

Beheerbibliotheek Kust Schouwen

Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust



Beheerbibliotheek Kust Schouwen

Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust

Auteur(s)

Nienke Vermeer

Ellen Quataert

Stéphanie IJff

Marc Hijma

Beheerbibliotheek Kust Schouwen

Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer Van Kuik
Referenties	Zie pagina 78
Trefwoorden	Schouwen, Grevelingenmonding, Oosterscheldemonding, suppleties, duindynamiek, bodemdaling, kustlijnonderhoud, morfologie, Verklikkerstrand

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	14-11-2022
Projectnummer	11208035-002
Document ID	11208035-002-ZKS-0001
Pagina's	89
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Nienke Vermeer	
	Ellen Quataert	
	Stéphanie IJff	
	Marc Hijma	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Nienke Vermeer	Marcel Taal	Bob Hoogendoorn	
	Ellen Quataert			
	Stéphanie IJff			
	Marc Hijma			

Samenvatting

Om de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden voert Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat kustonderzoek uit binnen het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer en Onderhoud Kust). Dit gebeurt in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. In deze beheerbibliotheek van de kust van Schouwen wordt de meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer samengebracht en inzichtelijk gemaakt. De beheerbibliotheek biedt onder andere een basis voor het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en onderzoek. Het omvat een beschrijving van het kustlijnbeleid en -beheer, morfologische systeemwerking, kustverdediging/primaire waterkering en gebruiksfuncties van de kust. De kennis die landt in de beheerbibliotheek is zowel ontwikkeld binnen KPP-B&O Kust als ook andere kust(onderzoek)projecten en wetenschappelijk onderzoek.

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Schouwen is een actualisatie van de tweede versie door Mastbergen, Kuijper en Nederhoff (2017). Tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd. Ook zijn er resultaten van nieuwe studies opgenomen. Elias & Quataert (2021) hebben bijvoorbeeld een grootschalige analyse van de Oosterscheldemonding gedaan. Verder is tussen 2014 en 2020 de pilot 'Slimmer omgaan met zand op Schouwen' uitgevoerd, waarbij er eenmalig geen reguliere zandsuppletie is uitgevoerd om meer dynamiek in de duinen te krijgen. Resultaten van de evaluatie van deze pilot (waaronder Zandbergen, 2020) zijn in deze beheerbibliotheek opgenomen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	KPP B&O Kust en de beheerbibliotheken	7
1.1	Kustonderhoud en -onderzoek	7
1.2	Waarom een beheerbibliotheek?	7
1.3	Wat staat er in een beheerbibliotheek?	7
1.4	Kustviewer	8
1.5	Kustlijnkaartenboek	8
1.6	Leeswijzer	8
2	Algemene gebiedsbeschrijving	9
3	Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid	11
3.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	11
3.2	Basiskustlijn voor Schouwen	13
3.3	Waterveiligheidsbeleid	15
4	Gebruiksfuncties van de kust van Schouwen	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Waterveiligheid	18
4.2.1	Kustverdedigingswerken	18
4.2.2	Primaire waterkering	24
4.2.3	Beoordeling van de primaire waterkering	24
4.3	Strandrecreatie	24
4.4	Natuur	25
4.4.1	Voordelta	25
4.4.2	Kop van Schouwen	28
4.5	Drinkwaterwinning	30
5	Langetermijnontwikkelingen	31
5.1	Inleiding	31
5.2	Paleografische ontwikkeling	31
5.2.1	Regionaal	31
5.2.2	Ontwikkeling Voordelta	33
5.3	Bodemdaling	34
6	Beschrijving van het morfologisch systeem	39
6.1	Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag	39
6.2	Oosterscheldemonding	40
6.2.1	Algemene kenmerken	40

6.2.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van de Oosterscheldemonding	41
6.2.3	Morfologische ontwikkeling van de Westkop van Schouwen	45
6.3	Grevelingenmondning	48
6.3.1	Algemene kenmerken	48
6.3.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van de Grevelingenmondning	49
6.3.3	Morfologische ontwikkeling van de noordkust van Schouwen	57
6.4	Dynamiek van de duinen	63
6.4.1	Historische ontwikkeling duinen van Schouwen	64
6.4.2	Natuurlijk Veilig & Slim Omgaan met Zand	64
6.4.3	Volumeveranderingen in de zeereep	66
7	Kustlijnontwikkeling	71
7.1	Samenvatting	71
7.2	Zandsuppleties	72
7.3	Ontwikkeling kustindicatoren	74
7.3.1	MKL – BKL	74
7.3.2	Duinvoet	75
7.3.3	Strandbreedte	76
7.3.4	Faalkans eerste duinenrij/zeereep	77
	Referenties	79
A	Kustindicatoren: berekenmethode	83
A.1	Gemiddeld hoog- en laagwater	83
A.2	Duinvoet	84
A.3	Strandbreedte	84
A.4	Faalkans van de eerste duinenrij	85
B	Bodemdata	87
B.1	Ontwikkeling van de Grevelingenmondning	87

1 KPP B&O Kust en de beheerbibliotheken

1.1 Kustonderhoud en -onderzoek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het onderhoud van de Nederlandse kust. Hiervoor suppleert Rijkswaterstaat jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand. Voor ontwerp, volume en de uitvoerdatum van de suppletie is kennis van het zandige kuststelsysteem nodig.

In de loop der jaren is veel kennis over het kuststelsysteem ontwikkeld. Toch komen er voortdurend nieuwe onderzoeksvragen naar voren, bijvoorbeeld of zandsuppleties nog efficiënter en duurzamer kunnen worden uitgevoerd. Tevens is er nog geen eenduidig beeld van de effecten van suppleties op de ecologie van de kust en wordt hiertoe meerjarig onderzoek uitgevoerd. Om de kennis over het kuststelsysteem uit te breiden en te verspreiden voert Deltares - in opdracht van Rijkswaterstaat - kustonderzoek uit binnen het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer en Onderhoud Kust) in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen ertoe leiden dat de suppletiepraktijk wordt aangepast.

1.2 Waarom een beheerbibliotheek?

Het hoofddoel van de beheerbibliotheek is het samenbrengen en inzichtelijk maken van de meest recente kennis per kustvak. Beheer en onderhoud vindt plaats in een complex (morfologisch) systeem. Het begrijpen van die complexiteit is van belang voor de kustlijnverzorging met zandsuppleties, maar ook voor maatregelen van andere beheerders.

Gebruikers van de beheerbibliotheek zijn Rijkswaterstaat, Deltares en andere (kennis)partijen en regionale beheerders. De beheerbibliotheek ondersteunt het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en de programmering van kustonderzoek.

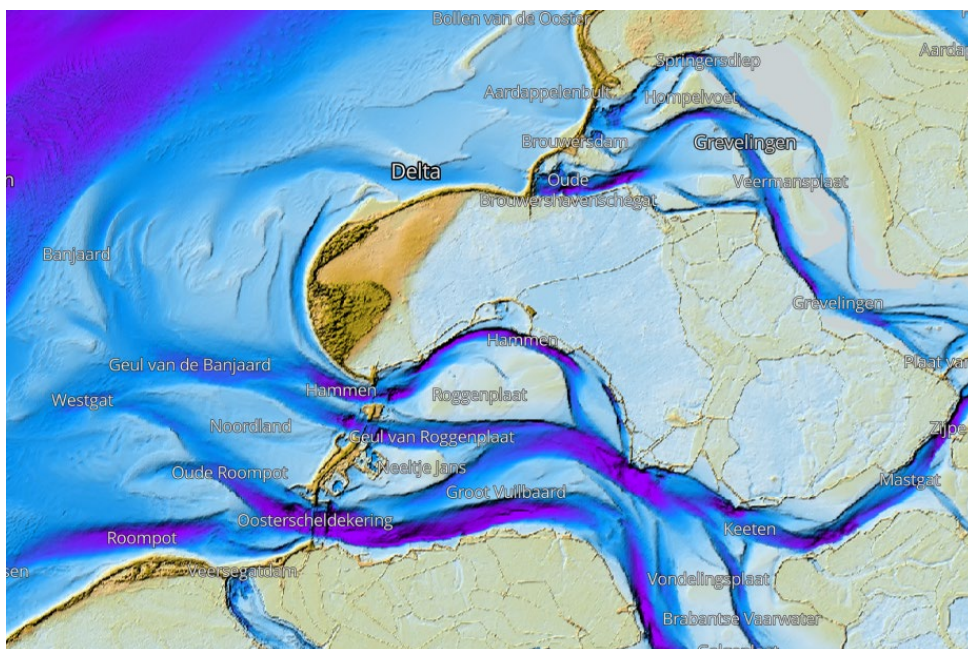
1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het betreffende kustvak en omvat een beschrijving van de morfologische systeemwerking, de kustverdediging en de primaire waterkeringen. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties. Het bevat ook de waargenomen effecten van dat beheer. Ten slotte wordt in de beheerbibliotheek de informatie over de gebruiksfuncties van de kust (zoals recreatie en natuur) samengevat. Het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma. De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust, maar ook uit andere kustprojecten en wetenschappelijk onderzoek. Tevens wordt opgedane ervaring en kennis uit de uitvoering meegenomen in de beheerbibliotheek.

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Schouwen is een actualisatie van de tweede versie door Mastbergen, Kuijper en Nederhoff (2017). Tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd. Ook zijn er resultaten van nieuwe studies opgenomen. Elias & Quataert (2021) hebben bijvoorbeeld een grootschalige analyse van de Oosterscheldemonding gedaan. Verder is tussen 2014 en 2020 de pilot 'Slimmer omgaan met zand op Schouwen' uitgevoerd, waarbij er eenmalig geen reguliere zandsuppletie is uitgevoerd om meer dynamiek in de duinen te krijgen. Resultaten van de evaluatie van deze pilot (waaronder Zandbergen, 2020) zijn in deze beheerbibliotheek opgenomen.

1.4 Kustviewer

Naast de beheerbibliotheek heeft Deltares samen met Rijkswaterstaat een Kustviewer ontwikkeld met een achterliggende database van kustdata. Deze biedt op eenvoudige manier inzicht in de ontwikkeling van de kust. In aanvulling op de figuren in de beheerbibliotheek kan de lezer de ontwikkeling van de Nederlandse Noordzeekust online bekijken via: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>



Figuur 1-1- Een voorbeeld van de Kustviewer. Schouwen is weergegeven met de vaklodging en AHN data en benaming van morfologische gebieden. Bron: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>

1.5 Kustlijnkaartenboek

Jaarlijks wordt door Rijkswaterstaat gemeten en berekend hoe de ligging van de kustlijn zich verhoudt tot de basiskustlijn (BKL). Het doel van de BKL is om structurele achteruitgang van de Nederlandse kust te signaleren. Het kustlijnkaartenboek wordt jaarlijks opgesteld door Rijkswaterstaat en geeft informatie over de huidige en de verwachte kustlijnligging ten opzichte van de BKL. Ook de trend van de kustlijntonwikkeling wordt weergegeven. De digitale versie van het kustlijnkaartenboek is te vinden op: <https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/kustlijnkaart>

1.6 Leeswijzer

Het volgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2) geeft een algemene gebiedsbeschrijving van Schouwen, met een korte samenvatting over de inhoud van de daaropvolgende (technisch inhoudelijke) hoofdstukken. Hoofdstuk 3 legt de achtergrond van het kustbeleid uit. Hierin staat een beschrijving van de totstandkoming van de Basiskustlijn, inclusief landelijke herzieningen en regionale afspraken. Ook het beleid met betrekking tot de waterveiligheid met het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium voor de primaire waterkeringen is hierin opgenomen. Hoofdstuk 4 gaat kort in op de gebruiksfuncties van de kust; waterveiligheid, strandrecreatie, natuur en drinkwatervoorziening. Hoofdstuk 5 start met de langetermijntonwikkelingen bij Schouwen, waaronder de paleografische ontwikkeling en het onderzoek met betrekking tot bodemdaling. Hoofdstuk 6 gaat in op de het morfologisch systeem van Schouwen, waarbij er telkens van grote schaal (Zeegat niveau) naar kleinere schaal (kust niveau) wordt toegewerkt. Met deze kennis wordt in Hoofdstuk 7 de ontwikkeling van de kustindicatoren in relatie tot het kustbeheer en -onderhoud verklaard. Dit hoofdstuk omvat tevens een overzicht van het uitgevoerde kustonderhoud bij en op Schouwen.

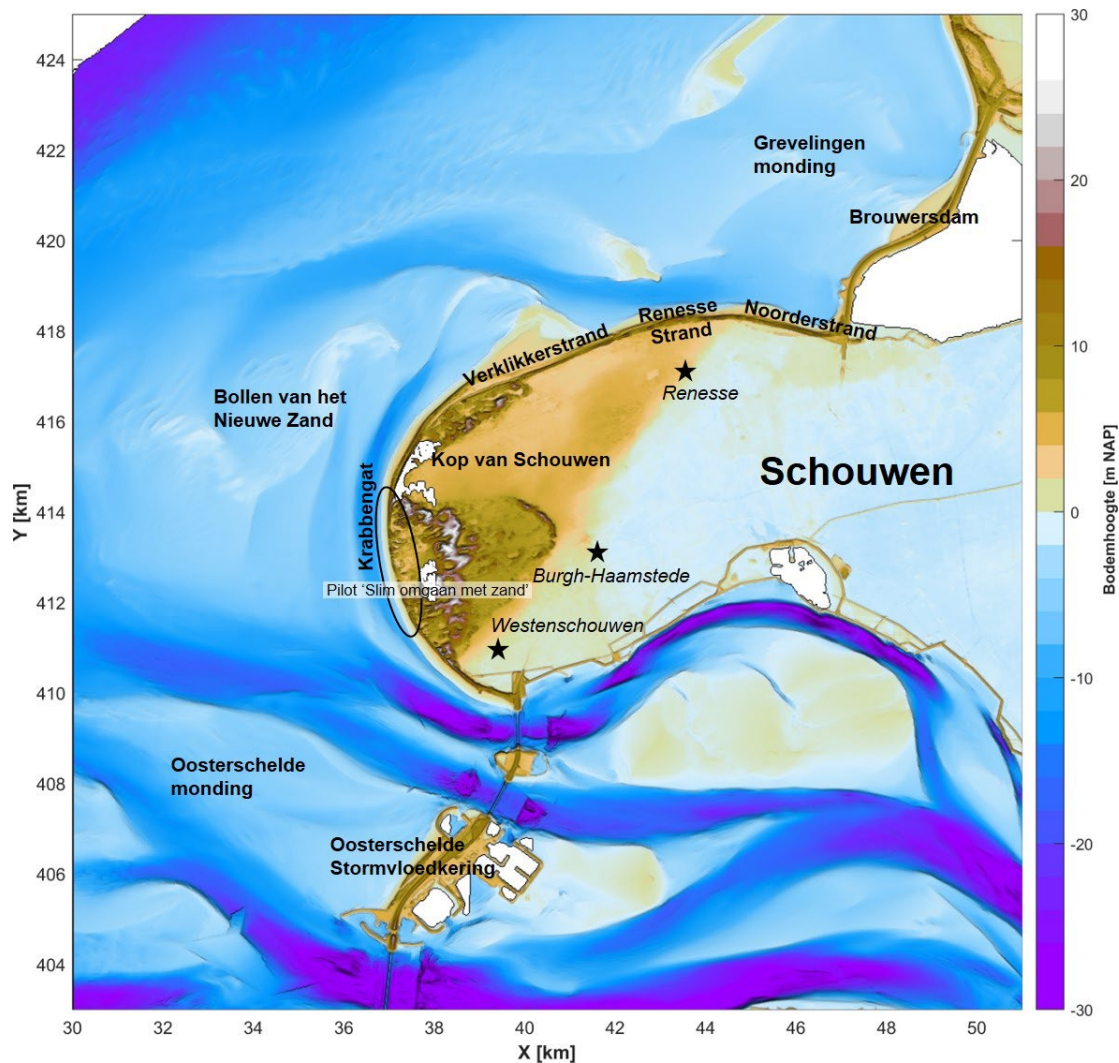
2 Algemene gebiedsbeschrijving

Kustvak 13, of Schouwen (vernoemd naar het voormalige eiland Schouwen), ligt aan de westkust van het Zeeuwse eiland Schouwen-Duiveland (Figuur 1-1). Nadat grote delen van Zeeland tijdens de watersnoodramp van 1 februari 1953 onder water kwamen te staan, werd het Deltaplan ontwikkeld en uitgevoerd. Het project bestond uit de afsluiting van de verschillende zeegaten met dammen (de Deltawerken) om de veiligheid tegen overstroming te verhogen. Sinds de jaren '70 wordt de kust aan de noordoostzijde hierdoor begrensd door de Brouwersdam (de dam die de Grevelingen afsluit van de Noordzee) die is aangelegd tussen 1963 en 1971. Aan de noordzijde loopt de kustlijn met een flauwe kromming vanaf de Brouwersdam langs het Noorderstrand tot het strand van Renesse. Voorbij Renesse ligt een aangelande zandplaat, ook wel Verklikkerstrand genoemd (Figuur 2-1), die onderdeel vormt van de Bollen van het Nieuwe Zand. Ten zuidwesten van deze zandplaat begint de gekromde kust van Schouwen langs het Krabbengat die doorloopt tot de aanlanding van de Oosterschelde Stormvloedkering. De Oosterschelde Stormvloedkering, aangelegd in de periode 1967-1986, begrenst het kustvak aan de zuidoostzijde. Het grote en afwisselende duingebied aan de westkant van Schouwen-Duiveland wordt ook wel de Kop van Schouwen genoemd. Dit is een Natura-2000 gebied (gebiedsnummer 116).

De primaire waterkering van Schouwen-Duiveland is in vier trajecten verdeeld en wordt beheerd door Waterschap Scheldestromen. Deze trajecten grenzen aan de Noordzee (26-1), de Oosterschelde (26-2 en 26-3) en het Grevelingenmeer (26-4). Het grootste deel van de primaire waterkering van Schouwen-Duiveland aan de Noordzezijde (traject 26-1) bestaat uit strand en duinen, maar ook de Brouwersdam (214, in beheer bij Rijkswaterstaat Zee en Delta) en Oosterschelde Stormvloedkering (218, in beheer bij Rijkswaterstaat Zee en Delta) behoren tot de primaire waterkering.

De vooroever van de kust van Schouwen wordt gedomineerd door geulen en platen die onderdelen vormen van de buitendelta van de Oosterschelde en de voormalige buitendelta van de Grevelingen. De grootschalige veranderingen in de bodemligging van deze buitendelta's zijn het directe gevolg van de aanleg van de Brouwersdam en de Oosterscheldekering. Niet alleen de afdamming van de bekkens heeft effecten gehad op de mondingen, maar ook de ingrepen in de (voormalige) getijdebekken hebben door veranderingen in het getij en de kombergingsvolumes doorgewerkt in de Voordelta. De morfologische veranderingen op de Voordelta staan onder andere beschreven in Cleveringa (2008), Elias et al. (2016) en Lazar et al (2017).

Op de Westkop van Schouwen treedt al decennia lang structurele erosie op. Suppleties zorgen ervoor dat de volumes periodiek worden aangevuld, maar de erosieve trend blijft aanwezig. Door periodiek te suppleren blijft de ligging van de kustlijn langs de Westkop van Schouwen redelijk stabiel. Tussen 2014 en 2020 is de pilot 'Slim omgaan met zand' uitgevoerd. Door eenmalig geen reguliere zandsuppletie uit te voeren, ontstaat meer dynamiek in de duinen en worden de natuurwaarden tussen de Boswachterij en Nieuw Haamstede vergroot. Niet suppleren leidt namelijk tot erosie van het strand en de duinvoet, waarna stroming en golven verstuiwing op gang brengen, waardoor dynamische duinen ontstaan. Het hiermee bespaarde zand is ingezet op de Brouwersdam, waar het meerwaarde opleverde voor recreatie en economie. Door de pilot is meerwaarde voor natuur en recreatie gecreëerd, zonder dat de waterveiligheid en drinkwatervoorziening in geding zijn gekomen. Daarnaast bleek de samenwerking tussen rijks- en regionale partijen vruchtbaar en heeft deze begrip en vertrouwen gekweekt.



Figuur 2-1 De kust van Schouwen middels een hoogtekaart met meest recente bathymetrie van de kustzone op basis van de 2019 Vaklodingen en AHN2.



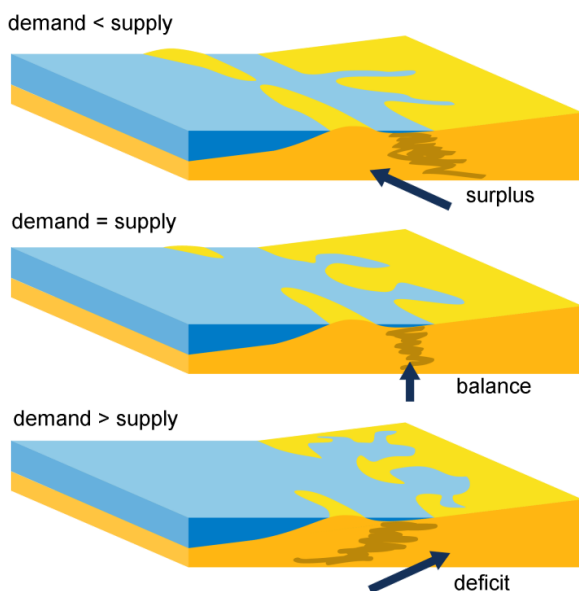
Figuur 2-2. Luchtfoto Verklikkerstrand met zicht op de Brouwersdam en Renesse (<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt, 2011).

3 Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid

Sinds 1990 wordt de Nederlandse kust dynamisch gehandhaafd met zandsuppleties. Paragraaf 3.1 licht de achtergrond van dit kustbeleid toe en paragraaf 3.2 doet dit voor de ligging van de Basiskustlijn en de beheerpraktijk voor het kustvak Schouwen. Paragraaf 3.3 beschrijft het beleid met betrekking tot waterveiligheid en boordeling van de primaire waterkering.

3.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

Kusterosie - De Nederlandse kust vertoont gemiddeld genomen al duizenden jaren een eroderende trend. Op kleine tijd- en ruimteschaal is soms wel sprake van afwisseling tussen kustopbouw en -erosie. De oorzaak van de eroderende trend is een grote zandvraag, terwijl er slechts een gering zandaanbod is (Figuur 3-1) De grote zandvraag is het gevolg van een stijgende zeespiegel en van grootschalige ingrepen in de getijbekkens. Het geringe aanbod wordt veroorzaakt doordat de aanvoer van zand vanaf de diepere Noordzee bodem vrijwel tot nul is gereduceerd en de rivieren eveneens al lange tijd nauwelijks meer zand naar de kustzone transporteren.



Figuur 3-1. Samenspel van vraag (demand) en aanbod (supply) van sediment. Een tekort (deficit) van sediment zal uiteindelijk leiden tot erosie en landwaartse terugtrekking van de kust. (Nichols, 1989, aangepast door RWS).

Dynamische kusthandhaving - In 1990 besloot de regering dat de positie van de kustlijn gehandhaafd moest worden, zodat de veiligheid van het achterland en de aanwezige functies langs de kust (natuur, recreatie, drinkwaterwinning) duurzaam behouden blijven (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1990). Sindsdien wordt het structurele zandverlies aangevuld met suppleties. Het gesuppleerde zand wordt door stroming, wind en golven over het kuststelsel verspreid.

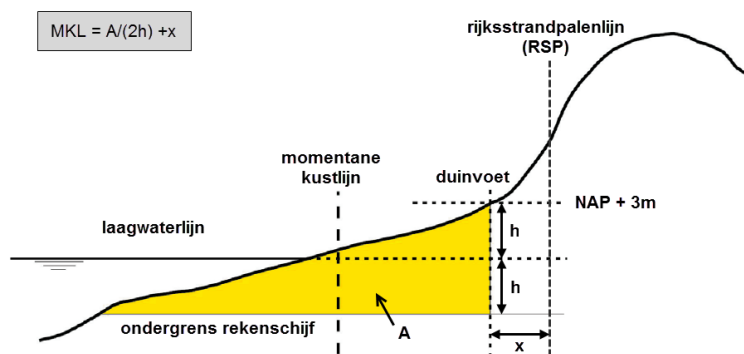
Basiskustlijn (BKL) - Om te bepalen waar het zand langs de kust gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL, als referentie gedefinieerd. Het doel van de BKL is het signaleren van structurele erosie. De BKL vertegenwoordigt een zandvolume dat (kustdwars) aanwezig is in het kustprofiel rondom de laagwaterlijn, tussen de duinvoet en de ondiepe vooroever. De positie van de BKL wordt berekend aan hand van dit aanwezige volume zand

en uitgedrukt in een positie ten opzichte van de Rijksstrandpalenlijn (RSP). De BKL-positie is gebaseerd op de trend in de kustlijnliggingen tussen 1980 en 1989 (bovenste deel Figuur 3-3). Elk jaar wordt de ligging van de kustlijn berekend en vergeleken met de positie van de Basiskustlijn. Als de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies met suppleties aangevuld. Het benodigde jaarlijkse suppletievolume om de kustlijn op die manier te handhaven werd in 1990 vastgesteld op 6 miljoen kubieke meter zand.

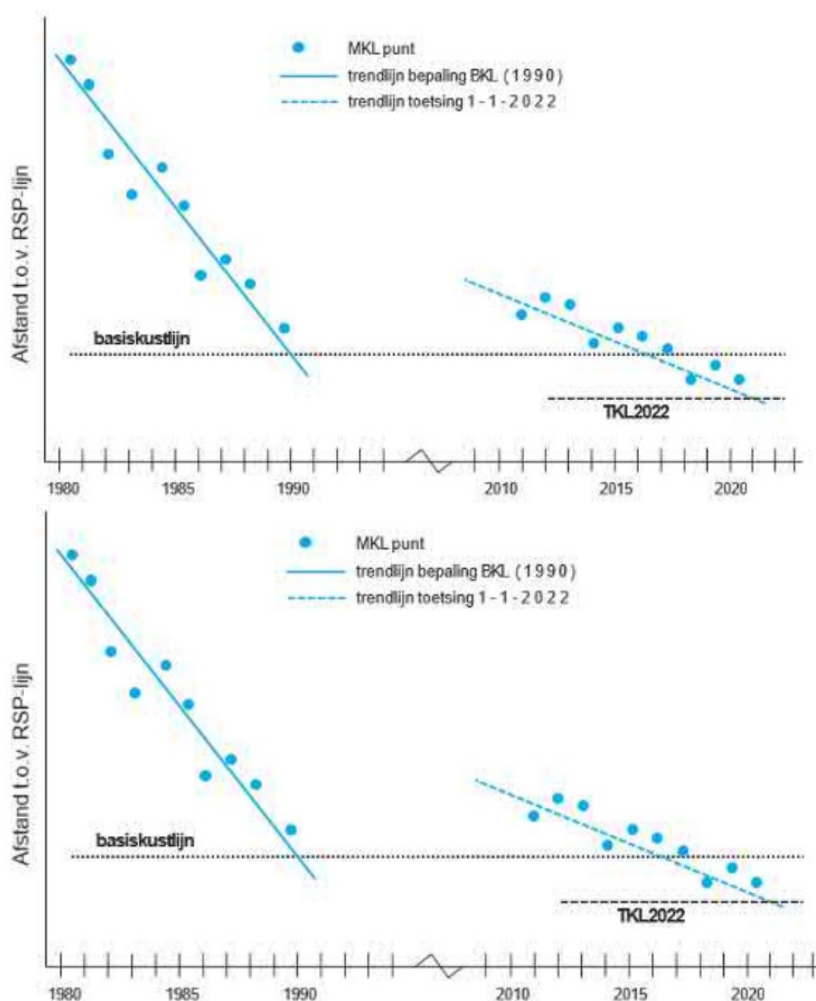
Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone rondom de Basiskustlijn, maar ook in dieper water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003; Mulder, 2000). Het structurele zandverlies in deze zone zou op termijn kunnen leiden tot een toename van de zandverliezen in de ondiepe kustzone. De benodigde inspanning voor het handhaven van de Basiskustlijn zou daardoor in de toekomst aanzienlijk groter worden. Daarom besloot de regering in 2001 dat het voor een duurzame handhaving van veiligheid en functies in het duingebied nodig was om het zandverlies in het gehele kustfundament te compenseren. Het kustfundament loopt van de binnenduinrand tot aan de doorgaande -20m NAP-dieptelijn. Het hele oppervlak van het kustfundament moet meegroeiën met de zeespiegel. Het landelijke suppletievolume is daartoe verhoogd van 6 tot 12 miljoen kubieke meter zand per jaar. Bij de verdeling van dit suppletievolume staat het handhaven van de kustlijn nog steeds voorop.

Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeen blijft komen met de, vanuit de verschillende functies gezien, gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn herzien in 2001, 2012 en 2017 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012, en Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2018). Bij het schrijven van deze beheerbibliotheek is de volgende herziening (2022) lopend. In de nieuwe Waterwet en het Nationaal Waterplan is, net als in de voorgaande Wet op de Waterkering, de noodzaak tot regelmatig herziening van de Basiskustlijn vastgelegd.

Momentane Kustlijn (MKL) en Toekomstige Kustlijn (TKL) - Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (i.e. JARKUS: JAarlijkse KUSStmeting). Op basis van deze JARKUS-profielen kan de positie van de Momentane KustLijn (MKL) bepaald worden. De MKL-positie wordt, analoog aan de BKL-positie, berekend op basis van het aanwezige volume zand tussen de duinvoet en de ondiepe vooroever en ook uitgedrukt in meters ten opzichte van RSP (Figuur 3-2). Door middel van de trend in MKL-positie over de laatste jaren wordt de lineaire trend in de kustlijnligging bepaald. Uit deze trend wordt de ligging van de Toekomstige KustLijn (TKL) afgeleid voor 1 januari dat volgende jaar (Figuur 3-3). Ieder jaar wordt beoordeeld of de BKL wordt overschreden, door de TKL-positie met de BKL-positie te vergelijken.



Figuur 3-2. Bepaling Momentane Kustlijn (MKL). Eerst wordt het zandvolume (oppervlak A) bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater (h))



Figuur 3-3 – Voorbeeld weergave hoe de Basiskustlijn (BKL) en de jaarlijkse Toekomstige KustLijn (TKL) worden afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) van de voorgaande jaren. Het tweede voorbeeld geeft aan hoe voor de bepaling van TKL2022 wordt omgegaan met een trendbreuk (namelijk, een strandsuppletie). (Kustlijnkaartenboek 2022).

3.2 Basiskustlijn voor Schouwen

In het kustvak Schouwen is de BKL vastgesteld tussen raaien 84 en 1719 (van het noorden naar het zuiden). Figuur 3-4 geeft de ligging van de huidige Basiskustlijn voor Schouwen, samen met de positie van enkele JARKUS raaien. De vigerende en oude BKL-liggingen zijn te zien in de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). Bij de invoering van de BKL-MKL methodiek in 1990 is een proces doorlopen waarbij Rijkswaterstaat een voorstel heeft gedaan voor de definitie van de rekenschijf, trendperiode en de BKL per raai per kustvak. Deze voorstellen waren volledig gebaseerd op morfologische gronden. Vervolgens is hier door de provincie en de waterkeringsbeheerder (via het Zeeuws Overleg Waterkeringen – ZOW) op gereageerd. Zij namen ook natuur, recreatie, bebouwing en drinkwaterwinning in acht. Dit heeft er uiteindelijk toe geleid dat de initieel voorgestelde BKL in 1994 is aangepast. Zo is er besloten om de BKL bij de raaien 529-1084 (Verklikkerstrand) landwaarts te verschuiven, en is de basiskustlijn bij het Noorderstrand van Schouwen (vanaf 1993 raaien 106, 172 en 197) juist meer zeewaarts verplaatst. In de tussenliggende periode (1990-1994) werd de initieel voorgestelde BKL gehanteerd. De BKL is voor heel Nederland herzien in 2001 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2003), 2012 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2012; Bruens et al.,

2012) en 2017 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018). Op het moment van schrijven van deze beheerbibliotheek is de herziening 2022 lopend.

Herzieningen en afspraken 2001

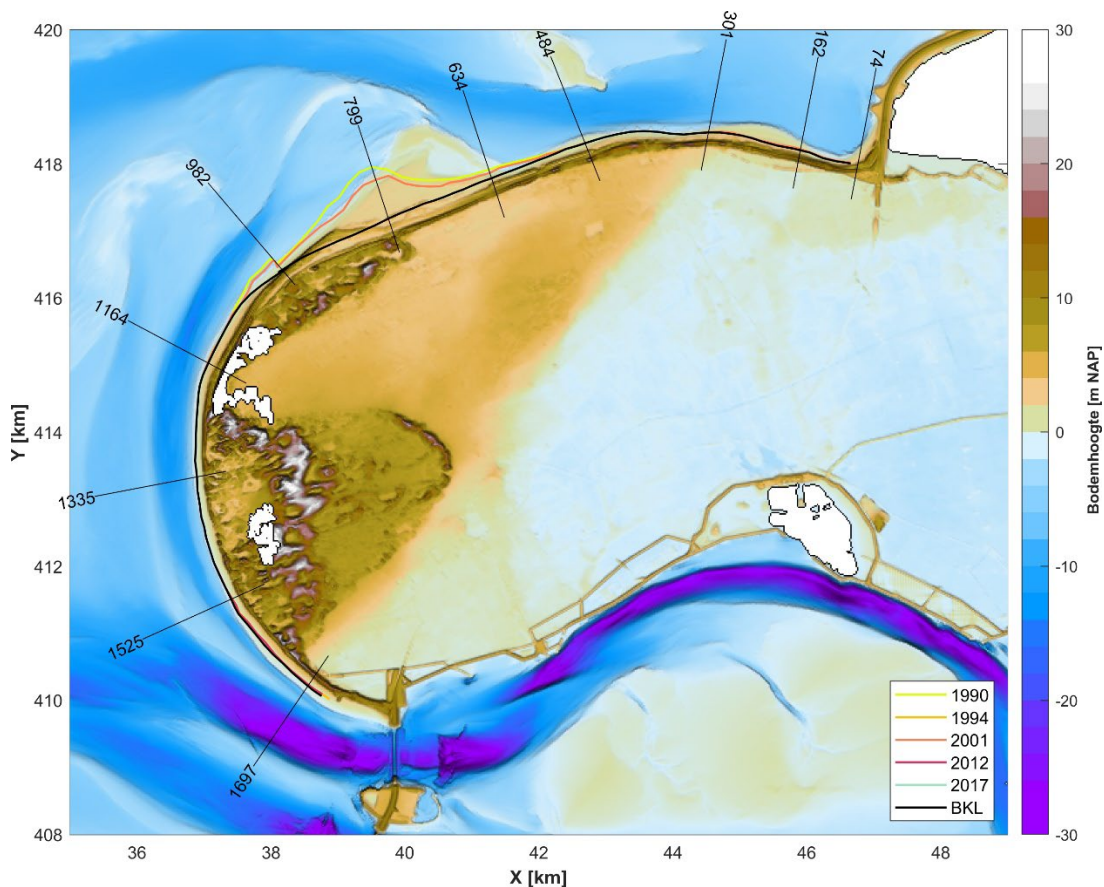
Bij de herziening van de Basiskustlijn in 2001 zijn bij Schouwen aanpassingen gedaan in de positie van de Basiskustlijn en grenswaarden voor de berekening van de Momentane Kustlijn. De BKL bij het Renesse Strand in het noorden bij de Brouwersdam (raai 84-319, m.u.v. de zeewaarts verplaatste raai 236) is landwaarts verplaatst (tussen de 6 en 23 m). Bij het Verklikkerstrand is de BKL ook landwaarts verplaatst (raai 469-1104, tussen de 1 en 620 m) om veel ruimte te geven aan natuurlijke dynamiek. Daarnaast zijn raaien 1144 en 1164, aan de Kop van Schouwen, 15 en 10 m landwaarts verplaatst (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003).

Herzieningen en afspraken 2012

In 2012 zijn er voor de kust van Schouwen geen herzieningen van de Basiskustlijn geweest. Voor Schouwen zijn alleen voor het gebied bij de Rotonde in Westenschouwen (raaien 1648 – 1719) afspraken gemaakt over het handhaven van de Basiskustlijn. Het gebied bij de Rotonde in Westenschouwen, waar de restanten van een Middeleeuwse havendorp liggen, staat te boek als 'terrein van hoog archeologische waarde'. (Bron: Provinciale Zeeuwse Courant, augustus 2006). Door erosie kunnen delen van de archeologische nederzetting bloot komen te liggen. Archeologie en de recreatieveiligheid zijn zelf geen reden om over te gaan op suppletie, maar het wordt meegenomen als er in de buurt gesuppleerd wordt. Dit ook in verband met veiligheid van badgasten, omdat bij hoogwater de resten uit het zicht zijn en daardoor eventueel verwondingen kunnen veroorzaken bij badgasten, wat in het verleden al is gebeurd.

Herzieningen en afspraken 2017

In 2017 is de BKL voor de kust bij Westenschouwen (raaien 1485 en 1525-1719) herzien, waarbij de BKL 6 tot 37 meter zeewaarts is gelegd (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018). Dit kwam voort uit het feit dat de BKL niet is aangepast na een zeewaartse versterking in 1992, waardoor de BKL geen signaalfunctie meer had (Rijkswaterstaat onderhield de kustlijn op het niveau van midden jaren '90, maar de toenmalige BKL lag verder landwaarts). De BKL is op deze manier verlegd naar de positie van de kustlijn in 1996, waardoor hij weer een signaalfunctie kreeg.



Figuur 3-4. Ligging van de huidige (2017) Basiskustlijn voor Schouwen en die van 1990, 1994, 2001, 2012, en 2017 samen met de positie van enkele JARKUS raaien (2019 vaklodingen aangevuld met de AHN2).

3.3 Waterveiligheidsbeleid

Beheerders van primaire waterkeringen moeten minimaal eens in de twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Dat schrijft de Waterwet¹ voor. Sinds 2017 is het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI²) voor de primaire waterkeringen van kracht. Dit verving de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid). De huidige beoordelingsronde is begin 2017 gestart en duurt tot 1 januari 2023. Deze beoordelingsronde is de eerste ronde op basis van de overstromingskansbenadering (sinds 2017 vigerend) en wordt gebruikt om een eerste veiligheidsbeeld van de keringen te schetsen, ervaring op te doen met de nieuwe systematiek en te leren voor de toekomst. De keringen moeten in 2050 aan de normen in de Waterwet voldoen.

De gegevens over de belasting op de waterkering (bijvoorbeeld golfcondities en waterstanden) die nodig zijn voor de beoordeling, worden aangeleverd in de hydraulische belastingendatabank. De beheerders van de waterkering zijn verantwoordelijk voor gegevens over de actuele fysieke toestand van de waterkering.

De methode van beoordeling hangt in grote mate af van de soort waterkering. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen:

- dijken & dammen,
- duinen (ook wel duinwaterkeringen genoemd)
- waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld sluisen of kademuuren) en

¹ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/>

² <https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/primaire-waterkeringen/beoordelen-primaire-waterkeringen/>

- niet waterkerende objecten (NWO's, zoals kabels en leidingen).

Voor al deze categorieën zijn beoordelingsinstrumenten beschreven in het WBI.

De primaire waterkeringen zijn voor ongeveer 90% bij de waterschappen en voor ongeveer 10% bij Rijkswaterstaat in beheer. Op dit moment zijn de dijk en de duinwaterkering Schouwen beide in beheer bij het Waterschap Scheldestromen. Zij zijn verantwoordelijk voor het (laten) uitvoeren van de beoordeling en de beschikbaarheid van de actuele gegevens van de waterkering. In het volgende tekstkader staan begrippen die in het waterveiligheidsbeleid gebruikt worden toegelicht.

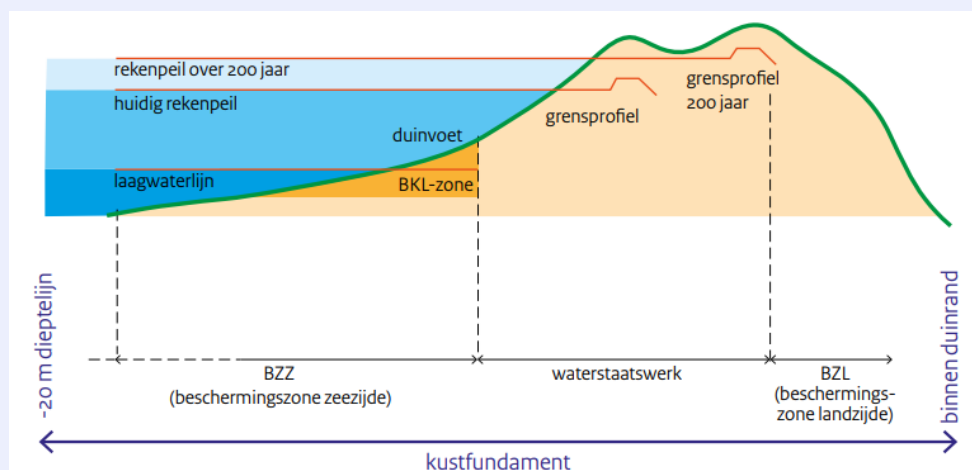
De beoordeling van de waterkering van Schouwen is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3

Aansluitingsconstructie

Een aansluitingsconstructie vormt een overgang (aansluiting) tussen twee verschillende type waterkeringen, vaak tussen een duin en een dijk.

Grensprofiel

Het grensprofiel is het minimale profiel (zandvolume) dat na een maatgevende belasting bij stormvloed aanwezig moet blijven om de wettelijke veiligheid van het binnendijs gelegen gebied te waarborgen. De dimensies van het benodigde grensprofiel zijn afhankelijk van de Hydraulische Randvoorwaarden. Afhankelijk van de eigenschappen van het duingebied (breed of smal) en andere functies kan de plaats van het grensprofiel binnen het gebied door de beheerder in de legger worden vastgelegd.



Bron: Unierichtlijn Legger Waterkering (2013)

Hybride kering

Een kering die bestaat uit een combinatie van twee type waterkeringen, bijvoorbeeld een dijk achter een duinenrij of een dijk-in-duin constructie.

Legger

De legger van de primaire waterkering registreert de precieze ligging van de waterkering. Leggers kunnen de vorm hebben van een kaartenboek of een digitaal (GIS) bestand. De Waterwet verplicht sinds 2009 dat er voor elk waterstaatswerk een legger wordt opgesteld. Bij duinwaterkeringen wordt in de legger het grensprofiel geregistreerd.

Signaleringswaarde

De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens, als norm in de wet opgenomen. De waarde betreft een overstromingskans. Alle primaire waterkeringen in Nederland hebben een signaleringsnorm gekregen tussen de 1:300 en de 1:1.000.000.

Ondergrens

De ondergrens geeft de maximaal toelaatbare faalkans voor een waterkering weer, die hoort bij de betreffende signaleringswaarde van de kering. Voor de meeste keringen geldt dat de kans van de ondergrens drie maal groter is dan de kans van de signaleringswaarde.

Voorland

Het gebied dat aan de zeezijde van een waterkering gelegen is.

Zeereep

De duinenrij die direct aan het strand grenst. Deze kan samenvallen met, of zeewaarts liggen van, de primaire waterkering.

4 Gebruiksfuncties van de kust van Schouwen

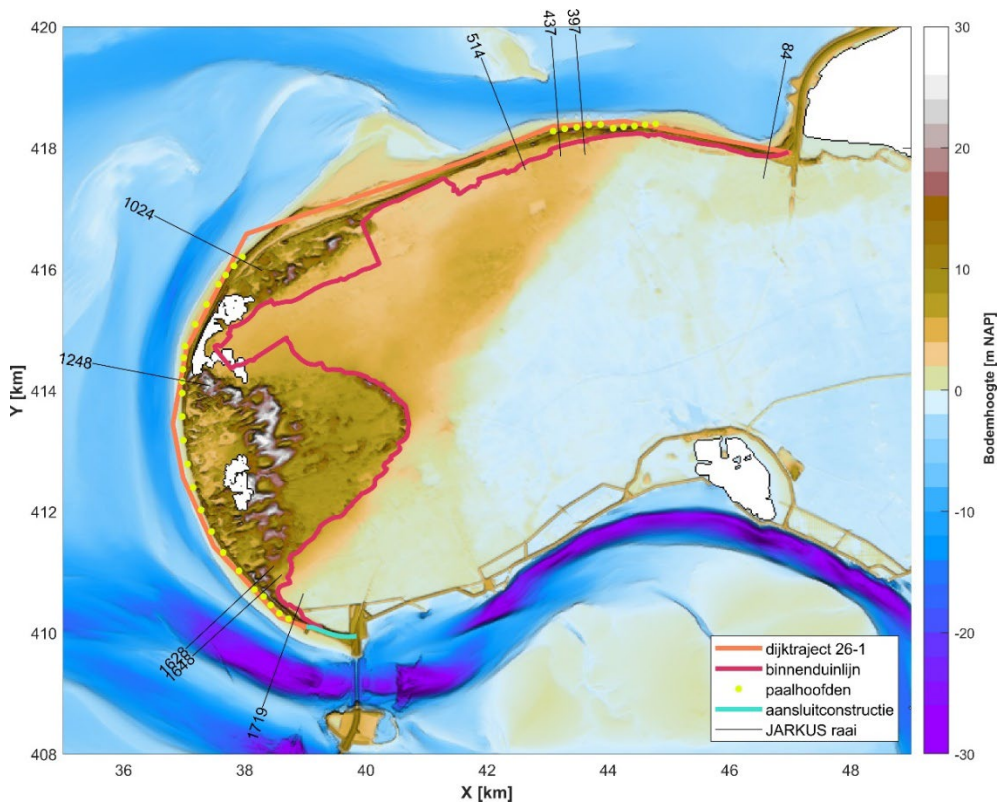
4.1 Inleiding

De kustzone is niet alleen belangrijk voor de waterveiligheid, maar biedt ruimte aan vele gebruiksfuncties, zoals natuur, recreatie en drinkwaterwinning. Met die gebruiksfuncties wordt rekening gehouden bij de vaststelling van de Basiskustlijn en het suppletieprogramma. Zandsuppleties vinden bij Schouwen plaats sinds 1975. Dit hoofdstuk geeft een overzicht en korte beschrijving van de waterkeringen (paragraaf 4.2), strandrecreatie (paragraaf 4.3), natuur (paragraaf 4.4) en drinkwater (paragraaf 4.5) voor Schouwen.

4.2 Waterveiligheid

4.2.1 Kustverdedigingswerken

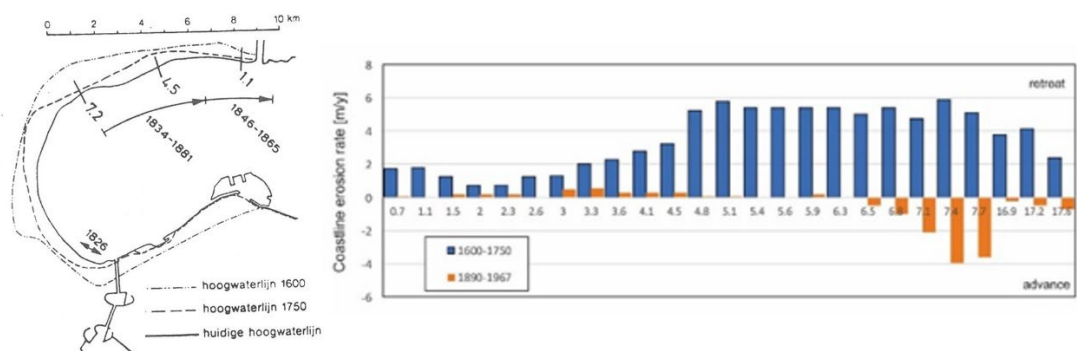
Figuur 4-1 geeft overzicht de aanwezige kustverdediging(swerken) voor dijktraject 26-1. Het grootste deel van de kust wordt beschermd door duinen. De figuur geeft de binnenduinlijn (d.w.z. de meest landwaartse ligging van de duinen) weer. Alleen in het uiterste zuidoosten is sprake van een stuk dijk dat als aansluiting dient voor de Oosterscheldekering. De figuur geeft ook de ligging weer van de Zeeuwse golfbrekers die ook wel paalhoofden worden genoemd. Dit zijn houten palen op een dam van stenen en basaltblokken. Deze manier van kustverdediging is alleen in Zeeland te vinden, aangezien de hoogteverschillen tussen eb en vloed in Zeeland veel groter zijn dan elders langs de Nederlandse kust en daardoor sprake is van een sterkere getijdestroom. Achter strekdammen ontstaat een stroming die de kust sterk kan aantasten, maar door halfopen paalhoofden te gebruiken wordt de stroming wel afgeremd, maar vindt er achter de strekdammen minder erosie van de kust plaats.



Figuur 4-1. Locatie van de paalhoofden langs dijktraject 26-1, de binnenduinlijn en de aansluitconstructie met de Oosterscheldekering. De figuur geeft enkele JARKUS raaien weer.

Een uitgebreide studie naar de effecten van strandhoofden, de stenen dam onder de palenrij, langs de kust van Zeeland sinds de 18^e eeuw is gerapporteerd door Verhagen en Van Rossum (1989). In Figuur 4-2 worden de resultaten van deze studie samengevat voor Schouwen (Lazar et al, 2017). Voor zowel de noordkust als de zuidkust van Schouwen hebben de effecten van de Deltawerken de lokale kustontwikkeling veranderd. Na de aanleg van de Brouwersdam en de daardoor opgetreden morfologische veranderingen is de golfaanval op de noordkust van Schouwen veranderd. Door de toegenomen hoogte van de verschillende ondieptes in de monding dissipeert de golfenergie tegenwoordig meer dan vroeger in de monding en bereikt minder golfenergie de kust. Langs de zuidelijke strandhoofden treedt nu meer ernstige erosie op doordat de grootschalige morfologie sterk is veranderd (zie Hoofdstuk 6), waardoor er periodieke zandsuppleties nodig zijn om de kustlijn te onderhouden en de strandhoofden te behouden. Naar verwachting hebben strandhoofden en palenrijen alleen effect op het langstransport (bijv. branding gedreven) en geen effect op dwarstransport richting de geul (bijv. door erosie tijdens stormen en door strand- of vooroevervallen).

Hierna wordt de geschiedenis van de strandhoofden voor drie gebieden in meer detail toegelicht.



Figuur 4-2. (links) Kustlijnontwikkeling van de eilanden Walcheren en Schouwen van 1600-1900. (rechts) Samenvatting kustlijnontwikkeling voor en na de aanleg van de strandhoofden (Lazar et al, 2017, gebaseerd op Verhagen en Van Rossum, 1989).

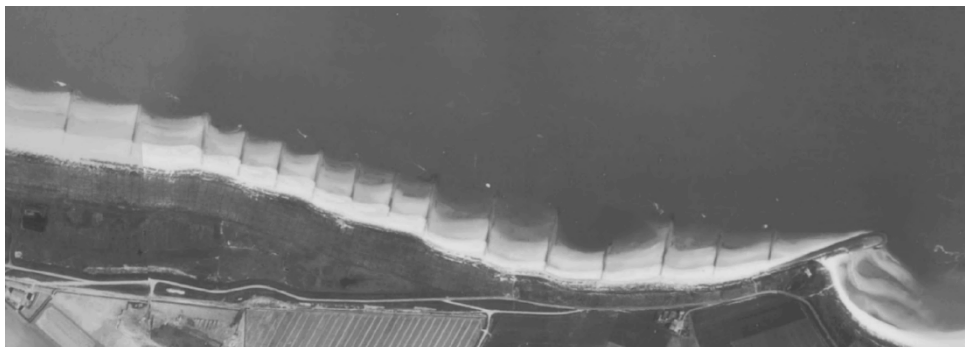
Strandhoofden en bestortingen Noorderstrand-Renese (raaien 84-514)

Hoewel de geschiedenis van de bescherming tegen de zee in Zeeland en Holland vele eeuwen terug gaat, werden de eerste hedendaagse strandhoofden langs de kust van Walcheren en Schouwen gebouwd in de 19^e eeuw (Figuur 4-1). Als eerste werden tussen 1834 en 1881 strandhoofden gebouwd over een lengte van 6 km langs de noordkust van Schouwen om de duinerosie tegen te gaan (Figuur 4-3 geeft een luchtfoto van deze strandhoofden uit 1959 weer). Deze duinerosie hield verband met de aanwezigheid van een belangrijke getijdegeul langs de kust: het Brouwershavensche Gat, dat tot de afsluiting van het Grevelingen in 1971 nog een diepe geul was. Deze diepe geul zorgde voor een steil en eroderend onderwatertalud, dat af en toe resulteerde in een strandval, zie Figuur 4-4. Een strandval is een lokale zeewaartse verplaatsing van een grote hoeveelheid zand in korte tijd. Door de aanleg van de strandhoofden nam de erosiesnelheid sterk af, van 0,7 à 1,8 m/jaar tot 0 à 0,2 m/jaar. De afname was nog sterker tussen km 3 en 7, waar voor 1865 nog erosiesnelheden van 5 à 6 m/jaar werden waargenomen en daarna vrijwel tot 0 gereduceerd werden. Een deel van deze afname wordt ook toegeschreven aan de meer grootschalige morfodynamische veranderingen, zoals de kustlangse migratie van zandgolven.

Verhagen en van Rossum (1989) melden: “Ter bescherming van dijken en duinen ten westen van Brouwershaven is men halverwege de 19^e eeuw begonnen met uitgebreide beteugelingswerken (bestortingen en hoofden). Het westelijke deel van dit kustvak bestaat uit een duinkust. Daar zijn vanaf 1843 enige strandhoofden gebouwd. Deze reeks is in de jaren daarna naar het oosten uitgebreid. In 1846 werd oostelijker begonnen met een nieuwe reeks.

Hierop sloot de eerste reeks in 1881 aan, zodat een doorgaande reeks ontstond. De geul ligt pal voor de koppen van de strandhoofden”.

De strandhoofden en bestortingen bij het Noorderstrand zijn sinds de aanleg van de Brouwersdam nagenoeg volledig onder het zand verdwenen. Een uitzondering wordt gevormd door de hoofden bij de erosie ‘hotspot’ van raaien 397-437 (1 in Figuur 4-5). Soms komen de strandhoofden tijdelijk weer tevoorschijn, mede door de verplaatsing van zandgolven langs de kust en door de herverdeling van zandsuppleties (zie ‘2’ in Figuur 4-5). De strandhoofden die tijdelijk bloot liggen op het strand zullen dan een beperkte invloed hebben op de ontwikkeling van het strand. De strandhoofden en mogelijk de bestorting bij de erosie ‘hot spot’ van raai 397-437 spelen daar mogelijk nog een bescheiden rol in de ontwikkeling van de laagwaterlijn en mogelijk van de geulwand. De altijd bedekte strandhoofden en de bedekte bestortingen spelen geen rol meer in de huidige kustontwikkeling.



Figuur 4-3. Luchtfoto van het Noorderstrand in 1959. De Brouwerdam is aangelegd ter plaatse van de brede scheef geplaatste dam rechts op de foto (Geoloket, provincie Zeeland).



Figuur 4-4. Strandval van 4 april 1958 in het Noorderstrand bij Scharendijke. Hierbij verdween 0,4 ha strand tussen de strandhoofden no. 13 (links) en 14 (rechts, deels beschadigd) (Wilderom, 1964).



Figuur 4-5. Luchtfoto 2010 van het Noorderstrand met zichtbare strandhoofden bij 1 en 2 (Geoloket, provincie Zeeland).

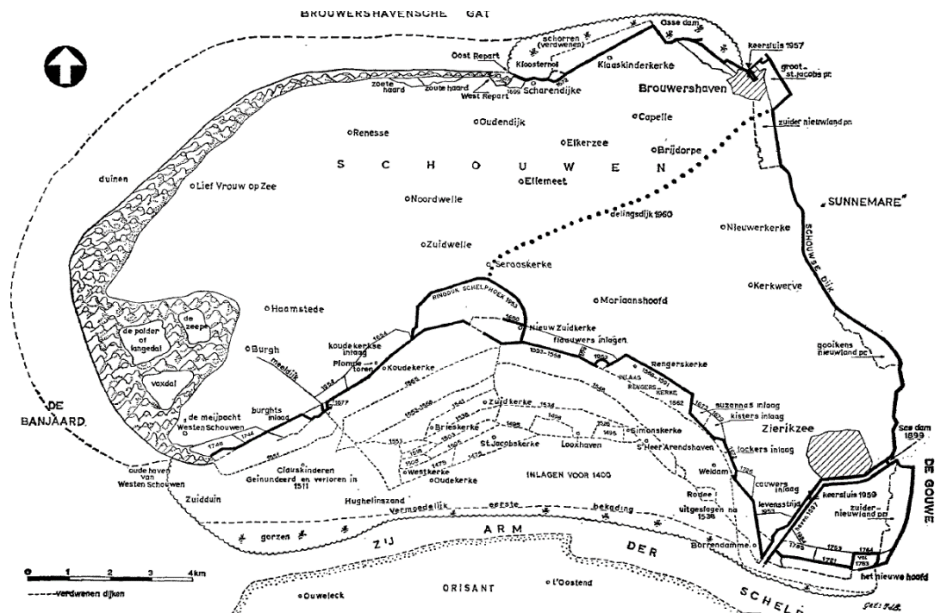
Palenrijen Krabbengat (raai 1024-1648)

De palenrijen tussen raai 1024 en 1248 zijn in 1968 aangebracht en tussen raaien 1248 en 1648 in 1975. Het afremmende effect van de palenrijen viel tegen, er is over opgemerkt: “een groot aantal palen is reeds uitgespoeld ten gevolge van de voortgaande verdieping van de vooroever” (in Verhagen en Rossum, 1989). Kevelam en Postma (1988) merken op dat het niet is uitgesloten dat de palenrijen hebben bijgedragen aan de verflauwing van het strand. Gedetailleerde analyse door Roelse (1984) heeft laten zien dat het vermeende positieve effect van palenrijen in Zeeland in alle gevallen een andere oorzaak had en dat bij oprukkende getijgeulen de palen geen enkele weerstand bieden.

Strandhoofden en bestortingen Krabbengat en Hammen (raai 1628 -1719)

In het zuiden, ten westen van de hedendaagse locatie van de aanzet van de Stormvloedkering, werden strandhoofden geplaatst om de erosie van de kustlijn te verminderen die werd veroorzaakt door de aanliggende getijdegeul de Hammen. Ook hier zorgde de diepe geul voor oever- en dijkvallen wat leidde tot landverlies (Figuur 4-6). De erosiesnelheden namen af van 2,4 à 4,8 m/jaar voor 1861, tot een gemiddelde aangroei van 0,5 m/jaar tot aan de bouw van de Stormvloedkering. Daarnaast zijn de oevers (die niet onder Kustlijnzorg vallen, maar in beheer zijn bij het waterschap) sinds de voltooiing van de Deltawerken voorzien van doorgaande bestorting en daarmee effectief beschermd.

Verhagen en van Rossum (1989) melden: “Aan de zuidwestzijde rukte het Krabbengat steeds verder [landwaarts] op. Daar werden tussen 1826 en 1883 zeven hoofden gebouwd. Ten noorden daarvan is in de zeventiger jaren een reeks palenrijen gebouwd.” In Figuur 4-7a zijn deze strandhoofden in de situatie in 1959 aangeduid met de cijfers 1 tot en met 4. De overgang naar de dijk is gemarkeerd met 5. De strandhoofden zijn tegenwoordig onder het zand bedekt (Figuur 4-7c), tenzij deze door erosie van suppleties zichtbaar worden. (Figuur 4-7b). In Figuur 4-7b zijn deze strandhoofden gemarkeerd met B,C,D en er staat een vraagteken op de plek van het vierde strandhoofd. A in deze figuur is een van de palenrijen die in de zeventiger jaren zijn geplaatst. E is het bolwerk dat de overgang van de duinwaterkering naar de dijk markeert (tijdens de aanleg van de Oosterscheldekering heeft dit gefungeerd als bruggenhoofd voor de tijdelijke werkbrug naar het werkeiland Neeltje Jans). F is de aansluitconstructie naar de Stormvloedkering.



Figuur 4-6. Landverlies van de duinenkust en polders van Schouwen vanaf de late middeleeuwen tot de Deltawerken (Wilderom, 1964).



Figuur 4-7. Luchtfoto's uit 1959 (boven), 2012 (midden) en 2022 (onder) van zuidoostelijke strand van Schouwen (Geoloket, provincie Zeeland & Google Earth).

4.2.2 Primaire waterkering

De veiligheid tegen overstromingen wordt gewaarborgd door de aanwezigheid van een primaire waterkering. De primaire waterkering bestaat uit duinen en dijken. De primaire waterkering is ingedeeld in dijktrajecten die afzonderlijk genormeerd zijn. Het onderhoud van deze dijktrajecten ligt in het beheer van Waterschap Scheldestromen. Zoals hiervoor al benoemd bestaat de primaire waterkering van Schouwen uit vier trajecten (Figuur 4-8). Deze trajecten grenzen aan de Noordzee (26-1), de Oosterschelde (26-2 en 26-3) en het Grevelingenmeer (26-4). Traject 26-1 en 26-2 hebben een signaleringswaarde van 1:3000. Traject 26-3 heeft een signaleringswaarde van 1:10.000. De Grevelingendijken binnen traject 26-4 hebben een overstromingsnorm van 1:1000, omdat de Grevelingendam en Brouwersdam met name de veiligheid waarborgen en een overstromingsnorm van 1:3000 hebben (www.waterveiligheidsportaal.nl). In het voorliggende rapport wordt alleen de waterkering grenzend aan de Noordzee (dijktraject 26-1) beschouwd. Deze waterkering bestaat vrijwel volledig uit duinen, alleen in het uiterste zuidoosten, aangrenzend aan de Oosterscheldekering is sprake van een stuk dijk (vanaf raai 1733 tot aan de Stormvloedkering). Dit stuk dijk wordt overigens wel als zijnde duin beoordeeld, met als voorwaarde dat het asfalt sterk genoeg is.



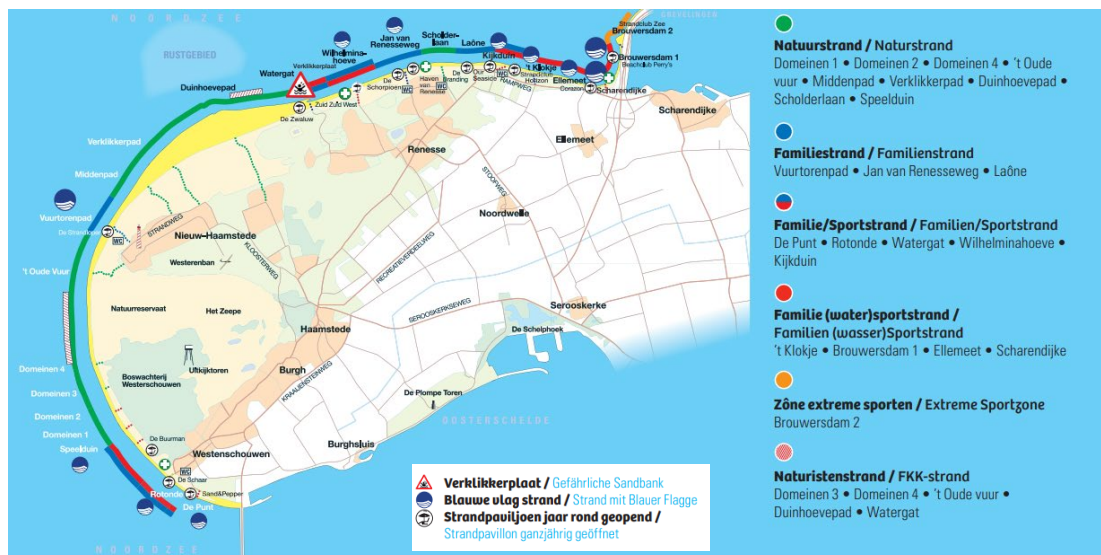
Figuur 4-8. Overzicht waterkeringen dijkkring 26 (gebaseerd op Pers. Comm. Waterschap Scheldestromen, 2017).

4.2.3 Beoordeling van de primaire waterkering

De beoordeling van de normtrajecten van Schouwen (26-1, de Kop van Schouwen) is te vinden in het waterveiligheidsportaal (www.waterveiligheidsportaal.nl). De signaleringswaarde is vastgesteld op 1:3000 per jaar en de ondergrens op 1:1000 per jaar. Op 28 april 2020 is het definitieve veiligheidsoordeel categorie A+, wat inhoudt dat de overstromingskans van het dijktraject veel kleiner is dan de signaleringswaarde. Het dijktraject voldoet ruim aan de signaleringswaarde.

4.3 Strandrecreatie

De kust van Schouwen kent 21 kilometer aan stranden van vier verschillende types: 1) familiestranden, 2) natuurstranden, 3) (water)sportstranden en 4) gecombineerde stranden (<https://www.schouwen-duiveland.nl/over-schouwen-duiveland/schouwse-stranden>) (Figuur 4-9). Er zijn 23 strandovergangen.



Figuur 4-9. Overzichtskartaal van Schouwen met de vier strandtypen (natuur-, familie-, sport- en gecombineerde stranden) (bron: strandfolder Schouwen-Duiveland 2022).

De Verklipperplaat, tussen de strandopgangen Duinhoeverpad en Wilhelminahoeve, is in de loop der jaren richting de kust verschoven. Bij laagwater maakt de Verklipperplaat contact met het strand, waardoor je de plaat kan oplopen. Bij vloed loopt de geul die de Verklipperplaat van het strand scheidt in razendsnel tempo en met grote kracht onder water. In het verleden is het voorgekomen dat strandgasten werden verrast door het opkomende water en wadend door het water het strand bereikten, door de reddingsbrigade van de plaat moesten worden gehaald, of zelfs zijn verdronken. Waarschuwborden maken duidelijk dat het levensgevaarlijk is.

De gemeente Schouwen-Duiveland heeft in 2017 de conceptversie van de 'Beleidsnota & Uitvoeringsprogramma Strand 2018-2021' vastgesteld (Gemeente Schouwen-Duiveland, 2019). Er is vervolgens in 2019 gekozen om dit Strandbeleid niet te herzien, maar te wachten op de Agenda Toerisme. Reden hiertoe was dat de Agenda Toerisme zou kunnen leiden tot beleidskeuzes die gevolgen hebben voor het Strandbeleid. In 2018 is de Agenda Toerisme vastgesteld (Gemeente Schouwen-Duiveland, 2021). Vooralsnog staat de actualisatie van het Strandbeleid gepland. Uit de Agenda Toerisme volgt dat de gemeente kansen ziet in de stranden als grote trekker van toerisme en daar op wil inzetten.

4.4 Natuur

Schouwen grenst aan de Natura2000 gebieden Voordelta (met daarin het bodembeschermingsgebied), Oosterschelde en de Grevelingen. De Kop van Schouwen is ook aangewezen als Natura2000 gebied. Hieronder worden de habitattypen en het beheer van de Voordelta en Kop van Schouwen toegelicht. Duindynamiek op de Kop van Schouwen, waaronder de pilot 'Slim omgaan met zand' wordt toegelicht in Hoofdstuk 6.4

4.4.1 Voordelta

Onderstaande informatie is afkomstig uit het Beheerplan Voordelta 2015-2021 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en de eindrapportage van het monitoring- en onderzoeksprogramma Natuurcompensatie Voordelta (Prins et al., 2020). De huidige Natura 2000 beheerplannen lopen in 2022 af. Rijkswaterstaat werkt momenteel aan nieuwe beheerplannen en de huidige beheerplannen worden daartoe eenmalig een aantal jaar verlengd ([Verlenging beheerplannen - Natura 2000 Rijkswaterstaat \(rwsnatura2000.nl\)](https://www.rwsnatura2000.nl)).

Beschrijving

De Voordelta is sinds 2008 aangewezen als Natura 2000-gebied onder zowel de Habitatrichtlijn als de Vogelrichtlijn. Het eerste Natura 2000 beheerplan voor de Voordelta had betrekking op de periode 2008 – 2014 (VenW, 2008). In 2016 is het beheerplan 2015-2021 vastgesteld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

De Voordelta herbergt natuurlijke habitats en leefgebieden die voor het Europese netwerk Natura 2000 van belang zijn. De Voordelta omhelst het ondiepe zeedeelte van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Delta. Het gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een gevarieerd en dynamisch milieu van kustwateren, intergetijdengebied en stranden, dat een relatief beschutte overgangszone vormt tussen de (voormalige) estuaria en volle zee. Na de afsluiting van de Deltawerken is dit kustgedeelte sterk aan veranderingen onderhevig geweest, waarbij een uitgebreid stelsel van droogvallende en diepere zandbanken is ontstaan met daartussen diepere geulen (zie 5.2.2). Door erosie- en sedimentatieprocessen treden verschuivingen op in de omvang van de intergetijdengebieden. In de randen van het gebied bij Voorne en Goeree liggen een aantal schorren en meer slikkige platen. Verder horen ook de stranden van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, waar plaatselijk duinvorming optreedt, tot het gebied.

De Voordelta is een leefgebied voor de gewone en de grijze zeehond vanwege het stelsel van droogvallende zandbanken. Het open water van de Voordelta is vooral van belang voor visetende trekvogels, in het bijzonder voor de roodkeelduiker, en voor schelpdiereters, als zwarte zee-eend en eider. De intergetijdengebieden zijn van belang voor steltlopers en eenden, zoals scholeksters, drieteenstrandlopers en bergeenden.

Habitattypen

Het Natura 2000-gebied Voordelta is aangewezen voor zes habitattypen en zes soorten uit de Habitatrichtlijn en voor dertig soorten uit de Vogelrichtlijn (Tabel 4-1 en Tabel 4-2). Het grootste deel is gekarakteriseerd als habitatype H1110 (permanent overstroomde zandbanken); een kleiner deel bestaat uit habitatype H1140 (slik- en zandplaten) en andere habitattypen. Alle aangewezen vogelsoorten zijn aangewezen als niet-broedvogels, dat wil zeggen dat hun instandhoudingsdoelstellingen betrekking hebben op de functie van het leefgebied voor doortrekkers en overwinteraars en als foerageergebied voor elders broedende vogels (sterns) en niet op een broedfunctie. Voor deze habitattypen en soorten zijn instandhoudingsdoelstellingen geformuleerd in het aanwijzingsbesluit.

Tabel 4-1 habitattypen en habitatsoorten waarvoor instandhoudingsdoelstellingen gelden in het Natura 2000-gebied Voordelta (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016)

Habitattypen (verkorte naam)	Habitatsoorten
H1110 Permanent overstroomde zandbanken	H1095 Zeeprik
H1140 Slik- en zandplaten	H1099 Rivierprik
H1310 Zilte pionierbegroeiingen	H1102 Elft
H1320 Slijkgrasvelden	H1103 Fint
H1330 Schorren en zilte graslanden	H1364 Grijze zeehond
H2110 Embryonale duinen	H1365 Gewone zeehond

Tabel 4-2 Vogelrichtlijn: vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelstellingen gelden in het Natura 2000-gebied Voordelta. Het betreft voor alle vogels een doelstelling als niet-broedvogel (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016)

A001 Roodkeelduiker	A054 Pijlstaart	A137 Bontbekplevier
A005 Fuut	A056 Slobeend	A141 Zilverplevier
A007 Kuifduiker	A062 Topper	A144 Drieteenstrandloper
A017 Aalscholver	A063 Eider	A149 Bonte strandloper
A034 Lepelaar	A065 Zwarte zee-eend	A157 Rosse grutto
A043 Grauwe gans	A067 Brilduiker	A160 Wulp
A048 Bergeend	A069 Middelste zaagbek	A162 Tureluur
A050 Smient	A130 Scholekster	A169 Steenloper
A051 Krakeend	A132 Kluut	A177 Dwergmeeuw
A052 Wintertaling		A191 Grote stern
		A193 Visdief

Natuurcompensatie Voordelta

Als compensatie voor de aanleg van Maasvlakte 2 is er sinds 2008 sprake van een bodembeschermingsgebied van 24.550 ha waar kwaliteitsverbetering moet optreden (Figuur 4-10). Doel van deze maatregel is om in de Voordelta de kwaliteit van het habitatype 'permanent overstroomde zandbanken' (H1110B), en daarmee ook de productie van voedsel voor vogels en vissen, gelijk te houden aan de situatie vóór de aanleg van Maasvlakte 2 en zo het natuurverlies ter plaatse van de Maasvlakte 2 te compenseren in de Voordelta. In het bodembeschermingsgebied worden boomkorvissers met wekkerkettingen en met schepen met een motorvermogen groter dan 260 pk sinds 2008 geweerd. Het bodembeschermingsgebied is wel toegankelijk voor andere vormen van visserij, waarvan garnalenvisserij de meest voorkomende visserij is. Voor de zwarte zee-eend, grote stern en visdief zijn daarnaast rustgebieden ingesteld: de Hinderplaat (grote stern en visdief), de Bollen van de Ooster (grote stern en zwarte zee-eend) en Bollen van het Nieuwe Zand (zwarte zee-eend).

Uit het monitoring- en onderzoeksprogramma Natuurcompensatie Voordelta blijkt dat het areaalverlies aan zandbanken inderdaad in de verwachte omvang is opgetreden door aanleg van Maasvlakte 2 (Prins et al., 2020). Negatieve effecten waren niet aantoonbaar voor de grote stern, die het verloren gegane zeegebied sowieso nauwelijks gebruikte. Negatieve effecten waren wel aanwezig voor de op de Maasvlakte broedende visdief, die nu een langere vliegafstand heeft naar de belangrijkste foerageergebieden. Voor de zwarte zee-eend is het beeld niet eenduidig. De voedselbiomassa is niet afgenomen en veldgegevens konden de door de modellen aangegeven versturende rol van garnalenvisserij bevestigen noch ontkennen. De verwachte compensatie van de verloren biomassa van habitatype H1110B is niet gerealiseerd of in elk geval niet aan de genomen maatregelen kan worden toegeschreven. Het gebied functioneert nog steeds als een dynamisch kustgebied, waarin de verschillende typen wateren blijven voorkomen en hun ecologische rol blijven vervullen. De sterke opkomst van de garnalenvisserij en de ontwikkeling van andere menselijke activiteiten hebben echter de druk op het gebied verhoogd, waardoor de overname van verloren ecologische functies wellicht minder volledig is verlopen dan kon worden verwacht. De maatregelen die zijn genomen om de ecologische functies van het gebied te versterken, zijn bovendien niet allemaal even effectief gebleken omdat ze anders zijn uitgedacht dan gepland.



Figuur 4-10 Overzichtskaat van de Voordelta met het Natura2000 gebied (gele begrenzing), het Bodembeschermingsgebied (rode begrenzing) en de rustgebieden Slikken van Voorne, Hinderplaat, Bollen van de Ooster, Middelpmaat en Bollen van het Nieuwe Zand. (bron: www.rwsnatura2000.nl/gebieden/voordelta)

4.4.2 Kop van Schouwen

Onderstaande informatie is afkomstig van het Gebiedsdocument Kop van Schouwen (LNV, 2006) en Gebiedsanalyse Kop van Schouwen (Provincie Zeeland, 2017).

Beschrijving

De Kop van Schouwen is in 2013 aangewezen als Natura2000 gebied. Het is een duingebied op het westelijke uiteinde van Schouwen-Duiveland. Het gebied omvat een aantal deelgebieden met een verschillende ontstaansgeschiedenis, waardoor kalkrijke jonge duinen, kalkarme oude duinen, klifduinen en stuifduinen aanwezig zijn. Aan de zeezijde van het gebied zijn de duinen sterk geaccidenteerd, met natuurlijke begroeiing, verstuiwingsprocessen en natte valleien; de open binnenduinen zijn licht golvend. Daardoor komt een brede variatie aan duinhabitattypen voor. In de aangroeiende noordwestpunt (Verklikkerduinen) zijn jonge duinvalleien aanwezig. De iets zuidelijker gelegen Meeuwenduinen vormen een naar verhouding grootschalig actief stuivend duin waarin in de laatste 50 jaar geen maatregelen zijn getroffen voor vastlegging van het duin. Er komen evenwel geen duinvalleien in voor. In de

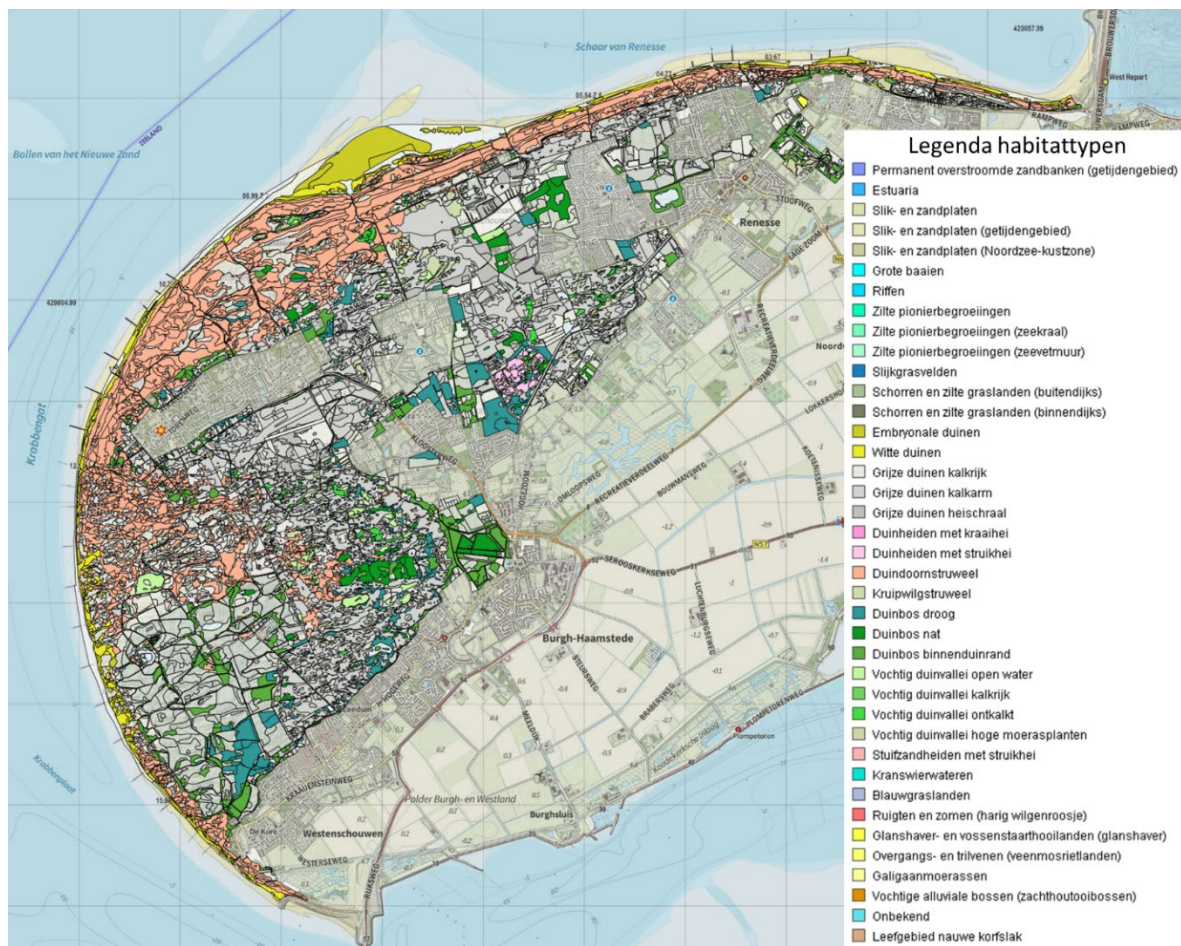
Zeepduinen ten oosten daarvan zijn in het kader van natuurontwikkeling valleien opnieuw uitgegraven en zijn nieuwe uitblazingsvalleien ontstaan. In het zuidwesten van het gebied worden jonge duinen met struweel en bos aangetroffen. In de oostelijke binnenduinen liggen ontkalkte vroongronden met soortenrijke graslanden, afgewisseld met de zogenaamde elzenmeten, duinheide en landgoedbossen. Tussen Burgh-Haamstede en Renesse zijn de meeste natte duinvalleivegetaties te vinden.

Habitats

De Kop van Schouwen is belangrijk voor het behoud van diverse duinhabitats (Tabel 4-3), namelijk Embryonale duinen, Witte duinen, Grijze duinen, Duinheiden met struikhei, Duindoornstruwelen, Duinbossen, Vochtige duinvalleien en Blauwgraslanden. Uitbreiding en herstel van grijze duinen is van belang als habitat voor de tapuit, velduil en blauwe kiekendief. Vochtige duinvalleien bieden habitat aan de roerdomp, lepelaar, blauwe kiekendief en velduil, noordse woelmuis, nauwe korfslak en groenknolorchis.

Tabel 4-3 Instandhoudingsdoelstellingen (habitattypen en soorten) voor Kop van Schouwen, verdeeld in doelstelling voor oppervlakte en kwaliteit respectievelijk omvang en kwaliteit leefgebied en omvang populatie zoals deze zijn opgenomen in het aanwijzingsbesluit. (doelen: = behoud, > uitbreiding of verbetering, =<) enige achteruitgang ten gunste van andere (in aanwijzingsbesluit genoemde) habitattypen toegestaan * prioritaire soort of habitatype). (Provincie Zeeland, 2017)

Habitattypen	Oppervlakte	Kwaliteit
H2110 Embryonale duinen	=	=
H2120 Witte duinen	=	>
H2130A *Grijze duinen (kalkrijk)	>	>
H2130B *Grijze duinen (kalkarm)	>	>
H2130C *Grijze duinen (heischraal)	>	>
H2150 *Duinheiden met struikhei	=	=
H2160 Duindoornstruwelen	= (<)	=
H2170 Kruiwilgstruwelen	= (<)	=
H2180A Duinbossen (droog)	= (<)	=
H2180B Duinbossen (vochtig)	= (<)	>
H2180C Duinbossen (binnenduinrand)	= (<)	=
H2190A Vochtige duinvalleien (open water)	>	>
H2190B Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	>	>
H2190C Vochtige duinvalleien (ontkalkt)	>	>
H2190D Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)	=	=
H6410 Blauwgraslanden	=	=
Soorten	Omvang/kwaliteit leefgebied	Omvang populatie
H1014 Nauwe korfslak	=/=	=
H1340 *Noords woelmuis	=/>	=
H1903 Groenknolorchis	>/>	>



Figuur 4-11 Habitattypen Kop van Schouwen in 2020 (Provincie Zeeland 2020, o.b.v. Atlas van Zeeland)

Beheer

Het beheer van de Kop van Schouwen richt zich met name op het verwijderen van nutriënten uit het gebied en het tegengaan van uitbreiding van struweel door te plaggen, begrazing en verwijderen van bomen en struiken. Daarnaast wordt verstuiwing gestimuleerd door het aanleggen van kerven (zie ook 6.4). In 2016 is een concept beheerplan opgesteld voor het gebied. In 2022 wordt dit conceptbeheerplan geactualiseerd door de Provincie Zeeland in samenspraak met de beheerders en de omgeving.

4.5 Drinkwaterwinning

De Kop van Schouwen is een drinkwaterwinningsgebied. Grondwater in de duinen tot 80 m diepte is hiervoor bestemd (van Baaren & Harezlak, 2011). Sinds 1930 wordt er water onttrokken aan het duingebied Boswachterij Westerschouwen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. De gewonnen hoeveelheid drinkwater neemt met de jaren toe. Dit is vooral het gevolg van een stijging van het hoofdelijk gebruik, maar ook door de grote vraag naar drinkwater vanuit recreatie en toerisme en dan met name in de zomermaanden. Omdat er te weinig drinkwater in de Zeeuwse bodem zit om heel Zeeland van water te voorzien, krijgt Schouwen-Duiveland rivierwater uit het Haringvliet. Dat wordt in de duinen bij de Boswachterij geïnfiltreerd, waarbij kalk bij het water komt. Hierdoor is de hardheid van het kraanwater op Schouwen-Duiveland nu nog 14 dH. Het is de bedoeling dat de hardheid in 2024 in heel Zeeland wordt teruggebracht naar 8,5 dH. Op dit moment worden hiervoor proeven gedaan met waterontharding in Burgh-Haamstede (<https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/14182877/drinkwater-gaat-echt-zachter-words-in-zeeland>).

5 Langetermijnontwikkelingen

5.1 Inleiding

De kennis over de langetermijnontwikkelingen van Schouwen is relevant voor het beheer van de kust. De paragraaf over de paleografische ontwikkeling (5.2) schetst hoe het landschap van Schouwen er gedurende de afgelopen duizenden jaren heeft uitgezien en hoe het de huidige vorm heeft gekregen. Paragraaf 5.3 behandelt de bodemdaling en de invloed ervan op de relatieve zeespiegelstijging en de sedimentbehoefte van het kustfundament.

5.2 Paleografische ontwikkeling

5.2.1 Regionaal

Aan het einde van de laatste ijstijd, het Weichselien, lag Zeeland “droog” en was het nog niet overstromd met zeewater. Twee kleinere rivieren, één ter hoogte van het huidige Zwin, de Eede, en één langs de Brabantse Wal, de Schelde, ontwaterden de zuidelijke helft van de huidige provincie Zeeland. De Brabantse Wal bestaat uit relatief hooggelegen vroeg-Pleistocene, gecompacteerd en kleiige rivierafzettingen en vormde voor de Schelde een niet te eroderen obstakel. Met de stijgende zeespiegel mee schoof een relatief smalle gordel van veengroei, en zeewaarts daarvan een bredere gordel van zand- en kleiafzettingen het land op. Tussen 8000 BP (Before Present, Present is 1950 A.D.) en ca. 4000 BP vulde het Zeeuwse bekken zich met veel fijn zand en relatief weinig klei, waarbij de grens tussen zee en land gevormd werd door smalle strandwallen met waarschijnlijk lage duintjes. Getijdengeulen staken tot diep in het bekken. Rond 5500 BP was er een maximum aan open water in het landschap, en snel daarna verlandde het gebied.

Na 4500 BP verzoette het landschap achter de smalle strandwallen zeer snel, waarschijnlijk omdat het in een kom vlak tegen hoger gelegen terrein aanlag: de tertiaire Vlaamse cuesta naar het zuiden en de vroeg-Pleistocene opgeheven Maasafzettingen naar het oosten met veel zoetwaterafvoer via kleine riviertjes. Tevens zal de afnemende snelheid van zeespiegelstijging een rol hebben gespeeld. Binnen 1000 jaar was door deze verzoeting het gehele gebied bedekt geraakt met veengroei. Deze situatie veranderde nauwelijks in de opvolgende 2400 jaar, gerekend vanaf 4500 BP, en groeide het veen hoog op.

Pas ca. 2100 jaar BP, kort voor de Romeinse tijd, vonden aan de kust kleinere inbraken plaats, die eerst na 200 AD aanleiding gaven tot het openbreken van het veensysteem en de afzetting van overstromingskleidekken rond die inbraken. Binnen 150 jaar na 200 AD was de kust echter sterk verbrokken geraakt en had de zee vrij toegang verkregen tot het achterliggende veengebied. Enorme erosie van het veen was het gevolg, waarbij zeer grote oppervlakten veen veranderden in intergetijdengebied, en dat binnen anderhalve eeuw. Er wordt wel gezegd dat de snelle erosie is ingezet door graafactiviteiten voor sloten en kanalen door de boerenbevolking in die tijd (Vos, 2015).

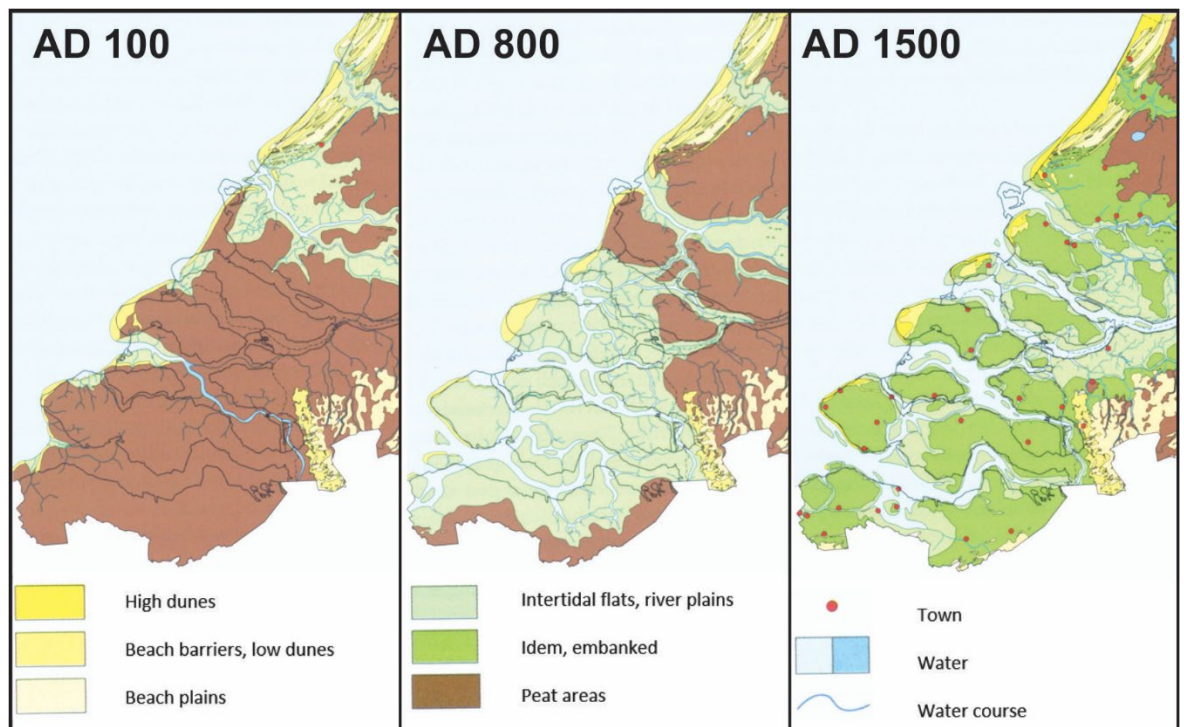
Rond 1000 AD (Figuur 5-1 Tijdreeks van de paleografische ontwikkeling van het deltagebied van ZW Nederland 100 – 1500 AD. Elias et al., 2016 naar Vos en van Heeringen, 1997., middelste kaartje) is het oppervlak van de jonge getijdenafzettingen maximaal en is nog maar een smalle rand veen niet geërodeerd of onbedekt door getijdenafzettingen. Bijna geheel Zeeland bestaat dan uit schorren en slikken. Niet alleen op de zandige koppen van de eilanden Walcheren en Schouwen, maar ook op Noord-Beveland en Tholen ontstaan tussen 750 en 1000 AD al bewoningskernen. De bewoners van deze gebieden gaan zich na 1000 AD

organiseren en starten met het bedijken van zeer grote hoog opgeslibde gebieden. Rond 1250 AD is het oppervlak ingedijkt land al bijna zo groot als in de huidige tijd.

Na 1500 AD wordt nog wel flink landverlies geleden in Zeeuws Vlaanderen, op Saeftinghe, bij Tholen en bij Reimerswaal (veel uitgeveende gebieden, dus extra kwetsbaar voor overstroming), met andere woorden; relatief diep in de estuaria, in de marges van de getijdensystemen. Ergens voor of rond 1000 AD wordt de Schelde aangetapt door terugschrijdende erosie van een getijdengeul afkomstig uit het gebied tussen Walcheren en het Zwin. Dat luidt het einde in van de verbinding tussen de rivier de Schelde en de Oosterschelde, die definitief beëindigd wordt door de aanleg van de Kreekrakdam halverwege de 19^e eeuw (Vos en van Heeringen, 1997).

Vanaf 1750 AD werd minder landverlies geleden, behalve door lateraal opschuivende geulen, maar wel werd (bijna) elke hectare beschikbaar intergetijdengebied ingepolderd. De zijdelings eroderende werking van de geulen leidde tot ondermijning van dijken, vooral waar de ondergrond zandig opgebouwd was in een eerder stadium van kustontwikkeling (De Bruin en Wilderom, 1961). Vanaf de 19^e eeuw werd vooral de invloed van onderwater-oeverbescherming steeds sterker merkbaar, waardoor geulen grotendeels werden vastgelegd, en alleen de platen nog geërodeerd konden worden. Dijkvallen traden daardoor niet meer op, maar wel werden de geulen nog dieper in de buitenbochten. Plaatvallen traden nu juist op aan de andere zijden van de ondieptes (De Bruin en Wilderom, 1961).

De laatste grote gebeurtenis is de stormramp van 1953 waarbij meer dan 1800 mensen omkwamen en ca. 200.000 ha land overstroomde. De overstroomde gebieden zijn in de jaren na de ramp weer bijna volledig terug ingepolderd. Voor natuurontwikkelingen worden tegenwoordig kleine gebiedjes weer ontpolderd, maar ontpoldering stuit in Zeeland op stevige weerstand.



Figuur 5-1 Tijdreeks van de paleografische ontwikkeling van het deltagebied van ZW Nederland 100 – 1500 AD. Elias et al., 2016 naar Vos en van Heeringen, 1997.

5.2.2 Ontwikkeling Voordelta

Tot in de Romeinse tijd stroomt de Schelde als relatief kleine rivier uit in de toenmalige voordelta, waarvan we overigens niet weten hoe deze eruit zag in die periode: die is mogelijk veel kleiner en veel minder aaneengesloten geweest dan de huidige voordelta. Zeker is wel dat de waarschijnlijk stabiele riviermond een strategische betekenis had, omdat ten zuiden van die mond overblijfselen van een tweetal Romeinstijdige heiligdommen zijn gevonden (ter hoogte van Colijnsplaat en voor Domburg) in verband met de koopvaart op Engeland in die periode. Ook wordt aangenomen dat op de noordelijke landpunt van de rivieroever een Romeinse militaire wachtpost heeft gelegen, het castellum Roompot (Beekman, 2007).

Willen we de ontwikkeling van de Voordelta begrijpen dan zullen we eerst moeten kijken naar de ontwikkeling van de Oosterschelde als estuarium en later als getijdensysteem. Die ontwikkeling moet teruggaan tot de 4^e eeuw na Chr. (Vos en Van Heeringen, 1997). Door de enorme overstromingen na de 4^e eeuw en de daarmee gepaard gaande verbreding en verdieping van de getijdensystemen moet de Voordelta al in de vroege middeleeuwen een min of meer gelijke uitbreiding hebben gehad als tegenwoordig, waarbij een golf-gedomineerde kustvorm overging in een veel meer getij-gedomineerde kustvorm onder invloed van de krachtige dwarscomponent in het stromingsbeeld (Elias et al, 2016). Zeker in de 13^e eeuw is er export van sediment uit het Oosterschelde bekken het gebied van de huidige Voordelta op (Beekman, 2007). Alle veranderingen daarna zijn variaties op dit thema afhankelijk van of effecten van de golven plaatselijk de overhand kregen op die van het getij, zoals in de noordelijke Voordelta na de sluiting van de Grevelingen, het Haringvliet en de Brielse Maas (Van der Spek, 1997). De ligging en de dimensies (breedtes, dieptes) van de getijdengeulen lijken tot op zekere hoogte bepaald te zijn door de aanwezigheid van voor erosie resistente pakketten klei en geconsolideerd zand in de ondergrond van de Voordelta (Hijma, 2017).

Tot in de 16^e eeuw is de het getijdenvolume min of meer geleidelijk toegenomen, maar in de tweede helft van de 16^e eeuw nam het snel toe door verlies aan overstromd buitendijks- en polderland waar eerder naar veen gegraven werd (bijvoorbeeld het Verdrongen Land van Reimerswaal: 14.000 hectaren). Het verband tussen landverlies en toename van de stroomsnelheden in de Oosterschelde werd in de 16^e eeuw al begrepen. Vanaf de 18^e eeuw verandert het estuarium van de Oosterschelde in een zeegat door de snelle ontwikkeling van de Westerschelde als estuarium. In het Oosterschelde bekken gaat dat gepaard met erosie van het intergetijdengebieden en met oevervallen (duizenden hectaren vooral in de 16^e eeuw; De Bruin en Wilderom, 1961; Wilderom, 1968; Beekman, 2007). De steeds groter wordende tijdebieten van de Oosterschelde (wel meer dan 50% toename na 1530 AD; Van den Berg, 1986) transporteerden steeds grotere volumes sediment vanuit het bekken naar de buitendelta. Tegen het eind van de 16^e eeuw moet de zandplaat "De Banjaard" wel 15x15km groot zijn geweest, terwijl die niet doorsneden was door geulen (Beekman, 2007).

5.3 Bodemdaling

In Nederland worden hoogtes gerelateerd aan het Normaal Amsterdams Peil (NAP). In Nederland zijn duizenden NAP-merken aanwezig die gebruikt worden voor tal van doeleinden. Zes daarvan, allemaal gelegen in Midden-Nederland, worden als stabiel verondersteld en de beweging van de andere merken wordt ten opzichte van deze zes punten berekend. De hoogte van de stabiele merken is voor het laatst vastgelegd in 2004 na de 5^e nauwkeurigheidswaterpassing (1996-1999). Ook de jaarlijks gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust wordt in NAP uitgedrukt; in 2019 stond de zee gemiddeld op ongeveer 0,10 m NAP (Baart et al., 2019).

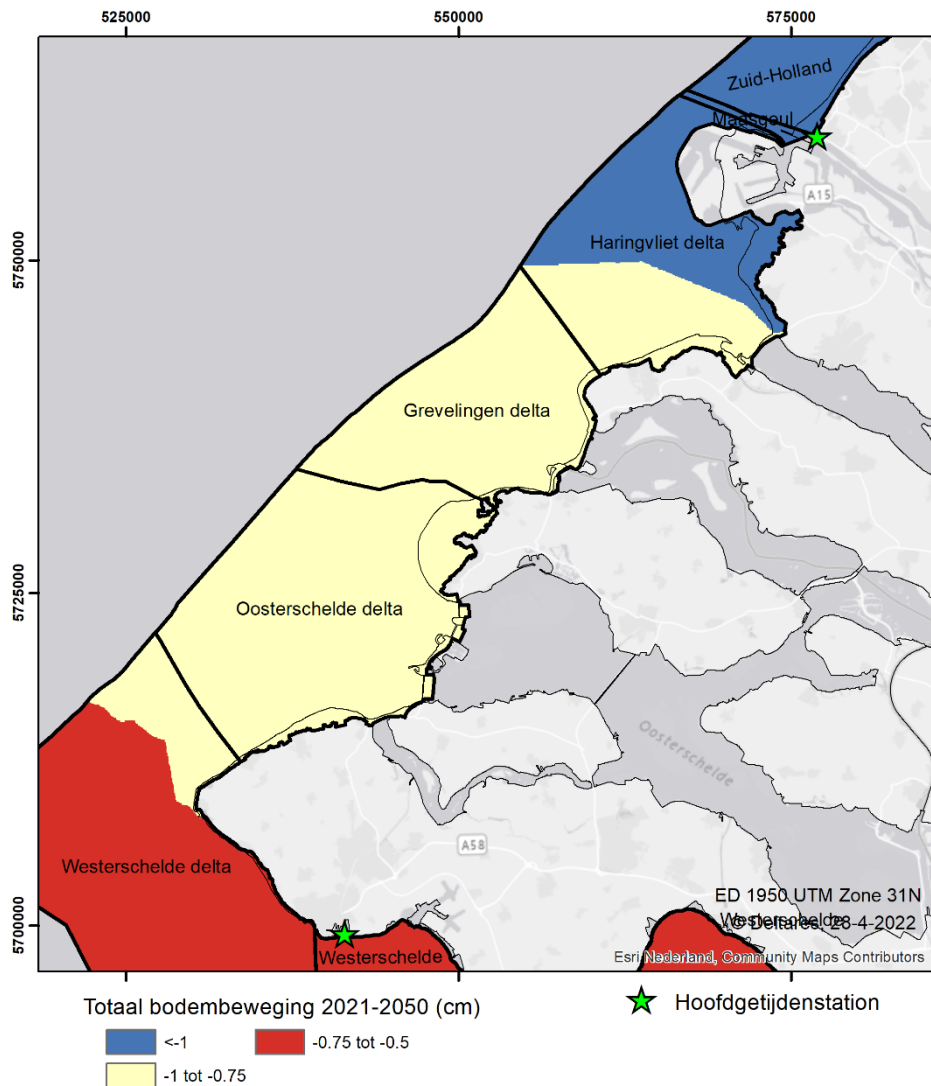
Metingen laten zien dat Nederland in beweging is, waarbij sommige delen omhoog komen en andere delen juist dalen. De laatste jaren zijn in verschillende rapporten overzichtskaarten voor bodembeweging langs de Nederlandse kust gepresenteerd (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b; Hijma & Van Onselen, 2019; Hijma, 2021). De kaarten zijn vooral gemaakt met het oog op het vaststellen van de bijdrage van bodembewegingen aan relatieve zeespiegelstijging in Nederland en maken het ook mogelijk om bodembewegingsvolumes uit te rekenen. Deze volumes geven inzicht in hoeveel sedimentbehoefte er potentieel is in het kuststelsel als gevolg van bodembewegingen. De kaarten maken onderscheid in geologische en antropogene bodemdaling (Tabel 5-1), uitgesplitst naar de laatste 100, laatste 30 en komende 30 jaar³. De kaarten zijn vooral gebaseerd op modelberekeningen en kennen daardoor een relatief grote mate van onzekerheid, al worden de resultaten wel vergeleken met gemeten bodembewegingen. Er wordt momenteel gewerkt aan de verbetering van de monitoring van bodembeweging langs de Nederlandse kust om de bestaande onzekerheden te verkleinen (zie bijlage in Hijma & Van Onselen, 2019), waarbij ook Global Navigation Satellite System (GNSS)-data een steeds grotere rol gaat spelen (Hijma & Van Onselen, 2020; Hijma, 2021).

De kaart in Figuur 5-1 is afgeleid van de landelijke kaarten voor bodembeweging langs de Nederlandse kust en toont de verwachte bodemdaling tussen 2021 en 2050, waarbij is ingezoomd op de omgeving van Schouwen. De kaart laat zien dat dit gebied gelijkmatig aan het dalen is onder invloed van geologische bodemdaling, die in dit deel van Nederland relatief beperkt is. De komende 30 jaar zal deze daling circa 0,75-1 cm bedragen. Er is geen bodemdaling door de winning van gas, olie of zout in deze omgeving.

³ De kaarten worden gemaakt binnen het Bodemdalingsmonitor-programma van KPP B&O Kust en zullen om de zoveel jaar geactualiseerd worden. Actualisaties zullen nodig zijn als bijvoorbeeld modellen voor het berekenen van geologische bodembeweging of winningsplannen veranderen.

Tabel 5-1 Componenten van de belangrijkste componenten van bodembeweging in Nederland.

Hoofdoorzaak	Oorzaak	Beschrijving
Geologische bodembeweging	Tektoniek	Daling of opheffing die wordt veroorzaakt door spanningen in de ca. 100 km dikke Euraziatische aardplaat waar Nederland deel van uitmaakt. De spanningen hangen samen met het naar elkaar toe bewegen van de Afrikaanse en Euraziatische aardplaat en het uit elkaar drijven van Europa en Noord-Amerika.
	Isostasie	Daling die samenhangt met het terugbuigen van de aardplaat in Noord-West Europa door het afsmelten van de grote ijskappen die in de laatste glaciële periode op Groot-Brittannië en Scandinavië rusten. Bij het ontstaan van de ijskappen was de aardplaat onder het gewicht van het vele ijs doorgelaten. Het proces van herstel (terugbuigen) is nog gaande.
	Elastische respons	Opheffing als gevolg een elastische reactie van de aardkorst op de recente ijs afsmelting op Groenland. Door deze massa verdwijnt gewicht op Groenland en de vrijwel instantane aanpassing van de aardkorst hierop zorgt voor opheffing in Nederland.
Antropogene bodemdaling	Olie-/gaswinning	Daling aan het maaiveld die wordt veroorzaakt door de drukverlaging in olie- of gasvelden en die zorgt voor samendrukking van de betreffende lagen.
	Zoutwinning	Daling die wordt veroorzaakt door de lage druk in de cavernes die ontstaan door het winnen van zout. De cavernes worden langzaam dichtgedrukt en zorgen voor inzakking van bovenliggende lagen.
	Grondwaterwinning	Daling die wordt veroorzaakt door de waterdrukverlaging in de bodemlagen in de omgeving van de winning waardoor de laag waaruit wordt gewonnen, maar ook boven en/of onderliggende lagen, worden samengedrukt.
	Peilbeheer	Daling die samenhangt met periodische aanpassing/verlaging (t.o.v. NAP) van het waterpeil in sloten en vaarten in gebieden met maaiveld daling om een gewenste drooglegging (verschil tussen maaiveld en waterpeil) te handhaven.
	Zetting	Daling onder invloed van extra gewicht dat op het maaiveld (of waterbodembodem) wordt aangebracht door de mens en waardoor lagen in de ondergrond worden samengedrukt.



Figuur 5-2 – Totale bodembeweging (winning van gas, olie en zout + geologische bodemdaling) in de periode 2021-2050 met de relevante deelgebieden (naar Hijma, 2021).

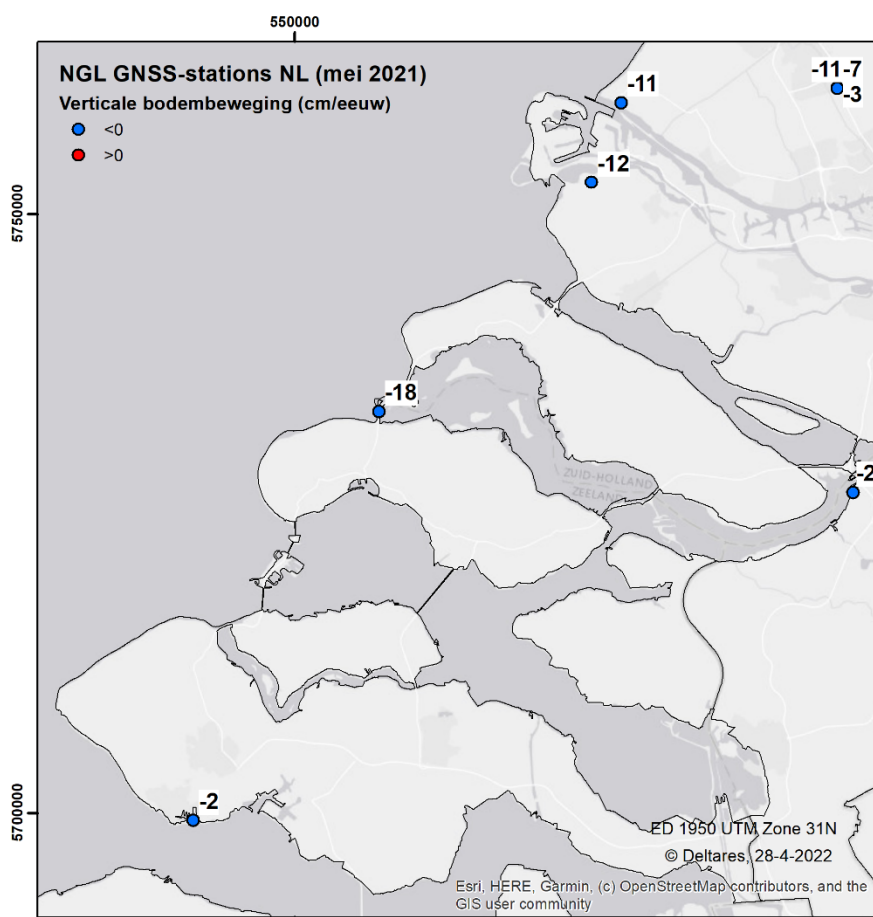
Tabel 5-2 geeft voor deelgebieden Oosterschelde en Grevelingen delta de bodemdalingsgetallen per 30 jaar. Omdat de bodemdaling in dit gebied volledig uit geologische bodemdaling bestaat is er geen verschil te verwachten tussen de bodemdaling in de afgelopen als in de komende 30 jaar.

Tabel 5-2 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden in Figuur 5-2 (deze zijn aangepast ten opzichte van Hijma & Kooi (2018b); zie dat rapport voor onderbouwing van de berekende onzekerheden, zie Hijma (2021) voor de laatst gerapporteerde bodemdalingsvolumes).

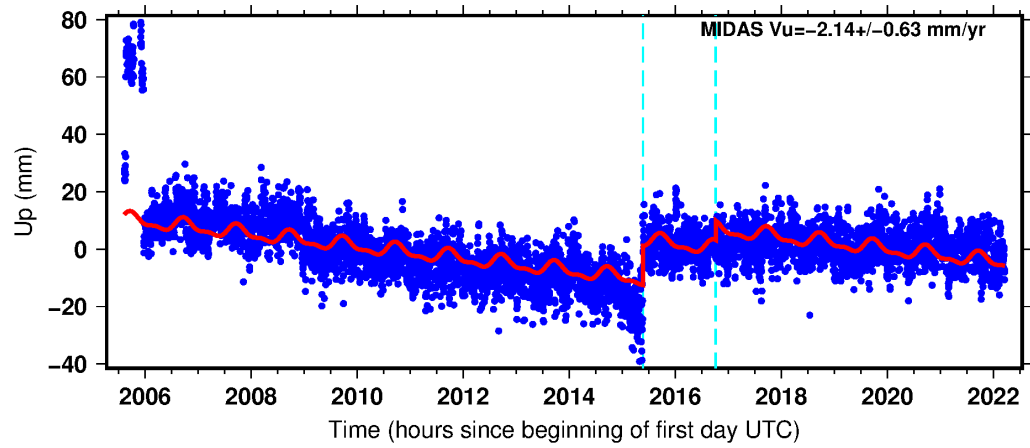
Periode	Gemiddelde geologische bodembeweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde bodembewegings-snelheid (cm/yr)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)
30 jaar					
Oosterschelde D.	-0.83	0	-0.03	2.91 ± 1.47	0.097 ± 0.049
Grevelingen D.	-0.92	0	-0.03	1.95 ± 0.96	0.065 ± 0.032

Rond Schouwen staan ook GNSS-stations die nauwkeurige hoogtemetingen doen. Belangrijke vraag daarbij is altijd wel hoe diep de stations gefundeerd staan en welke bodemdaling ze dus feitelijk meten. Daarnaast is het essentieel dat aanpassingen aan het station, bijvoorbeeld aanpassingen aan de antenne, goed gedocumenteerd zijn. Figuur 5-3 laat de GNSS-stations rondom Schouwen zien met een meetreeks langer dan 10 jaar: omdat bodembewegingssnelheden laag zijn, is een lange meetreeks nodig om een eventuele trend met enige zekerheid vast te stellen. De data is afkomstig van het Nevada Geodetic Laboratory (<http://geodesy.unr.edu/>). De stations geven sterk wisselende snelheden. Het GNSS-station op de Brouwersdam daalt bijvoorbeeld gemiddeld 18 cm/eeuw, terwijl de stations bij Vlissingen en Willemstad slechts enkele centimeters dalen, in lijn met de verwachte geologische bodemdaling. Figuur 5-4 laat de data zien voor station Brouwersdam, waarin een duidelijke aanpassing zichtbaar is rond 2015. Deze aanpassing zien we bij vele GNSS-stations in Nederland en heeft te maken met een overstap naar een nieuwe GNSS-ontvanger. De gemiddelde dalingssnelheid na die aanpassing ligt rond 5 cm/eeuw, voor de aanpassing rond 30 cm/eeuw. Uiteraard heeft dit grote gevolgen voor de gemiddelde snelheid sinds de start van de meting. Elk GNSS-station heeft zo z'n eigen historie en zou apart geanalyseerd moeten worden om relevante en betrouwbare snelheden te geven. Dit zal binnen de *Bodemdalingsmonitor* in 2022 en verder opgepakt gaan worden.

Samengevat: de omgeving van Schouwen daalt gemiddeld 0,75-1 cm/30 jaar en dus circa 3 cm/eeuw als gevolg van geologische bodemdaling.



Figuur 5-3 – Kaart van omgeving van Schouwen met bij ieder GNSS-station de bodemdaling in cm/eeuw. Er worden alleen stations getoond met een meetreeks langer dan 10 jaar. De data is afkomstig van het Nevada Geodetic Laboratory.



24 Hour Positions Using Final Orbits (blue) and Rapid Orbits (magenta).
 Processed by the Nevada Geodetic Laboratory.
 Plotted on 2022-Apr-17. Last data on 2022-Mar-19.

Figuur 5-4 – GNSS-data van het station op de Brouwersdam (Station SDYK, data gedownload op 28-4-2022 van <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/SDYK.sta>).

6 Beschrijving van het morfologisch systeem

6.1 Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag

In de hoofdstukken hiervoor is al kort ingegaan op de Deltawerken en is benoemd dat deze een grote invloed hebben gehad op de ontwikkelingen van de mondingsgebieden van Grevelingen en Oosterschelde. Een blik op de kaart of op een luchtfoto (Figuur 6-1) van vóór de uitvoering van de Deltawerken laat geen in het oog springende verschillen zien. Grootschalig gezien zijn de algemene kenmerken van het kuststelsel in 1959 en 2012 vergelijkbaar. Dit neemt niet weg dat er onder water grote veranderingen zijn opgetreden. Een gedeelte daarvan is het directe gevolg van de kustlijnhandhaving sinds 1990.

De oriëntatie van de kustlijn is de afgelopen 60 jaar vergelijkbaar gebleven. Op basis van historische kaarten is gereconstrueerd dat de kustlijn van Schouwen in een tijdsbestek van eeuwen wel een andere oriëntatie heeft gekregen en landwaarts is verplaatst (Wilderom, 1964, zie Figuur 4-6; Ligtdag, 1990; Beekman, 2007). De belangrijkste aanwijzing in de luchtfoto's in Figuur 6-1 voor het optreden van veranderingen, is de andere ligging van de ondiepten die horen bij de Bollen van het Nieuwe Zand, de Brouwersdam en de Stormvloedkering.



Figuur 6-1 Luchtfoto's uit 1959 (zwart-wit) (Arcadis, 2013) en 2020 (kleur) van de Kop van Schouwen (Google Earth)

De beperkte verandering van de ligging van de kustlijn in de afgelopen 60 jaar is slechts ten dele verklaarbaar door de aanwezigheid van harde kustverdedigingswerken (zie H4.2.1). Het wijst vooral aan de westkust langs het Krabbengat op de aanwezigheid van redelijk

erosiebestendige lagen bestaande uit vaste klei pakketten (Van der Spek, 1997, Hijma, 2017). De bolle westkust heeft geen harde verdediging, maar op het strand zijn wel palenrijen aanwezig sinds de jaren '70 van de 20^e eeuw. Niettemin is er sprake van structurele erosie door landwaartse verplaatsing van het Krabbengat. Door geulverlegging is de erosie wel afgenomen, zie verder o.a. paragraaf 7.2.

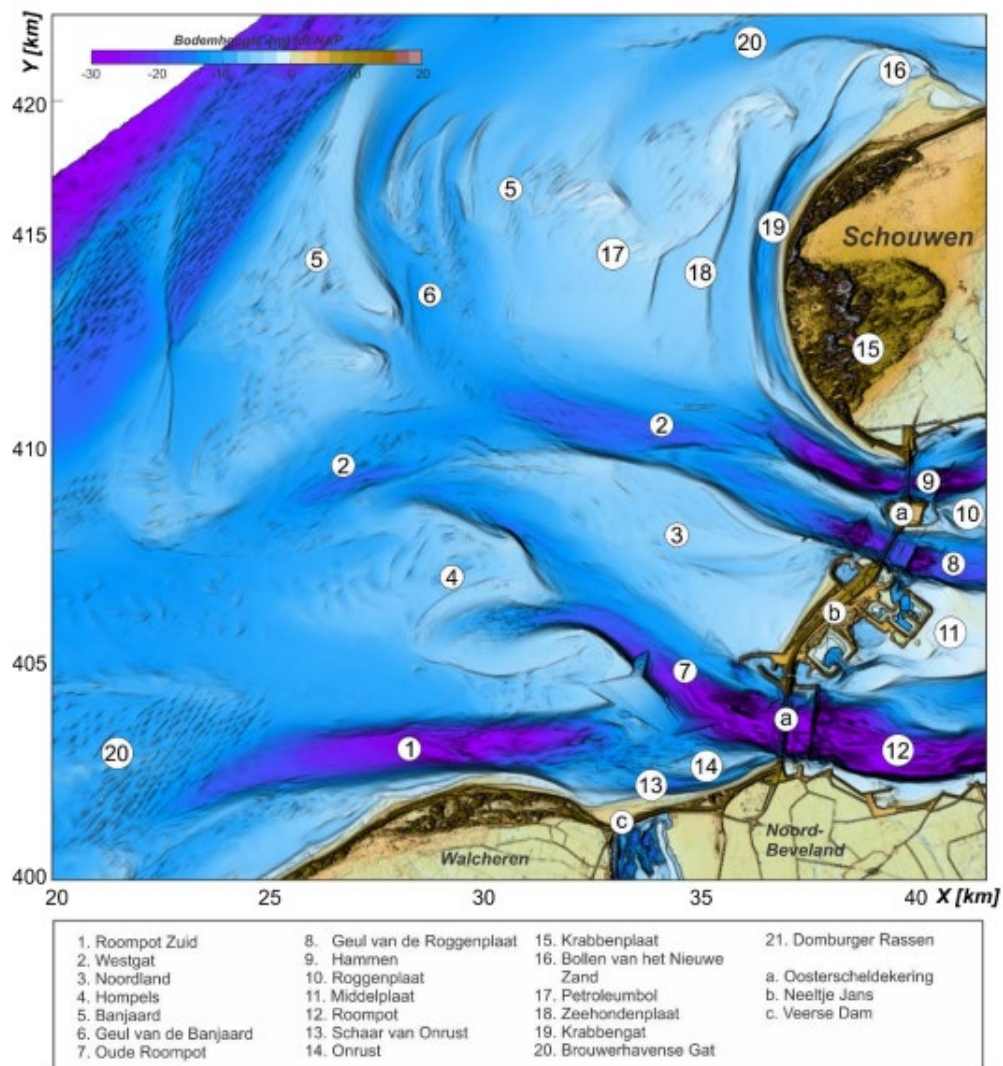
Het geheel of gedeeltelijk afdammen van de zeegaten als onderdeel van het Deltaplan heeft een enorm effect gehad op de buitendelta's: de sterke vermindering van de dwars op de kust gerichte getijstroming veroorzaakte een reeks van morfologische veranderingen die tot op heden voortduren. Deze morfologische veranderingen zullen in de volgende paragrafen worden beschreven.

6.2 Oosterscheldemonding

6.2.1 Algemene kenmerken

Figuur 6-2 laat het complexe patroon van meerdere geulen en banken van de Oosterschelde buitendelta zien. In het noorden is de Oosterschelde buitendelta begrensd door een ondiep gebied, de Banjaard. De Banjaard plaat is doorsneden door kleinere geulen. De hoofdgeulen Hammen en Geul van de Roggenplaat liggen ten noorden van de Middelplaat-Neeltje Jans, waar o.a het bediengebouw van de Oosterschelde Stormvloedkering, het J.W. Topshuis, zich bevindt. Richting zee vloeien deze geulen samen in het Westgat, dat weer een noordelijke en een zuidelijke uitstroming heeft. De noordelijke tak wordt de Geul van de Banjaard genoemd en doorsnijdt, zoals de naam al aangeeft, de Banjaard plaat en verdeelt deze in een landwaarts en een zeewaarts gelegen deel. Het zuidelijk deel van de Oosterschelde buitendelta wordt beheerst door de grote geul Roompot. De in westelijke richting gelegen uitloper van de Roompot, die pal zeewaarts van de noordwestelijke kust van Walcheren ligt, wordt Roompot Zuid genoemd; de hoofdtak loopt naar het westnoordwesten en heet Oude Roompot. Deze geul heeft een uitstroming naar het Westgat. Kleine zijtakken hebben voorliggende vloedschildjes gevormd naar het zuidwesten, dit gebied heet de Hompels. Lokaal hebben deze geulen dieptes van meer dan 20 m t.o.v. NAP. De ontgrondingskuilen nabij de Oosterscheldekering hebben lokaal een diepte van meer dan 50 m t.o.v. NAP. Voor de kust van Schouwen is de noordzijde van de Oosterscheldemonding van belang.

De Oosterschelde staat nog in directe verbinding met de zee door de halfopen Oosterschelde Stormvloedkering (OSK). De OSK laat de getijbeweging door in het estuarium, maar de bijbehorende werkeilanden en pijlers verminderden het getijvolume met ruwweg 35% (Vroon, 1994). De volgende paragraaf beschrijft het effect hiervan op de Oosterschelde buitendelta.



Figuur 6-2. Overzicht van de Oosterscheldedemonding gebaseerd op de 2019 Vaklodging. De eilanden zijn opgevuld met het AHN bestand (Elias & Quataert, 2021).

6.2.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van de Oosterscheldedemonding

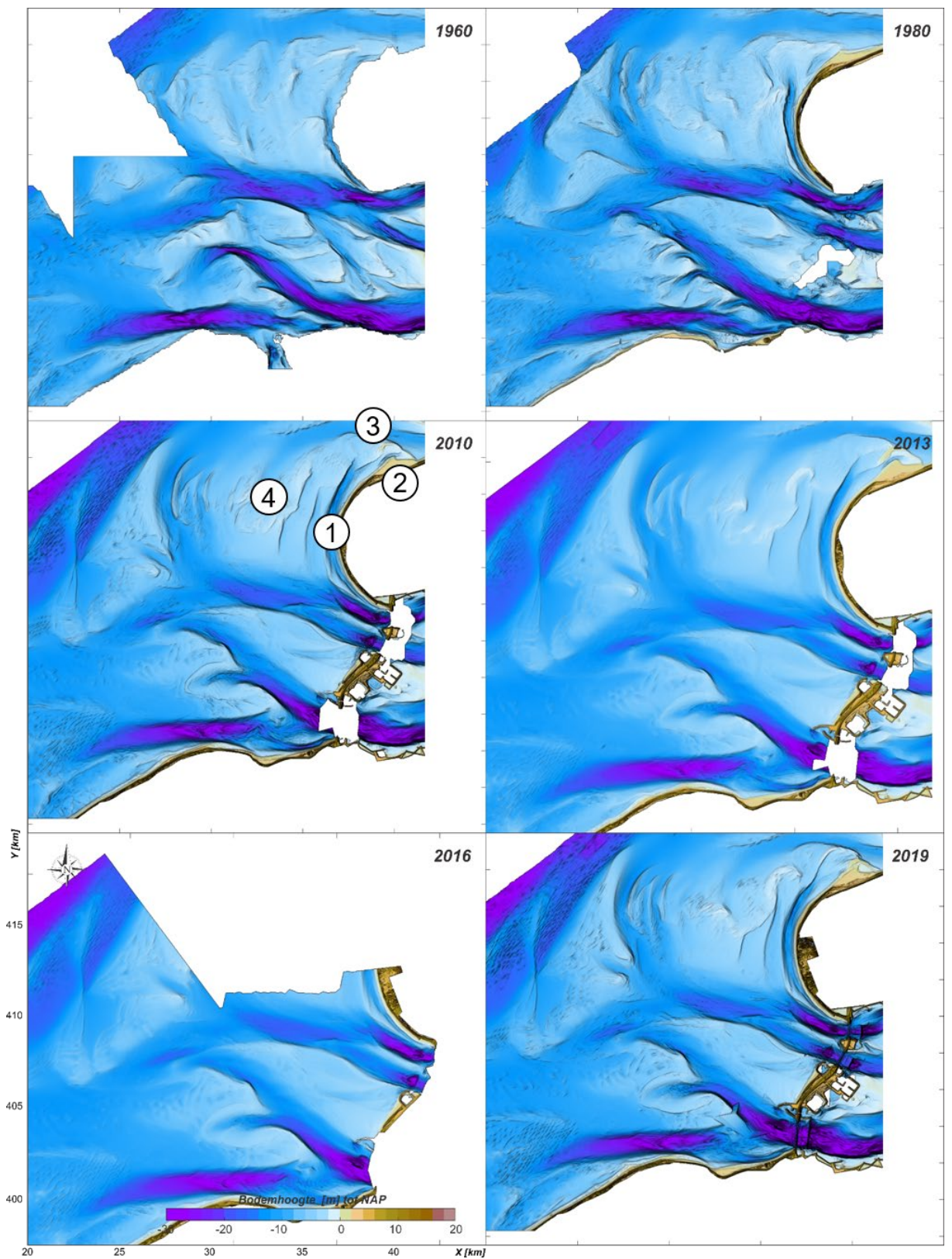
Figuur 6-3 geeft de bodemligging in de Oosterscheldedemonding weer voor verschillende jaren voor en na de voltooiing van de Oosterschelde Stormvloedkering (OSK) (Elias & Quataert, 2021). Tussen 1960 en 1980 (voor de voltooiing van de OSK) vond er op de buitendelta netto aanzanding plaats (Figuur 6-4). In deze periode fungeerde de monding van de Oosterschelde nog als een actieve buitendelta. Het volume van de buitendelta nam toe door de toename van het getijvolume, dat was veroorzaakt door ingrepen in het estuarium. Dit is een voortzetting van de ontwikkeling, die al begon in vorige eeuwen en werd veroorzaakt door het ontstaan van een verbinding van de Oosterschelde met het Hollands Diep. Van den Berg (1984) en Eelkema et al (2012) geven aan dat de volumetoename tussen 1965 en 1984 het resultaat is van verhoogde sedimentexport, veroorzaakt door de verandering in de hydrodynamica door de aanleg van de Volkerak- en de Grevelingendam. Ook de aanleg van dammen aan de binnenkant van het estuarium (Zandkreekdam (1960), Veerse-Gatdam (1961), Philipsdam (1987) en de Oesterdam (1986) hebben invloed gehad (Elias & Van der Spek, 2015). Door sedimentatie van zand geëxporteerd door het estuarium naar de uiteinden van de geulen, breidde de buitendelta zich in zeewaartse richting uit. Het is niet duidelijk of in dit stadium de Oosterschelde buitendelta ook zand herverdeelde naar de naburige delta's. De getijstrooming in het zeegat concentreerde zich in de hoofdgeulen, aangezien de kleinere takken waren afgedamd, waardoor weer meer erosie optrad. Aanzienlijke erosie in het Westgat en de Geul

van de Banjaard veroorzaakte een vermindering van het volume van de Banjaard (landzijde) tussen 1964 en 1984.

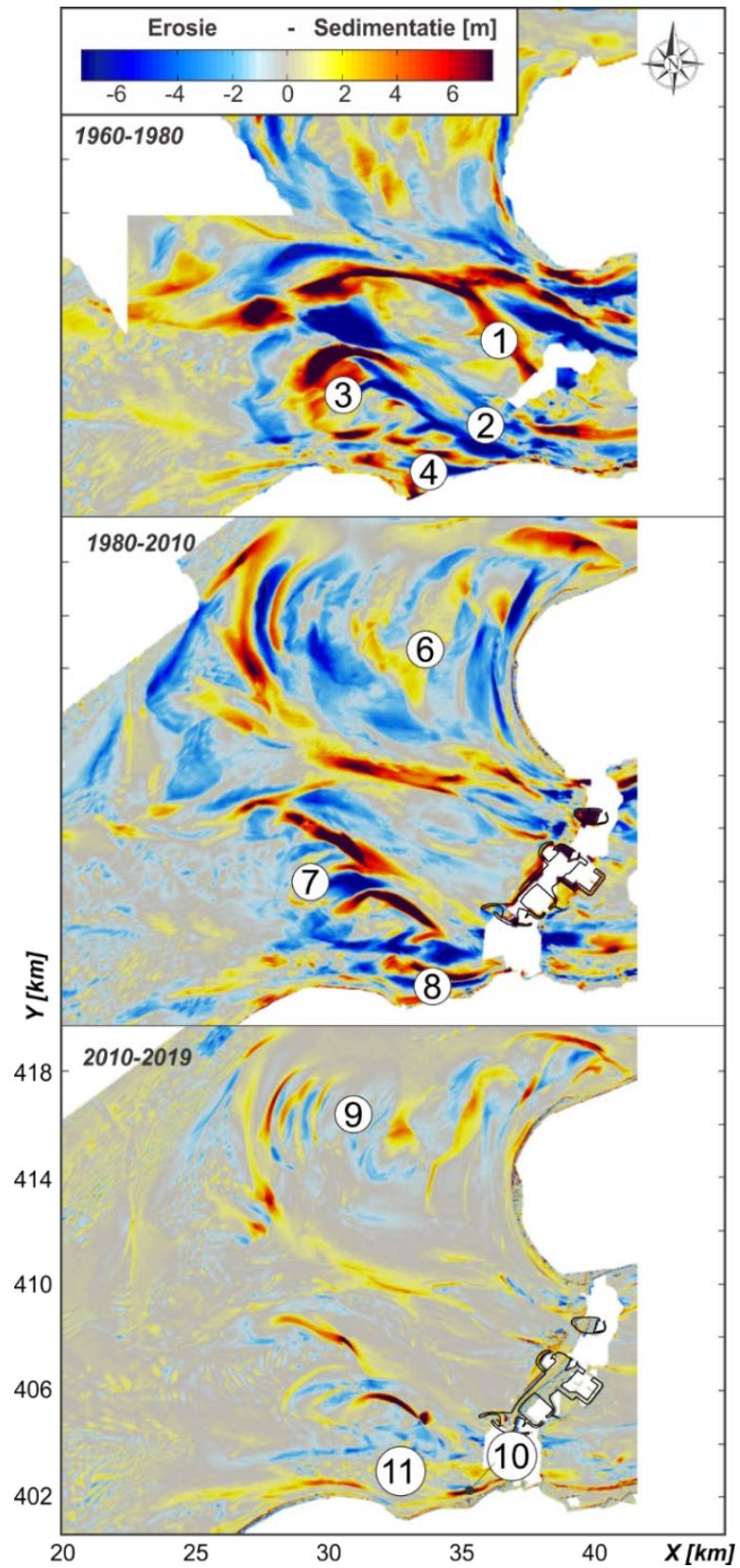
De voltooiing van de Stormvloedkering in 1986 leidde niet tot grote veranderingen in het geulenpatroon in de buitendelta, omdat de getijstromingen aanwezig bleven. Alleen de geul, geblokkeerd door het werkeiland Neeltje Jans, verzandde geheel (+19 miljoen m³) (zie 1 in Figuur 6-4) (Elias & Quataert, 2021). De constructie van de Stormvloedkering heeft het actieve getijde doorstroomoppervlak wel behoorlijk gereduceerd (van 80.000 tot 17.900 m²). Het bekkenoppervlak is door de aanleg van de secundaire compartimenteringsdammen verminderd (van 452 tot 351 km²), wat bij elkaar heeft geleid tot ca. 28% reductie van het getijvolume ten opzichte van dat van 1983, net voor de ingebruikname van de kering en de voltooiing van de Deltawerken.

Louters en Van den Berg (1998) geven aan dat het getijvolume voor de Deltawerken toenam van 1130 Mm³ in 1959 tot 1189 Mm³ in 1980 en daarna afnam tot 837 Mm³ in 1987, na de ingebruikname van de kering. Bovendien werd de sedimentuitvoer uit het estuarium volledig geblokkeerd door de verhoogde funderingsdrempel van de kering. Deze drempel bestaat uit lange dorpelbalken die de pijlers verbinden en de diepe ontgrondingskuilen die zich aan weerszijden van de kering op de randen van de met blokkenmatten beschermde bodem ontwikkelden. Met het verminderde getijvolume en geen sedimenttoevoer uit het getijdebekken begonnen golven de buitendelta geleidelijk te eroderen, net als de platen in het bekken. Omdat de getijstroming in de Noordzee niet veranderde, werd het geërodeerde zand hoofdzakelijk in noordelijke richting getransporteerd, in de richting van de dominante vloedstroming. De Banjaard, gelegen ten westen van het eiland Schouwen, erodeerde, waardoor de gemiddelde diepteligging van het gebied toenam en de hierdoor snijdende geulen zich heroriënteerden in meer noord-zuidelijke richting. Tussen 1980 en 2010 was er over het totale gebied een afname in sedimentvolume van ~150 miljoen m³ (Elias & Quataert, 2021). Het grootste deel van de afname, ~90 miljoen m³, vond plaats op de Banjaard (6) en de Hompels (7) (Figuur 6-4).

Het Krabbengat, direct zeewaarts gelegen langs de westkust van Schouwen (1 in Figuur 6-3), verlengde in noordelijke richting en bouwde de Bollen van het Nieuwe Zand uit in noordnoordoostelijke richting (2). Door de uitbouw van deze vloedbank vernauwde het aan de noordelijke kant gelegen Brouwershavensche Gat zich (3). Bovendien verplaatste de uitstroming van het Brouwershavensche Gat zich naar het zuiden, insnijdend in de Banjaard (4) en daar een eindafzetting vormend. De erosie van de Banjaard verminderde hier de golfdissipatie, waardoor de golfaanval op de kust van Schouwen is toegenomen (o.a. Vermaas, Elias & Van der Spek, 2015).



Figuur 6-3 Overzicht van de bodemligging in de Oosterscheldedemonding in de jaren 1960, 1970, 2010 en 2019 (Bron: Elias & Quataert, 2021).

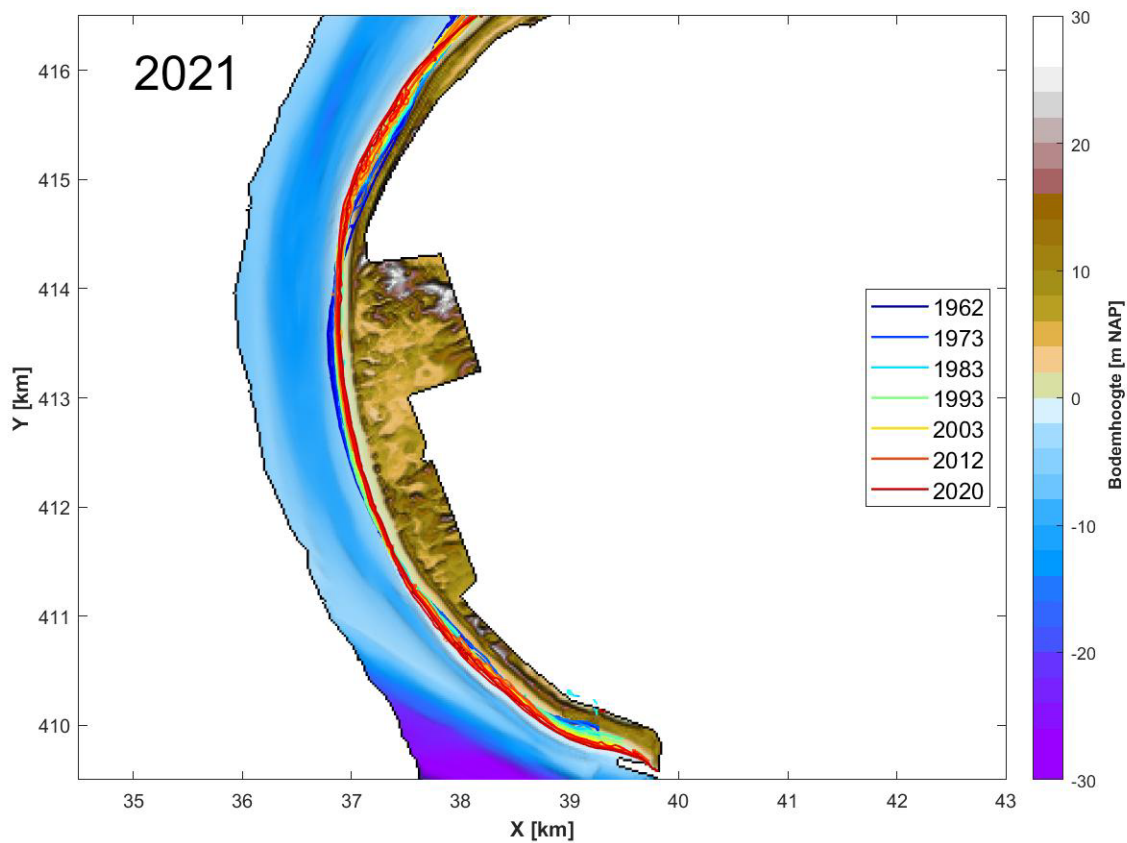
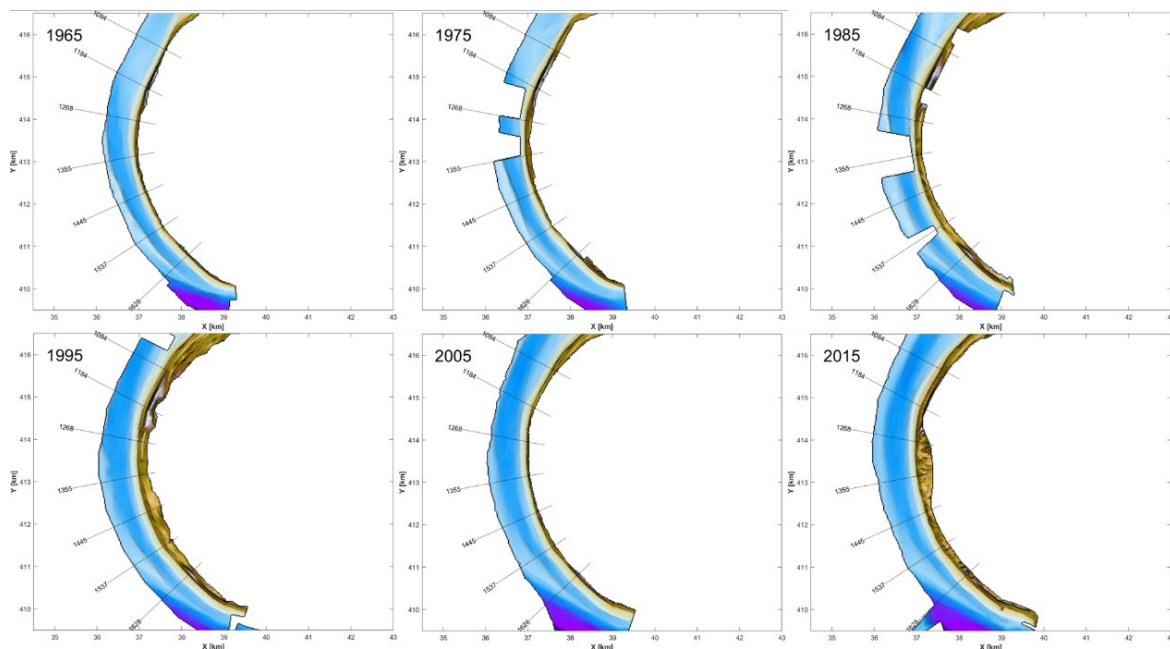


Figuur 6-4 Overzicht van de grootschalige morfologische veranderingen 1960-1980, 1980-2010, 2010-2019 en 1960-2019 (Bron: Elias & Quataert, 2021).

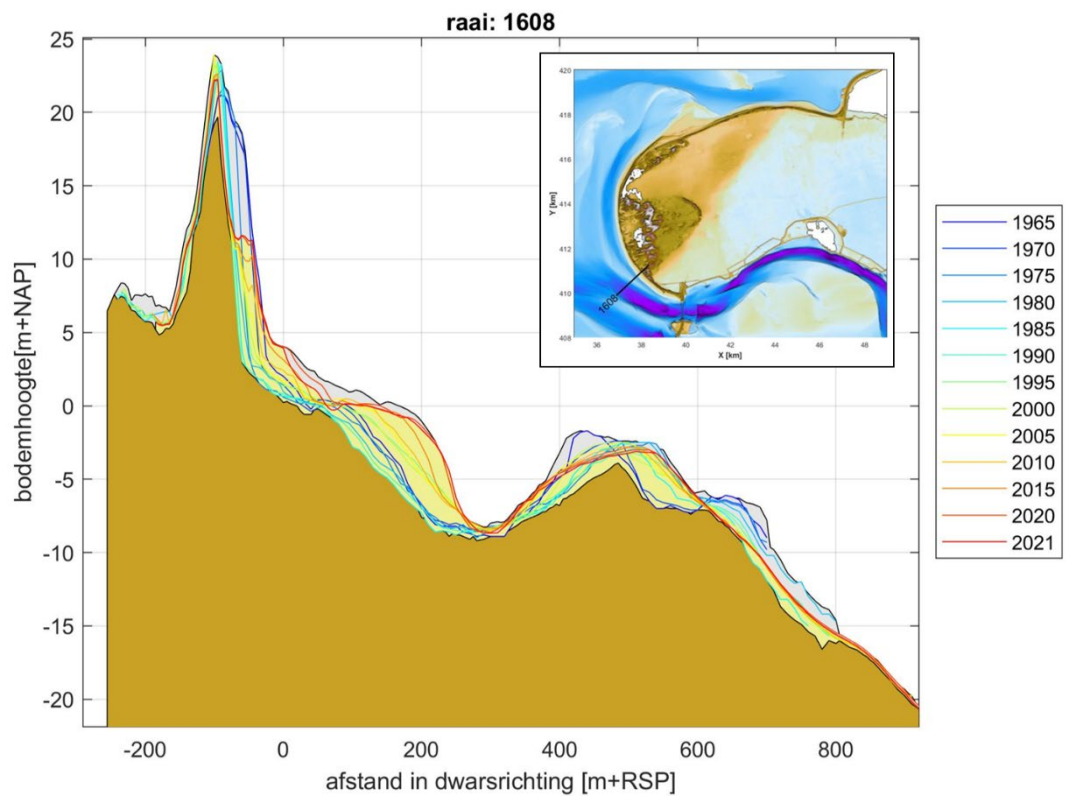
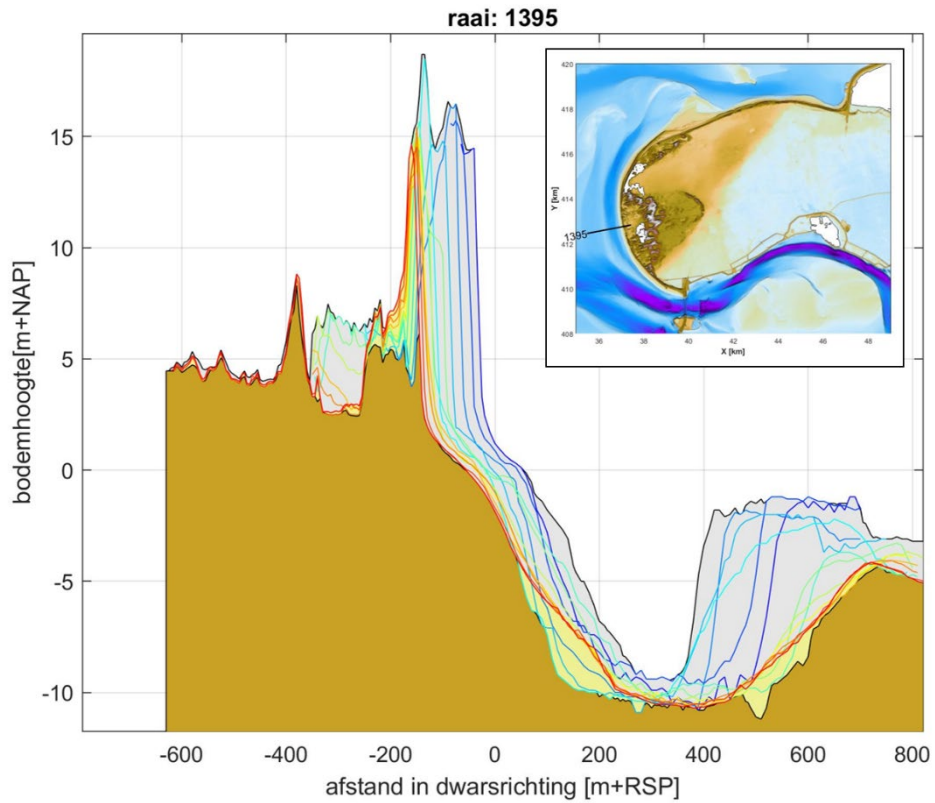
6.2.3 Morfologische ontwikkeling van de Westkop van Schouwen

De hierboven beschreven grootschalige morfologie van de Oosterscheldemonding heeft ook invloed gehad op de morfologische ontwikkeling van de zuidkust en de Westkop van Schouwen. Figuur 6-5 laat de ontwikkeling van de 0m contour van de bodemligging zien tussen 1962 en 2021. De positie van de kustlijn van de Kop van Schouwen nauwelijks veranderd. In het zuiden, bij de OSK, ligt de meest recente kustlijn iets meer zeewaarts dan eerdere kustlijnen. Iets verder naar het noorden, bij het meest westelijke deel van de kust van Schouwen, ligt de huidige kustlijn juist iets verder landwaarts. Nog iets verder naar het noorden ligt de huidige kustlijn vervolgens weer iets verder zeewaarts. Dit gedrag van de kustlijn is waarschijnlijk grotendeels beïnvloed door de uitgevoerde strandsuppleties (zie Hoofdstuk 7).

De morfologie in dit deel van de kust van Schouwen wordt bepaald door de aanwezigheid van de getijdegeul Krabbengat direct voor de kust. De landwaartse zijde van de geulwand van het Krabbengat verplaatst zich landwaarts. Deze ontwikkeling is goed te zien in Figuur 6-5 en raai 1395 in Figuur 6-6a. Verder naar het zuidoosten gaat het Krabbengat gaandeweg over in de grotere getijdegeul Hammen (bijvoorbeeld raai 1608). Hier is sprake van een stabiele of zeewaarts uitbouwende geulwand in de afgelopen 25 jaar (Figuur 6-6b). Dit overgangsgebied tussen de stabiele of uitbouwende geulwand is naar het noordwesten opgeschoven, van raai 1648 naar 1568. Deze overgang lijkt tegenwoordig stabiel aanwezig op deze positie. Sinds de jaren '80 zijn twee verschillende ontwikkelingen bepalend geweest voor de morfologische veranderingen in het Krabbengat: (1) de geulverlegging in 1987, 1991 en 1996, die geresulteerd heeft in een vergroting van de doorstroombreedte, omdat slechts een deel van het gebaggerde volume aan de landwaartse zijde was teruggestort en (2) de versterkte noord-zuid gerichte getijstrooming over het bankengebied de Banjaard. Dit volgt uit een uitgebreide evaluatie van de uitgevoerde geulverplaatsing (Vermaas et al, 2014, 2015).

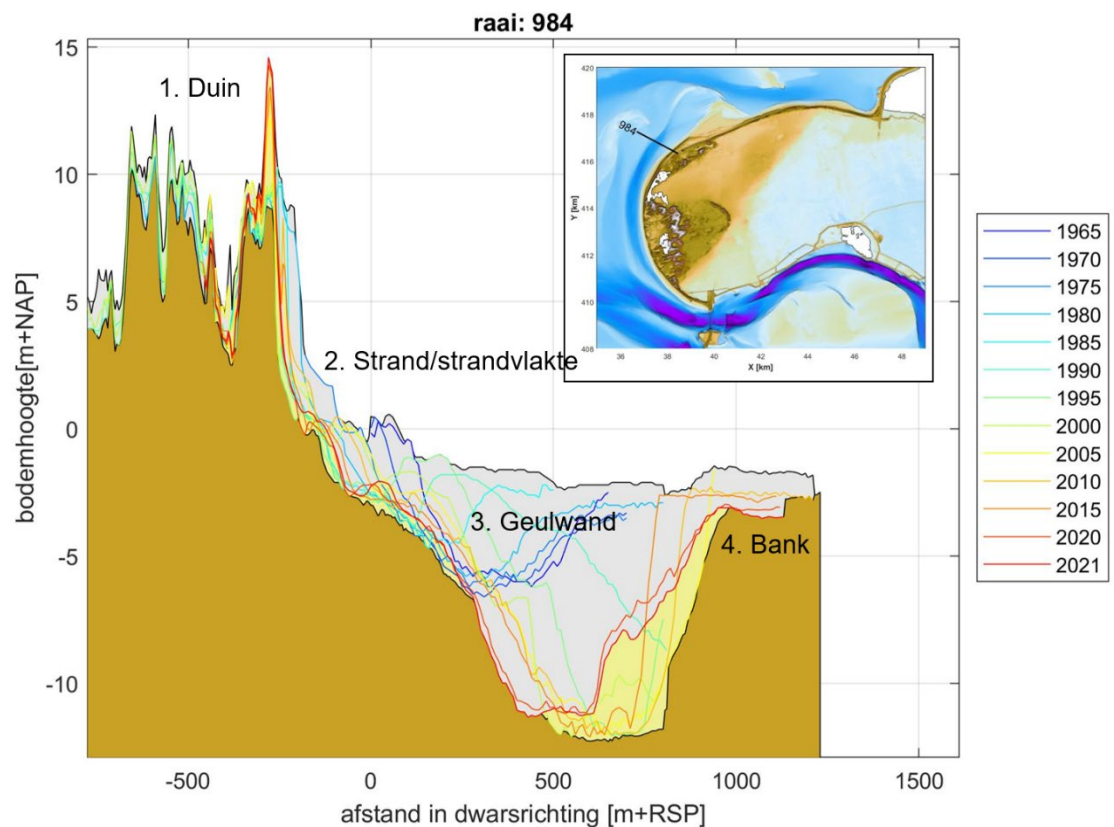


Figuur 6-5 Ontwikkeling bodemligging van de Westkop van Schouwen tussen 1965 en 2021, op basis van JARKUS grids. De onderste figuur laat de ontwikkeling van de 0m contour rond de Westkop van Schouwen op basis van de vergride 2021 JARKUS data zien.



Figuur 6-6 Ontwikkeling van de dwarsdoorsnede bij raai 1395 en 1608 in de periode 1965 – 2021. Er is sprake van duin, strand en voerouwer en de geulwand van het Krabbengat.

Figuur 6-7 toont de dwarsdoorsnede bij raai 984, de overgang van het zuidelijk deel van de kust en het noordelijk deel van de kust (paragraaf 6.3.3). In de dwarsdoorsnede is de getijdegeul Krabbengat duidelijk aanwezig. In de periode 1990-2015 is de geul dieper geworden en tussen 2015 en 2021 is de geul iets verondiept. In de gehele periode is de landwaartse geulwand naar de kust verplaatst. Tussen 1990 en 2015 is de zeewaarts gelegen bank met de westelijke geulwand van het Krabbengat ook naar de kust verplaatst, maar beduidend minder dan de oostelijke geulwand. In de periode hierna is de helling van de bank verflauwd. Door de verplaatsing van de geulwand en de verdieping van de geul is het doorstroomoppervlakte toegenomen (Vermaas et al., 2015). Het strand en de vooroever tot ongeveer NAP -3 m zijn in dezelfde periode teruggetrokken. De breedte van het strand is afgenomen en sinds ca. 2016 stabiel.



Figuur 6-7 Dwarsdoorsnedes 1965-2021 voor JARKUS raai 984 met morfologische onderverdeling.

6.3 Grevelingenmonding

6.3.1 Algemene kenmerken

De monding van de Grevelingen is het gebied met geulen en ondieptes dat zeewaarts van de Brouwersdam en het Grevelingenmeer ligt. In het gebied ligt nog een relatief grote getijdegeul, het Brouwershavensche Gat, direct onder de noordkust van Schouwen (Figuur 6-8). De omvang en de positie van de geul herinneren nog aan de situatie van vóór de aanleg van de Brouwersdam, toen deze geul doorliep in het Grevelingen.

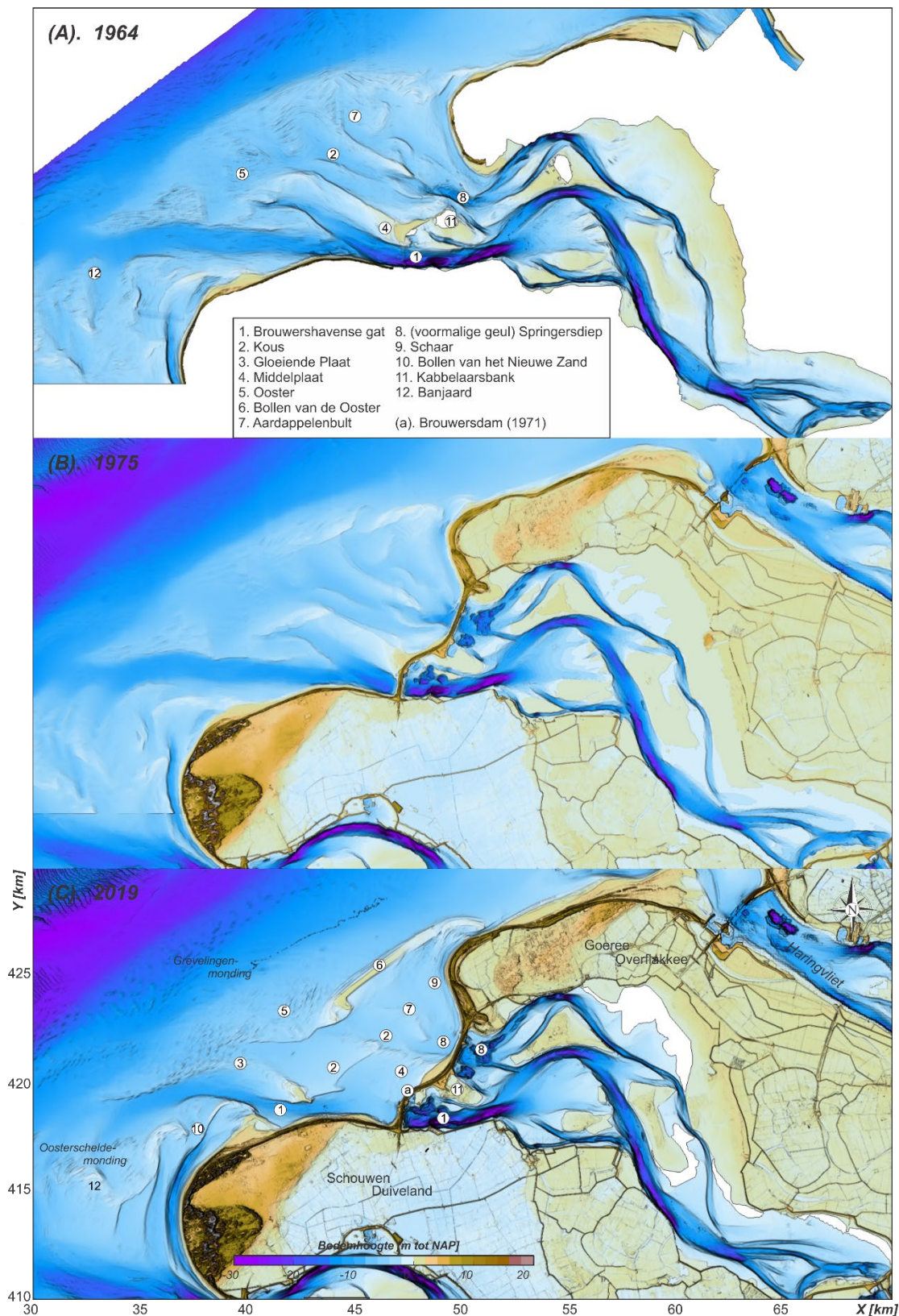
Ten noorden van het Brouwershavensche Gat zijn verschillende ondieptes aanwezig, waarvan de westelijke de naam 'Gloeïende plaat' heeft gekregen (Alkyon, 2006) en de oostelijke van oudsher de naam Geerligts had. Deze ondieptes reiken deels tot boven het niveau van laagwater. Ten noorden van de ondieptes liggen grotendeels opgevolde restanten van voormalige getijgeulen en nog meer ondieptes. Omdat deze ondieptes en geulrestanten voor de kustontwikkeling van Schouwen alleen van indirect belang zijn, worden deze niet verder

beschreven. Het indirecte belang van de Voordelta morfologie voor de kust van Schouwen is de afscherpende werking tegen de golfaanval vanaf de Noordzee, vooral op de Kop van Schouwen door golven uit het noorden en noordwesten, maar ook uit het zuidwesten.

6.3.2 **Grootschalige morfologische ontwikkeling van de Grevelingenmond**

Voor de voltooiing van de Brouwersdam bestond de buitendelta van de Grevelingen uit de meer dan 30 m diepe geul Brouwershavensche Gat in het zuiden, grenzend aan de noordkust van Schouwen en het Springersdiep, dat samenvloede met de geul Kous, in het noorden (Figuur 6-8). De geulen waren oost-west georiënteerd en werden gescheiden door de Middelplaat en de Kabellaarsbank. De platen en geulen in de Grevelingen werden gevormd als een dynamisch evenwicht tussen de uitbouwende kracht van de getijstroming in en uit het estuarium en de landwaartse, golfgedreven stroming en sedimenttransporten.

Een beschrijving van de ontwikkelingen van de buitendelta vóór afsluiting van de Grevelingen (over de periode 1933-1959) is gepresenteerd door Van der Spek (1987): *“Gedurende deze periode neemt het getijvolume van de Grevelingen af, ten gunste van het getijvolume van de Oosterschelde, waardoor het dwarsoppervlak van de beide geulen Brouwershavensche Gat en Springersdiep geleidelijk vermindert. De geulen worden smaller en ondieper, het bankengebied tussen de geulen wordt steeds breder. De Middelplaat en de Kabellaarsbank verschuiven in de richting van de Hompelvoet. De geul Brouwershavensche Gat verplaatst zich in de richting van de oever van Schouwen, waardoor een zeer steil talud ontstaat. Door de reductie van het getijvolume zal ook de omvang van de buitendelta minder geworden zijn. Zeewaarts van de toekomstige Brouwerdam schuiven de geulen in de periode 1961-1965 ongeveer 100 m naar het noordoosten en neemt de hoogte van de platen af.”*



Figuur 6-8 Ligging van de belangrijkste geulen en platen in de Grevelingenmouning vóór afsluiting (A), direct ná afsluiting (B) en representatief voor de huidige situatie (C). Bron: Elias et al. (2021).

Een gedetailleerd beeld van de ontwikkeling van de Grevelingen monding sinds 1968 staat in Figuur 6-9. De 1968-bodem geeft een beeld van de monding net voor afsluiting van het estuarium. Geheel representatief voor de natuurlijke situatie is deze bodem echter niet aangezien het oostelijk deel van de Grevelingen in 1965 al was afgesloten door de Grevelingendam die de Grevelingen scheidde van de Oosterschelde. Hierdoor veranderde de Grevelingen in een getijbekken zonder verbinding met andere estuaria, waardoor het getijvolume met ca. 14% verminderde (Haring, 1978) en de buitendelta zich begon aan te passen. Dit resulteert al in een morfologische aanpassing van de monding (Figuur 6-10A). De geobserveerde morfologische veranderingen zijn echter nog beperkt in vergelijking met de morfologische aanpassing na de voltooiing van de Brouwersdam (aan de zeezijde van de Grevelingen). De aanleg van de Brouwersdam begon in dezelfde periode. In 1965 (bouwjaren 1962-1965) blokkeerde het eerste deel van de afsluitdam, tussen de Middelplaat en de Kabbelaarsbank, al de kleinere getijdegeulen in het zeegat. Dit veroorzaakte een toename in diepte van de overblijvende grotere geulen, vanwege het verminderde doorstroomoppervlak van het zeegat. Een aansluitend deel van de dam werd gebouwd in het meest noordelijke deel van het zeegat.

In 1971 werden de overblijvende geulen Brouwershavensche Gat en Kous volledig afgesloten, waardoor de Grevelingen werd gescheiden van zijn buitendelta en het getijbekken veranderde in een zoutwater meer. De getijstroming in de buitendelta nam sterk af. Er is nog wel getijstroming aanwezig maar deze wordt bepaald door het Noordzeegetij en niet door het estuarium. Het Noordzeegetij veroorzaakt een rondstroming door de oude getijgeulen heen (van der Spek, 1987). Het water stroomt de monding in via het Brouwershavensche Gat en stroomt uit via de Schaar, en vice versa na kentering. Deze rondstroming is veel minder efficiënt dan het oorspronkelijke estuarium-gedreven stroming. De balans tussen getij- versus golfgedreven transporten is hierdoor verstoord waardoor grootschalige veranderingen hebben plaatsgevonden (Elias et al., 2021).

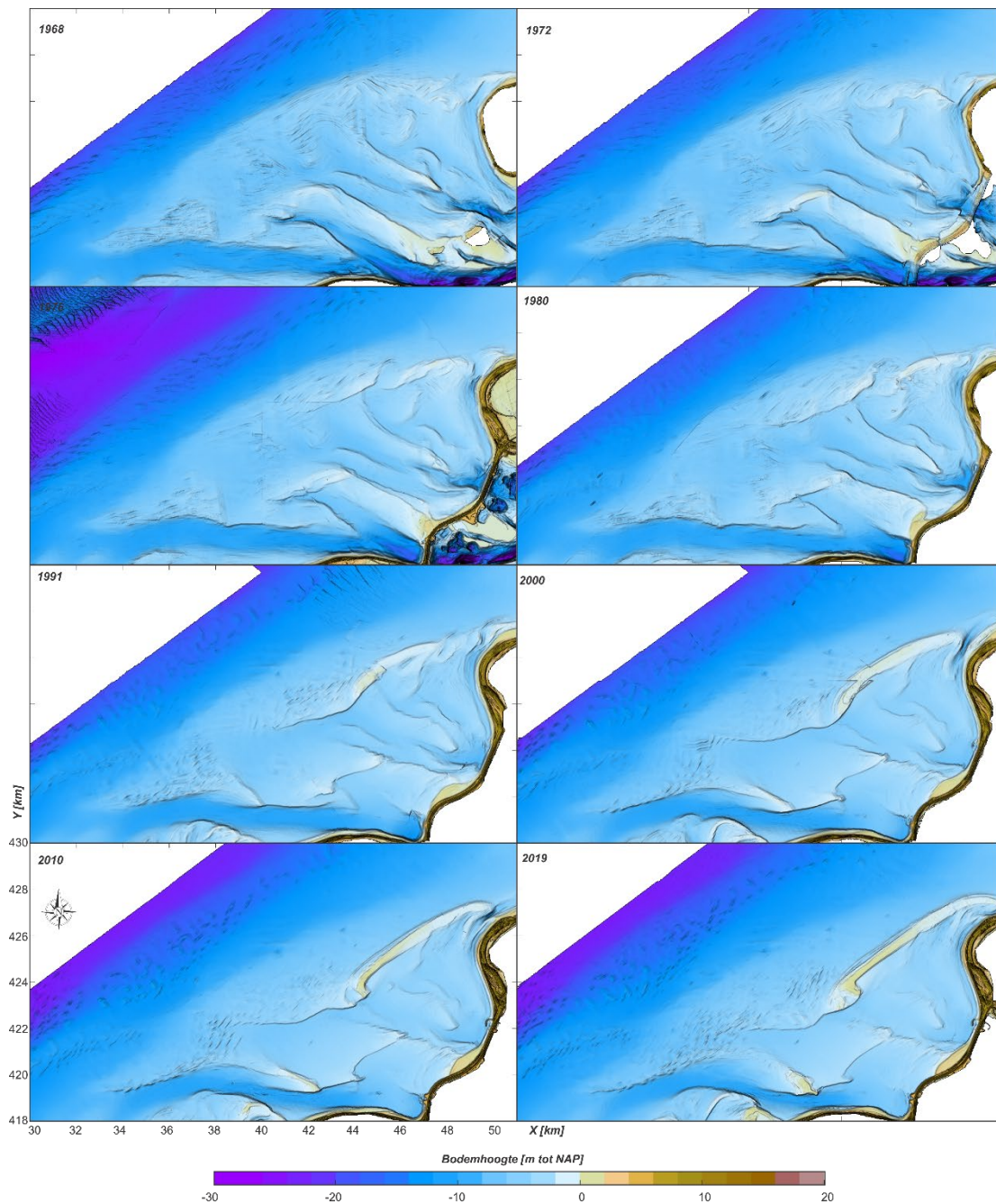
Doordat de getijstroming in de buitendelta sterk afnam, begonnen de golfgedreven transporten te overheersen. Golven begonnen het buitendelta front aan te vallen tot 10 m diepte. Vooral de voormalige plaat Ooster erodeert sterk aan de noordwestzijde (Figuur 6-10). Golven stuwden vervolgens het sediment landwaarts waardoor een langgerekte, ondiepe bank (Bollen van de Ooster) met zuid-noord oriëntatie vormt (Figuur 6-9) (Elias et al., 2021). De Bollen van de Ooster namen in de jaren toe in hoogte en groeiden in kustlangse richting (dus evenwijdig aan het buitendelta front), eerst naar het westzuidwesten en later ook naar het oostnoordoosten. Het heeft tot 1999 geduurd voor een vrijwel continue, vrijwel rechte ondoorbroken bank werd gevormd. Deze bank was in 1999 nog breed (zo'n 500 m). Sindsdien is de hoogte verder toegenomen maar is de breedte afgenomen (zie Appendix B, Figuur B.1 en Figuur B.2). Tegenwoordig zijn de Bollen nog steeds gescheiden van de kust van Goeree door een betrekkelijk ondiepe kortsluitgeul genaamd Schaar. In totaal is het zandvolume aan de zeezijde van de Ooster met -63 miljoen m³ in sediment afgenomen in de periode 1964-2010 (Elias en van der Spek, 2015). Elias en van der Spek (2015) laten ook zien dat een deel van het ge-erodeerde sediment heeft bijgedragen aan de vorming van de Bollen van de Ooster (13 miljoen m³) en het invullen van het landwaartse deel van Ooster (25 miljoen m³). Een ander deel van het zand zal zijn getransporteerd naar het noordoosten, langs de kustlijn van het eiland Goeree en ten goede gekomen aan de uitbreiding van de omgebogen spitten bij Kwade Hoek aan de noordzijde van Goeree.

Figuur 6-9Figuur 6-8 laat zien dat het geul-plaat gebied (Aardappelenbult) ingeklemd tussen de Bollen van de Ooster en de Brouwersdam opvult en uitvlakt in de periode 1964-2010. Dit gaat gepaard met een netto sedimentatie van 8 miljoen m³. In de geulen, zoals Kous en het afgesloten Springersdiep, is de sedimentatie echter aanzienlijk groter (+18 miljoen m³), dit komt omdat een gedeelte van het sediment geleverd wordt door de naast- en tussengelegen platen (-10 miljoen m³). De voormalige banken en platen (bijvoorbeeld de Middelplaat/Kabbelaarsbank) erodeerden door golven, omdat ze niet meer werden onderhouden door de getijstrooming.

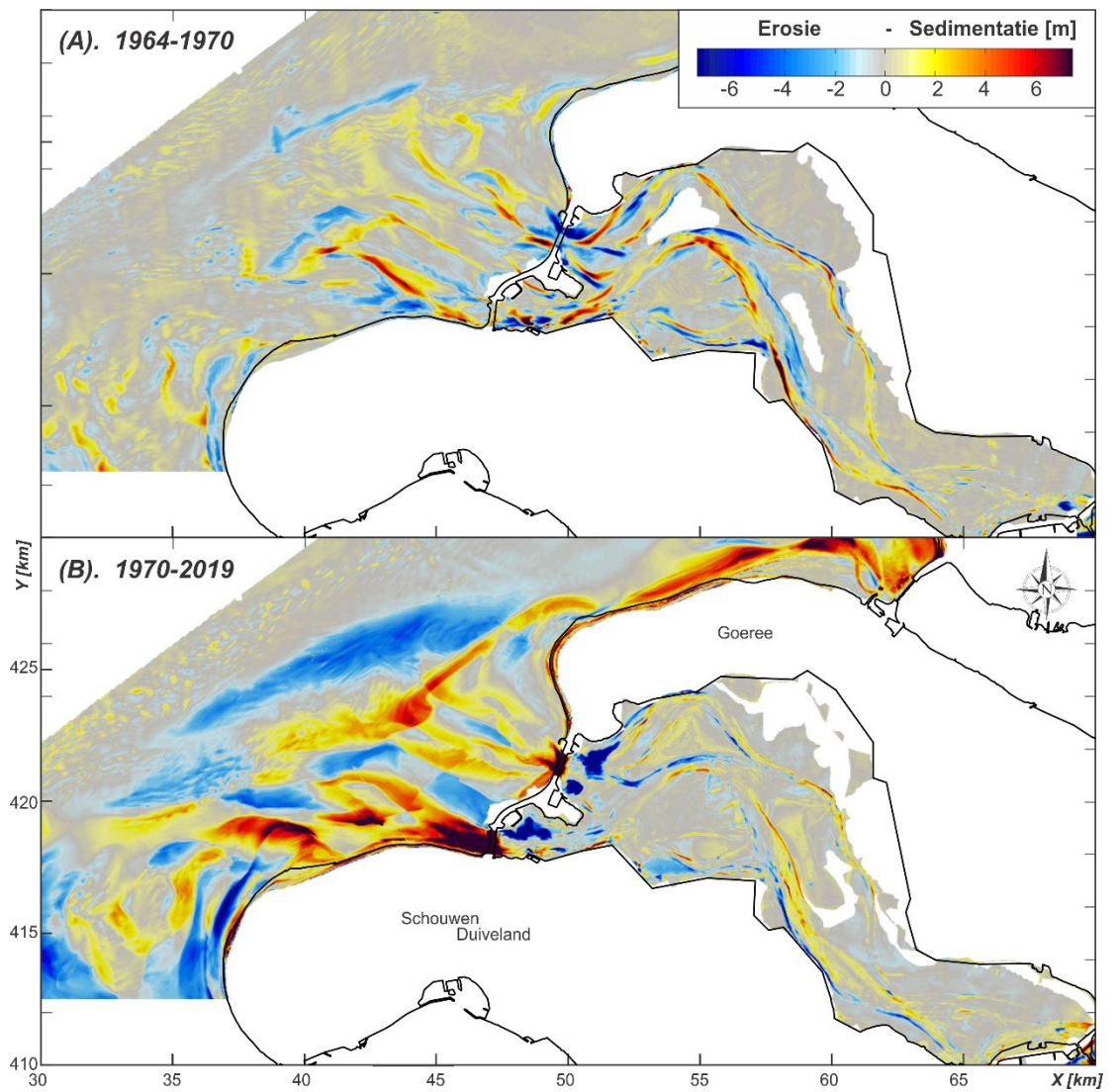
Ook in het zuidelijke gedeelte van de monding treden grote veranderingen op. Het Brouwershavensche Gat blijft hier, ook in de 2019 bodem, echter wel duidelijk als geul zichtbaar. Het voorliggende deel van de buitendelta vertoont ook hier een landwaartse verplaatsing. Een grote verandering treedt op rond een voormalige ebschaar van het Brouwershavensche Gat en de aangrenzende Middelplaat. Het voormalige ebschild dat rond en voor deze ebschaar aanwezig is wordt landwaarts verplaatst en de ebschaar vult volledig op met sediment, voornamelijk slib (Van den Berg (1986) vermeldt slibafzettingen van meer dan 7 m dikte). De verplaatsing van dit ebschild en het landwaarts opschuiven van de Ooster, is in dwarsprofiel 5 en 6 (Appendix B, Figuur B.1 en B.2) goed te volgen. Profiel 5 geeft ook een interessant beeld van de opgetreden verandering in het Brouwershavensche Gat. De opvulling van het diepe gedeelte van de geul vindt vooral plaats in de periode 1964-1998. Sinds 1998 blijft de bodem hier rond de -10 m liggen, wel bouwt de zeewaarts gelegen bank (Gloeierende Plaat) sterk landwaarts uit waardoor het geulvolume verkleint. Het Brouwershavensche Gat staat verder onder druk bij de Kop van Schouwen, waar de groei en noordwaartse verplaatsing van de Bollen van het Nieuwe Zand het Brouwershavensche Gat vanuit het zuiden wegdukt. Het Brouwershavensche Gat krijgt hierdoor een kromming om de bollen van het Nieuwe Zand heen. Deze kromming draagt dan waarschijnlijk weer bij aan het zuidelijker worden van de uitstroom de Banjaard op. Zoals al eerder geobserveerd, wordt op de Banjaard een duidelijk ebschild gevormd. Langs de noordzijde wordt het Brouwershavensche Gat verder begrensd door een langgerekte bank (Gloeierende Plaat).

De twee langsprofielen (transect 7 en 8) weergegeven in Figuur 6-11 geven een beeld van de morfologische ontwikkelingen direct voor de Brouwersdam. Beide profielen bevatten gelijke kenmerken. De grootste bodemverandering vindt plaats in het Brouwershavensche Gat. De geul blijft behouden, maar de bodemhoogte direct voor de dam is met bijna 15 m toegenomen (raai 8). Verder zeewaarts vindt ook geulopvulling plaats maar is de verandering wel kleiner (raai 7). Naast geulopvulling is ook duidelijk het uitvlakken van de banken/platen te onderscheiden. Bankopbouw vindt wel plaats bij de Bollen van de Ooster, maar niet in het afgeschermd gebied landwaarts hiervan. Hier kunnen de banken niet behouden worden en de afgesloten geulen vormen een efficiënte bezinkput voor het sediment. De grootste veranderingen traden hier in de periode tot ongeveer 1980 op. Sindsdien zijn de veranderingen wel doorgaand, maar veel kleiner.

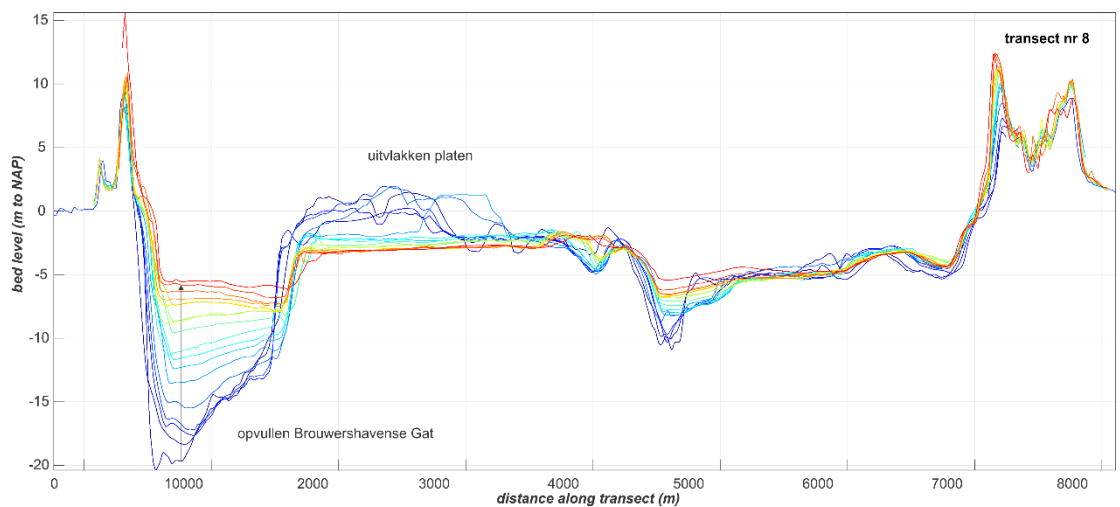
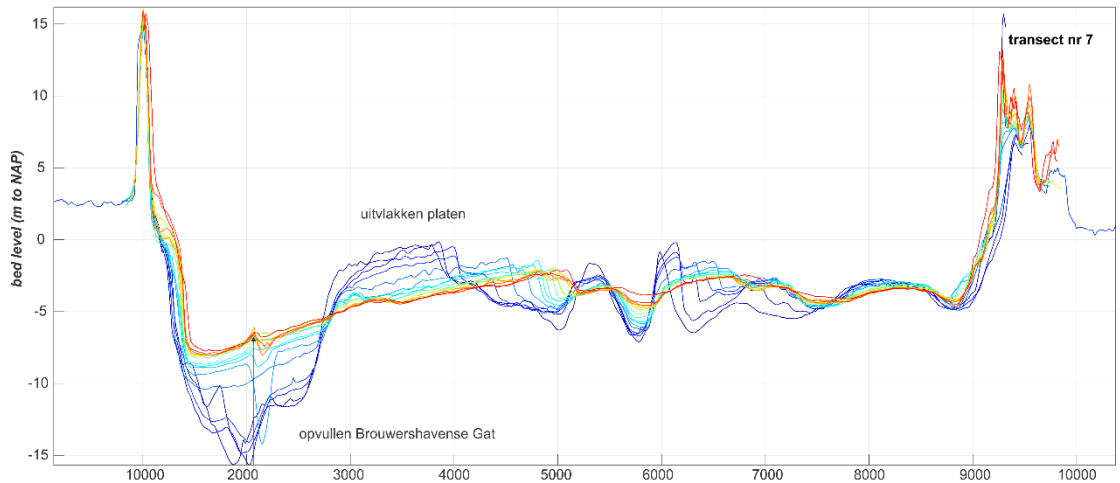
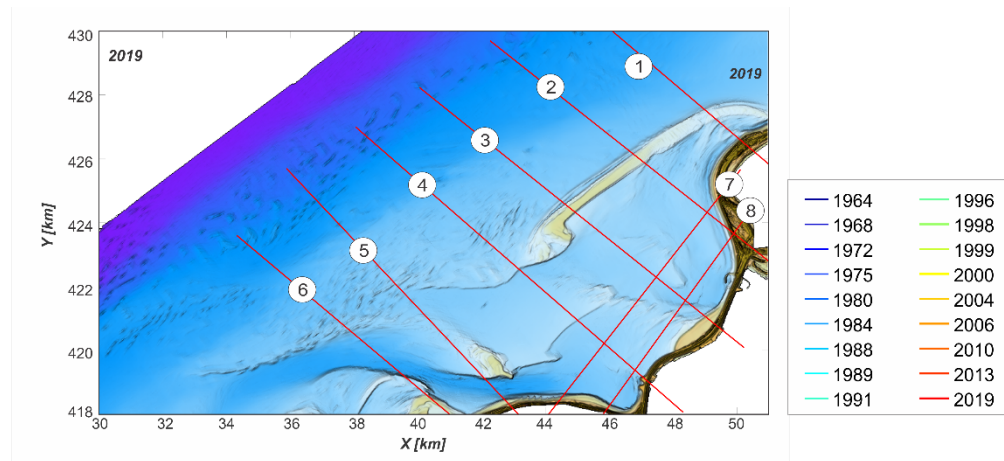
Het vrijkomende zand van de voormalige banken en platen werd afgezet voor de Brouwersdam en vormde een breed strand; landwaarts windgedreven transport leidde tot de vorming van een actieve duinenrij op de dam. De erosie van de zeewaartse frontzijde van de buitendelta gaat nog steeds door, net als de sedimentatie aan de landwaartse zijde. In totaal is er sprake van een kleine netto sediment volumetoename. Een deel van dit sediment zal zijn aangevoerd door erosie van de Banjaard en afgezet langs de noordelijke rand van de plaat en de kust van Schouwen.



Figuur 6-9 Overzicht van de veranderingen in bodemligging van de Grevelingenmonding over de periode 1970-2019 (Bron: Elias et al., 2021).



Figuur 6-10 Veranderingen in bodemligging vóór (boven) en ná (onder) afsluiting van de Grevelingen. (Bron: Elias et al., 2021).

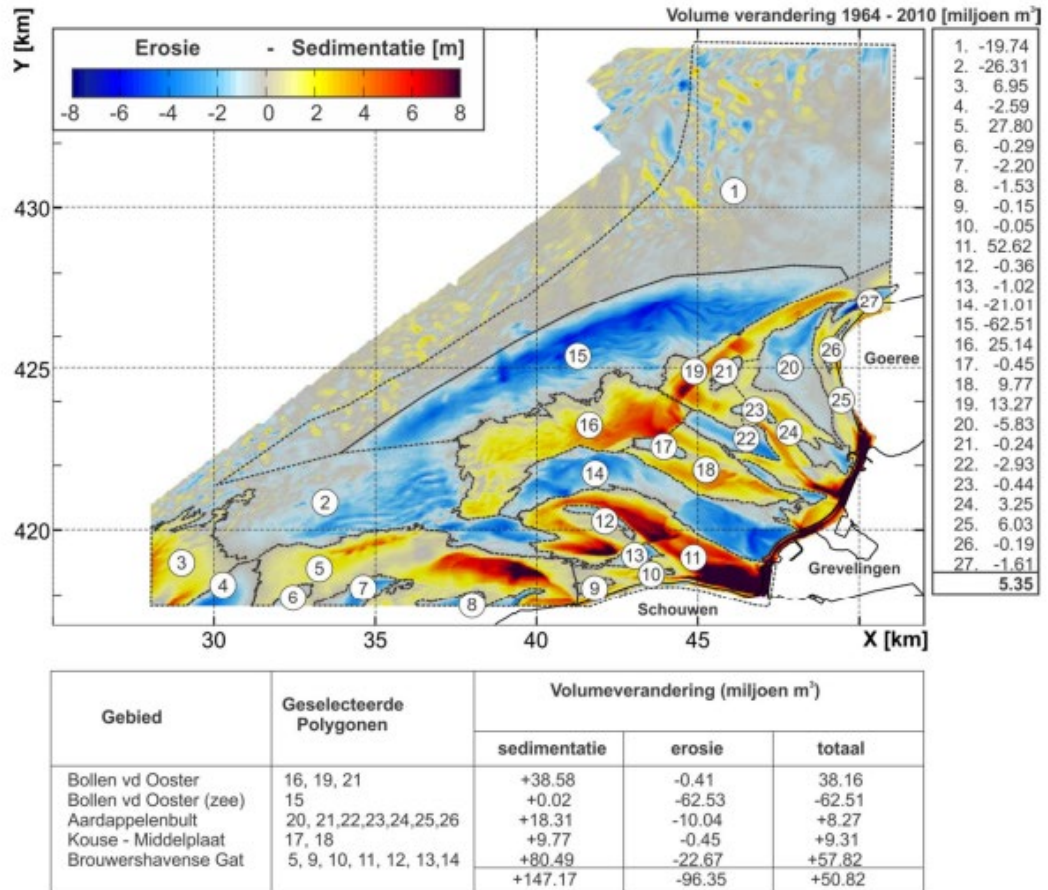


Figuur 6-11 Overzicht van de veranderingen in bodemligging in de Grevelingenmondung over de periode 1964-2010 door middel van representatieve profielen. In Appendix A, Figuur B.1 en B.2 worden doorsneden voor transect 1 tot en met 6 getoond (Bron: Elias et al., 2021).

Zandbalans

Elias en van der Spek (2015) concluderen verder dat er in de monding grote morfologische veranderingen optreden, maar dat de totale netto volumeverandering eerder beperkt is. Figuur 6-12 laat de volumeverandering in de Grevelingenmondung in de periode 1964-2010 zien. In de periode 1964-2010 neemt het sediment volume toe met 51 miljoen m³. Een deel van deze sedimentatie (28 miljoen m³) aan de zuidkant van het Brouwershavense Gat. Als we dit in

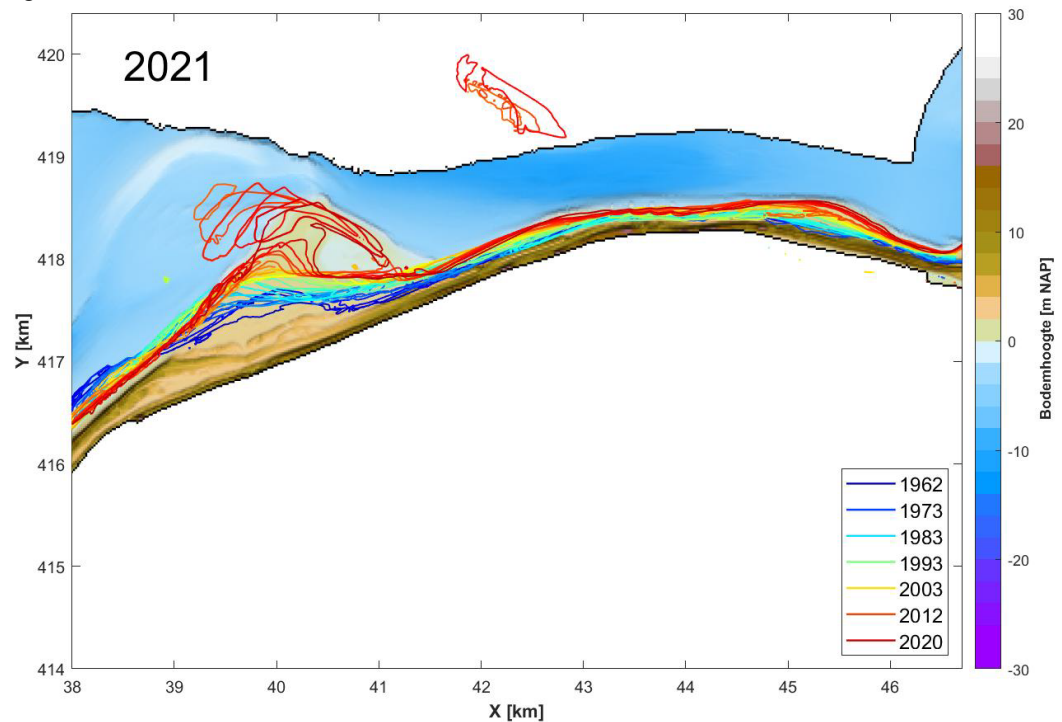
meer detail beschouwen zien we dat het buitendelta front 89 miljoen m³ aan sediment verliest. De Bollen van de Ooster nemen met 38 miljoen m³ toe. De afgesloten geul Springersdiep en de Kous zijn opgevuld met sediment. Opvullen van het Springersdiep en de vorming van de Aardappelenbult heeft tot een volumetoename van 8 miljoen m³ geleid. Het opvullen van Kous (pol. 17,18) heeft geresulteerd in een volumetoename van 9 miljoen m³. In het landwaartse deel van het Brouwershavensche Gat grenzend aan de kust van Schouwen (pol. 11 – 9-13) is veel sediment afgezet (50 miljoen m³). Een significant gedeelte van dit sediment is afkomstig van het aangrenzende bankengebied. De Middelpaalt verliest -21 miljoen m³ sediment.



Figuur 6-12 Overzicht van de bodemverandering in de Grevelingenmondung over de periode 1964-2010. Bron: Elias & Van der Spek (2015).

6.3.3 Morfologische ontwikkeling van de noordkust van Schouwen

Figuur 6-13 laat de ontwikkeling van de 0m contour van de bodemligging rond de kust van Schouwen zien. De figuur laat zien dat de noordkust van Schouwen over het algemeen is uitgebouwd.

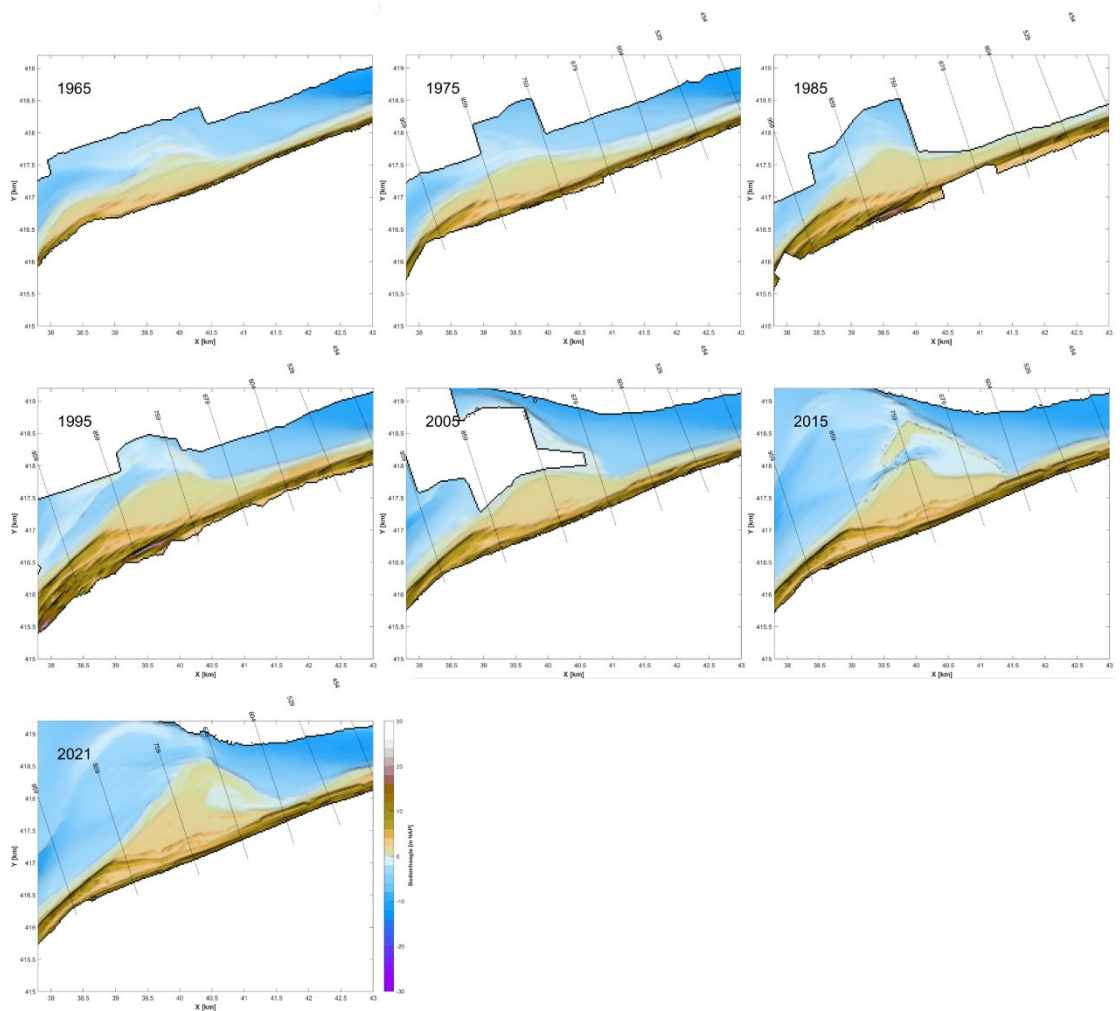


Figuur 6-13 Ontwikkeling van de 0m contour rond de noordkust van Schouwen op basis van de vergrilde JARKUS data.

Het noordelijk deel van de kust van Schouwen omvat het Verklikerstrand (Figuur 6-14). Dit is het gebied dat wordt gedomineerd door de aanwezigheid van de Bollen van het Nieuwe Zand. Deze Bollen bestaan uit een grote zandplaat, die met de kust is verheeld en uit ondieptes en platen rond de drempel van het Krabbengat. Figuur 6-15 laat zien hoe de zandplaat in de loop der tijd landwaarts is verplaatst. Het strand is dermate breed dat van strandvlakte kan worden gesproken. De locatie en omvang van de droogvallende zandbanken is zeer variabel (bijv. Alkyon, 2006). Vanwege de grote variatie in de vorm van de profielen, zowel langs de kust als in de tijd, is het niet mogelijk om in één dwarsdoorsnede de verschillende morfologische onderdelen te duiden. Daarom worden een aantal dwarsdoorsneden besproken.



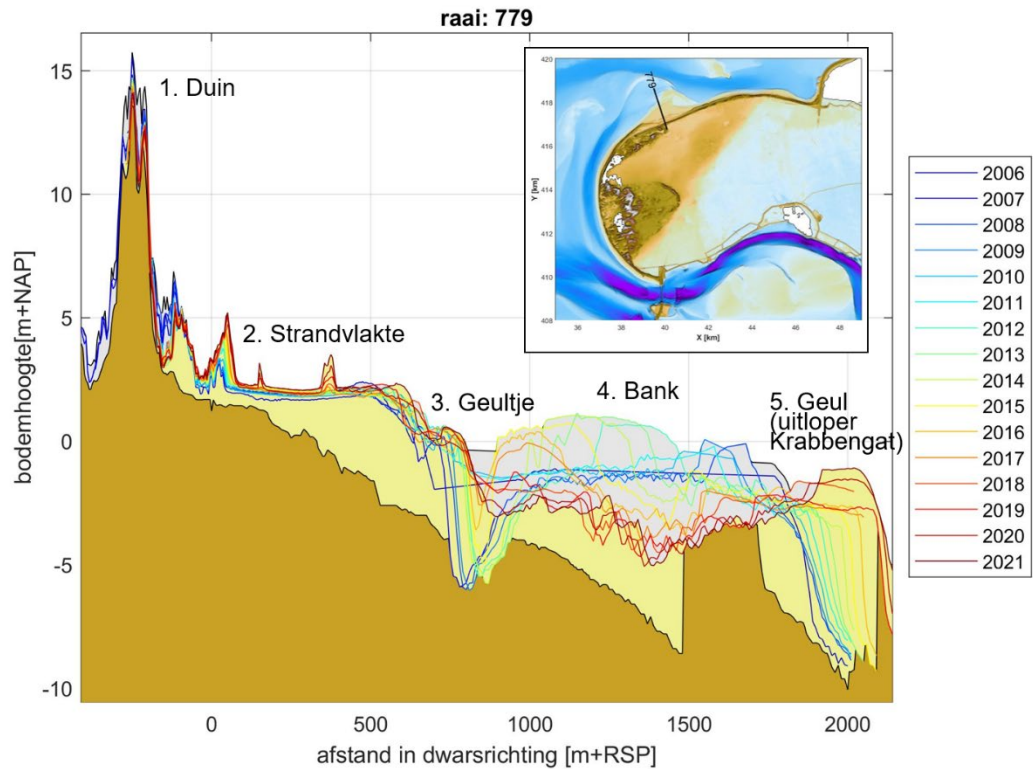
Figuur 6-14. Luchtfoto 2012 (Mastbergen et al., 2017) met de morfologische elementen en 2022 (Google Earth).



Figuur 6-15. Ontwikkeling bodemligging rond het Verklikkerstrand tussen 1965 en 2021, op basis van JARKUS grids.

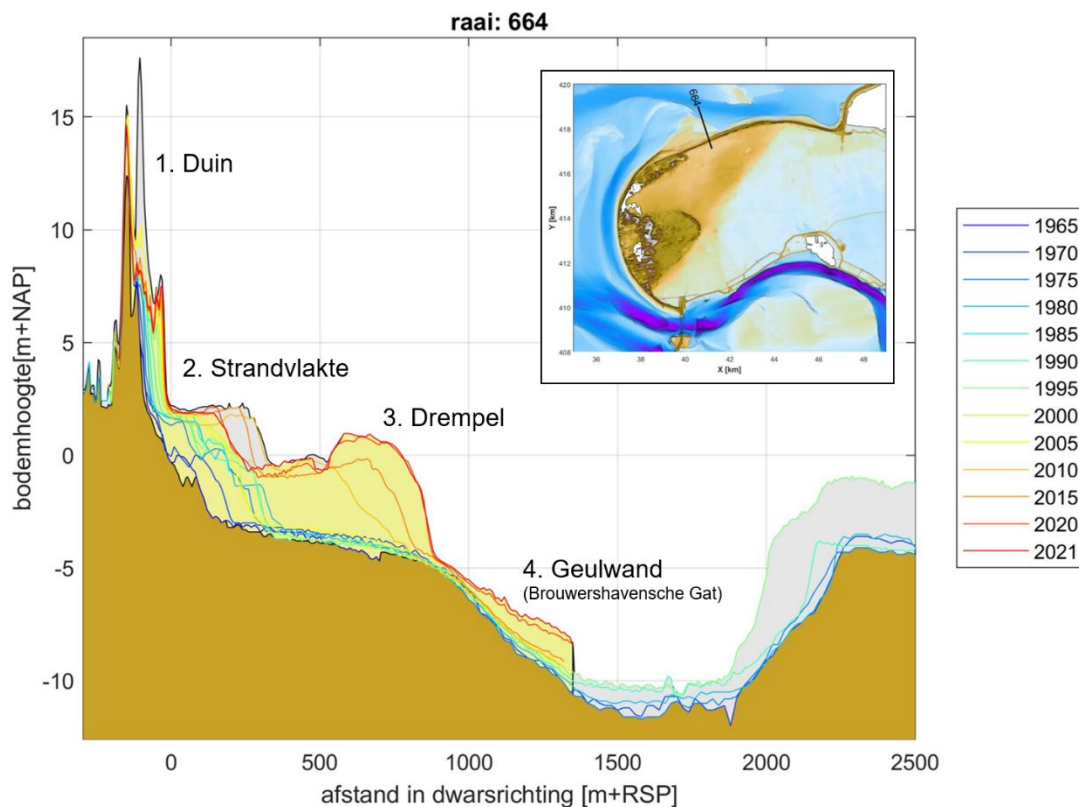
Raai 779 ligt aan de zuidwestelijke zijde van het Verklikkerstrand en de dwarsdoorsnede loopt over de brede strandvlakte (Figuur 6-16). De dwarsdoorsneden uit de periode 2006-2021 laten inderdaad een brede strandvlakte van ruim 400 m. Aan de landzijde wordt de strandvlakte begrensd door enkele ontwikkelende embryonale duintjes. Aan de zeezijde is de strandvlakte begrensd door een geultje, dat in de loop der tijd steeds ondieper is geworden (ook te zien in Figuur 6-15). Zeewaarts van dit geultje lag een zandbank die steeds meer landwaarts is verschoven. Weer zeewaarts van deze bank ligt de uitloper van het Krabbengat die, zoals in paragraaf 6.2.2 is beschreven, steeds verder naar het noorden verlengde.

De vaklodingen uit Figuur 6-15 geven inzicht, in aanvulling op de dwarsdoorsneden en de kaart met contouren op basis van de JARKUS-lodingen, in de ontwikkelingen die zich verder uit de kust voordoen. Figuur 6-16 laat zien dat de banken in het ondiepere drempelgebied waar het Krabbengat in uitliep, in 2021 naar de kust zijn verplaatst en na het aanhechten met de kust een deel van de strandvlakte zijn gaan vormen. Mogelijk levert het zand, dat met name door golfgedreven transport langs de kust van Schouwen van het zuidwesten naar noordoosten wordt getransporteerd, ook een bijdrage aan de vorming en uitbreiding van de strandvlakte. Tussen 2012 en 2022 is de strandvlakte in de luwte van de zandbank uitgebouwd in zeewaartse richting en verlengt. Uit de vaklodingen blijkt dat het geultje dat vlak onder de kust aanwezig is, niet is verbonden met het Krabbengat; er ligt altijd een drempel tussen de uitloper van het Krabbengat en dit geultje.



Figuur 6-16. Dwarsdoorsnedes 2006-2021 voor JARKUS raai 799 met morfologische onderverdeling. Nota bene, de jaren 2011 en 2012 zijn onjuist geïnterpoleerd voor het gebied tussen 600 – 1000 m kustdwars. De doorsnede voor 2006 lijkt onjuist voor het gebied tussen 500 en 1750 m kustdwars.

Raai 664 ligt aan de noordoostzijde van het Verklikkerstrand, waar de strandvlakte overgaat in het Brouwershavensche Gat. In Figuur 6-17 zijn dwarsdoorsnedes weergegeven uit de periode 1965 tot 2021. In de dwarsdoorsnede is het duin zichtbaar, de strandvlakte vanaf de duinvoet tot rond de NAP -1 m, een drempel die tot net in het intergetijdegebied komt en de geul, het Brouwershavensche Gat.



Figuur 6-17. Dwarsdoorsnedes 1965-2021 voor JARKUS raai 664 met morfologische onderverdeling.

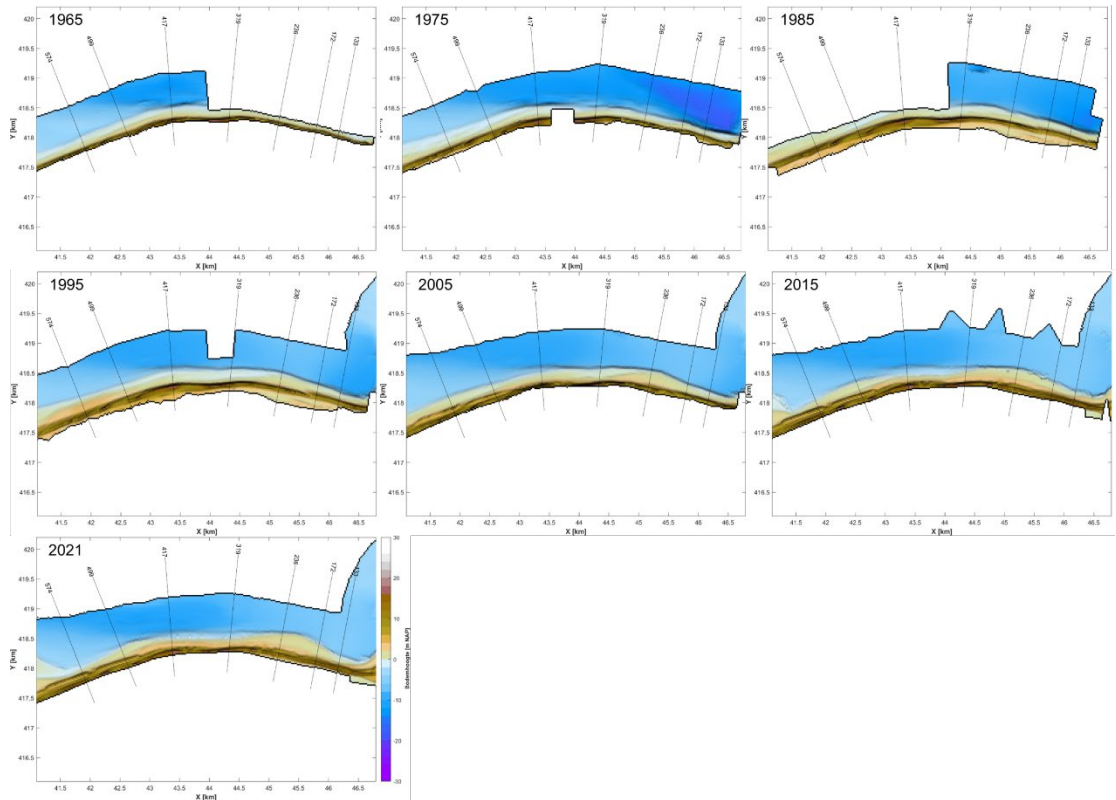
In Figuur 6-17 is zichtbaar dat de strandvlakte ter hoogte van raai 664 vanaf 1975 beduidend breder is geworden (waarna deze na 2010 weer in breedte is afgenomen). Tussen 1975 en 2005 is deze uitbouw geleidelijk, en na 2005 was de uitbouw redelijk groot. Deze ontwikkeling is ook goed te zien in Figuur 6-15. Vanaf 2005 is ook de drempel sterk gaan uitbouwen. De relatief plotselinge uitbouw in deze dwarsdoorsnede is waarschijnlijk een schijnbare versnelling van de ontwikkeling, die samenhangt met oriëntatie van de dwarsdoorsnede die vrijwel loodrecht staat op de uitbouwrichting van de drempel (zie ook Figuur 6-15). De gestage uitbouw van de drempel naar het noordoosten komt dan in één keer in beeld als deze dwarsdoorsnede inschuift.

Ook onderdeel van de noordkust van Schouwen is het Noorderstrand. Figuur 6-18 geeft inzicht in de ontwikkelingen die zich verder uit de kust voordoen. Een uitgebreide analyse van de morfologische ontwikkeling van het Noorderstrand kan worden gevonden in Boers et al. (2011), als onderdeel van een uitgebreide studie ten bate van de kustversterking die daar is uitgevoerd. Ontwikkelingen in dit gebied spelen zich in vier zones af 1) duinen 2) strand en ondiepe vooroever 3) geulwand 4) geulbodem.

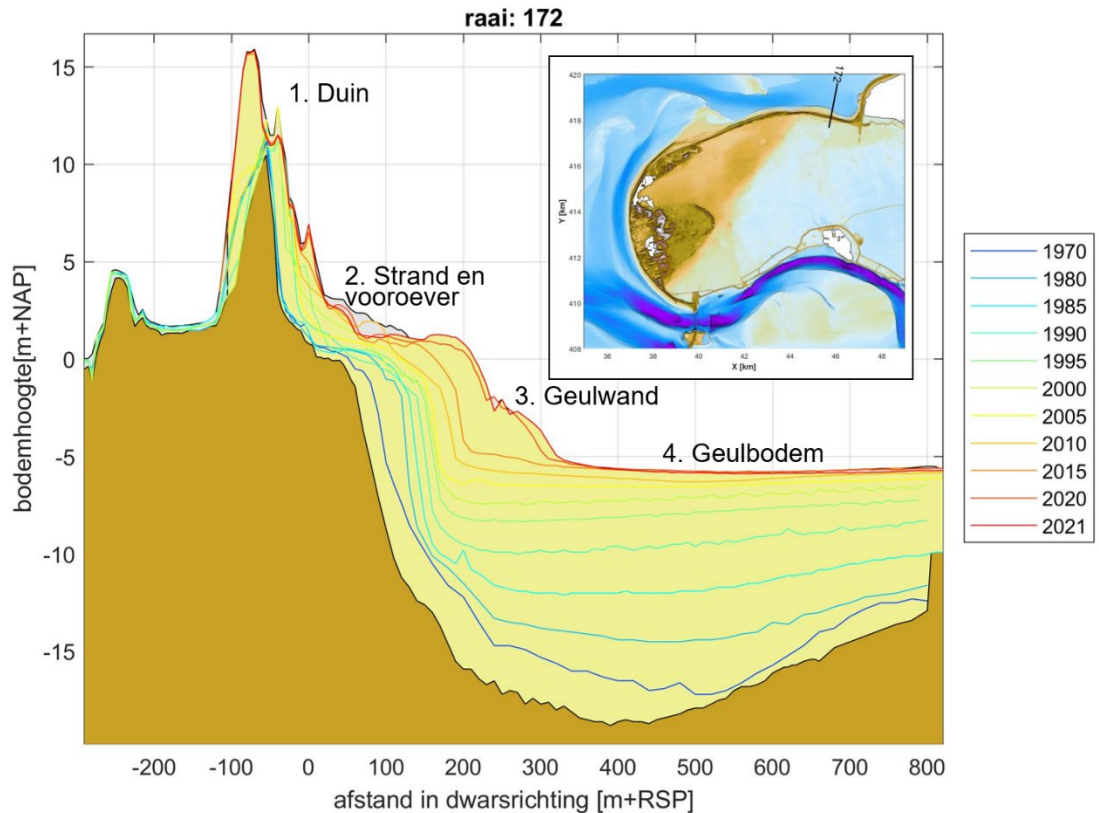
De duinen en hun ontwikkelingen worden besproken in paragraaf 6.4. Van belang voor de ontwikkeling van het strand is de verplaatsing van de duinvoet (rond NAP +3,5 m), waarmee de breedte van het strand verandert. Op verschillende plekken heeft een uitbouw van de duinvoet plaatsgevonden (bijv. Figuur 6-19). Deze uitbouw lijkt in enige mate langs de kust te verplaatsen en heeft mogelijk te maken met de verplaatsing van een 'zandgolf' van west naar oost langs dit kustdeelgebied.

Het strand en de ondiepe vooroever hebben een hoogtebereik vanaf de duinvoet (rond NAP +3,5 m) tot NAP -2 m in het oosten van de noordkust en NAP -4 m in het westen. Dit verschil in de diepte tot waarop de dynamiek zich afspeelt is waarschijnlijk te herleiden tot het lokale

golfklimaat, dat in sterke mate wordt bepaald door de afscherpende werking van de ondieptes op de Grevelingenmondning. De dynamiek op het strand en de vooroever is groot in vergelijking met de duinen en ook die van de geulwand. Er zijn locaties waar erosie plaatsvindt en ook plekken met sedimentatie, die zich deels in de vorm van een zandgolf lijkt te verplaatsen van west naar oost langs de kust. Hierbij past wel de kanttekening dat in het gebied verschillende strandsuppleties zijn uitgevoerd, die interfereren met de autonome erosie en sedimentatie. Het netto zandtransport lijkt echter wel van west naar oost langs de kust plaats te vinden. Het zand hoopt zich langzaam op in de hoek waar de Brouwersdam aansluit op de noordkust van Schouwen. In Giardino et al. (2014) wordt aangegeven, dat zandgolfpatronen duidelijk zichtbaar zijn op de noordelijke kust van Schouwen, tussen de raaien 600 en 1400 en zich voortplanten in noordoostelijke richting met een periode van ongeveer 75 jaar.

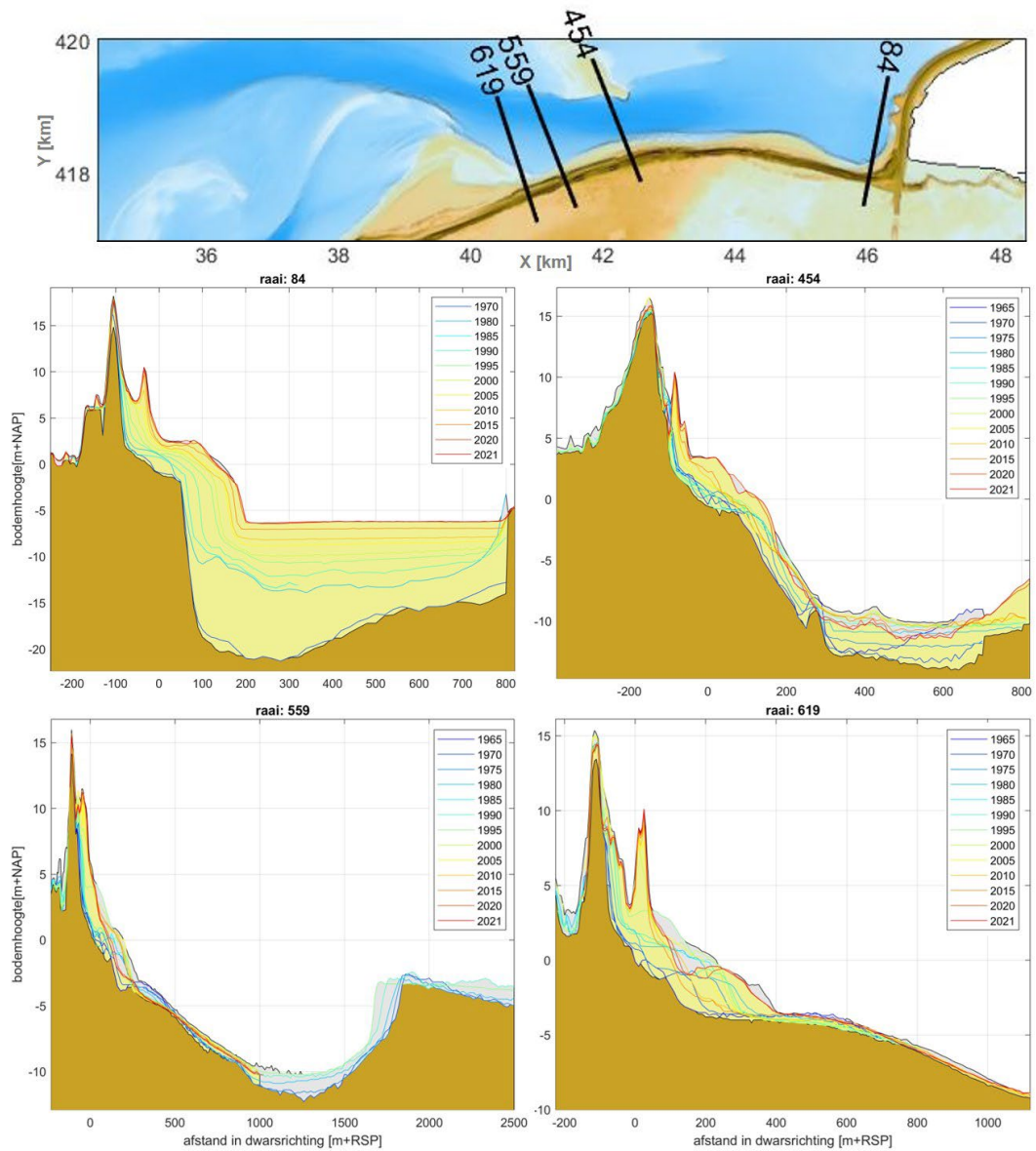


Figuur 6-18. Ontwikkeling bodemligging rond het Noorderstrand tussen 1965 en 2021, op basis van JARKUS grids.



Figuur 6-19. Dwarsdoorsnedes 1970-2021 voor JARKUS raai 172 met morfologische onderverdeling.

De geulwand van het Brouwershavensche Gat wordt aan de bovenkant begrensd door de vooroever, die aan de oostzijde rond de NAP -2 m ligt en aan de westzijde rond de NAP -4m. De vorm van de geulwand varieert van steil in het oosten, tot bol vanaf een plateau op een waterdiepte van NAP -4 m in het westen. Figuur 6-20 laat van vier verschillende raaien langs de noordkust de verschillen tussen 1970/1965 en 2021 zien. Van het uiterste oosten (raai 84) tot rond raai 454 vindt een geleidelijke noordwaartse uitbouw van de geulwand plaats. De uitbouw is het grootst nabij de Brouwersdam (raai 84), waar deze in de periode 1970-2021 ongeveer 100 m is uitgebouwd. De mate van uitbouw van de geulwand is door Boers et al. (2011) gerelateerd aan de verplaatsende zandgolf langs de kust. De top van de zandgolf voedt als het ware de geulwand, mogelijk via het geultje (slenk) die op het strand aanwezig is. Tussen raaien 454 en 559 vindt een beperkte verdieping plaats, die in vergelijking met de uitbouw ten oosten ervan zeer beperkt is. Tussen raai 559 en raai 619 is de geulwand stabiel tot licht verondiepend.



Figuur 6-20. Dwarsdoorsneden 1970-2021 bij JARKUS raai 84, en 1965-2021 bij JARKUS raai 454, 559 en 619.

De geulbodems van het Brouwershavensche Gat is sinds de afsluiting van de Grevelingen verondiept. In eerste instantie heeft de verondieping zich voorgedaan in de gehele geul, in tweede instantie ligt het zwaartepunt aan de oostzijde, direct bij de Brouwersdam. In dit gebied heeft zich in een vrijwel vlakke geulbodems ontwikkeld, met een waterdiepte die voor het ondiepste deel rond de NAP -6 m ligt. De snelheid waarmee de geul opvult is afgenomen, tot tegenwoordig een tiental cm per jaar.

6.4 Dynamiek van de duinen

Onderstaande informatie is afkomstig van de resultaten uit Natuurlijk Veilig (Groen et al., 2019; IJff et al., 2019, www.natuurlijkveilig.nl) en het project Slimmer omgaan met Zand (Projectgroep Kop van Schouwen, 2019; Provincie Zeeland, 2015; Zandbergen, 2020).

6.4.1 Historische ontwikkeling duinen van Schouwen

De ontwikkeling van de duinen van Schouwen is uitgebreid beschreven door (Beekman, 2006). Belangrijke rode draad in het betoog van Beekman is de relatie tussen de duinontwikkeling en mate van duinactiviteit enerzijds en de kusterosie als gevolg van ingrepen elders anderzijds. Volgens Beekman hebben veranderingen in de komberging aan de zuidkant van Schouwen, onder andere door het afgraven van veen, geleid tot grootschalige kusterosie aan de zuidwest- en westkant waarbij door het vrijkomen van grote hoeveelheden zand op de kust een transgressieve duinontwikkeling op gang is gekomen. Dit heeft geleid tot twee grote duinvormende fasen. De eerste loopt van 900 tot 1300 en is verantwoordelijk voor de vorming van de huidige binnenduintrand. De tweede fase heeft tussen 1600 en 1800 de massieve duinrug gevormd die nu min of meer het grensvlak tussen de Meeuwenduinen en de Zeepeduinen vormt. Opvallend detail wat Beekman (pers. comm.) vermeldt is de verandering in de zeereep op de kop van Schouwen die is ontstaan rondom 1900, in 30 jaar tijd, waarin geen onderhoud werd gepleegd. Bij een afslaande kust konden toen op grote schaal kerven ontstaan. Hiervan zijn verschillende bronnen met foto's bekend (Beekman, pers. comm.), die doen denken aan de huidige kerfontwikkeling aan de zuidwestkant van de Meeuwenduinen.

6.4.2 Natuurlijk Veilig & Slim Omgaan met Zand

In duinen is de atmosferische depositie van stikstof een probleem. Door begroeiing van de duinen is het zandtransport van strand naar duinen stilgevallen. Belangrijke natuurwaarden, zoals grijs duin, dreigden daardoor te verdwijnen. In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) zijn er tussen augustus 2017 en maart 2018 een tweetal kerven aangelegd in de zeereep ter hoogte van JARKUS raai 1335, om dynamisering in dit gebied te stimuleren en grijs duin habitat te herstellen. Naast de fysieke ingrepen in de duinenrij is er ook overeengekomen dat het stuk kust tussen raai 1248 en 1375 niet gesuppleerd zou worden in het meerjarenprogramma 2016-2019. Het gaat hier om een volume van 0.4 Mm³. Er is vervolgens invulling gegeven aan de afspraak door eind 2017 de strandsuppletie alleen uit te voeren ten noorden en ten zuiden van dit gebied. In 2021 is het overgeslagen gebied tussen raai 1248 en 1375 alsnog gesuppleerd. Het ontwerp van deze suppletie was aangepast, met een lagere aanleghoogte ter hoogte van de kerven. In de periode 2014-2020 is een monitoringsprogramma uitgevoerd om de gevolgen van de overgeslagen suppletie en de kerven te onderzoeken. Uit de evaluatie (6^e monitoringsrapportage en evaluatie pilot 'Slimmer omgaan met zand op Schouwen') blijkt dat de kerven die op natuurlijke wijze zijn ontstaan, tot dynamisering hebben geleid: er worden grote hoeveelheden zand landinwaarts geblazen, wat tot vernieuwing van de vegetatie leidt. Dit proces is nog slechts beperkt te zien ter hoogte van de gegraven kerven. De verwachting is dat er hier meer tijd nodig is om dit proces van doorstuiving te zien. De strandsuppletie uit 2021 dient waarschijnlijk als zandbron voor het landwaartse zandtransport. In het ontwerp van deze suppletie is daar ook op ingezet. Daarnaast zal er in de binnenduintrand nog jaren nabeheer moeten plaatsvinden vinden om ervoor te zorgen dat de stuifbanen open blijven. In paragraaf 6.4.3 worden enkele resultaten uit het monitoringsprogramma getoond.

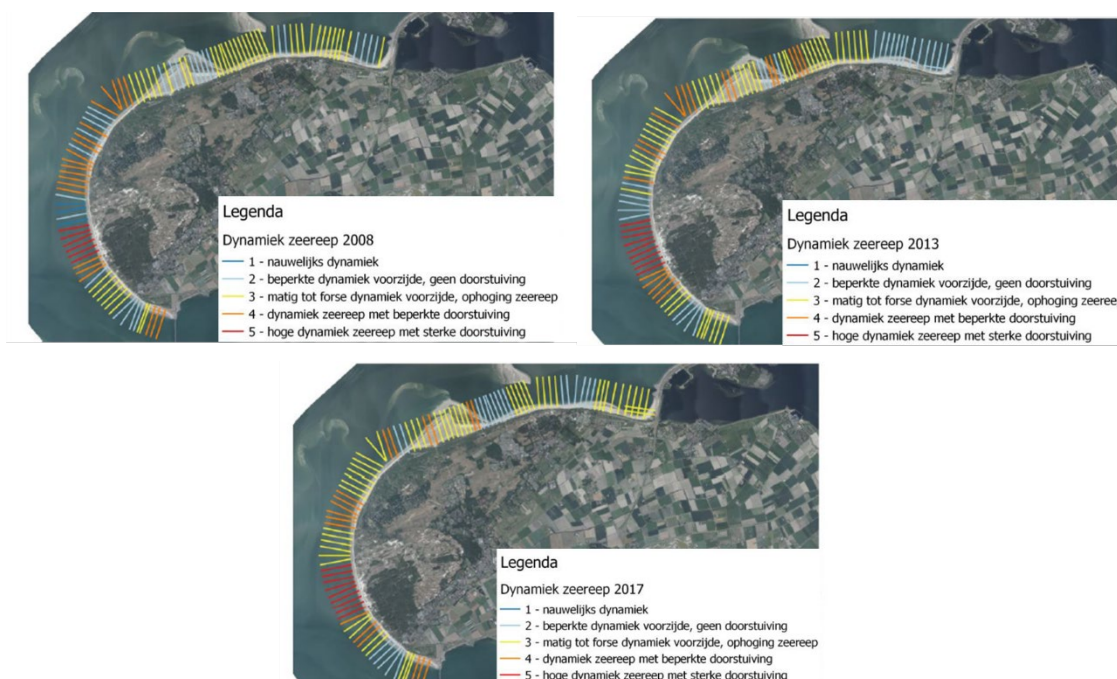
Het project "Natuurlijk Veilig" onderzoekt onder andere of, en hoe, de ruimtelijke planning en uitvoering van suppleties (locatie/frequentie) kan bijdragen aan het maximaliseren van biodiversiteit van duinlandschappen, door gedifferentieerd landschapsbeheer toe te laten zonder andere functies in het gedrang te brengen (zie ook www.natuurlijkveilig.nl).

In Natuurlijk Veilig wordt de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenaamde 'responstypen', die van Type 1 naar Type 5 steeds meer kustdwars overstuiving kennen, dus een steeds grotere beïnvloeding van de achter de zeereep liggende duinen (Tabel 6-1). De zeereep van Schouwen is in deze categorisering dynamisch. Het beheer is ook gericht op het maximaliseren van dynamiek. Vooral de Meeuwenduinen vallen hierbij op (aangegeven met rood in Figuur 6-21). Hier zijn op natuurlijke wijze kerven ontstaan. In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) zijn er tussen augustus 2017 en

maart 2018 twee nieuwe kerven aangelegd in de zeereep ter hoogte van JARKUS-raai 1335 (Figuur 6-22), om dynamisering in dit gebied te stimuleren en grijs duin habitat te herstellen (zie 6.4.3). In het noorden (raai 84 t/m 650) en het stuk grenzend aan de Oosterscheldekering (raaien 1668 t/m 1742) is doorstuiving niet toegestaan vanwege de woonkernen en infrastructuur die achter de smalle duinenrij aanwezig zijn (Löffler & Togt, 2018).

Tabel 6-1 - Responstypen met criteria hoe de responstypen zijn bepaald per JARKUS-raai. Voor sedimentatie wordt gekeken naar de aanstuiving van zand in een periode van 5 jaar voor 10% van het oppervlak (gebied voor de zeereep, de kruin, of achter de zeereep, behorend tot een bepaalde JARKUS-raai).

Aanduiding	Responstype	Criteria
0	Geen zandige kust	<ul style="list-style-type: none"> Bijvoorbeeld een dijk of boulevard
1	Nauwelijks dynamiek	<ul style="list-style-type: none"> Geen sedimentatie op de kruin of achter de zeereep Geen embryonale duinen Evt. lichte sedimentatie (>10cm) aan duinvoet
2	Beperkte dynamiek voorzijde zeereep	<ul style="list-style-type: none"> Sedimentatie vóór de zeereep Evt. aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinen Geen sedimentatie op of achter de zeereep
3	Matig tot forse dynamiek voorzijde en ophoging zeereep	<ul style="list-style-type: none"> Sedimentatie vóór de zeereep Sedimentatie op de kruin van de zeereep Evt. aanwezigheid en/of ontwikkeling van embryonale duinen Geen sedimentatie achter de zeereep
4	Dynamische zeereep met beperkte doorstuiving	<ul style="list-style-type: none"> Sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereep Aanwezigheid van stuifkuilen en/of kerven in en/of achter de zeereep Lichte Sedimentatie (>10cm) achter de zeereep
5	Gekerfde zeereep met sterke doorstuiving	<ul style="list-style-type: none"> Sterke sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereep (>50cm tussen twee JARKUS-raaien in) Aanwezigheid van kerven die de zeereep helemaal doorklieven Evt. aanwezigheid van stuifkuilen achter de zeereep Sterke sedimentatie achter de zeereep (>50cm)



Figuur 6-21 Dynamiek van de zeereep op Schouwen in 2008, 2013 en 2017 (Jff et al., 2019).



Figuur 6-22 Situatie ter hoogte van JARKUS raai 1308-1355. Links de situatie voor de ingrepen (2015) en rechts de situatie na de ingrepen (2019) (Zandbergen, 2020).

6.4.3 Volumeveranderingen in de zeereep

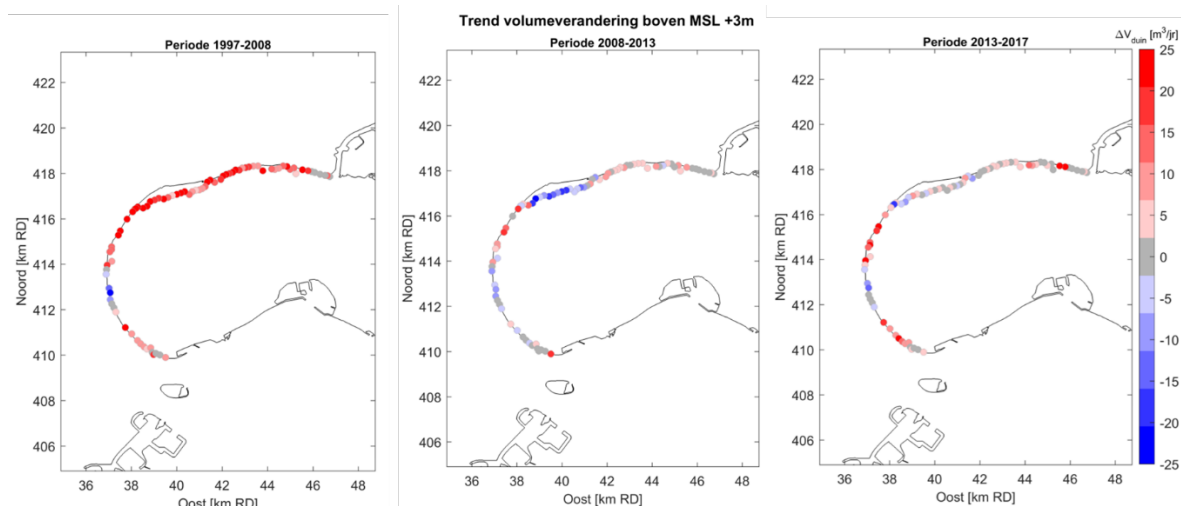
Volumeveranderingen in de zeereep zijn samengevat in Tabel 6-2 en Figuur 6-23 voor de perioden 1965-1997 (alleen tabel), 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2017. Het gehele kustvak Schouwen is onderverdeeld in vijf segmenten, georiënteerd rond het pilotgebied Slimmer omgaan met Zand (raaien 1248-1425).

Voor het pilotgebied Slimmer omgaan met Zand (Meeuwenduinen) veranderen de cijfers eerst van sterk negatief naar minder negatief naar zwak positief. Dit wordt toegeschreven aan een na-ijlend effect van de duinverzwaring van 1991 plus de effecten van de later ingezette 1x4 jaar aangebrachte suppleties. Daarna veranderen ze naar negatief in de jaren 2013-2017, waar in het jaar 2016 een suppletiedeel is overgeslagen. Het geeft aan dat de voorspelling van volumebehoud met een rollende zeereep daar niet opgaat. Er is landwaarts geen ruimte voor een rollende zeereep, vanwege de aanwezigheid van bos. De zeereep rolt weliswaar naar binnen maar het volume neemt af. Andere locaties langs de kust tonen zonder uitzondering positieve zandaanwas. Ten zuiden van het studiegebied heerst een opmerkelijk constant regime van aanwas van ca 4 m³/m/jaar, eerst zonder en later met suppleties. Hier mag verondersteld worden dat de invloed van de nabijheid van de Oosterscheldemonding een regulerende/uitvlakkende rol speelt. In het gebied ten oosten van het studiegebied spelen diverse effecten een rol. Onmiddellijk ten oosten (raaien 1248-980) is sprake van een regelmatig positieve ontwikkeling. Die is aan het hoge kant van het gemiddelde aanbod bij strand-gesuppleerde kusten (ca. 14 m³/m/jaar; cf. Van der Walle, 1999). Na 2013 komt er gemiddeld een lager volume in de zeereep (ca. 9 m³/m/jaar) terecht, ongetwijfeld een effect van het niet-uitvoeren van de suppletie 2016. Nog verder naar het oosten (raaien 980-529) is er sprake van een sterk afnemend volume zand wat in de zeereep terecht komt.

Hiermee is aangetoond dat de autonome processen van zandtransport richting de zeereep op de Kop van Schouwen opvallend beïnvloed worden door kustvorm, windrichting en het al dan niet uitvoeren van strandsuppleties. Ongetwijfeld is de sterk gekromde kust van de eilandkop van Schouwen van grote invloed op het herverdelingsproces, dat verschilt langs de kust. De aanwas van de zeereep reageert snel op veranderingen in het aanbod van strandzand c.q. de verminderd aangeboden hoeveelheid sinds 2016. Achterwege laten van een suppletie heeft duidelijke effecten op de zeereepontwikkeling van het studiegebied, en op de zeereep ontwikkeling in het gebied ten noorden ervan.

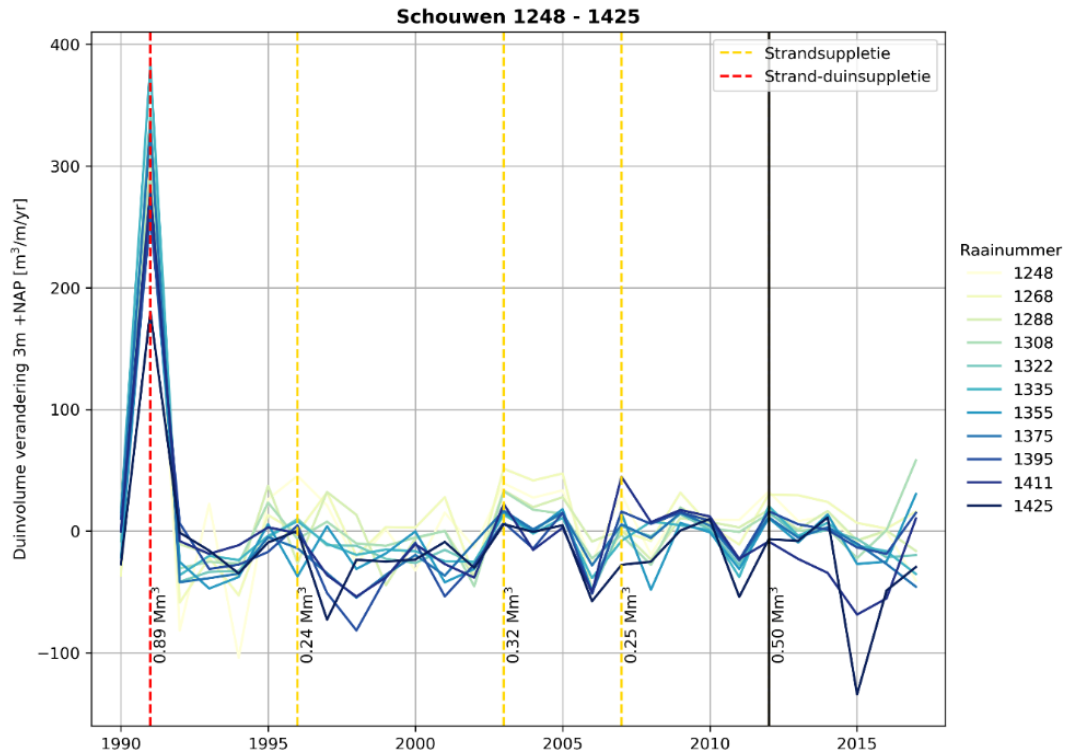
Tabel 6-2 Overzicht duinvolume veranderingen (+3 m NAP) Schouwen (Groen et al., 2019).

Duinvolume verandering	Perioden	1965 – 1997	1997 – 2008	2008 – 2013	2013 – 2017
Raaien	kustsegment	[m ³ /m/jr.]	[m ³ /m/jr.]	[m ³ /m/jr.]	[m ³ /m/jr.]
	Gemiddeld	0,2	8,4	6,2	4,4
0 – 529	noord	1,8	10,0	4,4	8,5
529 – 980	noordwest	5,4	13,2	5,3	1,3
980 – 1248	west	2,1	14,1	16,2	9,2
1248 – 1425	studiegebied	-21,3	-7,8	1,6	-6,9
1425 – 1800	zuidwest	0,2	4,1	4,7	4,1

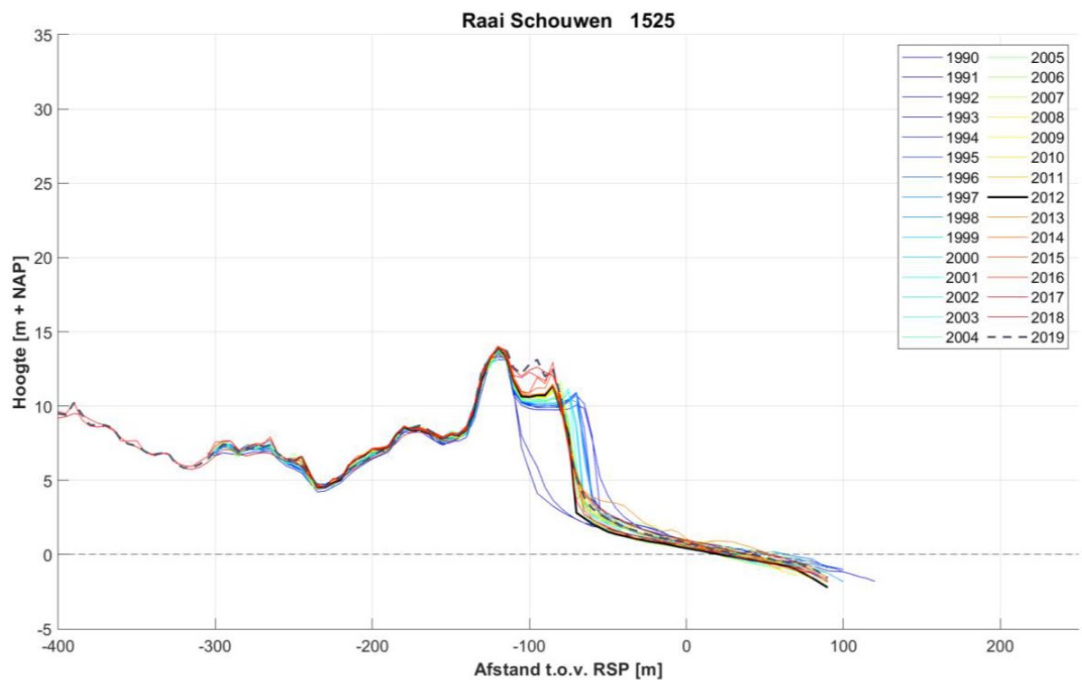


Figuur 6-23 Volumeveranderingen van de zeereep in de periode 1997-2008 (links), 2008-2013 (midden) en 2013-2017 (rechts), gemeten boven de duinvoet van MSL +3m (IJff et al., 2019).

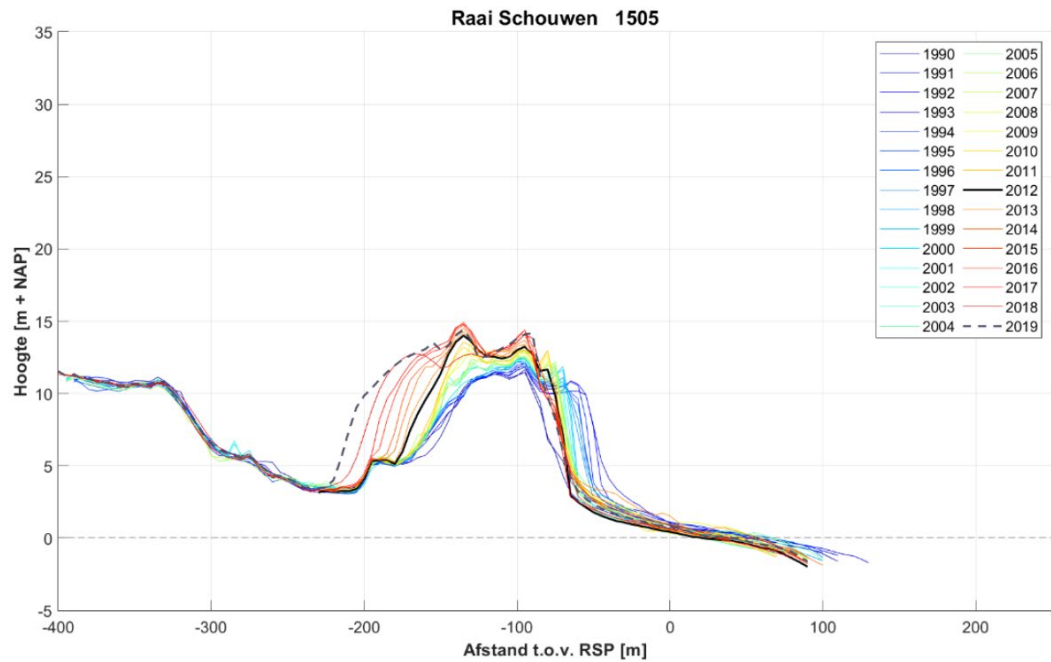
In Figuur 6-24 zijn de duinvolume veranderingen in het studiegebied uitgezet tegen de tijd (Groen et al., 2019). De massieve duinverzwaring van 1991 (50 m breed, 10 m hoog) veroorzaakt een enorme piek. Wat verder opvalt is dat de raaien in het noorden zich min of meer rond de nul bewegen, maar dat raaien meer naar het zuiden toe meer onder de 0 lijn liggen en iets grotere uitslagen vertonen. De met enige regelmaat uitgevoerde suppleties (gele verticale onderbroken lijnen) zijn overigens in staat gebleken de kustlijn goed op zijn plaats te houden. De in 2017 uitgevoerde strandsuppletie heeft grote invloed op de erosie en sedimentatie van het zeereep-duin. In de zuidelijke raaien –en in wat mindere mate ook in de noordelijke raaien –heeft een aangroei van de kust plaatsgevonden. In de centraal gelegen raaien is er sprake van een lichte landwaartse achteruitgang van de duinvoet, gemiddelde laag waterlijn en gemiddelde hoog waterlijn. Dit is in lijn met de hierboven aangegeven volumeveranderingen, die in verband staan met de uitvoeringspraktijk van de suppleties over de jaren (Overzicht duinvolume veranderingen (+3 m NAP) Schouwen (Groen et al., 2019)). Als voorbeeld van typische profielontwikkeling worden enkele figuren ingevoegd (Figuur 6-25 t/m Figuur 6-27) die elk een typische situatie weergeven.



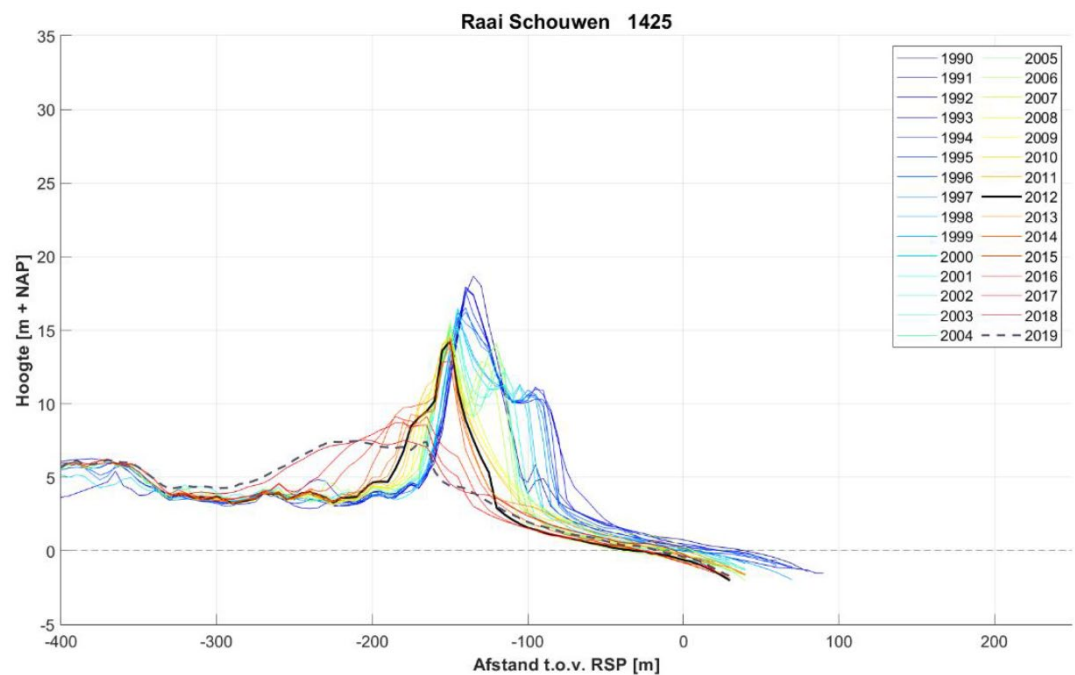
Figuur 6-24 Schouwen Meeuwenduinen studiegebied 1x niet-suppleren (raaien 1248-1425): “bliksem” grafiek (Groen et al., 2019).



Figuur 6-25 Schouwen Meeuwenduinen Raai 1525: voorbeeld van een locatie waar in 1991 een forse duinverzwaring als banket (50 m breed en 10 m hoog) tegen het toen resterende duin is aangelegd. Merk op aangroei duinvoet in recente jaren als gevolg suppletie 2017.



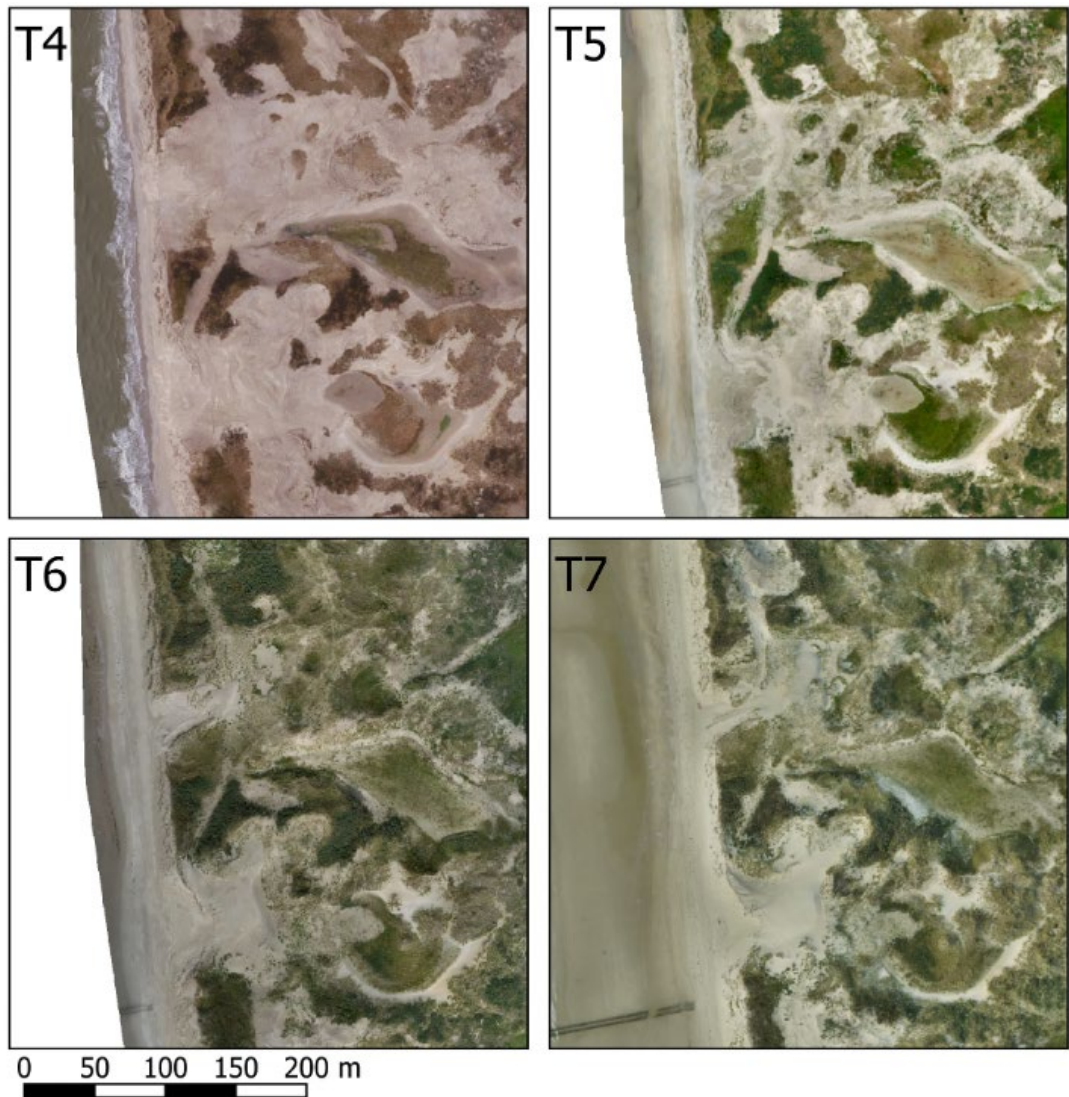
Figuur 6-26 Schouwen Meeuwenduinen Raai 1505: voorbeeld van een locatie waar een langzame roll-over beweging van de zeereep plaatsvindt. (Groen et al., 2019).



Figuur 6-27 Schouwen Meeuwenduinen Raai 1425: voorbeeld van een locatie waar een doorbraak in de zeereep plaatsvindt (Groen et al., 2019).

Ondanks de ingrepen die er gedaan zijn gedurende de pilot, zijn de binnenduinen in het beschouwde gebied niet veel dynamischer geworden doordat zandtoevoer vanuit de kerven en uitstuiving van afgeplagde delen tegenvielen (Zandbergen, 2020). De aanleg van de twee kerven heeft voornamelijk lokaal voor sedimentatie en erosie gezorgd, maar functioneert (nog) niet als toevoer van zand naar het achterliggende duingebied. De meeste van de gebieden waar de vegetatie is geplagd zijn in augustus 2020 alweer begroeid, wat de uitstuiving van zand uit deze oppervlaktes belemmerd (Figuur 6-28) De gebieden die nog

steeds vrij zijn van vegetatie stuiven iets uit, maar de aanzanding vindt direct aan de randen plaats, waardoor ook dit effect slechts lokaal voor wat dynamiek zorgt.

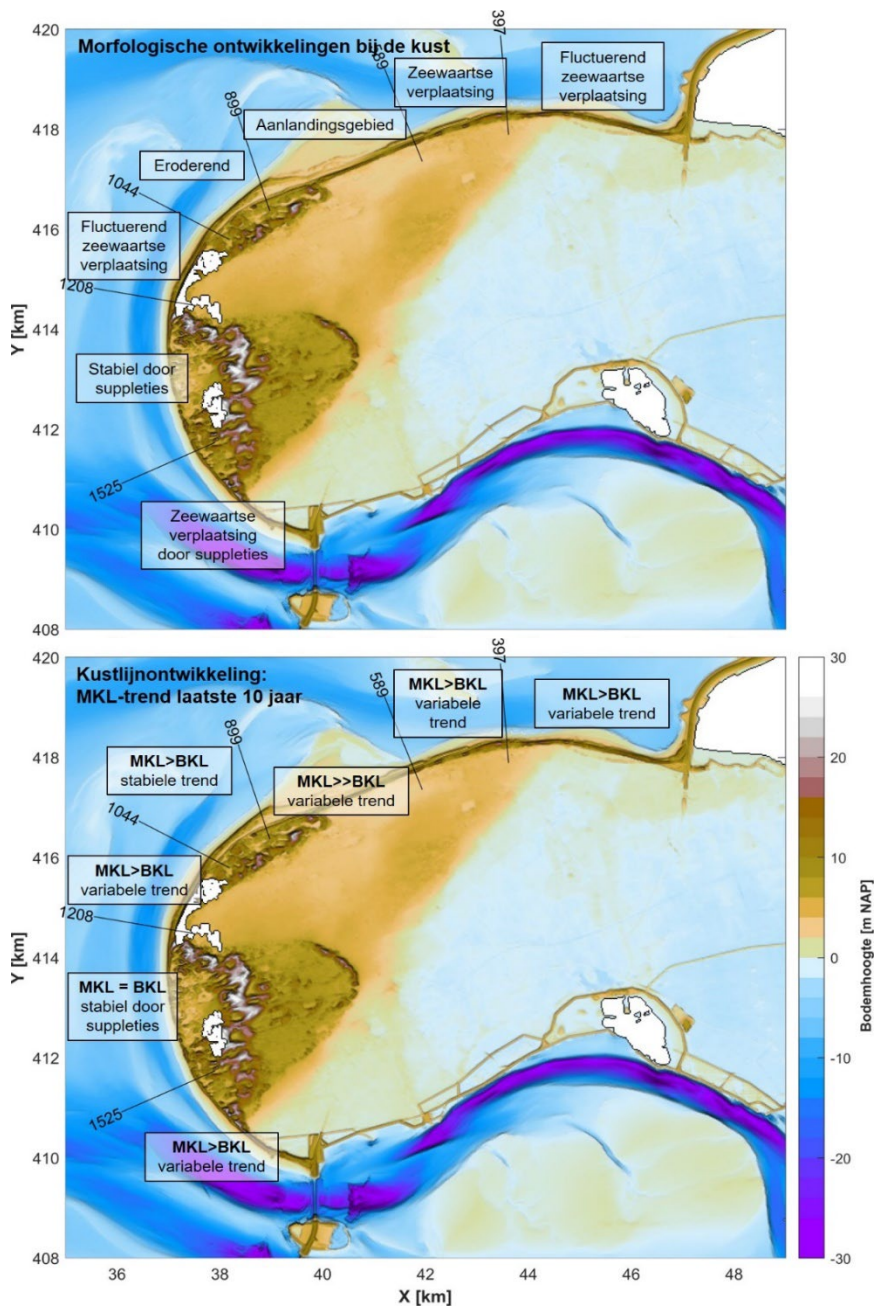


Figuur 6-28 Orthofoto's met daarop zichtbaar de ontwikkeling van de aangelegde kerven in de periode van T4 (maart 2018) t/m T7 (augustus 2020). Op de foto's is te zien dat het duin achter de kerven weer begroeid raakt (Zandbergen, 2020).

7 Kustlijnontwikkeling

7.1 Samenvatting

Op basis van de morfologische kenmerken uit Hoofdstuk 6 maken we hiervoor onderscheid in enkele deelgebieden. Figuur 7-1 geeft een samenvatting van de algemene kenmerken van de MKL-trends als gevolg van de morfologische ontwikkelingen. De Kop van Schouwen is erosief, maar de ligging van de kustlijn wordt door herhaaldelijk suppleren op zijn plek gehouden. Aan de noordkust van Schouwen vindt juist aanlanding van platen plaats, waardoor de kustlijn zeewaarts verplaatst.



Figuur 7-1. Samenvatting van de morfologische ontwikkelingen bij de kust (uit Hoofdstuk 6) en de ontwikkelingen in kustlijnontwikkeling zoals gepresenteerd in paragraaf 7.3.1.

7.2 Zandsuppleties

Er wordt sinds 1970 gesuppleerd op Schouwen, waarvan vanaf 1990 frequent (per locatie ca. 1 keer per 4 jaar). Tabel 7-1 geeft een compleet overzicht van alle uitgevoerd suppleties met de gesuppleerde volumes. Het gaat bijna altijd om strandsuppleties met een volume van enkele honderdduizenden m³ per keer. Op Schouwen zijn geen onderwatersuppleties uitgevoerd, omdat het kustprofiel en de morfodynamiek zich hiervoor niet lenen. De kustprofielen op de plekken waar beheer-maatregelen worden getroffen zijn steil en zijn feitelijk geulwanden. De vorm van de profielen biedt weinig ruimte voor het aanbrengen van grote volumes zand. Zand dat op de vooroever wordt aangebracht zal naar verwachting niet naar het strand worden getransporteerd.

Vóór 1990 zijn strandsuppleties en duinverzwaringen incidenteel uitgevoerd als maatregel om de kust en de duinen tegen erosie te beschermen. Duinverzwaringen zijn aanvullingen van de zandvoorraad van de duinen. Duinverzwaringen zijn veelal uitgevoerd om de veiligheid te vergroten, daar waar de duinen het achterland beschermen tegen overstromingen. Vanaf 1990 zijn zandsuppleties de structurele beheermaatregel tegen verdere erosie van de kust, als onderdeel van het dynamische handhaven. Figuur 7-2 laat zien dat er grofweg in twee gebieden wordt gesuppleerd: bij Renesse (raai 84-650) en op de Kop van Schouwen (raai 1100-1750). De suppleties zijn het grootste in het laatstgenoemde gebied. Daarnaast is er tussen 1985 en 1987 gebaggerd tussen raai 1288 en 1525 in het Krabbengat. Zand van de zeevaartse geulwand is weggehaald en deels (het andere deel betrof zandwinning) gestort aan de landwaartse kant. Het doel was om de kusterosie te verminderen. In 1991 is dit nogmaals gedaan tussen raai 1184 en 1335. Deze ingrepen leidde inderdaad tot stabilisatie van de geul, maar doordat de diepte van de Banjaard toenam, wat leidde tot een afname in golfdissipatie en een toename in golfgedreven sediment transport, nam de kusterosie niet af (Vermaas, Elias & van der Spek, 2015).

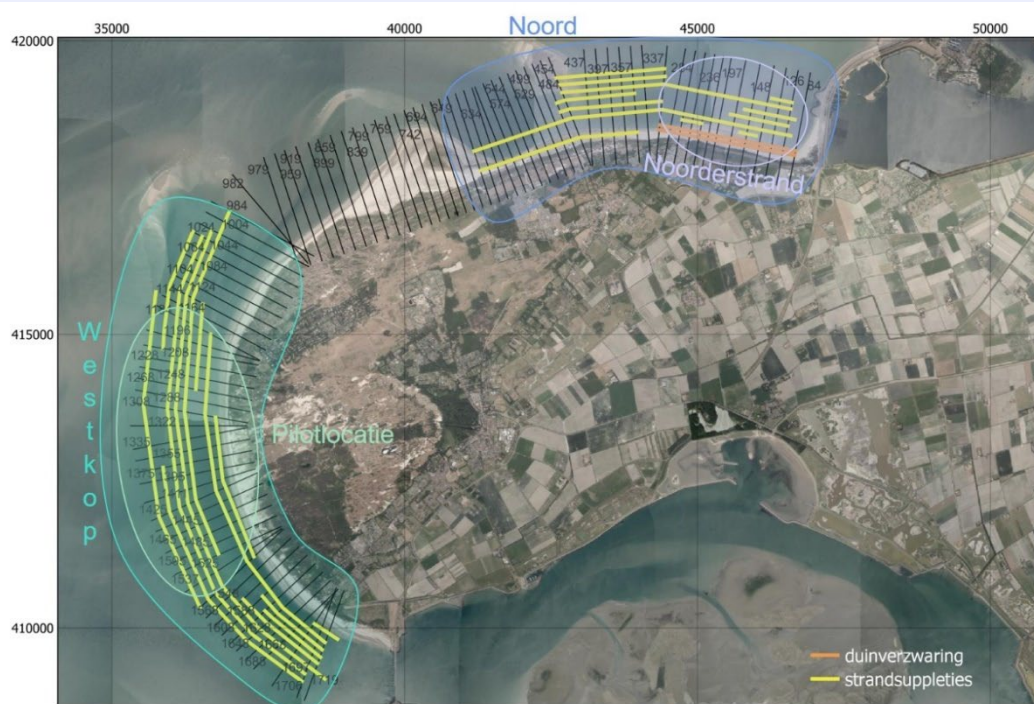
In de winter 2013-2014 zijn de duinen langs de Zouten en Zoeten Haard bij het Noorderstrand door het Waterschap Scheldestromen aan de landzijde versterkt. Deze duinverzwaring valt echter niet onder de kustlijnzorg. In 2016 is op het kustvak Kop van Schouwen, tussen raai 1248 en 1425, de pilot 'Slimmer omgaan met zand op Schouwen' uitgevoerd als onderdeel van het nieuwe principe bij het kustonderhoud en -beheer: "meer doen met een schep zand".

Tabel 7-2 vat de typerende suppleties langs de kust van Schouwen samen.

Tabel 7-1. Suppletieoverzicht Schouwen (op basis van gegevens van Rijkswaterstaat t/m maart 2022).

Begin	Eind	Beginraai	Eindraai	Volume (m ³)	Lengte (m)	V/L	Type
apr-75	apr-75	1700	1741	112000	410	273	strandsuppletie
apr-87	jun-87	1320	1560	1974000	2400	823	strandsuppletie
jan-90	dec-90	84	319	15000	2350	6	duinverzwaring
jan-90	dec-90	84	319	415000	2350	177	duinverzwaring
jul-91	dec-91	1184	1727	2672983	5430	492	strand-duinsuppletie
jan-94	dec-94	158,5	190	40000	315	127	strandsuppletie
jan-94	dec-94	258,5	292,5	49000	340	144	strandsuppletie
jan-95	dec-95	367	643	818000	2760	296	strandsuppletie
jan-96	dec-96	1158	1732	733000	5740	128	strandsuppletie

jan-99	dec-99	1620	1720	105000	1000	105	strandsuppletie
jan-99	dec-99	95	641,5	560000	5465	102	strandsuppletie
mrt-03	jun-03	116	210	61912	940	66	strandsuppletie
mrt-03	jun-03	327	477	201847	1500	135	strandsuppletie
mrt-03	jun-03	1598	1728	125220	1300	96	strandsuppletie
mrt-03	jun-03	994	1533	870237	5390	161	strandsuppletie
jun-07	jun-07	376,5	469,2	169643,5	927	183	strandsuppletie
jun-07	jun-07	105,7	196,8	161688,7	911	177	strandsuppletie
jun-07	jul-07	1024,1	1741,8	994022,6	7177	139	strandsuppletie
nov-11	jan-12	106	469	592299,1	3630	163	strandsuppletie
mrt-12	sep-12	1044	1719	1824901	6750	270	strandsuppletie
aug-13	dec-13	1040	2190	212000	11500	18	duinverzwareing
okt-16	nov-16	319	469	246750	1500	165	strandsuppletie
sep-17	dec-17	1044	1228	370000	1840	201	strandsuppletie
sep-17	dec-17	1375	1719	800000	3440	233	strandsuppletie
sep-19	dec-19	319	469	418660	1500	279	strandsuppletie
sep-19	dec-19	106	148	81500	420	194	strandsuppletie
sep-21	nov-21	1164	1548	800000	3840	208	strandsuppletie



Figuur 7-2. Kustlangse locatie van de uitgevoerde strandsuppleties en duinverzwareingen langs de kust van Schouwen tussen 1975 en 2022. Hoe verder de suppletie zeewaarts is getekend, hoe recenter deze is uitgevoerd.

Tabel 7-2. Samenvatting van de typerende suppleties langs de kust van Schouwen. De onderbouwing van het suppletie programma van RWS is te vinden via: <https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/kust/uitvoeringsprogramma-kustlijnzorg/>

Locatie (raaien)	Typerende suppleties	Onderbouwing
Schouwen Westkop (raai 984-1741)	Met regelmaat terugkerende strandsuppletie	Structurele erosie zorgt voor BKL-overschrijdingen. Door de aanwezige geul (Krabbegat) worden hier geen vooroeversuppleties, maar reguliere strandsuppleties uitgevoerd.
Schouwen Westkop – pilotlocatie (raai 1164-1548)	Strandsuppletie	In de pilot 'Slimmer omgaan met zand op Schouwen' is afgesproken dat in het meerjarenprogramma 2016-2019 eenmalig niet gesuppleerd zou worden tussen raai 1248 en 1425 (Figuur 7-2). Om de aanwezige functies in het pilotgebied te ondersteunen is in het suppletieprogramma 2020-2023 weer een strandsuppletie uitgevoerd tussen raai 1164 en 1548.
Schouwen Noord (84 – 641,5)	Met regelmaat terugkerende strandsuppletie	Structurele erosie zorgt voor BKL-overschrijdingen. Door de aanwezige geul (Brouwershavensche Gat) worden hier alleen regelmatige strandsuppleties uitgevoerd.
Schouwen Noorderstrand (84-319)	Duinverzwarend	Het duin van het Noorderstrand is betrekkelijk smal. Tijdens een superstormvloed zou dit kunnen leiden tot duinafslag. Daarom wordt hier af en toe een duinverzwarend uitgevoerd. De duinverzwarend valt niet onder Kustlijnzorg, maar wordt door het Waterschap uitgevoerd.

7.3 Ontwikkeling kustindicatoren

Deze paragraaf beschrijft de ontwikkeling van de kustzone bij Schouwen met behulp van kustindicatoren. De trends en veranderingen in deze kustindicatoren kunnen aan de hand van de morfologische ontwikkelingen uit Hoofdstuk 6 worden verklaard. Kustindicatoren die hier worden uitgelicht zijn de Momentane KustLijn (MKL), duinvoet, strandbreedte en faalkans van de eerste duinenrij. Een overzicht van de historische en ook de meest recente informatie over de kustindicatoren is te vinden op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). De meest recente informatie over de huidige en de verwachte kustlijnligging ten opzichte van de BKL is ook te vinden in het (jaarlijks opgestelde) kustlijnkaartenboek van Rijkswaterstaat (www.rijkswaterstaat.nl/kustonderhoud/).

7.3.1 MKL – BKL

De MKL-positie (voor definitie, zie Hoofdstuk 3). representeert de jaarlijkse kustlijnligging en wordt vergeleken met de BKL. Figuur 7-3 geeft de MKL ontwikkeling voor 1965 tot 2020 (boven) en de laatste 10 jaar (onder). Hieronder worden de MKL en BKL veranderingen vanaf de Brouwersdam tot aan de Oosterscheldekering besproken.

De MKL heeft zich bij de Brouwersdam (raai 84) zeewaarts verplaatst sinds 1965 en is de laatste 10 jaar stabiel. Langs het Noorderstrand en het Renesse Strand (raaien 220-514) heeft de MKL zich afwisselend uitgebouwd en teruggetrokken. Ten oosten van raai 397 (Noorderstrand), waar de oriëntatie van de kust meer W-ZO is, heeft de MKL zich de laatste 10 jaar teruggetrokken. Ten westen van raai 397 (Renesse Strand), waar de oriëntatie van de kust meer ZW-NO is, heeft de MKL zich juist uitgebouwd in de laatste 10 jaar. Rond raai 397 (het knikpunt) is de kustlijn redelijk stabiel gebleven.

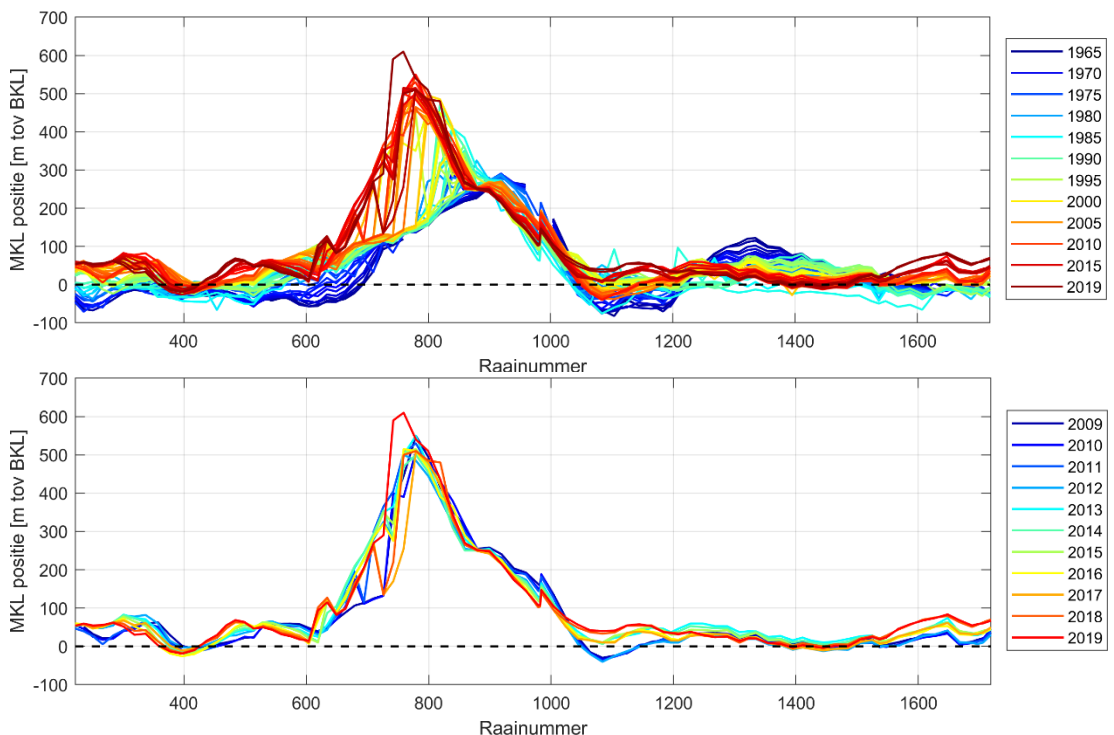
Het gebied net ten noordoosten van de strandvlakte van de Bollen van het Nieuwe Zand (raaien 514-604) bouwde tussen 1965 en 2005 uit, waarna de MKL zich heeft teruggetrokken. De figuur laat duidelijk zien dat de MKL zich bij de strandvlakte vanaf 1965 heeft uitgebouwd. De

laatste 10 jaar fluctueert de positie van de MKL wel. Mogelijk heeft dit te maken met kustlangse verspreiding van het zand. De terugtrekking van de MKL net ten zuidwesten (879-984) van de strandvlakte lijkt dit te bevestigen.

Langs het noordwesten van de Kop van Schouwen (raai 984 – 1196) heeft de MKL zich zeewaarts verplaatst. Tot 2012 lag de MKL nog landwaarts van de BKL, maar vanaf 2013 ligt de MKL zeewaarts. Dit hangt samen met een strandsuppletie die hier is uitgevoerd.

Tussen raai 1208 en 1537 (Westkop) heeft de MKL zich vanaf 1965 landwaarts verplaatst. De laatste 10 jaar is de positie van de MKL stabiel. Het Krabbengat ligt hier voor de kust, waardoor het MKL-volume vooral bepaald wordt door het strand.

Richting de Oosterscheldekering (raaien 1568-1697) heeft de MKL zich zeewaarts verplaatst. Hier is veel gesuppleerd, wat hier een waarschijnlijke oorzaak voor is.



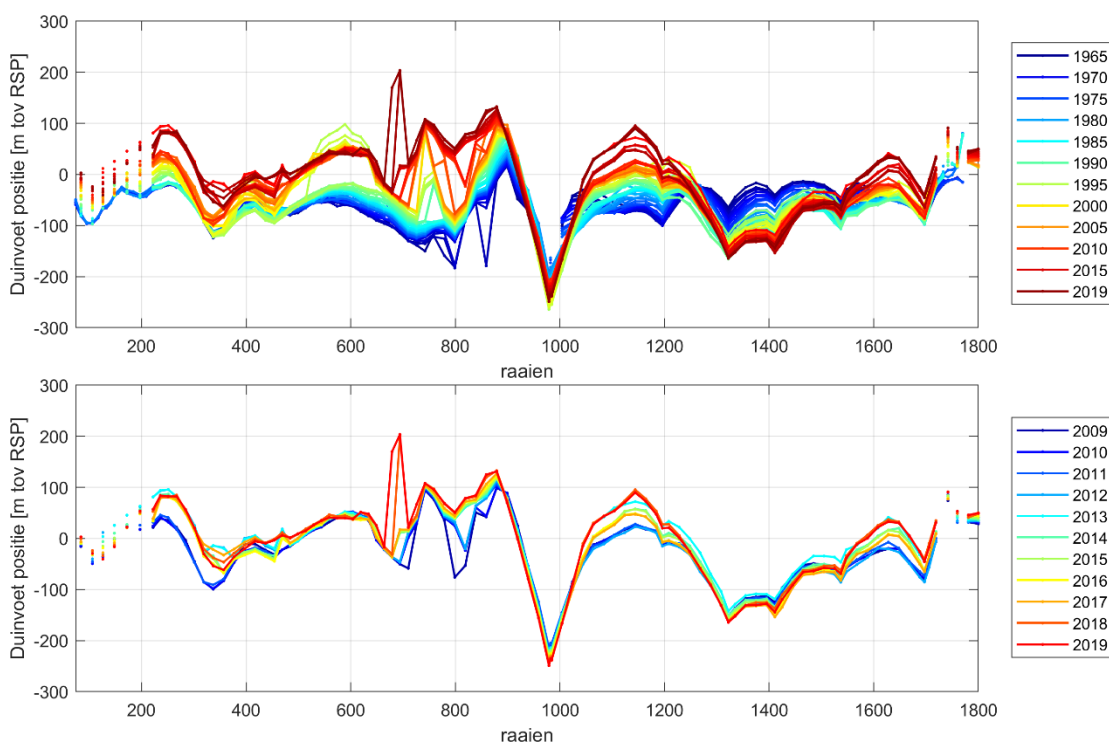
Figuur 7-3. Ontwikkeling MKL positie t.o.v. BKL (zwarte stippellijn) over de periode 1965 tot 2019 (boven) en de laatste 10 jaar (onder). De MKL positie is berekend op basis van de rekenschijf beoordeling 1-1-2021.

7.3.2 Duinvoet

De duinvoet (DV) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten opzichte van RSP (zie Appendix A2 voor de berekenmethode). Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van strand naar duinen (i.e. knikpunt in het profiel). In Figuur 7-4 wordt de ontwikkeling van de DV tussen 1965 en 2019 en de laatste 10 jaar weergegeven langs de kust van Schouwen.

In 1990 heeft er tussen raaien 84 en 319 een duinverzwaring plaatsgevonden, die terug te zien is in de figuur als een zeewaartse verplaatsing van het duinvoet. Tussen raai 437 en 649 heeft begin jaren '90 een sterke zeewaartse verplaatsing van het duinvoet plaatsgevonden. De duinvoet ligt sterk landwaarts bij raai 984, op het noordwestelijke puntje van de Westkop. Iets ten zuiden van deze plek (raaien 1024-1248) heeft de duinvoet zich in de loop der jaren

zeewaarts verplaatst. In 2013 heeft er hier een duinverzwaring plaatsgevonden, waardoor de duinvoet sterk naar zee is verplaatst. De jaren hierna is de duinvoet weer wat landwaarts verplaatst, maar in 2018 springt de duinvoet weer zeewaarts. Langs de Westkop (1248-1537) heeft de duinvoet zich in de loop der jaren landwaarts verplaatst. Eerst vrij sterk, en de laatste 10 jaar wat langzamer. Richting de Oosterscheldekering (raaien 1548-1719) heeft de duinvoet zich, met wat fluctuaties, zeewaarts verplaatst.

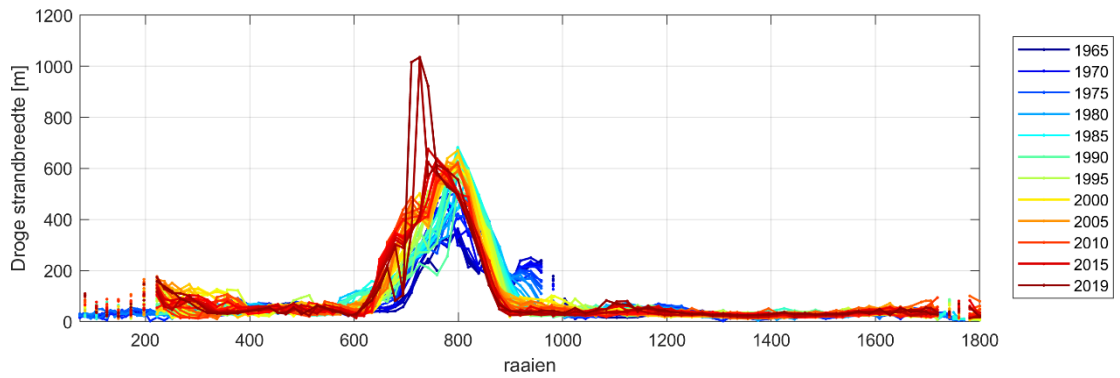


Figuur 7-4 – Ontwikkeling duinvoet positie t.o.v. RSP over de periode 1965 tot 2019 .

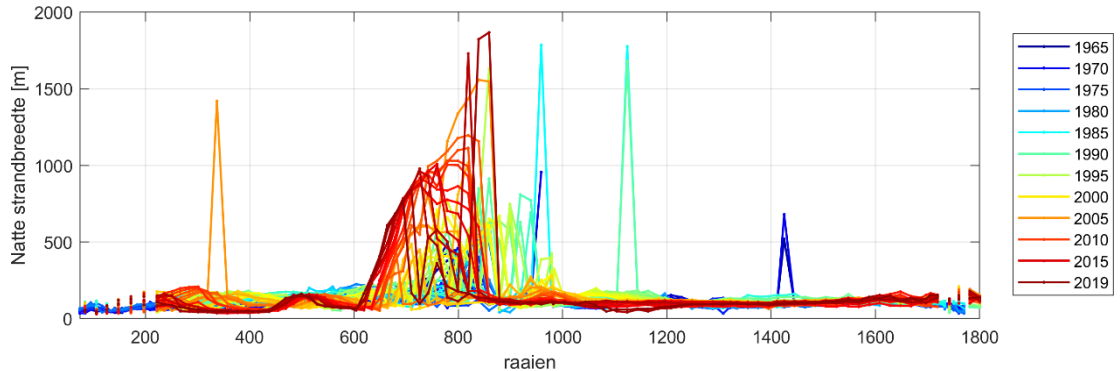
7.3.3 Strandbreedte

De strandbreedte is geen doelstelling van het beleid dat Rijkswaterstaat uitvoert, maar wel van belang voor recreatie. Er is onderscheid tussen het natte strand en het droge strand. De natte strandbreedte is de horizontale afstand tussen het snijpunt van het strandprofiel met de gemiddeld laagwater (GLW) en gemiddeld hoogwater (GHW). De droge strandbreedte is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de GHW en de DV (zie Appendix A3 voor de berekenmethode). In Figuur 7-5 en Figuur 7-6 staat de ontwikkeling van de droge en natte strandbreedte tussen 1965 en 2019 langs de kust van Schouwen.

De strandbreedte langs de kust van Schouwen varieert weinig in de tijd. Alleen bij de strandvlakte van de Bollen van het Nieuwe Zand is de breedte van het strand sterk toegenomen vanaf 1965. Ten zuidwesten van de strandvlakte (raaien 919-984) neemt de droge strandbreedte af. Dit hangt mogelijk samen met erosie en westwaartse verplaatsing van zand. Ook ten noordoosten van de strandvlakte (raai 604) neemt de droge strandbreedte af. Dit hangt mogelijk samen met het ontstaan van jonge duinen, waardoor de duinvoet zeewaarts verplaatst en de droge strandbreedte afneemt. Het natte strand is hier en daar in breedte toegenomen.



Figuur 7-5 - Ontwikkeling droge strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 voor alle raaien bij de kust van Schouwen.



Figuur 7-6 - Ontwikkeling natte strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 voor alle raaien bij de kust van Schouwen.

7.3.4 Faalkans eerste duinenrij/zeereep

De wettelijke beoordeling van de duinen als primaire waterkering is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende condities. Bij deze beoordeling komt geen informatie beschikbaar over het effect van suppleties op de ontwikkeling van de veiligheid. Om dit effect in beeld te kunnen brengen is in 2011 een database samengesteld met faalkansen van alle JARKUS raaien langs de Nederlandse duinenkust, voor de jaren 1965-2010 (HKV, 2011, zie Appendix A4). Op basis van deze database zijn analyses uitgevoerd van de effecten van het suppletiebeleid door de jaren heen op de faalkansen van de duinen (HKV, 2012). In 2017 is deze database geactualiseerd voor de periode tot en met 2017 (HKV, 2017). De conclusie van berekeningen met deze database is dat voor Schouwen over het algemeen de faalkansen van de zeereep is afgenomen door het suppletiebeleid.

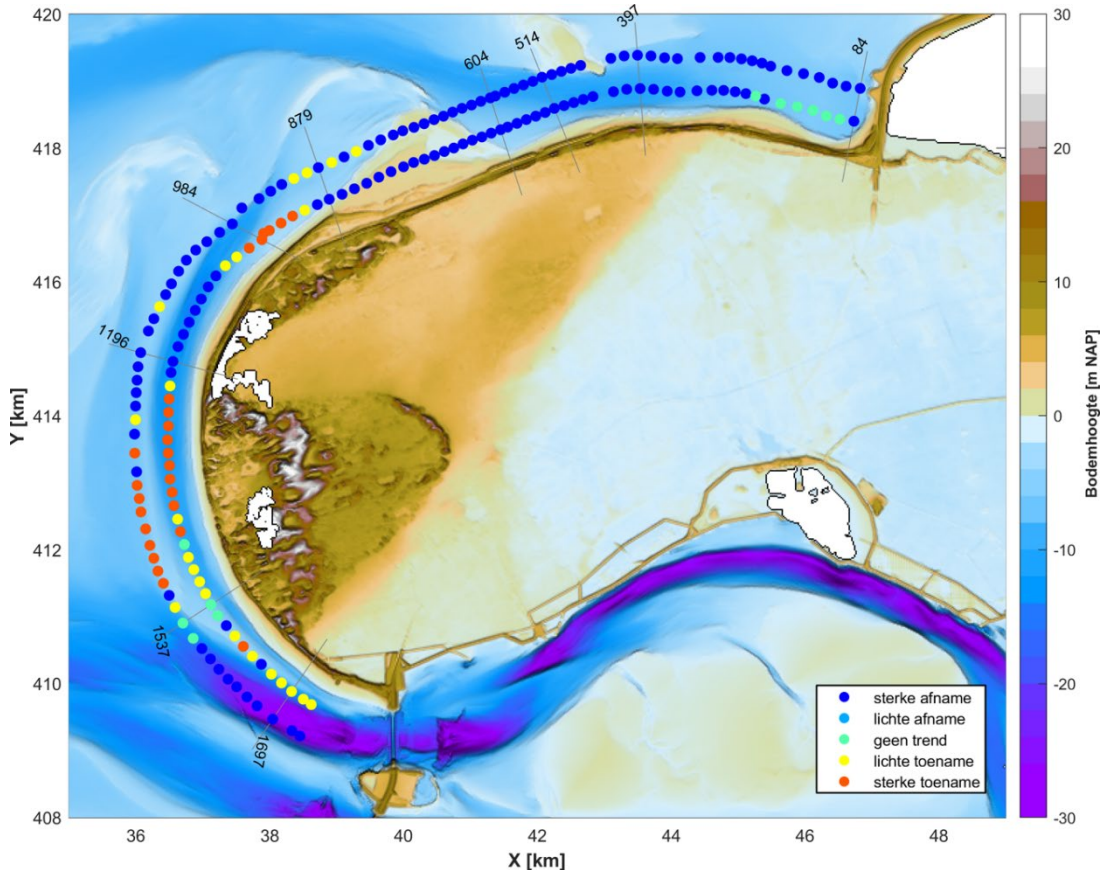
De hierbij berekende faalkansen hebben geen officiële betekenis voor de faalkansen van de duinwaterkering. Het ontwikkelde probabilistische duinafslagmodel heeft geen officiële status binnen het WBI.

Trends in de ontwikkeling van de faalkansen zijn bepaald voor twee perioden: 1965-1990 en 1990-2017. Figuur 7-7 toont de trend in de faalkansen van de eerste duinenrij van Schouwen voor elke periode. Er is een onderverdeling aangebracht in vijf klassen:

- 1 De faalkansen zijn sterk afgenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een afname van de faalkansen met een factor 10 minder dan 10 jaar heeft geduurd (donkerblauw).
- 2 De faalkansen zijn licht afgenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een afname van de faalkansen met een factor 10 meer dan 10 jaar heeft geduurd (lichtblauw).
- 3 Er zijn slechts 4 of minder faalkansen berekend in de beschouwde periode (vanwege een gebrek aan JARKUS-data of bruikbare resultaten van PC-Ring), op basis waarvan geen trend wordt weergegeven (groen).

- 4 De faalkansen zijn licht toegenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een toename van de faalkansen met een factor 10 meer dan 10 jaar heeft geduurd (geel).
- 5 De faalkansen zijn sterk toegenomen in deze periode: de trend is zodanig dat een toename van de faalkansen met een factor 10 minder dan 10 jaar heeft geduurd (oranje).

Voor Schouwen is er langs de noordkust een sterke afname in de faalkansen berekend voor de periode 1990 tot 2017 ten opzichte van de periode 1965 tot 2017. Voor het noordwesten van Schouwen is er een sterke afname in de faalkansen berekend. Alleen rond raai 879 zijn er drie locaties waar een lichte toename in de faalkansen is gekomen. Dit hangt mogelijk samen met de terugtrekking van de duinen uit Figuur 6-6a. Tussen raai 1196 en 1537 is de faalkansen op een deel van de plekken afgenomen (van sterke toename naar sterke afname), maar er is ook te zien dat iets meer naar het zuiden de faalkansen juist een beetje is toegenomen. Ten zuid(zuidwest)en van raai 1537 is de faalkansen sterk afgenomen.



Figuur 7-7. Trend in de faalkansen van de eerste duinenrij van Schouwen voor de perioden 1965-1990 (onderste rij) en 1990-2017 (bovenste rij).

Referenties

- Alkyon, 2006, Morfodynamische ontwikkeling Voordelta; Samenvatting en analyse rustgebieden conceptplan mei 2006, Alkyon rapport A1698R3.
- Arcadis, 2013, Beheerbibliotheek Schouwen; Morfologie en ingrepen, C03041.003080
- Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., de Winter, R., & Nicolai, R., 2019. Zeespiegelmonitor 2018. De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust.
- Beekman, F., 2006. De Kop van Schouwen onder het zand, Duizend jaar duinvorming en duingebouw op een Zeeuws eiland, Matrijs Uitgeverij, ISBN 9789053453148
- Boers, M., van Geer, P.M.C. Huisman, B.J.A. & de Vroeg J.H., 2011. Morfologisch onderzoek versterking Noorderstrand; Autonoom Gedrag en Zeewaartse Versterking. Rapport Deltares 1205323-000-HYE-0005.
- Bruens, A., McCall, R., Steetzel, H., van Santen, R., 2012. Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn
- Cleveringa, J., 2008. Morphodynamics of the Delta Coast (south-west Netherlands): Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004. Alkyonrapport A1881; ook WL | Delft Hydraulics & Rijkswaterstaat RIKZ.
- De Bruin, M.P. & Wilderom, M.H., 1961. Tussen Afsluitdammen en Deltadijken, deel 1, Noord-Beveland
- de Groen, F., van Zelst, V., van der Valk, L., & Arens, B., 2019. Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer. Deltares rapport.
- Eelkema, M., Wang, Z. B., & Stive, M. J., 2012. Impact of back-barrier dams on the development of the ebb-tidal delta of the Eastern Scheldt. *Journal of Coastal Research*, 28(6), 1591-1605.
- Elias, E.P.L. & Quataert, E., 2021. Morfologische ontwikkeling Noord-Beveland en Breezand. Deltares rapport 11206794-001-ZKS-0002.
- Elias, E., Roelvink, F., Schrijvershof, R. & Pearson, S., 2021. Morfologische analyse effecten doorlaat Brouwersdam. Deltares rapport 11206580-004 -ZKS-0001.
- Elias, E.P.L. & van der Spek., 2015. Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1964-2013. Report 1207724-001, Deltares, Delft.
- Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F. & Lazar, M., 2016. The 'Voordelta', the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965–2013; impacts of large-scale engineering, *Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw* <https://doi.org/10.1017/njg.2016.37>
- Gemeente Schouwen-Duiveland, 2019. Uitvoeringsprogramma Strand 2019.
- Gemeente Schouwen-Duiveland, 2021. Uitvoeringsprogramma Agenda Toerisme 2018-2026.
- Giardino, A., den Heijer, K. & Santinelli, G., 2014. Ontwikkeling van de Zuidwestelijke Delta, Samenvatting van het rapport 'The state of the coast; case study: The South-Westerly Delta', Deltares (2 p.)

Haring, J., 1978. De geschiedenis van de ontwikkeling van de waterbeweging en van het profiel van de getijwateren en zeegaten van het zuidelijk deltabekken en van het hierbij aansluitende gebied voor de kust gedurende de perioden 1872–1933–1952– 1968–1974. Report K77M031E, Rijkswaterstaat, Deltadienst (The Hague): 41 pp.

Hijma, M., 2017. Geology of the Dutch coast, The effect of lithological variation on coastal morphodynamics. Deltares, 1220040-007.

Hijma, M., 2021. Bodemdalingsmonitor 2021 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Actualisatie bodemdalingsvolumes, Deltares report 11206794-003-ZKS-0002.

Hijma, M., & Kooi, H., 2018a. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens. Technical Report Deltares.

Hijma, M., & Kooi, H., 2018b. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2)-Een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden. Deltares report 11202190-001-ZKS-0001_v1. 0pp.

Hijma, M., & van Onselen, E., 2019. Bodemdalingsmonitor 2019 Kustfundament en getijdenbekkens. Deltares report 11203683-002-ZKS-0017.

Hijma, M., Van Onselen, E., 2020. Bodemdalingsmonitor 2020 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Vergelijk met GNSS-data, Deltares report 11205236-002-ZKS-0004. Hijma, M.P., Van Onselen, E., 2020. Bodemdalingsmonitor 2020 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Vergelijk met GNSS-data, Deltares report 11205236-002-ZKS-0004.

HKV, 2017. Faalkensendatabase duinen. Update voor de periode 1965-2017. HKV rapport PR2063.70. Vincent Vuik en Guy Dupuits, december 2017

IJff, S. D., Smits, B., van Zelst, V., & Arens, B., 2019. Natuurlijk Veilig - Landschapvormende processen. Deltares rapport.

Kevelam, D. & H. Postma. 1988. Morfologische studie Krabbengat; deel I Prognoses. Rapport Zanen Verstoep nv.

Lazar, M. Elias, E. & van der Spek, A., 2017. Coastal Maintenance and Management of the "Voordelta", the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands, Coastal Dynamics, Paper no. 206

Ligtendag, W.A. 1990. Van IJzer tot Jade; Een reconstructie van de zuidelijke Noordzeekust in de jaren 1600 en 1750.

LNV, 2006. Gebiedsdocument Natura 2000 gebied 116-Kop van Schouwen.

Löffler, M., & van der Togt, R., 2018. Dynamiek in de kustzone. Doelen en achtergronden op grond van bezoeken aan de regio's. Rapport in opdracht van RWS, WVL.

Louters, T. & Van den Berg, J.H., 1998. Geomorphological changes of the Oosterschelde tidal system during and after implementation of the Delta Project. Journal of Coastal Research 14: 1134–1151.

Mastbergen, E., Kuijper, K., Nederhoff, K., van der Valk, B. & Maarse, M., 2017. Beheerbibliotheek Schouwen. Report 11200538-002 (in Dutch). Deltares. Delft: 140 pp.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012 Basiskustlijn 2012. Herziening Basiskustlijn.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016. Natura 2000 Voordelta. Beheerplan 2015-2021.

- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018. Basiskustlijn 2017 Herziening van de ligging van de basiskustlijn. 29 pp.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990. Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijn zorg. (de 1e kustnota).
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995. Kustbalans 1995; De tweede kustnota.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003. Basiskustlijn 2001 Evaluatie ligging Basiskustlijn. 92 pp.
- Mulder, J. P. M., 2000. Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel: Advies voor dynamisch handhaven in de 21e eeuw. rapport RIKZ/2000.36.
- Prins, T., van der Meer, J., Herman, P., et al., 2020. Eindrapportage monitoring- en onderzoeksprogramma Natuurcompensatie Voordelta (PMR-NCV). <https://doi.org/10.18174/524298>
- Projectgroep Kop van Schouwen, 2019. 4e Monitoringsrapportage projecten "Slimmer omgaan met zand op Schouwen" en "Herstel duindynamiek Kop van Schouwen" (pp. 1–19).
- Provincie Zeeland, 2017. Gebiedsanalyse Kop van Schouwen. 128 pp. Gebiedsanalyse Kop van Schouwen (natura2000.nl)
- Provincie Zeeland, 2015. Informatieblad Innovatief kustbeheer: Slim omgaan met zand op Schouwen-Duiveland.
- Roelse, P. 1984. Ervaringen met paalschermen in Zeeland, Kust en zee, pp 24-35.
- Terwindt, J.H.J., 1973. Sand movement in the in- and offshore tidal area of the SW part of the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, 52(2): 69–77.
- Van Baaren, E. & Harezlak, V., 2011. Zoetwatervoorziening Schouwen-Duiveland. Report 1202272-006-BGS-0003. Deltares. Delft: 75 pp.
- Van den Berg, J.H., 1984. Morphological changes of the ebb-tidal delta of the Eastern Scheldt during recent decades. *Geologie en Mijnbouw* 63(4): 363–375.
- Van den Berg, J.H., 1986. Aspects of sediment- and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (The Netherlands), PhD-Thesis Utrecht University 126 p.
- Van der Spek, A.J.F., 1987. Inventariserend morfologisch onderzoek VOORDELTA. Beschrijving van de ontwikkeling van de buitendelta van Haringvliet en Grevelingen. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Nota GWAO-87.105.
- Van der Spek, A.J.F., 1997. De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, rapport NITG 97-284-B.
- Van der Valk, L., 2013. Voorhoedeproject: Slimmer omgaan met zand op Schouwen. De effecten van het niet uitvoeren van de verwachte suppletie in 2016 tussen de raaien 1248-1425 (Schouwen) op de morfologie, hydrologie, natuur en recreatie. Deltares, 1208510
- VenW, 2008. Beheerplan Voordelta. Spelregels voor natuurbescherming. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Verhagen, H.J. & H. van Rossum, 1989. Kustverdediging na 1990; technisch rapport 12; Strandhoofden en paalrijen, Rijkswaterstaat

Vermaas, T. & Elias, E.P.L., 2014. Evaluatie verlegging Krabbengat 1987/1991/1996. Deltares rapport 1209381-008-ZKS-0005, 15 augustus 2014, definitief.

Vermaas, T., Elias, E.P.L., & Van der Spek, A.D., 2015. Relocating Krabbengat channel; a tale of two developments. In The Proceedings of the Coastal Sediments 2015.

Vos, P.C., 2015. Origin of the Dutch coastal landscape. Long-term landscape evolution of the Netherlands during the Holocene, described and visualized in national, regional and local palaeogeographical map series. Barkhuis, Groningen, 359 pp

Vos, P.C. & van Heeringen, R.M., 1997. Holocene geology and occupation history of the province of Zeeland, in: Fischer, M.M. (Ed.) Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands). Mededelingen. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, 59: pp. 5-109.

Vroon, J., 1994. Hydrodynamic characteristics of the Oosterschelde/Eastern Scheldt in recent decades. Hydrobiologia 282/283, 17-27.

Wilderom, M.H. 1964. Tussen Afsluitdammen en Deltadijken, deel 2, Noord-Zeeland (Schouwen-Duiveland, Tholen, St-Philipsland)

Zandbergen, S., 2020. Morfologische ontwikkeling Kop van Schouwen Analyse van 5 jaar monitoring. Shore Monitoring & Research.

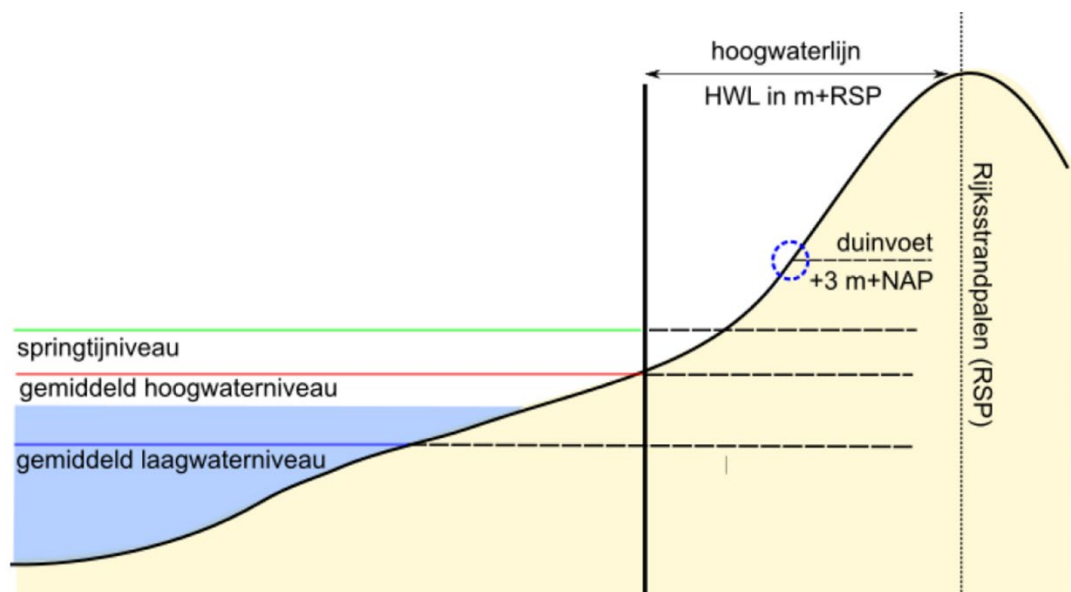
A Kustindicatoren: berekenmethode

A.1 Gemiddeld hoog- en laagwater

Het gemiddeld hoogwater niveau (GHW) is het verticale niveau ten opzichte van NAP (rode lijn in Figuur A-1 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de duinvoet). De doorkruising van GHW met het JARKUS-profiel geeft dan de horizontale positie ten opzichte van RSP, de hoogwaterlijn (HWL). Dezelfde methode wordt gebruikt voor het gemiddeld laagwater niveau (GLW, blauwe lijn in Figuur A-1 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de duinvoet) en de laagwaterlijn (LWL).

Het gemiddeld hoog- en laagwater niveau (GHW en GLW) zijn berekend op basis van het astronomisch getij van het jaar 2018, en is gebaseerd op de harmonische componenten vanuit TPXO 8.0 (Egbert en Erofeeva, 2002⁴). TPXO is een wereldwijd model van de getijbewegingen gebaseerd op de TOPEX/Poseidon en JOSEN satelliet data en bevat de 13 harmonische componenten: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MF, MM, M4, MS4, MN4.

Van het getij-sigitaal wordt het gemiddelde van alle maxima (alle hoogwater-niveaus) en minima (alle laagwater-niveaus) bepaald, dit geeft dan het GHW en GLW. De GHW en GLW is dus bepaald inclusief het springtij. Het GHW en GLW dat nu op de server staat, wordt momenteel niet jaarlijks geüpdatet. Dit is voornamelijk omdat het GHW en GLW op jaarlijkse basis nauwelijks zullen variëren. Ook is het voor de bepaling van de overige kustindicatoren vaak beter om een vast referentiepunt te hebben, zodat het effect van veranderingen in het JARKUS-profiel op de indicatoren niet wordt beïnvloed door variaties in GHW en GLW.

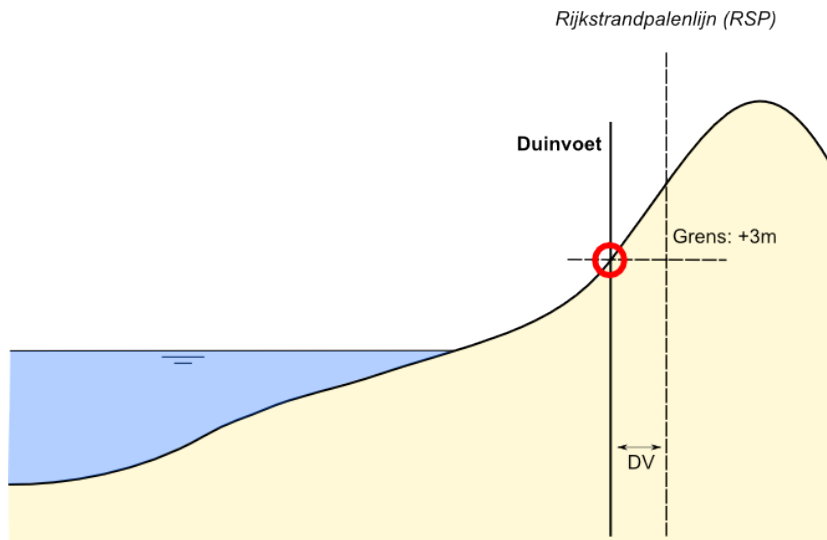


Figuur A-1 - Rekenmethodiek voor de bepaling van gemiddeld hoogwater niveau (GHW), gemiddeld laagwater niveau (GLW), hoogwaterlijn (HWL) en laagwaterlijn (LWL).

⁴ Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 183–204. [http://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2)

A.2 Duinvoet

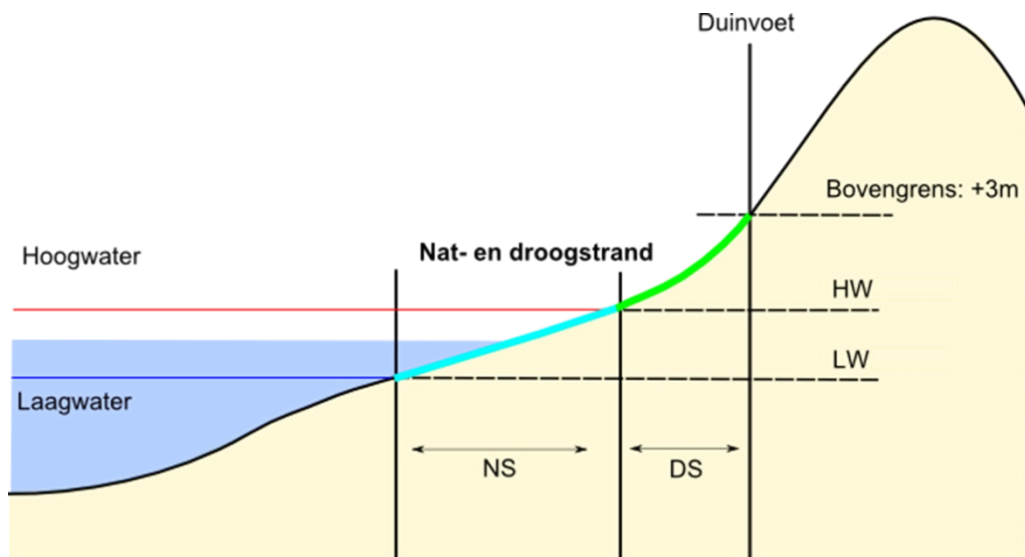
De duinvoet (DV in Figuur A-1) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten opzichte van RSP. Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van strand naar duinen (i.e. knikpunt in het profiel).



Figuur A-2 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de duinvoet

A.3 Strandbreedte

De strandbreedte is geen indicator in het beleid van Rijkswaterstaat, maar wel van belang voor bijvoorbeeld recreatie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het natte strand en het droge strand. Het natte strand is de horizontale afstand tussen het snijpunt van het strandprofiel met de laagwaterlijn (LW) en hoogwaterlijn (HW). Het droog strand is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de hoogwaterlijn (HW) en de duinvoet (+3m). Deze definities zijn weergegeven in Figuur A-2.



Figuur A-3 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de strandbreedte, natte strandbreedte (NS) in blauw en droge strandbreedte (DS) in groen.

A.4 Faalkans van de eerste duinenrij

De officiële wettelijke toetsing van de duinen als primaire waterkering, Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI), is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende belastingcondities. De belasting bestaat uit een combinatie van een extreem hoge waterstand en bijbehorende golfcondities. Elk jaar wordt voor enkele duizenden locaties langs de Nederlandse kust een dwarsprofiel gemeten. Deze jaarlijkse kustmetingen (JARKUS metingen) bestrijken zowel het droge deel (strand en duin) als het natte deel (vooroever) van het profiel. Het programma DUROS+ wordt gebruikt om bij de maatgevende belastingcondities en een gegeven dwarsprofiel een maatgevende afslaglengte te berekenen. Als de berekende afslag de wettelijke grenzen niet overschrijdt, wordt de betreffende locatie goedgekeurd.

De toetsing geeft dus antwoord op de vraag of de duinen op een bepaalde locatie wel of niet aan de gestelde norm voldoen. Bij deze toetsing komt geen informatie beschikbaar over de ontwikkeling (trend) in (on)veiligheid en het effect van suppleties op deze trend. Om dit effect in beeld te kunnen brengen zijn faalkansen van de duinen berekend (HKV, 2011), per raai per jaar voor de periode 1965-2010. Deze getallen geven de kans op een duindoorbraak per jaar. De doorbraakkans kan bijvoorbeeld 1/10.000 per jaar zijn, wat inhoudt dat op die locatie gemiddeld eens per 10.000 jaar een doorbraak van de duinen te verwachten is. Op basis van deze faalkansen zijn analyses uitgevoerd van de effecten van veranderingen in suppletiebeleid door de jaren heen op de faalkansen van de duinen (HKV, 2012). In 2017 deze database geactualiseerd voor de periode tot en met 2017 (HKV, 2017).

De berekende faalkansen hebben in absolute zin geen betekenis voor de officiële faalkans van de duinwaterkering. Het ontwikkelde probabilistische duinafslagmodel heeft daarnaast geen officiële status binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI).

Voor het bepalen van de faalkansen is een probabilistische duinafslagmodel in Matlab ontwikkeld. Hierbij wordt DUROS+ gebruikt om bij een gegeven belasting en dwarsprofiel een afslaglengte te bepalen. Er is sprake van falen zodra het berekende afslagpunt (X_a of X_k in Figuur A-3) een kritiek afslagpunt overschrijdt.

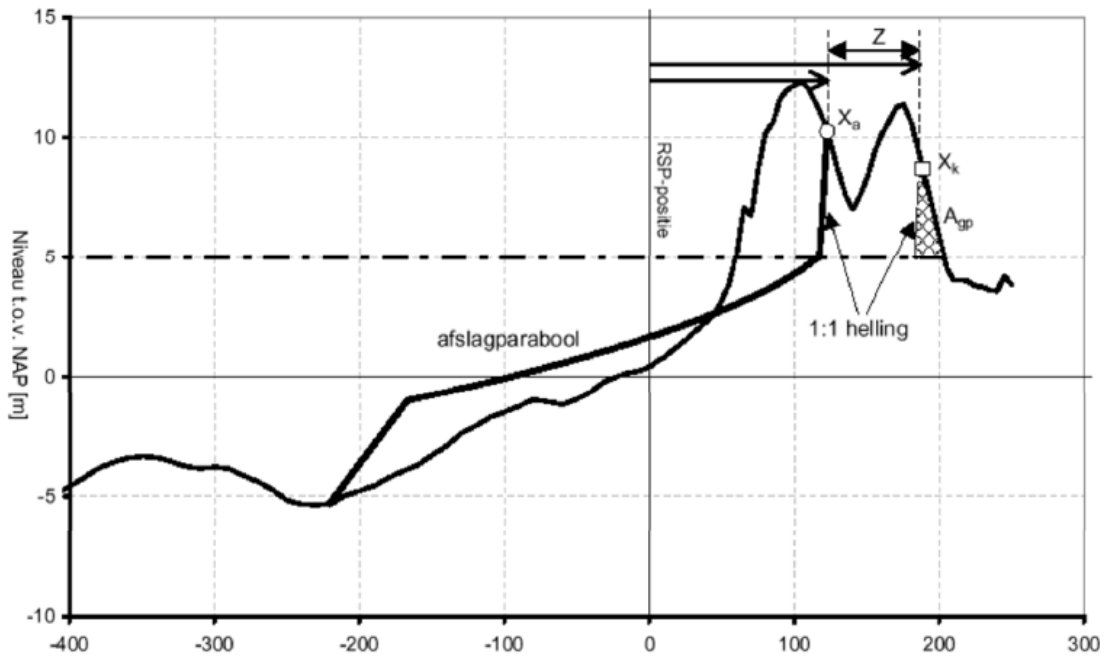
Falen kan optreden bij een zeer hoge waterstand, met een kleine kans van voorkomen. Een andere mogelijkheid is een combinatie van een iets minder hoge waterstand, met een grote waarde voor de modelfactor. Of een combinatie met een kleine waarde voor de korreldiameter. Elke combinatie die tot falen leidt, heeft een kans van voorkomen. De First Order Reliability Method, kortweg aangeduid als FORM, is een methode die bepaalt welke combinatie die tot falen leidt de grootste kans van voorkomen heeft. Deze kans van voorkomen is de faalkans. De geselecteerde combinatie staat bekend als het ontwerp punt (Engels: design point). Voor duinen is in vrijwel alle gevallen de waterstand de maatgevende parameter. Zonder hoge waterstand treedt er geen sterke golfaanval op bij het duinfront, en is de kans op duinafslag nihil. In het ontwerp punt is daarom een hoge waterstand aanwezig, in combinatie met een enigszins (maar niet extreem) conservatief gekozen waarde voor de andere parameters.

Meer gedetailleerde informatie over de berekening van faalkansen is te vinden in de volgende rapporten:

HKV (2011): [link naar rapport](#)

HKV (2012): [link naar rapport](#)

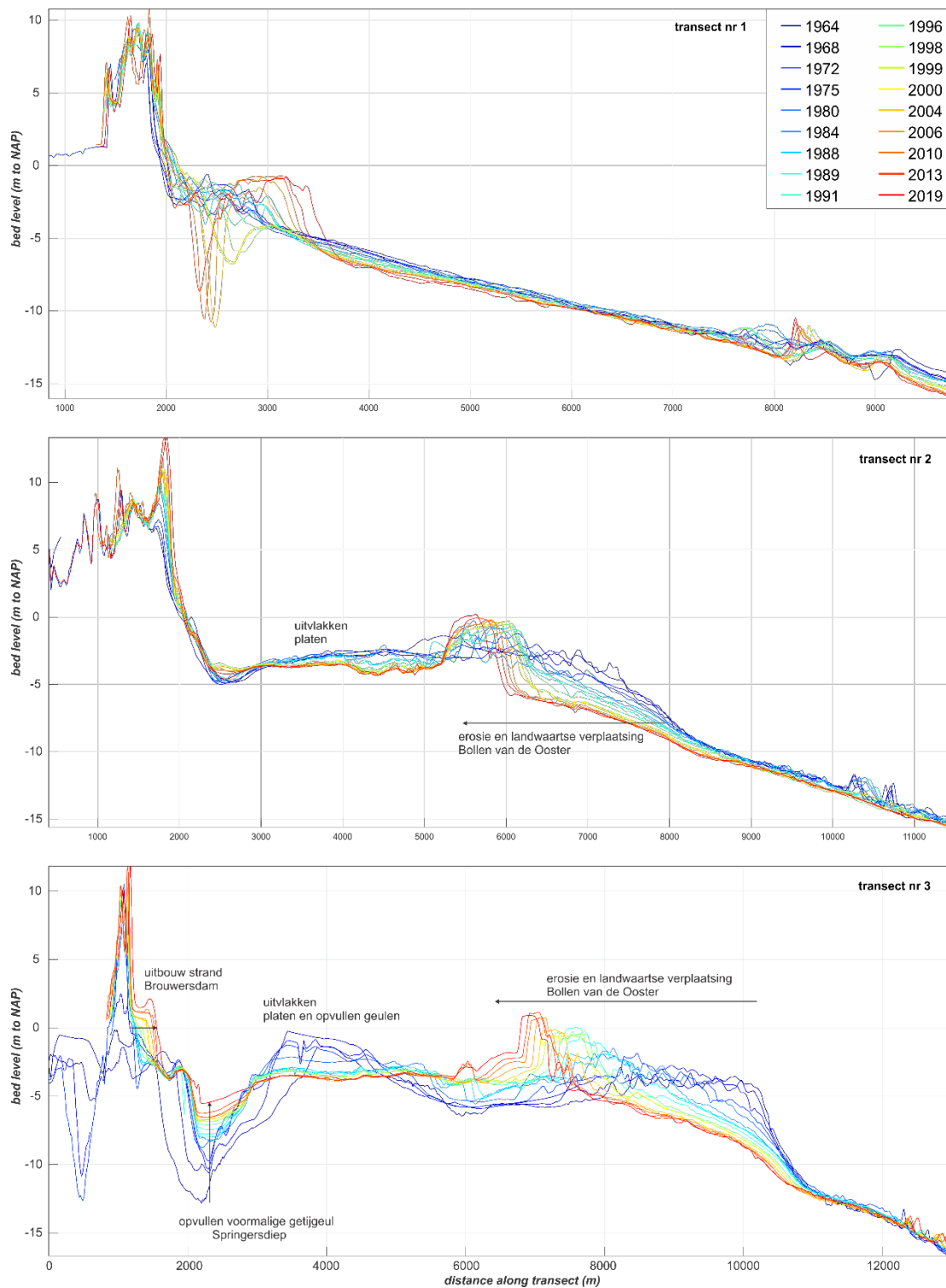
HKV (2017): [link naar rapport](#)



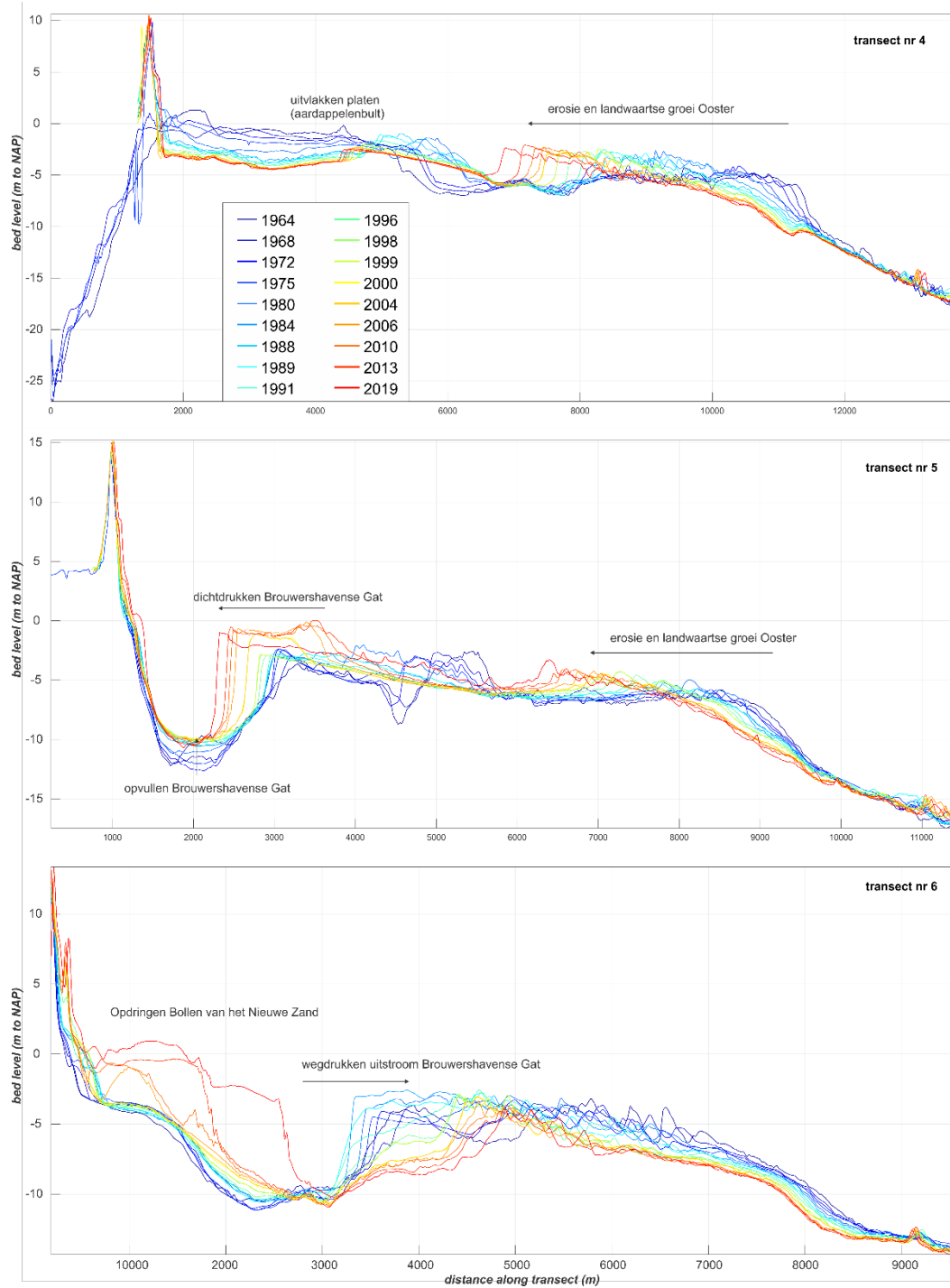
Figuur A-4 - Afslagpunt (X_a) en kritiek afslagpunt (X_k), waarbij het kritieke afslagpunt is bepaald op basis van een kritiek afslagvolume (A_{gp}). De horizontale afstand Z is gedefinieerd als $X_k - X_a$, waarbij $Z < 0$ betekent dat er sprake is van falen. Uit HKV (2017).

B Bodemdata

B.1 Ontwikkeling van de Grevelingenmondning



Figuur B.1. Overzicht van de veranderingen in bodemligging van de Grevelingenmondning over de periode 1964-2010 door middel van representatieve profielen 1-3.



Figuur B.2: Overzicht van de veranderingen in bodemligging van de Grevelingenmondig over de periode 1964-2010 door middel van representatieve profielen 4-6.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl