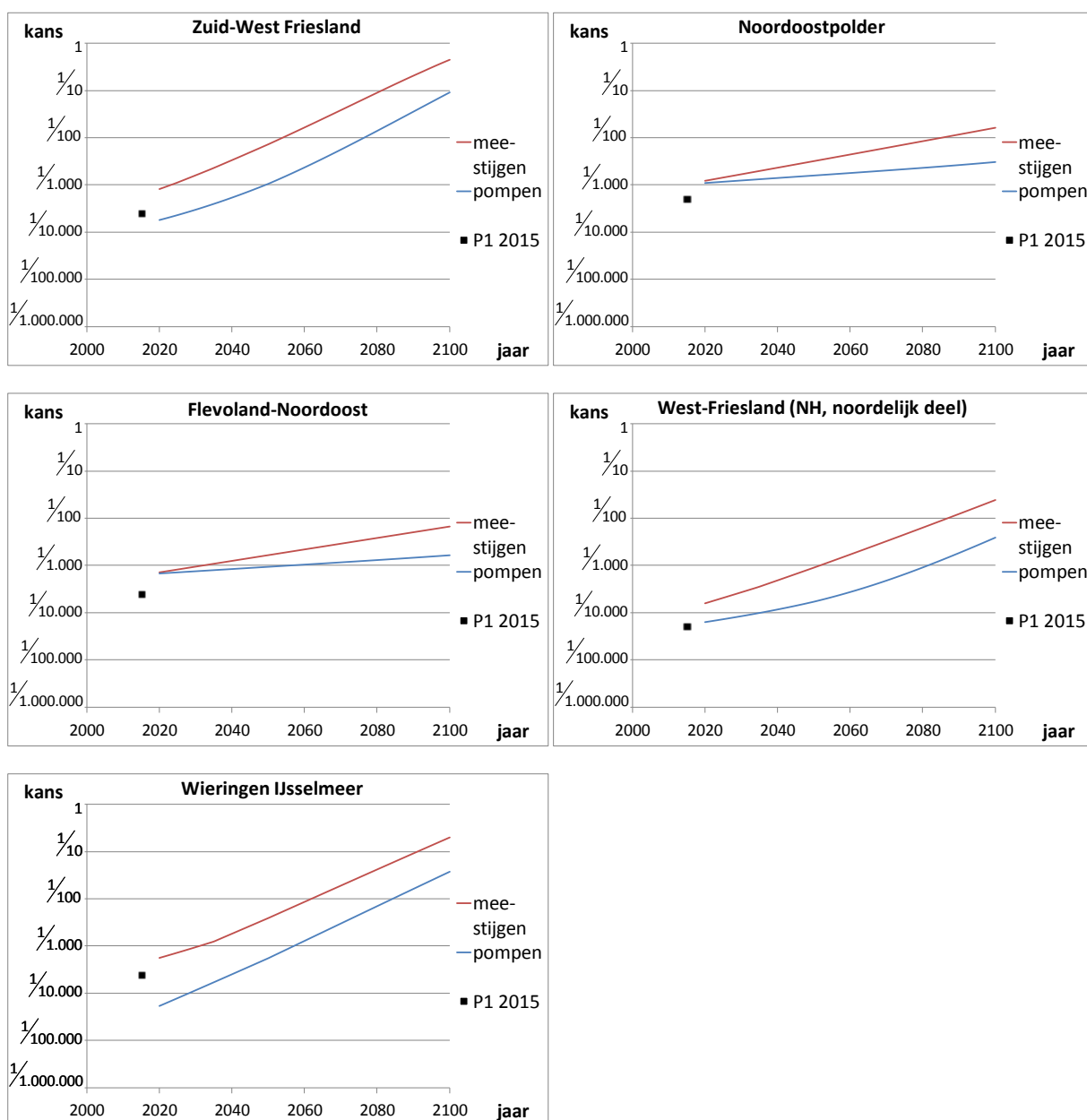


Uitleg: Voor Marken geldt dat ook de P1 te klein is ($< 1/1.000.000$) om in de figuur weer te geven. P1 2015 is de overstromingskans in 2015 ('bepaald door starthoogte en -sterkte dijkkringdeel'). Alle dijkkringdelen en de Afsluitdijk houden in de figuur hun starthoogte, behorend bij deze overstromingskans P1 2015. De Afsluitdijk wordt dus niet verhoogd conform de Structuurvisie, maar houdt de huidige hoogte (met veiligheid 1/250 in 2012). De P1 daalt enerzijds in 2020 t.o.v. 2015 door extra spuicapaciteit in de Afsluitdijk en de installatie van pompen in de Houtribdijk maar stijgt anderzijds door de veronderstelde klimaatverandering.

3.2.4 Verschil in overstromingskansen tussen pompen en spuien

De grotere veiligheid van pompen in vergelijking tot meestijgen/spuien blijkt uit onderstaande directe vergelijking van de totale overstromingskansen. Onderstaande figuur geeft de verschillen weer voor alle dijkkringdelen gelegen aan het IJsselmeer. Voor de dijkkringdelen in de IJssel- en Vechtdelta en rond het Markermeer gelden soortgelijke verschillen.

Figuur 3.5 Totale overstromingskansen van dijkringen rond het IJsselmeer onder de scenario's pompen en meestijgen zonder implementatie Structuurvisie Afsluitdijk en zonder dijkverhogingen/versterkingen van dijkkringdelen

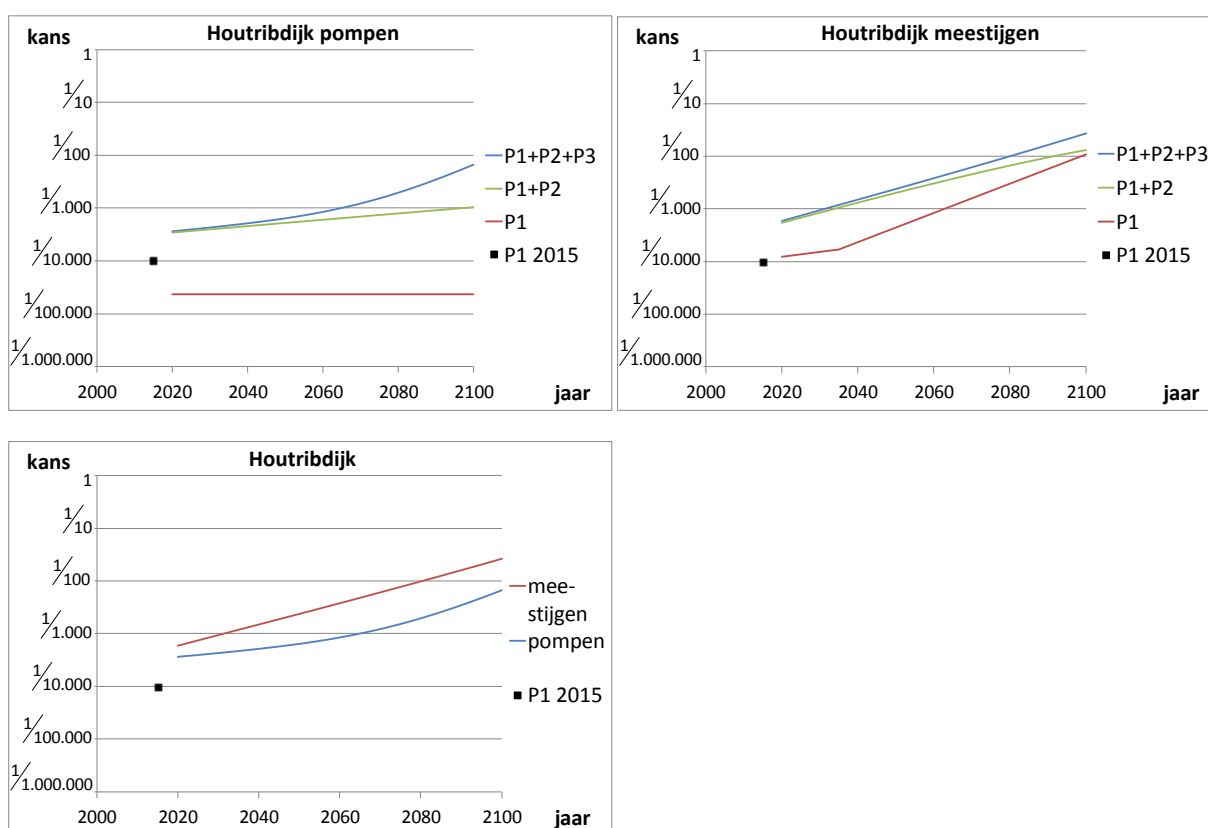


Uitleg: P1 2015 is de overstromingskans in 2015 ('bepaald door starthoogte en -sterkte dijkkringdeel'). Alle dijkkringdelen en de Afsluitdijk houden in de figuur hun starthoogte. De Afsluitdijk wordt dus niet verhoogd conform de Structuurvisie maar houdt de huidige hoogte (met veiligheid 1:250 in 2012).

3.2.5 Houtribdijk

Onderstaande figuur (figuur 3.6) laat de samengestelde overstromingskansen van de Houtribdijk zien voor 'pompen' en 'meestijgen' bij de huidige sterkte (1/250) van de Afsluitdijk. Tevens wordt het verschil in totale overstromingskans inzichtelijk gemaakt tussen de varianten 'pompen' en 'meestijgen/spuien'. Het beeld voor deze dijk komt overeen met de dijkkringdelen rond het IJsselmeer.

Figuur 3.6 Samenstelling en totale overstromingskansen van de Houtribdijk onder de scenario's 'pompen' en 'meestijgen' zonder Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en zonder verhoging van de Houtribdijk



Uitleg: P1 2015 is de overstromingskans behorend bij de wettelijk vastgelegde maximale overschrijdingskans. Alle dijkkringdelen houden in de figuur hun starthoogte, behorend bij deze overstromingskans P1 2015. De Afsluitdijk wordt ook niet verhoogd conform de Structuurvisie, maar houdt de huidige hoogte (met veiligheid 1/250 in 2012).

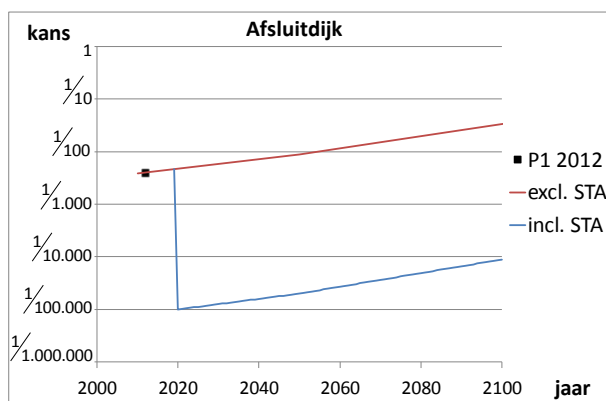
3.2.6 Afsluitdijk

Tot slot wordt het verloop van de overstromingskans van de Afsluitdijk weergegeven bij het W+-scenario. Indien de Afsluitdijk niet wordt versterkt en dus zijn huidige sterkte behoudt, dan veronderstellen we een sterkte van 1/250 per jaar in 2012.

Indien de Afsluitdijk wordt versterkt conform het kabinetsbesluit over de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) wordt in 2020 een overstromingskans verkregen van 1/100.000 per jaar. Tot 2100 blijft bij het W+-scenario de faalkans kleiner dan 1/10.000 per jaar. Dit is opvallend omdat in de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011) op basis van andere hydraulische

berekeningen ervan werd uitgegaan, dat de faalkans in het W+-scenario in 2050 al een waarde van 1/10.000 zou bereiken. Volgens de nieuwe inzichten stijgt de overstromingskans van Afsluitdijk dus minder snel. Op basis van nader overleg met betrokken medewerkers van Rijkswaterstaat en Deltares is besloten om uit te gaan van de meest recente inschatting zoals weergegeven in onderstaande figuur (figuur 3.7).

Figuur 3.7 Totale overstromingskansen van de Afsluitdijk onder de scenario's met en zonder implementatie Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA)



3.3 Kosten

3.3.1 Dijken rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer

Zoals in hoofdstuk 2 besproken maken we gebruik van de oorspronkelijke kostenfuncties van de MKBA WV21. Deze functies zijn aangeleverd door Deltares in februari 2012. Karakteristiek voor deze functies is dat men met een model (KOSWAT) zeer gedetailleerd heeft gekeken naar de kosten van bepaalde verhogingen vanaf de huidige hoogte/sterkte. De reële kosten van de aanleg van een dijk of kunstwerk worden constant verondersteld in de tijd: het is dus in reële termen nu even duur om een dijk te verhogen of kunstwerk aan te leggen als over 50 jaar. De kosten van een tweede of verdere verhoging zijn door Deltares op basis van 'expert opinion' vastgesteld. Nadere informatie over de kostenfuncties kan worden gevonden in de Grave en Baarse (2011). In deze paragraaf geven we ter illustratie de kostenfuncties voor de beschouwde dijkkringsdelen weer in de vorm van tabellen en figuren.

Hoewel de gehanteerde kostenfuncties waarschijnlijk grotendeels overeenkomen met de in de MKBA WV21 (Kind, 2011) gehanteerde kostenfuncties kunnen verschillen ontstaan door het volgende:

1. We gaan uit van de niet-aangepaste versies van deze kostenfuncties (februari 2012). In de MKBA WV21 heeft men de kostenfuncties aangepast om via 'hypothetische verhogingen' het effect van de aanleg van een 'piping-berm' zo goed als mogelijk mee te nemen.

2. Bij een tweede ophoging passen we de kostenfuncties aan voor het aanleggen van een 'berm'. Deze 'berm' hoeft namelijk maar één keer aangelegd te worden. Ook introduceren we de mogelijkheid om alleen een berm aan te leggen (zie bespreking eerder).
3. Uit overleg met deskundigen van de Waterdienst en Deltares bleek dat de beheer- en onderhoudskosten van een dijkkringdeel vrijwel onafhankelijk zijn van de hoogte/sterkte, het zijn dus eigenlijk vaste kosten. Daarom is in afwijking van de MKBA WV21 dan ook geen opslagpercentage²² voor extra beheer- en onderhoud op de kosten van dijkkringversterkingen meegenomen.

Tabel 3.3 Investeringskosten voor gehele dijkkringdeel en aandeel vaste kosten

Dijkkringdeel	Totale investeringskosten voor 1 meter dijkverhoging (incl. evt. relevante 'piping-berm')	Percentage vaste kosten bij 1m dijkverhoging (incl. berm)
	mln euro (a)	%
IJsselmeer		
Zuid-West Friesland	327	28
Noordoostpolder	420	43
Flevoland-Noordoost	321	43
West-Friesland (NH, noordelijk deel)	270	46
Wieringen IJsselmeer	119	17
IJssel- en Vechtdelta		
IJsseldelta	346	57
Mastenbroek	480	31
Vollenhove	268	36
Salland	793	34
Oost Veluwe	452	57
Markermeer		
Flevoland-Zuidwest	451	41
West-Friesland (NH, zuidelijk deel)	294	41
Noord-Holland-Waterland	486	57
Marken	60	37
Gooi en Vechtstreek	211	35
Eempolder	89	51
Gelderse Vallei-Meren	150	43

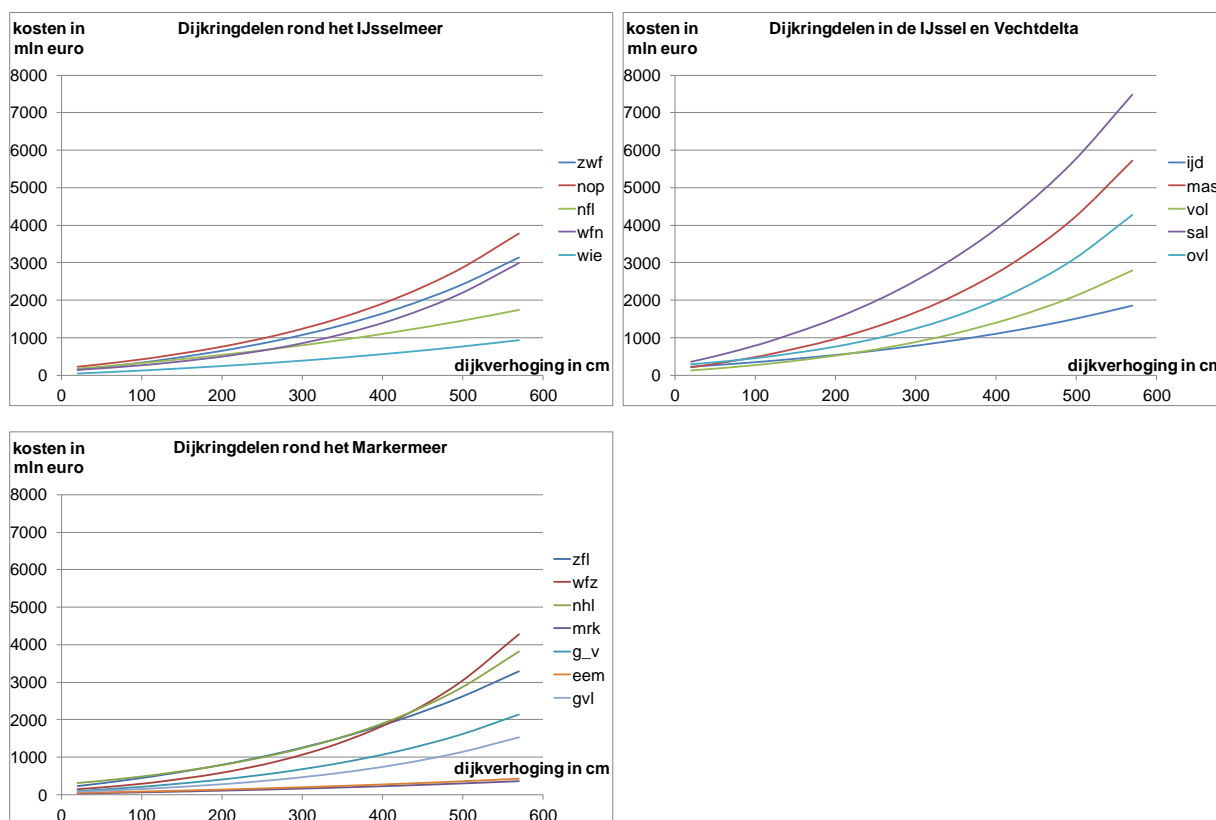
(a) inclusief een opslag van 11 % voor bouwrente (2 jaar), bedragen in marktprijzen 2009.

4. Vanwege veroudering van kunstwerken en dijklichamen is de maximale technische levensduur van een dijkkringdeel gezet op 75 jaar. Na deze periode wordt in het model een versterking/verhoging van het dijkkringdeel afgedwongen. De 'vaste kosten' van een dijkversterking/verhoging moeten dan worden gemaakt en veelal wordt het dijkkringdeel dan ook minimaal verhoogd (20 cm of iets vergelijkbaars, dus met totale kosten die vrijwel gelijk zijn aan de 'vaste kosten'). Deze manier van modelleren is met name relevant voor de Afsluitdijk en de Houtribdijk en voor dijkkringdelen bij 'pompen'. Wij vermoeden dat in de

²² In MKBA WV21 zijn B&O-opslagpercentages gehanteerd tussen 0,1% en 0,5 % per jaar. In het WV21-model wordt het opslagpercentage nog door de discontovoet van investeringen gedeeld t.b.v. een oneindige tijdshorizon. Dit resulteert in een opslag van 2-10% op de investeringskosten bij verhoging.

MKBA WV21 alleen situaties voorkomen waarin het economisch optimaal is om elke dijkkring binnen 75 jaar te vernieuwen. Deze restrictie was derhalve niet relevant voor de MKBA WV21. Uit de resultaten zoals weergegeven in hoofdstuk 4, blijkt deze restrictie wel relevant voor de in dit rapport beschouwde situaties.

Figuur 3.8 Verband tussen het aantal cm dijkverhoging en de investeringskosten voor gehele dijkkringdeel (a)



(a) inclusief opslag van 11 % vanwege bouwrente (2 jaar), bedragen in marktprijzen 2009. De kosten van de aanleg van alleen een 'berm' zijn niet weergegeven.

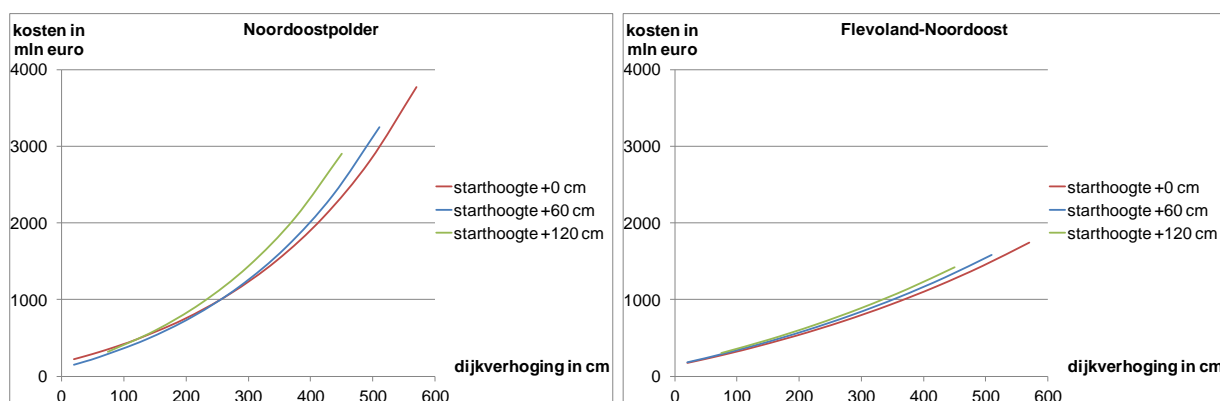
Toelichting: o.b.v. de beginhoogte van de dijk gelijk aan de hoogte in 2015. zwf = Zuid-West Friesland, nop = Noordoostpolder, nfl = Noordelijk Flevoland, wfn = West-Friesland noordelijk deel, wie = Wieringen IJsselmeer, ijd = IJsseldelta, mas = Mastenbroek, vol = Vollenhove, sal = Salland, ovl = Oost Veluwe, wfz = West-Friesland zuidelijk deel, nhl Noord-Holland Waterland, mrk = Marken, g_v = Gooi- en Vechtstreek, eem = Eempolder, gvl = Gelderse vallei, zfl = Zuidelijk Flevoland.

De gehanteerde versie van het Dique-Opt model verhoogt elk traject binnen een dijkkringdeel in dezelfde mate. Uiteraard zijn andere mogelijkheden denkbaar. Andere opties zijn dat na een verhoging alle dijkkringdeeltrajecten eenzelfde (absolute) hoogte in NAP krijgen, of dat alle trajecten in een bepaald jaar een min of meer gelijke faalkans krijgen. Omdat we per dijkkringdeel de faalkans hebben van één of meer representatieve locaties, lijkt de gekozen wijze van verhoging (uniform) de meest logische. Voor een meer verfijnde aanpak missen wij op dit moment de benodigde gegevens (i.e. overstromingskansen van dijkkringdeeltrajecten).

Indien we uit zouden gaan van de *optimale* mate van verhoging van de trajecten binnen een dijkkringdeel, dan kan dus tegen lagere (of gelijke) kosten eenzelfde veiligheid worden bereikt. De gehanteerde aanname van eenzelfde verhoging is op zichzelf niet fout, maar mogelijk niet

optimaal. De resulterende veiligheid zal bij een optimale trajectafhankelijke verhoging dan minimaal gelijk en misschien iets groter zijn. Of om het anders te zeggen: het zal leiden tot kleinere toetskansen (lees: grotere waterveiligheid). In de MKBA WV21 (Kind, 2011, p.66.) wordt een vergelijking gemaakt tussen het gebruik van uniforme verhogingen en trajectafhankelijke optimale verhogingen. Dit leidt in vrijwel alle gevallen tot identieke 'toetskansen' voor de dijkkringdelen.

Figuur 3.9 Verband tussen investeringskosten (a) van enkele dijkkringdelen en de dijkverhoging in cm voor verschillende starthoogtes van een dijkkringdeel



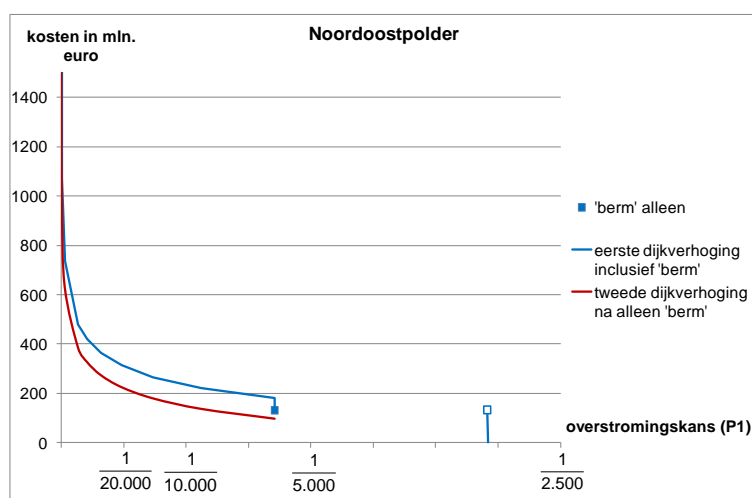
(a) inclusief opslag van 11 % vanwege bouwrente (2 jaar), bedragen in marktprijzen 2009.

Tot slot laat de onderstaande figuur (figuur 3.10) de relatie zien tussen kosten enerzijds en de te bereiken overstromingskans anderzijds. Het adequaat modelleren van dit verband is feitelijk cruciaal om correct de economisch optimale mate van waterveiligheid te bepalen. De in bovenstaande figuren weergegeven dijkhoogtes zijn slechts een 'hulpmiddel' om de kosten te relateren aan de overstromingskansen. In de grafiek is de faalkans P1 (ook wel overstromingskans P1 genaamd) afgezet tegen de kosten. In de grafiek is te zien dat investeren tot 132 miljoen euro geen veiligheidsbaten oplevert; de P1-faalkans blijft ongeveer 1/3.000. Pas bij de kosten voor enkel 'bermverlenging', 132 mln euro, kan die berm (volledig) worden aangelegd en springt het veiligheidsniveau naar 1/6.000. Voor dijkverhoging inclusief 'bermverlenging' is minimaal 180 mln euro nodig en dit bedrag neemt toe voor verdere veiligheid.

Ook is in figuur 3.10 de curve voor de kosten voor een tweede dijkverhoging weergegeven, nadat in de eerste ronde enkel de 'berm' is verlengd. Deze grafiek ziet er fors anders uit door afwezigheid van de 'sprong' in overstromingskans. De kosten voor een verhoging zijn nu lager dan in de eerste ronde, omdat de 'berm' al is verlengd.

In de modellering gaan we ervan uit dat altijd de *gehele* berm wordt aangelegd. Het inbouwen van een *kwart* of *halve* 'berm' is mogelijk in het Dique-Opt model.

Figuur 3.10 Verband tussen investeringskosten en overstromingskans P1 in 2021 bij 'pompen'



(a) inclusief opslag van 11% voor bouwrente (2 jaar), bedragen in marktprijzen 2009.

Suggesties voor vervolgonderzoek naar kostenfuncties dijkringdelen

Op dit moment worden de kosten van dijkringdelen (en trajecten) gevat in een exponentiële of kwadratische functie (zie de Grave en Baarse, 2011, p.13). Het bepalen van deze functies betrof een omvangrijk project. In deze studie zijn de exponentiële functies gebruikt omdat die tot nu toe in vrijwel alle studies zijn gebruikt.

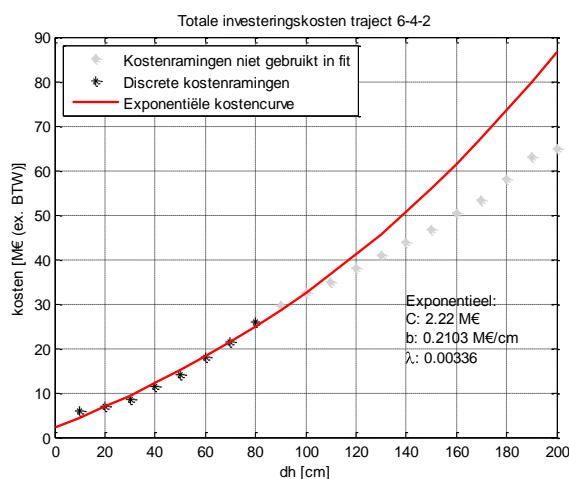
Deze functionele vormen zijn primair gebaseerd op wiskundige argumenten (om het in de MKBA WV21 gebruikte model 'oplosbaar' te houden) en minder om de civieltechnische en economische realiteit zo goed als mogelijk weer te geven. Deze vorm, en met name de exponentiële functie, zorgt voor zeer dure verhogingen naar grotere hoogtes. Op basis van economische en civieltechnische argumenten verwachten wij, dat een lineaire of kwadratische functie²³ met enkele discrete sprongen in de kosten (als gevolg van noodzakelijke kunstwerken of obstakels vanaf een bepaalde hoogte) een realistischer beeld geven van de kosten bij grotere verhogingen. Zie ook Figuur 9.1 uit De Grave en Baarse (2011, p.118), waar

²³ Indien er sprake is van een gewone aarden dijk in niet-stedelijk gebied lijken de totale kosten primair afhankelijk van het aantal kubieke meters zand/klei die moeten worden aangevoerd. Omdat de lengte van de dijk gegeven is, lijkt een kwadratische functie (hoogte x breedte) goed te passen. Daarnaast moeten (veelal vaste) kosten worden gemaakt voor het weghalen van de oude toplaag en het opbrengen van een nieuwe toplaag, die mogelijk lineair afhangen van de aanvangshoogte. Verder kan er sprake zijn van (hoge) vaste kosten voor het verleggen van een weg of anderszins. Indien er sprake is van kunstwerken, dan zijn de kosten primair afhankelijk van (hoge!) vaste kosten en slechts beperkt lineair afhankelijk van de hoogte van het kunstwerk.

ook een lineair verband aanwezig lijkt te zijn tussen de mate van verhoging en de kosten. Deze relatie lijkt ook van toepassing in onderstaande figuur (figuur 3.11).

Als een eerste stap kunnen kostenfuncties (met nader te bepalen functionele vorm) worden bepaald op basis van een groter bereik dan de tot nu toe gebruikte twee decimeringshoogtes. Van Deltares (zie ook onderstaande figuur) hebben wij begrepen dat gedetailleerde kostenramingen beschikbaar zijn voor grotere verhogingen dan tweemaal de decimeringshoogtes, maar dat - op moment van schrijven - die nog niet zijn gebruikt om hierop kostenfuncties te baseren.

Figuur 3.11 Voorbeeld van een - bewust gezocht - dijkkringdeeltraject waarbij de exponentiele kostenfunctie bij hogere waarden merkbaar afwijkt van de 'discrete kostenramingen'



Uitleg: weergegeven grafiek is slechts ter illustratie van een mogelijk verschil tussen de gefitte functie en de discrete kostenramingen. In het Dige-Opt model wordt gebruik gemaakt van kostenfuncties van recentere data dan in de grafiek weergegeven.

Daarnaast lijkt het verstandig om meer aandacht te besteden aan de kosten van de tweede (of verdere) ophoging van een dijkkringdeel(traject). De huidige kostenfuncties zijn voor een tweede of verdere ophoging amper gebaseerd op feitelijke kostenramingen (CPB, 2011). Gezien het feit dat een tweede economisch optimale ophoging veelal binnen enkele decennia plaatsvindt, verdient dit aspect meer aandacht.

3.3.2 Afsluitdijk

De kosten voor verhoging van de Afsluitdijk (dijklichaam en kunstwerken) zijn bepaald op basis van de kostenramingen uit de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011), aangevuld met inzichten uit berekeningen door Deltares (Kramer en Beckers, 2012).

Voor het dijklichaam zijn we uitgegaan dat het dijklichaam voor 450 mln euro zodanig versterkt kan worden dat in 2020 een veiligheid van 1: 1.000.000 per jaar wordt bereikt. Dit komt overeen met variant 2100-Robuust uit de KEA Afsluitdijk. Gebaseerd op ramingen van Deltares veronderstellen we dat deze kosten voor 60% bestaan uit 'vaste kosten' en voor 40% uit 'variabele kosten'.

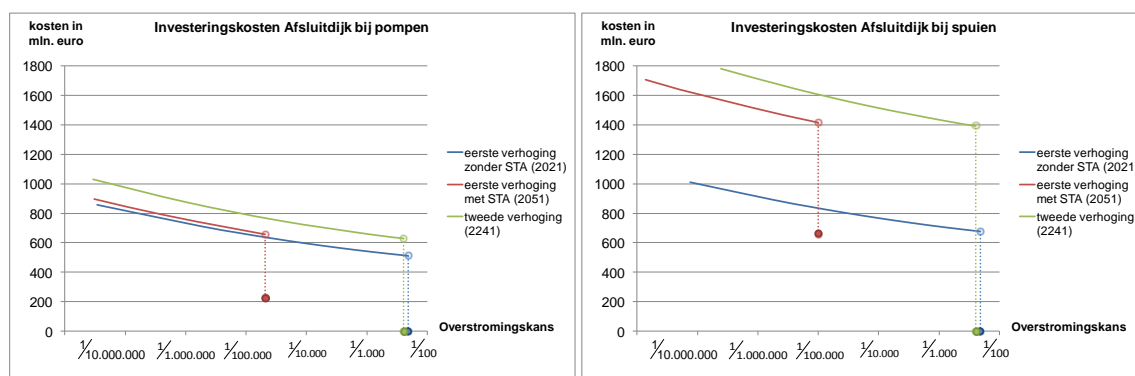
Ook de kosten van de kunstwerken (schutsluizen en spuisluizen) zijn gebaseerd op de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011, p. 114). Bij kunstwerken gaan we uit van een verhouding tussen vaste en variabele kosten van 80%-20%. De totale kosten van kunstwerken zijn nodig om een veiligheid van 1:1.000.000 te realiseren in 2020. Beide aspecten zijn door het CPB gecombineerd in één kostenfunctie voor de Afsluitdijk en besproken met deskundigen van de Waterdienst en Deltares.

We onderscheiden twee startsituaties voor de Afsluitdijk:

- Geen STA ('do minimum', 1/250 per jaar in 2012). Hierbij wordt de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) niet uitgevoerd en de dijk (inclusief de kunstwerken) verkeren dus in de huidige staat. Uit de KEA Afsluitdijk is bekend dat voor 25 mln euro de huidige kunstwerken tot minimaal 2030 kunnen functioneren op een niveau zoals beoogd bij aanleg in 1932. De Afsluitdijk heeft in 2012 een overstromingskans van 1/250 (op basis van mondelinge informatie van min. I&M). Wel gaan we ervan uit dat de spuisluis in Den Oever in 2020 wordt versterkt. Dit omdat dit al vrijwel besloten is (RWS-DPIJ, 2012) en renovatie van Den Oever nodig lijkt vanwege de veiligheid.
- Wel STA (1/100.000 per jaar in 2020). Hierbij wordt conform de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) het dijklichaam overslag bestendig gemaakt en worden de kunstwerken ingrijpend versterkt. De dijk en alle kunstwerken hebben dan in 2020 een veiligheid van 1/100.000. Deze variant is grotendeels gebaseerd op de variant Basisalternatief uit de KEA Afsluitdijk.

Onderstaande figuur (figuur 3.12) geeft een beeld van de investeringskosten om de Afsluitdijk onder verschillende omstandigheden veiliger te maken.

Figuur 3.12 Investeringskosten voor de Afsluitdijk bij pompen (links) en meestijgen/spuien (rechts)



Uitleg: kosten inclusief opslag van 11% voor bouwrente (2 jaar). Bedragen in marktprijzen 2009.

De - gedetailleerd beschreven - invulling van beide startsituaties (geen STA en wel STA) is als volgt.

Geen STA (1/250 per jaar in 2012)

Bij variant 'pompen' gaan we ervan uit dat de dijk uiterlijk in 2030 dient te worden versterkt. Bij die eerste versterking dienen het dijklichaam en de schutsluizen in Den Oever (DO) en

Kornwerderzand (Kwz) versterkt (lees: nieuwgebouwd) te worden. Spuisluizen worden niet nieuw gebouwd. Na deze eerste versterking dient de Afsluitdijk elke - zeg - 75 jaar versterkt te worden vanwege de standaard veronderstelde eindige technische levensduur. Dan dient dus ook het dijklichaam en de schutsluizen (in DO en Kwz) nieuw te worden gebouwd. Pompen moeten weliswaar regelmatig worden vervangen vanwege technische levensduur, maar deze beslissing staat los van de veiligheid van de dijk.

Bij variant 'meestijgen/spuien' gaan we ervan uit dat de nieuwbouwkosten van ESA en renovatie/ombouw/nieuwbouw van de spuisluis in Den Oever pas mee gaan doen bij de 'tweede' versterking. Bij de eerste versterking (voor 2030, vanwege einde technische levensduur) dienen alleen het dijklichaam en de schutsluizen in Den Oever (DO) en Kornwerderzand (Kwz) en de spuisluis in Kornwerderzand versterkt (lees: nieuw gebouwd) te worden. Na deze eerste ophoging dienen ook het dijklichaam en de schutsluizen (in DO en Kwz) en alle spuisluizen (DO, Kwz en ESA) nieuw te worden gebouwd. ESA en de spui DO worden dus tot die tweede ophoging 'buiten het model om' op een voldoende hoogte/sterkte gebracht die minimaal gelijk is aan de rest van de Afsluitdijk.

Wel STA (1/100.000 per jaar in 2020)

Bij variant 'pompen' dienen de kunstwerken voor 2050 opnieuw versterkt te worden (zie KEA Afsluitdijk). We bouwen dan de mogelijkheid in (niveau '1') dat alleen de schutsluizen bij DO en Kwz worden vernieuwd en eenzelfde mate van veiligheid krijgen als de overslagbestendige dijk (1/100.000 per jaar in 2020). Een volgende vernieuwing of een eerste versterking naar een overstromingskans kleiner dan 1/100.000 (per jaar, gemeten in het jaar 2020) omvat dan zowel de kosten voor het dijklichaam als beide schutsluizen.

Bij variant 'meestijgen/spuien' dienen de schutsluizen en de spui bij Kornwerderzand en Den Oever voor 2050 versterkt te worden. We bouwen ook hier de mogelijkheid (niveau '1') in om alleen de spui- en schutsluizen bij DO en Kwz te vernieuwen. Deze vier kunstwerken krijgen dan eenzelfde veiligheid als de overslagbestendige dijk (1/100.000 in 2020). Bij een tweede ophoging (lees: na 2050) of een versterking naar een overstromingskans kleiner dan 1/100.000 (gemeten in het jaar 2020), dienen zowel het dijklichaam, de schutsluizen in DO en Kwz als de spuisluizen bij DO, Kwz en ESA nieuw te worden gebouwd.

Houtribdijk

Bij alle varianten en klimaatscenario's wordt het Markermeer ontkoppeld van het peil van het IJsselmeer door het installeren van een pomp (100 m³/s). Hiermee wijken wij af van de MKBA WV21. De huidige spuisluizen worden verondersteld te zijn gesloten. De huidige streefpeilen van het Markermeer (nu: identiek aan het IJsselmeer, dus -0,40m NAP in de winter) blijven gehandhaafd.

De Houtribdijk scheidt het IJsselmeer van het Markermeer. Voor de scheepvaart zijn er drie sluiscomplexen: de Krabbersgatsluizen (beroepsvaart), het Naviduct (recreatievaart, het wegverkeer kruist hier de recreatievaart ongelijkvloers) bij Enkhuizen en de Houtribsluizen

bij Lelystad. Naast de Krabbersgatsluizen en de Houtribsluizen liggen op dit moment spuisluizen die het waterpeil in het Markermeer regelen.

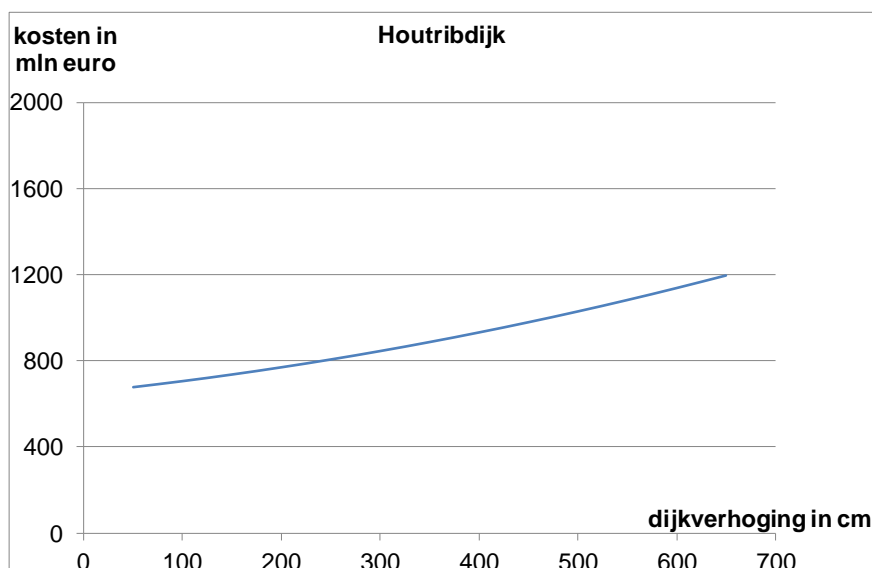
Tabel 3.4 Overzicht huidige kunstwerken (schut- en spuisluizen) en hun kenmerken in de Houtribdijk

Complex	Sluizen	Aantal	Breedte (m)	Drempel (M+NAP)
Houtribsluizen	Schutsluizen	2	18	-4,5
	Spuisluizen	6	18	-4,5
Krabbegatsluizen	Schutsluizen	1	12	-4,5
	Spuisluizen	2	18	-4,5
Naviduct	Schutsluizen	1	12,5	-4,5

Wanneer we de totale breedte van de schutsluizen in de Afsluitdijk en de Houtribdijk vergelijken, dan vinden we 28 meter voor de Afsluitdijk en 60 meter voor de Houtribdijk. Een eenvoudige vertaling van de kostenfunctie voor schutsluizen in de Afsluitdijk naar een kostenfunctie voor de Houtribdijk ontstaat door vermenigvuldiging met 60/28 voor de lineaire kostenfunctie.

Voor het dijklichaam volgen we eenzelfde redenering (voorgesteld door Deltares): de lengte van de Afsluitdijk bedraagt 30 km en van de Houtribdijk 25 km. Investeringskosten van het dijklichaam van de Houtribdijk worden afgeleid van de investeringskosten van het dijklichaam van de Afsluitdijk. De kosten voor de Houtribdijk bedragen 25/30 van de kosten voor de Afsluitdijk. Hiermee lijkt een redelijke schatting²⁴ verkregen.

Figuur 3.13 Kostenfunctie Houtribdijk vanaf de starthoogte



Uitleg: kosten inclusief een opslag van 11% vanwege bouwrente (2 jaar), bedragen in marktprijzen 2009.

²⁴ Er zijn meerdere redenen waarom de echte kosten hiervan kunnen afwijken. Zo hoeft de Houtribdijk 'slechts' binnenwater te keren in plaats van zeewater. Wel is het mogelijk dat extra maatregelen nodig zijn voor de stabiliteit van de Houtribdijk ('cunet'). Zie Kramer en Beckers (2012).

3.4 Schade bij falen

De schade bij overstromen is gebaseerd op de inschattingen zoals bepaald voor de MKBA WV21 (Kind, 2011). De wijze van modellering en de gebruikte kengetallen zijn een-op-een overgenomen. Bij het bepalen van de schade (materiële schade, aantal getroffen en aantal slachtoffers) wordt rekening gehouden met verschillende soorten overstromingen (van beperkt en van korte duur tot zeer ernstig en van lange duur).

De overstromingsschade²⁵ bestaat uit materiële en slachtoffer gerelateerde schade en is berekend met de standaard schade- en slachtoffermodule (HIS-SSM). De slachtoffer gerelateerde schade wordt gevormd door het verlies aan mensenlevens, gewonden, getroffen en evacués en is hoofdzakelijk immaterieel. Het aantal dodelijke slachtoffers per dijkkring is een output van HIS-SSM. De gehanteerde raming van het aantal gewonden per dodelijk slachtoffer is een gemiddelde van diverse literatuurbronnen, n.l. vijf (ernstig) gewonden per dodelijk slachtoffer. De schade per dodelijk slachtoffer (in jargon 'value of a statistical life', inclusief de bijbehorende vijf ernstig gewonden) is bepaald op 8 mln euro. De schade per getroffene (inclusief evacués) is bepaald op 14 duizend euro.

De materiele schade zoals bepaald met HIS-SSM wordt opgehoogd met 50%, omdat op basis van internationale ervaringen en uit literatuurstudies blijkt dat sommige schadeposten in deze module onderschat zijn en andere in zijn geheel ontbreken, zoals de indirecte schade of schade aan landschap, natuur en cultuur. Bij deze opslagfactor wordt een risicopremie van 10% geteld (d.w.z. de factor wordt verhoogd van 1,5 tot 1,6) om risicoaversie in rekening te brengen. Zie voor een onderbouwing van de gehanteerde bedragen de (bijlagen van de) MKBA WV21 (Kind, 2011).

²⁵ De overstromingsschade is gebaseerd op meerdere doorbraakscenario's, die verschillen in de kracht van de overstroming (bijvoorbeeld één of meerdere bressen in een dijkkring). De schadeomvang per scenario is dijkkringspecifiek gewogen met de waarschijnlijkheid van optreden, waardoor per dijkkringdeel één kengetal per schadepost overblijft.

Tabel 3.5 Materiële schade, aantal getroffen en, aantal slachtoffers en totale schade per dijkkringdeel in 2011

Dijkkringdeel	Materiële schade (mln. euro, prijspeil 2009, factorkosten)	Aantal getroffen en (personen)	Aantal slachtoffers (personen)
IJsselmeer			
Zuid-West Friesland	199	4463	1
Noordoostpolder	3275	39830	93
Flevoland-Noordoost	8391	102521	311
West-Friesland (NH)	6697	158213	216
Wieringen IJsselmeer	1894	11008	41
IJssel- en Vechtdelta			
IJsseldelta	1175	26965	39
Mastenbroek	1552	21251	78
Vollenhove	1243	23107	19
Salland	5127	91201	199
Oost Veluwe	967	21550	12
Markermeer			
Flevoland-Zuidwest	31535	256359	813
West-Friesland (NH)	6697	158213	216
Noord-Holland-Waterland	2661	76227	58
Marken	48	1693	1
Gooi en Vechtstreek	330	5696	2
Eempolder	169	8974	5
Gelderse Vallei-Meren	132	5559	2
Bron: MKBA WV21 (Kind, 2011).			

De totale overstromingsschade neemt toe als gevolg van economische en demografische groei. Tevens neemt de schade bij falen toe door bodemdaling (zie onderstaande tabel), stijging van meerpeilen (met name IJsselmeer bij scenario 'meestijgen/spuien') en dijkverhogingen. In overleg met Deltares nemen we aan dat het meerpeil net voor het falen van een dijkkringdeel bepalend is voor de op te treden schade. Bij verhoogde dijken wordt aangenomen dat de c-keringen op orde blijven: deze worden impliciet meeverhoogd. De kosten hiervan zijn niet meegenomen. Een doorbraak van Wieringen IJsselmeer slaat dan niet door naar de rest van Noord-Holland; dit geldt ook voor de Knardijk tussen Flevoland Noordoost en Zuidwest.

De gegevens over bodemdaling uit onderstaande tabel (tabel 3.6) worden (net als in de MKBA WV21) ook gebruikt om de jaarlijkse stijging van de overstromingskans te modelleren. De kruinhoogte van dijken dalen daarbij even hard mee als de bodemdaling van het gebied. Dijken liggen 'op de ondergrond' en als de ondergrond daalt, dan dalen de dijken mee.

Tabel 3.6 Bodemdaling

Dijkkringdeel	Bodemdaling (cm per jaar)
IJsselmeer	
Zuid-West Friesland	0,17
Noordoostpolder	0,10
Flevoland-Noordoost	0,10
West-Friesland (NH)	0,17
Wieringen IJsselmeer	0,17
IJssel- en Vechtdelta	
IJsseldelta	0,08
Mastenbroek	0,33
Vollenhove	0,41
Salland	0,08
Oost Veluwe	0,00
Markermeer	
Flevoland-Zuidwest	0,50
West-Friesland (NH)	0,17
Noord-Holland-Waterland	0,42
Marken	0,08
Gooi en Vechtstreek	0,08
Eempolder	0,08
Gelderse Vallei-Meren	0,17

Bron: Deltares (Kramer en Beckers, 2012).

Onderstaande tabel (tabel 3.7) geeft inzicht in de totale (gemiddelde) schade bedragen (materieel en immaterieel) bij een overstroming in verschillende jaren en bij de varianten 'pompen' en 'meestijgen/spuien'.

Tabel 3.7 Schade bij een overstroming van verschillende dijkringdelen voor de jaren 2020, 2050 en 2100 onder de scenario's pompen en spuien

Dijkringdeel	Pompen			Spuien	
	2020	2050	2100	2050	2100
IJsselmeer					
	mln euro				
Zuid-West Friesland	537	965	2557	1011	3396
Noordoostpolder	8947	15782	40638	15958	43442
Flevoland-Noordoost	23620	41662	107280	42126	114682
West-Friesland (NH)	19821	34862	89344	34862	89344
Wieringen IJsselmeer	4845	8522	21840	8522	21840
IJssel- en Vechtdelta					
IJsseldelta	3475	6111	15662	6111	15662
Mastenbroek	4597	8085	20719	8085	20719
Vollenhove	3374	5934	15208	5934	15208
Salland	14986	26358	67549	26358	67549
Oost Veluwe	2659	4677	11985	4677	11985
Markermeer					
Flevoland-Zuidwest	83538	149046	391180	149046	391180
West-Friesland (NH)	19821	34862	89344	34862	89344
Noord-Holland-Waterland	7839	13788	35334	13788	35334
Marken	146	257	660	257	660
Gooi en Vechtstreek	878	1545	3960	1545	3960
Eempolder	580	1020	2615	1020	2615
Gelderse Vallei-Meren	411	722	1851	722	1851

Toelichting: de cijfers in de tabel nemen de economische groei en de structurele stijging van de waterstand mee. De dijken blijven op de hoogte van 2015. Bedragen in mln euro, prijspeil 2009, marktprijzen.

De schade aan de Afsluitdijk *zelf* als gevolg van een bres in de Afsluitdijk is gebaseerd op de methode in de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011). De belangrijkste kostenpost betreft het repareren van de Afsluitdijk (inclusief eventuele kunstwerken). Het CPB heeft in overleg met Deltares en het projectteam Toekomst Afsluitdijk aangenomen dat reparatie van de Afsluitdijk 700 mln euro kost. Het repareren van een bres in de Afsluitdijk duurt ongeveer een half jaar en daarom de rest van het winterseizoen (d.w.z. het stormseizoen). De bres in de Afsluitdijk zal pas in de zomer worden gedicht. Personenauto's, vrachtauto's, openbaar vervoer, beroepsvaart en recreatievaart kunnen daardoor gedurende een half jaar de Afsluitdijk niet 'passeren' en moeten dan omrijden of omvaren. De bijbehorende schadebedragen staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 3.8 Schadebedragen in 2050 voor een bres in de Afsluitdijk in mln. euro, prijspeil 2009, marktprijzen

	2050
Reparatie Afsluitdijk en kunstwerken	700
Omrijden/vraaguitval personenauto's	60
Omrijden/vraaguitval vrachtwagens	20
Omrijden/vraaguitval openbaar vervoer	8
Omvaren/vraaguitval beroepsvaart	4
Omvaren/vraaguitval recreatievaart	2
Totaal	790

Het schadebedrag voor reparatie Afsluitdijk en kunstwerken blijft constant over de tijd, terwijl voor de andere schadeposten gemiddeld een groeivoet van 0,8% per jaar is gehanteerd (conform de stijging van de reistijdwaardering in het TM-scenario: zie KEA Afsluitdijk).

Niet alle schadebedragen die samenhangen met (sec) het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk, konden worden gemonetariseerd tijdens uitvoering van dit project. Het betreft de volgende schades. Allereerst de kosten voor die delen van Nederland die zoet water betrekken uit het IJsselmeer. Ook de economische schade die ontstaat aan 'buitendijkse' gebieden in het IJsselmeer, is niet bekend. Hierbij dient gedacht te worden aan buitendijkse (recreatie)woningen, buitendijkse bedrijventerreinen, kades, jachthavens, buitendijkse weilanden en visteelt. Daarnaast is de schade aan natuur en landschap door de (tijdelijke) bres niet gemonetariseerd. Voor een uitgebreide discussie over deze schade posten verwijzen we naar de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011, p.159). Deze kosten zijn in berekeningen die in volgende hoofdstukken worden gepresenteerd 'nihil' verondersteld (zie voor de argumentatie Grevers en Zwaneveld, 2011).

Het ministerie van I&M heeft nader onderzoek laten verrichten naar de genoemde schade voor de zoetwatervoorziening en de natuur. Ten tijde van de uitvoering van deze studie waren de resultaten nog niet bekend. Vlak voor de definitieve afronding van deze studie werden de resultaten van dit onderzoek (De Vries et al., 2013) bekend.

In het kort concludeert het rapport dat een doorbraak van de Afsluitdijk en het verzilten van het achterliggende IJsselmeer alleen kan ontstaan door een boven-maatgevende superstorm met een extreem kleine kans; het betreft een kans van 1/100.000 in het jaar 2020 en in de decennia daarna blijft die kans onder de 1/10.000. Tijdens deze storm treedt er in het gebied mogelijk grote schade op en ontstaan er overstromingen van achterliggende a-keringen. Bij de door De Vries et al. (2013) genoemde bedragen is geen rekening gehouden met deze schade, waardoor er sprake zal zijn van het 'dubbeltellen' van schades. Een voorbeeld om dit te illustreren: als een dijkkring overstroomt dan is de schade voor de landbouw reeds meegenomen in de gehanteerde bedragen per dijkkringdeel (zie tabel 3.7). De bedragen die betrekking hebben op een tekort aan zoetwater voor de landbouw in dat gebied zijn dan dus niet meer relevant: het gebied staat onder water waardoor geen landbouw meer kan plaatsvinden.

De landbouwschade als gevolg van een verzilt IJsselmeer wordt geschat op zo'n 150-300 miljoen euro per jaar, exclusief 2^{de} orde effecten; deze schade zal gedurende 1 à 2 jaar optreden. Het directe productieverlies aan drinkwater (77 mln m³/jaar) en industriewater (12 mln m³/jaar via Andijk) voor Andijk betreft een bedrag van zo'n 100 miljoen euro (dit is de jaaromzet). Daarnaast wordt er 15 mln m³/jaar aan industriewater geleverd via North Water. De jaarlijkse omzet van de afnemers van industriewater bedraagt zo'n 3 miljard euro. De schade voor de visserij is maximaal 6-10 miljoen euro per jaar (jaaromzet). De visstand zal trager herstellen dan de 2 jaar van verzoeting van het IJsselmeer na een bres in de Afsluitdijk. De feitelijke economische schade kan veel lager uitpakken dan de genoemde bedragen door het elders inzetten van direct betrokken productiemiddelen (arbeid en kapitaal) of elders zoet water in te winnen.

De vraag is op welke wijze de politiek reageert op een dergelijk incident. Op korte termijn kan de strategische watervoorraad in de duinen worden aangesproken die voldoende is voor de reguliere watervraag van drie maanden, maar bij rantsoenering zal dit langer zijn. Ook kan de restcapaciteit van bestaande installaties worden ingezet en kunnen nieuwe zoetwaterinstallaties (of leidingen) worden aangelegd. Welke echte economische schade ontstaat, is lastig in te schatten, maar dat die al snel minimaal enkele honderden miljoenen euro's zal zijn, lijkt plausibel. Veel hogere en lagere bedragen zijn denkbaar.

Om de gevoeligheid van de resultaten te onderzoeken zijn enkele scenario's doorgerekend met additioneel 300 miljoen euro aan schade vanwege verzilting, indien er een bres in de Afsluitdijk komt. Dit had geen enkel effect op de economische optimale overstromingskans van alle a- en b-keringen ten opzicht van de aanname dat deze kosten nihil zijn. Ook de jaren van versterking van alle keringen en de mate van versterking bleven ongewijzigd. Dit is logisch gezien de schadebedragen uit tabel 3.7 die in de honderden miljarden euro lopen. Kortom: hoewel het verzilten van het IJsselmeer aanzienlijke vervolgschade zal hebben, beïnvloedt dit de uitkomsten in deze studie zeer waarschijnlijk niet.

De schadebedragen aan de Houtribdijk worden gelijkgesteld aan die van de Afsluitdijk. Bij beide b-keringen dient de bres te worden gerepareerd en is er sprake van overlast voor het wegverkeer en de scheepvaart. Mogelijk verschillen de schadebedragen bij falen van de Houtribdijk en de Afsluitdijk, maar specifieke informatie hierover ontbreekt op dit moment.

4 Resultaten

4.1 Wiskundig-economisch model levert optimaal investeringspatroon

Door de kosten van dijkversterkingen, overstromingskansen en schade bij overstromen in een wiskundig-economisch model te vatten, kan een optimale investeringsstrategie (wanneer en in welke mate moet ik elk dijkkringdeel versterken) worden berekend. Hieruit is af te leiden welke investeringsbedragen nodig zijn en in welke jaren. Ook kan het feitelijke verloop van de overstromingskansen in elk jaar inzichtelijk worden gemaakt.

Het Dique-Opt model berekent per variant/scenario de optimale investeringsstrategie. Deze strategie (lees: oplossing) is de - *bewezen* - optimale manier om de dijken in het IJsselmeergebied te versterken gegeven de verwachte ontwikkelingen en de gebruikte invoergegevens. Het doel hierbij is het minimaliseren van de totale investeringskosten plus de totale verwachte schade als gevolg van restrisico. Zowel de investeringskosten als de verwachte schade worden hierbij in contante waarde weergegeven. Naast het optimale investeringspatroon kan het model ook gebruikt worden voor 'what-if'-analyses. Gegeven een bepaalde randvoorwaarde (bijvoorbeeld maximale overstromingskansen of het maximaal te besteden investeringsbedrag) kan een nieuwe investeringsstrategie worden uitgerekend, inclusief de bijbehorende investeringsbedragen en overstromingskansen in elk jaar.

De optimale investeringsstrategie levert niet direct één getal voor een optimaal veiligheidsniveau. Indien de vaste kosten van een dijkkringdeelversterking beperkt zijn, zal relatief vaak het dijkkringdeel worden versterkt. Bij relatief hoge vaste kosten is het economisch rendabeler om minder vaak het dijkkringdeel te versterken, maar bij elke versterking wel een relatief grote vermindering van de overstromingskans te realiseren. Het verloop van de optimale overstromingskans zal dan ook een 'zaagtandpatroon' hebben. De overstromingskans van elk dijkkringdeel loopt elk jaar langzaam op door klimaatverandering en bodemdaling. Tot het jaar dat het dijkkringdeel wordt versterkt en dan daalt de overstromingskans fors. Na deze verhoging zal de kans weer geleidelijk stijgen tot de volgende versterking. Door de voortgaande economische groei zal het in de meeste gevallen optimaal blijken dat 'de gemiddelde overstromingskans' een dalende trend laat zien. Door deze economische groei neemt de schade bij overstromen toe, waardoor het economisch logisch is om te streven naar kleinere overstromingskansen.

4.2 Toetskans: 15 jaar, middenkans en investeringspatroon

Net als in de MKBA WV21 rapporteren we getallen die als toetskans (toetsnorm) in de wet opgenomen kunnen worden. We berekenen twee getallen: de middenkans 2050 (zoals ook in de MKBA WV21 is gebruikt) en de 15-jaarkans 2050. Daarnaast zullen we uitleggen dat het direct anno 2012/2015 gebruiken van een toetskans (toetsnorm?) die gebaseerd is op het jaar 2050, in sommige gevallen zeer welvaartsverlagend werkt. Dit laatste punt speelt zowel bij de middenkans 2050 als bij de 15-jaarkans 2050.

De keuze om te streven naar een toetskans voor het jaar 2050 is een beleidsmatige wens, die al eerder in de MKBA WV21 is gehanteerd. Deze keuze houdt verband met de wens vanuit het beleid dat de nieuwe normen in beginsel voor een langere periode (dus tot 2050) worden vastgesteld. Een pragmatisch argument hiervoor is dat de rijksoverheid - net als in het verleden - voor langere tijd de inwoners van Nederland duidelijkheid wil geven over de overstromingskans. In overeenstemming met diverse beleidsdocumenten veronderstellen wij dat het streven is om de uiteindelijke (wettelijk vastgestelde) toetskans in 2050 te realiseren. Kortom: in 2050 dient elk dijkkringdeel een overstromingskans te hebben die gelijk is aan of kleiner (lees: veiliger) is dan de toetskans. Op welke wijze dit wordt bereikt kan dus niet worden afgeleid uit de toetskans. Hiertoe dient het optimale investeringspatroon van het betreffende dijkkringdeel te worden geraadpleegd.

Voor het gebruik van deze toetskansen in de praktijk adviseren wij dringend om goed rekenschap te geven van de optimale investeringsstrategieën van de beschouwde dijkkringdelen en dijken onder verschillende scenario's en varianten. Gezien de gemoeide investeringsbedragen, de bijbehorende ingrepen in het landschap door dijkverhogingen en het belang van adequate waterveiligheid, lijkt ons deze relatief geringe moeite beslist gerechtvaardigd. Om dit mogelijk te maken worden in het vervolg van deze notitie in (zaagtand-)grafieken deze optimale investeringsstrategieën van de beschouwde dijken weergegeven. Bij de auteurs van deze notitie zijn de optimale investeringsstrategieën van de niet-weergegeven varianten en scenario's opvraagbaar.

4.2.1 15-jaarkans 2050

Deze toetskans is gebaseerd op het feit dat na afkeuring van een dijkkringdeel het veelal nog 10 tot 20 jaar duurt voordat het dijkkringdeel daadwerkelijk is versterkt. In de praktijk blijkt dat de voorbereidings- en uitvoeringstijd vaak een jaar of tien bedraagt. Bij grote projecten kan die tijd gemakkelijk oplopen tot twintig jaar of meer. Denk aan de Zuiderzeewerken: overstroming in 1916, Afsluitdijk gereed in het midden van de jaren dertig; de Deltawerken: het laatste, de Oosterscheldekering voltooid 35 jaar na de overstroming in 1953; Ruimte voor de Rivier: verbeteringen moeten voor eind 2015 gereed zijn, (meer dan) twintig jaar na de hoogwaters van 1993 en 1995, maar waarschijnlijk zal die einddatum niet overal worden gehaald. Het kan ook sneller zoals het project Deltaplan Grote Rivieren dat in 1995 in gang is gezet, laat zien: in vijf jaar zijn meerdere rivierdijken versterkt.

Deze toetskans voor de veiligheid van dijkringen wordt gedefinieerd als de overstromingskans van een dijkkring 15 jaar voor de eerste investering na het jaar 2050. Als bijvoorbeeld de dijkkring in 2064 moet worden opgehoogd/versterkt, dan wordt de overstromingskans van 15 jaar eerder gerapporteerd, dus 2049. De periode van 15 jaar is de geschatte benodigde tijd voor de overheid om een dijk te verhogen (nodig voor onderzoek, besluitvorming, financiering, planning en realisatie). De gerapporteerde overstromingskans in 2049 kan worden uitgedrukt in de P1-overstromingskans of in de totale overstromingskans.

We rapporteren de P1-kans en de Ptot-kans:

- De P1-kans is vergelijkbaar met de (toets-)kansen uit de MKBA WV21 (2de referentie). Deze toetskans heeft betrekking op de directe overstromingskans ('P1') en is daarom van primair belang bij toepassing in de praktijk van de reguliere toetsingsrondes van dijkkringdelen. Deze kans wordt berekend onder de *veronderstelling* dat de voorliggende b-keringen oneindig sterk zijn. Bij de huidige toetsrondes voor dijkkringdelen wordt - volgens onze informatie - alleen gekeken naar deze P1-kansen. Dit lijkt ons ook praktisch de meest logische aanpak om te bepalen wanneer de dijken moeten worden opgehoogd en tot welke hoogte. De P1-kans is een deel van de totale overstromingskans. Het optimale investeringspatroon wordt bepaald op basis van de totale overstromingskans, waarna een vertaling plaatsvindt naar de P1-kans.
- De Ptot-kans betreft de totale overstromingskans (som van 'P1' tot en met 'P3' voor dijkkringdelen rond het IJsselmeer en in de IJssel- en Vechtdelta en de som van 'P1' tot en met 'P7' voor het Markermeer). Extra overstromingskansen ontstaan doordat eerst de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk zijn doorgegaan en er dan extra risico voor de a-keringen ontstaat. In de Ptot-kans worden dus 'alle' oorzaken van overstroomingen meegenomen en deze kans geeft daarmee een compleet beeld van de veiligheid. De P1-kans is dus altijd kleiner of gelijk aan de Ptot-kans.

4.2.2 15-jaarkans of middenkans?

In deze studie wordt de 15-jaarkans gepresenteerd. In de MKBA WV21 (Kind, 2011) is als toetskans de middenkans voor het jaar 2050 gehanteerd. We presenteren de 15-jaarkans omdat deze kans voor alle mogelijke situaties en dijkkringdelen is te berekenen. Dat is - op moment van schrijven - niet het geval voor de middenkans. De middenkans uit de MKBA WV21 kan in een flink aantal gevallen wel worden berekend, namelijk voor alle a-keringen rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer op basis van de P1-kansdefinitie. De middenkans wordt uitgelegd in Bijlage B. Daar staan ook de getalswaarden van deze kansdefinitie. In de hoofdttekst zal de middenkans - indien mogelijk - ook in de grafieken worden gepresenteerd.

Een belangrijk inhoudelijk criterium voor het beoordelen van een toetskans is robuustheid. Hiermee bedoelen we dat als we de toetskans uitrekenen, deze in de praktijk in zoveel mogelijk instanties en omstandigheden/toekomstscenario's een goed signaal afgeeft wanneer een dijkkringdeel dient te worden versterkt. Een toetskans is in feite een vereenvoudiging van

het 'echte' optimale investeringspad. Dit pad is afhankelijk van klimaatontwikkelingen en andere (model-) aannamen over economische groei, schade bij overstromen, de initiële overstromingskansen en kosten van dijkverhoging.

Om de robuustheid te testen van de 15-jaarkans en de middenkans zijn zo'n vijftig²⁶ analyses uitgevoerd. Hierbij zijn de beide toetskansen bepaald voor alle dijkkringdelen (a-keringen) op basis van het W+-scenario en een discontovoet van 5,5% en is gekeken in hoeveel gevallen de aldus verkregen 'kans' een correct²⁷ signaal geeft in zowel het W+-scenario, het pseudo G-scenario als bij 4,0% discontovoet (bij het W+-scenario). Voor de beschouwde situaties bleek de 15-jaarkans in 95% een correct signaal te geven. De middenkans bleek in 70% van de gevallen correct. De 15-jaarkans bleek dus het meest 'robuust'. Uiteraard kan de robuustheidsanalyse uitgebreid worden naar meerdere varianten. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of de genoemde percentages dan blijven gelden. Wel kan worden bewezen dat de 15-jaarkans altijd het correcte signaal afgeeft, indien de ex-ante ingeschatte omstandigheden ook ex-post gerealiseerd worden.

Ondanks de verschillen tussen de 15-jaarkans en de middenkans is het idee achter beide gelijk: op tijd in zo veel mogelijk situaties een correct signaal geven. A priori kan niet worden bepaald welk van beide definities een grotere of kleinere waarde geeft. Dat verschilt van geval tot geval. Toetskansen worden in de praktijk veelal afgerond op een 'rond' getal zodat kleine verschillen 'onzichtbaar' worden. Tot slot wordt in de MKBA WV21 gemeld (Kind, 2011, pagina *i*) dat volgens de daar gehanteerde middenkans-definitie het 'nog tot 20 jaar kan duren voordat de verbeteringsmaatregelen zijn uitgevoerd'. Kortom: vrijwel identiek aan de gehanteerde 15 jaar bij de 15-jaarkans.

4.3 Betekenis en gebruik toetskans

Onderstaand wordt nader ingegaan op de betekenis en het (dagelijks) gebruik van de toetskansen zoals die in dit rapport worden weergegeven.

Toetskans op basis van P1-kans lijkt praktisch meest bruikbaar

Een nieuw element van deze studie in vergelijking tot eerdere studies naar economisch optimale waterveiligheid is dat meerdere overstromingskansen worden onderscheiden. Deze studie berekent wanneer welke dijkkring of b-kering versterkt/opgehoogd moet worden, opdat een optimale balans wordt gevonden tussen enerzijds restrisico op overstromen en anderzijds de totale kosten voor dijkversterkingen/verhogingen. In die economische afweging gaat het om de totale overstromingskansen (de som van P1 tot en met P3 voor dijkringen rond het

²⁶ In totaal zijn er 17 dijkringen in elk 3 verschillende situaties bekeken op de correctheid van de 15-jaarkans en de middenkans, dus in totaal 51. Bij de auteurs kan nadere informatie worden opgevraagd over de uitgevoerde robuustheidsanalyse.

²⁷ Lees: op tijd, dus zo'n 15 jaar voordat het economisch optimaal is de dijkkringdeel te versterken. Hierbij is een bandbreedte gehanteerd van 10 tot 20 jaar: een afwijking van maximaal 5 jaar t.o.v. het berekende optimale tijdstip is dus nog als correct aangeduid.

IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta en de som van P1 tot en met P7 voor dijkringen rond het Markermeer). Die economische afweging leidt tot een investeringspatroon waaruit blijkt wanneer en in welke mate elke dijkringdeel en b-kering moet worden versterkt/opgehoogd. Zoals in de voorgaande paragraaf uitgelegd wordt dit investeringspatroon weer gebruikt om een toetskans te bepalen. Het vertalen van dit investeringspatroon naar een toetskans kan geschieden op basis van meerdere kansdefinities. De voor de hand liggende keuzes zijn de P1-overstromingskans (P1-toetskans) en de totale overstromingskans (Ptot-toetskans).

De toetskans wordt gebruikt in de (zes- of twaalf-)jaarlijkse toetsrondes. Deze toetsrondes vinden regelmatig plaats en dus ook voor het jaar 2050. In deze toetsrondes wordt gekeken of het dijkringdeel voldoet aan de toetskans. Indien het dijkringdeel een overstromingskans heeft die groter is dan de toetskans, dan wordt de dijk afgekeurd en moet worden bepaald welke acties opportuun zijn. Mogelijk overbodig om te melden is dat indien de P1-toetskans wordt gebruikt, men dan de veiligheid van een dijkringdeel moet bepalen op basis van de P1-overstromingskans. Indien men de Ptot-toetskans gebruikt dient men de totale overstromingskans te gebruiken (dus inclusief de kans op falen van een voorliggende kering) bij het toetsen.

De vraag is met welke toetskansen in de praktijk het beste gewerkt kan worden: de P1-toetskans of de Ptot-toetskans. Tot nu toe gebruikt men - voor zover wij hebben kunnen achterhalen - in de praktijk de P1-toetskans: dit is de kans onder de veronderstelling dat de voorliggende b-keringen oneindig sterk zijn. Deze kansdefinitie is ook gehanteerd in de MKBA WV21. De P1-kansdefinitie is zeer gangbaar in hydraulische modellen. De totale overstromingskans (dus inclusief het falen van de voorliggende b-keringen) is ontwikkeld in het kader van deze studie en die zal daarom voor vrijwel iedereen nieuw zijn. Om dus in de praktijk gebruik te kunnen maken van de totale overstromingskans (i.e. de som van P1 t/m P3 rond het IJsselmeer en IJssel- en Vechtdelta en de som van P1 t/m P7 rond het Markermeer) moeten deze kansen ook in de hydraulische modellen 'eenvoudig' kunnen worden bepaald. Wij denken dat dit op afzienbare termijn waarschijnlijk niet gaat gebeuren. Vanuit dit perspectief heeft het gebruik van de P1-toetskans dus duidelijk de voorkeur.

Zoals al eerder gemeld, geven tests ook aan dat in 95% van de beschouwde gevallen een dijkringdeel correct op tijd wordt goedgekeurd dan wel afgekeurd, indien de P1-toetskans wordt gebaseerd op de 15-jaarkans in het W+-scenario (zie paragraaf 4.2.2.). Een toetskans op basis van de P1-overstromingskansdefinitie is dus praktisch het meest bruikbaar en geeft naar alle waarschijnlijkheid een correct 'signaal'.

Tevens moet goed worden gerealiseerd dat de overstromingskansen die worden gebruikt bij de (zes- of twaalf-)jaarlijkse toetsrondes, sterk afhangen van de keuzes tussen pompen en spuien en van de aanwezige capaciteit aan spuisluizen en pompen. Indien bijvoorbeeld wordt gekozen om de toekomstige investeringen van dijkringdelen te baseren op een pomp van 2.000 m³/s in de Afsluitdijk, dan dient het instrumentarium van de reguliere toetsronden hierop te worden aangepast.

Voor burgers gaat het uiteindelijk uiteraard om de totale overstromingskans (P1 t/m P3 voor IJsselmeer resp. P1 t/m P7 voor Markermeer): dat is de kans dat het gebied waarin ze wonen 'onder water komt te staan'. De totale overstromingskans kan dus mogelijk het best gebruikt worden in de communicatie naar de burgers. Deze totale overstromingskansen wordt in dit hoofdstuk dan ook weergegeven.

Toetskans = maximale overstromingskans in 2050, niet per se óók in 2020

Wij veronderstellen dat het streven is om de uiteindelijke (wettelijk vastgestelde) toetskans in 2050 te realiseren. Dit is in overstemming met diverse beleidsdocumenten (zie bijvoorbeeld Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2009, p. 77). Kortom: in 2050 dient elk dijkkringdeel een overstromingskans te hebben die gelijk is aan of kleiner (lees: veiliger) dan de toetskans. Op welke wijze dit wordt bereikt kan dus niet worden afgeleid uit de toetskans. Hiertoe moet het optimale investeringspatroon van het betreffende dijkkringdeel worden geraadpleegd.

Indien men de voorgestelde toetskansen al in 2020 zou realiseren, dan zal dit in veel gevallen leiden tot te vroege dijkversterkingen. Dat is dus zeer welvaartsverlagend en legt onnodig een voortijdig beslag op overheidsmiddelen. Omdat in de waarde van de toetskans een 'besteltijd' van 15 jaar is ingebouwd, volgt hieruit dat indien tijdens toetsing wordt vastgesteld dat een dijkkringdeel in een jaar voor 2035 niet voldoet aan de toetskans, het optimale investeringspatroon moet worden geraadpleegd om te bepalen welke actie opportuun is. Indien tijdens toetsing blijkt dat een dijkkringdeel in een jaar na 2035 niet voldoet, dan dient een dijkkringdeel in principe zo'n 15 jaar na dat jaar te worden versterkt.

Toetskans: na 'afkeuren' nog de tijd voor actie

De functie van de toetskans is dus om op tijd een signaal te geven dat een dijkkringdeel moet worden versterkt. Als een dijkkringdeel niet meer voldoet aan de toetskans, dan moet actie worden ondernomen om te zorgen dat de dijkkring in de nabije toekomst (veelal dus over zo'n 15 jaar) op het gewenste veiligheidsniveau wordt gebracht.

Toetskans per dijkkringdeel is niet de toetskans per locatie (lees: traject of vak)

Bij het interpreteren van de uitkomsten is het van belang te beseffen, dat de overstromingskans van een dijkkringdeel niet een-op-een kan worden doorvertaald naar de overstromingskans per locatie (lees: trajecten of vak) op dat dijkkringdeel.

Indien elke locatie op een dijkkringdeel onder identieke omstandigheden faalt, dan kan de overstromingskans per locatie gelijk worden gesteld aan de overstromingskans per dijkkringdeel. Indien er echter twee locaties zijn per dijkkringdeel die elk falen onder onafhankelijk van elkaar optredende omstandigheden, dan dient elke locatie een overstromingskans te krijgen die de *helft* is van de overstromingskans van het gehele dijkkringdeel. Tabel 2.1 geeft een overzicht hoeveel 'onafhankelijke' locaties per dijkkringdeel zijn verondersteld. Om de lezer mee te nemen in deze - op het eerste gezicht mogelijk verwarrende - omrekening, geven wij in hoofdstuk 6 enkele voorbeelden. In dat hoofdstuk gaan we ook in op het vervolgonderzoek dat wij aanbevelen om beter inzicht te krijgen in de mate waarin verschillende locaties op een dijkkringdeel onafhankelijk zijn.

Toetskans is GEEN ontwerpkins

De toetskans is bedoeld om te waarschuwen en om een proces in gang te zetten dat als doel heeft om te bepalen welke actie nodig is. De toetskans zelf geeft geen indicatie welke verbetering gewenst is. Wel zal in vrijwel alle gevallen gelden dat het versterken van een dijkkringdeel tot precies de toetskans zéér welvaartsverlagend is. In welke mate een dijk versterkt moet worden hangt af van het aandeel van de vaste kosten in de totale kosten van een dijkversterking. Indien de vaste kosten van een dijkkringdeel relatief hoog zijn, dan is het economisch rendabel om het dijkkringdeel aanzienlijk te versterken. Grote kunstwerken hebben veelal relatief veel vaste kosten, waardoor het verstandig is de mate van veiligheidsverbetering groot te kiezen. De optimale mate van verbetering van de overstromingskans per dijkkringdeel voor het IJsselmeergebied wordt gerapporteerd in tabel 5.6 in paragraaf 5.4. Hierbij wordt dus rekening gehouden met de omvang en het aandeel van de vaste en variabele kosten van een versterking van het dijkkringdeel. Bij de *eerste* versterking bedraagt de optimale verbetering van de veiligheid veelal een factor 2 à 5, met een enkele uitschieter tot 30.

Maatwerk en herberekening optimale investeringsstrategie

De beste manier om te bepalen op welke wijze een dijkkringdeel moet worden versterkt na 'afkeuring' is om opnieuw te kijken welke opties er zijn om het dijkkringdeel te versterken. De gepresenteerde berekeningen zijn gebaseerd op zorgvuldige berekeningen om te bepalen welke kosten verbonden zijn aan bepaalde dijkverhogingen/versterkingen. Desondanks kunnen bij nadere bestudering van een dijkkringdeel maatwerkoplossingen in zicht komen.

Ook zal dan beter zicht zijn op de actuele overstromingskansen en mogelijk zelfs de toekomstige ontwikkeling van het klimaat. Het is ons inziens beslist nuttig om dan op basis van deze nieuwe inzichten opnieuw met behulp van de beschikbare wiskundig-economische modellen²⁸ (het model uit de MKBA WV21 zie Brekelmans et al., 2012; het Dique-Opt model dan wel andere modellen, zoals in Zwaneveld en Verweij, 2014) een 'optimaal' investeringspatroon (of andere hydraulische maatregelen om de overstromingskans te verkleinen) te bepalen. De kosten van het maken van dergelijke berekeningen wegen zeer waarschijnlijk ruimschoots op tegen de potentiële maatschappelijke besparingen en het belang van waterveiligheid.

²⁸ Welk model het meest geschikt is, zal van geval tot geval verschillen. De data, zoals in de MKBA WV21 en deze studie is gebruikt, biedt een goed startpunt om de berekeningen uit te voeren.

4.4 Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA): welvaartsoptimaal?

Als eerste gaan we in op de vraag of de renovatie van de kunstwerken in de Afsluitdijk en de aanleg van een overslagbestendige dijk conform de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) welvaartsverhogend is. Dit doen we door de uitkomsten van het Dique-Opt model te vergelijken voor de varianten 'geen STA' en 'wel STA', waarbij we rekening houden met eventuele extra kosten om beide startsituaties mogelijk te maken.

Het vergelijken van beide mogelijkheden (STA wel of niet uitvoeren) gebeurt op basis van een bepaald klimaatscenario en peilbeheervariant. We bepalen of het uitvoeren van STA welvaartsverhogend is onder vier omstandigheden: keuze voor 'pompen' dan wel 'meestijgen/spuien' en het W+-klimaatscenario dan wel het pseudo G-klimaatscenario (zie paragraaf 3.1 voor een bespreking van beide klimaatscenario's).

Tabel 4.1 MKBA-resultaat van Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) bij 'pompen' en zowel het W+- als het pseudo G-klimaatscenario

	W+-scenario			Pseudo G-scenario		
	Geen STA	Wel STA	Verschil	Geen STA	Wel STA	Verschil
mln euro, pp.2009, NCW 2020, 5,5% discontovoet						
Kosten a-keringen en Houtribdijk	770	770		499	494	
Verwachte schade a-keringen en Houtribdijk	1.062	1.057		1.002	993	
Kosten Afsluitdijk (excl. STA)	614	47		578	46	
Verwachte schade Afsluitdijk	1	0		1	0	
Extra kosten (excl. ?-posten):						
- Renovatie schutsluizen (onderdeel STA)		89			89	
- Overslagbestendige dijk (onderdeel STA)		300			300	
- Extra onderhoud schutsluizen	17			17		
Totaal	2.463	2.263	200	2.097	1.922	175
Toelichting:						
- ?-posten betreffen het effect op het landschap en monumenten (zie Grevers en Zwaneveld, 2011, p.13) . Het effect op het landschap als gevolg van het wel of niet uitvoeren van STA zal beperkt zijn.						
- de Netto Contante waarde (NCW) wordt berekend over de periode 2020-2300.						
- Investeringsbedragen van een ingreep worden in het jaar van oplevering geboekt waarbij de kosten met 11% worden verhoogd om 'bouwrente mee te nemen'. Dit is conform de aanpak in het Dique-Opt model en de MKBA WV21. De kosten voor de aanleg en het gebruik van de pompen zijn niet weergegeven. Ook de kosten voor de spui/pomp bij Den Oever zijn niet weergegeven net als enkele niet gemonetariseerde bedragen (zie paragraaf 3.4). Deze niet weergegeven effecten zijn naar verwachting klein in de keuze tussen wel of geen STA .						
- De "Kosten Afsluitdijk (excl. STA)" betreffen de kosten van het verhogen van deze dijk. In het scenario 'Geen STA' gaat het primair om het direct verhogen/versterken van de Afsluitdijk. Bij het scenario 'Wel STA' gaat het om latere versterking (rond 2050 beperkt en vervolgens veel later ingrijpend).						

Gegeven het wel of niet uitvoeren van STA, de wijze van peilbeheer en het gekozen klimaatscenario is met het Dique-Opt model het *optimale* investeringspatroon bepaald voor alle dijken in het IJsselmeergebied (a-keringen, Houtribdijk én Afsluitdijk). Voor deze optimale investeringsstrategie kan dan worden uitgerekend wat de totale investeringskosten zijn en

wat de totale verwachte schade is. Deze resultaten moeten worden aangevuld met additionele investeringen om de startsituatie (wel of geen STA) mogelijk²⁹ te maken.

Tabel 4.1 geeft de resultaten weer voor de variant 'pompen' en zowel het W+- als het pseudo G-klimaatscenario.

De conclusie is, dat onder beide scenario's het uitvoeren van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk welvaartsverhogend is. Het (positieve) MKBA-saldo bedraagt zo'n 200 mln euro. Daarbij blijkt dat als de Structuurvisie niet wordt uitgevoerd, het welvaartsoptimaal is in zowel het W+-als het pseudo G-scenario om toch direct (de eerste mogelijkheid in het model is 2021) de Afsluitdijk te verhogen/versterken. Dit gebeurt op basis van economische argumenten, want de technische levensduur van de dijk is dan nog niet verstreken. In het W+-scenario wordt de dijk in 2021 iets meer verhoogd (naar veiligheid van 1:40.000 per jaar) dan in het pseudo G-scenario (naar 1:12.000 per jaar). Conform de Structuurvisie wordt de Afsluitdijk in 2020 op een veiligheid gebracht van 1:100.000 per jaar.

Tabel 4.2 MKBA-resultaat van Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) bij 'meestijgen/spuien' en zowel het W+- als het pseudo G-klimaatscenario

	W+-scenario			Pseudo G-scenario		
	Geen STA	Wel STA	Vershil	Geen STA	Wel STA	Vershil
mln euro, pp.2009, NCW 2020, 5,5% discontovoet						
Kosten a-keringen en Houtribdijk	1.812	1.807		1.329	1.261	
Verwachte schade a-keringen en Houtribdijk	1.351	1.197		1.158	1.002	
Kosten Afsluitdijk (excl. STA)	605	133		444	132	
Verwachte schade Afsluitdijk	17	0		27	0	
Extra kosten (excl. ?-posten):						
- ESA	333	333		333	333	
- Renovatie Spui Kornwerderzand (STA)		111			111	
- Renovatie schutsluizen (STA)		89			89	
- Overslagbestendige dijk (STA)		300			300	
- Extra onderhoud spui- en schutsluizen	28			28		
Totaal	4.146	3.970	176	3.319	3.229	90
Toelichting:						
- ?-posten betreffen het effect op het landschap en monumenten (zie Grevers en Zwaneveld, 2011, p.13) . Het effect op het landschap als gevolg van het wel of niet uitvoeren van STA zal beperkt zijn.						
- de Netto Contante waarde (NCW) wordt berekend over de periode 2020-2300.						
- Investeringsbedragen van een ingreep worden in het jaar van oplevering geboekt waarbij de kosten met 11% worden verhoogd om 'bouwrente mee te nemen'. Dit conform de aanpak in het Dique-Opt model en de MKBA WV21. De kosten voor de aanleg en het gebruik van de pompen zijn niet weergegeven. Ook de kosten voor de spui/pomp bij Den Oever zijn niet weergegeven net als enkele niet gemonetariseerde bedragen (zie paragraaf 3.4). Deze niet weergegeven effecten zijn naar verwachting klein in de keuze tussen wel of geen STA .						
- De "Kosten Afsluitdijk (exclusief STA)" betreffen de kosten van het verhogen van deze dijk. In het scenario 'Geen STA' gaat het primair om het direct verhogen/versterken van de Afsluitdijk. Bij het scenario 'Wel STA' gaat het om latere versterking (rond 2050 beperkt en vervolgens veel later uitgebreider).						

²⁹ Hierbij worden sommige posten niet genoemd omdat die identiek zijn voor zowel 'Geen STA' als 'Wel STA'. Bij variant pompen betreft dit de kosten voor renovatie/nieuwbouw van de pomp/spui bij Den Oever en de kosten van de extra pompen opdat een capaciteit van 2.000 m³/s wordt bereikt (incl. energiekosten). Bij de variant meestijgen/spuien betreft dit de kosten voor renovatie/nieuwbouw van spui bij Den Oever.

Tabel 4.2 geeft de resultaten weer voor de variant 'meestijgen/spuien' en zowel het W+- als het pseudo G-klimaatsscenario.

De conclusie is wederom dat het uitvoeren van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk welvaartsverhogend is. Het (positieve) MKBA-saldo is nu wel iets kleiner (tussen de 90 en 180 mln euro) dan bij 'pompen'. Dit saldo bedraagt 3 à 4 procent van het totaal. Gezien de onzekerheden rond de verwachte schadebedragen en investeringsbedragen, is dit waarschijnlijk geen (statistisch) significant verschil. Opvallend is dat onder 'meestijgen/spuien' de Afsluitdijk niet direct wordt opgehoogd. Dat gebeurt in het W+-scenario in 2026 naar veiligheid 1:36.000 per jaar. In het pseudo G-scenario gebeurt dat (afgedwongen door einde technische levensduur in 2030) in 2031 naar een veiligheid van 1:11.000 per jaar.

Als de keuze is tussen wel of geen STA dan lijkt het resultaat helder: STA is in alle onderzochte gevallen welvaartsverhogend, al is het (procentuele) verschil niet groot. We zijn ervan uitgegaan dat de spuisluis in Den Oever altijd in 2020 moet worden versterkt. Ook veronderstellen wij dat alle onderdelen van de dijk (dijklichaam, schutsluizen en spui Kornwerderzand) een veiligheid (in 2012) hebben van 1:250 per jaar. Zoals eerder gemeld, is dit gebaseerd op mondelinge informatie van het ministerie van I&M. Mochten bepaalde onderdelen van de Afsluitdijk veiliger blijken dan de veronderstelde 1:250 per jaar, dan kan niet worden uitgesloten dat er welvaartsverhogende (lees: betere) opties te bedenken zijn dan het (volledig) uitvoeren van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk. Op dit moment is er geen aanleiding hierop vooruit te lopen.

Vanwege bovenstaande MKBA-resultaten én het feit dat het kabinet reeds heeft besloten de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk uit te voeren, wordt in het vervolg van deze studie uitgegaan van realisatie van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk met een bijbehorend veiligheidsniveau van 1:100.000 per jaar in 2020.

Op basis van de berekeningen in deze studie en de (vele) gevoeligheidsanalyses in de KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011) kan worden geconcludeerd, dat de overslagbestendige dijk en het renoveren van de schutsluizen 'welvaartsoptimaal' zijn. Of het renoveren van de spuisluisen bij Kornwerderzand en Den Oever ook welvaartsoptimaal is, kan niet met zekerheid worden vastgesteld. Dit hangt mede af van welke pompcapaciteit optimaal is. Zie paragraaf 6.4 voor een verdere bespreking van dit punt.

Omdat we uitgaan van een veiligheid van de Afsluitdijk van 1:100.000 per jaar in 2020, is het de vraag hoe relevant de kans dan nog is dat een dijkringdeel aan het IJsselmeer faalt door het falen van de Afsluitdijk en/of Houtribdijk. Onderstaande tabel geeft het antwoord op deze vraag.

Tabel 4.3 Tabel met P1-overstromingskans als percentage van totale overstromingskans bij optimaal investeringspatroon van variant 'pompen' in een aantal steekjaren

Dijkringdelen:	2020	2050	2100
IJsselmeer			
Zuid-West Friesland	67	48	8
Noordoostpolder	63	56	39
Flevoland-Noordoost	67	57	32
West-Friesland (NH)	72	47	15
Wieringen IJsselmeer	96	74	3
IJssel- en Vechtdelta			
IJsseldelta	84	84	75
Mastenbroek	89	89	84
Vollenhove	93	88	86
Salland	90	84	67
Oost Veluwe	100	100	100
Markermeer			
Flevoland-Zuidwest	99	99	98
West-Friesland (NH)	100	96	7
Noord-Holland-Waterland	75	27	0
Marken	4	0	0
Gooi en Vechtstreek	99	99	99
Eempolder	99	99	80
Gelderse Vallei-Meren	100	100	100
B-keringen			
Afsluitdijk	100	100	100
Houtribdijk	40	27	7

Nadere uitleg: economisch optimale timing en mate van verhoging bij W+-scenario. De P1 betreft de overstromingskans van een dijkkring onder de veronderstelling van een oneindig sterke Afsluitdijk (en Houtribdijk). De totale overstromingskans van een dijkkringdeel wordt bepaald door additionele faalkansen door het al dan niet falen van de Afsluitdijk en/of Houtribdijk. Deze extra faalkansen worden P2 t/m P7 genoemd. Zie paragraaf 2.2.

Uit de tabel blijkt dat de P1-overstromingskans niet zomaar gelijk te stellen is aan de totale overstromingskans. De P1-overstromingskans is de kans dat een dijkkringdeel faalt onder de veronderstelling dat de Afsluitdijk (en de Houtribdijk) oneindig sterk zijn. Deze kans heeft een directe relatie met de hoogte/sterke van het betreffende dijkkringdeel en wordt in de praktijk gebruikt om de sterkte/faalkans van een dijk te typeren. Het verschil tussen de P1-overstromingskans en de totale overstromingskans geeft de kans aan dat een dijkkringdeel overstroomt als gevolg van het falen van de Houtribdijk en/of de Afsluitdijk. Het aandeel van de overige kanscomponenten (som P2 t/m P3 rond het IJsselmeer en IJssel- en Vechtdelta en som P2 t/m P7 rond het Markermeer) neemt voor een flink aantal dijkkringdelen in de tijd toe, vooral bij waterpeil gedomineerde locaties.

Bijvoorbeeld voor dijkkringdeel Zuidwest Friesland wordt in 2020 33% (=100-67) van de totale overstromingskans van dit dijkkringdeel veroorzaakt door het falen van de Afsluitdijk. Kortom: een substantieel deel van de totale overstromingskans. De P1-overstromingskans krijgt in de loop der tijd een kleiner aandeel in de totale overstromingskans van dit dijkkringdeel. Dit komt doordat de overstromingskans van de Afsluitdijk in het jaar 2020 1:100.000 bedraagt terwijl deze rond het jaar 2100 in het W+-scenario rond de 1:10.000 ligt. Zo is voor dijkkringdeel Zuidwest Friesland in het jaar 2100 het falen van de Afsluitdijk maar liefst goed voor 92% (=100-8) van de totale overstromingskans.

Onder het in bovenstaande tabel (tabel 4.3) weergegeven scenario wordt de Afsluitdijk niet versterkt voor 2100 en de Houtribdijk pas in 2096 (vanwege het veronderstelde einde technische levensduur).

Relatie ‘snelle’ kosten-effectiviteitanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied (KEA DPIJ) uit sept. 2012 en deze studie

In september 2012 heeft het CPB (Bos en Zwaneveld, 2012) een studie gepubliceerd naar de kosten en veiligheidsbaten van wel of niet meestijgen met de zeespiegel en extra zoetwaterbuffer in het IJsselmeergebied. In die studie is net als in deze studie het Dique-Opt model gebruikt om de economisch (of anderszins) optimale mate van dijkverhogingen en restrisico te bepalen voor het gehele IJsselmeergebied. Het Dique-Opt model is ten behoeve van beide studies ontwikkeld. Waar in de voorliggende studie de nadruk ligt op welke *veiligheid* economisch gezien nagestreefd moet worden, lag in de KEA DPIJ de nadruk op welke *kosten en baten* gemoeid zijn met het bereiken van deze veiligheid in de varianten ‘Pompen’ (L.1 genaamd in de KEA DPIJ) en ‘Meestijgen/spuien’ (L.4 in KEA DPIJ).

De twee belangrijkste conclusies uit de KEA DPIJ zijn:

- Ondanks zeespiegelstijging hoeft het waterpeil in het IJsselmeergebied niet omhoog. De variant ‘Meestijgen/spuien’ is in netto contante waarde zo’n 1,2 miljard (mld) euro (+60%!) duurder dan de variant ‘Pompen’ tot het jaar 2100.
- Een snelle vergroting van de zoetwaterbuffer van 200% is mogelijk tegen beperkte kosten bij zowel ‘Pompen’ als ‘Meestijgen/spuien’. Sinds het ontstaan van het IJsselmeer is er geen sprake geweest van een gebrek aan zoetwater in het IJsselmeergebied; dit geldt ook voor het extreem droge jaar 1976. Een verdrievoudiging van de zoetwaterbuffer is mogelijk door een eenmalige investering van 25 miljoen euro.

De voorliggende studie heeft een relatie met de eerste conclusie. Niet met de tweede. We lichten de overeenkomsten en verschillen toe op basis van de MKBA -overzichttabel uit de KEA DPIJ (Tabel 4.5a, p. 76 uit Bos et al, 2012):

Tabel 4.4 MKBA: Verschil ‘pompen (L.1)’ en ‘meestijgen/spuien (L.4)’ uit KEA DPIJ

	Pompen (L1)	Meestijgen/spuien (L4)
Contante waarde, discontovoet 5,5% periode 2020-2100, miljoen euro		
Investerings veiligheid	1.094	1.882
Restrisico / verwachte schade a-keringen en Houtribdijk	971	1.256
Overig: natuurcompensatie, vermijden wateroverlast e.d.	4	132
Totaal	2.069	3.270
Verskil t.o.v. ‘Pompen’		1.201
Bij W+-scenario en realisatie Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA, 1:100.000 per jaar in 2020).		

De post ‘Investerings veiligheid’ bestaat voor een groot deel uit de kosten voor het verhogen van de a-keringen (en de Houtribdijk). Dit betrof 584 miljoen (mln) euro van de 1.094 mln euro bij ‘pompen’ en 1.650 mln euro van de 1.882 mln bij ‘meestijgen/spuien’. In de KEA DPIJ keken we naar de periode 2020-2100 (zie Tabel 4.2d, p. 60, Bos et al., 2012).

Relatie 'snelle' kosten-effectiviteitanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied (KEA DPIJ) uit sept. 2012 en deze studie (vervolg)

In deze studie kijken we naar de periode 2020-2300 en zijn ook enkele inputgegevens van het Dique-Opt model aangepast op basis van recentere inzichten. Het is een interessante vraag hoe de cijfers uit de KEA DPIJ zich verhouden tot de cijfers in de voorliggende studie.

In deze studie komen we tot de totale kosten voor a-keringen (en Houtribdijk) voor 'pompen' bij het W+-scenario en realisatie van STA van 770 mln euro voor de periode 2020-2300 (zie Tabel 4.1). Bij 'meestijden/spuien' bedragen deze kosten 1.807 mln euro (Tabel 4.2). Kortom: het grote verschil in investeringskosten blijft gehandhaafd. Op basis van de huidige inzichten bedraagt die 1.037 mln euro (= 1.807 - 770). Vrijwel even groot als het verschil van 1.066 mln euro (=1.650 - 584) uit de KEA DPIJ.

Ook nieuwe waarden voor de post 'Restrisico / verwachte schade' kunnen worden gevonden in dit rapport. De verwachte schade bij 'pompen' (zie tabel 4.1) in de periode 2020-2300 is 1.064 mln euro (tegenover 971 mln in bovenstaande tabel). Bij 'meestijden/spuien' (zie tabel 4.2) is die 1.197 mln euro (1.256 mln in bovenstaande tabel). Kortom: ook hier blijft er een voordeel ten gunste van 'Pompen'. Het verschil is wel verkleind van 285 mln euro (=1.256 - 971) naar 133 mln euro (=1.197 - 1.064).

De overige effecten (natuurcompensatie, vermijden wateroverlast e.d.) en de nog niet besproken andere kosten voor 'Investerings veiligheid' zijn niet opnieuw bepaald. De inschattingen daarvoor uit september 2012 zijn volgens onze informatie nog steeds 'state-of-the-art'.

Als we op basis van bovenstaande cijfers opnieuw het verschil tussen pompen en spuien berekenen, dan komen we uit op een verschil van zo'n 1.0 mld euro. Iets kleiner dan het oorspronkelijke verschil van 1,2 mld euro, maar nog steeds een groot verschil.

4.5 Varianten

In totaal zijn er rond de vijftig varianten doorgerekend. Elke variant is voor alle zeventien dijkringen en de twee b-keringen berekend. Varianten verschillen op basis van:

- Pompen dan wel meestijden/spuien
- Alle dijken (*i*) economisch optimale normen of (*ii*) alle a-keringen en de Houtribdijk minimaal gelijk aan huidige wettelijke normen dan wel (*iii*) Afsluitdijk minimaal gelijk aan huidige wettelijke norm.
- Klimaatscenario W+ (+85 cm zeespiegelstijging 1990-2100) en pseudo G (+35 cm).
- Discontovoet van 4%, 5,5% of 7%. per jaar Daarnaast is de in de UK gehanteerde discontovoet doorgerekend (3,5% dalend in de tijd naar 2,5%)
- WLO-scenario (CPB et al., 2006): Regional Communities (RC), Transatlantic Market (TM) en Global Economy (GE).
- Reparatietijd van Afsluitdijk en Houtribdijk 6 maanden (=verwacht), 3 maanden of 0 maanden.
- Het wel of niet afdwingen van een dijkversterking (incl. kunstwerken) vanwege einde technische levensduur (75 jaar).
- Amsterdam (in dijkkring 14) loopt wel of geen gevaar voor overstromen vanuit het Markermeer.

- Kostenraming 'piping-berm': zowel de standaard 'gemiddelde' kosten als lage 'minimale' kosten.

Tot slot zijn er meerdere varianten doorgerekend op basis van wel of geen realisatie van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk. Zie hiervoor paragraaf 4.4.

In een aparte Excel-sheet zijn de resultaten van alle doorgerekende varianten weergegeven. Deze is opvraagbaar bij de auteurs.

4.6 Basisvarianten

Er worden vier 'basisvarianten' gehanteerd:

- Pompen of meestijgen/spuien,
- W+-scenario of pseudo G-scenario

Daarbij wordt - tenzij anders aangegeven - uitgegaan van een maximale technische levensduur van 75 jaar (waarna het dijkkringdeel verplicht minimaal moet worden versterkt), 5,5% discontovoet, TM-scenario, geen gevaar voor de stad Amsterdam voor overstroming vanuit het Markermeer, reparatietijd van Afsluitdijk en Houtribdijk van 6 maanden, en realisatie van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1:100.000 in 2020). Ook hebben de getallen betrekking op de 15-jaarkans-definitie voor de overstromingskans van een dijkkringdeel als geheel.

In Hoofdstuk 5 wordt via gevoeligheidsanalyses ingegaan op de effecten van andere veronderstellingen dan gehanteerd in de basisvarianten.

Bij de interpretatie van de resultaten moet goed worden bedacht dat door de realisatie van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en door de realisatie van pompen, in veel varianten de veiligheid van het gebied direct zeer fors wordt verbeterd. Hierdoor wordt het in veel gevallen economisch NIET rendabel om de dijken verder te verhogen/versterken de komende decennia.

Dijken worden soms afgedwongen verhoogd na 75 jaar, omdat verondersteld wordt dat ze dan technisch versleten zijn. De gerapporteerde toetskansen hebben in dat geval dus betrekking op afgedwongen verhogingen en impliceren daarom zeer kleine overstromingskansen. De oorzaak is dan dus primair gelegen in het *technische* argument dat de dijk moet worden verhoogd en niet of amper in het *economische* argument van het afwegen van investeringskosten versus verwachte schade. Wel zal in een aantal gevallen blijken dat het economisch optimaal is om de dijk dan extra te versterken gegeven het feit *dat* de dijk toch moet worden opgehoogd (lees: minimaal de vaste kosten moeten worden gemaakt).

Omdat de gerapporteerde toetskansen zijn bedoeld om in de praktijk een min of meer welvaartsoptimaal investeringspatroon te realiseren, lijkt het ons verstandig goed rekenschap te geven van deze optimale investeringspatronen. Vooral indien wordt besloten een bepaalde ingreep te plegen aan deze dijkringdelen. Daarom worden allereerst deze patronen in grafiekvorm weergegeven voor de pomp-varianten. De keuze om de pomp-varianten centraal te stellen is genomen in overleg met de ambtelijke begeleidingsgroep. Deze keuze sluit ook goed aan bij de conclusies van een recent CPB-onderzoek naar de kosten en baten van pompen en spuien van IJsselmeerwater naar de Waddenzee (Bos en Zwaneveld, 2012). Ook het Deltaprogramma 2013 (p.13) lijkt te kiezen voor het beheersen van het IJsselmeergebied door middel van pompen: *'Inmiddels is het duidelijk geworden dat pompen op termijn noodzakelijk zijn om het overtollige water af te voeren, vanwege de grote negatieve effecten en hogere kosten van het meestijden met de zee.'*

4.6.1 Pompen

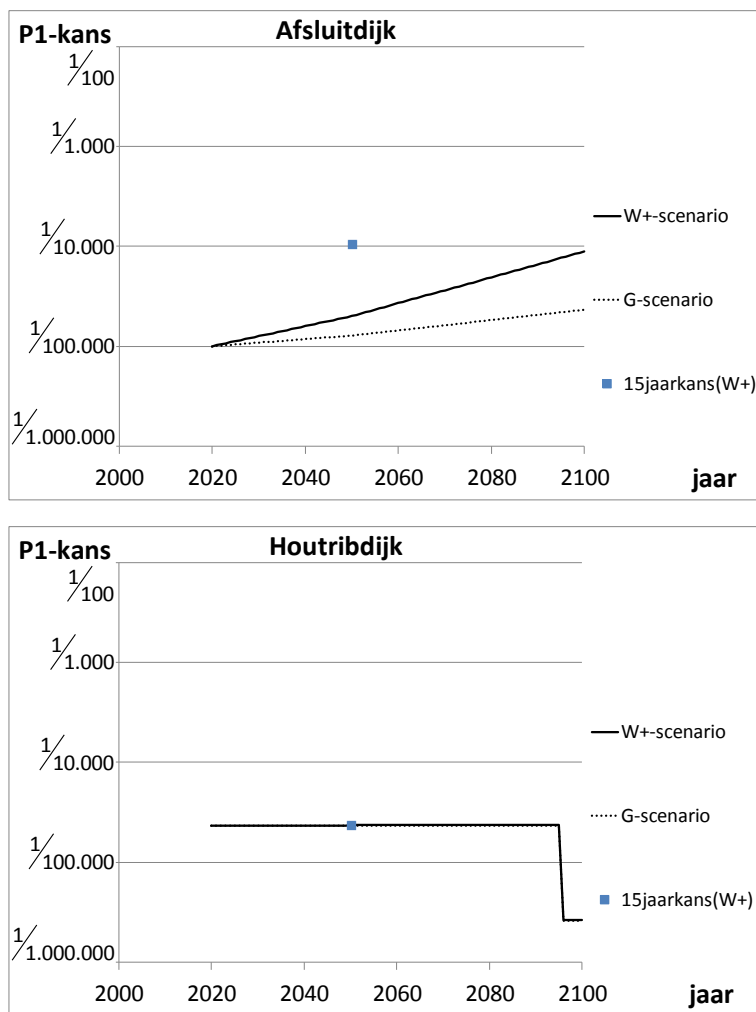
Onderstaand worden de negentien grafieken weergegeven van de Afsluitdijk, de Houtribdijk en alle a-keringen rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer. Alle overstromingskansen voor a-keringen (en de Houtribdijk) hebben betrekking op de P1-kansdefinitie (dus overstromingskans gegeven een oneindig sterk veronderstelde Afsluitdijk en/of Houtribdijk) en het W+-scenario. De 15-jaarkansen worden ook in de grafieken weergegeven.

Het model maakt de afweging tussen enerzijds de *kosten* van een extra verhoging en anderzijds de daling in verwachte schade (= *overstromingskans* × *schade*). Deze afweging kan inzichtelijk worden gemaakt en hangt af van de drie *italic* weergegeven grootheden: kosten, overstromingskansen en schade. Bij een zeer kleine overstromingskans zijn blijkbaar de kosten om deze veiligheid te bereiken kleiner dan de baten van de vermeden schade en vice versa. Omdat het qua tijdsinspanning en omvang van deze notitie ondoenlijk is om alle dijkringdelen zo te bespreken, beperken we ons tot enkele grafieken.

Ook de middenkansen op basis van het W+-scenario worden in de grafieken voor de a-keringen weergegeven. Zoals verwacht mag worden, ligt de middenkans redelijk rond de 15-jaarkans. Bij de onderstaand weergegeven 17 dijkringdelen blijkt de middenkans vijf keer min of meer gelijk, zes keer groter en zes keer kleiner te zijn dan de 15-jaarkans.

Afsluitdijk en Houtribdijk

Figuur 4.1 Overstromingskans op basis van optimale investeringspatronen voor de Afsluitdijk en Houtribdijk bij 'pompen'



Uitleg: De Afsluitdijk heeft in 2010/2015 een overstromingskans van 1/250. Door realisatie van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) wordt die kans 1:100.000 in 2020. De Houtribdijk heeft in 2015 een veronderstelde overstromingskans van 1:10.000. Door aanleg van de pompen in de Afsluitdijk wordt die kans in 2020 beduidend kleiner, zo'n 1:40.000.

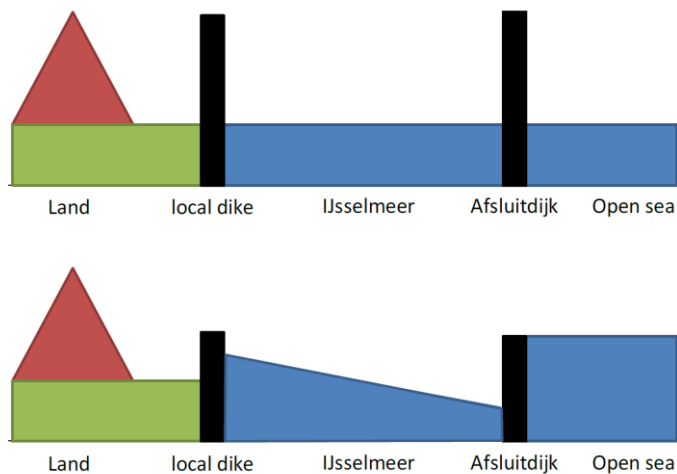
Uit de grafieken kan worden opgemaakt dat beide dijken een zodanige veiligheid hebben, dat vanuit economisch oogpunt geen van beide moeten worden versterkt. Wel moeten in 2050 de (gerenoveerde) kunstwerken in de Afsluitdijk nieuw worden gebouwd (vanwege einde technische levensduur). Het blijkt economisch optimaal te zijn om alleen die kunstwerken te vernieuwen en de dijk als geheel niet veiliger te maken. De eerste versterking bij beide dijken komt vanwege het veronderstelde einde technische levensduur voor de Houtribdijk (in 2095) en voor de Afsluitdijk (in 2125). Mocht blijken dat rond die tijd de dijken toch niet 'versleten' zijn, dan is het waarschijnlijk economisch optimaal om die dijken NIET te versterken.

Tevens valt op dat de P1-overstromingskans van de Houtribdijk min of meer constant blijft in de tijd, ondanks de veronderstelde klimaatverandering. Dit kan worden verklaard door de

grote pompcapaciteit (2.000 m³/s), die dus groot genoeg is om de extra pieken in rivieraanvoer op te vangen. Tevens kan uit de grafiek worden afgelezen dat bodemdaling bij de Houtribdijk (verondersteld) niet aanwezig is. Tot slot valt uit de grafiek op te maken dat een toetskans (de 15-jaarkans is hier weergegeven) niet 'blind' moet worden toegepast. Immers, de veiligheid op het moment dat de dijk moet worden versterkt, is vrijwel identiek aan de veiligheid in 2020. De conclusie hieraan verbinden dat de dijk al in 2020 moet worden versterkt, zou zeer welvaartsverlagend zijn.

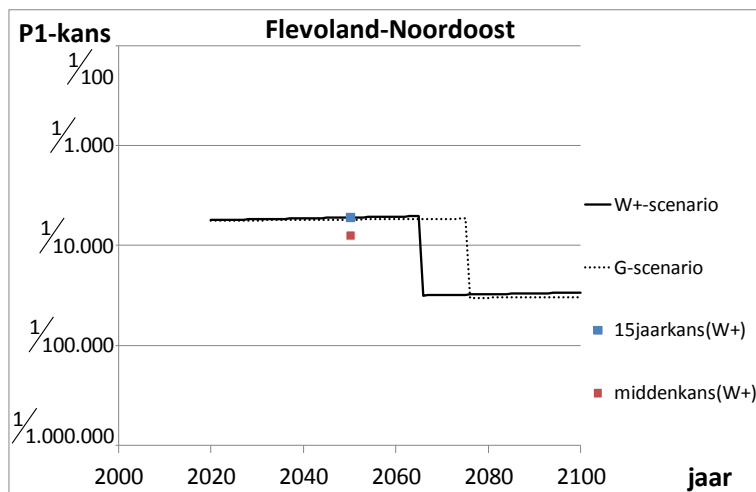
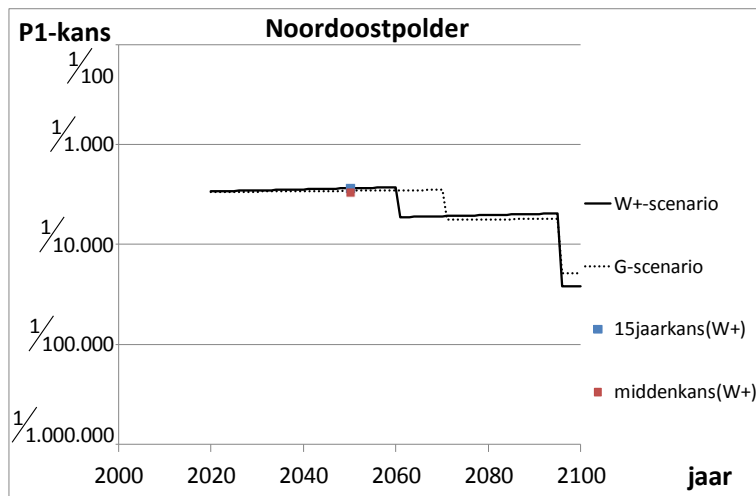
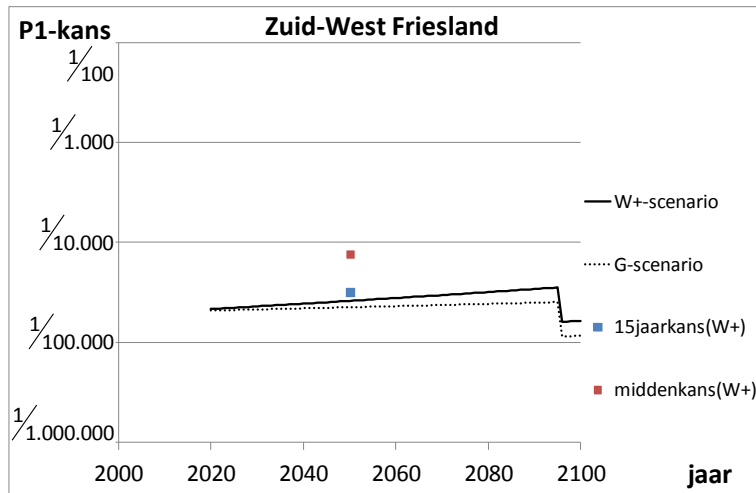
Uit het feit dat beide dijken niet hoeven te worden verhoogd, mag niet de conclusie worden afgeleid dat de dijken niet nuttig zijn. De aanwezigheid van beide dijken zorgt onder andere voor het beperken van de 'scheefstand' van het IJsselmeer (door de Afsluitdijk) en het Markermeer (door de Houtribdijk) bij een storm. Zie onderstaande figuur. Deze 'hydraulische' baten van beide dijken blijven overigens voor een groot deel ook van toepassing indien een 'bres' in deze dijken komt.

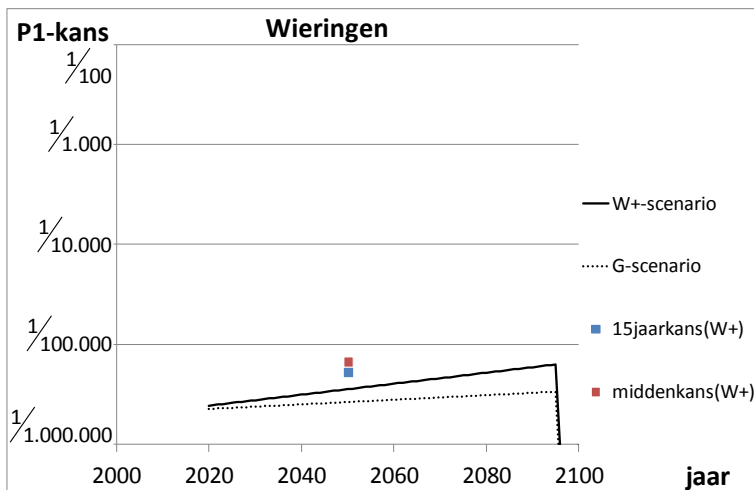
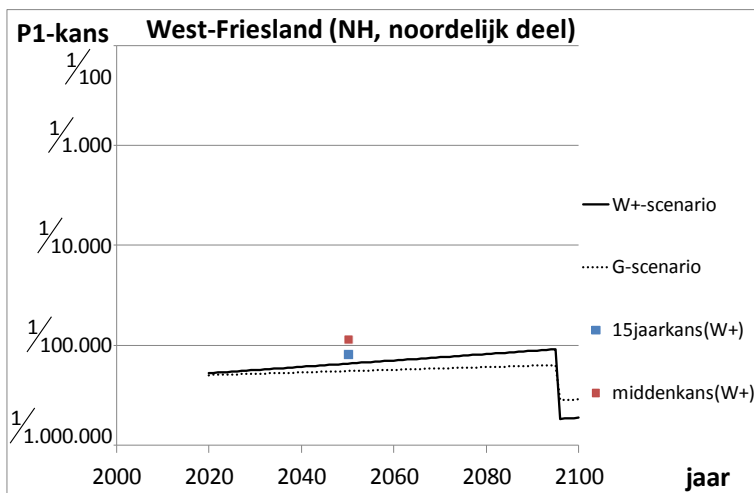
Figuur 4.2 Hoe werkt de Afsluitdijk? Windstil (boven) versus storm (onder)



IJsselmeer

Figuur 4.3 Overstromingskans op basis van optimale investeringspatronen rond het IJsselmeer bij 'pompen'



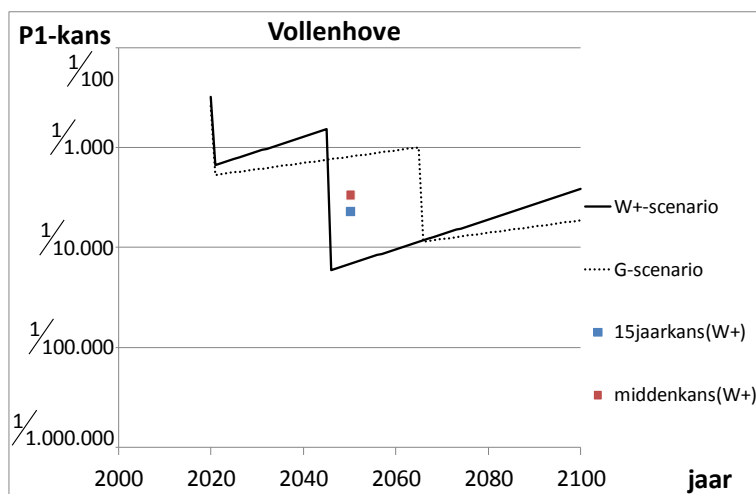
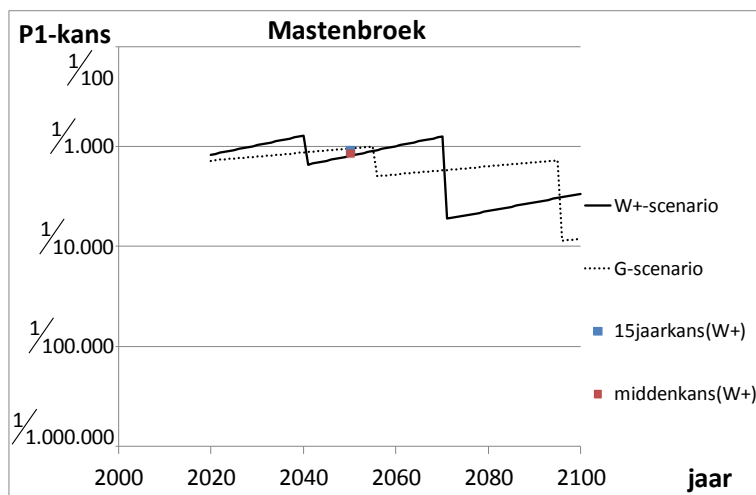
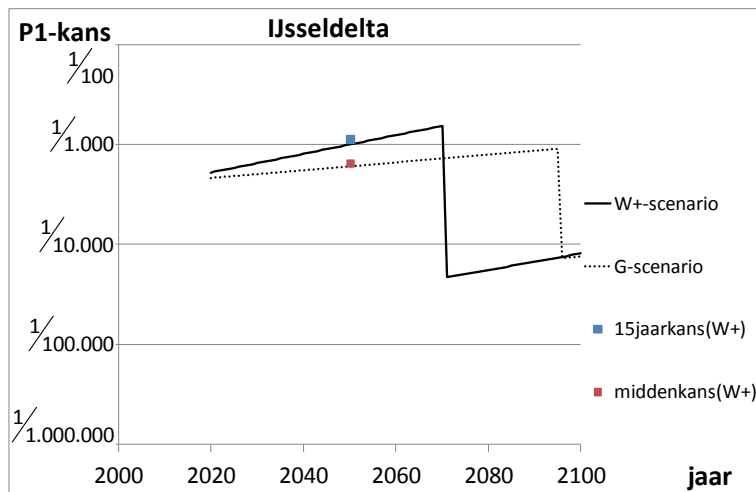


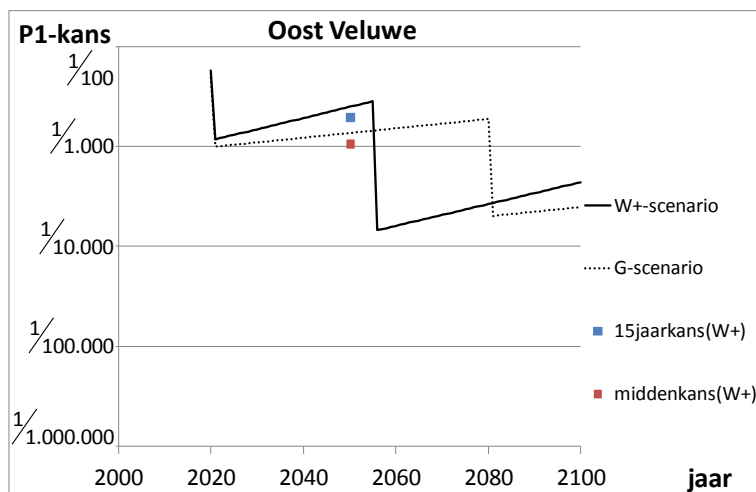
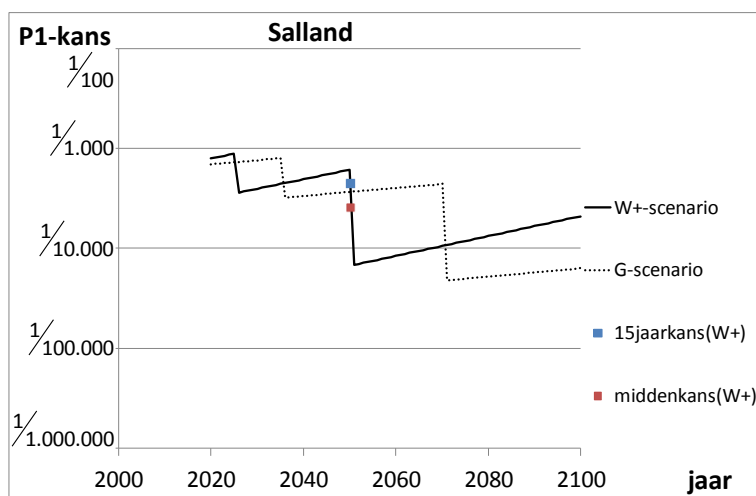
Uit de bovenstaande figuur kan worden opgemaakt dat voor drie van de vijf dijkwingdelen (Zuid-West Friesland, West-Friesland NH en Wieringen) de versterking pas plaatsvindt aan het eind van deze eeuw, wanneer de (veronderstelde) technische levensduur is bereikt. Mocht dan blijken dat de dijkwingdelen technisch nog niet zijn versleten, dan is het waarschijnlijk economisch optimaal de dijken niet te versterken.

De dijkwingdelen Noordoostpolder en Flevoland-Noordoost worden wel regulier versterkt voor het jaar 2100, namelijk twee- respectievelijk eenmaal. De sprong in overstromingskans bij de eerste dijkversterking van de Noordoostpolder komt mede doordat een 'pipingberm' (of soortgelijke maatregel) wordt aangelegd waardoor de overstromingskans met 50% wordt gereduceerd. Bij Wieringen is het pas economisch optimaal deze 'berm' (eveneens 50% reductie van kans) aan te leggen als de technische levensduur is verstreken en een dijkversterking wordt 'afgedwongen'.

IJssel- en Vechtdelta

Figuur 4.4 Overstromingskans op basis van Optimale investeringspatronen rond de IJssel- en Vechtdelta bij 'pompen'





De optimale investeringspatronen rond de IJssel- en Vechtdelta worden in alle gevallen mede bepaald door de mogelijkheid een ‘piping-berm’ aan te leggen en daarmee de overstromingskans aanzienlijk te reduceren. Soms blijkt het optimaal te zijn deze berm direct (in 2021) aan te leggen, zoals bij Vollenhove en Oost-Veluwe waar deze berm de totale overstromingskans reduceert met 80%. Bij Mastenbroek blijkt het optimaal te zijn deze berm pas aan te leggen in 2040 (W+-scenario) of 2060 (G-scenario).

Uit bovenstaande grafieken blijkt ook duidelijk dat het bepalen van een toetsnorm op basis van de eerste ophoging na 2050 in de praktijk tot problemen kan leiden. Het gaat goed bij Oost-Veluwe omdat daar de eerste ophoging na 2050 al in 2056 plaatsvindt. De weergegeven toetskansen (15-jaar en midden) zijn dan ook op deze versterking gebaseerd. In de grafiek kan worden afgelezen dat nadat in 2021 de ‘piping-berm’ aangelegd is, de 15-jaarkans op tijd (dus in 2041) de dijkkringdeel afkeurt.

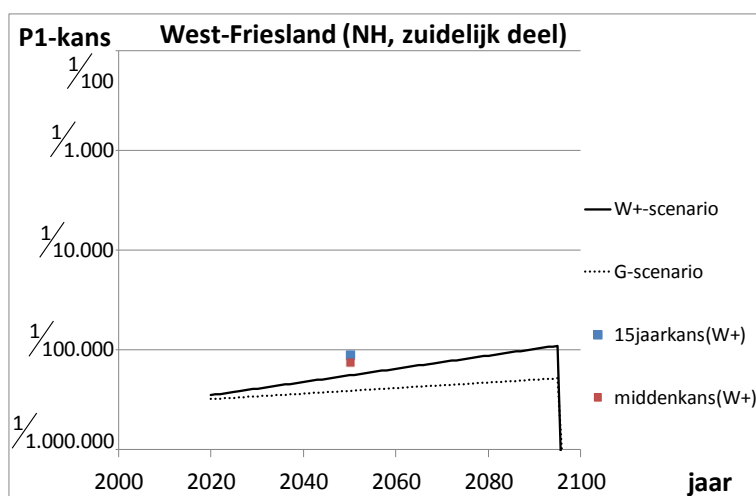
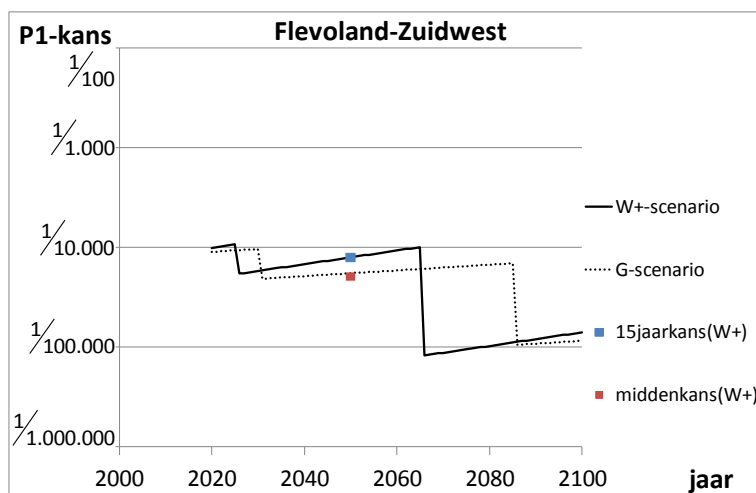
Bij dijkkringdeel Vollenhove pakt de keuze voor ‘het jaar 2050’ ongelukkig uit, omdat net daarvoor (in 2046) al een verhoging plaatsvindt. De toetskansen worden dan gebaseerd op

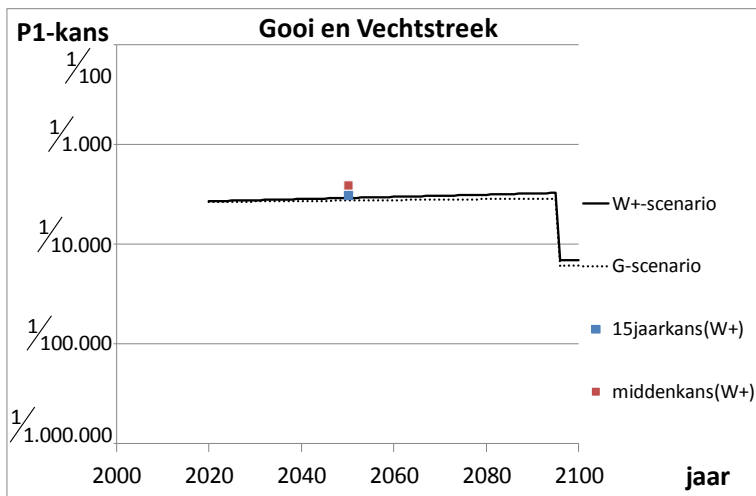
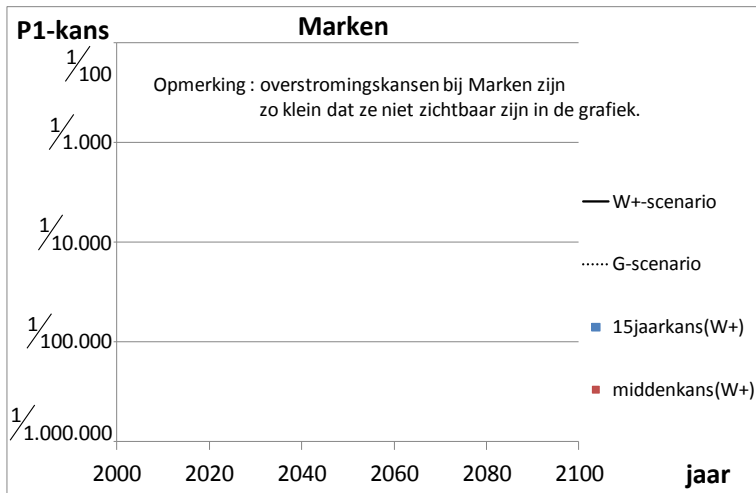
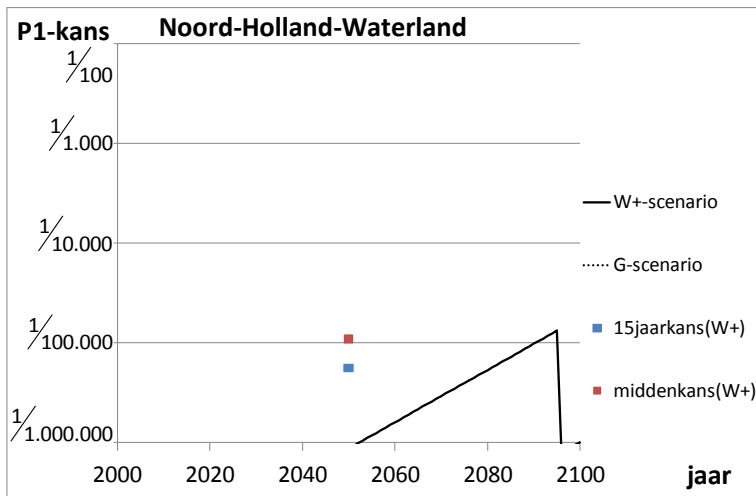
een dijkversterking aan het begin van de 22ste eeuw. De vraag is of dit besef ook in het gebruik van deze kans voor Vollenhove beklijft. Het lijkt logischer de toetskansen voor deze dijkkring te baseren op de verhoging in 2046. Dan wordt de toetskans 1:1.000.

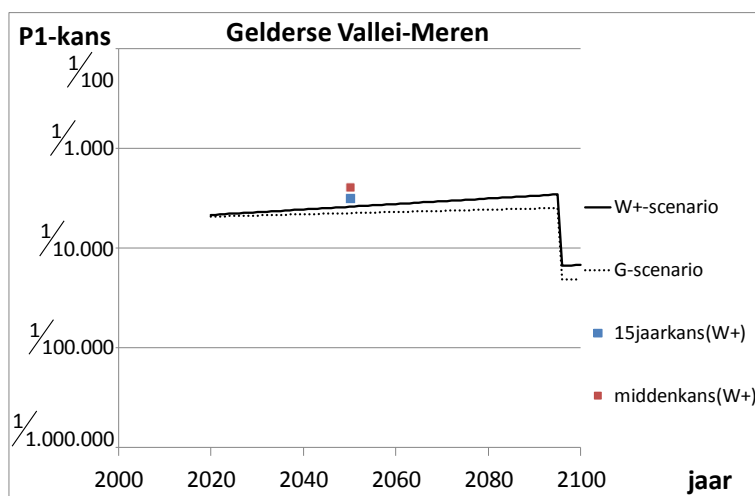
De grafiek laat ook zien dat volgens de middenkans dijkkringdeel Oost Veluwe al in 2022 wordt 'afgekeurd' zowel in het W+-scenario als het G-scenario. Het dan al (in gang zetten van het) versterken van dit dijkkringdeel zou aanmerkelijk welvaartsverlagend zijn omdat de *welvaartsoptimale* versterking pas 15 (W+-scenario) tot 45 (G-scenario) jaar later dient plaats te vinden.

Markermeer

Figuur 4.5 Overstromingskans op basis van optimale investeringspatronen rond het Markermeer bij 'pompen'







Marken en Noord-Holland Waterland

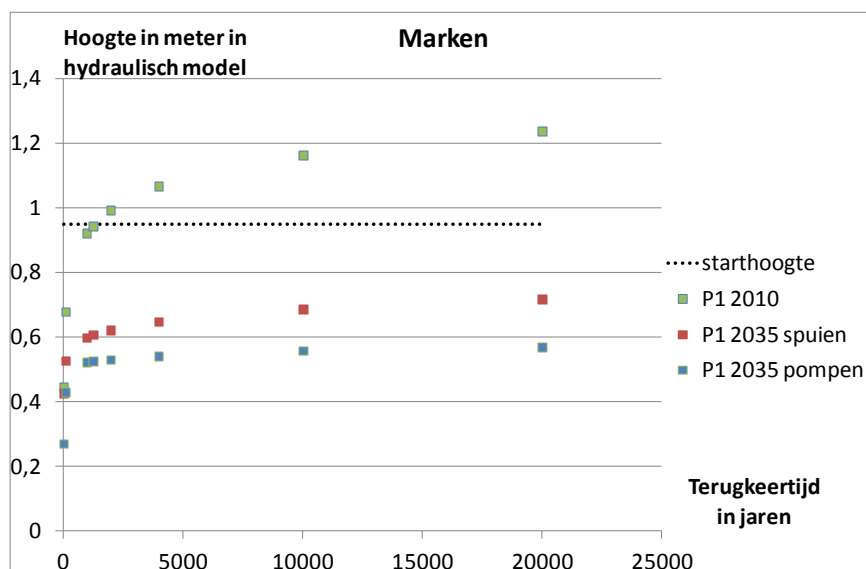
Vanwege de opmerkelijk kleine optimale overstromingskansen voor de dijkkringdelen Marken en Noord-Holland-Waterland worden die onderstaand nader verklaard.

De veiligheid van de dijkringen Marken en Noord-Holland-Waterland wordt vooral bepaald door de hoogte van en fluctuaties in het waterpeil van het Markermeer. De veronderstelde aanleg van een pomp in 2020 op de Houtribdijk (ter vervanging van de huidige spuisluizen) zorgt voor een forse verbetering van het waterpeilbeheer. Hierdoor worden de overstromingskansen van Marken en Noord-Holland-Waterland in de eerste decennia na 2020 zeer klein.

Deze conclusie wordt toegelicht voor Marken in onderstaande - helaas wat ingewikkelde - figuur. De figuur geeft hydraulische basisdata voor Marken, zoals bepaald door Deltares (Kramer en Beckers, 2012) en aangeleverd aan het CPB. De wettelijke overschrijdingskansen voor Marken van 1:1.250 correspondeert met een dijkhoogte (in het hydraulische model) van 95 cm³⁰, zoals weergegeven door de zwarte stippellijn. Zoals eerder toegelicht gaan we ervan uit dat alle dijkkringdelen in 2015 exact voldoen aan de huidige wettelijke normen. De hydraulische data voor 2035 laten t.o.v. 2010 een grote toename van de veiligheid zien, die bovendien minder afhankelijk van de dijkhoogte wordt. De P1-overstromingskans wordt voor een 95 cm hoge dijk in 2035 op basis van de weergegeven datapunten geschat op 1:4.10⁸ bij variant 'pompen'.

³⁰ De dijkhoogte van 95 cm heeft betrekking op de dijkhoogte in het Hydra-model, niet op de werkelijke hoogte.

Figuur 4.6 Verband tussen dijkhoogte en de P1-terugkeertijd (= 1/kans) voor Marken in 2010 en in 2035 bij 'pompen' en 'meestijgen/spuien' op basis van hydraulische basisdata

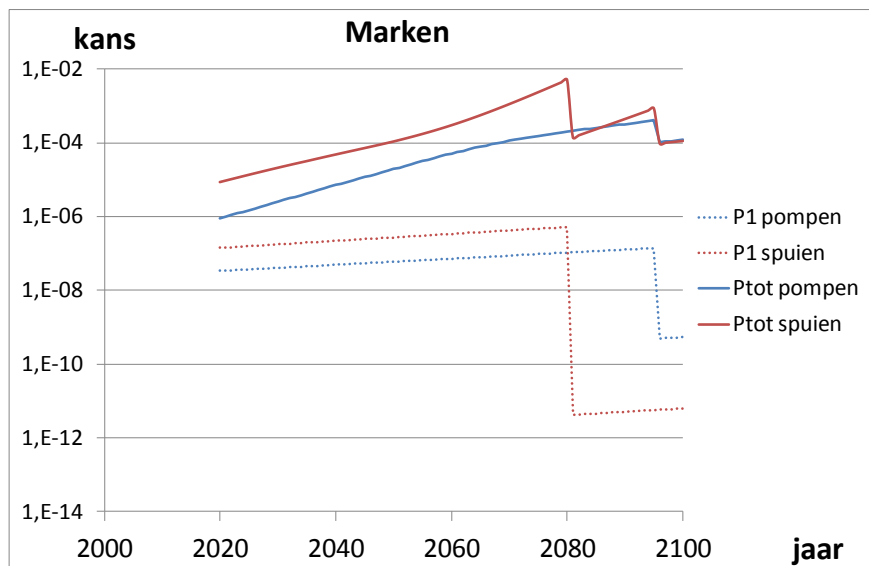


Bron: Hydraulische basisdata van Deltares (Kramer en Beckers, 2012).

Een overstroming van Marken is bij een goed functionerende Houtribdijk zeer onwaarschijnlijk. Echter, bij een doorbraak van de Houtribdijk en de Afsluitdijk kan het peil van het Markermeer fors stijgen, waardoor de totale overstromingskans in 2035 bij 'pompen' stijgt tot $4 \cdot 10^{-6}$. Deze totale overstromingskans is nog steeds zeer klein en zal zelden tot een veiligheidsopgave voor het dijkkringdeel Marken leiden.

In onderstaande figuur is het optimale verloop van de P1-overstromingskans en de totale overstromingskans voor Marken weergegeven. Bij 'pompen' vindt pas in 2096 een dijkversterking plaats als gevolg van einde technische levensduur. Bij 'meestijgen/spuien' vindt al een versterking in 2081 plaats door het extra overstromingsrisico bij een doorbraak van de Houtribdijk *gegeven een verhoogd streefpeil voor het IJsselmeer*.

Figuur 4.7 Optimale overstromingskansen voor Marken bij 'pompen' en 'meestijgen/spuien'



Uitleg: Bij Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (1:100.000 per jaar in 2020) en W+-scenario. De P1 overstromingskansen (de gestippelde lijnen) zijn zeer klein. Uit de hydraulische berekeningen en de figuur volgt dat deze kans bij 'pompen' kleiner is dan bij 'meestijgen/spuien'. Dit verschil is overigens opmerkelijk en moet liggen aan het feit dat de aanwezige pomp op de Houtribdijk in de berekeningen minder vaak of minder snel is aangezet. De totale overstromingskans ($P_{tot} = P_1 \text{ t/m } P_7$) ligt boven de P1 -kansen.

Voor de dijkkring Noord-Holland-Waterland geldt een soortgelijke analyse als voor Marken.

Overzichtstabellen met toetskansen

Onderstaande tabel geeft de toetskansen (15-jaarkansen 2050) uit bovenstaande grafiek weer voor pompen en het W+- en G-klimaatscenario. Ter vergelijking worden de huidige wettelijke veiligheidsnormen, de veronderstelde overstromingskansen in 2015 en de toetskansen (middenkans 2050) zoals gerapporteerd in de MKBA WV21 weergegeven.

Hierbij is in kleur aangegeven of de toetskans wordt bepaald door het einde van de technische levensduur. In **rood** wordt aangegeven dat het dijkkringdeel wordt verhoogd op basis van eindige technische levensduur, maar dat de verhoging méér dan minimaal is. De cijfers in **blauw** betreffen een zo klein mogelijke of *minimale* ophoging (veelal zo'n 20 cm) als optimale uitkomst bij een afgedwongen verhoging als gevolg van het eind van de technische levensduur.

Tabel 4.5 Wettelijke norm, overstromingskans in 2015, WV21-toetskansen (2e ref) en toetskansen op basis van totale overstromingskansen (Ptot-kans) en P1-overstromingskansen (P1-kans) bij pompen en het W+- en G-scenario voor de dijkringdelen

Dijkringdelen	Wettelijke norm (a)	Overstromingskans in 2015	WV21-2 ^e ref.	W+-scenario		Pseudo G-scenario	
				Ptot-kans	P1-kans	Ptot-kans	P1-kans
IJsselmeer							
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/4.000	1/400	1/7.400	1/31.000	1/23.000	1/41.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/2.000	1/3.000	1/1.600	1/2.800	1/1.700	1/2.900
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/4.000	1/5.200	1/3.000	1/5.200	1/3.400	1/5.400
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/35.000	1/120.000	1/90.000	1/170.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.000	1/2.300	1/42.000	1/190.000	1/270.000	1/320.000
IJssel- en Vechtdelta							
IJsseldelta	1/2.000	1/1.000	1/1.400	1/700	1/900	1/1.000	1/1.200
Mastenbroek	1/2.000	1/1.000	1/1.600	1/1.000	1/1.100	1/1.000	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/250	1/1.700	1/3.700	1/4.200	1/1.100	1/1.200
Salland	1/1.250	1/500	1/2.900	1/2.000	1/2.200	1/2.300	1/2.600
Oost Veluwe	1/1.250	1/250	1/1.000	1/500	1/500	1/600	1/600
Markermeer							
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/2.000	1/9.200	1/12.000	1/12.000	1/16.000	1/16.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/51.000	1/110.000	1/210.000	1/210.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/10.000	1/2.500	1/12.000	1/180.000	1/840.000	1/2.200.000
Marken	1/1.250	1/500	1/400	1/4.800	1/9.300.000	1/130.000	1/21.000.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/500	1/700	1/3.100	1/3.200	1/3.500	1/3.500
Eempolder	1/1.250	1/500	1/1.100	1/1.900	1/2.000	1/2.700	1/2.700
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/500	1/200	1/3.100	1/3.200	1/4.100	1/4.100
B-keringen							
Afsluitdijk	1/10.000	1/100.000 in 2020		1/9.400	1/9.400	1/40.000	1/40.000
Houtribdijk	1/10.000	1/10.000		1/7.400	1/42.000	1/13.000	1/43.000

Uitleg: bij 5,5% discontovoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), technische levensduur van 75 jaar en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. **rood** = einde technische levensduur, maar meer dan minimale verhoging. **blauw** = einde technische levensduur met minimale verhoging.
(a) De wettelijke norm heeft - zoals in dit rapport verondersteld - betrekking op de overschrijdingskans. De echte overstromingskans (lees: de kans op het overstromen van het achterland) kan hiervan aanmerkelijk afwijken.

Uit de tabel kan uit de **rode** en **blauwe** cijfers worden opgemaakt, dat de meeste toetskansen (lees: dijkverhogingen na 2050) worden bepaald door einde van de technische levensduur. Indien dat niet het geval is (i.e. de zwarte cijfers), dan zijn de *getalswaarden* van de P1-kans redelijk vergelijkbaar met de *getalswaarden* van de WV21-toetskansen die op dezelfde kansdefinitie zijn gebaseerd. De toetskans voor Vollenhove bij het W+-klimaatscenario wordt, zoals eerder uitgelegd, verstoord door de keuze van het jaar 2050. De toetskans voor Vollenhove voor bijvoorbeeld het jaar 2045 bij het W+-scenario betreft 1:1.000 (zowel Ptot als P1-kansdefinities). Deze kans lijkt ons de meest logische keuze.

Zoals eerder gemeld: de toetskans geeft de na te streven maximale overstromingskans in 2050. Op welke wijze deze kans het beste bereikt kan worden, dient afgelezen te worden in de hierboven weergegeven grafieken.

Zoals in paragraaf 4.3 uitgelegd, is het bij het interpreteren van de uitkomsten van belang om te beseffen dat de overstromingskans van een dijkkringdeel niet een-op-een doorvertaalt naar de overstromingskans per locatie (lees: traject of vak) op dat dijkkringdeel. Indien elke locatie op een dijkkringdeel onder identieke omstandigheden faalt, dan kan de overstromingskans per locatie gelijk worden gesteld aan de overstromingskans per dijkkringdeel. Indien er bijvoorbeeld twee locaties zijn per dijkkringdeel die elk falen onder compleet verschillende omstandigheden, dan dient elke locatie een overstromingskans te krijgen die de helft is van de overstromingskans van de gehele dijkkringdeel (dus tweemaal zo veilig). Tabel 2.1 geeft een overzicht hoeveel 'onafhankelijke' locaties per dijkkringdeel zijn verondersteld.

Een voorbeeld om dit toe te lichten: Flevoland-Noordoost. Hier wordt een optimale toetskans (P1-kansdefinitie) voor het dijkkringdeel als geheel gevonden van 1:5.200 (ten opzichte van de huidige wettelijke norm van 1:4.000) bij het W+-scenario. Doordat (twee) locaties op dit dijkkringdeel verschillende faaloorzaken hebben, ligt de optimale toetskans per locatie op 1:10.400.

Invloed van eindige technische levensduur en alternatieve toetskansen

De toetskansen in bovenstaande tabel worden in veel gevallen bepaald door het einde van de technische levensduur. Dit betreft de **rode** en **blauwe** getallen. Feitelijk zeggen deze getallen dat de dijkkringedelen moeten worden versterkt als de technische levensduur is verstreken. *Verondersteld* is dat dit na 75 jaar het geval is. In de praktijk zal dit per dijkkringdeel verschillen, waarbij de bandbreedte tussen de 50 en 100 jaar lijkt te liggen, al zou het ons niet verbazen als een (veel) langere levensduur dan 100 jaar ook geregeld voorkomt.

Dijkkringedelen waar rode of blauwe getallen staan hoeven dus waarschijnlijk de komende 75 jaar niet te worden versterkt (mits de veiligheid in 2020 correct is ingeschat en de technische levensduur inderdaad 75 jaar is). Als na 75 jaar blijkt dat het dijkkringdeel technisch nog voldoende functioneert, dan zal het in veel gevallen niet economisch rendabel zijn om het dijkkringdeel te verhogen/versterken. Uiteraard is het ook mogelijk dat dijkkringedelen eerder moeten worden vernieuwd op basis van technische argumenten.

Welke wettelijke toetskans voor het jaar 2050 opportuun is voor dijkkringedelen (en dijken), waarvan de eerstkomende verhoging/versterking na 2050 wordt bepaald door het einde van de technische levensduur, is voor een groot deel een politieke keuze. Wij schetsen in dit hoofdstuk de logische kandidaten en benoemen de voor- en nadelen van beide kandidaten.

Enerzijds kan gekozen worden om de rode en blauwe cijfers uit bovenstaande tabel over te nemen. Bij correcte interpretatie van de cijfers zou dit tot het jaar 2050 niet hoeven te leiden tot (extra) versterkingen van de betreffende dijkkringedelen en dijken. Op deze manier kan een grote mate van veiligheid worden beloofd aan de burgers in de gebieden achter de dijken zonder dat hier kosten tegenoverstaan.

Anderzijds zijn de cijfers erg klein en als in de komende tijd nieuwe inzichten ontstaan in overstromingskansen, dan kan dit in de praktijk ertoe leiden dat de dijkkringedelen toch worden

versterkt indien de toetsenkansen 'rücksichtslos' worden toegepast (omdat ze niet meer voldoen aan de zeer veilige toetskansen). Daarbij wijken de kansen fors af van vergelijkbare toetskansen voor andere dijken en kunnen ze na het jaar 2050 heel anders worden. Dit kan leiden tot politiek, maatschappelijk of economisch ongewenste verdelingseffecten tussen regio's en in de tijd. Een logische kandidaat voor een toetskans met mogelijk minder problematische verschillen tussen de regio's en in de tijd zijn de toetskansen die worden verkregen indien de technische levensduur geen rol meer speelt. Deze kansen zullen gelijk of groter zijn aan de toetsenkansen waarbij wel rekening wordt gehouden met technische levensduur (i.e. de rode en blauwe cijfers). Merk op dat deze kansen dus ook tot 2050 niet zullen leiden tot (extra) dijkversterkingen en dat is wat je economisch gezien ook wilt bereiken.

Vanwege de bovengenoemde verdelingseffecten is het niet gebruikelijk dat het CPB zich uitspreekt over de keuze voor het ene of het andere alternatief. Dat is primair een politieke beslissing. Wel geven wij inzicht in de mogelijke keuzes. Onderstaande tabel geeft voor alle akeringen rond het IJsselmeer, de IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer de toetskans weer indien wordt uitgegaan van een oneindige technische levensduur voor alle dijken en dijkringen. Deze cijfers zijn dus een logisch alternatief voor de rode en blauwe cijfers uit bovenstaande tabel. Om de vergelijking gemakkelijk te maken, worden de cijfers nogmaals gepresenteerd in de tabel. Vanwege de grotere praktische relevantie (zie paragraaf 4.3) wordt de P1-toetskans gepresenteerd. Daarnaast is ook het eerste jaar van versterken weergegeven.

Tabel 4.6 Wettelijke norm, WV21-toetskansen (2e ref), eerste jaar van versterking en toetskansen op basis van P1-overstromingskansen (P1-kans) bij pompen en het W+-scenario met en zonder een eindige technische levensduur

Dijkringdelen	Wettelijke norm	WV21-2e ref.	Jaar eerste versterking	P1-kans	Jaar eerste versterking	P1-kans
			Technische levensduur 75 jaar		Technische levensduur oneindig	
IJsselmeer						
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	2096	1/31.000	2171	1/17.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	2061	1/2.800	2061	1/2.800
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	2066	1/5.200	2066	1/5.200
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	2096	1/120.000	2141	1/87.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	2096	1/190.000	2096	1/190.000
IJssel- en Vechtdelta						
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	2071	1/900	2071	1/900
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	2041	1/1.100	2041	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	2021	1/4.200	2021	1/4.200
Salland	1/1.250	1/2.900	2026	1/2.200	2026	1/2.200
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	2021	1/500	2021	1/500
Markermeer						
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	2026	1/12.000	2026	1/12.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	2096	1/110.000	2171	1/36.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	2096	1/180.000	2141	1/12.000
Marken	1/1.250	1/400	2096	1/9.300.000	-	-
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	2096	1/3.200	2151	1/2.700
Eempolder	1/1.250	1/1.100	2096	1/2.000	2101	1/1.900
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	2096	1/3.200	2161	1/2.100
B-keringen						
Afsluitdijk	1/10.000		2121	1/9.400	2111	1/13.000
Houtribdijk	1/10.000		2096	1/42.000	-	-

Uitleg: bij 5,5% discontovoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020) en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. **rood** = einde technische levensduur, maar meer dan minimale verhoging. **blauw** = einde technische levensduur met minimale verhoging. Een '-' betekent dat het dijkringdeel tot 2300 niet wordt opgehoogd/versterkt. Dan kan er geen 15-jaarkans (of middenkans) worden berekend.

Een vergelijking van de toetskansen met en zonder eindige technische levensduur laat zien dat de kansen met oneindige technische levensduur logischerwijs groter zijn dan met een eindige technische levensduur. Voor een dijkringdeel (te weten Marken) bleek het economisch het meest rendabel om het dijkringdeel niet te versterken tot het jaar 2300. In dat geval kan geen toetskans worden berekend. Om toch een toetskans voor Marken te berekenen zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd. Bij deze berekeningen is fictief een hogere overstromingskans in 2020 verondersteld om te zorgen dat het in de periode 2050-2100 - volgens het model - economisch rendabel wordt om dit dijkringdeel te versterken. Aldus wordt een P1-toetskans verkregen voor Marken van 1:600.

In bovenstaande tabel valt te zien (laatste kolom) dat de economisch optimale overstromingskansen die wij vinden in ongeveer de helft van het aantal gevallen veel kleiner zijn dan die uit de MKBA WV21 (zie 3e kolom). We behandelen de twee belangrijkste redenen voor dit verschil. Een verklaring hiervoor is dat wij uitgaan van het wegpompen van

IJsselmeerwater terwijl de MKBA WV21 uitgaat van spuien van IJsselmeerwater naar de Waddenzee onder vrij verval. Daarbij gaan wij uit van het beheersen van het Markermeerpeil door middel van een pomp in de Houtribdijk, terwijl in de MKBA WV21 dit peil wordt beheerst via spuien in de Houtribdijk. Bij pompen levert eenzelfde dijkverhoging meer veiligheid op dan bij spuien. Of om het technisch te zeggen: de decimeringshoogte (=verhoging van het dijkkringdeel in centimeters opdat de overstromingskans een factor tien kleiner wordt) is bij pompen vaak kleiner dan bij spuien. Extra veiligheid is bij pompen dus 'goedkoper' dan bij spuien en in een economische afweging is het dan dus logisch om meer veiligheid te 'kopen'. En daarom worden er dus kleinere toetskansen gevonden.

Een tweede verklaring is dat in deze studie wordt gekeken naar alle overstromingskansen van een dijkkringdeel. Wij onderscheiden zeven overstromingskansen (P1 t/m P7 genaamd). In de MKBA WV21 is naar één van deze kansen gekeken, te weten de kans dat een dijkkringdeel overstroomt onder de aanname dat de Afsluitdijk en de Houtribdijk oneindig sterk zijn. Deze kans noemen wij de P1-overstromingskans. Wat geregeld voorkomt, is dat onze totale overstromingskans redelijk overeenkomt met de getalswaarden uit de MKBA WV21. Vaak is namelijk de totale verwachte schade bepalend voor het economisch optimale beschermingsniveau. Omdat de P1-kans een deel is van de totale overstromingskans, is het dus logisch dat onze P1-toetskansen kleiner zijn dan de toetskansen uit de MKBA WV21.

Voor de Afsluitdijk en de Houtribdijk zijn soortgelijke analyses uitgevoerd.

De (P1-)toetskans voor de Afsluitdijk bij 'pompen' en het W+-scenario bij een oneindige technische levensduur (voor alle a- en b-keringen) is 1:13.000. Dit is een iets kleinere kans als bij een technische levensduur van 75 jaar.

De (P1-)toetskans voor de Houtribdijk bij 'pompen' en het W+-scenario kan in eerste instantie niet worden berekend omdat tot het jaar 2300 het economisch niet rendabel is de Houtribdijk te versterken (uitgaande van de veronderstelde startsterkte in 2015 van 1:10.000 bij het huidige waterbeheer). Voor de Houtribdijk zijn daarom aanvullende berekeningen uitgevoerd om te bepalen bij welke overstromingskans het economische rendabel wordt deze dijk wél te versterken ergens in de periode 2050-2100. Hiertoe is - net als voor het dijkkringdeel Marken - fictief de overstromingskans van de Houtribdijk in 2020 verhoogd. Voor de Houtribdijk wordt dan bij 'pompen' een P1-toetskans gevonden van 1:60.

Tot slot geeft onderstaande tabel naast de eerder gepresenteerde P1-kansen bij een oneindige technische levensduur ook de totale overstromingskans (P_{tot}-kans) weer.

Tabel 4.7 Wettelijke norm, overstromingskans in 2015, WV21-toetskansen (2e ref) en toetskansen op basis van totale overstromingskansen (Ptot-kans) en P1-overstromingskans (P1-kans) bij pompen en oneindige levensduur

Dijkkringdelen	Wettelijke norm	Overstromingskans in 2015	WV21-2e ref.	Ptot-kans	P1-kans
IJsselmeer					
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/4.000	1/400	1/1.300	1/17.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/2.000	1/3.000	1/1.600	1/2.800
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/4.000	1/5.200	1/3.000	1/5.200
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/15.000	1/87.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.000	1/2.300	1/42.000	1/190.000
IJssel- en Vechtdelta					
IJsseldelta	1/2.000	1/1.000	1/1.400	1/700	1/900
Mastenbroek	1/2.000	1/1.000	1/1.600	1/1.000	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/250	1/1.700	1/3.700	1/4.200
Salland	1/1.250	1/500	1/2.900	1/2.000	1/2.200
Oost Veluwe	1/1.250	1/250	1/1.000	1/500	1/500
Markermeer					
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/2.000	1/9.200	1/12.000	1/12.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/27.000	1/36.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/10.000	1/2.500	1/11.000	1/12.000
Marken	1/1.250	1/500	1/400	1/500	1/600
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/500	1/700	1/2.700	1/2.700
Eempolder	1/1.250	1/500	1/1.100	1/1.800	1/1.900
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/500	1/200	1/2.100	1/2.100
B-keringen					
Afsluitdijk	1/10.000	1/100.000 in 2020		1/13.000	1/13.000
Houtribdijk	1/10.000	1/10.000		1/60	1/60
Uitleg: bij 5,5% discountvoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), W+-scenario en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk.					

4.6.2 Meestijgen/spuien

Voor meestijgen/spuien staan de toetskansen (15-jaarkansen 2050) voor het W+- en G-klimaatsscenario in onderstaande tabel. In bijlage A staan de optimale investeringspatronen weergegeven bij meestijgen/spuien.

Tabel 4.8 Wettelijke norm, overstromingskans in 2015, MKBA WV21-toetskansen en toetskansen op basis van totale overstromingskans (Ptot-kans) en P1-overstromingskans (P1-kans) bij meestijgen/spuien en het W+- en G-scenario

Dijkringdelen	Wettelijke norm (a)	Overstromingskans in 2015	WV21-2e ref.	Ptot-kans		P1-kans	
				W+-scenario	Pseudo G-scenario	W+-scenario	Pseudo G-scenario
IJsselmeer							
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/4.000	1/400	1/300	1/300	1/1.000	1/1.200
Noordoostpolder	1/4.000	1/2.000	1/3.000	1/1.500	1/2.400	1/1.600	1/1.900
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/4.000	1/5.200	1/5.300	1/11.000	1/2.900	1/3.700
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/8.000	1/9.200	1/8.400	1/9.600
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.000	1/2.300	1/5.600	1/5.600	1/4.200	1/4.200
IJssel- en Vechtdelta							
IJsseldelta	1/2.000	1/1.000	1/1.400	1/600	1/600	1/700	1/700
Mastenbroek	1/2.000	1/1.000	1/1.600	1/800	1/800	1/1.000	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/250	1/1.700	1/2.200	1/2.400	1/3.100	1/3.500
Salland	1/1.250	1/500	1/2.900	1/2.700	1/3.300	1/3.600	1/4.300
Oost Veluwe	1/1.250	1/250	1/1.000	1/500	1/500	1/500	1/600
Markermeer							
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/2.000	1/9.200	1/20.000	1/21.000	1/38.000	1/39.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/14.000	1/19.000	1/28.000	1/29.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/10.000	1/2.500	1/12.000	1/860.000	1/170.000	1/5.600.000
Marken	1/1.250	1/500	1/400	1/1.600	1/2.600.000	1/19.000	1/4.600.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/500	1/700	1/400	1/400	1/400	1/400
Eempolder	1/1.250	1/500	1/1.100	1/700	1/800	1/900	1/900
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/500	1/200	1/400	1/400	1/400	1/400
B-keringen							
Afsluitdijk	1/10.000	1/100.000 in 2020		1/9.400	1/9.400	1/40.000	1/40.000
Houtribdijk	1/10.000	1/10.000		1/200	1/300	1/2.700	1/4.400

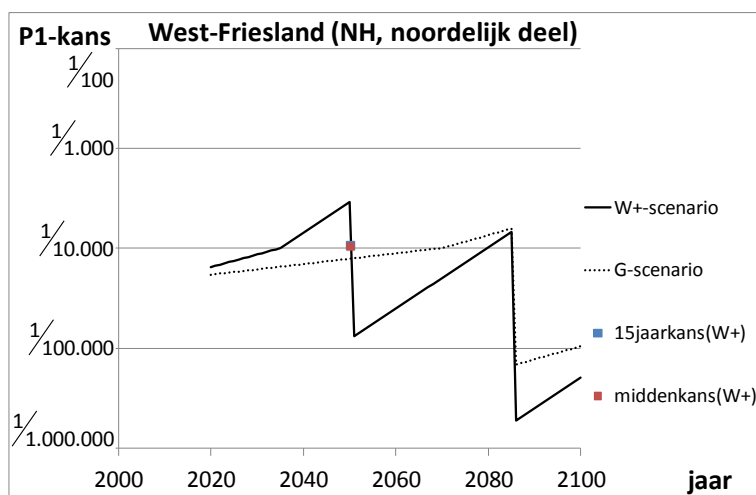
Uitleg: bij 5,5% discontovoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020) en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. **rood** = einde technische levensduur, maar meer dan minimale verhoging. **blauw** = einde technische levensduur met minimale verhoging.
(a) De wettelijke norm heeft - zoals in dit rapport verondersteld - betrekking op de overschrijdingskans. De echte overstromingskans (lees: de kans op het overstromen van het achterland) kan hiervan aanmerkelijk afwijken.

Uit de tabel kan worden opgemaakt dat bij 'meestijgen/spuien' en het W+-scenario de overstromingskansen van de a-keringen zo snel stijgen, dat het economisch optimaal is om dijken te versterken voordat het einde van de technische levensduur is bereikt. Bij het pseudo G-scenario stijgen de overstromingskansen veel minder hard, waardoor de eerste versterking na 2050 in de meeste gevallen wèl wordt bepaald door de technische levensduur.

In onderstaande grafiek is het verloop weergegeven van het optimale investeringspatroon voor dijkringdeel West-Friesland (NH, noordelijk deel gelegen aan het IJsselmeer). In de

grafiek valt duidelijk het effect van het meestijgen van het IJsselmeerpeil in het W+-scenario te zien vanaf 2035: de kansen stijgen na 2035 sneller dan ervoor.

Figuur 4.8 Overstromingskansen bij optimaal investeringspatroon voor West-Friesland (NH, noordelijk deel) bij 'meestijgen/spuien'



Invloed eindige technische levensduur en alternatieve toetskansen

Net als bij de variant 'pompen' worden voor de variant 'meestijgen/spuien' ook P1-toetskansen gepresenteerd uitgaande van een oneindige technische levensduur. Daarnaast is ook het eerste jaar van versterken weergegeven.

Tabel 4.9 Wettelijke norm, WV21-toetskansen (2e ref) en toetskansen op basis van P1-overstromingskans (P1-kans) bij meestijgen/spuien en het W+-scenario met en zonder een eindige technische levensduur

Dijkringdelen	Wettelijke norm	WV21-2e ref.	Jaar eerste investering	P1-kans	Jaar eerste investering	P1-kans
			Technische levensduur 75 jaar		Technische levensduur oneindig	
IJsselmeer						
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	2071	1/300	2071	1/300
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	2041	1/2.400	2041	1/2.400
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	2046	1/11.000	2046	1/11.000
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	2051	1/9.200	2051	1/9.200
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	2031	1/5.600	2031	1/5.600
IJssel- en Vechtdelta						
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	2051	1/600	2051	1/600
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	2031	1/800	2031	1/800
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	2021	1/2.400	2021	1/2.400
Salland	1/1.250	1/2.900	2021	1/3.300	2021	1/3.300
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	2021	1/500	2021	1/500
Markermeer						
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	2021	1/21.000	2021	1/21.800
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	2081	1/19.000	2081	1/19.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	2076	1/860.000	2076	1/860.000
Marken	1/1.250	1/400	2081	1/2.600.000	2081	1/2.600.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	2051	1/400	2051	1/400
Eempolder	1/1.250	1/1.100	2041	1/800	2041	1/800
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	2071	1/400	2071	1/400
B-keringen						
Afsluitdijk	1/10.000		2121	1/9.400	2171	1/2.100
Houtribdijk	1/10.000		2096	1/300	2101	1/200

Uitleg: bij 5,5% discontovoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020) en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. **rood** = einde technische levensduur, maar meer dan minimale verhoging. **blauw**= einde technische levensduur met minimale verhoging.

Zoals uit de afwezigheid van rode en blauwe cijfers voor alle a-keringen bij een technische levensduur van 75 jaar al kan worden verwacht, zijn de cijfers bij een oneindige technische levensduur identiek.

De toetskans voor de Afsluitdijk bij meestijgen/spuien en een oneindige technische levensduur is 1:2.100 per jaar en voor de Houtribdijk 1:200 per jaar.

Door een vergelijking te maken van de MKBA WV21 uitkomsten (2e Ref, zie 3de kolom van bovenstaande tabel) met de laatste kolom van bovenstaande tabel, wordt inzicht verkregen in de effecten op de uitkomsten door andere onderzoeksmethoden (lees: toepassing van het model uit de MKBA WV21 dan wel Dique-Opt in deze studie). De weergegeven variant uit de MKBA WV21 betrof ook scenario 'meestijgen/spuien', een oneindige technische levensduur, het W+-scenario en een discontovoet van 5,5%. Te zien valt dat voor bijna alle dijkringen andere toetskansen worden gevonden. Door afronding van de cijfers zullen kleinere

verschillen verdwijnen, maar meerdere dijkvingen laten forse verschillen in de waarden zien. Met name de grote verschillen tussen de MKBA WV21 en onze resultaten voor de dijkvingdelen West-Friesland (NH, Zuidelijk deel), Noord-Holland-Waterland en Marken springen in het oog. Dit wordt vooral verklaard doordat in deze studie het Markermeerpeil is ontkoppeld van het IJsselmeerpeil door de installatie van een pomp op de Houtribdijk.

Tot slot geeft onderstaande tabel naast de eerder gepresenteerde P1-kansen bij een oneindige technische levensduur ook de totale overstromingskans (Ptot-kans dus P1 t/m P7) weer.

Tabel 4.10 Wettelijke norm, overstromingskans in 2015, WV21-toetskansen (2e ref) en toetskansen op basis van totale overstromingskansen (Ptot-kans) en P1-overstromingskansen (P1-kans) bij meestijgen/spuien en oneindige levensduur

Dijkvingdelen	Wettelijke norm	Overstromingskansen in 2015	WV21-2e ref.	Ptot-kans	P1-kans
IJsselmeer					
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/4.000	1/400	1/300	1/300
Noordoostpolder	1/4.000	1/2.000	1/3.000	1/1.500	1/2.400
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/4.000	1/5.200	1/5.300	1/11.000
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/8.000	1/9.200
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.000	1/2.300	1/5.600	1/5.600
IJssel- en Vechtdelta					
IJsseldelta	1/2.000	1/1.000	1/1.400	1/600	1/600
Mastenbroek	1/2.000	1/1.000	1/1.600	1/800	1/800
Vollenhove	1/1.250	1/250	1/1.700	1/2.200	1/2.400
Salland	1/1.250	1/500	1/2.900	1/2.700	1/3.300
Oost Veluwe	1/1.250	1/250	1/1.000	1/500	1/500
Markermeer					
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/2.000	1/9.200	1/20.000	1/21.800
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/10.000	1/4.000	1/14.000	1/19.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/10.000	1/2.500	1/12.000	1/860.000
Marken	1/1.250	1/1500	1/400	1/1.600	1/2.600.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/500	1/700	1/400	1/400
Eempolder	1/1.250	1/500	1/1.100	1/700	1/800
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/500	1/200	1/400	1/400
B-keringen					
Afsluitdijk	1/10.000	1/100.000 in 2020		1/2.100	1/2.100
Houtribdijk	1/10.000	1/10.000		1/200	1/200

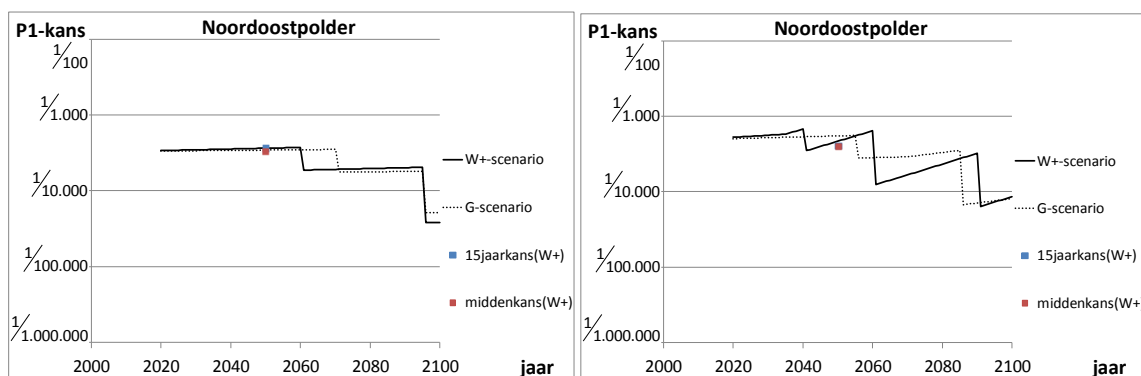
Uitleg: bij 5,5% discontovoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), W+-scenario en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk.

4.6.3 Uitgaven aan dijkversterkingen in de vier basisvarianten

De na te streven overstromingskansen hebben geen een-op-een relatie met de kosten om deze gewenste situatie te realiseren. Een zeer kleine overstromingskans kan het gevolg zijn van een zeer veilige uitgangssituatie, waardoor daar amper investeringskosten tegenover hoeven te staan. Het kan echter ook duiden op zeer grote schade bij falen, waardoor het economisch optimaal is om te streven naar een zeer veilige situatie, óók als daar aanzienlijke investeringskosten tegenover staan.

Onderstaande figuur illustreert dat zowel de keuze voor ‘pompen’ of ‘meestijgen/spuien’ als het veronderstelde klimaatscenario een groot effect heeft op de optimale investeringspatronen en daarmee op de jaarlijkse uitgaven. Uit de grafiek voor de Noordoostpolder kan worden opgemaakt dat, hoewel de toetskansen bij ‘pompen’ en ‘meestijgen/spuien’ min of meer gelijk zijn, de investeringspatronen fors afwijken.

Figuur 4.9 Overstromingskansen bij optimaal investeringspatroon van de Noordoostpolder bij ‘pompen’ (links) en ‘meestijgen/spuien’ (rechts)



Om inzicht te geven in de noodzakelijk (overheids-) uitgaven worden de ‘kasritmes’ voor de komende decennia weergegeven. Het betreft alleen de kosten van de dijkversterkingen en niet de bijkomende kosten, zoals voor realisatie van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk in 2020 en de structurele beheer- en onderhoudskosten van o.a. de pompen in de Afsluitdijk.

Onderstaande tabel geeft gedetailleerd inzicht in de vereiste bedragen bij het scenario pompen en het W+-scenario. De kosten voor dijkversterkingen in de IJssel- en Vechtdelta domineren de eerstkomende decennia en zijn uiteindelijk ook goed voor bijna de helft van alle uitgaven.

Tabel 4.11 Kasstromen van optimale investeringen in dijkversterkingen bij pompen en W+-scenario

Dijkring(deel)	2021- 2030	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2100	2101- 2150	Totaal
mln euro, niet-gedisconteerde bedragen, marktprijzen pp. 2009										
Afsluitdijk				205					758	963
Houtribdijk								611		611
Totaal b-keringen				205				611	758	1.573
Zuidwest Friesland								120		120
Noordoostpolder					119			246		365
Flevoland-Noordoost					290				309	598
West-Friesland (NH)								158		158
Wieringen IJsselmeer								35		35
Totaal IJsselmeer					408			558	309	1.275
IJsseldelta						254			244	498
Mastenbroek			87			253			288	628
Vollenhove	56		145						166	367
Salland	178			292					315	785
Oost Veluwe	155			264					429	848
Totaal IJssel- en Vechtdelta	389		232	556		507			1.442	3.126
Flevoland-Zuidwest	87				348				288	722
West-Friesland (NH)								162		162
Noord-Holland-Waterland								282		282
Marken								27		27
Gooi en Vechtstreek								88		88
Eempolder								48		48
Gelderse Vallei-Meren								71		71
Totaal Markermeer	87				348			677	288	1.399
Totaal	475		232	762		756	507	1.847	2.797	7.375

Uitleg: Bij uitvoering van Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en 5,5% discontovoet. Volledige investeringsbedragen zijn geboekt in jaar van oplevering. Bedragen excl. eventuele bouwrente.

Onderstaande tabel geeft de kasstromen weer voor zowel de varianten 'pompen' en 'meestijden/spuien' als voor het W+-scenario en het pseudo G-scenario. Uit de tabel blijken duidelijk de kleinere benodigde investeringsbedragen voor zowel 'pompen' als bij het G-scenario.

De investeringskosten en de beheer- en onderhoudskosten voor de pompen en spuien *zelf* zijn niet weergegeven in onderstaande tabel. Meer informatie hierover kan worden gevonden in Grevers en Zwaneveld (2011, paragraaf 8.2). De kosten van een pompgemaal van zo'n 2.000 m³/s zijn 1 miljard euro (niet-gedisconteerde bedragen, pp. 2009 in marktprijzen). De kosten voor nieuw aan te leggen spuisluizen bij Den Oever, Kornwerderzand en ESA bedragen in totaal 0,7 miljard euro. De beheer- en onderhoudskosten (incl. energiekosten) van pompen zijn in contante waarde wat hoger dan van spuisluizen. Gedacht moet worden aan een bedrag (in contante waarde over de komende 100 jaar) van zo'n 10 tot 20 miljoen euro.

Tabel 4.12 Kasstromen bij 'pompen' en 'meestijgen/spuien' en W+- en pseudo G-scenario.

	2021- 2030	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2100	2101- 2150	Totaal
Pompen W+										
mln euro, niet-gedisconteerde bedragen, marktprijzen pp. 2009										
Afsluitdijk				205					758	963
Houtribdijk								611		611
IJsselmeer					408			558	309	1.275
IJssel- en Vechtdelta	389		232	556		507			1.442	3.126
Markermeer	87				348			677	288	1.399
Totaal	475	0	232	762	756	507	0	1.847	2.797	7.375
Meestijgen/spuien W+										
0										
Afsluitdijk				596					1.424	2.020
Houtribdijk								694		694
IJsselmeer			52	445	212	339	247	717	283	2.336
IJssel- en Vechtdelta	709	87		546	824				556	2.068
Markermeer	353		23	42		427	245	568		1.658
Totaal	1.063	138	468	1.396	1.163	674	961	2.102	5.828	13.793
Pompen pseudo-G										
0										
Afsluitdijk				205					627	832
Houtribdijk								611		611
IJsselmeer						408		491		899
IJssel- en Vechtdelta	211	178		87	116	292	233	481	442	2.038
Markermeer		87					298	649		1.034
Totaal	211	265	0	291	116	700	530	2.232	1.069	5.414
Meestijgen/spuien pseudo G										
0										
Afsluitdijk				595					1.319	1.914
Houtribdijk								611		611
IJsselmeer			15	119	326	53	458	160	761	1.892
IJssel- en Vechtdelta	623		202			492		757	744	2.818
Markermeer	353		23	42				1.027		1.445
Totaal	977	15	225	755	326	544	458	2.555	2.823	8.679

Uitleg: Bij uitvoering van Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en 5,5% discontovoet. Volledige investeringsbedragen zijn geboekt in jaar van oplevering. Bedragen exclusief evt. bouwrente.

Bovenstaande kasstromen en alle gepresenteerde optimale investeringspatronen zijn bepaald onder de *veronderstelling* dat er voldoende middelen beschikbaar zijn om alle economisch optimale dijkversterkingmaatregelen te nemen. Gezien de huidige budgettaire krapte lijkt het aannemelijk, dat tijdens de uitwerking van de maatregelen uit het Deltaprogramma sprake is van een beperkt investeringsbudget. Niet alle (economisch of anderszins) gewenste uitgaven kunnen dan worden gedaan.

De interessante vraag die dan opkomt is welk investeringspatroon (economisch) optimaal is gegeven een bepaald (jaarlijks) *maximum budget*. Hierbij kan eventueel rekening worden gehouden met andere wensen zoals minimale of maximale veiligheid, of een zo goed mogelijke aansluiting bij een lange termijn optimaal investeringspad. Het lijkt mogelijk om dergelijke

analyses uit te voeren met een (iets aangepast) Dique-Opt model. Voordat een dergelijke studie uitgevoerd kan worden, dienen uiteraard eerst de budgettaire randvoorwaarden bekend te zijn.

5 Gevoeligheidsanalyses

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de gevoeligheidsanalyses. Een overzicht van alle doorgerkende varianten (en gevoeligheidsanalyses) staat in paragraaf 4.5.

Omdat we in deze studie veel gebruik maken van de basisgegevens uit de MKBA WV21, is het ook leerzaam om te kijken naar de resultaten van de twintig gevoeligheidsanalyses (Kind, 2011, tabel 6.1) uit die studie. In die studie is in de basisvariant, net als in dit rapport, uitgegaan van het W+-klimaatscenario, het sociaal-economisch scenario TM (Transatlantic Market) en een discontovoet van 5,5%.

De gemiddelde bandbreedte op basis van de gevoeligheidsanalyses in de MKBA WV21 (Kind, 2011, p.76) was als volgt. De grootste toetskans uit de gevoeligheidsanalyses is gemiddeld over alle dijkningen zo'n 70% groter dan de toetskans uit de basisvariant. De kleinste toetskans was gemiddeld zo'n 30% kleiner.

In deze studie vinden we een vergelijkbare³¹ bandbreedte: de grootste toetskans uit de gevoeligheidsanalyses is gemiddeld over alle dijkningen zo'n 100% groter dan de toetskans uit de basisvariant en de kleinste toetskans is gemiddeld zo'n 40% kleiner dan de toetskans uit de basisvariant. De uitkomst '100% groter' wordt voor een groot deel bepaald door de variant met een economische groei van 0,4% per jaar (sociaal-economische WLO-scenario Regional Communities). Zonder deze variant is de gemiddelde grootste toetskans 60% groter dan de toetskans in de basisvariant.

Deze bandbreedte lijkt op het eerste gezicht groot, maar beseft moet worden dat toetskansen bij gebruik in de praktijk veelal worden afgerond op een 'mooi rond' getal. Een stijging van 50% betekent concreet bijvoorbeeld een stijging van 1:2.000 naar 1:3.000. Afronding van beide naar 1:2.500 is niet onlogisch gezien de onzekerheden waarmee de inputdata (met name overstromingskansen³²) omgeven zijn.

³¹ Hierbij zijn alleen varianten meegenomen waarin één aanname (dus één modelinput) is gewijzigd: dit betrof veertien van de in totaal zo'n 50 gevoeligheidsanalyses. De genoemde bandbreedte uit de MKBA WV21 betrof ook 'enkelvoudige' gevoeligheidsanalyses: dus varianten waarbij één afzonderlijk inputgegeven van het model werd gewijzigd. De bandbreedte is gebaseerd op toetskansen die volgen uit economisch optimale verhogingen. Toetskansen die gebaseerd zijn op einde technische levensduur (lees: afgedwongen verhogingen door deze levensduur) zijn dus niet in beschouwing genomen bij het berekenen van de genoemde bandbreedte.

³² Beseft moet worden dat alle overstromingskansen (met bijvoorbeeld waarden van 1:1.000 en veel kleiner) worden geëxtrapoleerd op basis van metingen gedurende veelal zo'n 50 jaar (1951-1998, zie Kramer en Beckers, 2012, p. C-1). Die metingen worden weer doorvertaald naar de toekomst op basis van KNMI-scenario's.

In de MKBA WV21 is ook nog een Monte-Carlo-analyse uitgevoerd, waarin op basis van door experts gemaakte aannames over de kansverdeling van inputparameters zeer veel gevoeligheidsanalyses zijn doorgekend met een 'vereenvoudigd' model (om de rekentijd beperkt te houden). Uitgaande van een 80% -betrouwbaarheidsinterval werd een bandbreedte gevonden van -60% tot +100%. De gemiddelde toetskans uit deze Monte-Carlo-analyse was voor de meeste dijkkringdelen tussen de 15% en 30% kleiner dan de toetskans in het 'basisscenario' (= W+-klimaatsscenario, 5,5% discontovoet en sociaal-economisch TM-scenario).

5.1 Gevaar voor Amsterdam (dijkring 14) vanuit het Markermeer

In de basisvarianten zijn we ervan uitgegaan dat de stad Amsterdam géén gevaar loopt voor overstromen vanuit het Markermeer. Omdat de Afsluitdijk (en mogelijk ook de Houtribdijk) destijds is aangelegd met onder andere als doel om de stad Amsterdam te beschermen, verdient dit aspect nader aandacht. Zeker in toekomstige situaties (P5- en P7-overstromingskansen) kan door een bres in de Houtribdijk en/of de Afsluitdijk het peil in het Markermeer (fors) stijgen (door de gestegen zeespiegel).

Wij hebben begrepen dat het de vraag betreft of *als* dijkkring 44 (gelegen aan het Markermeer) overstroomt of dan ook dijkkringdeel 14 (waar de stad Amsterdam in ligt) overstroomt. Er is een primaire kering (gelegen in de bebouwde kom van de stad Amsterdam) die dijkkringdeel 44 (Gooi- en Vechtstreek) scheidt van 14 (Centraal Holland). In de meeste varianten *veronderstellen* wij dat die kering nooit faalt en dat er dus géén extra schade optreedt.

In deze gevoeligheidsanalyse nemen we aan dat als dijkkringdeel 44 overstroomt³³ de primaire kering altijd faalt en er dan ook altijd forse schade optreedt in Amsterdam (200 mrd euro³⁴). Afgaande op de gevonden toetskansen (15-jaar) heeft dit alléén een effect op de optimale dijkversterkingen van dijkkringdeel 44. Het heeft geen enkel effect op de toetskansen voor de andere a-keringen, de Houtribdijk en de Afsluitdijk. De toetskans (P1-definitie) stijgt voor dijkkringdeel 44 fors: van 1:3.200 naar 1:200.000. Dijkkringdeel 44 wordt bij deze aanname dan ook direct (in 2021) fors versterkt.

Wij adviseren nader onderzoek naar de mate waarin het doorbreken van Markermeerdijken de stad Amsterdam bedreigt. De sterkte van de primaire kering op de grens van dijkkringdeel 44 en 14 lijkt hierbij cruciaal. Deze gevoeligheidsanalyse suggereert dat eventuele overstromingsproblemen 'lokaal' kunnen worden opgelost, omdat die geen invloed hebben op de optimale overstromingskansen van de andere relevante dijken. De uitgevoerde analyse geeft inzicht in de kosten (en baten) indien de oplossing wordt gezocht bij het versterken van

³³ Uitgaande van locatie 'Muiden haven' gelegen in dijkkringdeel 44. Mogelijk zijn ook andere locaties (aan dijkkringdeel 44 of andere dijkkringdelen) van belang zoals de Oranjesluizen. Ook dijkkringdeel 13a ligt in dit gebied. De onderlinge relatie hiertussen is niet nader bekeken in deze studie.

³⁴ Dit is ongeveer viermaal het schadebedrag voor Zuidwest-Flevoland (o.a. Almere inclusief schaalsprong). Schade in 2011, in prijspeil 2009.

dijkringdeel 44. Een andere aanpak is het versterken van de kering die dijkringdeel 44 scheidt van dijkringdeel 14 zelf. Hierover hebben wij geen informatie.

5.2 Huidige wettelijke normen als minimumveiligheid

Het afdwingen dat de Afsluitdijk moet worden versterkt (15 jaar) na het bereiken van de huidige wettelijke norm van 1:10.000 per jaar, heeft amper effecten op de resultaten. Indien de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA) wordt gerealiseerd dan wordt in 2020 een veiligheid van 1:100.000 per jaar gerealiseerd. De overstromingskans van 1:10.000 per jaar komt pas in zicht als de technische levensduur al bijna is verstreken en de dijk daarom toch al had moeten worden vernieuwd/versterkt. Indien STA wordt verondersteld niet te zijn gerealiseerd, dan blijkt het economisch rendabel te zijn om de Afsluitdijk direct (in 2021) te versterken. De grens van 1:10.000 per jaar wordt dan wel iets eerder opnieuw bereikt, maar ook pas als het einde van de technische levensduur in zicht is.

Indien ook aan alle a-keringen de eis wordt opgelegd dat die moeten worden versterkt als de huidige wettelijke veiligheidsnormen zijn bereikt, dan heeft dat voor de variant 'pompen' amper effect. Alleen het optimale investeringspatroon van dijkringdeel IJsseldelta verandert beperkt, zie onderstaande tabel.

Tabel 5.1 Kasstromen voor 'pompen' bij economisch optimaal investeringspatroon en bij optimaal investeringspatroon onder de extra randvoorwaarde van wettelijke norm als minimale veiligheid

	2021- 2030	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2100	2101- 2150	Totaal
mln euro, pp.2009, niet-gedisconteerde bedragen excl. bouwrente										
Optimaal	475	0	232	762	756	507	0	1.847	2.797	7.375
Optimaal + wettelijke norm als minimum	475	87	145	762	1.010	253	0	1.847	2.797	7.375
Vershil	0	-87	87	0	-254	254	0	0	0	0

Bij pompen, W+-scenario, Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en 5,5% discontovoet. Bedragen in marktprijzen 2009.

Met voldoen aan de huidige wettelijke normen bedoelen we dat het dijkringdeel als geheel een (P1-)overschrijdingskans moet hebben die kleiner is dan de wettelijke normkans. Indien het dijkringdeel in een bepaald jaar een overschrijdingskans heeft die groter of gelijk is aan deze wettelijke normkans, dan dient het dijkringdeel 15 jaar later versterkt te zijn opdat de overschrijdingskans weer kleiner is dan de wettelijke normkans. Het Dique-Opt model bepaalt de optimale mate van versterking (en daarmee ook het jaar van verhoging) op basis van een afweging van kosten en baten in elk jaar, gegeven dat altijd aan deze 'randvoorwaarde' wordt voldaan.

Een dergelijke restrictie opleggen bij de variant 'meestijden/spuien' heeft grosso modo geen groot effect op de uiteindelijke toetskansen. Het heeft wel een groot effect op de investeringspatronen en daarmee op de uitgaven, zoals blijkt uit onderstaande tabel.

Tabel 5.2 Kasstromen voor 'meestijden/spuien' bij economisch optimaal investeringspatroon en bij optimaal investeringspatroon onder de extra randvoorwaarde van wettelijke norm als minimale veiligheid

	2021- 2030	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2100	2101- 2150	Totaal
mln euro, pp.2009, niet-gedisconteerde bedragen excl. bouwrente										
Optimaal	1.063	138	468	1.396	1.163	674	961	2.102	5.828	13.793
Optimaal + wettelijke norm als minimum	2.704	0	0	1.175	1.505	352	1.074	1.836	6.992	15.637
Vershil	-1.641	138	468	221	-342	323	-113	266	-1.164	-1.844

Bij pompen, W+-scenario, Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en 5,5% discontovoet. Bedragen in marktprijzen 2009.

De bovenstaande kasstromen geven al een indicatie van het welvaartsverlies van het opleggen van de wettelijke norm als minimale veiligheid (=maximale overstromingskans). Een dergelijke extra restrictie kan vrijwel zonder merkbaar welvaartsverlies worden opgelegd bij de variant 'pompen', maar veroorzaakt wel een groot welvaartsverlies bij de variant 'meestijden/spuien'. Bij 'meestijden/spuien' worden door de restrictie dijkversterkingen eerder uitgevoerd en voor een groter bedrag. Deze extra kosten leiden tot een aanzienlijk welvaartsverlies. In onderstaande tabel worden de resultaten van deze 'mini-MKBA' naar het opleggen van de huidige wettelijke normen tegen overstromen weergegeven. Het opleggen van de wettelijke normen levert bij pompen een welvaartsverlies op van 4 miljoen euro (contante waarde), terwijl bij 'meestijden/spuien' het welvaartsverlies ruim 1 miljard euro is.

Tabel 5.3 MKBA van het opleggen van wettelijke normen bij pompen en meestijden/spuien

	Pompen		Meestijden/spuien	
	Optimaal	Optimaal + norm	Optimaal	Optimaal + norm
mln euro, NCW 2020, marktprijs 2009, 5,5% disconto				
Kosten a-keringen en Houtribdijk	770	798	1.807	3.275
Verwachte schade a-keringen en Houtribdijk	1.057	1.034	1.197	843
Kosten Afsluitdijk	47	47	133	133
Verwachte schade Afsluitdijk	0	0	0	0
Totaal	1.874	1.879	3.137	4.251
Vershil			-4	-1.113

Uitleg: Bij W+-scenario, Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA). Additionele kosten om STA mogelijk te maken zijn niet weergegeven. Zie hiervoor tabel 4.1 en 4.2.

Deze analyse laat zien dat in sommige gevallen een niet-optimale oplossing eigenlijk vrijwel net zo goed is als de echte optimale oplossing. Dit is het geval bij 'pompen'. De extra randvoorwaarde leidt daar tot amper welvaartsverlies. Wiskundig zou je kunnen spreken van een redelijke 'platte' doelstellingsfunctie. Bij 'meestijden/spuien' leidt eenzelfde randvoorwaarde echter wel tot grote extra welvaartsverliezen. Wiskundig gesproken is de doelstellingsfunctie hier dus verre van plat. Beide voorbeelden laten zien dat zonder nader onderzoek in het algemeen geen uitspraken mogelijk zijn over de mate van welvaartsverlies indien extra restricties worden opgelegd.

5.3 Discontovoet, WLO-scenario's en reparatietijd

Onderstaande tabel geeft de P1-toetskansen weer voor verschillende discontovoeten. De resultaten worden gepresenteerd voor de variant 'pompen', bij een technische levensduur van 75 jaar en het W+-scenario. In de tabel staan achtereenvolgens de resultaten voor de in de UK gehanteerde discontovoet (3,5% van 2020-2049; 3% van 2050-2094 en 2,5% vanaf 2095; UK DfT, 2011) en voor discontovoeten van 4,0%, 5,5% en 7,0%.

Tabel 5.4 Wettelijke norm, MKBAWV21-toetskansen en toetskansen op basis van P1-overstromingskans (P1-kans) bij pompen voor verschillende discountvoeten

Dijkringdelen	Wettelijke norm	WV21-2 ^e ref.	P1-kans voor de volgende discountvoeten:			
			UK: 3,5 à 2,5%	4,0%	5,5%	7,0%
IJsselmeer						
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	1/31.000	1/31.000	1/31.000	1/31.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	1/5.300	1/2.800	1/2.800	1/2.700
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	1/5.400	1/5.300	1/5.200	1/5.100
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	1/120.000	1/120.000	1/120.000	1/120.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	1/190.000	1/190.000	1/190.000	1/190.000
IJssel- en Vechtdelta						
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	1/1.200	1/1.100	1/900	1/800
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	1/3.900	1/1.200	1/1.100	1/1.000
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	1/3.400	1/3.400	1/4.200	1/900
Salland	1/1.250	1/2.900	1/8.200	1/7.400	1/2.200	1/2.000
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	1/600	1/600	1/500	1/400
Markermeer						
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	1/14.000	1/13.000	1/12.000	1/11.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	1/110.000	1/110.000	1/110.000	1/110.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	1/180.000	1/180.000	1/180.000	1/180.000
Marken	1/1.250	1/400	1/9.300.000	1/9.300.000	1/9.300.000	1/9.300.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	1/3.200	1/3.200	1/3.200	1/3.200
Eempolder	1/1.250	1/1.100	1/2.000	1/2.000	1/2.000	1/2.000
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	1/3.200	1/3.200	1/3.200	1/3.200
B-keringen						
Afsluitdijk	1/10.000		1/9.400	1/9.400	1/9.400	1/9.400
Houtribdijk	1/10.000		1/42.000	1/42.000	1/42.000	1/42.000

Uitleg: W+-scenario, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), technische levensduur van 75 jaar en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. **rood** = einde technische levensduur, maar meer dan minimale verhoging. **blauw** = einde technische levensduur met minimale verhoging. De opmerkelijke sprong van bij dijkkringdeel Vollenhove van 3.400 bij 4.0% discountvoet naar 4.200 bij 5,5% discountvoet komt doordat het investeringsmoment van net na 2050 verschuift na net voor 2050. De toetskans wordt dan bepaald door een investering in de 22ste eeuw. Daarom krijg je een kleinere toetskans (zowel 15-jaarkans- als middenkansdefinitie).

De eerste indruk op basis van bovenstaande tabel is dat de hoogte van de discountvoet veelal geen groot effect heeft op de toetskansen in het IJsselmeergebied, hoewel het effect in de IJsseldelta behoorlijk genoemd kan worden. Een lagere discountvoet (4% i.p.v. van 5,5% of de UK-discountvoet van 3,5 à 2,5%) maakt de waarde van toekomstige onveiligheid belangrijker, hetgeen soms leidt tot een (iets) kleinere toetskans. Een hogere discountvoet (7% i.p.v. 5,5%) levert een omgekeerd effect op.

In onderstaande tabel worden de effecten op de P1-toetskansen weergegeven van andere WLO-scenario's. De WLO-scenario's Regional Communities (RC), Transatlantic Market (TM) en Global Economy (GE) worden gerapporteerd (Huizinga en Smid, 2004). Alle scenario's zijn vertaald naar uniforme jaarlijkse groeipercentages voor de schade in dijkringgen, zoals ook in

de MKBA WV21 is gedaan. De gehanteerde jaarlijkse³⁵ groeipercentages zijn 0,4% voor RC, 1,9% voor TM en 2,3% voor GE. Deze percentages geven de totale economische groei weer. Dus het samengestelde effect van jaarlijkse productiviteitsgroei en groei van de (beroeps)bevolking. Het TM-scenario is het 'standaard' gebruikte WLO-scenario in deze studie.

Tabel 5.5 Wettelijke norm, WV21-toetskansen (2e ref) en toetskansen op basis van P1-overstromingskans (P1-kans) bij pompen voor verschillende WLO-scenario's

Dijkringdelen	Wettelijke norm	WV21-2e ref.	P1-kans voor de volgende WLO-scenario's:		
			RC: 0,4%	TM: 1,9%	GE: 2,3%
IJsselmeer					
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	1/31.000	1/31.000	1/31.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	1/2.500	1/2.800	1/2800
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	1/4.900	1/5.200	1/5300
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	1/120.000	1/120.000	1/120.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	1/190.000	1/190.000	1/190.000
IJssel- en Vechtdelta					
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	1/500	1/900	1/1.000
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	1/800	1/1.100	1/1.200
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	1/600	1/4.200	1/5.000
Salland	1/1.250	1/2.900	1/1.300	1/2.200	1/2.200
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	1/300	1/500	1/500
Markermeer					
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	1/7.700	1/12.000	1/13.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	1/110.000	1/110.000	1/110.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	1/180.000	1/180.000	1/180.000
Marken	1/1.250	1/400	1/9.300.000	1/9.300.000	1/9.300.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	1/3.200	1/3.200	1/3.200
Eempolder	1/1.250	1/1.100	1/2.000	1/2.000	1/2.000
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	1/3.200	1/3.200	1/3.200
B-keringen					
Afsluitdijk	1/10.000		1/9.400	1/9.400	1/9.400
Houtribdijk	1/10.000		1/42.000	1/42.000	1/42.000

Uitleg: 5,5% discontovoet, W+-scenario, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), technische levensduur van 75 jaar en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. **rood** = einde technische levensduur, maar meer dan minimale verhoging. **blauw**= einde technische levensduur met minimale verhoging.

In bovenstaande tabel is voor een aantal dijkringen het te verwachten patroon te zien: bij een lagere economische groei kunnen de toetskansen hoger worden en vice versa. Soms zijn er aanmerkelijk verschillen, bijvoorbeeld voor dijkringdeel Vollenhove (RC 1:600 en bij GE 1:5.000).

Uit de tabel blijkt ook dat voor het overgrote deel van de dijkringdelen er geen (merkbaar) verschil in toetskansen is door een ander WLO-scenario. Dat geldt voor vrijwel alle

³⁵ De groeipercentages voor het RC- en GE-scenario zijn gebaseerd op de periode 2020-2040. Het groeipercentage voor het TM-scenario is gebaseerd op de periode 2000-2040 in verband met consistentie met de MKBA WV21.

dijkringdelen waarvan de eerstkomende dijkversterking na 2050 wordt bepaald door de eindige technische levensduur. Omdat daar het einde van de technische levensduur bepalend is, heeft een andere discontovoet geen of amper effect. Maar ook voor enkele 'reguliere' dijkringen is dat het geval, bijvoorbeeld Oost-Veluwe.

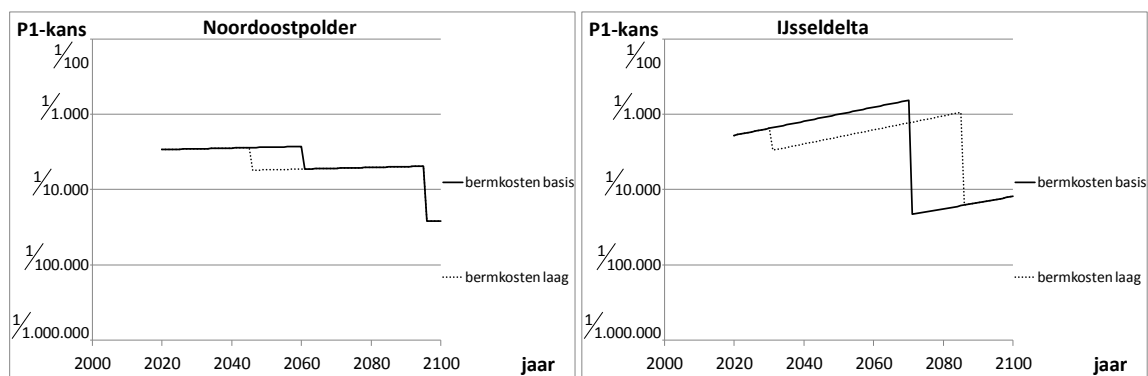
Een snellere reparatietijd van de Afsluitdijk en de Houtribdijk (nul of drie maanden i.p.v. zes maanden) heeft een zeer beperkt effect op de P1-toetskansen bij 'pompen', hoewel een effect op de totale overstromingskansen aanwezig kan zijn. Bij pompen wordt het optimale investeringspatroon van de dijken hierdoor dus amper beïnvloed. Ook bij een zeer snelle reparatietijd van de Afsluitdijk is de invloed van systeemwerking nog steeds merkbaar. Sommige dijkringen lopen namelijk extra overstromingsrisico *tijdens* het falen van de Afsluitdijk.

5.4 Bermkosten

De economisch optimale beschermingsniveaus en bijbehorende investeringspatronen zijn bepaald op basis van een zeer globale schatting van de kosten van de aanleg van een 'piping-berm'. Bewust staat 'piping-berm' tussen haakjes omdat het om een maatregel gaat die 'piping en wegschuiven' van dijken voorkomt. Dit kan het verlengen van een berm zijn, maar ook andere technische oplossingen als een damwand zijn mogelijk, zie de Grave en Baarse (2011) voor nadere informatie. Welke kosten hiermee echt gemoeid zijn, dient nader onderzocht te worden. Wel is het interval bekend waarbinnen deze 'echte kosten' per dijkkringdeel zich bevinden. De standaard gehanteerde schatting van de bermkosten bevindt zich precies in het midden van de bandbreedte (zie laatste kolom van tabel 3.2).

In deze gevoeligheidsanalyse laten we zien op welke wijze het optimale investeringspatroon verandert, indien we uitgaan van de minimale bermkosten (zie 3de kolom van tabel 3.2). Onderstaande figuur laat voor de dijkkringdelen Noordoostpolder en IJsseldelta zien, dat bij lagere kosten voor de aanleg van (alleen!) de berm het economisch optimaal is om deze berm dan ook eerder aan te leggen.

Figuur 5.1 Overstromingskansen bij optimale investeringspatronen bij 'standaard/basis' bermkosten en 'minimale/lage' bermkosten bij 'pompen'



Uitleg: bij W+-scenario, Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk, 5,5% discontovoet.

Onderstaande tabel geeft per dijkkringdeel aan in welk jaar het dijkkringdeel voor het eerst dient te worden versterkt en in welke mate dit dijkkringdeel moet worden versterkt. Deze informatie wordt zowel gegeven voor de 'standaard gemiddelde bermkosten' als de 'minimale bermkosten'. Bij vier dijkkringdelen (Noordoostpolder, IJsseldelta, Mastenbroek en Eempolder) leiden de - veelal flink lagere- bermkosten tot het substantieel eerder aanleggen van de 'piping-berm'. Voor de andere dijkringdelen heeft het geen of een beperkt effect. Een beperkt effect is zichtbaar bij Salland en Flevoland-Zuidwest.

Tabel 5.6 Eerste investeringsjaar en mate van veiligheidsverbetering bij standaard en minimale bermkosten voor alle dijkkringdelen bij 'pompen' en W+-scenario

Dijkkring(deel)	Standaard bermkosten		Minimale bermkosten	
	Jaar 1ste investering	Veiligheidsverbetering (factor) (a)	Jaar 1ste investering	Veiligheidsverbetering (factor) (a)
B-keringen				
Afsluitdijk	2051	1	2051	1
Houtribdijk	2096	5	2096	5
IJsselmeer				
Zuid-West Friesland	2096	2	2096	2
Noordoostpolder	2061*	2	2046*	2
Flevoland-Noordoost	2066	5	2066	5
West-Friesland (NH)	2096	4	2096	4
Wieringen IJsselmeer	2096	4	2096	4
IJssel- en Vechtdelta				
IJsseldelta	2071	30	2031*	2
Mastenbroek	2041*	2	2021*	2
Vollenhove	2021*	5	2021*	5
Salland	2026*	2,5	2021*	2,5
Oost Veluwe	2021*	5	2021*	5
Markermeer				
Flevoland-Zuidwest	2026*	2	2021*	2
West-Friesland (NH)	2096	14	2096	14
Noord-Holland-Waterland	2096	1	2096	1
Marken	2096	3	2096	3
Gooi en Vechtstreek	2096	5	2096	5
Eempolder	2096	17	2061*	2
Gelderse Vallei-Meren	2096	5	2096	5

Uitleg: * = versterking betreft enkel aanleg van 'pipingberm'. a = 'overstromingskans net voor versterking in weergegeven jaar' gedeeld door 'overstromingskans net na versterking in weergegeven jaar'. Deze factoren gelden bij benadering voor zowel de P1-kansen als de Ptotaal-kansen. Weergegeven factoren zijn berekend op basis van Ptotaal. Bij aanleg Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk en 5,5% discontovoet.

6 Conclusies

Deze studie rapporteert economisch optimale beschermingsniveaus tegen overstromen voor het IJsselmeergebied. De beschouwde dijken zijn de Afsluitdijk, de Houtribdijk en de dijkkringdelen rond het IJsselmeer, de (monding van de) IJssel- en Vechtdelta en het Markermeer. Tevens wordt ingegaan op de vraag welke dijkversterkingen wanneer nodig zijn en welke investeringsbudgetten daarbij horen.

Naast de berekende optimale beschermingsniveaus adviseren wij om bij de nadere uitwerking van deze resultaten ook goed rekenschap te geven van de optimale investeringspatronen. Deze patronen geven aan *wanneer* elk dijkkringdeel moet worden versterkt en *in welke mate*. Deze patronen staan in dit rapport in grafiekvorm weergegeven tot het jaar 2100. De tabellen met 'toetskansen' en de grafieken met optimale investeringspatronen staan weergegeven in hoofdstuk 4.

Deze studie laat de grote veiligheidsbaten zien van het 'wegpompen' van IJsselmeerwater naar de Waddenzee ten opzichte van het blijven 'spuien onder vrij verval'. Onveiligheid in het IJsselmeergebied ontstaat door harde stormen en/of een hoog meerpeil voor het IJsselmeer dan wel het Markermeer. Doordat met 'pompen' de meerpeilen veel beter beheerst (lees: lager en met minder fluctuaties) worden dan met 'spuien', ontstaat een substantieel veiliger situatie.

6.1 Afsluitdijk en Houtribdijk

De primaire reden voor deze studie was het bepalen van de economisch optimale overstromingskans voor de Afsluitdijk. Voor de variant 'pompen' komen we tot een economisch optimale toetskans van 1:9.400 bij het W+-klimaatscenario en het sociaal-economische TM-scenario. Voor de variant 'meestijgen/spuien' vinden we een toetskans van 1:2.500. De huidige wettelijke norm van de Afsluitdijk is 1:10.000 (bij het spuien van IJsselmeerwater onder vrij verval naar de Waddenzee).

De kleinere toetskans bij pompen dan bij spuien is logisch. Bij het meestijgen van het IJsselmeerpeil met de zee moeten ook alle omliggende dijken rond het IJsselmeer worden versterkt en zal het overstromen van de Afsluitdijk zelf minder gevaar opleveren. Bij pompen blijft het IJsselmeerpeil (en de dijken eromheen) lager en heeft het overstromen van de Afsluitdijk ernstiger consequenties en daarom wordt hier een kleinere toetskans gevonden.

Voor de Houtribdijk wordt een economisch optimale toetskans gevonden bij 'meestijgen/spuien' van 1:200. Bij scenario 'pompen' wordt een economische optimale toetskans gevonden van 1:60. De huidige wettelijke norm voor de Houtribdijk is veel kleiner, namelijk 1:10.000.

6.2 Toetskansen bij ‘pompen’ (capaciteit: 2.000 m³/s) en W+-scenario

Dijkringdelen (a-keringen) rond IJsselmeer, IJssel- en Vechtdelta en Markermeer

De economische optimale toetskansen voor overstromen van de dijkringdelen in het ‘basisscenario’ staan weergegeven in onderstaande tabel. De onderstaande toetskansen zijn bepaald onder de aanname dat er *geen* eindige technische levensduur is van dijken en/of kunstwerken waardoor de dijkringdelen verplicht moeten worden versterkt. De toetskansen hebben betrekking op de situatie dat de overstromingskans zo groot wordt dat het *economisch* rendabel is om de dijken te versterken om de overstromingskans te verkleinen.

Met toetskans bedoelen we de overstromingskans die elk dijkringdeel vanuit economisch perspectief maximaal moet hebben in het jaar 2050. Indien een dijkringdeel dus een overstromingskans heeft die groter is dan deze toetskans, dan dient het dijkringdeel versterkt te worden. Indien we deze toetskans uitdrukken in de P1-overstromingskans noemen we die de P1-toetskans. De P1-overstromingskans betreft de kans op overstromen van een dijkringdeel onder de veronderstelling dat de Afsluitdijk en de Houtribdijk oneindig sterk zijn. Indien we deze toetskans uitdrukken in de totale overstromingskans noemen we deze kans de P_{tot}-toetskans.

De toename van overstromingskansen ten opzichte van de P1-kans ontstaat als gevolg van het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk. Er zijn zes additionele overstromingskansen geïdentificeerd (P2 t/m P7 genaamd). De som van de zeven overstromingskansen (P1 t/m P7) bepaalt de totale overstromingskans van een dijkringdeel. Voor dijkringen rond het IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta zijn alleen de eerste drie kansen relevant: de totale overstromingskans wordt bepaald door de som van P1 tot en met P3. De totale overstromingskans voor dijkringen rond het Markermeer wordt bepaald door de som van alle zeven kansen (P1 t/m P7).

Tabel 6.1 Toetskansen volgens huidige wettelijke norm, de MKBA WV21 (2e ref.) en deze studie op basis van totale overstromingskans (Ptot-kans) en P1-overstromingskans (P1-kans) bij 'pompen' en oneindige levensduur

Dijkringdelen	Wettelijke norm (a)	WV21-2e ref.	Ptot-kans	P1-kans
IJsselmeer				
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	1/1.300	1/17.000
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	1/1.600	1/2.800
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	1/3.000	1/5.200
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	1/15.000	1/87.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	1/42.000	1/190.000
IJssel- en Vechtdelta				
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	1/700	1/900
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	1/1.000	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	1/3.700	1/4.200
Salland	1/1.250	1/2.900	1/2.000	1/2.200
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	1/500	1/500
Markermeer				
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	1/12.000	1/12.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	1/27.000	1/36.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	1/11.000	1/12.000
Marken	1/1.250	1/400	1/500	1/600
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	1/2.700	1/2.700
Eempolder	1/1.250	1/1.100	1/1.800	1/1.900
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	1/2.100	1/2.100

Uitleg: het basis scenario betreft een 5,5% discountvoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 in 2020), W+-scenario en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk.
(a) De wettelijke norm heeft - zoals in dit rapport verondersteld - betrekking op de overschrijdingskans. De echte overstromingskans (lees: de kans op het overstromen van het achterland) kan hiervan aanmerkelijk afwijken.

Bovenstaande tabel gaat uit van het wegpompen van het IJsselmeerwater met een pomp van 2.000 m³/s. Hierdoor wordt het zodanig veilig dat vele dijkringdelen de komende 75 jaar economisch gezien niet hoeven te worden versterkt. Dit geldt voor alle dijkringdelen rond het Markermeer, behalve Flevoland-Zuidwest en de dijkringdelen Zuid-West Friesland, West-Friesland (NH, noordelijk) en Wieringen IJsselmeer die gelegen zijn rond het IJsselmeer. Deze conclusie is gebaseerd op de aanname dat de P1-overschrijdingskans van een dijkringdeel als geheel in 2015 voldoet aan de wettelijke norm.

Uit de tabel is op te maken dat zowel de P1-toetskans als de Ptot-toetskans voor ongeveer de helft van alle dijkringdelen in dezelfde orde van grootte liggen als zowel de huidige wettelijke normgetallen als de resultaten uit de MKBA WV21 (2e ref). Dit geldt bijvoorbeeld voor de Noordoostpolder, Flevoland-Noordoost en bijna alle dijkringdelen in de IJssel- en Vechtdelta met als uitzondering dijkringdeel Vollenhove. In deze gevallen hebben zowel de pompen als het mogelijk falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk een zeer beperkt effect op het economisch optimale beschermingsniveau. De toetskans voor Vollenhove bij het W+-klimaatscenario wordt verstoord door de - enigszins toevallige - keuze van het jaar 2050. De toetskans voor Vollenhove voor bijvoorbeeld het jaar 2045 bij het W+-scenario betreft 1:1.000 (zowel Ptot- als P1-kansdefinities). Deze 1:1.000 kans lijkt ons de meest logische keuze voor de toetskans voor dijkringdeel Vollenhove.

Voor de andere helft van de dijkringdelen worden wel aanzienlijk andere toetskansen gevonden. Op basis van de tabel kan worden geconstateerd dat voor dijkringdelen rond het Markermeer veelal aanzienlijk kleinere toetskansen worden gevonden dan de huidige wettelijke normen. Deze kleinere toetskansen zijn vooral het gevolg van de installatie van de pompen in de Houtribdijk en de Afsluitdijk. Omdat de totale overstromingskans (P_{tot}-kans) vrijwel even groot is als de P1-overstromingskans (P1-kans) is de conclusie gerechtvaardigd dat de mogelijkheid van het falen van de Afsluitdijk en/of de Houtribdijk voor deze dijkringen vrijwel niet van belang is.

Voor de dijkringdelen Zuid-West Friesland, West-Friesland (NH, noordelijk) en Wieringen IJsselmeer zorgt de faalkans van de Afsluitdijk wel voor een aanzienlijke toename van de totale overstromingskans. Dit komt in de tabel tot uitdrukking in de aanzienlijk grotere P_{tot}-kans in vergelijking met de P1-kans. De economische optimale toetskansen (in P1-definitie) voor deze dijkringdelen wijken dan ook aanzienlijk af van de huidige wettelijke normgetallen en de MKBA WV21

Bij het interpreteren van de uitkomsten is het van belang om te beseffen dat de overstromingskans van een dijkringdeel als geheel niet een-op-een doorvertaalt naar de overstromingskans per locatie (lees: traject of vak) op dat dijkringdeel. Indien elke locatie op een dijkringdeel onder identieke omstandigheden faalt, dan kan de overstromingskans per locatie gelijk worden gesteld aan de overstromingskans per dijkringdeel. Indien er echter bijvoorbeeld twee locaties zijn per dijkringdeel die elk falen onder compleet verschillende omstandigheden, dan dient elke locatie een overstromingskans te krijgen die de helft is van de overstromingskans van het gehele dijkringdeel. Tabel 2.1 geeft een overzicht hoeveel 'onafhankelijke' locaties per dijkringdeel zijn verondersteld. Om de lezer mee te nemen in deze - mogelijk op het eerste gezicht verwarrende - omrekening, geven wij onderstaand enkele voorbeelden.

IJsselmeer

- Flevoland-Noordoost. Hier wordt een P1-toetskans voor het dijkringdeel als geheel gevonden van 1:5.200 per jaar (de huidige wettelijke norm is 1:4.000). Doordat twee locaties op dit dijkringdeel zijn onderscheiden (met verschillende faaloorzaken), ligt de toetskans per locatie op 1:10.400 (=2×5.200).
- Voor de Noordoostpolder ligt de P1-toetskans van 1:2.800 per jaar voor het gehele dijkringdeel onder de wettelijke norm van 1:4.000. Doordat ook hier (twee) verschillende faaloorzaken zijn, ligt de kans per locatie op 1:5.600 (= 2 × 2.800).

IJssel- en Vechtdelta

- Vollenhoven. Hier wordt een P1-toetskans voor de gehele dijkkring gevonden van 1:4.200 (wettelijke norm 1:2.000). Doordat ook hier verschillende faaloorzaken zijn voor de twee locaties, is de toetskans per locatie 1:8.400.

In gevoeligheidsanalyses is een bandbreedte rond de gerapporteerde toetskansen gevonden van zo'n +/- 50%. Deze bandbreedte lijkt op het eerste gezicht groot, maar beseft moet worden dat toetskansen bij gebruik in de praktijk veelal worden afgerond op een 'mooi rond' getal. Een stijging van 50% betekent concreet bijvoorbeeld een stijging van 1:2.000 naar 1:3.000. Afronding van beide naar 1:2.500 is niet onlogisch gezien de onzekerheden waarmee de inputdata (met name overstromingskansen) omgeven zijn.

De P1-kansen zijn gebaseerd op dezelfde kansdefinitie als de huidige wettelijke normen en de MKBA WV21-resultaten. Deze P1-kansen zijn waarschijnlijk praktisch het meest bruikbaar voor het 'toetsen' van dijken. Voor burgers gaat het uiteindelijk uiteraard om de totale overstromingskans: dat is de kans dat het gebied waarin ze wonen onder water komt te staan.

6.3 Toetskansen bij 'meestijgen/spuien' en het W+-scenario

Indien wordt uitgegaan van het scenario 'meestijgen/spuien' van het IJsselmeer, dan leidt dit in veel gevallen tot fors andere optimale overstromingskansen dan bij 'pompen'. Ook in de gevallen dat min of meer identieke optimale overstromingskansen worden gevonden, verschilt het optimale investeringspatroon per dijkkringdeel veelal flink.

Bij 'meestijgen/spuien' worden de toetskansen van a-keringen in het W+-scenario bepaald door economisch optimale versterkingen. Het eind van de technische levensduur speelt geen rol meer bij de timing van dijkversterkingen. Strengere toetskansen dan de huidige wettelijke norm worden gevonden bij:

- **IJsselmeer:** Flevoland-Noordoost (1:11.000 voor gehele dijkkringdeel en 1:22.000 per locatie), West-Friesland (1:9.200 resp. 1:18.000) en Wieringen (vanuit IJsselmeer, 1:5.600)
- **IJssel- en Vechtdelta:** Vollenhove (1:2.400 resp. 1:4.800) en Salland (1:3.300).
- **Markermeer:** Flevoland-Zuidwest (1:21.000), West-Friesland (1:19.000), Noord-Holland-Waterland (1:860.000) en Marken (1:2.600.000)

Bij 'meestijgen/spuien' krijgen meerdere dijkkringdelen een grotere toetskans dan de huidige wettelijke norm.

Net als bij 'pompen' wordt het optimale investeringspatroon van de Afsluitdijk en de Houtribdijk bepaald door technische randvoorwaarden (einde levensduur).

6.4 Korte termijn: pompen en/of spuien, ‘overveiligheid’, ‘piping-berm’ en budget

Bij het in de praktijk realiseren van - optimaal - waterveiligheidsbeleid staat de vraag centraal of men uitgaat van een toekomst waarin het IJsselmeerwater wordt weggepompt dan wel (primair) wordt gespuid. En - als er wordt gepompt - welke pompcapaciteit dan beschikbaar is.

In de praktijk gaat het om de beslissing of dijken moeten worden versterkt en, zo ja, in welke mate. De voorliggende analyse laat zien dat een grote pomp (van 2.000 m³/s) substantiële veiligheidsbaten heeft, waardoor dijken niet of pas veel later opgehoogd hoeven worden in vergelijking met doorgaan op de huidige weg van spuien onder vrij verval.

Uitgaande van recente berichtgeving³⁶ lijkt de kans aanzienlijk dat tot het jaar 2050 een pompcapaciteit van 554 m³/s (vanaf ca. 2028³⁷) beschikbaar is bij Den Oever. Daarnaast is er nog spuicapaciteit bij Den Oever van 396 m³/s plus de huidige spuisluis bij Kornwerderzand. In 2050 moeten - volgens de huidige inzichten - alle pompen en spuisluizen in de Afsluitdijk worden vervangen vanwege het einde van de technische levensduur.

De - nog open - vragen zijn:

- Hoe verhoudt deze verwachte ‘toekomstige situatie’ zich tot de doorgerekende varianten en de huidige situatie?
- En, welke implicaties heeft dit voor de geplande dijkversterkingen/verhogingen in de komende decennia?

Het lijkt ons beslist de moeite waard om de overstromingskansen te bepalen op basis van de bovengenoemde verwachte situatie. Dit vereist additionele hydraulische berekeningen waarna die data moet worden omgezet in overstromingskansen. Op basis daarvan kan het optimale investeringspatroon worden bepaald.

Het is duidelijk dat de verwachte toekomstige situatie met een pomp van zo'n 550 m³/s tot 2050 tussen de beschouwde varianten pompen (met 2.000 m³/s) en (alleen) spuien ligt.

Eenzijds lijkt het niet uitgesloten dat als de pomp van 550 m³/s reeds voortijdig (i.e. ruim voordat een aangekondigde grote rivieraanvoer in het IJsselmeer belandt) wordt aangezet, er mogelijk een vergelijkbare veiligheid kan worden gecreëerd als bij een pomp van 2.000 m³/s. Zeker indien ook de pomp bij IJmuiden (ca. 260 m³/s op basis van een onofficiële internetbron) meewerkt. Als dit zo is, dan zijn de resultaten van het gepresenteerde pomp-

³⁶Zie Deltaprogramma 2013 (p.13), RWS-nieuwsbrief over het project Toekomst Afsluitdijk van oktober 2012 en RWS-DPIJ (2012) .

³⁷ vanaf ca. 2015 bedraagt de pompcapaciteit 370 m³/s. In 2028 wordt dan de pompcapaciteit uitgebreid ten koste van de spuicapaciteit.

scenario geldig en kan op basis daarvan worden afgeleid welke dijkversterkingen/verhogingen wel en niet opportuun zijn.

Anderzijds is een pomp van 550 m³/s natuurlijk veel kleiner dan een pomp van 2.000 m³/s. Hoewel naast de pomp ook nog spuicapaciteit beschikbaar is (en de pomp bij IJmuiden), is het de vraag in welke mate hiermee het (jaar)gemiddelde van 550 m³/s aan wateraanvoer kan worden beheerd, met pieken op dit moment tot zo'n 2.400 m³/s (kans 1:1.250 per jaar, zie Grevers en Zwaneveld, 2011, p. 34-35).

Mocht de genoemde 'toekomstige situatie' substantieel onveiliger zijn dan de situatie met een pomp van 2.000 m³/s, dan is het de vraag welke aanpak in dat geval nodig is. Opties zijn (i) de dijken eerder te versterken, (ii) de dijken toch te versterken conform het pomp-scenario en dan dus tijdelijk minder veiligheid voor lief te nemen of (iii) op korte termijn te streven naar een grotere pompcapaciteit opdat toch een vergelijkbare veiligheid wordt bereikt als bij de pomp van 2.000 m³/s.

Daarbij speelt de vraag wat de faalkansen zijn van zowel de pompen als de spuisluizen zelf. Voor beide geldt dat ze bestaan uit meerdere min of meer afzonderlijke onderdelen. Een pomp van 2.000 m³/s is een rij van vele pompen die naast elkaar staan opgesteld, onafhankelijk van elkaar kunnen worden aangezet en gezamenlijk een maximale capaciteit hebben van 2.000 m³/s. Voor spuisluizen geldt iets soortgelijks. In onze berekeningen wordt aangenomen dat ze alleen kunnen falen door hydraulische belasting en niet door andere faalmechanismen. Welke faalkansen spuisluizen en pompen hebben door technisch en menselijk falen en/of het wegvallen van de elektriciteit vraagt nader onderzoek.

Andere relevante zaken voor kortetermijnbesluitvorming zijn: de overstromingskansen bij 'aanvang', de kosten van de aanleg van een 'piping-berm', het bepalen van 'optimale investeringspatronen en waterveiligheidsnormen' gegeven een beperkt budget en de effecten van het opleggen van een politiek gewenste minimale veiligheid voor gebieden.

De weergegeven investeringspatronen geven aan wanneer en in welke mate de dijkringen moeten worden versterkt. Deze informatie is echter sterk afhankelijk van de veronderstelde overstromingskansen in 2020 (startsituatie). Deze kansen zijn weliswaar zo goed als mogelijk ingeschat, maar niet gebaseerd op onderzoek ter plekke. Doordat veel dijkringdelen vroeger bestand moesten zijn tegen (Zuider-)zeewater dan wel recent zijn versterkt, lijkt het plausibel dat sommige dijkringdelen in 2020 aanzienlijk veiliger zijn dan verondersteld. In jargon wordt dan gesproken van 'overveiligheid'. Omdat er ook dijken zijn afgekeurd in een van de laatste toetsrondes, kan er ook sprake zijn van een grotere overschrijdingskans dan de wettelijke norm ('onderveiligheid'). Wij adviseren onderzoek te doen naar de 'echte' overstromingskansen van dijken in de startsituatie en op basis daarvan opnieuw de optimale investeringspatronen te bepalen.

De voorliggende analyse laat zien dat de aanleg van (alleen) een 'piping-berm' in veel gevallen een effectieve en economisch verantwoorde investering is. De analyse laat ook zien dat - afhankelijk van de veronderstelde kosten van een dergelijke berm - in 4 van de 17 gevallen, deze 'piping-berm' substantieel eerder of later moet worden aangelegd. In deze

studie zijn twee varianten voor de kosten van deze berm doorgerekend. De huidige schatting van deze kosten kent nog een grote bandbreedte. Indien nadere informatie beschikbaar is over de (exacte) kosten van een piping-berm, is het verstandig om opnieuw de optimale investeringspatronen te bepalen, met name voor de vier bovengenoemde dijkkringdelen.

De voorliggende analyse naar optimale waterveiligheidsnormen gaat ook uit van een 'toereikend' budget voor alle economisch gewenste investeringen. De huidige budgettaire krapte bij de Rijksoverheid maakt het echter aannemelijk dat dit budget de komende decennia onvoldoende groot zal zijn. De interessante vraag die dan opkomt, is welke investeringen in waterveiligheid economisch optimaal zijn gegeven deze budgettaire randvoorwaarden. Een dergelijke analyse kan worden uitgevoerd met een (iets aangepast) Dique-Opt model.

De analyse in paragraaf 5.2 laat zien dat het opleggen van een 'minimale veiligheidsnorm' in afwijking van de economisch optimale veiligheidsnorm tot grote extra investeringskosten kan leiden. Hoewel het opleggen van een dergelijke politiek gewenst minimum goed te verdedigen³⁸ valt op basis van een 'eerlijke verdeling van veiligheid over Nederlandse burgers', toont onze berekening aan dat het beslist de moeite waard is om uit te rekenen wat een bepaald minimum veiligheid extra gaat kosten *voordat* daartoe besloten wordt. Hierbij past ook de opmerking dat in de meeste gevallen het economische welvaartsverlies van het tien jaar eerder of later investeren dan het 'echte' optimale moment in de meeste gevallen beperkt is.

De studie geeft ook aanleiding te bezien of het zinvol is voldoende materiaal klaar te leggen om 'bressen' in de Afsluitdijk en Houtribdijk snel te kunnen repareren. Sommige bressen kunnen mogelijk snel gedicht worden wat in die situaties grote veiligheidsbaten oplevert. Omdat de voorbereidingsmaatregelen mogelijk zeer goedkoop zijn ('klaarleggen grote stapel stenen en een shovel'), is het de moeite waard dit nader te bekijken.

6.5 Veiligheid Markermeer en Amsterdam

Een vergelijking van de overstromingskansen (in 2020) van de dijkkringdelen rond het Markermeer tussen de varianten pompen en meestijgen/spuien en in vergelijking met de huidige situatie laat zien, dat het waarschijnlijk mogelijk is om op korte termijn een aanzienlijke veiligheidswinst te realiseren in dit gebied door het beter beheersen van het peil van het Markermeer. Te meer omdat de overstromingskansen niet alleen bij 'pompen', maar ook bij 'meestijgen/spuien' substantieel kleiner zijn dan de huidige situatie. Hoewel de streefpeilen van het Markermeer onder beide varianten gelijk zijn, blijkt de veiligheid bij

³⁸ Zie bijvoorbeeld de bespreking van de 'verdelingseffecten' in de OEI-Leidraad. (Eijgenraam et al., 2000).

pompen aanmerkelijk groter. Dit wordt veroorzaakt door een beter peilbeheer³⁹ in het Markermeer in deze variant.

De berekende overstromingskansen zijn bij meestijgen in 2020 substantieel kleiner (lees: veiliger) dan de huidige situatie, omdat in 2020 een pomp van 100 m³/s in de Houtribdijk is verondersteld (in plaats van de huidige spuisluizen). Mogelijkheden om de veiligheid op korte termijn te verbeteren zijn de realisatie van de pomp van 100 m³/s, de inzet van de pomp in IJmuiden en/of het 'beter' gebruik maken van de aanwezige spuien (en evt. pompen) bij het beheersen van het Markermeerpeil.

Ook is het een vraag of de stad Amsterdam (gelegen in dijkkring 14, Centraal Holland) gevaar loopt door het overstromen van Markermeerdijken. Amsterdam loopt overigens ook gevaar voor overstromen vanuit IJmuiden en de Lek. Het gevaar vanuit het Markermeer lijkt te ontstaan doordat na het overstromen van dijkkring 44 (Gooi- en Vechtstreek) ook een primaire kering tussen dijkkring 44 en 14 kan overstromen. In deze studie is niet onderzocht in welke mate dit risico op kan treden. Wel blijkt uit de berekeningen dat de oplossing van dit (eventuele) probleem 'lokaal' kan worden aangepakt. Het heeft geen invloed op de economisch optimale beschermingsniveaus van andere dijkringen of b-keringen.

6.6 Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk: net aan welvaartsoptimaal

De analyse in dit rapport laat zien dat het uitvoeren van de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (= renoveren kunstwerken en aanleg overslagbestendige dijk) onder vier onderzochte scenario's welvaartsverhogend is, al is het (procentuele) verschil met de 'second best' oplossing niet groot. Deze 'second best' oplossing bestaat uit het verhogen en verbreden van het dijklichaam en nieuwbouw van de kunstwerken. Conform de Structuurvisie wordt de Afsluitdijk in 2020 op een veiligheid (overstromingskans) gebracht van 1/100.000 per jaar. Dit is dus de overstromingskans direct na aanleg van de dijk en wordt ook wel de ontwerpkans genoemd. Indien wordt uitgegaan van een verhoging/verbreding van het dijklichaam en nieuwbouw van de kunstwerken dan wordt een optimale (ontwerp)kans gevonden van 1/40.000.

Indien de door ons gehanteerde kostenramingen voor de overslagbestendige dijk en het renoveren van de kunstwerken in de praktijk aanmerkelijk hoger blijken uit te vallen, dan is een reguliere verhoging en nieuwbouw mogelijk beter.

³⁹ Wij vermoeden dat het beter peilbeheer bij 'pompen' wordt veroorzaakt door het feit dat de pompen in de Houtribdijk bij 'meestijgen/spuien' niet worden gebruikt indien het IJsselmeerpeil te hoog is. Een hoger IJsselmeerpeil vertaalt zich dan dus toch door in een hoger Markermeerpeil, ondanks de ambitie beide peilen 'los te koppelen'.

Welke optie voor de spuisluizen welvaartsoptimaal is, hangt mede af welke mate van pompcapaciteit optimaal is en welke veronderstellingen voor toekomstige ontwikkelingen worden gehanteerd. Zie KEA Afsluitdijk (Grevers en Zwaneveld, 2011, paragraaf 8.9, p. 129) voor een nadere beschouwing van dit punt.

In dit rapport is op basis van mondeling informatie van het ministerie van I&M verondersteld, dat de spuisluizen in Den Oever altijd versterkt moeten worden en dat alle andere onderdelen van de Afsluitdijk (dijklichaam, schut- en spuisluizen) een veiligheid hebben van 1:250 per jaar. Indien uit nadere technische inspectie blijkt dat sommige van deze onderdelen veel veiliger zijn, dan kan het verstandig zijn om de Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk gedeeltelijk uit te voeren.

Het antwoord op deze vraag hangt samen met de - eveneens niet onderzochte - vraag welke pompcapaciteit in de Afsluitdijk optimaal is en wanneer welke capaciteit beschikbaar moet zijn. Uit deze studie kan wel worden geconcludeerd dat een pomp van 2.000 m³/s in 2020 in ieder geval (ruim?) voldoende is om de veiligheid te waarborgen.

6.7 Betekenis en gebruik toetskansen

De weergegeven toetskansen hebben betrekking op de na te streven maximale overstromingskansen in 2050. De overstromingskansen onder de aanname dat alle voorliggende b-keringen oneindig sterk zijn, wordt de 'P1-kans' genoemd in dit rapport. Implementatie van een toetskans op basis van de P1-kansdefinitie lijkt ons in de praktijk het eenvoudigst. Dit omdat - voor zover wij weten- alle modellen en het hydraulische toetsinstrumentarium gebaseerd zijn op deze kansdefinitie. Om misverstanden te voorkomen is het belangrijk te beseffen, dat de waarde van deze P1-overstromingskans dient te worden bepaald op basis van een optimaal investeringspatroon dat rekening houdt met alle overstromingskansen (P1 t/m P7). Vervolgens kan de 'jaarlijkse of zesjaarlijkse' toetsing dan plaatsvinden op basis van de aldus gevonden P1-waarden omdat deze waarden een een-op-een relatie hebben met de benodigde dijkhoogte/sterkte. Voor een nadere bespreking van de betekenis en het gebruik van de toetskans wordt verwezen naar paragraaf 4.3.

6.8 Wetenschappelijke resultaten

Een belangrijke wetenschappelijke uitdaging van dit project was om een wiskundig-economisch model te ontwikkelen, waarin de afhankelijkheden tussen dijken adequaat gemodelleerd kunnen worden. En dit model te kunnen 'oplossen'. Dit is gelukt in de vorm van het Dique-Opt model. Door gebruik te maken van een andere wiskundige benadering dan in eerdere modellen (van Dantzig 1956, Eijgenraam, 2005 en Brekelmans et al., 2012), is vrijwel volledige flexibiliteit verkregen in de wijze waarop kosten van dijkversterkingen, overstromingskansen en schade bij overstromen gemodelleerd kunnen worden. Door de

gebruikte wiskundige benadering is het - tot op heden - ook altijd gelukt om de - wiskundig bewezen - economisch optimale oplossing (lees: investeringspatroon van alle dijken) te verkrijgen.

Door intensieve samenwerking tussen Deltares (Kramer en Beckers, 2012) en het CPB is het tevens gelukt om alle mogelijke faalkansen die samenhangen met het al dan niet falen van voorliggende b-keringen te identificeren, te modelleren en te berekenen met behulp van de huidige beschikbare hydraulische modellen. Dit heeft geresulteerd in zeven verschillende faalkansen, zes meer dan voorheen gebruikelijk (zie MKBA WV21, Kind, 2011; Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, Eijgenraam, 2005). Een gedetailleerde beschrijving van de statistische formules is beschikbaar over de manier waarop de zeven overstromingskansen zijn berekend.

Naast het ontwikkelde Dique-Opt model zijn tevens de eerder ontwikkelde modellen om economisch optimale investeringen in waterveiligheid te berekenen 'nagebouwd' op basis van de nieuwe wiskundige aanpak (zie Zwaneveld en Verweij, 2014). Het betreft de modellen voor Ruimte voor Rivieren (Eijgenraam, 2005 en 2006) en de MKBA WV21 (Brekelmans et al., 2012). Het belangrijkste voordeel van de nieuwe wiskundige aanpak is de veel grotere flexibiliteit in het modelleren van kosten van dijkversterkingen, overstromingskansen en schades. Daarbij kunnen vrij eenvoudig extra restricties⁴⁰ (randvoorwaarden) worden ingebouwd zoals maximale technische levensduur en maximaal te besteden (jaarlijks) budget. Ook de 'nagebouwde' modellen konden - tot op heden - altijd bewezen optimaal worden opgelost. Alle tests tot nu toe wijzen uit dat de 'nieuwe' modellen dezelfde uitkomst geven als de 'oorspronkelijke' modellen, indien identieke invoergegevens worden gebruikt. Dit geeft vertrouwen dat ook die 'oorspronkelijke' modellen vrijwel altijd de optimale oplossing vinden. Het model uit de MKBA WV21 wordt heuristisch opgelost hetgeen betekent dat weliswaar naar een zo goed mogelijke oplossing wordt gezocht, maar dat de gevonden oplossing niet noodzakelijk ook echt optimaal hoeft te zijn. Onze resultaten suggereren dat veelal dus wel degelijk de optimale oplossing wordt gevonden.

6.9 Vervolgonderzoek en data

De grote mate van flexibiliteit van de nieuwe wiskundige aanpak is onder andere gebruikt om de effecten van de aanleg van een 'piping-berm' herkenbaar te modelleren en te analyseren. In het kader van deze studie is een bandbreedte geïdentificeerd van de aanlegkosten van een dergelijke berm per dijkkringdeel. Tevens bleek bij een nadere beschouwing van de kostenfuncties zoals die gebruikt zijn in de MKBA WV21 en in deze studie, dat de - vooraf gekozen - exponentiële functionele vorm tot problemen kan leiden. Door deze vorm worden grote dijkverhogingen soms - onrealistisch - duur, waardoor het model dergelijke verhoging

⁴⁰ Mogelijk kunnen deze restricties ook in de eerder genoemde modellen worden ingebouwd.

niet zal kiezen. Indien een andere functionele vorm wordt gekozen of de kostenfuncties worden 'gefit' op basis van meer data-punten kan dit probleem worden vermeden. Gezien de waarschijnlijk beperkte inspanning en het feit dat deze kostenfuncties bij de verdere uitwerking van het Deltaprogramma vaker worden gebruikt, adviseren wij de kostenfuncties opnieuw te bepalen. Bij voorkeur wordt dan ook meer aandacht besteed aan de kosten van een tweede of derde versterking. De kostenfuncties zijn nu primair bepaald voor een 'eerste versterking' vanaf 'de huidige situatie'.

Tijdens de uitvoering van deze studie en de bouw van het Dique-Opt model zijn veel gegevens verzameld over overstromingskansen, kosten van allerlei dijk(ring)versterkingen en schades en zijn meerdere rekenregels ontwikkeld. Getracht is in dit rapport een helder beeld hiervan te geven. Vanwege de omvang van het rapport en tijdrestricties is het uiteraard niet mogelijk om alle relevante gegevens voor de zeventien dijkringdelen en de twee b-keringen in alle varianten en scenario's even goed weer te geven. Omdat deze data mogelijk nuttig zijn bij de verdere uitwerking van het Deltaprogramma, adviseren wij belanghebbenden contact op te nemen met ons indien er behoefte is aan nadere detail informatie.

Als vervolgonderzoek denken wij dan met name aan het ontwikkelen van een 'standaard boekhouding' om overstromingskansen (P1 t/m P3 voor dijkringen rond het IJsselmeer en IJssel- en Vechtdelta en P1 t/m P7 voor dijkringen rond het Markermeer) te berekenen. Daarnaast zou het verhelderend werken indien er een 'standaard' beschrijving komt van welke type oorzaken verantwoordelijk zijn voor het overstromen van een bepaald dijkringdeel en of verschillende locaties nu overstromen onder identieke, gedeeltelijk overlappende of juist volledig verschillende omstandigheden. Dit om op een heldere en inzichtelijke manier de overstromingskansen voor een dijkringdeel als geheel om te rekenen naar de benodigde overstromingskansen per locatie op dat dijkringdeel en vice versa. Deze studie laat zien dat voor de dijkringdelen aan het IJsselmeer en de IJssel- en Vechtdelta alle drie overstromingskansen (P1, P2 en P3) van belang zijn. Voor dijkringdelen aan het Markermeer zijn alleen P1, P5 en P7 substantieel van omvang. Het ontwikkelen van een standaard kansboekhouding wordt waarschijnlijk opgepakt in het kader van het project Wettelijk Toetsinstrumentarium 2017 (WTI 2017⁴¹).

Deze studie toont ook het belang aan van een goed begrip van het eind van de technische levensduur. Nadere beschouwing van dit onderwerp vanuit een economisch perspectief is nuttig. In deze studie is verondersteld dat na een bepaalde levensduur (veelal 75 jaar), de dijken (inclusief inliggende kunstwerken) niet meer functioneren en dienen te worden vernieuwd. Een andere wijze om het verouderen van dijken en kunstwerken te modelleren, betreft het laten oplopen van de faalkansen en onderhoudskosten. De benodigde informatie voor deze tweede wijze van modelleren was tijdens uitvoering van dit project niet aanwezig. Een vervolgonderzoek kan inzicht geven of de benodigde gegevens van deze wijze van

⁴¹Zie <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid-0/primaire/toetsen/wti2017-ontwikkeling/>

modelleren beschikbaar zijn. Ook kunnen dan de voor- en nadelen worden bepaald van deze wijze van modelleren ten opzichte van een vaste technische levensduur.

De vraag is ook welke actie economisch optimaal is, wanneer een dijkkringdeel echt technisch versleten is (grondige renovatie, nieuwbouw, niets doen?). Het antwoord op deze vraag zal waarschijnlijk per dijkkringdeel verschillen en zal per geval onderzocht moeten worden. Antwoorden op deze vragen kunnen van pas komen in het project VONK (Vervangingsopgave Natte Kunstwerken Rijkswaterstaat, Deltaprogramma 2013, bijlage H).

Onderzoek in het kader van Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2, 2011) toont aan dat de schade die ontstaat door het falen van een dijk sterk afhankelijk kan zijn van de exacte locatie (voor de kenners: dijktraject) waar de dijk doorbreekt. De schades verschillen soms meer dan een factor 20. De dijkringen 17 (IJsselmonde) en 36 (Land van Heusden/de Maaskant) zijn voorbeelden waar dit het geval is. In het kader van de MKBA WV21 (CPB, 2011, p.24) zijn dijkringen gevonden waarbij trajectafhankelijke schade meer dan een factor 100 scheelt. Het kan dus welvaartsverhogend zijn om de dijkkring juist op plaatsen waar veel schade ontstaat, extra te versterken. Of om het anders te zeggen: op die plaatsen te streven naar kleinere toetskansen.

Alle huidige wiskundig-economische modellen waarmee beschermingsniveaus tegen overstromen worden bepaald, gaan echter uit van een gelijke schade. Dit leidt tot een uniforme veiligheid voor een gehele dijkkring. Dit lijkt in het IJsselmeergebied een goede aanname. Uit informatie van Deltares en de Waterdienst blijkt dat de door ons onderzochte dijkkringdelen veelal 'badkuipen' zijn waarbij het weinig uitmaakt waar de bres ontstaat. Het bepalen van de toetskansen waarbij rekening wordt gehouden met trajectafhankelijke schades binnen een dijkkring lijkt in het onderzochte gebied niet relevant. Elders is dat waarschijnlijk wel het geval.

Tot slot is op hoofdlijnen een nieuwe aanpak uitgedacht voor het bepalen van de optimale investeringspatronen gegeven een onzekere toekomst. Dit idee is nog niet omgezet in een werkend model. Deze aanpak houdt in dat voor de komende jaren (zeg 20 of 30 jaar) één investeringsstrategie voor dijkversterkingen moet worden ontwikkeld, die - gegeven een kansverdeling van de toekomstige technische, economische en klimaatontwikkelingen - welvaartseconomisch optimaal is. Aan het eind van deze periode dient maximale flexibiliteit aanwezig te zijn om economisch optimaal de verdere dijkversterkingen te kunnen uitvoeren op basis van dan aanwezige kennis over de klimaatontwikkelingen (en economische groei en technische vooruitgang. Deze aanpak staat beschreven in Zwaneveld en Verweij (2014). Uitwerking van dit idee vereist onder andere een kansverdeling van de toekomstige klimaatontwikkelingen. Waarschijnlijk geeft een lopende CPB-studie (Aalbers en Broere, 2012) naar de kansverdeling van de temperatuurstijging en de zeespiegelstijging voor Nederland deze informatie.

Bovenstaande aanpak wijkt essentieel af van de aanpak zoals gehanteerd in dit rapport en eerdere rapporten naar optimale waterveiligheid (Eijgenraam, 2005 en MKBA WV21, Kind, 2011). Tot nu toe wordt het optimale investeringspatroon bepaald gegeven één specifiek

toekomstscenario (voor sociaal-economische en klimaat ontwikkelingen). Door middel van gevoeligheidsanalyses en het bestuderen van de optimale investeringspatronen bij verschillende toekomstscenario's kan overigens een redelijke inschatting worden verkregen van een 'robuuste' investeringsstrategie. De bovenstaande aanpak wijkt ook af van de 'robuuste optimalisatieaanpak' zoals voorgesteld door Brekelmans et al. (2011). Zij leiden namelijk één optimaal investeringspatroon af voor de komende 300 jaar gegeven een bepaalde kansverdeling van de klimaatontwikkelingen, het sociaal-economisch scenario en de discontovoet.

Nader onderzoek moet uitwijzen of onze nieuwe methode adequaat en op een praktisch te implementeren wijze omgaat met onzekerheid⁴² over de toekomstige ontwikkelingen (en onzekerheid over alle andere inputgegevens).

In dit rapport krijgt onzekerheid een plaats in de verschillende scenario's en gevoeligheidsanalyses die worden uitgewerkt. Vooral krijgt onzekerheid een plaats door het afleiden van een zogeheten 'toetskans' voor elk dijkkringdeel op basis van een optimaal investeringspatroon (bij één gegeven scenario). Tests geven aan dat in 95% van de beschouwde gevallen een dijkkringdeel op tijd wordt goedgekeurd dan wel afgekeurd, indien de P1-toetskans wordt gebaseerd op de 15-jaarkans in het W+-scenario (zie paragraaf 4.2.2.). Een toetskans op basis van de P1-overstromingskansdefinitie geeft dus waarschijnlijk een correct 'signaal', ook als de toekomstige ontwikkelingen afwijken van het veronderstelde scenario.

⁴² Lees: uitstel van dijkversterkingen totdat meer informatie beschikbaar is; dit wordt ook de optiewaarde (van uitstel) genoemd.

7 Referenties

Aalbers, R. en P. Broere, 2012, Kansverdelingen temperatuur en zeespiegelstijging tot 2100, Concept CPB Notitie.

Bos, F. en P. Zwaneveld, 2012, Een snelle kosten-effectiviteitsanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied, CPB Notitie 27 september 2012.

Bos, F., P. Zwaneveld en P. van Puijenbroek, 2012, Een snelle kosten-effectiviteitsanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied; Wat zijn de kosten en veiligheidsbaten van wel of niet meestijgen met de zeespiegel en extra zoetwaterbuffer?, CPB Achtergronddocument 27 september 2012.

Brekelmans, R., D. den Hertog, K. Roos en C. Eijgenraam, 2012, Safe Dike Heights At Minimal Costs: The nonhomogeneous Case, Operations Research Vol. 60, No. 6, November - December 2012, pp. 1342-1355.

de Bruijn K. en M. van der Doef, 2011, Gevolgen van overstromingen - Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid in de 21e eeuw, Deltares-rapport 1204144-004, maart 2011.

CPB, 2011, Second opinion Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw (KBA WV21), CPB Notitie, 31 augustus 2011, Den Haag, Nederland.

CPB, MNP & RPB, 2006, *Welvaart en Leefomgeving: Een scenariostudie voor Nederland in 2040*, Den Haag/Bilthoven: Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau.

Dantzig, D. van, 1956, Economic decision problems for flood prevention, *Econometrica* nr. 24, pp. 276-287.

Deltaprogramma 2013, 2012, Werk aan de Delta; De weg naar deltabeslissingen.

Duits, M.T., 2011, OptimaliseRing; Gebruikershandleiding van een numeriek rekenmodel voor de economische optimalisatie van veiligheidsniveaus van dijkringen, versie 2.3, april 2011, HKV Lijn in Water.

Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang en A.C.P. Verster, 2000, *Evaluatie van infrastructuurprojecten: Leidraad voor kosten-batenanalyse*, Deel 1: Hoofdrapport, Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur, CPB en NEI.

Eijgenraam, C.J.J. , 2005, Veiligheid tegen overstromen. Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1, CPB Document 8.

Eijgenraam, C.J.J., 2006, Optimal safety standards for dike-ring areas; CPB Discussion Paper 62, CPB, Den Haag, maart 2006.

Eijgenraam, C.J.J., 2009, Een algemeen toepasbare definitie voor de toetsnorm voor waterveiligheid, CPB Memorandum 217 (aangepast op 3 januari 2011).

Eijgenraam C., J. Kind, C. Bak, R. Brekelmans, M. Duits, D. den Hertog, K. Roos, P. Vermeer en W. Kuijken, 2013, Economically efficient standards to protect the Netherlands against flooding. Paper presented at the Franz Edelman Award 2013, Informs, USA

Grave, P. de en G. Baarse, 2011, Kosten van maatregelen; Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw, Deltares.

Grevers, W. en P. Zwaneveld, 2011, Een kosten-effectiviteitsanalyse naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk, CPB.

Huizinga, F. en B. Smid, 2004, *Vier vergezichten op Nederland: Productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040*, CPB Bijzondere publicatie, no. 55.

IVW/Waterbeheer, 2011, Derde toets primaire waterkeringen; Landelijke toets 2006-2011, Inspectie Verkeer en Waterstaat⁴³, November 2011.

Kind, J., 2011, Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw (MKBA WV21), Deltares.

Kramer, N en J. Beckers, 2012, Toelevering aan het CPB; Norm van de Afsluitdijk, Deltares.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu(min I&M), 2009, Het Nationaal Waterplan 2009-2015 .

Min I&M, 2013, Koersbepaling waterbeleid. Brief van de minister van Infrastructuur en Milieu aan de Tweede Kamer, kst-33400-J-19, 26 april 2013.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004, De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001-2006 (VTV).

PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2011, Een Delta in beweging; bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland.

RWS-DIJ, 2012, Nota Voorkeursbeslissing Pompen-Spuien; Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk;Besluit Pompen - Spuien, door Projectteam ESA Besluit Pompen-Spuien, definitief, 21 november 2012.

⁴³ http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/28070/webversie_derde_toets_primair_keringen.pdf

RWS-nieuwsbrief over project Toekomst Afsluitdijk, oktober 2012.

Tinbergen, J., 1954, De economische balans van het Deltaplan, bijlage bij het rapport van de Deltacommissie.

UK DfT, 2011, Transport appraisal and the treasury green book, Transport Analysis Guidance (TAG) unit 2.7.1, United Kingdom Department for Transport, www.dft.gov.uk/webtag, April 2011.

Verweij, G. en P. Zwaneveld, 2013, Aanvullende berekeningen voor het winterpeilbeheer van het IJsselmeer, CPB Notitie 19 juni 2013.

VNK2, 2011, Veiligheid Nederland in Kaart- Tussenresultaten VNK2, Uitgave van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, IPO & Unie van Waterschappen, maart 2011.

VNK2, 2012, Overschrijdingskansen en overstromingskansen; Veiligheid Nederland in Kaart. Uitgave van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, IPO & Unie van Waterschappen, juli 2012.

de Vries, I., G. Zwolsman, J. van Bakel en O. van Keeken, 2013, Consequenties verzilting na dijkdoorbraak Afsluitdijk, Deltares, KWR, De Bakelse Stroom en IMARES. Deltares-rapport 1207892, april 2013.

Zwaneveld, P., 2010, Globaal Plan van Aanpak KBA Norm Afsluitdijk, CPB Notitie 22 maart 2010.

Zwaneveld, P., 2011, Beschrijving Dique-Opt model, CPB Intern Memo.

Zwaneveld, P. en C.J.J. Eijgenraam, 2011, De btw in kosten-batenanalyses, CPB Notitie 27 juni 2011.

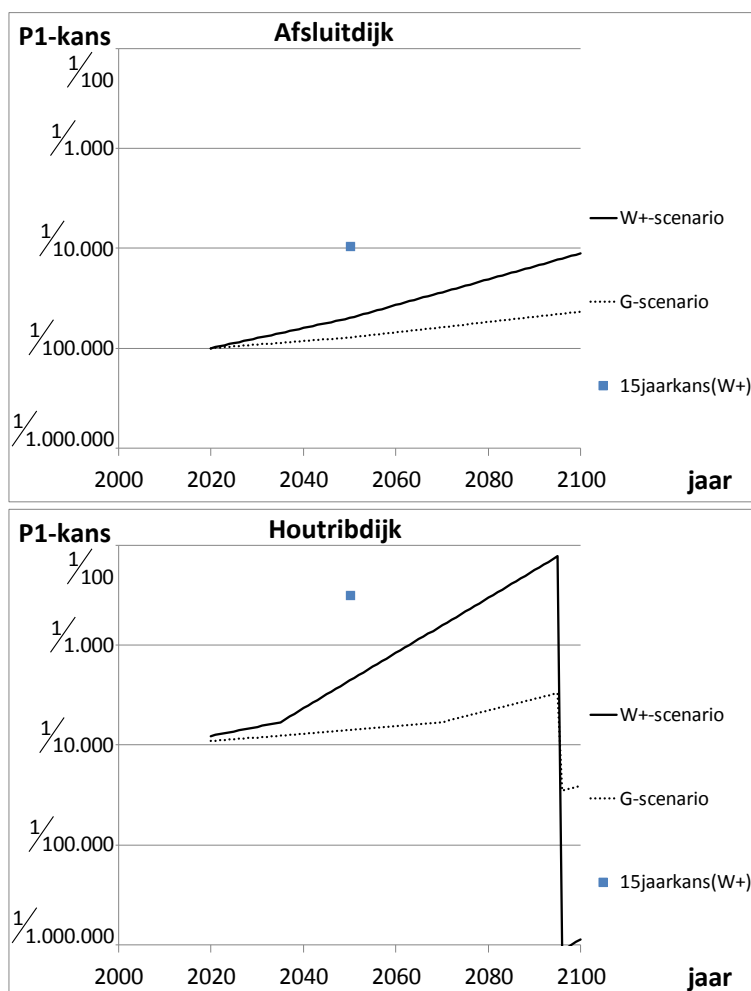
Zwaneveld, P. en G. Verweij, 2012, Kansmodel voor falen van een kering - definities en formules van zeven overstromingskansen, concept intern CPB memo.

Zwaneveld, P. en G. Verweij, 2014, Optimal balance of dike heights and remaining safety risks: an integer programming approach, Concept CPB Discussion paper.

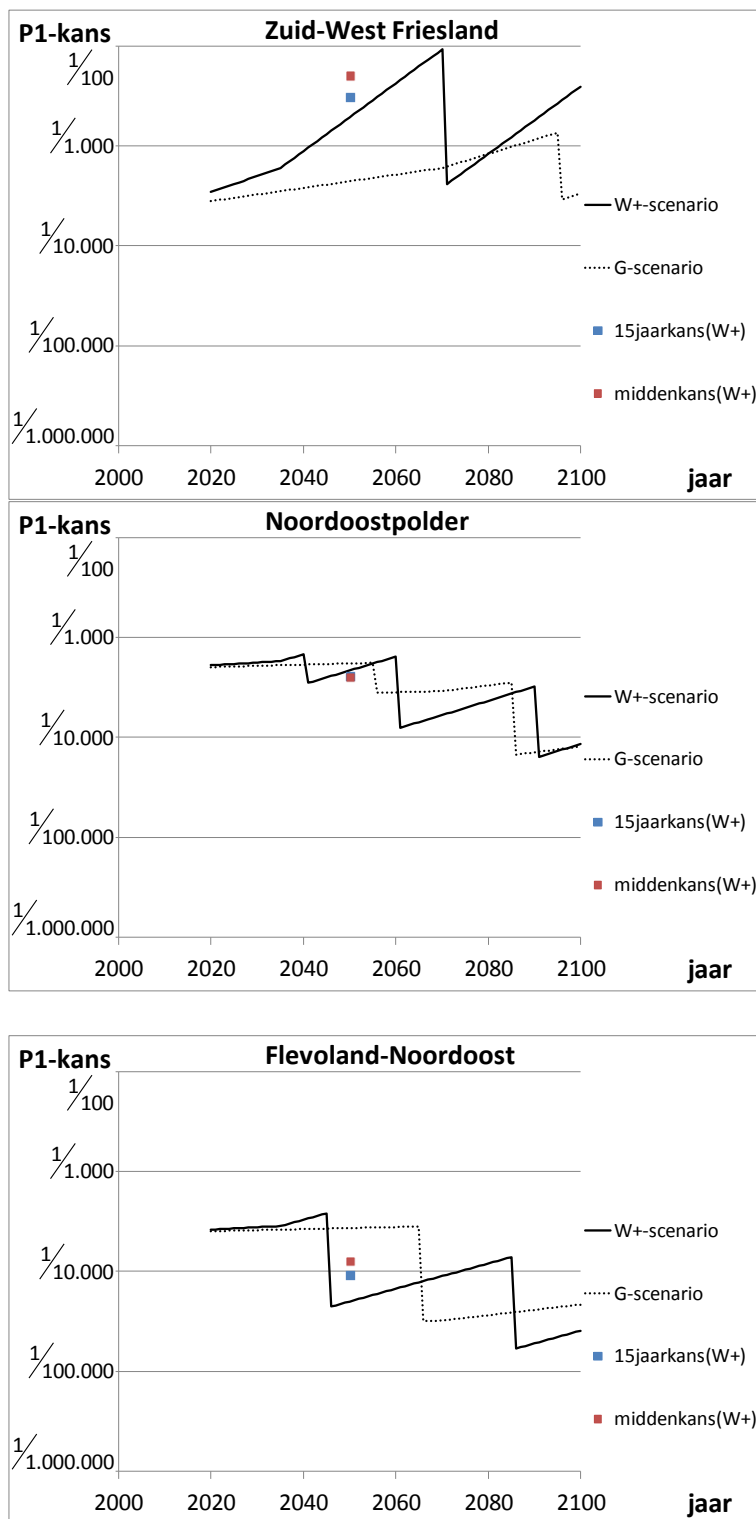
8 Bijlage A: optimale investeringspatronen bij meestijgen/spuien

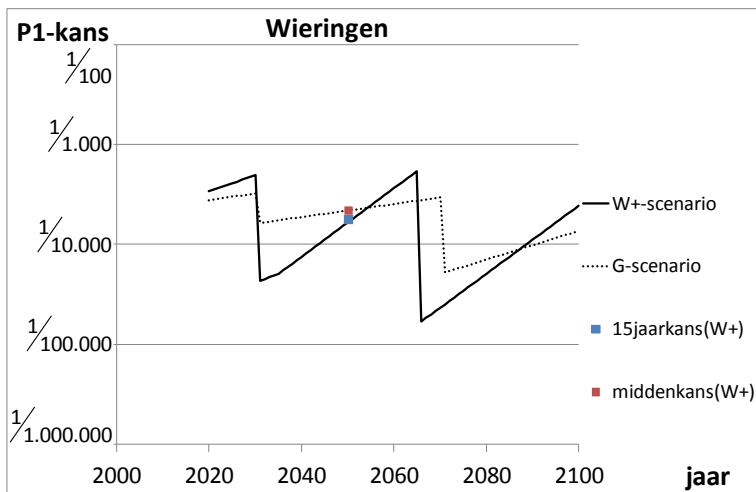
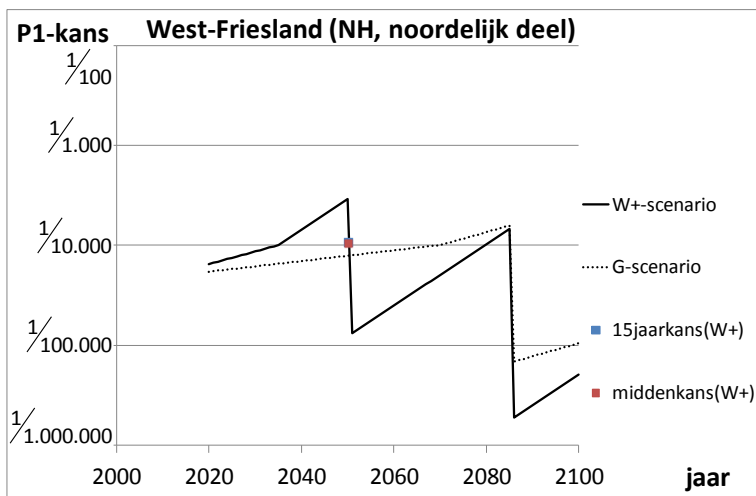
Vergelijkbaar met de overeenkomstige figuren voor de variant pompen uit de hoofdtekst worden onderstaand de overstromingskansen van de optimale investeringspatronen weergegeven bij de variant meestijgen/spuien.

Figuur 8.1 Overstromingskansen bij optimale investeringspatronen voor de Afsluitdijk en Houtribdijk bij 'meestijgen/spuien'

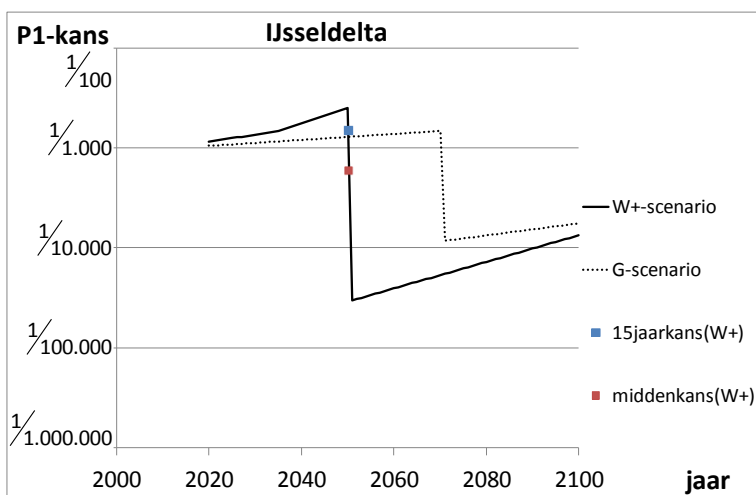


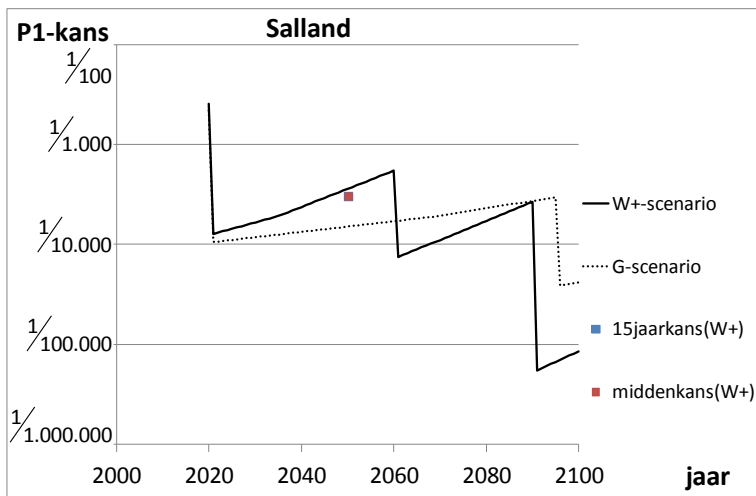
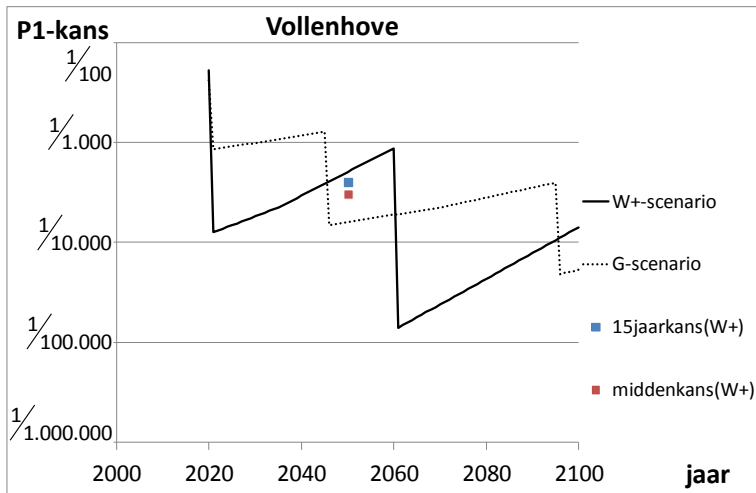
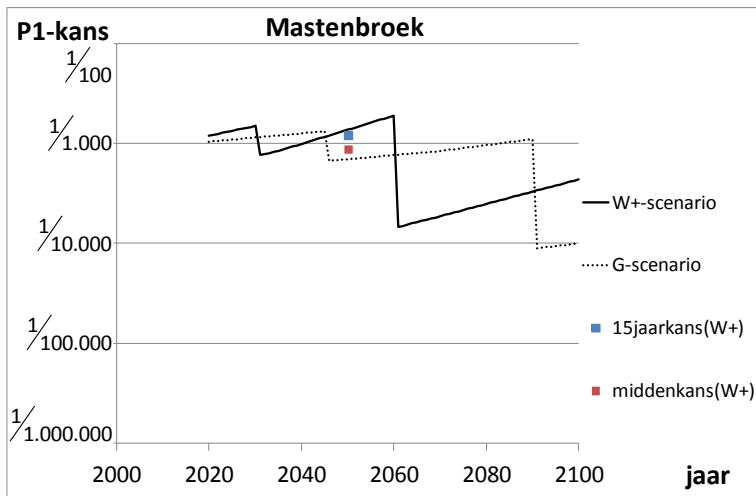
Figuur 8.2 Overstromingskansen bij optimale investeringspatronen rond het IJsselmeer bij 'meestijden/spuien'

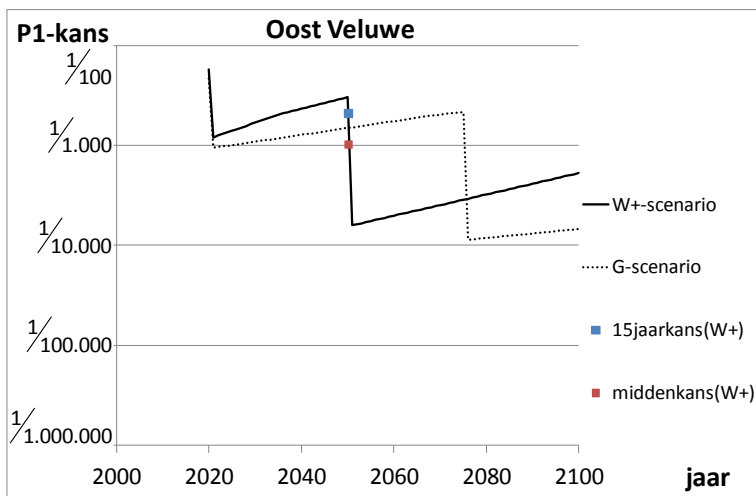




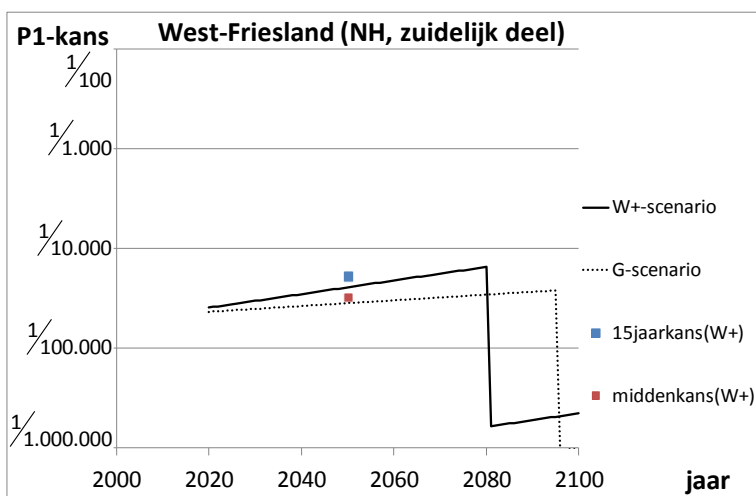
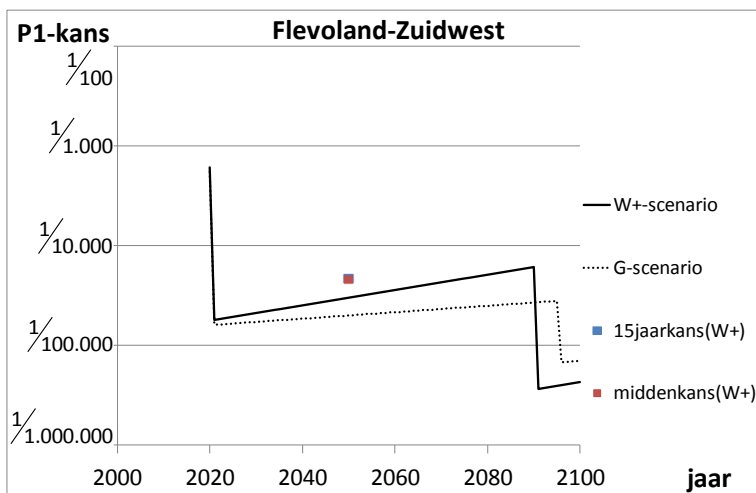
Figuur 8.3 Overstromingskansen bij optimale investeringspatronen rond de IJssel- en Vechtdelta bij 'meestijden/spuien'

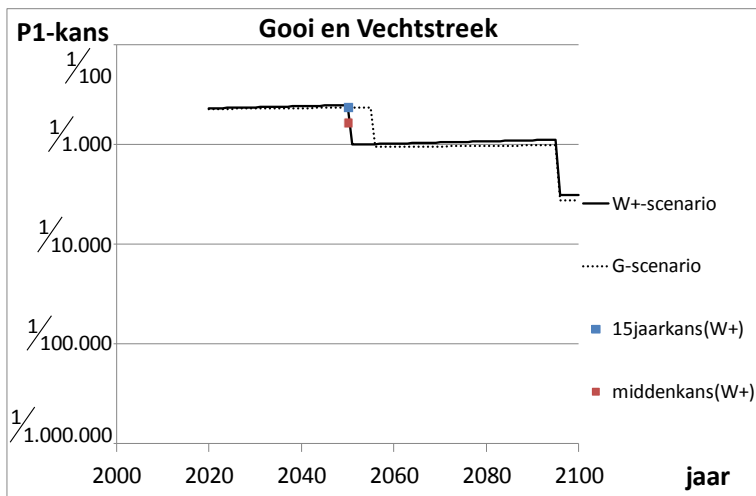
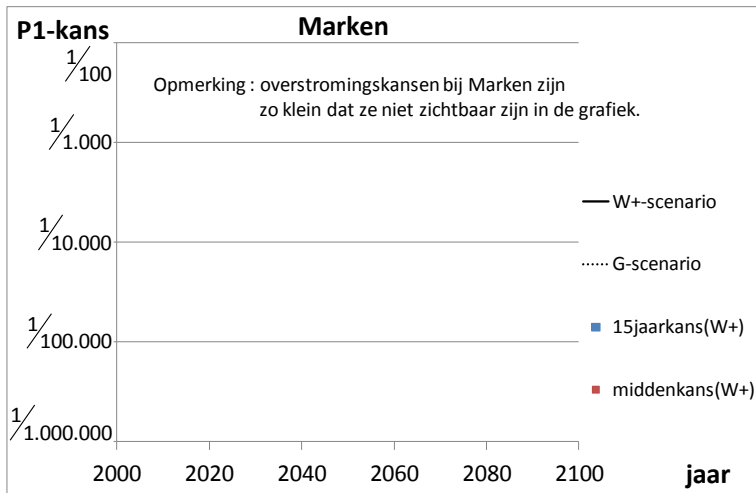
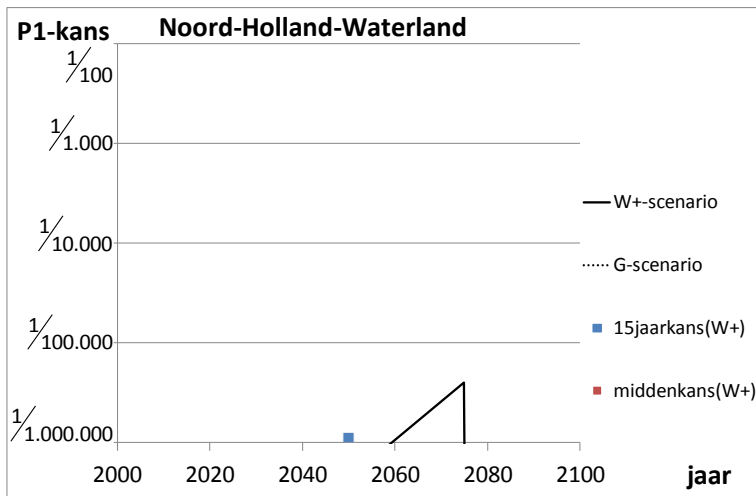


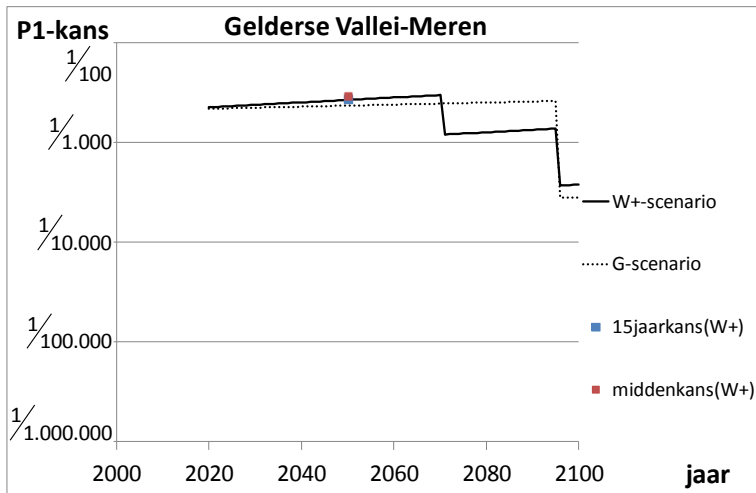
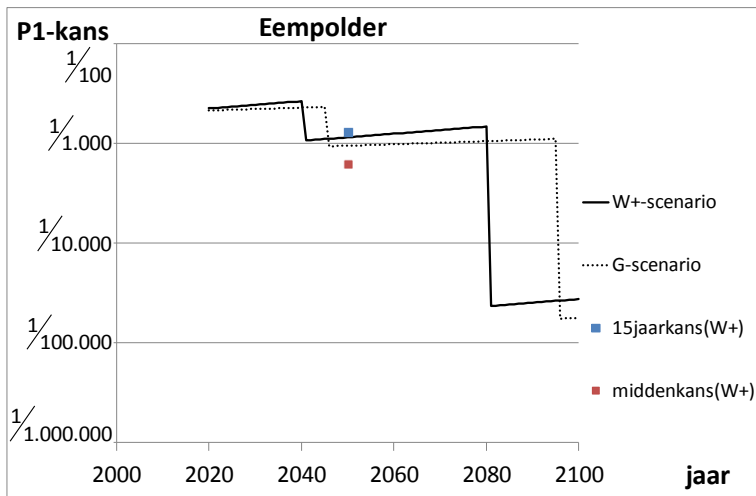




Figuur 8.4 Overstromingskansen bij optimale investeringspatronen rond het Markermeer bij 'meestijgen/spuien'







9 Bijlage B: Middenkans 2050

9.1 Definitie Middenkans 2050

Deze toetskans komt overeen met de toetskans zoals gehanteerd in de MKBA WV21 (zie bijlage C van de MKBA WV21, Duits et al, 2011). De middenkans⁴⁴ is ontwikkeld naar aanleiding van het project Ruimte voor Rivieren (Eijgenraam, 2006 en verder uitgewerkt voor de MKBA WV21 in Eijgenraam, 2009) met als doel een zo 'robuust' mogelijke toetskans af te leiden.

Indien een grafiek wordt gemaakt van de optimale verwachte schade in elk jaar, dan wordt eenzelfde soort zaagtandgrafiek verkregen, als indien een soortgelijke grafiek wordt gemaakt van de optimale overstromingskans in elk jaar. Waar echter de optimale overstromingskans een dalende trend vertoont (door de trendmatige economische groei), lijkt het interval waarbinnen deze verwachte schade zich beweegt stabiel. Daarom wordt allereerst een soort 'middenwaarde' van het interval berekend waarbinnen de verwachte schade zich beweegt. Deze middenwaarde van de *verwachte schade* wordt vervolgens omgerekend naar een overstromingskans door te delen door de schade (gegeven een overstroming) in een specifiek jaar. Een voordeel van de aldus berekende middenkans in het model van Eijgenraam (2006) is dat deze kans voor dit model redelijk goed kan worden benaderd met een eenvoudig te berekenen (gesloten) formule.

De middenwaarde van de verwachte schade wordt berekend door het nemen van het 'logaritmische' gemiddelde van de verwachte schade (= kans × schade) net voor en net na het beschouwde investeringsmoment waarop het dijkkringdeel wordt versterkt. De reden voor het gebruik van dit logaritmische gemiddelde is dat dit gemiddelde in het model van Eijgenraam (2006) redelijk overeenkomt met de 'gewone' gemiddelde verwachte schade tussen twee opeenvolgende momenten waarop de dijkkringdeel wordt versterkt.

Net als bij de eerder gepresenteerde 15-jaarkans wordt de middenkans berekend op basis van het eerste investeringsmoment na het jaar 2050. We berekenen de middenkans alleen voor de a-keringen en voor de P1-kans. Voor b-keringen (Afsluitdijk en Houtribdijk) en voor de Ptot-kans (i.e. alle kansen P1 t/m P7) is ofwel nog geen adequate definitie van de middenkans voorhanden dan wel lijkt de middenkans niet van toepassing. De middenkans wordt voor een gegeven dijkkringdeel als volgt berekend:

⁴⁴ Het begrip 'middenkans op overstromen' is voor het eerst gedefinieerd in een CPB-notitie aan de Vaste Commissie van Verkeer en Waterstaat van de Tweede Kamer (CPB, 2005). De meest recente definitie en formules staan in Eijgenraam (2009).

1. Beschouw de eerste dijkverhoging/versterking na 2050 (aangeduid als tijdstip 'k') is.
2. Bereken het 'logaritmisch' gemiddelde⁴⁵ van de verwachte schade (= kans×schade) net voor en na de investering in jaar 'k', vs_k^{mid} :

$$vs_k^{mid} = \frac{vs_k^- - vs_k^+}{\ln(vs_k^-) - \ln(vs_k^+)}, \text{ waarbij geldt: } vs_k^- > vs_k^+$$

- Met: vs_k^{mid} = 'logaritmisch' gemiddelde van de verwachte schade in jaar k.
 vs_k^- = de verwachte schade net voor de geplande investering in jaar k.
 vs_k^+ = de verwachte schade net na de geplande investering in jaar k.
k = het eerste jaar na 2050 waarin een dijkkringdeel wordt verhoogd/versterkt.

1. Bereken vervolgens de grootheid, P_{2050}^{mid} , met de volgende formule:

$$P_{2050}^{mid} = \frac{vs_k^{mid}}{schade_{2050}}$$

- Met: P_{2050}^{mid} = een grootheid die de middenkans voor het jaar 2050 wordt genoemd.
 $schade_{2050}$ = de schade bij 'overstromen' van een dijkkringdeel in het jaar 2050 gegeven de optimale oplossing⁴⁶.

Merk op dat alle grootheden die worden gebruikt bij het berekenen van de middenkans endogenen (=uitkomsten) zijn van het gebruikte wiskundig-economische model.

9.2 15-jaarkans of middenkans

In deze studie worden alle berekeningen in eerste instantie gepresenteerd op basis van de 15-jaarkans. De reden hiervoor is dat we deze kans voor alle mogelijke situaties en dijkkringdelen kunnen berekenen. In voorkomende gevallen worden ook de middenkansen gerapporteerd. Het CPB heeft zich in het verleden een voorstander getoond van het gebruik van de middenkans (zie o.a. Eijgenraam, 2009 en CPB, 2011).

Logische criteria voor de keuze voor één van beide toetskansdefinities zijn (i) robuustheid van de getallen bij andere omstandigheden en (ii) consistentie met het verleden. Daarnaast is het een voordeel als het begrip makkelijk uit te leggen en te interpreteren is. Daarbij dient de gekozen toetskans uiteraard ook toepasbaar te zijn voor alle relevante situaties. Tot op heden

⁴⁵ Volgens Eijgenraam (2009) ligt het logaritmisch gemiddelde $l(a,b)$ van twee getallen a en b tussen het meetkundig en rekenkundig gemiddelde: $\sqrt{ab} \leq l(a,b) \leq (a+b)/2$.

⁴⁶ De schade bij falen hangt in de gebruikte wiskundig economische modellen (Dige-Opt, Eijgenraam, 2006; Brekelmans et al., 2009 en Zwaneveld en Verweij, 2012) af van het jaar (lees: veronderstelde economische groei) en de dijkhoogte van een dijkkringdeel. Vandaar dus de toevoeging 'gegeven de optimale oplossing...'. De optimale oplossing wordt bepaald door het gebruikte wiskundig-economische model.

is het niet gelukt om een middenkans-definitie te bedenken voor de b-keringen. Wel zien wij daar mogelijkheden toe, hoewel het niet zeker is dat dit gaat slagen.

Vanuit consistentie met het verleden heeft het gebruik van de middenkans-definitie de voorkeur. In de MKBA WV21 (Kind, 2011, paragraaf 2.4) is de middenkans gebruikt als toetskans. De Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu heeft in zijn brief aan de Tweede Kamer (7 mei 2012) de hoofdconclusies van dit rapport overgenomen. De in de MKBA WV21 vermelde getallen zijn een belangrijke bouwsteen voor de regionale deelprogramma's van het Deltaprogramma om tot concrete voorstellen te komen ter verandering van de toetskansen in de Waterwet in 2017.

Een belangrijk inhoudelijk criterium is robuustheid. Zie paragraaf 4.2.2 voor een nadere bespreking van dit punt.

9.3 Getalswaarden Middenkans 2050

In onderstaande tabellen worden de 15-jaarkansen en de middenkansen gepresenteerd voor een viertal varianten: pompen en meestijgen/spuien en met een technische levensduur van 75 jaar en met een oneindige technische levensduur. Over het algemeen blijken de middenkans en de 15-jaarkans qua orde van grootte redelijke overeen te komen. Er lijkt geen systematisch verschil te zijn tussen de 15-jaarkans en de middenkans in de zin de ene kans altijd kleiner of groter is dan de andere. Soms zijn er aanmerkelijke verschillen tussen de 15-jaarkans en de middenkans. Een voorbeeld hiervan is Zuid-West Friesland in de onderstaande tabel bij een oneindige technische levensduur: de middenkans (1:3.500) is hier bijna vijf keer zo hoog als de 15-jaarkans (1:17.000).

Tabel 9.1 Wettelijke norm, MKBA WV21-toetskansen en toetskansen (P1-kans) op basis van 15-jaarkans en middenkans bij 'pompen' voor zowel met en zonder einde technische levensduur

Dijkringdelen	Wettelijke norm	WV21-2e ref.	Technische levensduur 75 jaar		Oneindige technische levensduur	
			15-jaarkans	Middenkans	15-jaarkans	Middenkans
IJsselmeer						
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	1/31.000	1/13.000	1/17.000	1/3.500
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	1/2.800	1/3.000	1/2.800	1/3.000
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	1/5.200	1/7.900	1/5.200	1/7.900
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	1/120.000	1/87.000	1/87.000	1/52.000
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	1/190.000	1/150.000	1/190.000	1/92.000
IJssel- en Vechtdelta						
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	1/900	1/1.500	1/900	1/1.500
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	1/1.100	1/1.200	1/1.100	1/1.200
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	1/4.200	1/2.900	1/4.200	1/2.900
Salland	1/1.250	1/2.900	1/2.200	1/3.800	1/2.200	1/3.800
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	1/500	1/900	1/500	1/900
Markermeer						
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	1/12.000	1/19.000	1/12.000	1/19.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	1/110.000	1/130.000	1/36.000	1/10.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	1/180.000	1/89.000	1/12.000	1/4.800
Marken	1/1.250	1/400	1/9.300.000	1/16.000.000	-	-
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	1/3.200	1/2.500	1/2.700	1/600
Eempolder	1/1.250	1/1.100	1/2.000	1/2.200	1/1.900	1/1.000
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	1/3.200	1/2.400	1/2.100	1/400

Uitleg: W+-scenario, bij 5,5% discountvoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 per jaar in 2020) en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk. Een '-' betekent dat het dijkringdeel tot 2300 niet wordt opgehoogd/versterkt. Dan kan er geen 15-jaarkans of middenkans worden berekend.

Tabel 9.2 Wettelijke norm, MKBA WV21-toetskansen en toetskansen (P1-kans) op basis van 15-jaarkans en middenkans bij 'meestijgen/spuien' voor zowel met als zonder einde technische levensduur

Dijkringdelen	Wettelijke norm	WV21-2e ref.	Technische levensduur 75 jaar		Oneindige technische levensduur	
			15-jaarkans	Middenkans	15-jaarkans	Middenkans
IJsselmeer						
Zuid-West Friesland	1/4.000	1/400	1/300	1/200	1/300	1/200
Noordoostpolder	1/4.000	1/3.000	1/2.400	1/2.500	1/2.400	1/2.500
Flevoland-Noordoost	1/4.000	1/5.200	1/11.000	1/7.900	1/11.000	1/7.900
West-Friesland (NH, noordelijk)	1/10.000	1/4.000	1/9.200	1/9.400	1/9.200	1/9.400
Wieringen IJsselmeer	1/4.000	1/2.300	1/5.600	1/4.500	1/5.600	1/4.500
IJssel- en Vechtdelta						
IJsseldelta	1/2.000	1/1.400	1/600	1/1.700	1/600	1/1.700
Mastenbroek	1/2.000	1/1.600	1/800	1/1.100	1/800	1/1.100
Vollenhove	1/1.250	1/1.700	1/2.400	1/3.200	1/2.400	1/3.200
Salland	1/1.250	1/2.900	1/3.300	1/3.300	1/3.300	1/3.300
Oost Veluwe	1/1.250	1/1.000	1/500	1/1.000	1/500	1/1.000
Markermeer						
Flevoland-Zuidwest	1/4.000	1/9.200	1/21.000	1/21.000	1/21.000	1/21.000
West-Friesland (NH, zuidelijk)	1/10.000	1/4.000	1/19.000	1/31.000	1/19.000	1/60.000
Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2.500	1/860.000	1/2.300.000	1/860.000	1/2.300.000
Marken	1/1.250	1/400	1/2.600.000	1/12.000.000	1/2.600.000	1/12.000.000
Gooi en Vechtstreek	1/1.250	1/700	1/400	1/600	1/400	1/600
Eempolder	1/1.250	1/1.100	1/800	1/1.600	1/800	1/1.600
Gelderse Vallei-Meren	1/1.250	1/200	1/400	1/300	1/400	1/300

Uitleg: W+-scenario, bij 5,5% discountvoet, uitvoering Structuurvisie Toekomst Afsluitdijk (STA; 1/100.000 per jaar in 2020) en 6 maanden reparatietijd Afsluitdijk en Houtribdijk.



Dit is een uitgave van:

Centraal Planbureau
Van Stolkweg 14
Postbus 80510 | 2508 GM Den Haag
T (070) 3383 380

info@cpb.nl | www.cpb.nl

Januari 2014