

Beheerbibliotheek Kust Texel

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



Beheerbibliotheek Kust Texel

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

Auteur(s)

Ellen Quataert

Albert Oost

Marc Hijma

Edwin Elias

Beheerbibliotheek Kust Texel

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



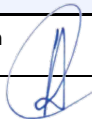
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer S.R.P. Pluis
Referenties	
Trefwoorden	Kustvak, Texel, Noorderhaaks, De Hors, Eierlandse Dam, morfologische ontwikkeling, beheer en onderhoud kust, suppleties, kustindicatoren, natuurbeleid, bodemdaling, duinen, strand, vooroever, buitendelta

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	15-12-2020
Projectnummer	11205236-001
Document ID	11205236-001-ZKS-0003
Pagina's	87
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Ellen Quataert	
	Edwin Elias	
	Albert Oost	
	Marc Hijma	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Ellen Quataert 	Marcel Taal 	Toon Segeren 	
	Edwin Elias			
	Albert Oost			
	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) in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen ertoe leiden dat de suppletiepraktijk wordt aangepast. In deze beheerbibliotheek van de kust van Texel 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 in de beheerbibliotheek is ontwikkeld in KPP-B&O Kust, maar ook in andere kustprojecten en wetenschappelijk onderzoek.

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	7
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 Texel	14
3.3	Waterveiligheidsbeleid	16
4	Gebruiksfuncties kust	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Waterveiligheid	18
4.2.1	Kustverdedigingswerken	18
4.2.1.1	Werking van de strandhoofden	19
4.2.1.2	Eierlandse Dam	21
4.2.1.3	Prins Hendrikzanddijk	21
4.2.2	Primaire waterkering	23
4.2.3	Beoordeling van de primaire waterkering	23
4.3	Strandrecreatie	25
4.4	Natuur	27
4.5	Drinkwaterwinning	29
5	Lange termijn ontwikkelingen	30
5.1	Inleiding	30
5.2	Paleografische ontwikkeling	30
5.3	Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens	36
6	Beschrijving van het morfologisch systeem	40
6.1	Samenvatting van het morfologisch gedrag en kenmerken	40
6.2	Zeegat van Texel	41
6.2.1	Algemene kenmerken	41
6.2.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling Zeegat van Texel	42

6.2.3	Morfologische ontwikkeling bij de Hors	48
6.2.4	Opdringen van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks (NUN)	53
6.3	Centrale eilandkust	58
6.4	Eierlandse Gat	60
6.4.1	Algemene kenmerken	60
6.4.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Eierlandse Gat	60
6.4.3	Morfologische ontwikkeling van de kust tussen De Slufter en het Eierlandse Gat	65
6.5	Duinen	67
6.5.1	Beheer en ontwikkeling duinen voor 1990	67
6.5.2	Beheer en ontwikkeling duinen na 1990	69
7	Kustlijnontwikkeling	72
7.1	Samenvatting	72
7.2	Zandsuppleties	73
7.3	Ontwikkeling kustindicatoren	75
7.3.1	MKL – BKL	75
7.3.2	Duinvoet	77
7.3.3	Strandbreedte	78
7.3.4	Faalkans eerste duinenrij/zeereep	78
	Referenties	80
A	Kustindicatoren: berekenmethode	83
A.1	Gemiddeld hoog- en laagwater	83
A.2	Duinvoet	83
A.3	Strandbreedte	84
B	Deelpolygoenen voor de kustzone Westelijke Waddenzee	85

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 momenteel jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand. Het ontwerp, volume en de uitvoerdatum van de suppletie worden hierbij ook gebaseerd op de kennis van het zandige kuststelsel.

In de loop der jaren zijn er vele studies afgerond en is er veel kennis over het kuststelsel 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 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) 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 vanuit onderzoek en beheer & onderhoud per kustvak. De maatregelen vinden 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?

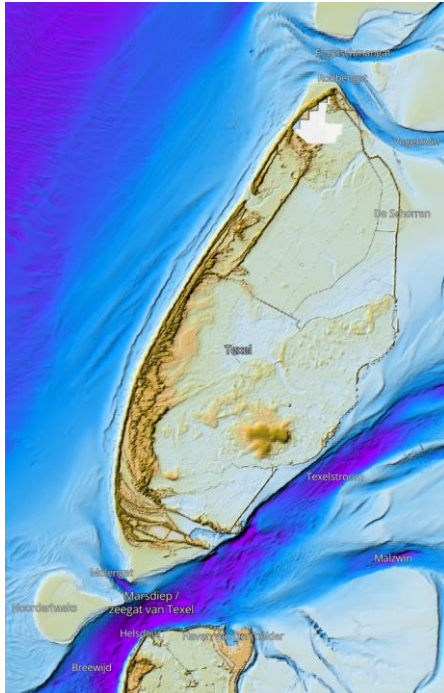
De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het betreffende kustvak en omvat een beschrijving van de morfologische systeemwerking, de kustverdediging en de primaire waterkeringen. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties, evenals van 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 Texel is een actualisatie van de eerste versie door Elias, van Oeveren en Bruens (2014). Resultaten van nieuwe studies zijn opgenomen en tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd.

1.4 Kustviewer

Aanvullend op 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. Texel is weergegeven met de vakloding data en benaming van morfologische gebieden. Bron: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>

1.5 Kustlijkaartenboek

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. Op basis van dit signaal wordt bepaald of er een ingreep, vaak een zandsuppletie, nodig is. Het kustlijkaartenboek 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 kustlijnontwikkeling wordt weergegeven. De digitale versie van het kustlijkaartenboek is te vinden op:

www.rijkswaterstaat.nl/kustonderhoud

1.6 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2) wordt een algemene gebiedsbeschrijving gegeven van Texel, waarin een korte samenvatting wordt gegeven over de inhoud van de daaropvolgende (technisch inhoudelijke) hoofdstukken. In Hoofdstuk 3 wordt de achtergrond van het kustbeleid uitgelegd. Hierin staat een beschrijving van de totstandkoming van de Basiskustlijn, landelijke herzieningen die hebben plaatsgevonden en welke regionale afspraken er vervolgens zijn gemaakt. Ook het beleid met betrekking tot de waterveiligheid met het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium voor de primaire waterkeringen is hierin opgenomen. Hoofdstuk 4 een kort overzicht gegeven van gebruiksfuncties van de kust, namelijk waterveiligheid, strandrecreatie natuur en drinkwatervoorziening. Hoofdstuk 5 start met de lange termijn ontwikkelingen bij Texel, waaronder de paleografische ontwikkeling en het onderzoek m.b.t. bodemdaling. Hoofdstuk 6 gaat in op de het morfologisch systeem van Texel, waarbij er telkens van grote schaal (Zeegat niveau) naar kleinere schaal (kust niveau) wordt gewerkt. 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 Texel.

2 Algemene gebiedsbeschrijving

Texel is het grootste Nederlandse Waddeneiland, zie Figuur 2.1. De gemiddelde lengte is 20 km en de gemiddelde breedte 8 km. De Noordzeekust van Texel heeft een lengte van 24 km en het eiland heeft een bolle vorm. Er zijn zeven dorpen op Texel; Den Burg, Den Hoorn, Oudeschild, De Koog, Oosterend, De Waal en De Cocksdorp. Texel bestaat oorspronkelijk uit twee eilanden (Texel en Eierland) die sinds de aanleg van een zanddijk in 1630 met elkaar verbonden zijn. Eierland was tot de 13e eeuw nog onderdeel van Vlieland, gescheiden van Texel door het Anegat (ongeveer ten hoogte van de huidige Slufter). Met het ontstaan van het Eierlandse Gat aan het eind van de dertiende eeuw raakte Eierland gescheiden van Vlieland. Het Anegat slibde dicht en rond 1630 werd de Zanddijk voltooid en de eilanden met elkaar verbonden. De kweldervlakte tussen de twee eilanden werd vervolgens in 1835 ingepolderd, gevolgd door de strandvlakte, met beperkt succes, vanaf 1855. Deze inpoldering heeft het eiland de huidige vorm gegeven. Het landschap is divers, van zandstranden en duinen met heide en bos langs de Noordzeekust via polders met akkers en graslanden, met de Hooge Berg met kleinschalige percelen tot kwelders aan de kant van de Waddenzee. Aan de noordwestzijde van het eiland ligt de Slufter. Dit is een 'natuurlijke' opening in de duinen met erachter een getijgebied met geulen en kreken, in verbinding met de Noordzee.

De waterbeweging langs de kust wordt door zowel golven als getij bepaald. De gemiddelde golfhoogte is 1,44 m met een gemiddelde periode van 3 tot 5 s. De hoogste golven komen uit het zuidwesten en noorden. Tijdens stormen kunnen golfhoogtes optreden van 4,5-8,1 m, met een periode van 9 s. Het getij is dubbeldaags met een doortij getijslag van 1,0 m en een springtijd getijslag van 2,0 m (Elias en Van der Spek, 2017).

De morfologie van de kustzone wordt beïnvloed door de zeegaten het Eierlandse Gat in het noorden en Zeegat van Texel in het zuiden, zie Figuur 2.1.

- In het zuiden is de zandplaat 'Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks' het meest invloedrijk. Dit is de noordzijde van de buitendelta van het Zeegat van Texel. De Hors, de zuidelijke punt van Texel, het Molengat en Noorderhaaks vormden samen lange tijd een stabiel systeem. Sinds 2006 zijn er echter sterke veranderingen.
- In het noorden bij het Eierlandse Gat is de kust stabiel, door de aanleg van de Eierlandse Dam bij het noordwestelijke punt van Texel (in 1995), de bolwerken Eierland (1948) en Robbengat (1956).
- De centrale eilandkust heeft een morfologische systeem met een enkele brekerbank en kent structurele erosie. Om dit tegen te gaan zijn er tussen 1959 en 1987 strandhoofden aangelegd aan de zuidwestkust en wordt er sinds 1979 regelmatig zand gesuppleerd.

Texel kent drie Natura 2000-gebieden: Duinen en Lage Land Texel, de Noordzeekustzone (waarin voor Texel zijn opgenomen de Noordzeestranden en het westelijke deel van De Hors) en de Waddenzee (waarin voor Texel zijn opgenomen het merendeel van De Hors, Mokbaai en De Schorren). De primaire waterkering bestaat uit een 28 km duin aan de Noordzee zijde en 26 km dijk aan de Waddenzeezijde (Figuur 2.1, rechts), en is in beheer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Een recente ingreep is de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk (2018-2019), een 3 kilometer lange zanddijk aan de zijde van de Waddenzee, in het Zuidoostelijk deel van Texel.

Het beheer van de kustzone van Texel wordt verzorgd door drie overheidsorganisaties. Rijkswaterstaat beheert de zandige waterkering voert het kustbeheer uit. Staatsbosbeheer

richt zich op de natuur- en landschapswaarden en op het recreatief gebruik. De primaire waterkering langs de Waddenzee is in beheer bij Wetterskip Fryslân.



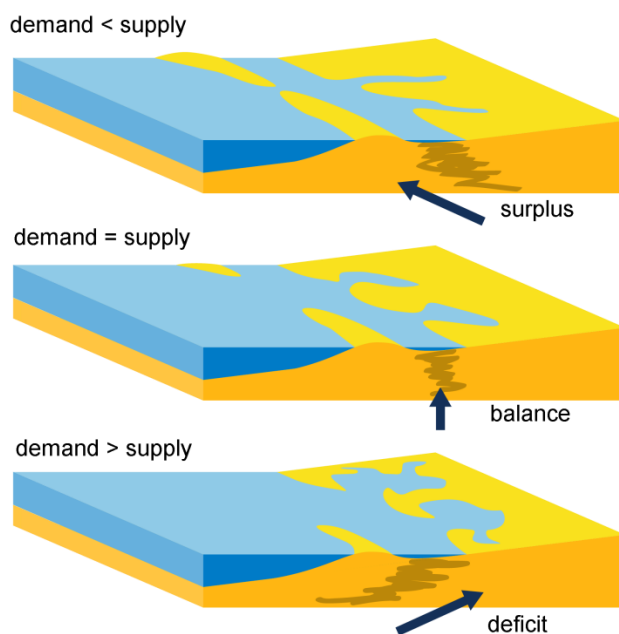
Figuur 2.1 – Overzicht van het kustvak van Texel: belangrijkste namen en kustverdedigingswerken

3 Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid

Sinds 1990 wordt de Nederlandse kust dynamisch gehandhaafd middels zandsuppleties. In paragraaf 3.1 wordt een toelichting gegeven over de achtergrond van dit kustbeleid. In paragraaf 3.2 wordt de ligging en beheerpraktijk toegelicht van de Basiskustlijn voor het kustvak Texel. In paragraaf 3.3 wordt het beleid met betrekking tot waterveiligheid en boordeling van de primaire waterkering beschreven.

3.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

Kusterosie - Hoewel er op kleine tijd- en ruimteschaal sprake is van afwisseling tussen kustopbouw en kustafbraak, vertoont de Nederlandse kust gemiddeld genomen al duizenden jaren een eroderende trend. Dit wordt veroorzaakt doordat er sprake is van 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.

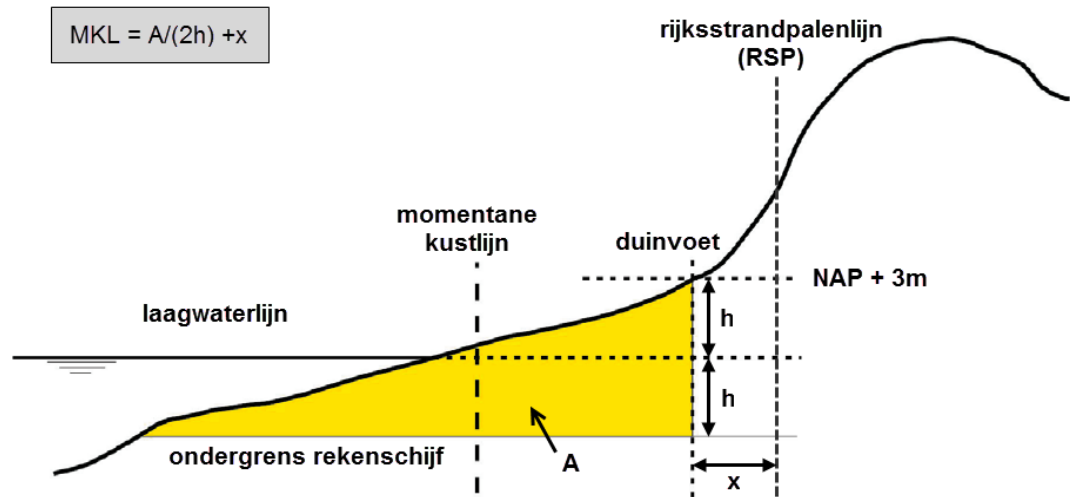
Basiskustlijn (BKL) - Om te bepalen waar het zand langs de kust gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL, als referentie gedefinieerd. Het doel van de BKL is het signaleren van structurele erosie. De BKL vertegenwoordigt een zandvolume dat (kustdwars)

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 in 1990 is gebaseerd op basis van de trend in de kustlijnliggingen tussen 1980 en 1989 (Figuur 3.3, boven). Elk jaar wordt beoordeeld waar de kustlijn zich ten opzichte van deze Basiskustlijn bevindt. Als de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies met suppleties aangevuld. Het benodigde jaarlijkse suppletievolume om de Basiskustlijn te handhaven werd in 1990 vastgesteld op 6 miljoen kubieke meter zand.

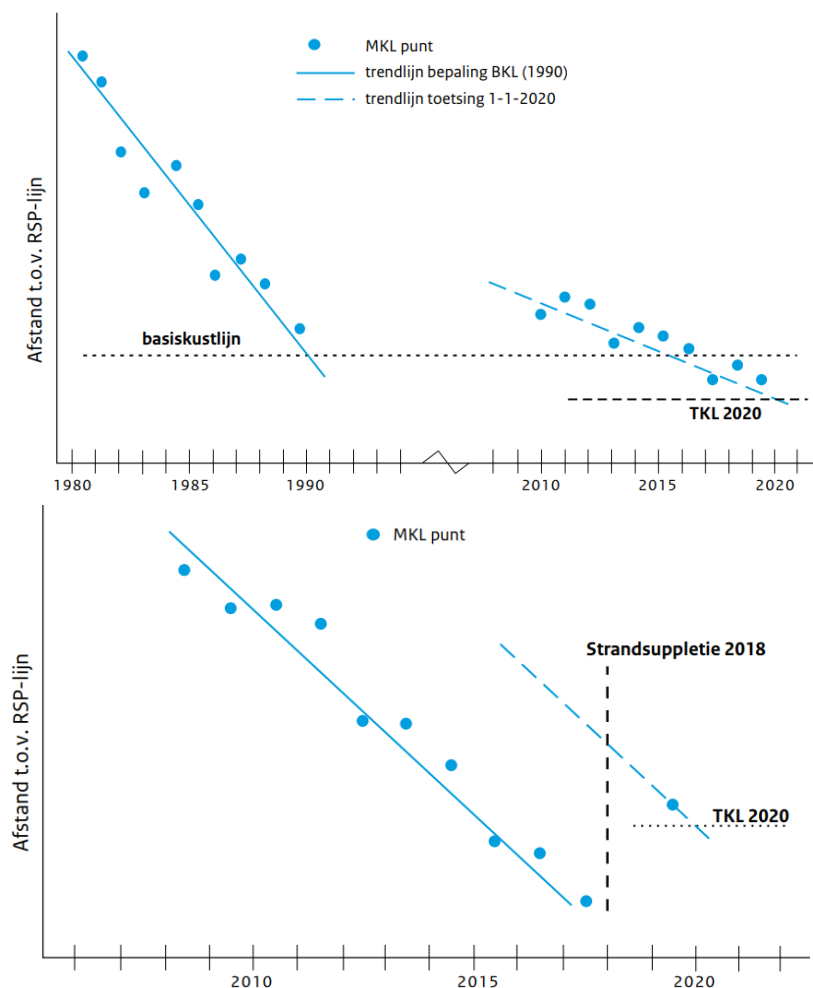
Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone rondom de Basiskustlijn, maar ook in dieper water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000; Mulder, 2000). Het structurele zandverlies 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 actieve zandvolume in dit hele kustfundament moet meegroeien 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 Basiskustlijn 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 sinds 1990 herzien in 2001, 2012 en 2017 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003), (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012), (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2018). In de nieuwe Waterwet en het Nationaal Waterplan is, net als in de voorgaande Wet op de Waterkering, de noodzaak voor een terugkerende herziening van de Basiskustlijn vastgelegd.

Momentane Kustlijn (MKL) en Toekomstige Kustlijn (TKL) - Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (i.e. JARKUS: JAaRlijkse KUSTmeting). 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 NAP + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater (h)). Vervolgens wordt de Momentane Kustlijn bepaald door het oppervlak te delen door de hoogte van de rekenschijf (2h). Om de Momentane Kustlijn uit te drukken in meters ten opzichte van Rijksstrandpalenlijn (RSP), moet hier de horizontale afstand van de duinvoet tot RSP (x) nog bij worden opgeteld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).



Figuur 3.3 - De Basiskustlijn (BKL) en de jaarlijkse Toekomstige KustLijn (TKL) worden afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) uit de voorgaande jaren, inclusief voorbeeld bepaling TKL2020 1 jaar na een strandsuppletie. (Kustlijkaartenboek 2020).

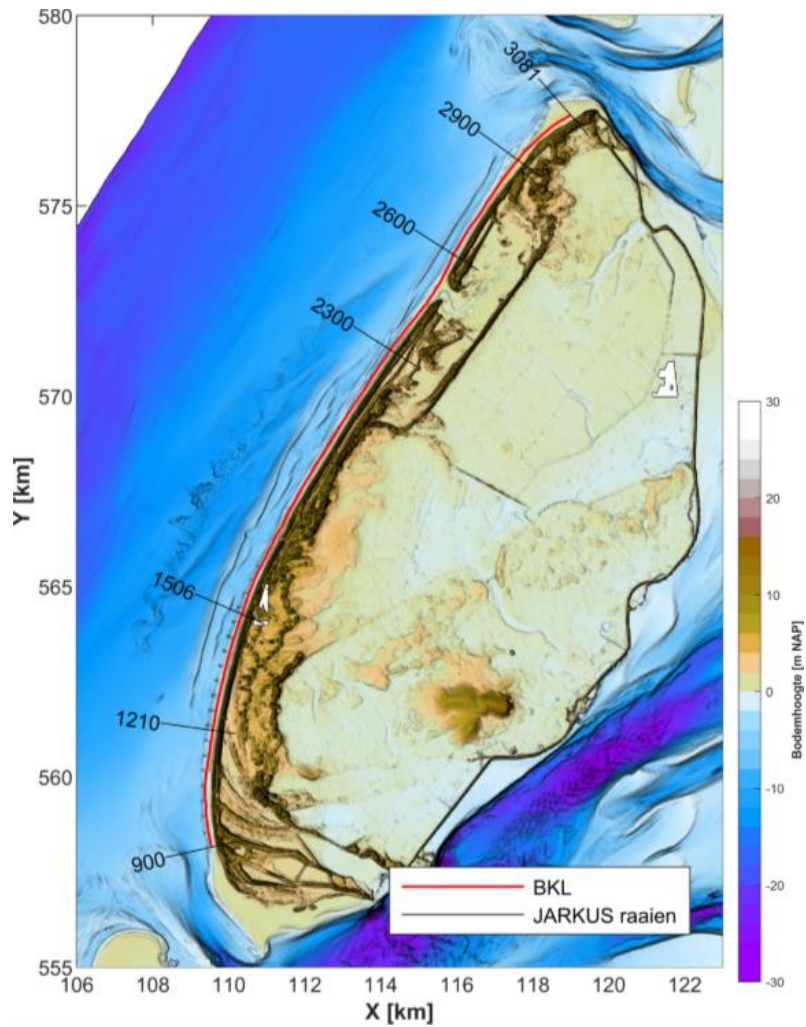
3.2 Basiskustlijn voor Texel

De ligging van de huidige Basiskustlijn voor Texel is weergegeven in Figuur 3.4, samen met de positie van enkele JARKUS raaien. De vigerende en oude BKL-liggingen zijn ook te zien in de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). De BKL voor Texel is in 1993 vastgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993). Na de vaststelling van de BKL in 1990 is deze 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).

Er zijn op Texel drie locaties waarvoor de ligging van de BKL ter discussie staat, omdat de BKL mogelijk niet zou aansluiten bij de natuurlijke ligging van de kustlijn, of waar gezien de aanwezige (gebruiks)functies ook geen wens is tot handhaving van de huidige BKL. Dit is voor de drie herzieningen in 2001, 2012, en 2017 onderzocht. Het gaat om de volgende drie locaties:

- *Noordwest-Texel (raai 2740 – 2971)*
Deze locatie is aangewezen omdat er een nieuwe situatie ontstond door aanleg van de Eierlandse Dam in 1995. Wegens de onzekerheid van de nieuwe evenwichtsligging van de kustlijn, is de BKL tot op heden nog niet herzien.
- *Slufter op Texel (raai 2340 – 2580)*
De Slufter is een belangrijk natuurgebied, dat bestaat uit een brede duinvallei die via een opening in de duinen in verbinding staat met de zee. De kust die aan de Slufter grenst is erosief en er wordt regelmatig zand gesuppleerd om overschrijdingen van de BKL te voorkomen. Ook ter hoogte van de Slufter, tussen raai 2400-2580, werd de BKL regelmatig overschreden. Er wordt hier echter in principe geen zand gesuppleerd om te voorkomen dat de monding van de Slufter versneld verzandt. Ook uit natuuroverwegingen is het hier gewenst zoveel mogelijk ruimte te geven aan natuurlijke processen en zo min mogelijk zand te suppleren. De BKL is hier in 2018 landwaarts verlegd (Figuur 3.5), waardoor de BKL weer een duidelijke signaalfunctie krijgt. Dit zal geen negatieve effecten hebben voor de veiligheid, want er is ruim voldoende zand aanwezig en zelfs zonder het voorliggend duin is de achterliggende dijk sterk genoeg.
- *Zuidwest-Texel (raai 900 – 1093)*
Op deze raaien trekt de kust sterk achteruit door structurele erosie en het landwaarts verschuiven van Molengat. Als gevolg hiervan wordt om de 3-4 jaar gesuppleerd om de kustlijn te onderhouden. De BKL kan herzien worden naar een stabiele en handhaafbare positie waarbij rekening wordt gehouden met morfodynamiek, aanwezige strandhoofden en natuurwaarden van de achterliggende natte duinvallei. De BKL is tot op heden nog niet herzien, omdat een landwaartse BKL-verplaatsing verlies van duinareaal en duinovergangen betekent. Een aanpassing van de BKL is, afhankelijk van de aanpassingskosten van de strandhoofden, nog wel mogelijk, maar vraagt een integrale gebiedsaanpak.

Resumerend: alleen voor de locatie Slufter is in 2017 de BKL herzien.



Figuur 3.4 - De positie van de basiskustlijn (BKL, rode lijn) voor Texel en enkele JARKUS raaien (zwarte lijnen en raainummers). De bodem is representatief voor 2018 vaklodings en aangevuld met het AHN 2017 hoogte bestand op het eiland.



Figuur 3.5 - Overzicht van raaien met herziening van de BKL bij de Slufter (ter hoogte van de gele lijn). (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018)

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 voor de primaire waterkeringen van kracht, het WBI², voorheen 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 en is sinds 2017 vigerend. Deze eerste ronde 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 belastingendatabase. 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 sluizen of kademuuren) en
- 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. 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 Texelse waterkering is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3

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

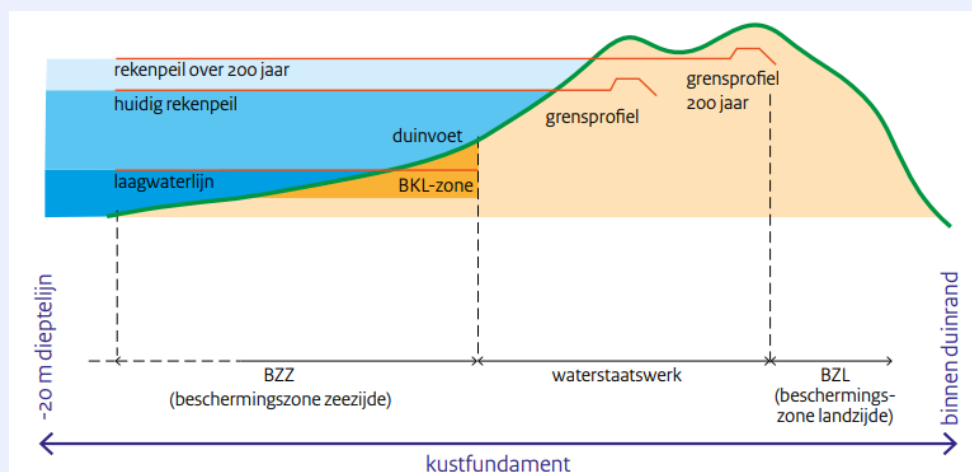
² <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/>

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 kust

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 Texel plaats sinds 1979. In dit hoofdstuk wordt een overzicht en korte beschrijving gegeven van de waterkeringen (paragraaf 4.2) en de gebruiksfuncties strandrecreatie (paragraaf 4.3), natuur (paragraaf 4.4) en drinkwater (paragraaf 4.5) voor de kust van Texel.

4.2 Waterveiligheid

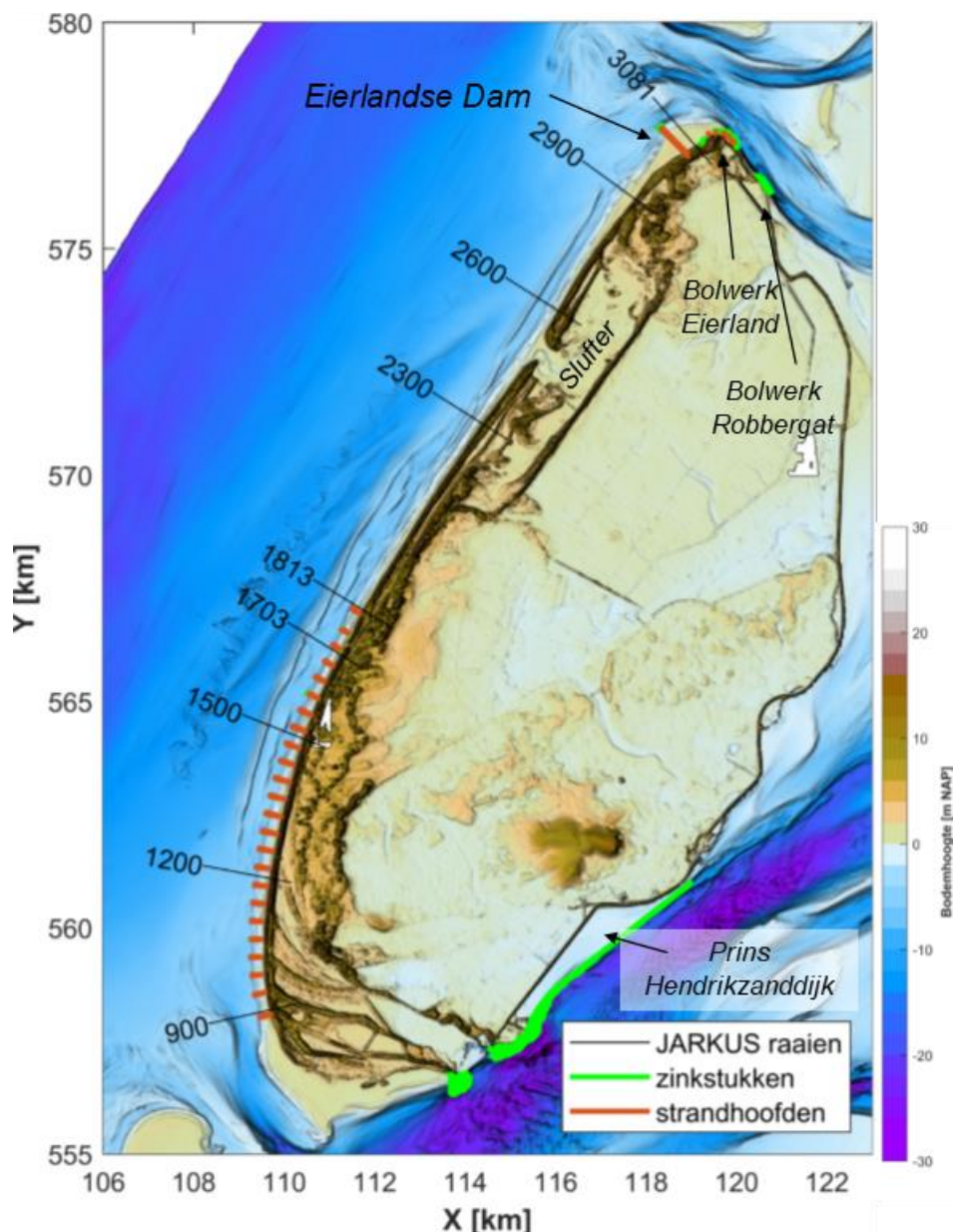
4.2.1 Kustverdedigingswerken

Vrijwel de gehele Noordzeekust van Texel is aan erosie onderhevig. Met de aanleg van strandhoofden (1959-1987) aan de zuidwestkust, en de Bolwerken Eierland (1948) en Robbengat (1956) en de Eierlandse Dam (1995) is getracht deze erosie terug te dringen (Figuur 4.1). Strandhoofden en de Eierlandse dam vallen onder beheer van Rijkswaterstaat, maar het onderhoud wordt uitgevoerd door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Tussen 1959 en 1987 zijn er aan de zuidwestzijde van Texel 24 strandhoofden aangelegd van raaien 900 tot 1800. In 1959-1960 werden strandhoofden aangelegd over een gebied van 2 km rond raai 1500. Daarna werd het veld strandhoofden 2 km in noordelijke en 4 km in zuidelijke richting uitgebreid. Zowel Rakhorst (1984) als Verhagen en Van Rossum (1990) geven aan dat de strandhoofden de kustachteruitgang (sterk) hebben verminderd, maar de kustachteruitgang is niet gestopt. Verhagen en Van Rossum geven aan dat in raaien 1000-1200 en 1500 de erosie met meer dan 50% is gereduceerd, terwijl in raaien 1300, 1400, 1600 en 1700 het effect nagenoeg nihil was. Rakhorst (1984) geeft aan dat de kustachteruitgang sinds de aanleg in 1959 niet constant is vanwege de wijze waarop de strandhoofden zijn aangelegd. De kop van de strandhoofden ligt op de laagwaterlijn, van waaruit een verbindingsdam doorloopt tot de duinvoet. Met het terugtrekken van de duinvoet is de verbindingsdam steeds verlengd, waardoor de strandhoofden in de tijd dus steeds langer en steeds effectiever zijn geworden. In paragraaf 4.2.1.1. worden de belangrijkste inzichten van de werking van de strandhoofden uit Rankhorst (1984) gegeven.

In 1990 is gekozen voor het dynamisch handhaven van de kustlijn via, vrijwel uitsluitend, zandsuppleties. Door de aanwezige strandhoofden en de frequent terugkerende zandsuppleties wordt de kustlijn van Texel gehandhaafd. Alleen aan de noordwestzijde is afgeweken van dynamisch handhaven, met het aanleggen van de Eierlandse Dam op de kop van Texel (Eierland). In het verleden zijn op diverse plaatsen harde zeeweringen (bolwerken) aangelegd en sinds 1979 wordt er langs de westkust van Eierland (Noordelijk deel van Texel) regelmatig zand gesuppleerd. Tussen 1979 en 1996 werd op de noordpunt (tussen raaien 2500 en 3100) in totaal bijna 11 miljoen m³ zand aangebracht. Om de lokale behoefte aan zandsuppleties te verminderen is daarom in 1995 de Eierlandse Dam aangelegd, een 800 m lange stenen strekdam loodrecht op de kust. In paragraaf 4.2.1.2. wordt een meer gedetailleerde beschrijving van de Eierlandse Dam gegeven.

Een recentere ingreep is de aanleg van de Prins Hendrikzanddijk (2018-2019) in het Zuidoostelijk deel van Texel, zie paragraaf 4.2.1.3.



Figuur 4.1 – Overzicht harde kustverdedigingswerken bij Texel

4.2.1.1 Werking van de strandhoofden

Hieronder volgen de belangrijkste inzichten over de werking van de strandhoofden bij Texel uit Rakhorst (1984). Kustachteruitgang wordt veroorzaakt door stroming en golven. De stroming is te splitsen in een langsstroming (evenwijdig aan de kust) en dwarsstroming (loodrecht op de kust). De langsstroming wordt veroorzaakt door getij en wind, maar in de brandingszone zijn vooral golven de belangrijkste aandrijving. De getijstroming langs de Nederlandse kust heeft een maximum snelheid van 0,5 tot 0,8 m/s onder normale omstandigheden, en onder invloed van wind kan deze langsstroming versterkt worden tot 1,2 tot 2,0 m/s. De golfgedreven langsstroming wordt veroorzaakt door het breken van schief invallende golven. In de brandingszone worden hierdoor stroomsnelheden opgewekt van maximaal 1,5 – 2,0 m/s. Deze stromingen langs de kust veroorzaken een langstransport. Als de grootte van dit transport langs de kust toeneemt (positieve gradiënt), kan dit tot kusterosie leiden. Andersom kan een negatieve gradiënt (afname van het transport) tot sedimentatie leiden.

Kustachteruitgang kan echter ook veroorzaakt worden door het *dwarstransport*. Dit dwarstransport wordt veroorzaakt door een zeewaarts gerichte stromingscomponent langs de bodem in de brandingszone. Dit zorgt er voor dat zand zeewaarts tot buiten de brekerzone wordt getransporteerd. Of dit zand vervolgens afgevoerd kan worden, hangt af van het langstransport. Bij een positieve gradiënt in het langstransport (transportcapaciteit neemt toe) zal dit zand met het langstransport worden afgevoerd en treedt er dus zandverlies op. Bij een negatieve gradiënt in het langstransport (capaciteit neemt af) kan het zand niet worden afgevoerd, en zal in rustigere perioden weer richting kust worden getransporteerd.

Strandhoofden hebben voornamelijk effect op het langstransport in de effectieve zone van de strandhoofden. Strandhoofden blokkeren (deels) dit langstransport. Maar de effectiviteit van de strandhoofden hangt niet alleen af van de mate waarin zij de capaciteit van het langstransport in de effectieve zone beïnvloeden. De strandhoofden zullen namelijk geen of weinig effect hebben als er dwarstransport optreedt en als er buiten de brandingszone voldoende capaciteit is in het langstransport om dit zand af te voeren.

Voor Texel is berekend wat het effect van de strandhoofden is van 1850 tot 1982. Zonder strandhoofden vindt tussen km 12 en 16 tot maximaal 1000 m uit de kust erosie plaats van 530.000 m³/jaar. De sedimentatie buiten de brandingszone bedraagt dan 120.000 m³/jaar. De aanwezigheid van strandhoofden beïnvloedt met name het golfgedreven transport in de brandingszone, zodat er nog maar 245.000 m³/jaar erosie optreedt tussen km 12 en 16. De sedimentatie buiten de brandingszone is berekend op 90.000 m³/jaar. Deze sedimentatie geeft aan dat er buiten de brandingszone slechts beperkte capaciteit is om het afgezette zand weg te voeren met het langstransport. Het zeewaarts gerichte dwarstransport tijdens stormen is hier dus onbelangrijk. Volgens de berekeningen is dit niet het geval aan de noordzijde van Texel. Strandhoofden zullen daar minder effectief zijn. Vermoed wordt dat hier buiten de brekerzone een geringe langstransportgradiënt aanwezig is, waardoor het sediment door middel van dwarstransport kan worden afgevoerd.



Figuur 4.2 - Kustverdediging Texel (<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat), strandhoofden aan de zuidwestzijde van het eiland (ten westen van Den Hoorn).

4.2.1.2 Eierlandse Dam

Rond Eierland vinden al eeuwen menselijke ingrepen plaats. Na het verbinden van de afzonderlijke eilanden Texel en Eierland zijn er significante kustverdedigingswerken aangebracht om de staart van het eiland te behouden. In 1948 werd het bolwerk Robbengat geconstrueerd om de zuidwaartse verplaatsing van de geul het Robbengat tegen te houden. Het Robbengat (toen nog Vogelzwin genoemd) heeft zich sinds 1809 bijna 1 km zuidwaarts verplaatst (Schoorl, 1999). Het bolwerk Robbengat werd in 1956 gevolgd door de aanleg van het bolwerk Eierland in combinatie met enkele strekdammen. Deze verdedigingswerken houden de staart van het eiland vast en verhinderen een verdere zuidelijke verplaatsing van de geul het Robbengat.

Om de hoge kosten van de noodzakelijke zandsuppleties in dit gebied te verminderen is in 1995 op de staart van Texel de Eierlandse Dam aangelegd. Op basis van voorstudies was vastgesteld dat op deze locatie dit type harde kustverdediging een geschikte maatregel zou zijn. De Eierlandse Dam is een 800 m lange stenen dam die in 1995 loodrecht op de kust is geplaatst. De kop van de dam werd in 1997 met zinkstukken versterkt. In het gebied tussen de bolwerken zijn nog kleinschalige maatregelen genomen om duinafslag en overstromingsgevaar in het gebied tussen de bolwerken te voorkomen. In 2000 werd hier een lage zanddijk aangelegd. In 2003 en 2004 werden zinkstukken aan de teen van het bolwerk Robbengat geplaatst.

De erosie rond Eierland is weergegeven in Figuur 4.3. Op de luchtfoto uit 1990 is te zien dat als gevolg van deze kusterosie de kustlijn rond 1990 vlak voor de vuurtoren ligt. Op deze luchtfoto zijn tevens de harde constructies zichtbaar die in het verleden aangelegd zijn om de kust te beschermen tegen verdere erosie (bolwerken en strekdammen). Figuur 4.3 (rechts) laat zien dat de 800 m lange Eierlandse Dam lokaal veel zand heeft ingevangen. Ter plaatse van de vuurtoren is de kustlijn 400 m zeewaarts verschoven. Na aanleg van de dam was er ten zuiden van de dam nog significante, structurele kusterosie, waardoor in 2004, 2009 en 2011 zandsuppleties noodzakelijk waren. Daarnaast is in de keel van het Eierlandse Gat de geul het Robbengat landwaarts verplaatst, waardoor het aanbrengen van een stortstenen bezinking in 2004 nodig was. Het is niet duidelijk of en hoe deze ontwikkelingen samenhangen met de aanwezigheid van de Eierlandse Dam.



Figuur 4.3 - De kop van Texel in 1990 (links) en 2011 (rechts). Bron: <http://beeldbank.rws.nl>.

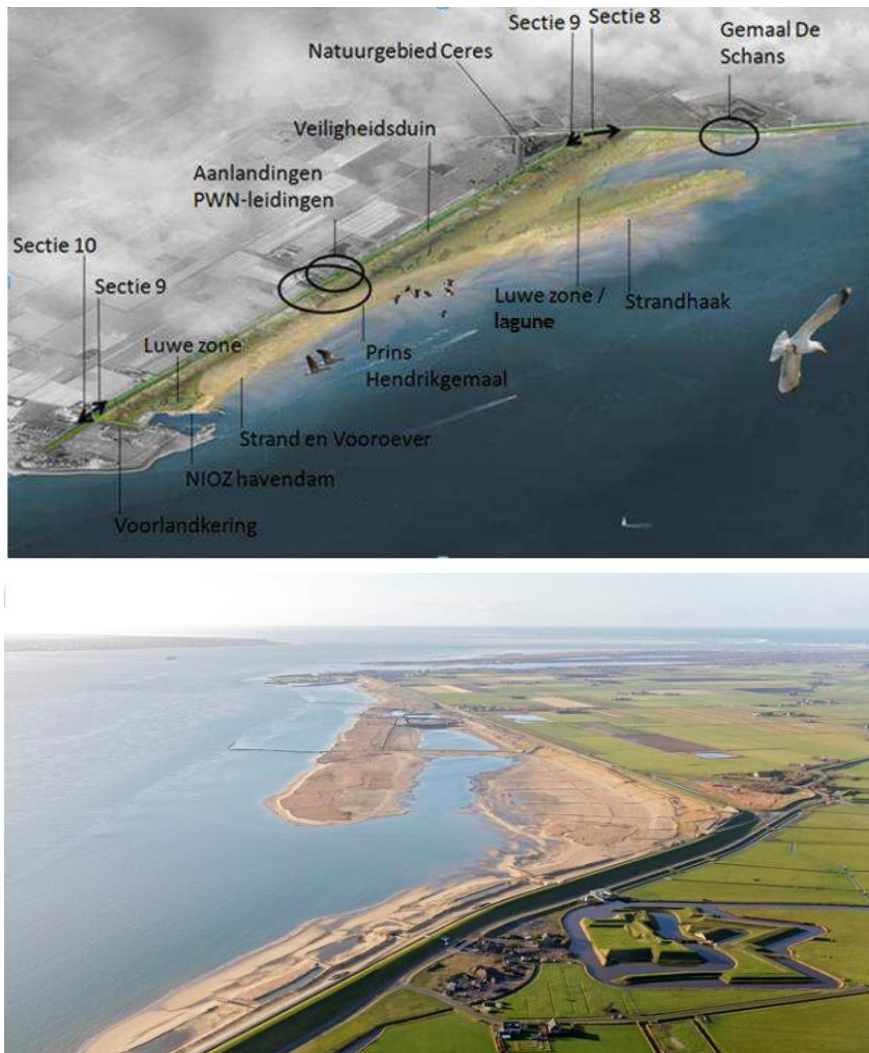
4.2.1.3 Prins Hendrikzanddijk

In 1847 is de Prins Hendrikpolder ingepolderd, waarbij de Zeedijk van de Prins Hendrikpolder werd gevormd. In de jaren 80 is de dijk voor het laatst versterkt, en bij de toetsing in 2006 bleek de dijk niet meer te voldoen aan de waterveiligheidseisen. Er is toen gekozen voor een zandige oplossing. In 2018-2019 is de dijk versterkt door een 3 kilometer lange zanddijk aan de zijde van de Waddenzee (Figuur 4.4). Het duinlandschap dat hiermee is gemaakt zorgt niet alleen voor een toekomstbestendige dijk maar geeft ook een impuls aan de

natuurwaarden van het Waddengebied. De Prins Hendrikzanddijk is onderdeel van Natura2000-gebied Waddenzee.

De Prins Hendrikzanddijk omvat een 'veiligheidsduin', een strandhaak met schelpenrijk strand en laagdynamische lagunes (luwe zones die zijn afgeschermd door de strandhaak en de NIOZ havendam, Figuur 4.4). Het veiligheidsduin bestaat uit een basisvolume die nodig is om aan de veiligheidseisen te voldoen en een slijtlaag. De slijtlaag is aangebracht om verwachte zandverliezen te compenseren, zodat het veiligheidsduin duurzaam in stand kan blijven. Het vergroten van natuurwaarden en de natuurlijke gradiënt worden gecreëerd met droogvallende platen, slikken, schorren, stranden en jonge duinen, die op een logische manier op elkaar aansluiten en in elkaar grijpen (zie ook Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2016).

In Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2016) is een inschatting gemaakt van de benodigde onderhoudsinspanning voor het in stand houden van de slijtlaag, de natuurbouw en de gewenste habitats. Op basis hiervan kan worden gesteld dat het een stabiel ontwerp is, dat langere tijd (>10 jaar) zonder onderhoud kan bestaan. Voor de aangroei van de strandhaak en het dichtslibben van de monding wordt aanbevolen om uiteindelijk op basis van de werkelijke ontwikkeling van het gebied te bepalen of onderhoud noodzakelijk is.



Figuur 4.4 – Prins Hendrikzanddijk, ontwerp (boven, xx) en tijdens aanleg (onder, bron: <https://magazines.deltaprogramma.nl/deltanieuws/2019/02/nieuws2>).

4.2.2 Primaire waterkering

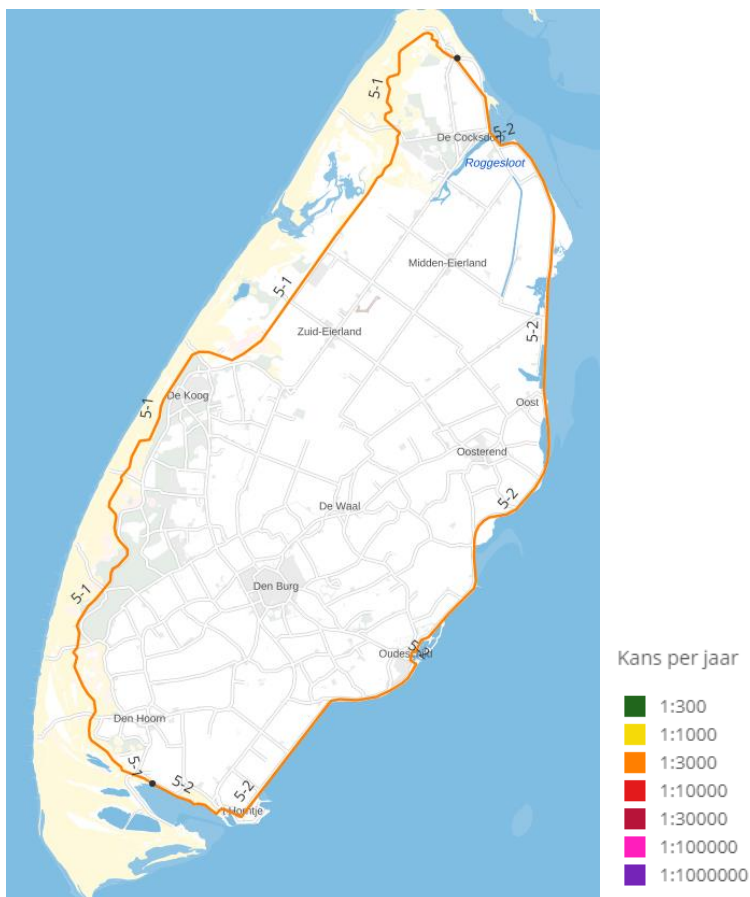
De landwaartse grens van de primaire waterkering van Texel is weergegeven in Figuur 4.5. De primaire waterkering bestaat uit 28 km duin (gele lijn in Figuur 4.5) en 26 km dijk (donker groene lijn in Figuur 4.5). De primaire waterkering is in beheer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Onderdeel van de dijken van dijkringgebied 5 zijn negen kunstwerken, namelijk 5 gemalen en 4 duikers.



Figuur 4.5 - Overzicht van dijktraject 5 primaire waterkering, onderscheid gemaakt in duin (geel) dijk/dam en (donker groen). Bron: <https://hknk.webgispublisher.nl/Viewer.aspx?map=Digitale-ontsluiting-legger-primaire-waterkeringen#>

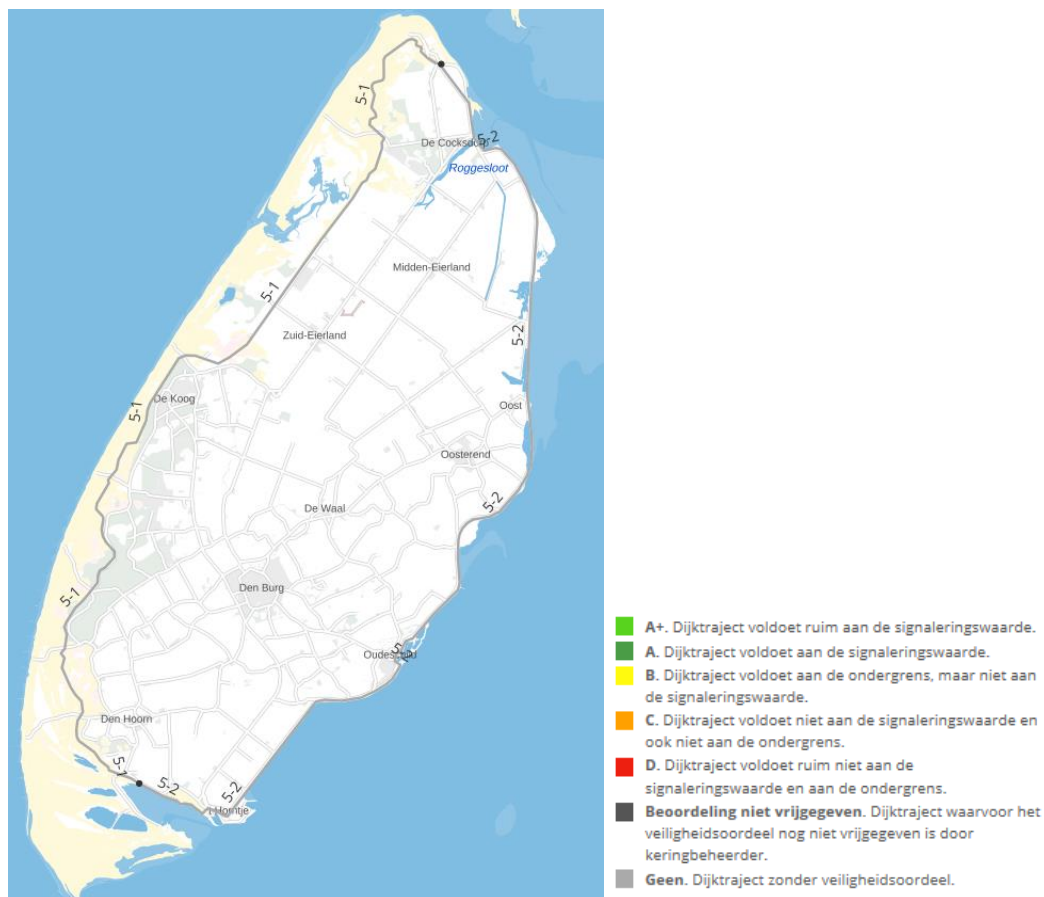
4.2.3 Beoordeling van de primaire waterkering

Op Texel bevindt zich dijktraject 5, wat aan westzijde wordt begrensd door de Noordzee (dijktraject 5-1) en aan de oostzijde door de Waddenzee (dijktraject 5-2) (Figuur 4.6). De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens, als norm in de wet opgenomen en betreft een overstromingskans. De signaleringswaarde voor de dijktrajecten van Texel zijn aangegeven in Figuur 4.6.



Figuur 4.6 - Dijktrajecten Texel met de daaraan gekoppelde signaleringswaarde. Bron: <https://waterveiligheidsporaal.nl/#/nss/nss/assessment>

De eerste beoordeling primaire waterkeringen overstromingskans (eerste beoordelingsronde) is gestart op 1 januari 2017. Het doel van de eerste beoordelingsronde is het beoordelen van alle primaire waterkeringen. De beoordeling geeft inzicht in de actuele faalkans van de waterkeringen en hoe deze is gerelateerd aan de normering. Het veiligheidsoordeel van het normtraject is uit te drukken in vijf categorieën (Figuur 4.7). Deze zijn gerelateerd aan de afstand van de berekende overstromingskans tot de wettelijke norm. Voor de normtrajecten van Texel is er op dit moment (november 2020) nog geen beoordeling uitgevoerd. Deze staat (onder voorbehoud) gepland voor 2021.



Figuur 4.7 - Het veiligheidsoordeel van de kering op trajectniveau voor Texel. Bron: <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment>, bezocht november 2020

4.3 Strandrecreatie

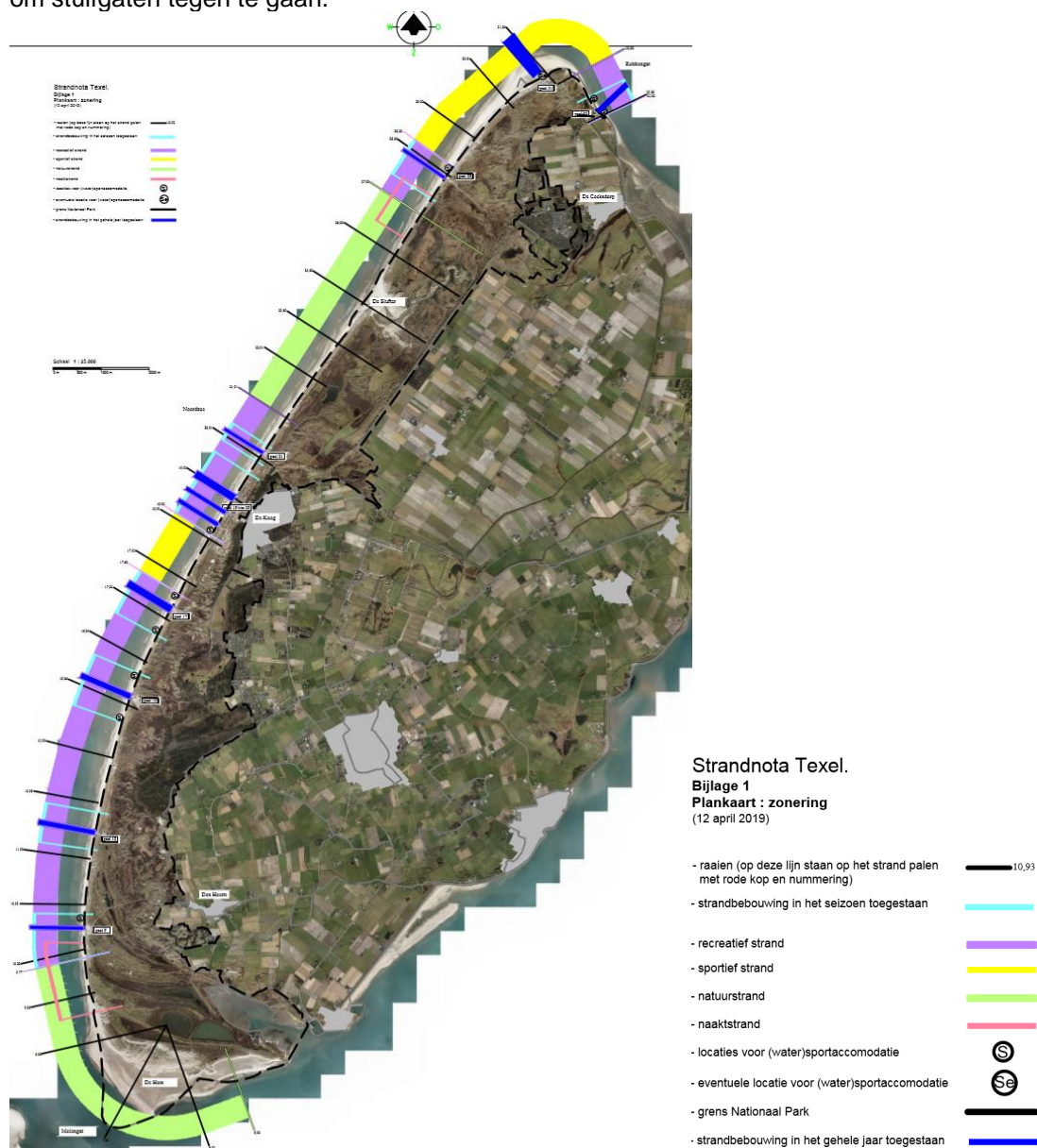
De Gemeente Texel heeft in de Strandnota (2019) het strandbeleid opgesteld. Het strand is hierbij in zones opgedeeld (Figuur 4.8), deze indeling is grotendeels overgenomen door de Provincie Noord Holland in de Strandzoning 2025 (Provincie Noord-Holland (2018)).

De uitgangspunten van de zoning zijn veiligheid van de gebruikers en bezoekers en behoud van de natuur. Onderscheid wordt gemaakt tussen natuurstrand, bebouwd strand, recreatief, sportief en naaktstrand. Bij een Natuurstrand ligt de nadruk op de natuur, wandelen is hier wel toegestaan (onder andere de Hors en de Slufter vallen in deze categorie). Op een recreatief strand kunnen activiteiten plaatsvinden die geen direct gevaar opleveren voor de openbare orde en/of veiligheid van overige strandbezoekers (bijvoorbeeld surfen, kanoën, zeilen, zeskamp en vliegeren met een enkele lijn). Op een sportief strand zijn ook extreme sporten die gebruik maken van het strand mogelijk (bijvoorbeeld kitesurfen, vliegeren met meerdere lijnen, kitebuggiën en blokarten).

De bebouwing op het strand van Texel is geconcentreerd op de van de Staat gehuurde strandgedeeltes. Dat betekent bij de bestaande strandopgangen Paal 9, 12, 15, 17, 19, 19.5, 20, 21, 28 en 33. De maximale bebouwingslengte per strandslag is afhankelijk van de locatie en volgt uit de Strandzoning 2025 (Provincie Noord-Holland (2018)):

locatie	tussen de raaien (zie ook plankkaart 1 in bijlage 2)	maximale bebouwingslengte t.b.v. strandpaviljoens, strandkiosken, (water)sportaccommodatie en strandhuisjes
paal 9	09.77-10.73	855 m
paal 12	12.10-12.89	900 m
paal 15	14.70-15.76	1100 m
paal 17	16.64-17.60	975 m
paal 19-20	18.99-20.51	1535 m
paal 21	20.81-21.21	400 m
paal 28	27.40-28.20	800 m
paal 31	-	Eén paviljoen
paal 33	32.52-33.02	500 m

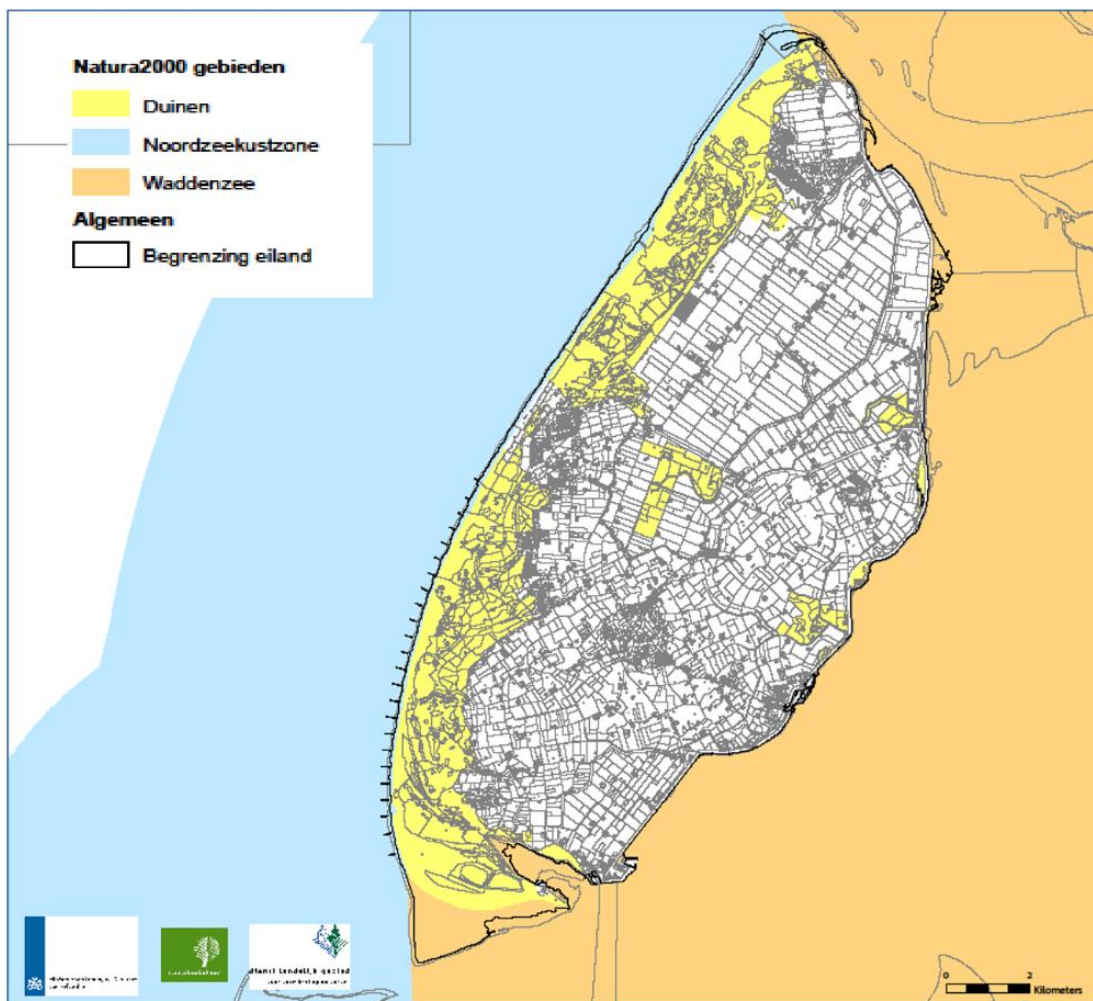
Met een tussenruimte van 5 meter na de bebouwing direct naast het slag, volgen de strandhuisjes. Strandhuisjes worden in een rij evenwijdig aan de duinenrij geplaatst. Tussen de strandhuisjes wordt een tussenruimte van minimaal 2 en maximaal 2,5 meter gehanteerd om stuifgaten tegen te gaan.



Figuur 4.8 – Strandzonerings (Strandnota Texel, 2019)

4.4 Natuur

Texel kent drie Natura 2000-gebieden (Figuur 4.9); Duinen en Lage Land Texel, de Noordzeekustzone (waarin voor Texel zijn opgenomen de Noordzeestranden en het westelijke deel van De Hors) en de Waddenzee (waarin voor Texel zijn opgenomen het merendeel van De Hors, Mokbaai en De Schorren).



Figuur 4.9 – Begrenzing van de Natura 2000-gebieden op Texel. (duinen en Lage Land Texel, Waddenzee en Noordzeekustzone). Bron: Natura 2000-beheerplan Texel, Ministerie van Economische Zaken (2016)

Het Natura 2000-gebied 'Duinen en Lage Land Texel' heeft een zeer afwisselend landschap, wat goed te zien is in de habitattypenkaart (Figuur 4.10), mede dankzij de ontstaansgeschiedenis. Het eiland ontstond rondom een keileemopduiking, die de naam Hoge Berg draagt. Het voorkomen van keileem geeft Texel een unieke opbouw die afwijkt van de andere Waddeneilanden. Ten westen van de stuifdijk, die sinds 1629 de voormalige eilanden Texel en Eierland verbindt, ligt de Slufter, een oude strandvlakte. Dit is een gebied met een bijzondere dynamiek, omdat het zeewater vanuit de Noordzee de krekken in- en uitstroomt onder invloed van het getij. Er komen overgangen voor van nat naar droog en van zout naar zoet en daardoor is er een grote variatie in natuurwaarden.

Het duingebied ten noorden van De Slufter, de Eierlandse duinen, omvat oude duinen met duinstruwelen, graslanden en enkele heidevelden. In de nabijheid van de Slufter liggen enkele duinvalleien.

Het zuidelijke deel kent meer landschapstypen. Daar liggen zowel oude als jonge duingebieden, met een grote diversiteit aan duinvalleien, schraalgraslanden en

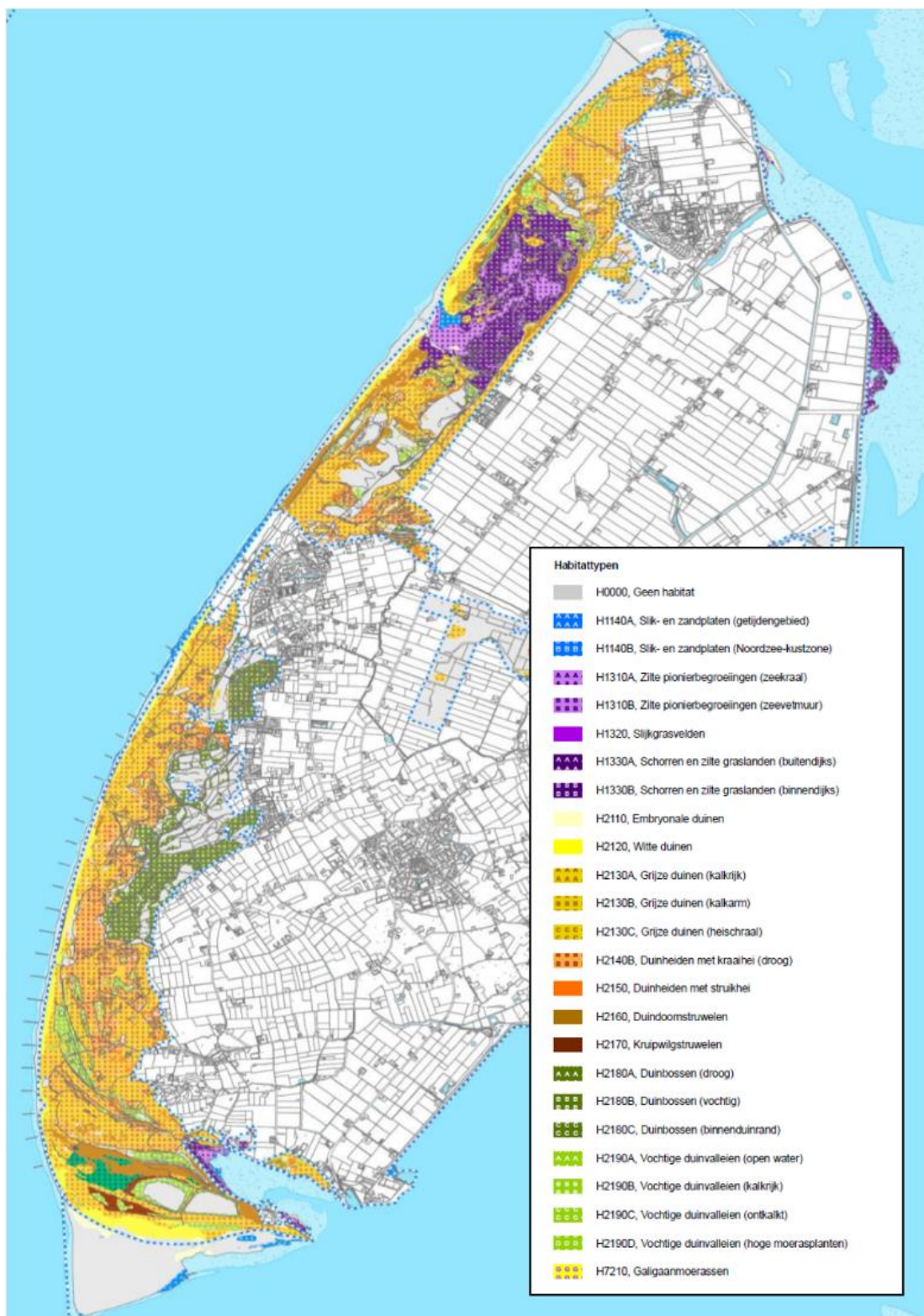
heidegebieden. De duinvalleien verschillen onderling, omdat er op sommige plekken infiltratie van regenwater optreedt en op andere plekken kwel van grondwater. Ook liggen er enkele grote duinplassen zoals De Muy en De Geul. In de Westerduinen zijn naald- en loofbossen aanwezig.

Tot het Natura 2000-gebied behoren ook een aantal natuurgebieden in het poldergebied en terreinen langs de waddendijk. Het zijn kreekrestanten met omliggende rietkragen en brakke graslanden die zijn ontstaan door dijkafsnijding. De gebieden hebben een waardevolle vegetatie en daarnaast zijn ze ook van groot belang voor broedende en doortrekkende vogels. Het gebied de Schorren is een buitendijks kweldergebied op Texel, met een kenmerkende zoutminnende vegetatie. Er broeden veel vogels, waaronder de lepelaar.

Het strand van Texel maakt deel uit van het Natura 2000-gebied Noordzeekustzone³. Op een aantal van deze stranden heeft door verheling van zandplaten en het uitblijven van sterke winterstormen het laatste decennium een snelle vegetatieontwikkeling plaatsgevonden. Op Zuid-Texel (de Hors) is een dergelijke kustuitbreiding al langer gaande. Deze stranden bestaan uit Biestarwegrasduintjes (H2110) en - hier en daar - hogere Helmduinen (H2120), met daartussen met algen begroeide (groene) laagten. Ook de deels droogvallende en deels permanent droogliggende plaat is de Noorderhaaks (ook wel Razende Bol genoemd) ten zuidwesten van Texel is onderdeel van Natura 2000-gebied Noordzeekustzone, onder Slik- en zandplaten (H1140). De droogvallende platen worden door Gewone en Grijsze zeehond gebruikt om te rusten. De Grijsze zeehond werpt in de winter haar jongen op permanent droog liggende banken in het kustgebied.

In het Natura 2000-beheerplan Texel (Ministerie van Economische Zaken, 2016) staan maatregelen om de dynamiek in de duinen te bevorderen en om de gevolgen van de neerslag van stikstof te verminderen. In de duinen wordt zoveel mogelijk ruimte gegeven aan de windwerking en er zullen enkele stuifkuilen worden gemaakt om dit proces in gang te zetten. Verspreid in het duingebied zullen herstelmaatregelen, zoals plaggen, worden uitgevoerd. Aanvullend worden plaatselijk duinvalleien gemaaid. Op de zandplaat de Hors vindt op grote schaal natuurlijke jonge duinvorming plaats. Hiervoor zijn geen speciale maatregelen nodig. Er is afgesproken het beheerplan te evalueren en eventueel bij te sturen.

³ <https://www.natura2000.nl/gebieden/friesland/noordzeekustzone>



Figuur 4.10 – Huidige situatie van de habitattypenkaart Texel. Bron: Natura 2000-beheerplan Texel, Ministerie van Economische Zaken (2016)

4.5 Drinkwaterwinning

Texel wordt van drinkwater voorzien door middel van een pijpleiding vanuit Den Helder die in 2017 is vernieuwd .

5 Lange termijn ontwikkelingen

5.1 Inleiding

De kennis over de lange termijn ontwikkelingen van Texel bevat relevante informatie voor het beheer van de kust. De paragraaf over de paleografische ontwikkeling (5.2) schetst hoe het landschap van Texel 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 aan de relatieve zeespiegelstijging en de sedimentbehoefte van het kustfundament.

5.2 Paleografische ontwikkeling

Anders dan de overige Nederlandse eilanden is Texel zuidwest-noordoost georiënteerd. Dit is het gevolg van de geologische opbouw. Tijdens het Saalien, de voorlaatste ijstijd, kreeg het ondergrondse reliëf van de Waddenzee zijn vorm, onder grote druk van zware gletsjers uit het noorden tot noordoosten. Het stromende landijs nam materiaal mee uit het noorden van kei-, grind-, zand-, en kleideeltjes grootte. Daarnaast werden vaak ook hele stukken ondergrond bestaande uit los sediment ingevroren en meegenomen. Aan het ijsfront, waar smelt en uitbreiding van het ijsfront elkaar min of meer in evenwicht hielden, nam de concentratie van sediment langzaam maar zeker toe en kwamen grote hoeveelheden sediment tot afzetting. Tijdens fasen van uitbreiding werd dit sediment deels vooruit gebulldozerd en deels naar de zijanten van de lokale ijslobben geduwd.

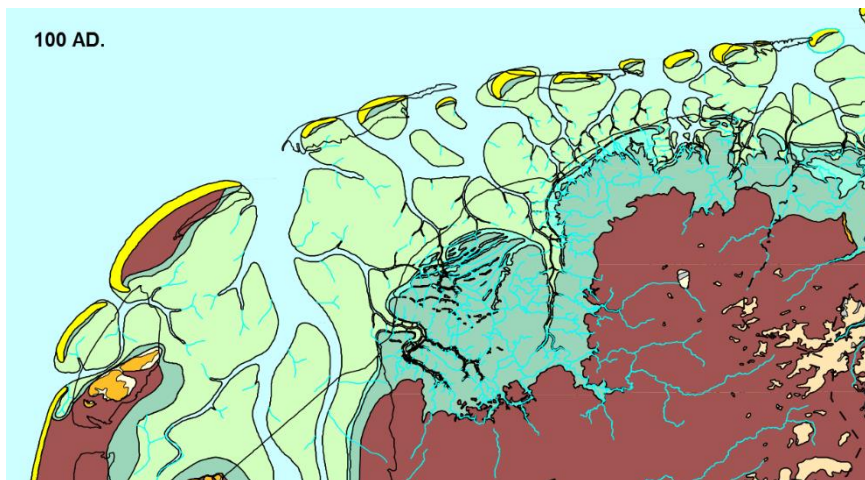
Op Texel ontstond een NO-ZW lopende rug (hoogste punt: + 15 m NAP). Eenzelfde oriëntatie zien we terug bij Wieringen (hoogste punt +13 m NAP), in de kop van Noord-Holland. Waarschijnlijk werd tijdens het Saalien door het landijs de zandige ondergrond weggeduwd en opgestuwd, waarbij er heuvelruggen ontstonden die we stuwwallen noemen. Op Wieringen is dit goed te zien over de gehele lengterichting van het eiland; op Texel is dit minder duidelijk. Het ijs is over die stuwwallen heen gegleden en heeft op de stuwwallen keileem achtergelaten. Het idee is dat tussen Wieringen en Texel in zuidwestelijke richting een ijslob bewoog die een diepe geul in de ondergrond uitschuurde, terwijl tegelijk het zand uit de ondergrond aan weerszijden uit de geul omhoog geperst werd, waardoor aan weerszijden ervan stuwwallen ontstonden: een noordelijke die over Texel loopt en een zuidelijke die over Wieringen loopt. Tijdens een latere fase is het landijs over de randen van de geul uitgestroomd en over de stuwwallen heen geschoven. Hierdoor is er een dikke laag keileem over de stuwwal heen afgezet. Gezien de hoogteverschillen tussen waar nog keileem wordt aangetroffen (-50 m NAP en +15 m NAP), moet het landijs nog meer dan 65 m dik zijn geweest in de lob.

Mogelijk is het overstroomd van de stuwwallen een paar keer gebeurd, er zijn namelijk twee typen keileem op Wieringen aanwezig. De oudste laag wordt de Eerste Oost-Baltische keileem genoemd, omdat de keien die erin aangetroffen worden een Oost-Baltische oorsprong hebben. De richting van de ijsstroom veranderde later en voerde toen materiaal aan uit Midden- en Zuid-Zweden, dat als de jongere West-Baltische keileem werd afgezet.

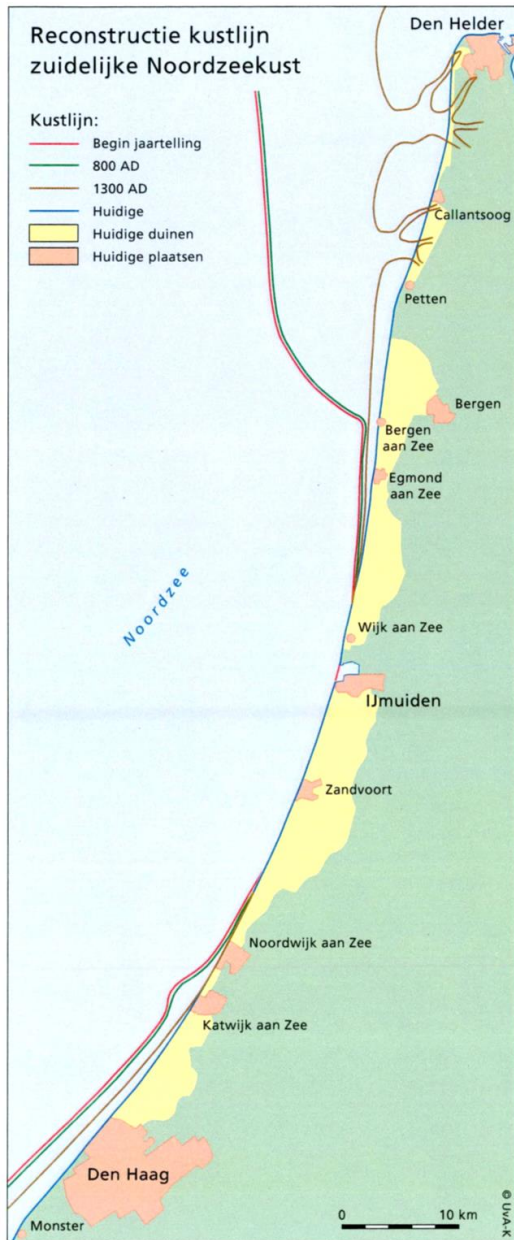
In het daaropvolgende interglaciaal van het Eemien kwam de zeespiegel weer omhoog en werd het gebied grotendeels overstroomd. Er wordt verondersteld dat daarbij ook het bestaande reliëf van het Saalien werd aangetast door erosie. Zo zijn er aanwijzingen dat het Klif bij Den Hoorn mogelijk al in het Eemien voor de eerste keer aan zee kwam te liggen (kiezelstrand op enige diepte NW van het dorp). In het Weichselien, de laatste ijstijd, waren het Waddengebied en de Noordzee een stuivende zandvlakte.

In het Holoceen, dat 12.000 jaar geleden begon, kreeg het Waddenzeegebied verder vorm. Tussen 5.000 en 6.000 jaar geleden, toen de zeespiegelstijging in snelheid afnam, ontstond een rij Waddeneilanden zo'n 10 tot enkele km noordelijker van de huidige. Waar in het westen het eerste Waddeneiland lag is niet geheel duidelijk, maar dit begon vermoedelijk al bij Terschelling of Vlieland en mogelijk al bij Texel (Vos et al., 2011). Daarachter lagen wadden, lagunes en geulen overgaande in de kwelders van het vasteland en de hoger gelegen zandige heuvelruggen. Dit geheel van landschappen verplaatste door kusterosie en onder invloed van zeespiegelstijging voornamelijk in landwaartse richting. In tegenstelling tot tegenwoordig werd het vasteland diep doorsneden door inhammen en estuariene riviervalleien. De luwte en estuariene circulatie bevorderde in deze inhammen slibsedimentatie waardoor deze openingen opvulden. Met name op die locaties en op een aantal andere plaatsen in Friesland en Groningen bouwde de vastelandskust zich uit.

Op grond van reconstructies van Terschelling en Vlieland komen we op ongeveer het volgende beeld uit. Zo'n 5000 jaar geleden lagen de barrière-eilanden waarschijnlijk nog een flink eind zeewaarts. Oostelijk van Texel lag ongeveer op de positie van het huidige Vlie, rond 3850 v Christus een zeegat dat nog geen contact had met het gebied van de latere Zuiderzee (Vos et al., 2011). Het is zeker dat het Vlie al in de Noordzee uitstroomde in de Romeinse tijd. Het ontstaan van het Vlie als verbinding voor de Flevomeren en latere Zuiderzee viel samen met het dichtslibben van het Oer-IJ (Vos et al., 2011). Oostelijk van het Vlie lagen Waddeneilanden (Sha, 1990; Oost, 1995; Figuur 5.1). Het Vlie was vermoedelijk via een 10-20 km lang riviertje verbonden met de Flevomeren tot in de 11^e eeuw (afwijkend van de getoonde reconstructies). De uitgang van de rivier moet gezocht worden in het gebied tussen Harlingen en Griend. Pas toen het Marsdiep zich fors kon uitstrekken in oostelijke richting werd het landgebied aan de westzijde van het riviertje aangetast en verviel de dempende werking van het riviertje op het getij dat toen toegang kreeg tot het Zuiderzeegebied dat zich vanaf dat punt begon te vormen.



Figuur 5.1 - Paleogeografische kaart van het Waddengebied, omstreeks 100 na Christus (Vos en De Vries, 2013)

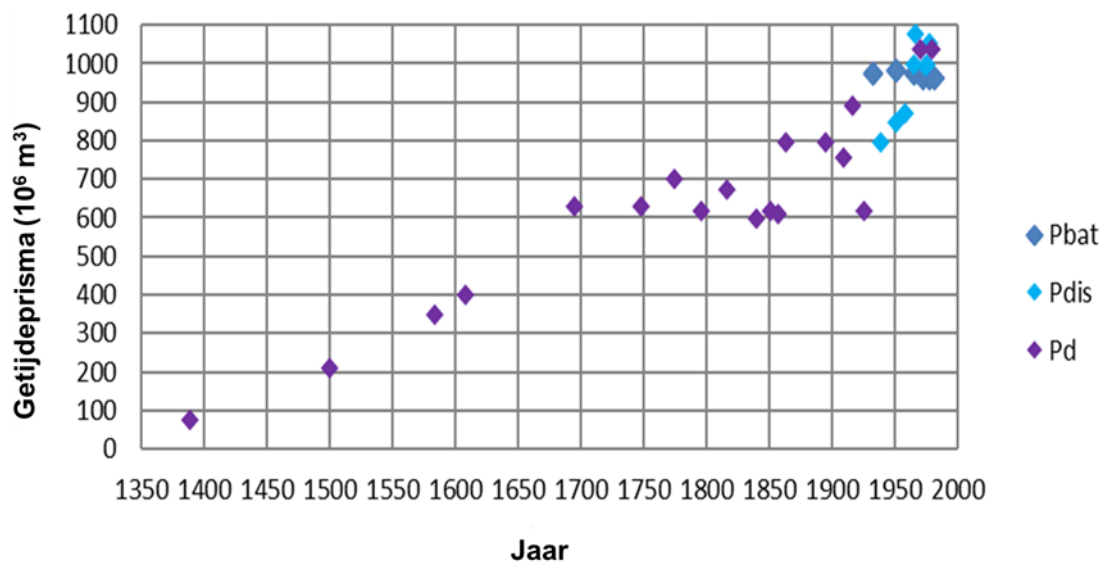


Figuur 5.2 – Overzicht van de reconstructies van de Hollandse kust vanaf de Middeleeuwen (Ligtendag, 1997).

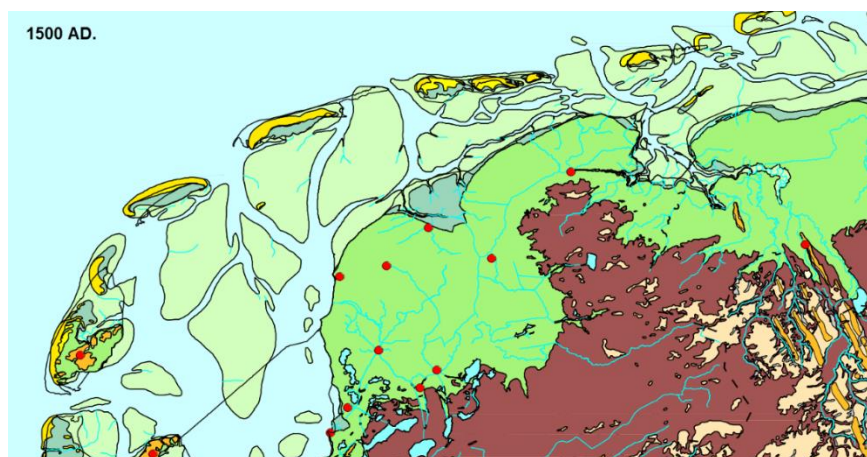
Voor het gebied waar nu Texel ligt is het niet geheel duidelijk wat er is gebeurd. Er zijn aanwijzingen dat westelijk van de huidige kust nog een barrierekust aanwezig was met een zeegat en een “Waddenzee” liggend zeewaarts van het keileem-eiland. Deze situatie heeft vermoedelijk nog tot in de volle middeleeuwen bestaan. Zo lag de kust nog in 800 AD vrij ver zeewaarts: waarschijnlijk circa 10 km (Schoorl, 1973, 1999; Ligtendag, 1997; Figuur 5.2). Al in 817 AD is er sprake van een “Maresdeop” (Marsdiep), wat kan wijzen op een zeegat (Mare Diep) of een moerasstroom (Moeras Diep), maar mogelijk ook beiden. Er was sprake van getij-indringing in het gebied wat we nu kennen als het Marsdiep. Het getij kwam tot Den Helder, maar 4,5 km ten oosten ervan was het Balgzand nog bewoond in de 8^e, 9^e, 11^e en 12^e eeuw (Woltering, 1998). Gegeven de gereconstrueerde kust lag de hals van het zeegat van het Maresdeop ca. 10 km meer naar het westen ingeklemd tussen de kust van Noord-Holland en een barrière eiland westelijk van Texel of ca. 10 km westelijke extensie van Texel (welke later is geërodeerd). Aan de Waddenzee-zijde van het huidige Texel liggen vroeg Holocene afzettingen vrij hoog. Er zijn uit de 9^e eeuw vrij veel toponymen bekend die wijzen

op een bewoond veengebied met plekken als Bretenmore, Langemore, Texlamore. De exacte locatie is niet meer te achterhalen, maar vermoed mag worden dat oostelijk van het huidige Den Helder een bewoond veengebied lag waarvan het veenwater mogelijk via een (gelijknamig?) riviertje dat aansluiting had op het Maresdeop kon afwateren.

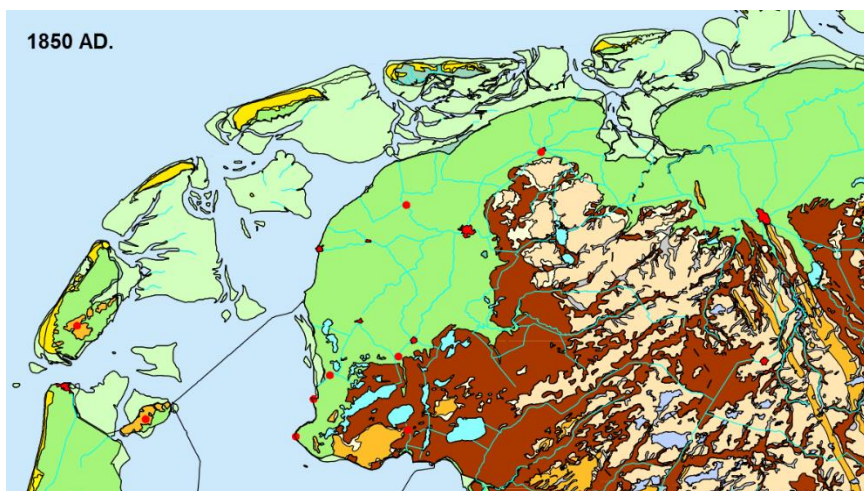
Door erosie van de kusten van Texel en Noord-Holland kwam de hals van het zeegat meer oostelijk te liggen en kon het getij verder naar het oosten doordringen via het Marsdiep. De bewoning van het Balgzand tot in de 12^e eeuw geeft aan dat de getijdewerking nog niet dramatisch was. Daarna drong de getijdewerking van het Marsdiep steeds dieper het achterland in. Dit proces verliep erg snel. Een deel van de verklaring zou kunnen zijn dat er vrij uitgestrekte veengebieden aanwezig waren die vrij gemakkelijk geërodeerd konden worden door het getij en stormvloed. De doorbraak richting het Vlie en het Aelmeer vond waarschijnlijk plaats tussen 1100 en 1300 AD. Een kaart van Vesconte (1325) suggereert al een directe verbinding tussen Marsdiep en Vlie (zoals hierboven besproken). Uit de maximaal gemeten diepte van het zeegat van het Marsdiep kan een schatting worden gemaakt van het getijprisma (Sha, 1990). Op grond daarvan kan gereconstrueerd worden dat het Marsdiep tot in de late 14^e eeuw een relatief bescheiden omvang had, maar daarna sterk toenam tot ca 1700. Dit heeft vermoedelijk te maken met het uitruimen van de veengebieden.



Figuur 5.3 - Paleogeografische kaart van het Waddengebied, omstreeks 1500 na Christus (Vos en De Vries, 2013)



Figuur 5.4 - Paleogeografische kaart van het Waddengebied, omstreeks 1500 na Christus (Vos en De Vries, 2013)



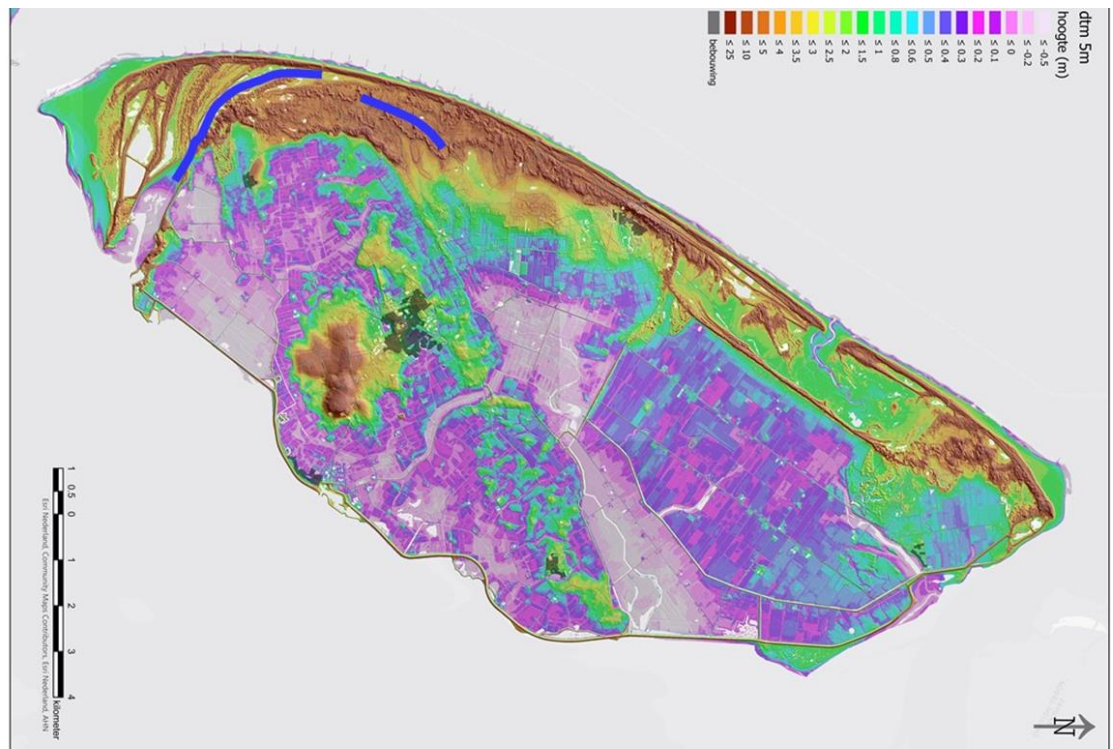
Figuur 5.5 - Paleogeografische kaart van het Waddengebied, omstreeks 1850 na Christus (Vos en De Vries, 2013)

In de Zuiderzee bereikte de invloed van de zee in of voor de 14^e eeuw ongeveer de grenzen van de Zuiderzee. Dit bekken was zo groot dat de getijdegolf daardoor dempte. Bekkenvergroting anders dan in noordoostelijke richting en richting Balgzand zal daarom vermoedelijk weinig hebben bijgedragen aan het getijdeprisma. Gegeven de reconstructie van de situatie van 1500 viel toen al een groot deel van het huidige Marsdiep gebied binnen de invloedssfeer van het Marsdiep: wel zijn een deel van de platen groter (Figuur 5.4). De stagnatie na 1700 lijkt erop te wijzen dat een eventueel uitruimen (van het veen) dan grotendeels gebeurd is.

Door het groter worden van het getijprisma oriënteerde het zeegat in toenemende mate naar het zuidwesten waardoor de kust van Den Helder afsloeg en de kust van ZW Texel kon aangroeien. Dit gebeurde met name door het aanlanden van platen welke uit de buitendelta van het Marsdiep zich verheelden met het eiland. Tussen landingen door waren er perioden waarin de ZW kust van Texel afsloeg onder invloed van buitengeulen die met de klok mee naar de kust draaiden. Daarnaast trad sinds ca. 1850 kustafslag op westelijk van Den Hoorn over circa 1 km, dit deel van de kust is momenteel nog steeds erosief.



Figuur 5.6 – Kaart van Texel door J.L. Kikkert, 1854.



Figuur 5.7 – AHN Hoogtekaart.

Texel was rond 1500 kleiner dan het huidige eiland. Ten noorden van Texel lag nog een kleiner eiland; Eierland. Dit eilandje werd in de 17e eeuw door de aanleg van een zanddijk definitief met het oude Texel verbonden (o.a. oostelijk van de Slufter). Achter de zanddijk lag een kwelder, die in de 19e eeuw werd ingedijkt (polder Eierland). Zeewaarts van de zanddijk werd een nieuwe zeereep aangelegd in 1855, die in 1858 doorbrak waarbij meerdere sluffers ontstonden en waarvan de huidige Slufter het laatste resterende element is. De situatie is goed te zien op de Kaart van Texel van 1854 van J.L. Kikkert (Figuur 5.6). Bij het Eierland

vindt sinds eeuwen kustafslag plaats en vanaf het einde van de 19e eeuw is deze afname versneld (vele honderden meters sinds eind 19e eeuw). De aanleg van bolwerken, Eierlandse Dam en zandsuppleties hebben ervoor gezorgd dat er op dit moment vrijwel geen kustafslag meer plaatsvindt en er lokaal sprake is van kustaangroei.

Veel valleien op Texel zijn primaire duinvalleien die gevormd worden door afsnoering door de vorming van nieuwe zeereepduinen (van nature of met behulp van de mens) van een strandvlakte direct erachter (de Langedam Vallei, de Buiten Muy en de Kreeftepolder). Deze primaire valleien lopen allemaal min of meer evenwijdig aan de boogvormige kust.

Aan de Wadzijde vonden nog na 1850 inpolderingen plaats, zoals vergelijking van Figuur 5.6 en Figuur 5.7 laat zien. In de afgelopen jaren is de dijk aanzienlijk versterkt. In 1 geval is er gekozen voor een buitendijkse oplossing waarbij een strand en duinvlakte aangebracht is voor de Waddendijk. Gevolgd wordt hoe stabiel deze oplossing is.

Betekenis voor huidig beleid

Op de allergrootste tijdschaal blijkt de aanwezigheid van de massieve keileembult van Texel sterk bepalend te zijn voor haar ontwikkeling: het is in de basis een keileembult met een bufferende werking. Een aantal ontwikkelingen zijn persistent gedurende langere tijd, zoals de afslag bij Zuidwest Texel en bij Eierland. Verwacht mag worden dat deze ontwikkelingen nog een tijdlang de kustontwikkeling bepalen. Anticiperend hierop overwegen andere terreinbeheerders ook of eventueel het beheer van de kust in het afslaggebied bij Zuidwest Texel deels kan worden losgelaten. Dit zou een aanpassing van de BKL vereisen. Een verdere ontwikkeling is dat de Slufter op korte termijn meer vrijheid krijgt om noordwaarts de zeereep te eroderen en dat op verschillende plaatsen over het bevorderen van doorstuiving wordt nagedacht.

5.3 Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens

De bodemdaling is een onderdeel van de relatieve zeespiegelstijging, die mede de landelijke suppletiebehoefte bepaalt. Hierom wil Rijkswaterstaat kennis hebben over de bodemdaling.

In Nederland worden hoogtes gerelateerd aan het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Er bestaan duizenden NAP-merken in Nederland waarvan de hoogte bekend is. Zes daarvan, allemaal gelegen in Midden-Nederland, worden als stabiel verondersteld en de beweging van de andere merken wordt feitelijk ten opzichte van deze zes punten berekend. Deze berekening is voor het laatst uitgevoerd 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., 2018](#)).

De gegevens laten zien dat Nederland in beweging is, waarbij sommige delen omhoog komen en andere juist dalen. De laatste jaren zijn in verschillende rapporten overzichtskaarten voor bodemweging langs de Nederlandse kust gepresenteerd ([Hijma & Kooi, 2018a](#); [2018b](#); [Hijma & Van Onselen, 2019](#)). 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 als gevolg van bodembewegingen. De kaarten maken onderscheid in geologische bodembeweging en antropogene bodemdaling (Tabel 5.1), uitgesplitst naar de laatste 100,

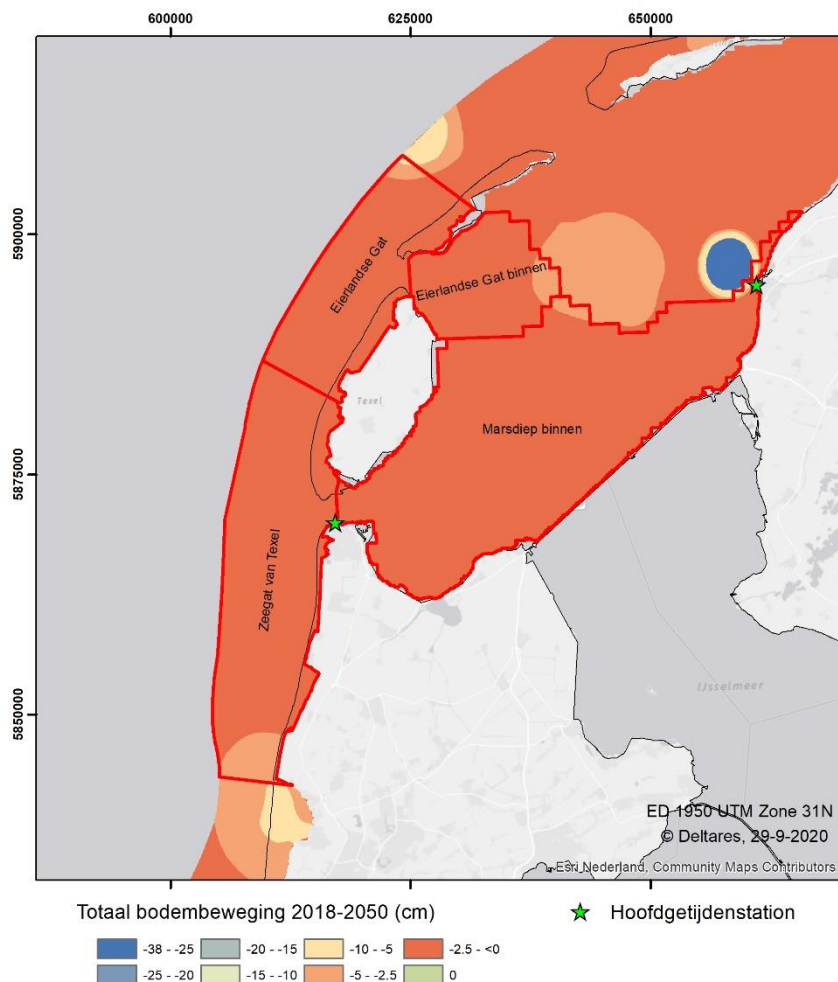
laatste 30 en komende 30 jaar⁴. Voor Texel zijn geologische bodembeweging en bodemdaling door gaswinning van belang. De kaarten zijn vooral gebaseerd op modelberekeningen en kennen daardoor een relatief grote mate van onzekerheid, al worden de resultaten wel vergeleken met gemeten bodembewegingen. Er 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](#)).

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 doorgebogen. 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. Deze component wordt pas sinds kort meegenomen in de bodemdalingsmonitor en is nog niet verwerkt in de kaarten en tabellen in Hijma & Van Onselen, 2019.
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.

De kaart in Figuur 5.8 is afgeleid van de landelijke kaarten voor bodembeweging langs de Nederlandse kust, maar hierbij is ingezoomd op de omgeving van Texel. Tabel 5.2 geeft de bodembewegingsgetallen en volumes voor de deelgebieden voor kustonderhoud die relevant zijn voor Texel. De kaart laat zien dat de omgeving van Texel vrij gelijkmatig aan het dalen is en de tabel geeft aan dat dit met snelheden van ongeveer 6 cm per eeuw gebeurt. Het grootste deel van deze daling is geologisch van oorsprong en daardoor vrij constant. De figuur laat ook zien dat er meerdere cirkelvormige gebieden met verhoogde bodemdaling zijn. Op de Noordzee zijn dit van zuid naar noord de wingebieden Bergen en Vlieland en in de Waddenzee van west naar oost de wingebieden Zuidwal en Ballastplaat. Bij de Ballastplaat gaat het om zoutwinning, bij de overige gebieden voornamelijk om gas. De invloed van de gas- en zoutwinning op de deelgebieden rondom Texel is zeer beperkt, aangezien de daling door winning slechts uithoeken van deze deelgebieden beïnvloed. Ten opzichte van de geologische bodemdaling is de daling door winning zeer gering. De bodemdalingsvolumes per jaar liggen voor de deelgebieden rond de 0.1-0.4 Mm³.

⁴ 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.



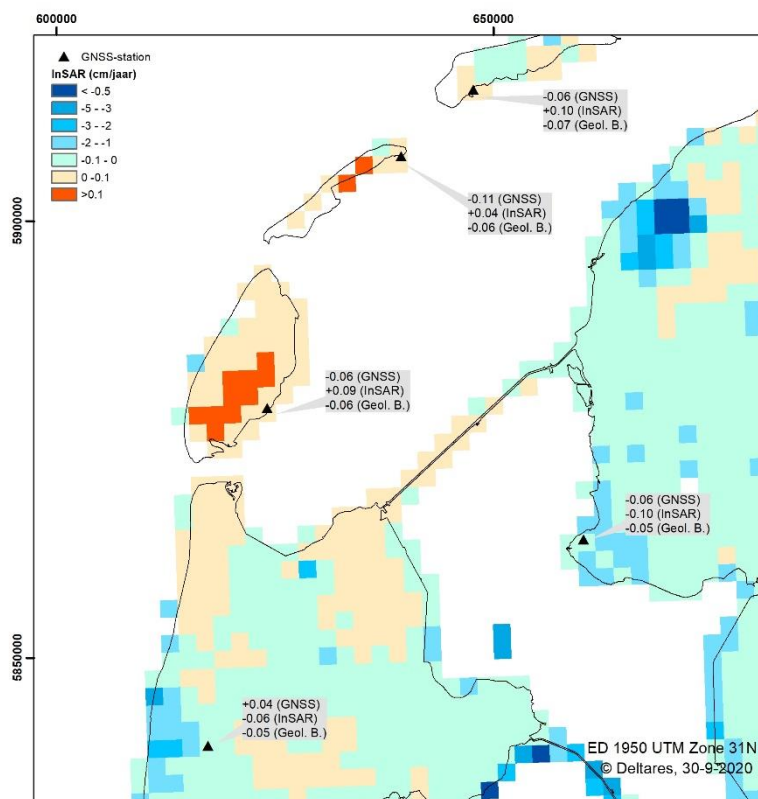
Figuur 5.8 – Totale bodembeweging (winning van gas, olie en zout; geologische bodemdaling) in de periode 2018-2050 (naar Hijma & Kooi, 2018b) met de relevante deelgebieden. De geologische bodemdaling in deze kaart omvat nog niet de elastische respons (zie toelichting in Tabel 5.1).

Tabel 5.2 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden in Figuur 5.8

Periode	Gemiddelde geologische bodembeweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde bodembewegings-snelheid (cm/yr)	Totale bodemdalings-volume ± onzekerheid (Mm ³)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)
1918-2017					
Eierlandse Gat	-5.81	-0.07	-0.059	13.7 ± 6.3	0.14 ± 0.06
E. Gat binnen	-5.93	-0.06	-0.060	8.8 ± 4.0	0.09 ± 0.04
Marsdiep binnen	-5.66	-0.01	-0.057	39.0 ± 18.0	0.39 ± 0.18
Zeegat van Texel	-5.45	-0.14	-0.056	22.3 ± 10	0.22 ± 0.10
1987-2017					
Eierlandse Gat	-1.75	-0.06	-0.060	4.2 ± 1.9	0.14 ± 0.06
E. Gat binnen	-1.78	-0.07	-0.062	2.7 ± 1.2	0.09 ± 0.04
Marsdiep binnen	-1.69	-0.02	-0.057	11.8 ± 5.4	0.38 ± 0.17
Zeegat van Texel	-1.63	-0.10	-0.058	6.9 ± 3.0	0.22 ± 0.10
2018-2050					
Eierlandse Gat	-1.92	-0.06	-0.060	4.6 ± 2.1	0.14 ± 0.06
E. Gat binnen	-1.96	-0.07	-0.062	3.0 ± 1.3	0.09 ± 0.04
Marsdiep binnen	-1.87	-0.04	-0.058	13.1 ± 5.9	0.40 ± 0.18
Zeegat van Texel	-1.80	-0.12	-0.058	7.7 ± 3.3	0.23 ± 0.10

Op Texel en omgeving staan ook Global Navigation Satellite System (GNSS)-stations die nauwkeurige hoogtemetingen kunnen geven. Daarnaast worden op www.bodemdalingskaart.nl kaarten gepresenteerd die op basis van radarsatellieten (InSAR) vervaardigd zijn. Figuur 5.9 laat de resultaten zien voor Texel en de wijdere omgeving. De achterliggende kleurenkaart is gemaakt op basis van InSAR en laat voor Texel een wisselend en niet eenduidig beeld zien: sommige vierkantjes zijn licht negatief en sommige vierkantjes licht positief. Aan deze kaart wordt nog volop gewerkt en de vierkantjes zijn 2x2 km en daarmee vrij grof. De InSAR-data op deze schaal is nog niet voldoende robuust om duidelijke uitspraken te doen over bodembeweging op Texel. De InSAR kaart laat wel duidelijk de bodemdaling bij Harlingen (zoutwinning) zien. De gegevens van de GNSS-stations tonen een redelijk consistent beeld en geven dalingssnelheden van 0.06-0.11 cm/jaar voor eilanden en Stavoren, redelijk tot goed in lijn met de verwachte geologische bodemdaling. Het station in de kop van Noord-Holland laat daarentegen een stijging zien. Het GNSS-station op Texel meet sinds 2006 en de meetreeks is daarom lang genoeg om langjarige trends van bodembeweging redelijk betrouwbaar te kunnen vaststellen.

Samengevat: zeer waarschijnlijk daalt Texel meerdere centimeters per eeuw als gevolg van geologische bodemdaling. Monitoring op basis van GNSS en InSAR laten tegengestelde waarden zien, waarbij op dit moment meer waarde gehecht kan worden aan het GNSS-station op Texel. De gemeten bodemdaling op dat station is redelijk in overeenstemming met de gemodelleerde geologische bodemdaling.



Figuur 5.9 – Kaart met de diepere bodemdaling (www.bodemdalingskaart.nl, grotendeels middels InSAR-data). Bij ieder GNSS-station staat deze snelheid van bodembeweging volgend uit de GNSS-data (<http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/gpsnetmap/GPSNetMap.html>), de InSAR-data en de gemodelleerde geologische bodemdaling uit Hijma & Kooi (2018b). De geologische bodemdaling in deze kaart omvat nog niet de elastische respons (zie toelichting in Tabel 5.1).

6 Beschrijving van het morfologisch systeem

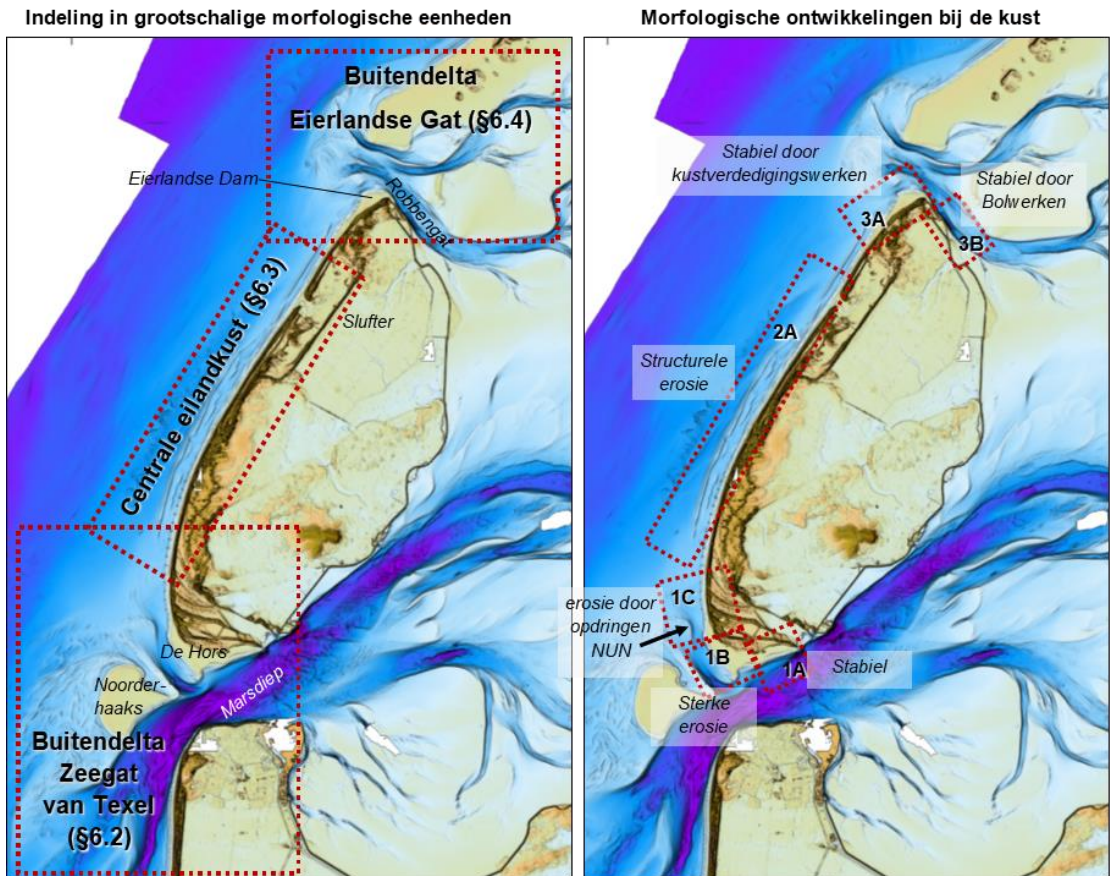
6.1 Samenvatting van het morfologisch gedrag en kenmerken

Dit hoofdstuk beschrijft het morfologische systeem rond Texel. Menselijke ingrepen, waarvan de belangrijkste zandsuppleties en kustverdedigingswerken zijn, hebben er een grote invloed op gehad. Een beschrijving van de uitgevoerde zandsuppleties staat in Hoofdstuk 7 en de kustverdedigingswerken zijn beschreven in paragraaf 4.2.1.

Texel wordt aan de noord- en zuidzijde ingesloten door twee zeegaten (zie Figuur 6.1). Ten zuiden van het eiland bevindt zich het zeegat van Texel, waar het ondiepe Noorderhaaks het middelpunt vormt van de buitendelta. In het zuiden komt de grootste invloed van de zandplaat 'Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks' (de noordzijde van de buitendelta van het Zeegat van Texel, in dit rapport ook wel afgekort met NUN), samen met het Molengat. De Hors, de zuidelijke punt van Texel, was samen met het Molengat en Noorderhaaks lange tijd een stabiel systeem, maar dit evenwicht is sinds 2006 verstoord. De ligging van Molengat en Noorderhaaks veranderen sterk, en zorgen ervoor dat vooral de zuidwestzijde van De Hors aan sterke erosie onderhevig is en de noordwestzijde aangroeit. De totale oppervlakte van De Hors is, met name door de erosie van de westzijde, afgenomen met 6% sinds 2006. Daarnaast is voor de afname van de strandvlakte de uitbreiding van de duinen een belangrijke factor.

De centrale eilandkust wordt gekarakteriseerd door structurele erosie. Om dit tegen te gaan zijn er tussen 1959 en 1987 strandhoofden aangelegd aan de zuidwestkust en wordt er sinds 1979 regelmatig zand gesuppleerd. Aan de noordwestzijde van het eiland ligt de Slufter, dit is een 'natuurlijke' opening in de duinen dat in verbinding staat met het Noordzee-getij.

In het noorden bevindt zich de buitendelta van het Eierlandse Gat. Hier is de kust stabiel door de aanleg van de Eierlandse Dam bij het noordwestelijke punt van Texel (in 1995), de bolwerken Eierland (1948) en Robbengat (1956) en strekdammen bij de bolwerken. Langs de kust van Texel ligt de geul het Robbengat, deze heeft een maximale diepte van ongeveer 15 m bij de bolwerken Eierland en Robbengat.



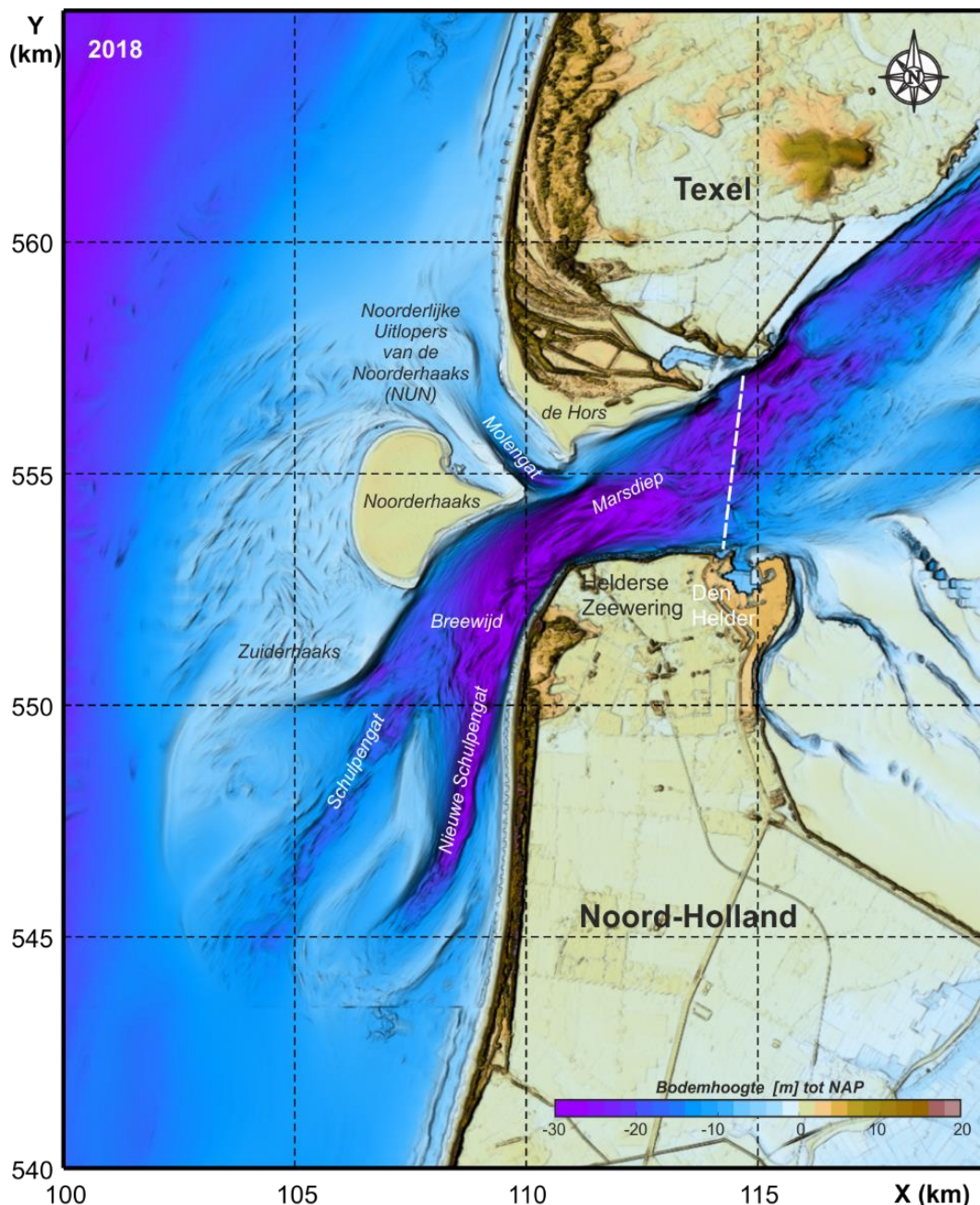
Figuur 6.1 – Samenvatting van het morfologisch systeem bij Texel

6.2 Zeegat van Texel

6.2.1 Algemene kenmerken

Figuur 6.2 geeft een goed beeld van de huidige bodemligging van de buitendelta en de keel van het Zeegat van Texel. De keel van het zeegat, ingesloten door Texel en de kop van Noord-Holland, heeft een minimale breedte van 2,5 km. In de keel ligt de geul Marsdiep. Het getijprisma (de gemiddelde hoeveelheid water die door het zeegat stroomt) is circa 1 miljard m³ met maximale eb- en vloedsnelheden tussen de 1 en 2 m/s. De Helderse Zeewering stabiliseert de zuidelijke oever, de kop van Noord-Holland. Grote stroomsnelheden en versnelling van de stroming om de noordwestelijke punt van de Helderse Zeewering hebben het Marsdiep lokaal tot dieptes van ~50m uitgeschuurd. Deze ontgrondingskuil wordt de Helsdeur genoemd.

Het Marsdiep verbindt de hoofdgeulen in het bekken via het Breewijd met de hoofdgeulen op de buitendelta: Schulpengat en Nieuwe Schulpengat. Tussen de Noorderhaaks en de kust van Texel bevindt zich nog een derde geul: het Molengat. De buitendelta strekt zich ongeveer 10 km zeewaarts en 25 km kustlangs uit. De Noorderhaaks vormt het middelpunt, en tevens het ondiepste gedeelte, van de buitendelta. De oostzijde van de Noorderhaaks bevindt zich tijdens normale omstandigheden boven water en wordt de Razende Bol genoemd. Aan de noordkant bevindt zich een langgerekte zandrug: de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks (NUN).



Figuur 6.2 - Overzicht van de belangrijkste platen en geulen in het Zeegat van Texel (bodem gebaseerd op de 2018 Vaklodingen).

6.2.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling Zeegat van Texel

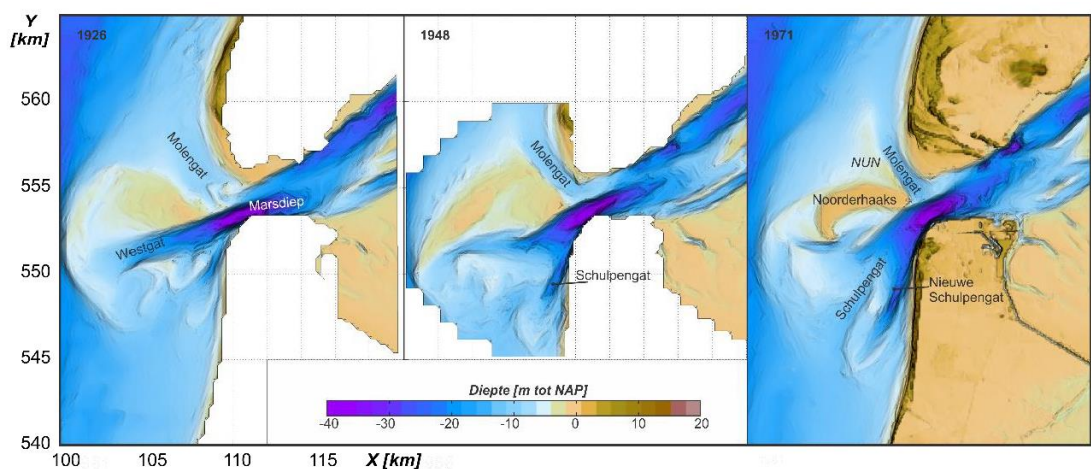
De studies van Elias en Van der Spek (2006,2017) en van Heteren et al. (2006) laten zien dat er vóór afsluiting van de Zuiderzee een stabiele buitendelta bestond die in evenwicht was met de aanvoer en afvoer van zand door getij en golven. Op deze buitendelta vormden zich periodiek banken die naar de kust van Texel opgeschoven om vervolgens te verhelten met het eiland (ruwweg om de 110 jaar).

De afsluiting van de Zuiderzee (1925 - 1932) was van grote invloed op de ligging van geulen en platen op de buitendelta. Vóór de afsluiting bestond het bekken uit de westelijke Waddenzee en de Zuiderzee. Het bekken had een totale oppervlakte van rond de 4000 km² en een lengte van 130 km. Na afsluiting reduceerde dit oppervlak tot ongeveer 712 km² en

een lengte van slechts 30 km. Deze significante inkrimping in bekkenomvang had tot gevolg dat de getijkarakteristieken sterk veranderden. De getijgolf transformeerde van een lopende getijgolf naar een golf met een meer staand karakter. Door resonantie en reflectie tegen de Afsluitdijk nam de getijslag in Den Helder toe van 1,2 tot 1,4 m en de getijprisma's in het Marsdiep vergrootten met ongeveer 26% (Rietveld, 1962; Thijsse, 1972). De verandering van de getijkarakteristieken en getijvoortplanting, de aangepaste bekkengeometrie en het afsluiten van de hoofdgeulen hadden grote sedimentatie in het bekken tot het gevolg (Elias et al., 2012).

In de periode volgend op de afsluiting van de Zuiderzee, tot ongeveer 1975, was de ontwikkeling van Nieuwe Schulpengat en Schulpengat langs de Noord-Hollandse kust maatgevend. Het Schulpengat ontwikkelde zich hierdoor tot hoofdgeul op de buitendelta, terwijl de voormalige westelijk gerichte hoofdgeul (Westgat) verzandde (Figuur 6.3). Rond 1956 splitste het Schulpengat zich op in het huidige twee-geulen systeem bestaand uit het Schulpengat en Nieuwe Schulpengat. Sinds 1975 is deze tweegeulen configuratie vrijwel stabiel aanwezig op de buitendelta (Figuur 6.4).

Voor de kust van Texel zijn de ontwikkelingen van het platengebied Noorderhaaks van belang. Gelijktijdig met de zuidwaartse draaiing van de geulen, zien we dat de Noorderhaaks zich langzaam naar de kust toe beweegt en noordwaarts verlengt. Vóór afsluiting van de Zuiderzee was de Noorderhaaks een gebied waarin de zeewaartse zandaanvoer door het Westgat in dynamisch evenwicht was met het landwaarts zandtransport door golven. Met het verzanden van de voormalige hoofdgeul Westgat reduceerde ook de zandtoevoer naar de Noorderhaaks, waardoor het landwaarts transport door golven dominant werd. De Noorderhaaks migreerde landwaarts en vervormde. De Razende Bol verschoof sinds zijn droogvallen in de jaren '50 al langzaam naar het oosten toe. Aan de noordzijde ontstond een langgerekte zandbank, de NUN. Deze bank is in de bodem van 1971 (Figuur 6.3) al duidelijk terug te zien.



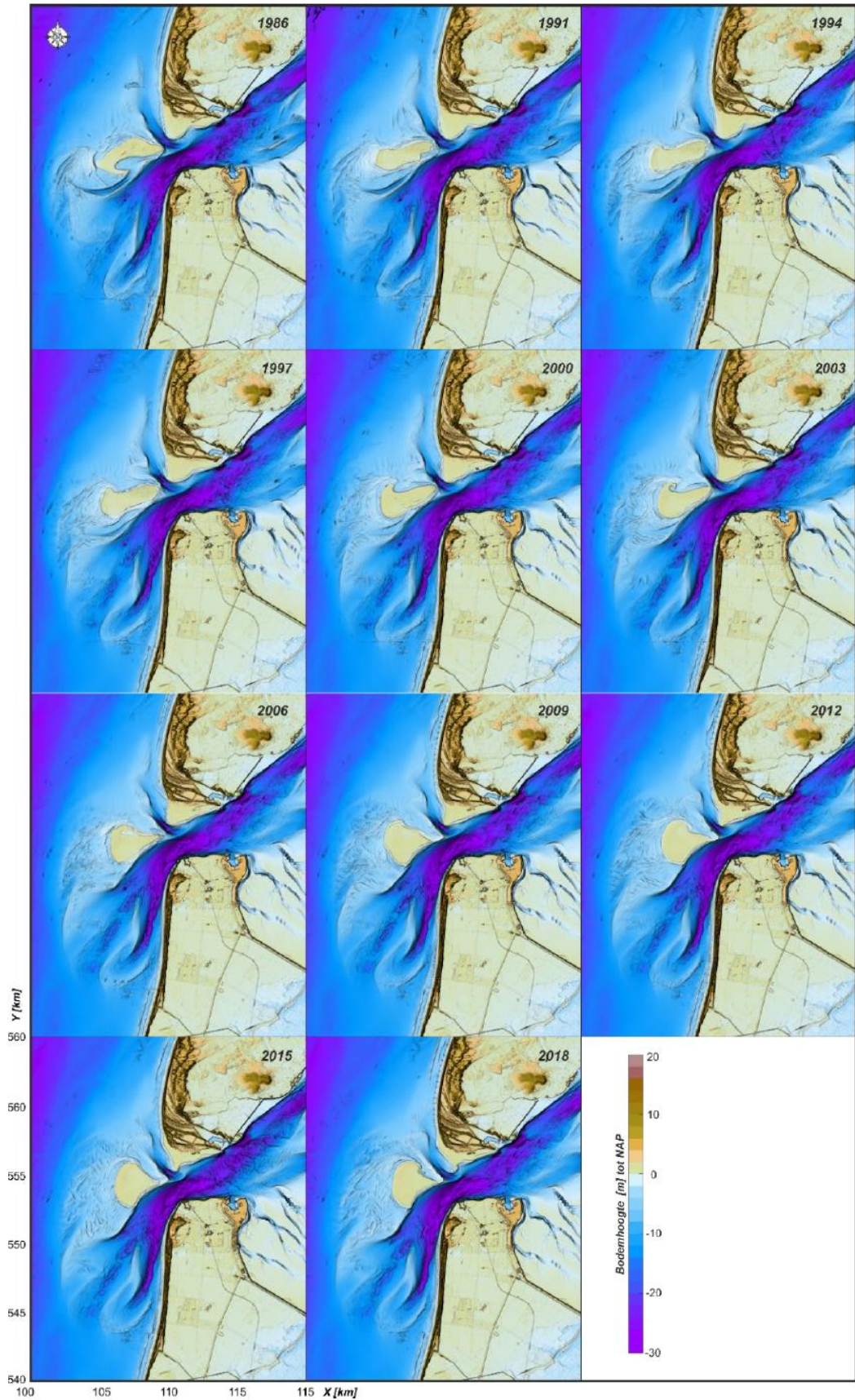
Figuur 6.3 - Ontwikkeling van het zeegat van Texel over de periode 1926 – 1971 (Elias en van der Spek, 2020).

De grootste morfologische veranderingen traden op tot 1975, daarna stabiliseerden de ontwikkelingen. De grote geulen en banken bleven behouden. De landwaartse verplaatsing van de buitendelta ging echter verder en de NUN groeiden steeds verder naar het noorden uit. In het werk van Elias (2006, Hoofdstuk 5 en 6) wordt een uitgebreide beschrijving van de vorming van het Molengat en de aansturende processen gegeven. Zand wordt zowel vanaf de zeezijde als ook door de geul Molengat naar de NUN gevoerd. In de geul zijn deze transporten vooral getij-gedreven. Langs de kust overheersen transporten door de vloed

welke in de richting van het zeegat en De Hors gaan, terwijl langs de NUN de zee- en noordwaarts gerichte transporten door de eb-stroming en de golven overheersen.

Ten noorden van De Hors overheerst de erosie van de kustlijn. De landwaartse verplaatsing van de NUN drukt het Molengat de kust van Texel in, waardoor er grote zandverliezen optreden en regelmatig zand gesuppleerd moet worden. De Hors blijft in deze periode echter goed behouden. Het Molengat wordt hier wel steeds dieper en smaller maar blijft stabiel in positie liggen. In de periode 1991-2003 heeft zich blijkbaar een evenwicht gevormd waardoor zowel de geul als De Hors stabiel blijven.

Recent is dit evenwicht verstoord, in de periode 2006-2018 doen zich grote veranderingen voor op de Noorderhaaks, het Molengat en De Hors. Tussen het Molengat en de Noorderhaaks vormt zich een nieuwe vloedgeul waardoor de afstand tussen Noorderhaaks en De Hors juist toeneemt. Dit is een duidelijke trendbreuk met voorgaande ontwikkelingen (het dieper en smaller worden van het Molengat door landwaartse verplaatsing van de NUN). Het Molengat vertoont sindsdien een duidelijke verondieping en verflauwing van de geulwand ter plaatse van de Hors. In paragraaf 6.2.3 wordt de ontwikkeling van kustzone van de Hors in meer detail beschreven.



Figuur 6.4 - Overzicht van de Vaklodgingen over de periode 1986-2018. De Vaklodgingen beslaan het natte deel, het droge strand en de eerste duinenrij(en). Het overige deel van het vasteland is ingevuld met het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) 2017.

Netto sedimenttransporten rond Texel

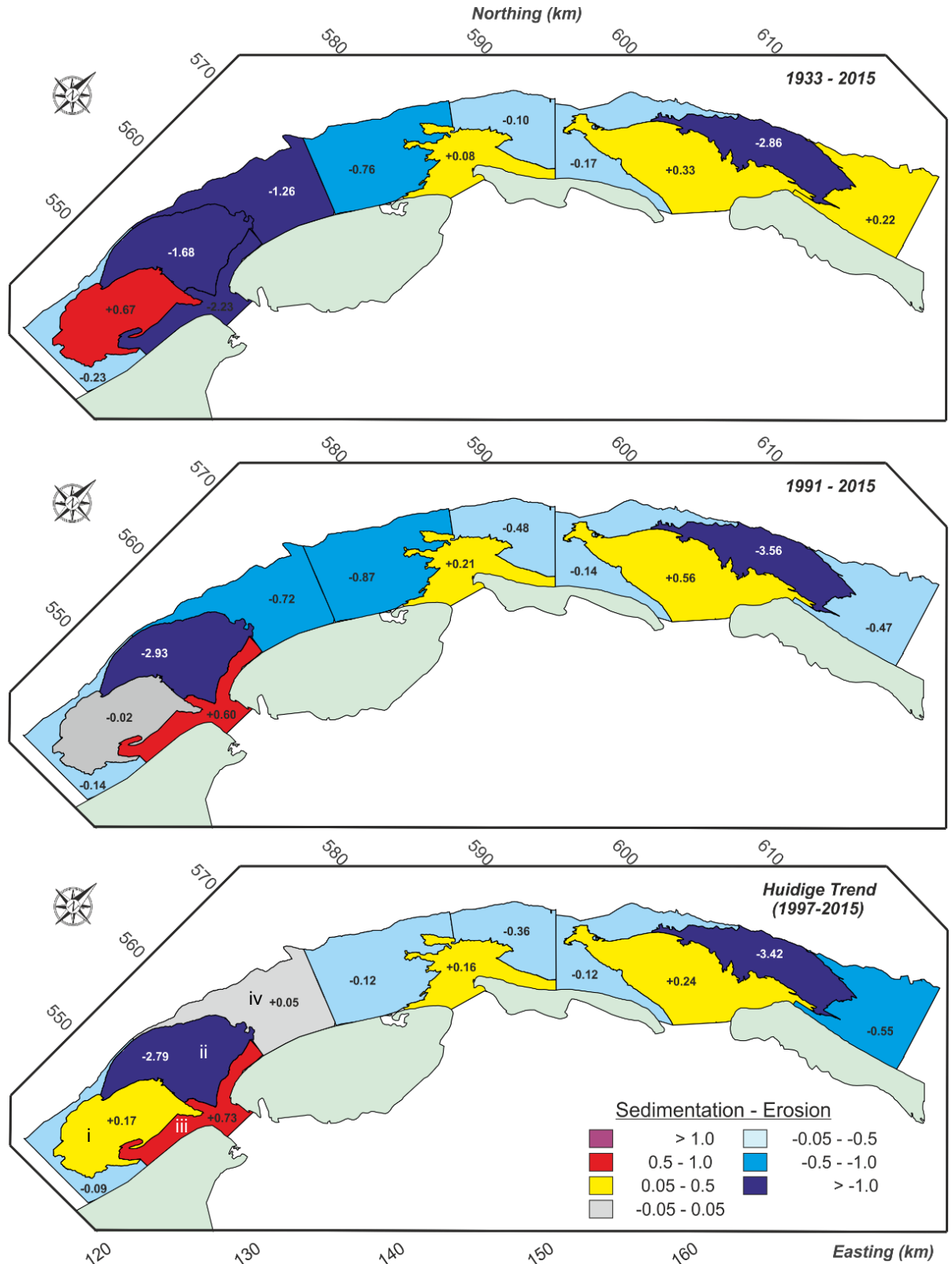
Netto sedimenttransporten worden afgeleid van sedimentbalansen. Bodemopnames van opeenvolgende jaren worden vergeleken en op basis van de volumeveranderingen worden conclusies getrokken over netto transporten in en uit een kustvak of ander deel van het sedimentsysteem. In Elias (2018, 2019) is een zandbalans van de Waddenzee gevormd door middel van een schatting van de volumeveranderingen op lange termijn en voor de huidige trends, gebaseerd op een trendlijnanalyse. Hieronder worden de resultaten van de berekend trends in volumeontwikkeling en transporten voor de kustzone bij het Zeegat van Texel gegeven, meer informatie over resultaten van het bekken en een gedetailleerde beschrijving van de methode zijn te vinden in Elias (2019).

In Figuur 6.5 vat de volumeontwikkelingen in de Westelijke Waddenzee samen. Voor de interpretatie zijn hier de detailpolygoon (zie Bijlage B) terug gegroepeerd in grotere representatieve gebieden. Op de lange termijn overheerst erosie in het deelgebied Marsdiep (Figuur 6.5 A, gebied iii). Alleen het zuidelijke (zeewaartse deel van de buitendelta, gebied i) neemt in volume toe. Zowel de buitendelta en de kustzones verliezen hier sediment. Deze erosie neemt af van totaal ca. $-4.7 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ voor de lange termijn (Figuur 6.5 A, gebieden i t/m iv) tot totaal ca. $-1.9 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ voor 1997-2015 (Figuur 6.5 C, gebieden i t/m iv). De grootste verschillen in de trends doen zich voor in de hoofdgeulen. Deze werden initieel veel dieper, maar tegenwoordig zijn deze stabiel. Het zuidelijke deel van de buitendelta vertoont sinds 1991 vrijwel geen verandering. De trend over de periode 1997-2005 van ca. $-1.9 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (niet weergegeven in de figuren) komt goed overeen met de schatting van $-2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ uit Elias en Van der Spek (2017). Zij concludeerden dat er sinds 2001 een stabilisatie van de het zuidelijke deel van de buitendelta optreedt. De grootschalige zandsuppleties compenseren hier waarschijnlijk de natuurlijke zandverliezen.

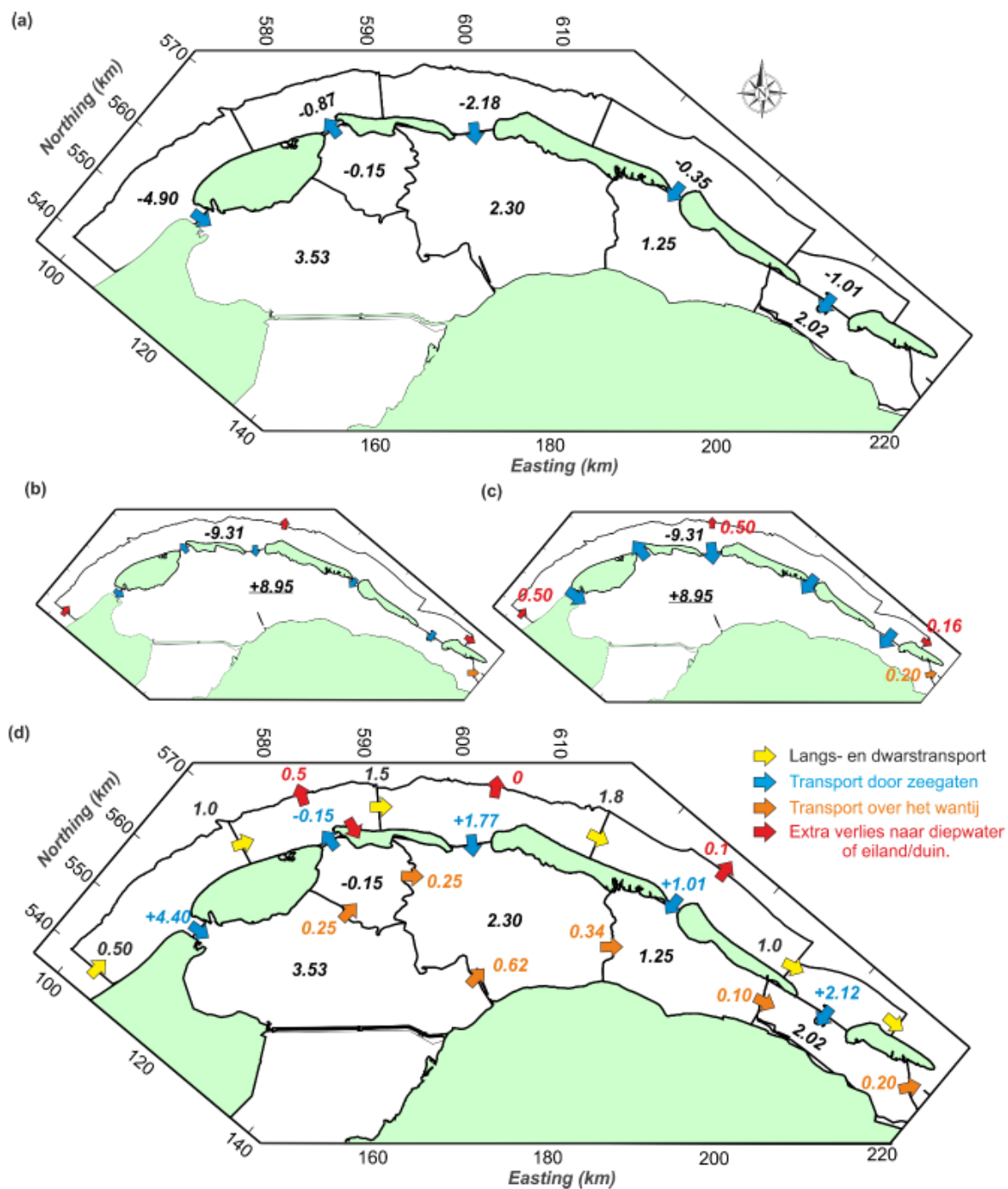
De buitendelta (Noorderhaaks) blijft zand verliezen met een snelheid van ongeveer $3.00 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, Figuur 6.5 B en C gebied ii. Op lange termijn is deze waarde lager ($1.68 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, Figuur 6.5 C gebied ii), wat zou impliceren dat de erosie sterk toegenomen, maar waarschijnlijk speelt hier de meetnauwkeurigheid een rol. Opmerkelijk zijn de grote verliezen van de benedenstroomse kustzone (het deel buiten de buitendelta, gebied iv) die op de lange termijn veel groter (factor 3) zijn dan de recente trends, vergelijk $-1,26 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ in Figuur 6.5 A met $+0,05 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ in Figuur 6.5 C. Een soortgelijke observatie kan ook gemaakt worden in de kustzone van het Eierlandse Gat. Een nadere inspectie van de tijdseries geeft eigenlijk geen onrealistische trends. Initieel vond er vooral een grote erosie plaats langs de kust van Texel (deelpolygoon 16, Bijlage B). Dit is in overeenstemming met de historisch geobserveerde grote erosie van de kust. Deze erosie is sterk afgenomen en in de meer recente data overheerst een trend van sedimentatie. Deze wordt mede veroorzaakt door de vele suppleties. De grote veranderingen van de buitendelta kunnen zeker bijgedragen hebben aan de erosie van de naastgelegen polygoon.

Schatting van de lange-termijn zandtransporten door het Zeegat van Texel (Figuur 6.6) zijn rechtstreeks gecorreleerd aan het zandaanbod van de kustzone. Hierin is aangenomen dat er $0.5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ binnenkomt langs de kust van Noord-Holland. Op basis van literatuur en de geobserveerde bodemveranderingen worden de transporten langs de kust van Texel geschat op $1.0\text{-}1.3 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Dit geeft dan een geschat transport door het zeegat van $4.0\text{--}4.4 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Deze import is groter dan wat we in het bekken terugvinden. Aan de grote aanzanding van de Vlakte van Oosterbierum (onderdeel van het zeegat van het Vlie) draagt import door het zeegat van Texel vermoedelijk bij. Dit wordt geschat op ongeveer $1.0 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Zandimport van $4.4 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ sluit hier goed op aan. Dit geeft verder een transport over het wantij van $0.9 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, waarbij we er van uit gaan dat $0.25 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ uitwisselt via het Eierlandse Gat en $0.6 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ rechtstreeks. In bovenstaande bewerking is geen rekening gehouden met het slibpercentage in de volumebalans. Doordat de transporten door

het Marsdiep in essentie gebaseerd zijn op de uitwerking vanuit de kustzone, heeft het slibpercentage in het bekken geen directe invloed op de zandtransporten door het Marsdiep.



Figuur 6.5 - Een samenvatting van de trends (in $Mm^3/jaar$) in de kustzone van de Westelijke Waddenzee voor de periode: (a) 1933-2015. (b) 1991-2015 en (c) 1997-2015. Elias (2019)



Figuur 6.6 - Een overzicht van het grootschalige zandbalansmodel representatief voor de langetermijntrends; (a) berekende volumeveranderingen gecorrigeerd voor ingrepen, (b + c) zandbalansmodel op Waddenzee schaal, (d) uitwerking zandbalansmodel Waddenzee op schaal van de zeegaten.

6.2.3 Morfologische ontwikkeling bij de Hors

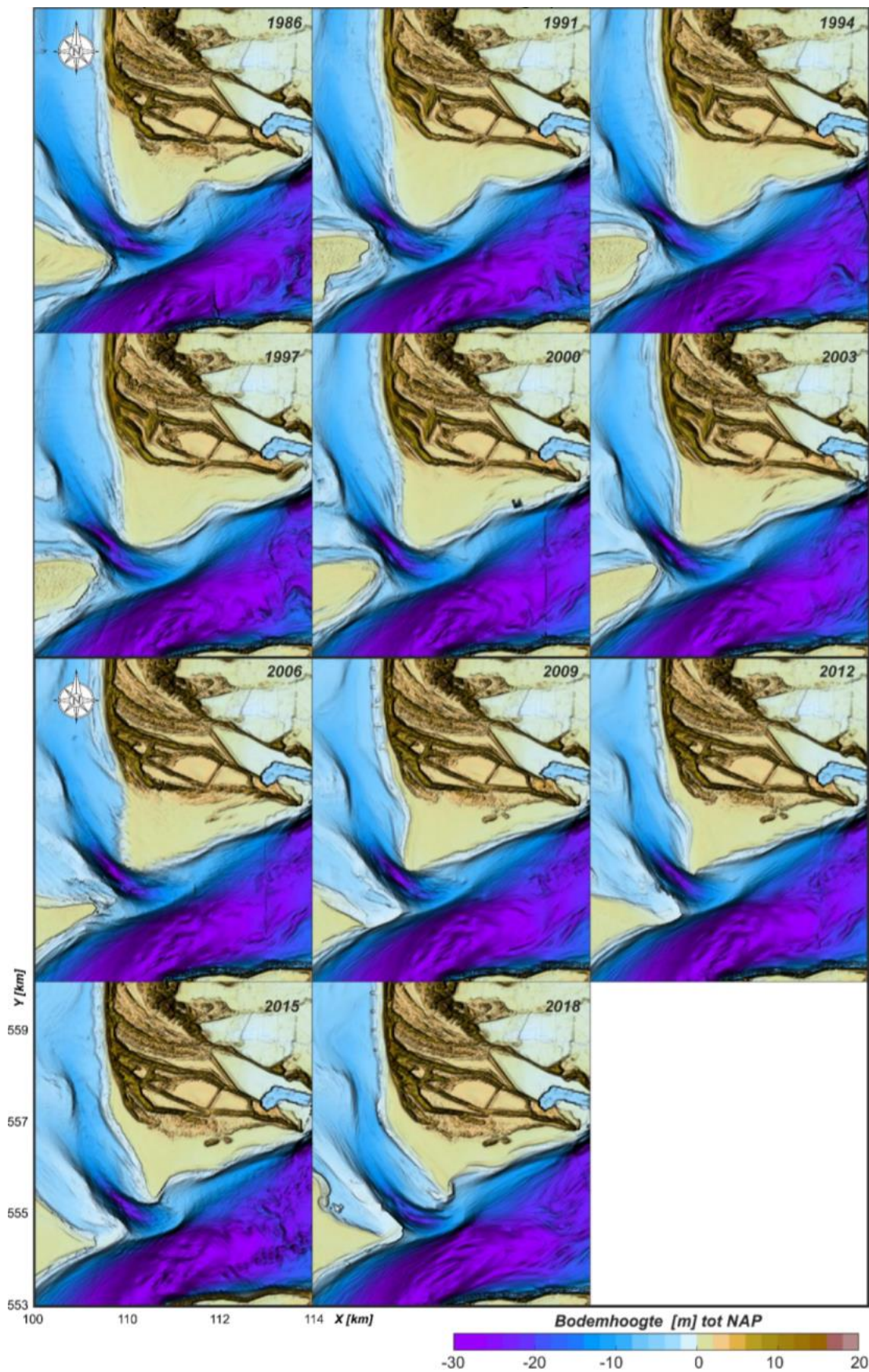
Lange tijd was er een soort evenwicht tussen Hors, Molengat en Noorderhaaks, waardoor een stabiel systeem ontstond (Figuur 6.7). Dit evenwicht is sinds 2006 verstoord en de ligging van Molengat en Noorderhaaks veranderen sterk. Deze ontwikkelingen zorgen er voor dat vooral de zuidwestzijde van De Hors aan sterke erosie onderhevig is en de noordwestzijde aangroeit. In Elias en Van der Spek (2020) zijn de veranderingen van De Hors in kaart gebracht door een gedetailleerde analyse van de morfologische veranderingen op basis van laser altimetrie (LIDAR), Vaklodingen en JarKus data.

Figuur 6.8 vat de geobserveerde ontwikkelingen rondom de Hors samen. Aan de westzijde vertoont de noordelijke helft aangroei (zone a) terwijl het zuidelijke gebied zich sterk terugtrekt (zone b). De uitbouw in zone a hangt samen met de ontwikkeling van de voorliggende NUN. In zone b is de kustlijn met meer dan 500m teruggetrokken. Dit wordt veroorzaakt door de verandering van het Molengat van een diepe, smalle geul naar een brede ondiepe geul, zie raai 700 in Figuur 6.9.

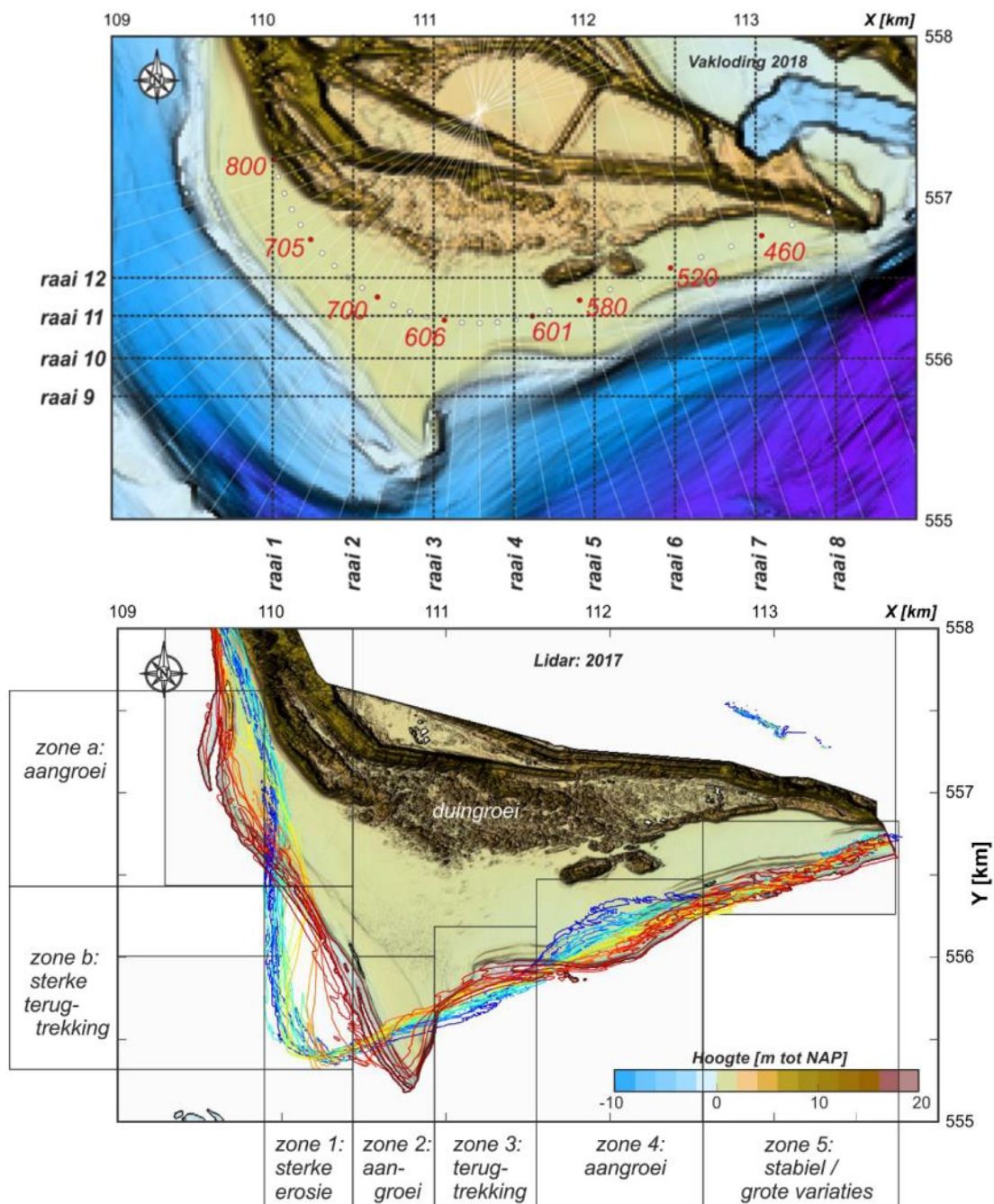
De ontwikkelingen aan de zuidzijde verschillen. De meest westelijke zone 1 (Figuur 6.8) vertoont een sterke erosie. De punt van De Hors verplaatst oostwaarts, waardoor de kustlijn in zone 2 uitbouwt. De zuidoostzijde van De Hors blijft relatief stabiel in positie, er is blijkbaar voldoende sedimentaanvoer om de punt van De Hors heen om dit strand te behouden. Gebieden met erosie en sedimentatie wisselen hier af, te zien aan de opeenvolging van kustlijnen een golvende kustlijnform met een kleine terugtrekking in zone 3 en aanzanding in zone 4 (Figuur 6.8). Het meest oostelijke deel (zone 5) vertoont geen trendmatig ontwikkeling maar laat een variërende kustlijnpositie zien. Het ontstaan en aanlanden van zandbanken leidt tot fluctuaties in de bodemligging van de ondiepe kustzone, zie Figuur 6.10. Deze banken bevinden zich in een zone van zo'n 30 m tussen 0 m en 0.5 m NAP. Doordat deze banken iets hoger liggen dan de omliggende vlakke, kan het (tijdelijk) verdwijnen van de banken het beeld oproepen van grootschalige erosie van de oostzijde van De Hors. De strandvlakte zelf neemt hier wel in breedte af. Dit komt enerzijds doordat nieuw duinareaal vormt aan de landzijde en anderzijds door bankverplaatsingen aan de zeezijde.

De erosie van de westzijde zorgt ervoor dat De Hors in totaal iets in oppervlakte afneemt ($0,02 \text{ km}^2/\text{jaar}$, zie Figuur 6.11). De strandvlakte van De Hors neemt echter veel sterker af (met $0,05 \text{ km}^2/\text{jaar}$). Dit verschil wordt veroorzaakt door aangroei van de duinen aan de noordzijde. Het oppervlakte van de strandvlakte is daardoor sinds 1997 met 18% afgenomen. De gemiddelde hoogte van de strandvlakte blijft over de gehele periode vrijwel gelijk. Hierin is geen significante verlaging te observeren. Kijken we naar het totale volume dan zien we echter een tegenovergestelde trend. Het zandvolume van de gehele Hors neemt toe met $0,40$ miljoen m^3/jaar . Deze toename komt geheel voor rekening van de duinen.

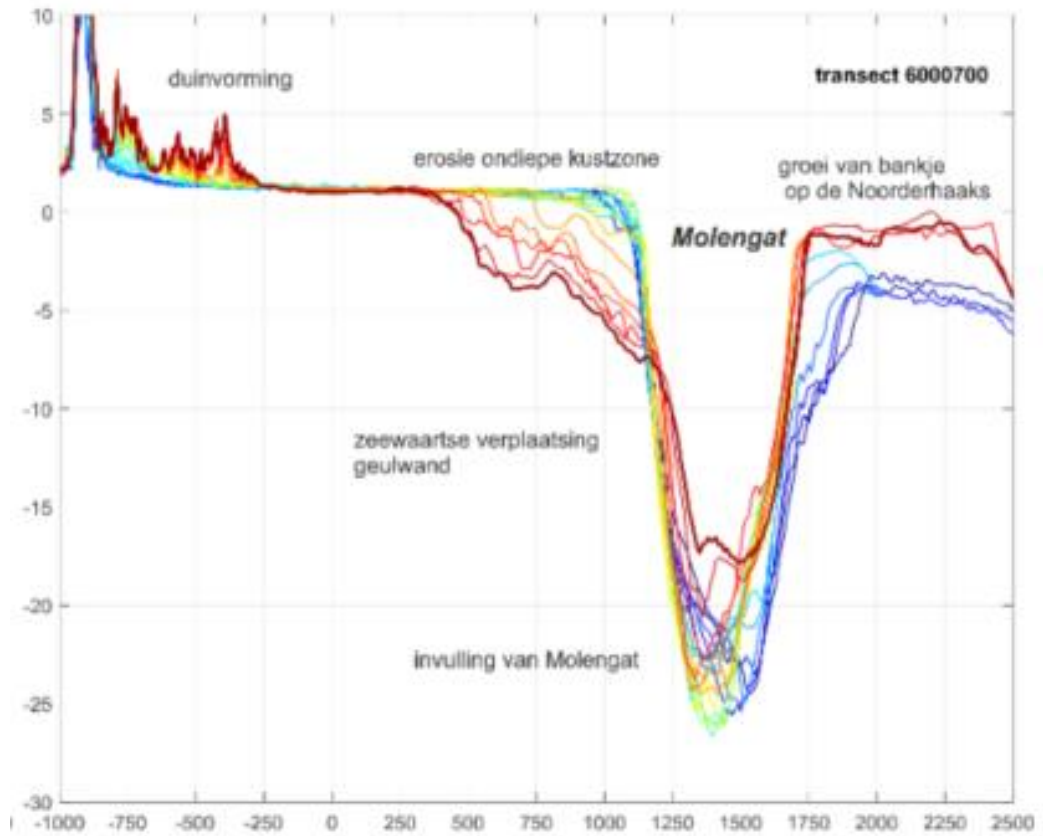
De toekomst van De Hors hangt samen met het evenwicht dat zich uiteindelijk tussen Molengat en Noorderhaaks zal instellen. In een nieuwe evenwichtssituatie kan het mechanisme van sediment-bypassing misschien hersteld worden, waardoor plaataanlandingen dan weer mogelijk zijn. Zo'n evenwicht lijkt zich op korte termijn (orde 5-10 jaar) zeker niet te vormen. Het is waarschijnlijk dat de huidige ontwikkelingen van De Hors zich nog over langere tijd gaan doorzetten. De berekende trendlijnen voor oppervlakte, volume en gemiddelde hoogte over de afgelopen jaren vrijwel lineair. Voortzetting van deze trends lijkt het meest waarschijnlijk en geeft dan ook de beste schatting van de ontwikkelingen voor de komende 5 jaar. Op nog langere termijn zullen de verliezen van De Hors naar verwachting wel afnemen naarmate de kustlijn dichterbij evenwicht komt. Op die termijn geeft een extrapolatie van de huidige trends waarschijnlijk een overschatting van de veranderingen. Een stabilisatie van De Hors op de middellange termijn is op zich ook mogelijk. Rijkswaterstaat suppleert het strand regelmatig ter hoogte van paal 9 (zie H7). Dit sediment zal door de getijstrooming richting De Hors verplaatsen waardoor het sedimentaanbod toeneemt. Dit kan bijdragen tot afname van de verliezen en op den duur stabilisatie.



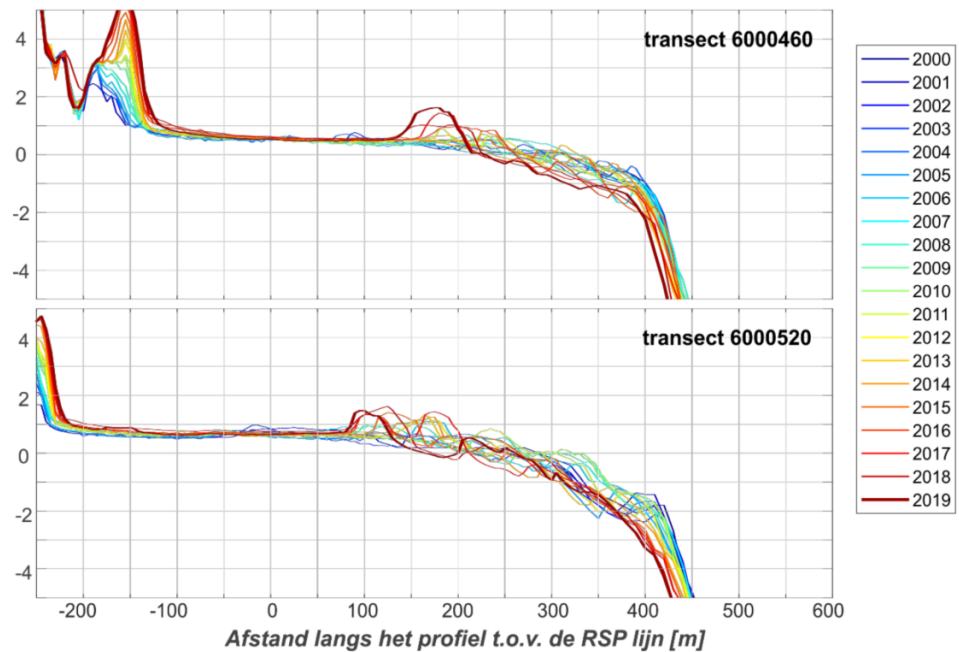
Figuur 6.7 - Vormverandering van De Hors over de periode 1986-2018 op basis van de Vaklodingen. Elias en van der Spek (2020)



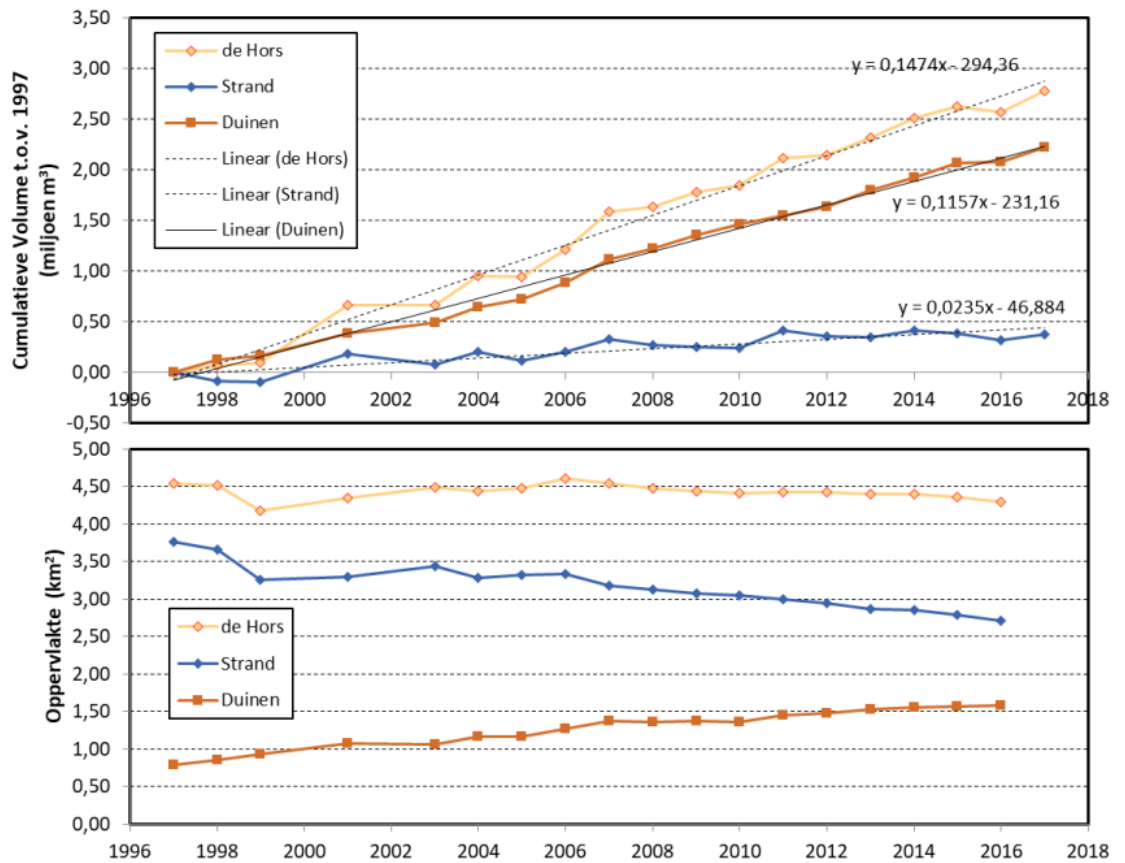
Figuur 6.8 - Een overzicht van de ligging van de JarKusraaien (boven) en verandering in kustlijnligging over de periode 1997-2017 . en onderverdeling van De Hors in gebieden met verschillend morfologisch gedrag (onder). Elias en van der Spek (2020)



Figuur 6.9 De ontwikkeling van de westzijde van De Hors aan de hand van de Jarkus raai 700 over de periode 2000-2019



Figuur 6.10 Een detailbeeld van de ontwikkeling van Jarkusraaien 460 en 520, Elias en van der Spek (2020)

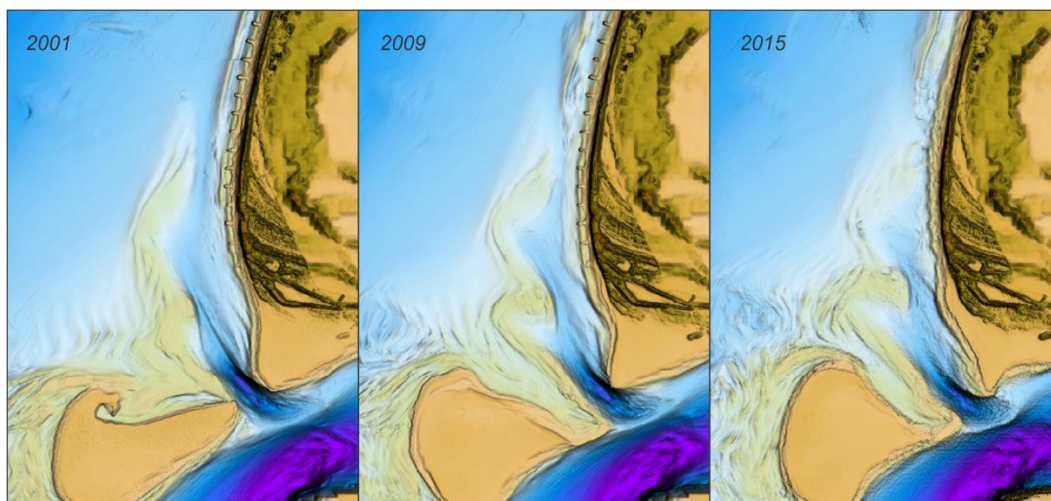


Figuur 6.11 - Een overzicht van de volumeontwikkeling (boven, en de ontwikkeling van het oppervlakte (midden) van De Hors, de strandvlakte van De Hors (tussen de -0,5m en +1,5m) en de duinen (> 1,5 m) op basis van de Lidar metingen. Elias en van der Spek (2020)

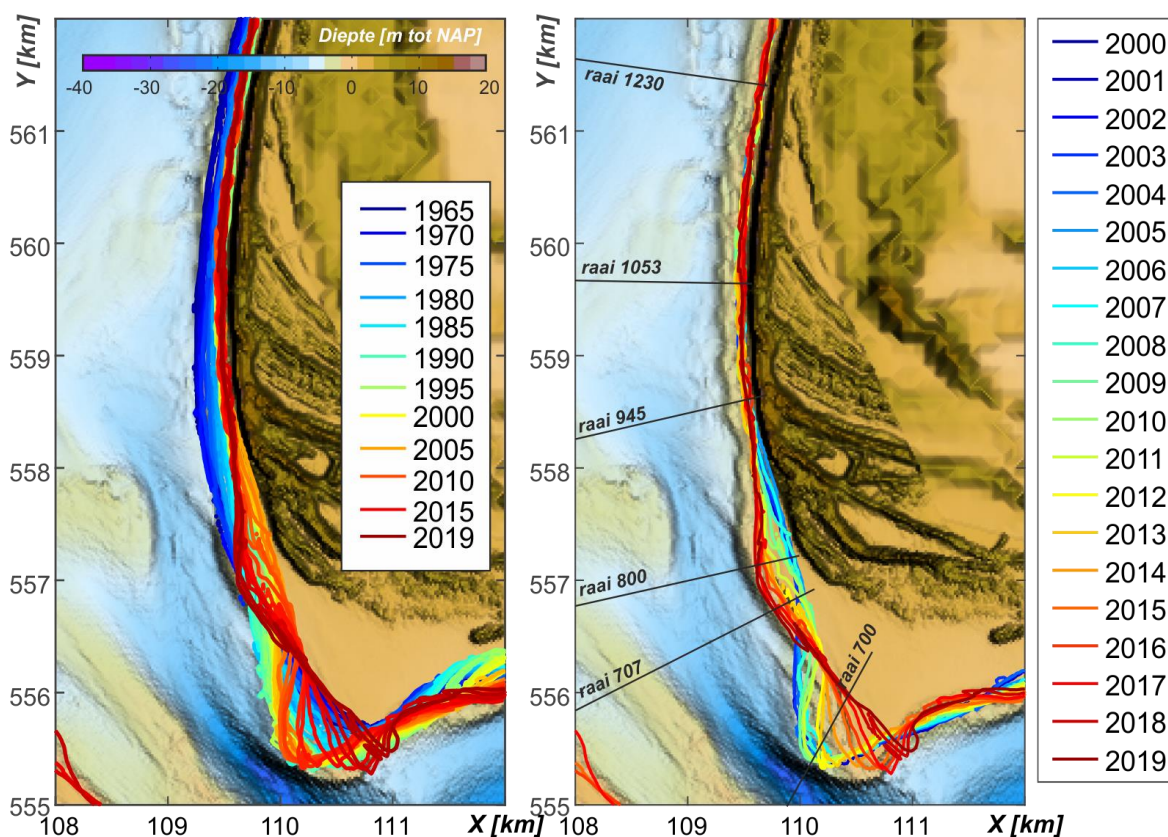
6.2.4 Opdringen van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks (NUN)

Het noordelijke gedeelte van de buitendelta van het Zeegat van Texel bestaat uit 2 belangrijke morfologische eenheden. De NUN en de geul Molengat. Zoals eerder beschreven in paragraaf 6.2.2 is de NUN sterk gegroeid na afsluiting van de Zuiderzee (1932). Na een initiële sterke groei en kromming (1933 - 1991) was het de verwachting dat de NUN zich met de kust van Texel zou verhelen. Deze verheling bleef echter lange tijd uit. Vooral gedurende de periode 1991-2003 bleef de geul-plaat configuratie opmerkelijk stabiel. Sinds 2006 treedt er een duidelijke, doorgaande vervorming van de NUN en ook van De Hors op (Figuur 6.12). In de opname van 2015 is er van een doorgaande geul tussen de kust van Texel en NUN eigenlijk al geen sprake meer. De noordelijke punt van de NUN is dan vastgegroeid aan de kust ter hoogte van Raai 1053 (Figuur 6.13), en vormt een ondiep platform op een diepte van ongeveer -5 m NAP.

De ontwikkeling van de Noorderhaaks en van het Molengat hebben grote gevolgen voor de aanliggende kustlijn (Figuur 6.13). De kustlijn wordt hier dan beschermt door strandhoofden (1959-1987 aangelegd), die niet in staat zijn de erosie volledig te stoppen. De kustlijn is tussen 1965 en 1990 nog zichtbaar teruggetrokken (Figuur 6.13, links). Vanaf 2000 lijkt de terugtrekking beperkt (Figuur 6.13, rechts).



Figuur 6.12 – Opdringen van de NUN, vakldingen voor jaren 2001, 2009 en 2015.



Figuur 6.13 - Ontwikkeling van kustlijn (0m contour) over de periode 1965-2019 (links) en 2000-2019 (rechts).

Er is een conceptueel model van de dominante processen langs de (zuidwestelijke) eilandkust opgezet in Elias (2020), en wordt hieronder beschreven. Dit conceptueel model volgt uit het onderzoek naar kustfundamentalsuppleties op eilandkoppen dat binnen KPP B&O Kust wordt uitgevoerd.

De beschrijving van het conceptuele model van de NUN bestaat uit 2 delen. Ten eerste introduceren we het conceptuele model van Cleveringa (2001). Dit is weergegeven in Figuur 6.14 deelfiguur (a). In het model van Cleveringa (2001) worden een viertal gebieden met verschillend gedrag en onderliggende processen. Het model van Cleveringa beschrijft de processen zoals die optreden voor 2000, maar op hoofdlijnen zal dit model ook voor de

huidige situatie geldig zijn. Voor de volledigheid wordt het model van Cleveringa (2001) hier kort beschreven (in Figuur 6.14 a):

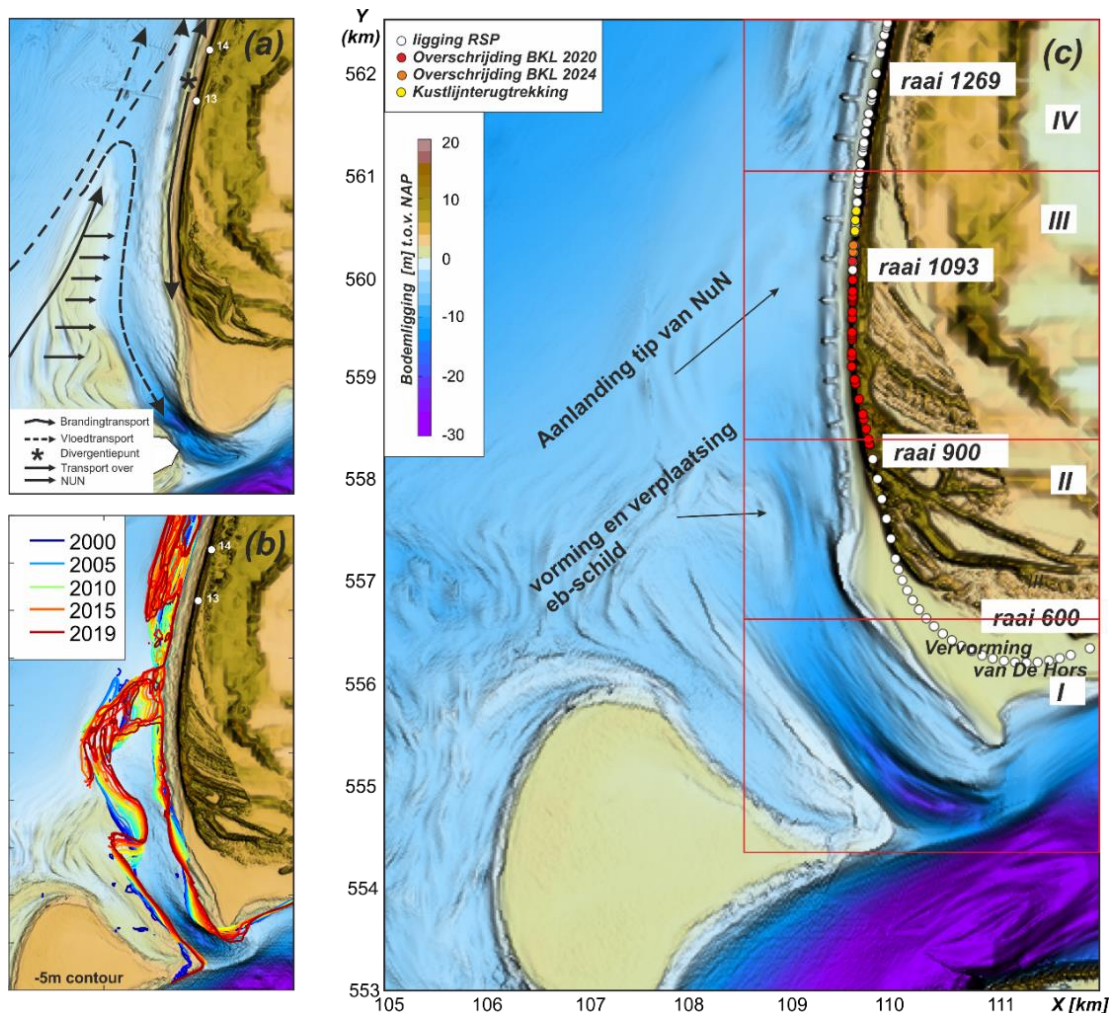
(1). Druk op de kust door het Molengat

In eerdere onderzoeken naar de oorzaken van de erosieproblemen bij zuidwest Texel is er altijd vanuit gegaan dat de druk van het Molengat op de kust een zeer belangrijke rol speelt. De druk op de kust door het Molengat is niet het gevolg is van de doorgaande zandtransporten door het getij. De druk op de kust wordt veroorzaakt door de verplaatsing van de gehele geul naar het oosten en deze verplaatsing wordt veroorzaakt door het zandtransport vanaf de NUN naar de kust van Texel. Dit zandtransport over de Noordelijke uitlopers wordt veroorzaakt door golfwerking in combinatie met de vloedstroom.

(2). Golfgedreven zandtransport naar het noorden én het zuiden.

Langs de kust van zuidwest Texel vindt golfgedreven zandtransport plaats. De richting van dit transport wordt bepaald door de richting die de golven hebben ten opzichte van de kustlijn. De richting van de golven in het gebied wordt bepaald door de golfrichting op de Noordzee en door de afbuiging van golven als ze zich voortplanten over de ondieptes zoals de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks. De kustlijn van zuidwest Texel is bol. De combinatie van afbuiging van golven over de buitendelta met de bolle kustlijn van zuidwest Texel levert gemiddeld over het jaar zandtransport naar het noorden ten noorden van strandpaal 13 tot 14 en naar het zuiden ten zuiden van strandpaal 13 tot 14 (Steijn en Jeuken, 2000). Van strandpaal 13 tot 14 ligt dus een splitsingspunt of divergentiepunt in het brandingstransport. De consequentie van een dergelijk divergentiepunt is dat er rond dit gebied alleen zand verdwijnt met het brandingstransport en er niets wordt aangevoerd. Met andere woorden, er vindt bij het divergentiepunt erosie plaats. De ligging van het divergentiepunt is mede afhankelijk van de afbuiging van de golven over de Noordelijke uitlopers. Met de uitbouw van de Noordelijke uitlopers naar het noorden is ook het divergentiepunt naar het noorden opgeschoven.

Zeewaarts van de zuidwest Texel vindt langs de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks brandingstransport naar het noorden plaats. Ook vindt over de Noordelijke uitlopers zandtransport plaats door de getijdestromingen. Het netto resultaat van het brandings- en getijdetransport over de Noordelijke uitlopers is zandtransport naar het noorden. Dit noordwaartse zandtransport leidt tot doorgaande uitbouw in noordelijke richting, langs de kust van Texel. Hoewel dit zandtransport naar de kust van zuidwest Texel is gericht, komt het zand niet ten goede aan de eilandkust. Het Molengat scheidt de noordelijke uitlopers van de kustlijn en voorkomt (dwars)transport van zand van de NUN naar de kust.



Figuur 6.14 - Conceptueel sedimenttransport model van de kust van zuidwest Texel. (a) "Historische ontwikkeling" gebaseerd op Cleveringa (2001). (b). Samenvatting van de huidige ontwikkelingen op basis van de -5m contour over de periode 2000-2019 en (c) Conceptuele beschrijving van de veranderingen voor het huidige gedrag. Let op: Figuur a heeft de 2001 bodem als achtergrond. Deze bodem is nog representatief voor het model van Cleveringa. Figuren b en c hebben de meest recente (2015 bodem als achtergrond).
Bron: Elias (2020)

(3). Zandtransport naar het noorden en het zuiden door een stuwpunt in de vloedstroom.

In het Molengat loopt de stroming met vloed naar het zuidoosten in de richting van de Waddenzee. Langs de buitendelta en langs de eilandkust is de vloedstroom naar het noorden gericht. Ter hoogte van strandpaal 11 verdwijnt een deel van de vloedstroom het Molengat in en stroomt de rest door langs de eilandkust. Rond strandpaal 11 ligt dus een splitsingspunt in de vloedstroom (Steijn en Jeuken, 2000). Ten zuiden van dit splitsingspunt, of "stuwpunt" wordt zand door de getijdestromingen naar het zuidoosten getransporteerd en ten noorden wordt zand langs de kust naar het noorden getransporteerd. Rond strandpaal 11 wordt dus alleen zand afgevoerd door de vloedstroom, er vindt geen aanvoer plaats. Er vindt bij strandpaal 11 dus erosie plaats door de vloedstroom. Dit stuwpunt in de vloedstroom ligt iets ten zuiden van het divergentiepunt in het brandingstransport. Overigens gebeurt tijdens eb het omgekeerde, er bevindt zich dan een punt waar de ebstroom naar het noorden uit het Molengat de ebstroom naar het zuiden langs de eilandkust tegenkomt, ter hoogte van strandpaal 12. Bij dit convergentiepunt wordt door de ebstroom zand aangevoerd en dit leidt waarschijnlijk tot sedimentatie. Er vindt in het gebied van strandpaal 11 tot 14 dus erosie

plaats door het brandingtransport en is ook een mogelijke erosie door de vloedstroom, hoewel niet duidelijk hoe die zich verhoudt tot de sedimentatie door de ebstroom.

Een aanvullend begrip van het systeem kan worden verkregen uit het werk van Elias (2006, Hoofdstuk 5 en 6). In deze studie wordt een uitgebreide beschrijving van de vorming van het Molengat en de NUN gegeven en de onderliggende maatgevende processen. Sedimenten worden zowel vanaf de zeezijde alsmede door de geul Molengat naar de NUN gevoerd. In de geul zijn deze transporten vooral getijgedreven. Langs de kust overheersen de vloed (naar het zeegat toe) gedomineerde transporten, terwijl langs de NUN de ebdominante (zee- en noordwaarts gerichte) transporten overheersen. Het is waarschijnlijk dat deze ebdominante transporten een belangrijke rol spelen in de stabiliteit van de NUN en het Molengat. Deze transporten verhinderen landwaartse verplaatsing van de spit onder invloed van golven, door het noordwaarts verplaatsen van het opgewoelde sediment. De stabiliteit van geul en spit geven aan dat hier een balans tussen landwaarts en noordwaarts transport bestaat. Modelsimulaties laten zien dat tijdens stormen de landwaartse transporten overheersen over de getijdgedreven langstransporten, terwijl gedurende kalme omstandigheden dit omgedraaid is. De getijdgedreven transporten geven dan een zeewaartse uitbouw van de spit.

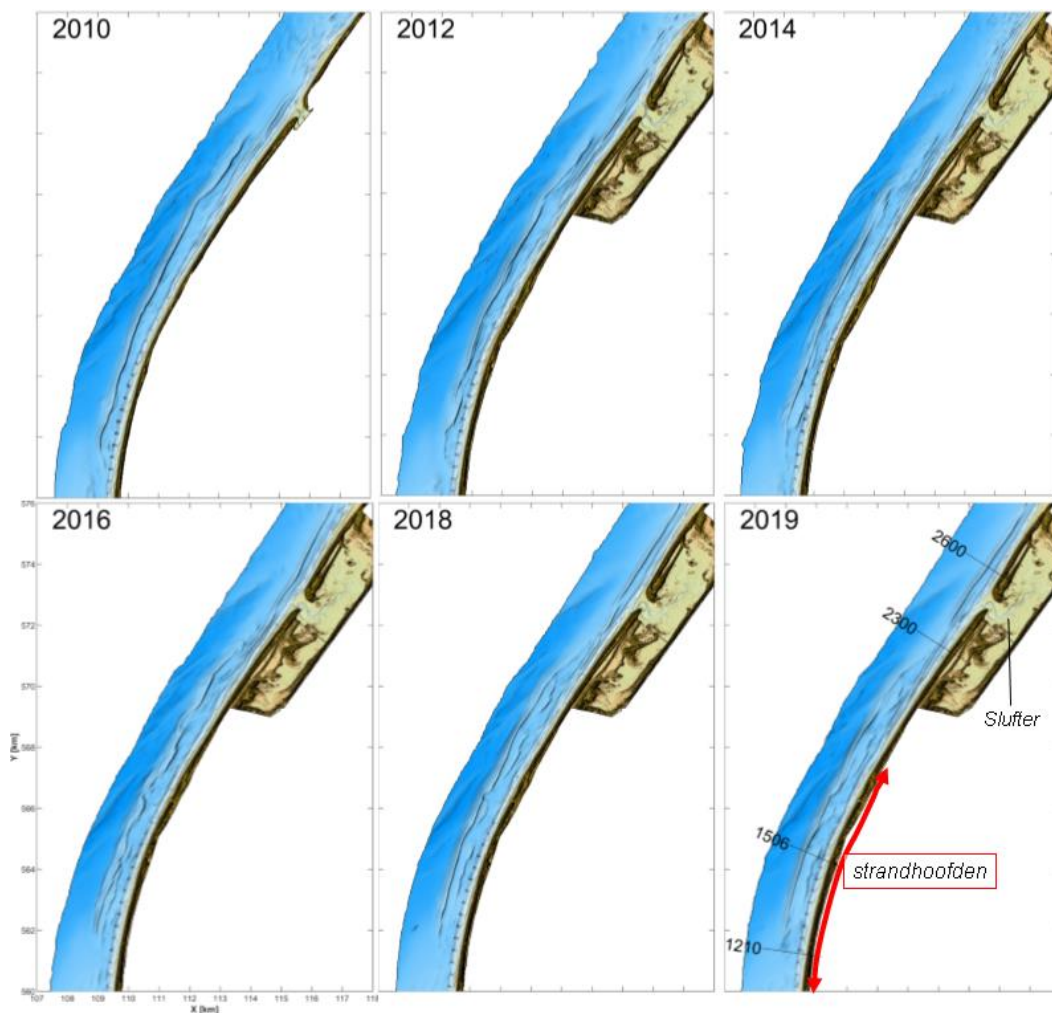
De studie van Elias en van der Spek (2017) geeft een verdere beschouwing van het recente gedrag. Dit is verder samengevat in het conceptuele model (Figuur 6.14c). Het model van Cleveringa (2001) is in de basis ook op de huidige situatie toepasbaar. Wel zien we een paar duidelijke verschillen, waardoor lokaal de kustlijn zich anders vervormt dan vroeger. Zo zien we dat het opdringen van een stabiel Molengat nu niet meer plaatsvindt. Het diepe deel van Molengat is juist sterk aan het invullen. De afgenomen dominantie van Molengat zorgt er vervolgens voor dat de steile geulwand niet gehandhaafd kan worden en de aanliggende (ondiepe) kustzone trekt vervolgens snel terug door verflauwing van de geulwand (Figuur 6.14c, **gebied I**). Dit geeft een grootschalige vervorming van De Hors. Aangrenzend aan dit gebied van erosie, vinden we lokaal een sterke kustvoortuitgang (**gebied II**). Het voorliggende eb-schild bouwt hier sterk uit. Lokaal ontstaat hier een vernauwing waardoor er een geul met steile geulwanden ontstaat. Deze versteilling is in de kustzone te zien als een voortuitgang van de kustlijn. **Gebied III** beschrijft het aanlandingsgebied van de NUN. De aanlanding van de NUN gaat tot nu toe niet gepaard met het direct verhelen van banken (zoals bijv. de Bornrif strandhaak). De NUN neemt eigenlijk langzaam af in diepte en verheelt op een diepte van ongeveer -5 m met de kustlijn. Dit zorgt er voor dat er een ondiepe zone / platform ontstaat en er waarschijnlijk een doorgaande brandingsstroom vanaf de NUN richting de kust van Texel ontstaat. Deze transporten zijn niet voldoende om de grootschalige erosie te compenseren. **Gebied IV** beschrijft het gebied ten noorden van de buitendelta waar structurele erosie van de kust optreedt. Hier heeft zich terug een bank gevormd.

6.3 Centrale eilandkust

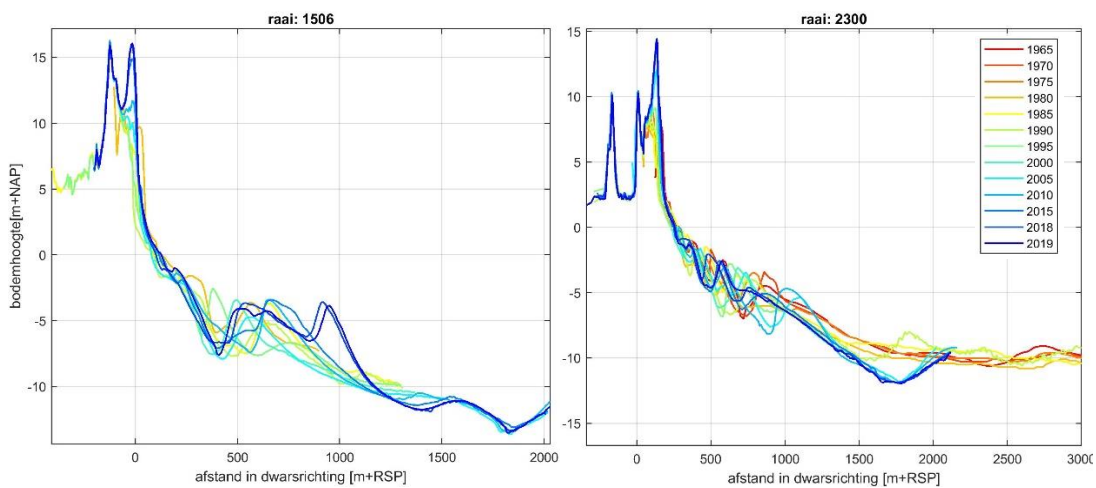
Vrijwel de gehele eilandkust van Texel is aan erosie onderhevig, golfprocessen zijn hier dominant. Met de aanleg van strandhoofden (1959-1987) aan de zuidwestkust tussen raaien 900 en 1800 (zie paragraaf 4.2.1 voor meer informatie) is geprobeerd deze erosie terug te dringen. Daarnaast wordt er regelmatig zand gesuppleerd sinds 1979, zie paragraaf 7.2 voor een overzicht.

De eilandkust wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van een brekerbank (Figuur 6.15). Afhankelijk van het moment van opname is meestal één duidelijke brekerbank te zien, soms twee. Met name in de bankenzone is de variatie in de bodemligging groot. In de 2016 bodem is de vorm van de brekerbank verstoord, wat waarschijnlijk het gevolg is van de vooroerversuppletie in 2015 (raaien 1210 tot 2111).

In de dwarsprofielen van raai 1506 (Figuur 6.16) is variatie in de bankenzone ook goed te zien. Ook is de hoogte van het duin sinds 1995 wel fors toegenomen, waarschijnlijk als gevolg van de windtoevoer van suppletiezand de duinen in. In het gebied rond de Slufter zijn dezelfde fluctuaties in de bankenzone te zien als elders langs de eilandkust (zie raai 2400 in Figuur 6.16). Hier is wel duidelijk ook een aangroeiende trend te zien in de ligging van het duin. Het duin heeft zich op raai 2400 zeewaarts uitgebouwd en is sterk in hoogte toegenomen. Voor de eerste duinenrij heeft zich inmiddels al een nieuwe zeereep gevormd. In het profiel van raai 2400 is deze nieuwe zeereep al duidelijk zichtbaar.



Figuur 6.15 – Bodem ontwikkeling van de centrale eilandkust van Texel tussen 2010 en 2019, gebaseerd op de gegripte JarKus data.



Figuur 6.16 – Dwarsprofielen van raaien 1506 (links) en 2300 (rechts) voor 1965 tot 2020

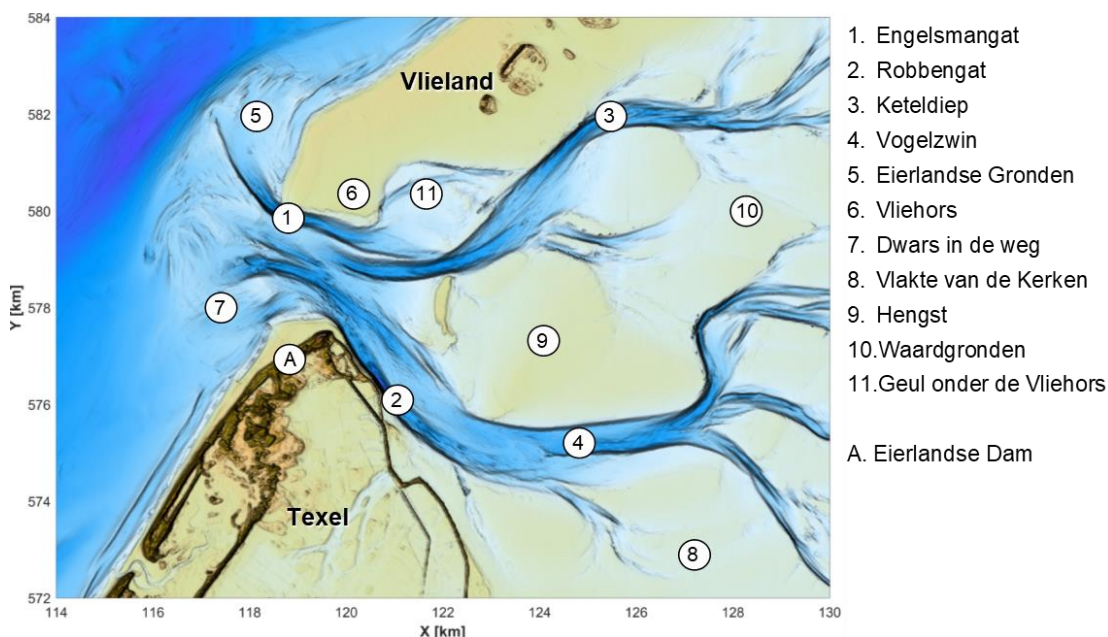
6.4 Eierlandse Gat

6.4.1 Algemene kenmerken

Eierland (zo wordt de staart van Texel nog steeds genoemd) vormt de zuidelijke begrenzing van het zeegat Eierlandse gat (Figuur 6.17). Een recente bodem (2017) van het Eierlandse gat laat de karakteristieken van dit zeegat zien.

Het zeegat bestaat, in de keel, uit twee min of meer gescheiden hoofdgeulen: het Engelmansgat [1] en het Robbengat [2]. Deze geulen worden gescheiden door een ondiepe drempel. Het Engelmansgat heeft een noordelijke ligging en sluit rechtstreeks aan op de geul Keteldiep in het bekken en een kleinere geul langs Vlieland genaamd 'Geul onder de Vliehors' [11]. Langs de kust van Texel ligt het Robbengat [2], deze gaat in het bekken over in het Vogelzwin [4]. Het Robbengat heeft een maximale diepte van ongeveer 15 meter bij de bolwerken Eierland en Robbengat. In zeewaartse richting wordt de diepte van de geul kleiner en waaiert de geul uit over de zuidelijke buitendelta in een serie kleinere geultjes gescheiden door banken. De bepaling van de omvang en het volume van de buitendelta is niet triviaal. Rekenen we Vliehors [6] tot de buitendelta, dan bevindt het grootste zandvolume zich ten noorden van het Engelmansgat [1]. Rekenen we de Vliehors [6] juist bij het eiland Vlieland, dan bevindt het merendeel van het buiten-deltavolume zich in het zuidelijke deel.

De noordwestpunt van Texel wordt beschermd door de Eierlandse dam (1995), zie [A] in Figuur 6.17, de bolwerken Eierland en Robbengat en vele strekdammen. Deze constructies zijn slechts gedeeltelijk te zien omdat ze momenteel worden bedekt door een breed strand. Dit strand is mede het resultaat van het invangen van zand door de Eierlandse dam; een 800 meter lange dam haaks op de kust (zie [A] in Figuur 6.17). In de paragraaf 4.2.1 worden deze verdedigingswerken in meer detail beschreven.



Figuur 6.17 – Overzicht van de belangrijkste geulen en platen in het Eierlandse Gat (de onderliggende bodem is representatief voor 2010/2011).

6.4.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Eierlandse Gat

Deze paragraaf beschrijft beknopt de morfologische ontwikkeling van het Eierlandse Gat en de aanliggende kustzone. Een gedetailleerde analyse van het morfologische gedrag van het zeegat onder invloed van de afsluiting van de Zuiderzee en de Eierlandse Dam is nog niet gemaakt.

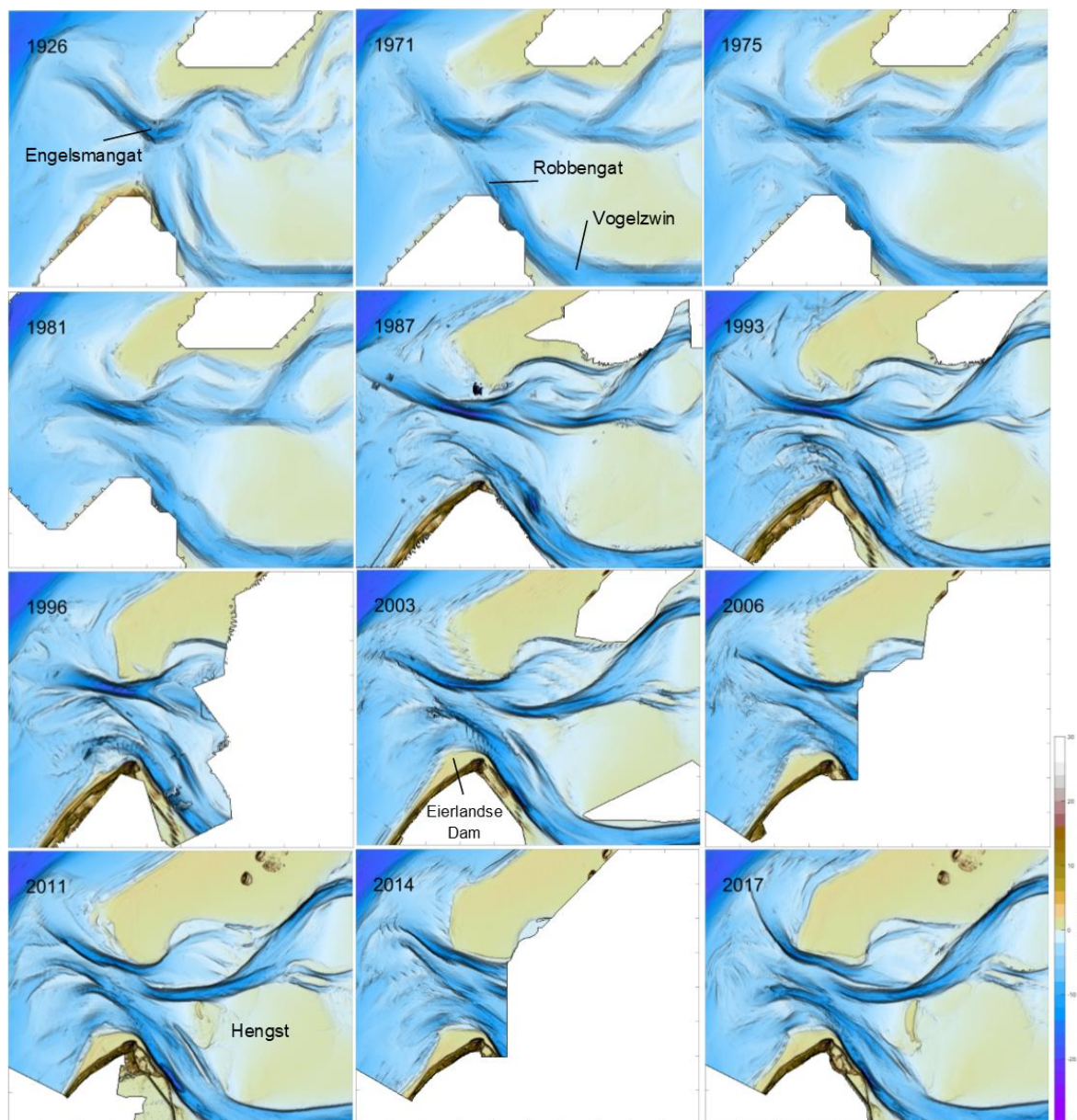
De grootschalige morfologische veranderingen in het Eierlandse Gat over de laatste twee eeuwen worden samengevat in Figuur 6.18. In Figuur 6.18 is te zien dat rond 1852 de twee hoofdgeulen op de buitendelta sterk gekromd naar het zuidwesten lagen. Het Engelsmangot lag hierbij langs de Vliehors en iets zuidelijker volgde het Eierlandse gat de kustlijn van Eierland (Texel). Beide geulen maakten verbinding met een eigen noordelijk en zuidelijk gelegen geulensysteem in de Waddenzee. Tussen 1864 en 1886 treden er dan aanzienlijke veranderingen op. In het bekken verliest het Engelsmangot de verbinding met het achterliggende, noordelijke geulensysteem, dit verondiept dan ook sterk. Op de buitendelta draait de uitstroom van het Engelsmangot van een zuidwestelijke naar een westnoordwestelijke richting. In het zuidelijke gedeelte van het zeegat blijft het geulensysteem in het bekken juist goed behouden, maar het Eierlandse Gat is rond 1886 echter al niet meer als een duidelijke geul in de bodem te onderscheiden (zie Schoorl, 1999 voor historische reconstructies).

Aan de noordzijde van deze geulen lag een groot plaatoppervlak de Buiten Gronden; al in deze oude kaarten is het belang van de buitendelta van het Eierlandse Gat voor de Vliehors duidelijk zichtbaar. Met het draaien van het Engelsmangot zijn ook deze banken naar de kust toe verplaatst en tussen 1886 en 1902 is al de aanlanding van het plaatoppervlak met de Vliehors te volgen.

In de recente, digitaal beschikbare metingen (Figuur 6.19), is het geulensysteem sinds 1926 ook duidelijk veranderd. Door de vele menselijke ingrepen zoals het verbinden van de eilanden, de aanleg van de bolwerken, maar ook de afsluiting van de Zuiderzee is het moeilijk om aan te geven of de waargenomen veranderingen nu ook daadwerkelijk het natuurlijke gedrag weergeven. Tot ongeveer 1975 was er één dominante geul (het Engelmansgat) op de buitendelta (zie ook Joustra, 1971 en Endema, 1978). Deze geul stond in directe verbinding met de 2 geulen in het bekken. De geul het Vogelzwin, gelegen langs de noordzijde van Texel, was hierbij duidelijk groter dan het Keteldiep. Tot de aanleg van de bolwerken Robbengat (1948) en Eierlandsgat (1956) verschoof het Vogelzwin landwaarts en sindsdien blijft de geul tegen het eiland aanliggen. Vanaf ruwweg 1975 vormt er zich een ondiepe drempel (-5 meter NAP) tussen het Engelmansgat en het Robbengat. Het Engelmansgat maakt nu eigenlijk alleen een directe verbinding met het Keteldiep in het bekken. Het Robbengat waaiert zeewaarts uit langs de bolwerken en de Eierlandse dam. In het Robbengat ontwikkelt zich een geullangse bank, die het Robbengat eigenlijk in tweeën splits (zie situatie in 1987). Deze bank migreert langzaam noordoostwaarts en is in 2011 vrijwel verheeld met de Hengst. Het is aannemelijk dat het zuidelijke van de geul vloeddominant is (deze sluit aan op de vloedgeul op de buitendelta), terwijl de noordelijke geul een ebdominantie vertoont.

Relatief grote veranderingen treden op tussen 1993 en 1996 langs de kop van Eierland door de vorming van een relatief diepe geul. Deze geul is niet natuurlijk gevormd, maar werd geïnitieerd door het baggeren van een kunstmatige ontgrondingskuil voor de Eierlandse dam. Deze kuil werd initieel iets dieper, wat bezinkstukken aan de kop van de dam nodig maakte, maar verzandde in de volgende jaren (te zien in de data van 2003 - 2011). Het is mogelijk dat het ontstaan van een diepere geul langs eilandkop een periodiek gedrag is. Het is alleen nog te vroeg om dit met zekerheid te kunnen vaststellen. Als de geul langs de Eierlandse dam zich terug ontwikkelt, kan dit gevolgen hebben voor de kop van de dam, maar ook voor de zandtransporten langs het kustvak. De toekomstige ontwikkelingen dienen daarom goed gevolgd te worden.

Ook het aanlanden van banken op de aan de noordzijde van het zeegat gelegen Vliehors is in Figuur 6.19 goed te volgen. Zo ligt er in de bodem van 1981 een maanvormige bank voor de zuidwest punt van de Vliehors. Deze bank ligt in 1987 al vrijwel tegen de kust aan. In 1993 is er een kleine zandhaak ontstaan, waarvan de top in 1996 weer aansluit op de Vliehors. Een soortgelijke ontwikkeling, iets kleiner in grootte is ook in 2000-2006 te volgen. Als gevolg van deze aanlandingen bouwt de kop van de Vliehors verder uit. In de Beheerbibliotheek van Vlieland wordt dit verder toegelicht.



Figuur 6.19 - Ontwikkeling van het Eierlandse Gat 1926 – 2017.

In Elias (2018, 2019) is een zandbalans van de Waddenzee gevormd door middel van een schatting van de volumeveranderingen op lange termijn en voor de huidige trends, gebaseerd op een trendlijnanalyse. Hieronder worden de resultaten van de berekend trends in volumeontwikkeling en transporten voor de kustzone bij het Eierlandse Gat gegeven, meer informatie over resultaten van het bekken en een gedetailleerde beschrijving van de methode zijn te vinden in Elias (2019).

In Figuur 6.5 zijn de volumeontwikkelingen in de Westelijke Waddenzee samengevat. Voor de interpretatie zijn hier de detailpolygoenen (zie Bijlage A) terug gegroepeerd in grotere representatieve gebieden. De volumeveranderingen van het Eierlandse Gat vertonen een consistent gedrag over alle perioden. De bovenstrooms en benedenstrooms kustzones verliezen zand, terwijl de buitendelta zelf iets in volume toeneemt. Deze volumetoename is over de lange-termijn en voor de huidige trend gelijk aan $+0.08 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. De verliezen in de kustzone zijn echter significant hoger dan deze toename, dit heeft als gevolg dat de deelpolygoon in zijn geheel met $-0.78 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (lange termijn) en $-0.32 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (1997-

2015) afneemt. De grote erosiewaarden van de naastgelegen kustzones zijn verdacht, maar een nadere inspectie van de tijdseries geeft geen uitzonderlijke uitschieters. Ook hier lijken de trends aannemelijk. Aan de downdrift zijde is de hogere erosiewaarde gerelateerd aan de erosie van het buitendelta front. Zand verplaatst van het front landwaarts de buitendelta op. De hogere erosie waarden van de kustzone komen dan gedeeltelijk terug in toegenomen sedimentatie op de buitendelta. Gedeeltelijk zullen ook de transporten richting het Vlie zijn toegenomen.

Het Eierlandse Gat is het enige zeegat dat zowel in de kustzone als in het bekken erodeert (Figuur 6.6). De sedimentexport ligt op $0.15 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ voor de lange termijn. In de kustzone treedt hier een grote erosie op van $0.9 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Dit geeft een totaal zandaanbod van $2.0 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Het lijkt onwaarschijnlijk dat de langtransporten langs de kust van Vlieland zo groot zijn. Hier gaan we uit van de maximum waarde van $1.5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (deze is iets hoger dan bekend uit de literatuur), dan moet er een aanvullend verlies opgetreden van $0.5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Dit verlies kan bestaan uit verliezen naar diep water, maar ook verliezen naar het eiland, de Vliehors op en de duinen in. Deze onzekerheid heeft geen effect op de voorspelling voor de transporten door het zeegat.

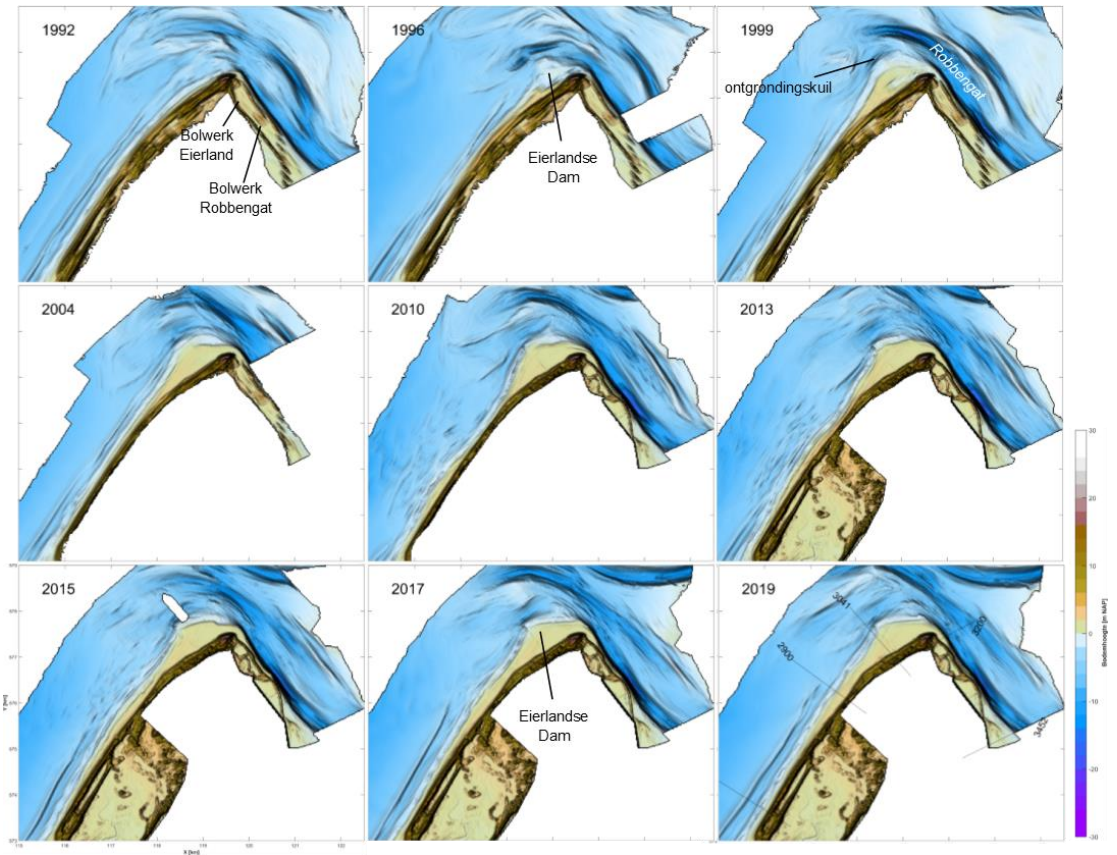
6.4.3 **Morfologische ontwikkeling van de kust tussen De Slufter en het Eierlandse Gat**

De ontwikkeling van de kustzone rond de staart van het eiland wordt weergegeven door middel van gegridde JarKus metingen tussen 1992 en 2019 (Figuur 6.20) en de ontwikkeling van de 0m contourlijn (Figuur 6.21).

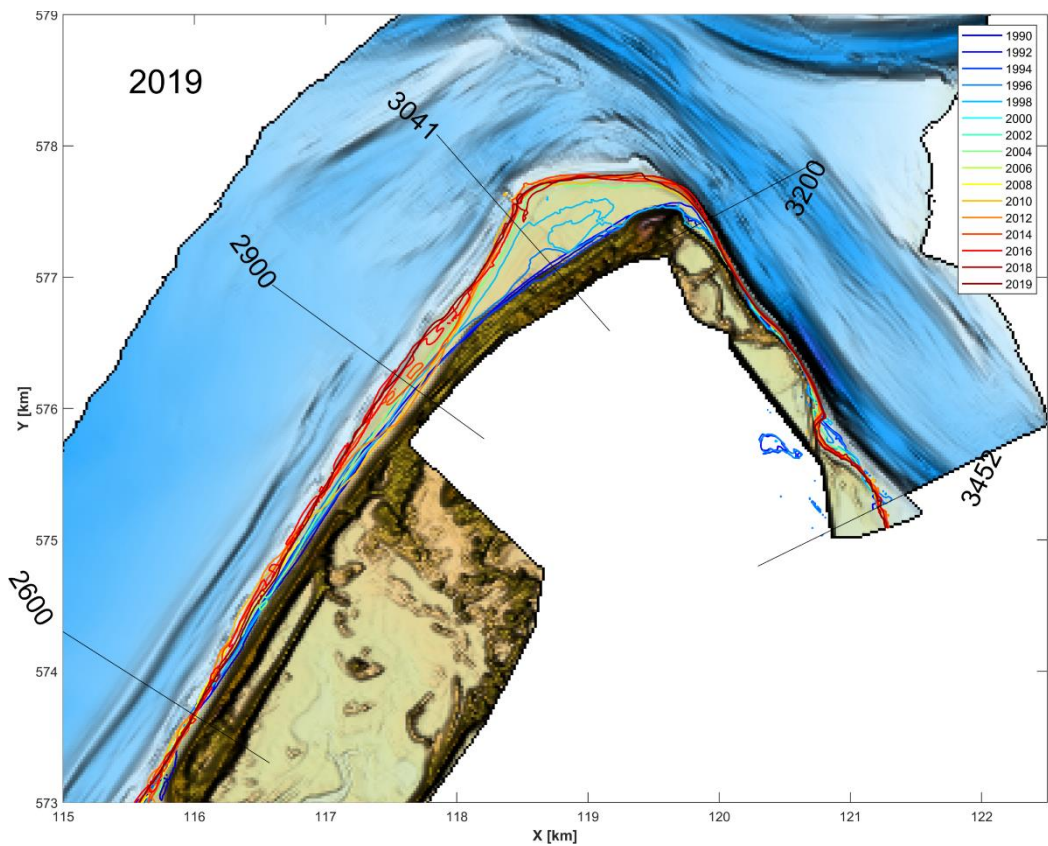
Het gebied tussen de slufter en het aanzandingsgebied van de Eierlandse Dam (raai 2600 - 2900) wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van over het algemeen twee banken. Tot 1980 was er in dit gebied sprake van een erosieve trend in de kustlijn, waarna er vanaf 1979 regelmatig suppleties (vooroever en strand) zijn uitgevoerd (zie ook paragraaf 7.2). Sinds 2012 zijn er in dit gebied geen suppleties meer uitgevoerd. Het gebied tussen de raaien 2900 en 3041 wordt in toenemende mate gedomineerd door het invangen van zand door de Eierlandse Dam. Raai 3021 (Figuur 6.22) geeft een representatief beeld van de ontwikkeling in dit gebied. Tot 1995 is er een doorgaande trend van terugtrekking van de kustlijn. De uitgevoerde suppleties sinds 1979 zijn slechts beperkt effectief in het vertragen van deze terugtrekking. De aanleg van de Eierlandse Dam (1995) en de daarbij uitgevoerde zandsuppletie, zorgen wel voor een sterke zeewaartse verplaatsing in de positie van de kustlijnen. De 0m contourlijn in dit gebied is tot op heden stabiel (Figuur 6.21), en er kan geconcludeerd worden dat de dam in dit gebied (lokaal) effectief is gebleken. Of en hoe deze ingreep het gedrag van het zeegat (op grote schaal) heeft beïnvloed is nu niet bekend.

Het gebied ten noorden van de Eierlandse Dam (tussen raai 3061-3200) reageert op grote lijn als het gebied ten zuiden van de dam. Raai 3061 (Figuur 6.22) ligt vlak naast de dam en is representatief voor dit gebied. Sinds de aanleg van de dam is er een aanzandingsgebied zichtbaar als stabiel platform en blijven de kustlijnen stabiel. Tijdens aanleg van de Eierlandse Dam was er al een ontgrondingskuil gecreëerd. Deze kuil verdiept tijdelijk van -5 m NAP in 1995 tot -13 m NAP in 1997. In de daaropvolgende jaren neemt de diepte weer geleidelijk af tot ongeveer -9 m NAP in 1999. Tot 2019 blijft de maximale geuldiepte rond deze diepte, in 2020 lijkt de geul te verondiepen. De geulbreedte neemt tussen 2000 en 2007 sterk toe.

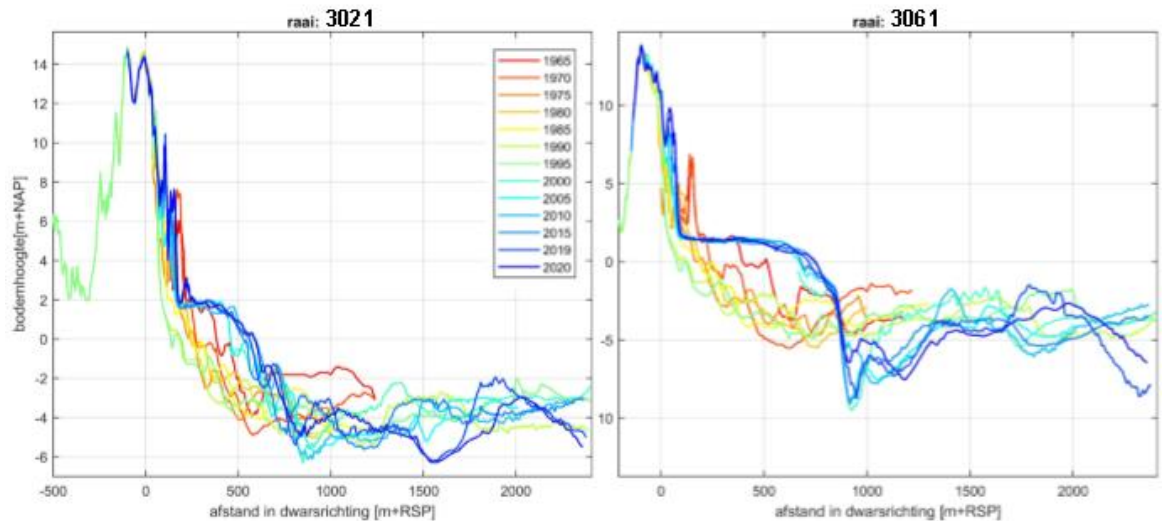
De Bolwerken Eierland en Robbengat zijn aangelegd in respectievelijk 1948 en 1956 (voor meer informatie, zie paragraaf 4.2.1). De geul langs de Bolwerken Eierland en Robbengat is redelijk stabiel, zie Figuur 6.20 en Figuur 6.21, en er is geen duidelijk grootschalig effect van de aanleg van de Eierlandse Dam te zien op de geul.



Figuur 6.20 – Morfologische ontwikkeling bij de start van Texel op basis van de gegridde Jarkus metingen



Figuur 6.21 – Ontwikkeling van de 0m contourlijn tussen 1990 en 2019 op basis van de gegridde JarKus metingen. Onderliggende bodem is van 2019.



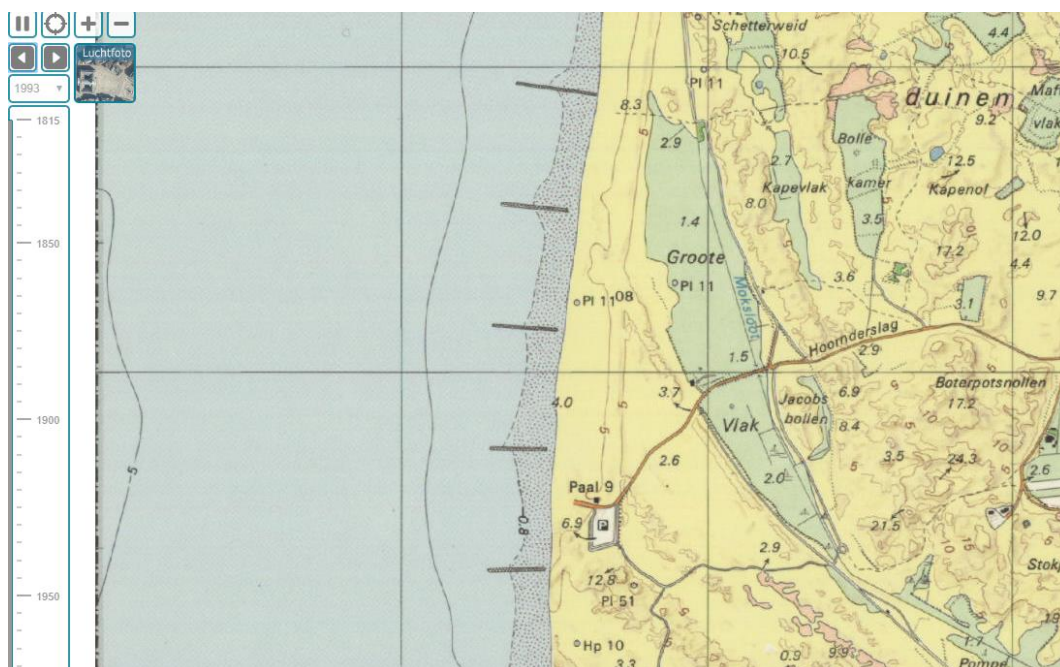
Figuur 6.22 – Dwarsprofielen raaien 3021 en 3061 bij Texel, jaren 1965 tot 2020.

6.5 Duinen

Binnen het KPP Beheer en Onderhoud Kust programma is het onderdeel “Natuurlijk Veilig” opgenomen. Dit onderdeel van het programma onderzoekt onder andere of, en hoe, de ruimtelijke planning en uitvoering van suppleties (locatie/frequentie) kan bijdragen aan het maximaliseren van biodiversiteit van duinlandschappen op Nederlandse schaal, door gedifferentieerd landschapsbeheer toe te laten zonder andere functies in het gedrang te brengen (zie ook www.natuurlijkveilig.nl).

6.5.1 Beheer en ontwikkeling duinen voor 1990

Tot 1990 werd in Nederland de kustlijn vooral gehandhaafd door de duinen te gebruiken als een buffer. Deze werden intensief beplant om zoveel mogelijk inwaaierend zand vast te leggen. Het zo ingevangen zand kon aan de Noordzee-zijde afslaan tijdens zware stormen en uitgesmeerd worden over de kust (De Groen et al., 2019). Zo kon de kustlijn enigszins gehandhaafd worden, maar op een aantal plaatsen overheerste kustafslag en moest de duinenrij geregeld landinwaarts worden verschoven. Dit was onder andere het geval op ZW Texel ter hoogte van de Hoorners Slag. Iets soortgelijks vond plaats bij Eierland (Figuur 6.23). De afslag werd tegengewerkt door middel van duinaanplant in de zeereep en strekdammen.



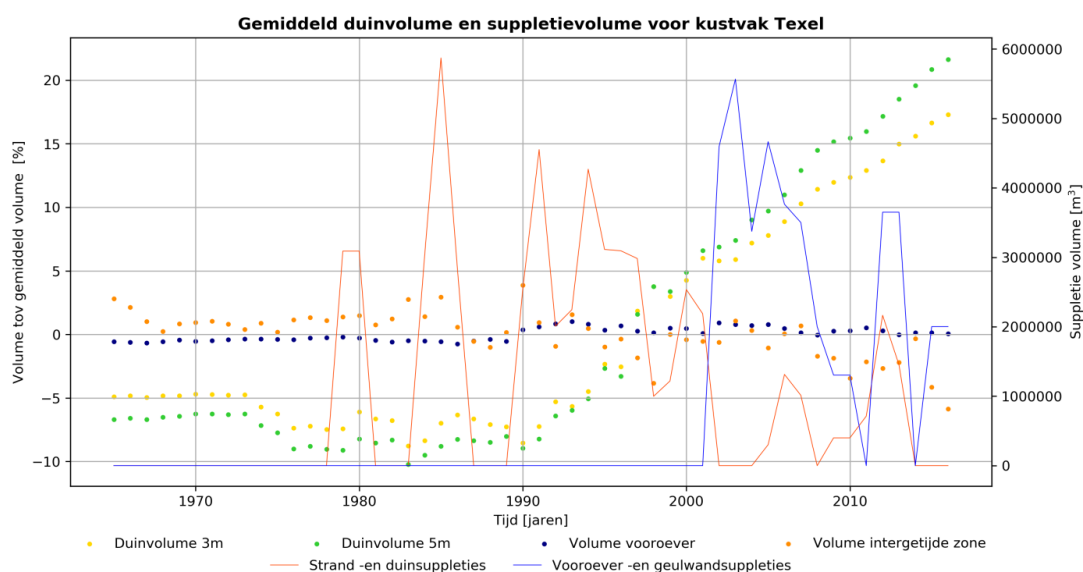
Figuur 6.23 - Kust ter hoogte van de Hoorder Slag op ZW Texel in 1932 en 1993; grid is 1 km; Ingetekend in de kaart van 1993 zijn ook de strekdammen die de sterke achteruitgang over 800 m moesten helpen stoppen.

Het intensieve beheer door de waterschappen en Rijkswaterstaat leidde uiteindelijk tot vrij statische zee-reepduinen die al het zand invingen. Daardoor ontvingen de achterliggende duinen weinig tot geen instuivend zand meer vanaf de kust. In combinatie met een verhoogde stikstofdepositie, lagere grondwaterstanden en verminderde begrazing trad voor de natuurgebieden een versnelde plantensuccessie (vergrassing en verstruweling) op, waarbij zeldzame soorten die horen bij een dynamisch duingebied sterk achteruitgingen (Löffler et al., 2008).

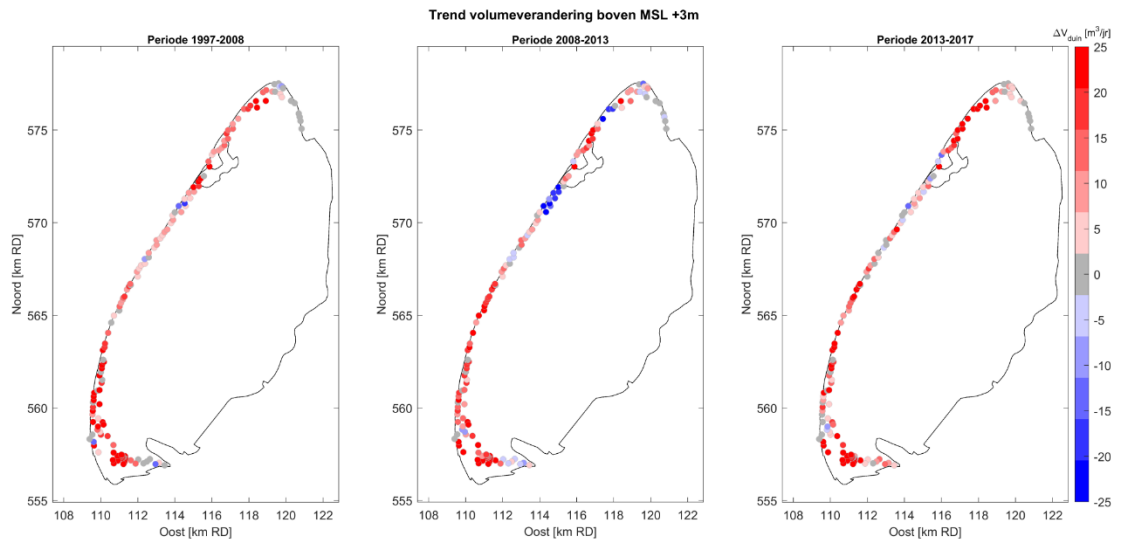
6.5.2 Beheer en ontwikkeling duinen na 1990

Sinds 1990 wordt de kustlijn van Nederland gehandhaafd via suppleties. Daardoor is de afslag van de duinen aanzienlijk teruggelopen. Ook groeiden de duinen aanzienlijk in volume. Al met al is er minder behoefte om de duinen intensief te beplanten om zo extra zand in te vangen om erosie op te vangen en kan meer zeereepdynamiek worden toegestaan.

Over de periode 1965-2016 blijkt dat het duinvolume van Texel met ca 25% is toegenomen (berekend t.o.v. 1990-volume boven +3m NAP; Figuur 6.24). Dit gebeurt met name na 1990, het begin van de suppleties. Langs de kust van Texel zijn de trends voor de duinvolume ontwikkeling nauwelijks veranderd over de periodes 1998-2008; 2008-2013 en 2013-2017 (Figuur 6.25). Volumetoenames overheersten met uitzondering van een enkele locatie op midden- Texel, waar met name in de tweede periode de kustafslag merkbaar was. Aan de zuidzijde van het eiland gaat de duinvorming op de grote plaat van de Hors/Onrust gestaag door waardoor de sedimentatie boven de +3m NAP sterk is. Ter hoogte van de Hoorderslag kan niet uitgesloten worden dat de sedimentatie in de duinen deels het gevolg is van de met regelmaat uitgevoerde suppleties.

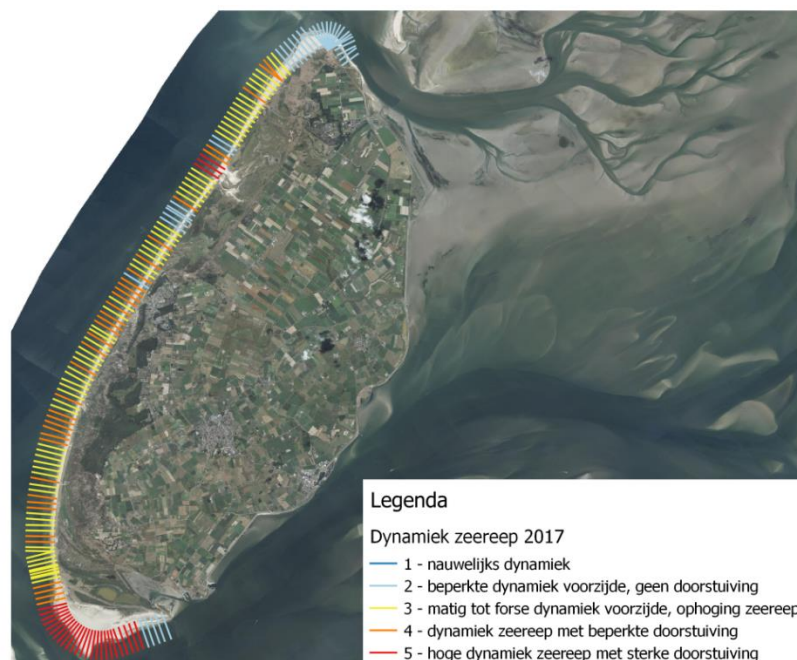


Figuur 6.24 – Suppleties en volumeveranderingen in de zeereep boven +3 m NAP en + 5 m NAP en op de vooroever en in de intergetijdezone.

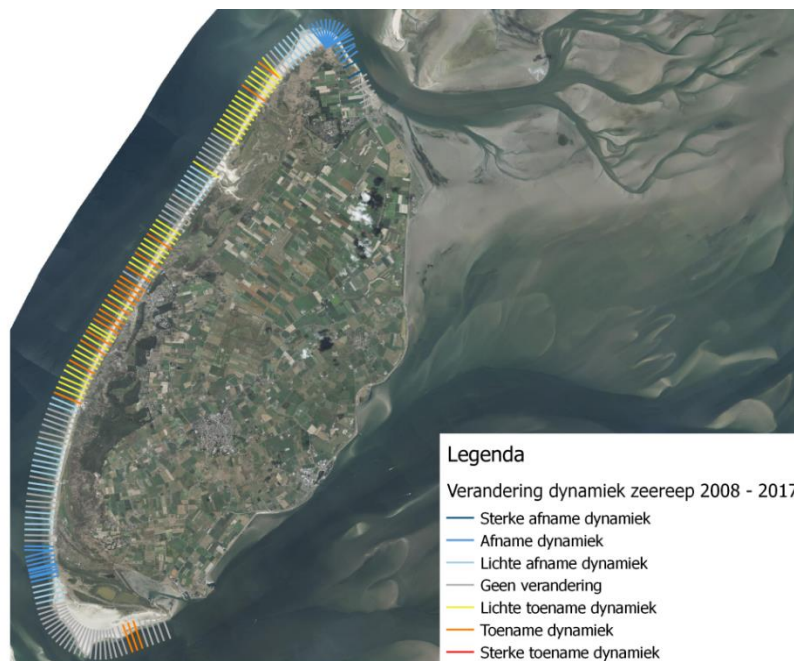


Figuur 6.25 - Verandering duinvolume in m^3/jaar voor diverse perioden (Ijff et al., 2019b).

In 2017 is er voor een groot deel van de Texelse kust sprake van een matige tot forse dynamiek aan de voorzijde van de zeereep waarbij ophoging plaatsvindt. Daarnaast is er op veel plaatsen sprake van een dynamische zeereep met een beperkte doorstuiving (Ijff, 2019b). Bij de Hors op ZW Texel en bij de Slufter is sprake van een hoog dynamische zeereep met sterke doorstuiving. Op de noordkop van het eiland is een 825 meter lange strekdam vanaf de duinen zeewaarts (de Eierlandse dam) aangelegd in 1995 welke de kustafslag moest tegengaan. Het strand is sterk verbreed ter plekke wat heeft geleid tot embryonale duinvorming. Het hoge zandaanbod heeft geleid tot een vrij beperkte dynamiek. Over de periode 2008-2017 nam de dynamiek af aan de zuidkant van Texel en de noordkant en in het gebied rond de Slufter. Een toename in dynamiek trad vooral op tussen de Slufter en de zuidkant van Texel. Voor het grootste deel gebeurde dit door spontane kerven.



Figuur 6.26 - Dynamiek zeereep 2017 (Ijff et al., 2019b).

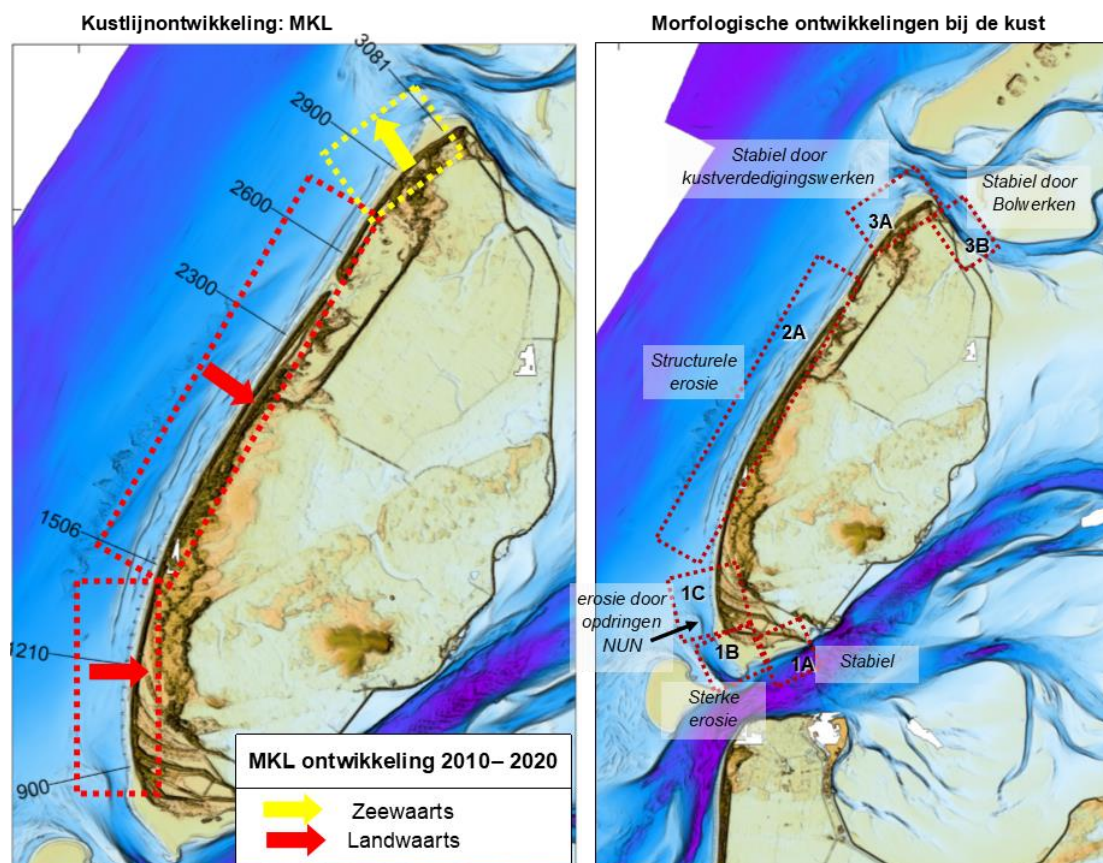


Figuur 6.27 - Verandering dynamiek zeereep tussen 2008 en 2017 (IJff et al., 2019b).

7 Kustlijnontwikkeling

7.1 Samenvatting

De morfologische ontwikkelingen bij de kust van Texel bepalen grotendeels de ontwikkeling in de MKL (Figuur 7.1). De Zuidwest kust van Texel wordt sterk beïnvloed door het opdringen van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks (NUN), en veroorzaakt een landwaarts gerichte trend in de MKL. Voor de centrale eilandkust is er sprake van structurele erosie, en zijn er regelmatig lokale BKL overschrijdingen. Door middel van regelmatig suppleren fluctueert de MKL-positie over de laatste jaren. Ten zuiden van de Eierlandse Dam heeft de MKL-positie zich sterk zeewaarts verplaatst, en lijkt zich de laatste jaren te stabiliseren.

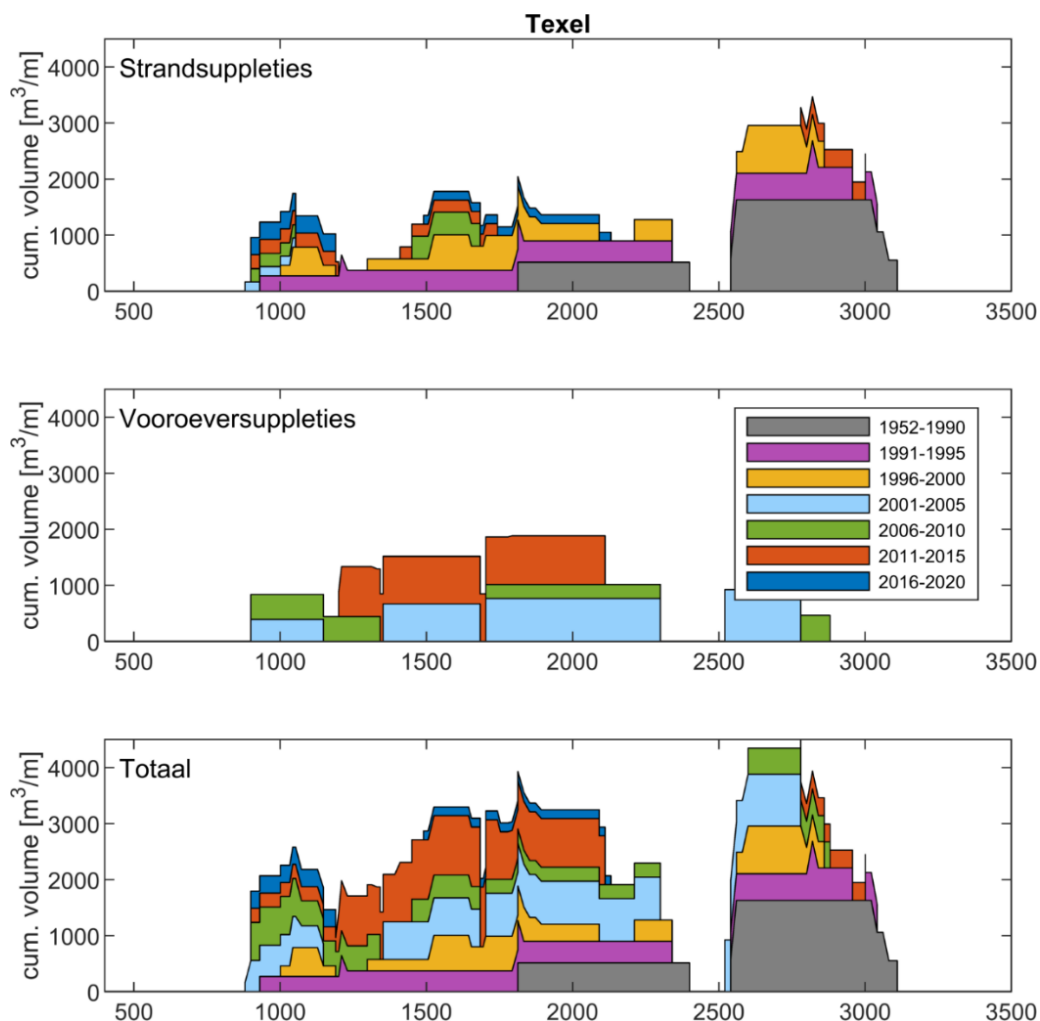


Figuur 7.1 – Samenvatting van de morfologische ontwikkelingen bij de kust (uit Hoofdstuk 6) en de ontwikkelingen in kustlijnontwikkeling zoals gepresenteerd in paragraaf 7.3.1. De trends zijn bepaald n.a.v. de MKL ontwikkeling in Figuur 7.4, onder.

7.2 Zandsuppleties

Figuur 7.2 laat zien op welke locaties langs de Texelse Noordzeekust suppleties zijn uitgevoerd. Met uitzondering van de Hors en rond de Slufter is vrijwel de gehele Noordzeekust van Texel wel eens met zand gesuppleerd. Een compleet overzicht van alle uitgevoerde suppleties bij de kust van Texel zijn gegeven in Tabel 7.1. Een landelijk overzicht van uitgevoerde zandsuppleties is te vinden op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>).

De suppletiehoeveelheden nemen in noordelijke richting vrijwel lineair toe van 2500 m³/m bij raai 900 tot 4500 m³/m nabij raai 2800. Sinds 1990 wordt de kustlijnhandhaving vrijwel alleen met suppleties gehandhaafd, maar ook ruim vóór 1990 werden in dit kustvak al suppleties toegepast. In de periode 1979-1990 is er al 11 miljoen m³ gesuppleerd tussen raaien 2400 en 3000.



Figuur 7.2 - Overzicht van alle aangebrachte suppleties op Texel, tot 2020: kustlangse verdeling van de suppletiehoeveelheden (m³/m).

Tabel 7.1 – Overzicht zandsuppleties bij het kustvak van Texel

Locatie	Datum	Begin raai	Eind raai	Type	Volume (situ) [1000 m3]	Volume [m3/m]
Eierland	1979	2560	3120	strand	3091	552
De Koog	1984	1813	2400	strand	3023	515
Eierland	1985	2540	3040	strand	2850	570
Eierland	1990	2560	3061	strand	2545	508
De Koog	1991	1813	2340	strand	2008	381
Texel-zuidwest	1993	1210	1813	strand	2243	372
Eierland	1994	2540	2820	strand	1330	475
Texel-zuidwest	1994	930	1210	strand	762	272
Eierland	1995	2820	2960	strand	811	579
Eierland	1995	3000	3060	strand	300	500
De Koog	1996	1526	1873	strand	1492	430
De Koog	1996	2211	2340	strand	493	382
De Koog	1997	1878	2091	strand	658	309
Zuidwest	1997	1038	1143	strand	340	324
Eierland	1999	2600	2860	strand	1219	469
West	2000	1703	1833	strand	246	189
Zuid	2000	1001	1190	strand	357	189
Zuidwest	2000	1298	1644	strand	702	203
Westkust (Eierland)	2000	2550	2780	strand	883	384
De Koog	2002	1700	2300	vooroever	4596	766
Zuidwest / Den Hoorn	2003	900	1148	vooroever	972	392
Eierland	2004	2520	2780	vooroever	2402	924
Centrale kust	2005	1352	1690	vooroever	2265	670
Zuidwest	2005	880	1063	strand	302	165
Centrale kust	2006	1440	1690	strand	1013	405
De Koog	2006	1700	2300	vooroever	1500	250
Zuidwest	2007	900	1350	vooroever	2003	445
Eierlandse dam	2009	2600	2880	vooroever	1305	466
Zuidwest	2009	900	1070	strand	400	235
Midden	2011	1410	1743	strand	713	214
Eierlandse dam	2012	2780	3001	strand	701	317
Zuidwest	2012	900	1200	strand	753	251
Midden Noord	2012	1793	2111	vooroever	1352	425
Midden Zuid	2012	1200	1312	vooroever	500	446
Midden	2012	1332	1778	vooroever	1802	404
Midden	2015	1210	2111	vooroever	4004	444
Zuidwest	2017	900	1190	strand	895	309
Midden	2018	1490	2131	strand	1000	156

7.3 Ontwikkeling kustindicatoren

In deze paragraaf wordt de ontwikkeling van de kustzone bij Texel beschreven met behulp van kustindicatoren. De trends en veranderingen in deze kustindicatoren over de tijd 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 zijn te vinden op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). Daarnaast is de meest recente informatie over de huidige en de verwachte kustlijnligging ten opzichte van de BKL te vinden in de (jaarlijks opgestelde) kustlijnkaartenboek van Rijkswaterstaat (www.rijkswaterstaat.nl/kustonderhoud/).

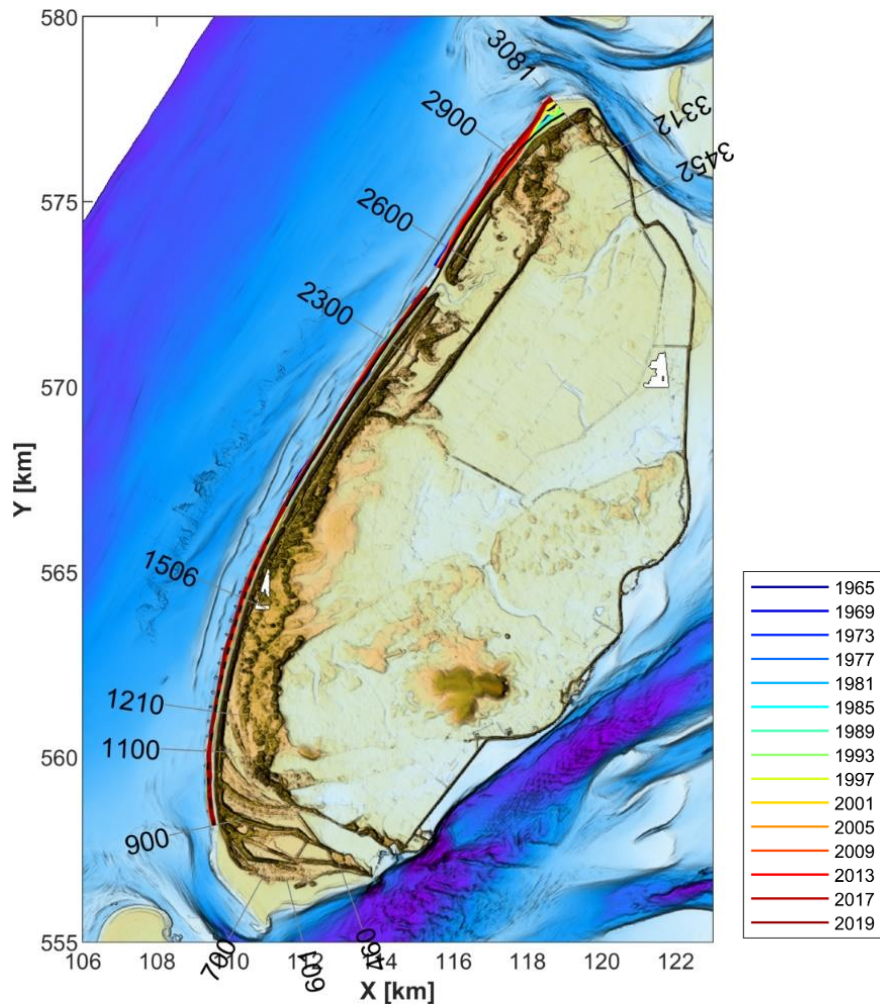
7.3.1 MKL – BKL

De MKL-positie (voor definitie, zie Figuur 3.2) geeft de jaarlijkse kustlijnligging weer, en geeft een eventuele overschrijding van de BKL aan. In Figuur 7.3 wordt de ontwikkeling van de MKL tussen 1965 en 2019 weergegeven langs de kust van Texel. In Figuur 7.4 wordt hetzelfde MKL ontwikkeling weergegeven, alleen met de raai-nummers op de x-as zodat de onderlinge verschillen tussen de jaren duidelijker zijn. Voor kust bij de Hors is geen BKL gedefinieerd, omdat hier geen kustlijnhandhaving plaatsvindt. De MKL ontwikkelingen laten dus niet het gedrag van de Hors zien.

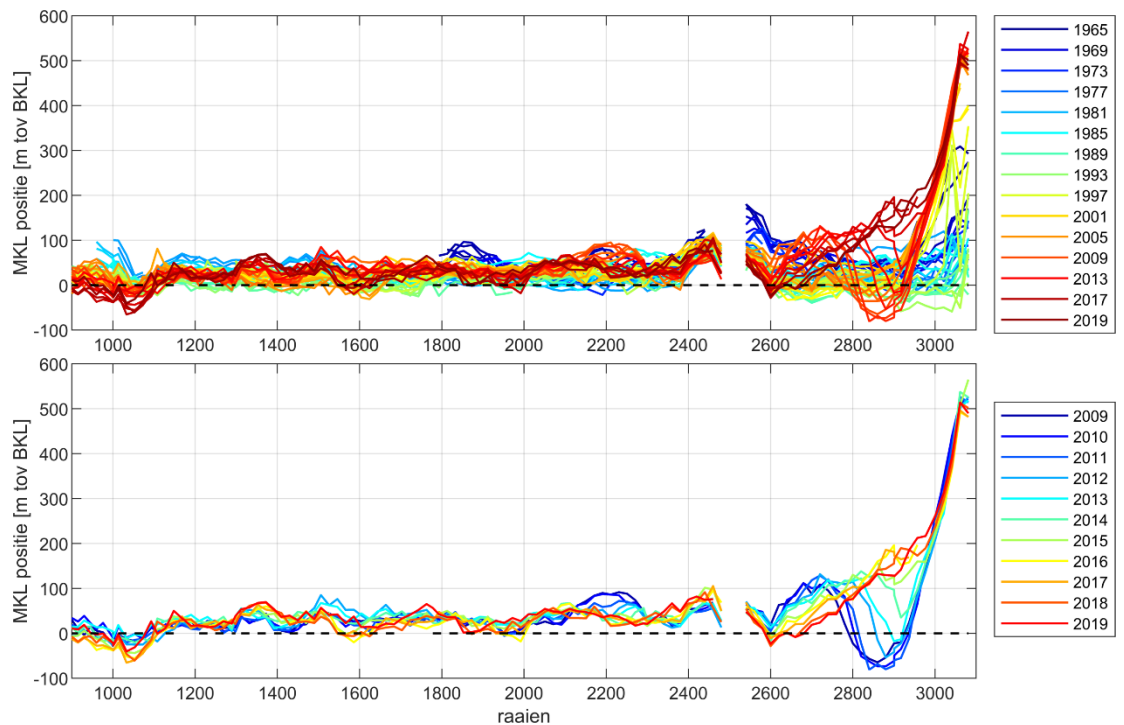
In het zuidelijk deel tussen raaien 900 en 1100 is een duidelijke erosieve trend in de MKL positie te zien en wordt de BKL al overschreden. Dit gebied valt binnen het aanlandingsgebied van de NUN, zie ook paragraaf 6.3.1. De aanlanding van de NUN gaat tot nu toe niet gepaard met het direct verhelten van banken, maar verheelt op een diepte van ongeveer -5 m met de kustlijn. Dit zorgt er voor dat er een ondiepe zone / platform ontstaat en er een doorgaande brandingsstroom vanaf de NUN richting de kust van Texel ontstaat. Deze transporten zijn niet voldoende om de grootschalige erosie te compenseren.

In het gebied van de centrale eilandkust tot en met de Slufter (raaien 1200 – 2400) is sinds 1965 een sterke schommeling van de MKL te zien, waarbij er regelmatig een lokale overschrijding van de BKL te zien is. In dit gebied overheerst de structurele erosie. De regelmatige suppleties en de strandhoofden zorgen hier ervoor dat de MKL telkens weer zeewaarts van de BKL komt te liggen. In MKL-positie over de laatste 10 jaar (Figuur 7.4, onder) is te zien dat in 2019 de MKL-positie zich weer zeewaarts heeft verplaatst, wat waarschijnlijk het gevolg is van de strandsuppletie in 2018 (raaien 1490 – 2131, zie Tabel 7.1).

In het gebied ten noorden van de Slufter is eerst een erosieve trend in de MKL-positie te zien tot raai 2800 over de laatste 10 jaar. De laatste suppletie in dit deel was de vooroerversuppletie in 2009 (raaien 2600 - 2880). Vervolgens is er in het gebied ten noorden hiervan (raaien 2800 – 3000) juist een sterke positieve (zeewaartse) trend in de MKL-positie zien sinds 2012, wat waarschijnlijk het gevolg is van de strandsuppletie in 2012 in dit gebied.



Figuur 7.3 - Ontwikkeling MKL positie langs de kust van Texel over de periode 1965 tot 2019.

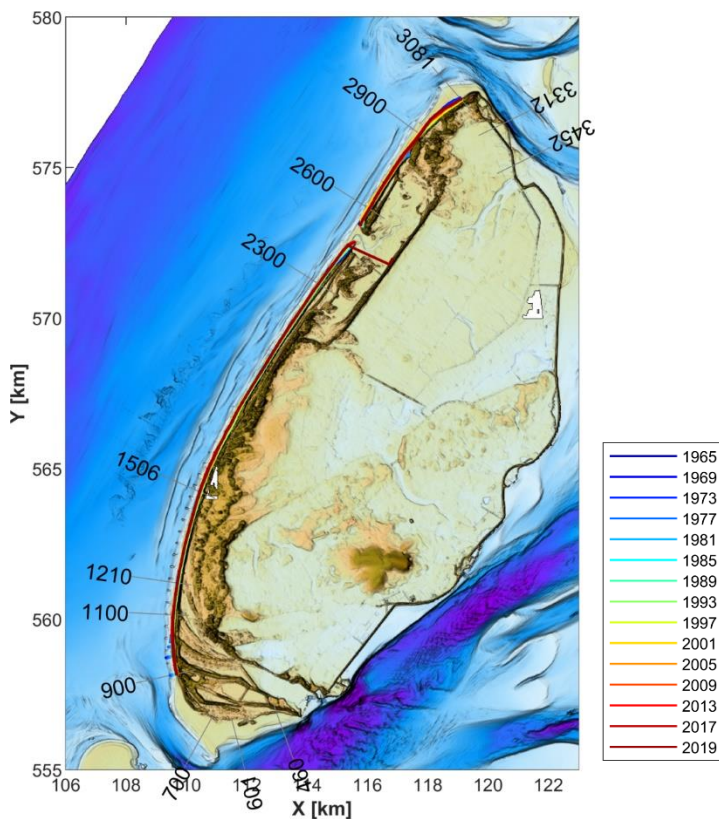


Figuur 7.4 – Ontwikkeling MKL positie t.o.v. BKL (zwarte stippelijijn) over de periode 1965 tot 2019 (boven) en de laatste 10 jaar (onder). De MKL positie is berekend op basis van de rekenschijf beoordeling 1-1-2020.

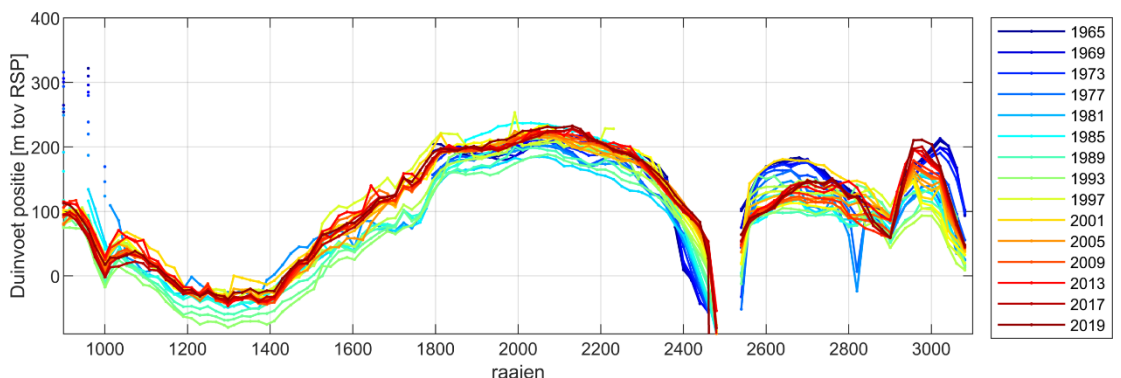
7.3.2 Duinvoet

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 7.5 en Figuur 7.6 wordt de ontwikkeling van de DV tussen 1965 en 2019 weergegeven langs de kust van Texel.

Het zuidelijk en centrale deel van de kust van Texel laat over het algemeen een redelijk stabiele positie van de duinvoet zien over de laatste 20 jaar. Het zuidelijk deel van de Slufter laat een structurele uitbouw van de duinvoet-positie zien sinds 1965, in tegenstelling tot het deel ten noorden van de Slufter. In het gebied ten zuiden van de Eierlandse Dam (raaien 2700 – 3081) is er een zeewaartse of stabiele trend te zien in de duinvoet positie over de laatste 10 jaar.



Figuur 7.5 - Ontwikkeling duinvoet positie langs de kust van Texel over de periode 1965 tot 2019.

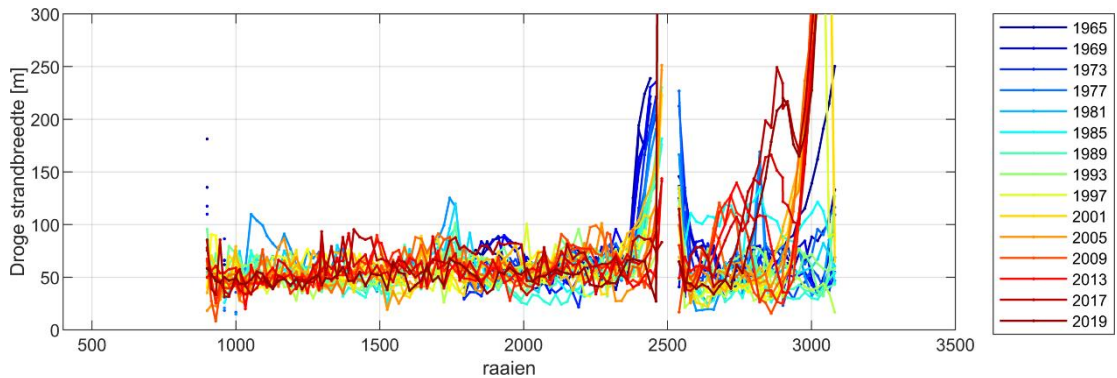


Figuur 7.6 – Ontwikkeling duinvoet positie t.o.v. RSP over de periode 1965 tot 2019.

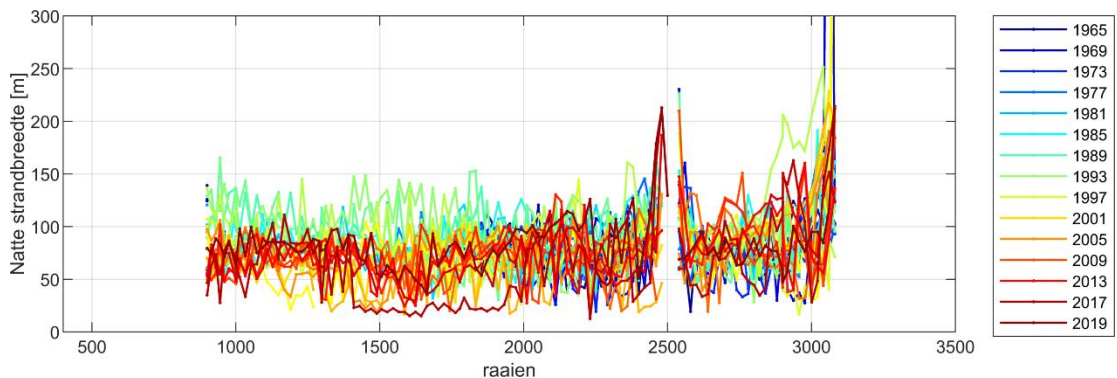
7.3.3 Strandbreedte

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. De natte strandbreedte is de horizontale afstand tussen het snijpunt van het strandprofiel met de gemiddeld laag water (GLW) en gemiddeld hoog water (GHW). De droge strandbreedte is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de GHW en de DV (zie Appendix A.3 voor de berekenmethode). In Figuur 7.7 en Figuur 7.8 wordt de ontwikkeling van het droge en natte strandbreedte tussen 1965 en 2019 weergegeven langs de kust van Texel.

Afgezien van het gebied net ten zuiden van de Eierlandse Dam, is er een sterke fluctuatie van de droge en natte strandbreedtes te zien zonder duidelijke trend. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de structurele erosieve trend en vele strandsuppleties in dit kustvak.



Figuur 7.7 - Ontwikkeling droge strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 voor alle raaien bij de kust van Texel.



Figuur 7.8 - Ontwikkeling natte strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 voor alle raaien bij de kust van Texel.

7.3.4 Faalkans eerste duinenrij/zeereep

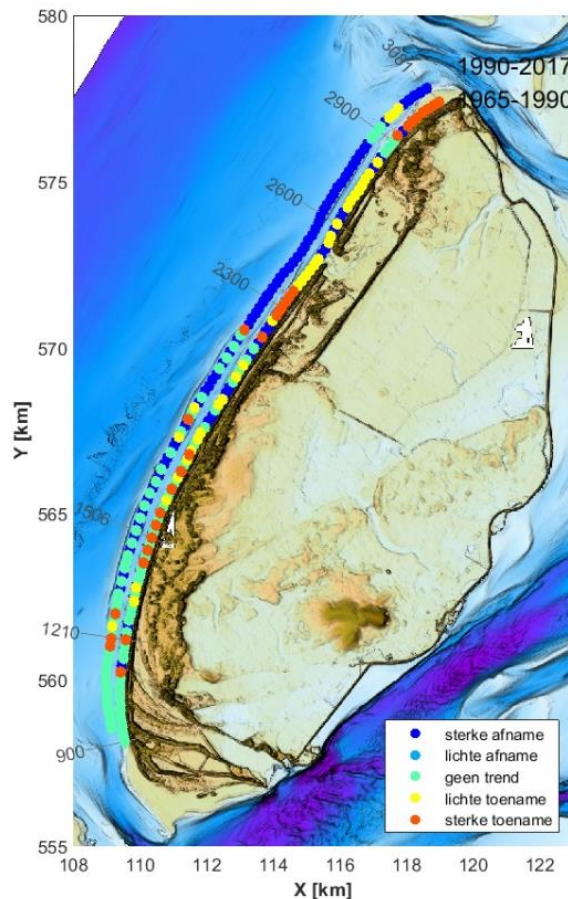
De officiële wettelijke toetsing (paragraaf 3.3 en 4.2.3) van de duinen als primaire waterkering is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende condities. Bij deze beoordeling komt geen informatie beschikbaar over het effect van suppleties op de ontwikkeling van de veiligheid. Om dit effect in beeld te kunnen brengen is in 2011 is een database samengesteld met faalkansen van alle JARKUS raaien langs de Nederlandse duinenkust, voor de jaren 1965-2010 (HKV, 2011). Op basis van deze database zijn analyses uitgevoerd van de effecten van veranderingen in 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 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).

Trends in de ontwikkeling van de faalkansen zijn bepaald voor twee perioden: 1965-1990 en 1990-2017. Figuur 7.9 toont de trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Texel 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 faalkans 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 faalkans 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 faalkans 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 faalkans met een factor 10 minder dan 10 jaar heeft geduurd (oranje).

Voor Texel is voor een groot deel van de kust in de periode 1965 tot 1990 er een sterke of lichte toename van de faalkans berekend (gele of oranje kleur in Figuur 7.9). Voor de periode 1990 tot 2017 is voor vrijwel al deze raaien te zien dat dit is veranderd naar een sterke of lichte afname in de faalkans (licht blauwe of donker blauwe kleur in Figuur 7.9). Voor Texel lijkt het er dus op dat de faalkans van de zeereep is afgenomen door het suppletiebeleid.



Figuur 7.9 - Trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Texel voor de perioden 1965-1990 (rechter rij) en 1990-2017 (linker rij).

Referenties

- Baart, F. et al., 2018. Zeespiegemonitor 2018 - De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust, Deltares report 11202193-000-ZKS-0004.
- Bruens, A. et al., 2012. Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn
- Cleveringa, J., 2001. Zand voor zuidwest Texel. Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel. Rapport RIKZ/OS/2001/ 031. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ.
- De Vries, P. (2019). Strandnota Texel 2019. Gemeente Texel.
- Elias, E.P.L., 2006. Morphodynamics of Texel Inlet. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences (Delft), 261 pp.
- Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F., 2006. Long-term morphodynamic evolution of Texel Inlet and its ebb-tidal delta (The Netherlands). *Marine Geology*, 225, 5-21.
- Elias, E.P.L., van der Spek, A.J., Wang, Z.B. en de Ronde, J. (2012). Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 91-3.
- Elias, E. (2016). Verkenning morfologische effecten (geulwand)suppletie Paal 10, Texel. Deltares rapport 1230043-00 1-ZKS-0014
- Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., 2017. Dynamic preservation of Texel Inlet, the Netherlands: understanding the interaction of an ebb-tidal delta with its adjacent coast. *Netherlands Journal of Geosciences* 96 (4), 293–317.
- Elias, E.P.L., (2018). Een actuele zandbalans van de Westelijke Waddenzee (1933-2015). Report 11202190-000 (in Dutch). Deltares, Delft: 85 pp., a,b
- Elias, E.P.L., (2019). Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Report 11203683-001-ZKS-0002 (in Dutch). Deltares, Delft: 85 pp., a,b
- Elias, E.P.L., (2020). Kustfundamentsuppleties op eilandkoppen. Een inventarisatie van 4 mogelijke locaties. Deltares rapport 11205236-005-ZKS-0003.
- Elias E., en van der Spek A.J.F. (2020). Morfologische ontwikkeling van De Hors – Texel. Deltares rapport 11204540-000-ZKS-0007
- Hijma, M.P., Kooi, H., 2018a. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares report 11200538-008-ZKS-0001.
- Hijma, M.P., 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_v1.0.

- Hijma, M.P., Van Onselen, E., 2019. Bodemdalingsmonitor 2019 - Kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares report 11203683-002-ZKS-0017.
- HKV (2011). Indicatoren voor kustlijn­zorg. Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie. HKV rapport pr2063.20. Wim van Balen, Vincent Vuik en Saskia van Vuren, 29 oktober 2011.
- HKV (2012). Indicatoren voor kustlijn­zorg. Analyse van stormen, suppleties en kust­veiligheid. HKV rapport pr2063.30. Vincent Vuik, Wim van Balen en Andries Paarlberg, 29 oktober 2012.
- HKV (2017). Faalkansendatabase duinen. Update voor de periode 1965-2017. HKV rapport PR2063.70. Vincent Vuik en Guy Dupuits, december 2017
- Hillen, R. et al., 1991. De basiskustlijn, een technisch / morfologische uitwerking,
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (2016). Prins Hendrikzanddijk Morfologische studie. Auteurs: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. EDM70-19-140/16-014.609, 1 september 2016
- Joustra, D.S. (1971). Geulbeweging in de buitendelta's van de Waddenzee (in Dutch), Report WWK. 71-14 (in Dutch). Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging (The Hague): 27 pp.
- Ministerie van Economische Zaken (2016). Natura-2000-beheerplan Texel.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993. De Basiskustlijn, Norm voor Dynamisch Handhaven,
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996. Kustbalans 1995 - de tweede kustnota. Directoraat Generaal Rijkswaterstaat april 1996
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003. Basiskustlijn 2001 - Evaluatie ligging Basiskustlijn, Rijkswaterstaat december 2000
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012. Basiskustlijn 2012. Herziening Basiskustlijn.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000. 3e Kustnota: Traditie, Trends en Toekomst. Directoraat Generaal Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018. Basiskustlijn 2017, Herziening van de ligging van de basiskustlijn.
- Provincie Noord-Holland (2018). Strandzoning 2025 Noord-Hollandse Noordzeekust. 'Ruimte voor rust en reuring'. 915191-1041884
- Rakhorst, H.D., (1984), Werking strandhoofden Noord-Holland, Texel, Vlieland, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-84.H007, 15 pag., 16 bijlagen.
- Rietveld, C.F.W., 1962. The natural development of the Wadden Sea after the enclosure of the Zuider Sea. Proceedings 8th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Mexico City, Mexico, 765-781.
- Rijkswaterstaat (1946). Rapport Vlieland. Rijkswaterstaat Directie N-Holland, Arr. Hoorn (1946).
- Schoorl, H., (1999). De convexe kustboog Texel-Vlieland-Terschelling: bijdragen tot de kennis van het westelijk Waddengebied en de eilanden Texel, Vlieland en Terschelling: 1. Het westelijk Waddengebied en Texel tot circa 1550 (in Dutch). Pirola (Schoorl): 187 pp.

Thijsse, J.T., 1972. Een Halve Eeuw Zuiderzeewerken 1920-1970 (in Dutch). Tjeenk Willink, Groningen, 469 pp.

Van Heteren, S., Oost, A. P., de Boer, P.L., van der Spek, A.J.F., Elias, E.P.L., 2006. Island-terminus evolution as a function of changing ebb-tidal delta configuration: Texel, The Netherlands, Marine Geology 235, (1: 19-23.

Verhagen, H. J. en van Rossum, H. (1990). Strandhoofden en paalrijen: evaluatie van hun werking. Min V&W, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

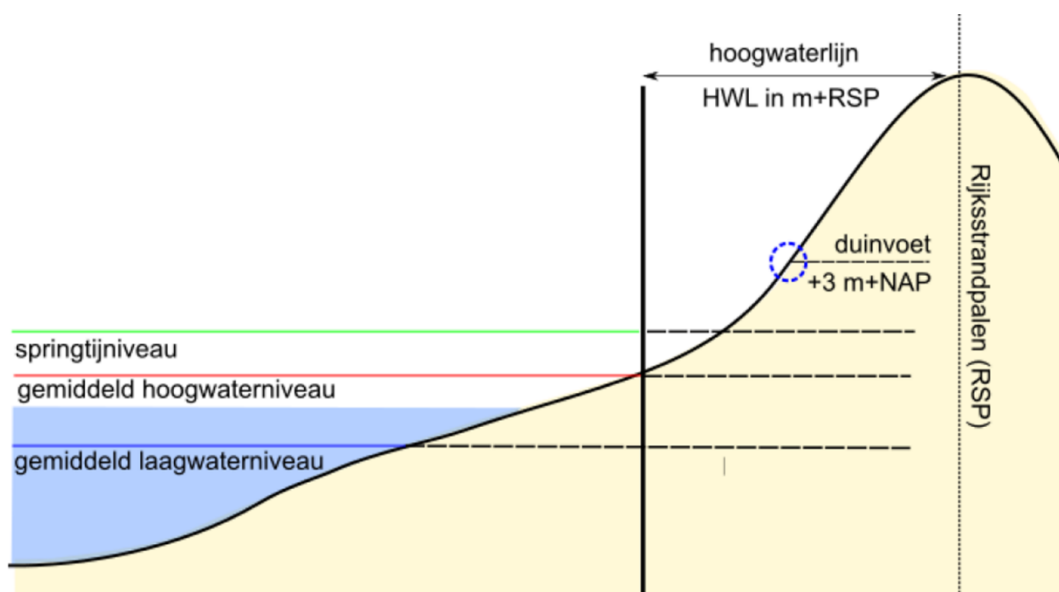
A Kustindicatoren: berekenmethode

A.1 Gemiddeld hoog- en laagwater

Het gemiddeld hoogwater niveau (GHW) is het verticale niveau ten opzichte van NAP (rode lijn in Figuur 7.10). 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 7.10) 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, 2002⁵). 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.



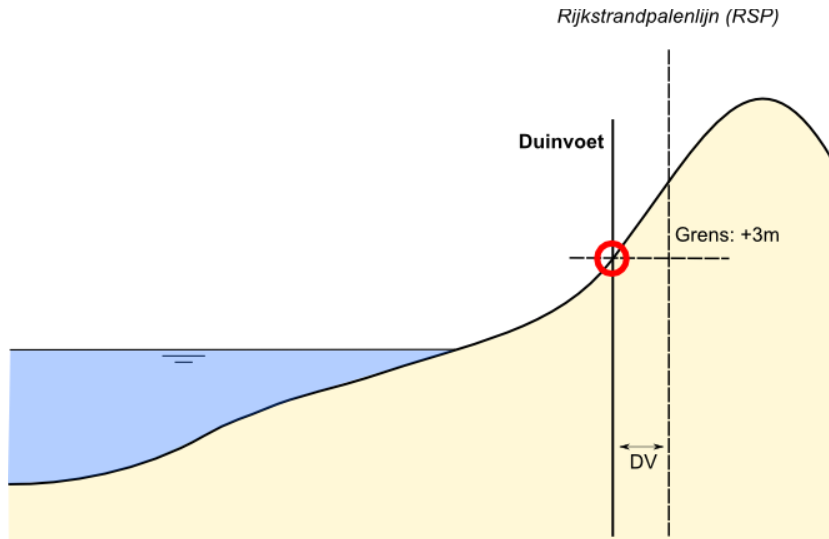
Figuur 7.10 - Rekenmethodiek voor de bepaling van gemiddeld hoogwater niveau (GHW), gemiddeld laagwater niveau (GLW), hoogwaterlijn (HWL) en laagwaterlijn (LWL).

A.2 Duinvoet

De duinvoet (DV in Figuur 7.11) 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

⁵ 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)

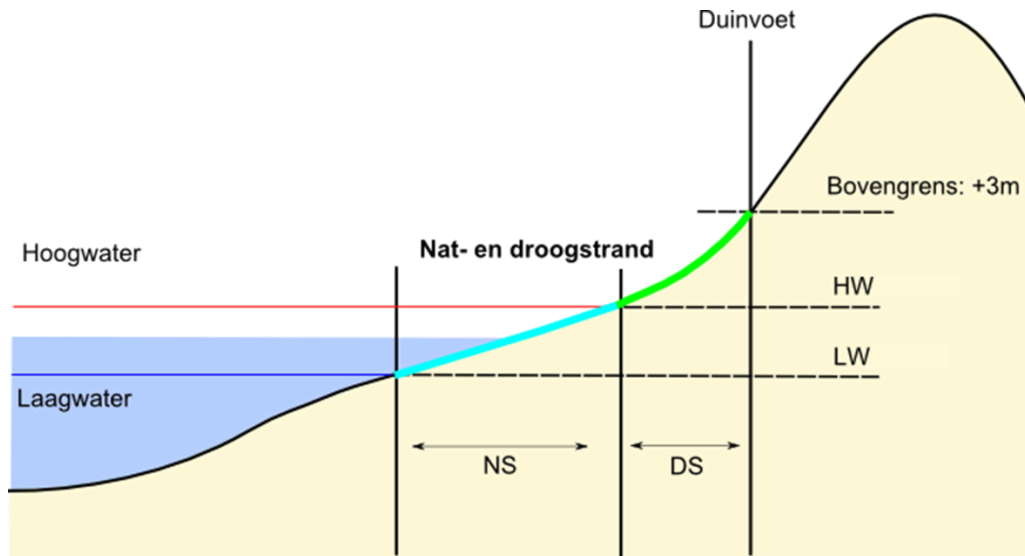
NAP lijn, ten opzichte van RSP. Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van strand naar duinen (i.e. knikpunt in het profiel).



Figuur 7.11 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de duinvoet

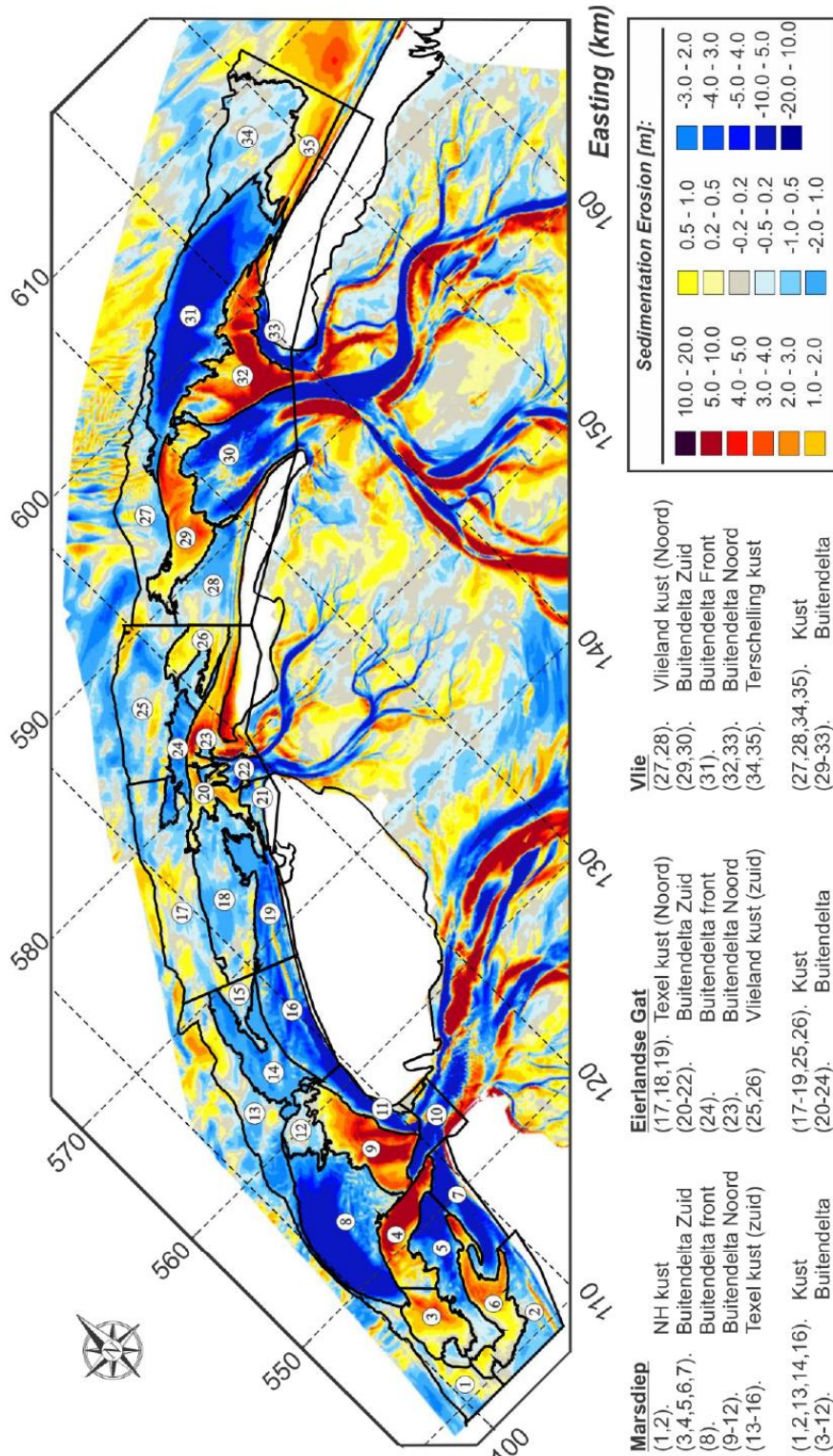
A.3 Strandbreedte

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 droge strand is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de hoogwaterlijn (HW) en de duinvoet (+3m). Deze definities zijn weergegeven in Figuur 7.12.



Figuur 7.12 - Rekenmethodiek voor de bepaling van de strandbreedte, natte strandbreedte (NS) in blauw en droge strandbreedte (DS) in groen.

B Deelpolygonen voor de kustzone Westelijke Waddenzee



Figuur 7.13 - Een overzicht van de deelpolygonen voor de kustzone geprojecteerd op het sedimentatie-erosie patroon van de 1933-2015 bodems. Elias (2019)

Tabel 7.2 - Overzicht trendwaarden voor langetermijn, middellangetermijn en huidige trends (1997-2015).

Periode	1933 - 2015		1991 - 2015		1997 - 2015	
	trend [Mm ³ /jaar]	R ²	trend [Mm ³ /jaar]		trend [Mm ³ /jaar]	R ²
Zeegat van Texel						
1	-0.08	0.68	-0.16	0.66	-0.11	0
2	-0.15	0.82	0.02	0.04	0.02	0.02
3	0.17	0.97	0.26	0.9	0.2	0.8
4	0.93	0.97	0.89	0.98	0.81	0.96
5	-0.75	0.96	-0.81	0.95	-0.7	0.95
6	0.32	0.94	0.02	0.13	0.01	0
7	-1.29	0.9	-0.38	0.7	-0.15	0.41
8	-2.55	0.98	-3	0.98	-2.79	0.97
9	0.911	0.96	0.75	0.94	0.64	0.91
10	-0.59	0.89	-0.24	0.81	-0.12	0.86
11	-0.35	0.91	0.09	0.29	0.21	0.8
12	-0.04	0.49	0.07	0	0	0
13	-0.28	0.9	-0.23	0.25	0.13	0.2
14	-0.4	0.98	-0.44	0.81	-0.25	0.67
15	-0.02	0.45	-0.08	0.5	-0.02	0.27
16	-0.56	0.9	0.03	0.03	0.19	0.57
Eierlandse Gat						
17	-0.14	0.59	-0.31	0.45	0.08	0
18	-0.24	0.88	-0.36	0.62	-0.1	0.18
19	-0.38	0.95	-0.2	0.76	-0.1	0.54
20	0.08	0.53	0.17	0.5	0.13	0.22
21	-0.06	0.44	0.16	0.72	0.09	0.43
22	-0.15	0.82	-0.32	0.86	-0.39	0.87
23	0.41	0.96	0.31	0.83	0.42	0.88
24	-0.2	0.97	-0.11	0.86	-0.09	0.71
25	-0.18	0.75	-0.39	0.8	-0.31	0.85
26	0.08	0.62	-0.09	0.71	-0.05	0.42

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