

Memo

Aan

Karin de Bruijn (DELTAARES)

Datum

5 januari 2026

Contactpersoon

Wouter Jan Klerk

Doorkiesnummer

+31(0)6 5233 1056

E-mail

wouterjan.klerk@deltares.nl

Aantal pagina's

1 van 9

Onderwerp

Verslag activiteiten Systeemanalyse Oosterschelde en voorliggende keringen - SITO-IS 2025

1 Inleiding

Stormvloedkeringen vormen een cruciaal onderdeel van het Nederlandse waterveiligheidssysteem. De huidige normering voor deze keringen is in 2017 vastgesteld op basis van een redelijk pragmatische aanpak. Hoewel deze aanpak op zich functioneert, is het van belang om te onderzoeken of er verbeteringen mogelijk zijn en welke kanttekeningen daarbij gelden, zeker omdat er in het kader van lange termijnstrategieën ook wordt gesproken over en gekeken naar het einde van de levensduur van de bestaande stormvloedkeringen.

In dit onderzoek is gekeken naar drie vragen:

1. Wat is de huidige aanpak voor het beschouwen van stormvloedkeringen als onderdeel van een groter systeem van waterkeringen?
2. Welke recente onderzoeksresultaten kunnen deze aanpak versterken?
3. Hoe kan dit inzichtelijk worden gemaakt?

De eerste twee vragen zijn beantwoord door middel van een literatuurstudie. Voor de derde vraag is een illustratie ontwikkeld op basis van de Oosterscheldekering, in samenwerking met *Kennis voor Keringen*. Daarnaast is een afstudeerder begeleid die heeft gekeken naar een uitwerking voor eisen voor constructief falen van de Oosterscheldekering.

Hoofdstuk 2 beschrijft de huidige aanpak en recente inzichten. Hoofdstuk 3 presenteert de belangrijkste bevindingen van de illustratie: de invloed van de betrouwbaarheid van de Oosterscheldekering op de achterliggende keringen. Tot slot bevat hoofdstuk 4 aanbevelingen, waaronder het verder uitwerken van een systematiek voor risicogebaseerde systeemanalyse. Dit traject wordt in 2026 binnen SITO-PS samen met HKV opgepakt.

2 Huidige aanpak en beknopte samenvatting recent onderzoek

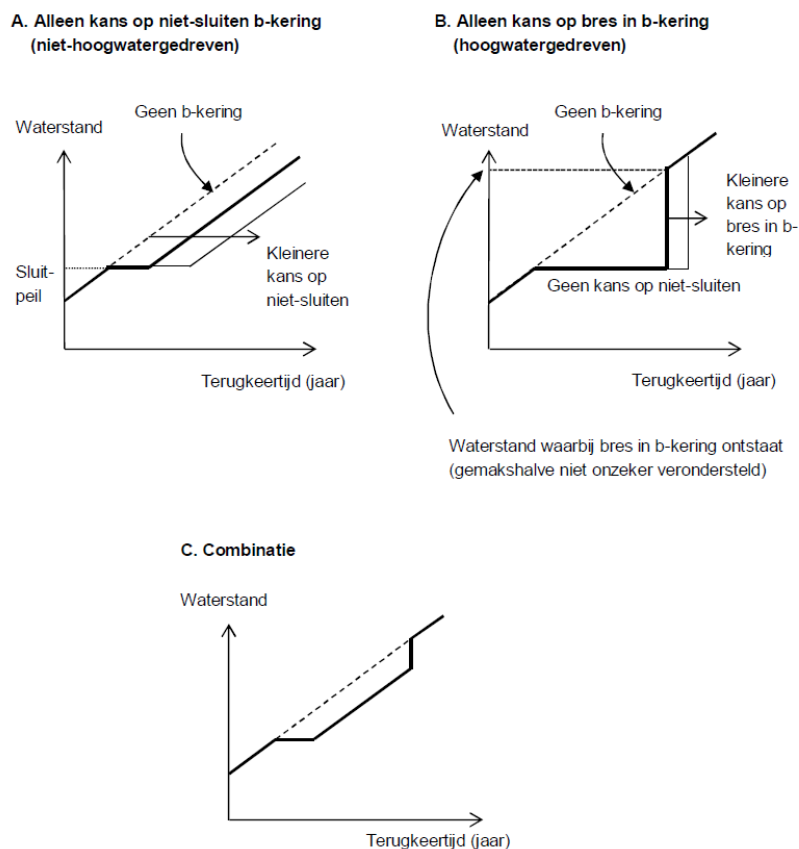
2.1 Aanpak normering en beoordeling stormvloedkeringen

Bij de normering van de voormalige b-keringen (nu voorliggende keringen) is uitgegaan van het concept zoals weergegeven in Figuur 2-1 [1]. Hierbij worden twee situaties onderscheiden:

- Situatie A: waterkerende functie wordt niet vervuld door niet sluiten van het dynamische keermiddel
- Situatie B: waterkerende functie wordt niet vervuld door constructief falen van (delen van) de gehele voorliggende kering.

Voor sommige voorliggende keringen is alleen situatie B van toepassing: bijvoorbeeld in geval van een dam die vanaf een bepaalde hydraulische belasting doorbreekt. Zolang dit niet gebeurt, neemt de kans op een verhoogde waterstand niet toe (situatie B in onderstaande figuur).

Bij stormvloedkeringen is daarnaast ook sprake van situatie A: stormvloedkeringen worden vanaf een bepaalde waterstand gesloten, en afhankelijk van de kans op een succesvolle sluiting neemt de kans op hoge waterstanden daardoor af. Hoe kleiner de kans dat een sluiting faalt, hoe kleiner de kans op extreme waterstanden in het achterliggende gebied.



Figuur 2-1: conceptuele invloed b-kering op waterstandstatistiek aan de teen van een achterliggende primaire kering

Voor het afleiden van de normen zijn eenvoudige regels gebruikt om een norm af te leiden, gekoppeld aan de gevolgen voor het achterland. Op basis hiervan is pragmatisch een norm voor de voorliggende kering afgeleid. Centraal daarin staat onder andere de conditionele faalkans van het strengst genormeerde traject in het achterland. Een lagere conditionele faalkans leidt tot een minder strenge eis van falen van de b-kering. De volgende formule is gehanteerd:

$$P(F_b) \leq \frac{P_{\max}}{10 \cdot P(F_a|F_b)}$$

Waarin:

P Kans

P_{\max} Maximaal toelaatbare overstromingskans (per jaar)

F_a Falen van de achterliggende kering

F_b Falen van de b-kering

De conditionele kans ($P(F_a|F_b)$) is daarbij meestal vrij groot verondersteld (kans op falen a-kering is groot als de b-kering is gefaald). Bij de Oosterscheldekering is deze bijvoorbeeld verondersteld op 1/3: als de kering faalt (verlies van waterkerend vermogen) is de kans dus 33% dat er ergens een dijk doorbreekt. Gezien de bevindingen uit de case in Hoofdstuk 3 is dit zeer twijfelachtig en ligt deze conditionele faalkans naar verwachting veel lager, en daarmee zou de norm ook veel minder streng hoeven te worden. De factor 10 vloeit direct voort uit het uitgangspunt dat de invloed van de faalkans van de voorliggende b-kering op de achterliggende kering 'verwaarloosbaar klein' moet zijn. Dat is ingevuld als 10% van de totale faalkans, resulterend in een factor 10. Hoewel pragmatisch, en ook niet onlogisch, is dit wel een vrij sterke aanname bij deze aanpak.

De huidige aanpak is onder hoge druk tot stand gekomen. Er staat een aantal aanbevelingen in het rapport die wel of nog niet zijn opgevolgd.

- Zoals aanbevolen wordt bij de beoordeling uitgegaan van de faalkanseisen van de b-keringen in de belastingmodellen voor achterliggende keringen.
- Er is nog geen evaluatie van de eisen voor niet-sluiten uitgevoerd, maar dit staat wel op de radar.
- Er is niet zoals aanbevolen inspanning geleverd om snel bredere achterlandstudies uit te kunnen voeren als input voor versterkingsprojecten in het achterland. Meestal wordt de stormvloedkering/voorliggende kering als los object beschouwd.
- Er wordt aanbevolen om de normvoorstellen voor de b-keringen in het licht van eventuele aanpassingen van het watersysteem na 2050 te herbeschouwen. Dit is (nog) niet gedaan, maar kan als onderdeel van adaptatie aan zeespiegelstijging wel een belangrijk speerpunt zijn.

Daarnaast valt op dat er veel wordt gesproken over bijv. 'verlies van waterkerend vermogen'. Echter, bij keringen kan dit zeer verschillend zijn: de kans dat de gehele Oosterscheldekering zijn waterkerend vermogen volledig verliest in een storm is nihil, en ook anders dan de gerapporteerde faalkans in de beoordeling. Dit soort definities zijn wel erg van belang bij het goed combineren van kansen op faalscenario's bij stormvloedkeringen, de conditionele faalkansen van de achterliggende keringen hangen immers erg af van het scenario. Die samenhang lijkt nu nog niet goed te zijn. Te denken valt aan een soort 'systeemverhaal van de kering', waarbij wordt gekeken welke scenario's met welke kans de achterliggende kering op welke wijze beïnvloeden. Falen van alle 62 schuiven bij de OSK leidt dan tot een veel grotere kanstoename, maar de kans dat dit gebeurt is wel extreem klein.

2.2 Recente onderzoeken naar systeemrisico's en stormvloedkeringen

Sinds de totstandkoming van de normering zijn er een aantal noemenswaardige onderzoeken uitgevoerd die relevant zijn voor een eventuele aanscherping/herijking/verbetering van de omgang met systeemrisico's bij stormvloedkeringen. In deze paragraaf noemen we er een aantal die voor het vervolg mogelijk belangrijk zijn.

Guy Dupuits promoveerde op optimalisatie van normen, en heeft daarbij expliciet gekeken naar optimalisatie van stormvloedkeringen in de tijd¹. Daaruit volgde op hoofdlijnen soortgelijke vuistregels als bij de normering b-keringen (groot effect op de faalkans van de achterliggende kering leidt tot een strenge eis aan de stormvloedkering). Belangrijke conclusie is wel dat hoe de norm uitpakt sterk afhangt van de specifieke kering: het soort kering, de precieze kosten en de grootte van het beschermde achterland spelen daarbij allemaal een rol.

Leslie Mooyaart promoveerde recent op stormvloedkeringen, en deed ook onderzoek naar economische optimalisatie, met name gericht op de sluitkans². Daaruit blijkt dat verbeteren van de betrouwbaarheid sluiten van stormvloedkeringen economisch al heel snel aantrekkelijk wordt.

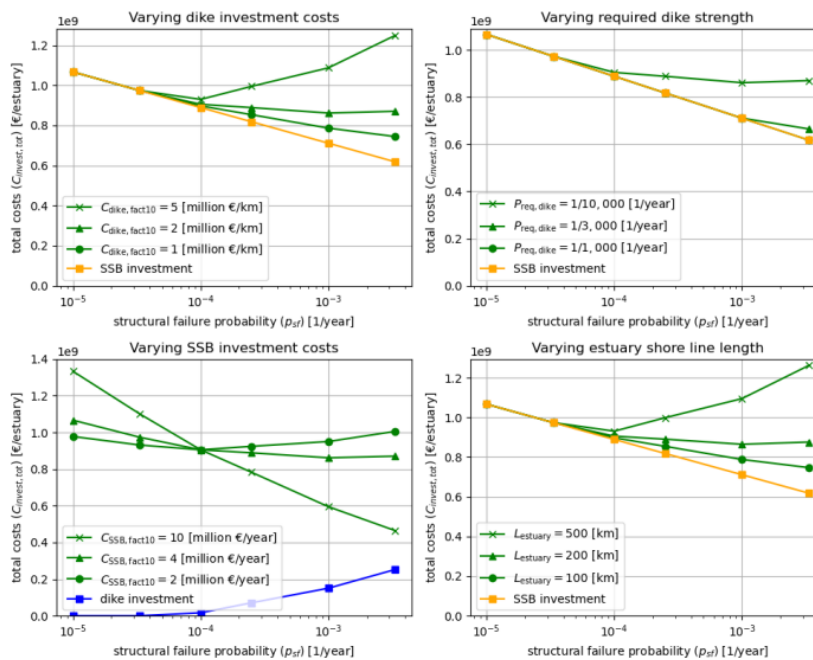
Vanuit het project Versterkingsaanpak vanuit Veiligheidsrendement is gekeken naar het optimaliseren van dijkversterkingsprojecten. Gekoppeld aan dat project heeft Leonie Jongen gekeken naar het effect van de Oosterscheldekering op de dijkversterkingen rond de Oosterschelde³. Hieruit blijkt dat de huidige keringen rond de Oosterschelde dermate veilig zijn dat zelfs bij grote zeespiegelstijging er nauwelijks invloed is op de versterkingsopgave omdat de keringen zijn aangelegd voor de OSK werd gebouwd en daardoor zeer kleine faalkansen hebben. Voor een systeem met minder veilige keringen is er een beperkte invloed van verbetering van de (huidige) sluitkansen (max 10 cm op de kruinhoogte). Dat dit anders uitpakt dan bij de Maeslantkering zoals Mooyaart liet zien komt vermoedelijk doordat de huidige kans op niet-sluiten van de OSK veel kleiner is.

Als onderdeel van dit project is Sam de Bruijn afgestudeerd op de afleiding van eisen voor constructief falen bij de Oosterscheldekering. Hij heeft daarbij gekeken naar de optimale eis voor constructief falen middels een systeemmodel op basis van hydraulische randvoorwaarden uit Hydra en fragility curves. Van daaruit is gekeken naar de optimale eis voor constructief falen. Hij heeft ook de gevoeligheid beschouwd, wat mooi wordt geïllustreerd door onderstaande figuur. Te zien is dat de versterkingskosten (linksboven) en de lengte van de keringen langs het estuarium veel invloed hebben (NB: de figuren zijn identiek omdat de stapgrootte gelijk is). Daarnaast is te zien (rechtsboven) dat de eis aan de stormvloedkering minder streng is dan die van het achterliggende dijktraject. En uiteraard speelt (linksonder) de verhouding kosten SVK/kosten dijkversterking ook een belangrijke rol.

¹ [Economic optimization of coastal flood defense systems | TU Delft Repository](#)

² [Economic optimization of coastal flood defence systems including storm surge barrier closure reliability](#)

³ [Optimising reinforcements in flood defence systems with multiple lines of defence | TU Delft Repository](#)



Figuur 2-2 Gevoeligheid eis constructief falen voor verschillende systeemparameters.

De bovenstaande bevindingen zijn niet strijdig met de aanpak gehanteerd voor de b-keringen, maar in die aanpak wordt wel een aantal aannames gedaan dat bijv. de faalkansbijdrage verwaarloosbaar moet zijn en aannames t.a.v. de conditionele kansen. Bij het onderzoek van Jongen blijkt bijv. dat de faalkansen rond de Oosterschelde veel lager zijn (behalve voor stabiliteit, maar dat is zeer beperkt waterstandsafhankelijk) en daardoor zou falen van de kering minder snel tot extreem hoge faalkansen leiden (in de afleiding van de norm is 1/3 gehanteerd, dit is waarschijnlijk minimaal 1 à 2 ordes kleiner). In Hoofdstuk 3 gaan we hier nader op in.

3 Samenvatting onderzoek randvoorwaarden OSK en Ramspol t.b.v. Kennis voor Keringen

3.1 Aanpak en context

Als onderdeel van de verkenning binnen SITO-IS is samen met Kennis voor Keringen gekeken naar de impact van betrouwbaarheid sluiten op de waterstanden en faalkansen voor overslag achter de Ramspolkering en Oosterscheldekering, waarbij die laatste de bijdrage uit dit project is. Uitgebreide resultaten zijn te vinden in:

Smale, A., Klerk, W.J., (2026) Impact voorliggende keringen op belastingen in beoordeling en ontwerp - Verkenning Ramspol- en Oosterscheldekering.

Deze wordt naar verwachting medio 2026 openbaar beschikbaar.

In navolgende paragraaf is de samenvatting van het rapport overgenomen en aangevuld met 1 voorbeeldanalyse voor waterstand langs de Oosterschelde.

3.2 Samenvatting onderzoek (overgenomen uit rapport)

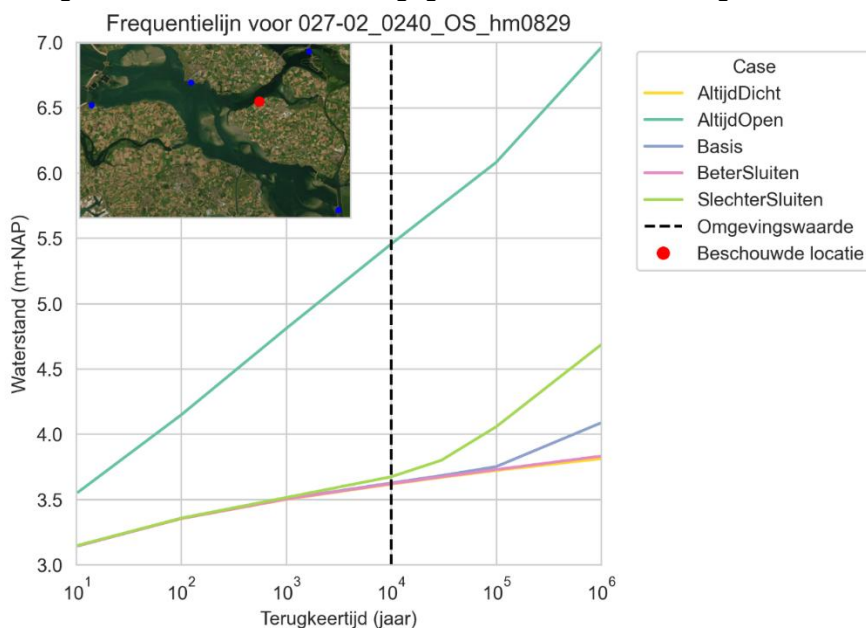
Als onderdeel van de overstap naar de overstromingsrisicobenadering zijn normen vastgesteld voor zowel de primaire keringen als voor voorliggende (dynamische) stormvloedkeringen. Voor beoordeling en ontwerp van primaire waterkeringen wordt

aangenomen dat de voorliggende kering aan de gestelde normen voldoet. Voor voorliggende keringen zijn op basis van het risico voor het achterliggende gebied op pragmatische wijze normen afgeleid voor de betrouwbaarheid van sluiten en constructief falen. In de veiligheidsbeoordeling van de voorliggende keringen wordt vervolgens gekeken of de betrouwbaarheid en de constructie aan de normen voldoet.

Door normen te definiëren voor voorliggende keringen kan een beoordeling op veiligheid onafhankelijk en losstaand worden uitgevoerd voor de voorliggende en primaire keringen. Een belangrijke vraag is echter hoe keuzes en ontwikkelingen bij voorliggende keringen invloed hebben op de veiligheid van het achterliggende gebied, en wat dit betekent voor bijvoorbeeld dijkversterkingen of onderhoudseisen aan stormvloedkeringen. Anders gezegd: leidt het opknippen van het systeem in twee los te beschouwen “verdedigingslijnen” tot een handelingsperspectief wat past bij de gedachte van de overstromingsrisicobenadering?

In deze studie wordt een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de gestelde prestatie-eisen voor de voorliggende kering op het overstromingsrisico van de achterliggende primaire kering. Daarbij is gekeken naar de invloed van betrouwbaarheid sluiten van de voorliggende kering op de achterliggende primaire kering, constructief falen van de voorliggende kering is buiten beschouwing gelaten. De studie heeft de vorm van een gevoeligheidsanalyse, waarbij verschillende scenario's voor de prestatie van betrouwbaarheid sluiten zijn beschouwd. Daarbij is gekeken naar de Oosterscheldekering en de Ramspolkering.

Uit de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses blijkt allereerst (en zoals verwacht) dat de aanwezigheid van de stormvloedkeringen met enige betrouwbaarheid sluiten de hydraulische belastingen op de achterliggende primaire keringen sterk reduceert. Aan de andere kant laten de analyses ook zien dat een strengere of wat soepelere eis voor betrouwbaarheid sluiten voor de beschouwde stormvloedkeringen geen significant effect heeft op de hydraulische belastingen op de achterliggende primaire keringen. Een voorbeeld van een resultaat voor een locatie langs de Oosterschelde is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 3-1 Frequentielijn voor locatie op traject 27-2

Waterveiligheid

Op basis van de gevoeligheidsanalyses wordt duidelijk dat een prestatie eis tussen de huidige eis en een 10 keer slechtere prestatie een beperkt effect heeft op het overstromingsrisico voor

de beschouwde watersystemen en locaties. Specifiek voor de beschouwde locaties geldt dat de primaire keringen zijn aangelegd vóór de aanleg van de stormvloedkeringen en daarmee “oversterkte” hebben.

Lange termijn adaptatie. De beperkte invloed van een gewijzigde betrouwbaarheid sluiten eis maakt dat er verschillende handelingsperspectieven ontstaan. Voor de lange termijn is het denkbaar dat een stormvloedkering langer (voldoende) blijft functioneren in geval van bijvoorbeeld zeespiegelstijging (meer sluitingen noodzakelijk en als gevolg daarvan grotere kans op niet sluiten, maar beperkt effect hiervan op de gemiddelde overstromingskans). Dit betekent ook dat versterken van een stormvloedkering ten behoeve van betrouwbaarheid sluiten mogelijk niet direct noodzakelijk is/uitgesteld kan worden omdat er effectief sprake is van een langere levensduur, of dat het resulterende veiligheidstekort wordt opgevangen door de “oversterkte” van de achterliggende keringen.

Beheer en onderhoud

Voor onderhoud biedt dit ruimte om bij de uitvoering van technisch noodzakelijk onderhoud in het stormseizoen een wat grotere tijdelijke afname van de prestatie van de stormvloedkering toe te staan, omdat de invloed hiervan op de overstromingskans gemiddeld genomen voldoende klein is.

4 Discussie & aanbevelingen

In dit onderzoek is begonnen met de volgende 3 onderzoeksvragen die we kort beantwoorden:

1. Wat is de huidige aanpak voor het beschouwen van stormvloedkeringen als onderdeel van een groter systeem van waterkeringen?

In de meeste processen worden stormvloedkeringen los beschouwd van de achterliggende waterkeringen. In de normering is dit onderbouwd met een pragmatische, logische maar wel zeer versimpelde aanpak. Aanbevelingen t.a.v. bijv. het verifiëren van aannames met resultaten uit de beoordeling zijn niet altijd opgevolgd.

2. Welke recente onderzoeksresultaten kunnen deze aanpak versterken?

In diverse onderzoeken is aangetoond dat er mogelijkheden zijn voor het in samenhang beschouwen en/of optimaliseren van de normen van en investeringen in stormvloedkeringen als onderdeel van een groter systeem. De PhD. Thesis van Mooyaart, diverse master thesis en aanpalende ontwikkelingen zoals veiligheidsrendement kunnen helpen bij het verder verbeteren van de risicobenadering voor stormvloedkeringen.

Daarnaast is de aanpak op basis van het verhaal van de kering zoals in het BOI voorgeschreven ook interessant voor stormvloedkeringen: het gebruik van goede faaldefinities kan leiden tot een op systeemniveau veel realistischere risico-inschatting.

3. Hoe kan dit inzichtelijk worden gemaakt?

In deze studie is met een analyse voor de Oosterschelde- (en Ramspol)kering inzichtelijk gemaakt hoe de prestatie van de SVK de randvoorwaarden van het achterliggend gebied beïnvloedt. Verder onderzoeken naar bijvoorbeeld de aanbevelingen vanuit het rapport normering b-keringen en hoe deze kunnen worden in- en aangevuld met de nieuw ontwikkelde kennis kan helpen bij het verbeteren van de onderbouwing van de normen van stormvloedkeringen.

De omgang met systeemrisico's van stormvloedkeringen raakt aan verschillende processen. We onderscheiden er 4, zoals in onderstaande figuur weergegeven. Hierna gaan we kort in op de betekenis van bovenstaande bevindingen voor de verschillende processen.



Lange termijn strategieën & normering

Het blijkt uit de studie voor de Oosterscheldekering en Ramspol dat de hydraulische belastingen aan de teen van de achterliggende primaire keringen beperkt gevoelig zijn voor betrouwbaarheid sluiten van de voorliggende stormvloedkering. Dat is van belang voor de lange termijn strategieën voor deze stormvloedkeringen. Het feit dat ze er zijn is van belang, maar de precieze prestatie is van beperktere invloed. Dit betekent dat een afname van de effectieve betrouwbaarheid sluiten kans (tot onder de nu gestelde eis) als gevolg van bijvoorbeeld zeespiegelstijging voor de beschouwde keringen niet direct tot grote consequenties voor de achterliggende primaire keringen hoeft te leiden. Dit blijkt bijvoorbeeld ook uit het onderzoek van Jongen. Het systeem is in die zin robuust. Als gevolg van deze robuustheid is de functionele levensduur van de kering wellicht groter dan gedacht en kan daarmee op een andere wijze omgegaan worden met bijvoorbeeld klimaatadaptatie. Dit geeft ruimte in de strategieënbepaling rond bijv. sluitfrequenties en sluitpeilen. Het verdient aanbeveling om vanuit lange termijn adaptatie ook op deze wijze naar de stormvloedkeringen te kijken.

Qua normering zijn er in de afgelopen 10 jaar veel nieuwe inzichten opgedaan. Hoewel de basisprincipes van de afleiding van de normen voor stormvloedkeringen hiermee consistent zijn kan het zeker lonen om dit opnieuw tegen het licht te houden.

Versterking en verbetering

In het geval dat een achterliggend normtraject niet aan de eis voldoet, dan kan dit ofwel met een dijkversterking ofwel met een aanpassing van de prestatie van de stormvloedkering worden opgelost. Het blijkt uit de diverse studies dat het niet makkelijk is om een opgave aan een dijktraject met een verbetering van de stormvloedkering op te lossen, hoewel dit bij bijv.

de Hollandse IJsselkering wel tot een grote reductie van de opgave heeft geleid. Aanbevolen wordt om dit bij dijkversterkingen bij bijv. de projectinitiatie te beschouwen.

Omgekeerd, in het geval dat de SVK (tijdelijk) niet voldoet qua betrouwbaarheid sluiten, dan kan dit mogelijk (tijdelijk) opgevangen worden door de achterliggende kering. Er blijkt dat voor de meeste van de achterliggende primaire keringen van de Oosterscheldekering en Ramspolkering bijvoorbeeld sprake is van “oversterkte” en dat daarmee geldt dat het nu niet erg is als (tijdelijk) niet geheel voldaan wordt aan de eis met betrekking tot betrouwbaarheid sluiten.

Beoordeling/faalkansbepaling

Op dit moment wordt in de beoordeling de stormvloedkering beschouwd als ‘voldoende veilig’. Zelfs als dit net niet zo is zijn de consequenties waarschijnlijk beperkt, zo blijkt uit de analyses voor de Oosterschelde- en Ramspolkering. Dit zegt ook iets t.a.v. de nauwkeurigheid van de bepaling van de werkelijke prestatie van betrouwbaarheid sluiten van de stormvloedkeringen: of de betrouwbaarheid sluiten eens per 100 of eens per 110 sluitingen is maakt niet veel uit. Er lijkt dan meer ruimte te zijn in het goed meenemen van het faalgedrag van de kering (bijv. hoeveel schuiven er falen, en of falen daadwerkelijk tot waterstandsstijging leidt). Daarin valt bij de stormvloedkeringen nog wel wat te winnen omdat hier niet altijd de daadwerkelijke topevents als ‘faalkans’ gerapporteerd worden (bij de OSK bijv. falen van een enkele schuif).

Voor de achterliggende kering geldt (voor Oosterscheldekering en Ramspolkering) dat de prestatie van de stormvloedkering beperkt van invloed is op het beoordelingsresultaat. Dit kan bij andere stormvloedkeringen zeker anders zijn.

Onderhoud

De gevoeligheidsanalyses laten zien dat er een beperkte invloed is van betrouwbaarheid sluiten op de hydraulische belastingen van de achterliggende keringen (en dus overstromingskans). Hieruit kan opgemaakt worden dat het daarmee acceptabel kan zijn om tijdelijk een iets ongunstiger betrouwbaarheid sluiten te hebben. Anders gezegd: het hoeft niet erg te zijn als tijdelijk niet aan de eis betrouwbaarheid sluiten wordt voldaan gezien vanuit het systeem van voor- en achterliggende keringen. Dit biedt mogelijkheden om meer onderhoud tegelijkertijd te plegen en een eventuele onderhoudsachterstand in te lopen. Daarbij geldt dat niet uit kunnen voeren van technisch noodzakelijk onderhoud ook een risico inhoudt. Dan kan immers de technische einde levensduur snel in zicht komen, wat tot mogelijk tot een extra dure en kostbare vervanging leidt, en een veel grotere afname van ook de functionele prestatie.