Achtergrondrapport systeemanalyse Zeeuwse kust

Naar een groeiende delta: een toekomst met Zeespiegelstijging



Inhoudsopgave

1 Systeemwerking kustzone – huidige situatie 3
1.1 Dominante processen 4
1.2 Stromingen langs de kustzone 5
1.3 Morfologie 5
1.4 Ecologie en natuurontwikkeling 7
1.5 Interactie andere deelgebieden 7

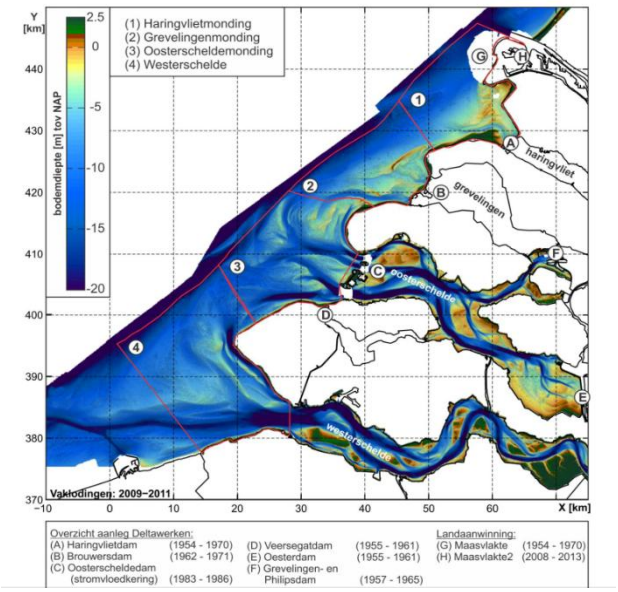
2 Kustsysteem bij zeespiegelstijging 8
2.1 Stromingen langs de kust 8
2.2 Morfologie 9
2.3 Duinen 10
2.4 Ecologie en natuurontwikkeling 11

3 Ruimtelijke analyse 11
4 Bibliografie 13

Voor u ligt het achtergrondrapport Kust, horend bij “Naar een groeiende delta: een toekomst met zeespiegelstijging”. Hierin zit een uitgebreidere systeemanalyse over de Kust. In dit rapport wordt de werking van het kustsysteem in de huidige situatie en bij zeespiegelstijging gegeven op basis van een uitgebreide literatuurstudie.

1 Systeemwerking kustzone – huidige situatie

De kustzone van de Zuidwestelijke Delta bestaat uit een serie van vier (voormalige) estuariummondingen. Van noord naar zuid zijn dit het Haringvliet, de Grevelingen, de Oosterschelde en de Westerschelde. Aan de zeezijde van de estuaria zijn buitendelta’s aanwezig, deels horend bij de voormalige zeegaten. De buitendelta’s vormen tezamen de Vlakte van de Raan (rondom de monding van de Westerschelde) en de Voordelta. De Zeeuwse kustzone is een 10 km breed en zo'n 90 km lang platform. De hele kustzone is relatief ondiep en strekt zich uit tussen Hoek van Holland in het noorden tot ten zuiden van Zeebrugge (België) (Nolte, Grashof, & Bolman, 2024). De ruimtelijke afkadering van de mondingsgebieden is in Figuur 1 weergegeven. In de Zuidwestelijke Delta hebben alleen de Westerscheldemonding en de Oosterscheldemonding nog een (deels) open verbinding met de Noordzee.



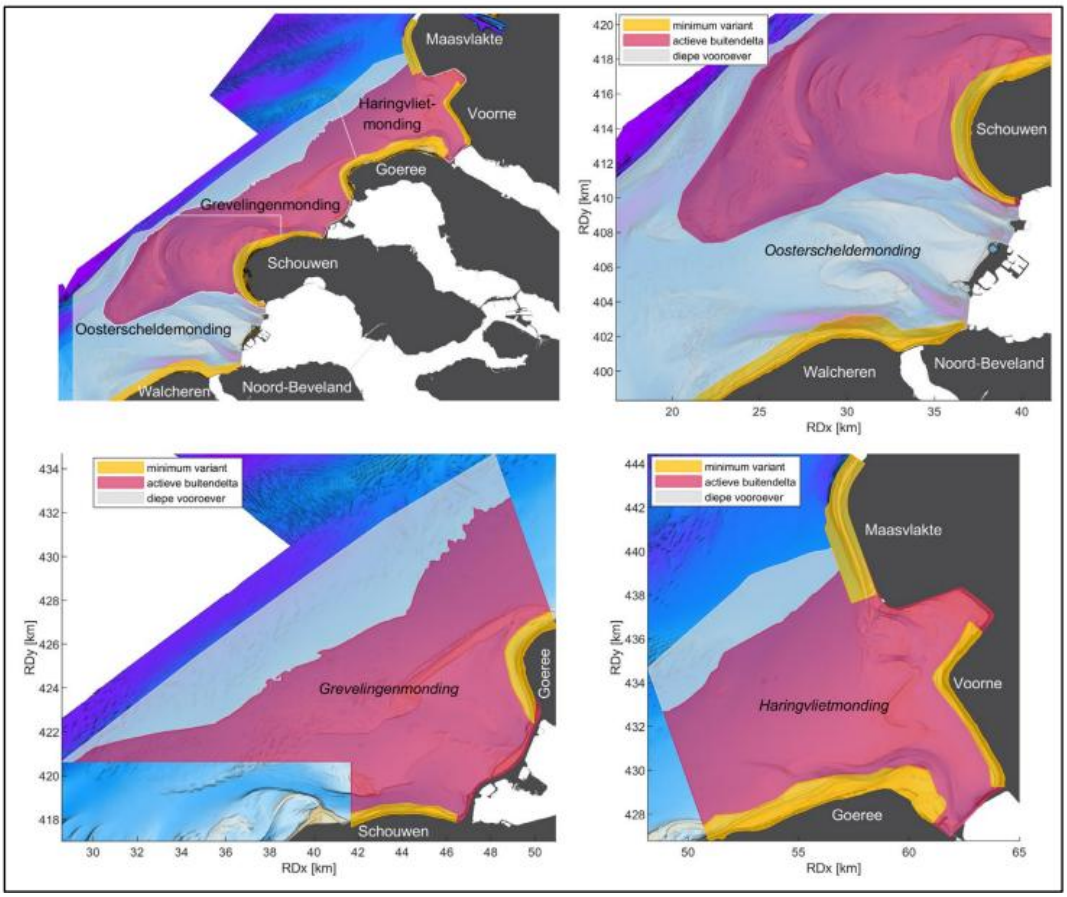
Figuur 1 Overzicht kustzone (2010-2011) (E, Elias, & Spek, 2014).

De Zeeuwse kustzone wordt van oost naar west in de definitie begrensd door de duinen en de open zee (vanaf -20 m NAP) (Elias, Quataert, Taal, & Vermeer, 2024). De kustzone is onderverdeeld in vier verschillende zones:

- Diepe vooroever: het deel van de buitendelta dat buiten de directe invloed van dagelijkse golfwerking ligt.
- Actieve buitendelta: het deel van de buitendelta waar golven, getij en stromingen voortdurend zand verplaatsen.
- Strandzone: het gebied tussen de laagwaterlijn en de voet van de duinen.
- Eerste duinreeks: de eerste rij duinen direct achter het strand, gevormd door opgewaaid zand.

De breedte van iedere zone is afhankelijk van de lokale morfologische processen, en verschilt daardoor per monding. Een overzicht van de begrenzing van de actieve delta is weergegeven in Figuur 2. De Zeeuwse Kustzone is een belangrijk gebied voor de recreatie, scheepvaart, visserij, aquacultuur en ecologie.

Het Zeeuwse duingebied draagt bij aan vier belangrijke functies; waterveiligheid, drinkwaterwinning, recreatie en de ecologie. De duinenrijen hebben een waterkerende functie en zijn daarom onderdeel van de primaire waterkeringen in Zeeland. Daarnaast kan zoet regenwater in de duinen goed infiltreren waardoor zoetwaterlenzen onder de duinen ontstaan. De duingebieden van Walcheren en Schouwen-Duiveland zijn daarom ook aangewezen als drinkwaterwingebieden, waar het zoete water wordt benut voor drinkwater, natuur en landbouw.



Figuur 2 Begrenzingen actieve delta en de diepe vooroever (Elias, Quataert, Taal, & Vermeer, 2024)

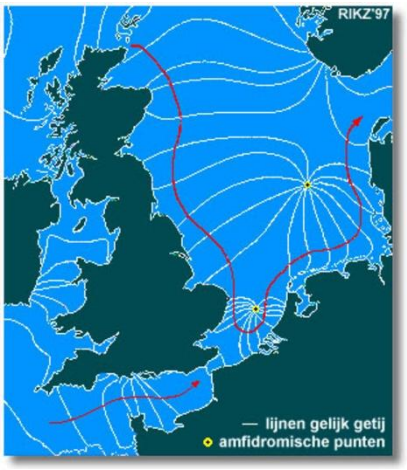
1.1 Dominante processen

Het huidige kustsysteem is een resultaat van de eeuwenlange getijde en golfbelasting. Beide processen zorgen gezamelijk voor de stroming in de kustzone en transport van sediment. Dit sedimenttransport vormt de basis voor de morfologische ontwikkelingen van het geul-plaatsysteem in de buitendelta (E, Elias, & Spek, 2014). De vorm van de geulen en platen beïnvloedt vervolgens de golven en de lokale stroming als gevolg van het getij, en daarmee het sedimenttransport.

In de laatste 60 jaar is de kustzone significant veranderd door menselijke ingrijpen. Het sluiten van de noordelijke bekkens door het aanleggen van de Deltawerken heeft grote invloed op de morfologie en hydrologie van de kustzone (E, Elias, & Spek, 2014). Naast de aanleg van de Deltawerken is er sprake van continu menselijk ingrijpen om de ligging van de kustlijn te handhaven en de vaargeulen op diepte te houden.

1.2 Stromingen langs de kustzone

In de kustzone worden de stromingen bepaald door getij en golven (Nolte, Grashof, & Bolman, 2024). Voor de Zeeuwse Kustzone is sprake van een bijna halfdaags getij, met twee keer vloed en twee keer eb per etmaal. Door een samenspel van de vorm van de kustzone en zeebodem, voortplanting van de getijgolf, de draaiing van de aarde en getij-asymmetrie ontstaat een dominante getijdenstroomrichting. In Figuur 3 zijn de dominante getijdenstromingen op de Noordzee en de Atlantische Oceaan te zien. Daarin is ook te zien dat de dominante getijstroming langs Noordwest-Europa en de Nederlandse kust van zuid naar noord is. Rondom Groot-Brittannië splitst de getijstroming zich, een klein deel van het getij komt via het Kanaal de Noordzee binnen en het grootste deel via de noordkant van Groot-Brittannië. Er is een afnemende getijslag langs de kustzone van de Zuidwestelijke Delta, van ongeveer 3,8 m ter hoogte van de Westerschelde tot ongeveer 2 bij Haringvlietmonding omdat het getij afneemt in de richting van een vast knooppunt, dat dichter ligt bij de Hollandse Kust. (Nolte, Grashof, & Bolman, 2024). Het zuid-noord getij wordt ook wel het kustlangsgetij genoemd.



Figuur 3 - Getijdestroming op de Noordzee en Atlantische Oceaan (van der Linden, sd)

In de Westerscheldemonding en Oosterscheldemonding, die met de (voormalige) estuaria in verbinding staan, is er ook een getijdegolf dat de (voormalige) estuaria in- en uitgaat, het kustdwarsgetij. Hierdoor is lokaal in deze monding een versterking van de getij-invloed door het samenkomen van de twee stromingen: het kustlangsgetij en het kustdwarsgetij. Vanwege de afsluiting van de Grevelingen- en Haringvlietmonding is in dit deel van de Zeeuwse Kustzone geen kustdwarsgetij meer aanwezig.

Naast de aanwezige stroming door getij wordt stroming langs de Zeeuwse Kustzone veroorzaakt door de aanwezige golfslag. Golven worden gevormd door de wind die over de oppervlakte van de zee waait. Golven worden voornamelijk lokaal gegenereerd op de Noordzee en hebben gemiddeld een hoogte van ongeveer 1,3 m, maar kunnen tijdens stormsituaties oplopen tot meer dan 6 m. Tijdens deze stormen treedt een significante verhoging van de waterstanden op (Nolte, Grashof, & Bolman, 2024). Voor de golfgedreven stroming is met name de interactie tussen de vorm van de kustzone en bodem, en de dominante windrichting van belang. Deze eigenschappen bepalen gezamenlijk de richting en eigenschappen van de dominante golfaanval. In de Zeeuwse kustzone is de dominante windrichting uit het zuidwesten. Door de interactie tussen de dominante windrichting en de vorm van de kustzone ontstaat een component van de golfkracht richting de kust (cross-shore) en een component parallel aan de kust (long-shore).

De morfologische processen langs de Zeeuwse Kustzone worden sterk bepaald door de lokale verschillen in golf- en getijstromingen. Deze processen werken op een andere schaal en hebben daardoor een andere impact op de stroming. Door de aanwezigheid van het dubbele getij is bij de zuidelijke twee mondingen het getijvolume relatief hoog, waardoor in deze mondingen de getijdestroming dominant is (Expertsessie 1). Door het afsluiten van de Grevelingen- en Haringvlietmondingen is hier geen kustdwarsgetij meer aanwezig, waardoor in deze mondingen de stroming hier gedomineerd wordt door het golfproces (Expertsessie 1).

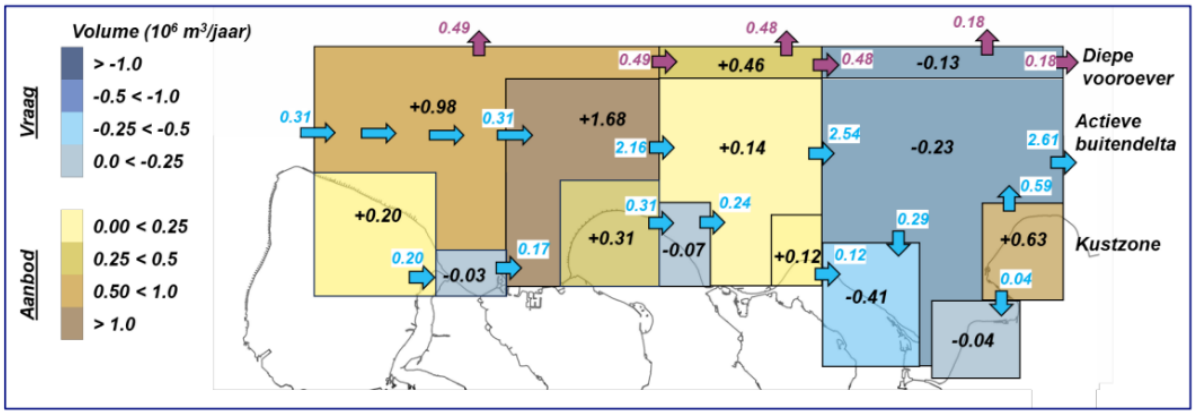
1.3 Morfologie

De huidige morfologie van de kustzone is het resultaat van jarenlange invloed van getij en golven. Door deze processen is een geulen-platen structuur ontstaan, een gevarieerde zeebodem bestaand uit platen met diepe en ondiepe geulen daartussen. Het is een dynamisch systeem waar platen en geulen zich verplaatsen, over verschillende tijdsperioden (E, Elias, & Spek, 2014). De netto richting van het sedimenttransport wordt bepaald door de dominante stroomrichting. In de actieve voordelta bij de Zeeuwse Kust is over het algemeen de golfgedreven sedimenttransport langs de kust dominant over sedimenttransport door getij (Bosboom & Stive, 2023). Lokaal kunnen hier verschillen in ontstaan door met name de vorm van de kustzone en bodem, en dan wel de aanwezigheid van een

kustdwarsgetij. De dominante golfstroming (long-shore transport) van zuidwest naar noordoost zorgt voor een netto transport van sediment langs de kustzone van zuid naar noord. De cross-shore component zorgt voornamelijk voor herverdeling van sediment binnen het kustprofiel (Bosboom & Stive, 2023). Door de golfslag ontstaat opwoeling van sediment wanneer de golfbelasting hoog genoeg is. Door de opwoeling komt sediment in suspensie en wordt het door stroming getransporteerd.

Figuur 4 geeft het sedimenttransport tussen de verschillende kustvakken en kustzones weer. De sedimentbalans laat duidelijk het netto sedimenttransport van zuid naar noord zien. Ook is in de figuur te zien dat de Zeeuwse Kustzone morfologisch zeer dynamisch is; er worden jaarlijks miljoenen kubieke meters sediment getransporteerd in de delta. Hierdoor groeien sommige kustdelen sterk aan en andere delen eroderen structureel. Uit de figuur 4 blijkt ook dat er meer sediment vanuit de Zeeuwse Kustzone richting Zuid-Holland wordt getransporteerd, dan dat er vanuit het zuiden wordt aangeleverd. Dit zorgt voor een afname van het sedimentvolume in de Zeeuwse Kustzone.

De karakteristieken van geulen en platen hebben lokaal invloed op de stroomsnelheden van het water, waardoor variatie ontstaat tussen sedimentatie en erosie. In geulen kunnen sterkere stromingen ontstaan, waardoor meer sediment wordt getransporteerd. Platen kunnen stroomsnelheid afzwakken waardoor meer sediment wordt afgezet. Ook kunnen veranderingen in geulen de aanvoer van zand naar de kustzone beïnvloeden, waardoor de sedimentatie- en erosievolumes van de kustlijn kan veranderen. (Elias, Quataert, Taal, & Vermeer, 2024)



Figuur 4 Synthese sedimentbalans Voordelta: jaarlijkse gemiddelde transport. Positieve waarde is bron van sediment (hoeveel sediment he gebied verlaat), negatieve waarde is toename van sediment in het deelvak (hoeveel sediment wordt aangeleverd en vastgehouden) (Elias, Quataert, Taal, & Vermeer, 2024).

Grootschalige morfologische ontwikkeling is een proces dat decennia tot eeuwen duurt. Het kan decennia of eeuwen duren voordat grote geulen opvullen of zich verplaatsen en een nieuwe evenwichtssituatie ontstaat, omdat hiervoor grote hoeveelheden sediment nodig zijn (Expertsessie 1). Met het aanleggen van de Deltawerken is de morfologische situatie in de Zeeuwse kustzone ingrijpend veranderd. Door het afsluiten van het Grevelingen en Haringvliet is de morfologische interactie tussen de (voormalige) estuaria en de kustzone hier verdwenen (E, Elias, & Spek, 2014). Hierdoor wordt er geen sediment meer vanuit de (voormalige) estuaria aan de Zeeuwse Kustzone geleverd. Als gevolg hiervan wordt de actieve buitendelta in het noordelijke deel van de Zeeuwse Kustzone kleiner door erosie aan de zeewaartse rand, en beweegt de grens tussen de actieve buitendelta en de diepe vooroever zich richting de kustzone (E, Elias, & Spek, 2014). Dus het actieve gebied, met platen en geulen, in dit deel van de Zeeuwse Kustzone wordt kleiner (Elias, et al., 2025). Het sediment dat vrijkomt wordt door golven landwaarts verplaatst waardoor de Haringvliet- en Grevelingenmondingen verondiepen, platen landwaarts bewegen en aanzanding ontstaat (Taal, et al., 2025). Aan de zeewaartse zijde van de actieve buitendelta gaat kustlangse stroming domineren.

Doordat morfologische ontwikkeling een traag proces is, is het systeem zich nog aan het aanpassen van deze ingrepen. Er is nog geen nieuwe evenwichtssituatie ontstaan. Uit Figuur 4 blijkt ook dat er een duidelijk verschil is tussen het zuidelijke en het noordelijke deel van de Zeeuwse Kust. De zuidelijke mondingen leveren meer sediment en de noordelijke mondingen ontvangen meer sediment. Door de aanleg van de Tweede Maasvlakte wordt sediment verder noordelijk geremd, en wordt er

sediment afgezet ten zuiden van de Tweede Maasvlakte (Expertsessie 1). Dit sedimenttransport draagt bij aan de veranderingen in de Haringvliet- en Grevelingenmondingen.

Door het deels afsluiten van de Oosterschelde is er nog wel kustdwarsgetij in een verminderde vorm, maar nauwelijks sedimenttransport (Elias, et al., 2025). Dit leidt tot uitschuring van de getijgeulen in de buitendelta en netto transport van zand naar de rand van de delta en noordwaarts. Hierdoor bouwt de actieve buitendelta zeewaarts uit (Taal, et al., 2023).

Er wordt in Nederland actief gestuurd op behoud van de huidige kustlijn (BKL) en de bodemligging. Daarvoor wordt op meerdere plekken aan de kustzone gesuppleerd om zandverlies van erosie te compenseren en om erosiebuffers te creëren (Gelder, Litjens, Looff, Lodder, & Schipper, 2020). Dit wordt gedaan voor waterveiligheid. Suppletie zorgt voor aanpassingen aan de morfologie, bijvoorbeeld voor minder steile oevers of het vullen van geulen. Daarnaast worden vaargeulen middels baggeren op diepte gehouden. Dit zorgt steilere taluds en vastleggen van de geulen. Beide effecten beïnvloeden de hydrologie en de morfologie van de kustzone op lokaal niveau.

1.4 Ecologie en natuurontwikkeling

De Zeeuwse Kustzone bestaat uit diverse duin- en kustgebonden habitattypen. Ecologisch is de Zeeuwse Kustzone belangrijk voor zeezoogdieren, trekvissen en vogels. Deze soorten zijn afhankelijk van de verschillende habitattypen in het gebied zoals slik- en zandplaten en verschillende type duinen. Het ecologisch systeem is gevormd door de hydrologische en morfologische processen in het gebied. De ecologische verschillen in de kustzone worden dan ook veroorzaakt door variatie in de verstuiving, invloed van zout en wind en de ontwikkeling van het duinlandschap.

De kustzone is het meest maritiem en dynamisch van karakter. Dit gebied bestaat uit een uitgestrekte overgangszone van zee, zandbanken, slikken en zandplaten. De ecologische dynamiek wordt hier sterk bepaald door stroming, sedimentatie en verstoring door golfslag en getij. Dit gebied is daardoor vooral van belang voor soorten gelinkt aan open kust- en pionierhabitats. De waterkwaliteit wordt beïnvloed door de uitstroming van Rijn en Maas via de Haringvlietsluizen. Mede door deze aanvoer van voedingsstoffen kent de kustzone een hoge voedselrijkdom (Natura 2000 in Nederland, 2026).

Daarnaast zijn in de Kustzone verschillende type duingebieden aanwezig, deze zijn hieronder kort beschreven:

- De duinen van Goeree & Kwade Hoek vormen een zeer soortenrijk en relatief dynamisch duingebied. De Kwade Hoek is bovendien onder invloed van de stroming en morfologische processen in de kustzone, waardoor ook pionier- en overgangssituaties goed ontwikkeld zijn. Hier is een afwisselend en dynamisch landschap met primaire duinvorming, slikken, schorren, valleien en duinstruweel aanwezig (Natura 2000 in Nederland, 2026).
- De Kop van Schouwen onderscheidt zich als een uitgestrekt en ecologisch rijk duingebied met een duidelijke afwisseling tussen open duinen, struweel, vochtige valleien en bos. De bosontwikkeling binnen het duinlandschap maakt het een uniek ecologisch systeem in Zeeland (Natura 2000 in Nederland, 2026).
- De kustzone bij de Manteling van Walcheren is al vele honderden jaren een afslagkustzone en de kustlijn is in de loop der tijd met enkele kilometers landinwaarts verplaatst. Hierdoor is de zone met primaire duinen uiterst smal of ontbreekt volledig en liggen de oude duinen tot zeer kort aan de kustlijn. In het westelijke deel van het duingebied liggen, niet ver achter de zeereep, oude duineikenbossen die hier een natuurlijke bosgrens vormen. Het gebied kent een relatief groter aandeel bos- en struweeltypen en minder open pionier duinen (Natura 2000 in Nederland, 2026). Daardoor verschilt het ecologisch van de meer dynamische duingebieden. De aanwezigheid van duinbossen, duinstruwelen en vochtige duinvalleien laat zien dat dit gebied vooral belangrijk is voor meer ontwikkelde en minder dynamische duinhabitats.

1.5 Interactie andere deelgebieden

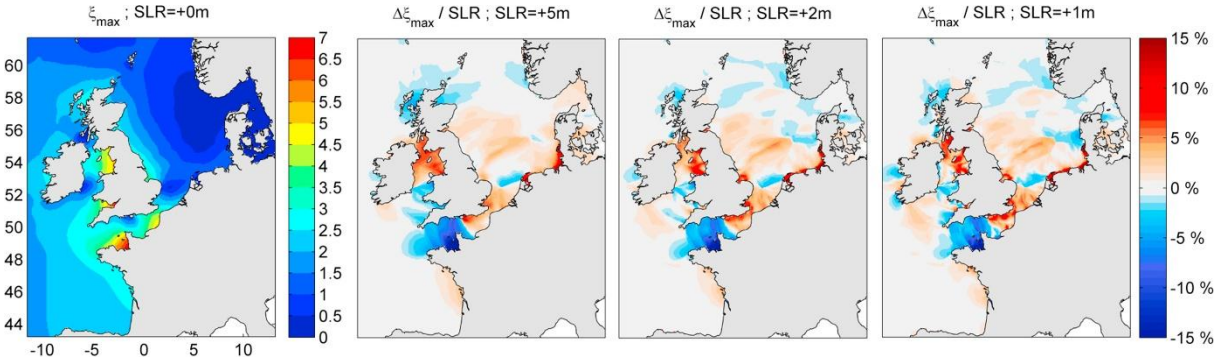
- De kustzone heeft zowel hydrologisch als morfologisch interactie met de Westerschelde en Oosterschelde door de (deels) open verbinding.

- Nutriënt- en voedselrijk zoetwater dat via de spuisluizen bij het Haringvliet in de Haringvlietmonding gespuid wordt, beïnvloed de morfologische processen en leidt tot een spuigeul (Elias, et al., 2025). Bovendien heeft het nutriënt- en voedselrijke zoetwater invloed op de ecologische omstandigheden in de Haringvlietmonding (Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, sd) (Kranenburg, Kaaij, & Kovacs, 2024).
- Hoewel de Oosterschelde deels is afgesloten is er nog een hydrologische verbinding tussen de Oosterschelde en de Oosterscheldemonding waardoor de dwarsgetijgeulen behouden blijven, in tegenstelling tot de noordelijke mondingen. Deze geulen domineren de morfologische ontwikkelingen in de Oosterscheldemonding (Elias, et al., 2025).
- Vanuit ecologisch perspectief is de Zeeuwse Kustzone onderdeel van het ecosysteem van de Zuidwestelijke Delta, en kan daarom niet los gezien worden van de andere deelgebieden. Verschillende soorten verblijven zowel in habitats aan de kustzone als in de (voormalige) estuaria. De aanwezige habitats in de kustzone en in de estuaria spelen verschillende rollen voor de verschillende soorten, bijvoorbeeld als broedgebied of foerageergebied. Het wegvallen van een habitat in de Westerschelde of in de Noordelijke Bekkens kan daarmee invloed hebben op de soorten in de Zeeuwse Kustzone en andersom.

2 Kustsysteem bij zeespiegelstijging

2.1 Stromingen langs de kust

Zeespiegelstijging beïnvloedt Zeeland voornamelijk door de gemiddelde waterstand te verhogen waardoor de gemeten ligging van de kustlijn landwaarts gaat. Daarnaast zorgt zeespiegelstijging ook dat de getijdedynamiek en de effectieve golfbelasting langs de kustzone veranderen. Deze respons varieert ruimtelijk en is sterk afhankelijk van de lokale kustgeometrie. Voor de zuidelijke Noordzee, het voor de Zeeuwse Kustzone meest relevante deel van de continentale plaat, geeft de verwachte getijdenrespons op zeespiegelstijging in het algemeen hogere hoogwaterstanden. Zeespiegelstijging leidt niet tot een uniforme opwaartse verschuiving van het hele getij, maar de getijamplitude en -fase worden aangepast door veranderingen in wrijving, resonantie en reflectie aan de kust. Voor de Zeeuwse Kustzone zullen toekomstige hoogwaters waarschijnlijk iets meer stijgen dan de gemiddelde zeespiegel alleen zou suggereren (Idier, Paris, Le Cozannet, Boulahya, & Dumas, 2017). Doordat laagwaters in tegengestelde richting reageren kan de getijamplitude verder toenemen. Figuur 5 geeft de ruimtelijke veranderingen in maximale vloedwaterstanden weer, uit deze figuren is af te leiden dat voor de Zeeuwse kustzone de maximale waterstanden 5% sterker stijgen dan de gemiddelde zeespiegelstijging.



Figuur 5 - Absolute maximale hoogtij waterstanden (ξ_{max}) voor het nul scenario (ZSS=0m) en de relatieve verandering van de maximum waterstand bij hoogtij (ξ_{max}/ZSS) (Idier, Paris, Le Cozannet, Boulahya, & Dumas, 2017)

Ook de getijfase zal bij extremere zeespiegel naar verwachting veranderen door verschuiving van amfidromische punten in de Noordzee. Dit impliceert dat het tijdstip van hoogwater enigszins kan verschuiven, zelfs wanneer de verandering in getijamplitude beperkt blijft (Idier, Paris, Le Cozannet, Boulahya, & Dumas, 2017). In de mondingen van de (voormalige) estuaria zal het effect van zeespiegelstijging op het getijvolume en stroming groter zijn, daar kan lokaal het getijvolume tot 15% toenemen bij 1,2 of 5 meter zeespiegelstijging (Björn Röbke, 2025).

In tegenstelling tot bewijs voor verandering in de getijden is het bewijs voor veranderingen in het offshore golfklimaat zwakker. Een studie voor de Nederlandse kust vond geen duidelijke verandering in de gemiddelde significante golfhoogte of de gemiddelde golfperiode tussen historische en toekomstige perioden. Dit suggereert dat directe klimaat gedreven veranderingen in offshore golfcondities nabij Zeeland relatief klein zullen zijn. Toch betekent dit niet dat golven onbelangrijk zijn. Ook als het offshore golfklimaat nauwelijks verandert, zorgt zeespiegelstijging ervoor dat golven de kust op een hoger niveau aangrijpen. De grotere waterdiepte die ontstaat door zeespiegelstijging leidt tot minder bodemremming, waardoor de effectieve golfwerking 10–20% verder landinwaarts doordringen. Daardoor kan de hydraulische belasting op duinen, vooroevers en waterkeringen aanzienlijk toenemen. Tijdens stormen nemen de golfhoogtes en waterstand in vergelijking met huidige stormcondities verder toe, waardoor de hydraulische belasting en daarmee de erosie ook in extreme situaties toenemen. De gevolgen hiervan zijn significant, de huidige zeespiegelstijging heeft al gezorgd voor een viermaal zo grote kans op extreem hoog water door stormen (1/100 jaar storm in 1960) (Dangedorf, et al., 2026) (Horst, 2025). Modellering van duinerosie aan de Nederlandse kustzone ondersteunt dit mechanisme: de erosie neemt toe met zeespiegelstijging doordat de waterstand waarop golven inwerken hoger komt te liggen (Winter, Ruessink, & de Winter, 2017).

2.2 Morfologie

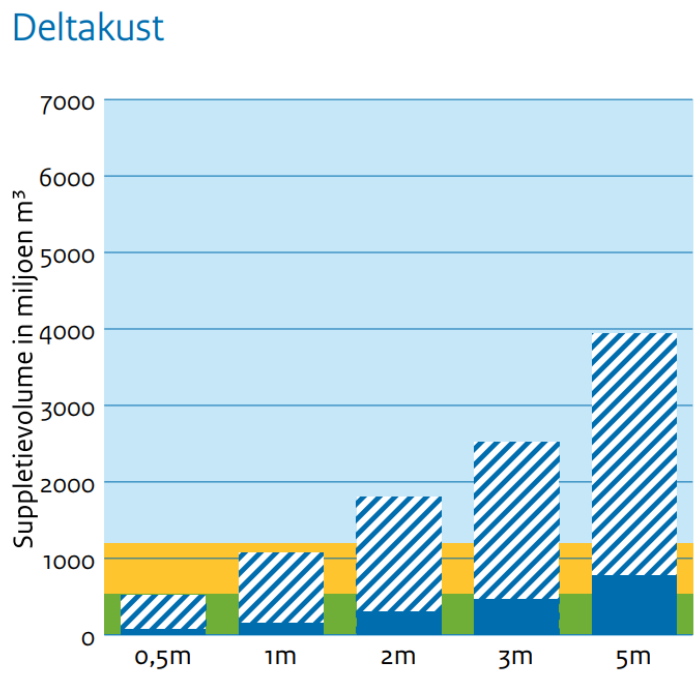
De gevolgen van zeespiegelstijging op de morfologie van de Zeeuwse kustzone verschilt per onderdeel van de kust. In de breedte zal de zandbehoefte van de kustzone toenemen zodat de actieve delta en de kustlijn kunnen meegroeien met zeespiegelstijging. In het algemeen zorgt zeespiegelstijging in combinatie met het voortzetten van de huidige morfologische trends in de kustzone voor meer druk op de kust. (Expertsessie 1). Voor de kustzone is een sterke ruimtelijke variatie te zien.

In het noordelijke deel van de Zeeuwse Kustzone zullen de morfologische trends, zoals erosie, aanzanding en verondieping, ontstaan door het afsluiten van de Grevelingen en Haringvliet, doorzetten. Mogelijk zorgt zeespiegelstijging ervoor dat deze trends versnellen of vergroten waardoor platen verder landwaarts verplaatsen (Expertsessie 1) (Taal, et al., 2023). Dit sluit aan bij de genoemde ontwikkeling van versmallende buitendelta's (Taal, et al., 2025) (Expertsessie 1). De sedimentaanvoer naar de Haringvlietmonding is groter dan de sedimentaanvoer naar de Grevelingenmonding. Door de remming van stroming door de 2^{e} Maasvlakte zal voor de Haringvliet monding ook meer sediment worden afgezet. De morfologische trends zullen voor de Haringvlietmonding daarom sterker zijn dan voor de Grevelingenmonding (Taal, et al., 2025).

In de Oosterscheldemonding wordt, door de toename van het getijdebiet, meer sediment getransporteerd naar de buitendelta, waardoor deze zeewaarts uitbouwt. Mogelijk neemt ook het kustlangstransport van sediment naar de noordelijke bekkens toe (Taal, et al., 2023) (Taal, et al., 2025). In de Westerscheldemonding zal de impact van zeespiegelstijging naar verwachting beperkt zijn omdat de dynamische morfologie meebeweegt. Uit verschillende modelstudies blijkt dat het sedimenttransport vanuit de Westerschelde richting de monding door zeespiegelstijging toeneemt. Door deze toename van het sedimenttransport neemt het aanwezige sedimentvolume in het mondingsgebied toe, waardoor de morfologische structuur van de monding relatief gelijk blijft (Jeuken, Helvert, & Wang, 2002) (Dam & Poortman, 2013) (Nnafie, De Maerschalck, Vanlede, Schramkowski, & Mostaert, 2018) (Röbke, Elmilady, Van der Wegen, & Taal, 2020).

Morfologische veranderingen als gevolg van zeespiegelstijging zijn trage processen en volgen de zeespiegelstijging met vertraging op (Taal, et al., 2025). Bij extremere zeespiegelstijgingsscenario's, zoals 5 meter zeespiegelstijging, kunnen geulen zich sneller gaan verplaatsen en zou het gedrag van de diepe vooroevers grootschalig kunnen veranderen. Verandering van het gedrag van de vooroevers lijkt op basis van de huidige kennis echter niet realistisch (Brils, et al., 2017) (Taal, et al., 2025).

Om de huidige BKL en de gebruiksfuncties te behouden, is bij zeespiegelstijging naar verwachting meer suppletievolume nodig (Elias, Quataert, Taal, & Vermeer, 2024). Bij 1 meter zeespiegelstijging wordt de zandbehoefte 1,5 tot 3 keer zo groot. Bij 5 meter zeespiegelstijging wordt de zandbehoefte 3 tot 6 keer zo groot. 6 geeft de zandbehoefte weer, de bijbehorende onzekerheidsmarge en de beschikbaarheid. In deze figuur is te zien dat de beschikbaarheid onzeker wordt vanaf 2 meter zeespiegelstijging (Elias, et al., 2025) (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2023).



Figuur 6 - De benodigde zandsuppleties in de Deltakust bij verschillende mate van zeespiegelstijging. Blauw is minimaal benodigd, het gearceerde deel kan erbovenop komen (onzekerheid). De kleuren achter de staafjes geven aan hoeveel zand aanwezig is: groen = zeker, geel = misschien, lichtblauw = niet beschikbaar bij huidige werkwijze. (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2023)

2.3 Duinen

Zoals benoemd in paragraaf 2.2 leveren de Zeeuwse duinen een belangrijke bijdrage aan drie functies; de waterveiligheid, drinkwaterwinning en de ecologie. Het effect van zeespiegelstijging op de ecologie in de duinen is uitgelegd in paragraaf 2.4. In deze paragraaf is eerst het effect van zeespiegelstijging op waterveiligheid toegelicht en vervolgens op de zoetwaterbeschikbaarheid.

Door de hogere waterstanden en zwaardere golfaanval zal er een grotere belasting komen op de duinen waarbij de kans op falen groter wordt (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 2023). De meeste duinen kunnen tot ongeveer 1 meter op een natuurlijke manier met zeespiegelstijging mee groeien. Bij hogere zeespiegelstijging zullen meer duinenraaien niet meer voldoen aan de waterveiligheidsnormen, waardoor menselijke ingrijpen nodig is om waterveiligheidsnormen te halen (Rijkswaterstaat, 2024). Bij extreme zeespiegelstijging zoals 5 meter stijging nemen de kosten en de technische complexiteit van ingrijpen toe. Aangenomen wordt dat maatregelen mogelijk blijven, echter is nader onderzoek naar de inpasbaarheid van deze maatregelen nodig (Rijkswaterstaat, 2024).

Zeespiegelstijging heeft mogelijk wel een effect op de zoetwaterlens in de duinen, deze kan door zeespiegelstijging verkleinen. Een hogere zeespiegel verhoogt de druk op het grondwater door een hogere stijghoogte van zoute kwel. Hierdoor wordt de zoetwaterlens omhoog geduwd, en neemt de infiltratiecapaciteit van zoetwater af. Wat betekent dat het volume van de zoetwaterlens af zal nemen. Doordat de zoetwaterlens kleiner wordt neemt ook de infiltratiecapaciteit van zoetwater af. Waardoor er meer regenwater afstroomt, dit leidt weer tot minder aanvulling van de zoetwaterlens en tot lokale erosie. De lokale erosie vermindert de infiltratiecapaciteit verder (Oude Essink & Emidio Horta Nogueira, 2024). Sterke negatieve effecten van zeespiegelstijging op de zoetwaterlens worden pas verwacht bij extreme scenario's zoals 3 meter zeespiegelstijging. Een mogelijkheid om de zoetwaterlenzen te behouden is suppletie van het duinvolume (ophogen van de duin). Een groter duinvolume vergroot de infiltratie capaciteit van regenwater, waardoor het volume van de zoetwaterlenzen vergroot (Oude Essink & Emidio Horta Nogueira, 2024).

2.4 Ecologie en natuurontwikkeling

In het algemeen leidt zeespiegelstijging tot een landwaartse verschuiving van het kustecosysteem. Habitats komen onder toenemende druk te staan, vegetatie verschuift landwaarts en op plekken waar ruimte of sedimentaanvoer tekortschieten verdwijnen karakteristieke ecologische omstandigheden. Aanpassing of verlies van habitats leidt tot verschuivingen in de voedselketen. Op locaties waar verzanding optreedt, zoals de mondingen van de noordelijke bekkens, kan ook ruimte ontstaan voor nieuwe habitats zoals broedgebieden doordat er platen permanent droogvallen.

Bij een zeespiegelstijging van 1 meter zal het deelgebied Kust vooral te maken krijgen met een duidelijke toename van druk, hogere waterstanden en een sterkere invloed van stormvloeden en golfwerking. In de laaggelegen en dynamische zones betekent dit dat strand, embryonale duinen, zandplaten en andere pioniermilieus vaker worden overspoeld of sneller onder erosiedruk komen te staan. Habitattypen die direct afhankelijk zijn van kustdynamiek, zoals grote baaien, zullen hierdoor veranderingen ervaren in waterdiepte, stroming en sedimentdynamiek, terwijl duingebonden habitats zoals duindoornstruwelen en vochtige duinvalleien indirect negatief worden beïnvloed via hogere grondwaterstanden en mogelijk meer verzilting. In de praktijk betekent dit dat jonge, open kuststadia schaarser worden en dat de natuurlijke successie richting stabielere, meer begroeide duinen waarschijnlijk versnelt.

Bij een zeespiegelstijging van 2 meter worden deze effecten aanzienlijk sterker en structureler. Op veel plaatsen zal de bestaande kustzone dan onvoldoende ruimte hebben om landwaarts mee te schuiven, waardoor erosie, afslag en verlies van geschikte habitat steeds vaker optreden. Voor de kustzone neemt de kans toe dat morfologische processen versnellen en dat de ligging van habitattypen verschuift of verdwijnt door veranderingen in sedimenttransport en waterbeweging. In de duingebieden worden de indirecte effecten dan ook zwaarder: hogere grondwaterstanden, toenemende verzilting en een veranderde vochtbalans maken standplaatsen voor grijze duinen, duinbossen en ruigten en zomen minder geschikt. Hierdoor komt het hele kustmozaïek onder druk te staan, met een grotere kans op verlies van open pionierhabitats en op een verschuiving naar meer uniforme, minder dynamische vegetaties.

Bij een zeespiegelstijging van 5 meter is sprake van een zeer ingrijpende systeemverandering. In zo'n scenario zal het huidige kustlandschap in grote delen niet meer in zijn bestaande vorm kunnen voortbestaan, omdat zowel de lage kustzones als veel duin- en overgangshabitats structureel worden overspoeld en/of door erosie verdwijnen. Alleen locaties met uitzonderlijk sterke natuurlijke dynamiek, veel sedimentaanvoer of grootschalige bescherming zouden nog enige mate van habitatbehoud kunnen bieden. Voor het deelgebied Kustzone betekent dit dat vooral de bestaande kustgradiënt van strand naar duin waarschijnlijk grotendeels verloren gaat, terwijl habitattypen die nu al gevoelig zijn voor hogere waterstanden en verzilting vrijwel nergens meer duurzaam behouden blijven. De open kustzone wordt dan niet langer gekenmerkt door een geleidelijke overgang van pioniersstadia naar duinontwikkeling, maar door een veel hardere land-waterovergang, met duinen en dijken enerzijds en water anderzijds.

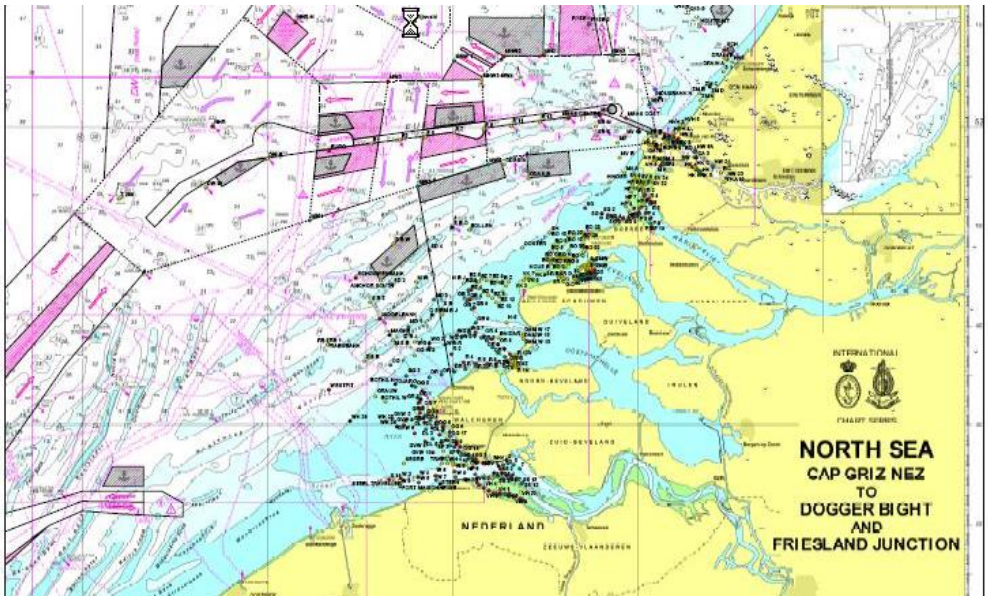
3 Ruimtelijke analyse

Omdat de kustzone bestaat uit de Noordzee, stranden en duinen, is het landgebruik beperkt. De duinen en stranden worden voornamelijk gebruikt voor drinkwaterwinning en recreatie. De gevolgen voor de drinkwaterwinning in het duingebied zijn afhankelijk van de druk op de zoetwaterbellen. Zeespiegelstijging leidt daarbij tot een grotere druk op deze zoetwaterbellen.

Recreatie leidt in Zeeland tot circa €3,4 miljard aan jaarlijkse uitgaven, waarvan strandtoerisme een aanzienlijk onderdeel vormt. De invloed van zeespiegelstijging op de recreatieve mogelijkheden hangt af van de lokale mate van erosie of aanzanding. Sommige stranden komen daardoor onder druk te staan, terwijl op andere locaties juist meer ruimte voor recreatie kan ontstaan.

De natte kustzone wordt gebruikt voor scheepvaart, visserij en in zeer beperkte mate aquacultuur. Scheepvaart vormt een belangrijke economische motor voor Zeeland. De belangrijkste vaarroutes lopen via de Westerschelde en de Noordzee van en naar de havens Port of Antwerp-Bruges en North Sea Port (figuur 7). De effecten op de vaarroutes in de kustzone zijn naar verwachting beperkt. Door

morfologische veranderingen kunnen de vaargeulen richting de estuaria echter verondiepen, waardoor vaker baggerwerkzaamheden nodig kunnen zijn.



Figuur 7 Vaarroutes Noordzee 2013 (http://www.studiowtb.com/, 2013)

De visserij in de kustzone bestaat voornamelijk uit zeevisserij. De belangrijkste doelsoorten zijn tong, schol, pijlinktvis, tarbot en griet. De Zeeuwse kottervloot bestaat uit acht boomkor- en twinrigkotters en negen garnalenkotters. Daarnaast zijn zeven kotters die eigendom zijn van een Zeeuws visserijbedrijf onder Belgische vlag geregistreerd; dit worden ook wel vlagkotters genoemd. In totaal beslaan de Nederlandse visgronden circa 59.000 km² (hele Nederlandse continentale plaat) (Provincie Zeeland, 2026). De visserij wordt voornamelijk beïnvloed door ecologische veranderingen, omdat de robuustheid en gezondheid van het ecosysteem rechtstreeks van invloed zijn op de beschikbaarheid van vis. Veranderingen in watertemperatuur, zoutgehalte en stromingspatronen kunnen de verspreiding en groei van vissoorten beïnvloeden. Ook veranderingen in voedselbeschikbaarheid, paaigebieden en migratieroutes kunnen gevolgen hebben voor de vangstmogelijkheden. Daarnaast kunnen bodemberoering, vervuiling en toenemende ruimtedruk door andere functies de visserij verder beperken. De gevolgen verschillen per visserijtype en vissoort en zijn daarom moeilijk eenduidig voor de hele kustzone vast te stellen.

4 Bibliografie

Oude Essink, G., & Emidio Horta Nogueira, G. (2024). *Effecten zeespiegelstijging op zoetwater in de Nederlandse duinen.* Deltares.

Altenburg, W., Arts, G., Baretta-Bekker, J., Berg, M. v., Broek, T. v., Buskens, R., . . . R. (2018). *Referenties en maatlatten voor Natuurlijke Watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027.* doi:978.90.5773.813.5

Björn Röbke, H. E. (2025, Juli 15). The relative impact of sea level rise and dredging strategies on the morphodynamic evolution of the Western Scheldt estuary (The Netherlands). *Elsevier*.

Bosboom, J., & Stive, M. J. (2023). *Coastal Dynamics.* Delft: TU Delft Open.

Brils, J., Boer, E. d., Boer, P. d., Schielen, R., Spek, A. v., Blom , A., . . . Wieggers, J. (2017). *Sediment uit balans.*

Dam, G., & Poortman, S. (2013). *LTV Veiligheid en toegankelijkheid, G-11: Morfologische lange termijn simulaties.* Deltares.

Dangedorf, S., Sun, Q., Maduwantha, P., Wahl, T., Marcos, M., Marzeion, B., . . . Mitrovica, J. X. (2026). *Human-driven sea-level rise has quadrupled the frequency of coastal sea-level extremes since 1900.* Nature Climate Change.

E, Elias, E., & Spek, A. v. (2014). *Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1963-2013.* Deltares.

Elias, E., Quataert, E., Taal, M., & Vermeer, N. (2024). *Sedimentbalans Nederlandse Kust.* Deltares.

Elias, E., Taal, M., Huisman, B., Spek, A. v., Quataert, E., Vermeer, N., & Wang, Z. (2025). *Zand en Zee in Balans: Technisch Eindrapport Zandige Kust.* Deltares. Opgehaald van https://publications.deltares.nl/11207897_002_0008.pdf

Gelder, C. v., Litjens, J., Looff, H. d., Lodder, Q., & Schipper, C. (2020). *Kustgenese 2.0: Kennis voor een veilige kust.* Rijkswaterstaat.

Horst, W. t. (2025). *Systeemanalyse Waterveiligheid Bovenregionaal syntheserapport Systeemverkenningen.* Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

http://www.studiowtb.com/. (2013). *ALBIN VEGA*. Opgehaald van http://www.studiowtb.com/: http://www.studiowtb.com/vega/albin_vega_noordzee_scheepvaartroutes.htm

Idier, D., Paris, F., Le Cozannet, G., Boulahya, F., & Dumas, F. (2017). Sea-level rise impacts on the tides of the European Shelf. *Continental Shelf Research, Volume 137*, pp. 56-71.

Jeuken, C., Helvert, M., & Wang, Z. (2002). ESTMORF berekeningen naar de invloed van ingrepen en natuurlijke forceringen op de zandhuishouding van Westerschelde en monding. *WL|Delft Hydraulics*.

Kennisprogramma Zeespiegelstijging. (2023). *Tussenbalans van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.* Rijksoverheid. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/88013b54-84b4-4e04-992d-9800bce54587/file

Kranenburg, W., Kaaij, T. v., & Kovacs, F. (2024). *Zoetwaterverspreiding Voordelta Haringvliet.* Deltares. Opgehaald van https://publications.deltares.nl/11210363_004_0003.pdf

Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur. (sd). *Voordelta*. Opgehaald van www.Natura2000.nl: https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/voordelta

Natura 2000 in Nederland. (2026, 5 8). *Duinen Goeree & Kwade Hoek*. Opgehaald van www.natura2000.nl: https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland/duinen-goeree-kwade-hoek/duinen-goeree-kwade-hoek-doelstelling

Natura 2000 in Nederland. (2026, 8 5). *Kop van Schouwen*. Opgehaald van www.natura2000.nl: https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/kop-van-schouwen

Natura 2000 in Nederland. (2026, 8 5). *Manteling van Walcheren*. Opgehaald van www.natura2000.nl: https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/manteling-van-walcheren

Natura 2000 in Nederland. (2026, 8 5). *Voordelta*. Opgehaald van www.natura2000.nl: https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/voordelta

Nnafie, A., De Maerschalck, B., Vanlede, J., Schramkowski, G., & Mostaert, F. (2018). *Morphodynamic modeling of the Scheldt estuary and its mouth: Effects of sea level rise.* FHR reports.

Nolte, A. (2011). *Natuurherstel in de Westerschelde: De mogelijkheden nader verkend.* Deltares. Opgehaald van https://www.zeeland.nl/sites/default/files/digitaalarchief/ZEE1100684.pdf

Nolte, A., Grashof, J., & Bolman, B. (2024). *Verkennende Systeemanalyse Zuidwestelijke Delta.* Deltares. Opgehaald van https://publications.deltares.nl/11210350_004_0002.pdf

Provincie Zeeland. (2026). *De Zeeuwse Visserijagenda 2026-2031.* Provincie Zeeland .

Reddingsbrigade. (sd). *Voorlichting*. Opgehaald van Reddingsbrigade.nl: https://www.reddingsbrigade.nl/wij/wat-wij-doen/voorlichting/getijden/

Rijksoverheid. (2015). *Nationaal Waterplan 2016-2021.* Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu; Ministerie van Economische Zaken. Opgehaald van https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/12/nwp_2016-2021.pdf

Rijkswaterstaat. (2024). *Systeemanalyse Zandige Kust Duindynamiek en Zeespiegelstijging.* Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Rijkswaterstaat. (sd). *Kustlijnkaart trend 2026*. Opgehaald van https://rijkswaterstaat.maps.arcgis.com/apps/instant/basic/index.html?appid=ebb11cd087e54444998aa5f6cf6a1775

Röbke, B., Elmilady, H., Van der Wegen, M., & Taal, M. (2020). *The long-term morphological response to sea level rise and different sediment strategies in the Western Scheldt estuary (The Netherlands).* Deltares.

Rozemeijer, M. J. (2009). *Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review.* RWS Waterdienst.

Taal, M., Huisman, B., Elias, E., Spek, A. v., Quataert, E., Vermeer, N., & Wang, Z. (2025). *Zand en Zee in Balans op lange termijn.* Deltares.

Taal, M., Quataert, E., Spek, A. v., Huisman, B., Elias, E., Wang, Z., & Vermeer, N. (2023). *Sedimentbehoefte Nederlands kustsysteem bij toegenomen zeespiegelstijging.* Rijkswaterstaat WVL. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/326c42b0-b11a-4cf0-bc6f-59f3cb49a75c/file

van der Linden, M. (sd). *Het getij en de tochtplanning 2*. Opgehaald van Heech By de Mar: https://www.heechbydemar.nl/algemeen/vaarcursus-platbodem-zeilen-en-manoeuvreren/het-getij-en-de-tochtplanning-2

Winter, R., Ruessink, B., & de Winter, R. (2017). Sensitivity analysis of climate change impacts on dune erosion: case study for the Dutch Holland coast. *Climatic Change*, pp. 685-701.