



MIRT onderzoek - Integrale Veiligheid Oosterschelde

Knikpuntenrapport op basis van de vigerende normering (HR2006)

Rijkswaterstaat Zee en Delta

21 juni 2016

Project	MIRT onderzoek - Integrale Veiligheid Oosterschelde
Document	Knikpuntenrapport op basis van de oude normering
Status	Concept 01
Datum	14 november 2016
Referentie	RW1929-201/16-010.965

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zee en Delta
Projectcode	RW1929-201
Projectleider	dr.ir. R.L.J. Nieuwkamer
Projectdirecteur	ing. A.J.P. Helder

Auteur(s)	dr. N. von Meijenfeldt, ir. R. Bouw, P.T.G. van Tol. MSc., dr.ir. M.W.J. Smit, dr.ir. R.L.J. Nieuwkamer, ir. M.H.P. Jansen, ir. A. Smit
Gecontroleerd door	dr.ir. R.L.J. Nieuwkamer
Goedgekeurd door	dr.ir. R.L.J. Nieuwkamer

Paraaf

Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Van Twickelostraat 2 Postbus 233 7400 AE Deventer +31 (0)570 69 79 11 www.witteveenbos.com KvK 38020751
-------	---

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING

1	INTRODUCTIE	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Probleemstelling	2
1.3	Doelstelling	3
1.4	Methode van onderzoek	3
2	SYSTEEMBESCHRIJVING	5
2.1	Inleiding systeembeschrijving	5
2.2	Fysieke systeem	5
2.2.1	Systeemgrens	5
2.2.2	Oosterscheldesysteem	6
2.2.3	Oosterscheldekering	9
2.2.4	Dijken	12
2.3	Socio-economisch systeem	14
2.4	Beheerssysteem	15
2.4.1	Beschrijving huidige veiligheidsstrategie	15
2.4.2	Prestatiepeil versus toetspeil	18
2.4.3	Zeespiegelstijging	18
3	KNIKPUNTEN OOSTERSCHELDEKERING	21
3.1	Faalmechanismen	21
3.2	Hydraulische randvoorwaarden	23
3.3	Knikpunten	24
3.3.1	Waterbezwaar (WB) bij vigerende norm (VN)	24
3.3.2	Constructief falen (CF) bij vigerende norm (VN)	25
4	KNIKPUNTEN DIJKEN	29
4.1	Faalmechanismen waterkeringen	29
4.2	Overloop en overslag	30

4.2.1	Waarom knikpunt	30
4.2.2	Wanneer treedt het knikpunt op	32
4.3	Afschuiven binnen- en buitentalud, Piping en Microstabiliteit	32
4.3.1	Waarom knikpunt	32
4.3.2	Wanneer treedt het knikpunt op	32
4.4	Bekleding	33
4.4.1	Waarom knikpunt	33
4.4.2	Wanneer treedt het knikpunt op	34
4.5	Zettingsvloeiing	34
4.5.1	Waarom knikpunt	34
4.5.2	Wanneer treedt het knikpunt op	34

5 KNIKPUNTEN TEN GEVOLGE VAN AUTONOME, RUIMTELIJKE ONTWIKKELINGEN 37

5.1	Autonome, ruimtelijke ontwikkelingen	37
5.2	Aantakking van het Volkerak-Zoommeer	39
5.2.1	Waarom knikpunt	39
5.2.2	Wanneer treedt het knikpunt op	40
5.3	Oosterschelde als waterberging voor veiligheid Rijnmond-Drechtsteden	40
5.3.1	Waarom knikpunt	40
5.3.2	Wanneer treedt het knikpunt op	40

6 REFERENTIES 41

Laatste pagina 46

Bijlage(n) **Aantal pagina's**

I	Randvoorwaarden en Knikpunten OSK
II	Hydraulische randvoorwaarden dijken

SAMENVATTING

In dit knikpuntenrapport is onderzocht tot welke mate van zeespiegelstijging (ZSS) en morfologische veranderingen in de Voordelta en Oosterschelde de huidige veiligheidsstrategie gegarandeerd kan worden, zonder het nemen van aanvullende maatregelen. Hiervoor zijn zogenaamde knikpunten geïdentificeerd. Een knikpunt wordt gedefinieerd als het moment waarop de fysieke situatie van de Oosterschelde zo verandert is dat de huidige veiligheidsstrategie niet meer voldoet. Morfologische veranderingen en veranderingen van hydrodynamische condities zijn oorzaken van knikpunten. De knikpuntenanalyse is uitgevoerd waarbij de vigerende waterveiligheidsnormen (WTI2006) als uitgangspunt zijn genomen.

Ter samenvatting geeft onderstaande tabel per onderdeel een overzicht van de geïdentificeerde knikpunten en wanneer deze knikpunten naar verwachting optreden in de tijd. De geïdentificeerde urgente knikpunten zijn:

- Oosterscheldekering:
 - constructief falen - bodembescherming vanaf 105 m uit kering;
 - Roompotsluis en sluisplateau;
- dijken:
 - afschuiven (binnen- en buitentalud), piping en microstabiliteit;
- autonome ontwikkelingen:
 - waterberging Oosterschelde voor veiligheid Rijnmond-Drechtsteden.

Object	Voor 2050	Na 2050	Na 2100
1. Oosterscheldekering			
a. prestatiepeil > toetspeil			
i. constructief falen			
ontgrondingskuilen			x
bodembescherming vanaf 105 m uit kering	x		
bodembescherming tot 105 m uit kering		x	
bovenbalken		x	
dorpelbalken			x
pijlers			x
verkeerskokers		x	
sluitingsmiddelen (schuiven e.d.).			x
damaanzetten		x	
breukstenen aanzetdammen		x	
hoofdwaterkering Roggeplaat		x	
hoofdwaterkering Neeltje Jans		x	
coupure Damvak Geul (voetgangerstunnel)		x	

Object	Voor 2050	Na 2050	Na 2100
coupure Buitenhaven Neeltje Jans (verkeersviaduct)		x	
Roompotsluis en sluisplateau	x		
ii. waterbezwaar			
zeespiegelstijging > 0,8 m			x
b. falen direct aansluitende dam			
ontgrondingskuil			x
2. dijken			
a. overloop en overslag		x	
b. afschuiven (binnen- en buitentalud), piping en microstabiliteit	x		
c. bekleding		x	
d. zettingsvloeiing			x
3. morfologie			
a. morfologische veranderingen in Oosterschelde	ntb	ntb	ntb
4. autonome ontwikkelingen			
a. waterberging Oosterschelde voor veiligheid Rijnmond- Drechtsteden	x		

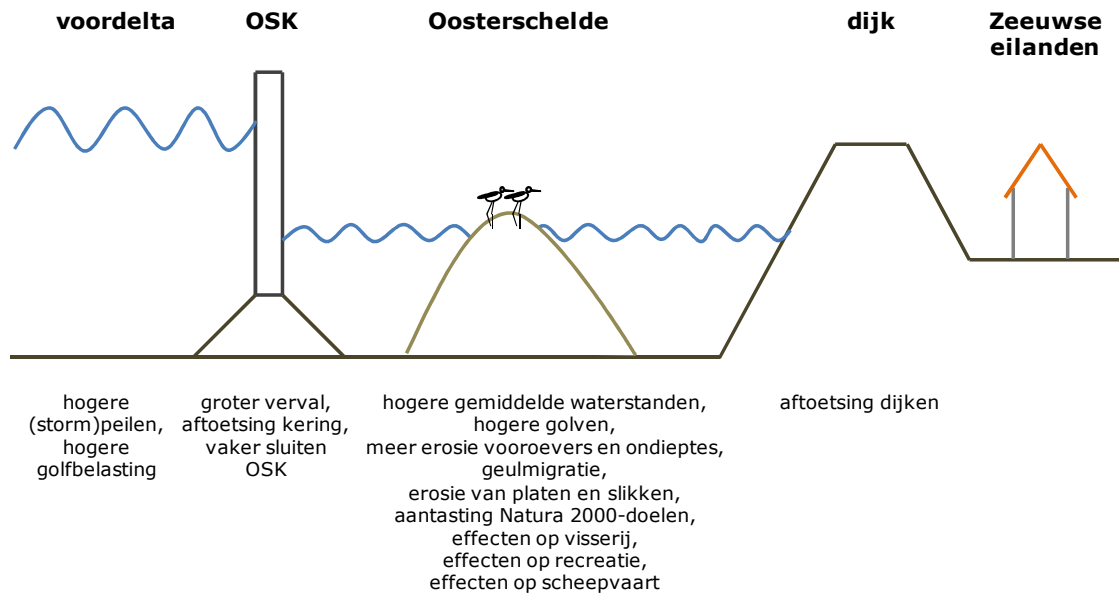
De waterveiligheidsnormen worden momenteel herzien op basis van het nieuwe wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI2017). Vooruitlopend op het WBI2017 heeft Rijkswaterstaat een overgangsnorm opgesteld. Middels het ontwerpinstrumentarium (OI2014) zal in de volgende projectfase praktisch met deze overgangsnorm worden gewerkt en de huidige knikpuntenanalyse worden herzien. Na het herzien van de knikpunten zal nader worden gekeken naar oplossingsrichtingen, consequenties voor de ruimtelijke ordening en effecten voor gebruiksfuncties. Voor het beoordelen van de effecten zal gebruik worden gemaakt van het beoordelingskader van de MIRT verkenning Zandhonger Oosterschelde [ref. 31], aangevuld met de Omgevingswijzer.

INTRODUCTIE

1.1 Aanleiding

Volgens het Deltaprogramma 2015 wordt de Oosterschelde op termijn geconfronteerd met klimaatverandering, zeespiegelstijging en morfologische veranderingen, zoals geulverplaatsing en zandhonger. Naar verwachting gaan de effecten hiervan de huidige veiligheidsstrategie, natuurwaarden en het economische gebruik beïnvloeden. De vraag is of deze ontwikkelingen leiden tot noodzakelijke aanpassingen van de veiligheidsstrategie. Afbeelding 1.1 geeft het Oosterscheldesysteem schematisch weer en vat daarbij de grootste bedreigingen voor de verschillende componenten als gevolg van zeespiegelstijging en morfologische veranderingen samen. De Oosterscheldekering (OSK) is een belangrijke schakel in de huidige veiligheidsstrategie van de Oosterschelde. Deze waterkering is als afsluitbare stormvloedkering aangelegd om bij een zware storm de achterliggende Oosterschelde tegen hoog water te beschermen.

Afbeelding 1.1 Systeemplaatje Oosterschelde



De oplossing voor de bedreiging van de integrale veiligheid van de Oosterschelde wordt gezocht in een voorkeursstrategie die is gericht op een toekomstbestendige aanpak van de waterveiligheidsopgave en tegelijkertijd bijdraagt aan de aanpak van de erosie van het intergetijdengebied (zandhonger) en het economisch gebruik van de Oosterschelde. Dit alles volgens de principes van het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta: voldoende beschermd, economisch vitaal en ecologisch veerkrachtig.

1.2 Probleemstelling

In de Oosterschelde worden extreme waterstanden voorkomen door sluiting van de kering, maar bij condities net voordat de kering sluit, of bij een noodsluiting, kunnen hoge waterstanden voorkomen. Door de zeespiegelstijging neemt de kans op deze condities toe.

Het natuurlijke voorland van slikken en platen breekt de golven, wat de golfbelasting op de dijken vermindert. Als het voorland verdwijnt door erosie (zandhonger) en door zeespiegelstijging, krijgen de dijken een krachtigere golf te verwerken en moet wellicht extra geïnvesteerd worden in de sterkte van de dijk om de veiligheid op peil te houden.

Door zeespiegelstijging worden de waterstanden op de Noordzee hoger, waardoor de OSK vaker en langer dicht moet.

Door de bouw van de Oosterscheldekering is het natuurlijke evenwicht tussen afbraak en ophoging van de zandplaten in de Oosterschelde verstoord geraakt, waardoor de zandplaten in de Oosterschelde eroderen. Dit verschijnsel wordt zandhonger genoemd. Zeespiegelstijging versnelt het verdrinken van platen en slikken in de Oosterschelde. Zonder menselijk ingrijpen, loopt het areaal intergetijdengebied geleidelijk aan terug en kunnen slikken en platen op den duur zelfs geheel verdwijnen. Dit pakt negatief uit voor veiligheid, natuur, recreatie en wellicht ook visserij.

Behoefte

Voor de lange termijn heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu behoefte aan een integrale, samenhangende strategie voor een klimaatbestendige aanpak van de waterveiligheidsopgave voor de Oosterschelde. Deze integrale samenhangende veiligheidsstrategie zal bestaan uit een optimale combinatie van aangepast beheer van de Oosterscheldekering, (innovatieve) dijkversterkingen en zandsuppleties op intergetijdengebieden.

Kernvraag

Gezien de ontwikkelingen waar de Oosterschelde mee geconfronteerd wordt, betreft de kernvraag van dit MIRT-onderzoek: wat is de houdbaarheid van de huidige veiligheidsstrategie voor de Oosterschelde?

Knikpunten

In dit knikpuntenrapport is onderzocht tot welke mate van zeespiegelstijging (ZSS) en morfologische veranderingen in de Voordelta en Oosterschelde de huidige veiligheidsstrategie gegarandeerd kan worden, zonder het nemen van aanvullende maatregelen. Hiervoor zijn zogenaamde knikpunten geïdentificeerd. Een knikpunt wordt gedefinieerd als het moment waarop de fysieke situatie van de Oosterschelde zo verandert is dat de huidige veiligheidsstrategie niet meer voldoet. Morfologische veranderingen en veranderingen van hydrodynamische condities zijn oorzaken van knikpunten.

De knikpuntenanalyse is uitgevoerd waarbij de vigerende waterveiligheidsnormen (WTI2006) als uitgangspunt zijn genomen. De waterveiligheidsnormen worden momenteel herzien op basis van het nieuwe wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI2017). Vooruitlopend op het WBI2017 heeft Rijkswaterstaat een overgangsnorm opgesteld. Middels het ontwerpinstrumentarium (OI2014) zal binnen het lopende project praktisch met deze overgangsnorm worden gewerkt en de huidige knikpuntenanalyse worden herzien. Na het herzien van de knikpunten zal nader worden gekeken naar oplossingsrichtingen, consequenties voor de ruimtelijke ordening en effecten voor gebruiksfuncties. Voor het beoordelen van de effecten zal gebruik worden gemaakt van het beoordelingskader van de MIRT verkenning Zandhonger Oosterschelde [ref. 31], aangevuld met de Omgevingswijzer.

Belangrijk uitgangspunt voor de knikpuntenanalyse is de aanname ten aanzien van de ZSS. Er is uitgegaan van de Deltascenario's (2013) met een ZSS gebaseerd op de KNMI 2006 scenario's. In 2016 zijn er diverse publicaties verschenen waarbij gewezen wordt op het risico van versnelde afbraak van de ijskap van

Antarctica. Volgens het KNMI ¹ kan dit er toe leiden dat de totale zeespiegelstijging in 2100 bijna twee keer zo groot is als eerdere schattingen. Wanneer dit het geval is dan zullen de knikpunten genoemd in dit rapport eerder optreden dan nu aangegeven.

1.3 Doelstelling

Witteveen+Bos heeft van Rijkswaterstaat de opdracht gekregen om door middel van een MIRT-onderzoek inzichtelijk te maken welke knikpunten er zijn te verwachten in de veiligheidsstrategie van de Oosterschelde voor de periode 2015-2100. Van de urgente knikpunten die voor 2050 optreden, dient daarbij inzichtelijk te worden gemaakt welke aanpassingen aan de veiligheidsstrategie gedaan moeten worden om de Oosterschelde te laten voldoen aan de gestelde normen voor waterveiligheid en het behoud van ecologische waarde en economische gebruikswaarde. Het verkennen van mogelijke oplossingen is ook onderdeel van de opdracht, maar dat wordt in een later stadium van het project geadresseerd. Voorliggend rapport richt zich op het inzichtelijk maken van de knikpunten en het moment waarop deze, naar verwachting, optreden.

1.4 Methode van onderzoek

Systeemanalyse als basis

In de systeemanalyse analyseren wij het functioneren van de verschillende fysieke componenten (kering, dijken, Oosterschelde, voordelta) apart, in onderlinge samenhang en in samenhang met het gebruik (natuur en economie). Het is belangrijk voor het systeembegrip te beseffen dat de Deltawerken onomkeerbare ingrepen zijn, waarvan de morfologische en ecologische effecten nog steeds doorwerken. Een nieuwe veiligheidsstrategie moet dus rekening houden met de doorwerkende effecten en moet passen binnen de kaders van de bestaande keringen en dammen van de Deltawerken.

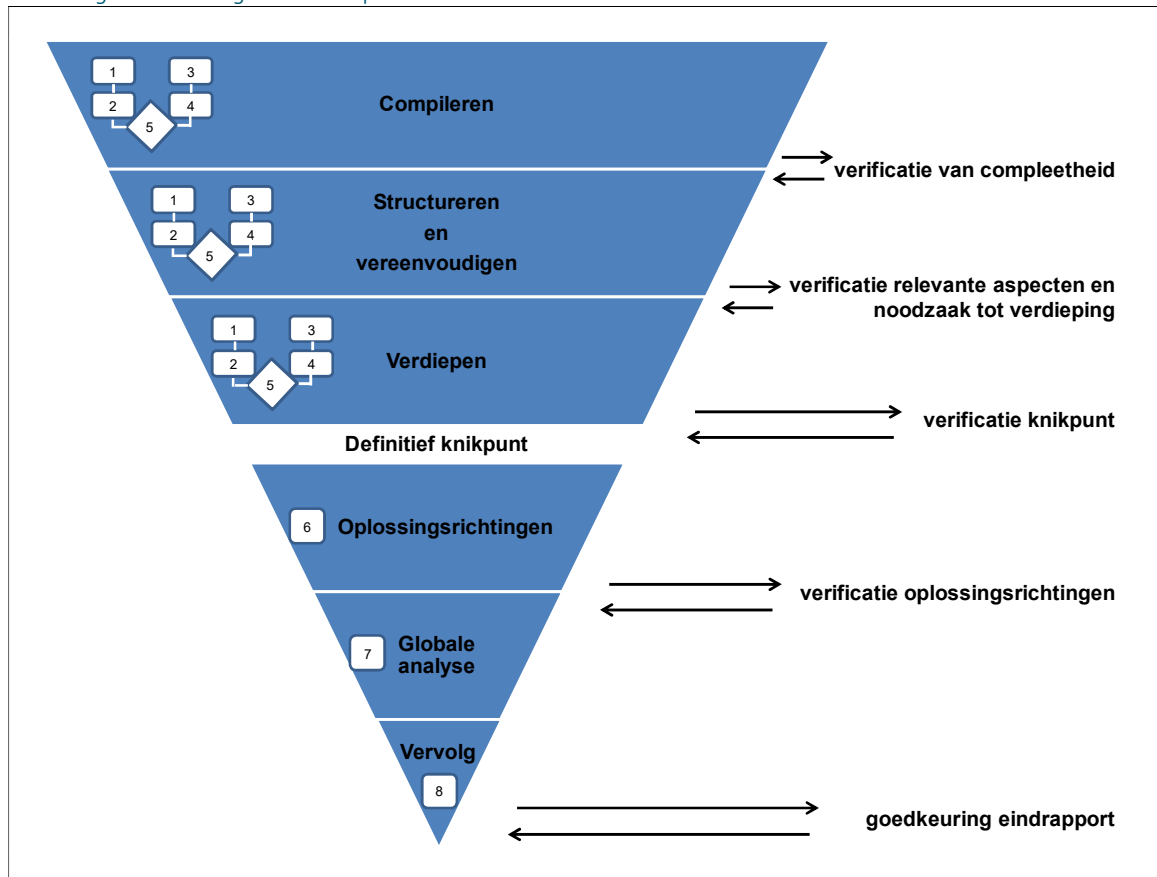
De probleemanalyse in drie rondes

De probleemanalyse is in drie rondes uitgevoerd (zie de bovenste helft van afbeelding 1.2). In de eerste ronde is alle beschikbare informatie gecompileerd en gestructureerd. Daarbij zijn die aspecten geselecteerd die van belang zijn voor de probleemanalyse. In de tweede ronde is op basis van de beschikbare informatie en door middel van expert judgement beredeneerd op welke aspecten en binnen welke tijdshorizon problemen optreden. De derde ronde heeft zich tot slot gericht op die vragen waar op basis van expert judgement geen uitsluitsel gegeven kan worden of waar uitkomsten een nadere onderbouwing behoeven. Dit heeft geresulteerd in een definitieve lijst met knikpunten voor de integrale veiligheidsstrategie van de Oosterschelde. Deze aanpak in de drie integrale rondes heeft als meerwaarde dat:

1. we breed starten, waardoor alles een plek krijgt in het onderzoek;
2. de onderzoeksinspanning heel gericht, en daarmee efficiënt en vooral effectief, wordt ingezet.

¹ <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/ijssmelt-antarctica-in-volgende-eeuw-rampzalig>
<http://www.nature.com/news/antarctic-model-raises-prospect-of-unstoppable-ice-collapse-1.19638>

Afbeelding 1.2 Trechtering van het werkproces



Om de analyse overzichtelijk te houden, zijn de jaren vóór 2050, tussen 2050 en 2100 en na 2100 gehanteerd om de effecten op veiligheid, ecologie en economie beschrijven. Om tot goede relevante knippunten te komen, is gekeken naar de fysieke begrenzingen van de systemen. Zo is voor de OSK, bijvoorbeeld, gekeken naar welke waterstand deze kan keren voordat hij faalt. Of in het geval van de dijken naar welke golfhoogte deze kunnen weerstaan voordat niet meer aan de vigerende normering wordt voldaan.

2

SYSTEEMBESCHRIJVING

2.1 Inleiding systeembeschrijving

In deze systeembeschrijving onderscheiden we drie systemen:

3. Het fysieke systeem, waarin fysische, chemische en biologische processen zich afspelen;
4. Het socio-economische systeem, met de gebruiksfuncties;
5. Het beheersysteem van de overheden die het beheer voeren over de Oosterschelde, Voordelta, Oosterscheldekering en dijken.

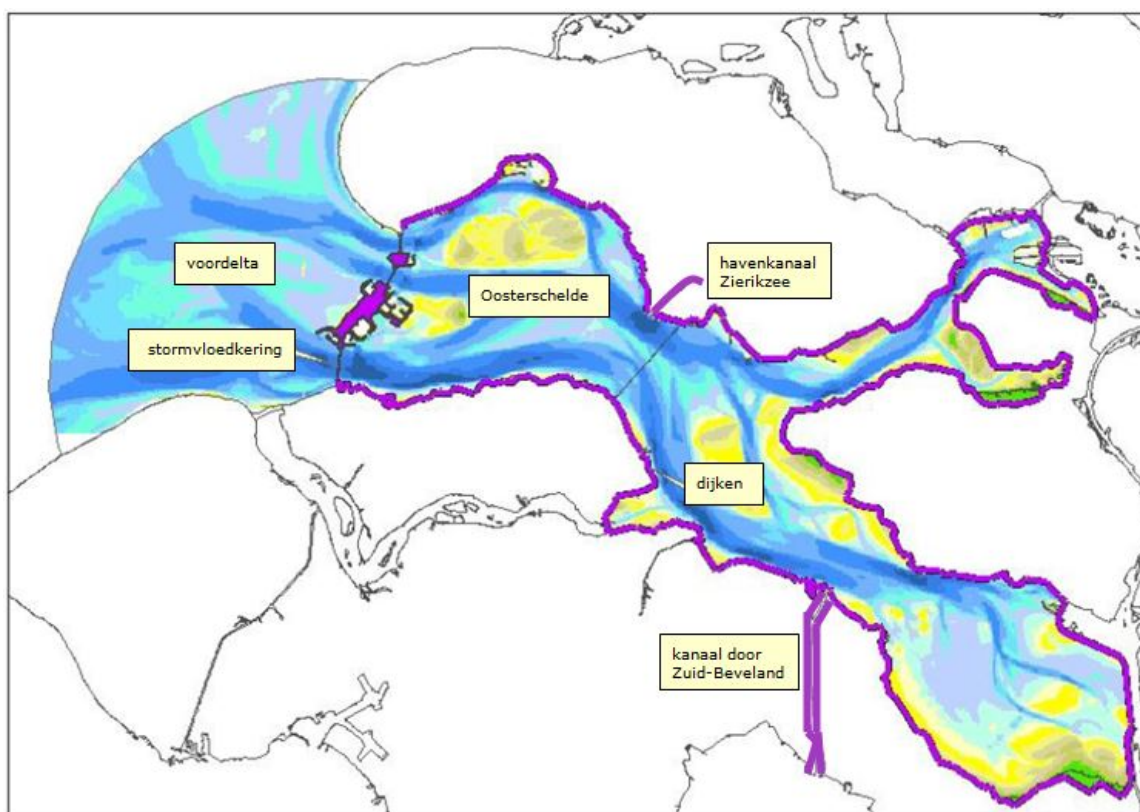
2.2 Fysieke systeem

2.2.1 Systeemgrens

Het plangebied van dit MIRT-onderzoek bestaat uit de gehele Oosterschelde, inclusief de bijbehorende voordelta, de OSK en alle omringende dijken, waaronder het havenkanaal van Zierikzee en het kanaal door Zuid-Beveland. Daarnaast beslaat het projectgebied dat deel van de voordelta, waarvan de te verwachten morfologische verandering een invloed hebben op de maatgevende belasting van de kering (zie afbeelding 2.1).

De Oosterschelde ligt in het zuidwesten van Nederland, geheel in de provincie Zeeland. Het vormt een centraal onderdeel van het voormalige estuariumgebied van Rijn, Maas en in beperkte mate Schelde. De Oosterschelde wordt begrensd door de dijken van de eilanden Schouwen-Duiveland, Tholen en Sint Philipsland, Noord-Beveland en Zuid-Beveland en de dammen van de Deltawerken. De grootte van het gebied betreft circa 35.000 ha, omgeven door een dijk van 195 km, een lengte van hemelsbreed 37 km van oost naar west en 30 km van noord naar zuid.

Afbeelding 2.1 Systeemgrens Oosterschelde. Met in paars de ligging van de waterkeringen. Het blauwe kleurverloop toont de geulen (donkerblauw = diep) en het ondiepe water. De gele en groene kleuren tonen de intergetijdengebieden



2.2.2 Oosterscheldesysteem

De Oosterschelde is het grootste nationale park van Nederland. Door het getij is het landschap altijd anders. Bij laagwater worden de droogvallende slikken en platen zichtbaar, welke bij hoogwater vervolgens tijdelijk weer uit het zicht verdwijnen. Dit zogenoemde intergetijdengebied in de voormalige delta van de Rijn en de Maas herbergt een enorme rijkdom aan planten en dieren. Ook voor de schelpdiersector is de Oosterschelde van groot belang. Het is het belangrijkste productiegebied van schelpdieren in Nederland en is daarnaast van grote waarde voor scheepvaart, toerisme en recreatie.

Geschiedenis

In de periode voorafgaand aan de Deltawerken was de Oosterschelde een estuarium. De verbinding met de rivieren Rijn en Maas zorgde voor een brak-zout gradiënt in de Oosterschelde met bijbehorende estuariene flora en fauna. De getijdenstromen en golfwerking zorgden voor erosie- en sedimentatieprocessen die resulteerden in een wisselend patroon van schorren, slikken en droogvallende platen (het intergetijdengebied), ondiep water en diepe getijdengeulen. In 1986 is de Oosterschelde afgesloten door de bouw van twee compartimenteringsdammen: Philipsdam en Oesterdam aan de rivierzijde en een stormvloedkering aan de zeezijde. Het eindresultaat is een Oosterscheldebekken met een 10 % gereduceerd getijverschil en een 30 % gereduceerd getijvolume [ref. 5], waarbij zanduitwisseling met de Noordzee nagenoeg onmogelijk is gemaakt. Als gevolg is het systeem morfologisch verder uit evenwicht geraakt. Desondanks wordt de Oosterschelde nog steeds gekarakteriseerd als een intergetijdengebied afgewisseld met ondiep water en getijdengeulen.

Huidige fysische systeem

Het intergetijdengebied van de Oosterschelde is het gebied tussen gemiddeld laagwater spring (GLWS) en gemiddeld hoogwater spring (GHWS). Dit betreft alles dat bij laagwater droogvalt; de slikken, platen en

schorren. De slikken en platen vormen de onbegroeide delen in de Oosterschelde. De slikken liggen tegen een dijk aan en de platen liggen tussen de geulen en zijn bij laagwater geheel omringd door water. Beide gebieden hebben veelal een zandige bodem. Maar in diverse gebieden komen ook kleirijke bodems voor die na erosie van de zandlaag zijn overgebleven. De begroeide delen zijn schorren. Schorren liggen globaal tussen gemiddeld hoogwater bij doortij (GHWD) en een minimale overspoelingsfrequentie van gemiddeld vijf keer per jaar. Een geul bestaat uit de permanente waterdelen, waarbij de diepe geulen dieper dan NAP -7 m zijn. Ondiepe geulen bestaan uit de zone langs het intergetijdengebied, dit is in de Oosterschelde tussen circa NAP -2 m en NAP -7 m.

Morfologie

Zandhonger

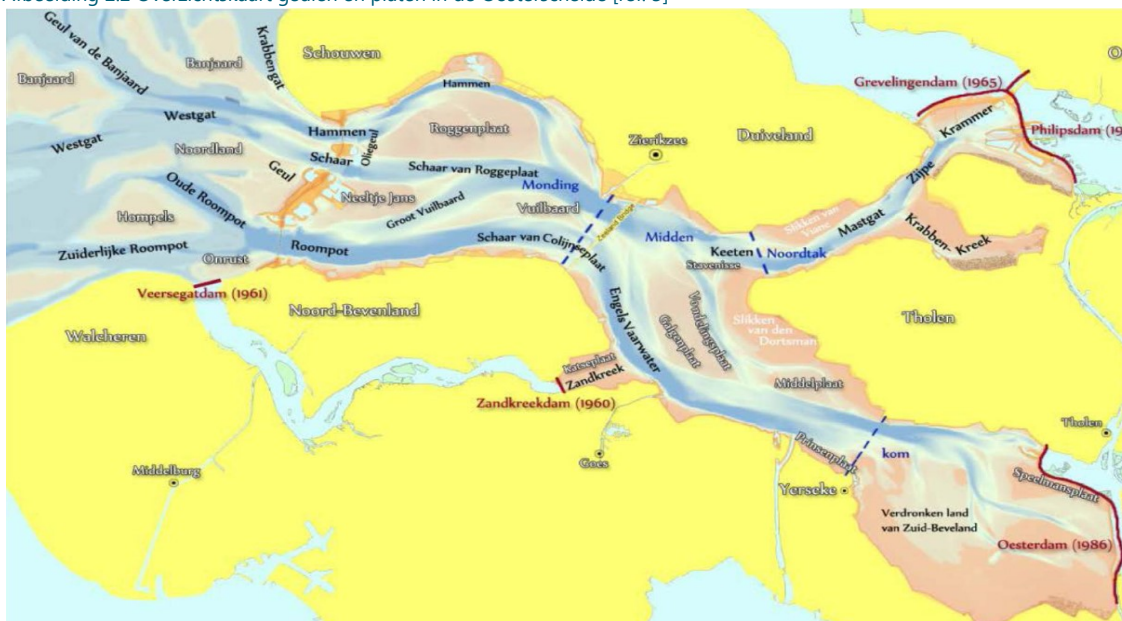
Sinds de aanleg van de stormvloedkering in de jaren '80 stroomt er minder water in en uit de Oosterschelde. Daarbij is door de aanleg zanduitwisseling met de Noordzee nagenoeg onmogelijk gemaakt. Aan weerszijden van de kering zijn erosiekuilen ontstaan door de grote turbulentie. De zandtransporten zijn aan beide zijden vooral van de kering af gericht, waardoor de jaarlijkse transporten door de kering gering zijn [ref. 5].

De kleinere hoeveelheid water in combinatie met de relatief grote getijdengeulen heeft geleid tot een afname van de stroomsnelheid en getijvolume. Het water heeft daardoor onvoldoende kracht om sediment te verplaatsen van de geulen naar het intergetijdengebied. Bij storm spoelt er echter wel zand van het intergetijdengebied in de geulen, maar de opbouwende werking van het getij is te klein om dit sediment weer terug op de platen te brengen. De afbrekende krachten werken dus nog wel, maar de opbouwende krachten niet voldoende. Hierdoor is het evenwicht verstoord. De afbraak van intergetijdengebied overheerst en dit proces staat bekend als de 'zandhonger' [ref. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**]. Als gevolg zijn sinds de aanleg van de Deltawerken ongeveer 1.100 ha platen en slikken definitief verdrongen en zijn de platen en slikken gemiddeld 25 cm lager geworden [ref. 30]. De zandhonger in de geulen leidt tot erosie van de platen en slikken, en zeespiegelstijging tot een geleidelijke verdrinking. Het areaal platen en slikken loopt geleidelijk terug en dreigt op termijn geheel te verdwijnen. Wanneer platen en slikken eenmaal zijn verdrongen is dit proces lastig om te keren. Volgens de MIRT verkenning Zandhonger [ref. 30] zal het areaal intergetijdengebied naar verwachting afnemen met 9 % in 2020 en met 35 % in 2060, ten opzichte van de situatie in 2010. De intergetijdengebieden verdwijnen door drie processen: de randen eroderen, de platen en slikken worden lager en de zeespiegelstijging zorgt voor de stijging van de laagwaterstanden. Hierdoor 'verdrinken' de intergetijdengebieden langzaam. Verwacht wordt dat de geconstateerde ontwikkelingen zich de komende decennia onverminderd lineair voortzetten.

Voordelta

Sinds de bouw van de OSK is de morfologie van de Voordelta volop in verandering als aanpassing op de nieuw ontstane situatie. Dit is met name het geval geweest aan de zuidelijke zijde van de delta. Veranderingen in de diepte van geulen en ligging van platen voor en achter de kering kunnen van grote invloed zijn op toe- en afstroming nabij de kering. Zo blijkt uit een door Deltares in 2012 uitgevoerde morfologische studie [ref. 3]. Aan de buitenzijde verplaatsen de geulen zich iets naar het noorden, waardoor de aanstroming van de OSK wat schuiner wordt. Verwacht wordt dat dit zich in de komende periode versterkt, waardoor de waterbeweging verandert. De laatste jaren zijn vooral aan de binnenzijde van de OSK morfologische veranderingen te zien bij de Hammen en Roompot. De Hammen wordt ondieper, hoewel de snelheid waarmee dit gebeurt de laatste jaren is afgenomen. De Roompot verdiept en versmalt, waardoor de stroming en golfbelasting aan de binnenzijde in beperkte mate toenemen. Onderstaande afbeelding geeft een overzicht van de in de Oosterschelde aanwezige geulen en platen.

Abbeelding 2.2 Overzichtskartaat geulen en platen in de Oosterschelde [ref. 3]



Waterstanden, stromingen en golven

Op de Oosterschelde is onder dagelijkse omstandigheden getij aanwezig in de orde van 2,5 m tot 2,7 m bij de kering en 3,0 tot 3,7 m achterin de Oosterschelde. Tijdens stormomstandigheden wordt de Oosterschelde afgesloten wanneer de verwachte waterstanden boven NAP +3 m uitkomt. Dit gebeurt door de schuiven in de Oosterscheldekering te laten sluiten. De schuiven worden tijdens het eerste hoogwater bij NAP +1 m gesloten. Indien tijdens het tweede hoogwater de verwachte waterstand wederom boven NAP +3 m uitkomt wordt de kering op NAP +2 m gesloten.

Als de kering niet gesloten is, maar de waterstand komt boven de NAP +3 m uit, wordt automatisch een noodsluiting op NAP +3 m uitgevoerd. Voor een aantal faalmechanismen van de achterliggende dijken is deze noodsluiting de maatgevende situatie.

De grootste stroomsnelheden (orde 1,6 m/s bij Roompot tot 1,8 m/s bij de Hammen) treden op door de kering tijdens vloed [ref. 3]. Verder zijn er grote stroomsnelheden bij de Zeelandbrug.

De grootste golfbelasting is te vinden op locaties met een lange strijklengte. Deze locaties liggen op Noord-Beveland, Zuid-Beveland (ingang kanaal), Stavenisse en de zuidkant van Schouwen. De golfbelasting op de dijken varieert nogal langs de Oosterschelde. Dit komt doordat op veel locaties er een voorland aanwezig is.

In de analyse is ook gekeken naar de effecten van zeespiegelstijging op het peilbeheer op het Veerse Meer bij het normale functioneren van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk (de Katse Heul). Hieruit volgt dat het gemiddelde zomerpeil op het Veerse Meer nauwelijks verandert. Tot een zeespiegelstijging van 40 cm is er ook weinig invloed op de fluctuatie (neemt 8 % af). Bij een stijging van 90 cm neemt de dynamiek met de helft af. Het gemiddelde winterpeil wordt 2 to 3 cm hoger bij een zeespiegelstijging van 40 cm en wordt 6 à 8 cm hoger bij een zeespiegelstijging van 90 cm. Dan neemt ook de fluctuatie met de helft af.

De zandhonger, en de daaruit resulterende erosie van het intergetijdengebied, heeft vooral effect op de golfhoogten in de Oosterschelde. Des te lager de platen en de vooroevers, des te hoger de golven. In de HR2006 [ref. 11] is gerekend met een ontwerpbodem voor 2050. Recentelijk is een nieuwe prognosebodem bepaald. Hierin gaat de bodemligging in de ondiepe gedeelten meestal iets omlaag. Door Svasek [ref. 20] is gekeken wat de effecten zijn van de nieuwe bodemprognoses op de ontwerprandvoorwaarden. De verschillen in golfrandvoorwaarden zijn klein (orde +/- 0,20 m in H_s en T_p = +/- 0,6 s) en niet eenduidig (hoger 30 %-40 %, lager 20 %-30 %).

Ecologie

Het water, intergetijdengebied en de binnendijs gelegen gebieden van de Oosterschelde herbergen samen de belangrijkste getijdennatuur van Zuidwest-Nederland [ref. 16]. De platen, slikken en schorren zijn leefgebieden voor bijzondere vegetaties. Door de beperkte invloed van golven, de helderheid van het water (uniek voor de Oosterschelde als getijdengebied) en de hoge diversiteit aan substraat hebben zich onderwater verschillende gemeenschappen van wieren, weekdieren, wormen en kreeftachtigen ontwikkeld. Het intergetijdengebied kent een rijk bodemleven, waarbij de hoge biomassa en productiviteit het mogelijk maakt dat grote aantallen steltlopers en vissen in de Oosterschelde kunnen leven. De Oosterschelde is van internationaal belang voor overwinterende en trekkende watervogels. De grote variatie in getij, stroming, watertemperatuur, hoogteligging, sedimentsamenstelling en de goede waterkwaliteit heeft geleid tot een grote diversiteit aan dier- en plantensoorten. Het ondiepe water vervult een belangrijke rol als kraamkamer voor vissen, terwijl de platen als rustgebied dienen voor gewone zeehonden [ref. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en 16]. Een (sub)populatie bruinvissen verblijft in de Oosterschelde. Omdat de Oosterschelde verscheidene habitattypen herbergt en leefgebied is van beschermde vogelsoorten, de noordse woelmuis en de gewone zeehond, kent het gebied instandhoudingsdoelen voor deze soorten vanuit het Europese Natura 2000-beleid [ref. 16].

Zandhonger vormt een belangrijk obstakel voor het behalen van de instandhoudingsdoelen. Door afname van het areaal en afvlakking van de hoogste delen van de zandplaten, zorgt zandhonger voor het zichtjaar 2060 al voor een afname in de beschikbare foerageertijd per getij. Dit leidt tot een drastische afname van draagkracht voor foeragerende steltlopers. Daarnaast zijn er verslechtingen voorzien in het areaal en de kwaliteit van vegetaties en rustgebied voor zeehonden. De zeespiegelstijging vormt een verdere bedreiging voor het areaal aan zandplaten en daarmee de natuurwaarde van de Oosterschelde.

Instandhouding

Uit verkenningen uitgevoerd naar potentiële oplossingen voor de zandhonger in de Oosterschelde blijkt periodiek suppleren van intergetijdengebieden de meest kansrijke maatregel te zijn [ref. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en ref 30]. Uit de MIRT verkenning Zandhonger [ref. 30] is daarbij gebleken dat de maatregelen tegen zandhonger (suppleties) er in kunnen slagen om de negatieve effecten van zandhonger op de natuur te verhelpen. Daarnaast kunnen de maatregelen bijdragen aan het behoud van het karakteristieke landschap van platen en slikken en de recreatieve beleving in de Oosterschelde. Tot slot dragen de suppleties op langer termijn bij aan de hoogwaterveiligheid. Dit betreffen tot nu toe allen verwachtingen gebaseerd op uitgevoerde modelleringen en literatuurstudies, welke in de praktijk nog aangetoond moeten worden. In 2018 wordt met de suppletie van de Roggeplaat gestart en op basis hiervan wil men leren over de effectiviteit en doeltreffendheid van suppleties in de Oosterschelde.

2.2.3 Oosterscheldekering

De OSK is een 8,5 km lange stormvloedkering tussen Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland, die de Oosterschelde bij dreigend hoogwater afsluit (zie afbeelding 2.3). De kering is ontworpen om een ontwerppeil van NAP +5,3 m tot NAP +5,5 m te kunnen keren [ref. 4]. De bovenkant van de kerende delen van de afsluitbare constructie ligt daar nog 30 cm boven om ruimte te bieden aan 20 cm zeespiegelstijging en 10 cm bodemdzakking. Het betreft een halfopen kering, waarvan 3 km afsluitbaar is. Bij een waterstandvoorspelling van NAP +3 m wordt de OSK gesloten. Dit komt gemiddeld één keer per jaar voor en gebeurt door middel van het sluiten van de 62 schuiven, die de kering telt. De kering is ontworpen om een hoogwatersituatie te weerstaan die statistisch 1 keer in de 4.000 jaar voorkomt.

Het grootste deel van de Oosterscheldekering betreft een verbindende waterkering (categorie b-kering). Een beperkt deel van de aanzetdammen op Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland maakt echter deel uit van de dijkringgebieden (zie afbeelding 2.4). Het deel van de Oosterscheldekering dat valt onder categorie b kan worden opgedeeld in een vaste kering en een beweegbare, afsluitbare kering (zie onderstaand kader). Dankzij de beweegbare, afsluitbare delen van de OSK kan deze enerzijds als stormvloedkering functioneren, terwijl anderzijds onder normale weersomstandigheden het waterpeil van de Oosterschelde grotendeels met het getij van de Noordzee mee kan bewegen.

Afbeelding 2.3 Oosterscheldekering (1: damaanzetten, 2: beweegbare kering, 3: vaste kering, 4: havendammen)



Afbeelding 2.4 Categorie a-kering damaanzetten OSK



Deze twee hoofdonderdelen van de OSK behorende tot de verbindende kering, zijn als volgt verder onderverdeeld:

1. beweegbare, afsluitbare kering:
 - ontgrondingskuilen (inclusief bestortingen met slak);
 - drempel en bodembescherming (afbeelding 2.5):
 - bodembescherming vanaf 105 m uit kering: (i) blokkenmatten zonder bestorting, (ii) blokkenmatten met bestorting, (iii) asfaltmastiek met bestorting $\leq 60\text{-}300\text{ kg}$ en (iv) asfaltmastiek met bestorting $> 60\text{-}300\text{ kg}$;
 - bodembescherming tot 105 m uit kering: drempel en overgangsconstructie;
 - constructieve delen:
 - bovenbalken;
 - dorpelbalken;

- pijlers;
 - verkeerskokers;
 - sluitingsmiddelen (schuiven e.d.);
2. vaste kering:
- aanzetdammen:
 - damaanzetten;
 - breukstenen damaanzetten;
 - waterkerende eilanden:
 - hoofdwaterkering Roggeplaat;
 - hoofdwaterkering Neeltje Jans;
 - coupure Damvak Geul (voetgangerstunnel);
 - coupure Buitenhaven Neeltje Jans (verkeersviaduct);
 - Roompotsluis (en sluisplateau).

De havendammen worden niet als apart onderdeel van de OSK beschouwd (zie onderstaand kader).

Beweegbare, afsluitbare kering [ref. 2]

Tot de beweegbare, afsluitbare kering van de OSK worden de pijlers met schuiven en dorpelbalken in de drie stroomgeulen Roompot, Schaar en de Hammen en de bodembescherming gerekend.

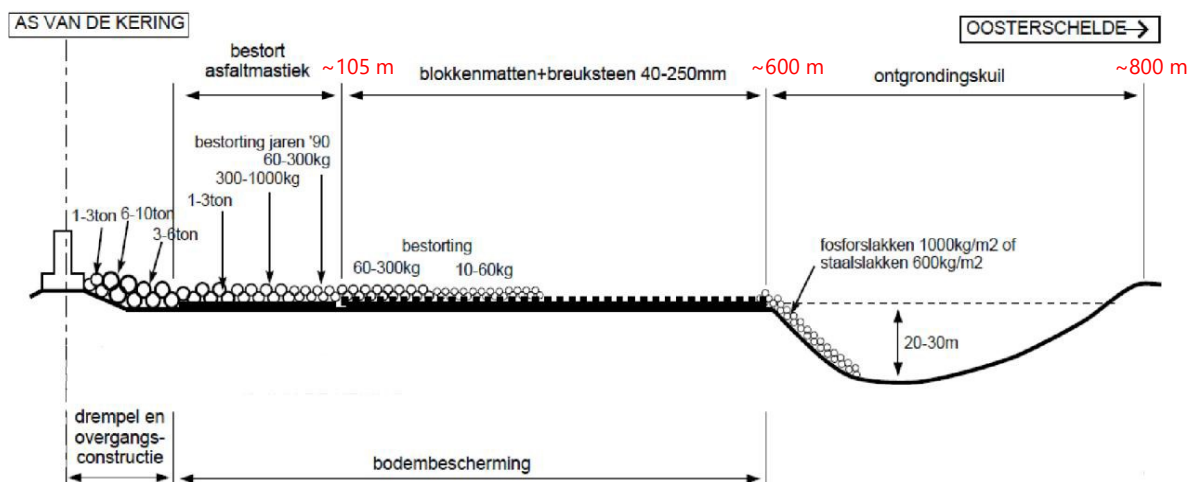
Vaste kering

Tot de vaste kering behoren de damvakken (grondlichamen) op de eilanden Neeltje Jans en Roggenplaat, de overgangsconstructies (damaanzetten) aan de oevers van de drie stroomgaten, en de Roompotsluis.

Havendammen

Deze maken geen onderdeel uit van de primaire waterkering en mogen bezwijken bij een storm met herhalingsstijd van 100 jaar, maar niet volledig verdwijnen bij hydraulische condities met een herhalingsstijd van 4000 jaar (enige reductie van de golfcondities). Door klimaatveranderingen zal de kans op bezwijken toenemen. Verwacht wordt echter dat het restprofiel gelijk blijft. Dit resulteert bij een ZSS tot een kleinere reductie van de golfcondities. De afname van de reducerende werking wordt, indien relevant, meegenomen in de analyse. Het bezwijken van de havendammen zelf niet.

Afbeelding 2.5 Algemene opbouw drempel en bodembeschermingen¹



¹ De 20 - 30 m diepte van de ontgrondingskuilen betreft een prognose van voor 2014. Sindsdien is de verwachting dat de kuilen in sommige stroomgaten meer dan 40 m diep kunnen worden.

Instandhouding

Het dagelijks beheer en onderhoud van de OSK, inclusief de aan weerszijden aanwezige ontgrondingskuilen, vallen onder de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat Zee en Delta. De hellingen van de ontgrondingskuilen worden regelmatig gemonitord en indien nodig verder bestort, doorgaans met staalslak. Een bestorting wordt aangebracht als een onbestorte helling steiler is dan 1:5 of een eerdere bestorte helling steiler is dan 1:3.

In 2014 heeft minister Schultz van Haegen de beheerstrategie van deze kuilen aangescherpt (zie kader). De aanscherping betreft het maximaliseren van de kuildiepte op 40 m beneden de oorspronkelijke bodem. Daarnaast kan bij het doorbreken van een kleilaag ervoor gekozen worden om al eerder een bestorting aan te brengen om een verdere ontgroning te voorkomen.

Tekst uit bijlage bij de brief van de minister [ref. 12]

‘Rond de Oosterscheldekering liggen matten en blokken om het wegspoelen van zand - erosie - te voorkomen. Dat is de bodembescherming. Aan de randen van die matten - op minimaal 600 m van de Oosterscheldekering - ontstaan van nature zogenoemde ontgrondingskuilen door stroming. Op het moment dat de hellingen van deze kuilen te steil dreigen te worden, moeten deze bestort worden met stortsteen.

Zo wordt voorkomen dat de bodembescherming rond de Oosterscheldekering gaat schuiven en wordt de stabiliteit van de aangrenzende dijken geborgd. Volgens het oorspronkelijke beheer worden de hellingen haaks op de bodembescherming bestort als deze steiler worden dan 1:5. Voor hellingen die al eerder zijn bestort geldt dat deze opnieuw worden bestort als deze steiler worden dan 1:3. In september 2013 heb ik u gemeld dat het beheer is aangescherpt door deze beheerstrategie ook toe te gaan passen op de zijhellingen van de ontgrondingskuilen. Hierdoor is het beheer nu feitelijk al zwaarder dan de bouwers destijds voor ogen hadden.

Het nu in afronding zijnde vervolgonderzoek toont aan dat naarmate de ontgrondingskuilen dieper worden de risico's op afschuiving toenemen, ook bij bestorte hellingen. Om deze risico's in te perken zou bij een grotere kuildiepte dan 40 m het hellingscriterium stapsgewijs moeten worden aangescherpt. Om risico's uit te sluiten opteer ik voor een robuustere beheerstrategie door de diepte van de ontgrondingskuilen te maximaliseren op circa 40 m. Bij het bereiken van deze diepte wordt, naast de helling, dan ook de bodem van de kuil bestort. Bij deze diepte blijft een onvoorziene afschuiving buiten de invloedssfeer van de Oosterscheldekering en aangrenzende keringen en blijft de veiligheid gegarandeerd.

Het natuurlijke ontgrondingsproces wordt sterk bepaald door de bodemsamenstelling. Zand erodeert gelijkmatig maar snel. Van nature aanwezige kleilagen eroderen langzaam maar als deze doorslijten dan kunnen onderliggende zandpakketten vervolgens snel eroderen waardoor de diepte van ontgrondingskuilen snel toeneemt. Daarom zal ik hierop specifiek monitoren en wordt voortaan bij een dreigende doorbraak van een kleilaag afgewogen of het niet economisch effectiever is om preventief te bestorten. Dit in plaats van het toepassen van het reguliere beheer door het periodiek bestorten van de hellingen van de groeiende ontgrondingskuil. Dit is in feite een aanvulling op de eerste aanscherping van het beheer, de maximale kuildiepte wordt hierdoor bepaald door de ligging van een kleilaag en kan dus ook minder zijn dan de genoemde 40 m.’

2.2.4 Dijken

Op afbeelding 2.1 is duidelijk te zien dat de Oosterschelde volledig wordt begrensd door primaire waterkeringen. Deze moeten hoge waterstanden en golven kunnen keren met een kans van optreden van eens per 4.000 jaar, conform de vigerende norm. Primaire waterkeringen worden in verschillende categorieën opgedeeld. Twee hiervan, zijnde categorie a en b, zijn van toepassing op de Oosterschelde (zie onderstaand kader).

De voor de Oosterschelde relevante categorieën primaire waterkeringen zijn:

Categorie a

Primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden¹ - al dan niet met hoge gronden - omsluiten en direct buitenwater keren.

Categorie b

Primaire waterkeringen die verder landinwaarts, vóór dijkkringgebieden zijn gelegen en buitenwater keren (aangeduid als de verbindende waterkeringen) [ref. 22].

Elk dijkkringgebied heeft een normfrequentie voor de waterstand waartegen de waterkeringen bestand moeten zijn. De normfrequentie is bepaald op basis van het advies van de Deltacommissie en is afhankelijk van de aard van de bedreiging, de omvang en het belang van het gebied. Verbindende waterkeringen hebben een normfrequentie gelijk aan de hoogste normfrequenties van de te beschermen dijkkringgebieden.

Categorie a-keringen

De categorie a-keringen rond de Oosterschelde zijn weergegeven in afbeelding 2.6. Deze keringen maken deel uit van de volgende dijkkringen:

- 6. 26 Schouwen Duiveland;
- 7. 27 Tholen en St. Philipsland;
- 8. 28 Noord-Beveland;
- 9. 29 Walcheren (niet aan de Oosterschelde);
- 10. 30 Zuid-Beveland;
- 11. 31 Zuid-Beveland.

Afbeelding 2.6 Categorie a-keringen (A) en dijkkringen (B) rond de Oosterschelde [ref. 22]



Categorie b-keringen

De categorie b-keringen rond de Oosterschelde betreffen (afbeelding 2.7):

- 12. (16) Grevelingendam;
- 13. (17) Philipsdam;
- 14. (18) Oosterscheldekering;
- 15. (19) Oesterdam;
- 16. (21) Zandkreekdijk;
- 17. (22) Sluizencomplex bij Hansweert in het kanaal door Zuid-Beveland.

Samen met de Grevelingendam, Philipsdam, Oesterdam en het sluizencomplex bij Hansweert kan de OSK de Oosterschelde, indien nodig, volledig afsluiten.

¹ Dijkkringgebieden zijn gebieden die door middel van een primaire waterkering, of door hoge gronden, beschermd worden tegen buitenwater. Deze gebieden worden omgeven door een primaire waterkering, zoals dijken, duinen en constructies voor het waterbeheer (o.a. sluizen en gemalen).

Afbeelding 2.7 Categorie b-keringen rond de Oosterschelde [ref. 22]



Instandhouding

De dijken van de dijkkringgebieden rondom de Oosterschelde vallen binnen het beheergebied van Waterschap Scheldestromen. Belangrijke activiteiten met betrekking tot het onderhoud zijn:

18. onderhouden van grasbekledingen door middel van maaien en/of begrazen;
19. aanvullen inwassing van de steenzettingen met split en verwijderen van vegetatie;
20. bestorten van diepe geulen in het voorland en nabij de teen van de dijk;
21. faunabeheer van schadelijke diersoorten;
22. controleren op en herstellen van schades door verzakkingen, zettingen, verwekingen, zandvoerende wellen, aansluitingen op kunstwerken en niet-waterkerende-objecten (NWO);
23. monitoren van de onderwatertoevoer;
24. controleren van de kunstwerken, zoals gemalen en sluizen.

De dammen worden door Rijkswaterstaat beheerd.

2.3 Socio-economisch systeem

In de Oosterschelde vinden verschillende vormen van visserij plaats. Het betreft vooral mossel- en oesterteelt, sleepnetvisserij, kokkelvisserij en visserij met vaste tuigen. Het kweken van mosselen en oesters in de Oosterschelde gebeurt op aangewezen kweekpercelen. Deze percelen liggen op de randen van de slikken en platen. Ook het vissen met vaste vistuigen gebeurt merendeels op de ondiepere, deels droogvallende, delen van de Oosterschelde. De kreeftenkorven worden vooral in de zones met hard substraat (onder aan de dijkvoeten) ingezet. Andere vaste vistuigen worden ook op de droogvallende slikken en platen ingezet. Dit is ook de zone waar de kokkelvisserij plaatsvindt. Sleepnetvisserij, wat door een klein aantal vissers gebeurt, vindt plaats op de diepere delen van de Oosterschelde.

In de Oosterschelde liggen twee hoofdvaarwegen. De ene hoofdvaargeul, de Roompot, loopt van de Bergsediepsluis in de Oesterdam (oostkant van de Oosterschelde) richting de Noordzee via de Roompotsluis. Deze oost-westverbinding is vooral een route voor recreatievaart. De andere hoofdvaargeul is de hoofdtransportas Gent-Duitsland van Wemeldinge naar Krammer. Vooral de beroepsscheepvaart maakt gebruik van deze noord-zuidverbinding.

Daarnaast is de Oosterschelde een gewaardeerd recreatiegebied voor watersportliefhebbers, dagrecreanten, sportvissers, pierenstekers, sportduikers en natuurliefhebbers. Vaarrecreatie is de recreatievorm die wijdverbreid voorkomt in de Oosterschelde. Het gebied is een uniek en geliefd vaarwater voor plezierjachten en charterschepen, vanwege het getij, het wisselende landschap van periodiek droogvallende slikken en platen en de gedempte golfslag. Op een aantal plaatsen langs de Oosterschelde zijn zandstrandjes aangelegd, welke populair zijn bij strandrecreanten. De sportvisserij is onder te verdelen in kantvissers, bootvissers en chartervissers.

2.4 Beheerssysteem

2.4.1 Beschrijving huidige veiligheidsstrategie

Taken en verantwoordelijkheden

Voor de veiligheidsstrategie bestaat de volgende verdeling van de verantwoordelijkheden voor de dijken rond de Oosterschelde:

- 25. het Rijk (min. I&M) is verantwoordelijk voor de veiligheidsnorm;
- 26. Waterschap Scheldestromen is verantwoordelijk voor:
- 27. beheer en onderhoud;
- 28. toetsing;
- 29. Inspectie Leefomgeving en Transport is verantwoordelijk voor het toezicht;
- 30. de Provincie Zeeland is verantwoordelijk voor de toezicht op het waterschap als geheel.

Voor de verdeling van de verantwoordelijkheden voor de OSK en de dammen geldt:

- 31. het Rijk (min. I&M) is verantwoordelijk voor de veiligheidsnorm;
- 32. Rijkswaterstaat (Zee&Delta) is verantwoordelijk voor:
- 33. beheer en onderhoud;
- 34. toetsing;
- 35. Inspectie leefomgeving en transport is verantwoordelijk voor het toezicht.

Het beheer van de waterkeringen van de verschillende dijkringen is in handen van het waterschap en Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat is tevens beheerder van de OSK en de dammen. De waterkeringen zijn onderhevig aan bodemdaling, slijtage en beleidswijzigingen die het noodzakelijk kunnen maken waterbouwkundige werken uit te voeren.

Veiligheidsnorm

De vigerende norm voor hoogwaterveiligheid is vastgelegd in de Waterwet. In de wet is opgenomen dat de primaire waterkeringen elke zes jaar getoetst moeten worden aan deze norm. Hiertoe heeft het Rijk een wettelijk toetsinstrumentarium opgeleverd (WTI2006).

Naar verwachting wordt de wet in 2017 aangepast en wordt de norm gewijzigd van een toelaatbare overschrijdingskans naar een overstromingskans (zie kader). Ten behoeve van de wetswijziging wordt een nieuw wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) voorbereid. Vooruitlopend op het WBI2017 heeft Rijkswaterstaat een overgangsnorm opgesteld. Middels het ontwerpinstrumentarium (OI2014) kan binnen lopende project praktisch met deze overgangsnorm worden gewerkt.

Overschrijdingskans en overstromingskans

De huidige norm (WTI2006) is gebaseerd op een overschrijdingskansnorm. De definitie van de overschrijdingskans is 'de kans op de combinatie van hydraulische randvoorwaarden die nog juist veilig door de waterkering kan worden weerstaan'.

De nieuwe norm (WBI2017) gaat uit van een overstromingskans. De definitie hiervan is 'de kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkkring) op één of meer plaatsen faalt'.

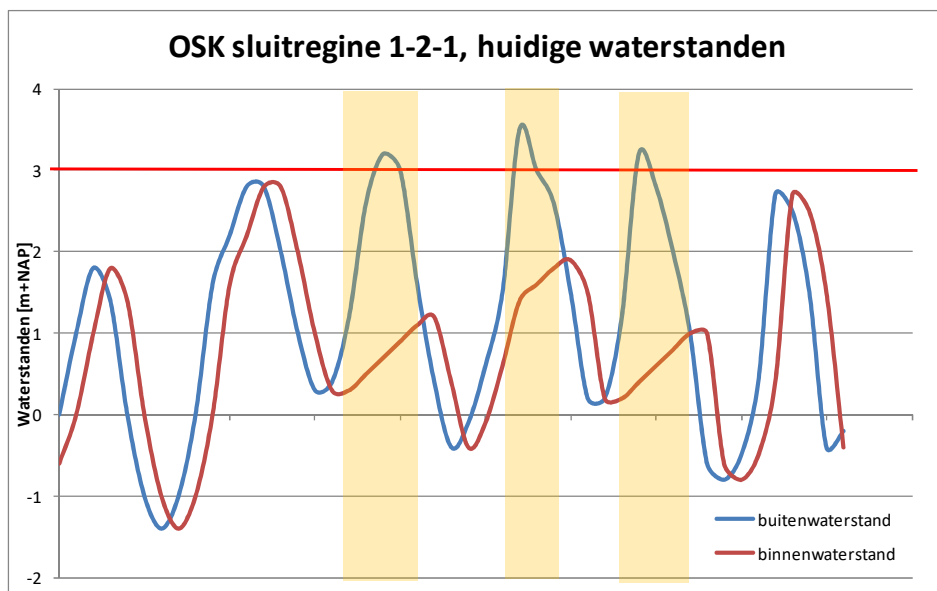
Sluitregime

De OSK voorkomt stormvloedwaterstanden in de Oosterschelde door te sluiten bij een verwachte buitenwaterstand van NAP +3 m en een binnenpeil in de Oosterschelde van NAP +1 m.

Bij aanhoudende stormvloed wordt, indien mogelijk, een wisselstrategie van het binnenpeil van NAP +1, +2, +1 m gehanteerd (Afbeelding 2.8). De afgelopen 27 jaar sloot de kering gemiddeld 1 keer per jaar. De laatste sluiting was tijdens de Sinterklaasstorm van 2013.

In 1998 is de kering op het verzoek van het waterschap tweemaal gesloten bij NAP om de capaciteit van de uitslaande gemalen te maximaliseren en zo de wateroverlast ten gevolge van neerslag te minimaliseren. Tot slot kan de kering ook gesloten worden bij een (olie)verontreiniging op zee.

Afbeelding 2.8 OSK sluitregime NAP +1,+2,+1 m bij aanhoudende stormvloed, verloop gebaseerd op waterstandsmetingen. De gele vlakken verbeelden de tijdsvensters wanneer de kering gesloten is.



Veiligheid Nederland in Kaart

In het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK 2) is een eerste analyse van de nieuwe waterveiligheidsnormering uitgevoerd. Dit MIRT onderzoek wordt uitgevoerd conform de vigerende normering. Hierbij wordt zo veel mogelijk op de resultaten van VNK 2 aangesloten en worden deze, waar nodig, verdiept.

Recente versterkingen

De uit de zandhonger voortkomende erosie van het intergetijdengebied heeft in kader van de waterveiligheid vooral effect op de golfhoogten in de Oosterschelde. Hoe hoger de golven, des te groter de golfklappen op de bekleding en de golfoploop op het dijktafval. Door de effecten van deze hogere golven kan de veiligheid in het geding komen. Zo zijn in 1996, op basis van de waargenomen bodemveranderingen en jongste inzichten in hydrodynamische ontwikkelingen, hydraulische randvoorwaarden vastgesteld voor de toetsing van de primaire waterkeringen in de Oosterschelde [ref. 5]. Als gevolg zijn vanaf 1997, waar de waterkeringen niet sterk genoeg waren om deze randvoorwaarden te weerstaan, door het projectbureau Zeeweringen van Rijkswaterstaat en Waterschap Scheldestromen dijkverzwaringen uitgevoerd aan de Oosterschelde dijken. Daarbij zijn de steenbekledingen van vrijwel alle dijken versterkt en zijn alle toets- en ontwerpvoorwaarden door het projectbureau zelf bepaald. De nieuwe bekledingen zijn toen ontworpen met een levensduur van ca. 50 jaar (tot ongeveer 2060). Verder worden sinds 2009 door Rijkswaterstaat in kader van project vooroeververdediging de vooroevers van de Oosterschelde met stortsteen versterkt. Bestorting wordt in het kader van kustlijnverzorging uitgevoerd op voorspraak van het waterschap, die bij de toetsing de noodzaak van deze maatregel ter garantie van de standzekerheid van de dijken heeft aangetoond. Een aanzienlijk deel van de waterkeringen rond de Oosterschelde grenst aan diep water of geulen. De vooroever van die keringen moet stabiel genoeg zijn om de standzekerheid van de kering te kunnen garanderen. Dit project loopt tot en met 2017 en helpt om afschuiven van de kering te voorkomen.

Door middel van zandsuppleties kan de verstoorde balans tussen afbraak en ophoging van de zandplaten in de Oosterschelde worden gecompenseerd. Uit de MIRT-verkenning zandhonger blijkt dat de negatieve effecten zich het eerst voordoen in het mondinggebied en pas na een termijn van 20-30 jaar in andere delen

van de Oosterschelde. Het suppleren van de Roggenplaat wordt daarom als voorkeursaanpak gepresenteerd [ref. 30].

Relatie met andere beleidsvelden

Het MIRT onderzoek Integrale Veiligheid Oosterschelde (IVO) heeft raakvlakken met verschillende andere beleidsvelden, waaronder het internationaal water- en natuurbeleid (KRW en Natura 2000). De Oosterschelde is aangewezen als KRW-waterlichaam van het type K2 (beschut polyhalien kustwater). Natuurdoelen uit de KRW bestaan uit de biologische kwaliteitselementen, zoals het voorkomen van mosselbanken, zeegrasvelden en schorren. Daarnaast is dit belangrijke natuurgebied aangewezen als Natura 2000-gebied en als nationaal park. De droogvallende platen en slikken met daarop foeragerende steltlopers en het onderwatergetijdenlandschap vormen de belangrijkste natuurwaarden. Verder vormt het gebied een belangrijke stop voor migrerende vogels, is het een belangrijk broedgebied voor bijzondere vogelsoorten en komen er waardevolle habitats voor, zoals Atlantische en continentale kwelders en schorren.

Een ander beleidsveld waar het onderzoek aan raakt is het Deltaprogramma 2016. Hierin wordt samen toegewerkt naar een klimaatbestendig veilige, ecologisch veerkrachtige en economisch vitale Zuidwestelijke Delta, waar de Oosterschelde deel van uitmaakt [ref. 14]. Voor de Oosterschelde wordt hierbij specifiek aandacht besteed aan de waterveiligheidsstrategie, waarin dijken en zand worden gecombineerd. Als onderdeel van het Deltaprogramma is in 2013 de MIRT verkenning Zandhonger Oosterschelde uitgevoerd [ref. 30]. Op basis hiervan is in 2014 ingestemd met de ontwikkelde voorkeursaanpak, waarbij de zandhonger wordt bestreden met het suppleren van zand op intergetijdengebieden. Vanwege de snelheid waarmee het oppervlakte en hoogte van de Roggenplaat afneemt, is urgentie aan de suppletie van deze plaat gegeven. De uitvoeringsperiode is in 2017-2018 voorzien [ref. 14]. Aanpak van de andere platen is in de MIRT-verkenning als minder urgent beoordeeld en wordt daarmee niet voor 2025 uitgevoerd. In het project Kustgenese, onderdeel van het Deltaprogramma Kust, wordt gekeken naar de ontwikkeling van het gehele zandige kuststelsel, inclusief de niet zand delende systemen. Voor die bekkens wordt een sedimentanalyse opgesteld op basis waarvan een sedimentstrategie voor de gehele Zuidwestelijke delta kan worden opgesteld. Het MIRT onderzoek IVO levert een bijdrage aan dit project door in te gaan op de vraag of het structureel ophogen van de dijkvoorlanden, slikken en platen met sediment (de stuurknop Zand') een mogelijke oplossing is om de Oosterschelde veilig, economisch vitaal en ecologisch veerkrachtig te houden.

Verder wordt er momenteel in de Oosterschelde toegewerkt naar een nieuwe overkoepelende organisatie. Dit nieuwe 'Oosterschelde-Overleg' gaat vanuit de kaders van het Deltaprogramma 2015 en de beschikbare sectorale wensen (kaarten) de regionale ambities voor de Oosterschelde vanuit een integrale visie vertalen naar een voorkeursstrategie [ref. 19]. De eventuele ruimtelijke consequenties hiervan worden meegenomen in de nieuwe Omgevingsvisie.

Duurzaamheid

Tot slot wordt vanuit de nationale en regionale duurzaamheidsambities gekeken of er mogelijkheden zijn om in de Oosterschelde op duurzame wijze energie op te wekken. Dit, in kader van de door Rijkswaterstaat gestelde ambitie om per 2020 een energiebesparing en CO₂-emissiereductie van 20 % te hebben behaald en per 2030 volledig energieneutraal te zijn. Naast windenergie wordt er recentelijk ook naar de mogelijkheden voor getijdenenergie gekeken. Vanwege de hoge stroomsnelheden is de OSK de meest geschikte locatie voor een getijdencentrale om energie op te wekken in Nederland. Eind 2015 zijn dan ook als proef de eerste vijf turbines in de kering geplaatst. De turbines benutten de zeer krachtige waterstromen die zich op het vaste ritme van eb en vloed bij de Oosterscheldekering voordoen. Mogelijk dat in de toekomst het aantal turbines uitgebreid wordt.

Naast energie en klimaat zijn er vijf andere, concrete ambities gesteld, zijnde: circulaire economie (in 2030 dienen alle werken circulair ontworpen te zijn), duurzaam waterbeheer, duurzame mobiliteit, duurzame gebiedsontwikkeling en gezondheid.

2.4.2 Prestatiepeil versus toetspeil

Er is een verschil tussen een prestatiepeil (PP) en een toetspeil (TP). Daarnaast kent de vigerende norm (WTI2006) een andere definitie voor het toetspeil dan de nieuwe norm (WBI2017). De verschillende definities zijn hieronder gegeven.

Toetspeil WTI2006 [ref. 22]

Het TP is de waterstand behorend bij de normfrequentie (voor de OSK is dat 1/4000 jaar) van de betreffende waterkering, die bij de toetsing wordt gebruikt. De toetspeilen zijn opgenomen in een randvoorwaardenboek [ref. 22]. Het randvoorwaardenboek wordt formeel vastgesteld door de minister en een TP heeft daarmee een wettelijke status.

Toetspeil WBI2017 [ref. 5]

Waterstand behorende bij de overschrijdingskans gelijk aan de normoverstromingskans, conform Bijlage II en IIA van de waterwet.

Prestatiepeil (vigerend)

Het PP is het gegarandeerde binnenpeil op de Oosterschelde met een kans van voorkomen van 1/4000 jaar dat samenhangt met de faalkans van de kering. Het PP is dus de waterstand die gegarandeerd wordt door de werking van het systeem van stormvloedkering, wind, morfologie en ZSS op de waterstanden.

De waterkeringen moeten het TP veilig kunnen keren. Het PP moet dus altijd lager liggen dan het TP ($PP < TP$). De faalkans van de OSK is deels afhankelijk van het aantal sluitingen, dat toeneemt door de ZSS, waardoor het PP stijgt in de richting van het TP. Overigens faalt de waterkering niet direct wanneer het PP groter is dan het TP, maar voldoet de waterkering in dat geval niet aan de norm. Daarnaast zit er nog een marge tussen het rekenkundig falen en het daadwerkelijk falen.

In feite is er niet één PP maar meerdere peilen. In het Oosterscheldebekken is voor verschillende uitvoerlocaties een PP afgeleid (afbeelding 3.2). Hetzelfde geldt voor het TP. Zowel het PP als TP variëren per dijkkring en uitvoerlocatie. Daarnaast is niet alleen het TP bepalend voor de dijken, de hydraulische belasting wordt gevormd door een combinatie van waterstanden en golven. Deze combinatie kan uitgedrukt worden in een hydraulisch belastingsniveau (HBN). Dit is een (fictief) kruinniveau van een dijk, gegeven de waterstand, golfcondities, een toelaatbaar overslagdebiet, de ruwheid van de dijkbekleding en geometrie van de dijk en het voorland.

2.4.3 Zeespiegelstijging

Het verdwijnen van de platen en slikken in de Oosterschelde als gevolg van zandhonger heeft effect op veiligheid en natuur in de Oosterschelde. De ZSS versnelt het verdrinken van platen en slikken in de Oosterschelde. Daarbij worden door ZSS de waterstanden hoger, waardoor de Oosterscheldekering tijdens dreigende hoogwaterstand vaker en langer dicht moet.

Door klimaatveranderingen en bijbehorende ZSS stijgt bij ongewijzigd sluitregime het PP. Immers, de gemiddelde binnenwaterstand neemt toe bij een hogere gemiddelde buitenwaterstand. Om te voorkomen dat het PP hoger wordt dan het TP, kan het TP worden verhoogd of het PP worden verlaagd of een combinatie daarvan. Verhogen van het TP kan bijvoorbeeld door de dijken te versterken. Het PP kan bijvoorbeeld verlaagd worden door de kering bij een lagere buitenwaterstand te sluiten of het verkleinen van het lekdebiet.

Faalmechanismen van dijken worden op verschillende manieren door ZSS in combinatie met morfologische veranderingen beïnvloed. Door het gecombineerde effect van ZSS en erosie van het voorland door zandhonger neemt de waterdiepte voor veel dijktrajecten toe. Daar waar de golfwerking dieptebeperkt is, kunnen in de toegenomen waterdiepte grotere golven ontstaan. Hierdoor wordt de kans op erosie van het dijklichaam in de golfslagzone vergroot. Hogere golven die over de dijk slaan, vergroten daarbij de kans op verweking en erosie van het binnentalud van de dijk. Verder neemt door ZSS aan Oosterscheldezijde en

doorgaande klink aan polderzijde het stijghoogteverschil over de dijklichamen toe, waardoor de kans op opbarsten/piping wordt vergroot.

3

KNIKPUNTEN OOSTERSCHELDEKERING

De OSK is een belangrijke schakel in de huidige veiligheidstrategie. In dit hoofdstuk is aangegeven tot welke mate van ZSS en morfologische veranderingen in de Voordelta en Oosterschelde een veilige inzet van de OSK gegarandeerd kan worden (zonder het nemen van aanvullende maatregelen). Hiervoor zijn zogenaamde knikpunten in de tijd gedefinieerd.

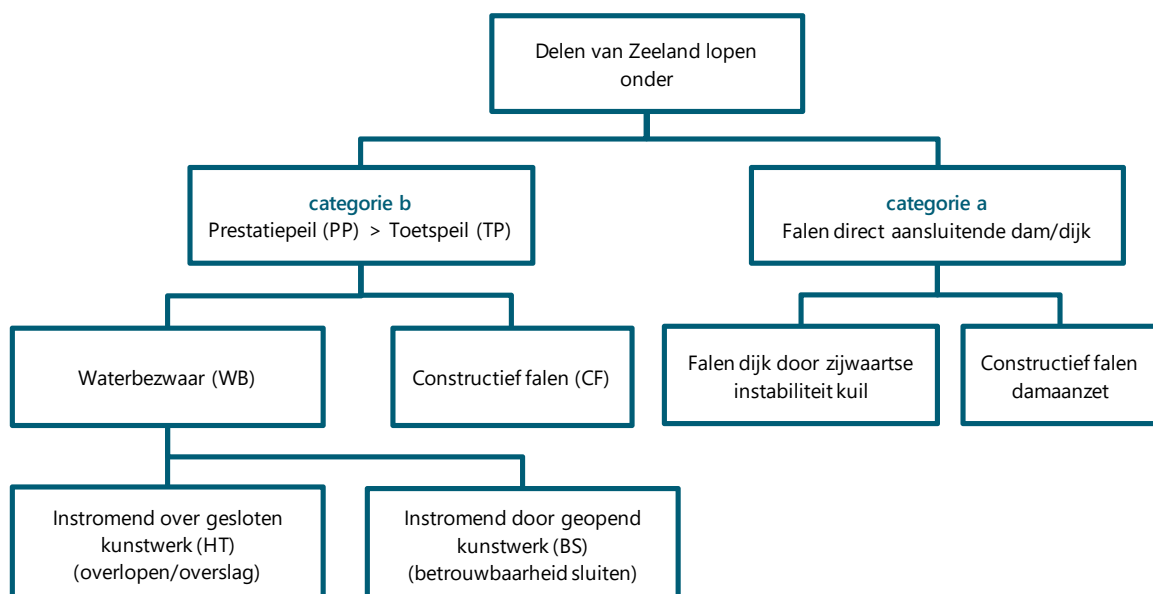
Om vast te kunnen stellen wanneer de OSK niet meer voldoet en daarmee een knikpunt bereikt, zijn eerst de faalmechanismen benoemd (paragraaf 3.1). Een ZSS of morfologische verandering kan leiden tot een toename van de hydraulische belastingen. In paragraaf 3.2 zijn daarom de relevante hydraulische belastingen gegeven. De knikpunten (op basis van vigerende en nieuwe norm) zijn opgenomen in paragraaf 3.3.

3.1 Faalmechanismen

Foutenboom

De OSK heeft verschillende functies. In voorliggend hoofdstuk is de functie van primaire waterkering beschouwd. De kering faalt voor deze functie als delen van Zeeland onder water lopen door het falen van de OSK. Deze topgebeurtenis is uitgewerkt middels een foutenboom (afbeelding 3.1). De foutenboom is vergelijkbaar met de oorspronkelijke foutenboom [ref. 10] en de gehanteerde boom door Arcadis in de faalkansanalyse van de civiele delen [ref. 1].

Afbeelding 3.1 Foutenboom 'Delen van Zeeland lopen onder als gevolg van falen van de OSK'



Categorie b-kering

Conform de foutenboom lopen delen van Zeeland onder water als een categorie a- of b-kering faalt. Daarbij is aangenomen dat een a-kering rondom de Oosterschelde faalt, als door falen van de OSK het toetspeil (TP) op de Oosterschelde wordt overschreden. Dit is een conservatieve aanname. In de werkelijkheid hoeft een a-kering niet direct te falen wanneer het TP wordt overschreden. Veelal is er nog reststerkte aanwezig. Daarnaast is niet alleen het TP relevant in de beoordeling van de dijken. Zoals reeds aangegeven in paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** vormt de belasting door de golven een belangrijk onderdeel van de hydraulische randvoorwaarden voor de dijken.

Het TP op de Oosterschelde kan door het falen van de OSK op de volgende manieren overschreden worden:

- 1 door **waterbezwaar** (WB) als gevolg van instromend water over een gesloten OSK (door overlopen en overslag) of door instromend water door een open OSK (door het niet sluiten van één of meerdere schuiven). Water door of over de OSK is op zich geen probleem, tenzij het bergend vermogen van het achterliggende oppervlaktewater wordt overschreden. In dat geval wordt het TP overschreden;
- 2 door instromend water door de OSK als gevolg van **constructief falen** (CF). Anders dan bij WB verliest in dit geval de OSK aan sterkte en/of stabiliteit.

De volgende faalmechanismen zijn maatgevend voor de categorie b-kering:

36. beweegbare afsluitbare kering;
37. constructief falen (CF);
38. piping/heave;
 - stabiliteit voorland;
 - aansluiting op grondlichaam;
 - sterkte constructieonderdelen;
- waterbezwaar (WB):
 - overloop en golfoverslag (HT);
 - betrouwbaarheid sluiting (BS);
- vaste kering:
 - constructief falen (CF):
 - piping/heave;
 - macrostabiliteit buitenwaarts;
 - macrostabiliteit binnenwaarts;
 - microstabiliteit;
 - stabiliteit bekleding;
 - stabiliteit voorland;
 - waterbezwaar (WB):
 - overloop en golfoverslag (HT).

Categorie a-kering

Het falen van de delen van de aanzetdammen op Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland, die onderdeel uitmaken van de dijkkringgebieden, leidt direct tot het onderlopen van delen van Zeeland. Daarnaast kan een direct aangrenzende dijk falen door de (zijwaartse) instabiliteit van een kuilwand aan het einde van de bodembescherming van de OSK. In dat laatste geval wordt gesteld dat de OSK faalt zonder dat het toetspeil wordt overschreden.

De faalmechanismen voor de categorie a-keringen zijn gelijk aan de faalmechanismen voor de vaste keringen die vallen onder categorie b. In dit hoofdstuk is alleen gekeken naar de invloed van de ZZS en morfologische veranderingen op de zijwaartse instabiliteit van de ontgrondingskuilen in relatie tot de stabiliteit van de aangrenzende dijken. De overige faalmechanismen vallen onder de knikpunten voor de dijken in hoofdstuk 4.

3.2 Hydraulische randvoorwaarden

In deze studie is onderscheid gemaakt tussen de volgende randvoorwaarden:

- oorspronkelijke ontwerp randvoorwaarden: randvoorwaarden die ten behoeve van de rekenkundige beoordeling van het ontwerp zijn afgeleid;
- toetsrandvoorwaarden vigerende norm: de vigerende norm betreft het Wettelijk toetsinstrumentarium (WTI2006);
- toetsrandvoorwaarden nieuwe norm: in 2017 gaat naar alle waarschijnlijkheid de nieuwe norm in werking. Het Wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) is dan van kracht. In dit rapport is nog niet met deze nieuwe norm gewerkt.

Oorspronkelijke ontwerp randvoorwaarden

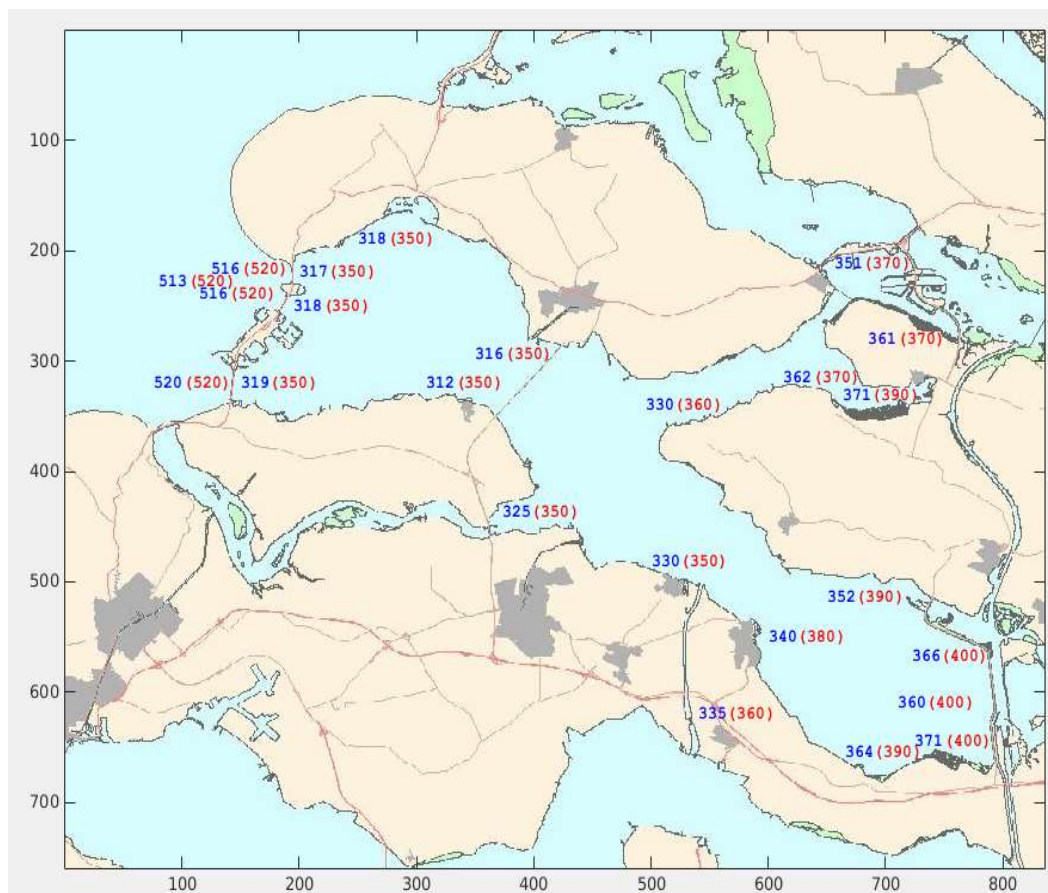
Per keringonderdeel zijn voor het ontwerp hydraulische randvoorwaarden afgeleid. Een overzicht van deze randvoorwaarden is gegeven in bijlage I.1. Sterk samengevat gelden de volgende randvoorwaarden:

- ontwerpwaterstand: NAP +5,5 m;
- toelaatbaar verval over gesloten kering (vloed): 6,2 m;
- toelaatbaar verval over (deels) open kering in relatie tot de bodembescherming: 4,3 m;
- ontwerp golfhoogte H_s : 2 m tot 7 m;
- ontwerp golfperiode T_p : 9 s tot 12 s.

Randvoorwaarden vigerende norm (VN)

In afbeelding 3.2 zijn de vigerende PP en TP (HR2006) gegeven voor de Oosterschelde [ref. 28].

Afbeelding 3.2 Prestatiepeilen en tussen haakjes de toetspeilen (in NAP cm) in de Oosterschelde (HR2006)



De hydraulische randvoorwaarden bij de vigerende norm zijn gegeven in bijlage II. Sterk samengevat gelden de volgende randvoorwaarden voor de OSK:

- TP: NAP +5,2 m;
- toelaatbaar verval over (deels) open kering in relatie tot de bodembescherming: 3,7 m;
- golfhoogte H_s : 2 m tot 4 m;
- golfperiode T_p : 7 s tot 9 s.

Verwachte zeespiegelstijging (ZSS)

In de bepaling van de knikpunten voor de OSK is uitgegaan van een ZSS van 0,30 m in 2050 en 0,80 m in 2100 ten opzichte van het referentiejaar 2011, zoals volgt uit het computerprogramma Hydra-NL voor het scenario warm/stoom¹. Met het programma zijn oriënterende waterstandsberekeningen uitgevoerd met de optie klimaatmoden. Met deze klimaatmoden kan het effect van de verschillende klimaatscenario's op de waterstand worden doorgerekend. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage I. Hieruit volgt dat bij een ZSS van 0,80 m op de Noordzee het PP in de Oosterschelde tussen de 0,03 en 0,31 m toeneemt.

Morfologische verandering

Gezien het verschil tussen de golfrandvoorwaarden conform de vigerende norm en de golfrandvoorwaarden die zijn aangehouden bij het opstellen van het ontwerp, zijn de morfologische veranderingen van het voorland van ondergeschikt belang geacht ten opzichte van de ZSS voor het bepalen van de knikpunten.

3.3 Knikpunten

Bij het definiëren van de knikpunten is onderscheid gemaakt tussen waterbezwaar (WB) en constructief falen (CF), en de vigerende norm (VN). Dit leidt tot de volgende twee (hoofd)knikpunten:

- WB bij VN;
- CF bij VN;

3.3.1 Waterbezwaar (WB) bij vigerende norm (VN)

Waarom

Het knikpunt treedt op als door de ZSS en morfologische veranderingen het PP groter wordt dan het TP als gevolg van instromend water over een gesloten kering (overloop en golfoverslag, HT) of door een (gedeeltelijk) open kering (betrouwbaarheid sluiting, BS). Als het WB door het instromende water groter is dan het bergende vermogen van de Oosterschelde, dan wordt het TP overschreden en faalt de OSK voor zijn functie waterveiligheid.

Wanneer

Voor alle beschouwde oeverlocaties met Hydra-NL leidt een ZSS van 0,80 m nog niet tot een hoger PP dan het TP (bijlage I). De maatgevende oeverlocatie is de pijlerdam. Ter plaatse van deze locatie is het verschil tussen het TP en het PP bij een ZSS van 0,80 m afgenomen tot 0,02 m. Het betreft een positieve verschilwaarde en daardoor is er nog net geen sprake van falen door WB.

Een ZSS van 0,80 m treedt op in het jaar 2100. De buffer tussen TP en PP is dan bijna verdwenen, zodat het knikpunt dus (iets) na het jaar 2100 ligt.

¹ In 2050 is de ZSS conform de gebruikershandleiding van Hydra-NL 0,35 m ten opzichte van het jaar 1985 en in 2100 0,85 m ten opzichte van 1985. Nog onderzocht wordt hoe omgegaan moet worden met de verwachte ZSS conform het KNMI'14. Dit wordt gedaan in combinatie met de bestudering van de nieuwe norm.

3.3.2 Constructief falen (CF) bij vigerende norm (VN)

Voor de bepaling van de knikpunten als gevolg van CF zijn de maatgevende faalmechanismen voor de verschillende onderdelen beschouwd. Een overzicht van alle knikpunten in relatie tot CF is opgenomen in Bijlage i.6. De meeste knikpunten treden op na 2050 (tabel 3.1).

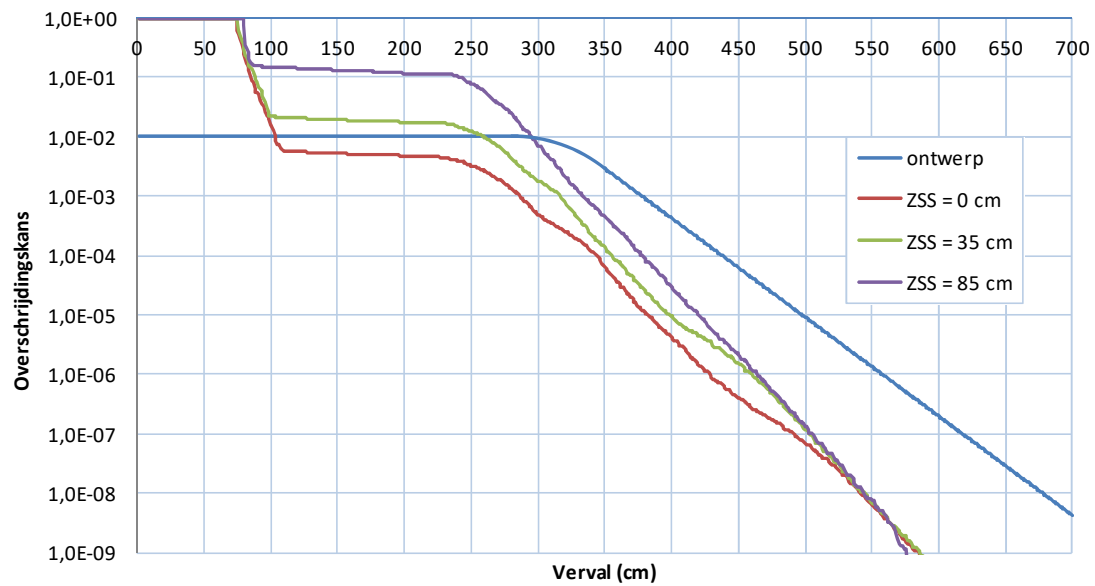
Tabel 3.1 Overzicht beredeneerde schatting van het moment van optreden van de knikpunten bij CF per onderdeel

Object	Voor 2050	Na 2050	Na 2100
ontgrondingskuilen			x
bodembescherming vanaf 105 m uit kering	x		
bodembescherming tot 105 m uit kering			x
bovenbalken		x	
dorpelbalken			x
pijlers			x
verkeerskokers		x	
sluitingsmiddelen (schuiven e.d.).			x
damaanzetten		x	
breukstenen aanzetdammen		x	
hoofdwaterkering Roggeplaat		x	
hoofdwaterkering Neeltje Jans		x	
coupure Damvak Geul (voetgangerstunnel)		x	
coupure Buitenhaven Neeltje Jans (verkeersviaduct)		x	
Roompotsluis	x		

Een belangrijke oorzaak dat de meeste knikpunten pas na 2050 optreden, is de marge tussen de hydraulische ontwerprandvoorwaarden en de huidige toetsrandvoorwaarden, te weten:

- de aangehouden ontwerpwaterstand van de OSK ligt circa 0,3 m hoger dan het huidige TP;
- de aangehouden ontwerp golfcondities van de OSK zijn over het algemeen zwaarder dan voorgeschreven in de toetsing;
- de huidige vervalstatistiek is gunstiger dan tijdens het ontwerp is aangehouden. Dit is te verklaren door de gewijzigde inzichten in de hoogwaterfrequentielijn en de gewijzigde sluitstrategie. De aangehouden vervalstatistiek bij één of meerdere weigerende schuiven in het ontwerp is samen met de verwachte toekomstige vervalstatistiek inclusief zeespiegelstijging weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Afbeelding 3.3 Vervalstatistiek OSK (Roompot) bij ≥ 1 falende schuif [ref. 30]



Het volgende knikpunt door CF treedt waarschijnlijk voor 2050 op:

- de zetsteenbekleding op het sluisplateau van de Roompotsluis is onvoldoende stabiel doordat het overslagdebiet groter is dan 1100 l/s/m.

Dit knikpunt is hieronder nader toegelicht.

Sluisplateau Roompotsluis

Waarom

Het sluisplateau van de Roompotsluis heeft een kerende hoogte van NAP +5,8 m en is bekleed met basalt betonzuilen van 0,18 m hoog, op een 0,3 m dik zanddichte filterlaag van grind 0/32 mm [ref. 1] (afbeelding 3.4 t/m afbeelding 3.6). De bekleding loopt door tot circa 3 m boven het sluisplateau op de taluds van de landhoofden.

Afbeelding 3.4 Roompotsluis



Afbeelding 3.5 Roompotsluis bekeken in de richting van de Oosterschelde respectievelijk de Noordzee



Afbeelding 3.6 Bekleding sluisplateau Roompotsluis



De zetsteenbekleding wordt belast door overslaande golven tijdens stormcondities. Voor de bekleding is volgens het toetsrapport van Arcadis [ref. 2] het ontwerpoverslagdebiet 1100 l/s/m.

Het knikpunt treedt daarmee op als door de ZSS het overslagdebiet over het sluisplateau groter is dan het ontwerpoverslagdebiet 1100 l/s/m. In deze situatie faalt de zetsteenbekleding op het sluisplateau. Aangenomen is dat bij CF van deze bekleding, de OSK faalt voor zijn waterveiligheidsfunctie.

Wanneer

Met de volgende formule is het overslagdebiet (q) te berekenen [ref. 30]¹:

$$q = 0,13 \sqrt{gH_s^3} \exp\left(-3,0 \frac{h_{kr}}{H_s} \frac{1}{\gamma_\beta \gamma_n}\right)$$

In de toetsing zijn de volgende hydraulische randvoorwaarden aangehouden in de toets op hoogte van de sluis:

- 1 toetspeil: NAP +5,18 m;
- 2 golfhoogte H_s : 2,4 m;
- 3 golfperioden T_p : 8,7 s;
- 4 toeslag op de waterstand: 0,3 m;
- 5 hoogte van de kruin boven de stilwaterlijn: 0,32 m (= NAP+5,8 m - NAP-5,18 m - 0,3 m).

Met de bovenstaande randvoorwaarden is het overslagdebiet circa 1000 l/s/m. Om onder het ontwerpoverslagdebiet van 1100 l/s/m [ref. 2] te blijven, is op basis van dezelfde uitgangspunten een ZSS van circa 0,05 m toegestaan. Daarmee treedt dit knikpunt op voor 2050.

¹ γ_β en γ_n zijn in deze formule zogenaamde invloedsfactoren en zijn in de toetsing gelijk gehouden aan 1,0.

4

KNIKPUNTEN DIJKEN

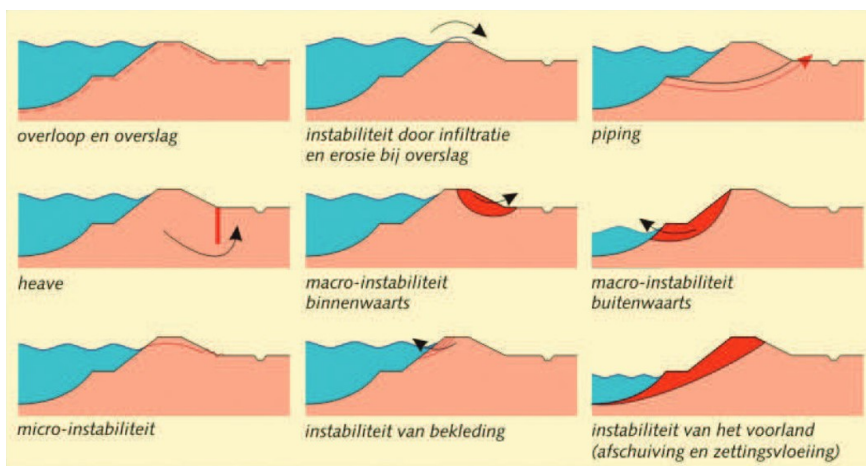
In dit hoofdstuk zijn de knikpunten voor de dijken opgenomen. Deze zijn bepaald per faalmechanisme. Voordat de knikpunten beschreven worden, zijn daarom eerst de faalmechanismen benoemd in paragraaf 4.1.

4.1 Faalmechanismen waterkeringen

Een dijk kan op verschillende wijzen falen (afbeelding 4.1):

- overloop en overslag: de waterstand is te hoog, de golven slaan over de dijk heen. Enige overslag over de kering kan worden verwerkt, omdat het water dan nog afgevoerd kan worden via het gewone waterstelsel achter de kering, mits de bekleding van het binnentalud van de dijk voldoende erosiebestendig is. Wanneer het waterstelsel het overslaande water niet meer kan verwerken of het binnentalud wegslaat, spreken we van falen;
- instabiliteit door infiltratie en erosie bij overslag: ter bescherming tegen golfaanval heeft het binnentalud van een dijk altijd een bekleding van bijvoorbeeld gras, asphalt of stenen nodig. Die bekleding kan beschadigd raken en de golven slaan een bres in de dijk;
- piping of heave: grondwater stroomt, door het verschil in waterstand aan de buiten- en de binnenzijde, onder de dijk of een damwand door. Die stroming kan grond meenemen, waardoor gangen ontstaan onder de dijk en zandmeevoerende wellen ontstaan. Dit kan ertoe leiden dat de dijk wordt ondermijnd en instort;
- macro-instabiliteit binnenwaarts of buitenwaarts: door onvoldoende geotechnische sterkte bij gegeven taludhellingen van de dijk, kan een dijklichaam binnenwaarts of buitenwaarts afschuiven. Het gaat om een massa grond die wegglijdt;
- micro-instabiliteit: door een potentiaalverschil over de dijk ontstaat een stroming door de dijk en kan bij de binnentoe van de dijk water uittreden en lokaal voor verweking zorgen;
- instabiliteit van de bekleding: door golfaanval of een potentiaalverschil over een dichte bekleding kan de bekleding bezwijken of worden opgedrukt en vervolgens afschuiven. Hierdoor neemt de erosiebestendigheid van het talud af, waardoor de dijk kern kan wegslaan;
- instabiliteit van het voorland: een zettingsvloeiing is een taludinstabiliteit van een relatief steil voorland waarbij zand wegvloeit op de manier van een (dikke) vloeistof in een tijdsbestek van enkele minuten. Het zand komt pas tot rust onder een zeer flauwe helling met mogelijk schade aan de dijk.

Afbeelding 4.1 Faalmechanismen waterkering



De faalmechanismen kunnen worden onderverdeeld naar het soort belasting dat maatgevend is voor het faalmechanisme. tabel 4.1 koppelt de belastingen aan de faalmechanismen.

Tabel 4.1 Koppeling belasting aan faalmechanismen

Belasting	Faalmechanismen
waterstand + golven	overloop en overslag en instabiliteit bij infiltratie en erosie bij overslag
waterstand	piping en heave
	macro-instabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts
	micro-instabiliteit
golven	instabiliteit bekleding
geometrie van de vooroever	instabiliteit voorland

4.2 Overloop en overslag

4.2.1 Waarom knikpunt

Vigerende norm

De hydraulische randvoorwaarden die gelden conform de vigerende norm (HR2006) zijn opgenomen in bijlage II. Door de ZSS neemt de waterstand tijdens stormcondities (waterstand op de Noordzee boven NAP +3 m) in de Oosterschelde toe met maximaal 0,07 m in 2050 en 0,31 m in 2100 (Bijlage I). Deze toenames zijn op te nemen in de marge tussen het TP en het PP. De ZSS heeft daarmee geen effect op het TP, zolang de kans op het constructief falen van de OSK niet wijzigt.

Door de grotere waterdiepte neemt de golfhoogte echter wel toe. De grotere waterdiepte wordt enerzijds veroorzaakt door de ZSS, maar ook door de verlaging van de zandplaten in de Oosterschelde en het verkleinen en verlagen van de vooroever. Een langere belastingsduur op bepaalde hoogtes kan namelijk leiden tot versnelde erosie van voorland of platen. Vanaf 2050 is een toe- of afname van de significante golfhoogte van circa $\Delta H_s = 0,2$ m en een toe- of afname van de golfperiode van circa $\Delta T_{m-1,0} = 0,6$ s te verwachten ten opzichte van de golven uit de vigerende norm [ref. 20].

Door de zwaardere golfcondities neemt het overslagdebiet over de waterkering toe, waardoor de faalkans van de waterkering eveneens toeneemt. Wanneer de faalkans van de waterkering de norm overschrijdt, is een versterking van de waterkering noodzakelijk.

De benodigde kruinhoogte is bepaald voor 12 legger profielen [ref. 10] langs de Oosterschelde voor hydraulische randvoorwaarden uit HR2006 [ref. 11] met en zonder de toename van de golfparameters H_s en $T_{m-1,0}$ als gevolg van toekomstige morfologie in de Oosterschelde. De berekende minimale kruinhoogten voor een toegestaan overslagdebiet van 1 l/m/s zijn weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Berekeningen bij benodigde kruinhoogte bij 1 l/s/m golfoverslag met PC-overslag

Nr.	Oeverlocatie	Kruinhoogte legger [m+NAP]	Kruinhoogte bij 1 l/s/m HR2006 [m+NAP]	Kruinhoogte bij 1 l/s/m HR2006 + toeslag door morfologie [m+NAP]
1	Anna Jacobapolder	6,8	4,4	4,7
2	Grevelingendam (cat. b)	6,4	4,4	4,7
3	Het Stikgat	6,1	4,7	4,9
4	Krabbendijke	7,0	5,0	5,3
5	Oesterdam (cat. b)	6,5*	5,9	6,3
6	Oosterland	5,5	4,6	5,0
7	Pijlerdam	6,2	4,9	5,4
8	Roompot	7,5	5,0	5,4
9	St.Maartensdijk	6,3	5,0	5,4
10	t Oude Dorp	6,8	5,6	5,9
11	Veerhaven Kats	6,5	5,1	5,5
12	Zierikzee	7,3	5,8	6,3

* Kruinhoogte tussen NAP +6,0 m en NAP +7,0 m [ref. 16].

Bij vigerende normering voldoen de meeste geanalyseerde doorsneden aan het overslagdebiet van 1 l/m/s, ook wanneer de golfparameters in de toekomst toenemen door verdwijnende platen in de Oosterschelde. Alleen categorie b-kering de Oesterdam heeft in de toekomst een minimale kruinhoogte van NAP +6,3 m nodig. Volgens [ref. 16] is de kruinhoogte van de Oesterdam tussen NAP +6,0 m en NAP +7,0 m. De Oesterdam een verbindende categorie b-kering waardoor niet direct sprake is van onderlopen van land bij een te hoge overslagdebiet.

Wijzigingen normering

In de huidige normering worden de dijken ontworpen op basis van een overschrijdingskans. Deze overschrijdingskans bedraagt 1/4.000 per jaar voor de gehele Oosterschelde. De golfbrandvoorwaarden en de waterstand worden voor het faalmechanisme golfoverslag bepaald bij de norm, dat wil zeggen 1/4.000 per jaar.

In de nieuwe normering wordt overgestapt naar een overstromingskans. Hierdoor verandert de normering van de waterkeringen langs de Oosterschelde. De laagste normering wordt gevonden in 1/1.000 per jaar in Noord-Beveland tot 1/10.000 per jaar nabij Tholen. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de faalkansverdeling over de verschillende faalmechanismen, waardoor de overslag nabij Tholen bepaald dient te worden bij een faalkans van 1/40.000 per jaar. Dit leidt tot een rekenkundig hogere belasting op de waterkering.

Tegelijkertijd mag in de nieuwe normering gerekend worden met een groter overslagdebiet. Hierdoor neemt de benodigde kruinhoogte ten opzichte van de vigerende normering af. Op basis van ervaring met andere projecten, zoals op Texel, is ingeschat dat het netto effect van de nieuwe normering op de hoogte van de waterkering beperkt zal zijn. Dit wordt nog nader onderzocht.

4.2.2 Wanneer treedt het knikpunt op

Ingeschat wordt dat het knikpunt optreedt na 2050, mogelijk zelfs na 2100, onafhankelijk van het klimaatscenario en morfologische ontwikkelingen. De reden hiervoor zijn:

- de maatgevende hoge waterstand op de Oosterschelde stijgt in de toekomst minder bij ongewijzigd sluitingsregime van de OSK dan de ZSS op de Noordzee. De rapportage voor de OSK is aangetoond dat de toetspeilen onder de vigerende norm gehandhaafd kunnen blijven bij een ZSS van circa 0,8 m;
- de waterkeringen rond de Oosterschelde stammen grotendeels uit de tijd van voor de realisatie van de OSK. Dat wil zeggen dat deze ontworpen zijn voor een hogere buitenwaterstand en golfcombinatie dan werkelijk optreedt met een functionerende OSK. Dit is ook goed zichtbaar in de VNK-studies van de verschillende dijkringen in het Oosterscheldegebied, waar zeer lage faalkansen worden gevonden voor het faalmechanisme Overloop en overslag.

4.3 Afschuiven binnen- en buitentalud, Piping en Microstabiliteit

4.3.1 Waarom knikpunt

De faalmechanismen Afschuiven binnen- en buitentalud, Piping en Microstabiliteit worden naast de hoogte van de waterstand ook beïnvloed door de duur van de belasting. Tijdens extreem hoogwater zal, indien de duur langer, is meer water in de ondergrond dringen, wat leidt tot hogere waterspanningen onder de waterkering. Deze waterspanningen leiden tot deze faalmechanismen. Een belangrijke indicator is het driedaags gemiddelde van de waterstand: als deze toeneemt, neemt de veiligheid van de waterkering af.

Door de ZSS zal het waterstandsverloop in de Oosterschelde wijzigen, waarbij de duur van het hoge water zal toenemen. De OSK zal vaker en langer dichtgaan. De gemiddelde waterstand tijdens hoogwater wordt niet of beperkt beïnvloed door de OSK.

Door de stijging van de waterstand, in combinatie met langere duur van het hoogwater (hogere gemiddelde waterstand), neemt de belasting toe, waardoor tevens de faalkans van de waterkering toeneemt. Wanneer de faalkans van de waterkering de norm overschrijdt, is een versterking van de waterkering noodzakelijk.

Het driedaags gemiddelde van de waterstand wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de OSK. Ten gevolge van ZSS neemt dit gemiddelde toe. De enige wijze om te voorkomen dat de gemiddelde waterstand toeneemt, is het **aanpassen** van de veiligheidsstrategie door het eerder sluiten van de OSK.

4.3.2 Wanneer treedt het knikpunt op

Dit knikpunt is onafhankelijk van de morfologische ontwikkeling in de Oosterschelde. Morfologische ontwikkelingen hebben met name effect op de golfbrandvoorwaarden.

Een toename van de waterstand en duur van het hoogwater kan een significant effect hebben op de berekende veiligheidsfactor, afhankelijk van de dijkopbouw. Verwacht wordt dat aanpassingen noodzakelijk zijn voor 2050. Hiertoe worden nog oriënterende geotechnische stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Deze moeten inzicht geven in het effect van de belastingduur en de toename van de waterstand op de stabiliteit (stabiliteitsfactor) van de dijken.

4.4 Bekleding

4.4.1 Waarom knikpunt

Ook voor dit knikpunt geldt dat door zeespiegelstijging de waterstanden in dagelijkse condities hoger worden en dat tijdens extreme condities de OSK vaker en langer dicht is. Hogere waterstanden betekenen een grotere waterdiepte en een toename van de golfhoogte. De grotere waterdiepte wordt enerzijds veroorzaakt door de ZSS zelf en anderzijds door de verlaging van de zandplaten in de Oosterschelde en het verkleinen en verlagen van de vooroever. Een langere belastingsduur door golven op bepaalde hoogtes en op de bekleding kan namelijk tot een versnelde erosie van vooroever of zandplaten leiden. Met als gevolg dat er grotere golven op de dijk komen. Dit is locatiespecifiek en mede afhankelijk van de ligging van platen of vooroever. Toename van golfenergie kan tot op zekere hoogte, zolang de bestaande bekleding blijft voldoen.

Harde bekledingen

Bij hogere golven neemt de belasting op de bekleding van het buitentalud toe. Het buitentalud is in het kader van Projectbureau Zeeweringen vervangen in het afgelopen decennium. In onderstaand kader zijn de uitgangspunten ten aanzien van de hydraulische randvoorwaarden vermeld, waar bij het dijkontwerp rekening mee is gehouden.

Voor een optimaal ontwerp op basis van de overstromingsnorm zijn probabilistische randvoorwaarden nodig, die zouden er rekening mee moeten houden dat de kans op het samenvallen een hoge waterstand met een grote golfbelasting minimaal is. Omdat deze probabilistische randvoorwaarden in deze vorm niet beschikbaar zijn, wordt binnen het Project Zeeweringen ontworpen met deterministische randvoorwaarden. Hierbij wordt voor alle waterstanden uitgegaan van de golfrandvoorwaarden bij een maatgevend windveld met een overschrijdingskans van 1/4000 per jaar. Hiertoe zijn de significante golfhoogte H , en de piekperiode T_{pm} berekend voor alle windrichtingen. Vervolgens is voor elke waterstand de maatgevende combinatie van significante golfhoogte en piekperiode bepaald. Voor de golfrandvoorwaarden bij tussenliggende waterstanden wordt lineair geïnterpoleerd. Bij lagere waterstanden wordt lineair geëxtrapoleerd. Deze benadering zonder de beschouwing van de correlatie tussen de waterstand en de golfrandvoorwaarden kan, met name voor de hogere gedeelten van de bekleding, tot enige overschatting van de belasting leiden.

Rekening is gehouden met de verwachte ongunstigste bodemligging in de planperiode van 50 jaar. Daartoe is op bepaalde locaties een verdieping ten opzichte van de huidige situatie in rekening gebracht, representatief voor de verwachte erosie.

Tijdens de maatgevende stormen variëren de waterstanden op de Oosterschelde minder dan op de Noordzee. Wanneer wordt verwacht dat het hoogwater op de Noordzee hoger zal zijn dan NAP +3 m, dan wordt de Oosterscheldekering gesloten. Hierbij wordt gestreefd naar een waterpeil van NAP +1 m op de Oosterschelde. Dit waterpeil wordt circa 10 uur gehandhaafd, aangezien de kering pas bij het eerstvolgende laagwater weer kan worden geopend. Indien wordt voorspeld dat ook het volgende hoogwater hoger zal zijn dan NAP +3 m, is het streven het waterpeil op de Oosterschelde na de tweede sluiting van de kering te beperken tot NAP +2 m. In de ontwerpberekeningen wordt bovendien rekening gehouden met een noodsluiting van de Oosterscheldekering. Bij een noodsluiting kan de waterstand oplopen tot het ontwerppeil, met een duur van 5 uur. In 2004 is een onderzoek gestart naar de effecten van de langer durende belastingen op de sterkte van de gezette bekledingen. Hieruit is gebleken dat evenals bij breuksteenbekledingen een zwaardere bekleding nodig is naarmate het aantal golven wat gedurende de storm de bekleding belast groter is [2].

De toetspeilen en ontwerppeilen van de Oosterschelde zijn gebaseerd op een noodsluiting van de OSK. Aangezien de OSK een vast sluitregime heeft, hoeft geen rekening gehouden te worden met een waterstandverhoging als gevolg van de zeespiegelrijzing. Daarom zijn op iedere locatie achter de OSK het toetspeil en het ontwerppeil gelijk aan elkaar en constant in de tijd (Ontwerppeil 2010-2060).

Bovenstaande betekent dat in het ontwerp reeds rekening is gehouden met het effect van morfologische veranderingen en het effect van een langdurige belasting op één hoogte (+ 15 % op de dikte).

Grasbekledingen

Op een beperkt aantal locaties is in de huidige situatie boven de huidige golfinvloedszone een grasbekleding. Dit is onder andere het geval bij de waterkeringen van de Anna Jacobapolder en de Vierbannenpolder. Een toekomstige ZZS kan tot gevolg hebben dat de huidige harde bekleding opgetrokken moet worden.

4.4.2 Wanneer treedt het knikpunt op

Harde bekledingen

Doordat de huidige bekleding is uitgelegd op het zichtjaar 2060 met projectspecifieke hydraulische randvoorwaarden is het onwaarschijnlijk dat dit knikpunt optreedt voor 2050.

Grasbekledingen

De maximale verwachte stijging van de waterstand in de Oosterschelde tot 2050 is slechts maximaal 0,07 m (tabel i.7) en valt binnen de marge tussen het PP en TP. Dit heeft tot gevolg dat tot 2050 de toelaatbare ondergrens van een grasbekleding door verzwarende van de golfcondities mogelijk enkele decimeters naar boven verplaatst. Aangenomen wordt dat de huidige ondergrens tot 2050 gehandhaafd kan worden.

4.5 Zettingsvloeiing

4.5.1 Waarom knikpunt

Door de morfologische ontwikkelingen (zandhonger) neemt de breedte van het voorland af. Het gevolg van het optreden van een zettingsvloeiing is dat deze niet meer kan worden opgevangen in het voorland. In dit geval wordt het vastleggen van de geulwand noodzakelijk om het mogelijk optreden van zettingsvloeiing te kunnen ondervangen.

Anderzijds kunnen de geulen minder diep worden door zandhonger: het zand wat wordt geërodeerd vanaf de platen wordt gedeponerd in de geulen. Doordat de geulen minder diep worden neemt de inscharingslengte (het deel van de vooroever wat beïnvloed wordt door de vloeiing) af. Minder diepe geulen leiden daarmee dus tot een veiligere waterkering.

Erosiekuilen OSK

De erosiekuilen aan de binnenzijde van de OSK hebben naast invloed op de stabiliteit van de OSK ook invloed op de veiligheid van de aangrenzende dijktrajecten. De erosiekuilen worden bestort, indien de diepte groter wordt dan 40 m ten opzichte van de rand van de bodembescherming (zie paragraaf 2.2.3). Hierdoor hebben deze kuilen geen invloed op de OSK. Op basis van dezelfde redenering kan worden gesteld dat deze erosiekuilen ook geen invloed hebben op de dijken.

4.5.2 Wanneer treedt het knikpunt op

De waterkeringen in Zeeland zijn gevoelig voor het faalmechanisme zettingsvloeiing, getuige de vele inlaagdijken die in het verleden zijn aangelegd en de gedocumenteerde dijkvallen. Ook in het recente verleden zijn zettingsvloeiingen in het gebied opgetreden. De veiligheid tegen zettingsvloeiing wordt gevormd door enerzijds het vastleggen van geulwanden (voorkoming) en anderzijds door voldoende voorland (accepteren, want geen schade).

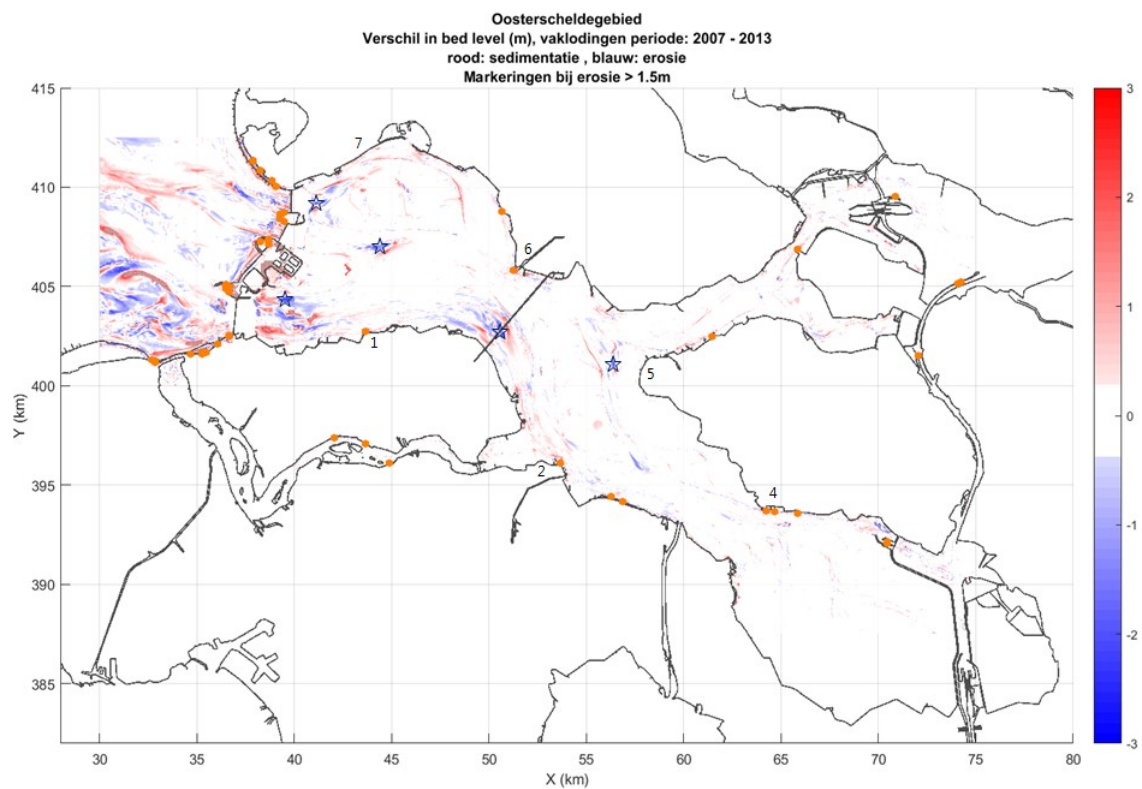
Wanneer voldoende voorland niet (meer) aanwezig is, dient de geulwand te worden bestort. Bij goed beheer en onderhoud is zettingsvloeiing niet te verwachten en is het optreden van het knikpunt voor 2100 onwaarschijnlijk.

In afbeelding 4.2 zijn de bodemveranderingen tussen 2007 en 2013 gepresenteerd [bron: vakloding rws]. In de afbeelding is te zien dat vooral in het westelijk gedeelte van de Oosterschelde grote morfologische veranderingen optreden. De blauwe sterretjes geven aan waar de bodemverandering groter is dan 2 meter. Als deze locaties dicht bij de kust en waterkeringen liggen kan dit duiden op een probleem van de stabiliteit van de vooroevers en daarmee de waterkering.

Bij de volgende polders kan er een probleem ontstaan (afbeelding 4.2):

1. Inlaag bij de Nieuw Noordbevelandpolder;
2. Oost Beveland polder;
3. (Stelhoek) Polder Brede Watering;
4. Scherpenissepolder;
5. Stavenissepolder;
6. Kanaal naar Zierikzee;
7. Polder Schouwen.

Afbeelding 4.2 Bodemverandering Oosterschelde tussen 2007 en 2013



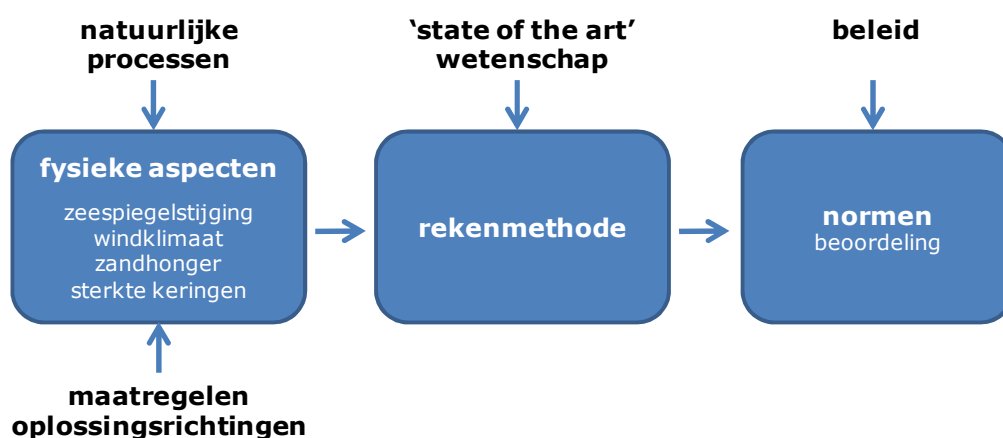
5

KNIKPUNTEN TEN GEVOLGE VAN AUTONOME, RUIMTELIJKE ONTWIKKELINGEN

5.1 Autonome, ruimtelijke ontwikkelingen

Onder autonome ontwikkeling wordt hier verstaan alle natuurlijke en kunstmatige toekomstige ontwikkelingen en activiteiten op basis van vastgesteld beleid. Beheerders van primaire waterkeringen moeten tenminste eens in de twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Voor de komende beoordelingsronde, die begin 2017 start, is de actualisatie ingrijpender dan vorige keren vanwege de invoering van een nieuwe veiligheidsnormering (WBI2017). In 2050 moeten alle primaire waterkeringen aan de nieuwe veiligheidsnormen voldoen. Afbeelding 5.1 geeft de relatie weer tussen autonome ontwikkelingen in relatie tot waterveiligheid.

Afbeelding 5.1 Onderscheid tussen fysieke aspecten, rekenmethode en normen



Onderstaande tabel geeft een overzicht van de inventarisatie van thans bekende autonome ontwikkelingen, die relevant kunnen zijn voor de integrale veiligheid van de Oosterschelde. Deze autonome ontwikkelingen zijn afkomstig uit beleidsnotities en/of -visies, of zijn door Rijkswaterstaat aangedragen als potentieel relevante ontwikkelingen waarvan het moeilijk aan te geven is hoe deze zich in de loop der tijd ontwikkelen. Bij iedere geïdentificeerde autonome ontwikkeling is aangegeven of de veiligheidsstrategie erdoor beïnvloed kan worden. Uit de tabel 5.1 blijkt dat er twee autonome ontwikkelingen zijn die op relatief korte termijn, tot 2050, effect kunnen hebben op de veiligheidsstrategie, namelijk de aantakking van het Volkerak-Zoommeer aan de Oosterschelde en het inzetten van de Oosterschelde als waterberging voor veiligheid van de Rijnmond en Drechtsteden. Deze twee ontwikkelingen en hun effect op de veiligheidsstrategie worden beschreven in de twee volgende paragrafen. In onderstaande tabel 5.1 wordt de redeneerlijn waarom de betreffende ontwikkeling geen effect heeft op de veiligheidsstrategie beknopt beschreven.

Tabel 5.1 Overzicht van relevante, autonome ontwikkelingen voor de veiligheidsstrategie van de Oosterschelde

Autonome ontwikkeling	Inloed op veiligheidsstrategie Oosterschelde
Kansrijke ontwikkelingen	
aantakking Volkerak-Zoommeer	Ja, zie paragraaf 5.2
Oosterschelde als waterberging voor veiligheid Rijnmond-Drechtsteden	Ja, zie paragraaf 5.3
Zandsuppletie Roggeplaat	Ja, maar na 2025 is er nog geen beleid voor zandsuppletie
stroomlijnen stormvloedkering	Nee. Het stroomlijnen van de OSK beïnvloedt de getijslag en de stroomsnelheid, door een groter debiet door de OSK. Dit heeft effect op de bodembescherming van de OSK en erosie van zandplaten (buitenteenkleding). Deze effecten zijn al bij de OSK en dijken meegenomen. Het stroomlijnen is een maatregel die op zichzelf geen nieuw knikpunten geeft.
mee laten groeien van kustfundament	Nee. Dit is om de ZSS en erosie te compenseren door zand in te brengen in Oosterschelde vanaf de Noordzee. Dit betreft een oplossingsrichting, geen knikpunt.
stroomlijnen/'nieuwe' route Scheepvaart Oosterschelde	Nee. Dit betreft het afsnijden van de bocht in de scheepvaartroute. Deze ingreep heeft morfologisch en ecologisch effect, maar geen effect op veiligheidsstrategie. Dit betreft daarom geen knikpunt.
doorlaatmiddel Veerse meer	Nee. Als er veel ZSS is dan heeft dat gevolgen op peil Veerse Meer. Dat is een effect van ZSS. Het Veerse Meer kan nog een stijging van 30 cm probleemloos aan. Bij gemiddelde (dagelijkse) omstandigheden kan er al een peilverhoging op het Veerse meer optreden van meer dan 30 cm. Onder stormvloed kan het waterpeil op de Oosterschelde 2 m stijgen zonder negatieve effecten voor het Veerse meer. Dan wordt het doorlaatmiddel waarschijnlijk dichtgezet. Het doorlaatmiddel Veerse meer vormt dus geen knikpunt in veiligheidsstrategie, maar wel een knikpunt voor het dagelijks beheer. Dit valt echter buiten deze studie.
Nog onzekere ontwikkelingen	
ontwikkeling recreatie en toerisme Oosterschelde(kansenkaart: Oosterschelde visie 2012-2018)	Nee. De Oosterschelde wordt steeds meer een toeristisch gebied, waardoor er een conflict met de natuur door verstoring kan ontstaan. Dit betreft geen knikpunt voor de veiligheidsstrategie.
getijdencentrale (turbines) in stormvloedkering	Nee. Met elke turbine die in de kering hangt, wordt de faalkans groter van niet sluiten, omdat eerst de turbine uit het water getild moet worden. De stroomsnelheid door de kering wordt kleiner door turbines. Combinatie met stroomlijnen is wel mogelijk om effect op stroomsnelheid te minimaliseren. Turbines trillen en brengen bewegingen over op de kering. Wij gaan er hier van uit dat deze nadelen technisch zijn op te lossen en dat het geen knikpunt geeft in de veiligheidsstrategie. De turbines moeten passen binnen de veiligheidsstrategie.
munitiedepot, afdekken of laten lekken	Nee. Een munitiedump uit de 2e Wereld Oorlog met de meest vervuilende stoffen, witte fosfor en zo, ligt in een diepe put van 60 m bij Zierikzee, buitendijks in de Oosterschelde. Door roest kunnen vervuilende stoffen op termijn vrij komen. Defensie zegt dat het veilig is. Opruimen kan niet, want dat levert meer schade op. Afdekken kan, maar men wil het niet vanwege kosten en

Autonome ontwikkeling	Invloed op veiligheidsstrategie Oosterschelde
duurzame (schelpdier)visserij	<p>precedent werking. Dit betreft een milieuprobleem en geen knikpunt voor de veiligheidsstrategie.</p> <p>Nee. Onder druk van het zogenaamde mosselconvenant wordt de sector gedwongen om de bodemvangst van kleine mosseltjes (zaad) in de Waddenzee uit te faseren en te vervangen voor vangst van zaad in zogenaamde mosselzaad invang installaties (MZI's). Het merendeel van de MZI's moet in de Waddenzee een plaatsje krijgen, maar de Oosterschelde krijgt ook z'n deel. Momenteel is al ongeveer 150 ha in gebruik voor MZI's en dat areaal neemt toe. Deze toename heeft geen grootschalige gevolgen voor de veiligheidsstrategie, maar des te meer voor het ruimtegebruik. Voor de oesterteelt is het beeld onduidelijk. Die heeft het momenteel bijzonder moeilijk. De traditionele bodemteelt wordt bedreigd door het herpesvirus en door een roofslakje. Beide plagen bedreigen de oesterteelt. De oestersector hoopt dat de Franse manier van telen, in zakken op lage tafeltjes op het intergetij een oplossing biedt. Maar vooralsnog staat die innovatie nog in de kinderschoenen. In het geval de ontwikkeling naar oestertafels gaat, dan zal het een impact hebben op de N2000 natuurwaarden van het intergetij. In ieder geval zal die ontwikkeling geen effect hebben op de veiligheidsstrategie.</p>

5.2 Aantakking van het Volkerak-Zoommeer

De ontwerp-Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer bevat een ontwikkelperspectief dat uitgaat van het terugbrengen van beperkt getij op de Grevelingen en in het Volkerak-Zoommeer. Het Volkerak-Zoommeer zou daardoor weer zout worden. De herintroductie van beperkt getij en het terugbrengen van zout in het Volkerak-Zoommeer heeft als doel om de waterkwaliteit (eutrofiëring) van het meer te verbeteren. Dit wordt bereikt door middel van een doorlaat in de Philipsdam, die het Volkerak-Zoommeer verbindt met de Oosterschelde. Uitgangspunt daarvoor is een getijslag van maximaal 30 cm bij een gemiddeld waterpeil van NAP -0,10 m op het Volkerak-Zoommeer. Voorafgaand aan het zout maken van het Volkerak-Zoommeer worden maatregelen uitgevoerd voor alternatieve zoetwatervoorziening en zoutbestrijding voor de landbouw, zoals vastgelegd in de bestuursovereenkomst Zoetwatermaatregelen Zuidwestelijke Delta [ref. 15]. Een zout Volkerak-Zoommeer kan immers niet meer de huidige rol van zoetwatervoorziening voor omliggende gebieden vervullen. Deze maatregelen zijn echter niet van invloed op het Oosterscheldesysteem.

Peilbesluit Volkerak-Zoommeer

Voor het Volkerak-Zoommeer loopt al een procedure tot aanpassing van het peilbesluit vanwege het besluit tot waterberging op het Volkerak-Zoommeer in tijden van hoog water, met een tijdelijke peilstijging van NAP +2,30 m als gevolg. Het gemiddeld peil blijft in deze herziening rond NAP. Bij het zout maken en het toelaten van getij is een gemiddeld peil van NAP -0,10 m nodig, zowel bij gescheiden als verbonden bekkens [ref. 14]. Dit vergt dus opnieuw een herziening van het peilbesluit.

5.2.1 Waarom knikpunt

Op het moment dat aantakking van het Volkerak-Zoommeer aan het Oosterscheldebekken realiteit wordt, ontstaat er een groter bekken met een grotere komberging en dat heeft effect op het debiet door de Oosterscheldekering en dus op de getijslag en het inter-getijdengebied. Het kan zijn dat het sluitregime van de Oosterscheldekering dan aangepast dient te worden, waardoor er sprake is van een knikpunt.

5.2.2 Wanneer treedt het knikpunt op

Het knikpunt treedt op als het Volkerak-Zoommeer in verbinding komt te staan met het Oosterscheldebekken, waardoor het Volkerak-Zoommeer een getijslag krijgt en zout wordt. Wanneer de aantakking van het Volkerak-Zoommeer aan de Oosterschelde daadwerkelijk gerealiseerd wordt, is nog niet bekend. Vanwege de vergevorderde beleidsvorming, zoals de opname van deze maatregel in het Deltaprogramma, gebeurt dit naar verwachting binnen 20 tot 30 jaar. Hoewel deze ontwikkeling nog niet formeel is vastgesteld, is het wel de verwachting dat ze voor 2050 worden uitgevoerd. Daarmee geeft deze autonome ontwikkeling een urgent knikpunt voor de integrale veiligheidsstrategie voor de Oosterschelde.

5.3 Oosterschelde als waterberging voor veiligheid Rijnmond-Drechtsteden

Voor Rijnmond-Drechtsteden wordt in het kader van de deltabeslissing Rijn-Maasdelta de afsluiting van de Rijn-Maasmonding zeezijde als relevante optie voor de lange termijn onderzocht [ref. 15]. Dit betreft de variant met sluisen in de Oude Maas en de Nieuwe Maas ter hoogte van Vlaardingen in combinatie met piekberging in de Oosterschelde (variant Spaargaren). De inschatting is dat eens in de ongeveer 500 jaar de Oosterschelde gebruikt wordt als berging voor rivierwater [ref. 13]. Als onderdeel van de voorkeursstrategie wordt het sluitregime van de Oosterscheldedekering geoptimaliseerd en het lekverlies door de Oosterscheldedekering verkleind. Uit het in 2015 uitgevoerde onderzoek blijkt dat waterberging op de Oosterschelde, in combinatie met het verkleinen van het lekdebiet door de kering van 1.250 m³ per sec in de huidige situatie tot 600 m³ per sec, een positief effect heeft op de maatgevende hoogwaterstanden in het zuidelijk deel van het rivierengebied [ref. 13].

5.3.1 Waarom knikpunt

Het inzetten van het Oosterscheldebekken als waterberging van rivierwater vergt aanpassing van het huidige sluitingsregime. De OSK moet lekdicht gemaakt worden, en als het Oosterscheldebekken als berging van rivierwater ingezet gaat worden, moet de OSK al dicht gezet worden bij een zo laag mogelijk peil, om zo groot mogelijke bergingsruimte te creëren en het Volkerak-Zoommeer te kunnen laten spuien op de Oosterschelde. De noodzakelijke aanpassing van het sluitingsregime veroorzaakt dus een knikpunt in de veiligheidsstrategie van de Oosterschelde.

5.3.2 Wanneer treedt het knikpunt op

Per wanneer de Rijn-Maasmonding zeezijde wordt afgesloten en de Oosterschelde als piekberging in kader van de waterveiligheid van de Rijnmond-Drechtsteden moet gaan fungeren, is nog niet bekend. Op dit moment zijn deze ontwikkelingen nog niet vastgesteld, maar de beleidsvoorbereiding is in volle gang. Daarom is het de verwachting dat binnen 20 tot 30 jaar en dus vóór 2050 de Oosterschelde als bergingsgebied zal worden ingericht.

REFERENTIES

- 1 Arcadis (2010a). Faalkansanalyse civiele delen stormvloedkering Oosterschelde. Referentie D03011.008007 073933874:FI.
- 2 Arcadis (2010b). VTV toetsrapportage stormvloedkering Oosterschelde. Referentie 074108722:C.
- 3 Deltares (2012a). Stormvloedkering Oosterschelde: ontwikkeling ontgrondingskuilen en stabiliteit bodembescherming, Deelrapportage Morfologie, Kenmerk 1206907-004-GEO-0003.
- 4 Deltares (2012b). Rol van stormvloedkering voor lange termijn veiligheid en functiebehoud van Oosterschelde, Een systeembeschrijving als aanzet voor een onderzoeksplan, Kenmerk 1206856-000-VEB-0003.
- 5 Deltares (2013). Eindadvies ANT Oosterschelde. Kenmerk 1207722-000-ZKS-0010.
- 6 Deltares (2015). WTI2017, Voorschrift toetsen op veiligheid, Technisch deel. Kenmerk 1220078-000-GEO-0009.
- 7 DHV (2007). Verkenning Aanpassing Sluitingsregime Stormvloedkering Oosterschelde, Dossier B1413-01-001.
- 8 HKV (2013). Veiligheidsanalyse Oosterschelde, Bepaling waterstanden en golfbelasting Oosterschelde.
- 9 HKV (2015). Verdieping van varianten voor het afsluiten van de Rijnmond. MHW en HBN berekeningen in de Rijn-Maasmonding. PR3014.20.
- 10 Legger waterkeringen:
http://www.scheldestromen.nl/asp/download.aspx?PagIdt=162103&File=legger_waterkeringen_2012_bijlage_2_profiel_primaire_keringen_a_b.pdf.
- 11 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007) Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen (HR2006).
- 12 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2014). Brief aan de voorzitter van de Tweede Kamer, betreft: Waterveiligheid, d.d. 02-06-2014.
- 13 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2015). Motie Geurts, Deltaprogramma: onderzoek naar de effecten van sluizen in de Nieuwe Maas en Oude Maas op de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. Nader onderzoek variant afsluiting Nieuwe Waterweg. Rijkswaterstaat. 19 november 2015.
- 14 Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken (2014). Ontwerp-rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer.
- 15 Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken (2015). Deltaprogramma 2016. Werk aan de delta. En nu begint het pas echt.
- 16 Ministerie van Economische Zaken (2009). Definitief aanwijzingsbesluit Natura 2000-gebied Oosterschelde. Programmadirectie Natura 2000. PDN/2009-118.
- 17 Projectbureau Zeeweringen (2010). Ontwerpnota Oesterdam Zuid, referentie: PZDT-R-09388.
- 18 Projectteam OSK (2014). Herbeschouwing bodembescherming en herijking faalkans Oosterscheldekering, Eindrapportage projectteam.
- 19 Provincie Zeeland (2016). Ruimte voor verbetering. Herziening Omgevingsplan Zeeland 2012-2018 en eerste wijziging Verordening Ruimte Provincie Zeeland. Kernteam herziening omgevingsplan.
- 20 Svasek (2010). Impact bodemprognose op detailadviezen Oosterschelde. Definitief rapport, referentie MB/1565/09388/C.
- 21 Svasek (2014). Herbepaling golftransmissie Oosterscheldekering, Referentie 1755/U14183/D/MB.
- 22 Rijkswaterstaat (2007). Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006).
- 23 Rijkswaterstaat (2007). Implic berekeningen prestatiepeilen Oosterschelde, Kenmerk ZLMD-07N.17.

- 24 Rijkswaterstaat (2007). Prestatiepeilen Oosterschelde, Kenmerk VBSSVKO-7334-T-28.
- 25 Rijkswaterstaat (2008a). Prestatiepeilen Oosterschelde vervolg, Kenmerk PPEILSVKO-T-2.
- 26 Rijkswaterstaat (2008b). Prestatiepeilen Oosterschelde: nu en in de toekomst.
- 27 Rijkswaterstaat (2015). Handboek Oosterscheldekering, pagina 65 tot en met 123.
- 28 Rijkswaterstaat (2016). Reactie van Krijn met kaartje PP en TP (email: 'Prestatiepeilen en kaartje', d.d. 29-02-2016).
- 29 Rijkswaterstaat (2016). Reactie van Krijn op besprekingsverslag m.b.t. morfologie (e-mail: 'OSK verslag overleg knikpunten', d.d. 29-02-2016).
- 30 Rijkswaterstaat (2016). Vervalstatistiek aangeleverd door Krijn (stukken via WeTransfer: 29-06-2016).
- 31 Rijkswaterstaat dienst Zeeland (2013). MIRT Verkenning Zandhonger Oosterschelde.
Milieueffectrapportage. Hoofdrapport. Witteveen+Bos en Bureau Waardenburg, rapport RW1809-28/torm/230.
- 32 TAW (2003). Leidraad kunstwerken.
- 33 Waterschap Scheldestromen (2014). Aanpassing sluitingscriterium Oosterscheldekering.
- 34 Witteveen+Bos (2016). MIRT onderzoek Integrale veiligheid Oosterschelde, Invloed ZSS op hydraulische belastingen Oosterschelde op basis van Hydra-NL berekeningen.
- 35 Zanten, E. van & Adriaanse, L. A. (2008). Verminderd getij. Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken. Hoofdrapport.
Rijkswaterstaat dienst Zeeland.
- 36 HKV (1998). Beheer- & Onderhoudsplan Natte werken, Oosterscheldekering, kenmerk PR115.

Bijlage(n)

BIJLAGE: RANDVOORWAARDEN EN KNIKPUNTEN OSK

In deze bijlage zijn de volgende onderwerpen opgenomen:

8. I.1 Oorspronkelijke ontwerprandvoorwaarden;
9. I.2 Hydraulische randvoorwaarden vigerende normering (VN);
10. I.3 Effect zeespiegelstijging;
11. I.4 Morfologische veranderingen;
12. I.5 Knikpunten waterbezwaar (WB) bij vigerende norm (VN);
13. I.6 Knikpunten constructief falen (CF) bij vigerende norm (VN);

I.1 Oorspronkelijke ontwerprandvoorwaarden

Waterstanden en golfcondities

In de volgende tabel zijn de belangrijkste ontwerprandvoorwaarden gegeven waarop het ontwerp oorspronkelijk is beoordeeld. De waarden zijn overgenomen uit het rapport 'Faalkansanalyse civiele delen stormvloedkering Oosterschelde' van Arcadis [ref. 1].

Tabel I.1 Overzicht ontwerprandvoorwaarden per onderdeel [ref. 1]

Object	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte Hs [m]	Golfperiode Tp [s]	Verval Δh [m] vloed/eb
bovenbalken (Hammen en Schaar)	5,5	4,13)	9,5	-
bovenbalken (Roompot)	5,5	5,33)	9,5	-
dorpelbalken	-	-	-	6,2/3,5
pijlers (Hammen en Schaar)	5,31)	-2)	-	6,0/-
pijlers (Roompot)	5,51)	-2)	-	6,2/-
schuiven verticale belasting (Hammen en Schaar)	5,5	4,253)	9,5	6,2/-
schuiven verticale belasting (Roompot)	5,5	5,753)	9,5	6,2/-
schuiven horizontale belasting	3,5	6,183)	6,1	4,2/-
damaanzet (Schouwen Duiveland, Roggeplaat Noord, Roggeplaat Zuid en Neeltje Jans)	5,31)	3,51)	11,5	6,2/3,4
damaanzet (Noordland en Noord-Beveland)	5,51)	4,01)	11,5	6,2/3,4
breukstenen aanzetdammen	5,5	4,0	-	6,2/-

hoofdwaterkering waterkerende eilanden (Roggeplaat, Westelijke ringdijk)	5,5	3,5	10	-
hoofdwaterkering waterkerende eilanden (Roggeplaat, hoofdwaterkering)	5,45	2,04)	10	-
hoofdwaterkering waterkerende eilanden (Neeltje Jans)	5,45	5,0	-	-
coupure Damvak Geul (voetgangerstunnel)	5,5	4,0	10	-
coupure Buitenhaven Neeltje Jans (verkeersviaduct)	5,45	2,255)	10	-
Roompotsluis (sluisplateau)	5,5	6,83)	10	-
Roompotsluis (sluis)	5,5	6,23)	9,5	6,2/3,55

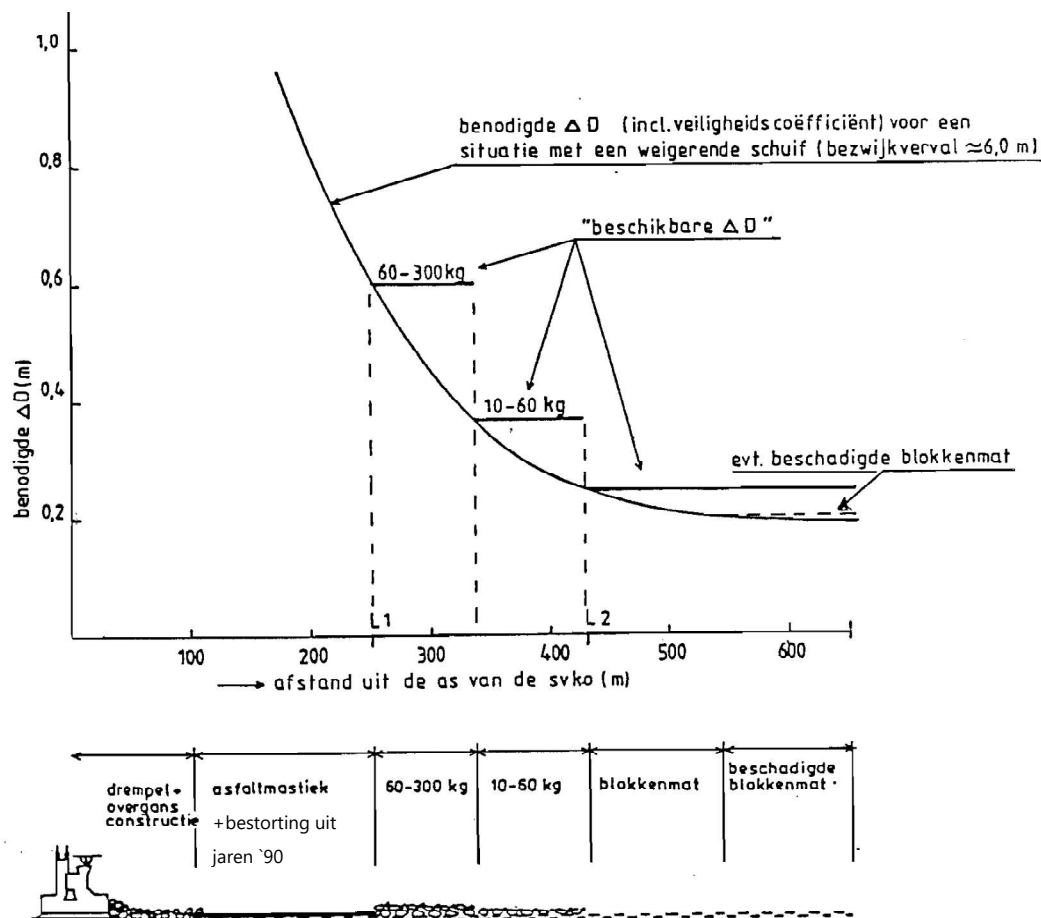
Opmerkingen bij tabel:

- 1 Voor de damaanzetten, bovenbalken en pijlers is onderscheid gemaakt tussen de geulen Hammen/Schaar en Roompot in verband met de invloed van oriëntatie en geometrie op de randvoorwaarden. Bij het ontwerp van de damaanzetten aan de geulen Hammen en Schaar zijn bij het ontwerp lagere waterstand en golfhoogten aangehouden ten opzichte van de Roompot. Voor de bovenbalken zijn alleen lagere golfhoogten bij gelijke waterstand aangehouden. Voor de overige elementen is geen onderscheid gemaakt tussen de geulen.
- 2 De horizontale belastingen op de pijlers zijn afhankelijk van golfdrukken en afdracht van de krachten op bovenbalken en schuiven. De totale ontwerpbelasting is bepaald in een probabilistisch model.
- 3 De hier genoemde golfhoogte is de inkomende golfhoogte (H_i). Hierin is reflectie tegen de verticale structuur meegenomen.
- 4 De golfhoogte bij de hoofdwaterkering op de Roggeplaat is de golfhoogte ter plaatse van de kering, na reducerende werking van de (bezweken) ringdijk en voorland.
- 5 De golfhoogte bij de coupure Buitenhaven Neeltje Jans (verkeersviaduct) is de golfhoogte ter plaatse van de kering, na reducerende werking van de (bezweken) havendammen [ref. 2].

Stroomsnelheden en sterkte bodembescherming

Voor de bodembeschermingen bij de OSK is voor de aanleg gebruik gemaakt van de ontwerpgrafiek (afbeelding I.1) voor de bestortingen tot 60-300 kg. Hierin is de stabiliteitsparameter (ΔD) uitgezet tegen de afstand uit de kering tijdens een maatgevende situatie. De maatgevende situatie is hierbij gelijkgesteld aan de weergegeven bezwijkverval van circa 6 m (tabel I.1). In dit verval is een veiligheid meegenomen. De veiligheid is vertaald naar een extra verval van circa 1,7 m conform het rapport Herbeschouwing bodembescherming en herijking faalkans Oosterscheldekering [ref. 10]. Het toelaatbare verval is daarmee circa 4,3 m.

Afbeelding I.1 Benodigde stabiliteit (ΔD) als functie van de afstand tot de kering [ref. 10]



I.2 Hydraulische randvoorwaarden vigerende normering (VN)

Waterstanden en golfcondities

De HR2006 aan de zeezijde heeft Arcadis [ref. 1] afgeleid met Hydra-K (tabel i.2). De waarden komen goed overeen met het randvoorwaardenboek.

Tabel I.2 Hydraulisch toetsrandvoorwaarden (HR2006) [ref. 1]

Object	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte H_s [m]	Golfperiode T_p [s]
damaanzet (Schouwen Duiveland)	5,18	2,15	8,96
damaanzet (Roggeplaat noord)	5,18	2,92	8,88
damaanzet (Roggeplaat zuid)	5,18	2,52	8,66
damaanzet (Neeltje Jans)	5,18	2,55	7,18
damaanzet (Noordland)	5,18	3,05	8,73
damaanzet (Noord-Beveland)	5,18	2,97	7,74
stroomgat (Hammen)	5,18	2,93	7,22

Object	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte H_s [m]	Golfperiode T_p [s]
stroomgat (Schaar)	5,18	3,01	7,50
stroomgat (Roompot)	5,18	3,23	7,33
waterkerende eilanden (Roggeplaat)	5,20	3,20	-
waterkerende eilanden (Neeltje Jans)	5,20	2,60	-
Roompotsluis	5,18	3,05	8,73

Vervalstatistiek

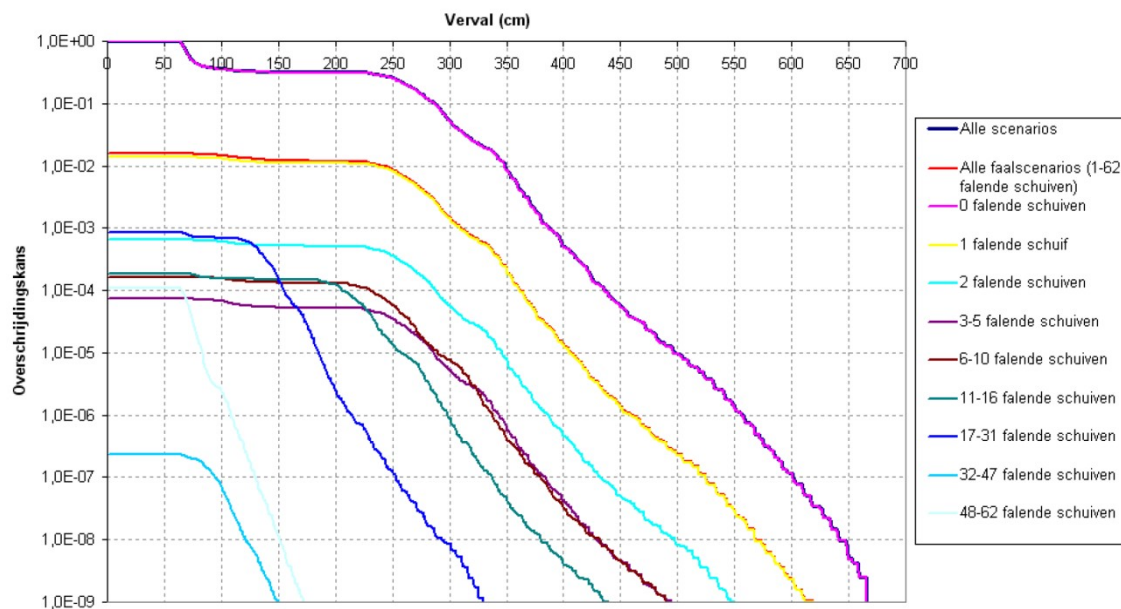
In afbeelding i.2 is de vervalstatistiek overgenomen uit het toetsrapport (VTV2006) van Arcadis (kader).

Vervalstatistiek [ref. 2]

afbeelding i.2 geeft de in 2009 door Rijkswaterstaat Zeeland aangeleverde vervalstatistiek weer voor de OSK. Hieruit kan worden afgelezen hoe groot de kans per jaar is dat een bepaald verval wordt overschreden. De verschillende vormen van een gefaalde sluiting met kans van optreden is hierin meegenomen.

Voor de beoordeling van de bodembescherming is de kans dat de bodembescherming met een bepaald verval (stroomsnelheid) wordt belast van belang. Bij een gesloten kering is het verval weliswaar het grootst (scenario '0 falende schuiven'), maar om belast te worden dienen één of meer schuiven open te staan. Bij de beoordeling van de bodembescherming wordt derhalve uitgegaan van de lijn 'Alle faalscenario's', waarin het falen van één schuif dominant is."

Afbeelding I.2 Vervalstatistiek OSK april 2009 (cumulatieve verdeling) [ref. 2]



Sterkte bodembescherming tegen stroming

Voor de bodembeschermingen is met name de stromingsbelasting als gevolg van een verval over de OSK (en één of meerdere schuiven niet sluiten) van belang. Het toelaatbare verval over de kering is in het

oorspronkelijke ontwerp gekoppeld aan een stabiliteitsparameter. De stabiliteitsparameter betreft een sterkte-eigenschap en is voor stortsteen gedefinieerd als ΔD (tabel i.3).

Tabel i.3 Stabiliteitsparameter breuksteen en blokkenmatten [ref. 1]

Bekleding	ΔD -waarden [m]
Breuksteen (3000 kg/m ³)	
– 1-3 ton	1,63
– 3-6 ton	2,21
– 6-10 ton	2,70
Breuksteen (2650 kg/m ³)	
– 60-300 kg	0,64
– 300-1000 kg	0,96
– 1-3 ton	1,41
Blokkenmatten bestort met staalslak en verzwaard met:	
– breuksteen 40/250 mm basalt	0,23
– breuksteen 10-60 kg	0,35
– fosforslak	0,23

Vanaf 105 m uit kering

De ontwerpgrafiek die bij het opstellen van het ontwerp is gebruikt, is niet toepasbaar voor een $\Delta D > 0,7$. Daarom heeft Arcadis in het rapport Faalkansanalyse civiele delen stormvloedkering Oosterschelde op basis van de rekenregel van Pilarczyk het toelaatbare verval over de OSK berekend voor alle beschermingen vanaf circa 105 m uit de kering. Het toelaatbare verval per stroomgat is gegeven in de volgende tabel¹.

Tabel i.4 Locaties in bodembescherming waar het eerst bezwijken optreedt met bijbehorende toelaatbare vervallen [ref. 1]

Locatie	Afstand t.o.v. OSK [m]	Bekleding waar bezwijken het eerst optreedt	Toelaatbaar verval [m]
Roompot midden	305	blokkenmat + breuksteen 6×8 cm	3,7
Roompot zuid	105	asfaltmastiek + breuksteen 300-1000 kg	6,0
Schaar midden	120	asfaltmastiek + breuksteen 300-1000 kg	3,7
Schaar zuid	120	asfaltmastiek + breuksteen 60-300 kg	3,8
Hammen midden	135	asfaltmastiek + breuksteen 300-1000 kg	4,6
Hammen noord	105	asfaltmastiek + breuksteen 50-80 cm	4,0

Tot 105 m uit kering

De drempel en overgangsconstructie beslaat circa de eerste 90 m tot 110 m aan steenbestortingen aan weerszijden van de OSK. Deze constructie kan falen door grondmechanische en hydraulische instabiliteit.

¹ Arcadis heeft in haar rapport een aantal aanbevelingen gedaan, zoals: het verifiëren van de stroomsnelheden met een geavanceerd driedimensionaal (computer)model en het uitbreiden van de berekeningen voor de Noordzeezijde. Deze aanbevelingen gelden nog steeds.

Voor grondmechanische instabiliteit is een gesloten kering maatgevend. Verwacht wordt dat het toelaatbare verval voor dit mechanisme (gelijk aan de pijlers) ten minste 6,0 m is.

Voor hydraulische instabiliteit hebben zowel golven aan de zeezijde (bij een gesloten kering) als stroming invloed op de stabiliteit. In het faalkansanalyse rapport van Arcadis [ref. 1] zijn de volgende bezwijkervallen en golfcondities gegeven.

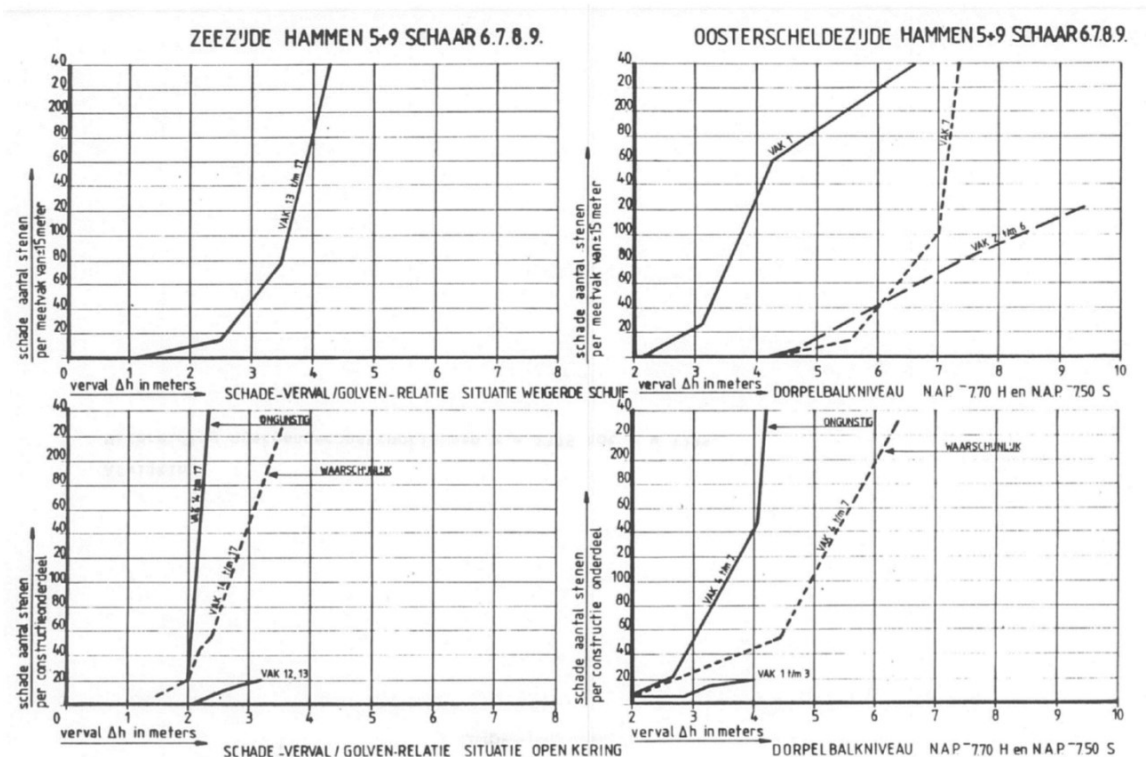
Tabel I.5 Beziijkervallen en golfhoogte voor stabiliteit drempel en overgangsconstructie [ref. 1]

Toestand kering	Type verval	Beziijkverval [m]	Golfhoogte Hs [m]
weigerende schuif	vloedverval	6,2	4,0
weigerende schuif	ebverval	3,6	0
gesloten kering	vloedverval	8,0	5,0
open kering	ebverval	2,25	0

Het beziijkvloedverval met weigerende schuif is 6,2 m. Het toelaatbare vloedverval bij een weigerende schuif is, met een in het faalkansanalyse rapport genoemde veiligheidsfactor van 1,5, circa 4,1 m. Dit verval is tevens aangehouden in de studie IVO. Hierbij worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- het is niet bekend of en welke veiligheidsfactor voor de golfhoogte moet worden meegenomen. Verwacht wordt echter dat de invloed van de golven bij een weigerende schuif beperkt zijn en dat een ZSS tot 0,8 m een beperkte invloed heeft op de golfcondities vanwege de grote waterdiepte (meer dan 20 m). De weigerende schuif in een vloedsituatie is als maatgevend aangenomen binnen IVO. Daarbij is alleen gekeken naar de bodembescherming aan de Oosterscheldezijde.
- op basis van de schade-verval/golf-relaties is bij een vloedverval van 4,1 m aanzienlijke schade te verwachten bij een aantal vakken in de stroomgaten. In afbeelding i.3 is een voorbeeld gegeven van een schade-verval/golf-relatie. In dit geval zullen bij een vloedverval van 4,1 m circa 130 stenen in vak 1 verplaatsen. Deze schade is aanzienlijk, maar zal naar verwachting niet direct tot bezwijken leiden.

Afbeelding I.3 Voorbeeld schade-verval/golf-relatie [ref. 27]



I.3 Effect zeespiegelstijging

Effect zeespiegelstijging op Prestatiepeil

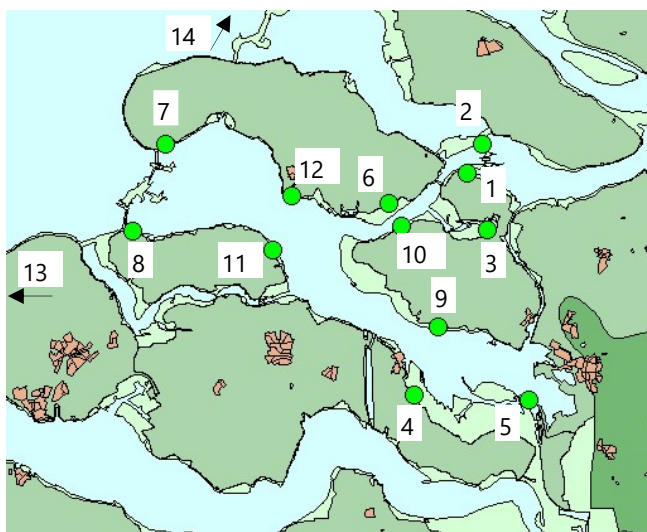
Met Hydra-NL versie 0.1.0 en de databases DEMO_Oosterschelde, DEMO_Westerschelde en DEMO_Hollandse Kust zijn oriënterende waterstandsberekeningen uitgevoerd met de optie klimaatmoden. Met deze klimaatmoden kan het effect van de verschillende klimaatscenario's op de waterstand worden doorgerekend. De resultaten van deze berekeningen voor het klimaatscenario warm/stoom zijn opgenomen in tabel i.6. Het klimaatscenario warm/stoom gaat uit van een ZSS op de Noordzee van 0,30 m in het jaar 2050 en 0,80 m in 2100 ten opzichte van het jaar 2011 [ref. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**].

Tabel I.6 Resultaten oriënterende berekeningen Hydra-NL, herhalingsjijd 4000 jaar en klimaatscenario warm/stoom

Locatie	Waterstand [m+NAP]			ZSS [m]		
	2011	2050	2100	2011-2050	2050-2100	2011-2100
1 Anna Jacobapolder	3,71	3,72	3,79	0,01	0,07	0,08
2 Grevelingendam	3,73	3,74	3,83	0,01	0,09	0,10
3 Het Stinkgat	3,77	3,78	3,85	0,01	0,07	0,08
4 Krabbendijke	3,77	3,77	3,80	0,00	0,03	0,03
5 Oesterdam	4,21	4,22	4,27	0,01	0,05	0,06
6 Oosterland	3,54	3,55	3,66	0,01	0,11	0,12

Locatie	Waterstand [m+NAP]			ZSS [m]		
	2011	2050	2100	2011-2050	2050-2100	2011-2100
7 Pijlerdam	3,12	3,19	3,43	0,07	0,24	0,31
8 Roompot	3,13	3,19	3,42	0,06	0,23	0,29
9 Sint-Maartensdijk	3,79	3,80	3,85	0,01	0,05	0,06
10 't Oude dorp	3,58	3,59	3,69	0,01	0,10	0,11
11 Veerhaven Kats	3,25	3,28	3,51	0,03	0,23	0,26
12 Zierikzee	3,32	3,34	3,53	0,02	0,19	0,21
13 Domburg (Noordzee)	4,91	5,21	5,71	0,30	0,50	0,80
14 Flauwe werk (Noordzee)	afgebroken	5,20	5,70	-	0,50	-

Afbeelding I.4 Beschouwde oeverlocaties in Hydra-NL



Bij een ZSS van 0,80 m op de Noordzee in 2100 neemt de waterstand in de Oosterschelde tussen de 0,03 en 0,31 m toe. Deze toenames zijn op te nemen binnen de huidige marge tussen het TP en PP bij de verschillende locaties in de Oosterschelde (tabel i.7)¹.

¹ Voor een aantal uitvoerlocaties verschilt de met Hydra-NL berekende referentiewaterstand (2011) sterk met het vigerende TP; +0,21 m voor de locatie Oosterdam en -0,38 m voor de locatie Pijlerdam. De 2011 waterstand is voor de locaties Roompot en Pijlerdam nu al lager dan het huidige PP. De consequentie hiervan wordt meegenomen in de beschouwing van de nieuwe normering.

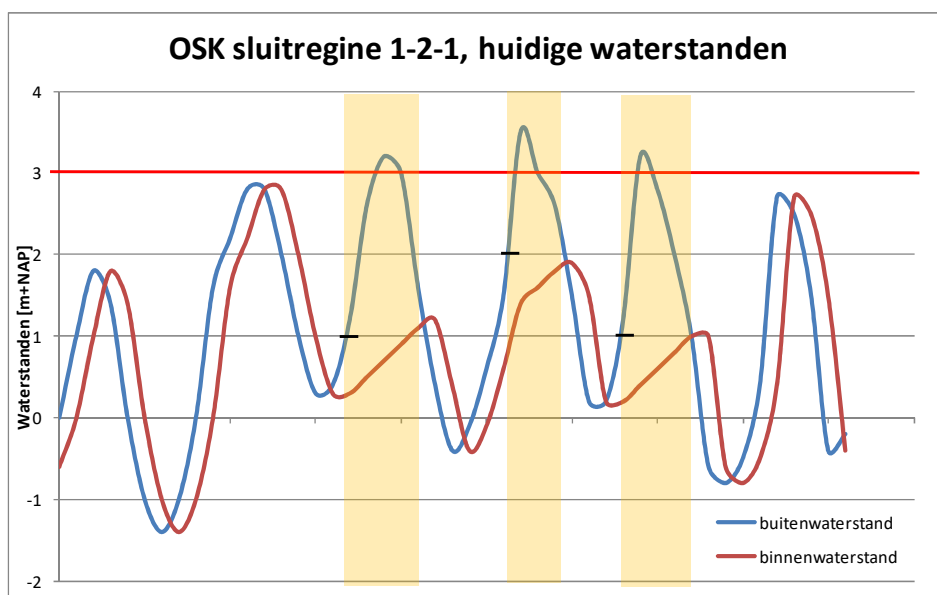
Tabel I.7 Toename zeespiegelstijging in relatie tot marge tussen TP en PP

Locatie	Huidig TP [m+NAP]	Huidig PPI [m+NAP]	verschil TP-PP 2011 [m]	ZSS 2011-2100 [m]	(TP-PP) - (ZSS 2011-2100) [m]
Anna Jacobapolder	3,70	3,55	0,15	0,08	0,07
Grevelingendam	3,70	3,51	0,19	0,10	0,09
Het Stinkgat	3,90	3,71	0,19	0,08	0,11
Krabbendijke	3,80	3,40	0,40	0,03	0,37
Oesterdam	4,00	3,71	0,29	0,06	0,23
Oosterland	3,65	3,30	0,35	0,12	0,23
Pijlerdam	3,50	3,17	0,33	0,31	0,02
Roompot	3,50	3,19	0,31	0,29	0,02
Sint-Maartensdijk	3,80	3,52	0,28	0,06	0,22
t Oude dorp	3,60	3,30	0,30	0,11	0,19
Veerhaven Kats	3,50	3,12	0,38	0,26	0,12
Zierikzee	3,50	3,16	0,34	0,21	0,13

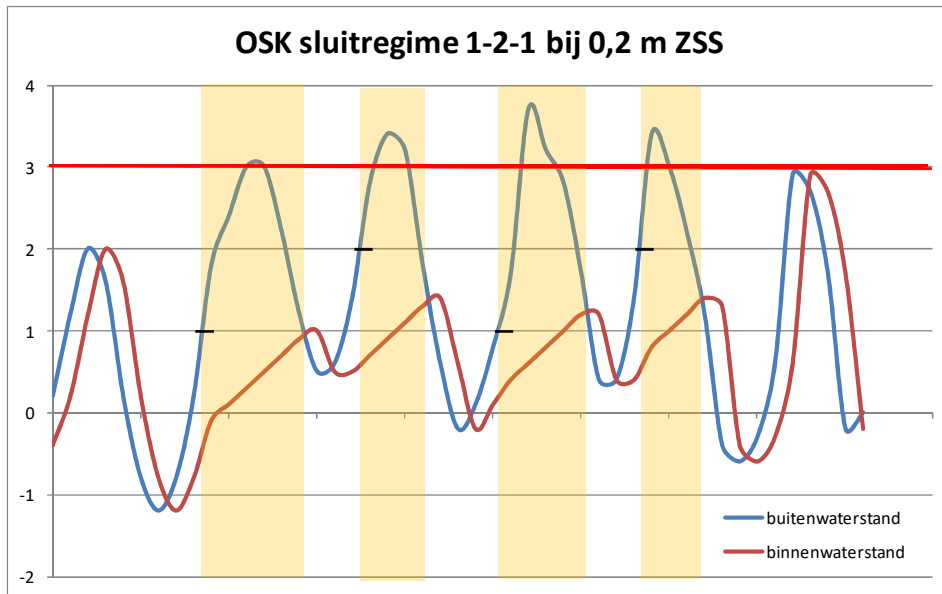
Effect ZSS op de sluitprocedure

De volgende grafieken geven de sluitprocedure van OSK, de sluitingsduur en het binnenwaterstandsverloop weer bij geen ZSS (Afbeelding I.5), 0,2 m ZSS (Afbeelding I.6) en 0,8 m ZSS (Afbeelding I.7). De grafiek zonder ZSS (Afbeelding I.5) is gebaseerd op gemeten waterstanden.

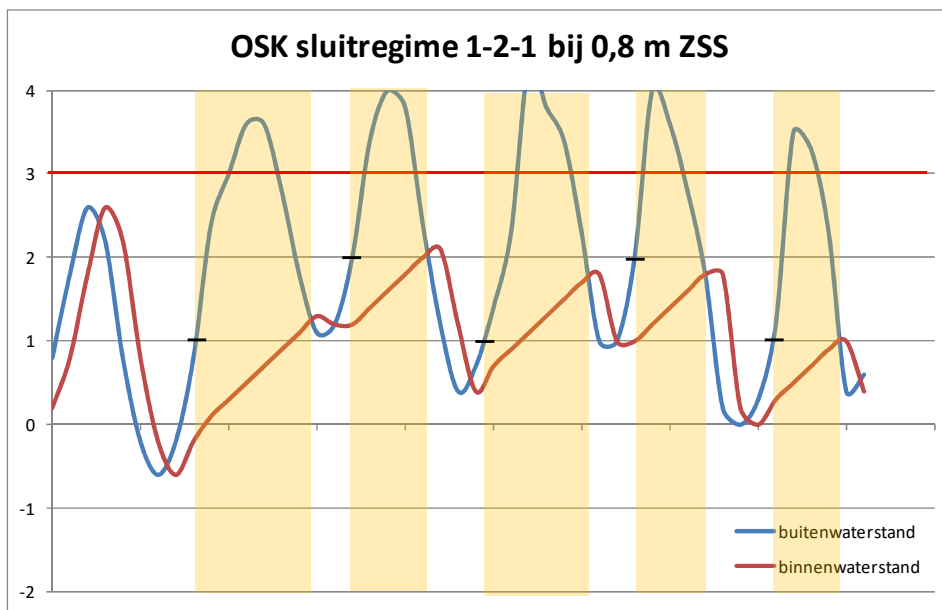
Afbeelding I.5 Waterstanden bij OSK sluitregime NAP +1,+2,+1 m, op basis van gemeten waterstanden



Afbeelding I.6 Waterstanden bij OSK sluitregime NAP +1,+2,+1 m, bij 0,2 m ZSS



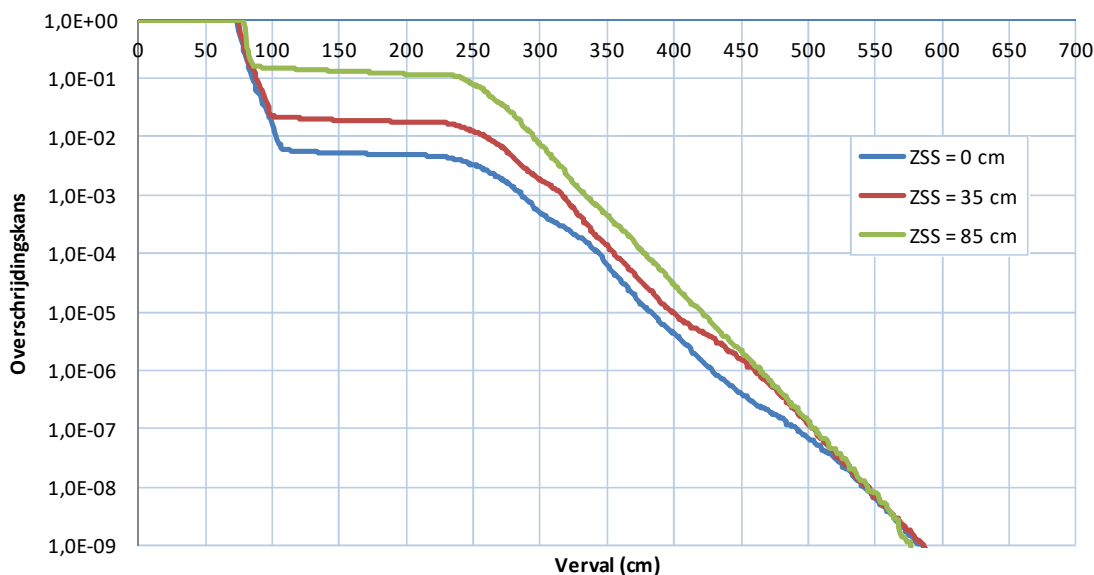
Afbeelding I.7 Waterstanden bij OSK sluitregime NAP +1,+2,+1 m, bij 0,8 m ZSS



Effect ZSS op vervalstatistiek

De vervalstatistiek over de OSK in Roompotgeul bij 1 of meer falende schuiven is in Afbeelding I.8 weergegeven voor drie waarden van de ZSS (0 m, 0,35 m en 0,85 m). Opvallend is dat de overschrijdingskans van extreme vervallen van ≥ 5 m vrijwel niet toeneemt na een ZSS van 0,85 m.

Afbeelding I.8 Vervalstatistiek OSK (Roompot) bij 1 of meer falende schuiven en 3 niveaus voor ZSS.



I.4 Morfologische randvoorwaarden

Oosterschelde

Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta of in de Oosterschelde kunnen op de langere termijn van invloed zijn op (het beheer van) de OSK. In Afbeelding I.9 is de kombergingsgrafiek van 2013 van de Oosterschelde gegeven. Bij extreem hoogwater (boven NAP +3 m) zal de komberging door de ZSS niet significant toenemen. Het getijvolume neemt in beperkte mate toe en ook de golfcondities nemen toe. Dit omdat de platen en slikken de zeespiegelstijging niet kunnen volgen.

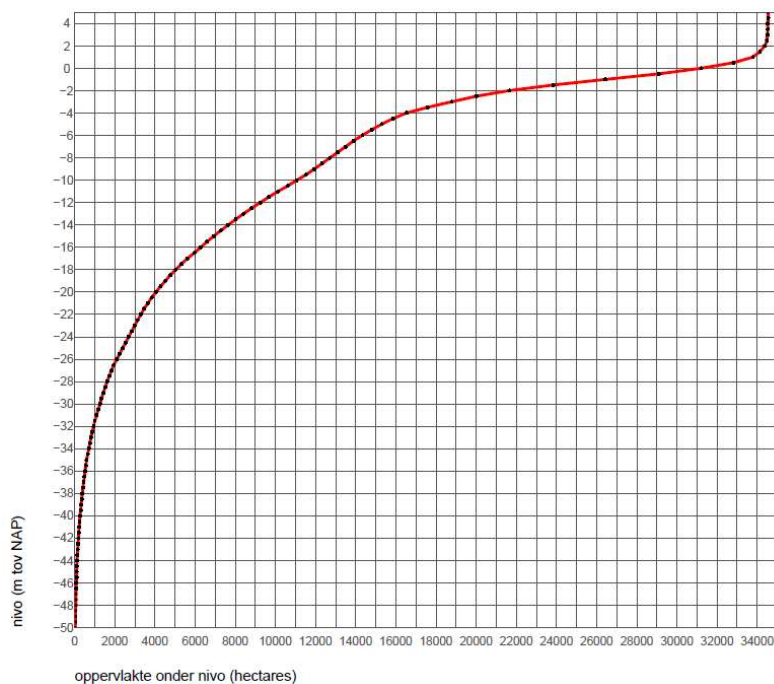
Onder dagelijkse omstandigheden wordt bij hoogwater vaker dan nu het steile deel bereikt met weinig toename van de komberging tot gevolg. Bij laagwater blijft het vlakkere deel met een relatief grote toename van komberging van toepassing. Mogelijk zal de vorm van de kombergingsgrafiek iets veranderen. Erosie van de vooroevers zal afnemen en het vlakke gedeelte zal iets hoger komen te liggen.

Daarnaast zijn er nog lokale ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld in het noorden van de Roompot. Over het aangrenzend platengebied zal door de ZSS in de toekomst een groter debiet gaan lopen en mag dus worden verwacht dat de stroomsnelheid in het noorden van de Roompot relatief meer zal toenemen dan gemiddeld over de hele kering. Er zijn daardoor (op de langetermijn meer) beheermaatregelen nodig om het risico op stabiliteitsverlies van de zijhellingen van de beide ontgrondingskuilen in het noorden van de Roompot en ook van de koppen van de havendammen te voorkomen.

Voordelta

Door de morfologische dynamiek in de Voordelta kunnen de hydraulische belastingen (met name golfcondities) op de OSK toenemen. De verwachting is dat het effect van de morfologische veranderingen een ondergeschikte rol heeft op de toename van de hydraulische belastingen ten opzichte van de ZSS voor het optreden van knikpunten voor 2100, omdat er een relatief groot verschil tussen de golfcondities conform de vigerende norm (tabel I.2) en de waarden die aangehouden zijn bij het opstellen van het ontwerp (tabel I.1).

Afbeelding I.9 Wateroppervlakte (ha) op een bepaald niveau, gegeven de bodemopname van 2013 [ref. 29]



I.5 Knikpunten Waterbezwaar (WB) bij vigerende norm (VN)

Met betrekking tot het falen door WB onder de vigerende norm is een knikpunt gedefinieerd. Deze is opgenomen in de volgende **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Tabel I.8 Overzicht knikpunten WB bij VN

Nr.	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
1	ZZS > 0,8 m	De zeespiegelstijging is meer dan 0,8 m waardoor het PP groter wordt dan het TP.	Op basis van de huidige PP en TP, en de verwachte invloed van de ZSS op de waterstand op de Oosterschelde blijft met een ZSS van 0,8 m het PP nog lager dan het TP.	(net) na 2100

I.6 Knikpunten Constructief falen (CF) bij vigerende norm (VN)

Voor de knikpunten als gevolg van constructief falen is onderscheid gemaakt tussen het deel van de OSK dat valt onder de categorie b-kering, en de categorie a-keringen direct aangrenzend aan de OSK.

Categorie b

In de volgende tabel is per onderdeel van de OSK aangegeven wat het maatgevende knikpunt is en wanneer deze naar verwachting optreedt.

Tabel I.1 Overzicht knikpunten CF bij VN (categorie b)

Nr	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
1	CF vooroever a.g.v. zettingsvloeiing treedt op bij: kuildiepte > 40 m	De ontgrondingskuilen (aan beide zijden van de OSK) zijn dieper dan 40 m, waardoor de kans op falen door een zettingsvloeiing onacceptabel is.	De toegestane diepte van de kuilen is door de laatste beslissing van de minister gelimiteerd tot 40 m onder de rand van de bodembescherming (RABO). Bij goed beheer en onderhoud zijn diepere kuilen dan 40 m niet meer te verwachten en is het optreden van het knikpunt voor 2100 onwaarschijnlijk. Daarbij is het van belang dat de taluds van de kuilen richting de OSK en de dijken bestort zijn en voldoen aan de hellingcriteria.	na 2100
2	CF bodembescherming vanaf 105 m a.g.v. stroomsnelheid treedt op bij: ZZS > 0,2 m	Het verval over de kering is bij 1 of meer weigerende schuiven meer dan 3,7 m waardoor de bodembeschermingen vanaf 105 m uit de OSK rekenkundig niet meer voldoende veilig de stromingsbelasting kunnen weerstaan.	De faalkans bij een toelaatbaar verval van 3,7 m volgens Arcadis [ref 2] (ontwerpvoederval is 4,15 m [ref 36]) is conform de vervalstatistiek zonder ZSS $2,0 \cdot 10^{-5}$ (afbeelding i.2). Uit afbeelding i.2 blijkt dat het toelaatbare verval van 3,7 m met een ZSS van 0,85 m een kans van $1,5 \cdot 10^{-4}$ heeft om overschreden te worden, dit is lager dan de faalkans ($> 2,5 \cdot 10^{-4}$) waarbij het toetsrapport een score 'onvoldoende' toekent aan de bodembescherming [ref. 2]. ¹	na 2100
3	CF bodembescherming tot 105 m a.g.v. stroomsnelheid treedt op bij: ZZS > 0,6 m	Het verval over de kering is bij 1 of meer weigerende schuiven meer dan 4,1 m waardoor de bodembeschermingen tot 105 m uit de OSK rekenkundig niet meer voldoende veilig de stromingsbelasting kunnen weerstaan.	Het toelaatbare verval is 4,1 m (bijlage I.1). De huidige vervalstatistiek is gunstiger dan aangehouden in het ontwerp (paragraaf 3.3.2). Indien dezelfde aanpak als voor knikpunt 2 wordt gevolgd, dan treedt het knikpunt na 2100 op.	na 2100
4	CF bovenbalken treedt op bij: $H_s > 4$ m	De (inkomende) golfhoogte H_s is groter dan 4 m en golfperiode T_p is langer dan 9,5 s waardoor de bovenbalken de belasting rekenkundig niet meer voldoende veilig kunnen weerstaan.	De golfbelasting op de bovenbalken is ongeveer een factor vier groter dan de vervalbelasting [ref. 2]. De ontwerpgolfhoogte is 4 m (tabel I.1). Aangenomen wordt dat de huidige golfbelasting lager is dan in de ontwerpomstandigheden ² . Door de ZZS neemt de golfbelasting op de bovenbalken niet toe (de golven slaan dan over de bovenbalken). De belastingsfrequentie neemt wel toe, waardoor vermoeiing een rol speelt. Er zijn nog geen aanwijzingen voor vermoeiing bekend. De oorspronkelijke ontwerplevensduur is circa 200 jaar. Als gevolg van vermoeiing zal de werkelijke levensduur kleiner zijn dan 200 jaar. Een veilige aanname is dat het knikpunt na 2050 optreedt.	na 2050

¹ Een nadere toelichting op het knikpunt voor de bovenbalken is gegeven onder deze tabel.

² Een nadere toelichting op het knikpunt voor de bovenbalken is gegeven onder deze tabel.

Nr	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
5	CF dorpelbalken en pijlers treedt op bij: ZZS > 0,8 m	Het verval over de OSK is groter dan 6 m waardoor de dorpelbalken en pijlers de belasting rekenkundig niet meer voldoende veilig kunnen weerstaan.	<p>Het ontwerpverval is circa 6 m (tabel I.1). Door aanpassing van het sluitregime is de binnenwaterstand tijdens sluiten toegenomen (1-2-1 wisselstrategie¹ in plaats van NAP -0,7 m), waardoor het optredende verval over de kering kleiner zal zijn dan tijdens het ontwerp is aangehouden.</p> <p>Overschrijding van het ontwerpverval lijkt onrealistisch, omdat bij een ontwerpverval van 6,0 m en een minimale binnenwaterstand tijdens sluiting circa NAP +0,7 m resulteert in een maximale buitenwaterstand van NAP +6,7 m. Het huidige TP van NAP +5,2 m mag met deze redevatatie nog 1,5 m door de ZSS stijgen (verwachting na 2100).</p> <p>Overigens staat het water (bij een buitenwaterstand van NAP +6,7 m) 0,9 m boven de bovenkant van de bovenbalk (NAP +5,8 m) en is het waterbezwaar in de Oosterschelde te groot om een minimale binnenwaterstand van NAP +0,7 m te handhaven.</p> <p>Bij de bepaling van dit knikpunt is aangenomen dat de betonnen onderdelen goed worden onderhouden en daarom hun sterkte behouden. Er zijn (nog) geen indicaties van verzwakking van de betonnen onderdelen door chloride-indringing bekend [ref. 2].</p>	na 2100
6	CF verkeerskoker treedt op bij: H _s > 4 m	De waterstand ligt boven de NAP +5,5 m, (inkomende) golfhoogte H _s is groter dan 4 m en golfperiode T _p is langer dan 9,5 s waardoor de verkeerskokers de golfbelasting (geen vervalbelasting) rekenkundig kunnen weerstaan.	<p>Voor de verkeerskokers zijn geen hydraulische ontwerpvoorwaarden afgeleid. Er is aangenomen om de golfbelasting op de koker gelijk te stellen aan de golfbelasting op de bovenbalk. Dit is een conservatieve aanname, omdat de verkeerskoker boven en enkele meters achter de bovenbalk gesitueerd is (Afbeelding I.1). Verwacht wordt dat het grootste deel van de golven die over de bovenbalk slaan, tussen beide kokers vallen en de verkeerskoker niet raken.</p> <p>Het verwachte moment van optreden is gelijk gesteld aan het knikpunt voor de bovenbalk (na 2050).</p>	na 2050

¹ De 1-2-1 wisselstrategie houdt in dat bij de eerste hoogwatertop en sluiting van de kering, er gestreefd wordt naar een Oosterscheldepeil van NAP + 1,0 m. Voor een tweede en derde hoogwatertop gelden respectievelijk NAP + 2,0 m en NAP + 1,0 m.

Nr	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
7	CF schuiven treedt op bij: ZZS > 0,8 m	Het verval over de OSK is groter dan 6 m waardoor de schuiven de belasting rekenkundig niet meer voldoende veilig kunnen weerstaan.	<p>Het ontwerpverval is circa 6 m (tabel I.1). Dit verval wordt pas na 2100 verwacht (zie tevens toelichting knippunt 5).</p> <p>Hierbij wordt van uitgegaan dat de schuiven de ontwerpbelasting nog steeds aan kan. Er is onderzoek gedaan naar de vermoeiing van de schuiven zelf [ref. 2]. Op basis van dit onderzoek is de komende 75 jaar geen grote mate van degradatie te verwachten, waardoor ze niet meer zouden voldoen. Wel zijn er bij inspecties kleine scheurtjes geconstateerd, die bij nader onderzoek niet werden veroorzaakt door vermoeiing, maar overwegend het gevolg waren van las inkartelingen of kleine onvolkomenheden tijdens productie. Er wordt geen significant effect verwacht op de levensduur. Afrondend onderzoek loopt momenteel bij TNO, waarbij specifiek ook is gekeken naar grofkorreligheid in het materiaal van bepaalde liggers.</p>	na 2100
8	CF damaanzetten treedt op bij: $H_s > 3,5$ m	De golfhoogte H_s is groter dan 3,5 m en de golfperiode T_p is langer dan 11,5 s waardoor de toplaag aan de zeezijde van de damaanzetten de golfbelasting rekenkundig niet meer voldoende veilig kan weerstaan.	<p>De toelaatbare waterstand en golfcondities zijn overgenomen uit tabel I.1. De vigerende toetsrandvoorwaarden zijn circa: $TP = NAP + 5,2$ m, $H_s = 3$ m en $T_p = 9$ s (tabel i.2). De ZSS heeft met name invloed op de stabiliteit van de bekledingen. De invloed op de andere mechanismen is naar verwachting beperkt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 14. het overslagdebiet is met de HR2006 < 0,1 l/s/m; 15. de kans op piping is door de opbouw en aanwezige bodembeschermingen verwaarloosbaar; 16. de kans op macro- en micro-instabiliteit is waarschijnlijk klein door het oorspronkelijke ontwerpverval van circa 6 m (tabel I.1). <p>De damvakken zijn bekleed tot NAP +0 m met breuksteen, van NAP +0 m tot NAP +11 m met gepenetreerde breuksteen en waterbouwasfaltbeton en daarboven met een kleibekleding en gras. De ZSS heeft met name invloed op de stabiliteit van de bekleding tussen NAP +0 m en NAP +11 m.</p> <p>In het ontwerp zijn zwaardere golfcondities aangehouden dan voorgeschreven in de HR2006. Naar verwachting nemen de golfcondities slechts beperkt toe bij een ZSS. Het effect van een ZSS op falen door golfklap is daardoor naar verwachting beperkt. Mogelijk leidt een groter verval na hoogwater wel tot extra wateroverdrukken onder de bekleding. Verwacht wordt echter dat het effect van een ZSS van 0,3 m beperkt is. Daarnaast is de levensduurverwachting van waterbouwasfaltbeton 50 tot 75 jaar. De kans is daarmee groot dat het asfalt voor 2050 vervangen wordt en ontworpen wordt met in achtneming van de dan verwachte ZSS.</p>	na 2050

Nr	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
9	CF breukstenen damaanzetten treedt op bij: $H_s > 4,0$ m	De golfhoogte H_s is groter dan 4,0 m waardoor de toplaag aan de zeezijde van de breukstenen damaanzetten de golfbelasting rekenkundig niet meer voldoende veilig kan weerstaan.	De toelaatbare golfhoogte is circa 4 m (tabel I.1). De vigerende toetsrandvoorwaarden zijn circa: $TP = NAP + 5,2$ m, $H_s = 3$ m en $T_p = 9$ s (tabel i.2). De ZSS heeft met name invloed op de stabiliteit van de bekledingen. Voor de omkegeling is de stromingsbelasting bij een weigerende schuif maatgevend. Hiervoor geldt een vergelijkbaar knikpunt als de bodembeschermingen tot 105 m uit de kering (knikpunt 3). Voor de stabiliteit van de toplaag onder golfklap is met name de bekleding boven NAP -6 m (6-10 ton of 10-15 ton) maatgevend. In de toetsing is aangetoond dat de stabiliteit voldoende is (ook met de geconstateerde schades ter plaatse van de stalen beugels). De huidige golfhoogte (3 m) is lager dan de ontwerp golfhoogte (4 m). De verwachting is dat de ZSS slechts een beperkt effect heeft op de golfbelasting.	na 2050 (grote kans na 2100 o.b.v. analyse golfcondities bij ZSS en stabiliteit bekledingen)
10	CF kering Roggeplaat treedt op bij: $ZSS > 0,3$ m	De waterstand ligt boven de NAP +5,5 m en de golfhoogte H_s is groter dan 2,1 m (na bezwijken Westelijke Ringdijk) waardoor de hoofdwaterring Roggeplaat de belasting rekenkundig niet veilig kan weerstaan (met name voor duinafslag).	De ontwerpwaterstand is circa NAP +5,5 m (tabel I.1). De vigerende toetsrandvoorwaarden zijn circa: $TP = NAP + 5,2$ m en $H_s = 0,24$ m (golfhoogte t.p.v. hoofdwaterring en bepaald o.b.v. duinafslagberekeningen) [ref. 2]. Als alleen naar de waterstand gekeken wordt, is een ZSS van circa 0,3 m toegestaan. De ZSS heeft met name invloed op de golfbelasting na het bezwijken van de Westelijke Ringdijk en de daarbij horende afslag van de duinen voor de hoofdwaterring. De verwachting is echter dat een ZSS van 0,3 m een beperkte invloed heeft op de golfbelasting t.p.v. de hoofdwaterring.	na 2050 (grote kans na 2100 o.b.v. gedetailleerde golfmodel-berekeningen na bezwijken Westelijke Ringdijk)
11	CF kering Neeltje Jans treedt op bij: $ZSS > 0,3$ m	De waterstand ligt boven de NAP +5,5 m en de golfhoogte H_s is groter dan 5 m waardoor de hoofdwaterring Neeltje Jans de belasting rekenkundig niet veilig kan weerstaan (met name voor duinafslag).	De ontwerpwaterstand is circa NAP +5,5 m (tabel I.1) en het vigerende TP circa NAP +5,2 m (tabel i.2). De golfbelasting op de hoofdwaterring is verwaarloosbaar indien rekening wordt gehouden met afslag van de duinen voor de kering. De kruin van de hoofdwaterring ligt op NAP +12 m en is bekleed vanaf NAP +0 m tot de kruin met asfalt en gepenetreerde breuksteen. Op basis van de ontwerpwaterstand van NAP +5,5 m is een toelaatbare ZSS van 0,3 m aangehouden en daarmee is het knikpunt ingeschat na 2050. Verwacht wordt dat o.b.v. een analyse van de golfcondities bij een gegeven ZSS en gedetailleerde afslagberekeningen het knikpunt verder in de tijd zal liggen.	na 2050 (grote kans na 2100 o.b.v. analyse golfcondities bij ZSS en gedetailleerde afslagberekeningen)
12	CF coupure Damvak Geul treedt op bij: $ZSS > 0,3$ m	De waterstand ligt boven de NAP +5,5 m en de golfhoogte H_s is groter dan 4 m waardoor de coupure Damvak Geul (voetgangerstunnel) de	De toelaatbare waterstand en golfhoogte zijn overgenomen uit tabel I.1. De vigerende toetsrandvoorwaarden zijn circa: $TP = NAP + 5,2$ m en $H_s = 3,2$ m (tabel i.2). Wordt alleen de waterstand beschouwd, dan is een ZSS van 0,3 m toelaatbaar, zodat dit faalmechanisme na 2050 verwacht wordt. De	na 2050 (grote kans na 2100 o.b.v. gedetailleerde afslagberekeningen)

Nr	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
		belasting rekenkundig niet veilig kan weerstaan (met name voor duinafslag, overslag en stabiliteit bekleding).	kruinhoogte van de coupure ligt echter op NAP +8 m. Door de aanwezigheid van een 'strand en duinen' is er voldoende buffer (afslagprofiel) en zijn er eenvoudige aanpassingsmogelijkheden (zand in het profiel aanbrengen) in de toekomst mogelijk om de levensduur te verlengen.	
13	CF coupure Buitenhaven Neeltje Jans treedt op bij: ZSS > 0,3 m	De waterstand ligt boven de NAP +5,45 m, de golfhoogte H_s is groter dan 2,25 m en de golfperiode T_p is langer dan 10 s waardoor de coupure Buitenhaven Neeltje Jans (verkeersviaduct) de belasting rekenkundig niet veilig kan weerstaan (met name voor afslag, overslag en stabiliteit bekleding).	De toelaatbare waterstand en golfhoogte zijn overgenomen uit tabel I.1. De vigerende toetsrandvoorwaarden zijn circa: $TP = NAP + 5,2$ m, $H_s = 2,35$ m en $T_m - 1,0 = 6,2$ s [ref. 2]. De lokale kerende hoogte voor de coupure ligt op NAP +9 m. Door de aanwezigheid van een havendammen (die mogen bezwijken, maar niet volledig verdwijnen) is de golfreducerende werking van de havendammen voldoende om een lagere kruinhoogte te rechtvaardigen. Het TP ligt circa 0,3 m lager dan het ontwerppeil. De golfhoogte is iets groter, maar de golfperiode is aanzienlijk korter dan aangenomen bij het ontwerp. Daardoor is de aanname dat een ZSS van 0,3 m opgenomen kan worden.	na 2050 (grote kans na 2100 o.b.v. gedetailleerde golfmodel-berekeningen na bezwijken havendam)
14	CF Roompotsluis treedt op bij: overslagdebiet > 1100 l/m/s	Het overslagdebiet is groter dan 1100 l/s/m waardoor de Roompotsluis en het sluisplateau rekenkundig onvoldoende standzeker zijn om veilig de belasting door het overslaande water te weerstaan.	In de toetsing is een overslagdebiet van 1000 l/s/m berekend. Op basis van deze hydraulische randvoorwaarden is een ZSS van circa 0,05 m toegestaan (paragraaf 3.3.2).	voor 2050

Aanvullende toelichting op het knikpunt CF bodembescherming vanaf 105 m uit OSK

Door de ZSS neemt het verval over de OSK toe. Indien 1 of meerdere schuiven onder stormcondities niet sluiten, dan neemt als gevolg van het grotere verval de stromingsbelasting op de bodembescherming aan de zijde van de Oosterschelde toe. De bodembeschermingen met de kleinste toelaatbare vervallen conform de toetsing zijn gegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Voor een aantal locaties is het toelaatbare verval volgens Arcadis [ref. 2] 3,7 m. Deze waarde heeft Arcadis bepaald op basis van berekeningen met Pilarczyk.

Het ontwerpverval voor de stromingsbelasting op de bodembescherming bij een weigerende schuif is circa 4,3 m (paragraaf I.1). Deze waarde volgt ook min of meer uit het Beheer en Onderhoudsplan [ref 36]. In het plan wordt een waarde van 4,15 m aangehouden. Op basis van het plan is echter niet te herleiden op welke afstanden welke breuksteengraderingen op het bestorte asfaltmastiek is aangebracht. Daarmee kunnen de gehanteerde graderingen in het Arcadis rapport niet worden geverifieerd.

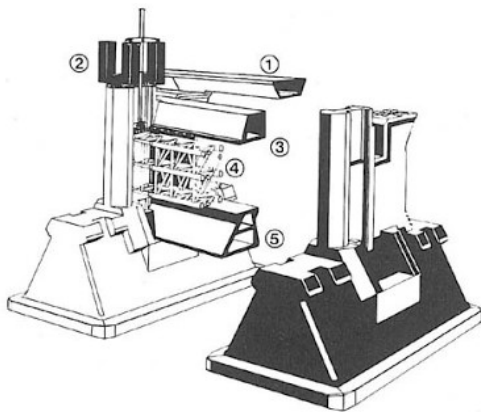
In voorliggend rapport is de conservatieve waarde voor het toelaatbare vloedverval van Arcadis aangehouden, omdat dit knikpunt niet maatgevend blijkt. Het knikpunt treedt op als door de ZSS de gecombineerde kans van voorkomen van een verval én het niet sluiten van 1 of meerdere schuiven groter is dan toelaatbaar (conform de VN).

De kans op overschrijden van het toelaatbare verval van 3,7 m is op basis van de vervalstatistiek zonder ZSS $2,0 \cdot 10^{-5}$ (Afbeelding I.8). Bij een faalkans $> 2,5 \cdot 10^{-4}$ krijgt de bodembescherming de score 'onvoldoende' conform de toetsrapportage [ref. 2]. Uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** blijkt dat het toelaatbare verval van 3,7 m met een ZSS van 0,85 m een kans van $1,5 \cdot 10^{-4}$ heeft om overschreden te worden. Dit is lager dan de bovenstaande faalkans waarbij het toetsrapport een score 'onvoldoende' toekent aan de bodembescherming. Het verwachte knikpunt voor de bodembescherming vanaf 105 m ligt daarom na 2100.

Aanvullende toelichting op knikpunt bovenbalken (tekst op basis van de VTV2006 toetsrapportage [ref. 2]).

In het ontwerp van de betonnen onderdelen van de OSK is gebruik gemaakt van een probabilistische analyse om de ontwerpbelastingen te bepalen. De bovenbalken hebben te maken met zowel een vervalbelasting als met golfbelasting. Beiden kunnen leiden tot instabiliteit of bezwijken van de bovenbalk. De golfbelasting op de bovenbalken is echter ongeveer een factor vier groter dan de vervalbelasting.

Afbeelding I.1 Locatie bovenbalk en verkeerskoker. 1: verkeerskoker, 2: hamerstuk, 3: bovenbalk, 4: schuif, 5: dorpelbalk



Bij het ontwerp is een vertaalslag gemaakt van het golfspectrum naar het belastingsspectrum. Vanwege de hoogteligging van de bovenbalken kan een lagere zeewaterstand ($TP < \text{ontwerpwaterstand}$) tot gevolg hebben dat de balken meer door golven worden belast. Er zal namelijk minder overslag plaatsvinden, waardoor meer golfenergie door de constructie moet worden opgenomen.

Uit de vergelijking van de ontwerp- en toetsrandvoorwaarden volgt dat de significante golfhoogte is afgenomen. Ten tijde van de toetsing kon echter niet achterhaald worden hoe de afname van de significante golfhoogte tot stand is gekomen.

Een reductie van de significante golfhoogte, ofwel een reductie in oppervlakte onder de grafiek van het golfspectrum, kan het resultaat zijn van een daling over alle frequenties, maar ook van een daling in één van de pieken (deining en windgolven). Als de daling vooral in het hoogfrequente gebied zit, dus in de tweede piek, dan zal dit door de vorm van de overdrachtsfunctie minder invloed hebben op het oppervlakte onder de grafiek van het krachtspectrum. Met andere woorden, de mate van belastingreductie is afhankelijk van zowel de reductie van golfhoogte, als van de oorzaak van deze reductie (vorm van het spectrum). Aan de hand van enkel een afgenomen significante golfhoogte kan niet zonder meer de conclusie worden getrokken dat golfbelastingen zijn afgenomen. Hiervoor is inzicht nodig in de al dan niet gewijzigde vorm van het golfspectrum. In de toetsing is aangenomen dat een afname van de significante golfhoogte ook een afname van het krachtspectrum betekent. Deze aanname wordt overgenomen binnen het project IVO. De verwachting is daarnaast dat bij een ZSS de significante golfhoogte slechts beperkt toeneemt en het krachtspectrum bij de hogere waterstand afneemt (meer overslag). De golfbelasting op de bovenbalk treedt door de ZSS vaker op. Hiertoe kan eerder vermoeiing van de constructie optreden. Tijdens de toetsing waren er geen aanwijzingen dat de huidige sterkte van de betonnen onderdelen sterk afwijkt van de originele ontwerpsterkte en waren er geen indicaties van verzwakking van de betonnen onderdelen door chloride-indringing. Het knikpunt voor de bovenbalken wordt pas na 2050 verwacht, omdat de werkelijke golfbelasting waarschijnlijk lager is dan aangehouden in het ontwerp (verschil tussen vigerende toets- en

ontwerprandvoorwaarden) en vermoeiing (door een ZSS van 0,3 m) op korte termijn door de ontwerplevensduur (circa 200 jaar) niet wordt verwacht.

Categorie a

Voor de categorie a-keringen direct aangrenzend aan de ontgrondingskuilen van de OSK is in de volgende tabel een knikpunt gedefinieerd.

Tabel I.1 Overzicht knikpunten CF bij VN (categorie a)

Nr	Naam	Omschrijving	Toelichting	Verwacht moment
1	kuildiepte >40m	direct aansluitende dijk faalt doordat de aansluitende ontgrondingskuil als gevolg van het debiet door de OSK dieper is dan 40 m, waardoor de kans op falen van de dijk door een zettingsvloeiing onacceptabel is	de toegestane diepte van de kuilen is op besluit van de minister beslissing gelimiteerd tot 40 m ten opzichte van de rand van de bodembescherming (RABO). Bij goed beheer en onderhoud zijn diepere kuilen dan 40 m niet meer te verwachten en is het optreden van het knikpunt voor 2100 onwaarschijnlijk. Daarbij is het van belang dat de taluds van de kuilen richting de OSK en de dijken bestort zijn en voldoen aan de hellingcriteria	na 2100

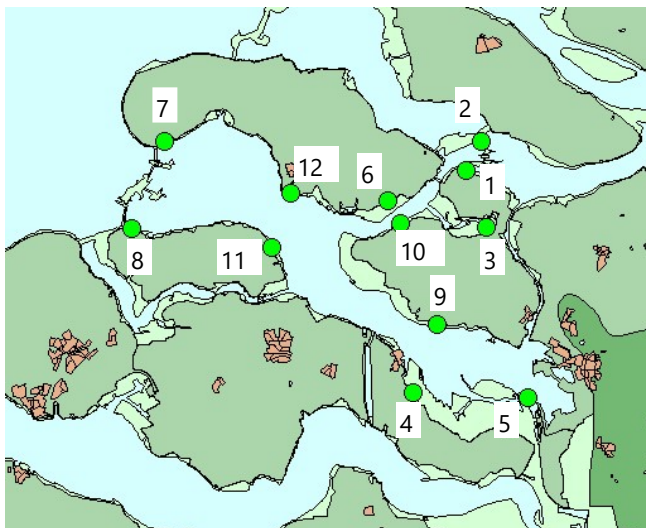


BIJLAGE: HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN DIJKEN

II.1 Hydraulische randvoorwaarden vigerende normering (VN)

De vigerende hydraulische randvoorwaarden (HR2006) voor de waterkeringen rond de Oosterschelde zijn in Tabel II.1 weergegeven [ref. 11].

Afbeelding II.1 Beschouwde oeverlocaties met PC-overslag



Tabel II.1 Hydraulisch toetsrandvoorwaarden (HR2006) [ref. 11], frequentie = 1/4000 per jaar

Oeverlocatie	Toetspeil [m+NAP]	Golfhoogte H_s [m]	Golfperiode $T_{m-1,0}$ [s]	Golfrichting β [°]
1 Anna Jacobapolder (dp 0,606)	3,7	0,75	2,3	60
2 Grevelingendam (dp 0,450)	3,7	0,55	2,5	40
3 Van Haaftenpolder (dp 0,729)	3,9	0,90	2,9	70
4 St. Pieterspolder (dp 1,327)	3,8	0,80	3,4	60
5 Oesterdam (dp 1,149)	4,0	1,65	4,1	20
6 Oosterlandpolder (dp 0,310)	3,6	0,80	3,1	70
7 Polder Schouwen (dp 0,014)	3,5	1,00	3,6	30

Oeverlocatie	Toetspeil [m+NAP]	Golfhoogte H_s [m]	Golfperiode $T_{m-1,0}$ [s]	Golfrichting β [°]
8 Anna Frisopolder (dp 1,935)	3,5	1,25	3,4	30
9 Poortvlietpolder (dp 1,012)	3,8	1,10	3,4	30
10 Moggershilpolder (dp 0,829)	3,6	1,35	3,9	30
11 Vredehof (dp 1,786)	3,5	0,95	4,1	70
12 Zuidhoek (haven de val) (dp 0,232)	3,5	1,60	4,3	50

II.2 Wijzigingen hydraulische randvoorwaarden door morfologie in Oosterschelde

Door morfologische veranderingen worden de Oosterschelddijken in de toekomst mogelijk door grotere golven belast. Dit komt door het langzaam verdwijnen van de platen. Vanaf 2050 is de toename van de significante golfhoogte circa $\Delta H_s = 0,2$ m en de toename van de golfperiode circa $\Delta T_{m-1,0} = 0,6$ s ten opzichte van de huidige situatie.

II.3 Profielen Oosterschelddijken voor overslagberekeningen

De profielen van de Oosterschelde dijken volgen in onderstaande profieltekeningen. Het betreffen dwarsprofielen van de volgende dijken:

- 1 Krabbendijke, Oosterland, en Oesterdam;
- 2 Pijlerdam, Sint-Maartensdijk, en 't Oude Dorp;
- 3 Veerhaven Kats, Zierikzee, Het Stinkgat;
- 4 Grevelingendam, Anna Jacobapolder, en Roompot.

