

Beheerbibliotheek Kust Vlieland

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



Beheerbibliotheek Kust Vlieland

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

Auteur(s)

Ellen Quataert

Edwin Elias

Stéphanie IJff

Marc Hijma

Beheerbibliotheek Kust Vlieland

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

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Niels van Kuik
Referenties	
Trefwoorden	Kustvak, Vlieland, Waddenzee, Vliehors, Zuiderstortemelk, beheer en onderhoud kust, suppleties, kustindicatoren, natuurbeleid, bodemdaling, duinen, strand, vooroever

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	15-12-2021
Projectnummer	11206794-002
Document ID	11206794-002-ZKS-0002
Pagina's	81
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Ellen Quataert Edwin Elias Stéphanie IJff Marc Hijma	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Ellen Quataert Edwin Elias Stéphanie IJff Marc Hijma	Marcel Taal	Toon Segeren	

Samenvatting

Om de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden voert Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat kustonderzoek uit binnen het project KPP-B&O Kust (Kennis Primaire Processen Beheer en Onderhoud Kust). Dit gebeurt in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Deze beheerbibliotheek van de kust van Vlieland brengt de meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer samen en maakt ze inzichtelijk. 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 zowel ontwikkeld binnen KPP-B&O Kust als ook andere kust(onderzoek)projecten en wetenschappelijk onderzoek.

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Vlieland is een actualisatie van de eerste versie door Elias, Vergouwen en Kuijper (2016). Resultaten van nieuwe studies (o.a. Zeegat van het Vlie) zijn opgenomen en tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd.

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 Vlieland	14
3.3	Waterveiligheidsbeleid	16
4	Gebruiksfuncties van de kust van Vlieland	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Waterveiligheid	18
4.2.1	Kustverdedigingswerken	18
4.2.1.1	Strandhoofden langs de eilandkust	19
4.2.1.2	Kustverdediging van Noordoost Vlieland	23
4.2.2	Primaire waterkering	25
4.2.3	Beoordeling van de primaire waterkering	25
4.3	Strandrecreatie	27
4.4	Natuur	27
4.4.1	Natura2000 gebieden	27
4.4.2	Natura2000 habitats	30
4.4.3	Beheer	31
4.5	Drinkwaterwinning	33
5	Langetermijn ontwikkelingen	34
5.1	Inleiding	34
5.2	Paleografische ontwikkeling	34
6	Beschrijving van het morfologisch systeem	37
6.1	Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag	37
6.2	Eierlandse Gat	39
6.2.1	Algemene kenmerken	39

6.2.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Eierlandse Gat	40
6.2.3	Morfologische ontwikkeling van de Vliehors	44
6.3	Centrale eilandkust	47
6.4	Zeegat van het Vlie	51
6.4.1	Algemene kenmerken	51
6.4.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Zeegat van het Vlie	52
6.4.3	Morfologische ontwikkeling Vlieland Noordoost	55
6.4.4	Morfologische ontwikkeling Vlieland-Oostkop en -Haven	59
6.5	Dynamiek van de duinen	62
7	Kustlijnontwikkeling	65
7.1	Samenvatting	65
7.2	Zandsuppleties	67
7.3	Ontwikkeling kustindicatoren	69
7.3.1	MKL – BKL	69
7.3.2	Duinvoet	71
7.3.3	Strandbreedte	71
7.3.4	Faalkans eerste duinenrij/zeereep	72
	Referenties	74
A	Kustindicatoren: berekenmethode	77
A.1	Gemiddeld hoog- en laagwater	77
A.2	Duinvoet	78
A.3	Strandbreedte	78
A.4	Faalkans van de eerste duinenrij	79

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. Voor ontwerp, volume en de uitvoerdatum van de suppletie is kennis van het zandige kuststelsel nodig.

In de loop der jaren is 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 per kustvak. Beheer en onderhoud vindt plaats in een complex (morfologisch) systeem. Het begrijpen van die complexiteit is van belang voor de kustlijnverzorging met zandsuppleties, maar ook voor maatregelen van andere beheerders.

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

1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

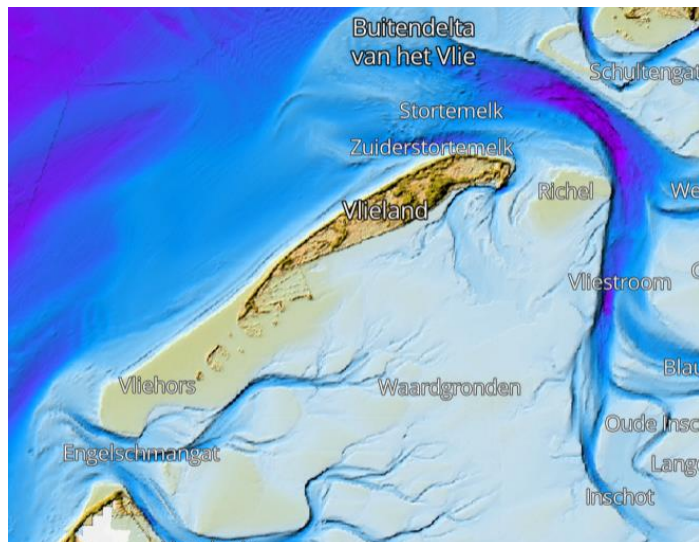
De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het betreffende kustvak en omvat een beschrijving van de morfologische systeemwerking, de kustverdediging en de primaire waterkeringen. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties.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

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Vlieland is een actualisatie van de eerste versie door Elias, Vergouwen en Kuijper (2016). Resultaten van nieuwe studies zijn opgenomen en tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd.

1.4 Kustviewer

Naast de beheerbibliotheek heeft Deltares samen met Rijkswaterstaat een Kustviewer ontwikkeld met een achterliggende database van kustdata. Deze biedt op eenvoudige manier inzicht in de ontwikkeling van de kust. In aanvulling op de figuren in de beheerbibliotheek kan

de lezer de ontwikkeling van de Nederlandse Noordzeekust online bekijken via:
<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>



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

1.5 Kustlijnkaartenboek

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

<https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/kustlijnkaart>

1.6 Leeswijzer

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

2 Algemene gebiedsbeschrijving

Vlieland is vanuit het westen het tweede Waddeneiland, gelegen tussen de eilanden Texel en Terschelling, zie Figuur 2-1. Het eiland is het kleinste bewoonde Waddeneiland met een oppervlakte van 39 km² en 1226 inwoners (1 juli 2021, bron: CBS) die voornamelijk wonen in het enige dorp op het eiland, Oost-Vlieland. Het eiland is sinds de Tweede Wereldoorlog onderdeel van de provincie Friesland.

Met uitzondering van de aan de noordoostzijde van het eiland gelegen woonkern bestaat het eiland vrijwel geheel uit natuurgebied, zoals duinen, bos en strand. Ongeveer 300 hectare van het duingebied is bebost, verder is alles duin. Het Vuurboetsduin, gelegen net ten westen van Oost-Vlieland is met een hoogte van 36 meter het hoogste duin binnen het Waddengebied. De bossen op Vlieland zijn aan het begin van de 20e eeuw als dennenbossen aangeplant om de verstuiving van het duinzand tegen te gaan. De twee grootste natuurgebieden zijn de Vliehors en de Kroon's Polders.

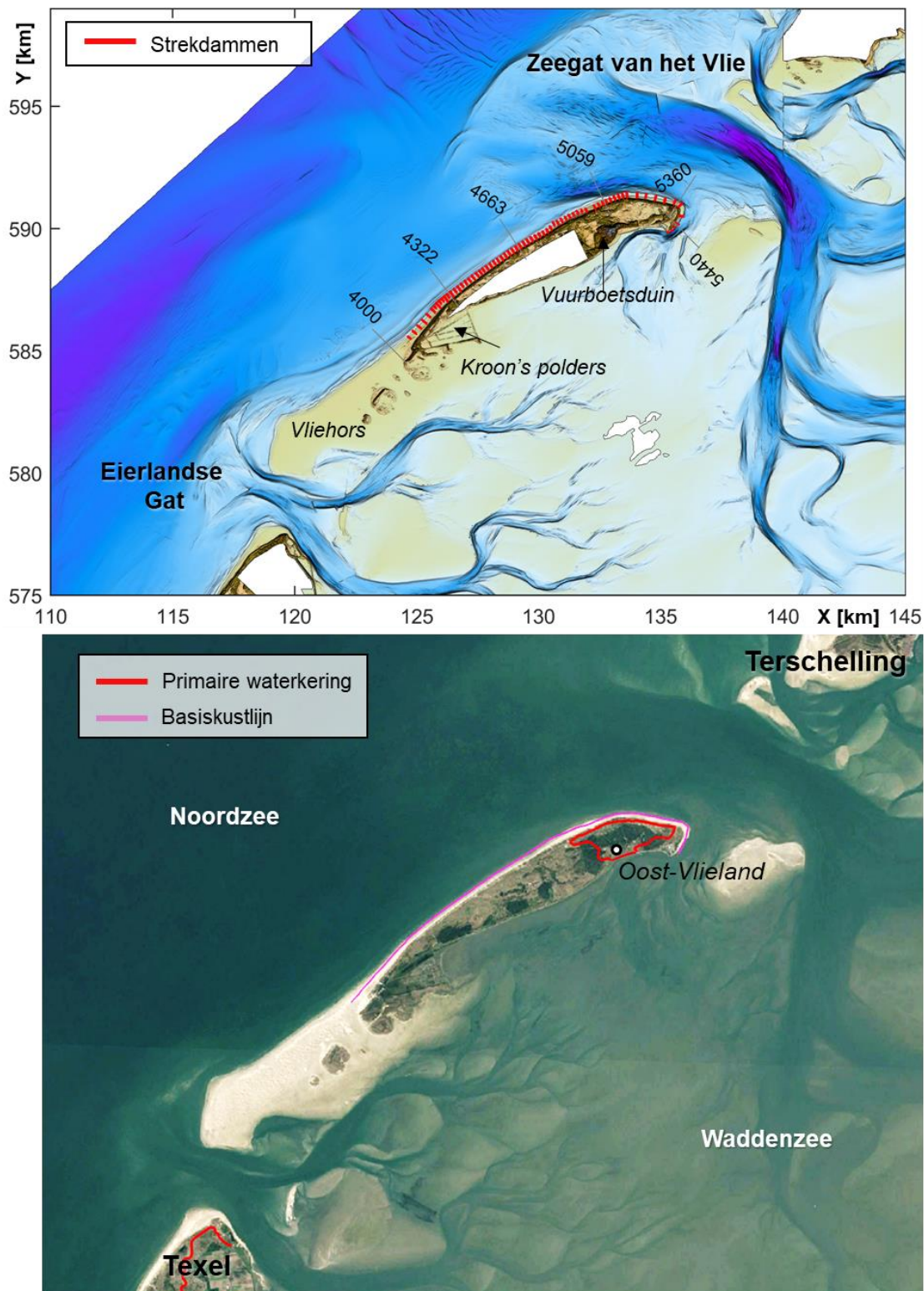
De grote zandvlakte de Vliehors beslaat de gehele zuidpunt van het eiland en fungeert tevens als militair oefenterrein en is in eigendom en beheer van het Rijk. De Vliehors is vooral van belang als hoogwatervluchtplaats en broedplaats van wadvogels zoals meeuwen, scholeksters, wulpen, strandplevieren, bontbekplevieren en verschillende soorten sterns. Met name de punt van de Vliehors vormt een rustplaats voor zowel gewone als grijze zeehonden.

De Kroon's Polders zijn in het begin van de 20ste eeuw (1905-1922) aangelegd door de bouw van een serie stuifdijken op de voormalige Vliehors. Het doel van deze stuifdijken was om te voorkomen dat de Vliehors zou doorbreken en hierdoor afgescheiden zou raken van Vlieland. Zo ontstonden vier polders. Eerst waren deze polders nog bedoeld voor de veeteelt, maar tegenwoordig zijn ze natuurgebied en een belangrijk gebied voor planten, broedvogels en trekvogels op Vlieland.

Het eiland Vlieland behoort, gemeten naar het aantal strandhoofden per km, tot de zwaarst verdedigde stukjes kust van Nederland. Eigenlijk bestaat het eiland uit twee delen: in het zuidwestelijke deel kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden op de grote strandvlakte Vliehors. Hier vindt geen kustlijnhandhaving plaats en is er geen Basiskustlijn gedefinieerd. De aanlanding van platen en banken vanuit de buitendelta van het aangrenzende Eierlandse Gat hebben ervoor gezorgd dat de Vliehors over de jaren heen is gegroeid en dat de kust zeewaarts is uitgebreid.

Het centrale en oostelijke deel van het eiland is vrijwel geheel beschermd door strandhoofden, waarvan de meeste in de periode 1854-1885 zijn aangelegd. De al eeuwen durende, grote kustachteruitgang van Vlieland is na aanleg van de strandhoofden gestopt of in ieder geval sterk vertraagd. Doorgaande erosie vond wel plaats aan de noordoostzijde van Vlieland, waar het eiland onder invloed staat van de getijgeulen Vliesloot en Zuiderstortemelk. Kustverdedigingsmaatregelen, aangelegd in 1995, zorgen ervoor dat de noordoostzijde van Vlieland met een suppletie-inspanning stabiel blijft. Ingrepen blijven wel regelmatig noodzakelijk bij Vlieland Oost (raai 4627-5005) en het Vlieland Havenstrand (raai 5440-5480).

De primaire waterkering ligt in het noordoostelijke deel van Vlieland en het zandige deel van de kering is in 2017 aangepast om de bebouwing zoveel mogelijk binnendijks te brengen en ruimte te bieden voor het dynamische kustbeheer.



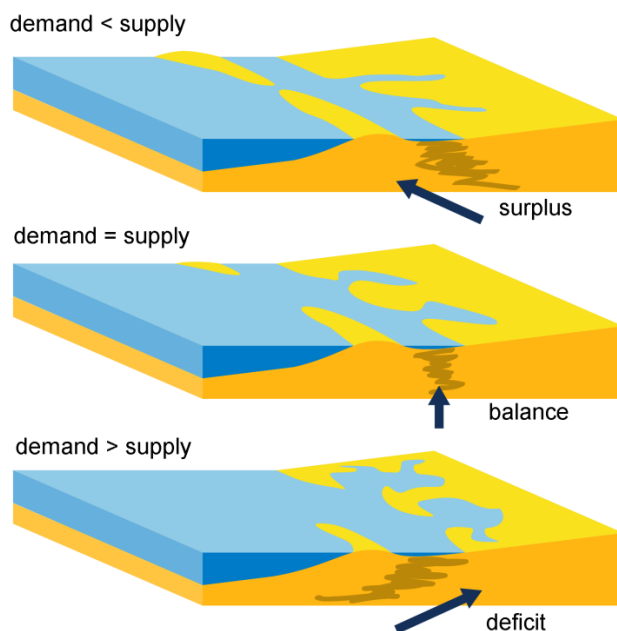
Figuur 2-1 – Overzicht van het kustvak van Vlieland. Boven de belangrijkste namen en kustverdedigingswerken op data van vaklodgingen en het AHN. Onder de primaire kering en basiskustlijn weergegeven op een satelliet afbeelding.

3 Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid

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

3.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

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



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

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

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

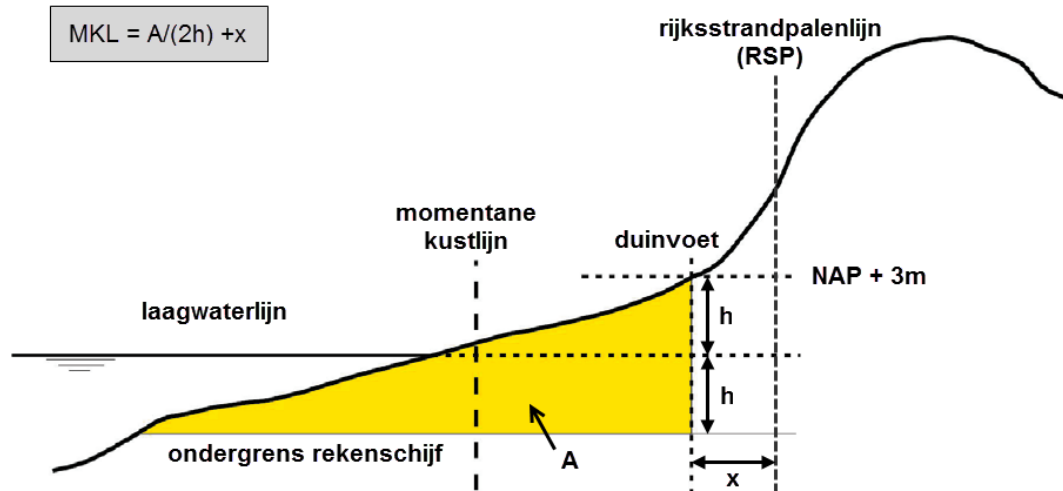
en uitgedrukt in een positie ten opzichte van de Rijksstrandpalenlijn (RSP). De BKL-positie is gebaseerd op de trend in de kustlijnliggingen tussen 1980 en 1989 (bovenste deel Figuur 3-3). Elk jaar de ligging van de kustlijn berekend en vergeleken met de positie van de Basiskustlijn. Als de Basiskustlijn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

Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone rondom de Basiskustlijn, maar ook in dieper water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 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 hele oppervlak van het kustfundament moet meegroeiën met de zeespiegel. Het landelijke suppletievolume is daartoe verhoogd van 6 tot 12 miljoen kubieke meter zand per jaar. Bij de verdeling van dit suppletievolume staat het handhaven van de kustlijn nog steeds voorop.

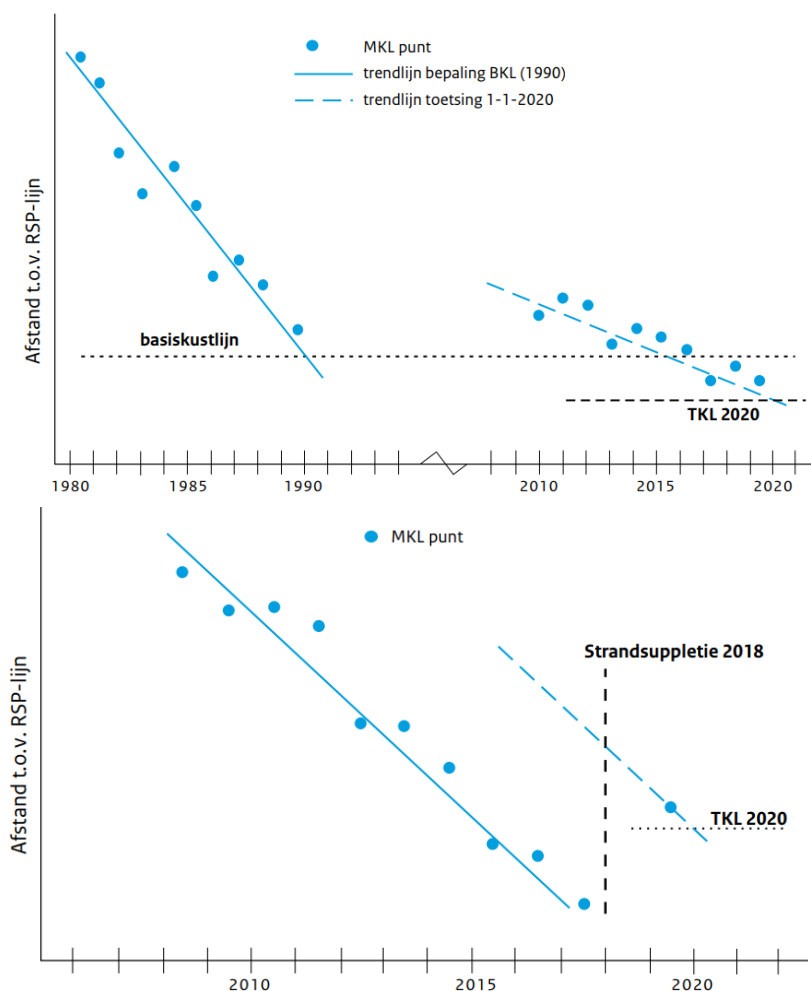
Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeen blijft komen met de, vanuit de verschillende functies bezien, gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn herzien in 2001, 2012 en 2017 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012, en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

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

$$MKL = A/(2h) + x$$



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 Vlieland

Figuur 3-4 geeft de ligging van de huidige Basiskustlijn voor Vlieland, samen met de positie van enkele JARKUS raaien. De vigerende en oude BKL-liggingen zijn te zien in de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>). De BKL voor Vlieland is in 1993 vastgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993). Na de vaststelling 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). Voor Vlieland is de BKL vastgesteld tussen raaien 4000 en 5460.

Herzieningen en afspraken 2012

Op het havenstrand van Vlieland (raai 5440-5460) wordt de BKL al een aantal jaar overschreden. Herstellen van de kustlijn tot aan de BKL is niet haalbaar vanwege een stroomgeul direct voor de kust. Voor de raai 5480 is geen BKL vastgesteld. Om de bereikbaarheid van het strand via de strandopgang voor hulpdiensten te handhaven en omdat het duin dat de haven beschermt, wordt hier om regelmatig gesuppleerd. Deze suppletie is vaak gekoppeld aan de suppletie op Oost-Vlieland. In 2012 is overwogen de BKL te herzien naar een stabiele, handhaafbare positie waarbij rekening kan worden gehouden met de toegankelijkheid van het strand en met de dynamiek van de geul. Echter gezien de voorziene

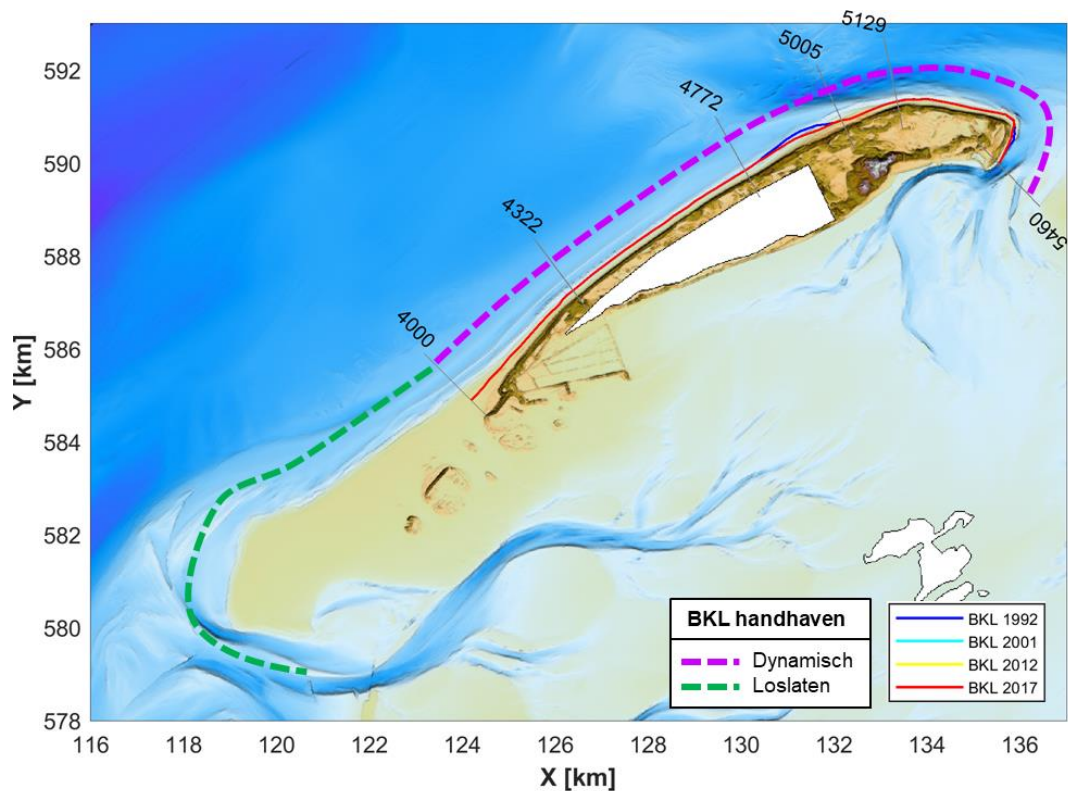
vaststelling van de legger voor primaire waterkering is dit niet gebeurd. Tot de leggers voor alle Friese Waddeneilanden zijn vastgelegd volstaan de regionale afspraken.

Herzieningen en afspraken 2017

Ook voor de BKL-herziening in 2017 is voor het havenstrand van Vlieland (raai 5440-5460) overwogen om de BKL te verplaatsen. Er is besloten om de BKL niet te herzien, maar een proces met de omgeving op te starten om te komen tot nieuwe bestuurlijke afspraken over het beheer en onderhoud. Hieruit volgde dat de strandopgang iets noordelijk is verlegd en er een extra zanddepot beschikbaar komt zodat de strandopgang als calamiteiten route beschikbaar blijft. In 2022 wordt binnen het project KPP-B&O Kust de haalbaarheid van verschillende onderhoudsstrategieën voor het havenstrand van Vlieland onderzocht.

Regionale afspraken m.b.t. handhaven BKL Vlieland

In 1999 gaf het Provinciaal Overlegorgaan Kust (POK) een advies over het beheer van de kustzone van Vlieland (POK Fryslân, 1999). De adviezen zijn overgenomen en opgenomen in het Beheerplan Rijksgronden Vlieland (Staatsbosbeheer, Rijkswaterstaat, 1999). De beheerafspraken met betrekking tot de handhaving van de BKL zijn weergegeven in Figuur 3-4. Ter hoogte van de Vliehors van raai 3300 tot 4000 is geen BKL vastgesteld en wordt er niet ingegrepen. Tussen raaien 4000 en 5460 wordt er dynamisch gehandhaafd. Bij structurele overschrijding van de BKL wordt er met suppleties ingegrepen (zie paragraaf 7.2 voor een overzicht van de uitgevoerde suppleties).



Figuur 3-4 - De positie van de basiskustlijn (BKL 2017, rode lijn) voor Vlieland en enkele JARKUS raaien (grijze lijnen en raainummers). De afspraken m.b.t. het handhaven van de BKL zijn weergegeven met de gestippelde lijnen. De bodem is representatief voor 2016 vaklodingen en aangevuld met de 2020 JARKUS-grids.

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 instrumentarium voor de beoordeling (WBI 2017²) voor de primaire waterkeringen van kracht. Dit verving de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid). De huidige beoordelingsronde is begin 2017 gestart en duurt tot 1 januari 2023. Deze beoordelingsronde is de eerste ronde op basis van de overstromingskansbenadering (sinds 2017 vigerend). 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 kademuren) 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. Op dit moment zijn de dijk en de duinwaterkering Vlieland beide in beheer bij RWS-NN. 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 Vlielandse waterkering is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3

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

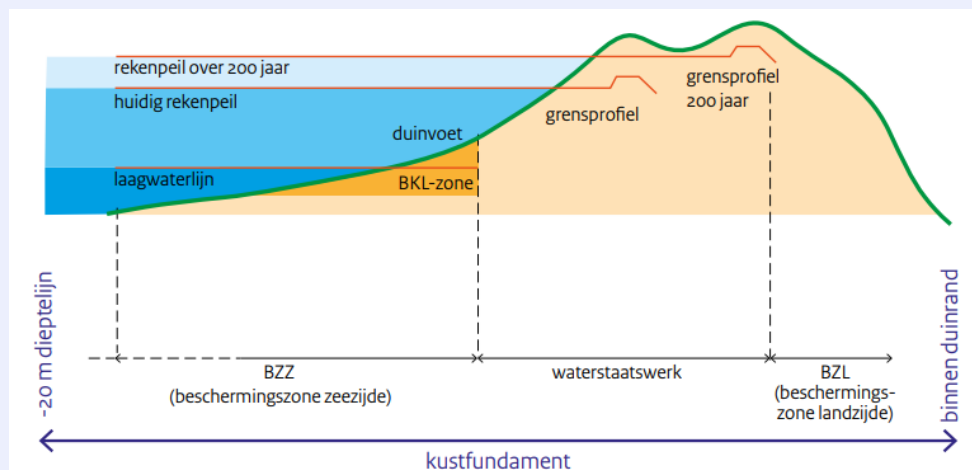
² <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/>

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 van de kust van Vlieland

4.1 Inleiding

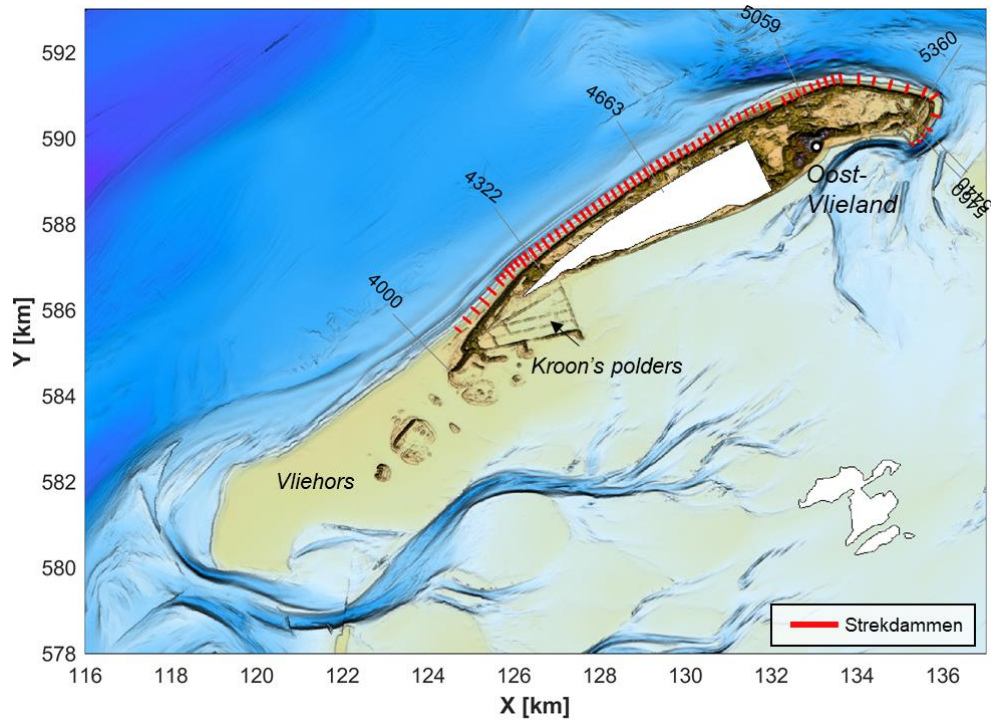
De kustzone is niet alleen belangrijk voor de waterveiligheid, maar biedt ruimte aan vele gebruiksfuncties, zoals natuur, recreatie en drinkwaterwinning. Met die gebruiksfuncties wordt rekening gehouden bij de vaststelling van de Basiskustlijn en het suppletieprogramma. Zandsuppleties vinden bij Vlieland plaats sinds 1979. Dit hoofdstuk geeft een overzicht en korte beschrijving van de waterkeringen (paragraaf 4.2), strandrecreatie (paragraaf 4.3), natuur (paragraaf 4.4) en drinkwater (paragraaf 4.5) voor Vlieland.

4.2 Waterveiligheid

4.2.1 Kustverdedigingswerken

Ter bescherming van Oost-Vlieland is in 1825 een dijk om het dorp aangelegd. Tijdens de bouw van de Afsluitdijk in 1932 is die dijk verder verhoogd om de verwachte hogere waterstanden in de Waddenzee na afsluiting van de Zuiderzee te kunnen keren. In 1958 is de kruin van de Waddendijk dan op de huidige hoogte (NAP + 5,55 meter) gebracht. In 1995 is de dijk *Deltaveilig* gemaakt door het aanbrengen van een dikkere kleilaag en stenen bekleding. Op dit moment voldoet de Waddendijk (Omringdijk) niet aan de veiligheidseisen en is besloten om de dijk zeewaarts te versterken, rekening houden met de zeespiegelstijging in de komende 50 jaar. De versterking van de dijk op Vlieland is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma en de werkzaamheden zullen plaatsvinden tussen 2022 en 2024.

Ter bescherming van de duinen zijn tussen 1854 en 1995 (in 3 fasen) 64 strandhoofden aangelegd (zie paragraaf 4.2.1.1). Sinds 1976 wordt ook de noordoostzijde van Vlieland beschermd. Hier zijn in 1995 nog een aantal strandhoofden (her)aangelegd (zie paragraaf 4.2.1.2). Sinds 1990 wordt het kuststelsel onderhouden door Rijkswaterstaat middels zandsuppleties (paragraaf 7.2). Rijkswaterstaat Noord-Nederland is beheerder van de primaire zandige waterkering



Figuur 4-1 – Overzicht kustverdedigingswerken bij Vlieland. Strekdammen en enkele JARKUS-raaien (grijze lijnen) zijn weergegeven. De bodem is representatief voor 2016 vaklodingen en aangevuld met de 2020 JARKUS-grids.

4.2.1.1 Strandhoofden langs de eilandkust

Op Vlieland zijn in de loop van de jaren 64 strandhoofden aangelegd. Deze hoofden beslaan vrijwel de gehele eilandkust tussen Vliehors en de haven (zie Figuur 4-2). Het merendeel van de hoofden (53) is al gebouwd in de periode 1854-1885 (Rakhorst, 1984). De aanleg begon bij raai 4300 en werd in oostelijke richting uitgebreid tot raai 5200. In de periode 1916-1923 werden langs de kust 8 kilometer oostelijker 6 aanvullende hoofden aangelegd (raaien 5200 tot 5400). In 1957 en 1959 is er ook naar het westen uitgebreid (raaien 4100-4300). In 1995 zijn twee korte strandhoofden aangelegd op de Noordoosthoek (raai 5374 en 5395).



Figuur 4-2 - Boven: ligging van de strekdammen aan de hand van een kaart uit Visser (1946), met toegevoegd locatie hoofden C-G. Onder: Impressie van de strekdammen van Vlieland nabij de NO punt (linksboven en - onder), centrale eilandkust (rechtsboven) en overgang naar de Vliehors (rechtsonder). Foto's: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat.

Rakhorst (1984) en Bakker en Joustra (1970) komen tot de conclusie dat deze strandhoofden de erosie sterk vertraagd of zelfs gestopt hebben. In de evaluatie van Rakhorst (1984), wordt het volgende geconcludeerd:

“De bliksemgrafieken (Figuur 4-3) laten het volgende zien; Op Vlieland is het grootste gedeelte der strandhoofden aangelegd tussen 1854 en 1885 in een periode van zeer grote kustachteruitgang (maximaal tot 20m/j). Direct na de aanleg nam de kustachteruitgang sterk af en werd later zelfs gestopt. Tussen km 48 en km 50 is zelfs een zodanige aanwas opgetreden, dat de strandhoofden geheel onder het zand verdwenen zijn. Ook de meest noordelijke strandhoofden (hoofden nr. 54 t / m 63) aangelegd tussen 1916 en 1923 en de meest zuidelijke hoofden (nr. C t/m E) aangelegd tussen 1957 en 1959 geven een sterke vermindering van de kustachteruitgang direct na aanleg van de strandhoofden te zien. De oude strandhoofden zijn vrijwel allemaal met de kop op G.L.W. aangelegd, en later soms aangepast (verlaagd). De hoofden rond km 42 hebben een maximale inscharing bereikt van 240 m. Elders is de inscharing veel geringer. De oostelijke hoofden bij km 50, 51 en 52 zijn aangelegd met een inscharing van + 60 m. Bij deze hoofden is de kustachteruitgang geheel of vrijwel geheel gestopt. De hoofden tussen km 45 en km 49 aangelegd op G.L.W. hebben in eerste instantie een inscharing van 50 tot 70 m gekregen. Geconcludeerd kan worden dat de strandhoofden op Vlieland de al eeuwen durende kustachteruitgang gestopt of sterk vertraagd hebben.”

In Verhagen en van Rossum (1990) is een analyse uitgevoerd van alle strandhoofden langs de Nederlandse kust en dus ook die van Vlieland. In het algemeen wordt geconcludeerd dat hoofden op 2 verschillende manieren invloed kunnen hebben op het kustgedrag: (1) via beïnvloeding van de door golven aangedreven brandingstransport en (2) door de beïnvloeding van de getijstroom. Vooral in het laatste geval, als strandhoofden de getijstroom van de kust afhouden, functioneren ze goed. Verhagen en van Rossum (1990) presenteren een tabel met de erosiesnelheid van de kustlijn voor en na de aanleg van de strandhoofden (Tabel 4-1). Op basis van deze tabel kan geconcludeerd worden dat de strandhoofden de erosie sterk reduceren en de kust zelfs stabiliseren. Kanttekening is dat over de periode 1600-1750 de kustlijnligging uit oude kaarten is geschat. Nauwkeurige metingen zijn slechts sinds 1850 beschikbaar en dat correspondeert weer met aanleg van de strandhoofden.

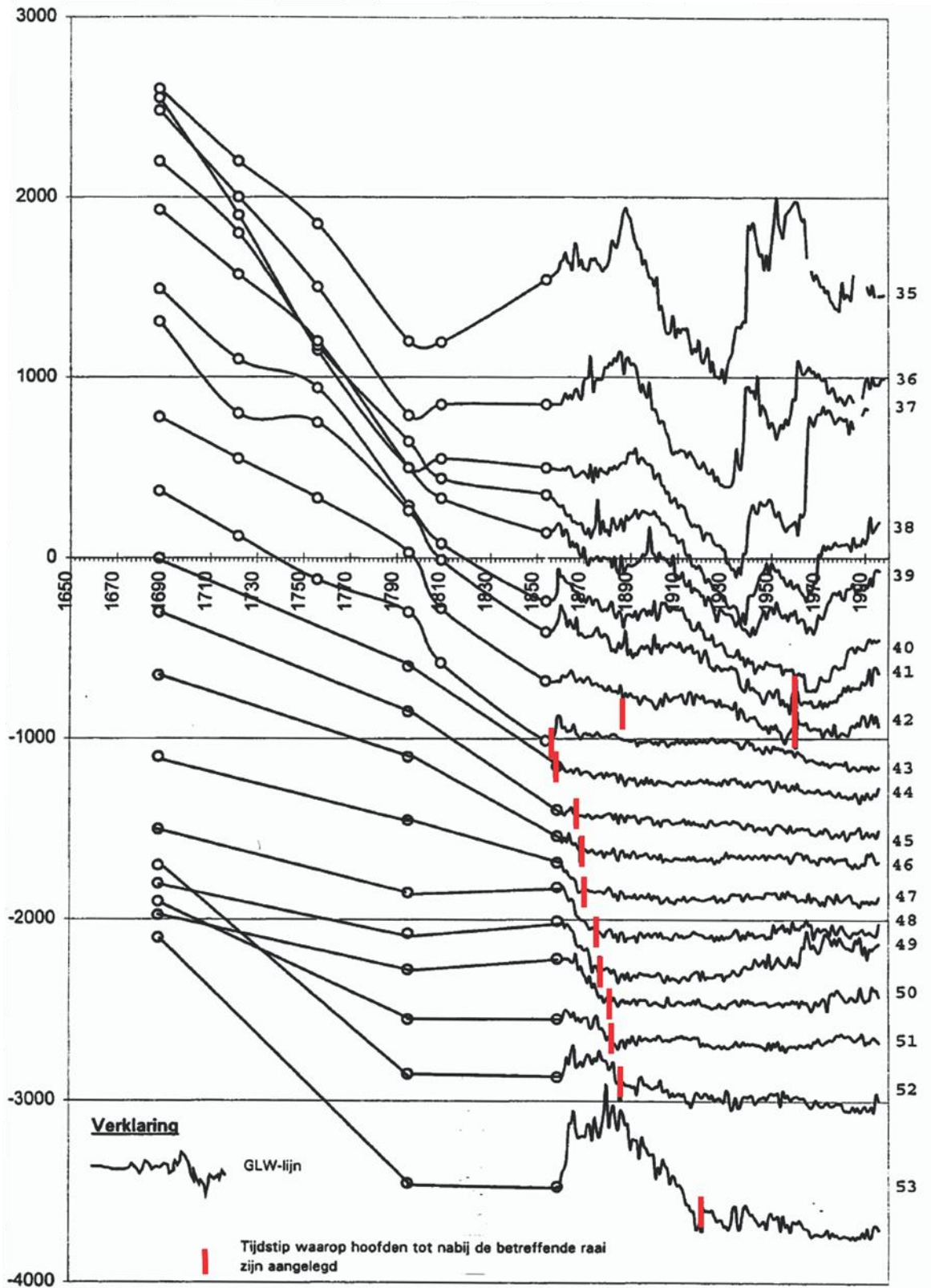
Tabel 4-1 - Erosiesnelheid kustlijn Vlieland. Uit Verhagen en van Rossum (1990), pagina 20

Raai	Erosiesnelheid m/jaar		
	1600-1750	1750-1850	1885-1985
43	7.3	3.8	0.0
44	6.7	4.3	1.2
45	5.3	3.5	1.3
46	4.7	4.8	0.9
47	3.3	3.7	0.5
48	3.3	3.6	0.0
49	3.3	3.5	-0.5
50	3.3	2.7	0.0
51	3.3	2.2	0.0

Verhagen en van Rossum (1990) vatten het effect van de strandhoofden dan als volgt samen:

- De hoofden hebben een stabiliserende invloed gehad op het kustgedrag.
- Het met hoofden versterkte deel van de kust steekt als een soort bolwerk in zee.
- Er is sterke lij-erosie opgetreden, die door nieuwe hoofden gecompenseerd moest worden.

Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat de kans dat hoofden op Vlieland invloed op het langjarig kustgedrag gehad hebben redelijk groot is.



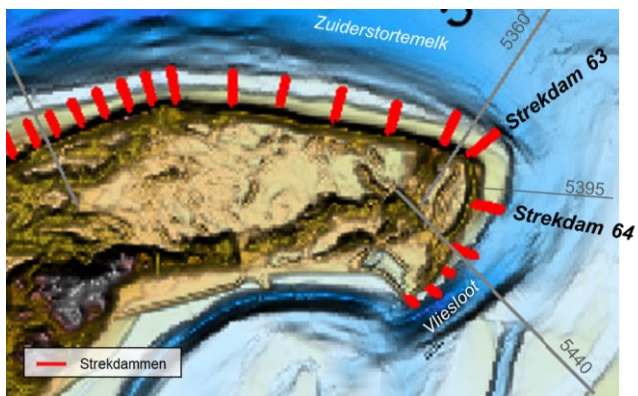
Figuur 4-3 - Verloop van de Gemiddeld Laag Waterlijn over de periode 1690-1995 voor raaien 3500 tot 5300 (van boven naar beneden). (uit: Walhout, 1998).

4.2.1.2 Kustverdediging van Noordoost Vlieland

De noordoostkant van Vlieland is al lange tijd aan erosie onderhevig. Dit stuk kust staat van oudsher onder invloed van de geulen (Vliesloot, Balg en Zuiderstortemelk, zie paragraaf 6.4). In 1976 is begonnen met het intensief verdedigen van de kust. Met name tussen raaien 5370 en 5460 zijn veelvuldig kustverdedigingsmaatregelen uitgevoerd (zie o.a. Steyaert, 1999, van Heuvel, 1999). Duinverzwaringen zijn zowel aan de zeezijde (1976) als landzijde uitgevoerd (1978 en 1980). Daarnaast zijn in 1981 drie (dubbele) palenrijen geplaatst en is in 1980/81 een stortstenen duinvoetverdediging aangelegd. Deze maatregelen vertragen de erosie wel, maar hebben deze niet gestopt. In Figuur 4-5 (opname 1987) is deze stortstenen duinvoetverdediging nog duidelijk terug te zien. Deze verdediging steekt als een bolwerk naar voren en ten oosten ervan is het duin sterk landwaarts verplaatst.

In 1991 is de zeereep over een gemiddelde afstand van 50m landwaarts verschoven. Het doel van deze verschuiving was een beter te handhaven situatie te maken. Het zand van het strand werd tegen stroomerosie beschermd en voorkomen werd dat bij iedere storm een gedeelte van de zeereep verdwijnt. Met de vrijgekomen steenbestorting uit de eerdere duinvoetverdediging zijn op het strand 2 korte stroomkribben aangelegd om de stroom uit de kust te drukken en zo het zand op het strand vast te houden (zie Figuur 4-5 rechtsboven voor ligging). Met de aanleg van deze kribben werd een (verbeterd) evenwichtsprofiel voor de kust verkregen, waarmee de kustlijn op een effectieve wijze wordt gehandhaafd. Een serie van stormen veroorzaakte begin 1994 kustafslag met plaatselijk een dreiging van doorbraak van de nieuwe zeereep. Dit leidde in 1995 tot een serie aanvullende maatregelen. De bestaande duinvoetverdediging ter hoogte van raai 5374 en 5395 en de krib ter hoogte van raai 5420 zijn weggehaald. Met het vrijgekomen breuksteen is een stortstenen dam ter hoogte van raai 5405 geconstrueerd, strekdam 64 in Figuur 4-4 en Figuur 4-5. De strekdam heeft, gemeten vanuit de duinvoet, een lengte van circa 200 meter. Vanaf de duinvoet loopt deze dam zeewaarts af van 2.50m+ NAP tot 1.00m+ NAP. Ter hoogte van raai 5430 is een ondersteunend strandhoofd geplaatst en is een strandsuppletie (200.000 m³) uitgevoerd (zie kaartje in jaar 2011, linksonder in Figuur 4-5).

In een uitgebreide evaluatie van de opgetreden ontwikkelingen na aanleg (Teerenstra, 1999) staat dat de zeewaartse constructie van noordoost Vlieland goed voldoet. Ten noorden van de strekdam heeft de vooroever zich uitgebreid waardoor de as van de geul over een afstand van 50 tot 100 meter verschoven. Ten zuiden, tussen het aangebrachte strandhoofd en de strekdam, is het strand in eerste instantie licht geërodeerd. Dit zand is in de vooroever terecht gekomen. De plaats van de kustlijn is sinds het uitvoeren van de werkzaamheden nagenoeg gelijk gebleven. De kustfoto's van 2007 en 2011 laten inderdaad duidelijk een breed strand zien tussen strekdam 63 en de aanvullende strekdam 64, zie Figuur 4-4 en Figuur 4-5. Ook aan de zuidkant, tussen deze strekdam en het strandhoofd is een invulling te zien. Deze is echter niet zo groot als aan de noordkant. In het laatste kustvak, tussen de laatste stroomkrib en het havenhoofd is duidelijk de doorgaande erosie van het strand te zien. In dit gebied, tussen raai 5450 en 5460 (het havenstrand) zijn vanwege de erosie in 2001, 2005, 2009, 2013 en 2018 aanvullende, kleine suppleties uitgevoerd (zie ook paragraaf 7.2). Het is bijna onmogelijk de kustlijn tot zeewaarts van de BKL te herstellen omdat het strand grenst aan een diepe getijdengeul (Vliesloot). Door de suppleties gaat de kustlijn van het havenstrand niet verder achteruit.



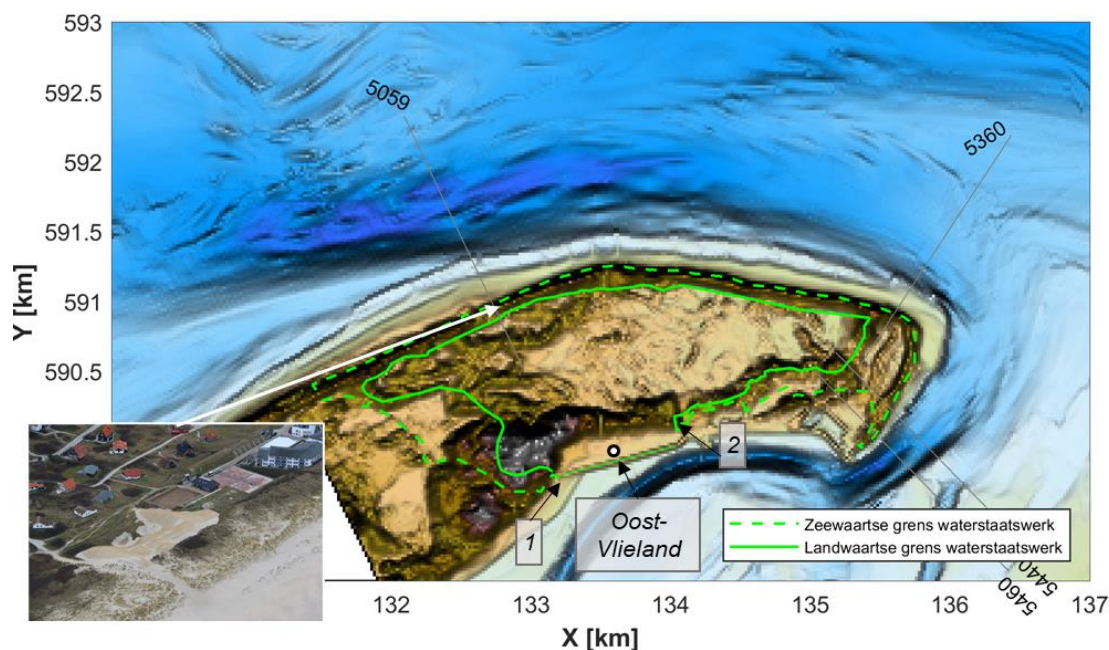
Figuur 4-4 – Overzicht van de strekdammen bij de Noordoostkop van Vlieland in 2021. Onderliggende bodemopname is de JARKUS data uit 2020.



Figuur 4-5 - Kustverdediging aan de Noordoostkop van Vlieland voor de jaren 1987, 1990, 2011 (links) en 2007 (rechts). Bijgevoegd in 2011 is een overzicht van de in 1995 aangelegde kustverdediging bestaande uit een combinatie van een strekdam, strandhoofd en een zandsuppletie (uit Teerenstra, 1999).

4.2.2 Primaire waterkering

De grenzen van de primaire waterkering van Vlieland staan is weergegeven in Figuur 4-6. De primaire waterkering in 2017 aangepast om de bebouwing zoveel mogelijk binnendijks te brengen. Door de aanpassing wordt ook ruimte geboden voor het dynamische kustbeheer (LievenceCSO, 2016). De Waddenzeedijk bij Oost-Vlieland vormt de zuidzijde van de primaire waterkering. Op de overgangen tussen dijk en duin aan weerszijden bevinden zich een 2-tal aansluitconstructies. Aan de westelijke zijde ligt deze direct ten oosten van de Vuurboetsduin (1) en aan de oostzijde aan de Willem de Vlaminghweg in Vlieland Dorp (2). Bij de aanpassing van de primaire waterkering bleek dat voor één gebied op Vlieland (ten oosten van het Hotel Seedyun, raai 5059) er onvoldoende zand aanwezig was om te voldoen aan de wettelijke veiligheidscondities (LievenceCSO, 2016). Hier is een duinversterking van ~7500 m³ uitgevoerd (foto in Figuur 4-6).



Figuur 4-6 - Overzicht van dijktraject 4 primaire waterkering (land- en zeewaartse grens waterstaatswerk), de aansluitconstructies Vuurboetsduin (1) en Willem de Vlaminghweg (2). De foto linksonder geeft een opname van de duinversterking bij raai 5059 weer (zie tekst).

4.2.3 Beoordeling van de primaire waterkering

Op Vlieland bevindt zich dijktraject 4, wat aan de noordzijde wordt begrensd door de Noordzee (dijktraject 4-1) en aan de zuidzijde door de Waddenzee (dijktraject 4-2) (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 Vlieland zijn aangegeven in Figuur 4.6.



Figuur 4-7 - Dijktrajecten Vlieland met de daaraan gekoppelde signaleringswaarde. Bron: <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment>

De eerste beoordeling primaire waterkeringen overstromingskans (eerste beoordelingsronde) is gestart op 1 januari 2017. Het doel van de eerste beoordelingsronde (2017 – 2023) 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 Vlieland zijn er op dit moment (augustus 2021) nog geen beoordeling uitgevoerd.



Figuur 4-8 - Het veiligheidsoordeel van de kering op trajectniveau voor Vlieland. Bron: <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment>, bezocht augustus 2021

4.3 Strandrecreatie

Het gehele jaar door wordt Vlieland bezocht door recreanten. De meeste verblijfplaatsen, zoals hotels, bed & breakfasts, recreatiewoningen liggen in en nabij de kern Oost-Vlieland. Ten noorden van de kern Oost-Vlieland tussen raaien 4970 en 5329 liggen in de duinen de camping Stortemelk, hotel Seeduyn en een groot aantal recreatiewoningen (Landal Vlieduyn). Er zijn twee jaarrond-strandpaviljoens bij de strandopgang ter hoogte van raai 5041 en 5353.

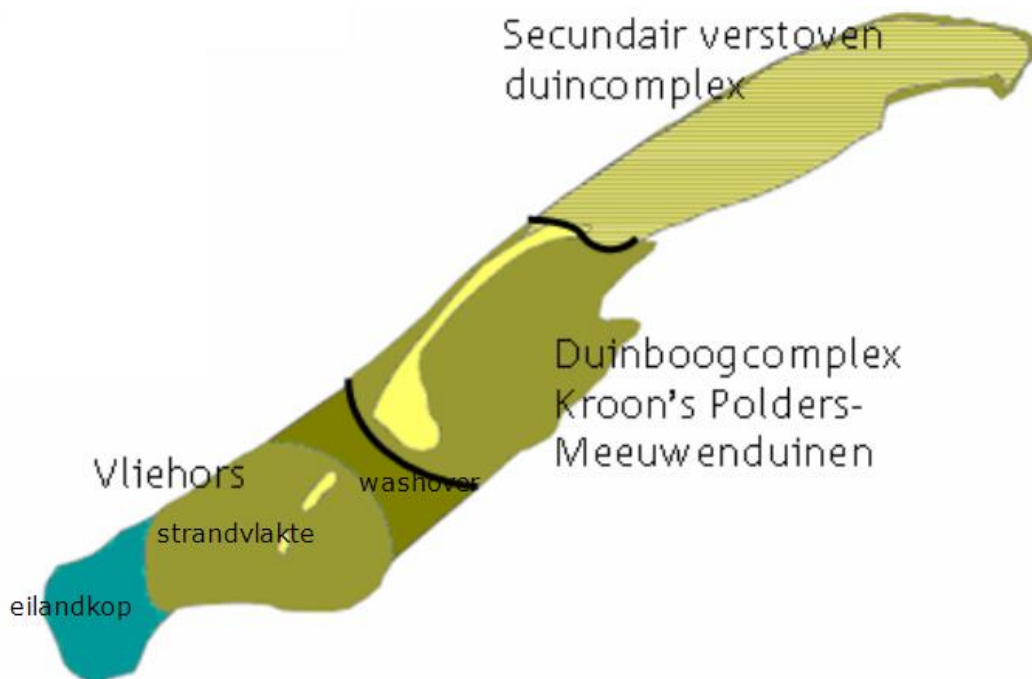
4.4 Natuur

4.4.1 Natura2000 gebieden

Onderstaande tekst is afkomstig van de Natura 2000 gebiedsbeschrijving Vlieland³ en het Natura 2000 beheerplan Vlieland (Ministerie van Economische Zaken, 2016).

Op basis van ontstaansgeschiedenis, hoogteligging en reliëf en aan de hand van het modeleiland worden op Vlieland vier verschillende landschapsecologische hoofdvormen of deelgebieden onderscheiden (Figuur 4-9):

- 1 Eilandkop, strandvlakte en washovercomplex – De Vliehors
- 2 Duinboogcomplex Kroon's polders – Meeuwenduinen
- 3 Secundair verstoven duincomplex – Midden en Oost Vlieland
- 4 Strand en vooroever.

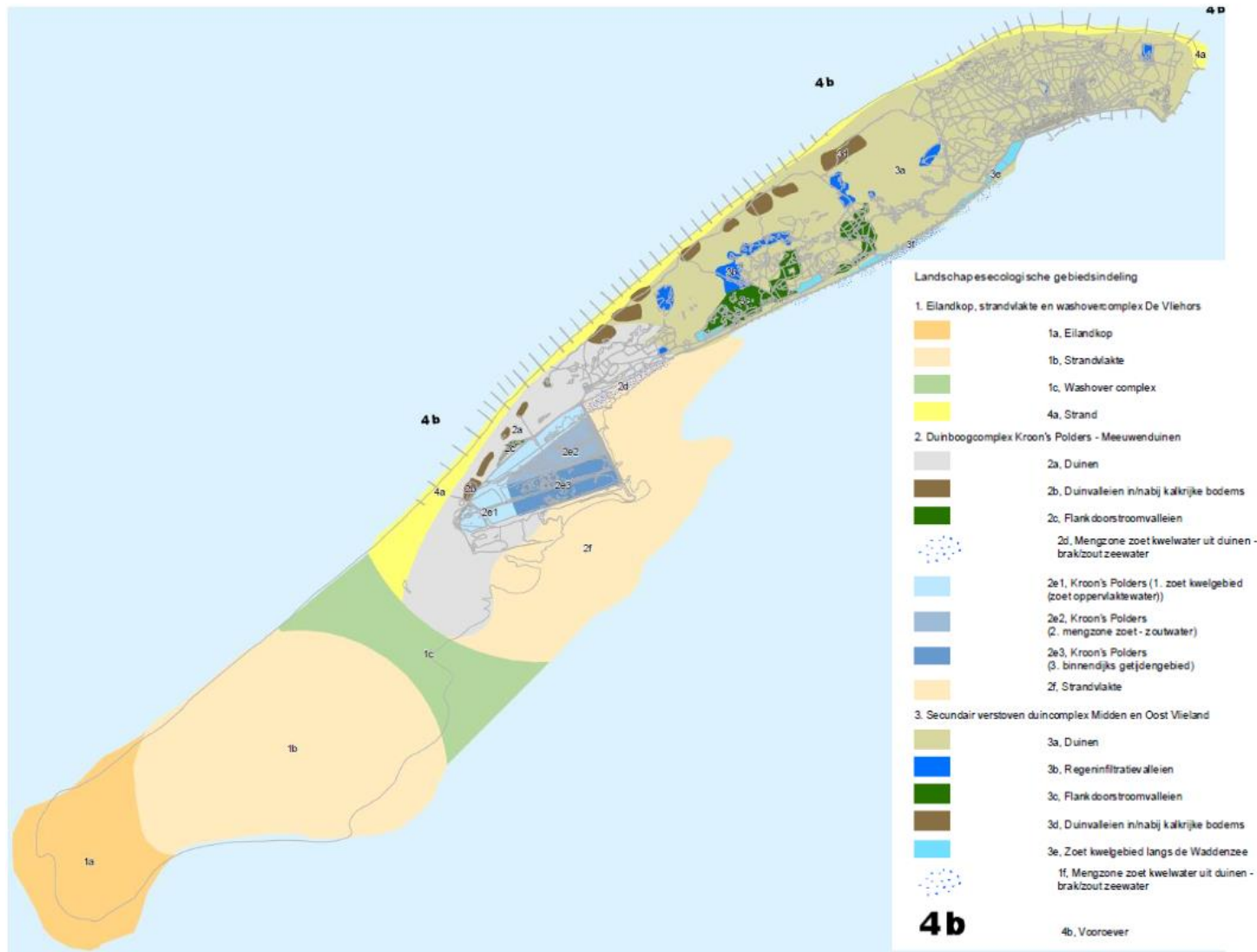


Figuur 4-9 - Overzicht van geo-ecologische hoofdvormen op Vlieland. Bron: Ministerie van Economische Zaken (2016)

Het duingebied van Vlieland wordt landschappelijk gekenmerkt door een uitgestrekt duingebied en bedijkte kwelders (Kroon's Polders) (Figuur 4-10). De droge duinen zijn relatief kalkarm, wat zich uit in korstmossrijke duingraslanden en heidebegroeiingen. Het gebied omvat ook enige boscomplexen die bestaan uit aangeplant naald- en loofbos en spontane opslag. Aan de westrand van het gebied ligt de Vliehors, een uitgestrekte strandvlakte met

³ <https://www.natura2000.nl/gebieden/friesland/duinen-vlieland>

pionierduinen, jonge kwelderbegroeiing en een duinvallei. Het grootste deel van de Vliehors ligt in het Natura 2000 gebied Waddenzee. In het gebied is een grote diversiteit aan duinvalleien aanwezig, die verschillen in de mate van infiltratie dan wel kwel. Centraal op het eiland zijn zure milieus van infiltratievalleien; op de ijsbaan net ten noorden van het dorp is meer kwel aanwezig. De Kroon's Polders bestaan uit een reeks van duinvalleien met kalkrijke duinvalleivegetatie. Het reservaat bestaat uit een viertal kunstmatig afgesnoerde achterduinse strandvlakten. Ze zijn ooit aangelegd om te voorkomen dat het eiland zou doorbreken en om weiland te creëren. In drie van de vier polders wordt zout water ingelaten.



Figuur 4-10 - Landschapsecologische gebiedsindeling op basis van het modeleiland en de hydrologische systeembeschrijving van Haskoning (bron: Ministerie van Economische Zaken, 2016)

4.4.2 Natura2000 habitats

Door de grote landschappelijke afwisseling is het gebied rijk aan planten-en diersoorten. Natura 2000 biedt bescherming aan 21 habitattypen (Tabel 4-2 en Figuur 4-11).

Tabel 4-2 - Aangewezen habitattypen en doelstellingen Natura 2000-gebied Vlieland. * geven prioritair habitattypen aan (bron: Ministerie van Economische Zaken, 2016).

Code	Omschrijving	Natura 2000	L-SVI	Doel Opp.	Doel Kwal.
H1310A	Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)	D/W/N	-	=/=	=/=
H1310B	Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)	W/N	+	=	=
H1320	Slijkgrasvelden	W	--	=	=
H1330A	Schorren en zilte graslanden (buitendijks)	D/W/N	-	=/=	=/>=
H1330B	Schorren en zilte graslanden (binnendijks)	W	-	=	=
H2110	Embryonale duinen	W/N	+	=	=
H2120	Witte duinen	D/W	-	=	=
H2130A	*Grijze duinen (kalkrijk)	D/W	--	=	=
H2130B	*Grijze duinen (kalkarm)	D/W	--	>=	>>
H2130C	*Grijze duinen (heischraal)	D	-	=	=
H2140A	*Duinheiden met kraaihei (vochtig)	D	-	=	=
H2140B	*Duinheiden met kraaihei (droog)	D	-	=	=
H2150	*Duinheiden met struikhei	D	+	=	=
H2160	Duindoornstruwelen	D/W	+	=	=
H2170	Kruipwilgstruwelen	D	+	=	=
H2180A	Duinbossen (droog)	D	+	>	>
H2180B	Duinbossen (vochtig)	D	-	>	>
H2190A	Vochtige duinvalleien (open water)	D	+	=	=
H2190B	Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	D/W/N	-	>/=	=/=
H2190C	Vochtige duinvalleien (ontkalkt)	D	+	>	>
H2190D	Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)	D	-	=	=

Legenda	
Natura 2000	Naam Natura 2000-gebied: D = Duinen Vlieland W = Waddenzee, (geldend voor gehele Natura 2000-gebied Waddenzee) N = Noordzeekustzone (geldend voor gehele Natura 2000-gebied Noordzeekustzone)
L-SVI	Landelijke Staat van Instandhouding: -- zeer ongunstig - matig ongunstig + gunstig
Doelstelling	Instandhoudingsdoel t.a.v. oppervlakte / kwaliteit > Verbeter- of uitbreidingsdoel = Behoudsdoel

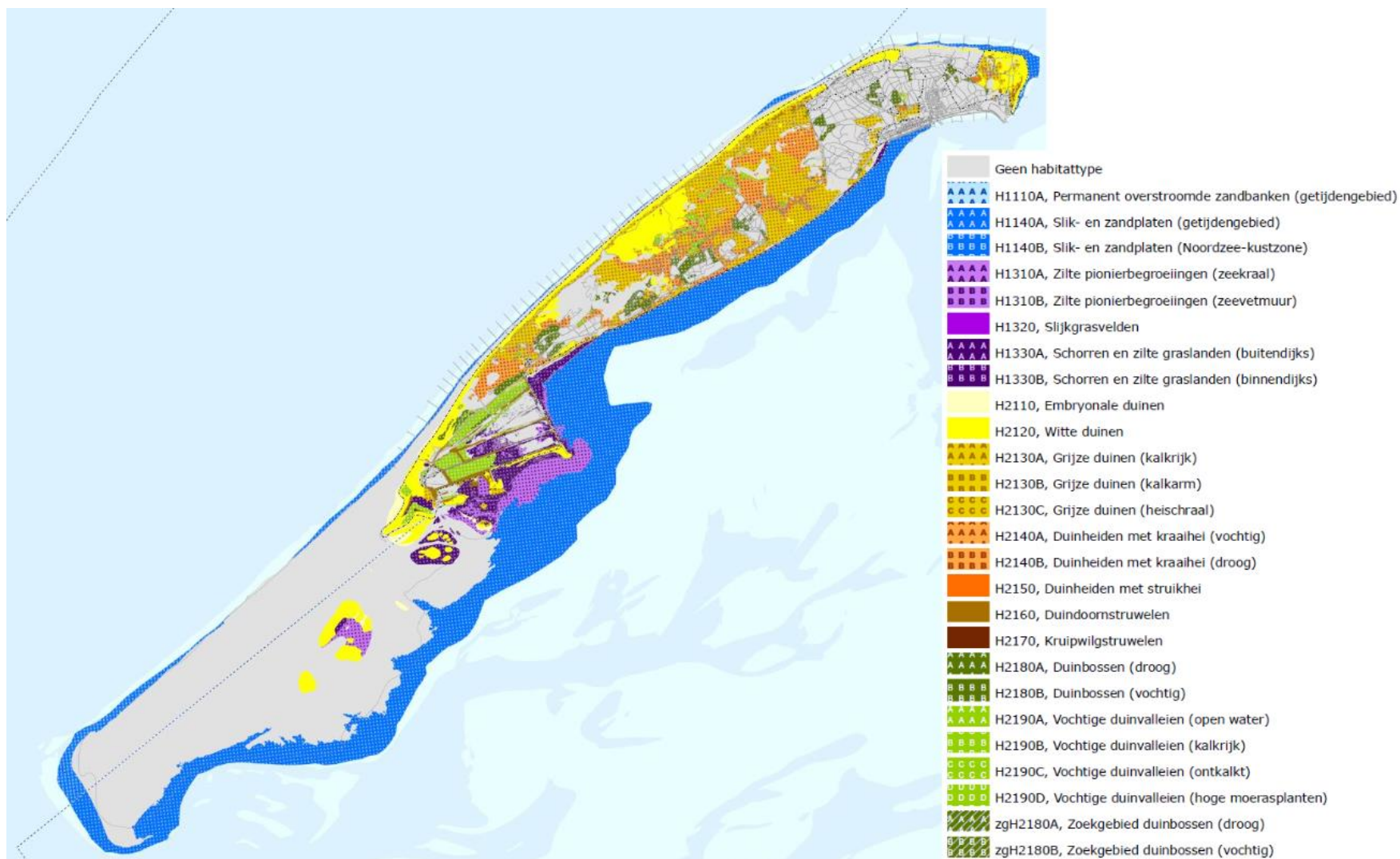
Het meest opvallende aspect van de Duinen van Vlieland is de grote oppervlakte aan goed ontwikkelde Kraaiheibegroeiingen. Vlieland is daarom aangewezen als één van de belangrijkste gebieden van ons land voor habitattypen Duinheiden met Kraaihei (H2140). Deze komt vaak voor op droge noordhellingen en in kalkarme, vochtige duinvalleien. De zuidhellingen van de droge duinen dragen een grazige begroeiing, die deel uitmaakt van het habitattypen Grijze duinen (H2130). Opvallend in de duingraslanden op Vlieland is de, ten opzichte van veel andere duingebieden, beperkte mate waarin vergrassing en verstruweling zijn opgetreden. Deels zal dit samenhangen met het begrazingsbeheer dat op grote oppervlakten wordt gevoerd, en mogelijk hebben ook de konijnen op dit eiland wat minder te lijden gehad van virusziekten. Op Vlieland de Tapuit sterk in aantal achteruitgegaan. Van deze vogelsoort resteert nog slechts een tiental territoria. De zeereep is op het grootste deel van het

eiland zeer smal. Een uitzondering vormen de duincomplexen op de Vliehors, waar actieve duinvorming plaatsvindt en waar de hele reeks van onbegroeide primaire strandduintjes, Biestarwegrasduintjes en Helmduinen te vinden is. Deze Embryonale duinen (H2120) en Witte duinen (H2110) zijn arm aan plantensoorten, maar herbergen op de Vliehors wel een aantal bijzondere paddenstoelen, waaronder de Duinstinkzwam (*Phallus hadriani*). Op Vlieland bevinden zich binnen het oudere duingebied meeuwenkolonies en een lepelaarkolonie. In de Meeuwenduinen en rond het militaire kamp zijn hogere Duindoornstruwelen (H2160) aan te treffen. De vogelbevolking van deze struwelen is rijk aan zangers als Braamsluiper, Grasmus en Nachtegaal. De bossen op Vlieland zijn rijk aan bosvogels, met Havik, Sperwer, Buizerd en Boomvalk aan de top van de voedselketen. Opvallend zijn de grote aantallen Houtsnip, maar ook de Grote bonte specht is talrijk. De Kroon's polders en de hieraan grenzende stuifpoldertjes omvatten de grootste oppervlakte aan vochtige valleien (H2190) van Vlieland. In de Kroon's polders is mooi de successie van natte duinvalleien te bestuderen, doordat de verschillende polders na elkaar zijn aangelegd. In de Kroon's polders en andere moerassige laagten zijn veel moerasvogels te vinden. Talrijk zijn Rietzanger en Sprinkhaanzanger met daarnaast een keur aan schaarse soorten als Waterral, Porseleinhoen, Blauwborst en Beardman.

4.4.3 Beheer

Door overexploitatie van het duingebied was Vlieland in het begin van de 19de eeuw een kaal, sterk stuivend duingebied. Omstreeks 1870 is Rijkswaterstaat begonnen met de inperking van de verstuingen, zodat rond 1900 de duinvalleien weer grotendeels begroeid waren en in 1910 ook de droge duinen. Vanaf 1910 is Rijkswaterstaat begonnen met de aanplant van bossen. Dit is later voortgezet door Staatsbosbeheer. Het merendeel van het aangeplante bos bestaat uit naaldhout (vooral Oostenrijkse den, *Pinus nigra* var. *nigra*), geplant tussen 1910 en 1940. Vooral rond het dorp is veel bos aangelegd. Op de grens van het duingebied en de Vliehors zijn tussen 1866 en 1935 met behulp van stuifdijken achterduinse strandvlakten ontstaan, die een tijd als landbouwgebied zijn geëxploreerd. In deze 'polders', die de naam dragen van de architect Kroon, bleek landbouw echter niet rendabel. De zogenaamde Vijfde Kroon's polder heeft altijd in open verbinding met de Waddenzee gestaan. De Derde en de Vierde Kroon's polder hebben sinds 1996 weer een open verbinding met de zee.

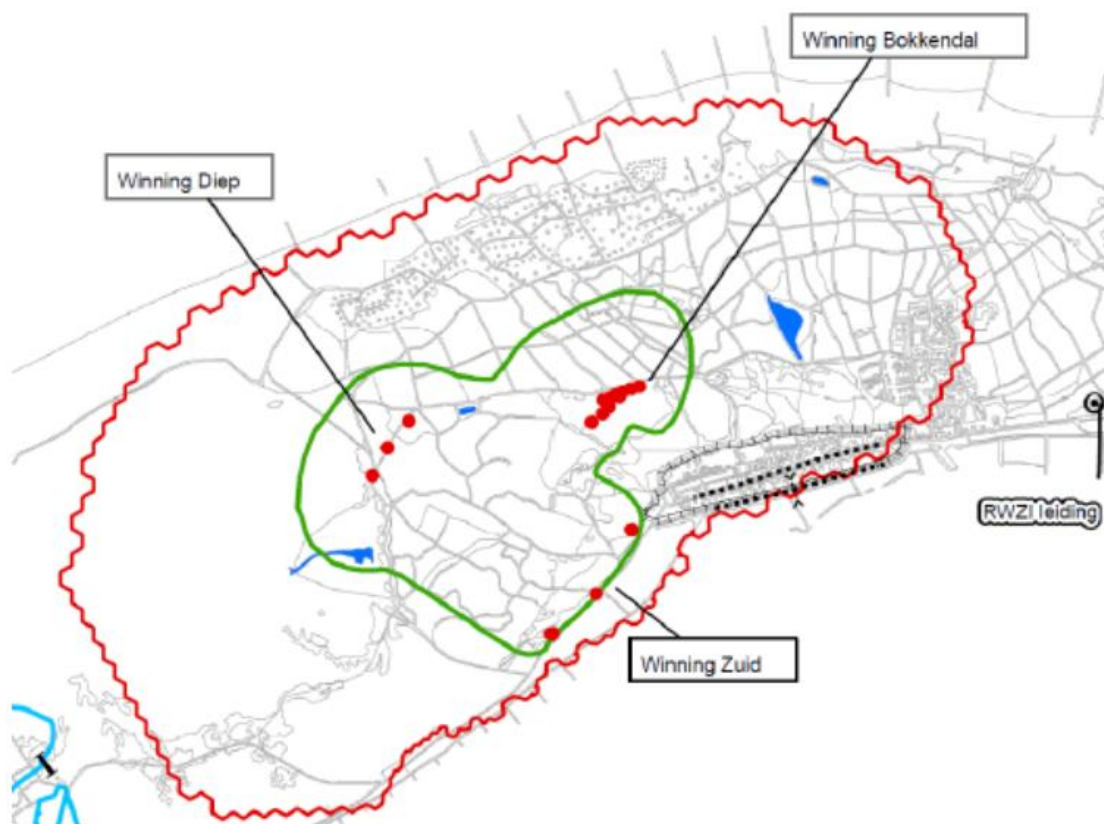
De belangrijkste knelpunten voor het realiseren van de Natura 2000 doelen zijn de afname van dynamiek, de hydrologische situatie, de neerslag van stikstof en de verstoring van broedvogels. Er liggen kansen voor terugkeer van meer dynamiek, herstel van de hydrologie en het nemen van effectgerichte maatregelen. In het beheerplan staan maatregelen om de dynamiek te bevorderen en om de gevolgen van de neerslag van stikstof te verminderen. Ten westen van strandpaal 49,5 wordt nu al geen onderhoud aan de zeereep meer gepleegd (behalve bij de strandovergangen). Samen met de zandsuppleties zorgt dit voor meer verstuing van de zeereep en daarmee ook een grotere dynamiek in de achterliggende duinen. Verspreid in het duingebied zullen herstelmaatregelen zoals plaggen worden uitgevoerd. In aanvulling op het huidige beheer worden plaatselijk duinvalleien gemaaid. Op de Vliehors vindt jonge duinvorming plaats. Dit is een natuurlijk proces, dat plaatsvindt onder invloed van wind en water en waarvoor geen speciale maatregelen nodig zijn. In het kader van het beheerplan is afgesproken om de huidige activiteiten in dit deelgebied te volgen om te zien of de dynamische processen al dan niet negatief worden beïnvloed.



Figuur 4-11 - Overzicht van de habitattypen op Vlieland (bron: Ministerie van Economische Zaken, 2016)

4.5 Drinkwaterwinning

Ten westen van het dorp Oost-Vlieland ligt het grondwaterbeschermingsgebied (groene lijn in Figuur 4-12). Dit gebied ligt in het duingebied en is omsloten door hooggelegen duinen. Vlieland heeft een zelfstandige drinkwatervoorziening. Nabij het dorp Oost-Vlieland liggen drie puttenvelden, waar grondwater opgepompt wordt voor de drinkwatervoorziening: Bokkendal, winning Zuid en winning Diep.



Figuur 4-12 – Drinkwaterwinning op Vlieland, de drie puttenvelden zijn aangegeven met de rode stippen en de groene lijn omvat het grondwaterbeschermingsgebied.

5 Langetermijn ontwikkelingen

5.1 Inleiding

De kennis over de langetermijn ontwikkelingen van Vlieland is relevant voor het beheer van de kust. De paragraaf over de paleografische ontwikkeling (5.2) schetst hoe het landschap van Vlieland 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

Het gebied waar Vlieland nu ligt was tijdens en na de laatste glaciale periode (het Weichselien) onderhevig aan sedimentatie vanaf het hooggelegen deel van wat nu Texel is. Hier is in boringen nu niet veel meer van terug te vinden (Kruiver, 2013). De Waddenzee ontstond al vroeg in het Holoceen door het onder water lopen van het laaggelegen en glooiende Noord-Nederlandse (huidige) kustgebied. De Noordzee is altijd verbonden geweest met de Waddenzee door een aantal geulen. Het zijn vroeg-holocene geulen geweest die de Weichselien spoelzanden hebben opgeruimd. Van die geulen zijn nu nog de twee geulen overgebleven ter weerszijden van Vlieland: aan de westkant het Eierlandse gat en aan de oostkant het Zeegat van het Vlie.

Er wordt aangenomen dat het gebied waar nu Texel en Vlieland liggen, tot enkele duizenden jaren geleden een aaneengesloten strandwal had, die zeewaarts van de huidige eilanden lag. De erosieve werking van de relatief ondiepe stroming langs de oude eilandkusten heeft veel materiaal kustlangs naar het oosten verplaatst waarna het door een voorganger van het Zeegat van het Vlie de Waddenzee in werd gevoerd. Als resultaat van duizenden jaren erosie zijn nu nog de Texelse-Vlielandse Stenen op de vooroevers van beide eilanden aanwezig: grove restzanden met glaciale zwerfstenen. Deze gebieden worden door de vissers gemeden wegens gevaar voor verdrinking bij het vast komen te zitten met netten.

Het is aannemelijk dat het oude Vlieland noordelijk van het huidige Vlieland lag, juist omdat het door deze voortdurende erosiekracht aan de noordzijde steeds aangetast werd. De oudere geulafzettingen liggen (met een hiaat) op de Pleistocene afzettingen. Op Vlieland is een ouder veenlaagje (van ca. 900 v. Chr.) bekend tussen stuifzanden in. Hierom kan aangenomen worden dat een deel van het eiland nog een oudere kern heeft, ouder dan de andere meer oostelijk gelegen eilanden.

De positie van Vlieland lijkt hiermee al 3000 jaar min of meer stabiel in de N-Z richting. In de W-O richting zal nog wel enige verschuiving hebben plaatsgevonden, zoals bij alle Wadden eilanden (behalve Texel: Schoorl, 1999). Achter de strandwal begon al vroeg zoetwater te stagneren waardoor onder meer veel veenvorming optrad. Dit veen verdronk later onder de oprdingende vloed en werd bedekt met een laag wadzand.

Het land verdrinkt in stappen van ca. 4000 jaar. In Figuur 5-1 geeft het westelijke waddegebied weer⁴. Rond 2750 v. Chr. bestaat nog een min of meer doorlopende strandwal vanaf ver bezuiden Texel tot en met de voorloper van Vlieland. Het langzaam verdwijnen van delen van de strandwal gaat vanaf die periode door tot aan de 19^e eeuw (Figuur 5-1). Sindsdien is de situatie min of meer stabiel en kon zelfs land aangewonnen worden.

⁴ Voor de algemene ontwikkeling van Nederland gedurende het Holoceen, zie Figuur 5-2.

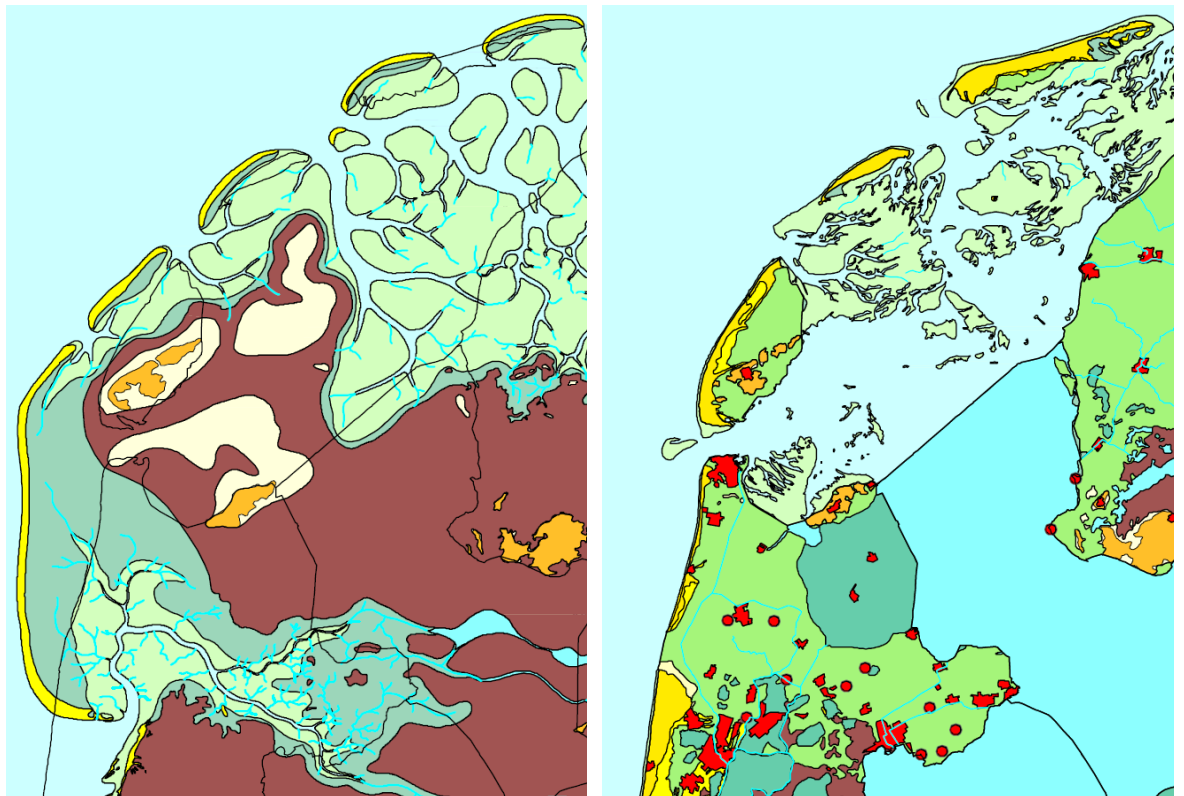
De stijgende zeespiegel, samen met het geleidelijk aan afnemen van de sedimentbron van de Texelse stenen, zorgde voor doorbraken van de strandwal tijdens en na de Merovingische tijd (450 tot 750 A.D.). Deze zeegaten hadden een relatief kort leven en zijn beter te beschouwen als grote, maar tijdelijke overwash geulen zoals die ook in noordelijk Noord-Holland voorkwamen in die tijd. Verder opbreken van de kust ten zuiden van Texel vond plaats gedurende de periode 1000-1200 A.D. Vanaf 800 A.D. neemt de invloed van het Marsdiep gestaag toe en gaat een steeds groter gebied in de westelijke Waddenzee innemen, waardoor de zeegaten Eierlandse gat en Zeegat van het Vlie in belang afnemen. Dat proces gaat nog steeds door, maar nu als aanpassing na de afsluiting van de Zuiderzee. De effecten van stormvloed en doen ten slotte het gehele veengebied van de Westelijke Wadden onder wadplaten verdwijnen (Schoorl, 1999).

In de 18^e eeuw vond spectaculaire kustafslag plaats aan de westkust van Vlieland. Schoorl (1999) neemt aan dat dit door de voortdurende eroderende werking van het Eierlandse Gat kwam, in combinatie met het opraken van de sedimentbron. De Vliehors werd steeds lager in de 19^e eeuw, er vormde zich zelfs een overwash geul die men met veel moeite en helmbeplantingen kon afsluiten. Er werd een stuifdijk aangelegd vanaf 1868 en er werden hoofden gebouwd (zie paragraaf 4.2.1). Aan de westelijke zijde van de Vliehors is lang en serieus gewerkt om een aantal stuifpolders aan te leggen. Die aanleg is doorgegaan tot aan WOII (De Vries, 1961).

Vanaf circa 1000 jaar na Chr. werden de eerste dijken gebouwd door de bewoners van de eilanden. Met name in de 20^e eeuw heeft bedijking plaatsgevonden, waarmee de huidige situatie van de eilanden vorm gegeven werd. In de laatste decennia zijn deze dijken op diverse locaties versterkt of zijn plannen gemaakt om een versterking uit te voeren (van Reen, 2014).

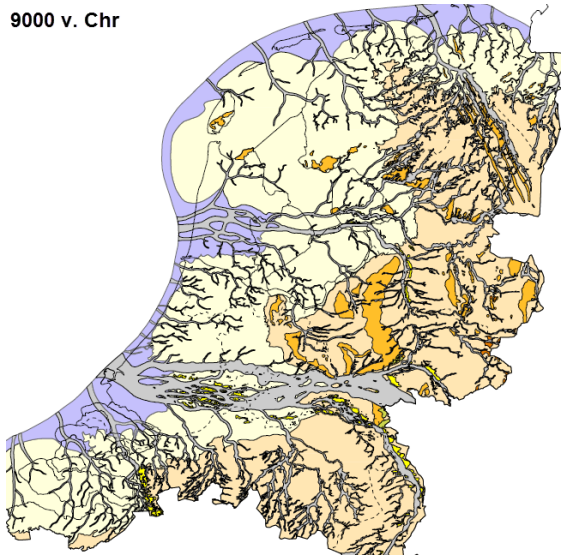
2750 v. Chr.

2000 na Chr.

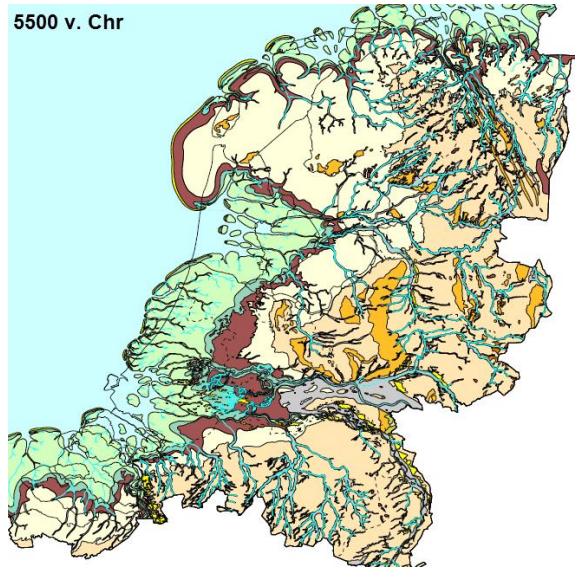


Figuur 5-1 - Paleogeografische kaarten van de Hollandse kust. Gebaseerd op (Vos and De Vries, 2013). Voor de legenda zie Figuur 5.2.

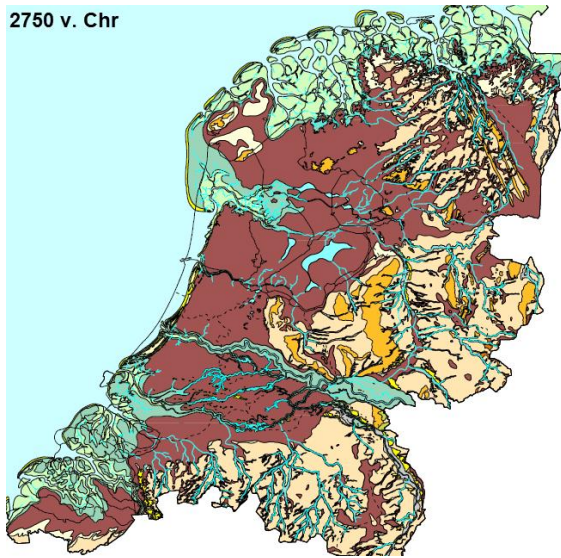
9000 v. Chr



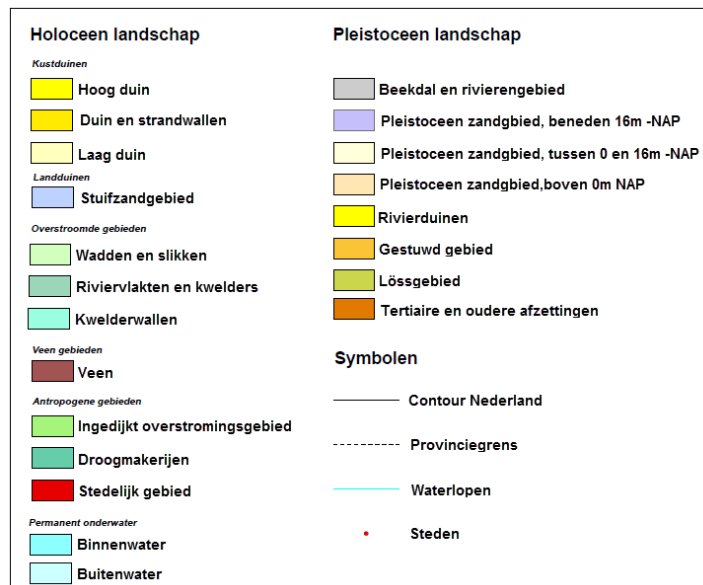
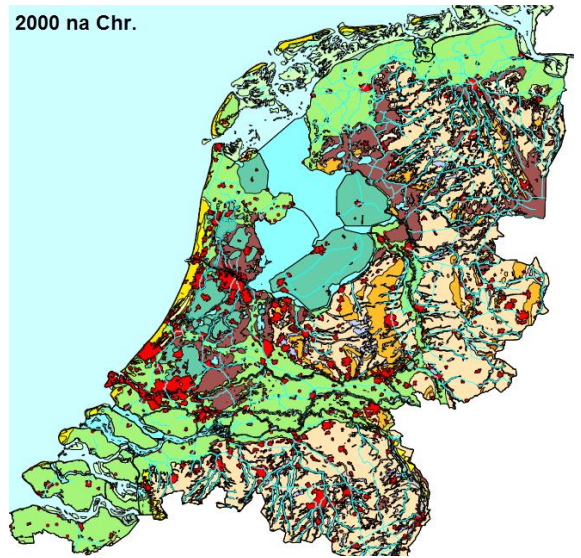
5500 v. Chr



2750 v. Chr



2000 na Chr.



Figuur 5-2 - Paleogeografische kaarten van Nederland (Vos en De Vries, 2013)

6 Beschrijving van het morfologisch systeem

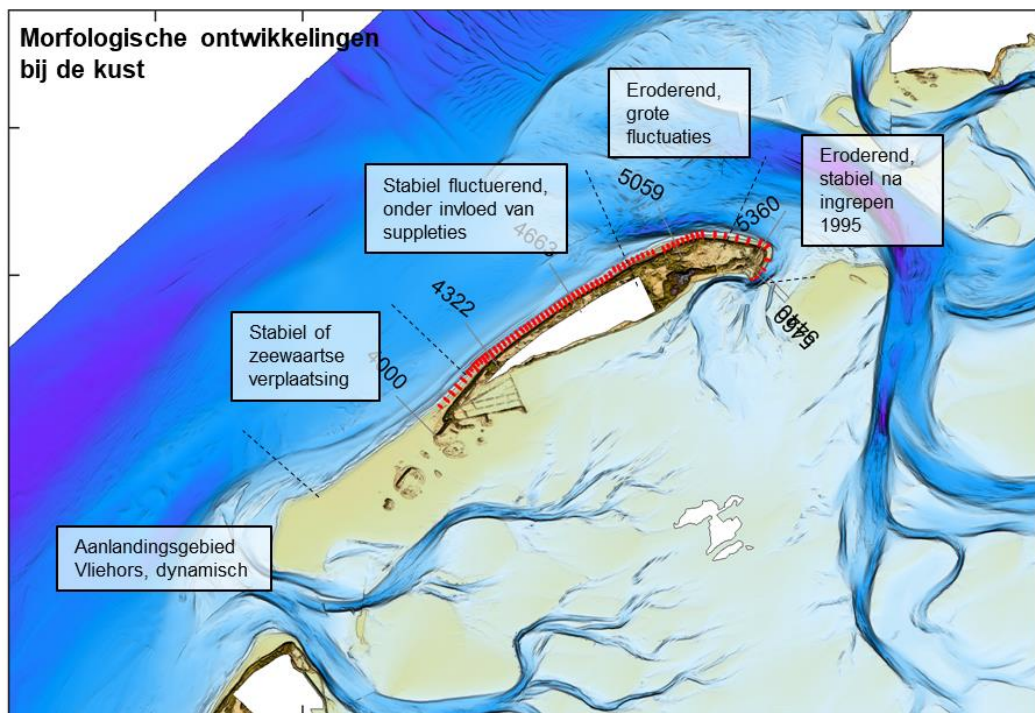
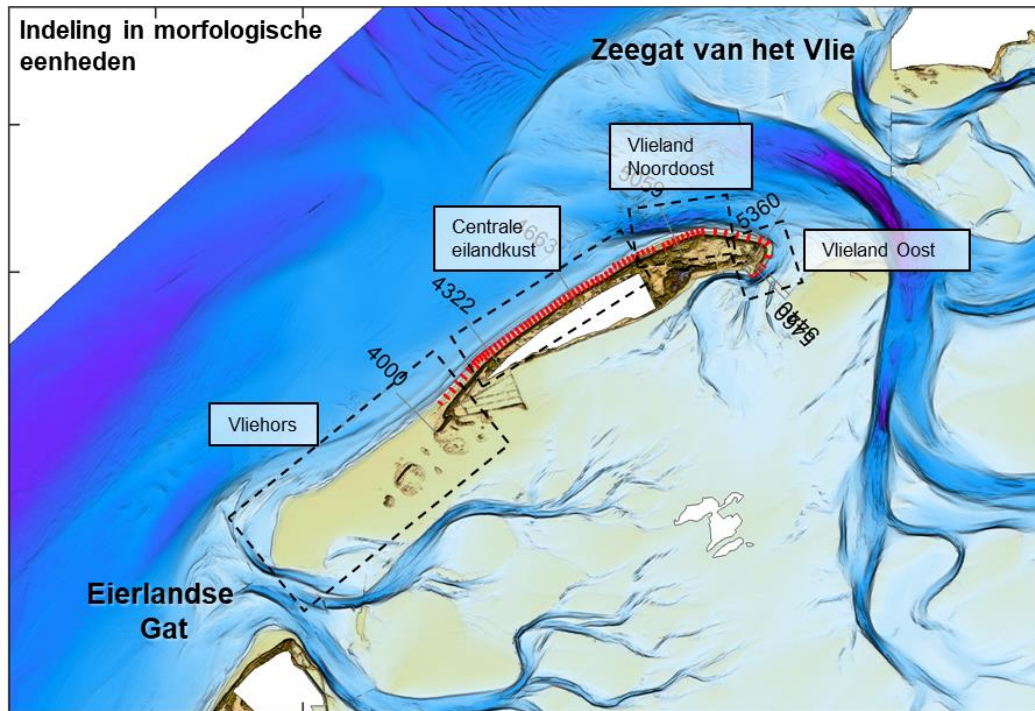
6.1 Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag

Vlieland ligt tussen de zeegaten Eierlandse Gat aan de westkant en het Vlie aan de oostkant, zie Figuur 6-1. In het zuidwestelijke deel van Vlieland kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden op de grootte strandvlakte van de Vliehors. Hier vindt geen kustlijnhandhaving plaats en is geen Basiskustlijn gedefinieerd. De aanlanding van platen en banken vanuit de buitendelta van het aangrenzende Eierlandse Gat hebben ervoor gezorgd dat de Vliehors zich sinds 1965 sterk heeft uitgebreid. Dit verhalen van zandbanken is tot 2005 een bijna continue doorgaand proces. Daarna is het minder goed te volgen.

De 'centrale eilandkust' (zie Figuur 6-1, boven) is vrijwel geheel beschermd door strandhoofden (vanaf raai 4000). In de loop van de jaren zijn er 68 strandhoofden aangelegd, waarvan het merendeel al in de periode 1854-1885 is gebouwd. De al eeuwen durende, grote kustachteruitgang van Vlieland lijkt na aanleg van de strandhoofden te zijn gestopt, of in ieder geval sterk vertraagd. Kijken we in detail naar het kustprofiel, dan zien we dat het huidige kustsysteem gekenmerkt wordt door een doorgaande, dominante bank. Deze bank strekt zich langs vrijwel de gehele eilandkust uit. Vanaf raai 4750 wordt de kustlijnontwikkeling sterk beïnvloedt door de voorliggende geulen en banken van het Zeegat van het Vlie. In dit gebied (tussen raai 4600 en 5000) is ook het merendeel van de suppleties uitgevoerd. Door de uitwisseling met de buitendelta gedragen de suppleties zich niet als reguliere vooroeversuppleties. Ze moeten met regelmaat herhaald worden.

De noordoostzijde van Vlieland ondergaat doorgaande erosie. Dit deel staat onder directe invloed van de getijgeulen Vliesloot en Zuiderstortemelk. Deze geulen bepalen in grote mate de kustlijnontwikkeling in dit deel. De Vliesloot heeft zich in de afgelopen 2 eeuwen ingegraven in keileemlagen en ligt daardoor eigenlijk vrij stabiel, maar zorgt wel voor hoge stroomsnelheden dicht onder de kust. Door duinafslag toegeleverd zand wordt wel afgevoerd door de geul, maar er is geen aanvoer. De zeereep heeft zich in het verleden daarom landwaarts verplaatst. In de laatste 20 jaar zijn er verschillende maatregelen genomen om de kusterosie tegen te gaan, waaronder de constructie van een strandhoofd en strekdam in 1995. Dit heeft de erosie sterk doen afnemen, maar niet geheel kunnen stoppen.

Ten zuiden van het strandhoofd lijkt de kust gehandhaafd te kunnen worden door het periodiek aanbrengen van kleine suppleties. Grote suppleties zijn hier niet mogelijk omdat het strand hier grenst aan een diepe getijdengeul. Ten noorden van de strekdam heeft de vooroever zich sterk uitgebreid.



Figuur 6-1 – Samenvatting van het morfologisch systeem bij Vlieland. De bodem is representatief voor 2016 vaklodingen en aangevuld met de 2020 JARKUS-grids.

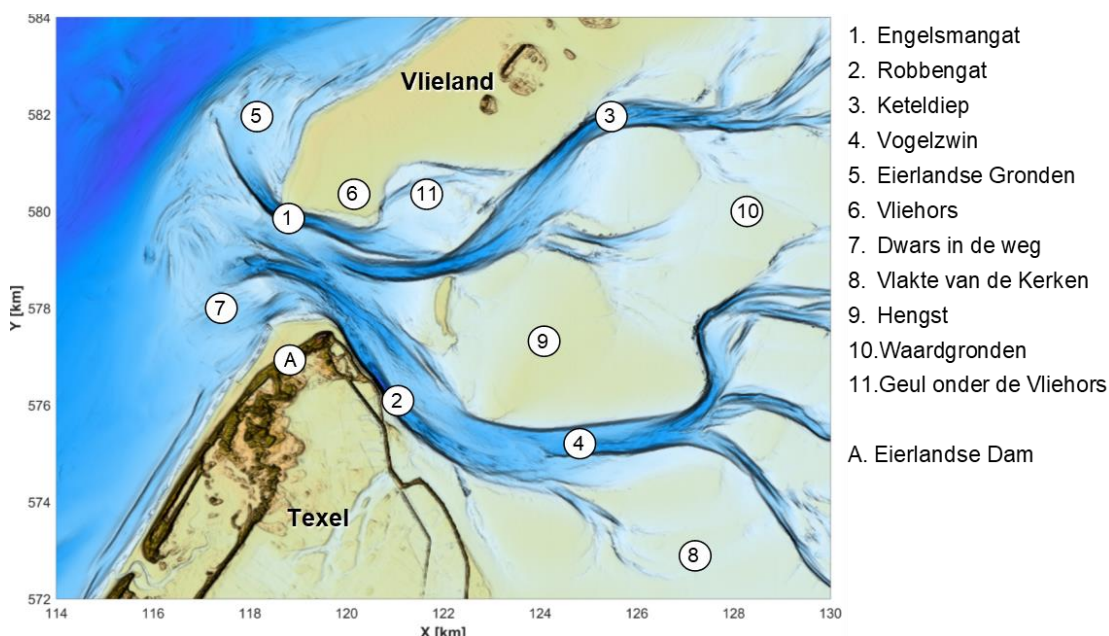
6.2 Eierlandse Gat

6.2.1 Algemene kenmerken

De Vliehors vormt de noordelijke begrenzing van het zeegat Eierlandse gat (Figuur 6-2). 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 Engelsmangat [1] en het Robbengat [2]. Deze geulen worden gescheiden door een ondiepe drempel. Het Engelsmangat 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 noordoostkust 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 noordwestpunt van Texel wordt beschermd door de Eierlandse dam (1995), zie [A] in Figuur 6-2, 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 6-2).



Figuur 6-2 – Overzicht van de belangrijkste geulen en platen in het Eierlandse Gat (de onderliggende bodem is representatief voor 2017).

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 Engelsmangat [1]. Rekenen we de Vliehors [6] juist bij het eiland Vlieland, dan bevindt het merendeel van het buiten-deltavolume zich in het zuidelijke deel.

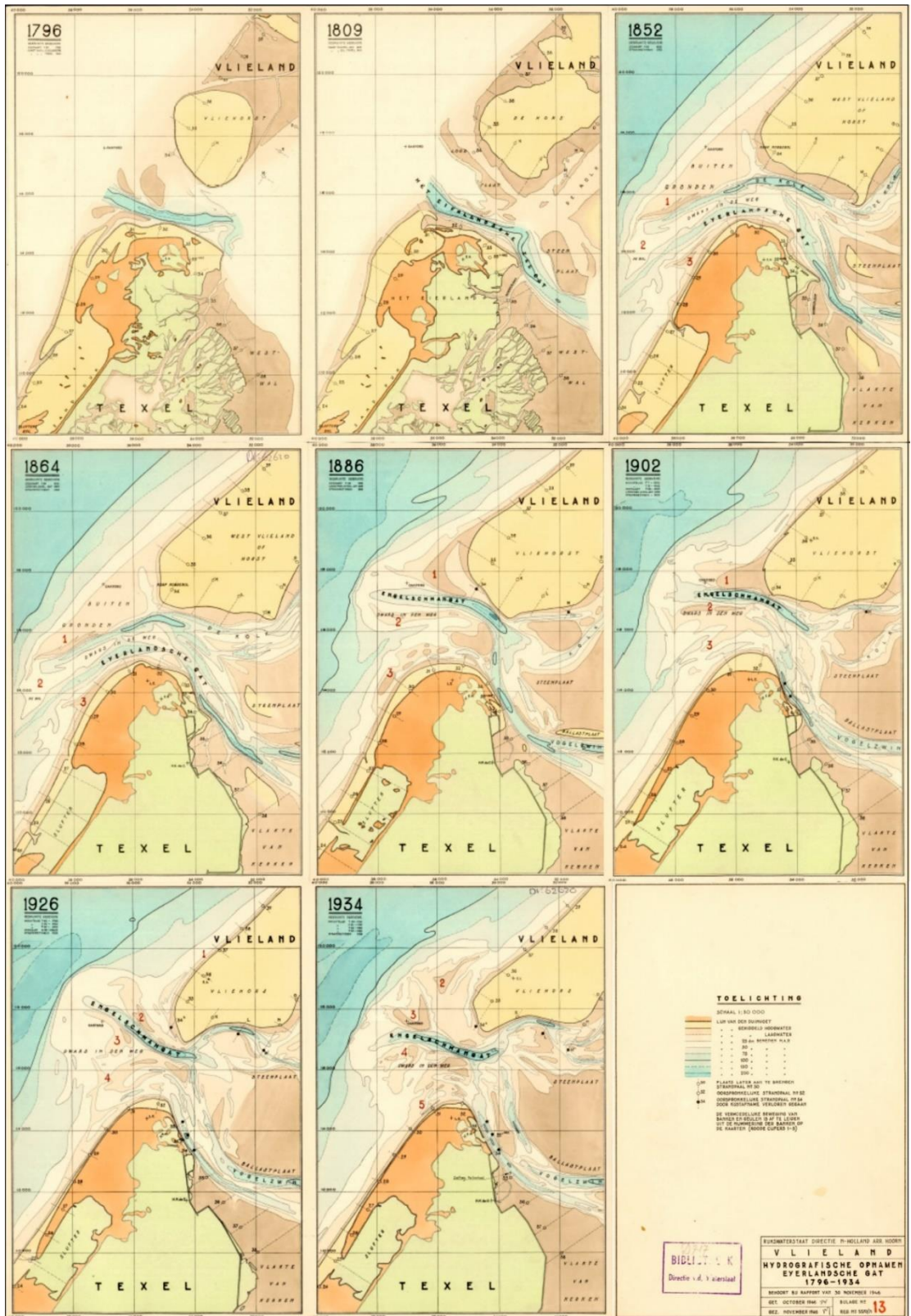
6.2.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Eierlandse Gat

Deze paragraaf beschrijft beknopt de grootschalige 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 wordt in 2022 gemaakt.

De grootschalige morfologische veranderingen in het Eierlandse Gat over de laatste twee eeuwen worden samengevat in Figuur 6-3. Die laat zien dat rond 1852 de twee hoofdgeulen op de buitendelta sterk gekromd naar het zuidwesten lagen. Het Engelsmangagat lag 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 aanzienlijke veranderingen op. In het bekken verliest het Engelsmangagat de verbinding met het achterliggende, noordelijke geulensysteem, wat daardoor sterk verondiept. Op de buitendelta draait de uitstroom van het Engelsmangagat van een zuidwestelijke naar een westnoordwestelijke richting. In het zuidelijke gedeelte van het zeegat blijft het geulensysteem in het bekken juist goed behouden. De geul 'Eierlandse Gat' is rond 1886 niet meer als een duidelijke geul in de bodem te onderscheiden (zie Schoorl, 1999 voor historische reconstructies).

Aan de noordzijde van de buitendelta 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 Engelsmangagat zijn ook deze banken naar de kust toe verplaatst en tussen 1886 en 1902 is al de aanlanding van het platenoppervlak met de Vliehors te volgen.

In de recente, digitaal beschikbare metingen (Figuur 6-4), laten zien dat het geulensysteem sinds 1926 ook duidelijk is veranderd. Door de vele menselijke ingrepen zoals de aanleg van de bolwerken, maar ook de afsluiting van de Zuiderzee is het moeilijk om aan te geven of de veranderingen nu ook daadwerkelijk het natuurlijke gedrag weergeven. Tot ongeveer 1975 was er één dominante geul (het Engelsmangagat) 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 Eierlandse gat (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 Engelsmangagat en het Robbengat. Het Engelsmangagat 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 bank in de richting van de geul, 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 deel van de geul vloeddominant is (deze sluit aan op de vloedgeul op de buitendelta), terwijl de noordelijke geul een ebdominantie vertoont.

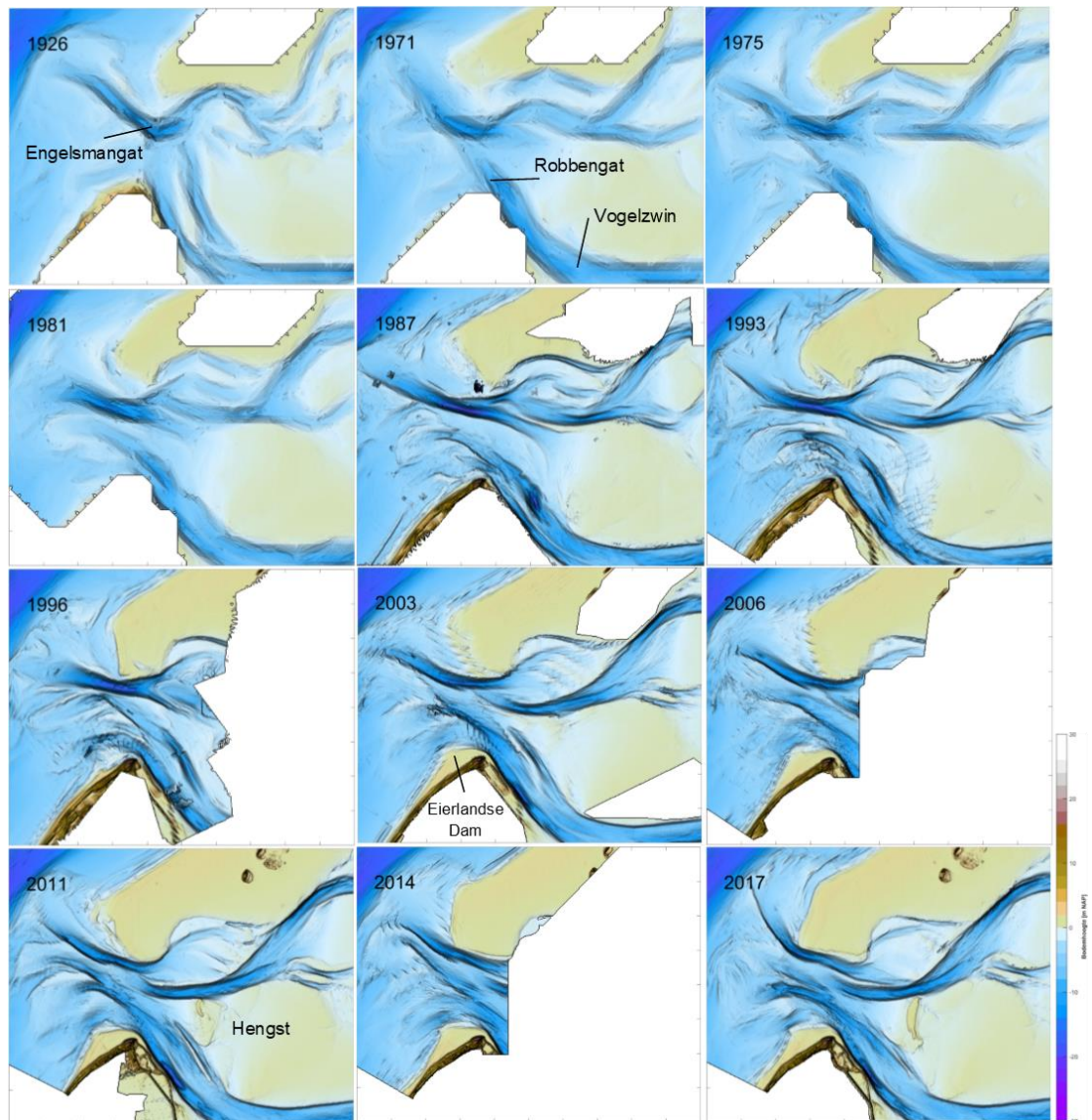


Figuur 6-3 - Ontwikkeling van het Eierlandse Gat over de periode 1926 – 2014. Uit Rapport Vlieland. Rijkswaterstaat Directie N-Holland, Arr. Hoorn (1946).

Tussen 1993 en 1996 treden relatief grote veranderingen op 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 te kunnen vaststellen. Als zich weer een geul langs de Eierlandse dam 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 6-4 goed te volgen. In de bodem van 1981 ligt er een maanvormige bank voor de zuidwest punt van de Vliehors. Deze bank ligt in 1987 al vrijwel tegen de kust aan. In 1993 is een kleine zandhaak ontstaan, waarvan de top in 1996 weer aansluit op de Vliehors. Een soortgelijke ontwikkeling, iets kleiner in grootte, is in 2000-2006 te volgen. Als gevolg van deze aanlandingen bouwt de kop van de Vliehors verder uit. Vooral aan de zuidoostkant lijkt dit het achterliggende geulenstelsel (Geul onder de Vliehors) op te vullen met sediment. Daar neemt de diepte sterk af.

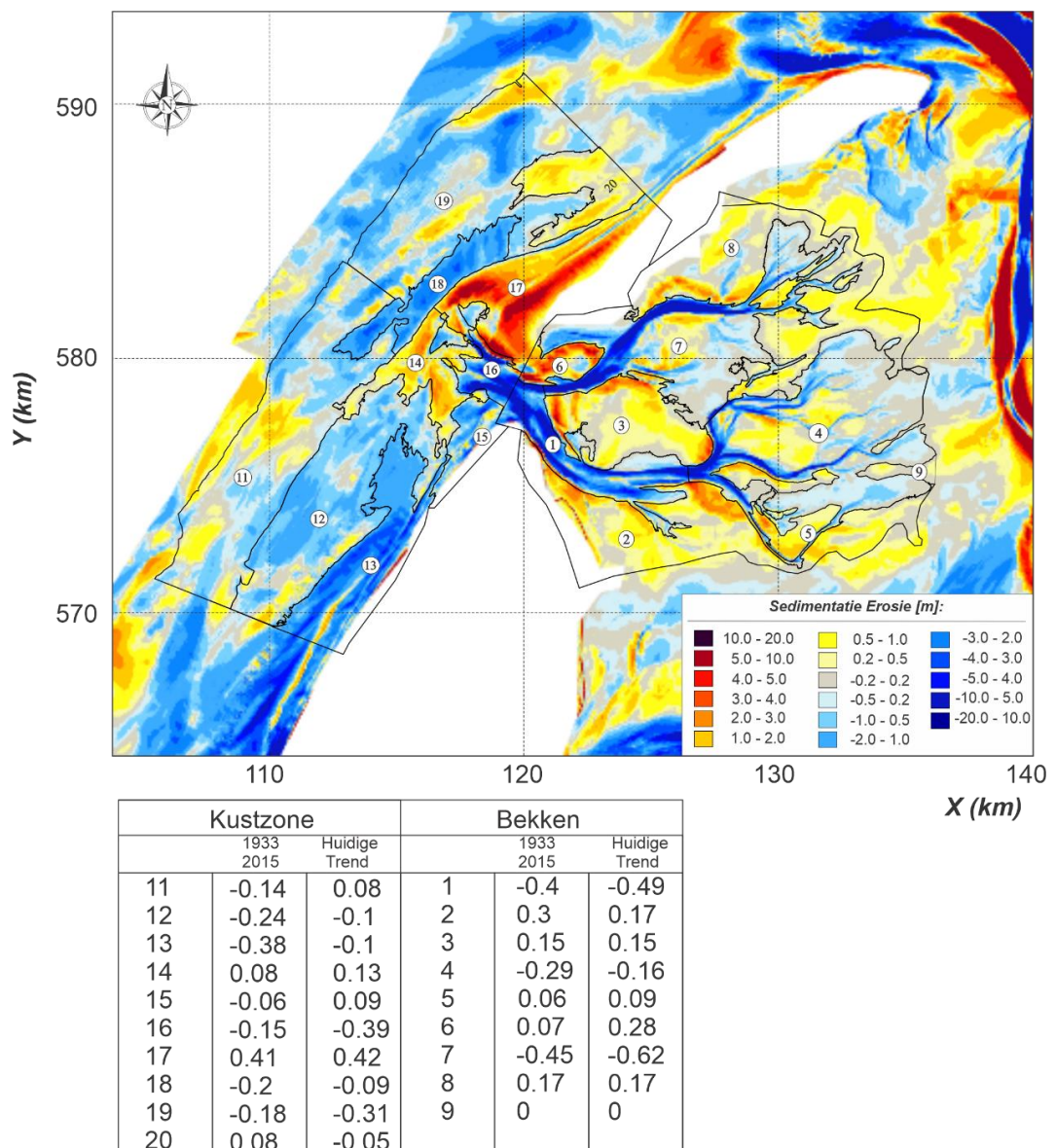


Figuur 6-4 - Ontwikkeling van het Eierlandse Gat 1926 – 2017.

Zandbalans

In Elias (2018, 2019) is een zandbalans van de Waddenzee opgesteld 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 berekende trends in volumeontwikkeling en transporten voor de kustzone bij het Eierlandse Gat gegeven. Meer informatie over de resultaten en een gedetailleerde beschrijving van de methode zijn te vinden in Elias (2019).

Het Eierlandse Gat is het enige zeegat dat zowel in de kustzone als in het bekken erodeert (Figuur 6-5). De sedimentexport ligt op 0.15 Mm³/jaar voor de lange termijn. In de kustzone treedt een grote erosie op van 0.9 Mm³/jaar. Dit geeft een totaal zandaanbod van 2.0 Mm³/jaar. Het lijkt onwaarschijnlijk dat de langtransporten langs de kust van Vlieland zo groot zijn. Gaan we uit van de maximum waarde van 1.5 Mm³/jaar (deze is iets hoger dan bekend uit de literatuur), dan moet er een aanvullend verlies opgetreden zijn van 0.5 Mm³/jaar. Dit verlies kan bestaan uit verliezen naar diep water, maar ook verliezen naar het eiland, de Vliehors en de duinen.

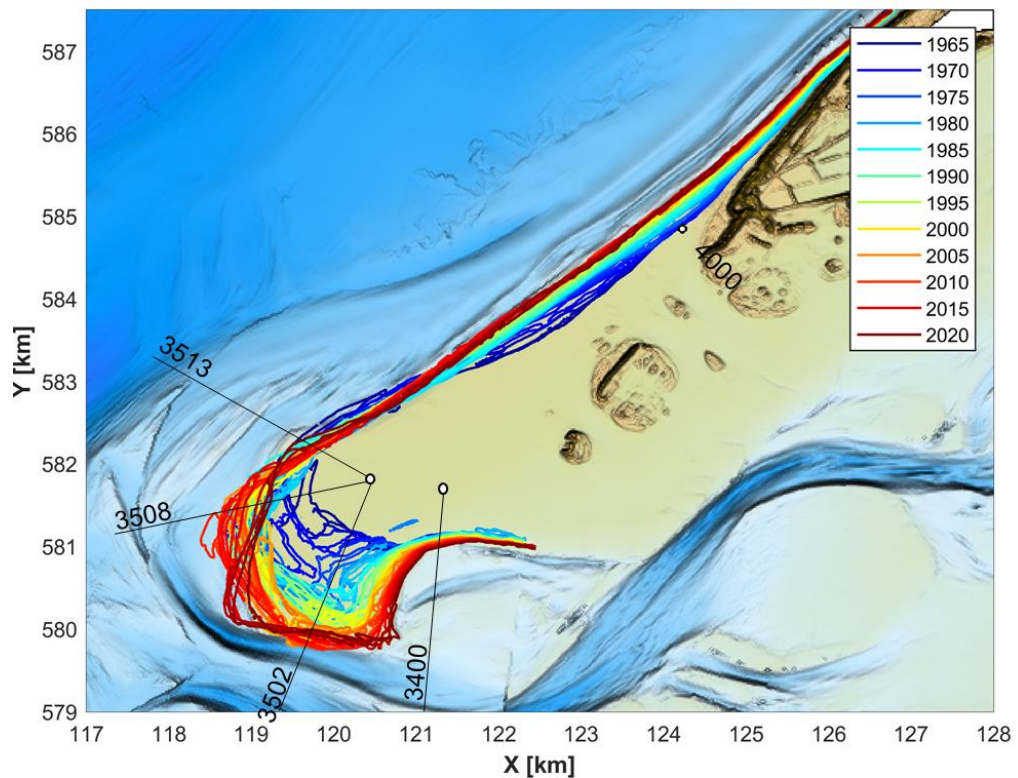


Figuur 6-5: Een overzicht van de sedimentatie-erosie patronen (1933-2015) en trends in het Eierlandse Gat (Elias. 2019).

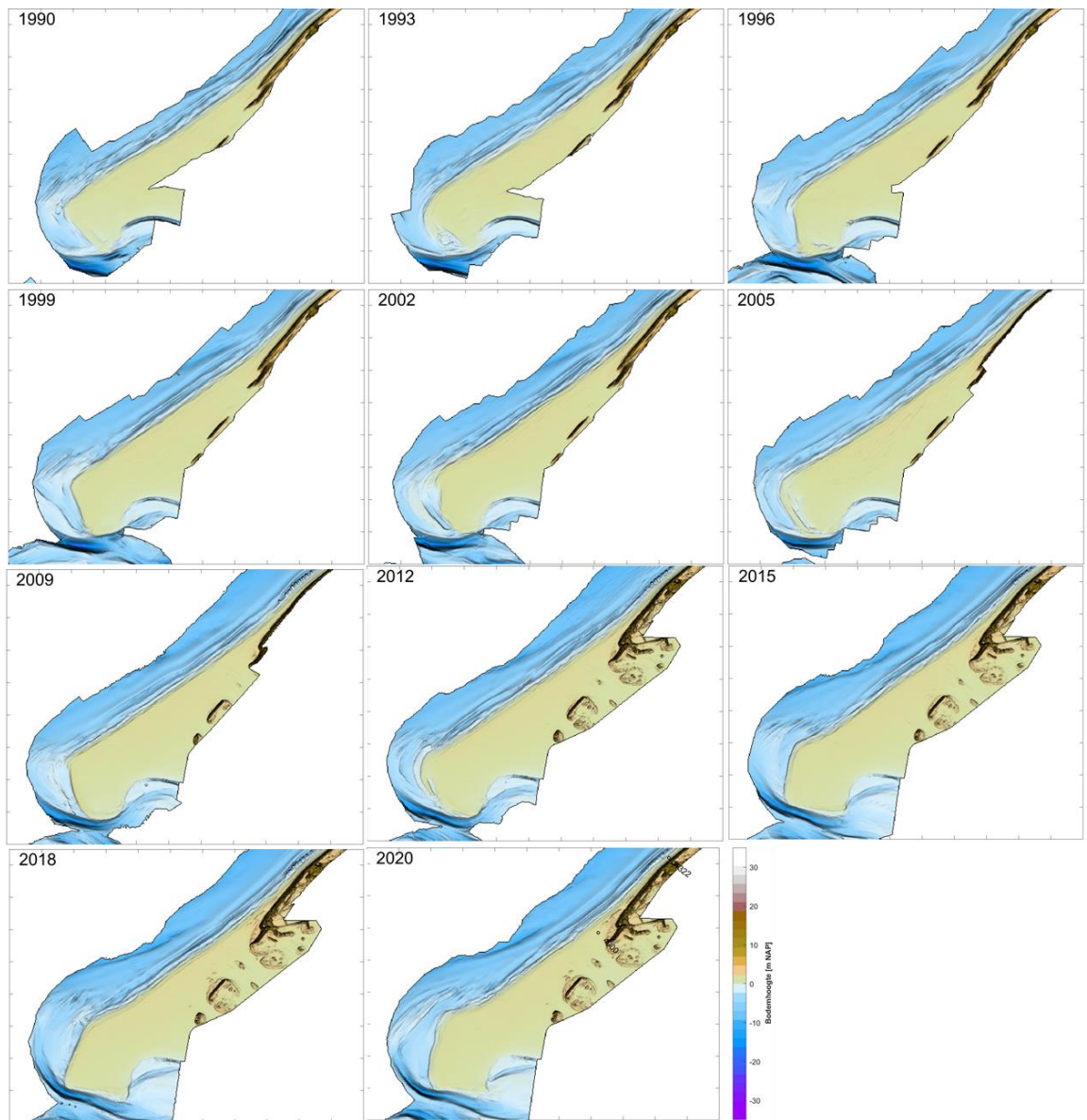
6.2.3 Morfologische ontwikkeling van de Vliehors

De kop van de Vliehors is sterk uitgebreid sinds 1965 (Figuur 6-6). Deze uitbreiding komt voornamelijk door het periodiek aanlanden en verhehlen van banken van de buitendelta op de Vliehors. In Figuur 6.6 worden, aan de hand van vergripte JARKUS data, enkele van deze aanlandingen gedurende de periode 1990-2020 weergegeven.

Afhankelijk van de fase in aanlanden is er erosie of sedimentatie te onderscheiden. Voorafgaand aan aanlanden wordt vaak een geultje gevormd dat tijdelijk voor een erosie zorgt. De grote zandvolumes die aanlanden zorgen ervoor dat er netto een aangroei van de kust is. Dit proces is variabel door de tijd, maar ook in de ruimte. In Figuur 6-7 is zo'n verheiling van een bank op de kop van de Vliehors goed te volgen tussen 1993 en 2001. In 1993 zien we aan de kop van de Vliehors een duidelijke spit of strandhaak. Deze is gevormd door aanlanding van een bank rond 1992 (in 1990 is deze bank zichtbaar net voor de kust). De spit verplaatst zich langzaam zuidwaarts. Tijdelijk geeft dit een verdieping tussen de spit en de kust. Rond 1996 zien we dat de gehele spit verheelt. In 2001 en 2009 ontstaat een soortgelijk proces. Ook in 2015 ligt er weer een oppervlak zandbank te wachten op aanlanding. Deze bank ligt nu wel iets meer zeewaarts en in de 2020 bodem is te zien dat deze meer op de Noordwestzijde van de Vliehors is aangeland.



Figuur 6-6 - Bodemligging van de kop van de Vliehors in 2020 en de veranderingen in ligging van de 0m contour over de periode 1965-2020.



Figuur 6-7 - Ontwikkeling bodemligging van de Vliehors tussen 1990 en 2020, op basis van JARKUS grids.

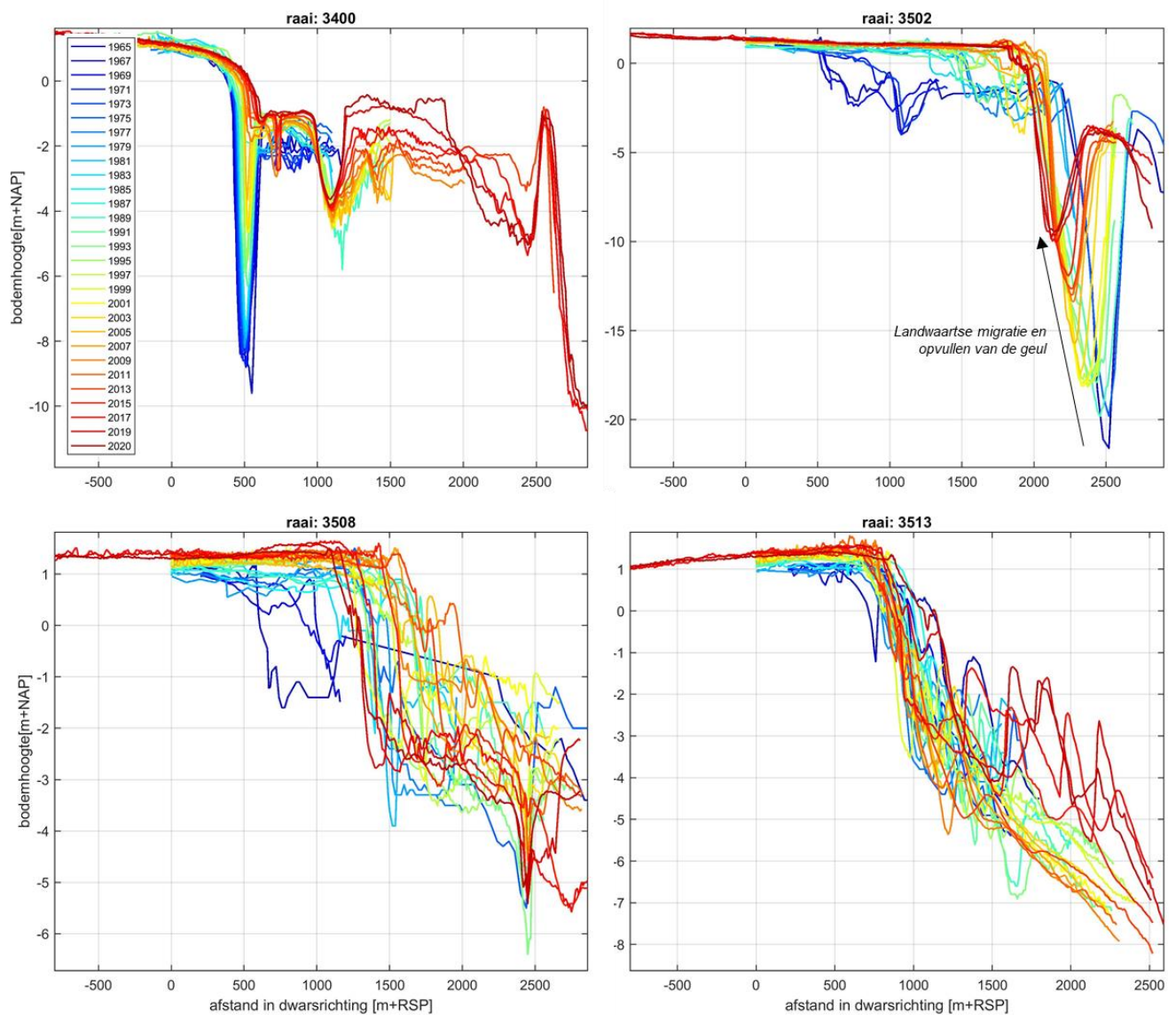
Een beter beeld van de invloed van deze aanlandingen op de kustlijnontwikkeling wordt verkregen door analyse van de dwarsdoorsneden. Figuur 6-8 toont 4 representatieve raaien (3400, 3502, 3508 en 3513) die allen in het actieve aanlandingsgebied liggen.

Raai 3400 geeft een goed beeld van het opvullen van het geultje dat direct onder de Vliehors loopt. Rond 1965 had deze geul nog een diepte van bijna 10m. Sinds 2005 is het geultje volledig opgevuld en niet meer zichtbaar. Een tweede kleinere geul blijft vrij stabiel liggen op ongeveer 1250m tot de RSP. Sinds 1990 lijkt dit geultje zich wel iets landwaarts te verplaatsen en in diepte af te nemen.

Raai 3502 geeft een beeld van de respons aan de waddenkant van de Vliehors, raai 3508 ligt in het zeegat, direct op de kop van de Vliehors en raai 3513 ligt aan de zeewaartse zijde. Raai 3508 heeft de grootste verplaatsingen van de kustlijn. Hier verplaatst het 'droge' gedeelte van de Vliehors zich meer dan 1.5km zuidwaarts in 1965 - 2015. In dezelfde tijd is de "Geul onder de Vliehors" ca 300m noordwaarts verplaatst. Hierbij is de geuldiepte met bijna 10m afgenomen. Cruciaal voor de grote uitbreiding van de Vliehors is het ondiepe platform dat zich

op ca -2m NAP bevindt. Dit platform kan snel invullen met sediment. Vooral in de periode 1975 en 1980 is er een grote sprong gemaakt, waarschijnlijk gerelateerd aan de aanlanding van een bank. Na 1980 is deze accommodatieruimte veel kleiner. Er treden nog steeds aanlandingen op, maar de respons (sprong) in kustlijnligging is dan veel beperkter. Het opvullen en dichtdrukken van de Geul onder de Vliehors komt eigenlijk in alle profielen richting het wad naar voren. Met name de uitbreiding en migratie van de zuidoostpunt van de Vliehors lijkt hier lokaal de geul dicht te drukken. Dit zorgt er dan voor dat het achterliggende geulgedeelte snel opvult met sediment.

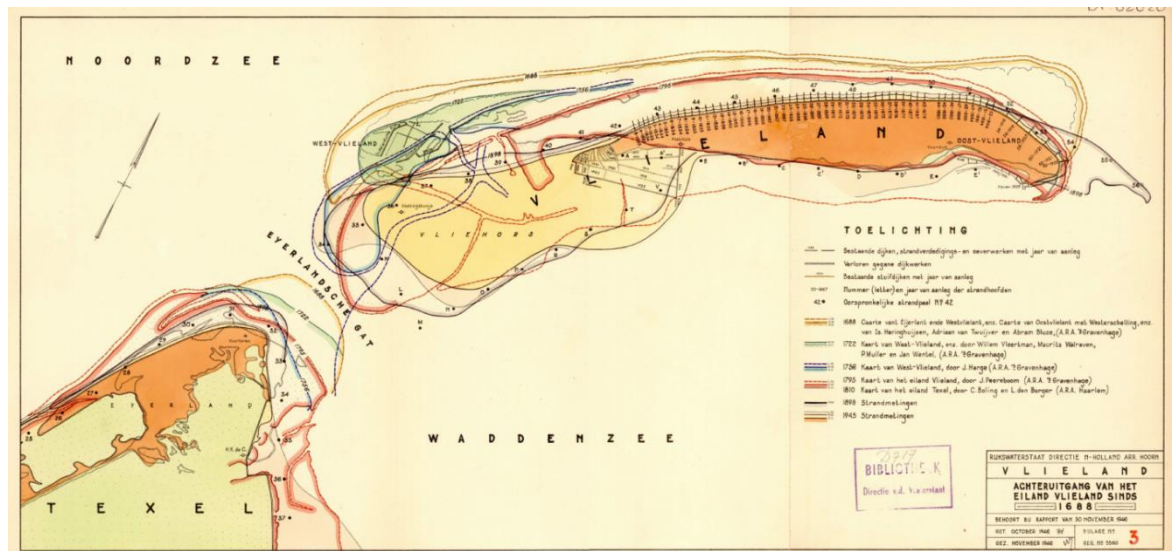
Aan de Noordzeekant (raai 3513) hebben de aanlandingen meer het karakter van het verheven van zandbanken. Tot ongeveer 2005 is dit een bijna continu proces. Meestal liggen er meerdere banken tegelijk klaar die landwaarts migreren. Na 2005 zijn de bankaanlandingen minder duidelijk te volgen. Dit komt mogelijk door de vorming van een grotere bank voor de kust. Eerder vonden de grote plaataanlandingen meer richting het zeegat plaats. De bulk van het sediment lijkt zich als een strandhaak het zeegat in te verplaatsen. In de 2015 bodem zien we juist een groot plaatoppervlak meer aan de zeekant liggen. In raai 3513 is de aanlanding van de bank rond 2019-2020 terug te zien in de profielen.



Figuur 6-8 – Ontwikkeling van JARKUS-raaien 3400, 3502, 3508 en 3513 over de periode 1965-2020. Voor ligging raaien: Figuur 6-6.

6.3 Centrale eilandkust

De huidige contour van Vlieland begint aan het einde van de 16^e eeuw vorm te krijgen (zie Figuur 6-9 en van der Burgt, 1936). De kustlijnen in Figuur 6-9 laten zien dat tussen 1688 en 1933 de Noordzeekust van Vlieland 1 tot 2 km zuidwaarts is verplaatst. De veranderingen aan de Waddenkant zijn geringer. Hierdoor is van 1688 tot circa 1850 het dorp West-Vlieland verloren gegaan en is westelijk Vlieland veranderd in de strandvlakte de Vliehors.



Figuur 6-9 - Achteruitgang van het eiland Vlieland over de periode 1688-1945. Uit Rapport Vlieland. Rijkswaterstaat Directie N-Holland, Arr. Hoorn (1946).

Pluim en Misdorp (1988) kijken specifiek naar de noordoostpunt van Vlieland en concluderen dat de kustlijn hier sterk dynamisch is. Ze zien perioden van matige kustachteruitgang gevolgd worden door sterke groei in oostelijke richting met daarna sterke terugtrekking in westelijke richting. Zij schatten de kustachteruitgang van GHW (Gemiddeld Hoogwaterlijn) en de GLW (Gemiddeld Laagwaterlijn) op respectievelijk 12 en 14 m/jaar over de periode 1796-1860. Daarna, 1860-1904, bouwt de kust sterk uit met een snelheid van 30 (GHW) en 70 (GLW) m/jaar. Deze sterke uitbouw is gevolgd door een nog sterkere terugtrekking van 1904 tot 1933 (30 en 95 m/jaar). Daarna is de achteruitgang gering tot 5 m/jaar in 1933-1987. Na alle kustverdedigingswerken, die aangelegd zijn vanaf 1854, is de huidige achteruitgang vrijwel nihil.

Er zijn meer factoren van invloed op erosie en sedimentatie dan geulmigratie. Pluim en Misdorp (1988) constateren dat tijdens de eerste decennia van de 20-ste eeuw, de periode van sterke terugtrekking van Oost-Vlieland samenvalt met de aanleg van de lange strandhoofden aan de kust (nrs. 54 t/m 63, 1916 - 1923). Dit zou er op kunnen duiden dat de strandhoofden het kusttransport blokkeren of reduceren waardoor de zandvoeding naar de noordoost punt van het eiland afneemt. Dit versterkt kustachteruitgang. Dit heeft mogelijk ook bijgedragen aan de doorbraak van de Vliesloot naar het Zuiderstortemelk in 2005 (Steyaert et al. 1999).

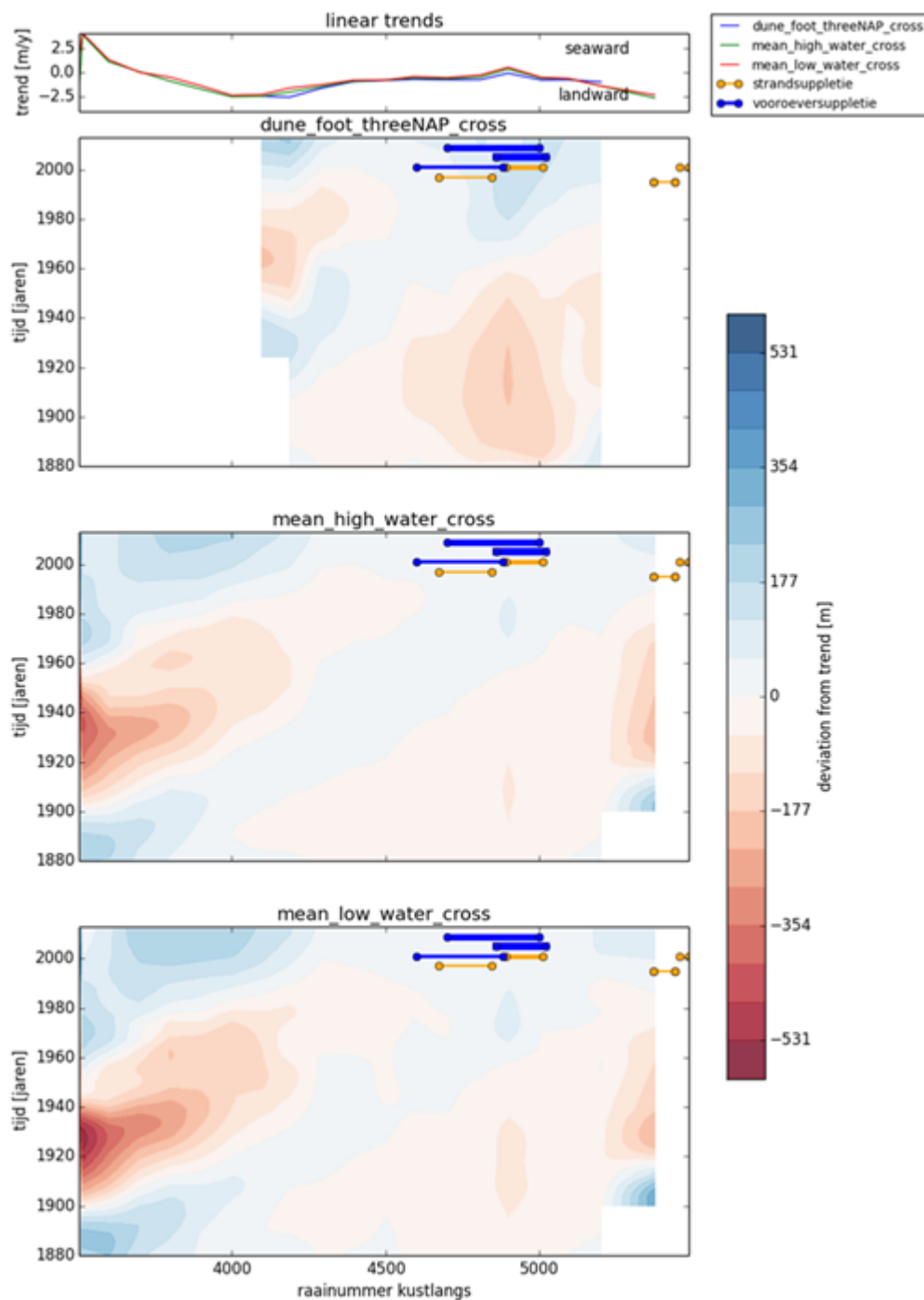
Biegel en Spanhoff (2005) wijzen op het belang van zandgolven; "Vlieland kent een ruimtelijke sedimentatiegolf die van west naar oost loopt, periode circa 1885 - 1965. Deze sedimentatiestrook van 2 kilometer breed heeft er 80 jaar over gedaan om 15 kilometer in oostelijke richting af te leggen, wat een snelheid van 190 m/jaar oplevert. Een tweede zandgolf start omstreeks 1965 bij RSP 38.000 en bereikt RSP 47.000 in 1990. De snelheid hiervan is 360 m/jaar. Deze snelheden komen overeen met de snelheden gevonden door Bakker (1968), die respectievelijk 1/6 en 1/3 km/jaar gevonden heeft. Bakker heeft deze snelheden afgeleid

uit het traject tussen RSP 37.000 en RSP 42.000. Opgemerkt moet worden dat zijn laatste zandgolf zich (na 1965) niet verder in oostelijke richting heeft doorgezet. In plaats daarvan is in de zestiger jaren een nieuwe zandgolf ontstaan, die blijkbaar een vergelijkbare migratiesnelheid heeft. Als deze zandgolf zich in oostelijke richting blijft verplaatsen zal over (3000m/360m/j=) 8 jaar RSP 48.980 bereikt worden. Op grond van deze analyse zal dus vanaf circa 2000 aanzanding in het geplande suppletiegebied optreden". Zie ook Hoozemans (1991) voor een nadere uitwerking van de zandgolven.

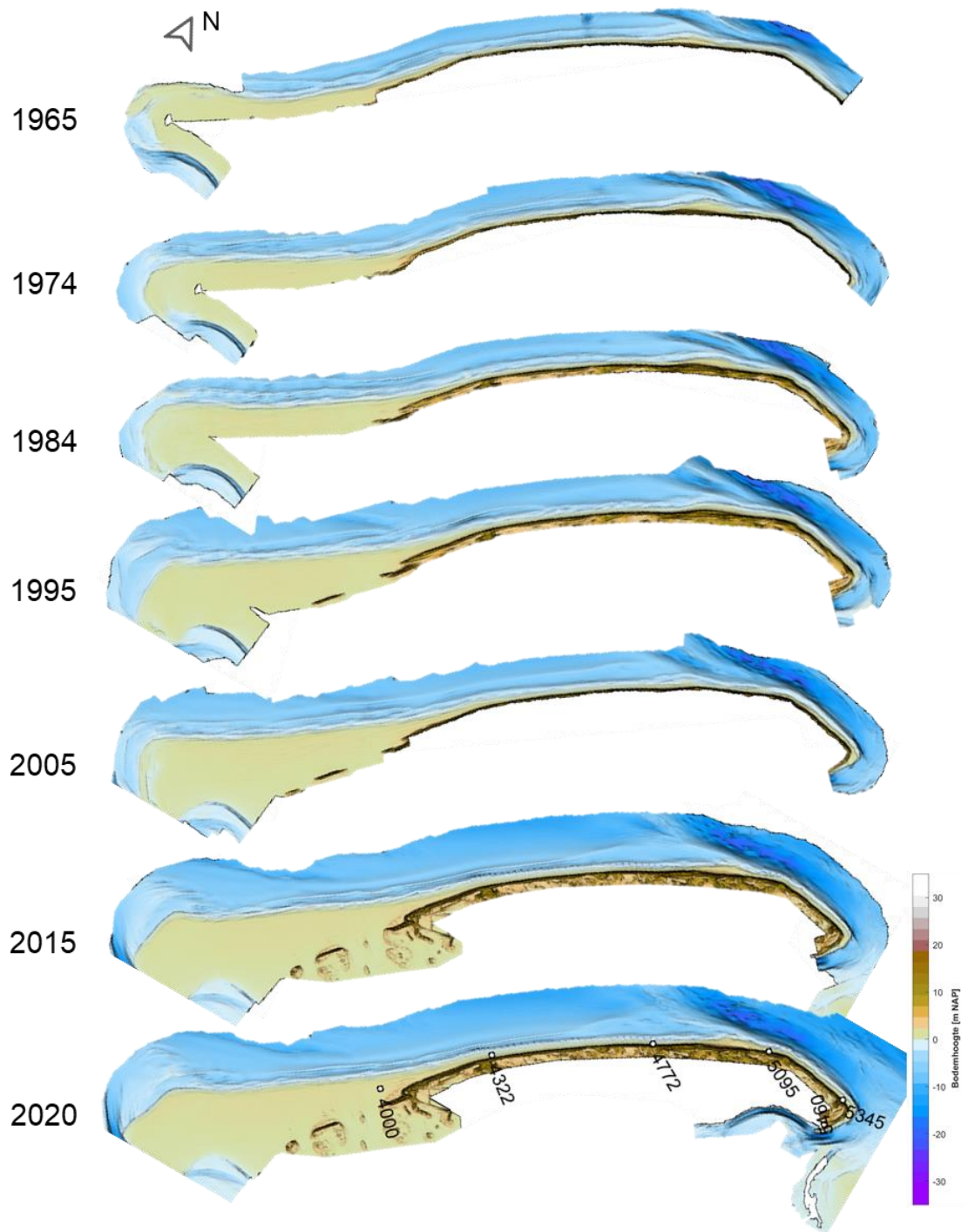
Het verschijnsel zandgolven wordt door Bakker (1968) toegeschreven aan het aanlanden van platen vanuit de westelijke buitendelta van het Eierlandse Gat. In Figuur 6-3 is inderdaad te zien dat net voor 1886 een bank aanlandde op de zuidwest punt van de Vliehors. Een tweede aanlanding vindt plaats voor 1970 (Figuur 6-4). Door afleiding van de trendlijnen in GHW, GLW en DV (Figuur 6-10) wordt dit beeld bevestigd. Voor 1880-1980 geven de figuren duidelijk de twee zandgolven weer. Na 1985 zijn de trends minder duidelijk te onderscheiden. Dit is mogelijk het resultaat van het uitvoeren van suppleties.

Kijken we in meer detail naar het kustprofiel, dan is te zien dat het kuststelsel gekenmerkt wordt door een doorgaande, dominante bank. Deze bank strekt zich langs vrijwel de gehele eilandkust uit (Figuur 6-11). Natuurlijk varieert de positie en vorm van deze bank door de tijd. Soms ligt er een doorgaande bank vanaf de Vliehors tot het Boomkensdiep, bijvoorbeeld de periode 1965-1970, terwijl in andere jaren de bank is onderbroken (1974) en er meerdere banken in het dwarsprofiel kunnen voorkomen (1974, 1995). De bank ligt op het centrale eilandgedeelte (raaien 4300 – 4500) dicht op de kust op ongeveer 300-600m tot de RSP lijn. In dit gebied is er ook maar één bank te onderscheiden. Ten zuiden en ten noorden ligt de bank verder zeewaarts. Langs de Vliehors (raaien 3800 – 4200) ligt de bank tot op 600 tot 1100m tot de RSP. Landwaarts ligt op zo'n 200m tot de RSP nog een bank met kleinere hoogte (ruwweg 0,5m) en in de dieptezone 0-5m bevinden zich nog 1 tot 2 kleine banksystemen.

Ten noorden van raai 4500 buigt de bank zeewaarts en maakt verbinding met de buitendelta. Vanaf raai 4700 beginnen de platen en geulen van de buitendelta het profiel duidelijk te domineren. In raai 4700 ligt het Zuiderstortemelk nog ver zeewaarts (1500m tot RSP), maar rond raai 5200 sluit de geulwand vrijwel direct aan op het strand, zie paragraaf 6.4.3.



Figuur 6-10 - Trendlijnen van kustlijnligging voor Duinvoet (boven), Gemiddeld Hoog Water (midden) en Gemiddeld Laag Water (onder).

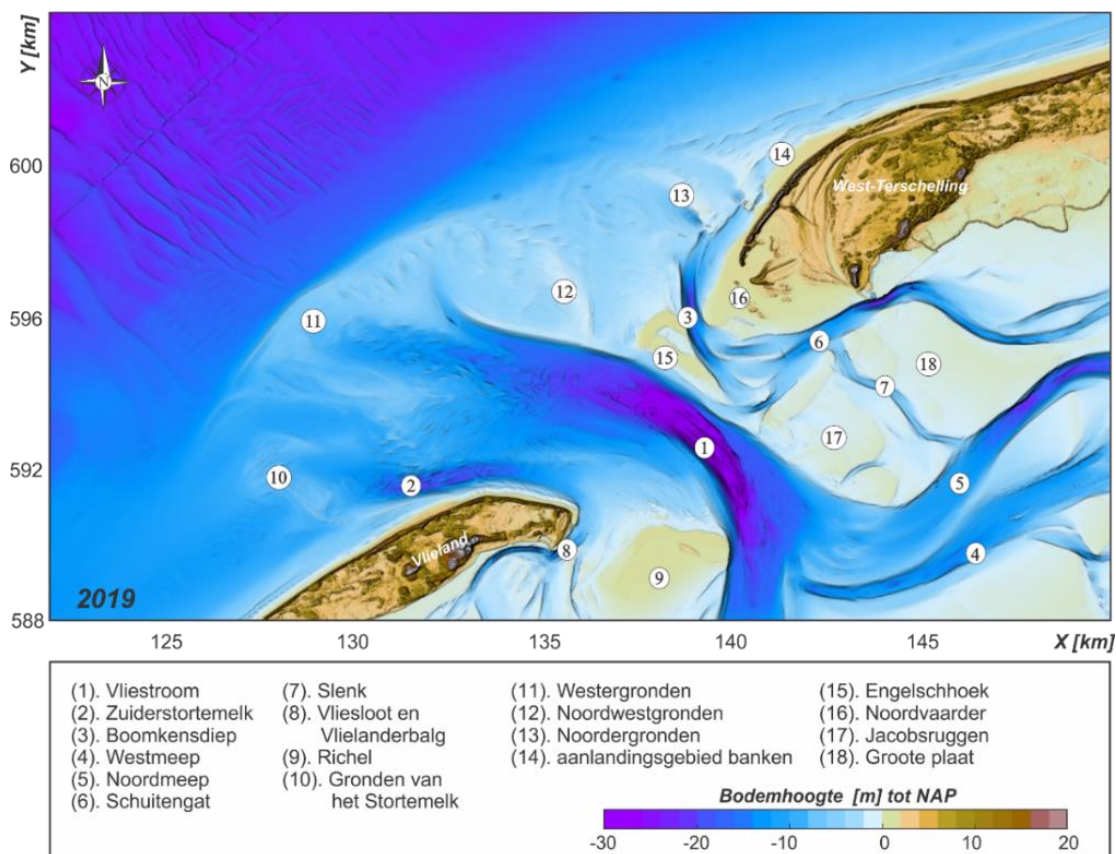


Figuur 6-11 - Bovenaanzicht van de morfologie van de eilandkust van Vlieland op basis van representatieve, vergride JARKUS data over de periode 1965-2020.

6.4 Zeegat van het Vlie

6.4.1 Algemene kenmerken

Het Zeegat van het Vlie, ook wel Terschellinger Zeegat genoemd, is het derde zeegat in de Waddenzee. Het zeegat ten westen is het Eierlandse Gat en het zeegat ten oosten is het Amelander zeegat (Figuur 6-12). In het bekken is het zeegat verbonden met het bekken van het Eierlandse Gat maar ook met het bekken van het Zeegat van Texel. De 2019 bodem laat een enkele hoofdgeul zien, de Vliestroom, in de keel van het zeegat (Figuur 6-12, [1]). Deze geul heeft een NW-ZO oriëntatie met een noordwestelijk uitstroom de buitendelta op. De Vliestroom vormt een enkele geul in de keel van het zeegat, maar in het bekken vertakt de geul in een zuidelijke tak (Vliestroom / Inschot) en een noordelijke vertakking die bestaat uit de Westmeep en Noordmeep [4,5].



Figuur 6-12: Een overzicht van de geulen en platen in het Zeegat van het Vlie op basis van de gecombineerde 2019 (Noordzee-zijde) en 2016 (Waddenzee-zijde) bodemopname van het bekken.

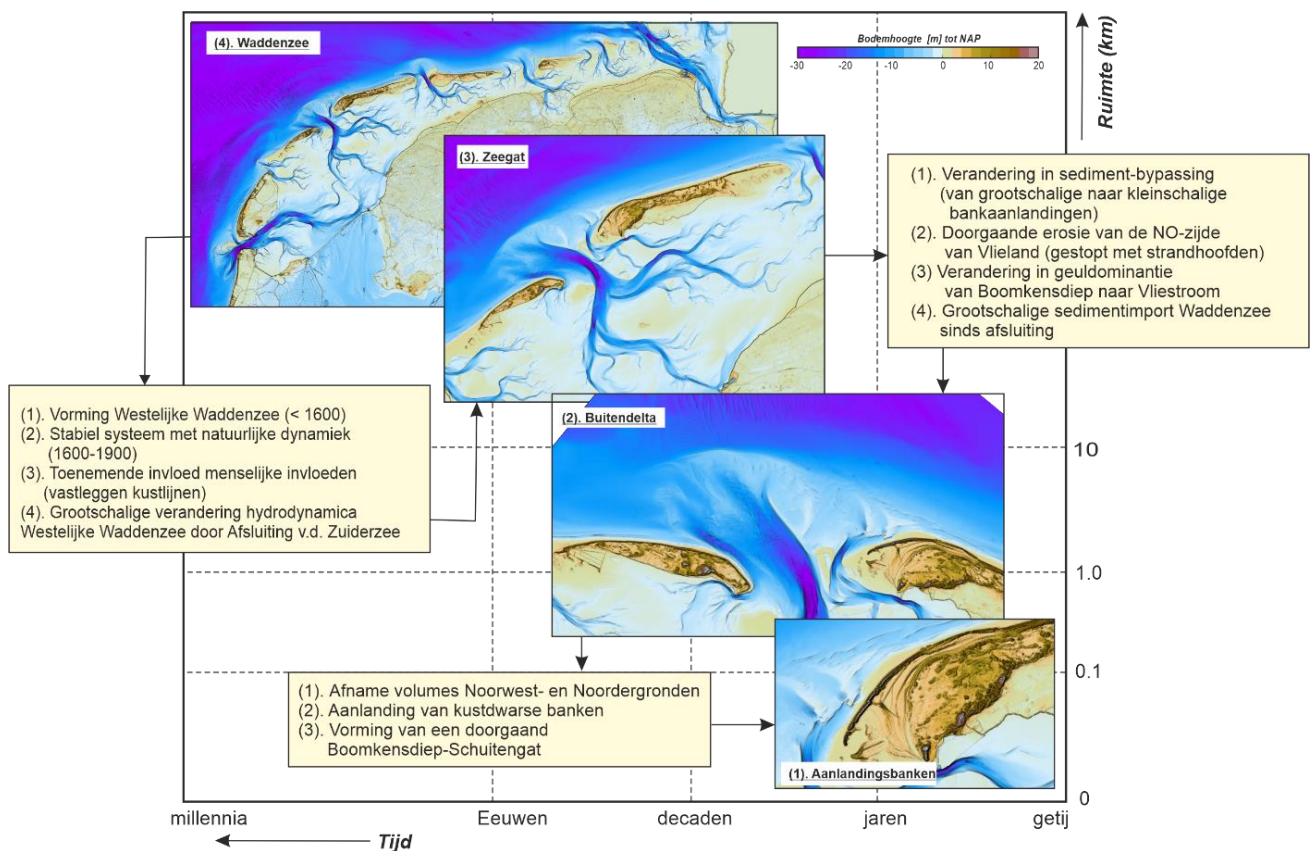
Langs de eilanden liggen nog twee kleinere geulen; het Zuiderstortemelk [2] langs de eilandstaart van Vlieland en het Boomkensdiep [3] dat zich langs de eilandkop van Terschelling uitstrekt. De eilandkop van Terschelling bestaat uit een breed strand door de aanlanding van de grote bank Noordsvaarder [16]. Het Boomkensdiep gaat in het bekken over in het Schuitengat [6]. Het Schuitengat wordt in de huidige bodem nog door een ondiepe zandplaat gescheiden van de Vliestroom. Dit is ook de reden dat deze geul sinds 1996 niet meer de toegangsheug tot de haven van Terschelling is. De toegang tot de haven loopt via de Slenk [7] die het Schuitengat met de Noordmeep [5] verbindt. Ze is een scheiding tussen het westelijk gelegen plaatgebied van de Jacobsruggen [17] en de oostelijk gelegen plaat Grote Plaat [18]. Tussen Vlieland en de grote plaat Richel [9] ligt nog het kleinere geulensysteem van de Vliesloot en Vlielandbalg [8]. Deze geulen vormden de toegang tot de haven van Oost-Vlieland.

De buitendelta heeft een omvang van ongeveer 8 km in zeewaartse richting en 22 km in langs-richting. Het merendeel van het plaatoppervlak en volume bevindt zich ten noorden van de Vliestroom in de Noordwestgronden [12] en Noordergronden [13]. Die strekken zich ver langs de kust van Vlieland uit en landen op de kust van Terschelling bij [14]. Een hoge ondiepe bank, Engelschoek [15], steekt landwaarts het zeegat in. Tussen de Engelschoek en de Jacobsruggen ligt een smalle bank. Deze bank is de hiervoor genoemde drempel tussen Schuitengat en Vliestroom. Het zuidelijke gedeelte van de buitendelta is relatief diep. Hier bevinden zich de kleinere bankcomplexen van de Gronden van het Stortemelk [10] en de Westergonden [11].

6.4.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Zeegat van het Vlie

Een uitvoerige beschrijving van de grootschalige morfologische ontwikkeling van het zeegat van het Vlie wordt gegeven in Elias (2021a). De inzichten zijn samengevat in een schaalcascade model voor het Zeegat (Figuur 6-13).

Op de schaal van de gehele Waddenzee zijn de morfologische ontwikkelingen in die studie niet in detail geanalyseerd. Op basis van literatuur (o.a. Van Veen, 1935; Van der Burgt, 1935; Elias en Van der Spek, 2006; Oost en Kleine Punte 2004) zijn een viertal ontwikkelingen geïdentificeerd die van belang zijn voor de morfologie van het zeegat: (1) de vorming van de Westelijke Waddenzee, (2) een dynamisch evenwicht (1600-1900), (3) de toenemende invloed van menselijk ingrijpen en (4) grootschalige veranderingen in hydro- en morfodynamiek door afsluiting van de Zuiderzee.



Figuur 6-13: Uitgewerkte schaalcascade model met uitwisselingen tussen de verschillende schalen.

Vorming van de Westelijke Waddenzee

Het Vlie was al in de Romeinse tijd aanwezig als afvoergeul van de Rivier de IJssel (Oost en Kleine Punte, 2004). Er is echter niet veel bekend over het exacte verloop en de ligging van de geulen. Tot ongeveer 1300 was Terschelling nog een schiereiland verbonden aan de Friesche kust begrenst aan de westzijde door de Vliestroom en aan de oostzijde door het Borndiep. Omstreeks 1300 is het tussengelegen gebied overstromt en ontstond het eiland Terschelling. De Vliestroom was de enige uitstroom van het Flevomeer tot de vorming van het Marsdiep rond de 12^{de} eeuw. Met de vorming en groei van Marsdiep neemt de hoeveelheid getijde- en rivierwater dat via het Vlie stroomt af. Rond 1500 wordt dan een evenwichtssituatie bereikt met twee grote geulenstelsels, de Texelstroom en de Vliestroom (Oost en Kleine Punte, 2004). Het opruimen van veenpakketten in het bekken tussen de zeegaten Texel en Vlie leidt ertoe dat het kombergingsgebied van beide zeegaten (tot ca. 1600) toeneemt en er grote zeegaten ontstaan.

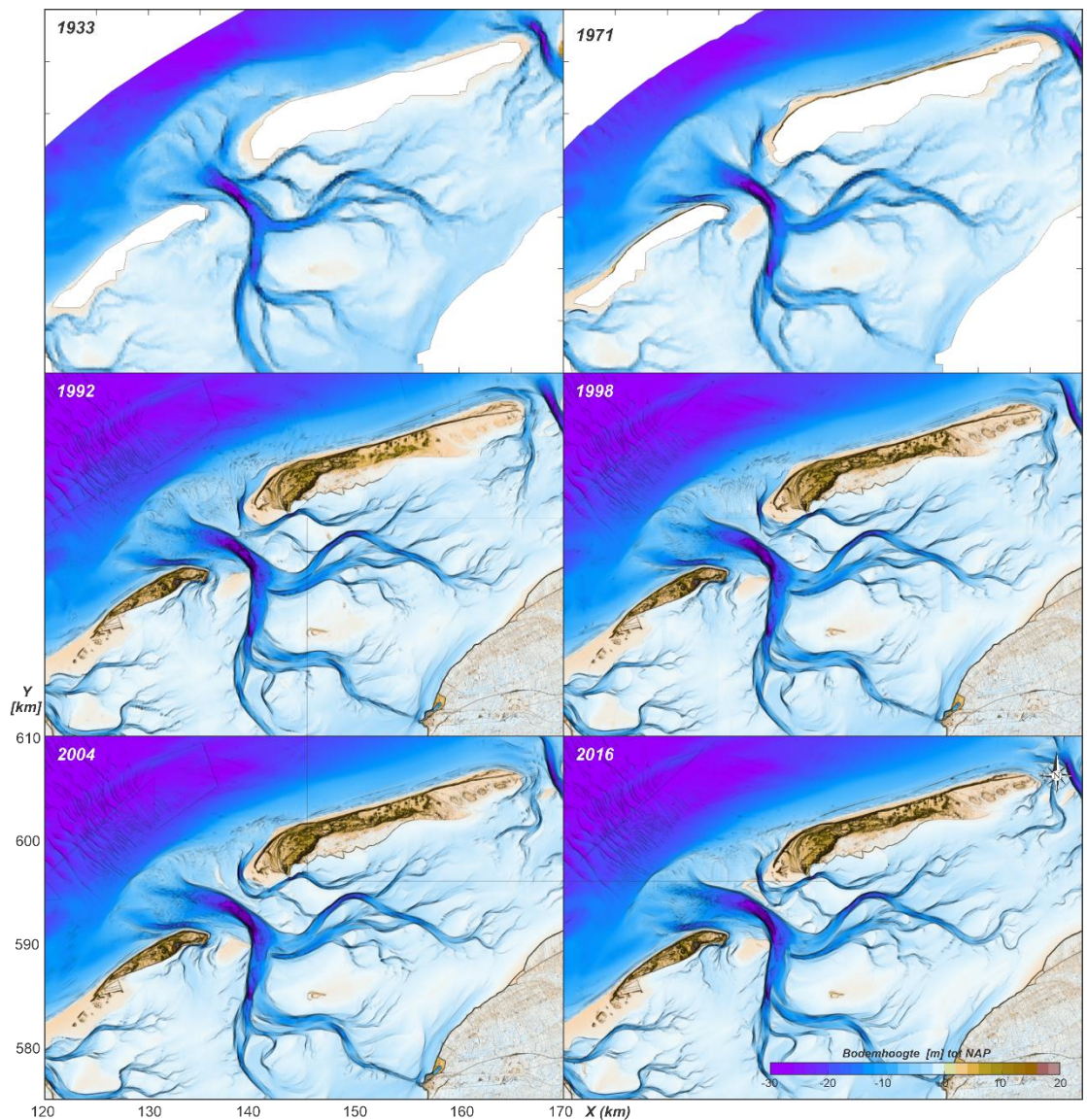
Een periode met dynamisch evenwicht

Oost en Kleine Punte (2004) concluderen dat in de periode 1600-1900 er wel een natuurlijke dynamiek in de geulen optreedt, maar dat de grootschalige kenmerken van het systeem weinig veranderen. De configuratie van de hoofdgeulen en zeegaten is vrij stabiel. Gedetailleerde kaarten van de zeegaten zijn voor 1796 niet aanwezig, maar Van Veen (1935) geeft aan dat de Vliestroom in de 16^{de}, 18^{de} en 19^{de} eeuw (een kaart van de 17^{de} eeuw ontbreekt) een enkele hoofdgeul de buitendelta op heeft. Daarnaast groeit de westkust door grootschalige plaataanlandingen omstreeks 1623 en 1853. Deze grote plaataanlandingen zijn sinds 1853 niet meer voorgekomen. Het is mogelijk dat dit samenhangt met een verandering in het morfologische gedrag doordat menselijk ingrijpen een steeds grotere rol gaat spelen. Door de aanleg van strekdammen, palenrijen en (stuif)dijken wordt de kust steeds meer vastgelegd (Schoorl, 1973). Een dominante ingreep is zeker de afsluiting van de Zuiderzee waardoor de hydrodynamica en sedimenttransportstromen in de gehele Westelijke Waddenzee veranderde, maar het vastleggen van de kusten begint eigenlijk al in de 17^{de} eeuw en gaat dan door de tijd een steeds grotere rol spelen.

De toenemende invloed van menselijk ingrijpen

Voor het zeegat van het Vlie (Schaal 3) zijn ook het samengaan van Texel en Eierland en het vanaf 1854 vastleggen van de eilandkust van Vlieland door strandhoofden belangrijk. Op basis van de beschouwing van Van Veen (1935) kan geconcludeerd worden dat in de 17^{de} eeuw Vlieland in de luwte lag van de Eierlandse gronden, waardoor het westelijke deel van het eiland ver zeewaarts kan liggen. De zandstroom langs Vlieland verandert door het samengaan van Texel en Eierland (rond 1630) en het opruimen van de Eierlandse Gronden, maar ook door het oostwaarts verplaatsen van de noordoostzijde van Vlieland. Dit verklaart de sterke terugtrekking van de kustlijn van Vlieland tot de 19^{de} eeuw. De vloedstroming scharft de uitstekende delen van het eiland weg, waardoor een grote achteruitgang van de eilandkust in gang wordt gezet. Langs de kust van Vlieland trekt een sterke zandstroom naar binnen. Deze zandstroom veroorzaakt in de 17^{de} eeuw de vorming van een zandrug in het midden van de Vliestroom. Hieruit is in de loop van de 18^{de} eeuw de Richel ontstaan. Deze bank is in de 19^{de} eeuw aan de oostzijde sterk aangegroeid. Deze aangroei zorgt ervoor dat de uitstroom van de Vliestroom geleidelijk van het noorden naar het noordwesten gedraaid (beïnvloeding op schaal niveau 2). Sinds 1854 zijn dan strandhoofden aangelegd om de afschuring van de kustlijn te reduceren en in 1923 is dan Vlieland vanaf de Westpunt van de duinen tot de noordoostpunt geheel met strandhoofden verdedigd, waardoor de afname van het strand is verminderd. Wel zijn er frequent suppleties nodig om de MKL te behouden. Dat deze stabilisatie van de eilandligging door strandhoofden een grote rol heeft gespeeld op de morfodynamiek van de buitendelta is duidelijk. Alleen zijn deze effecten niet te onderscheiden van de veranderingen die in gang gezet zijn door afsluiting van de Zuiderzee.

Grootschalige veranderingen in hydrodynamica en morfodynamica door afsluiting van de Zuiderzee Afsluiting van de Zuiderzee (voltooid in 1932) geeft een grootschalige verstoring van de hydrodynamica van de gehele Westelijke Waddenzee (schaalniveau 4) en dus ook het Zeegat van het Vlie (schaalniveau 3). De veranderingen in getijbeweging zorgen voor een grootschalige morfodynamische aanpassing en bijna 150 miljoen m³ sedimentatie in het bekken van het Vlie (Figuur 6-14). Er is grote sedimentatie in de afgesloten geulen (zoals Inshot) en op de plaatoppervlakten van o.a. de Vlakte van Oosterbierum. In de keel van het zeegat zijn de veranderingen van de Vliestroom beperkt. Hier spelen erosieresistente Pleistocene keileemlagen waarschijnlijk een rol. Op de buitendelta is er een aanzienlijke verandering in de hoofdgeulen. De Vliestroom ontwikkelt zich als dominante uitstroombegul terwijl het Noordoostelijke gerichte Boomkensdiep zijn rol als hoofd-ebgeul verliest. De buitendeltabanken worden door golven landwaarts herverdeeld waardoor er een groot aaneengesloten bankengebied ontstaat. Het Boomkensdiep zorgt ervoor dat deze bank niet rechtstreeks aanlandt op de eilandkop, maar kleinschalige bankaanlandingen (schaalniveau 1) vinden plaats richting de centrale eilandlandkust bij Terschelling (zo tussen raaien 500 en 600).



Figuur 6-14: Een overzicht van de bodemopnames tussen 1933 en 2016 in het Zeegat van het Vlie op basis van de Vaklodingen

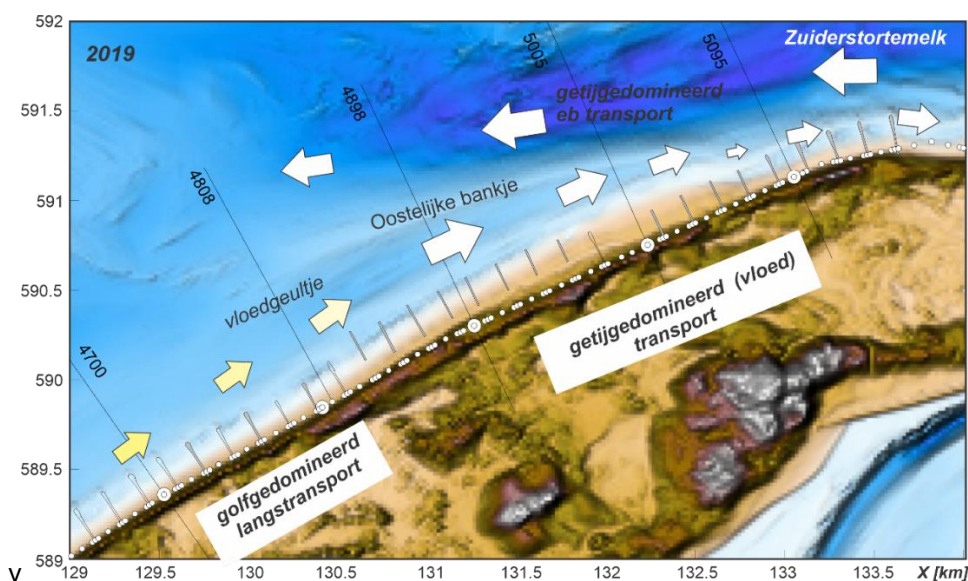
6.4.3 Morfologische ontwikkeling Vlieland Noordoost

Het stuk kust tussen raai 4700 en 5095 vormt een overgangszone van de centrale eilandkust naar het zeegat. Langs dit stuk kust treedt over het algemeen kusterosie op en zijn suppleties nodig. In Elias (2021b) is de morfologische ontwikkeling van de noordoostzijde van Vlieland onderzocht. Het onderstaande volgt uit dit onderzoek.

De kusterosie bij Vlieland Noordoost is gerelateerd aan de vloedstroming die tussen het Zuiderstortemelk en de kust wordt geperst, zoals hieronder zal worden uitgelegd. Afhankelijk van de exacte ligging van de geulen en bankjes rond het Zuiderstortemelk treden er versnellingen en vertragingen van de stromingen en dus gebieden met sedimentatie erosie, terugtrekking of uitbouw van de kustlijn op. De samenvatting van de processen staat in Figuur 6-15. De erosie wordt sinds 1997 bestreden met suppleties. Grootschalig is dit een constant beeld, maar op een kleinere schaal is er wel een duidelijk verschil tussen de bodemligging voor en na 2009.

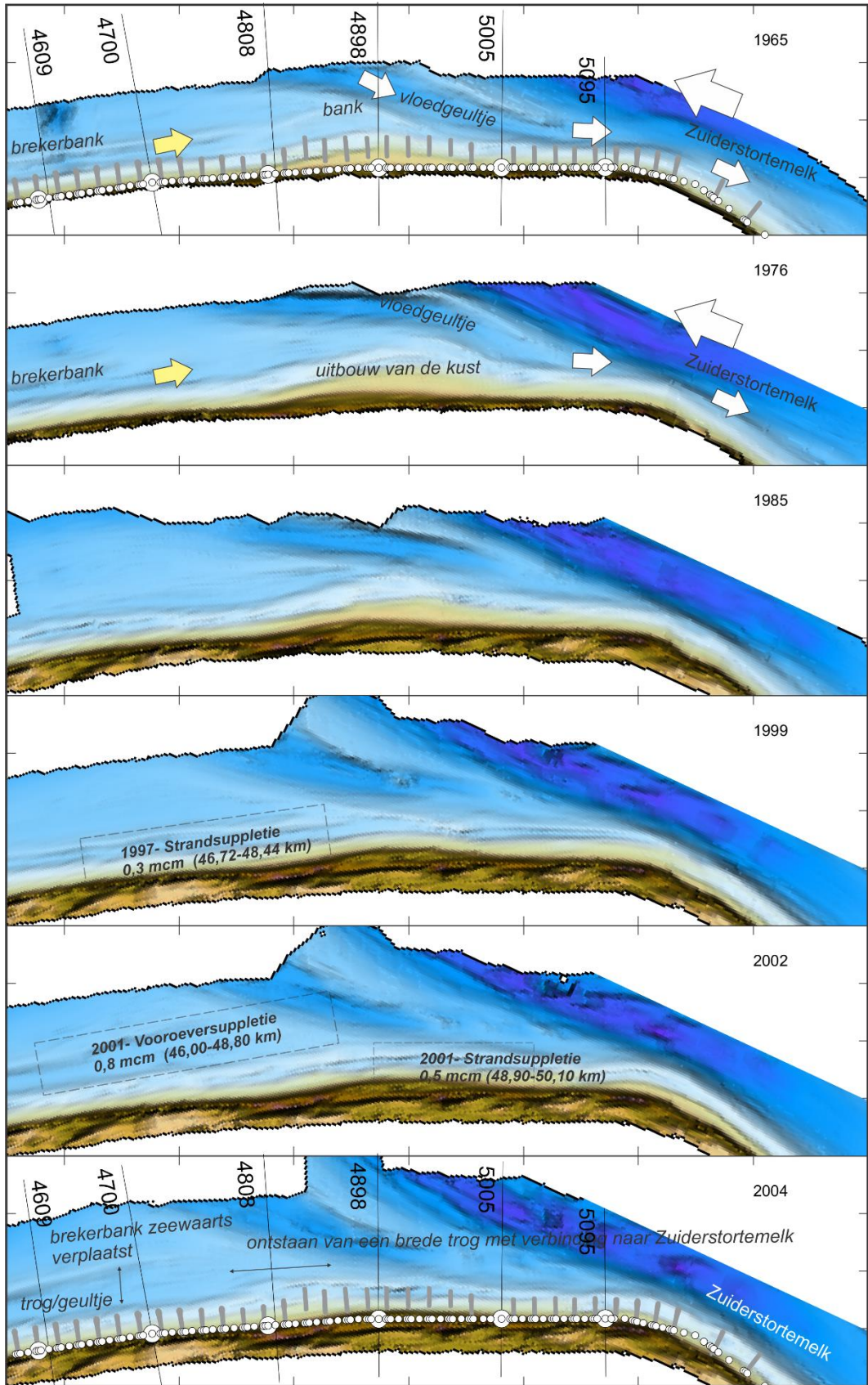
Voor 2009 lag het Zuiderstortemelk iets meer zeewaarts (Figuur 6-16). Landwaarts hiervan was nog een vloedgeultje aanwezig. Erosie van de kustlijn hangt in die configuratie samen met dit vloedgeultje. Het vloedgeultje is in 2009 dichtgezet door een vooroeversuppletie (Figuur 6-17). Na het dichtzetten van dit geultje vormt zich de huidige kustlijn en vooroever. Belangrijk hierin is de vorming van een kustparallel geultje tussen het Zuiderstortemelk en de kust in. Met het dichtzetten van het vloedgeultje is de vloedstroming namelijk niet verdwenen. Deze stroming moet een nieuwe toegang tot het Zuiderstortemelk vinden. Tussen de brekerbank en de kust is ruimte ontstaan voor nieuwe geulvorming. Voor begrip van de ontwikkelingen is ook de vooroeversuppletie van 2005 van belang. Deze vooroeversuppletie zorgde ervoor dat de brekerbank zich zeewaarts verplaatste. Er ontstond zo een brede trog tussen brekerbank en de kust. Deze trog vormt een efficiënte route voor de vloedstroming, waardoor zich eenvoudig een nieuwe kustlangse geul kon vormen tussen het Zuiderstortemelk en de kust. Ook deze geul veroorzaakt erosie van de kust.

Deze erosie wordt tussen raai 4808 en 5005 versterkt door de vorming van een nieuw bankje langs het Zuiderstortemelk. (aangeduid als oostelijke bankje in Figuur 6-15). Dit bankje ligt schuin op de kust, waardoor het tussenliggende geultje breder is aan de westzijde dan aan de oostzijde. Het doorstroomoppervlakte wordt in oostelijk richting dus steeds kleiner, waardoor stromingen toenemen. Tussen raai 5005 en 5095 neemt het doorstroomoppervlakte dan weer sterk toe, waardoor hier lokaal aanzanding optreedt.

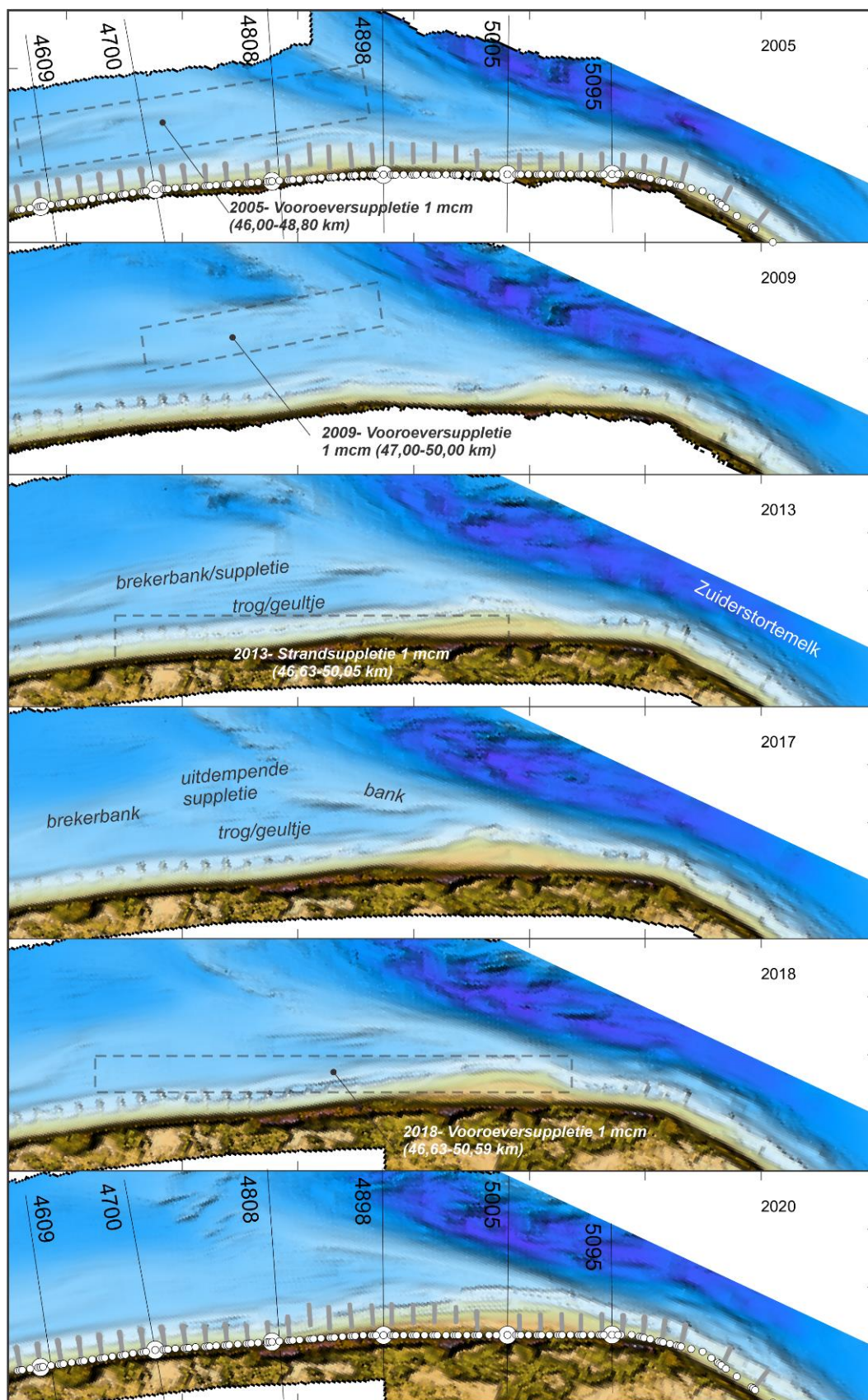


Figuur 6-15: Een samenvatting van de processen langs de Noordwest kust van Vlieland.

De uitgevoerde analyses leiden tot een aantal belangrijke lessen over de suppleties. De vooroeversuppletie van 2009 heeft succesvol het vloedgeultje dichtgezet. Deze suppletie heeft echter niet geresulteerd in het oplossen van de erosieproblematiek. Een alternatief (vloed)geultje is gevormd direct langs de kust, waardoor kusterosie nog steeds optreedt. De locaties zijn enigszins veranderd, maar de problematiek blijft bestaan. De strandsuppletie van 2018 is snel geërodeerd. Een belangrijke reden hiervoor is dat deze suppletie het doorstroomoppervlakte van het geultje verder verkleint. Deze verkleining is niet genoeg om het geultje dicht te zetten, maar waarschijnlijk wel genoeg om de stroomsnelheden te laten toenemen. De suppletie verdwijnt dan ook snel.



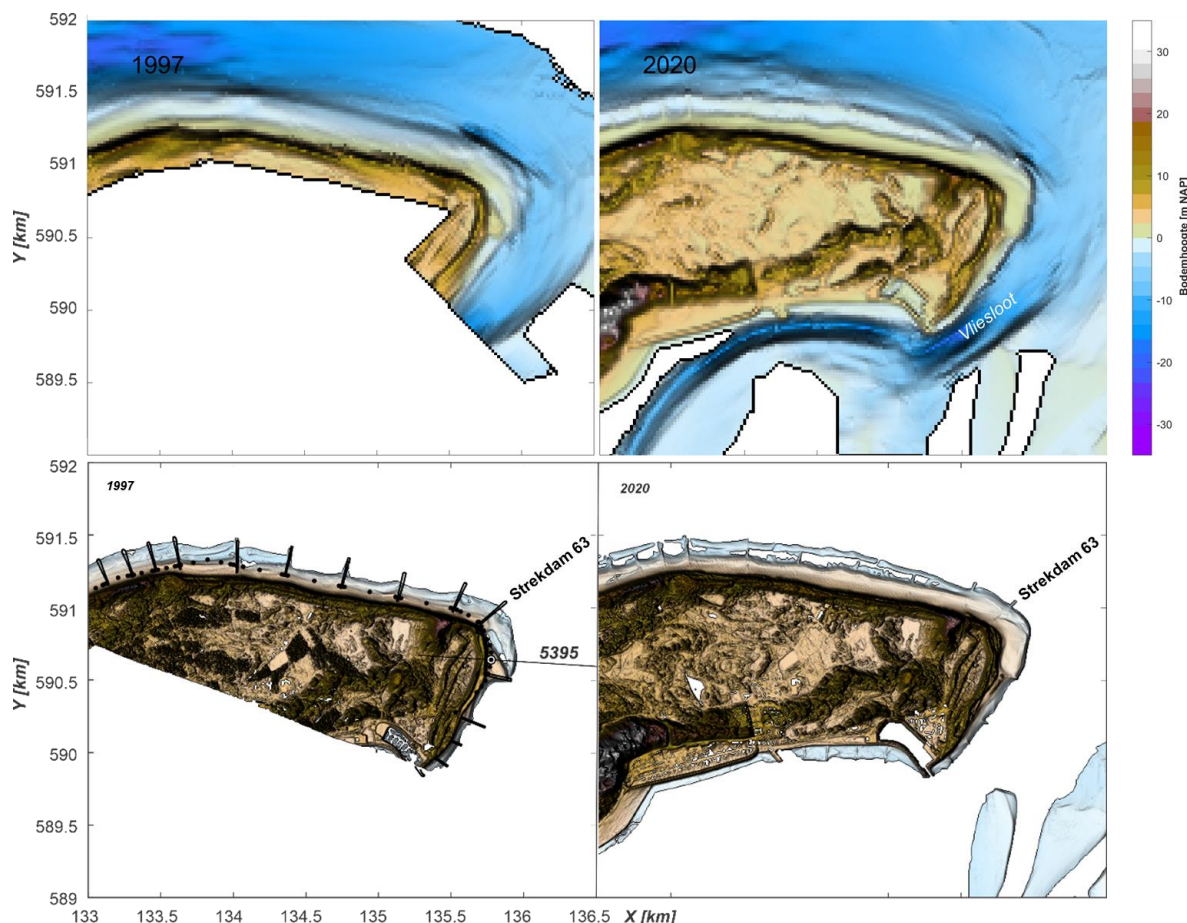
Figuur 6-16: Ontwikkeling van de kustzone tussen raaien 4609 en 5095 in de periode 1965-2004 op basis van vergrilde JARKUS data. 'mcm' staat voor miljoen kubieke meter suppletievolume.



Figuur 6-17: Ontwikkeling van de kustzone tussen raaien 4609 en 5095 in de periode 2005-2020 op basis van vergride JARKUS data. 'mcm' staat voor miljoen kubieke meter suppletievolumen.

6.4.4 Morfologische ontwikkeling Vlieland-Oostkop en -Haven

Het kustgedrag van de Oostkop van Vlieland over de periode 1965-2020 wordt samengevat door de ontwikkelingen van raai 5395 (Figuur 6-18 en Figuur 6-19). In deze raai is de voorliggende diepe geul Vliesloot dominant aanwezig. Deze geul kromt zich als het ware om de kop van Vlieland heen, ligt iets verder zeewaarts op de buitendelta, direct langs de kust tussen km 51 en km 54.8 en vertakt zich in het bekken in een aantal kleinere geulenstelsels. De geul zelf ligt de laatste jaren vrij stabiel. Dit komt mede doordat de geul zich de afgelopen 2 eeuwen heeft ingegraven in keileemlagen. Daarnaast zorgen de diverse dammen ervoor dat de landwaartse verplaatsing wordt beperkt (zie paragraaf 4.2.1).



Figuur 6-18: Ontwikkeling van de eilandkop van Vlieland aan de hand van de 1997 en 2020 JARKUS-grids (boven) en LiDAR opname (onder).

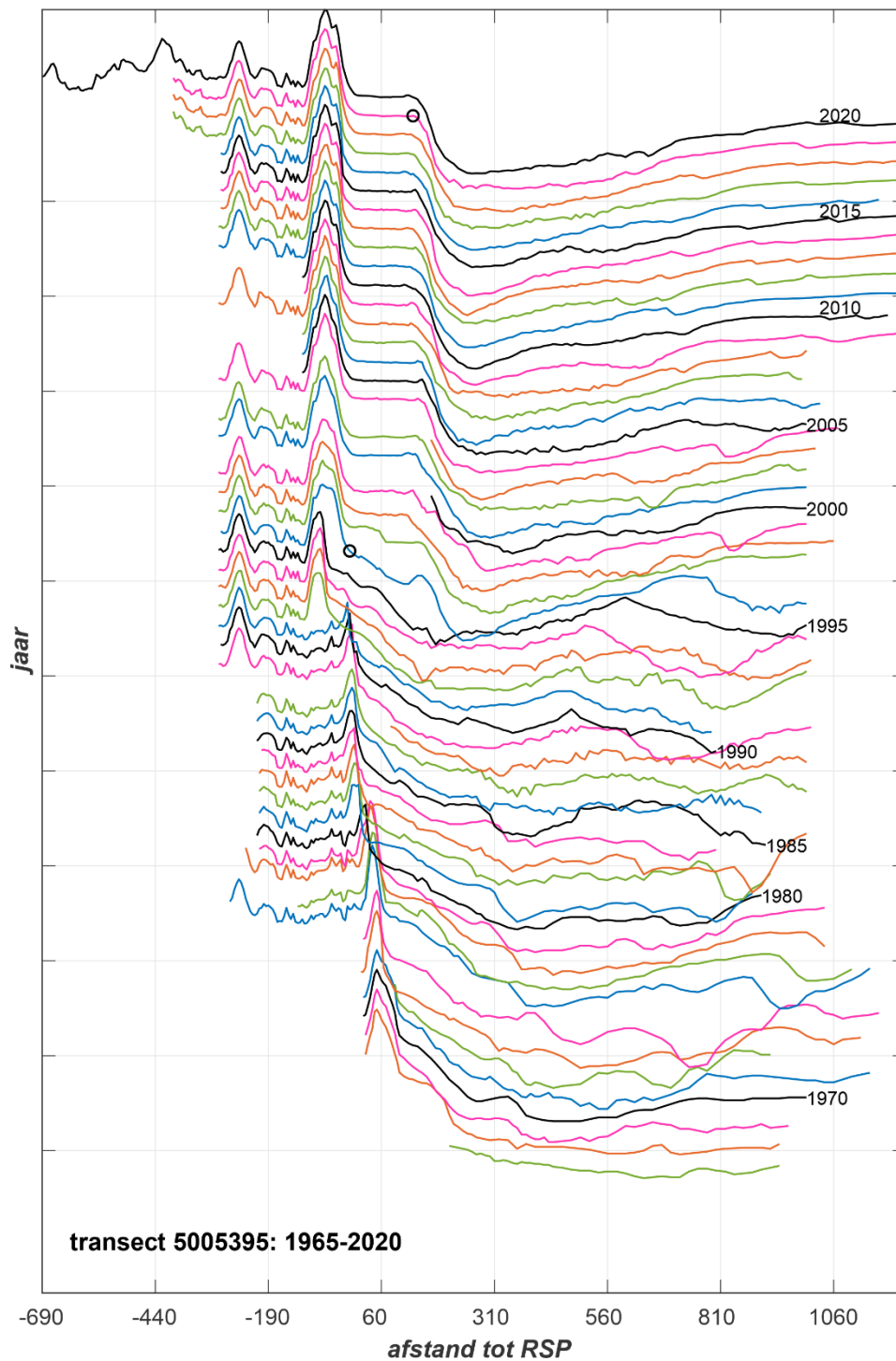
Na aanleg van strekdam 63 in 1995 zien we duidelijk de aangroei van de kust ten zuiden van strekdam 63. Deze aangroei is ook in de LiDAR data te volgen (Figuur 6-18). Na de initiële sterke aangroei blijft het strand goed behouden. Wat ook opvalt is de stabiliteit van de voorliggende geul en bank. Tot 1995 deden er zich relatief grote vormveranderingen in de geul en de aangrenzende bank voor. In de periode 1995-2005 blijven beide stabiel liggen. Sinds 2005 observeren we wel een verdieping van de geul, met name rond km 54.80.

De erosie van het strand voor de aanleg van de strekdam en de aangroei daarna kan worden verklaard uit de dominante transportprocessen. Zo beschrijft Steyaert (1994): *“In de Vliesloot zelf is de ebstroming sterk dominant. Dit gegeven is van belang voor de kustontwikkeling van de oostpunt van Vlieland. Zand dat door de waterstroming of golfwerking van dit kustgedeelte in de Vliestroom terecht komt wordt door de sterke ebstroming naar de buitendelta getransporteerd. Omdat de ebstroom zoveel sterker is dan de vloedstroom wordt zand, dat tijdens de vloed vanuit de kust naar dit gebied wordt aangevoerd gedurende de eb onmiddellijk*

weer naar de buitendelta afgevoerd. Het omgekeerde is het geval met het zandtransport in de zich ten oosten van de Vliesloot ontwikkelende vloedgeulen. Omdat de vloedstroom hier dominant is wordt vanuit de kust aangevoerd zand in de richting van de Richel niet meer afgevoerd met de eb. Dit in de richting van de Richel aangevoerde zand zorgt voor de opbouw van de noordkant van de Richel. Doordat wel zand van het kustgedeelte tussen het laatste strandhoofd en de havenhoofden door de ebstroming wordt afgevoerd en er hier geen aanvoer van zand is verplaatst de zeereep zich landwaarts.”

Eysink en van Banning (1994) concluderen door analyse van de (historische) bodemkaarten en literatuur dat: *“de kusterosie op de oostpunt van Vlieland primair het gevolg is van de afsluiting van de Zuiderzee. Dit had in eerste instantie tot gevolg dat de hydraulische condities op het Wad ten zuiden van oost-Vlieland werden gewijzigd, waardoor het getijvolume van de vloedkom van de Vliesloot groter werd en de toestroming naar de mond, met name bij eb, veranderde. De belangrijkste morfologische aanpassingen aan het gewijzigde hydraulische regime vonden plaats in de periode van 1932 tot 1972 in de vorm van het verleggen van de morfologische wantijen en het aanpassen van het geulenstelsel. Dit leidde tevens tot erosie van de oostpunt van Vlieland en, uiteindelijk, tot een serie van maatregelen ter verdediging ervan sinds 1976, die tot nu toe onvoldoende zijn gebleken.*

Naast de algemene trend tot erosie van de oostpunt van Vlieland als gevolg van het verruimen en verdiepen van de geulen voor de kop van dit eiland spelen ook geulontwikkelingen in de vloedkom zelf een rol. Deze ontwikkelingen beïnvloeden in belangrijke mate de oriëntatie van de Vliesloot oostelijk van de havenmond en daarmee de positie van de geulen ten opzichte van de oostkust van Vlieland. Ongunstige situaties ontstaan als een kleine zijtak van de Vliesloot, die eerder iets ten westen van x-coördinaat 135 km (Figuur 6-18) ontstaan met een oriëntatie die dan bijna zuid-noord was, zich verder ontwikkelt. Tijdens die ontwikkeling migreert de mond naar het oosten en als de geul op zijn hoogtepunt is, is hij pal zuidwest-noordoost gericht in een positie die vlak langs de oostkust van Vlieland loopt. Met de ontwikkeling van deze geul wordt minder water via de hoofdtak van de Vliesloot afgevoerd. Hierdoor krijgt de totale impuls van het ebwater ter plaatse van de samenvloeiing in het diepe deel voor de haven een andere, meer noordelijke richting. Hierdoor migreert de geul van de Vliesloot in de mond van de vloedkom dichterbij de oostkust van Vlieland. De huidige situatie is zeer ongunstig en vertoont veel overeenkomst met die van 1933, waarbij nu bovendien de geulen nog dieper en breder zijn.”



Figuur 6-19: Ontwikkeling van de eilandkop van Vlieland aan de hand van de timestack voor raai 5395.

6.5 Dynamiek van de duinen

Binnen het project KPP B&O Kust 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, door gedifferentieerd landschapsbeheer toe te laten zonder andere functies in het gedrang te brengen (zie ook www.natuurlijkveilig.nl).

In Natuurlijk Veilig wordt de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde ‘responstypen’ (Tabel 6-1). Binnen deze categorisering wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter de zeereep liggende duinen. De responstypen zijn voor de Nederlandse kust geïdentificeerd m.b.v. luchtfoto’s, hoogtekaarten en hoogteverschilkaarten (o.b.v. laseraltimetriegegevens). Op basis van de criteria is per JARKUS-raai het responstype bepaald. Met de hoogteverschilkaarten is het aantal centimeter sedimentatie en erosie bepaald. Met een combinatie van hoogtekaarten en luchtfoto’s zijn embryonale duinen, kerven en stuifkuilen geïdentificeerd. Er is zowel gekeken naar het gebied direct achter de raai en het gebied aan weerszijden van de raai.

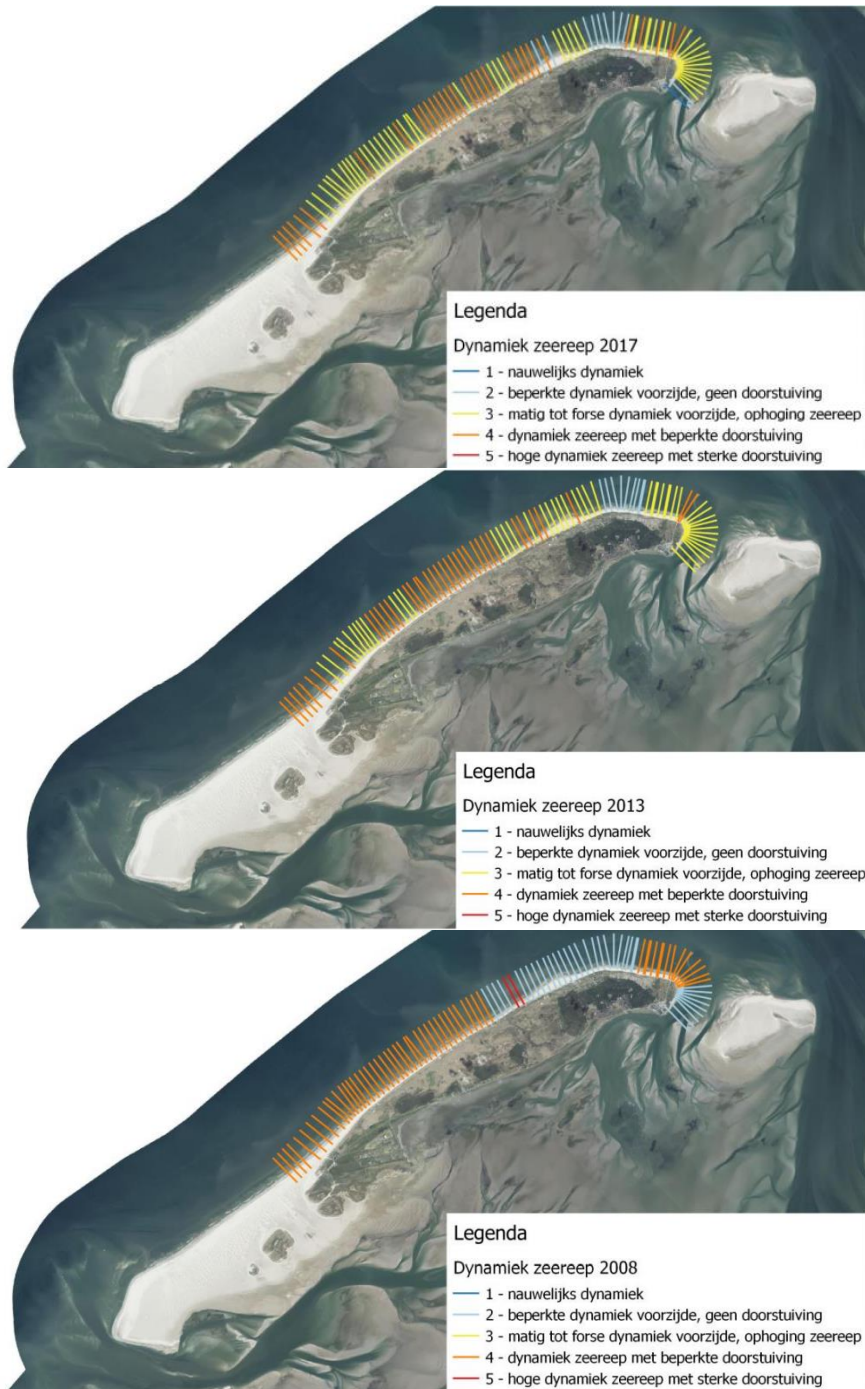
Tabel 6-1 - Responstypen met criteria hoe de responstypen zijn bepaald per JARKUS-raai. Voor sedimentatie wordt gekeken naar de aanstuiving van zand in een periode van 5 jaar voor 10% van het oppervlak (gebied voor de zeereep, de kruin, of achter de zeereep, behorend tot een bepaalde JARKUS-raai).

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

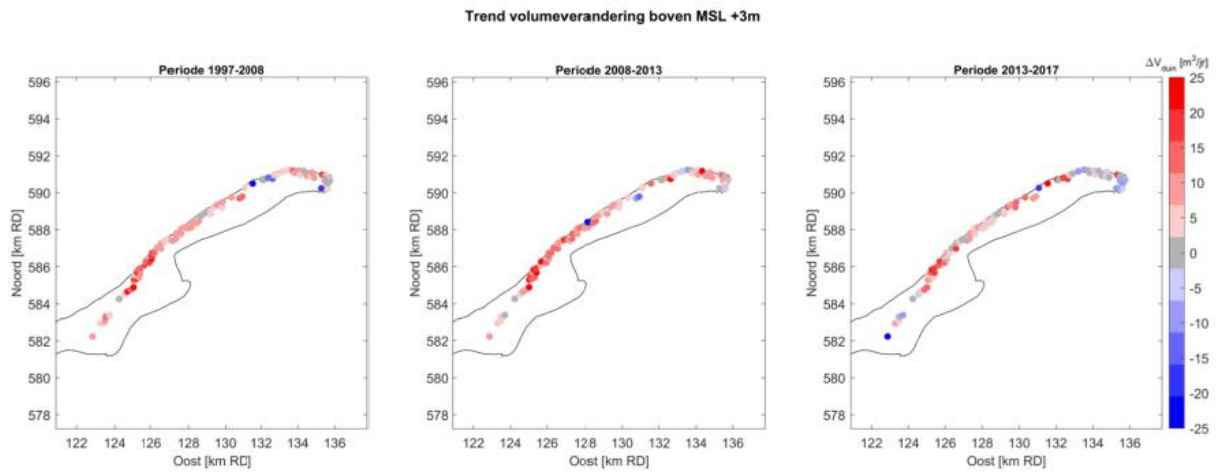
De zeereep op Vlieland kent veel dynamiek, de zeereep verandert. Was men tot voor enige jaren geleden gewend aan een rechte, dicht begroeide duinenrij (eigenlijk stuifdijk), tegenwoordig blaast de wind daar kerven in uit en worden de duinen breder en grilliger van vorm. Op een groot deel van de zeereep vindt dynamiek plaats aan de zeezijde (Figuur 6-20) met ophoging van de zeereep als gevolg (Figuur 6-21). De mate van doorstuiving over de zeereep op het rechte stuk (raaien 4000-4700) is in de periode 2008-2017 afgenomen. In 2008 was er nog sprake van doorstuiving over de zeereep naar de achterliggende duinen, terwijl in 2017 in circa de helft van deze raaien het zand zorgt voor aanstuiving en ophoging van de zeereep maar niet meer leidt tot doorstuiving. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de vorming van embryonale duinen voor de zeereep, die het zand invangen. De kerf bij raai 4880 (te zien als rood in Figuur 6-20) is na 2008 in omvang afgenomen waardoor die raaien in 2013 en 2017

zijn geclassificeerd als 'dynamisch met beperkte doorstuiving'. Aan de oostzijde van het eiland vindt meer erosie plaats (raaien 5000-5300). Er liggen strandhoofden en in de duinen zijn vakantieparken te vinden. Daardoor is er vanuit de beheerstrategie ook geen ruimte voor doorstuiving. Sinds 2008 neemt de ophoging van de zeereep wel toe, en plaatselijk vindt er soms toch doorstuiving plaats (zoals te zien aan de oranje gekleurde raaien in Figuur 6-20 in 2017).

Het ophogen van de zeereep is ook zichtbaar in de volumetoename van de zeereep in de periode 2013-2017 (Figuur 6-21). De toename aan duinvolume is het grootst in het westelijk deel van het eiland (raaien 4000-4700).



Figuur 6-20 - Dynamiek van de zeereep op Vlieland in 2008 (onder), 2013 (midden) en 2017 (boven). Bron: IJff et al. 2019.



Figuur 6-21 - Volumeverandering van de zeereep in de periode 1997-2008 (onder), 2008-2013 (midden) en 2013-2017 (boven), gemeten boven de duinvoet van MSL +3m (bron: IJff et al. 2019).

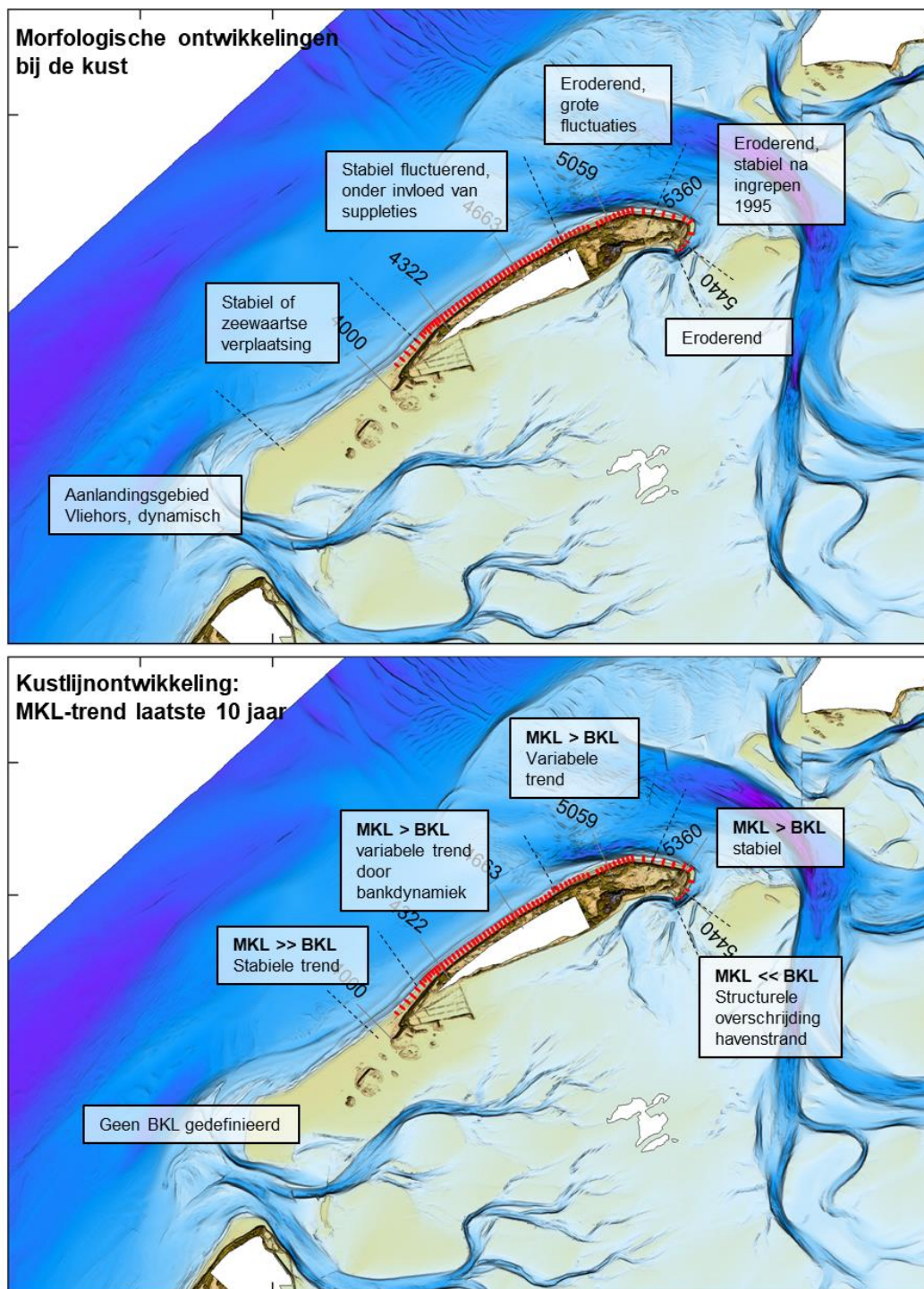
7 Kustlijnontwikkeling

7.1 Samenvatting

Op basis van de morfologische kenmerken uit Hoofdstuk 6 maken we hiervoor onderscheid in enkele deelgebieden. Figuur 7-1 geeft een samenvatting van de algemene kenmerken van de MKL-trends als gevolg van de morfologische ontwikkelingen.

het westelijk deel van Vlieland (de Vliehors) kent grote dynamiek en toename van de zandvolumes en zuidelijke verplaatsing van de strandlijnen. Deze hangen samen met het aanlanden van banken en platen vanuit de buitendelta van het Eierlandse gat (zie paragraaf 6.2.3). Hier is een overwegend zeewaartse trend in de MKL-positie.

De centrale eilandkust is grotendeels stabiel, in bijzonder het deel waar de strandhoofden liggen. Het noordelijke deel staat onder invloed van de buitendelta. Hier veroorzaakt het voorliggende vloedgeultje (periodiek) erosie en zijn regelmatig terugkerende suppleties noodzakelijk (paragraaf 6.4.3). De oostelijke eilandkop van Vlieland kent tegenwoordig, sinds de uitvoering van grote verdedigingswerken tussen 1976 en 1995, stabiliteit (paragraaf 6.4.4).



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

7.2 Zandsuppleties

Een overzicht van alle uitgevoerde suppleties bij de kust van Vlieland staat in Tabel 7.1 en Figuur 7-3. Een landelijk overzicht van uitgevoerde zandsuppleties is te vinden op de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>).

Tabel 7-1 – Overzicht zandsuppleties bij het kustvak van Vlieland

		Jaar	Raai (km)		Type suppletie	Volume (m ³)
1	Noordoosthoek	1995	53,70	54,40	strand-duinsuppletie	80.000
2	Noordoosthoek	1995	53,70	54,40	strand-duinsuppletie	111.000
3	Havenstrand	2001	54,55	54,85	strandsuppletie	20.478
4	Havenstrand	2005	54,60	54,85	strandsuppletie	20.000
7	Havenstrand	2007	54,60	54,85	duinverzwaring	30.000
8	Havenstrand	2009	54,60	54,85	strandsuppletie	20.000
9	Havenstrand	2013	54,60	54,80	strandsuppletie	20.000
10	Depot Havenstrand	2018	54,10	54,20	strandsuppletie	20.000
11	Vlieland Havenstrand	2018	54,40	54,80	strandsuppletie	20.000
Totaal Vlieland - Haven						341.478
		Jaar	Raai (km)		Type suppletie	Volume (m ³)
1	Noordzeestrand	1997	46,72	48,44	strandsuppletie	279.621
2	Vlieland-oost	2001	48,90	50,10	strandsuppletie	499.579
3	Vlieland-oost	2001	46,00	48,80	vooroeversuppletie	831.892
4	Oost	2005	48,60	50,20	vooroeversuppletie	1.008.032
5	Oost	2009	47,00	50,00	vooroeversuppletie	1.780.870
6	Oost	2013	46,63	50,05	strandsuppletie	1.000.000
7	Manege	2018	50,59	50,77	strandsuppletie	20.000
8	Vlieland oost	2018	46,63	50,59	strandsuppletie	1.000.000
9	Vlieland midden	2021	43,07	46,09	vooroeversuppletie	1.600.000
Totaal Vlieland Oost						8.019.994
1	Vlieland-Stortemelk	2017	51,10	53,60	geulwandsuppletie	1.467.000

In totaal is er 9,9 miljoen m³ gesuppleerd bij Vlieland. Het merendeel hiervan (8 miljoen m³) is gesuppleerd tussen raaien 4600 en 5100, 'Vlieland Noordoost' in Figuur 7-2 en Tabel 7.1. De structurele erosieve trend in de kustzone, veroorzaakt door het voorliggende vloedgeultje van het Zuiderstortemelk zoals beschreven in paragraaf 6.4.3, zorgt ervoor dat er elke 4-5 jaar een vooroever- of strandsuppletie nodig is.

Een geringe hoeveelheid (0,14 miljoen m³) is gesuppleerd net ten noorden van de haven van Vlieland, raaien 5440 – 5485, 'Havenstrand' in Figuur 7-2 en Tabel 7.1. Mede door de ongunstige ligging van de stroomgeul vlak langs het strand is het hier bijna onmogelijk grote suppletiehoeveelheden op het strand en vooroever aan te brengen. Frequent terugkerende (kleine) suppleties, gecombineerd met eerder aangelegde dammen, zijn wel in staat gebleken de kustachteruitgang hier te stabiliseren. In 2018 is een strandsuppletie uitgevoerd op het Havenstrand, waarvan 20.000 m³ voor het Havenstrand en 20.000 m³ extra in een zanddepot om het Havenstrand later te kunnen aanvullen met zand.

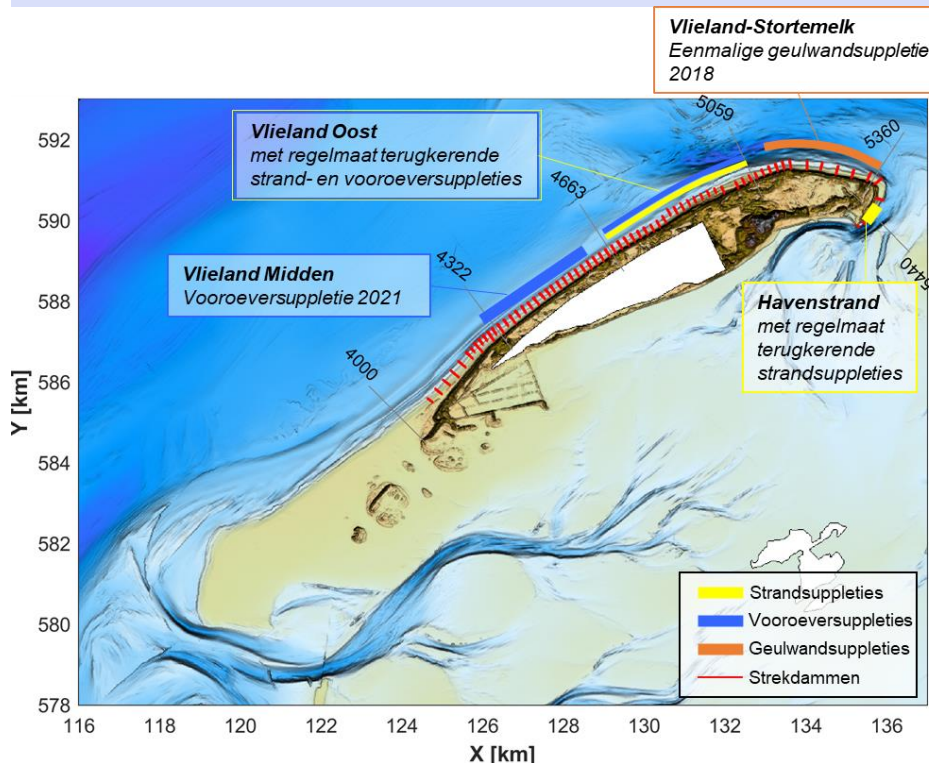
Een bijzondere suppletie is de vooroeversuppletie aangebracht in het Zuiderstortemelk (2018). Met deze suppletie werd bijna 1,5 miljoen m³ zand op de geulwand van het Zuiderstortemelk

aangebracht tussen raaien 5110 en 5360. De suppletie volgt uit een regioconsultatie kustfundamentsuppleties in 2014 en is voorgesteld door POK NN, gezamenlijke overheden Noord-Nederland, zie Figuur 7-2 voor de onderbouwing. Een analyse van de ontwikkeling en impact van de geulwandsuppletie op de kustzone is (nog) niet uitgevoerd wegens de geringe aantal jaren aan (JARKUS) data voor een evaluatie.

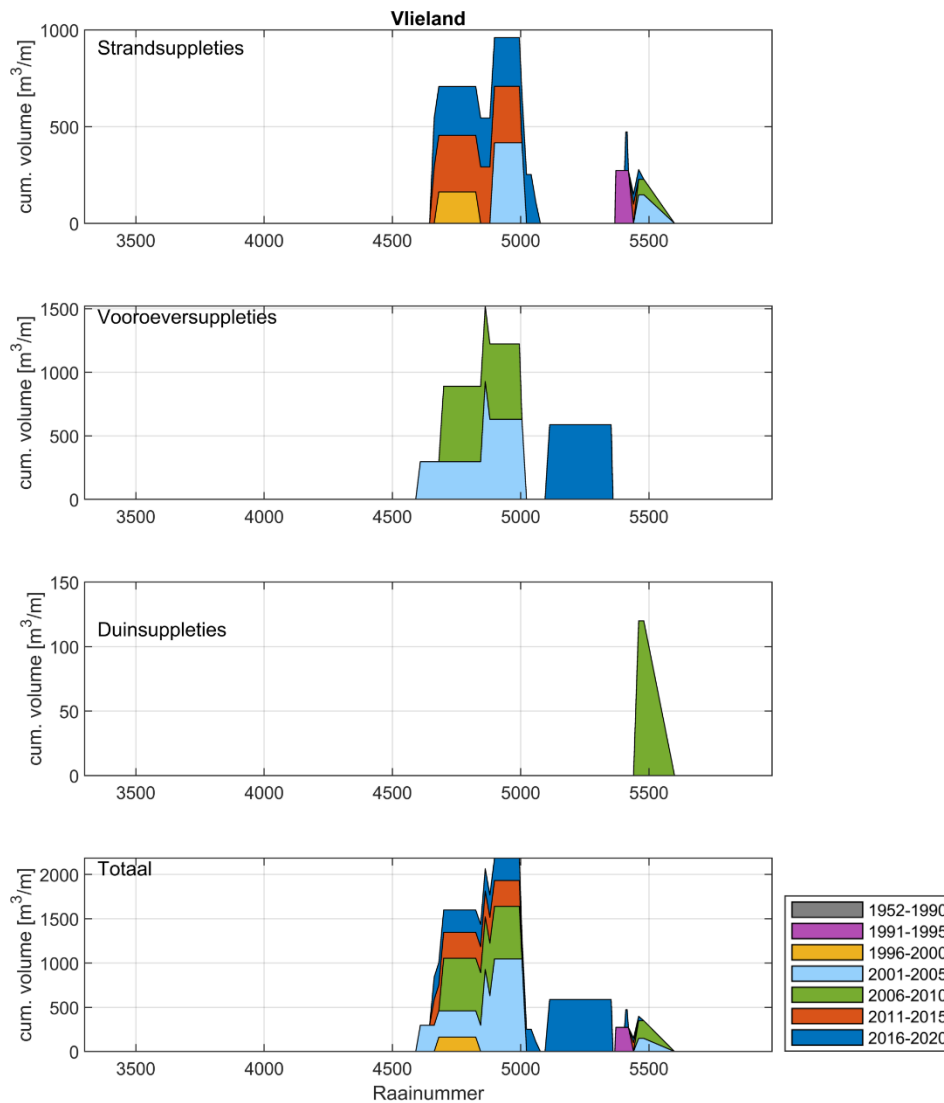
Tabel 7-2 Samenvatting van de typerende suppleties langs de kust van Vlieland. De onderbouwing van het suppletie programma van RWS is te vinden via:

<https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/kust/uitvoeringsprogramma-kustlijnzorg/>

Locatie (raaien)	Typerende suppleties	Onderbouwing
Vlieland Midden (4307 – 4609)	Vooroeversuppletie gepland voor 2021	Doel van de vooroeversuppletie is om de lange-termijn zandverliezen van het kustfundament te compenseren rond het zeegat van het Vlie. Door de aanwezigheid van een eb-geul ter hoogte van raai 4808 is het niet mogelijk de kustfundamentsuppletie direct uit te voeren voor het gebied met de BKL-overschrijdingen (raai 4663-4988). Het is de verwachting van Rijkswaterstaat dat het zand van deze suppletie op een tijdschaal van jaren positief zal bijdragen aan de kustontwikkeling ten noordoosten van het suppletiegebied.
Vlieland Oost (4663 – 5059)	met regelmaat terugkerende strand- en vooroeversuppletie	Structurele erosie zorgt voor BKL-overschrijdingen. Regelmatige strand- en vooroeversuppleties zijn hier nodig. Sinds 2009 alleen strandsuppleties door de aanwezige eb-geul.
Vlieland-Stortemelk (5110 – 5360)	Eenmalige geulwandsuppletie in 2018	N.a.v. regioconsultatie kustfundamentsuppleties in 2014. Verwachting is dat de geulwandsuppletie zorgt voor minder erosie op de stranden, waardoor functies beter gewaarborgd worden en suppletiekosten beperkt.
Havenstrand (5440 – 5460)	met regelmaat terugkerende strandsuppletie	De structureel overschreden BKL wordt door middel van strandsuppleties stabiel gehouden. Door de aanwezigheid van een smal strand met een voorliggende geul is de beschikbare ruimte beperkt. De aangebrachte volumes zijn klein, en de strandsuppleties hebben een beperkte levensduur.



Figuur 7-2 – Overzicht van de uitgevoerde suppleties typerend per deelgebied rondom Vlieland. In de tabel wordt ook onderbouwing van de gekozen suppletiestrategie gegeven.



Figuur 7-3 - Overzicht van alle aangebrachte suppleties op Vlieland, tot 2020: kustlangse verdeling van de suppletiehoeveelheden (m³/m).

7.3 Ontwikkeling kustindicatoren

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

7.3.1 MKL – BKL

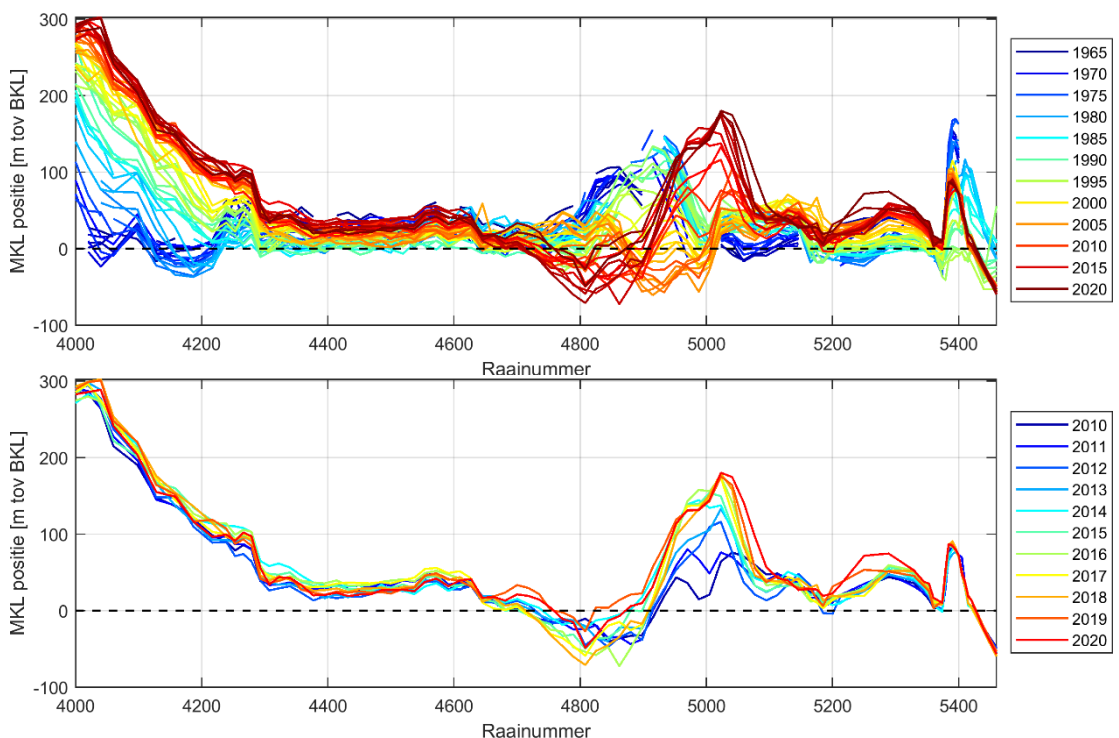
De MKL-positie (voor definitie, zie Figuur 3-2) representeert de jaarlijkse kustlijnligging en wordt vergeleken met de BKL. Figuur 7-4 geeft de MKL ontwikkeling voor 1965 tot 2020 (boven) en de laatste 10 jaar (onder).

Voor het gebied van de Vliehors ten zuiden van raai 4000 is geen BKL gedefinieerd en wordt geen MKL berekend. Het midden of centrale deel (raai 4000 – 4750) van het eiland grenst aan de duinkust van het eiland. De MKL tussen raaien 4000 en 4200 heeft zich sterk zeewaarts verplaatst sinds 1965 en is de laatste 10 jaar stabiel. Het gebied ten noorden hiervan, raaien 4200 – 4700, wordt gedomineerd door een afname of stabiele ligging tot ongeveer 1980. Vanaf 1980 is er een (kleine) toename in MKL volume. Dit is mede door het aanbrengen van enkele grote suppleties tussen 1997 en 2018. Wat opvalt in de MKL-lijnen is dat de ligging fluctueert door de jaren. Dit lijkt gerelateerd aan de voorliggende bankverplaatsingen.

De kustlijn van Noordoost Vlieland tussen raaien 4700 en 5095 vertoont een tweedeling in gedrag. Het deel tussen raai 4700 en 4988 vertoont een trend van terugtrekking, gerelateerd aan de vorming van een kustlangs geultje. De BKL is overschreden tussen de raaien 4753 en 4862. Het onderhouden van de kustlijn vraagt hier om regelmatig suppleren. Zo zijn er o.a. in 2013 en 2018 strandsuppleties uitgevoerd bij de raaien 4663-5005.

De duinen vertonen een zeewaarts uitbouw tussen raai 4898 en raai 5005. Mogelijk draagt deze uitbouw bij aan de MKL afname, er is dan immers minder strandvolume beschikbaar. Tussen raaien 5005 en 5095 vindt uitbouw plaats door de vorming van een bank op de vooroever.

Op de oostkop van Vlieland, tussen raai 5005 en 5420, ligt de MKL zeewaarts van de BKL. Na aanleg van de laatste dammen in 1995 is duidelijk aangroei van de kust te zien (paragraaf 6.4.4). Dit is terug te zien in een lichte zeewaartse trend in de MKL. In raaien 5440 en 5460 (Vlieland Havenstrand) wordt de BKL structureel overschreden. Er worden hier regelmatig kleine strandsuppleties uitgevoerd, deze resulteren echter niet in een handhaving van de BKL omdat het strand aan een diepe getijdengeul grenst.

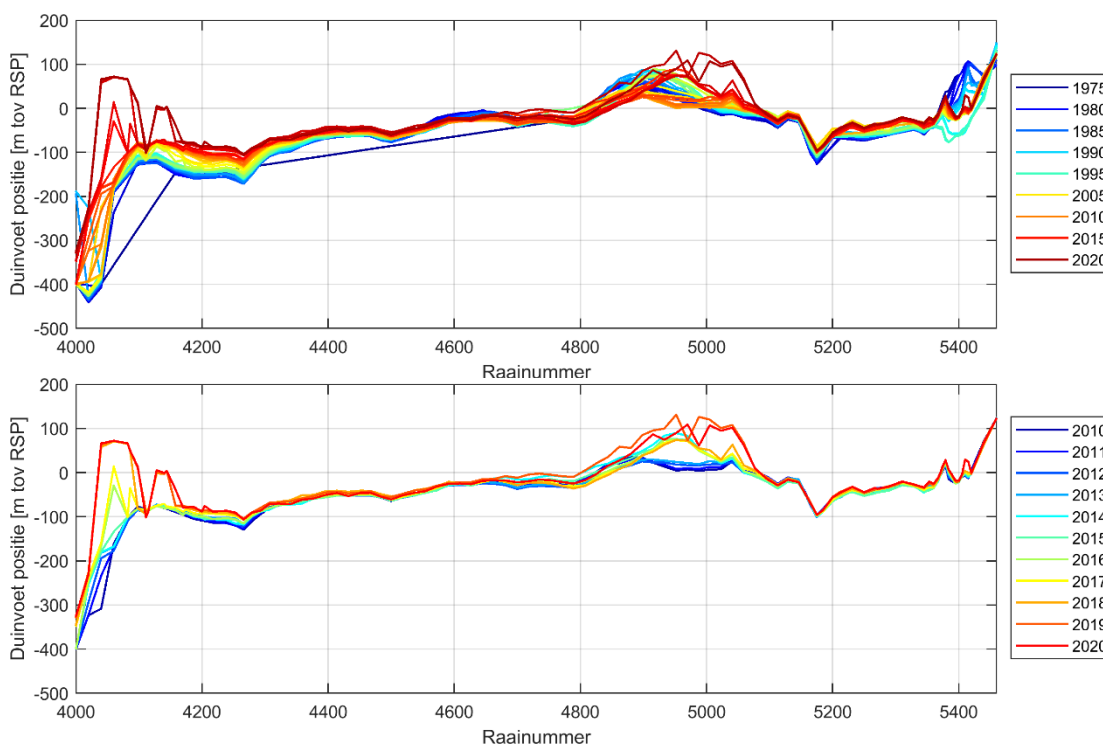


Figuur 7-4 – Ontwikkeling MKL positie t.o.v. BKL (zwarte stippellijn) over de periode 1965 tot 2020 (boven) en de laatste 10 jaar (onder). De MKL positie is berekend op basis van de rekenschijf beoordeling 1-1-2021.

7.3.2 Duinvoet

De duinvoet (DV) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten opzichte van RSP (zie Appendix A2 voor de berekenmethode). Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van strand naar duinen (i.e. knikpunt in het profiel). In Figuur 7-5 wordt de ontwikkeling van de DV tussen 1965 en 2020 en de laatste 10 jaar weergegeven langs de kust van Vlieland.

Op de Vliehors vindt jonge duinvorming plaats (paragraaf 4.4.2) met uitbouw van de kust (paragraaf 6.2.3), waardoor er een sterke zeewaartse verplaatsing van de duinvoet te zien is tussen raaien 4000 en 4300. Langs de centrale eilandkust is de duinvoetpositie stabiel. Het gebied Noordoost Vlieland tussen raaien 4700 en 5095 vertoont meer fluctuaties, gerelateerd aan de morfologische ontwikkelingen van het strand ten gevolge van de vorming van een kustlangs geultje. De duinen vertonen een sterke zeewaarts uitbouw tussen raai 4898 en raai 5005. Langs de Oostkop van Vlieland is de duinvoetpositie stabiel sinds de aanleg van de dammen tot 1995.



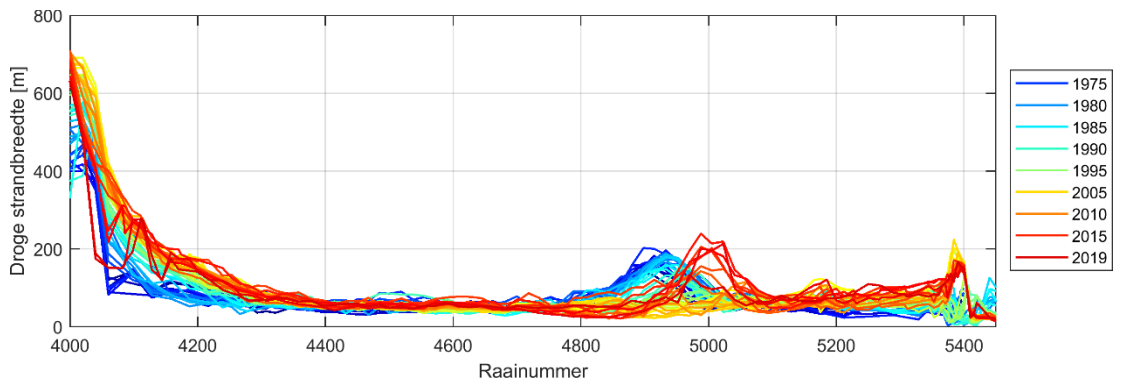
Figuur 7-5 – Ontwikkeling duinvoet positie t.o.v. RSP over de periode 1965 tot 2020 .

7.3.3 Strandbreedte

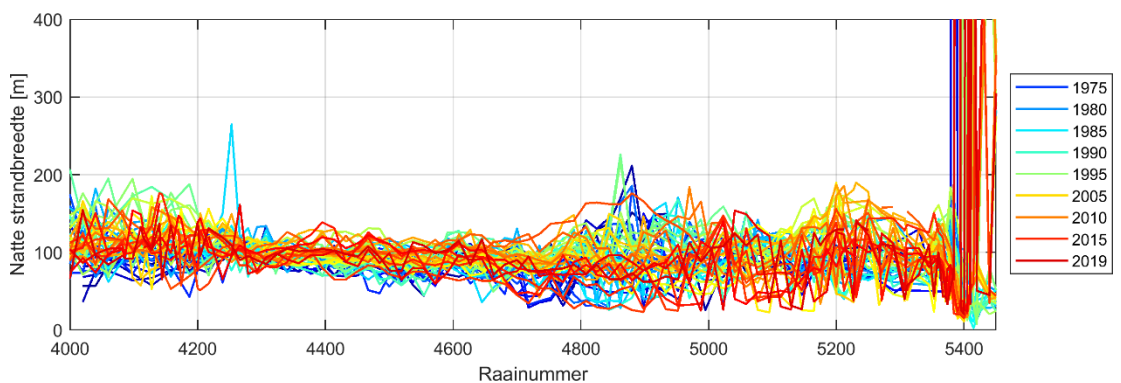
De strandbreedte is geen doelstelling van het beleid dat Rijkswaterstaat uitvoert, maar wel van belang voor recreatie. Er is onderscheid tussen het natte strand en het droge strand. De natte strandbreedte is de horizontale afstand tussen het snijpunt van het strandprofiel met de gemiddeld laag water (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 7-6 en Figuur 7-7 staat de ontwikkeling van de droge en natte strandbreedte tussen 1965 en 2020 langs de kust van Vlieland.

Ter hoogte van de Vliehors is de droge strandbreedte sterk toegenomen sinds 1975, maar lijkt sinds 2010 weer wat af te nemen. Dit lijkt veroorzaakt door het ontstaan van jonge duinen, waardoor de duinvoet zich zeewaarts verplaatst (Figuur 7-5) en de droge strandbreedte afneemt. Voor de rest van Vlieland volgt de droge strandbreedte de trends van de MKL. Vooral

rond de kop van Vlieland wordt het MKL-volume voornamelijk bepaald door het strandvolume, door de aanwezigheid van de geul dicht bij de kust. In de natte strandbreedte zijn geen duidelijke trends waar te nemen.



Figuur 7-6 - Ontwikkeling droge strandbreedte voor de periode 1965 – 2020 voor alle raaien bij de kust van Vlieland.



Figuur 7-7 - Ontwikkeling natte strandbreedte voor de periode 1965 – 2020 voor alle raaien bij de kust van Vlieland.

7.3.4 Faalkans eerste duinenrij/zeereep

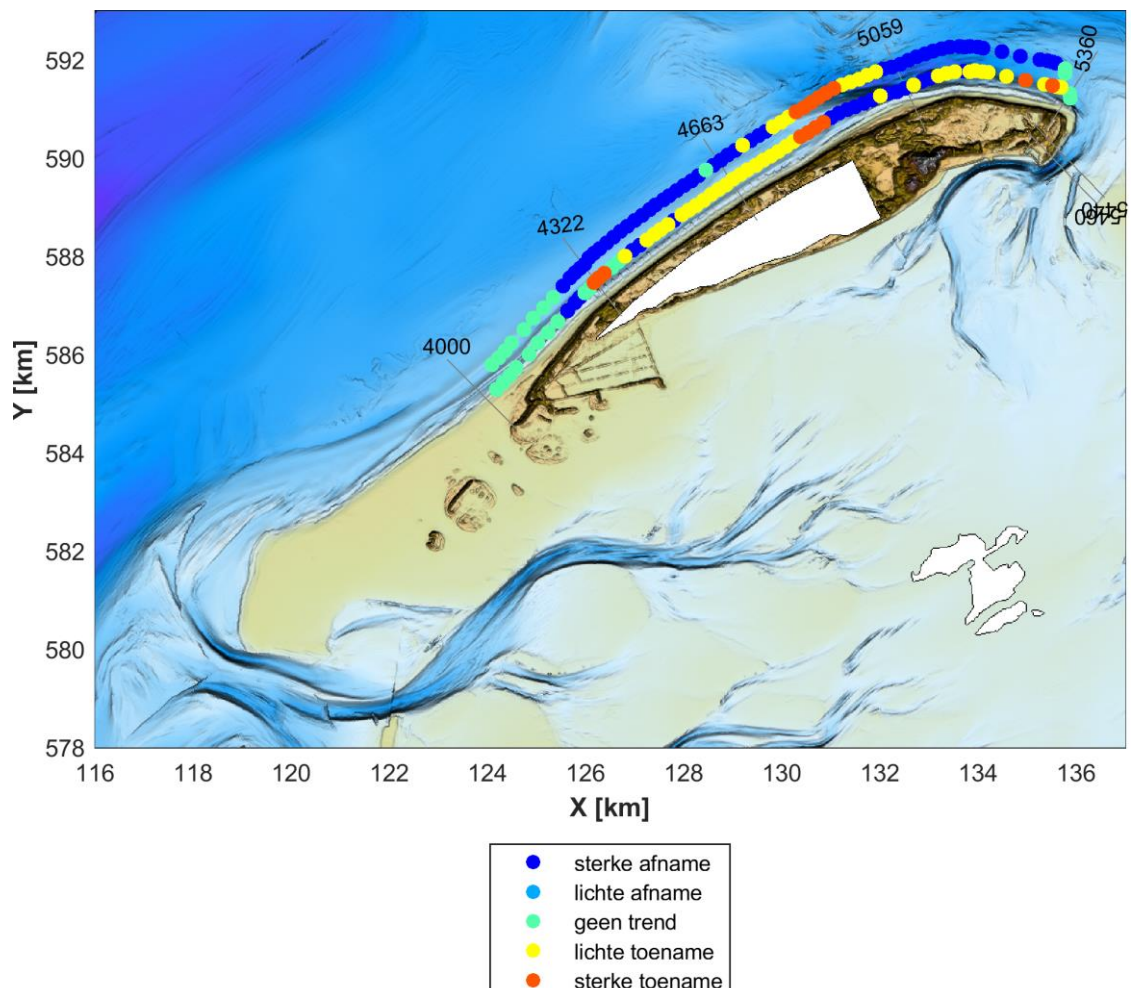
De wettelijke toetsing (paragraaf 3.3 en 4.2.3) van de duinen als primaire waterkering is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende condities. Bij deze beoordeling komt geen informatie beschikbaar over het effect van suppleties op de ontwikkeling van de veiligheid. Om dit effect in beeld te kunnen brengen is in 2011 een database samengesteld met faalkansen van alle JARKUS raaien langs de Nederlandse duinenkust, voor de jaren 1965-2010 (HKV, 2011, zie Appendix A4). Deze getallen geven de kans op een duindoorkraak per jaar. Een doorbraakkans van 1/10.000 per jaar betekent dat op die locatie gemiddeld eens per 10.000 jaar een doorbraak van de duinen te verwachten is. Op basis van deze database zijn analyses uitgevoerd van de effecten van het suppletiebeleid door de jaren heen op de faalkans van de duinen (HKV, 2012). In 2017 is deze database geactualiseerd voor de periode tot en met 2017 (HKV, 2017).

De hierbij berekende faalkansen hebben geen officiële betekenis voor de faalkans van de duinwaterkering. Het ontwikkelde probabilistische duinafslagmodel heeft 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 7-8 toont de trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Vlieland 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 Vlieland 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 7-8). Voor de periode 1990 tot 2017 is voor het merendeel van 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 7-8). Alleen bij het overgangsgedebied van de centrale eilandkust naar het Zuiderstortemelk (raaien 4800 – 5000) is er een toename in faalkans berekend voor de periode 1990-2017. Dit lijkt gerelateerd aan de ontwikkelingen m.b.t. het vloedgeultje van de Zuiderstortemelk en de aanliggende duinvoet. Over het algemeen is voor Vlieland de faalkans van de zeereep afgenomen door het suppletiebeleid.



Figuur 7-8 - Trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Vlieland voor de perioden 1965-1990 (onderste rij) en 1990-2017 (bovenste rij).

Referenties

- Baart, F. et al., 2018. Zeespiegelmonitor 2018 - De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust, Deltares report 11202193-000-ZKS-0004.
- Bakker, W.T. (1968). A mathematical Theory about sand waves and its application on the Dutch Wadden Isle of Vlieland. Shore and Beach, October 1968.
- Bakker, W.T., Joustra, D.S. (1970). The history of the Dutch coast in the last century. Rijkswaterstaat, nota WWK 70-12.
- Biegel, E.J., Spanhoff, R. (2000). Advies suppletie Vlieland 2000+. Werkdocument RIKZ/OS/2000.133X, Rijkswaterstaat RIKZ.
- Bruens, A. et al., 2012. Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn
- 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.P.L., (2018). Een actuele zandbalans van de Westelijke Waddenzee (1933-2015). Report 11202190-000 (in Dutch). Deltares, Delft: 85 pp.
- Elias, E.P.L., (2019). Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Report 11203683-001-ZKS-0002 (in Dutch). Deltares, Delft: 85 pp.
- Elias E.P.L. (2021a). Morfologie van het Zeegat van het Vlie. Een overzicht van de morfologische ontwikkelingen over de periode 1831-2020. Concept rapportage, Deltares, Delft.
- Elias, E.P.L., (2021b). Morfologische ontwikkeling kust Noordoost Vlieland. Deltares rapport 6794-001-ZKS-0002.
- 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,
- IJff et al. 2019. Natuurlijk Veilig – Landschapsvormende processen. Deltares rapport.
- 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.
- Kruiver, P. (2013). Geologische beschrijving bij dijkkring 4 Vlieland. Memo 1206930-000-BGS-0040, 6 pp.
- LievenseCSO (2016). Ligging primaire zandige waterkering Vlieland: Integraal ontwerprapport. Documentcode: RSVL-R-031
- Ministerie van Economische Zaken, 2016. Natura 2000-beheerplan Vlieland. Directie Natuur & Biodiversiteit. <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/natura-2000-beheerplannen/3-duinen-vlieland/>
- Ministerie van Economische Zaken, 2007. Gebiedsdocument Natura 2000 gebied 3 – Duinen Vlieland. Directie Natuur & Biodiversiteit.
- 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.
- Pluim, Misdorp (1988). Advies kustverdediging Noordoosthoek Vlieland. Nota GWWS-88.005, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Middelburg.
- POK Fryslân (1999). Dynamisch kustbeheer Vlieland: een advies over het beheer van de kustzone van km40.0 tot km 54.8 op Vlieland. Juni 1999
- Oost, A.P., Kleine Punte, P.A.H., (2004). Autonome morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee. Een doorkijk naar de toekomst. Rapport RIKZ/2004.021.
- Rakhorst, H.D., (1984), Werking strandhoofden Noord-Holland, Vlieland, 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 Vlieland-Vlieland-Terschelling: bijdragen tot de kennis van het westelijk Waddengebied en de eilanden Vlieland, Vlieland en Terschelling: 1. Het westelijk Waddengebied en Vlieland tot circa 1550 (in Dutch). Pirola (Schoorl): 187 pp.

- Steijn R. (2005). Effectiviteit van vooroeversuppleties langs de Waddenkust. Aanzet tot ontwerprichtlijnen voor het ontwerp van vooroeversuppleties. Alkyon, Emmeloord.
- Steyaert, F.H.I.M., Prakken, A., Nicolai, A. (1999) KUSTVERDEDIGING VLIELAND NOORD-OOST. Nota ANZ 94.07, Rijksinstituut voor Kust en Zee & Directie Noord-Nederland.
- Teerenstra, G.L., (1999). Evaluatie zeewaartse projecten Vlieland & Ameland. Rapport Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland Afdeling ANZ, Leeuwarden.
- van der Burgt, J.H. 1935. Veranderingen in het Zeegat van het Vlie en de aangrenzende Waddeneilanden Vlieland en Terschelling, Nota, Rijkswaterstaat.
- Van Heuvel, Tj. (1999). Evaluatie van zeewaartse kustverdediging. Rapport RIKZ-99.009. Rijkswaterstaat RIKZ.
- Van Reen, M.J., (2014). Veiligheid Nederland in Kaart 2. Overstromingsrisico dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland. Document HB 2631022. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. Uitgevoerd door Consortium Albicom.
- Verhagen, H. J. en van Rossum, H. (1990). Strandhoofden en paalrijen: evaluatie van hun werking. Min V&W, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
- Visser, J.C. (1946). Rapport Vlieland, Rijkswaterstaat, dir. Noord-Holland, arr. Hoorn.
- Vos, P.; Vries, S. De. (2013). Tweede generatie paleogeografische kaarten van Nederland; Utrecht.
- Vries, V., de, (1961). Vegetatiestudie op de westpunt van Vlieland. Thesis Universiteit van Amsterdam, 187 pp., bijlagen.
- Walhout, T (1998). Het kustgedrag van Vlieland van 1688- 1992 en de rol van de strandhoofden daarin. Werkdocument RIKZ RIKZ/AB-98.80.

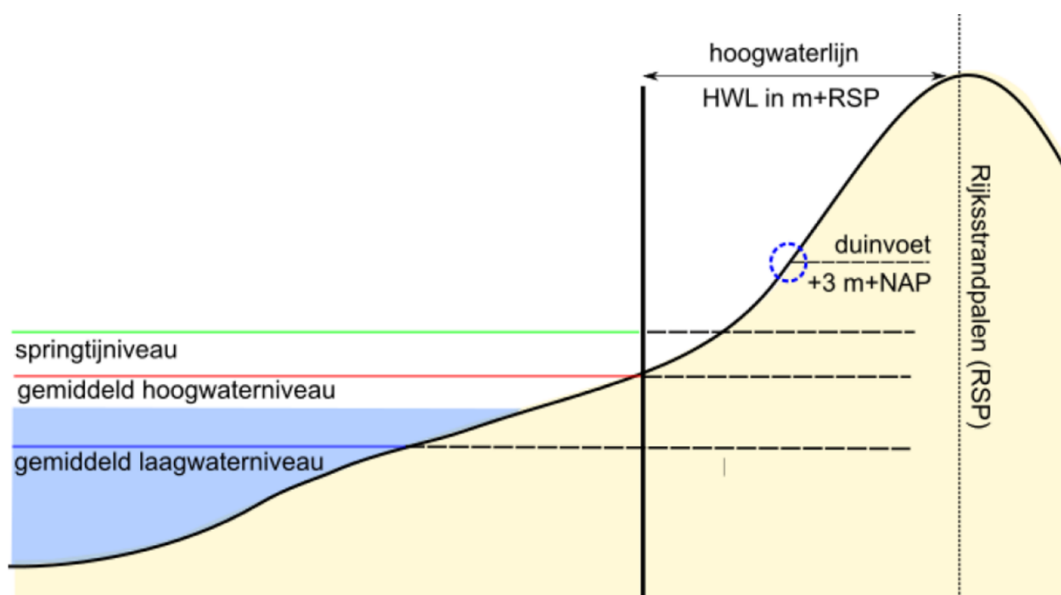
A Kustindicatoren: berekenmethode

A.1 Gemiddeld hoog- en laagwater

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

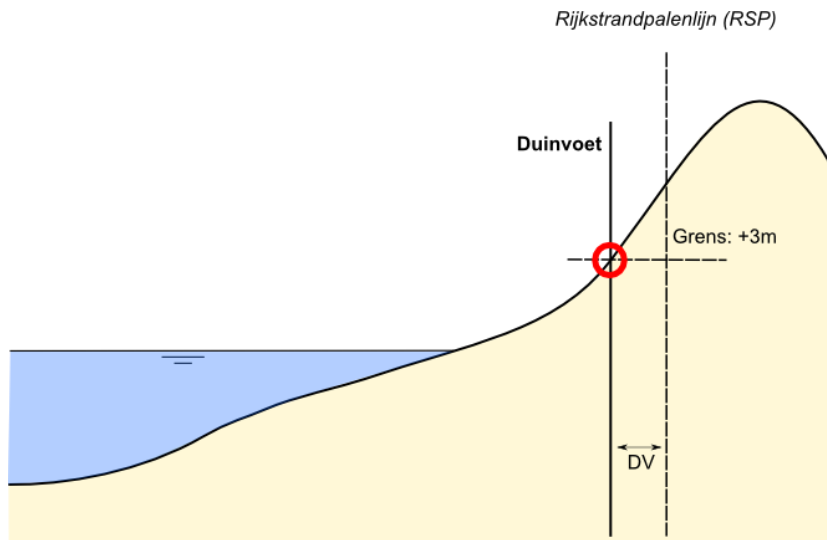


Figuur A-1- Rekenmethodiek voor de bepaling van gemiddeld hoogwater niveau (GHW), gemiddeld laagwater niveau (GLW), hoogwaterlijn (HWL) en laagwaterlijn (LWL).

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)

A.2 Duinvoet

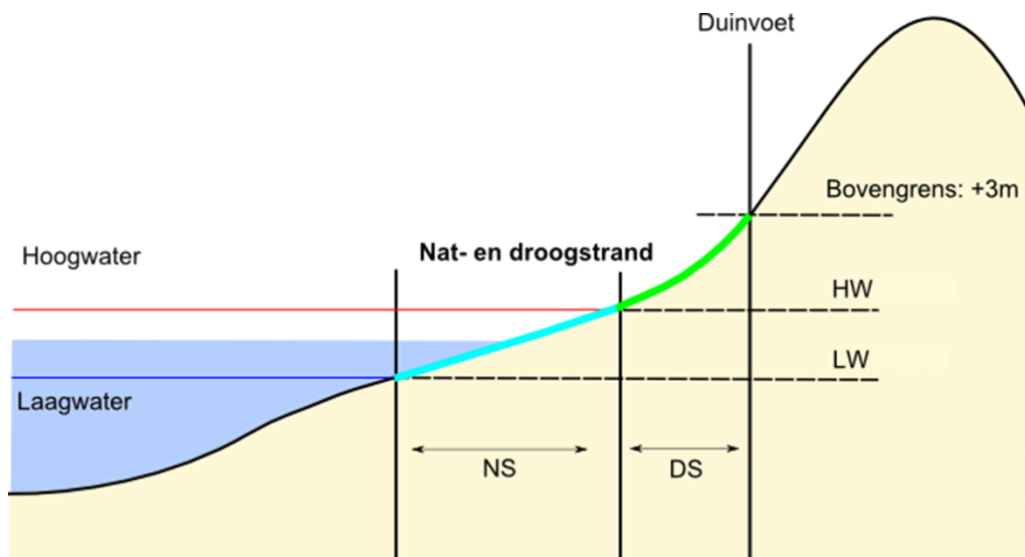
De duinvoet (DV in Figuur A-2) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten opzichte van RSP. Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van strand naar duinen (i.e. knikpunt in het profiel).



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

A.3 Strandbreedte

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



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

A.4 Faalkans van de eerste duinenrij

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

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

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

Voor het bepalen van de faalkansen is een probabilistische duinafslagmodel in Matlab ontwikkeld. Hierbij wordt DUROS+ gebruikt om bij een gegeven belasting en dwarsprofiel een afslaglengte te bepalen. Er is sprake van falen zodra het berekende afslagpunt (X_a of X_k in Figuur A-4) een kritiek afslagpunt overschrijdt.

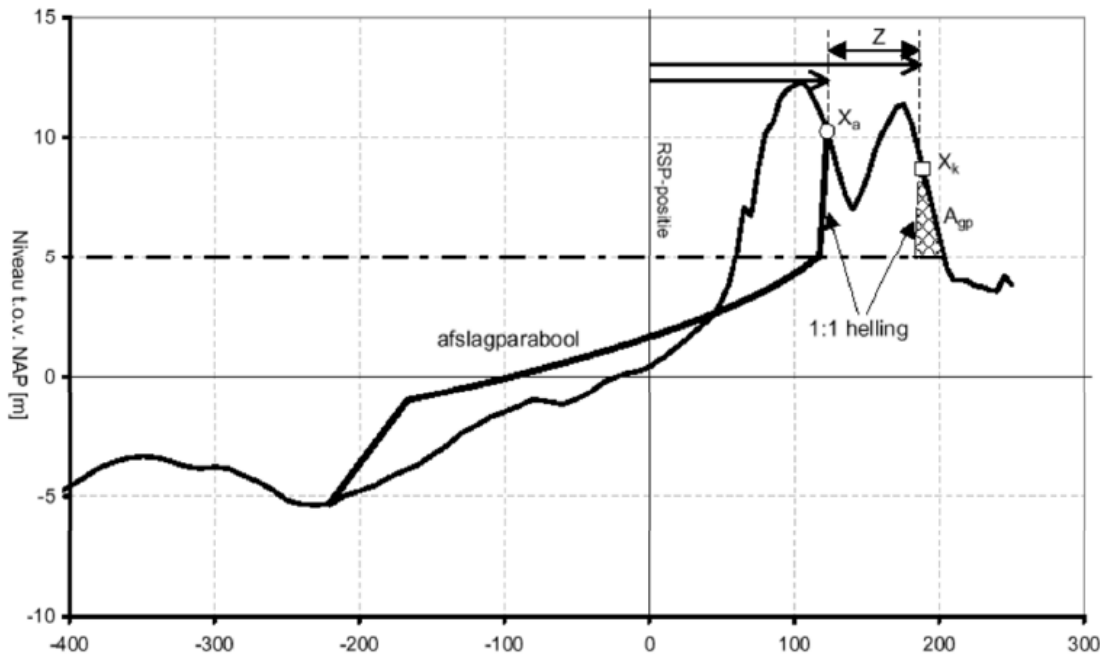
Falen kan optreden bij een zeer hoge waterstand, met een kleine kans van voorkomen. Een andere mogelijkheid is een combinatie van een iets minder hoge waterstand, met een grote waarde voor de modelfactor. Of een combinatie met een kleine waarde voor de korreldiameter. Elke combinatie die tot falen leidt,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

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

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

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

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



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

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