

De effecten van Zeespiegelstijging en Zandhonger op de Oosterschelde

December 2019



De effecten van Zeespiegelstijging en Zandhonger op de Oosterschelde

December 2019

Mark Zandvoort

Els van der Zee

Vincent Vuik

In opdracht van Rijkswaterstaat Zee en Delta



Rijkswaterstaat



Tauw

Altenburg & Wymenga



Colofon

Utrecht / Middelburg, December 2019

Auteurs

Mark Zandvoort (Tauw BV), Els van der Zee (Altenburg & Wymenga) en Vincent Vuik (HKV Lijn in Water)

Gecontroleerd door

Martijn Gerritsen (Tauw BV)

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Zee en Delta
Eric van Zanten, Veerle Sperber en Gert-Jan Liek

Begeleidingsgroep

Leo Adriaanse (Rijkswaterstaat Z&D), Ruben Akkermans (Provincie Zeeland), Simon Brassier (Rijkswaterstaat Z&D), Arthur Kors (Rijkswaterstaat WVL), Quirijn Lodder (Rijkswaterstaat WVL), Arno Nolte (Deltares), Krijn Saman (Rijkswaterstaat Z&D) en Hans van der Sande (Waterschap Scheldestromen).

Contact

Mark Zandvoort	Eric van Zanten
Tauw BV	Rijkswaterstaat Zee en Delta
Australiëlaan 5, Utrecht	Poelendaelesingel 18, Middelburg
Postbus 3015	Postbus 2232
3502 GA Utrecht	3500 GE Utrecht
Mark.zandvoort@tauw.com	Eric.van.zanten@rws.nl
T +31 6 1146 3822	T +31 6 2299 1545

Referentie

Zandvoort M, van der Zee E & Vuik V (2019) *De effecten van zeespiegelstijging en zandhonger op de Oosterschelde*. Eindrapport van de studie EZZO: Tauw BV, Altenburg & Wymenga en HKV Lijn in Water. I.o.v. Rijkswaterstaat Zee en Delta. Utrecht / Middelburg.

Copyright



Alles uit deze uitgave mag worden gekopieerd, gedistribueerd, vertoont, opgevoerd, gebruikt om afgeleid materiaal te maken en te gebruiken voor commerciële doeleinden, mits de auteurs bij alle werken vermeld worden en afgeleide werken onder identieke voorwaarden worden verspreid. Waar niet aangegeven zijn afbeeldingen en foto's gemaakt voor gebruik door Tauw/Altenburg & Wymenga.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs (en daarmee Tauw BV, Altenburg & Wymenga, HKV Lijn in Water en Rijkswaterstaat Zee en Delta) kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

Samenvatting

Voor u ligt het rapport van de studie naar de ‘Effecten van Zeespiegelstijging en Zandonger op de Oosterschelde’ (EZZO). In deze verkennende studie wordt inzichtelijk gemaakt wat het effect van zeespiegelstijging en de bestaande zandonger op de ecologie en het ruimtegebruik in de Oosterschelde gaat zijn. Ook is er nader onderzoek gedaan naar de ruimte die er binnen het sluitingsregime van de Oosterscheldekering is om zo kort en weinig mogelijk te sluiten zonder de waterveiligheid in gevaar te brengen. Vaak en lang sluiten is ongewenst vanuit ecologisch perspectief en voor sommige economisch sectoren zoals de mossel- en oestersector. EZZO richt zich op specifieke kantelpunten met betrekking tot zeespiegelstijging, zandonger en het sluitingsregime van de Oosterscheldekering voor ecologische waarden en het ruimtegebruik in de Oosterschelde. Om deze kantelpunten inzichtelijk te maken is er in EZZO gerekend met de bestaande zandonger en twee scenario’s van versnelde zeespiegelstijging, respectievelijk 1 meter zeespiegelstijging in 2100 en 2 meter zeespiegelstijging in 2100. Daarnaast is tot 3 meter gekeken voor het sluitregime van de Oosterschelde kering.

Sluitingsregime Oosterschelde

Uit eerdere verkenningen naar het sluitregime van de kering ([DHV 2007; Von Meijenfeldt et al. 2017](#)) is gebleken dat zeespiegelstijging zal leiden tot steeds vaker en langer sluiten van de Oosterscheldekering als het huidige sluitcriterium op basis van alleen de verwachte waterstand buiten de Oosterschelde gehandhaafd blijft. Uit EZZO blijkt dat op basis van golfbelasting op de waterkeringen en de maatgevend hoogwaterstanden rondom de Oosterschelde de Oosterscheldekering minder vaak en lang dicht hoeft dan op basis van enkel de waterstand, zoals in de huidige situatie. De verkenning van alternatieven voor het sluitregimelaat zien dat die winst ten opzichte van het huidige sluitregime fors is: namelijk tot een factor 8 minder sluitingen. De maatgevend hoogwaterstand voor de bestaande keringen is doorslaggevend, golfbelasting speelt niet tot nauwelijks een rol. De Oosterscheldekering zal bij het huidige sluitregime pas na 1,5 meter zeespiegelstijging meer dan 30% van de tijd dicht zijn. Bij het huidige sluitcriterium van NAP +3 meter zal de kering naar verwachting bij 1 meter zeespiegelstijging gemiddeld 85 keer per

jaar sluiten en 6% van de tijd gesloten zijn. Bij 2 meter zeespiegelstijging zal dit 662 keer per jaar en 62% van de tijd zijn. Bij aanpassing op basis van golfoverslagdebiet (0,1 l/s/m) sluit de kering bij 2 meter zeespiegelstijging 63 keer per jaar en 5% van de tijd. Op basis van maatgevend hoogwater (MHW) als sluitcriterium leidt 1 meter zeespiegelstijging tot 10 keer per jaar en 1% van de tijd. Een zeespiegelstijging van 2 meter leidt bij MHW als criterium tot 522 keer per jaar en 40% van de tijd een gesloten Oosterscheldekering.

Ecologie

Deze studie laat zien dat alle kantelpunten die de Oosterschelde substantieel raken tussen 0,5 meter en 1,5 meter zeespiegelstijging liggen. Een versnelling in de stijging is mede bepalend vanaf 1 cm zeespiegelstijging per jaar. De randvoorwaarde daarbij is dat er voor een aantal natuurwaarden (o.a. het areaal platen) dan al blijvend gesuppleerd wordt. Vanaf 0,5 meter zeespiegelstijging zal er een sterke reductie van het areaal droogvallend intergetijdengebied optreden. Schorren, slikken en platen zullen grotendeels verdwenen zijn bij 1 meter zeespiegelstijging. Veel van de huidige ecologische waarden kunnen tot die tijd in stand worden gehouden door suppleties, mits de snelheid van stijging niet te snel gaat. De huidige suppletieveorm is tot een jaarlijkse zeespiegelstijging van circa 1 cm houdbaar, daarboven neemt de frequentie van suppleren dusdanig toe dat bodemleven onvoldoende tijd krijgt om te herstellen. Vanaf dat moment zullen steltlopers zoals de scholekster steeds minder voedsel en rustgebieden vinden en voor broedvogels zal het areaal sterk teruglopen. Rond 1 meter zeespiegelstijging zullen veel soorten geheel verdwenen zijn door gebrek aan voedsel of rust. Voor zeehonden zal rond 1 meter het areaal om te rusten sterk teruggelopen zijn en met het gepaard gaan van langdurige hoogwaterstanden zullen ze elders rustplekken moeten vinden.

Ruimtegebruik

Op basis van de verkennende studie naar een alternatief sluitingsregime blijkt dat er zowel bij het huidige als alternatief regime voldoende voedsel beschikbaar is voor de filterende bodemdieren en de mosselpercelen tot ver na 1,5 meter

zeespiegelstijging. Verder zijn er nauwelijks andere negatieve effecten van zeespiegelstijging en het sluitingsregime te verwachten voor de mosselsector. De oestersector zal al bij een stijging van 0,5 meter geraakt worden door de zeespiegelstijging, omdat bij sluitingen van de Oosterscheldekering schade op zal treden in de hoogtezone waarin de oesterkweek plaats vindt. Dit geldt met name voor kweek op tafels en voor oesterbroed in de hoogtezone tussen NAP 0 meter en NAP +1 meter.

Tot 1 meter zeespiegelstijging is de haven- en scheepvaartinfrastructuur nog goed bruikbaar. Daarboven zullen schutlijnen en brugopeningen toenemen. De havenplateaus zullen vaker overstromen, zowel bij het huidige sluitregime als bij een alternatief sluitregime van de Oosterscheldekering. Verschillende cultuur-historische vormen van visserij, zoals weervisserij, zullen verloren gaan tussen 0,5 en 1 meter zeespiegelstijging. Ditzelfde geldt voor activiteiten als pieren spitten, zee-groenten snijden en voor eigen consumptie oesters plukken. Andere recreatieve vormen van gebruik zoals de duiksport en watersport zullen geen nauwelijks tot geen effecten ondervinden.

Conclusies

Ten aanzien van het ruimtegebruik is de belangrijkste conclusie dat er sterk sprake van verhoogde ruimtedruk zal zijn bij doorgaande zeespiegelstijging. Dit geldt voor alle functies afhankelijk van de gebieden die een deel van de getijcyclus droog staan. Slimme oplossingen voor deze druk is strategisch te suppleren ten behoeve van dubbeldoelen op het gebied van recreatie, natuur en veiligheid. Ruimtelijke ordening van het gebied door afsluitingen en zonering zullen in belang toenemen. Op lange termijn zullen ruimtelijke functies onherroepelijk wijzigen of moeten vertrekken (zoals nu al gebeurt met het vissen naar botten en fossielen, wat zich verplaatst naar de Westerschelde). Ten aanzien van de ecologie is de conclusie dat bij een hogere en snellere zeespiegelstijging en dan vooral met een snelheid hoger dan 1 cm/jaar, de huidige intergetijdennatuur en verschillende functies waaronder de oesterteelt en verschillende cultuurhistorische functies, weinig tot geen areaal meer hebben om naast elkaar te kunnen voortbestaan.

De aanpak van de zandhonger en zeespiegelstijging (waarbij nu de zandhonger nog dominant is terwijl later de zeespiegelstijging dominant zal worden) ten aanzien van het areaalbehou van slikken in de Oosterschelde, zoals die gestart is met het suppleren van de Roggeplaat in fase 1 (2015 - 2025), zal naar verwachting voorlopig onveranderd door kunnen gaan. Wel is het zaak om hand aan de kraan te houden en te monitoren hoe de zandhonger en een versnellende zeespiegelstijging zich gaan ontwikkelen. Daarnaast is het van belang om nu al te starten met het gesprek over de houdbaarheid van natuurdoelen en instandhoudingsverplichtingen en ruimtelijk beleid om de toenemende druk op het intergetijdengebied vanuit tal van functies en waarden blijvend te accommoderen. Naast suppleren en het aanpassen van het sluitregime valt ook te denken aan het zoeken naar andere teeltvormen voor de mosselsector zoals hangculturen en aanpassingen aan infrastructuur zoals het ophogen van bruggen en plaatsen van kademuren.

Afhankelijk van de nu nog onbekende snelheid van zeespiegelstijging zullen dergelijke maatregelen eerder of later genomen moeten zijn.



Dreigende wolken boven een drooggevallen Oosterschelde

Inhoudsopgave

1. Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doelstelling en afbakening.....	10
1.3 Leeswijzer.....	11
2. Aanpak en methoden	13
2.1 Uitgangspunten en aanpak	13
2.2 Bureaustudie.....	14
2.3 Alternatieven voor het sluitregime Oosterscheldekering.....	14
2.4 Kantelpunten	15
2.5 Oplossingen.....	18
3. Waterveiligheid en alternatief sluitregime	20
3.1 Kantelpunten voor waterveiligheid	20
3.2 Alternatief sluitregime OSK.....	21
4. Generieke effecten ecologie en ruimtegebruik	27
4.1 Zeespiegelstijging.....	27
4.2 Droogvalduurverlies.....	29
4.3 Zeewatertemperatuur	32
5. Ecologie.....	35
5.1 Huidige situatie van de ecologie in de Oosterschelde en autonome ontwikkeling.....	37
5.2 Effecten zeespiegelstijging en zandhonger op Ecologie	41
5.3 Doorwerking van het sluitregime Oosterscheldekering	50
5.4 Effecten van temperatuurverandering	52
6. Ruimtegebruik.....	56
6.1 Aquacultuur en visserij.....	56
6.2 Scheepvaart	63

6.3 (Haven)infrastructuur en buitendijkse bebouwing.....	67
6.4 Recreatie	71
6.5 Energie	73
6.6 Ruimtelijke kwaliteit	73
7. Oplossingen en redeneerlijnen.....	77
7.1 Naar een ander sluitregime	77
7.2 Redeneerlijn suppletiestrategie.....	78
7.3 Andere suppletie- en beheerstrategieën.....	81
7.4 Oplossingen voor functies.....	83
7.5 Andere denkbare slimme combinaties	87
8. Conclusies	89
8.1 Alternatief sluitregime Oosterscheldekering.....	89
8.2 Ecologie	90
8.3 Mossel- en oestersector	92
8.4 Ruimtegebruik.....	92
9. Aanbevelingen	95
9.1 Alternatief sluitregime Oosterscheldekering.....	95
9.2 Ecologie & suppletiestrategie	96
9.3 Ruimtegebruik.....	98
10. Referenties.....	101
11. Bijlagen.....	104



De Krammersluizen en de Oosterschelde

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De Oosterschelde (OS) is een uniek Nationale Park met veel intergetijdenatuur en grote landschappelijke waarde, terwijl ook activiteiten zoals visserij, schelpdierkweek, beroepsvaart en recreatie plaats vinden. De waarden en het gebruik van de OS staat echter onder druk door zandonger als gevolg van de aanleg van de deltawerken. De deltawerken hebben het evenwicht tussen opbouw en afbraak van slikken en platen verstoord. Intergetijdengebieden eroderen hierdoor en het sediment komt in de getijgeulen terecht. Het oppervlak van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde neemt daardoor af. Het areaal platen, slikken en schorren neemt in de toekomst nog verder af als gevolg van zeespiegelstijging. De nu nog onzekere mate en snelheid van zeespiegelstijging zal in de toekomst een van de meeste cruciale problemen voor de waterveiligheid, het ruimtegebruik en de ecologische waarden van de Oosterschelde vormen ([Van Zanten & Adriaanse, 2008](#)). Ook is er in toenemende mate druk van temperatuurstijging op ecologie, ruimtegebruik en waterveiligheid in de OS.

Ook op de lange termijn moet de Oosterschelde veilig, vitaal en veerkrachtig blijven. Om een veilige, vitale en veerkrachtige OS te behouden is inzicht nodig in de effecten van deze drukfactoren. In de studie Integrale Veiligheid Oosterschelde (IVO) ([Von Meijenfeldt et al. 2017](#)) is gekeken naar deze effecten op de integrale veiligheid van de Oosterschelde. Tevens is daar en op andere plekken (bijvoorbeeld in [de Ronde et al. 2013](#), de zogenaamde ANT studie naar de effecten van de autonome negatieve trend door zandonger) een aanzet gedaan om de effecten op ruimtegebruik en ecologie te bestuderen. Deze studie gaat hier verder op in door naar de effecten en oplossingsrichtingen voor ruimtegebruik en ecologie te kijken bij het huidige waterveiligheidsregime én bij een alternatief waterveiligheidsregime op basis van andere sluitingscriteria voor de Oosterscheldekering (OSK). De effecten van zeespiegelstijging en zandonger voor de Oosterschelde (EZZO) staan daarbij centraal, maar temperatuurstijging wordt ook meegenomen als dominante factor voor het gebied.

1.2 Doelstelling en afbakening

De doelstelling van deze studie is om op verkennende wijze de effecten van zeespiegelstijging, temperatuurstijging en zandhonger op de ecologie en het ruimtegebruik van de Oosterschelde in beeld te brengen. Daarnaast zijn oplossingsrichtingen verkend. Op hoofdlijnen is gekeken naar de criteria voor kantelpunten die plaats vinden voor verschillende ecologische waarden en ruimtegebruiksfuncties. Met kantelpunten wordt bedoelt dat er bij een bepaalde mate van verandering een functie of waarde verloren gaat, tenzij maatregelen kunnen worden genomen. Kantelpunten zijn waar mogelijk bepaald op basis van de effecten van drie belangrijke veranderende aspecten relevant voor de Oosterschelde: zeespiegelstijging, veranderende zeewatertemperatuur en zandhonger. Dit is waar mogelijk gespecificeerd naar type functie en ecologische waarde.

Op basis van kantelpunten zijn oplossingen in tijd en ruimte benoemd. Oplossingen die het effect van kantelpunten in de tijd uitstellen. Of richting geven voor een aanpassing zodat functies en waarden in een andere vorm behouden blijven. Op basis hiervan is richting gegeven voor nadere detailstudies naar zowel de specifieke kantelpunten per functie en ecologische waarde, als oplossingen die mogelijk of kansrijk zijn om met de effecten van zeespiegelstijging, temperatuurverandering en zandhonger om te gaan.

De scope van deze verkenning is afgebakend op het bestaande systeem van de Oosterschelde. De bestaande hoofdinfrastuctuur is als uitgangspunt genomen voor het bepalen van kantelpunten en oplossingen tot een zeespiegelstijging van 2 meter (voor het gebied achter de kering) en tot een zeespiegelstijging van 3 meter voor de effecten op het sluitregime van de kering. Het geeft dus richting aan het huidige beheer waarbij het bestaan van de OSK en de dammen in het achterland als gegeven zijn beschouwd. Er wordt in deze studie niet verder ingegaan op waterveiligheid behalve bij het bepalen van een alternatief sluitregime voor de kering en waar relevant bij de verschillende functies en oplossingen. De reden hiervoor is dat waterveiligheid al beschouwd is in de eerder uitgevoerde verkenning naar de Integrale Veiligheid in de Oosterschelde (IVO, [Von Meijenfeldt et al. 2017](#)).

1.3 Leeswijzer

Eerst zijn de uitgangspunten voor dit onderzoek beschreven, daarna volgen de verschillende stappen en de methodische uitwerkingen die daarbij gehanteerd zijn (hoofdstuk 2). Vervolgens is eerst ingegaan op de resultaten van alternatieve sluitregimes (hoofdstuk 3). Daarna zijn de generieke effecten die met zeespiegelstijging en zandhonger samenhangen voor ecologie en ruimtegebruik beschreven, waarna het rapport op beide onderdelen apart de diepte ingaat (hoofdstukken 4, 5 en 6). Daarin is de samenhang tussen verschillende functies beschreven en vervolgens is ingegaan op de effecten van maatregelen binnen de Oosterschelde zoals die op huidige wijze beheerd wordt. Het rapport eindigt met een doorkijk naar toekomstige oplossingen en de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 7 tot en met 9).



De Zeelandbrug gezien vanaf het noorden

2. Aanpak en methoden

De aanpak bestond uit het uitvoeren van analyses op drie deelthema's: sluitregime OSK, ecologie en ruimtegebruik. Hieronder zijn de uitgangspunten en de aanpak beschreven.

2.1 Uitgangspunten en aanpak

In deze verkenning zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Transparantie in keuzes en afwegingen.
- Navolgbaarheid van de analyse.
- Systematisch en integraal werken.

Omdat dit een verkenning is waarin op hoofdlijnen gezocht is naar kantelpunten en oplossingsrichtingen was transparantie in keuzes en afwegingen onontbeerlijk voor navolbaarheid van de uitkomsten. In deze verkenning wordt niet tot in detail bestudeerd wanneer een kantelpunt ontstaat, daarom is per kantelpunt een aantal aannames gedaan om toch tot uitspraken te kunnen komen. De aannames en keuzes zijn beschreven bij de aparte onderdelen in deze rapportage. Navolbaarheid van de analyse is een goed principe om de kwaliteit van de resultaten te kunnen beoordelen. Elke stap is daarom explicet benoemd en reproduceerbaarheid door anderen is voorop gezet in de beschrijving van de methoden. De aanpak is erop gericht om systematisch en integraal de wisselwerking tussen functies op het schaalniveau van de Oosterschelde te beschouwen.

In de aanpak zijn de volgende stappen doorlopen:

- Bureaustudie t.b.v. het bijeen brengen van kennis, het beschrijven van de huidige situatie voor wat betreft ruimtegebruik en ecologie, inclusief het weergeven van bestaande wettelijke beoordelingskaders.
- Verkenning alternatieve sluitregimes.
- Scenario's en onzekerheden daarin beschrijven.
- Kantelpuntbepaling huidige situatie.
- Verzamelen, afbakenen en aanzet tot effectbepaling van oplossingsrichtingen.

2.2 Bureaustudie

De bureaustudie is gedaan op basis van het materiaal aanwezig bij Rijkswaterstaat en vele voorgaande studies naar de Oosterschelde op tal van vlakken (waaronder hydraulica, morfologie, ecologie, ruimtegebruik). De insteek voor de bureaustudie was tweeledig. Enerzijds het inventariseren van indicatoren en randvoorwaarden voor waterveiligheid en aan- of afwezigheid van ruimtelijke functies, habitattypen en doelsoorten. Anderzijds het verzamelen en bestuderen van bestaande oplossingsrichtingen zoals die sinds de aanleg van de Oosterscheldekering zijn beschreven in allerhande studies en visiedocumenten. Dit leidt tot keuzes voor nadere analyse en koppeling tussen de verschillende ruimtelijke functies, habitattypen en doelsoorten, en het beheer van de Oosterschelde. Er zijn zowel wetenschappelijke studies, beleidsstudies en verkenningen, beleidsdocumenten van nationale tot lokale overheden en visiedocumenten van belanghebbenden bestudeerd (zie hoofdstuk 10, referenties). Er bestaan al veel studies met betrekking tot de Oosterschelde. Er is een brede zoektocht gedaan, maar daarna is er een selectie geweest voor wat betreft meegenomen kon worden. Zo zijn in het online archief van de Rijksoverheid 121 documenten over de Oosterschelde opgenomen (laatste 20 jaar). In totaal zijn er 108 gerapporteerde studies in het nationaal archief waar aspecten van de Oosterschelde in behandeld worden (elk met 1 of meerdere relevante archiefbestanden). En in de wetenschappelijke database Scopus is sinds 1980 over 329 studies gerapporteerd (Web of Science geeft 230 studies).

2.3 Alternatieven voor het sluitregime Oosterscheldekering

In de huidige situatie sluit de Oosterscheldekering (OSK) op basis van de verwachting van de zeewaterstand. Als de voorspelde zeewaterstand bij meetlocatie ‘Roompot Buiten’ het niveau van NAP +3.0 m dreigt te overschrijden dan sluit de kering. Uit eerdere verkenningen naar het sluitregime van de kering ([DHV 2007](#); [Von Meijenfeldt et al. 2017](#)) volgt dat zeespiegelstijging zal leiden tot steeds vaker en langer sluiten van de Oosterscheldekering, als het huidige sluitcriterium op basis van alleen de waterstand buiten de Oosterschelde gehandhaafd blijft. Vaak en lang sluiten is ongewenst vanuit ecologisch perspectief en zou mogelijk economische

gevolgen kunnen hebben voor bedrijfsactiviteiten en beheerders in het gebied. Mogelijk gaat de kering bij grote zeespiegelstijging ook onnodig sluiten bij situaties met weinig wind boven de Oosterschelde zelf. Een waterstand van NAP +3 meter op zich is namelijk nog geen gevaar voor een dijkdoorbraak, daarvoor spelen ook andere aspecten zoals golven en de hoogte van de dijken rondom de Oosterschelde een rol. Daarom is verkend hoe de sluitfrequentie en sluitduur wijzigen als het sluitcriterium niet puur wordt gebaseerd op de voorspelde zeewaterstand, maar als hier ook wind en de daarbij behorende waterstanden en golven bij de dijken rond de Oosterschelde worden betrokken.

Om tot alternatieven te komen, is een aanpak gevuld op basis van golfoverslagberekeningen bij de primaire dijken langs de Oosterschelde. Waterstand, windrichting en windsnelheid resulteren in golven, en daardoor in golfoploop op het buitentalud van de dijken (zie paragraaf 3.2). Deze golfoploop kan in extreme situaties resulteren in golfoverslag over de kruin, uit te drukken in een golfoverslagdebiet. Aan dat golfoverslagdebiet kan een criterium worden gesteld, waarbij het idee is dat de kering gesloten moet zijn als zonder sluiting het criterium op bepaalde locaties rond de Oosterschelde overschreden zou worden.

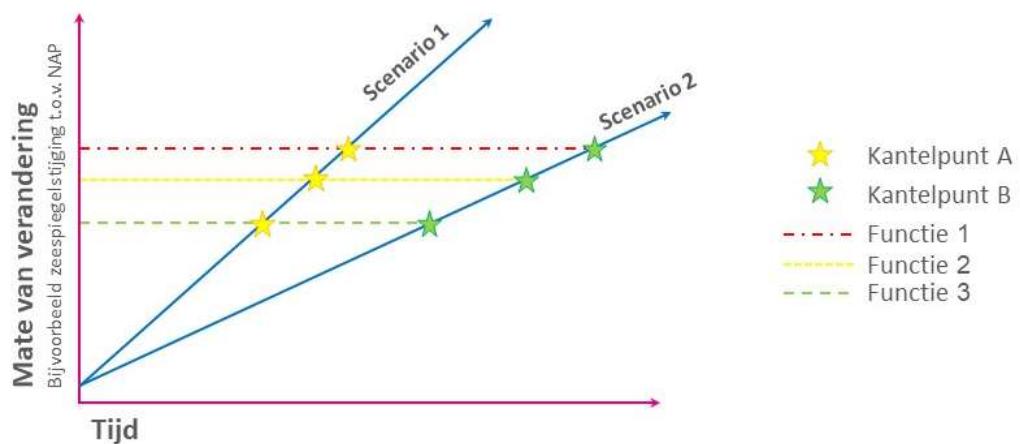
De werkwijze is gebaseerd op gemeten tijdreeksen van zeewaterstanden en wind, in combinatie met modelberekeningen voor de waterstanden bij een open kering en golfkarakteristieken bij de dijken. De gemeten tijdreeksen zijn omgezet in een berekende tijdreeks van het golfoverslagdebiet over de dijken, op basis waarvan wordt overgegaan tot het sluiten van de kering ter voorkoming van onwenselijk hoge golfoverslag (zie paragraaf 3.2). De exakte werkwijze is te vinden in het achtergrondrapport [HKV \(2019\)](#) wat als bijlage 1 is opgenomen. De resultaten van dit onderdeel zijn daarna gebruikt voor onder andere een inschatting van de instroom van primaire productie uit de voordelta en het bepalen van de voedselbeschikbaarheid voor de mosselcultuur door verminderde stromingsdynamiek.

2.4 Kantelpunten

Naast de keuze in scenario's zijn criteria opgesteld voor analyse van het bereiken van kantelpunten van de huidige situatie en criteria voor effectanalyse. Een kantelpunt in deze studie is gedefinieerd als het moment waarop het in stand houden

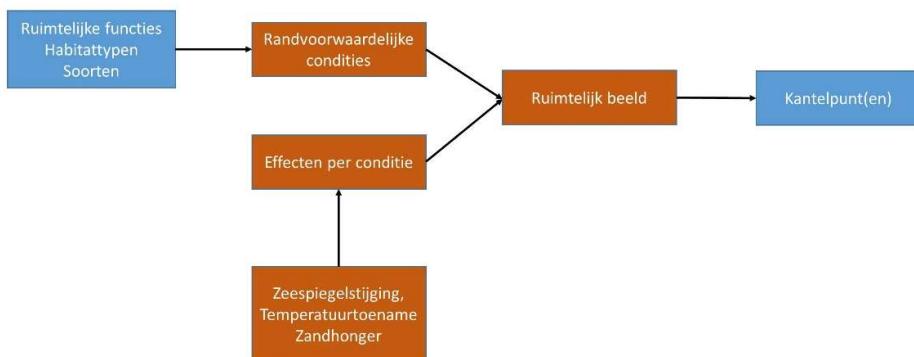
van een functie of waarde fysiek onhaalbaar en/of economisch onrendabel wordt, schematisch weergegeven in figuur 1.

Figuur 1. Schematische weergave van kantelpunten. Op de x-as de tijd, op de y-as de mate van verandering. Met twee scenario's en drie functies (of habitattypen/soorten) zijn er zes kantelpunten waarop een functie fysiek onmogelijk of economisch onrendabel is.



Om een kantelpunt te bepalen (figuur 2) zijn eerst de verschillende (gebruiks)functies, habitattypen en soorten geïdentificeerd. Een kantelpunt bepalen begint met het identificeren van de condities die als randvoorwaarden gelden voor een functie, habitattype of soort (stap 1). Deze condities worden op verschillende manieren beïnvloed door de veranderingen die bepaald zijn in de scenario's. In deze studie gaat dit om zeespiegelstijging, toename van de watertemperatuur en zandhonger. Met deze veranderingen zijn bepaalde effecten op de condities geïdentificeerd in stap 1. Het gaat dan bijvoorbeeld om relatieve waterstand, golfhoogte, steilheid intergetijdengebied, areaal intergetijdengebied en turbulentie/troebelheid van het water. Bepaling van een kantelpunt kan nu door te analyseren bij welke mate van verandering één of een combinatie van meerdere condities dermate verslechtert dat een functie, habitat of soort niet meer kan bestaan (stap 2).

Figuur 2. Stappen om kantelpunten te bepalen.



Niet alle condities zijn exact vast te stellen en er is voor veel functies onvoldoende kennis of informatie om exacte kantelpunten vast te stellen. Daarnaast zit er bij veel functies een normatieve keuze over bijvoorbeeld rendabiliteit (bij hoe vaak overstromen is een jachthaven bijvoorbeeld niet meer rendabel?). Als laatste is er ook ruimtelijke diversiteit in de Oosterschelde die op het niveau van een functie maakt dat een kantelpunt in een reeks optreedt (voor de functie haven, bijvoorbeeld, verschilt per locatie de stormopzet en elke haven kent zijn eigen hoogteprofiel t.o.v. NAP). Om hier mee om te gaan zijn alle aannames per conditie en functie, habitat of soort zo goed mogelijk benoemd. Daarnaast is voor zowel kantelpuntbepaling als effecten van oplossingen met redeneerlijnen gewerkt waarmee de werkingsprincipes ondanks gebrek aan data weer zijn gegeven. In een aantal gevallen is daarnaast met een bandbreedte gewerkt om de onzekerheid over kantelpunten en de reeks aan kantelpunten in de hele Oosterschelde aan te geven. Kantelpunten voor waterveiligheid zijn overgenomen uit IVO.

Habitattypen en soorten voor de ecologische kantelpunten zijn geïdentificeerd aan de hand van Natura 2000 waarden (o.a. areaal en kwaliteit habitattypen, areaal en kwaliteit rust-, foerageer-, en broedgebieden van doelsoorten) en KRW maatlatten (o.a. angiospermen, macrofauna en vis). Veel is al vastgelegd in het beheerplan Natura 2000 Deltawateren 2016-2022, zoals verspreidingsdata en instandhoudingsdoelstellingen. Nadere analyses zijn onder andere al gedaan in de ANT studie ([De Ronde et al. 2013](#)) ten aanzien van de zandonger en verschillende studies in de wetenschappelijke literatuur naar minimale condities voor verschillende soorten die als basis voor kantelpunten kunnen worden genomen. Voor de effecten van zeespiegelstijging gecombineerd met de zandonger is voor 40 cm (2050) en 100 cm (2100) zeespiegelstijging in deze studie een analyse gedaan.

Ruimtegebruik en functies zijn geïdentificeerd aan de hand van de Oosterscheldevisie 2018-2022 en het beheerplan Natura 2000 Deltawateren 2016-2022, waarin de effecten van alle gebruiksfuncties op de ecologie in de Oosterschelde beoordeeld zijn. Hierbij ligt de focus primair op de meest relevante cultuur-historische en/of economische functies zoals de mosselvisserij, recreatie, behoud van specifieke vormen van visserij (zoals weervisserij, kreeftenvisserij), havens, scheepvaart en andere buitendijkse economische activiteiten. Daarnaast zijn de kantelpunten

besproken in interviews met een aantal experts op het gebied van de Oosterschelde-natuur en het ruimtegebruik in het gebied (bijlage 2).

2.5 Oplossingen

Gedurende de hele verkenning is bijgehouden wat er aan oplossingen voor handen is. Hier is deels ook op gefocust tijdens de bureau studie. In 2 sessies met het begeleidingsteam zijn vervolgens de oplossingen besproken en gekoppeld aan de kantelpunten per functie (bijlage 3). Op basis van de bestaande literatuur zijn de oplossingen verder uitgesplitst naar toepassing of idee.



De Oosterscheldekering

3. Waterveiligheid en alternatief sluitregime

In dit hoofdstuk zijn kort de kantelpunten voor waterveiligheid samengevat zoals in IVO bestudeerd. Verder wordt ingegaan op de resultaten van alternatieve sluitregimes op basis van golven en maatgevende hoogwaterstanden voor de primaire keringen langs de Oosterschelde (zie bijlage 1 voor de uitgebreide analyse).

3.1 Kantelpunten voor waterveiligheid

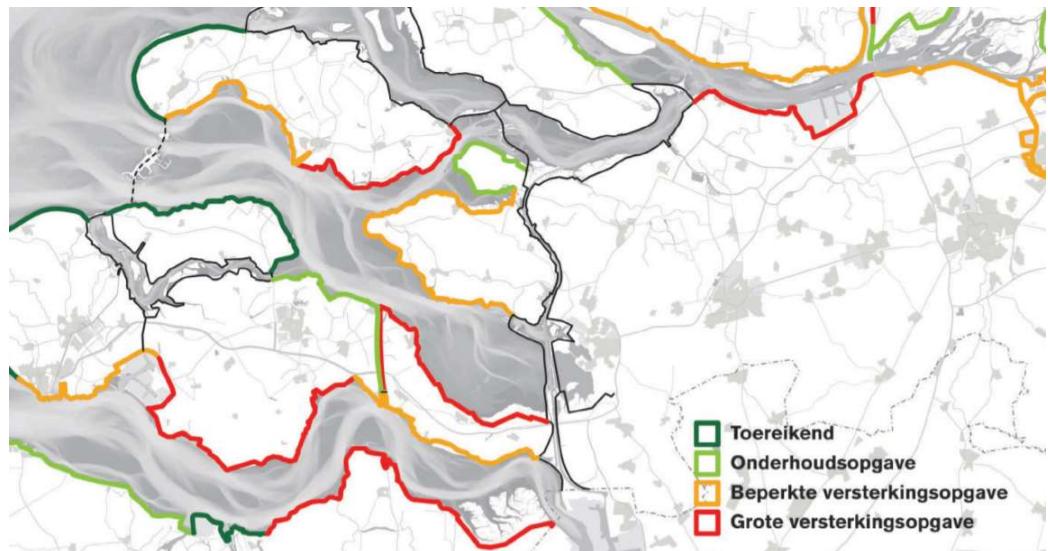
Voor de kantelpunten voor waterveiligheid zijn de resultaten uit de eerder genoemde studie naar de Integrale Veiligheid Oosterschelde (IVO) als gegeven beschouwd. In IVO ([Von Meijenfeldt et al. 2017](#)) is verkend bij welke mate van zeespiegelstijging kantelpunten ontstaan voor verschillende potentiële faalmechanismen van de Oosterscheldekering, met voor elk zogenaamd toetsspoor de bepaling van kantelpunten (tabel 1). IVO was verkennend van aard en momenteel wordt er door Rijkswaterstaat een beoordelingssystematiek opgesteld die waarschijnlijk anders zal zijn dan zoals in IVO gerapporteerd. In onder andere de WBI-beoordeling van de Oosterscheldekering zal de staat van de kering zelf en de mogelijkheden voor het sluitregime in het licht van zeespiegelstijging nader bestudeerd worden. De verkenning in IVO geeft aan dat er verschillende kantelpunten zijn te identificeren. Hier is verkend wat de kantelpunten in het gebied zijn en welke ruimte er mogelijk is om het sluitregime ten bate van het gebied op te rekken.

Tabel 1. Overzicht bere-deneerde schatting van kantelpunten bij zee-spiegelstijging (aange-past op basis van IVO, tabel 3.3).

TOETSSPOOR	ZSS < 22	ZSS > 22 CM - <	ZSS > 72
GRASBEKLEDING EROSIE KRUIN EN BINNENTA-		X	
PIPING (STPH)			n.v.t.
MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS (STBI)			X
STABILITEIT BREUKSTEEN (BST)		X	
HOOGTE KUNSTWERK (HTKW)	X		
BETROUWBAARHEID SLUITING KUNSTWERK			X
PIPING KUNSTWERK (PKW)			X
STERKTE EN STABILITEIT KUNSTWERK (STKWP)		X	

De belangrijkste conclusie voor wat betreft de waterkeringen is dat het effect van de zeespiegelstijging op de hoogwaterstanden niet tot nauwelijks doorwerken in de huidige situatie met de OSK die sluit bij een buitenwaterstand van NAP +3,0 meter. De waterveiligheidsopgave in de Oosterschelde is met die randvoorwaarde al majeur, met name langs de zuidrand van de kom en de oostkant van Schouwen-Duiveland (figuur 3).

Figuur 3. Huidige dijkversterkingsopgave voor de Oosterschelde (Deltaprogramma 2018)



3.2 Alternatief sluitregime OSK

In deze studie is als apart deeltraject een eerste verkenning gedaan naar alternatieve sluitregimes voor de OSK op basis van waterstanden en wind. De aannname is dat de kering bij rustige windcondities langer open kan blijven dan de waterstand van NAP +3,0 meter, omdat er geen noemenswaardige golfoverslag optreedt bij de dijken rondom de Oosterschelde (de grens is dat het zogenaamde maximale overslagdebit niet wordt overschreden). Als hoge waterstanden gedurende lange tijd tegen de dijken staan, zouden er echter ook problemen kunnen ontstaan door de faalmechanismen ‘macrostabiliteit’ en ‘piping’. Omdat deze faalmechanismen vooral reageren op langdurige belasting, zijn zij momenteel in getijdewater (met sterk fluctuerende waterstanden) niet snel maatgevend. Zeespiegelstijging zou deze situatie echter kunnen veranderen. Dit is meegenomen door in een aanvullend sluitcriterium de kering niet alleen te laten sluiten bij een overschrijding van het kritieke golfoverslagdebit, maar ook als bij een open kering het oude maatgevend hoogwater (MHW) zou worden overschreden op minimaal één van de

locaties. Achterliggende gedachte is dat eventuele problemen met stabiliteit en piping bij de afgekeurde trajecten in 2010 zijn opgelost, waarbij destijds getoetst werd op MHW. Mogelijk zijn de keringen ook in staat om hogere (piek)waterstanden dan MHW te keren, maar hiervoor is een meer gedetailleerde analyse noodzakelijk en daarom is hier gekozen voor MHW als conservatieve aanname.

De basis van de analyse wordt gevormd door tijdreeksen van wind en zeewaterstand voor de periode vanaf de aanleg van de Oosterscheldekering tot heden, ofwel de jaren 1988 tot en met 2018. Er zijn 22 locaties genomen (tabel 2, figuur 4), waarvoor de dijkprofielen en dijknormalen conservatief zijn gebaseerd op de profielen uit 2010, waarbij voor sommige trajecten geldt dat de dijkprofielen (met name de hoogtes van de buitenberm), zijn aangepast in het project Zeeweringen. Bij deze verkennende studie is hier geen rekening mee gehouden.

De berekende waterstanden, golven gebaseerd op de wind bij Vlissingen (die voor deze verkenning als representatief voor de Oosterschelde is beschouwd), dijkprofielen en dijkoriëntatie geven voldoende informatie voor het berekenen van golfoverslaggebieden voor de 22 locaties (zie bijlage 1 voor verdere details).

Figuur 4. De 22 locaties rondom de Oosterschelde waarvoor golfoverslag is berekend (google.maps).



Voor het sluiten van de kering zijn drie verschillende criteria toegepast:

- Overschrijding van de zeewaterstand van NAP +3,0 m bij Roompot Buiten (afkorting RPBU)
- Overschrijding van een maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet op één of meer locaties rond de Oosterschelde (met een debiet van 0,1 l/s/m)
- Overschrijding van het MHW uit de HR2006 op één of meer locaties rond de Oosterschelde

Zie bijlage 1 voor de exacte toepassing van deze drie sluitcriteria. De drie verschillende sluitcriteria leiden elk tot een ander aantal sluitingen en totale sluitduur per jaar (figuur 5 en tabel 3).

Tabel 2. Beschouwde locaties, bijbehorende coördinaten, normtraject, dijknormaal-richtingen, kruinhoogtes, MHW hoogten en prestatiepeilen.

LOCATIE	X (RD) [M]	Y (RD) [M]	TRAJECT	DIJKPAAL [HM]	DIJK-NOR- MAAL [GR.N.]	KRUIN- HOOGTE [M+NAP]	MHW 2006 [M+NAP]	PRESTA- TIEPEIL [M+NAP]
LOC01	38459	402130	28-1	1,928	50	7,93	3,45	3,14
LOC02	43475	402326	28-1	1,868	50	8,02	3,45	3,13
LOC03	49609	402032	28-1	1,798	50	6,64	3,45	3,17
LOC04	51056	397595	28-1	1,733	170	6,19	3,45	3,14
LOC05	52931	396099	30-1	1,664	30	6,34	3,45	3,13
LOC06	57730	393738	30-1	1,596	20	7,09	3,55	3,21
LOC07	59403	391706	31-2	1,422	300	5,01	3,55	3,26
LOC08	62177	391263	31-2	1,377	320	7,53	3,75	3,34
LOC09	64750	385501	31-2	1,305	70	6,74	3,85	3,33
LOC10	70234	383924	31-2	1,235	340	7,21	3,95	3,85
LOC11	69650	393443	27-2	1,063	180	5,93	3,75	3,57
LOC12	62330	396440	27-2	962	260	7,29	3,65	3,31
LOC13	57824	400674	27-2	888	300	7,78	3,55	3,26
LOC14	63872	403438	27-2	811	350	6,29	3,55	3,37
LOC15	71051	403022	27-2	719	280	6,30	3,85	3,49
LOC16	67249	404440	27-1	659	250	6,47	3,70	3,42
LOC17	67357	407851	27-1	608	340	6,79	3,70	3,51
LOC18	61209	405019	26-3	342	170	6,04	3,55	3,29
LOC19	56010	404450	26-3	283	220	7,59	3,45	3,15
LOC20	52426	405724	26-3	229	200	7,18	3,45	3,15
LOC21	50619	409013	26-2	154	240	7,74	3,45	3,18
LOC22	43054	411411	26-2	40	150	5,76	3,45	3,19

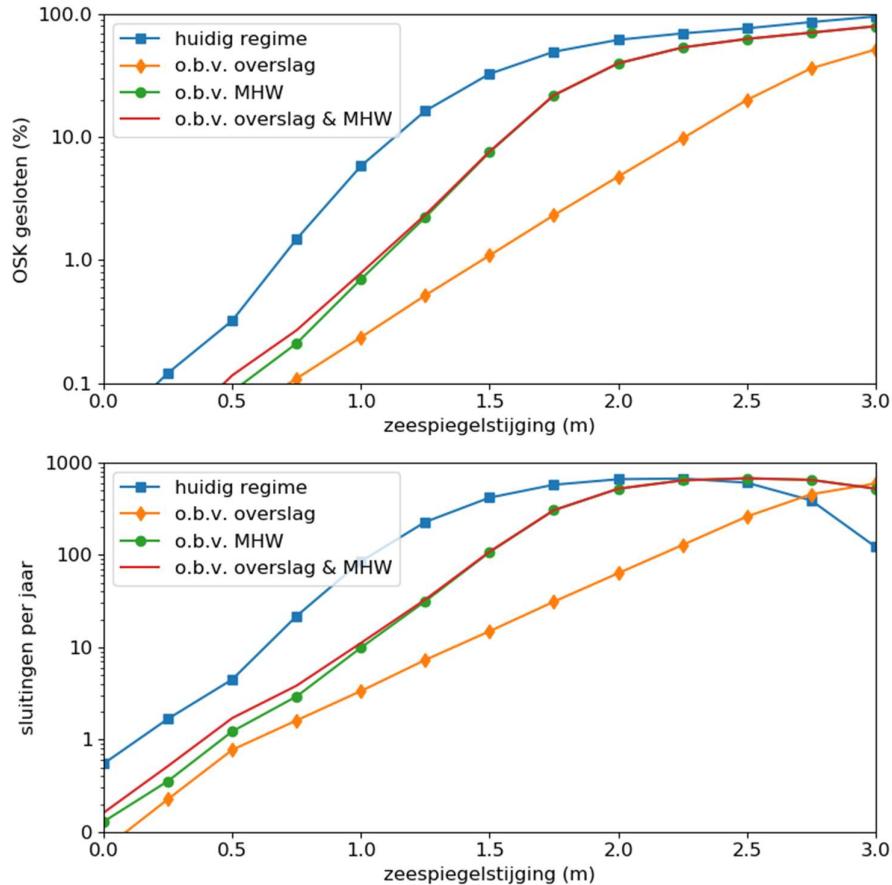
Tabel 3. Het aantal sluitingen per jaar voor de drie verschillende criteria en het percentage van de tijd dat de Oosterscheldekering dicht is. Getallen bij Maatgevend Hoog Water (MHW) in combinatie met overslag zijn nagenoeg gelijk aan getallen bij alleen het MHW-criterium, en daarom niet opgenomen in de tabel.

ZEEPIEGEL-STIJGING	SLUITINGEN PER JAAR GEBASEERD OP:			PERCENTAGE VAN DE TIJD DICHT GEBASEERD OP:		
	Huidig regime	Golf-over-slag (q_{max})	MHW	Huidig regime	Golf-over-slag (q_{max})	MHW
0,00	0,5	0,1	0,1	0,0%	0,0%	0,0%
0,25	1,7	0,2	0,4	0,1%	0,0%	0,0%
0,50	4,5	0,8	1,2	0,3%	0,1%	0,1%
0,75	22	2	3	1,5%	0,1%	0,2%
1,00	85	3	10	5,8%	0,2%	0,7%
1,25	228	7	31	16,3%	0,5%	2,2%
1,50	418	15	107	32,7%	1,1%	7,5%
1,75	577	31	305	49,5%	2,3%	21,9%
2,00	662	63	522	61,8%	4,8%	39,8%
2,25	674	128	644	69,7%	9,8%	53,5%
2,50	607	261	678	76,6%	20,0%	62,9%
2,75	391	455	652	86,2%	36,3%	70,7%
3,00	123	595	524	95,7%	51,5%	79,7%

Deze resultaten laten zien dat bij 0,5 m zeespiegelstijging de sluitfrequentie volgens de rekenresultaten 5 keer per jaar zou zijn, bij handhaven van sluiten bij een zeewaterstand van NAP +3,0 m. Bij hogere zeespiegelstijging begint het aantal sluitingen sterk op te lopen, met 85 per jaar bij 1,0 m en 418 per jaar bij 1,5 m zeespiegelstijging. Bij zeespiegelstijging boven 2,25 m begint het aantal sluitingen (wisselingen van open naar gesloten toestand) af te nemen, doordat de kering dan steeds vaker meerdere getijden aaneengesloten dicht moet blijven. Dit is een aanscherping op de cijfers uit IVO, waar met een veel langere sluitduur (24 uur) en lagere sluitfrequenties is gerekend.

De berekeningen laten zien dat een sluitregime waarin wind en maatgevend hoog water voor de dijken meegenomen is ruimte geeft om de hoofdfunctie van de OSK langer in stand te houden bij een stijgende zeespiegel. Als het huidige sluit criterium gehandhaafd wordt, zal de kering naar verwachting gemiddeld 85 keer per jaar moeten sluiten bij een zeespiegelstijging van 1 m, en 662 keer per jaar bij 2 m. De

Figuur 5. Percentage van de tijd dat de Oosterscheldekering is gesloten, gebaseerd op criteria voor zeewaterstand (bij het meetpunt Roompot Buiten), overslagdebiet, MHW en een combinatie daarvan. Sluiten en openen zijn bepaald op basis van een rolling window van 5 uur.



kering zal dan respectievelijk 6% en 62% van de tijd gesloten zijn (tabel 3). Bij toepassing van een criterium van 0,1 l/s/m golfoverslagdebiet blijft de totale sluitduur tot 2 m zeespiegelstijging lager dan 5% van de tijd, met een sluitfrequentie van 63 keer per jaar (tabel 3). Als het sluiten gebaseerd wordt op MHW als sluitcriterium, dan zal de kering naar verwachting gemiddeld 10 keer per jaar moeten sluiten bij een zeespiegelstijging van 1 m, en 522 keer per jaar bij 2 m. De kering zal dan respectievelijk 1% en 40% van de tijd gesloten zijn (tabel 3).

De hierboven genoemde getallen vormden de input voor de volgende onderdelen: effecten op ecologie en ruimtegebruik.



Het samengaan van natuurlijke waarden en ruimtelijke functies

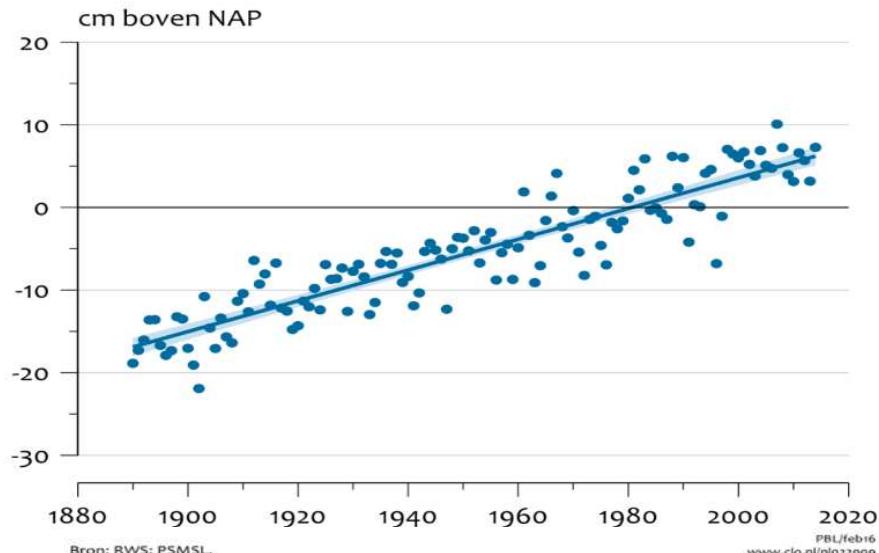
4. Generieke effecten ecologie en ruimtegebruik

Alvorens in te gaan op de specifieke effecten per functie is er een aantal generieke effecten van zeespiegelstijging, zandonger en toename van de watertemperatuur. Eerst komen kort de huidige scenario's voor zeespiegelstijging en de uitgangspunten aan bod. Het belangrijkste effect is daarnaast droogvaluurverlies op de intergetijdengebieden. Naast effect op individuele functies speelt hier ook de totale ruimtedruk een rol (met als gevolg zogenaamde coastal squeeze: alles moet in een kleinere ruimte plaats vinden). Een minder bestudeerd en mogelijk ook minder dominant effect voor de hele Oosterschelde is temperatuurstijging van het water, waarvoor de generieke aannames zijn beschreven en er bij de relevante functies specifiek op in is gegaan.

4.1 Zeespiegelstijging

Tijdens de uitvoering van EZZO was er nog veel debat over de mogelijke en waarschijnlijke scenario's tot en na 2100. Hier zijn voor de koppeling met de zandonger de Deltascenario's zoals die in 2018 in opdracht van de Deltacommissaris geactualiseerd zijn gebruikt ([Wolters et al. 2018](#)). Als zichtjaren zijn 2050 en 2100 (i.p.v. 2085 in de Deltascenarios) voor de analyse van de gecombineerde effecten zeespiegelstijging en zandonger aangehouden. Hierbij is uitgegaan van respectievelijk 40 en 100 cm zeespiegelstijging (t.o.v. 2017). De Deltascenarios 2017 geven voor het zichtjaar 2050 een zeespiegelstijging tussen 15 cm en 40 cm en voor 2085

Figuur 6. Zeespiegelstijging voor de kust van Nederland sinds 1890 (PBL, compendium voor de leefomgeving)



tussen 25 cm en 80 cm ([Wolters et al. 2018](#)). De huidige zeespiegelstijging laat wereldwijd een versnelling zien naar in 2019 in absolute getallen 2,9 mm/jaar wereldwijd, terwijl er een hele kleine versnelling is waargenomen voor de Nederlandse kust met tussen 1890 en 2017 1,86 mm/jaar inclusief bodemdaling, naar 1,95 mm/jaar lokaal zonder bodemdaling over de periode 1993-2017 (dit is de zeespiegelstijging zonder bodemdaling en de zogenaamde postglaciale daling na de laatste ijstijd) ([Deltares & HKV 2019](#)) (figuur 6). Deze stijging vanaf heden extrapoleren tot 2100 geeft 16 cm verhoging. Om tot 1 meter te komen zal de stijging dus fors moeten versnellen. De verschillende modelberekeningen en scenario's laten tot 2050 hetzelfde beeld zien, de versnelling zal dus vooral daarna pas meetbaar en merkbaar worden. Dit betekent dat 40 cm in 2050 een hoge schatting is t.o.v. de huidige trend. Mocht het meevalen met de snelheid dan zullen de in dit rapport benoemde effecten dus later in de tijd plaats vinden. Dit geeft reden om vanuit kantelpunten ten opzichte van zeespiegelstijging te redeneren en dit alleen waar nodig (zoals gekoppeld aan de zandhonger) te plaatsen in de tijd. In de Deltascenario's wordt gesproken van snelheden van 10 mm/jaar halverwege deze eeuw en 14 mm/jaar rond 2100. Bij sterk versnelde zeespiegelstijging wordt gesproken over 60 mm/jaar rond 2100 of zelfs meer ([Deltares & HKV 2019](#)). Dit betreft de snelste stijging in de zeespiegelstijgingsscenario's waarover het debat nog niet uitgekristalliseerd is.

De signalgroep van het Deltaprogramma signaleert in het Deltaprogramma 2019 dat de kans reëel dat het W-scenario alweer achterhaald is. Voor de herijking van de voorkeursstrategie voor de Zuid-Westelijke Delta wordt er door de gezamenlijke gebiedspartners een quick-scan gedaan naar de effecten van 1 meter zeespiegelstijging in 2100 met een doorkijk naar 2 meter, wat verder wordt uitgewerkt in systeemverkenningen in het kader van de kennisagenda zeespiegelstijging van het Deltaprogramma.

Op basis van deze stand van zaken is voor EZZO gekozen om naar verschillende zeespiegelstijgingen te kijken: voor de Oosterscheldekering en het sluitregime is tot 3 meter zeespiegelstijging gekeken. Voor de afname van het areaal intergetijdengebied in combinatie met de zandhonger is met 40 cm in 2050 en 100 cm in 2100 gerekend, voor het doorlichten van de suppletiestrategie zijn de extremen gezet op 70 cm in 2050 en 200 cm in 2100. Belangrijkste reden hiervoor is de onzekerheid in de snelheid van de zandhonger, die in de tijd geëxtrapoleerd is en het bepalen van kantelpunten daarmee aan de zandhongerprognose voor die jaren

gekoppeld is, en niet aan de fictieve zeespiegelstijging voor die jaartallen. Om voor de overige thema's kantelpunten te bepalen is tot 2 meter zeespiegelstijging geredeneerd. In het licht van [Deltares & HKV \(2019\)](#) blijft dit binnen de bandbreedte van de hoogste schattingen omtrent zeespiegelstijging in 2100.

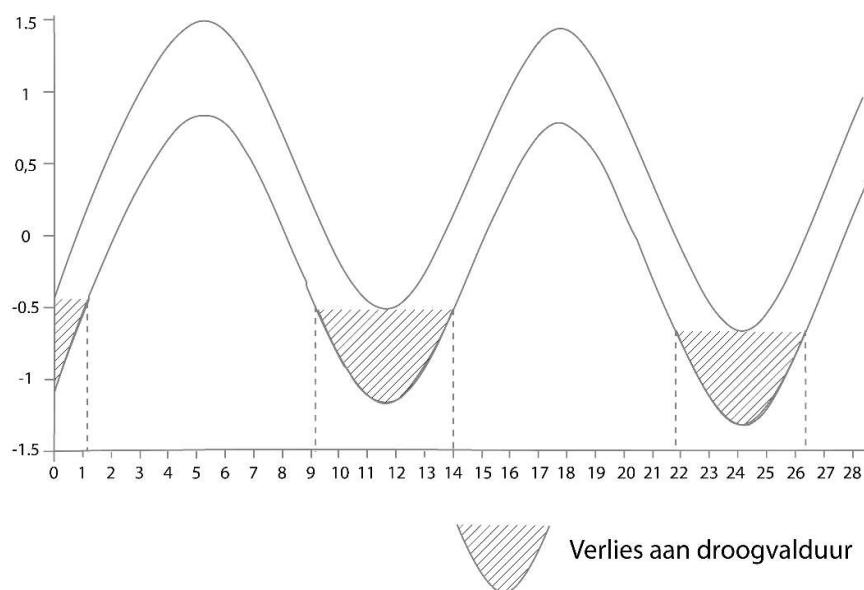
4.2 Droogvalduurverlies

Droogvalduurverlies is een belangrijk verschijnsel dat vanuit zeespiegelstijging beseind samenhangt met de opwaartse verschuiving van de getijdecurve. Droogvalduurverlies hangt samen met de zandhonger. Dit fenomeen is ontstaan door het afdammen van de Oosterschelde van de bovenstroomse delen van de delta en het gedempte getij door de Oosterscheldekering. Hierdoor slijben de platen, schorren en slikken veel minder op terwijl er wel erosie plaatsvindt. Droogvalduur gaat over de tijd dat delen van een plaat droog liggen. Dit is in percentages uitgedrukt waarbij er zogenoemde droogvalduurklassen ontstaan. De droogvalduurklasse 10%-20% gaat dus over het deel van de platen dat 10%-20% van de tijd droogvalt een hogere (ook letterlijk) klasse valt bijvoorbeeld 70%-80% van de tijd droog.

De zandhonger veroorzaakt een verschuiving van hogere droogvalduurklassen naar lagere klassen: het zand erodeert van de bovenkant van de platen en zakt in de geulen. Hierdoor worden de platen minder steil en verdwijnt reliëf. Zandhonger en zeespiegelstijging zullen in interactie de droogvalduur van het intergetijdengebied verder reduceren. Gebieden die nu nog in de laagste klassen droogvallen zullen niet meer droogvallen, terwijl hogere gebieden naar lagere klassen zakken en minder lang droog vallen. Met elke centimeter zeespiegelstijging gaat er meer intergetijdengebied verloren en verschuift de hoeveelheid areaal van hoge droogvalduurklassen (gebieden die lang droogvallen) naar lagere klassen (gebieden die kort droogvallen) (figuur 7).

Zandhonger versterkt dit effect en vermindert daarnaast de steilheid van de platen en versterkt de erosie van slikken en schorren. Mogelijk heeft zeespiegelstijging hier een versnellend effect op, omdat de golfaanval die voor erosie zorgt mogelijk groter wordt. Eerste aanwijzing hiertoe wordt gegeven door modelmatig onderzoek naar de effecten van zeespiegelstijging op de Oosterschelde door [Long Jiang](#)

Figuur 7. Droogvalduurverlies wordt veroorzaakt door een combinatie van stijgend water en het totale areaal dat over een bepaalde duur droog komt te liggen. Per cm zeespiegelstijging gaat er meer areaal verloren, getijcurve is fictief.



et al. (2018) die concluderen dat de huidige asymmetrie van het getij vermindert met als gevolg een stijging van sedimentexport van de platen en dus een mogelijke toename van de zandhonger. Aan de andere kant zijn er signalen dat de zandhonger afneemt wat positief zou zijn voor de totale afname van intergetijdengebied met een stijgende zeespiegel (De Vet et al. 2017). Voor elke droogvalduurklasse is bekend wat het areaal in hectare is en het effect van de zandhonger tot 2060 ten opzichte van 2010 (tabel 4).

Tabel 4. Tabel met areaal (ha) voor hele OS zonder ZSS en verdeeld per droogvalduurklasse, gedefinieerd als het percentage van de tijd dat het gebied droog valt bij laag water en relevant als foeraangeerde areaal voor steltlopers.

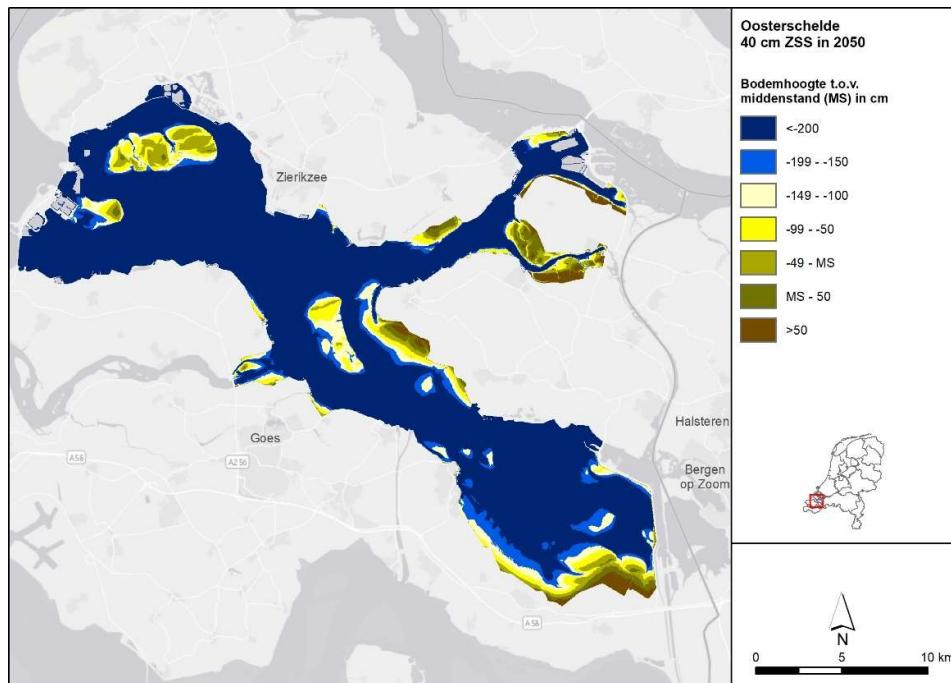
	DROOGVALDUURKLASSEN				
	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	Totaal
2010	3531 ha	3294 ha	2925 ha	1421 ha	11171 ha
2020	3205 ha	3231 ha	2616 ha	1129 ha	10181 ha
2030	3175 ha	3136 ha	2316 ha	874 ha	9501 ha
2040	3135 ha	2916 ha	2000 ha	716 ha	8767 ha
2050	3158 ha	2637 ha	1700 ha	588 ha	8083 ha
2060	2995 ha	2370 ha	1429 ha	477 ha	7271 ha

Het is bekend dat de zandhonger niet gelijkmatig optreedt over de Oosterschelde maar sterke variatie laat zien over het gebied. Gemiddeld genomen is de gewogen trend volgens Santinelli en de Ronde (2012) -8 mm/jaar, maar varieert dit tussen de 0 en -29 mm/jaar in het gebied, en zijn er binnen gebieden extremen tussen enkele mm groei en meer dan -5 cm verlies door zandhonger (Santinelli & de Ronde 2012). In het kader van de ANT studie (de Ronde et al. 2013) en de milieueffectrapportage voor de MIRT verkenning Zandhonger is dit doorgerekend naar

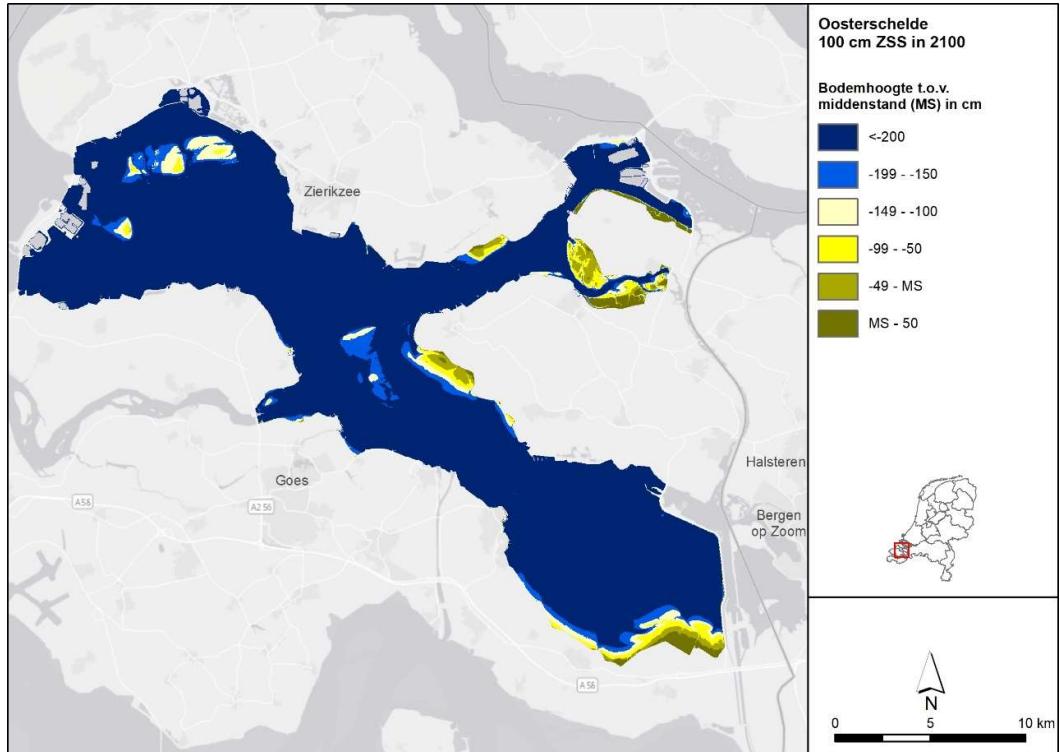
volumes voor zowel de kerngebieden als het hele intergetijdengebied. De zandongertrend is destijds doorgetrokken tot 2060.

Hier is deze trend doorgetrokken tot 2100 en gekoppeld aan 1 meter zeespiegelstijging. Daaruit blijkt dat er bij 40 centimeter zeespiegelstijging gecombineerd met de zandonger prognose voor 2050, al substantiële verliezen optreden (figuur 8). De Roggenplaat blijft grotendeels intact door de aanwezige suppletie. Bij 1 meter en met een zandongerprognose tot 2100 is het grootste gedeelte van het areaal intergetijdengebied verdwenen (figuur 9). Hierbij is niet gecorrigeerd voor een eventuele verandering van de zandonger.

Figuur 8. Bodemhoogte met de prognose Zandonger t/m 2050 gecombineerd met 40 cm zeespiegelstijging. Bodemhoogte is weergegeven ten opzichte van de gemiddelde waterstand, de middenstand van de getijcurve.



Figuur 9. Bodemhoogte met de prognose Zandhonger t/m 2100 gecombineerd met 1 meter zeespiegelstijging. Bodemhoogte is weergegeven ten opzichte van de gemiddelde waterstand, de middenstand van de getijcurve.



4.3 Zeewatertemperatuur

De verwachting is dat met het veranderende klimaat het zeewater ook mee opwarmt. Dit gegeven is relevant omdat de zeewatertemperatuur van groot belang is voor de organismen die in de Oosterschelde leven.

De huidige gemiddelde jaartemperatuur van de Noordzee is 10.9°C met een bandbreedte van 5°C in februari en 17°C in augustus. De zeewatertemperatuur in de Oosterschelde lijkt vergelijkbaar, maar met regionale verschillen tussen de drie aanwezige meetpunten (Plaat van Oude Tonge, Krammer, Marolleghat en Oosterschelde 4). In het tijdvak juli 2018-juni 2019 was de gemiddelde temperatuur samengenomen over de drie meetpunten 13.98°C. Dit is het gemiddelde met 12.00 uur als meetmoment. Het meetpunt Oosterschelde 4 en de meetpunten bij Plaat van Oude Tonge waren over 2018 1,5 graad warmer (14,58°C en 14,55°C) ten opzichte van de watertemperatuur bij het Marolleghat (12,99°C) (berekend aan de hand van data via: waterinfo.rws.nl).

Tabel 5. Gemiddelde temperatuur van de Noordzee per maand (o.b.v. KNMI data).

MAAND	JAN	FEB	MAART	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEPT	OKT	NOV	DEC
GRADEN CELSIUS	6	5	6	8	11	13	16	17	16	14	11	8

Wereldwijd is er al opwarming van de zeewatertemperatuur gemeten. Ook is sinds 1900 voor de Nederlandse kust een opwarming van 1,0-1,5 graden Celsius gemeten ([IPCC 2013](#)). De meest betrouwbare cijfers over de afgelopen 60 jaar laten wereldwijd dezelfde trend van ongeveer een halve graad zien ([NOAA 2016](#)). Bij het doortrekken van die trend (+1°C) dan veranderd in de aankomende eeuw de zeewatertemperatuur naar de temperatuur zoals die nu bij Normandië normaal is, al is het patroon daar over het jaar heen anders, met een lagere gemiddelde temperatuur in de zomer en een hogere in de winter. Het jaargemiddelde is ter hoogte van Deauville (iets onder de monding van de Seine) ongeveer een graad hoger. Kijkend naar de verschillende Deltascenario's en aannemende dat de luchttemperatuur zich evenredig vertaalt in een opwarming van het zeewater dan is er 1 °C opwarming in 2050 en tussen de +1,5°C en +3,5°C in 2100 (t.o.v. 2017). Dit zou betekenen dat de zeewatertemperatuur gemiddeld genomen uiteindelijk vergelijkbaar wordt met noordkant van Spanje bij de Golf van Biskaje en de Atlantische kust. Er is daar echter wel sprake van een andere variatie over het jaar. Het is onbekend of en hoe de variatie in de Oosterschelde kan veranderen. De een-op-een koppeling tussen de stijging van de luchttemperatuur met de zeewatertemperatuur geeft bij benadering een beeld. Er zit bijvoorbeeld een vertraging in de opwarming door de massa van de oceanen, en een lokale variatie door stromingspatronen waarmee rekening moet worden gehouden ([Cane et al. 1997](#)). De hierboven genoemde trends liggen echter wel in lijn met de bandbreedte van de luchttemperatuurstijging in de Deltascenario's.



Foeragerende vogels in de Oosterschelde

5. Ecologie

De Oosterschelde herbergt uiteenlopende habitats van geulen, ondiep water, slikken tot schorren en een grote rijkdom aan bentisch leven (op en in de onderwaterbodem zoals krabben, slakken, pieren en tweekleppige weekdieren), vis, vogels en zeezoogdieren. Voor een groot aantal migrerende vogelsoorten is de Oosterschelde zelfs van mondiale betekenis, omdat de platen en slikken een essentieel rust- en foerageergebied vormen tijdens de trekperiode. Het areaal en de kwaliteit van het intergetijdengebied is dan ook een cruciale natuurwaarde: het vormt het fundament voor vele natuurwaarden. Behoud van deze waardevolle habitats en daarin voorkomende soorten is wettelijk vastgelegd. Vanuit de Natura 2000-wetgeving zijn de volgende natuurdoelen relevant:

- behoud van areaal intergetijdengebied
- behoud van kwaliteit en areaal foerageergebied steltlopers
- behoud van kwaliteit en areaal rustgebied gewone zeehond
- behoud van areaal en kwaliteit zeegrasvelden, zilte pioniersbegroeiingen, slijkgrasvelden, schorren en zilte graslanden

Zonder maatregelen leiden de effecten van zeespiegelstijging (ZSS) en zandhonger onherroepelijk tot een afname in areaal en kwaliteit van het intergetijdengebied en de drooggallende slikken en schorren, wat gevolgen heeft voor de soorten die daar leven ([o.a. De Ronde et al. 2013 en referenties daarin](#)). In eerdere studies is onderzocht wat de ecologische gevolgen zijn, waar knelpunten zitten en wanneer mogelijke kantelpunten te verwachten zijn ([Von Meijenfeldt et al. 2017, De Ronde et al. 2013, MIRT verkenning 2013](#)).

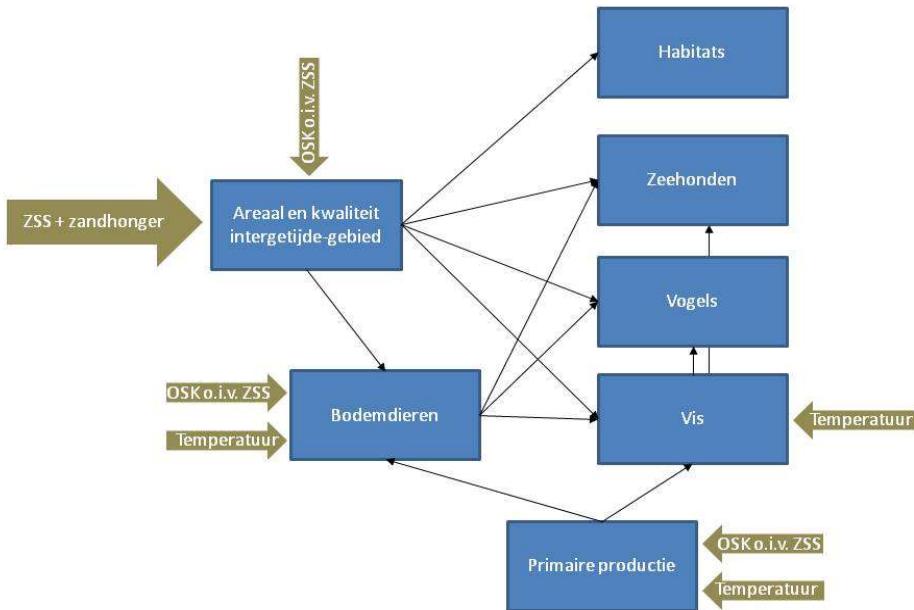
De scenario's zoals besproken in het vorige hoofdstuk laten een versnelde zeespiegelstijging zien, met als gevolg dat bekende knelpunten en kantelpunten eerder kunnen optreden. Ook zouden er mogelijk nieuwe indirekte effecten met andere kantelpunten bij kunnen komen voor de natuurwaarden van de Oosterschelde. Deze effecten en veranderingen worden hier nader uitgewerkt.

Er zijn meerdere effecten te onderkennen (figuur 10):

1. Effecten op het habitat (leef- en foerageergebied). Door de verandering van ZSS en zandhonger verdwijnt het habitat van een soort.

2. Indirecte effecten op een soort of habitat. Als de Oosterscheldekering in de toekomst vaker en langer dicht is, verandert de waterdoorstroom en daarmee de waterstanden en zandonger, wat gevolgen kan hebben voor soorten en habitats.
3. Directe effecten op een soort, bijvoorbeeld het water wordt te warm voor de soort of er is te weinig voedsel door vermindering van waterdoorstroom.

Figuur 10. Effectketen waarin zeespiegelstijging (ZSS), zandonger, sluitingsregime Oosterscheldekering (OSK) onder invloed van ZSS en temperatuurstijging het morfologische systeem (areaal en kwaliteit intergetijdengebied) en het ecologische systeem (primaire productie, bodemdieren, vis, vogels, zeezoogdieren en habitats) beïnvloeden.



Afname van platen en slikken treedt op bij een stijging van de zeespiegel in combinatie met zandonger, waardoor intergetijdengebieden niet mee kunnen stijgen met het waterpeil. Zeespiegelstijging en zandonger leiden onder andere tot erosie, hogere waterstanden en langere periodes van hoogwater. Afname van habitat leidt tot negatieve effecten op steltlopers en zeehonden. En ook een langere duur van een hoog water periode (> één getijcyclus) waarbij intergetijdengebieden tussen door niet droogvallen, heeft negatieve effect op vogels en zeehonden, omdat foageergebied en rustgebied dan niet beschikbaar is.

De effecten van het sluitregime van de OSK op de ecologie hebben vooral hun weerslag op de doorstroom van het water in en uit de Oosterschelde en daardoor op de waterkwaliteit, primaire productie en voedsel voor water-filterende bodemdieren.

De verwachte watertemperatuurstijging, zal weerslag hebben op de waterkwaliteit, primaire productie, de bodemdieren en de vissen. In welke mate temperatuurstijging hierop aangrijpt, verschilt sterk per soort en ecosysteem en is dus deels onzeker.

Hoe de gecombineerde effecten van ZSS, zandonger, sluitregime van de Oosterscheldekering onder invloed van versnelde ZSS en temperatuurstijging inwerken op de ecologie van het Oosterscheldesysteem is complex. Aangezien de effecten op de natuurwaarden grotendeels bepaald worden door de afname van habitat (het areaal en de kwaliteit van het intergetijdengebied), ligt in voorliggende studie het zwaartepunt op dit onderdeel. Het kantelpunt voor ZSS en zandonger op het areaal intergetijdengebied is nu al opgetreden, aangezien afname al plaats vindt ([Von Meijenfeldt et al. 2017](#), [De Ronde et al. 2013](#), [MIRT verkenning 2013](#)). Naar verwachting zullen de kantelpunten die via sluitingen van de OSK en de stijging van de watertemperatuur aan de voedselketen verder in de toekomst optreden. In deze studie wordt dit nader onderzocht. In dit hoofdstuk wordt voor twee scenario's uitgewerkt wanneer de kantelpunten kunnen optreden.

5.1 Huidige situatie van de ecologie in de Oosterschelde en autonome ontwikkeling

Voorafgaand aan de effectbeoordeling en knelpuntanalyse door versnelde ZSS, zandonger, sluitregime OSK en temperatuurstijging op de ecologie, wordt eerst de huidige situatie van de ecologie in de Oosterschelde voor zover bekend beknopt beschreven.

5.1.1 Intergetijdengebied

Voor aanleg van de kering was het areaal intergetijdengebied circa 12.000 ha groot. Direct na aanleg van de kering (1986) nam dit sterk af en de neergaande trend heeft zich verder doorgesteld onder invloed van de zandonger naar 11.200 ha platen en slikken in 2010 ([van Zanten & de Jong 2013](#), paragraaf 4.2). Het areaal in 2019 is naar verwachting ongeveer 10.500 ha (op basis van berekeningen [Van Zanten & de Jong 2013](#)). Het intergetijdengebied neemt geleidelijk verder af en zal onder invloed van zandonger en ZSS op termijn geheel verdwijnen. Ook het areaal aan schorren wordt steeds kleiner. Het oppervlak aan schorren is in de periode 1995-2007 achteruit gegaan met ongeveer 40 ha tot 460 ha ([Jentink 2017](#)). In de laatste periode van 2007-2013 lijkt het oppervlakte schor licht toegenomen met 5

ha, alhoewel de wijze van meten een onzekerheidsmarge introduceert ([Jentink 2017](#)). In deze periode zijn ook maatregelen genomen om schorerosie tegen te gaan, zoals het vastleggen van de randen ([Jentink 2017](#)). In 2013 was de pioniersbegroeiing toegenomen van 12 ha in 2007 naar 57 ha. Het areaal aan lage schorren buitendijks is echter afgangen met 30 ha en bedroeg in 2013 168 ha. De vegetatiekartering voor de periode 2013-2019 is nog niet geanalyseerd.

Structurele oplossingen zoals het hydro-morfologisch evenwicht herstellen in de Oosterschelde of het weghalen van de kering en dammen zijn hier niet beschouwd. Door middel van zandsuppleties kan het areaal slikken wel (grotendeels) behouden worden. In dit kader is een programmering opgesteld voor suppleties in de Oosterschelde ([Von Meijenfeldt et al. 2017](#), [De Ronde et al. 2013](#), [MIRT verkenning 2013](#)). Gebieden waar de meeste erosie plaatsvindt en die dus de hoogste prioriteit hebben voor suppletie, liggen in het westen van de Oosterschelde (o.a. Roggenplaat). In 2019 is de suppletie van de Roggenplaat daarom van start gegaan.

5.1.2 Primaire productie

De primaire productie kan van nature hoog zijn in estuariene gebieden zoals de Oosterschelde, maar vertoont in het gebied op dit moment een afnemende trend ([de Ronde et al. 2013](#), [Smaal et al. 2013](#)). Studies naar de draagkracht van de Oosterschelde voor schelpdieren hebben aangetoond dat productiviteit niet beperkt wordt door licht en/of nutriënten, maar dat begrazing door mosselen en andere zogenaamde filter feeders (diersoorten die het water filteren voor voedsel, figuur 11) de belangrijkste regulerende factor is ([Smaal et al. 2013](#)).

Figuur 11. Filter feeders, water filterende dieren zoals mossels, oesters, nonnetjes, kokkels, etc. vormen een belangrijke vorm van biomassa en voedsel in de Oosterschelde, zoals hier te zien als aanspoeling op een plaat.



De trends in primaire productie hebben betrekking op de productiviteit van pelagische algen (die leven in de waterkolom), die het belangrijkste voedsel vormen voor schelpdieren en andere filterende dieren. De productiviteit van benthische algen (die leven op en in de bodem) is in de Oosterschelde naar verwachting hoog,

vanwege de helderheid van het systeem en droogvallende platen. Er zijn aanwijzingen dat benthische primaire productie niet is afgenoemd, maar stabiel is ([de Ronde et al. 2013](#)). In het verleden (1991 tot en met 2012) zijn primaire productiemetingen uitgevoerd in de Oosterschelde door het NIOO-CEME/NIOZ. Het is niet duidelijk wat er na 2010 verder gebeurd is vanwege het ontbreken van meetgegevens ([Wijsman 2018](#)).

5.1.3 Zeegras

Het areaal klein zeegras is sinds 2010 van 140 ha toegenomen naar 266 ha in 2016, al is de bedekking over het algemeen laag (<5%) ([Tolman & Pranger 2016](#)). In 2016 is ook 7 ha groot zeegras gevonden op Oude Tonge. De verwachting is dat zeegras in de toekomst niet verder zal uitbreiden en mogelijk zelfs verder afneemt, door erosie als gevolg van de zandhonger. Een deel van het areaal met zeegras komt beneden de ondergrens voor zeegras van NAP -0,6 m. Hierdoor wordt een afname ten opzichte van de huidige situatie verwacht, zeker in combinatie met zeespiegelstijging zal er op termijn geen geschikt areaal meer zijn ([von Meijenfeldt et al 2017](#)).

5.1.4 Macrofauna

Zowel dichtheid van soorten als soortenrijkdom variëren sterk per locatie en op verschillende diepten in de Oosterschelde. De macrobenthos aantallen en biomassa's in de Oosterschelde fluctueren sterk van jaar tot jaar ([Troost & Ysebaert, 2011](#), [Duijts et al. 2018](#)). [Duijts et al. \(2018\)](#) laten echter zien dat de totale biomassa in de Oosterschelde over de periode 1992-2017 duidelijk daalt. De oorzaak hiervan is onbekend. Het voorkomen van macrobenthos hangt af van allerlei factoren zoals sedimentsamenstelling, droogvalduur en hydro-dynamiek. In de Oosterschelde komen de hoogste biomassa's bodemdieren vooral voor in de zone die 20-60 % van de tijd droogvalt. Kokkels en mossels kunnen ook in de zone 0-20 % droogvalduur veel voorkomen ([Troost & Ysebaert, 2011](#)). Deze lagere zone is echter net wat dynamischer dan de hogere delen, waardoor het voor sommige soorten minder geschikt is. De hoogste delen (vooral >80 % droogvalduur) bevatten de minste bodemdieren. Het totaal aantal tweekleppige weekdieren (bivalven, zoals mosselen en kokkels) is de afgelopen 25 jaar stabiel gebleven ([Duijts et al. 2018](#)).

5.1.5 Vis

Het intergetijdengebied en het diepere water van de Oosterschelde spelen een belangrijke rol als kraamkamer voor verschillende vissoorten (o.a. schol en tong).

Schol, en ook tong en schar zoeken steeds minder vaak de Oosterschelde op. [Tulp et al. \(2015\)](#) vermoedden dat dit vooral komt door de watertemperatuurtoename in de Oosterschelde. De totale biomassa aan vis neemt in Oosterschelde af ([Tulp et al. 2015](#)), terwijl enkele soorten, zoals spiering, haring en zeebaars, de laatste jaren toenemen (over de periode 2005-2014; [Tulp et al. 2015](#)).

5.1.6 Steltlopers

Sinds 1987 worden er tellingen uitgevoerd aan onder meer de Natura 2000 doelsoorten. Sinds de start van de tellingen is voor de Bergeend, Kluut, Drieteenstrandloper, Wulp en Groenpootruiter een positieve ontwikkeling te zien. De Zilverplevier, Kanoet, Bonte strandloper, Rosse Grutto en Tureluur zijn stabiel. De Scholekster (figuur 12), Strandplevier, Zwarte ruiter en Steenloper doen het slecht. Afgesehen van de Bontbekplevier doen deze soorten het landelijk ook slecht.

Figuur 12. Scholeksters foerageren op een plaat in de Oosterschelde.



Hoewel van veel steltlopers (10 van de 15 soorten, zie bijlage 4) de aantallen over de gehele periode van de afgelopen 30 jaar zijn toegenomen of stabiel bleven, lijkt er de laatste tien jaar sprake te zijn van wisselende trends. Er lijkt sprake van een afvlakking en soms zelfs een lichte daling, variërend per soort. Daarnaast laten veel soorten een patroon zien met een dip in aantallen in de periode 2010-2013, waarna er weer een (lichte) toename te zien is. Het is onbekend wat de oorzaak hiervan is en hoe het voorkomen van verschillende soorten zich verder gaat ontwikkelen. Op het moment is duidelijk dat er vooral een probleem voor Scholekster, Strandplevier, Zwarte ruiter en Steenloper is, maar dit probleem is gebied overstijgend en kan dus niet alleen aan de omstandigheden in de Oosterschelde geweten

worden. Momenteel wordt er vanuit gegaan dat de Oosterschelde min of meer op zijn maximum draagkracht zit voor de steltlopers ([MIRT 2013](#)).

5.1.7 Zeehonden

Vooral in de monding van de Oosterschelde wordt regelmatig een groep van ongeveer 20-30 Gewone zeehonden gezien ([Arts et al. 2019](#)). Het rustgebied van Gewone zeehonden bestaat uit platen met hoge gedeelten en weinig verstoring. Belangrijke ligplaatsen zijn de Roggenplaat, Middengeul en de Roggenplaat Westgeul. De trend in aantalen van de Gewone Zeehond is sinds het begin van de tellingen in 1993 positief. In de Oosterschelde werden in 2017-2018 circa 169 zeehonden geteld ([Arts et al. 2019](#)). Het aantal pups neemt ook toe en in 2017-2018 zijn 35 pups geteld ([Arts et al. 2019](#)).

5.2 Effecten zeespiegelstijging en zandhonger op Ecologie

Door de ZSS en zandhonger nemen het areaal en de kwaliteit van het intergetijdengebied af. Sinds de aanleg van de Deltawerken zijn de platen en slikken gemiddeld 25 cm lager geworden en is al 1.100-1.500 ha aan platen en slikken verdronken.

Bij het nader uitwerken van de effecten van ZSS en zandhonger worden in deze studie de volgende uitgangspunten gehanteerd voor zeespiegelstijging (paragraaf 4.1). Er is gerekend met een nieuw zeespiegelstijgingsscenario van 1 meter in 2100. Dit is vergeleken met een eerder scenario van 60 cm zeespiegelstijging in 2100 waarmee in 2013 is gerekend. Voor het verlies aan intergetijdengebied is tot een zeespiegelstijging van 1 meter in 2100 onderzocht, omdat dan het areaal intergetijdengebied door zeespiegelstijging en zandhonger zo goed als verdwenen is (zie paragraaf 4.2). Waar relevant is voor ecologie meer dan 1 meter (tot 2 meter) meegenomen als extreem versnelde stijging. De reden dat dit is gedaan is de zandhonger, die alleen in de tijd geplot kan worden en niet onafhankelijk daarvan beschouwd kan worden.

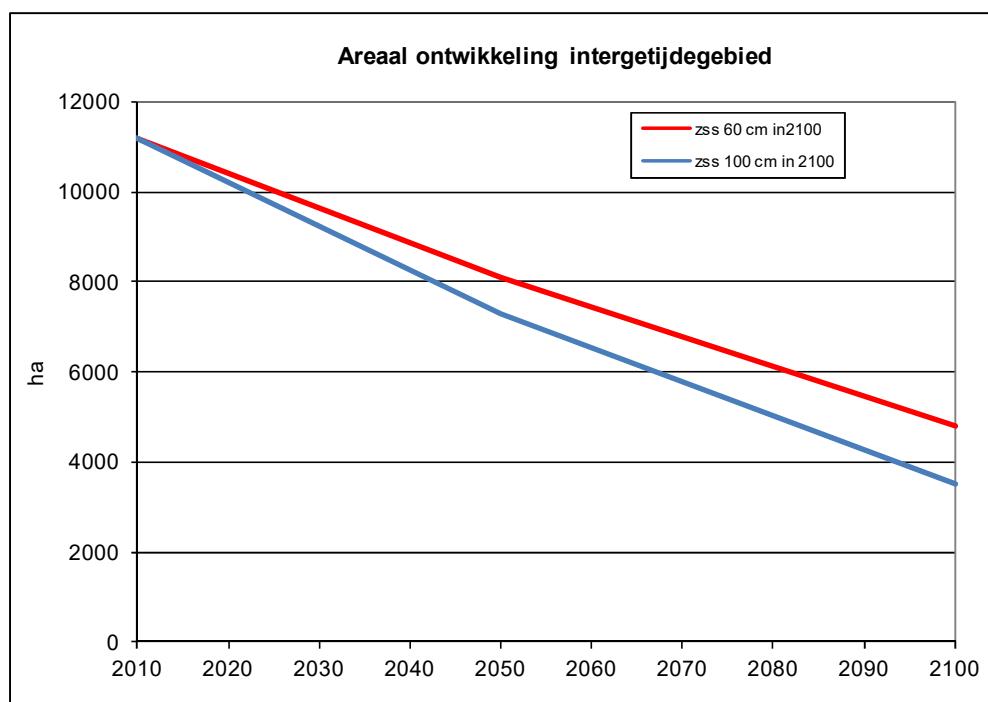
Ten aanzien van de zandhonger is de gemiddelde erosie van de platen en slikken door [Santinelli en de Ronde \(2012\)](#) berekend op 8 mm/jaar. De erosie lijkt de laatste jaren iets te verminderen ([De Vet et al. 2017](#) komen op 7 mm/jaar over 1983-2013), maar er zijn nadere analyses nodig om te onderzoeken of dit zich doorzet.

In de berekeningen van plaatareaal t.b.v. foeragerende steltlopers is in dit rapport daarom conservatief gerekend met 8 mm/jaar.

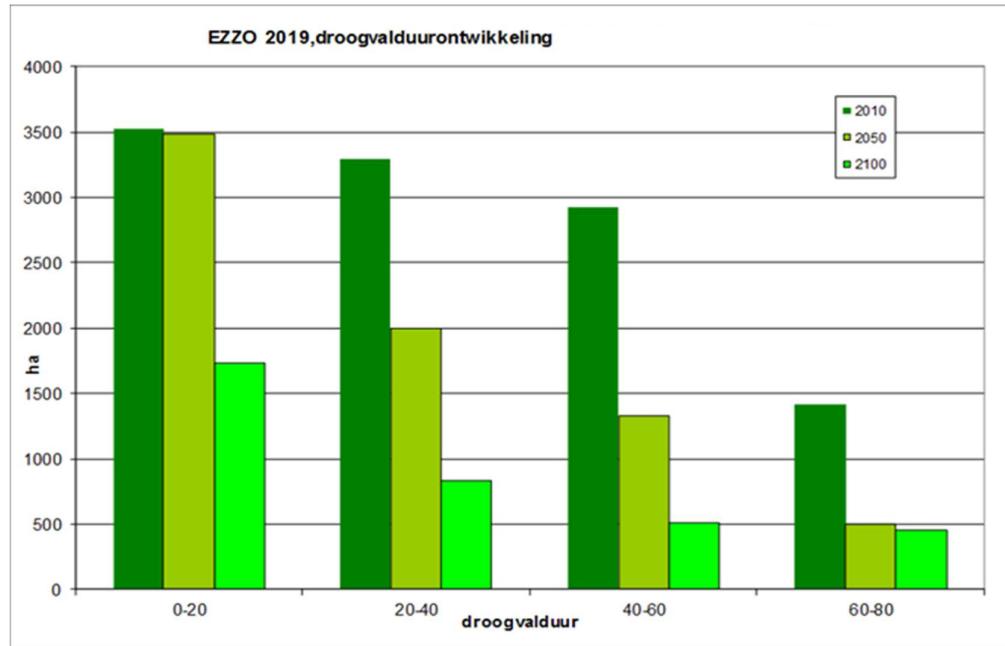
5.2.1 Effect op platen en slikken

De versnelde scenario's (1 en 2 meter stijging in 2100) van zeespiegelstijging en huidige erosie van platen en slikken hebben als gevolg dat het areaal intergetijdengebied sneller zal afnemen dan eerder was berekend ([Van Zanten & De Jong 2013](#)). In figuur 13 is de afname zichtbaar in het oppervlak intergetijdengebied bij het scenario van 1 meter zeespiegelstijging in 2100 ten opzichte van het vorige scenario van 60 cm in 2100. Zowel in het oude als in het nieuwe scenario is de afname in areaal al zeer sterk (57%-68% in 2100 voor 60 cm – 100 cm stijging). De verwachting is dat foeragerende steltlopers binnen dit tijdspad al sterk negatieve effecten ondervinden door de afname in foerageerareaal ([De Ronde et al. 2013](#)) en dat hierin een kantelpunt optreedt in aantallen steltlopers. Om die reden is de trend niet verder doorgetrokken naar een scenario met 2 meter in 2100. Een zeespiegelstijging van 1 meter gecombineerd met zandhonger tot 2100 leidt tot

Figuur 13. Ontwikkeling van het areaal intergetijdengebied voor scenario's 60 cm en 100 cm stijging in 2100 en extrapolatie van de zandhonger met 8 mm/jaar.



Figuur 14. De areaal ontwikkeling voor het scenario ‘100 cm in 2100’, verdeeld per droogvalduurklasse voor de gehele Oosterschelde en extrapolatie van de zandhonger met 8 mm/jaar.



functieverlies van het ecosysteem in het intergetijdengebied ten aanzien van de aantallen steltlopers die nu gebruik maken van het systeem. Bij deze mate van verlies aan areaal in combinatie met lange perioden dat platen nat staan is het kantelpunt voor de ecologie al bereikt binnen nu en de komende decennia. Dit komt mede omdat de belangrijkste foerageergebieden voor steltlopers nog extra beperkt zijn door de relatie met droogvalduur. Boven een droogvalduur van 70% is de voedselbijdrage beperkt. Bij de effecten van het sluitingsregime (paragraaf 5.3) en de redeneerlijn zandsuppletie (paragraaf 7.2) is 2 meter stijging wel meegenomen.

Bij het versnelde scenario van 1 meter in 2100, zal in 2100 circa 68% van het areaal verloren zijn gegaan. Deze afname gaat 1,3 keer sneller dan gerekend met het oude scenario van 60 cm stijging in 2100. In het versnelde scenario (1 m in 2100) is tot 2050 vooral te zien dat er een afname is in areaal in de hoogtezone die 40-80% van de tijd droogvalt (zie figuur 14) en in mindere mate ook in de zone 20-40%. In de laagstgelegen zone die 0-20% van de tijd droogvalt, is tot 2050 weinig verandering zichtbaar. Van 2050 tot 2100 neemt echter ook die klasse sterk af en nemen de klassen van 20-40% nog verder af. De zone die 60-80% van de tijd droogvalt, neemt na 2050 veel minder sterk af. In deze berekeningen gaat het om de autonome ontwikkeling onder invloed van zandhonger en versnelde zeespiegelstijging. Daarin zijn wel de suppleties van de Roggenplaat en Oesterdam meegenomen. De suppletie van de Galgenplaat is niet meegenomen in de berekeningen.

5.2.2 Effect op schorren

Het areaal en de kwaliteit van pioniersbegroeiingen zal afnemen door ZSS en de zandhonger ([MIRT 2013](#), [Von Meijenfeldt et al. 2017](#)). Op basis van eerdere studies (85 cm in 2100) houdt de aanslibbing en groei de zeespiegelstijging niet bij en zullen alle schorren (figuur 15) op termijn verdrinken ([Von Meijenfeldt et al. 2017](#) en [referenties daarin](#)). Dit zal alleen maar sneller gaan in scenario's met 1 of 2 meter zeespiegelstijging. Door golfaanval bij verhoogde ZSS en zandhonger zal de erosie van intergetijdengebieden en schorren doorzetten. De hoge en brede schorren zullen het langer volhouden, maar vooral schorren met beperkte voorlanden kunnen in opslibbing achterblijven bij de zeespiegelstijging waardoor ze naar een lager vegetatietype overgaan en op de langere duur geheel door verdrinking verdwijnen ([de Ronde et al. 2013](#), [van Wesenbeeck et al. 2014](#)).

Figuur 15. Schorren (rechts) en schorvegetatie in het Slaak (links).

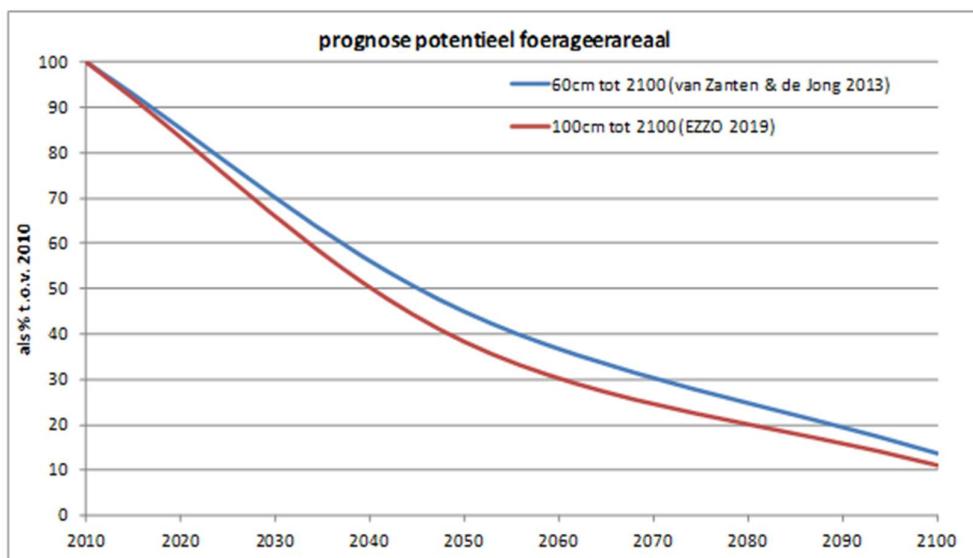


[Van Zanten & Adriaanse \(2008\)](#) stellen dat schorren in 2050 alleen nog op beschutte locaties te vinden zijn (zoals in de Rattenkaai en de Krabbenkreek). De schorren op onbeschutte locaties, waaronder de schorren bij Kats, Viane en Dortsman zijn zonder maatregelen rond 2050 geheel verdwenen. Bij 1 meter zeespiegelstijging zullen er geen schorren meer in het gebied zijn. Schorren kunnen nog wel lang meegroeien in hoogte en vegetatie afhankelijk van de stijgsnelheid van de zeespiegel, maar door erosie van de randen groeit het schor niet goed mee en treedt verlies aan areaal op. Dat is momenteel bij de huidige schorren al een probleem en daarom worden de randen bij veel schorren vastgelegd.

5.2.3 Effect op foerageerareaal en steltlopers

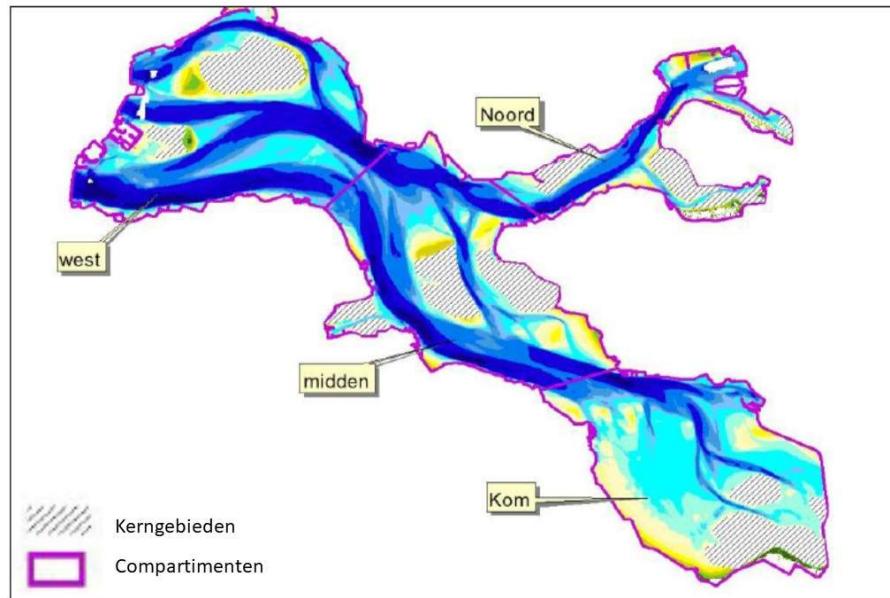
De versnelde afname in areaal intergetijdengebied is ook terug te zien in een versnelde afname van potentieel foerageerareaal (op basis van [Van Zanten & De Jong 2013](#) en [data RWS](#)) (zie figuur 16).

Figuur 16. De verwachting van de afname van het potentieel foerageerareaal bij autonome ontwikkeling als een gevolg van de zandhonger en zeespiegelstijging, die versneld na 2050. De Roggenplaat- en Oesterdamsuppletie zijn hierin meegenomen. Toekomstige suppleties zijn hierin niet meegenomen.



Als gevolg van de zandhonger, gecombineerd met de versnelde effecten van de zeespiegelstijging, zullen de vogelaantallen in de Oosterschelde naar verwachting snel afnemen. Het aantal steltlopers dat maximaal in de Oosterschelde kan foerageren, is lastig te bepalen omdat dat van veel factoren afhankelijk is (onder andere de situatie in de rust-, broed-, en overwinteringsgebieden) ([Van Zanten & De Jong 2013](#)). Wel kan berekend worden hoeveel potentieel foerageerareaal er in theorie aanwezig is in de Oosterschelde op basis van arealen (zie voor details [Van Zanten & De Jong 2013](#)) en hoe zich dit ontwikkeld. Om de effecten van ZSS en zandhonger beter te kunnen inschatten, zijn er enkele jaren geleden door een aantal gebiedsdeskundigen kerngebieden bepaald waar de overgrote meerderheid van de vogels van afhankelijk is (figuur 17). In deze berekeningen is rekening gehouden met hogere aantallen vogels in de kerngebieden dan in de overige gebieden en met verschillend gebruik van deze gebieden door territoriale en niet-territoriale steltlopers. Hierdoor is een andere relatie zichtbaar dan als die puur alleen op afname in

Figuur 17. Overzicht van kerngebieden voor foeragerende steltlopers (figuur overgenomen uit de Ronde et al. 2013).



oppervlak gebaseerd zou zijn (zoals in figuur 13). De erosie en verdrinken van de platen en slikken hebben effect op de beschikbare hoeveelheid foageerruimte en foageertijd per getijcyclus voor de steltlopers. Vanwege de afname in foageerareaal is in 2050 nog foageerruimte voor 38 % van de steltlopers te verwachten. In 2100 is er nog foageerruimte voor 11 % van de steltlopers beschikbaar (update RWS berekeningen uit [Van Zanten & De Jong 2013](#)).

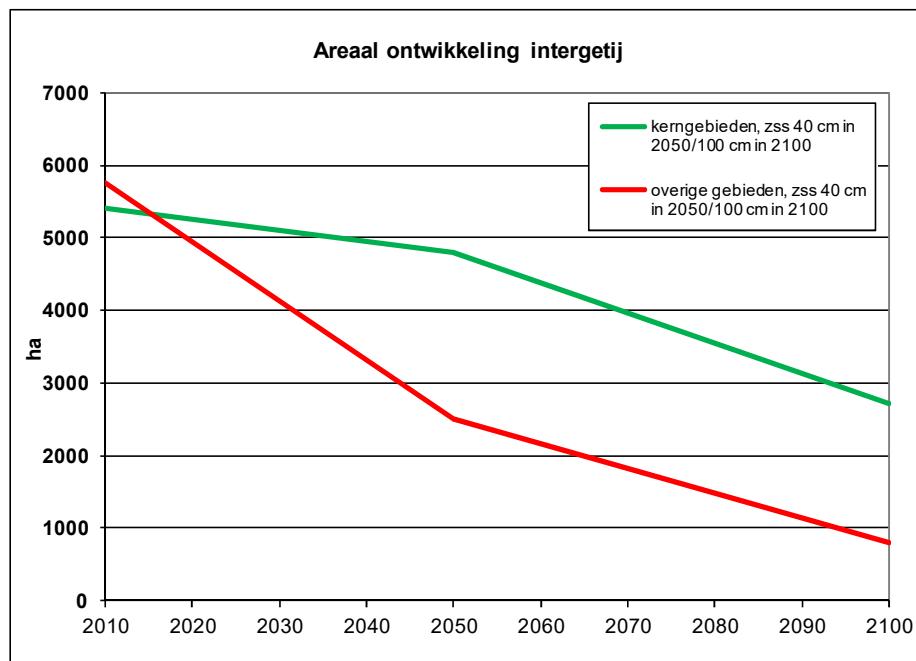
Voor het potentiele foageerareaal betekent dit een verlies van 62% in 2050 bij het versnelde scenario (1 m in 2100) is dit 40 cm stijging i.p.v. 55% in 2050 met 24 cm stijging in het oude scenario (60 cm in 2100) ([Van Zanten & De Jong 2013](#)). Er treedt dus een fors verlies op, maar het verschil tussen de scenario's is nog relatief klein.

Deze afname varieert ruimtelijk binnen de Oosterschelde. Sommige gebieden eroderen sneller dan andere gebieden, bijvoorbeeld onder invloed van hogere golfslag. Daarnaast verschillen gebieden in de Oosterschelde ook sterk in kwaliteit, afhankelijk van droogvalduur, voor foeragerende steltlopers. De lagere delen van de platen (< 60% droogvalduur) zijn van groter belang voor steltlopers dan de hogere delen, omdat de lagere delen een hogere abundantie hebben aan bodemdieren ([Escaravage et al. 2003](#)). Tot nu toe zijn het juist de hogere delen van de platen waar de grootste erosie heeft plaatsgevonden ([de Ronde et al. 2013, MIRT 2013](#)). Maar wanneer deze hogere delen weg zijn, zullen de lagere delen met een hogere biomassa aan bodemdieren gaan eroderen (figuur 14). De hogere zones (60-80%

droogvalduur) zijn voor veel vogelsoorten in de winter en voorjaar echter ook erg belangrijk. Door voedseltekort en een hogere energiebehoefte foerageren vogels dan langere periodes (7-9 uur, in tegenstelling tot 5-7 uur in de zomer; [Zwarts et al., 2011](#)) en maken dan ook gebruik van de hogere zones. Op basis van de verwachte autonome ontwikkelingen nemen de hogere zones al snel in oppervlak af en zal dit naar verwachting op korte termijn (2050) tot problemen leiden als er geen maatregelen getroffen worden (zie figuur 3).

Het totale oppervlak van de kerngebieden is ongeveer de helft van het totale areaal aan platen en slikken in de Oosterschelde ([de Ronde et al. 2013](#)). Figuur 18 toont de areaalontwikkeling van de kerngebieden en overige gebieden. In de autonome situatie (dus zonder suppleties) zal ten opzichte van 2010 in 2050 35% van het volledige areaal verdronken zijn. Dit verlies treedt vooral op in de overige gebieden (57%) ten op zichtte van de kerngebieden (11%) (figuur 18). In 2100 is 68% van het volledig areaal verdronken, 50% van de kerngebieden en 86 % van de overige gebieden. Hierbij is overigens geen rekening gehouden met de effecten van suppleties.

Figuur 18. Ontwikkeling van het totale areaal intergetijdengebied (droogvalklassen 0-80%) binnen en buiten de kerngebieden.



Ten opzicht van de prognose in [Van Zanten & de Jong \(2013\)](#) gaat het verlies in de kerngebieden gemiddeld 10% sneller (verlies van 472 ha t.o.v. 606 ha in 2050 op basis van het scenario 40 cm zeespiegelstijging). In overige gebieden gaat het verlies 30% sneller (verlies van 2616 ha t.o.v. 3269 ha in 2050).

Voor het scenario 100 cm in 2100 is voor de kerngebieden per deelgebied en per droogvalzone de areaalontwikkeling doorberekend. Grafieken van deze analyse zijn opgenomen in bijlage 5. Uit eerdere analyses is gebleken dat de suppletie van de Roggenplaat het meest urgent was ([MIRT verkenning 2013](#)). Momenteel wordt deze suppletie uitgevoerd (2019) ([Van der Werf et al. 2016](#)). Een update van deze analyse laat zien dat het behoud van de hogere droogvalduurklassen in het deelgebied Midden momenteel het meest urgent is (tabel 6).

Tabel 6. Het mogelijke moment van kritische afname van foerageerareaal (deze tabel is een update van Zanten & De Jong 2013).

KERNGEBIEDEN IN DEELGEBIED	PRIORITEIT TOT 2050	OORZAAK / OPMERKINGEN
WEST	Hoog	Suppleties zijn gestart.
MIDDEN	Hoog	Sterke reductie (-60%) van het areaal 40-60% droogvalduur op de Galgeplaat in 2050, gaat 1,2 x sneller dan in eerdere analyses Maar ook sterke reductie (-50%) van het areaal 20- 40% droogvalduur in 2050. 1,8 x sneller dan in eerdere analyses En ook areaal 60-80% droogvalduur neemt sterk af (-60%) in 2050, 1,3 x sneller dan in eerdere analyses
OOST	Midden	Sterke reductie (-40%) van het areaal 20-40% droogvalduur in 2050 op de Hooge Kraijer - komt overeen met eerdere analyses. Eerder analyse laat zien dat de grote afname van het areaal 60-80% tegen verwachting in is. Dit is het gebied direct in het voorland van het schor Rattekai en dat is de afgelopen 25 jaar min of meer stabiel geweest.
NOORD	Laag	Sterke reductie (-50%) van het areaal 60-80% droogvalduur op de Slikken van Viane in 2050. Reductie lijkt minder sterk dan in eerdere analyses

Zonder maatregelen zullen de afnames in foerageerareaal gecombineerd met de tijd die steltlopers nog hebben om, zeker in het winterseizoen, te foerageren zal snel tot een kantelpunt leiden. In 2050 is al 62% van het potentieel foerageerareaal verdwenen, waarvan ook de belangrijkste droogvalduurklassen voor het foerageren sterk afgenumen zijn. De afname van areaal en kwaliteit van het intergetijdengebied is al gaande, op basis van scenario's met versnelde zeespiegelstijging zal deze afname alleen maar sneller gaan (tabel 6, figuur 14 & 16). Een afname in aantallen steltlopers, als gevolg van de afname in potentieel foerageerareaal, kan geleidelijk verlopen of ineens sterk afnemen. Deze nieuwe berekeningen laten zien dat de afname vooral sneller gaat en dat ruimtelijk trends niet veel veranderen. De urgentie voor maatregelen ligt dan ook nog steeds bij deelgebied Midden (tabel 6).

In het kader van de instandhoudingsdoelen voor habitattypes in de Oosterschelde is de doelstelling 'het behoud van areaal en kwaliteit van de droogvallende platen'.

Om daar aan te kunnen voldoen, zijn al maatregelen genomen ([MIRT 2013](#)). De houdbaarheid van deze maatregelen i.r.t de versnelde zeespiegelstijging wordt in hoofdstuk 7 besproken.

5.2.4 Effect op zeehonden

De zeespiegelstijging en zandonger hebben op de lange termijn ook negatieve effecten op het areaal en kwaliteit van de rustgebieden van de gewone zeehond. De rustgebieden komen lager te liggen waardoor delen niet meer of gedurende te korte perioden per getij droogvallen en daardoor ongeschikt worden als rustgebied. Zeehonden zijn echter niet afhankelijk van de droogvallende slikken om te foerageren en daardoor ook minder gevoelig voor afname in areaal. Zolang er nog voldoende areaal aan platen is dat lang genoeg droogvalt voor zeehonden om te rusten (\pm 3-4 uur per getijcycli; 30% van hun tijdbudget [Russell 2016](#)), zijn negatieve effecten pas later aan de orde. Met de nieuwe scenario's zal dit verlies aan rustgebieden echter sneller optreden en de effecten voor zeehonden volgen daarmee de lijn zoals beschreven in de voorgaande paragraaf. Bij versnelde scenario's zijn in de periode 2050-2100 alle rustgebieden verdwenen of liggen ze te laag door de ZSS en zandonger.

5.2.5 Effecten op andere soorten (primaire productie, zeegras, macrofauna en vissen).

In eerder studies zijn de effecten van ZSS en zandonger op primaire productie, zeegras, macrofauna en vissen al benoemd (o.a. [de Ronde et al. 2013](#), [MIRT 2013](#)) of effecten zijn nog onbekend.

Effecten van ZSS op de primaire productie zijn nog steeds moeilijk te duiden, omdat ze niet op zichzelf staan. Stijging van de watertemperatuur (met daarin een optimum voor productie), veranderingen in de stormfrequenties, veranderingen in extreme weersomstandigheden (bijv. langdurige droogte) en veranderingen in de afvoer van rivieren hebben ook veel invloed hebben op het fytoplankton in de Oosterschelde. Daarnaast verandert ook de verhouding van het aandeel pelagische (levend in de waterkolom) en benthische productie. Door een toename in watervolume door ZSS kan pelagische productie toenemen, maar als de slikken niet meegroeien en verdrinken neemt de benthische productie naar verwachting af. Hoe de primaire productie zich gaat ontwikkelen onder invloed van klimaatverandering in de Oosterschelde zal nader onderzocht moeten worden.

Het niet meegroeien van de slikken en platen in combinatie met toename in hydrodynamiek (o.a. golfslag) ten gevolge van ZSS zal er toe leiden dat de Oosterschelde minder geschikt is voor zeegras en dat het leefgebied voor macrofauna in zijn algemeenheid gaat veranderen (o.a. [de Ronde et al. 2013](#), [MIRT 2013](#)). Zeegras groeit nu in de gebieden die zonder suppletie in 2050 zijn verdronken, het zeegras zal zonder maatregelen verdwijnen. Ten opzichte van eerdere scenario's zal dit naar verwachting eerder in de tijd optreden. Voor vis zijn de temperatuur, waterkwaliteit en het voedsel aanbod veel belangrijkere parameters dan ZSS. Ondiepe kustzeeën warmen relatief snel op. Soorten zoals kabeljauw en zandspiering, blijken slecht te reageren op temperatuurverhoging ([Engelhard et al. 2013](#), [Clausen et al. 2017](#)) en ook opgroeiende schol verplaatst zich bij stijgende zeewatertemperaturen naar dieper water in de Noordzee en naar het noorden ([Tulp et al. 2015](#)). Zuidelijke soorten zoals rode poon, zeenaalden, kleine pieterman en zeebaars nemen toe ([Tulp et al. 2015](#)). Hoe dat zich in de toekomst verder gaat ontwikkelen in de Oosterschelde in relatie tot ZSS en het voorkomen van vissen verdient nader onderzoek.

5.3 Doorwerking van het sluitregime Oosterscheldekering

Naast effecten van de ZSS op het areaal intergetijdengebied, werkt de ZSS ook door via de Oosterscheldekering. Uit paragraaf 3.2 (zie ook bijlage 1) volgt dat zeespiegelstijging zal leiden tot steeds vaker en langer sluiten van de Oosterscheldekering, wat leidt tot minder waternaam en tot minder verversing van het water en toevoer van de primaire productie, met als gevolg minder voedsel voor filterende bodemdieren, zoals mossels en kokkels.

Bij een sluiting neemt de doorstroming door de OSK met 93% af. De reden achter deze 93% is dat de lek door de kering recht evenredig is met het oppervlak waar het water doorheen stroomt, de zogenaamde natte doorsnede. Dit is in open toestand bij benadering 17.700 m^2 . Als de kering wordt gesloten neemt het oppervlak af tot ongeveer 1.250 m^2 , 7% van het totaal. Dit betekent dat niet alleen de aanvoer van primaire productie uit de voordelta wordt gereduceerd, maar ook dat de stroming over en langs filtrerende bodemdieren veel lager zal worden ([Nolte & de Vries 2013](#)).

Tabel 7. Doorrekening sluitijd OSK naar voedselbeschikbaarheid voor filter feeders buiten het stormseizoen ofwel in de zomerperiode (april t/m september) bij aanname dat het aantal sluitingen zomer/winter 1:4 (20% van de sluitingen in de zomer) is en met een lekverlies van 7% t.o.v. open toestand. Getallen gebaseerd op tabel 3.

ZEEPIEGELSTIJGING	SLUITINGEN PER JAAR HUIDIG REGIME	PERCENTAGE VAN TIJD DICHT HUIDIG REGIME	VOEDSELBESCHIK- BAARHEID ZOMER HUIDIG REGIME	SLUITINGEN PER JAAR MHW REGIME	PERCENTAGE VAN TIJD DICHT MHW RE- GIME	VOEDSELBESCHIK- BAARHEID ZOMER MHW REGIME
0,00	0,5	0,0%	100%	0,1	0,0%	100%
0,25	1,7	0,1%	99%	0,4	0,0%	100%
0,50	4,5	0,3%	99%	1,2	0,1%	100%
0,75	22	1,5%	99%	3	0,2%	100%
1,00	85	5,8%	98%	10	0,7%	100%
1,25	228	16,3%	96%	31	2,2%	100%
1,50	418	32,7%	93%	107	7,5%	99%
1,75	577	49,5%	90%	305	21,9%	96%
2,00	662	61,8%	89%	522	39,8%	93%
2,25	674	69,7%	87%	644	53,5%	90%
2,50	607	76,6%	86%	678	62,9%	88%
2,75	391	86,2%	84%	652	70,7%	87%
3,00	123	95,7%	82%	524	79,7%	85%

Sluitingen in het winterseizoen zullen veel minder tot geen effect hebben op primaire productie en bodemdieren, omdat groei en productie toch al laag of afwezig zijn. Op basis van historische gegevens is bekend dat alle sluitingen, op die van 21 september 1990 na, in het storm-/winterseizoen vielen, de kans op sluiting zal dus substantieel groter zijn in het stormseizoen. In tabel 7 staat het percentage voedselbeschikbaarheid per kwart meter stijging met het huidige sluitregime en voor een aangepast regime op basis van de maatgevend hoogwaterstanden (zie hoofdstuk 3 en bijlage 1). Op basis van de berekeningen in tabel 7 zal het kantelpunt voor de aanvoer/doorstroom van de primaire productie boven de 1,5-2 meter liggen, omdat in dat geval nog steeds circa 93-99% van de dynamiek in de voorjaar/zomer periode niet stagneert en daarvan ook bij hoge zeespiegelstijging nog altijd het merendeel (hier is uitgegaan van 80%) in het stormseizoen zal voorkomen. Om hier met zekerheid meer over te kunnen zeggen, moeten een aantal kennislacunes gedicht worden. De belangrijkste zijn de uitwisseling van primaire productie met de Voordelta, het relatieve belang van getijdynamiek voor begrazing door filter feeders en kennis over de toename van extreme windcondities in de zomerperiode.

Een ander punt dat speelt is dat op het moment dat het aantal sluitingen sterk gaat toenemen er al 1,5 meter zeespiegelstijging is en het intergetijdengebied dus al bijna alle tijd onder water staat. Ter indicatie, bij een langere hoogwaterperiode en daarmee langere sluitingsduur per sluiting (meer dan één getijden cyclus) zullen de platen en slikken voor langere tijd niet beschikbaar zijn als foerageergebied voor vogels en als ligplaats voor zeehonden. Dit laatste effect wordt echter niet veroorzaakt door het sluitingsregime van de kering, maar is een gevolg van hogere en langdurig hoge waterstanden als gevolg van ZSS. In principe gaat de kering open als de buitenwaterstand onder de binnenwaterstand zakt. Alleen als de buitenwaterstand niet onder de binnenwaterstand zakt tijdens een laagwaterperiode, zal de kering meerdere hoogwaterperiodes aaneengesloten dicht blijven. Dat houdt in dat het sluiten van de kering er in principe nooit voor zal zorgen dat de binnenwaterstand hoger is, dan in het geval zonder kering. Het langer hoogwater zijn door de ZSS veroorzaakt het verdrieken van intergetijdengebied. Hiermee hangen echter ook de effecten zandhonger samen.

Langdurige hoogwaters en sluitingen van meerdere getijden cycli zullen vooral sterk effect hebben op vogels en zeehonden in de winter, omdat de platen en slikken dan lang onder water staan en vogels en zeehonden tegelijkertijd juist in de winter alle tijd nodig hebben om te eten en te rusten. Op basis van deze redeneerlijn zal het kantelpunt voor de effecten van het sluitingsregime op de doorstroom, primaire productie, en daarmee voedselbeschikbaarheid voor bodemdieren, ruim boven de 1,5-2 meter liggen, omdat in dat geval de doorstroom door de OSK en daarmee de waterdynamiek in de zomer nog 89% is van een volledig open OSK. Dit betekent ook dat het dominante kantelpunt voor vogels en zeehonden bepaald wordt door het verlies aan intergetijdengebied wat nu al optreedt.

5.4 Effecten van temperatuurverandering

Temperatuur werkt in op veel verschillende factoren; en effecten van temperatuurstijging zijn daarmee zeer complex en in hoge mate onzeker. De effecten van temperatuurstijging van het zeewater zijn te verwachten door een verandering in:

- primaire productie
- groeiprocessen, bij plankton, bodemdieren en vissen
- voortplantingsprocessen bij plankton, bodemdieren en vissen

- predatieprocessen bij plankton, bodemdieren en vissen
- de verspreiding van inheemse soorten
- de verspreiding van invasieve soorten
- de verspreiding van ziektes

De primaire productie zal waarschijnlijk beïnvloed worden door een gemiddeld hoger temperatuur (o.a. [Suzuki & Takahashi 1995](#)), afhankelijk van de toekomstige beschikbaarheid van o.a. P, N en C elementen. [Nolte & de Vries \(2013\)](#) geven aan dat de orthoP (een bepaald type fosfaat) concentratie afneemt, DIN (opgeloste anorganische stikstof) niet, maar dat beide momenteel in de Oosterschelde kortdurend uitgeput zijn, respectievelijk rond april en juli-augustus. Daarnaast is het ook zeker dat zeewatertemperatuurstijging nu al en in de toekomst zal leiden tot een verandering in de soortensamenstelling van vis ([Tulp et al. 2015](#)). De toe- of afname van visbestanden onder invloed van temperatuur is dynamisch. Zuidelijke soorten rukken op, noordelijke soorten verdwijnen. De afname in biomassa vis in de Oosterschelde lijkt er echter op te wijzen dat dit niet evenwichtig gebeurt en dat zuidelijke soorten nog maar beperkt toenemen, terwijl noordelijke soorten zoals kabeljauw en schol sterker afnemen ([Engelhard et al 2013, Tulp et al. 2015, Clausen et al 2017](#)). Onderzoek wijst in elk geval al uit dat ecosystemen als gevolg van temperatuurstijging veranderen. [Rasconi et al. \(2017\)](#) geven bijvoorbeeld aan dat phytoplankton minder divers wordt en dat sommige soorten phytoplankton beter gedijen. Een belangrijke observatie is de verschuiving naar ecosysteemdominantie van Cyanobacteria, met negatieve gevolgen voor de balans van ecosystemen en effecten zoals het neerslaan van algen op mosselpercelen. Naast temperatuurstijging zijn ook andere weersveranderingen in de toekomst een probleem. Zeer warme zomers hebben in de Waddenzee en Oosterschelde al geleid tot massale sterfte van kokkels ([Troost & Van Asch 2018](#)), maar hoe dit zich gaat ontwikkelen in de toekomst is zeer onzeker. Wel is de verwachting dat dit soort extreme pieken in temperatuur en/of droogte vaker zullen voorkomen.

Het is nog onzeker of de totale voedselbeschikbaarheid voor de Oosterschelde hoger zal zijn bij een stijging van de gemiddelde zeewatertemperatuur. Ook is een langer groeiseizoen mogelijk, doordat het eerder warmer wordt en later kouder. Of dit netto positief of negatief uitpakt is ook onbekend omdat het energieverbruik van bijvoorbeeld mosselen ook toeneemt.

Wanneer er een kantelpunt optreedt ten aanzien van bovengenoemde aspecten in relatie tot temperatuurstijging is op dit moment niet te zeggen. Ook hier geldt dat dit geleidelijk kan verlopen of ineens een sterk veranderen. Nader onderzoek zal hier meer duiding aan moeten geven.

Net als de zeespiegelstijging is een stijging van de zeewatertemperatuur inherent aan de klimaatverandering en in die zin onvermijdelijk. Er is echter weinig bekend over wat de precieze effecten zijn en bij welke mate van temperatuurstijging die plaatsvinden. Het is daarom lastig om te bepalen waar en wanneer kantelpunten plaatsvinden ten aanzien van de ecologie in relatie tot zeewatertemperatuurstijging.



De mosselkotter Bruinisse 26 aangemeerd in haar thuishaven

6. Ruimtegebruik

In dit hoofdstuk staat het ruimtegebruik in de Oosterschelde centraal. Het gaat daarbij zowel om economisch gebruik zoals aquacultuur (mosselen, oesters), scheepvaart en recreatie en daaraan ondersteunende functies of waarden zoals ruimtelijke kwaliteit en infrastructuur.

6.1 Aquacultuur en visserij

In de Oosterschelde zijn er meerdere typen aquacultuur en visserij te onderscheiden. De economisch dominante sector is de mosselkweek, waarvan momenteel nog 97-98% bodemkweek is. Daarnaast speelt de oesterkweek ook een relatief grotere rol ten opzichte van andere typen visserij. Er wordt door 39 bedrijven met vaste vistuigen zoals fuiken, korven en kubben op kreeften en paling gevist en er zijn nog negen vergunningen uitgegeven voor sleepnetvisserij op vis en garnalen. Enkele hiervan, zoals staand want visserij en weervisserij, zijn vooral nog cultuurhistorisch van belang. De kokkelvisserij is door het reserveringsbeleid voor foeragerende scholeksters praktisch verdwenen.

6.1.1 Werkingsmechanismen mosselcultuur

De mosselcultuur is verspreid over het hele gebied en de vergunningen die hier voor zijn uitgegeven zijn flexibel inzetbaar binnen en tussen de percelen. Daarnaast bestaat het ruimtegebruik uit mosselzaadvanginstallaties (op/nabij de percelen) en verwaterpercelen (met name bij Yerseke). Ook is er nog een klein deel hangcultuur waarin de mosselen via een hangconstructie los van de bodem wordt gekweekt.

Er zijn een aantal werkingsmechanismen van de mosselsector die beïnvloed worden door zeespiegelstijging, zandonger en temperatuurtoename. De werkingsmechanismen waarop de mosselsector drijft zijn als volgt. Mosselzaad wordt opgevist (zaadvisserij) of ingevangen via mosselzaadvanginstallaties (MZI's) en uitgezaaid op groeipercelen aan de oostkant van de Oosterschelde. De zogenaamde zaadval, tijdens de voortplantingstijd, is in het voorjaar in april-mei. Zaad vissen gebeurt tweemaal per jaar (in het voorjaar met name halfwas mosselen die de winter hebben overleefd, in het najaar mosselzaad van het voorjaar). MZI's hangen van 1 maart t/m eind oktober in het water.

De kweek vind plaats op de bodem of via hangculturen, het laatste is op dit moment een marginaal aandeel van de totale aanlevering van mosselen¹. De belangrijkste parameters voor de verkoop zijn vleesgewicht en grootte van de schelp, op basis waarvan ze opgevist worden. Over de levensloop van een mossel worden ze meerdere malen verzaaid om ze voldoende ruimte tijdens de groei te geven en tot optimaal vleesgewicht te komen. Na opvissen worden via bodemcultuur gekweekte mosselen verwaterd om van het zand in de schelp af te komen. Hierna gaan alle mosselen naar de mosselveiling in Yerseke. De oogst start rond begin juli, omdat de temperatuur voor de groei optimaal is vanaf mei-juni. Dit bevordert namelijk de primaire productie waar de mosselen van groeien. Een deel van de mosselen wordt na een jaar naar de veiling gebracht, afhankelijk van bovenstaande indicatoren, de rest wordt verzaaid en zal een jaar later naar de markt gaan ([Wijsman et al. 2010](#)).

Niet alle percelen in de Oosterschelde zijn vergund, niet alle percelen worden gebruikt en van de verhuurde percelen wordt niet het volledige oppervlak gebruikt. In [Wijsman \(2017: 9\)](#) wordt benoemd waarom: “[een deel] is niet geschikt omdat het bijvoorbeeld te ondiep is of omdat het er te hard stroomt. De kwaliteit van de mosselpercelen varieert ruimtelijk.” Daarnaast worden de mosselen over hun levensloop verplaatst over de percelen. De belangrijkste groeipercelen zijn de percelen vlakbij de Oosterscheldekering. De aanname is dat de combinatie van instromende primaire productie uit de voordelta in combinatie met de grote waterdynamiek veel voedsel over de percelen beweegt. Dit levert de beste groeicondities.

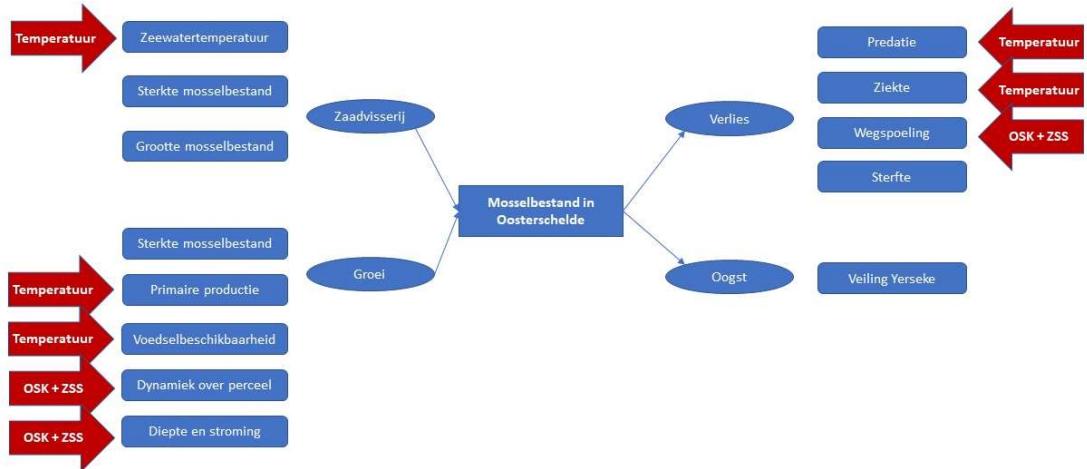
Aan de hand van deze aspecten vallen nu de verschillende mechanismen die inwerken op de mosselteelt te benoemen:

- Temperatuur van het zeewater in de voortplantingstijd
- Primaire productie en voedselbeschikbaarheid
- Dynamiek van het water voor doorstroming over de percelen
- Stroming en diepte
- Predatie en ziektes

¹ Ongeveer 10 bedrijven zijn actief in deze vorm van aquacultuur t.o.v. circa 50 in de bodemkweek, met maar een marginale bijdrage van 2%-3% aan de totale productie; [Hemert 2012](#).

Dit is te koppelen aan het conceptueel model van [Wijsman et al. \(2010\)](#) voor het mosselperceelbestand in de Oosterschelde (figuur 19).

Figuur 19. Samenhang verschillende werkingsmechanismen met het mosselbestand in de Oosterschelde.



Het belangrijkste, maar lastig te kwantificeren effect bestaat uit een gewijzigde dynamiek in stroming en mogelijke voedselreductie door verminderde uitwisseling met de voordelta. Ook spelen ziekten en algen een mogelijke rol. Het belangrijkste kantelpunt is de economische rendabiliteit van de lokale kweek ten opzichte van de Waddenzee en het vleespercentage op het juiste moment in het seizoen (ten bate van de grootste afzetmarkt, Vlaanderen, waar het mosselseizoen in de zomer van economisch groot belang is).

6.1.2 Effecten zeespiegelstijging op de mosselcultuur

De zeespiegelstijging werkt op drie manieren door op de mosselsector. Als eerste is er voor de verwaterpercelen een positief effect van zeespiegelstijging, namelijk een toename in waterdiepte waardoor de percelen makkelijker bereikbaar zijn. Dit effect is positief tot >2 meter boven het harde, schone substraat dat van belang is voor het verwateren.

In de tweede plaats kunnen huidige doorstromingsprofielen veranderen omdat het debiet verandert. Hoe is onbekend, maar een hogere waterkolom op bepaalde gebieden en een totale stijging van het debiet door de kering kunnen effect hebben op waar hoeveel water stroomt per getijcyclus. Daarnaast zorgen zandhonger en zeespiegelstijging er voor dat het verschil tussen geulen en platen minder

geprononceerd wordt. Daardoor neemt de stroming in de geulen af, en neemt de stroming boven de platen (licht) toe. Een indicatie valt hiervan te geven op basis van het volume van de Oosterschelde. De diepte op de percelen zal minstens evenredig toenemen met de snelheid van de zeespiegelstijging. Aan de verlieskant krijgt erosie mogelijk een andere karakteristiek door veranderde debieten, al is ook dit nog niet in beeld. Het debiet door de kering is afhankelijk van de komberging. Die bestaat uit de OS met aftrek van het volume aan zand in de platen en slikken. Bij ZSS neemt de mindering door het zand in platen en slikken af. Daar zit nu ongeveer $1,4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ zand. Het getijvolume is $8 \cdot 10^8 \text{ m}^3$. Het getijdebiet zal uiteindelijk maximaal 17,5% toenemen als er geen droogvallende platen meer zijn.

De derde manier waarop de zeespiegelstijging doorwerkt is via de Oosterscheldekering, die bij sluiting de dynamiek en aanvoer van primaire productie uit de voor delta beperkt. Aannemende dat het huidige stormseizoen niet samenvalt met de voortplantingstijd van de mosselen (het stormseizoen loopt van 1 oktober tot 15 april, de voortplantingstijd is in april-mei) en het stormseizoen de sluitingen van de OSK zullen plaatsvinden, zal met zeespiegelstijging de druk op de mosselsector primaир komen via een gereduceerde dynamiek bij sluitingen. Bij een sluiting neemt de dynamiek ofwel de doorstroming door de OSK met 93% af (zie paragraaf 5.3). Dit betekent dat niet alleen de aanvoer van primaire productie uit de voor delta reduceert met 93% (al is het belang daarvan waarschijnlijk beperkt ten opzichte van lokale productie), belangrijker is dat de dynamiek en dus de stroming over en langs de percelen veel lager zal worden (cf. [Nolte & de Vries 2013](#)). Het is onbekend of het stromingspatroon verschuift bij sluiting.

Als 93% stromingsreductie betekent dat er ook 93% minder voedsel langs een perceel stroomt, een voorwaarde voor mosselen om te kunnen foerageren. Dit is conservatief, immers blijft de lokale productie per tijdseenheid wel gelijk en is te verwachten dat er meer voedsel beschikbaar blijft per tijdseenheid dan 7% van de voedselbeschikbaarheid in open toestand. Dit is dus een maximum aan voedselverlies voor de mosselpercelen. Bepalend voor het effect van de sluitingen op de mosselcultuur zijn de duur en het moment in de tijd waarop dit gebeurt. Sluitingen in het winterseizoen zullen minder tot geen effect hebben omdat (a) de primaire productie toch al laag is en (b) de mosselen veel energie gespaard hebben om de winter door te komen. Als de sluitingen het voorjaar inschuiven dan zullen ze een

veel sterker effect gaan hebben op de groei en met name ook het aansterken van het mosselbestand na de zaadval. Dit effect valt vooral te verwachten als er na maart gesloten moet gaan worden, wat de kans hierop is en wanneer het optreedt zal onderwerp van nadere studie moeten zijn.

Alle sluitingen op die van 1 maart 1990 en 21 september 1990 na vallen in het stormseizoen. Als bekend zou zijn wat de OSK sluiting doet op de aanvoer van voedsel op de percelen en de snelheid waarmee sluitingen in het groeiseizoen gaan vallen dan zou daaruit afgeleid kunnen worden wat het kantelpunt is wat betreft het sluitregime van de Oosterschelde. De inschatting op basis van de sluitingen (paragraaf 3.2) en de effecten op de voedselbeschikbaarheid voor filter feeders (paragraaf 5.2.5) is dat dit pas ruim na 2 meter zeespiegelstijging zal vallen.

6.1.3 Effecten van watertemperatuurstijging op de mosselcultuur

Temperatuur werkt in op een aantal factoren, deze zijn:

- Een temperatuurstijging tijdens de zaadval
- Effect op de primaire productie tijdens het groeiseizoen
- Effect op de totale voedselbeschikbaarheid voor de mosselpercelen
- Doorwerking op bestaande verliesposten door temperatuureffecten op predatie en ziektes

Hiervan zijn een paar werkingsmechanismen zeker en een aantal onzeker. De temperatuurstijging tijdens de zaadval zal waarschijnlijk positieve gevolgen hebben, omdat de mosselen dan relatief minder energie nodig hebben om te groeien en aan te sterken. De respiratie over het jaar neemt echter wel toe, waardoor ze meer

Figuur 20. Hangcultures bij Bruinisse (links) en een mosselperceel bij Yerseke (rechts, bron: RWS Beeldbank)



energie verbruiken. De predatie van zaad zou echter ook hoger kunnen zijn door meer activiteit van predatoren die hetzelfde voordeel hebben.

De toename van temperatuur leidt mogelijk ook tot een toename van algen. Dit heeft waarschijnlijk ook negatieve gevolgen zoals het neerslaan van algen (met name schuimalgen) en andere materie op de percelen, met sterfte op de mosselpercelen tot gevolg, zoals in het voorjaar van 2019. In juni 2019 kopt de Provinciale Zeeuwse Courant: "Algen houden huis onder mosselen in de Oosterschelde" ([Kutterink, 5-6-2019](#)), in september vervolgens bevestigd in BN de Stem: "Aanvoer mosselen keldert door sterfte in Oosterschelde en slechte groei in Waddenzee." ([Balkenende, 2-9-2019](#)). De sterfte wordt door de journalisten niet direct gekoppeld aan temperatuur, ondanks dat zowel 2018 een recordjaar was én de maanden februari, maart, april en juni van 2019 ruim boven de jaargemiddelen zaten (gebaseerd op data KNMI), terwijl dit de groeimaanden voor de schuimalg zijn.

De wetenschappelijke literatuur is over dit mogelijke verband veel duidelijker. Ten aanzien van parameters voor groei van de drie belangrijkste algengroepen genaamd *Phaeocystis*, waartoe ook de bruine slijmalgen in de Oosterschelde behoren, constateren [Schoemann et al.](#) al in 2005 dat: "De meest belangrijke van deze zijn de temperatuur-afhankelijkheid van de maximale groeisnelheden (...) en hun hoge aanpassingsvermogen aan lichtcondities". Het valt dus te veronderstellen dat dit zeker vaker effect kan hebben op de mosselsector als de temperatuur van het Oosterscheldewater stijgt. Overigens is dit ook relevant voor de KRW instandhoudingsdoelen, zoals [Deltares \(2009\)](#) al concludeert: "Er zijn te veel schuimalgen in de Oosterschelde aanwezig".

Ook heeft een watertemperatuurstijging mogelijk effecten op de totale graasdruk door filter feeders, zoals mosselen en kokkels, en op de ecologische balans van het systeem, afhankelijk van de temperatuurstijging ([Rasconi et al. 2017](#)). De totale voedselbeschikbaarheid zal voor de mosselen mogelijk hoger zijn bij een stijging van de gemiddelde zeewatertemperatuur, maar daardoor zal de graasdruk en predatie ook toenemen. Daarnaast is een positief effect het langere groeiseizoen doordat het eerder warmer wordt en later kouder. Hoe dit zich verhoudt tot de graasdruk en het handelen van de mosselvissers is onbekend.

Op de verliespost zullen de predatoren mogelijk toenemen, al is dit hoogst onzeker in welke vorm of mate. Het vóórkomen van ziektes zal vrij zeker wel toenemen met een hogere gemiddelde watertemperatuur. Voor bepaalde ziektes zoals het herpesvirus dat de oesterteelt hard raakt is hogere prevalentie in verband met temperatuur in de literatuur al vastgesteld ([Kamermans & van den Brink 2017](#)). Ten aanzien van de Mosselen meldde NRC bijvoorbeeld in 2016 dat de Vibrio bacterie die tetrodotoxine (TTX) aanmaakt vaker voorkomt in de Noordzee door klimaatverandering. Dit moet uiteraard zijn bij hogere zeewatertemperaturen op zich, maar het is een zorgelijk verschijnsel voor de mosselsector die sinds TTX gevonden is door de NVWA gecontroleerd wordt en veel actiever aan de slag moet om de oogst van toxicisch materiaal te vrijwaren en ziekten uit te sluiten ([NRC 2016](#)). Hoe de mechanismen en verspreiding van TTX in Nederlandse mosselen en oesters precies werkt is echter nog grotendeels onbekend ([Gerssen et al. 2018](#)).

6.1.2 Oestercultuur en andere visserijsoorten

De Oestercultuur is relatief veel kleiner dan de mosselcultuur, maar desondanks van economische waarde. Meer dan de mosselcultuur, staat de oestersector al onder grote druk. De oorzaak is een herpesvirus dat de oesters ziek maakt en boorslakken die de oesters op eten (het gaat om de Japanse oesterboorder *Ocenebra inornata* en de Amerikaanse oesterboorder *Urosalpinx cinerea* ([Kamermans & van den Brink 2017](#))). De oplossing hiervoor is tafelkweek of hangkweek en dus het alloceren van de oesters van de bodem (off-bottom kweektechnieken zoals door middel van zakken op tafels zoals in Frankrijk gebeurt). Het primaire groeiseizoen van de oesters is hetzelfde als die van de mosselen: van april tot september.

Kenmerkend voor de oestersector is dat de percelen primair in de kom liggen en afhankelijk zijn van een getijdenafhankelijke droogvalduur, onder andere voor het beperken van aangroei die verkoop belemmert. Relevant is in dit geval dus het droogvalduurverlies dat voor minder ruimte voor de oesterkwekers zorgt. Hiernaast speelt het herpes virus: "Het virus manifesteert zich bij een watertemperatuur tussen 16°- 18° Celsius" ([Kamermans & van den Brink 2017](#)). Belangrijk is de bevinding dat mortaliteit stijgt bij langdurige watertemperaturen binnen deze range gebaseerd op zowel veldonderzoek ([Pernet et al. 2012](#)) als zelfs vanaf 14 °C tijdens laboratoriumproeven ([Dégremont et al. 2013](#)). [Dégremont et al. \(2013: 56\)](#) concluderen daarom: "samengenomen laten de resultaten zien dat er een sterke

invloed van zeewatertemperatuur is als risicofactor voor de virale reproductie en het ziektebeeld.” De watertemperatuur is dus belang voor het voorkomen en de verspreiding van het virus. Klimaatverandering zal effect hebben op de watertemperatuur (paragraaf 4.3).

De zeespiegelstijging zal op de oestersector effect hebben door het toenemende aantal sluitingen van de Oosterscheldekering. Oesters in zakken worden op een hoogte van NAP 0 tot NAP +1m gekweekt. Bij sluiting staat de waterstand op deze hoogte en is kans op schade tijdens de dan geldende ruwe omstandigheden groot. Ditzelfde groeit voor uitgezaaid oesterbroed, wat op ongeveer deze hoogte ligt en dus ook te maken krijgt met een toename van golfaanval bij het sluiten van de Oosterscheldekering.

Weervisserij, pierensteken en andere vooral cultuur-historisch van belang zijnde visserijactiviteiten die in het intergetijdengebied plaats vinden hebben met dezelfde problematiek te maken als de oestersector. Deze uit zich met name in een verlies aan intergetijdengebied. Daarnaast ontstaat er met de aanwezigheid van mensen voor dergelijke activiteiten verstoring voor de natuur als het totale areaal verminderd. Een vermindering of zelfs het stopzetten van de bedrijfsvoering op het gebied van staand want visserij, weervisserij, pierenspitten en zeegroenteoogst zal dus opgaan met het verlies aan intergetijdengebied dat hiervoor geschikt is. Hierop is geen specifiek kantelpunt te bepalen behalve het fysieke verlies van intergetijdengebied in de juiste droogvalduurklassen na één meter zeespiegelstijging en tot die tijd door keuzes van de beheerder door middel van toegangsbeperkingsbesluiten (zie paragraaf 4.2). Bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging zullen deze visserijsoorten grotendeels gestopt zijn. Voor onderwatervisserij (fuiken, korven, sleepnetvisserij, etc.) zijn er geen negatieve gevolgen.

6.2 Scheepvaart

Scheepvaart is een economisch belangrijke sector in de Zeeuwse delta. De doorstroming van de scheepvaart over de Oosterschelde is van belang voor de noord-zuid corridor tussen de havens van Amsterdam en Rotterdam naar Antwerpen, Lille en Parijs. Daarnaast is er veel recreatieve scheepvaart die voor de lokale horeca, jachthavens en overnachtingsplaatsen van belang is.

Het belangrijkste thema voor de scheepvaart in relatie tot klimaatverandering is het effect van zeespiegelstijging op de doorvaart bij sluizen en bruggen. Er zijn voor de beroepsvaart geen effecten van de zandhonger, voor de recreatievevaart zal vooral de belevening van het varen of zeilen over de Oosterschelde effect hebben bij het verdwijnen van de platen, slikken en schorren. Dat kantelpunt ligt omstreeks 1 meter en gaat gelijk op met het verlies van droogvalduur (zie paragraaf 4.2).

Wat betreft zeespiegelstijging zijn er zowel effecten voor de beroepsvaart als voor de recreatievevaart. De belangrijkste punten rondom de Oosterschelde voor de beroepsvaart zijn de Krammersluis in het noorden (met 39.478 scheepspassages in 2017) en de sluizen bij Hansweert (40.220 scheepspassages in 2017). Belangrijk om hierbij op te merken is de mogelijkheid om ‘binnendoor’ te gaan: via het Schelde-Rijnkanaal meteen ten oosten van de Oosterschelde. Deze is volledig afgesloten van de Ooster- en Westerschelde en staat daarmee niet onder invloed van getij. De scheepspassages bij de Kreekraksluis, oostelijk van de kom in de Oosterschelde, zijn nu al meer dan 1.5 keer zo groot als die van de belangrijkste vaarroute door de Oosterschelde (in 2017 68.435 scheepspassages).

Figuur 21. Links de Vlaktebrug (RWS Beeldbank, J. van Houdt), rechts de Roompotssluis op Neeltje Jans, bij de Oosterscheldekering (RWS Beeldbank)



De recreatieve scheepvaart laat een ander beeld zien. De belangrijkste bewegingen zijn die tussen de Oosterschelde, het Veerse meer en de Grevelingen. Er is veel minder verkeer tussen de Oosterschelde en de Westerschelde. Het gaat dan om 5.589 passages bij Hansweert ten opzichte van 27.995 bij de zandkreeksluis tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer (in 2017).

Het effect van zeespiegelstijging zal zich primair voordoen bij de sluiscomplexen tussen zoet water en de open Oosterschelde. Bij de Roompotsluis (figuur 21) en de Sluis Hansweert zal de waterstand aan beide zijden beïnvloed worden door de stijging en daar zal er dus geen effect zijn op het schutten. De meest dominante effecten zullen het langer schutten door een groter waterstandsverschil en meer brugbewegingen door een lagere doorvaarhoogte zijn.

6.2.1 Bruggen

De eerste stap die is gedaan is het uitrekenen van de fractie van het aantal scheepvaartbewegingen waarvoor de Vlakebrug (figuur 21) open moest. Dit is gedaan op basis van de data over scheepvaartpassages bij Hansweert en brugbewegingen van de Vlakebrug tussen 2007 en 2017 (dus voor 11 jaar) te koppelen. De procentuele verhouding tussen de passages kan zo uitgerekend worden: voor de recreatievaart ging over de 11 jaar heen voor gemiddeld 56% de brug open, voor de beroepsvaart was dit slechts 2,2%. Dit kan verklaard worden uit het feit dat het een staande mast route is voor recreatief zeilverkeer en de aanpassing van schepen op deze route aan de VIb klasse, wat de hoogste binnenvaartklasse (CEMT) in Europa is. Deze klasse kan tot NAP +1,5 m vrij onder de brug doorvaren.

Op basis van die classificering valt nu ook iets te zeggen over de effecten van zeespiegelstijging. De huidige hoogte van de Vlakebrug is bij twee doorvaartstukken NAP +10,1 meter en op het middenstuk NAP +10,6 meter ([RWS 2019](#)). De Postbrug heeft een hoogte van NAP +10,5 meter. De diepgang is NAP -7,2 tot -6,5 in het kanaal. De CEMT classificering is als volgt: de minimale doorvaarthoogte voor VIb en hogere klassen is 9,10 meter, de categorie daaronder betreft schepen tot 7 meter hoog. De afgeladen diepgang is zelfs voor de allerhoogste klasse (VII) 4,50 meter. Daarmee is er dus geen voordeel van zeespiegelstijging voor de scheepvaart, immers is alles al ruim genoeg op diepte met -6,5 meter NAP.

Voor de hoogte valt nu te stellen dat met de huidige NAP +10,6 meter en NAP +10,5 meter voor beide bruggen, de doorvaart belemmert zal worden als de hele getijcurve omhoog schuift. Er zal dus een sterke toename in het aantal brugbewegingen komen voor de beroepsvaart zodra de VIb klasse schepen niet meer onder de vaste bruggen door kunnen. Zodra dat kantelpunt bereikt is, zal de stijging echt extreem moeten worden om de klasse eronder, met 7 meter hoogte, te raken (immers hebben die schepen nu nog een ruime 3 meter bij een waterstand van NAP +0,0

meter). Omdat de hoogte van schepen niet bekend is (zo varen er ook veel schepen van de lagere klassen die bijvoorbeeld de kleinere Franse kanalen bedienen) valt niet te zeggen hoeveel meer brugbewegingen er plaats zullen gaan vinden. Hier voor zal data over de hoogte van schepen verzameld moeten worden.

De relatie met de OSK is ook van belang. Met het huidige sluitregime van NAP +1 - +2 + 1 meter is de hoogte onder de vaste bruggen over het kanaal van Zuid-Beveland ook bepaald: 9,7/9,6 en 8,7/8,6 meter. Hiermee kan de scheepvaart dus zelfs in het extreemere geval van veel vaker sluiten nog doorgaan, met dien verstande dat het aantal brugbewegingen voor de hoogste scheepvaartklasse zal stijgen.

Ditzelfde geldt voor de andere bruggen die, op de Zeelandbrug (met een vaste doorvaartopening van NAP +15 meter) na, allemaal bij sluiscomplexen liggen en vaak standaard open gaan bij schutting. Zo liggen de twee bruggen bij de Zandkreeksluis bijna op dezelfde hoogte als de sluisdeuren en moeten die zelfs voor kleinere jachten al open. De toename van het aantal brugbewegingen zal dus vooral gelden voor de bruggen waar op dit moment een onderdoorgang met vaste brug in veel van de passages voorziet.

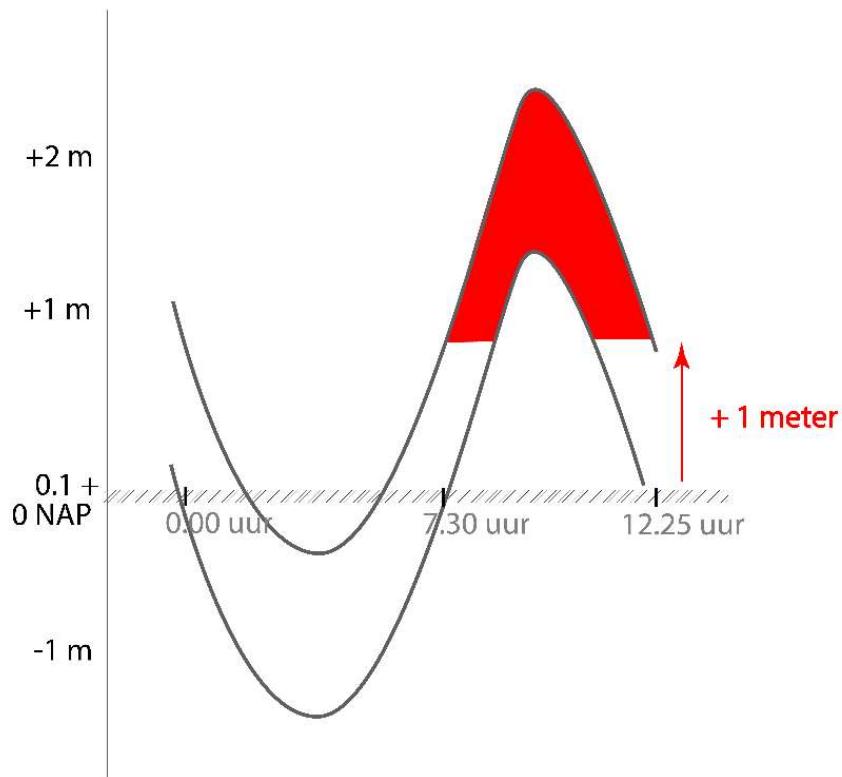
Het gebrek aan data over de specifieke hoogte van schepen die nu nog wel, maar in de toekomst mogelijk niet meer onder de vaste bruggen door kunnen maken dat hier verder geen uitspraken over gedaan kunnen worden. Het aantal keren dat beweegbare bruggen open moeten gaan zal toenemen, met navant extra beheer en onderhoudskosten voor de beheerders.

6.2.2 Sluizen

Wat betreft sluizen geldt voor het schutten het verschil in hoogte dat overbrugd moet worden. Voor het Veerse Meer en de Krammer geldt een peil tussen de NAP +0 m en NAP +0,10 m, waarbij dit in de Krammer wat meer fluctueert. Hier valt een en ander over te zeggen op basis van de data over waterstanden in het gebied. Op basis hiervan valt iets te zeggen over het cumulatieve verschil dat zeespiegelstijging zal doen op de schuttingen (figuur 22). Hierbij zijn twee effecten zichtbaar: de noodzaak tot vaker schutten doordat het verschil in waterstanden tussen binnen en buiten toeneemt, en het langer schutten, doordat de relatieve hoogte die bij schuttingen overbrugt wordt toeneemt. Dit komt met name doordat de getijcyclus

verschuift van rondom NAP naar ruim boven NAP terwijl de binnenpeilen gehandhaafd worden op NAP of iets daarboven.

Figuur 22. Theoretische werking toename schuttijden door zeespiegelstijging. Bij 1 meter zeespiegelstijging wordt ongeveer 5 uur van de getijcyclus zo geraakt dat er verschuiving optreedt, en ongeveer 3 uur komt boven de getijcyclus uit vergeleken met de huidige situatie.



Uitgaande van de waterstanden zoals die nu zijn en het feit dat die buitenaarts omhoog schuiven dan valt vooral op de piek van het getij te zien dat de schuttijden sterk toe zullen nemen (figuur 22), echter is aan de onderkant van de getijcurve minder schutttijd nodig. De hoogte die overbrugt moet worden speelt daarom tot 1 meter ZSS de grootste rol. Omdat er geen data beschikbaar is over de huidige schuttijden valt het lastig in te schatten hoeveel het exact toe zal nemen of waar een kantelpunt per sluis ligt.

6.3 (Haven)infrastructuur en buitendijkse bebouwing

Infrastructuur zoals haven-gebonden activiteiten en buitendijkse bebouwing hebben dezelfde karakteristieken vanuit zeespiegelstijging bezien. De bepalende variabelen zijn waterhoogte en golfaanval in combinatie met stroming. De ligging en

verspreiding van gebouwen over een terrein bepalen wanneer de condities dermate kritiek zijn dat maatregelen genomen moeten worden.

Waterhoogte is nu soms al een probleem bij extreme omstandigheden. Havenplateaus kunnen overstroomen, zoals al sinds 1990 soms gebeurt in Bruinisse. "Bij verhoogde waterstanden begin dit jaar had met name de haven van Bruinisse te kampen met wateroverlast. Het alarmpeil was bij de ingebruikname laag, namelijk NAP +2,75 meter met de bedoeling ervaring op te doen met het beslis- en sluitproces.

Figuur 23. Links buitendijkse bebouwing in Bruinisse. Rechts oude mossellooden in Yerseke (RWS Beeldbank / Jan van den Broeke).



Momenteel geldt een waarschuwingsspeil van drie meter, de bedoeling was om dit uiteindelijk op te trekken tot NAP +3,25 meter." [Reformatorisch dagblad, 31-08-1990](#). Deels is dit ook eigen aan het feit dat het buitendijkse plateaus zijn, maar er kan op termijn door zeespiegelstijging mogelijk wel schade optreden. Uit overspoelingsfrequenties van meetpunt Krammersluizen West tussen 2001 en 2010 blijkt dat daar een waterstand van NAP >3 meter met een frequentie van 10/10 jaar wordt bereikt en NAP > 2.9 meter met een frequentie van 40/10 jaar. Bij 10cm ZSS zal dus waarschijnlijk de frequentie van NAP >3m verschuiven naar 40/10 jaar. In dat geval is er bij Bruinisse treedt dan al snel een probleem op door de frequentietoename met een factor 4. Bij Yerseke zijn tot 2010 waterstanden NAP >3 meter niet bereikt (op basis van meetpunt Stavenisse). De kans op NAP +3 meter bij 20 cm ZSS zal wel toenemen van een frequentie nu van 3/10 jaar naar een frequentie van 45/10 jaar.

Het buitendijks gebied van Yerseke is economisch de meest waardevolle. Hier bevindt zich veel aquacultuur gerelateerde bedrijvigheid pal aan de waterlijn, evenals

Tabel 8. Starthoogte (voor re-liëf, zie kaarten in bijlage 6) van de havenplateaus rondom de Oosterschelde en hoogte van de dijk ter plekke.

HAVEN	GEOGRAPHISCHE HOOGTE WENDEPUNT T.O.V. NAP	START-HOOGTE PLATEAU T.O.V. NAP	HOOGTE DIJK T.O.V. NAP
VLUCHTHAVEN NEELTJE JANS	Ja	6,2	7,5
SOPHIAHAVEN	Ja	4,3	5,8
HAVEN COLIJNSPLAAT	ja	3,7	5,3
HAVEN KATS	Ja	4	6,2
JACHTHAVEN WEMEL-DINGE	Ja	5	5,2
KON. JULIANA HAVEN	Ja	3,3	6
HAVEN STRIJENHAM	Nee	3,6	6
HAVEN SINT-ANNALAND	Ja	3,5	5
W.V. BURGHSLUIS	Ja	3,5	4,5
DELTA EXPOHAVEN	Ja	8	10
JACOBAHAVEN	Ja	6	10
JACHTWERF BRUINISSE	Ja	3	5,7
VLUCHTHAVEN BRUINISSE	Ja	3,2	5,3
MATTENHAVEN	ja	5,2	7,5

het NIOZ en enkele woonhavens. Dit naast zowel de vissershaven en twee recreatieve havens, waar in de eerste ook een scheepswerf en een machinefabriek gesitueerd zijn. In de andere havens of buitendijkse gebieden bevinden zich met name horecaondernemers zoals Bar petit Restaurant 't Oliegeultje bij Burghsluis, Café-Restaurant 'De Heerenkeet' in de Flaauwershaven en Visspecialiteitenrestaurant De Schelde bij Colijnsplaat. Op Noord-Beveland bij de Sophiahaven bevindt zich tevens nog een groot buitendijks recreatieterrein van Roompot B.V.

Waterhoogte zal dus een probleem zijn tot de maximale binnenwaterstand op basis van het sluitregime is bereikt (tabel 8). Er is dus een lokale afhankelijkheid ten opzichte van het sluitregime en de maximale waterstanden die toegelaten worden totdat er gesloten wordt. Hierbij valt aan te nemen dat de maximale waterstand in combinatie met golfhoogte en stroming bepalend zijn. Golfaanval in combinatie met waterhoogte zijn primair² verantwoordelijk voor structurele schade aan

² Andere mechanismen waar aan te denken valt zijn opwaartse druk, afval in het water die structurele schade veroorzaken, zettingen en drukverschillen op de bodem en muren, erosie, turbulentie, chemische effecten op materiaal.

gebouwen ([Kelman en Spence 2004; Kreibich et al. 2009](#)). Hierbij valt er onderscheid te maken tussen golven die op gebouwen breken of er langs golven. Specifieke uitspraken kunnen dus niet gedaan worden omdat het lokale gedrag van golven en de dempende werking van voorland of het havenplateau sterk locatie specifiek is.

Stroomsnelheid is een bepalende factor voor infrastructuur, of zoals [Kreibich et al. \(2009\)](#) concluderen: "Verwachtingen van structurele schade aan weginfrastructuur kunnen op basis van alleen stroomsnelheden gemaakt worden" Het is echter te verwachten dat stroomsnelheden relatief klein zijn bij lokale overstroming van een havenplateau, dus is de verwachting dat structurele schade aan gebouwen bepalend zal zijn voor het nemen van beschermende maatregelen.

Omdat golfhoogte in havens en op havenplateaus lastig te voorspellen is en stroming niet doorslaggevend zal zijn, liggen de kantelpunten voor de havens in de bandbreedte van huidige hoogte tot maximale oplek van het sluitregime van de OSK. Dit is tussen de NAP +3,50 meter en NAP +4 meter bezien vanuit zowel de MHW waterstanden in het bekken en de technische randvoorwaarden aan de kering en het sluitproces zelf (zie hoofdstuk 3). Hierbij is aangenomen dat bij benadering overal in de OS golven op het plateau of voorland gedempt worden tot het niveau van de lokale significante golfhoogte. Bij benadering kan dus de hoogte van de waterkolom op het terrein genomen worden voor bepaling ervan. Alleen de bebouwing in Yerseke kent niet of nauwelijks voorland, daar zal dit dus een te positieve inschatting zijn bij golfaanval uit het oosten in combinatie met extreem hoog water.

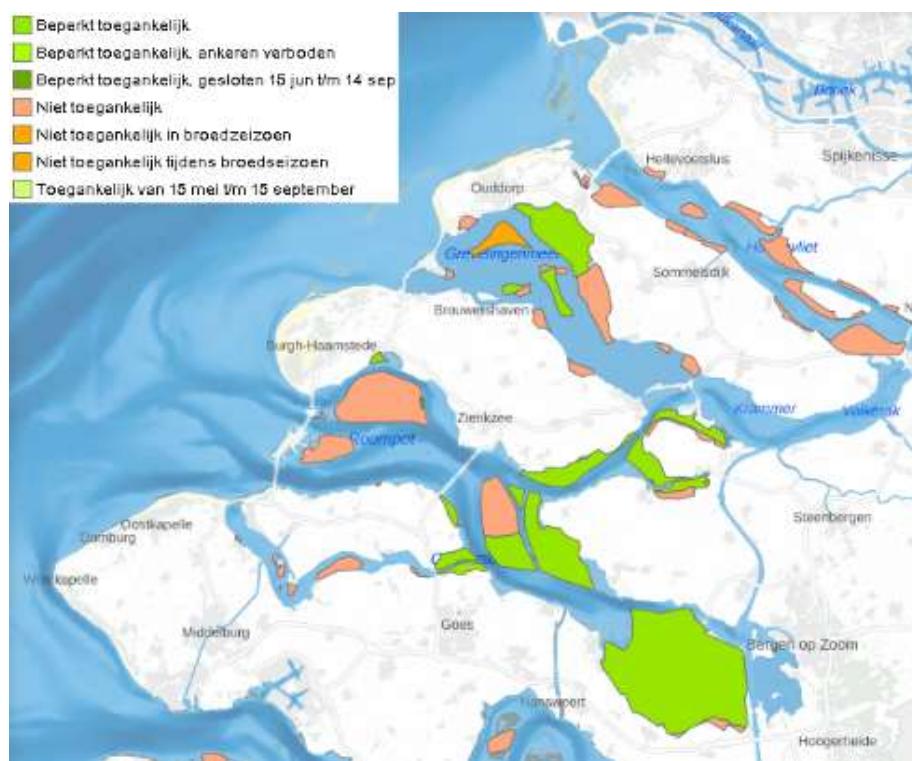
Vertaald naar de huidige hoogten volgens AHN3 en locatie specifiek in kaart gebracht (bijlage 6) betekent dit dat het eerste kantelpunt optreedt voor de haven van Bruinisse die op NAP +3 meter ligt, daarna volgen de vluchthaven van Bruinisse, de havengebieden van Yerseke (vanaf NAP +3,30 meter) en de havens van Sint Annaland (NAP +3,50 meter), Burghsluis (NAP +3,50 meter), Strijenham (NAP +3,60 meter) en Colijnsplaat (NAP +3,70 meter). Significante golfhoogte is ongeveer de helft van de waterdiepte. Maximale individuele golfhoogte is ongeveer 2 keer de significante golfhoogte. Bij NAP +4 meter bij Bruinisse is er dus een waterdiepte van 1,0 meter wat betekent dat er een significante golfhoogte (Hs) van 0,5 meter en een hoogste individuele golf (Hmax) van 1,0 meter kan ontstaan.

Structurele schade ontstaat door waterhoogte vanaf 30 cm (Chung & Adeyeye, 2018), wat er toe leidt dat voor Bruinisse vanaf NAP +3,30 meter significante schade kan ontstaan voor aanwezige bebouwing. Uiteraard moet dit locatie-specifiek bekeken worden voor wat betreft de drempels van gebouwen en de exacte hoogtes en gradiënten van de verschillende buitendijs gelegen gebieden. Locatie-specifiek zal er daarom ook gekeken moeten worden naar de ideale oplossingen om waterkerende maatregelen of amoveren van bebouwing te realiseren.

6.4 Recreatie

De Oosterschelde is een waardevol gebied waar veel recreatie in verschillende vormen plaats vindt. Recreatie is afhankelijk van verscheidene landschapsvormen zoals slikken voor pierenspitten, wandel- en fietspaden en stranden voor strandgebonden recreatie. Jachthavens en opstijgplaatsen voor kiters, of afdaallocaties voor duikers zijn ook door het gebied heen verspreid. Tezamen vormt het een belangrijke economische sector voor het gebied die op verschillende manieren effecten, zowel positief als negatief, zal ondervinden van zeespiegelstijging en zandonger. De bepalende variabelen zijn de beschikbare locaties voor verschillende functies. Daarnaast is een aantal belangrijke functies afhankelijk van de droogvalduur, met name functies als strandrecreatie, en dagrecreatie zoals pierenspitten op de platen en slikken.

Figuur 24. Toegangsbeperkingen van kracht in de Oosterschelde (data: nationaal register, Toegangsbeperkingsbesluit Oosterschelde).



De wisselwerking met andere functies zorgt ervoor dat recreatie een verstoorende werking heeft. Door het verlies aan droogvallend areaal zal deze verstoring zeker toenemen. Op dit moment gelden er in het gebied deels toegangsbeperkingen om verstoring tegen te gaan. Deze beperkingen variëren van beperkte toegankelijkheid tijdens het broedseizoen tot volledige afsluiting voor alle functies (figuur 24).

De beperkingen gelden voor bijna alle recreatieve functies in meer of mindere mate en worden vastgelegd in Toegangsbeperkingsbesluiten onder de wet Natuurgebeer en in het kader van het Beheerplan Deltawateren. Zo geldt onder het Toegangsbeperkingsbesluit Oosterschelde bijvoorbeeld dat kiten alleen toegestaan is in speciaal daarvoor aangewezen zones, er ontheffingsvergunningen zijn voor het snijden van zeegroente op verschillende locaties (waaronder de Oesterput, Schor bij Rattekai, en de Rumoortschorren) en er gebieden zijn waar alleen gevaren of gezwommen mag worden mits deze niet drooggevallen zijn (waaronder de Krabbenkreek, Middelplaat en het Slaak).

Een effect van klimaatverandering zal zijn dat het habitat in de Oosterschelde zal veranderen. Dit heeft met name effect, waarschijnlijk positief, op duikrecreatie. Er is waarschijnlijk een nihil effect op de zichtbaarheid in het water omdat turbulentie of het aantal deeltjes in het water waarschijnlijk niet tot nauwelijks zal veranderen, zeker niet op de diepere duikplekken waar de zeespiegelstijging maar marginaal verhogend effect heeft. De biodiversiteit zal waarschijnlijk wel veranderen. Klimaatverandering, en dan met name temperatuurverschuivingen zullen voor migratie van diersoorten zorgen en veranderingen van ecosystemen, zoals bij de effecten op de ecologie benoemd (hoofdstuk 5). Vanuit het perspectief van duikrecreatie valt vooral te verwachten dat nu nog exotische soorten beter kunnen overleven in de Oosterschelde doordat er minder extreme koude zal zijn (die gewoonlijk voor afsterving zorgt) en de gemiddelde jaarrond temperatuur van het water toe zal nemen (paragraaf 4.4.). Dit biedt kansen voor soorten die nu zuidelijker voorkomen. De duiksport blijft daarmee net zo aantrekkelijk als dat die nu al is.

6.5 Energie

In het gebied wordt energie gewonnen door windmolens op de primaire keringen en in het achterland. Een tijdelijke proef met het winnen van getijde-energie in één van de poortjes in de kering is gestopt.

Windmolens bevinden zich weliswaar op de primaire kering, toch is de verwachting hier dat er geen effecten zijn van zeespiegelstijging of zandonger. In de vergunningverlening wordt nu al rekening gehouden met de dimensionering van de kering ter plaatse en zijn er voorschriften over de minimale hoogte en effect van elektriciteitsinfrastructuur op de kering. Op de lange termijn, ook bij een extreme versnelling van de zeespiegelstijging is de afschrijftijd van windmolens dusdanig kort dat bij toekomstige vergunningsaanvragen hier rekening mee kan worden gehouden.

De tijdelijke proef met het winnen van getijdenenergie is stopgezet omdat de stabiliteit van de kering niet gegarandeerd kon worden en het profijt niet voldoende bleek om de onzekere effecten op onder andere de stabiliteit van de kering en de zandonger te accepteren. Schatting in de vergunning voor de proef is dat gebruik van 1 poortje in de OSK de laagwaterstand met mogelijk een verhoging van 2 mm beïnvloed, wat leidt tot een verlies van 20 ha intergetijdengebied. In de nabije toekomst wordt niet verwacht dat dit weer opgestart wordt, mede omdat het nog steeds onbekend is wat de proefinstallatie voor winning van getijdenenergie en de daadwerkelijke grootschaligere winning voor effect heeft op de faalkanscriteria van de kering. Ook is onbekend wat de wisselwerking met de zandongerproblematiek is. Het is te veronderstellen dat grootschalige getijdenenergiewinning hier een mogelijk negatief effect op heeft door het verder reduceren van de nog bestaande dynamiek in een gedempt getij situatie.

6.6 Ruimtelijke kwaliteit

Ruimtelijke kwaliteit, bestaand uit het samenspel tussen gebruikswaarde, beleevingswaarde en toekomstwaarde, wordt in deze studie gespecificeerd in cultuurhistorische waarden (bijvoorbeeld archeologische resten) en landschappelijke waarden (bijvoorbeeld openheid). Gebruikswaarde en toekomstwaarde zijn

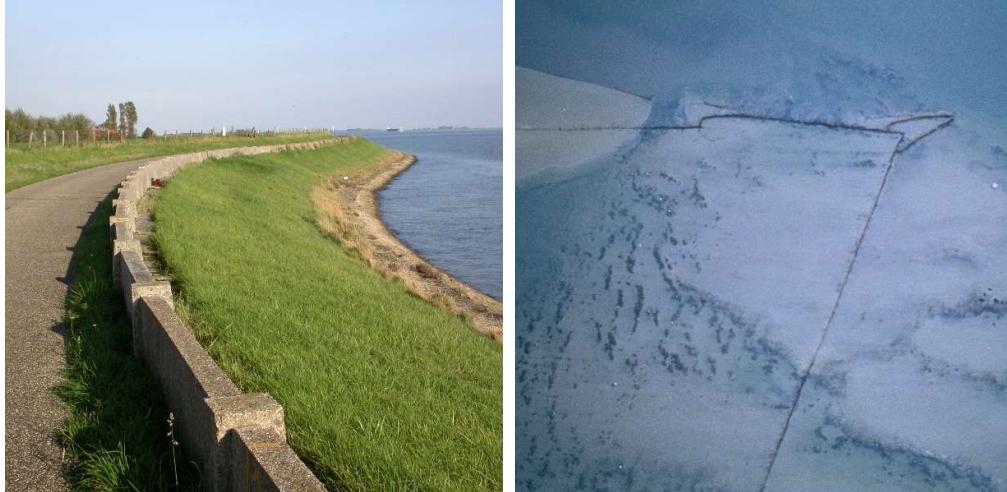
onderdeel van de eerder thema's. Wat betreft de eerste zijn er zowel fysieke aspecten als tradities die mogelijk beïnvloed worden door klimaatverandering.

6.5.1 Fysieke elementen

Op de bodem van de Oosterschelde zijn veel archeologische resten aanwezig waaronder verschillende verdronken dorpen waarvan de fundamenten veelal nog intact zijn. Bij laag peil bezoeken mensen zo nu en dan de resten. Met een stijgende zeespiegel zijn de resten minder vaak zichtbaar. Echter zijn ze hierdoor ook beter beschermd. Bij Westerschouwen (aan de Noordzee-kant nabij de Pijlerdam van de Oosterscheldekering) liggen resten waar zand over wordt gespoten om te voorkomen dat mensen spullen meenemen of zich bezeren aan uitstekende stenen.

Langs de dijken rondom de Oosterschelde zijn verschillende historische elementen aanwezig. Zoals Muraltmuren, landbouwhaventjes (zoals die bij Burgsluis en Vianen), veerhaven en havenarmen (Rattekai) en Oesterputten. Het is niet de verwachting dat deze als zodanig bedreigd worden als gevolg van klimaatverandering behalve wat betreft de havens (zie paragraaf 6.3). Wel zal de zichtbaarheid vanaf het water minder worden bij doorgaande dijkversterkingen. Indirect effect daarbij is het verlies van historische elementen waaronder ook dijkglooien en bekleding die cultuurhistorisch waarde hebben (verlies trad recent al op bij het project zeebewerkingen).

Figuur 25. Links een muraltmuurt bij de Oosterlandpolder (RWS Beeldbank, Jan van den Broeke), rechts de praktijk van weervisserij waar op een plaat een trechter met aan het eind een fuik is geplaatst (RWS Beeldbank)



Een belangrijk aspect aan ruimtelijke kwaliteit is de beleevingswaarde. Het verlies aan van intergetijdengebied zal met name de diversiteit en afwisseling in beleving

sterk beïnvloeden. Hoewel de openheid blijft is het verlies van een divers intergetijdengebied duidelijk een negatief effect voor de Oosterschelde dat mogelijk doorwerkt in de recreatieve activiteiten in het gebied.

6.5.2 Tradities en folklore

Verschillende soorten van visserij behoren tot de traditie (folklore) in het Oosterschelde gebied. Bijvoorbeeld weervisserij en pierensteken ([Zie ook 6.1 Aquacultuur en visserij](#)). Een andere meer traditionele functie is de activiteit van Het Genootschap “Kor en Bot” die op de Oosterschelde naar fossielen en botten vist. Hierbij wordt een kor over de bodem gesleept om fossielen en botten uit fossiele lagen te halen (en dus niet om bot te vangen). Waarschijnlijk door de zandhonger, en daarmee het ondieper worden van de geulen, worden er momenteel al steeds minder fossielen en botten naar boven gehaald. Het genootschap verplaatst de tochten daarom steeds meer richting de Westerschelde. De verwachting is dat dit meer en vaker zal gebeuren met de doorgaande zandhonger.

Een andere traditie die ook recreanten trekt is de oogst van zeevruchten zoals zeevruchten en lamsoor gesneden op de slikken en schorren van de Oosterschelde. Dit zal in samenhang met het verlies van het areaal intergetijdengebied onder druk komen te staan totdat het areaal volledig verdronken is. Hetzelfde geldt voor het recreatief oesters ‘plukken’, zoals het door sommige bedrijven verkocht wordt, het voor eigen gebruik tot maximaal 10 kilo oesters oogsten is toegestaan op 14 plekken in Nederland, waarvan 7 in de Oosterschelde ([Wildplukwijzer 2019](#)). Ook dat zal nog kunnen zolang er areaal beschikbaar is, maar zal daarmee ook druk leveren op de natuur en het andere gebruik van het intergetijdengebied zoals de commerciële oesterkweek. Beide activiteiten zullen bij 1 meter zeespiegelstijging niet meer in hun huidige vorm uitgevoerd kunnen worden.



Suppletie bij de Oosterscheldekering

7. Oplossingen en redeneerlijnen

Een aantal oplossingen en redeneerlijnen voor de effecten van zeespiegelstijging, zandhonger en temperatuurstijging zijn beschouwd. Eerst volgt een schets van twee oplossingsrichtingen die integraal op het gebied effect hebben: een ander sluitregime zoals doorgerekend in hoofdstuk 3 en de huidige suppletiestrategie en de houdbaarheid ervan. Daarna is ingegaan op enkele afzonderlijke oplossingen voor een aantal functies in het gebied. Voor een deel van de thema's en functies zijn geen of nauwelijks oplossingen beschikbaar (zie bijlage 3).

7.1 Naar een ander sluitregime

Vaker en langer sluiten leidt tot minder water doorstroom en tot minder aanvoer/doorstroom van de primaire productie met als gevolg minder voedsel voor filtrerende bodemdieren zoals mossels en kokkels. Bij langere periodes van hoog water zullen de platen voor langere tijd niet beschikbaar zijn als foageergebied voor vogels en als ligplaats voor zeehonden. De verwachting is dat dit speelt bij een zeespiegelstijging 0,5 meter. In combinatie met het feit dat de Oosterscheldekering op een gegeven ogenblik ook niet meer voldoet aan de veiligheidseisen, zal op de lange termijn naar nieuwe oplossingen gezocht moeten worden. De primaire functie van de OSK als stormvloedkering zal op termijn niet haalbaar meer zijn omdat er ook gesloten wordt op basis van een klein beetje wind op de Noordzee. Als de dijken geotechnisch in staat zijn om langdurig hoge waterstanden te keren, kan zelfs worden overgestapt op een sluitregime waarbij alleen gesloten wordt als anders golfoverslag dreigt op te treden. In dat geval kan de toename van de sluitfrequentie door zeespiegelstijging zelfs drastisch omlaag worden gebracht. Het vermogen van de dijken om langdurig hoge waterstanden te keren is echter nog vrij onzeker.

Op de langere termijn en in het worst case scenario (dat wil zeggen 200 cm zeespiegelstijging) zal gezocht moeten worden naar andere beheerstrategieën, vooral ten aanzien van de natuurwaarden. De huidige kering zal bij 200 cm ZSS vaak en lange tijd dicht zijn. Hierdoor zal het Oosterschelde systeem verschuiven naar een systeem met veel minder verversing en andere waterstanden, deels vergelijkbaar met de huidige Grevelingen en Haringvliet. Voldoende verversing met

Noordzeewater is daarbij een belangrijk aandachtspunt om een gezond milieu te behouden voor bodem- en waterleven. Een mogelijk herontwerp van een toekomstige kering zal hier rekening mee moeten houden (bijvoorbeeld door middel van het realiseren van een gedempt getij), evenals dat de huidige en toekomstige versterkingen van de primaire keringen in het gebied een belangrijke afhankelijke parameter zijn van de configuratie van de OSK. Dit is echter pas een overweging na 2100 gezien de technische staat van de OSK en de onzekerheden in de snelheid van ZSS. Het is wel van belang hier tijdig over na te denken en proactief te handelen zodat er geen onwenselijke ‘lock-in’ wordt gecreëerd, mede door investeringen niet goed tegen elkaar af te wegen.

7.2 Redeneerlijn suppletiestrategie.

In deze paragraaf volgt de redeneerlijn voor de huidige suppletiestrategie. De redeneerlijn is gebaseerd op een aantal principes die samenhangen met suppleren, dit zijn de volgende:

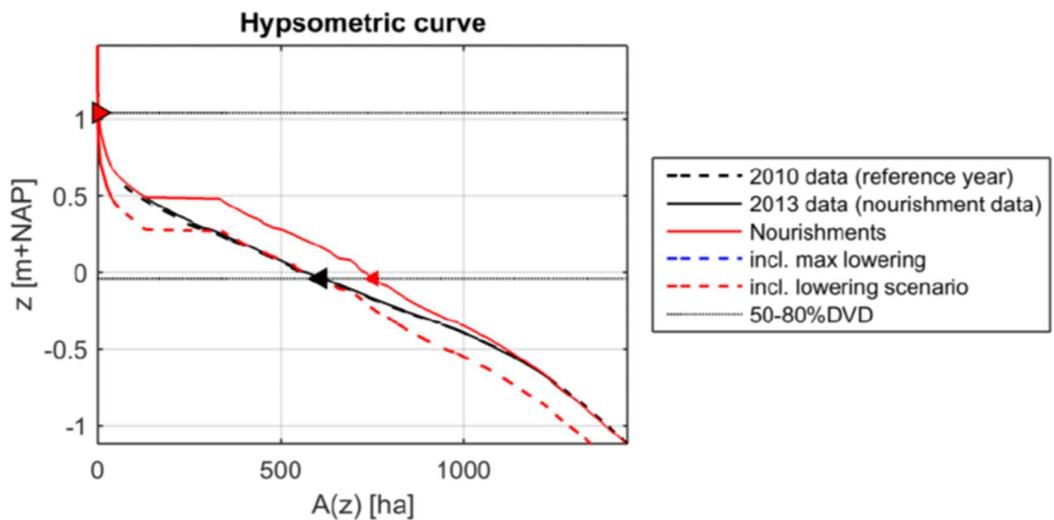
- Veiligheidsopgave met kering zoals nu of met alternatief sluitregime niet anders dan nu
- Schorren en slikken als voorland leiden tot een veel kleinere bres mocht een dijk bezwijken
- Suppleties in huidige vorm zijn relevant voor schorren door het suppleren van platen langs een schor om zijdelingse erosie te voorkomen. Maatregelen voor aangroei zoals mogelijke invangsystemen, suppleties met slib, vasthouden en mogelijk ontwikkelen van schorren en slikken door creëren van luwten zouden hier mogelijk een optie kunnen worden
- Suppleren voor vooroeververdediging op een aantal plekken mogelijk relevant maar maatwerk en geen totaaloplossing
- Suppleties vooral als strategie om zandplaten in stand te houden t.b.v. behoud en herstel van habitat voor foeragerende vogels. Voor waterveiligheid speelt mee dat de golfgroei op de Oosterschelde geremd wordt door het verminderen van diepte over de strikkelengte van de wind en relevant voor de maatgevende hoogwaterstanden bij een gesloten OSK

Op dit moment worden zandsuppleties gezien als beste oplossing voor het tegengaan van de afname in intergetijdengebied met bijbehorende effecten op natuurwaarden. Voor deze oplossing wordt bij versnelde ZSS scenario's in de toekomst

echter een kantelpunt voorzien waarbij de huidige berekende suppleties mogelijk niet langer opwerken tegen de ZSS en zandhonger.

Aan de hand van de Roggenplaatsuppletie is meer zicht op dit kantelpunt te krijgen. Ten tijde van het doorrekenen van het ontwerp hiervan is rekening gehouden met ZSS scenario van 0,4 cm/jaar en een verticale erosie van 0,5 cm/jaar ([De Ronde et al., 2013, van der Werf et al 2016](#)). Voor de 'levensduur' van de suppletie is 22 jaar aangehouden (periode 2010-2035). Het doel van de suppletie is in 2035 evenveel areaal met 50-80% droogvalduur (DVD) (met een hoge kwaliteit voor foeragerende vogels) te hebben als in het referentiejaar 2010. De verwachte gemiddelde relatieve plaatdaling tussen 2013 en 2035 is dan $22 \text{ jaar} * (0,5 \text{ cm/jaar} + 0,4 \text{ cm/jaar}) = \sim 20 \text{ cm}$. De suppletie wordt hoger aangelegd (figuur 26, rode lijn) en erodeert langzaam naar de juiste hoogte met in 2035 een areaal dat gelijk of groter is dan het areaal in 2010 (figuur 26, rode gestippelde lijn). Daarna neemt het areaal weer verder af door erosie en ZSS.

Figuur 26. Voorbeeld van suppletieontwerp Roggenplaat.
De rode lijn is veranderingen in areaal door suppletie. De gestippelde rode lijn is de verandering in areaal na in dit geval 22 jaar met nog net het doelareaal in 2035. De lichtgrijze lijnen geven de 50-80% droogvalzone, suppletie daarboven heeft geen ecologische meerwaarde omdat bodemdiere daar minder leven en vogels dus minder foerageren (figuur uit [Van der Werf et al 2016](#)).



Als dit doorgerekend wordt voor de versnelde zeespiegelscenario's, leidt dat tot het volgende. Er is vanuit gegaan dat suppleren boven het areaal van 50-80% DVD geen ecologische meerwaarde heeft en dat daarmee de levensduur van de suppletie zelf niet verlengd kan worden. Vooral vanaf een 1 cm stijging per jaar (wat na 2070 de snelheid zal zijn bij een scenario van 1 meter in 2100) zal de levensduur van de huidige vorm van suppleties sterk afnemen van 22 naar 13 jaar. Dit betekent dat als een plaat wordt opgespoten met zand op de manier zoals bij de

Roggenplaat, dat het beoogde areaal 50-80% DVD na 13 jaar al weer verdronken is in tegenstelling tot de eerdere genoemde 22 jaar.

Dit heeft ook gevolgen voor de cyclus waarin (kern)gebieden worden gesuppleerd. Doordat het bodemleven na een suppletie minstens 4 jaar moet herstellen, is het niet mogelijk om grote delen van de platen in de Oosterschelde tegelijk te suppleren. Er is dan te weinig areaal over voor foeragerende vogels. De platen in de Oosterschelde zijn opgedeeld in 8 kerngebieden voor vogels (zie hoofdstuk 5). Nu is de insteek om per 5 jaar steeds één van die kerngebieden te suppleren ([MIRT 2013](#)). Zo zijn de overige kerngebieden nog beschikbaar voor vogels en krijgt het bodemleven de tijd om te herstellen. Tegen de tijd dat de eerste suppletie zijn levensduur heeft gehad (22-25 jaar), zijn alle gebieden gesuppleerd en kan weer begonnen worden met het eerste kerngebied. Zo kan het gebied grotendeels behouden blijven. Bij een levensduur van 13 jaar, moeten er ongeveer drie van deze kerngebieden tegelijkertijd worden gesuppleerd bij een cyclus van 5 jaar met in totaal 8 kerngebieden. Een aanzienlijk gebied (bestaande uit 3 kerngebieden) is dan 4 jaar niet beschikbaar voor foeragerende vogels. Als de ZSS nog sneller gaat (200 cm in 2100, > 2 cm stijging per jaar) en de suppleties maar een levensduur van 6,5 jaar hebben, is geschikt foageergebied helemaal niet meer te realiseren omdat bijna alle gebieden in een keer gesuppleerd moeten worden en de hersteltijd van het bodemleven al 4 jaar is.

Wat heeft dit nu tot gevolg? Door de versnelde ZSS scenario's, waarbij het vooral om de toename in stijgsnelheid gaat, zullen de suppleties elkaar eerder opvolgen of veel groter of hoger moeten zijn, en de verwachting is dat daarmee het kantelpunt voor de efficiëntie van de huidige suppleties rond 1 cm stijging per jaar ligt. Door alle onzekerheden over de ZSS is het lastig dit op een tijdschaal uit te drukken, maar naar verwachting gaat dat bij een scenario van 1 meter in 2100 ergens tussen 2070 en 2100 zijn. Daarnaast zal de suppletie de erosie beïnvloeden, maar het is vooraf moeilijk in te schatten wat dit effect zal zijn. Hierdoor kan de levensduur van de suppleties mogelijk hoger liggen dan nu in dit voorbeeld is berekend. Een andere mogelijke stuurknop is de samenstelling van een suppletie, die onbekende effecten op de levensduur heeft. Dit vraagt nader onderzoek.

De verwachting is dat de onzekerheden in de marge in zandhonger (d.w.z. zwakt mogelijk wat af) en in ZSS (d.w.z. mogelijke versnelling) elkaar de komende tijd

opheffen. Op basis hiervan kunnen nog de huidige suppletiescenario's in elk geval gehanteerd worden tot omstreeks 2060, zelfs bij een extreme zeespiegelstijging. Wat er na 2060 gebeurd, hangt af van hoe snel de zeespiegelstijging doorzet.

Samenvattend, het kantelpunt voor de efficiëntie van de huidige vorm van suppleties ten aanzien van de natuurwaarden wordt bepaald door de snelheid van zeespiegelstijging in relatie tot de hersteltijd van benthos en de grootte van het oppervlak dat per suppletie tijdelijk niet beschikbaar is voor vogels. De verwachting is dat dit pas bij stijgsnelheden van meer dan 1 cm per jaar optreedt. In dit kader is het belangrijk om vinger aan de pols te houden en strategieën en natuurdoelen bij te stellen zodra de er sprake lijkt te zijn van afname in de trends.

7.3 Andere suppletie- en beheerstrategieën

De verwachting is dat op de langere termijn gezocht zal moeten worden naar andere suppletie- en beheerstrategieën voor het gebied. Hierbij valt te denken aan een andere manier van suppleren waardoor de levensduur van de suppletie verlengd wordt en waarbij dynamischer wordt omgegaan met de oppervlaktes van verschillende droogvalduren:

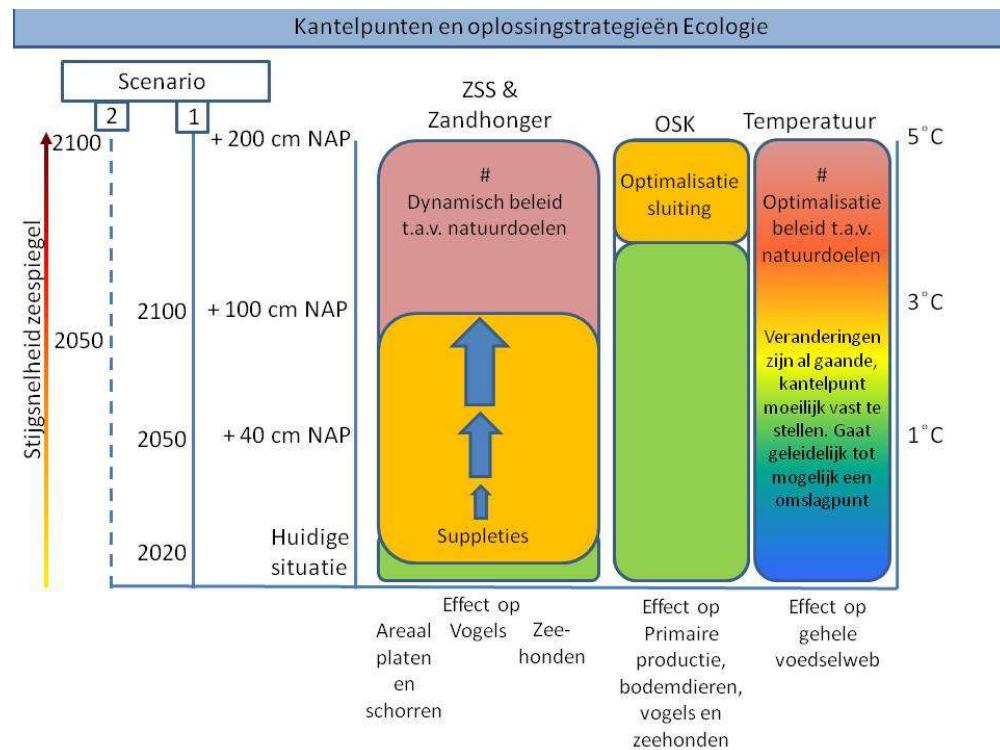
- Een deel van de suppletie op de plaat in een dikkere laag aanleggen. Hierdoor kan een groter deel van de plaat voor langere tijd ongeschikt zijn voor vogels (bijvoorbeeld zones die jarenlang hoger dan 80% DVD liggen), maar wordt de levensduur van de suppletie mogelijk wel verlengd. Hiervoor is meer zand nodig en het brengt hogere kosten met zich mee. Dit zal nader onderzocht moeten worden, ook ten aanzien van de mogelijke schaalvoordelen voor de kosten.
- De gehele suppletie in een dikkere laag aanleggen, ook de zones lager op de plaat. Ook hiervoor is veel meer zand nodig, brengt hogere kosten met zich mee en zal nader onderzocht moeten worden, bijvoorbeeld vanuit de gevolgen voor benthos en vogels, maar ook vanuit de kosten en baten verhouding.

Bij scenario's van 100 cm en 200 cm ZSS in 2100 met een sterk versnelde stijging is het echter de vraag of suppleties überhaupt effectief blijven voor de instandhouding van de huidige natuur. Hier zijn ook kosten aan verbonden, naast het fysieke

kantelpunt door gebrek aan tijd om te herkoloniseren door benthos. In dat scenario is een andere dynamische benadering van de natuur nodig. Het vasthouden aan de huidige natuurdoelen is dan niet realistisch meer. Het doel van suppleties in de Oosterschelde zal waarschijnlijk in die scenario's verschuiven van natuur naar kustverdediging en veiligheid. Hiervan zou de natuur nog wel (enigszins) kunnen profiteren, denk aan bijvoorbeeld de Veiligheidsbuffer Oesterdam-Oosterschelde. De verwachting is dat het systeem op de langere termijn in extreme scenario's van zeespiegelstijging zal verschuiven van een systeem met slikken, platen, ondieptes en geulen naar een systeem met nog enkele hoge drooggallende platen, meer ondieptes en geulen. Het systeem herbergt dan een heel andere vorm van natuur met mogelijk meer onderwaternatuur, vis en watervogels als (duik)eenden en sterns dan dat nu het geval is. Dit gaat dan wel ten koste van de drooggallende platen met benthos en foeragerende steltlopers.

Een samenvattend overzicht van mogelijke kantelpunten voor de ecologie en de eventuele oplossingsstrategieën is weergegeven in figuur 27.

Figuur 27. Overzicht van mogelijke kantelpunten voor de ecologie. Harde kleurovergangen geven de verwachte kantelpunten weer t.a.v. ZSS & zandhonger, OSK en temperatuurstijging. Op basis van deze kantelpunten kan er gekozen worden voor nieuwe strategieën. Voor temperatuur gaan de veranderingen meer geleidelijk. Ten aanzien van het areaal platen (en dus de vogels en zeehonden), zal bij sterk versnelde stijging gezocht moeten worden naar dynamisch beleid ten aanzien natuurdoelen. Voor de ecologie i.r.t de ZSS en zandhonger is het kantelpunt al geweest of komt het in de nabije toekomst. Kantelpunt voor de primaire productie voor de OSK ligt rond de 150-200 cm ZSS. Kantelpunt voor temperatuur is niet te duiden en zal naar verwachting geleidelijk gaan, maar ook dit is sterk afhankelijk van de snelheid waarmee de temperatuur gaat oplopen.



Als beheerstrategie tot die tijd verdient het de aanbeveling om goed naar de zonering van activiteiten over het verloop van de tijd te kijken. Door middel van goede ruimtelijke ordening en toegangsbeperkende besluiten inclusief handhaving valt er

in elk geval tot 1 meter nog veel te sturen in de totale stress voor (broed)vogels en rustende zeehonden. Op basis van de analyses is hier ook richting aan te geven: bescherm vooral die gebieden die het langst boven water blijven, en die waar de relatieve druk door zandhonger en zeespiegelstijging (met name in het westen) het hoogst is.

Een mogelijke no-regret maatregel is het aanpassen van het sluitregime voor de Oosterscheldekering. Zo wordt het effect van sluitingen uitgesteld en kan op termijn mogelijk ook in onkosten voor beheer en onderhoud besparen. Hiervoor zal wel nader onderzocht moeten worden met welke criteria dit optimaal kan zonder dat de waterveiligheid in het geding komt en hoe bijvoorbeeld met noodsluitingen omgegaan wordt.

Specifiek voor schorren en slikken kan nog gedacht worden aan het door ontwikkelen van kleisuppletie en het vastleggen van schorren (door middel van dammen of biobuilders). Voor het (enigszins) behouden van de slikken en schorren op de korte termijn, loopt er momenteel een pilot naar het suppleren met slib (RWS/Natuurmonumenten). Mogelijk biedt dat naast het vastleggen van de slikken en schorren met dammen nog mogelijkheden om de slikken en schorren enigszins te behouden en mee te laten groeien met de ZSS. Ook dit is echter eerder uitstel van verlies van het totale areaal dan een duurzame oplossing.

Beleidsontwikkeling is daarnaast nodig over de wijze waarop met ecologie om wordt gegaan. Verandering van het ecosysteem vraagt ook om verandering van instandhoudingsdoelen. Dynamischer beheer en de transformatie en ontwikkeling van natuurwaarden vragen het tijdig opstellen van beleid. Hierbij is de discussie over instandhouding van iets dat mogelijk binnen enkele decennia niet haalbaar is ook een aandachtspunt binnen de maatschappelijke en financiële context. Dit sluit aan bij de kennisvragen voor natuur en ecologie in de Zuidwestelijke Delta binnen de herijking van het Deltaprogramma.

7.4 Oplossingen voor functies

Hieronder zijn voor een aantal functies nog kleinere oplossingen benoemd zoals die effectief lijken te zijn bezien vanuit de kantelpuntenbepaling en gedurende de verschillende gesprekken.

7.4.1 Ecologie

Voor de ecologie zijn er meerdere oplossingen denkbaar die bijdragen aan de reductie van bovengenoemde effecten. Vanuit het estuarium systeem gezien is de verversing een zeer belangrijk aandachtspunt. Dit is (deels) te garanderen door doorstroom van water te behouden, ook bij gesloten kering. Naast maatregelen op systeemniveau, blijft ook bescherming op soortsniveau zeer relevant. Door ruimtelijke zonering voor stiltegebieden te behouden en waar nodig te herzien, wordt verstoring van (broed)vogels beperkt. Daarnaast kan ook de binnendijkse natuur versterkt worden voor deze vogels. Hierbij zijn vooral predatievrije broedgebieden van belang.

7.4.2 Mosselen en oesters

Voor de mosselsector zijn er meerdere oplossingen denkbaar die bijdragen aan de reductie van bovengenoemde effecten. Veel van deze oplossingen zijn ook relevant voor de oestersector. De eerste belangrijke oplossingsrichting vanuit EZZO bezien is de ingezette verschuiving naar hangcultuur. Hierdoor neemt de invloed van bodem-gebonden predatie en ziekteverspreiding af. Ook wordt met hangcultures het effect van verlies aan areaal voorkomen. Tevens blijkt dat hangculturen efficiënter omgaan met de voedselbeschikbaarheid en het kweekrendement daardoor een factor ~2,5 hoger is (1,5 kilo mosselen versus 4 kilo per kilo mosselzaad) ([Hemert 2012](#)).

Op termijn kan overwogen worden om de mosselcultuur naar de voordelta te verplaatsen. Hiermee verliest de sector het grote voordeel van de beschutting in het estuarium, maar kan de bedrijfsvoering wel doorgang vinden bij minder voedselbeschikbaarheid door regelmatige sluitingen van de OSK. Dit is echter op een termijn waar de huidige bedrijfsvoering nog geen rekening mee hoeft te houden, omdat het bij de huidige scenario's voor zeespiegelstijging pas na 2100 aan de orde is (bij een zeespiegelstijging van >2 meter).

Voor de oestersector is er ook al een beweging gaande van de bodem af. Dit biedt voorlopig voldoende perspectief bezien vanuit de effecten van zeespiegelstijging en zandonger. De belangrijkste drukfactor waarvoor een oplossing gevonden zal moeten worden als zeespiegelstijging doorzet is de ruimtelijke druk op het gebied waar de oesters nu gekweekt worden. Ook hier zijn elders voorbeelden van

drijvende teelt die uitkomst zou bieden voor zowel de directe effecten van zeespiegelstijging als de indirecte druk die erdoor op het gebied ontstaat.

Een laatste oplossing voor beide sectoren is om, als de invang van mosselzaad en oesterzaad stagniert, dit te verplaatsen naar zogenaamde hatcheries; kweekbasins onder gecontroleerde omstandigheden. Momenteel is dat niet kosteneffectief ten opzichte van invangen, maar de gecontroleerde omstandigheden op de wal maken het op termijn een mogelijke oplossing mochten de klimatologische omstandigheden daartoe aanleiding geven.

7.4.3 Scheepvaart

Voor de scheepvaart zijn er een aantal mogelijke oplossingen die ook voor de beheerders van de infrastructuur nuttig zijn om de kosten die gepaard gaan met meer schut en brugbewegingen te beperken. Er is veel innovatie in het optimaliseren van schutcapaciteit en schutsnelheid bij sluizen. Hierbij valt te denken aan andere deuren of werktuigbouwkundige oplossingen en beter voorsorteren of managen van de verkeersstroom. Bij bruggen is een belangrijke eerste oplossing konvoovaart, wat in de recreatievaart al vaker gebeurt om stremmingen op de weg of spoor te voorkomen.

Op de langere termijn en meegekoppeld bij vervanging van infrastructurele kunstwerken of grootschalige renovatie zijn ook oplossingen denkbaar. Het gaat dan om het verhogen van bruggen om mee te stijgen met de zeespiegel. Hier valt ook te denken aan het vervangen van de vaste delen van bruggen zodanig dat ze in de toekomst op te vijzelen zijn. Afhankelijk van het type brug zijn er ook ontwikkelingen in het sneller open en dicht gaan die toegepast kunnen worden. Voor sluizen geldt idem dito dat het logisch is om bij vervanging na te denken over een toekomstbestendige grootte bezien vanuit schutduren maar ook vanuit waterbeheer om zoutindringing door hogere verhang met het binnenwater te voorkomen.

7.4.4 (Haven)infrastructuur binnen- en buitendijks

Uiteraard zullen in de versterkingen van de primaire keringen de verschillende opties in relatie tot de kering meegenomen moeten worden. Lokale dijkversterking waar mogelijk en nodig is uiteraard logisch, maar vraagt voldoende financiële armslag bij de beheerder van de keringen wanneer een snellere stijging zich voor doet.

Voor de veiligheid zal op de lange termijn suppletie voor multifunctioneel gebruik, zoals recreatief medegebruik, een belangrijke optie zijn.

Voor de buitendijkse (haven)gebieden zijn er meerdere oplossingen in de tijd. Op de kortere termijn voor het tegengaan van water op de kade zijn kademuurtjes op veel plekken realiseerbaar. Hierbij moet ook gedacht worden aan voldoende hoge palen voor drijvende steigers zodat die niet wegdrifven. Deze palen kennen via de vergunning al een robuuste dimensionering, maar als het sluitregime van de OSK wijzigt, dan kan het zijn dat een deel van de palen niet hoog genoeg is.

Op de langere termijn (en idealiter meegekoppeld bij renovatie of vervanging van delen in de havengebieden) zijn er verschillende oplossingen, met elk een andere kostenindicatie. Gebouwen en infrastructuur op het haventerrein kunnen zogenaamd overstromingsbestendig worden gemaakt, bijvoorbeeld door ze van buiten of van binnen geschikt te maken om nat te kunnen staan tot een bepaalde hoogte. Vaak is de constructie hiervoor een dwangpunt. Hiernaast, en kostbaarder, zijn de opties integraal ophogen van de kades of het deels of volledig verplaatsen van haveninfrastructuur naar achter de primaire kering.

Cultuurhistorie is hierbij ook een aandachtspunt. Voor veranderende stromingen kan onderwater bedekking met zand een goede oplossing zijn, mits gemonitord en regelmatig weer toegepast. Andere opties zijn hetzelfde als die voor gebouwen op haventerreinen. Een additionele optie die specifiek voor golfbelasting kan werken is de aanleg van kunstmatige riffen. Dit zou bijvoorbeeld een optie kunnen zijn om cultuurhistorisch waardevolle muraltmuurtjes plaatselijk in het zicht te houden.

Een punt dat nog niet veel aandacht heeft gehad in deze rapportage zijn de effecten van zeespiegelstijging op het waterbeheer in het achterland, dit zat niet in de scope van deze studie. Hiervoor zijn echter wel een aantal oplossingen langsgekomen die relateren aan onder andere de sluizen voor de scheepvaart omdat het verhang uiteraard samenhangt met het binnenpeil. Een oplossing die hier op de korte termijn is langs gekomen is het verhogen van de spuicapaciteit door na te denken hoe het spuivenster optimaal benut kan worden met een stijgende zeespiegel. Dit houdt ergens op en dan zullen substantiële maatregelen genomen moeten worden. Dit begint bij flexibilisering van de peilen zodat er meer bergingscapaciteit is ten aanzien van de kleinere spuivensters, daarna zal ook

pompcapaciteit van gemalen verhoogt moeten worden. Op de langere termijn zal er nagedacht moeten worden over hogere peilen in het binnenland, waarop veel van de huidige infrastructuur en gebruik op aangepast moet worden. Dit is een majeure opgave vanuit zowel de fysieke inrichting als de culturele verbinding van omwonenden en gebruikers.

7.5 Andere denkbare slimme combinaties

Binnen het Oosterschelde systeem ligt op de langere termijn (2050-2100) een aantal koppelkansen waar veiligheid, recreatie en natuur mogelijk van elkaar kunnen profiteren:

Dynamische dijkversterking: voor een aantal dijktrajecten langs de Oosterschelde is dijkversterking met bredere, hogere dijken in de toekomst niet mogelijk. Zandsuppleties of begroeide voorlanden kunnen daar ingezet worden voor het reduceren van golven en creëren van flexibiliteit, zoals de Veiligheidsbuffer Oesterdam of het zandige voorland bij Westkapelle ([Vuik 2019](#)). Deze zandsuppleties kunnen ook een positief effect hebben op natuurwaarden als ze op de juiste manier worden ingericht. Zandsuppleties/strandhaken, die iets van de dijk afliggen, kunnen bijvoorbeeld belangrijke rustgebieden vormen voor vogels en zeehonden. Dit kan samengaan, mits goed ingericht, met het behouden of zelfs verhogen van de natuurbeleving voor bewoners en bezoekers die het gebied van een afstand kunnen bekijken of deels kunnen betreden.

Bestaande oesterriffen worden in de autonome situatie voor het Deltaprogramma meegenomen en hebben een kleine bijdrage voor de waterveiligheid en natuurwaarden. Mogelijk kan de aanleg van kunstmatige riffen in de toekomst meer bijdragen aan de waterveiligheid. Dit kan zoals hierboven genoemd samengaan met het beschermen van cultuurhistorische artefacten, maar heeft ook een belangrijke rol voor benthische leefsystemen die op termijn in de ondiepe wateren van belangrijke ecologische waarde zullen zijn voor vogels en vis.



Een gevulde kolk van de Kreekraksluizen

8. Conclusies

De volgende conclusies over de effecten van zeespiegelstijging, zandhonger en het huidige en een alternatief sluitingsregime van de Oosterscheldekering kunnen getrokken worden. Alle kantelpunten die het systeem substantieel raken, liggen tussen 0,5 en 1,5 meter zeespiegelstijging met een maximale stijging van 1 cm/jaar, mits blijvend gesuppleerd wordt. Vanaf 0,5 meter zeespiegelstijging is er een sterke reductie in intergetijdengebied. Schorren en slikken zullen grotendeels verdwenen zijn bij 1 meter of meer zeespiegelstijging. Veel van de huidige ecologische waarden kunnen tot die tijd in stand worden gehouden, de mosselvisserij heeft voldoende voedsel beschikbaar, er is enige ruimte voor recreatief medegebruik en de haven en scheepvaartinfrastructuur is nog goed bruikbaar. Een toename van suppleties en een toenemende ruimtelijke druk op het gebied zijn belangrijke neveneffecten voor de beheerder. De huidige suppletievorm is tot een jaarlijkse stijging van 1 cm houdbaar, daarna neemt de snelheid van erosie te snel toe. De Oosterscheldekering zal pas na 1-1,5 meter zeespiegelstijging substantieel veel vaker sluiten, al is de conclusie dat er mogelijkheden zijn om minder vaak te sluiten door een andere sluitregime te hanteren (zie hieronder).

De conclusie is dat bij een verdere zeespiegelstijging en dan vooral met een snelheid hoger dan 1 cm/jaar, de huidige intergetijdennatuur en verschillende functies waaronder de oesterteelt en verschillende cultuurhistorische functies, weinig tot geen areaal meer hebben om naast elkaar te kunnen voortbestaan. Dit zal bij een zeespiegelstijging van 1 meter in 2100 plaatsvinden tussen 2070-2100. De infrastructuur voor de scheepvaart en waterbeheer zal, afhankelijk van het sluitregime van de Oosterscheldekering, bij meer dan 1 meter zeespiegelstijging ook substantiële gevolgen ondervinden, waaronder een toename van de schuttijden en brugbewegingen, en overstroming van haventerreinen.

8.1 Alternatief sluitregime Oosterscheldekering

Op dit moment wordt de Oosterscheldekering gesloten als de verwachte zeewaterstand bij Roompot Buiten het niveau van NAP +3,0 meter gaat overschrijden. Als dit sluitcriterium gehandhaafd wordt, zal de kering naar verwachting gemiddeld 85 keer per jaar moeten sluiten bij een zeespiegelstijging van 1 m, en 662 keer per jaar bij 2 m. De kering zal dan respectievelijk 6% en 62% van de tijd gesloten zijn.

De conclusie is dat de sluitfrequentie veel lager zou zijn, als deze pas gesloten wordt op het moment dat er na voltooiien van de sluiting enige golfoverslag over de dijken rond de Oosterschelde zou plaatsvinden. Voor golfoverslag is namelijk gelijktijdig een hoge waterstand en harde wind nodig. Bij toepassing van een criterium voor het toelaatbare golfoverslagdebiet van 0,1 l/s/m blijft de totale sluitduur tot 2 m zeespiegelstijging lager dan 5% van de tijd, en blijft de sluitfrequentie beperkt tot 63 keer per jaar.

Als hoge waterstanden gedurende lange tijd worden overschreden, ontstaan er mogelijk eerder problemen voor de faalmechanismen ‘macrostabiliteit’ en ‘piping’. Er is momenteel nog onvoldoende duidelijk welke waterstanden de dijken rond de Oosterschelde gedurende langere tijd kunnen keren. Om die reden is als eerste pragmatische verkenning het MHW-niveau conform de HR2006 aangehouden als maximale waterstand bij de dijken. Dit criterium staat minder vaak toe om de kering open te laten dan het golfoverslagcriterium, en biedt ongeveer 0,5 meter ruimte ten opzichte van het huidige sluitcriterium, waarmee zeespiegelstijging opgevangen zou kunnen worden. Als dit sluitcriterium toegepast wordt, zal de kering naar verwachting gemiddeld 10 keer per jaar moeten sluiten bij een zeespiegelstijging van 1 m, en 522 keer per jaar bij 2 m. De kering zal dan respectievelijk 1% en 40% van de tijd gesloten zijn.

Dit heeft op verschillende functies en waarden in het gebied directe en indirecte effecten. Deze effecten werken met name door in de daadwerkelijke kantelpunten voor een aantal functies, zoals bijvoorbeeld overstroming van buitendijks gebied wat direct gerelateerd is aan het maximale peil van de Oosterschelde en op de voedselbeschikbaarheid voor de ecologie en mosselsector gedurende een sluiting.

8.2 Ecologie

De effectiviteit van suppleties zal niet afhangen van de zeespiegelstijging als zodanig, maar van de mate waarin dit plaatsvindt. De snelheid waarmee het macrobenthos de gesuppleerde gebieden herkoloniseert in combinatie met de oppervlakten en volumes van de suppleties, zijn de primaire indicatoren voor dit kantelpunt. Het kantelpunt is hier ingeschat op >1 cm per jaar. Voor de zeespiegelstijging en zandhonger t.a.v. de ontwikkeling van het areaal slikken en platen kunnen de

huidige suppletiestrategieën aangehouden worden tot circa 2060 ([MIRT 2013](#)). De conclusie is dat bij de huidige ZSS een suppletie circa 22 jaar in stand blijft. Bij een versnelde ZSS met 1 cm per jaar zal de levensduur van een suppletie afgangen tot circa 13 jaar. Bij hogere snelheden zal veel extra zand nodig zijn om de platen op hoogte te houden met de kans dat grotere delen langere tijd ongeschikt zijn voor foeragerende vogels. De conclusie is dat in die scenario's suppleren minder zin heeft en het stoppen met suppleren volgens de huidige strategie overwogen moeten worden.

Bij versnelde zeespiegelstijging is verlies van het huidige ecosysteem onontkoombaar. In scenario's met sterk versnelde zeespiegelstijging (met een snelheid van >1 - 2 cm per jaar) zal het systeem uiteindelijk onomkeerbaar veranderen van een systeem met slikken, platen, ondieptes en geulen naar een systeem met nog enkele hoge droogvallende platen met meer ondieptes en geulen.

De Oosterscheldekering heeft naar verwachting geen directe invloed heeft op de effecten van zeespiegelstijging op de beschikbaarheid van areaal aan slikken en platen in de Oosterschelde. Dit is een autonoom proces waar de kering alleen een rol speelt ten aanzien van het versterken van de effecten door de al bestaande zandhonger. De conclusie is dat het aanpassen van het sluitingsregime voor het behoud van de soorten die afhankelijk zijn van droogvallend plaatareal nauwelijks effect heeft. Voordat de OSK substantieel vaker sluit (boven 1 meter zeespiegelstijging) zullen de platen, schorren en slikken al verdronken zijn (omstreeks 1 meter). Langere perioden van hoog water en daardoor enkele getijcycli geen droogvallende platen door de zeespiegelstijging op zichzelf, is dan het voornaamste probleem voor intergetijdennatuur.

De sluitfrequentie en sluitduur van de Oosterscheldekering hebben invloed op de primaire productie en voedselbeschikbaarheid voor filter feeders als afgeleide van stroming door de kering. Het lekgat bedraagt 7% van het normale debiet en de dynamiek van primaire productie voor filter feeders, die van belang is voor zowel de natuur als de mosselsector, neemt met de toename van sluitingen af. Een ander sluitregime heeft echter pas boven 1,5-2,0 meter zeespiegelstijging positieve gevolgen voor de mosselsector en ecologie voor wat betreft een afname in voedselbeschikbaarheid.

8.3 Mossel- en oestersector

De effecten op de mossel- en oestercultuur slaan primair neer via de verandering in watertemperatuur. Deze effecten zijn zowel positief (langer groeiseizoen, hogere voedselbeschikbaarheid) als negatief (prevalentie van ziekte, predatoren, algen nemen toe). Alhoewel de sterfte door algen in bijvoorbeeld voorjaar 2019 al plaats vond, is het niet mogelijk om een exact kantelpunt aan te wijzen op basis van temperatuurverandering. De zandonger of het verlies aan areaal is geen relevante stressor voor de mosselsector, omdat enkele centimeters tot een meter dieper geen verschil maakt en de hangcultuur en verwaterpercelen hier baat bij hebben door het vrijkomen van huidige beschermde intergetijdengebieden. De oestersector zal wel naar maatregelen moeten zoeken zoals de al gebruikte tafelkweek en mogelijk overnemen van andere vormen van oesterkweek die elders gangbaar zijn.

Zeespiegelstijging werkt mogelijk door op stromingsprofielen en daarmee de afslag van mosselpercelen, maar dit effect is waarschijnlijk niet heel groot en nu nog grotendeels onzeker. Zeespiegelstijging werkt wel door via het sluitregime van de Oosterscheldekering, maar op basis van het in kaart brengen van de eerste effecten daarvan op voedselbeschikbaarheid voor mosselpercelen en doorstroming zijn de effecten in eerste instantie minimaal. Bij een ongewijzigd sluitregime en hetzelfde stormregime neemt de voedselbeschikbaarheid door verminderde doorstroming en aanvoer van primaire productie door de wisselwerking met de voordelta pas bij $>1,5$ meter zeespiegelstijging in het groeiseizoen af. Als er ruimte wordt gevonden om het sluitregime op te rekken, zoals in hoofdstuk 3 als kansrijk is aangetoond, dan valt dit moment pas na 2 meter zeespiegelstijging.

8.4 Ruimtegebruik

Ten aanzien van het ruimtegebruik is de belangrijkste conclusie dat er sterk sprake van verhoogde ruimtedruk zal zijn bij doorgaande zeespiegelstijging. Dit geldt voor alle functies afhankelijk van de intergetijdengebieden. De druk op dit gebied zal met de afname van droogvalduur stijgen en al voor 2050 toenemen. Slimme oplossingen voor deze druk is strategisch te suppleren ten behoeve van dubbeldoelen op het gebied van recreatie, natuur en veiligheid. Ruimtelijke ordening van het

gebied door afsluitingen en zonering zullen in belang toenemen. Op lange termijn zullen ruimtelijke functies onherroepelijk wijzigen of moeten vertrekken (zoals nu al gebeurt met het vissen naar botten en fossielen, wat zich door de zandhonger verplaatst naar de Westerschelde).

Voor de buitendijkse gebieden zijn de kantelpunten in kaart gebracht. Het eerste kantelpunt is bij Bruinisse waar bij NAP 3+ meter water op het plateau komt, die bij NAP 3,30+ meter significante schade tot gevolg kan hebben voor laagst gelegen bebouwing. Voor de andere buitendijkse gebieden liggen de kantelpunten hoger. De conclusie is dat er ruimte is voor zowel kleinschalige oplossingen zoals kades, maar dat op termijn, alhoewel afhankelijk van het sluitregime, grootschaligere maatregelen zoals integraal verhogen van kades of het verplaatsen van activiteiten achter de primaire kering nodig zullen zijn. Veel hangt hierbij af van het sluitregime van de Oosterscheldekering die de effecten bij sluiting dempt.

Voor de beheerders van bruggen en sluizen zijn er duidelijke effecten van zeespiegelstijging te zien. Bij zeespiegelstijging zal voor een aantal bruggen de huidige CEMT klasse VIb voor de vaste delen niet meer gehaald worden tijdens de top van de getijcyclus. Het aantal brugbewegingen zal evenredig met de hoogte van de schepen meestijgen. Dit geldt in elk geval voor de Vlakebrug en Postbrug. Voor de hoogste klasse scheepvaart op dit traject (met een hoogte van de schepen van maximaal 9,10 meter boven het waterpeil) zullen de vaste delen van deze bruggen (resp. NAP 10,6+ meter en NAP 10,5+ meter) steeds korter bevaarbaar zijn. Hiernaast zullen ook de schutregimes van de sluizen langs de Oosterschelde moeten wijzigen bij stijging van de zeespiegel. De hele getijcurve schuift omhoog waardoor met name bij hoog water langer geschut zal moeten worden door de toenemende hoogte die overbrugt moet worden.



Drooggevallen Oosterscheldeplaat met de Zeelandbrug

9. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan de aanbevelingen op de drie deelonderwerpen van deze studie: alternatief sluitregime, ecologie en de suppletiestrategie, ruimtegebruik.

9.1 Alternatief sluitregime Oosterscheldekering

Op basis van de bestudeerde alternatieven voor het sluitregime en de afhankelijkheid van verschillende functies en waarden in het gebied is de aanbeveling verder door te werken aan de richting die ingezet is. Daarvoor zijn er een aantal aanbevelingen:

Veranderingen in de sluitstrategie hebben implicaties voor de prestatiepeilen op de Oosterschelde, en daarmee op de statistiek van belastingen op de omringende dijken. De aanbeveling is om deze invloed te kwantificeren, om de haalbaarheid van het opleggen van het sluitregime helderder inzichtelijk te maken. Bij de sluitduur in de berekeningen is een eenvoudige methode gehanteerd, vergelijkbaar met de huidige gemiddelde duur van een sluiting. In werkelijkheid wordt niet 2 uur na een overschrijding geopend, maar op het moment waarop het verval over de kering voldoende klein is, de exacte sluitduren zijn dus grilliger dan de vaste duur die hier gehanteerd is.

Er zijn voor de berekening van de effecten van alternatief sluiten 22 locaties verspreid langs de keringen rond de Oosterschelde genomen. Na beschikbaar komen van de rekenresultaten werd benoemd dat zich kwetsbare locaties achterin het kanaal door Zuid-Beveland, langs de Philipsdam en langs de Oesterdam bevinden. Er is rekening gehouden met de mogelijkheid van het bestaan van extra kwetsbare locaties door het rekenen met een 0,5 m lagere kruinhoogte en een ongunstig bijgedraaide dijkoriëntatie. Daarom zijn de hoofdconclusies van de studie naar alternatieven robuust. Bij vervolgstudie is de aanbeveling om andere en/of meer locaties mee te rekenen.

Voor de aanpasten regimes is hier uitgegaan van maatgevende hoogwaterstanden uit de zogenoamde HR2006. Deze waarden betreffen piekwaterstanden. Metingen in de dijken laten echter zien dat waterspanningen in de dijk (die de voornaamste aandrijvende kracht vormen voor geotechnische faalmechanismen) niet zozeer

reageren op piekwaterstanden, maar voornamelijk op de gemiddelde waterstanden over een bepaalde tijd (zogenaamde ‘quasi-statische’ waterstanden). De aanbeveling is om de resultaten uit deze verkenning verder uit te breiden met een sluitcriterium op basis van quasi-stationaire waterstanden.

De aanpassing van het sluitregime door meer criteria dan voorspelde waterstand voor het sluiten te hanteren introduceert meer onzekerheid. Nu is het voorspellen van de waterstanden al niet 100% accuraat, datzelfde geldt voor windsnelheid en windrichting. Onderzoek de voorspellfouten in windcondities en waterstand en rekenen deze door voor de effecten van sluitduur op het gebied.

Het noodmechanisme om de kering te sluiten is nu gebaseerd op het optreden van waterstanden. Er is nog geen inzicht in noodsluitingsmechanismen van de kering als die sluit gebaseerd op meer dan alleen waterstand. Nader onderzoek is hiervoor nodig.

9.2 Ecologie & suppletiestrategie

De aanpak van de zandhonger en zeespiegelstijging (waarbij nu nog de zandhonger dominant is en waarbij later de ZSS dominant zal worden) in de Oosterschelde, zoals die gestart is met het suppleren van de Roggeplaat in fase 1 (2015 - 2025), zal naar verwachting voorlopig onveranderd door kunnen gaan. Suppleren van de Galgenplaat is hier ook onderdeel van, omdat deze plaat na de Roggenplaat het snelst erodeert. Hiermee worden op korte termijn de instandhoudingsdoelen geborgd. Zoals ook beschreven in de structuurvisie ([MIRT 2013](#)) kan de aanpak voor fase 2 (2025 - 2060) worden gekozen op basis van de evaluatie van de effectiviteit van het suppleren van de Roggeplaat en Galgenplaat op dat moment aanwezige kennis over:

- De mate en snelheid van zeespiegelstijging
- Verdere ontwikkeling van de erosie door de zandhonger
- De populatieontwikkeling van steltlopers
- De werkelijke effectiviteit van de ingrepen

Afhankelijk van hoe de zeespiegelstijging in combinatie met de zandhonger zich op de lange termijn gaat ontwikkelen, zijn andere oplossingsstrategieën nodig. Ook

hierin kan de aanpak van de structuurvisie worden gevuld: vinger aan de pols houden door te monitoren en wachten tot het moment komt dat er ingegrepen moet worden. Het is echter wel van belang om ook alvast proactief na te denken over ander beleid en waar men naar toe wil met het Oosterschelde systeem tot en na 2100, *als* deze versnelde scenario's doorzetten. Het moment van ingrijpen zal eerder komen als de versnelde scenario's doorzetten. Beleidsontwikkeling zal door het ministerie LNV samen met het ministerie I&W en in EU-verband tijdig moeten plaatsvinden, met het oog op het feit dat dit langlopende beleidsontwikkelingsprocessen zijn.

Er hoeft alleen nu nog geen definitieve keuze gemaakt te worden over een aanpak op langere termijn. De suppleties van andere platen in de Oosterschelde zijn pas noodzakelijk na 2025 bij de start van fase 2 ([MIRT 2013](#)). Door te starten met het suppleren van de Roggeplaat kan de keuze voor de lange termijn aanpak van de zandhonger in de Oosterschelde worden uitgesteld tot 2025. Het kan daarbij wel nuttig zijn om opnieuw te berekenen hoeveel zand er nodig zal zijn als grotere delen of gehele platen worden opgespoten met een dikkere laag zand om de versnelde ZSS bij te houden. Het is onbekend wat voor effecten dit heeft op instandhoudingsdoelen, wat de kosten daarvan zijn en wat er technisch mogelijk is. De aanbeveling is dit inzichtelijk te maken zodat al op korte termijn bekend is wat de kosten en baten zijn van suppleren op de lange termijn bij de versnelde scenario's.

Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er ook op lange termijn continue gemonitord wordt hoe de platen en instandhoudingsdoelen zich ontwikkelen en hoe effectief de suppleties zijn en wat de effecten op de natuur zijn. De volgende aspecten zouden daarvoor in ieder geval continue gemonitord moeten worden:

- Monitoring hoogtezones (ofwel droogvalduurzones) en oppervlaktes
- Veranderingen bodemhoogte bij suppleties
- Herstel bodemdieren en foageerfunctie bij suppleties, ook van hoger gelegen delen
- Monitoring instandhoudingsdoelstellingen (d.w.z. vogeltellingen, zeehondentellingen etc.)

Er zijn echter nog veel onzekerheden en bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op een aantal conservatieve aannames, worst case scenario's en onzekerheden waar nog weinig over gezegd kan worden.

De aanbeveling is om onderzoek naar de effecten van ZSS, sluiting van de kering en temperatuur op de primaire productie uit te voeren. Hierbij is het belangrijk om ook de uitwisseling van primaire productie met de Voordelta mee te nemen. Er is onzekerheid omtrent zowel de hoeveelheid toegevoegde primaire productie als over de werkingsprincipes die de beweging van primaire productie door het Oosterscheldesysteem bepalen.

Doe onderzoek naar de effecten van temperatuurstijging op ecologische processen in de Oosterschelde. Hiervan zijn veel effecten, zowel soort-specifiek als voor de interacties in het ecosysteem nog onbekend.

Voer gedetailleerd onderzoek uit naar de suppletiestrategie na 2050-2060 om te onderzoeken wat precies nog mogelijk is bij welke suppletiescenario's in relatie tot versnelde zeespiegelstijging scenario's en zandhonger.

9.3 Ruimtegebruik

Het eerste belangrijke effect dat optreedt is toenemende ruimtedruk op het gebied. De aanbeveling is daarom om op basis van het afnemende areaal de ruimtelijke ordening en toelatingsbesluiten te bestuderen en op basis van de verandering wijzigingen van de zonering in de tijd te bestuderen. Hiermee kan voorgesorteerd worden op de groeiende druk op het intergetijdengebied. Uiteraard samen met gebiedspartners, belanghebbenden en gebruikers om tot een optimale verdeling van de steeds schaarser wordende ruimte over de tijd te komen.

Onderzoek samen met de oestersector wat haalbare alternatieve kweekvormen zijn bij verlies van intergetijdengebied. Hierbij zijn veel voorbeelden uit het buitenland die echter verandering van de bedrijfsvoering en vergunningen zullen vragen.

Zet de dialoog over systeemingrepen zoals het wijzigen of verwijderen van de kering binnen het Deltaprogramma door. Breng mogelijke pad-afhankelijkheden en kennisvragen hiervoor in beeld. Te denken valt aan het kantelpunt waarop het morfologisch systeem niet meer terug kan groeien bij wijziging van de OSK.

Ga met havenbeheerders en gebruikers in gesprek over de lokale implicaties van zeespiegelstijging en mogelijke gebiedsgerichte oplossingen. Hiermee kan voorgesorteerd worden op zeespiegelstijging gekoppeld aan beheer, onderhoud, renovatie en vervanging zodat tijdig en zonder meerkosten investeringen genomen kunnen worden.

Start met monitoring van de hoogte van schepen door de bruggen, zowel de vaste als beweegbare. Hiermee kan in beeld gebracht worden wat de exacte effecten zullen zijn bij zeespiegelstijging voor de brugbeheerders en de scheepvaart. Deze informatie kan samen met andere maatvoeringen (lading, tonnage, lengte, etc.) verzameld worden.

Doe onderzoek naar de implicaties van zeespiegelstijging op de omliggende watersystemen met specifiek aandacht voor de samenhang met een toename van schuttingen en de afvoer van water naar de Oosterschelde. Dit viel buiten de scope van deze studie maar er zijn effecten naar voren gekomen die zowel de druk op het systeem vergroten als die medebepalend zijn voor oplossingen voor functies in de Oosterschelde (met name peilstijgingen voor de scheepvaart).



Schor in de Oosterschelde

10. Referenties

- Arts FA, Hoekstein MSJ, Lilipaly SJ, van Straalen KD, Sluijter M & Wolf PA (2019) *Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2017/2018*. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening: BM 19.08.
- Cane MA, Clement AC, Kaplan A, Kushnir Y, Pozdnyakov D, Seager R, Zebiak SE, Murtugudde R. (1997) Twentieth-Century Sea Surface Temperature Trends. *Science* 275: 957-960.
- CLO (2015) *Vermestende stoffen in zout oppervlaktewater*. Compendium voor de leefomgeving Herkomst: www.clo.nl/indicatoren/nl0254-vermestende-stoffen-in-zout-oppervlaktewater. Laatst geraadpleegd op 22-10-2019.
- Clausen LW, Rindorf A, van Deurs M, Dickey-Collas M, Hintzen NT (2017) Shifts in North Sea forage fish productivity and potential fisheries yield. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55 (3). Pp. 1092 – 1101.
- Dégremont L, Guyader T, Tourbiez D & Pépin J-F. (2013) Is horizontal transmission of the Ostreid Herpesviro OsHV-1 in *Crassostrea gigas* affected by unselected or selected survival status in adults to juveniles? *Aquaculture* 408-409: 51-57.
- De Ronde JG, Mulder JPM, van Duren LA & Ysebeart T (2013) *Eindadvies ANT-Oosterschelde, Maatregelen ten behoud van natuur (Natura2000-instandhoudingsdoelen) en veiligheid in de Oosterschelde*. Deltas & WMR, Delft & Yerseke.
- De Vet PLM, van Prooijen BC & Wang ZB (2017) The differences in morphological development between the intertidal flats of the Eastern and Western Scheldt. *Geomorphology* 281 (2017) 31–42
- Deltas & HKV (2019) Zeespiegelmonitor 2018. De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Deltas, Delft.
- Duijts O, van der Jagt HA, van Moorsel G, Kruyt DB, Japink M & Middelveld RP (2018) Macrozoobenthos-bemonstering in de Zoute Rijkswateren, Hoofdrapport, MWTL 2017 Waterlichamen: Westerschelde en Oosterschelde. Bureau Waardenburg rapportnr. 18-299.
- Engelhard GH, Righton D, Pinneyar J (2013) Climate change and fishing: A century of shifting distribution in North Sea cod. *Global Change Biology*, vol. 20. pp. 2473 – 2483.
- Gerssen A, Bovee THF, Kijnstra MD, Poelman M, Portier L & Hoogenboom RLAP (2018) First report on the occurrence of tetrodotoxins in Bivalve Mollusks in the Netherlands. *Toxins* 10:450
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013) *Climate change 2013: The physical science basis*. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar5/wg1.
- Jentink R (2017) *Schorren in de Oosterschelde periode 2001-2013*. Rapportnummer: M170505740-01. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening, Inwinning en Gegevensanalyse, Gisanalyse en Procesadvies Datastromen (GPD), Middelburg.

- Jiang L, Gerkema T, Idier D, Slangen A, Soetaert K. (2019) Potential tidal responses to future sea-level rise in the Oosterschelde. *Nederlands Centrum voor Kustonderzoek (NCK), conferentie 2019*, book of abstracts.
- Kamermans P & van den Brink A (2017) *Passende Beoordeling ten behoeve van off-bottom oesterkweek in het Lodijkse Gat, Koeiegat, Broek en Yerseksche Oesterbank van de Oosterschelde*. Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Malkin SY, Kromkamp JC & Herman PMJ (2011) *Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure*. NIOO-CEME, Rapport, 24 pagina's.
- MIRT (2013) *Verkenning Zandhonger Oosterschelde - ontwerp-structuurvisie*. Witteveen+Bos & Bureau Waardenburg. RW1809-28/torm/231. Rijkswaterstaat Zee & Delta
- Nationaal Register (2017) Data toegangsbeperking Oosterschelde, o.a. voor kitesurfers en recreatievaart. Via: <https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/797e0be2-14fe-40d0-b5d1-c7f05eb9ef01>.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2016) *NOAA Merged Land Ocean Global Surface Temperature Analysis (NOAAGlobalTemp): Global gridded 5° x 5° data*. National Centers for Environmental Information. Via: www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/noaa-global-surface-temperature-noaaglobaltemp.
- NRC (2016) *Tropisch gif dringt door tot de Oosterschelde*. Door: Hester van Santen. Via: <https://www.nrc.nl/nieuws/2016/06/28/tropisch-gif-dringt-door-tot-oosterschelde-2961226-a1504559>. Laatst geraadpleegd: 22-10-2019.
- Pernet F, Barret J, Le Gall P, Corporeau C, Dégremont L, Lagarde F, Pépin J-F & Keck N (2012) Mass mortalities of Pacific oysters *Crassostrea gigas* reflect infectious diseases and vary with farming practices in the Mediterranean Thau lagoon, France. *Aquaculture Environment Interactions* 2: 215-237.
- Tolman DP & Pranger DP (2016) *Zeegraskartering MWTL 2016 Oosterschelde en Westerschelde*. Rijkswaterstaat, CIV, Delft. Koeman en Bijkerk B.V.
- Troost K & Ysebaert T (2011) *ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds*. Report number C063/11, Imares Yerseke.
- Tulp I (2015) *Analyse visgegevens DFS (Demersal Fish Survey) ten behoeve van de compensatiemonitoring Maasvlakte 2*. Rapport C080/15. Imares Wageningen UR.
- Rasconi S, Winter K & Kainz MJ (2017) Temperature increase and fluctuation induced phytoplankton biodiversity loss – Evidence from a multi-seasonal mesocosm experiment. *Ecology and Evolution* 7: 2936-2946.
- Russell DJF (2016) Activity Budgets: Analysis of seal behaviour at sea. Report for the Department for Business, Energy and Industrial Strategy (OESEA-15-66).
- Santinelli G & de Ronde J (2012) *Volume analysis on RTK profiles of the Eastern Scheldt*. Deltares, Delft.
- Schoemann V, Becquevort S, Stefels J, Rousseau V & Lancelot C (2005) *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review. *Journal of Sea Research* 53 (1-2), 43-66.

- Smaal AC, Schellekens T, Van Stralen MR & Kromkamp JC (2013) Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404-405: 28-34.
- Suzuki Y & Takahashi M (1995) Growth responses of several diatom species isolated from various environments to temperature. *Journal of Phycology* 31, 880-888.
- Troost K & M van Asch (2018) *Herziene schatting van het kokkelbestand in de Waddenzee en Oosterschelde in het najaar van 2018*. CVO rapport: 18.014
- Van Zanten E & Adriaanse LA (2008) *Verminderd getij. Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken*. Rapport RWS/2008. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg.
- Van Zanten E & de Jong D (2013) *Suppletiescenario's Zandhonger Oosterschelde*. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg.
- Van Wesenbeeck BK, Esselink P, Oost AP, van Duin WE, de Groot AV, Veeneklaas RM, Balke T, van Geer P, Calderon AC & Smale A (2014) *Verjonging van half-natuurlijke kwelders en schorren*. Vereniging van Bos- en Natuurterrein Eigenaren (VBNE). Rapport nr. 2014/OBN196-DK.
- Von Meijenfeldt N, Bouw R, van Tol PTG, Smit MWJ, Nieuwkamer RLI, van Ek R, Jansen MHP & Smit A (2017) *Integrale Veiligheid Oosterschelde MIRT onderzoek - knikpunten, oplossingsrichtingen en effecten*. RW1929-201 Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Deventer.
- Vuik V (2019). *Building safety with nature: Salt marshes for flood risk reduction*. Proefschrift, Technische Universiteit Delft, maart 2019.
- Wolters HA, van den Born GJ, Dammers E & Reinhard S (2018) *Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017*. Deltares, Utrecht.
- Wijsman J (2019) *Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring*. Wageningen Marine Research rapport C022/19
- Wildplukwijzer (2019) *Wildplukwijzer.nl*, laatst geraadpleegd op 22-10-2019

11. Bijlagen

De bijlagen zijn geplaatst in een apart document getiteld: ‘Bijlagen bij de Effecten van Zeespiegelstijging en Zandonger op de Oosterschelde.’

Bijlage 1. Notitie alternatief sluitregime.

Bijlage 2. Geïnterviewde personen.

Bijlage 3. Tabel met kantelpunten en oplossingen.

Bijlage 4. Afname steltlopers.

Bijlage 5. Arealontwikkeling kerngebieden uit ANT.

Bijlage 6. Hoogtekaarten buitendijkse gebieden.



De dijk van de Anna Jacobapolder met schor ervoor



Tauw

Altenburg & Wymenga ECOLOGISCH ONDERZOEK



HKV
LIJN IN WATER