

Beheerbibliotheek Kust Schiermonnikoog

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



Beheerbibliotheek Kust Schiermonnikoog

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

Auteur(s)

Nienke Vermeer

Ellen Quataert

Marc Hijma

Stéphanie IJff

Beheerbibliotheek Kust Schiermonnikoog

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

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer Van Kuik
Referenties	zie pagina 70
Trefwoorden	Schiermonnikoog, Friesche Zeegat, Eilanderbalg, suppleties, Nationaal Park Schiermonnikoog, duindynamiek, bodemdaling, kustlijnonderhoud, morfologie

Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	02-12-2022
Projectnummer	11208035-002
Document ID	11208035-002-ZKS-0005
Pagina's	81
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Nienke Vermeer	
	Ellen Quataert	
	Marc Hijma	
	Stéphanie IJff	

Onderstaande tabel is niet voor publicatie

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.1	Nienke Vermeer	Julia Vroom	Toon Segeren	
	Ellen Quataert			
	Marc Hijma			
	Stéphanie IJff			

Samenvatting

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

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Schiermonnikoog is een actualisatie van de tweede versie door Oost et al. (2018). Tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd. Ook zijn er resultaten van nieuwe studies opgenomen. Resultaten van de studie door Elias & Oost (2021) en Elias et al. (2021) naar morfologische processen van respectievelijk het Friesche Zeegat en Groninger Wad zijn bijvoorbeeld in deze beheerbibliotheek verwerkt.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	KPP B&O Kust en de beheerbibliotheken	7
1.1	Kustonderhoud en -onderzoek	7
1.2	Waarom een beheerbibliotheek?	7
1.3	Wat staat er in een beheerbibliotheek?	7
1.4	Kustviewer	8
1.5	Kustlijnkaartenboek	8
1.6	Leeswijzer	8
2	Algemene gebiedsbeschrijving	9
3	Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid	11
3.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	11
3.2	Basiskustlijn voor Schiermonnikoog	13
3.3	Waterveiligheidsbeleid	15
4	Gebruiksfuncties van de kust van Schiermonnikoog	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Waterveiligheid	17
4.2.1	Kustverdedigingswerken	17
4.2.2	Primaire waterkering	20
4.2.3	Beoordeling van de primaire waterkering	21
4.3	Strandrecreatie	21
4.4	Natuur	22
4.4.1	Algemene beschrijving natuur op Schiermonnikoog	22
4.4.2	Bodem	24
4.4.3	Eilandkop	24
4.4.4	Duinboogcomplex	24
4.4.5	Voormalige overslagvlakte (<i>washovercomplex</i>)	26
4.4.6	Eilandstaart	27
4.4.7	Strand	27
4.4.8	Natura-2000 Habitatrictlijn en Europese Vogelrichtlijn	27
4.4.9	Knelpunten natuur	31
4.5	Drinkwaterwinning	32
5	Langetermijnontwikkelingen	34
5.1	Inleiding	34
5.2	Paleografische ontwikkeling	34
5.2.1	Pleistocene ontwikkeling	36
5.2.2	Recente ontwikkelingen	37

5.3	Bodemdaling	38
6	Beschrijving van het morfologisch systeem	43
6.1	Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag	43
6.2	Friesche Zeegat	43
6.2.1	Algemene kenmerken	43
6.2.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Friesche Zeegat	44
6.2.3	Morfologische ontwikkeling van de kustlijn	47
6.3	Eilanderbalg	52
6.3.1	Algemene kenmerken	52
6.3.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Eilanderbalg Zeegat	52
6.3.3	Morfologische ontwikkeling van de kustlijn	55
6.4	Centrale eilandkust	56
6.5	Dynamiek van de duinen	58
6.5.1	Dynamiek in de zeereep	58
6.5.2	Dynamisch beheer	62
7	Kustlijnontwikkeling	63
7.1	Hoofdlijnen	63
7.2	Zandsuppleties	64
7.3	Ontwikkeling kustindicatoren	64
7.3.1	MKL – BKL	64
7.3.2	Duinvoet	65
7.3.3	Strandbreedte	66
7.3.4	Faalkans eerste duinenrij/zeereep	67
	Referenties	69
A	Kustindicatoren: berekenmethode	72
A.1	Gemiddeld hoog- en laagwater	72
A.2	Duinvoet	73
A.3	Strandbreedte	73
A.4	Faalkans van de eerste duinenrij	74
B	Extra figuren morfologische ontwikkelingen	76
B.1	Bodemhoogte voor en na afsluiting van de Lauwerszee	76
B.2	Ontwikkeling van de keel van de Zoutkamperlaag in de periode 1850-1934	77
B.3	Ontwikkeling van de buitendelta van de Zoutkamperlaag in de periode 1832-1967	78
B.4	Sediment bypassing processen op de buitendelta van het Zoutkamperlaag zeegat	80

1 KPP B&O Kust en de beheerbibliotheken

1.1 Kustonderhoud en -onderzoek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het onderhoud van de Nederlandse kust. Hiervoor suppleert Rijkswaterstaat jaarlijks gemiddeld 10-12 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 kustlijn­zorg 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.

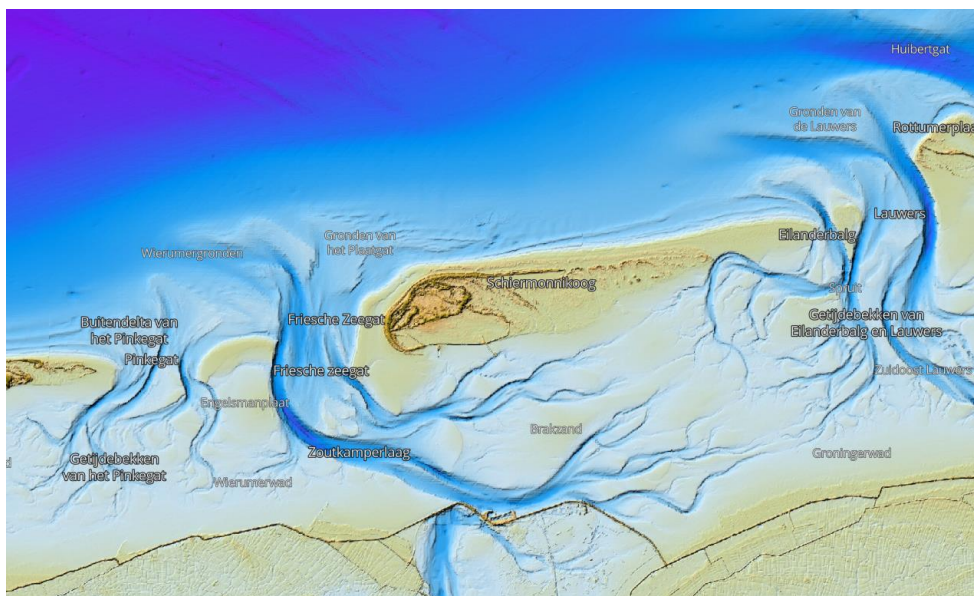
1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

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 Schiermonnikoog is een actualisatie van de tweede versie door Oost et al. (2018). Tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd. Ook zijn er resultaten van nieuwe studies opgenomen. Resultaten van de studie door Elias & Oost (2021) en Elias et al. (2021) naar morfologische processen van respectievelijk het Friesche Zeegat en Groninger Wad zijn bijvoorbeeld in deze beheerbibliotheek verwerkt.

1.4 Kustviewer

Deltares heeft 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. Schiermonnikoog is weergegeven met de vaklodging en AHN data en benaming van morfologische gebieden voor 2018. Bron: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>

1.5 Kustlijnkaartenboek

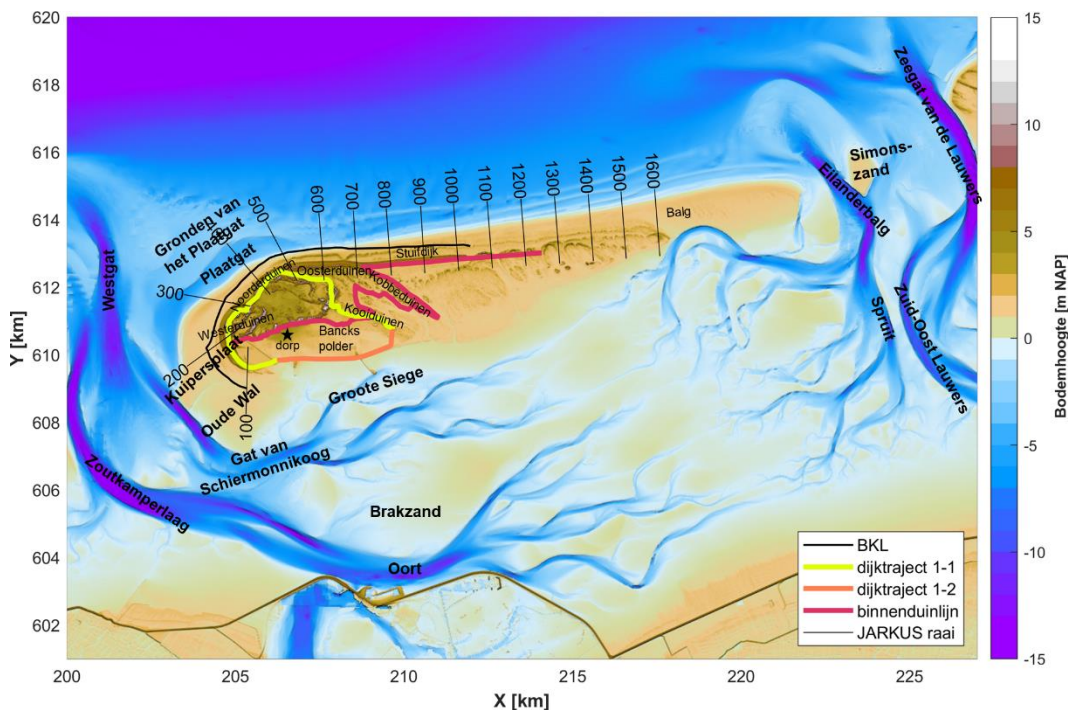
Jaarlijks wordt door Rijkswaterstaat gemeten en berekend hoe de ligging van de kustlijn (de momentane kustlijn, MKL) zich verhoudt tot de basiskustlijn (BKL). Op basis hiervan wordt een suppletieprogramma opgesteld, met als doel structurele achteruitgang van de Nederlandse kust te voorkomen. Het kustlijnkaartenboek geeft informatie over de huidige en de verwachte kustlijnligging ten opzichte van de BKL en wordt jaarlijks opgesteld door Rijkswaterstaat. Het bevat ook de trend van de kustlijnontwikkeling. 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 Schiermonnikoog, 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 Schiermonnikoog, waaronder de paleografische ontwikkeling en het onderzoek met betrekking tot bodemdaling. Hoofdstuk 6 gaat in op de het morfologisch systeem van Schiermonnikoog, 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 Schiermonnikoog.

2 Algemene gebiedsbeschrijving

Schiermonnikoog (Figuur 2-1) is het meest oostelijke eiland van de rij van de bewoonde Nederlandse Waddeneilanden. Het is begrensd door twee zeegaten: de kleine Eilanderbalg aan de oostzijde en het veel grotere Friesche Zeegat aan de westzijde. Het Friesche Zeegat bestaat weer uit twee aparte zeegaten, van elkaar gescheiden door de Engelsmanplaat. Het oostelijke en grootste zeegat is de Zoutkamperlaag en het kleinere zeegat heet het Pinkegat. De morfologische ontwikkelingen van deze zeegaten – deels onder de invloed van de mens – bepalen in grote mate de ontwikkeling van Schiermonnikoog en de lokale veranderingen bij de eilandkop en -staart.



Figuur 2-1. De kust van Schiermonnikoog middels een hoogtekarte van de kustzone op basis van de 2019 Vakclodingen en AHN2.

Het eiland is ongeveer 18 km lang met een maximale breedte van 3 km. Het totale landoppervlak beslaat zo'n 41 km². De 944 inwoners (2022, bron: CBS) leven in het dorp Schiermonnikoog. Schiermonnikoog is grotendeels een Nationaal Park sinds 1989. Het beheer van het eiland viel eeuwenlang onder één beheerder waardoor het landschap niet vernippert is geraakt.

Met uitzondering van de aan de noordwestzijde van het eiland gelegen woonkern bestaat het eiland vrijwel geheel uit natuurgebied, zoals duinen, bos en strand. Schiermonnikoog heeft relatief gezien het grootste duingebied van alle Waddeneilanden. De duinen bevinden zich langs de Noordzeekust. Het grootste duingebied op het eiland zijn de Westerduinen. De stranden van Schiermonnikoog worden tot de breedste van Europa gerekend. Balg is een strand- en duingebied op het meest oostelijke punt van Schiermonnikoog. Meer landinwaarts bevinden zich bossen, bestaande uit van nature ontstaan loofbos en aangeplant dennenbos. Ten zuidwesten van het dorp ligt de Westerplas. Ten zuidoosten van het dorp ligt de Bancks polder, ontstaan door de aanleg van een zeedijk in 1859 door dhr. John. E. Banck. In Bancks polder bevinden zich nu zeven boerderijen. In het zuidoosten liggen kwelders. De slik- en zandplaten ten zuiden van het eiland vormen het wad.

Op Schiermonnikoog bestaat de primaire waterkering deels uit een dijk en deels uit duinen, waar 4 km dijk- en 9,2 km duinwaterkering is. De dijk ligt in het zuidwesten, rondom het dorp, de Westerplas en de polder. Duinen bevinden zich langs de Noordzeekust. Er is alleen een Basiskustlijn gedefinieerd voor de westelijke helft van Schiermonnikoog. In het oosten kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden op de grote strandvlakte Balg.

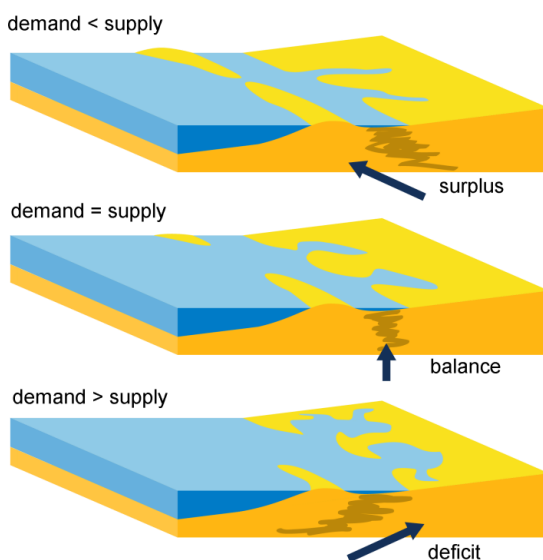
Waar langs bijna de gehele Nederlandse kust met enige regelmaat zandsuppleties worden uitgevoerd om de kustlijn te handhaven, hebben op Schiermonnikoog tot nog toe geen zandsuppleties plaatsgevonden. Dit heeft ermee te maken dat de BKL een vrij zeevaartse positie heeft vanaf de duinvoet (veelal honderden meters zeewaarts), waardoor beperkte overschrijding kan worden toegestaan. De kustlijnbeoordeling van 1 januari 2023 toont echter aan dat de BKL is overschreden op de Westkop van Schiermonnikoog (raai 440-540). Hier vindt structurele erosie van de kustlijn plaats doordat een zandplaat het kuststelsel binnendringt en richting de kust migreert, waardoor de geul Plaatgat de kust in wordt gedrukt. De verwachting is dat deze erosie op termijn zal overgaan in natuurlijke aanzanding door verhelming van de zandplaat met de kust, maar het is onzeker of dit op termijn van enkele jaren al zal gebeuren.

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 Schiermonnikoog. Paragraaf 3.3 beschrijft het beleid met betrekking tot waterveiligheid en boordeling van de primaire waterkering.

3.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

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



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

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

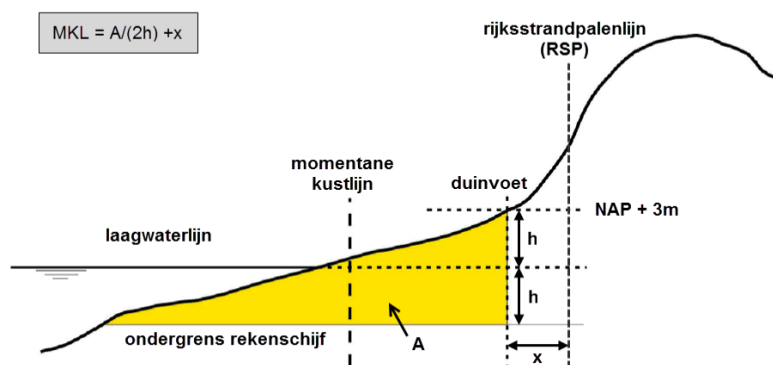
Basiskustlijn (BKL) - Om te bepalen waar het zand langs de kust gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL, als referentie gedefinieerd. Het doel van de BKL is het signaleren van structurele erosie. De BKL vertegenwoordigt een zandvolume dat (kustdwars) aanwezig is in het kustprofiel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

gebaseerd op de trend in de kustlijnliggingen tussen 1980 en 1989 (bovenste deel Figuur 3-3). Elk jaar wordt de ligging van de kustlijn berekend en vergeleken met de positie van de Basiskustlijn. Als de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies met suppleties aangevuld. Het benodigde jaarlijkse suppletievolume om de kustlijn op die manier te handhaven werd in 1990 vastgesteld op 6 miljoen m³ zand.

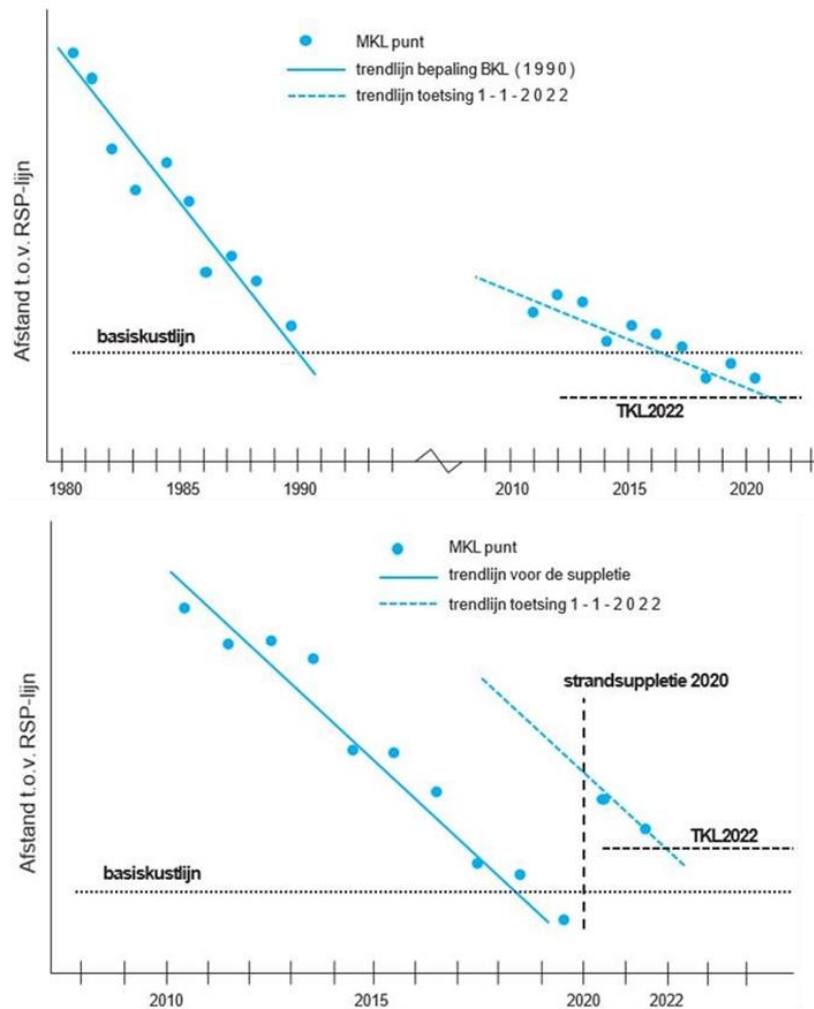
Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone rondom de Basiskustlijn, maar ook in dieper water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003; Mulder, 2000). Het structurele zandverlies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

Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeen blijft komen met de, vanuit de verschillende functies gezien, gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn geëvalueerd in 2001, 2012 en 2017, en op verschillende locaties herzien (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 regelmatige herziening van de Basiskustlijn vastgelegd.

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



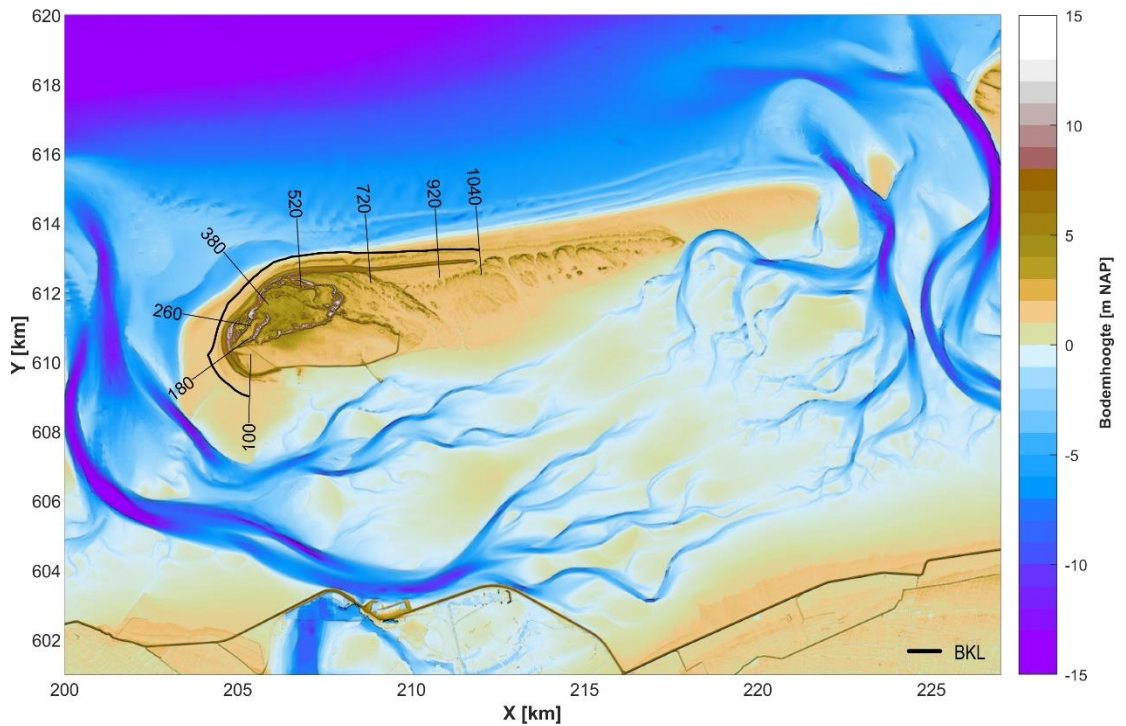
Figuur 3-2. Bepaling Momentane Kustlijn (MKL). Waarbij het zandvolume (gele oppervlak A) wordt bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans + 3m NAP) en de ondergrens. De afstand van het gemiddeld laagwater tot de duinvoet en gemiddeld laagwater tot de ondergrens (h) is gelijk. Vervolgens wordt de MKL-positie bepaald door het volume (A) te delen door de hoogte van de rekenschijf ($2h$) en de afstand tot de rijksstrandpalenlijn daarbij op te tellen.



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

3.2 Basiskustlijn voor Schiermonnikoog

Voor Schiermonnikoog is de BKL vastgesteld tussen raaien 100 en 1040. Figuur 3-4 geeft de ligging van de huidige Basiskustlijn voor Schiermonnikoog, samen met de positie van enkele Jarkusraaien. In 1990 is de BasisKustLijn (BKL) vastgesteld. Na deze vaststelling is de BKL lokaal enkele keren aangepast: in 2001, 2012 en 2017. De BKL bij Schiermonnikoog is tot op moment van schrijven nog niet herzien. In de - tijdens het schrijven van dit document - lopende evaluatie van de BKL wordt de positie van de BKL voor de JarKus raaien 420 tot 540 wel geëvalueerd, wat effect kan hebben op de hieronder beschreven bestuurlijke regionale afspraken met betrekking tot de handhaving van de BKL. De vigerende (en oude) BKL-ligging is te zien in de Kustviewer (<https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>).



Figuur 3-4. Ligging van de huidige (2017) Basiskustlijn voor Schiermonnikoog, samen met de positie van enkele Jarkusraaien (2002 vaklodingen aangevuld met de AHN2).

Regionale afspraken

Door het Provinciaal Overlegorgaan Kust (POK) zijn er adviezen gegeven voor het handhaven van de BKL, waarbij rekening is gehouden met alle belangen in de kustzone, zoals waterveiligheid, sociale en economische belangen en natuurbelangen. Momenteel wordt bij Schiermonnikoog de kust tussen raai 100 en 700 dynamisch gehandhaafd. De bestuurlijke regionale afspraken voor Schiermonnikoog zijn vastgelegd in Provinciaal Overleg Kust (POK) Fryslân (2000). Hieronder wordt de huidige beheerpraktijk met betrekking tot de handhaving van de basiskustlijn per deelgebied kort toegelicht. Het onderhoud is gericht op het waar nodig vastleggen van de zeereep, waarbij het uitgangspunt is dat de duinvoet gemiddeld over het kustvak op z'n plek blijft.

Jarkusraai 100-500 (Westerstrand):*

De zeereep maakt hier of onderdeel uit van de primaire waterkering rond het dijkkinggebied, of de zeereep ligt op enkele honderden meters zeewaarts van de waterkering.

- Westerplas: smalle duinenrij, zandinhoud moet intact blijven, geen dynamiek. Nu weinig onderhoud nodig, omdat het Rif met pionierduintjes hiervoor ligt.
- Westerduinen: hoog en breed duinmassief (met omvangrijke secundaire verstuivingen). Het strand is laag en nat (en inmiddels geheel begroeid), waardoor geen zand aanstuift. Onderhoud door aanplant in 'creatieve' vorm, waardoor duinvoet minder strak wordt.
- Primaire vallei tussen Strandhotel en vuurtoren: hier wordt geen doorstuiving toegelaten, vanwege de waardevolle vegetatie, zoals o.a. Parnassia, in de (uitgegraven) primaire vallei.
- Direct ten oosten hiervan: beperkte mogelijkheden door ligging strandhotel en primaire waterkering direct achter de zeereep. Onderhoud wordt voortgezet.
- Noorderduinen: meer ruimte voor dynamiek, brede duinen en hoog strand.

Jarkusraai 500-700 (Noorderstrand):*

Hier zijn geen eisen ten aanzien van de vormvastheid van de zeereep, omdat de waterkering verder naar binnen ligt. Bovendien zijn er weinig overige belangen. Hoofdzakelijk aan weerszijden van de strandovergangen bij de Badweg is enig onderhoud nodig.

* In POK Fryslân (2000) wordt verwezen naar km 1-5 en 5-7.

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 BeoordelingsInstrumentarium (WBI²) voor de primaire waterkeringen van kracht. Dit verving de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid). De huidige beoordelingsronde is begin 2017 gestart en duurt tot 1 januari 2023. Deze beoordelingsronde is de eerste ronde op basis van de overstromingskansbenadering (sinds 2017 vigerend) en wordt gebruikt om een eerste veiligheidsbeeld van de keringen te schetsen, ervaring op te doen met de nieuwe systematiek en te leren voor de toekomst. De keringen moeten in 2050 aan de normen in de Waterwet voldoen.

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

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

- dijken & dammen,
- duinen (ook wel duinwaterkeringen genoemd)
- waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld 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 Schiermonnikoog beide in beheer bij het Wetterskip Fryslân. Zij zijn verantwoordelijk voor het (laten) uitvoeren van de beoordeling en de beschikbaarheid van de actuele gegevens van de waterkering. In het volgende tekstkader staan begrippen die in het waterveiligheidsbeleid gebruikt worden toegelicht.

De beoordeling van de waterkering van Schiermonnikoog is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3.

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

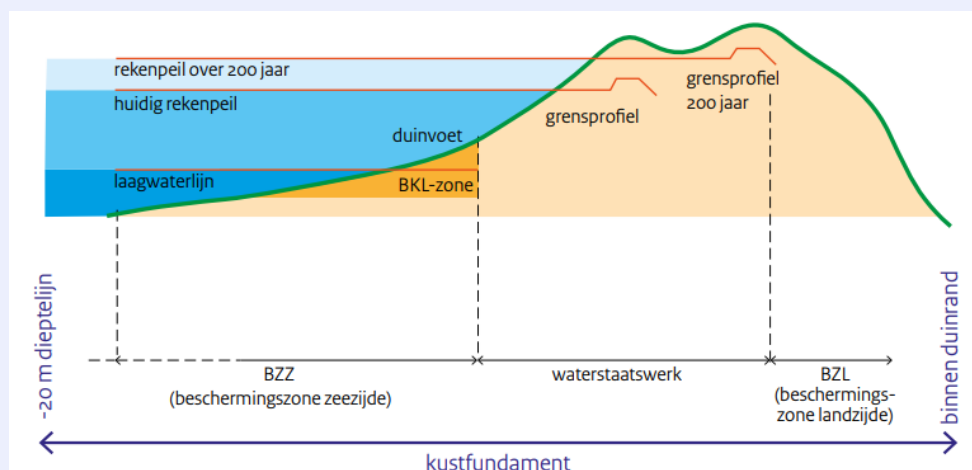
² <https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/primaire-waterkeringen/beoordelen-primaire-waterkeringen/>

Aansluitingsconstructie

Een aansluitingsconstructie is 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

Dit is 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

Dit is het gebied dat aan de zeezijde van een waterkering gelegen is.

Zeereep

Dit is 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 Schiermonnikoog

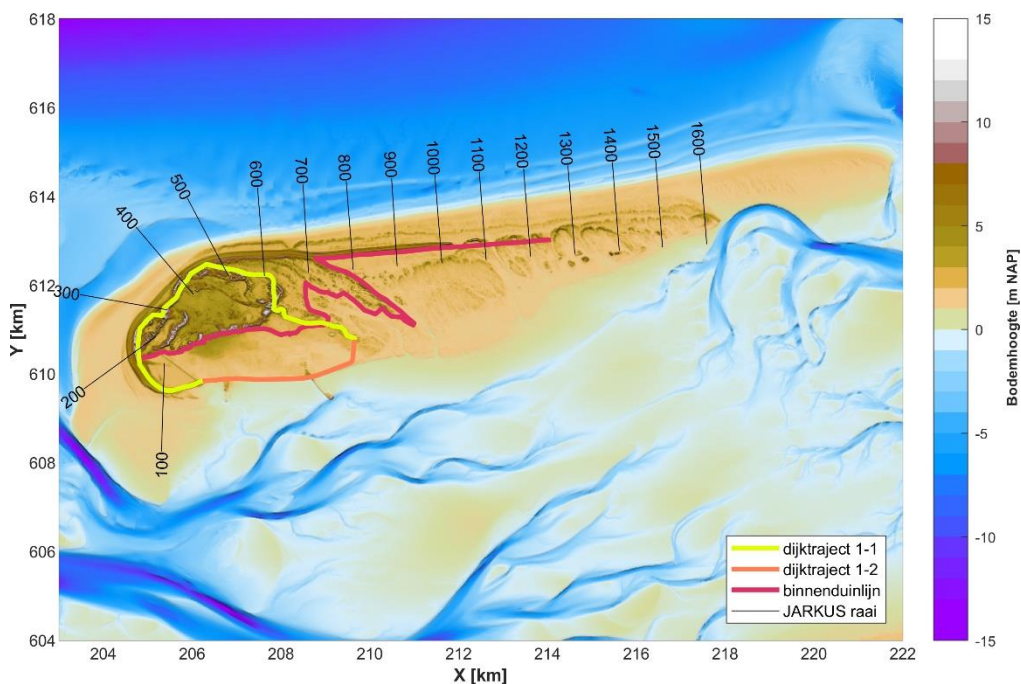
4.1 Inleiding

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. 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 Schiermonnikoog.

4.2 Waterveiligheid

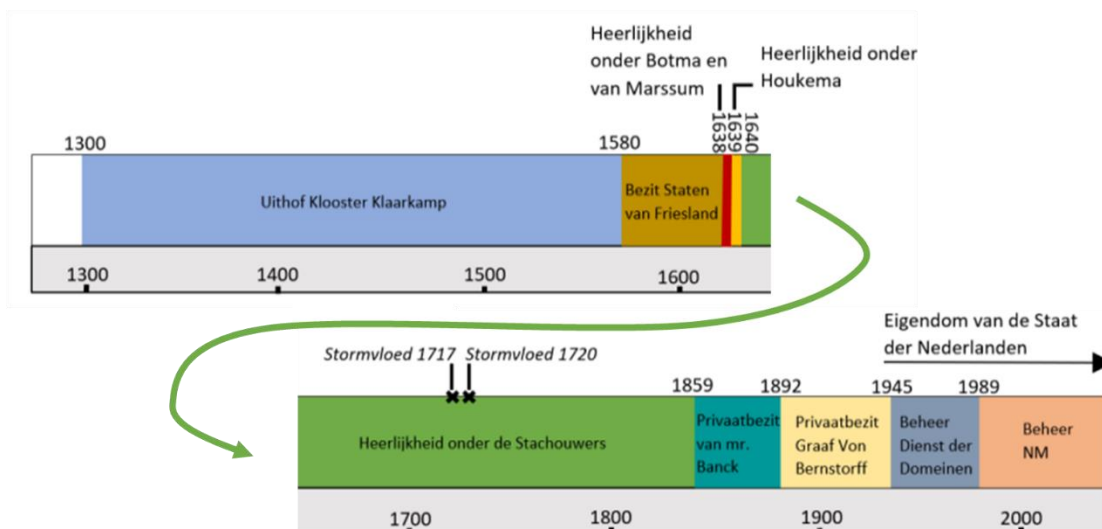
4.2.1 Kustverdedigingswerken

Figuur 4-1 geeft een overzicht van de aanwezige kustverdediging op Schiermonnikoog. In het westen ligt dijktraject 1, dat is onderverdeeld in dijktraject 1-1 bestaande uit duinen en dijktraject 1-2 bestaande uit Waddenzeedijk. De figuur geeft ook de binnenduיןlijn weer (d.w.z. de meest landwaartse ligging van de duinen). Een uitgebreide studie naar de historische ontwikkeling van de kustverdediging is gerapporteerd door Oost (1995), POK Fryslân (2000) en Rietman (2020). Hierna is deze ontwikkeling samengevat.



Figuur 4-1. Locatie van dijktraject 1-1 en 1-2, de binnenduיןlijn en enkele Jarkusraaien.

Wie oorspronkelijk de eigenaars waren van Schiermonnikoog is onbekend. Er zijn wat aanwijzingen dat het eiland gelieerd was aan het dorp dat er oorspronkelijk tegenover lag: Wierum (ongepubliceerde data Oost; net zoals Norden-Norderney, Rottum-Rottumeroog). Volgens Westhoff et al. (1991) was Wernerooog de naam van het eiland voordat Schiermonnikoog in de 13^e eeuw deels als uithof (= boerderij die behoort tot een klooster) van het klooster Klaarkamp werd ingericht. Figuur 4-2 geeft een overzicht van de eigenaren en beheerders van Schiermonnikoog vanaf 1300 (Rietman, 2020).



Figuur 4-2. Tijdbalk met gebeurtenissen die grote invloed hebben gehad op het (beheers)beleid op Schiermonnikoog. Bron: Rietman, 2020.

In hoeverre de kloosterlingen en hun lekenbroeders van het klooster Klaarkamp hun best deden om de eilanden ook te beschermen tegen overstroming is onbekend. Dijken om kleine stukjes cultuurland werden onderhouden volgens de “oude gewoonte” zo blijkt uit 14^e-eeuwse documenten van Ameland, terwijl oudere afdammingen uit de 12^e eeuw al aanwezig zijn op Terschelling. Wat betreft de duinen is van het naastliggende eiland Rottumeroog bekend dat helmgras al in 1354 tegen oogsten werd beschermd door de abt onder wie het eiland viel. Het is daarom aannemelijk dat enig duin- en dijkonderhoud door Klaarkamp zal zijn uitgevoerd op Schiermonnikoog. Waarschijnlijk is de huidige naam van het eiland ontleend aan de grijze, schiere, pijpen die de Monniken, en later lekenbroeders, droegen.

Tijdens de Reformatie werd op 31 maart 1580 het klooster opgeheven en viel Schiermonnikoog toe aan de Staten van Friesland. Deze drongen aan op een beter toezicht op het beschermen van helmgras op het eiland. Uit hedendaagse bronnen bleek echter dat verstuing en oostwaartse verplaatsing van het eiland tussen 1530 en 1600 overheersten. In 1638 werd Schiermonnikoog te koop aangeboden. Waarschijnlijk hing de verkoop samen met onvrede over de staat van het eiland in die periode, ondanks de genomen maatregelen. Daarnaast hadden de Staten van Friesland geld nodig in verband met schulden (Van der Ven, 1993). Na snel wisselend eigendom, werd de familie Stachouwer in 1639 de eigenaar. Zij hebben in de 17^e en 18^e eeuw lokale dijken aangelegd aan de westkant van het eiland, zo blijkt uit kaarten. Erg succesvol in het onder controle brengen van de duinen waren zij niet. Het eerste dorp en de kerk overstoven en in 1717 werd een tweede kerk gebouwd zuidwestelijk van de eerste.

In 1825 werd er na zware stormschade aan het eiland een beroep gedaan op de overheid om het eiland te beschermen, maar er gebeurde niets. In 1859 kocht mr. Banck het eiland over van de verschillende erfgenamen van de Stachouwers. Hij liet de kwelder zuidelijk van het dorp bedijken (1860) en vormde zo de Banckspolder die ook nu nog grotendeels zichtbaar is in het huidige landschap rond het dorp (Figuur 4-1).



Figuur 4-3. Westerpolder kijkend naar het noorden: Rechts is de oorspronkelijke dijk van de Banck nog zichtbaar, zuidelijk ervan bedekt de Waterstaatsdijk deze dijk en gaat naar het westen (links) over in een stuifdijk. Foto 2007; <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt.

Het Rijk was wettelijk eigenaar van de nieuwe zuidwestelijke aanwassen die vormden vanaf ca. 1842, wat ook duidelijk werd bij de verkoop van het eiland in 1859. Het Rijk kocht ook twee terreintjes voor de bouw van twee vuurtorens die samen een lichtlijn moesten vormen om de Gronden van de Zoutkamperlaag te kunnen bevaren. Na de bouw in 1854, ging de lichtlijn na een aantal decennia verloren door het draaien van de buitendeltageulen.

Overstuivend zand aan de westkant van de Banckspolder zorgde voor overlast. Aangezien het zand afkomstig was van de Rijksgronden aan de westzijde (raai 100 tot 200) moest Rijkswaterstaat deze verstuiving beperken. Tussen 1910 en 1920 werd de duinenrij ten noorden van de vuurtoren door de zee weggeslagen. Door aanhoudende kusterosie stortte het Badhotel in 1923/24 in zee (Figuur 4-2). Toen men ook begon te vrezen voor de vuurtoren werd opdracht gegeven om de kust te beschermen. Het beheergebied van Rijkswaterstaat werd uitgebreid tot raai 300. De rest van het eiland bleef in onderhoud van de Graaf van Benstorff (de nieuwe bezitter van het eiland sinds 1892) tot en met de Tweede Wereldoorlog.



Figuur 4-4. Instortend Badhotel 1923/24 door ondermijning als gevolg van duinerosie door stormafslag; <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat.

Na 1945 werd het eiland door het Rijk geconfisqueerd en belastte de minister van Financiën de Dienst der Domeinen met de zorg. Rijkswaterstaat werd verantwoordelijk voor het onderhoud van alle zeeverende duinen en de zeedijk en ging over tot de opzet van een eigen dienstonderdeel op het eiland. In de jaren zeventig is een stuifdijk aangelegd tussen raai 280 en 380. Aan de zeezijde van deze dijk en in de luwte van jonge duintjes heeft zich

hier bijzondere vegetatie kunnen ontwikkelen. Deze vegetatie heeft de dynamiek verkleint, maar de biodiversiteit vergroot: het Groene strand (Figuur 4-6). Het hart van het Groene strand wordt gevormd door vegetatie van natte duinvalleien, dat in de luwte kon ontwikkelen onder invloed van zoet kwelwater vanuit de zoetwaterbel in de achterliggende duinen en zout water dat met stormen over het strand spoelde.



Figuur 4-5. Overzicht van de stuifdijken aan de westkant van de eilanden die ook het oude groene strand insluiten, foto 2007; <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat.

In 1989 werd het beheer overgedragen aan Natuurmonumenten. Daarnaast werd het eiland in 1989 benoemd tot Nationaal Park. Natuurmonumenten heeft als doel om de natuurlijke- en cultuurhistorische waarden te beschermen en ontwikkelen.

4.2.2 Primaire waterkering

Tegenwoordig wordt de veiligheid tegen overstromingen gewaarborgd door de aanwezigheid van een primaire waterkering bestaande uit duinen en dijken. De primaire waterkering van Schiermonnikoog ligt in het westen van het eiland en omvat de Banckspolder, de Westerplas, het dorp en het duingebied ten noorden van het dorp. De primaire waterkering bestaat uit twee trajecten: dijktraject 1-1 en 1-2. Het onderhoud van de dijktrajecten ligt in het beheer van het Wetterskip Fryslân. Dijktraject 1-1 beslaat de Noordzezijde en bestaat volledig uit duinen. Dit dijktraject is 9,16 km lang en heeft een signaleringswaarde en ondergrens van 1:1000 (www.waterveiligheidsportaal.nl). Dijktraject 1-2 ligt aan de zuidzijde en bestaat uit Waddenzeedijk (zie ook Figuur 4-1). Dit dijktraject is 3,92 km lang en heeft ook een signaleringswaarde en ondergrens van 1:1000.

In de afgelopen halve eeuw is door Rijkswaterstaat in de duinen onderhoud gepleegd, voornamelijk door het plaatsen van stuifschermen en planten van helm. Hierdoor is op het eiland een aaneengesloten, brede en hoge zeereep ontstaan. Door de werkzaamheden is langs een groot deel van de kust het duingebied zeewaarts uitgebreid. Het onderhoud van de zeereep vanaf de Waddenzeedijk tot aan raai 700 had tot 1990 als doel het maken van een hoge en brede zandbuffer om afslag van de kust op te kunnen vangen. Vanaf raai 700 (de noordzijde van de Kobbeduinen) tot raai 1040 loopt de Stuifdijk. Deze stuifdijk werd aangelegd tussen 1959 en 1962 als reactie op de Stormvloedramp van 1953 en als een aanzet tot inpoldering van de Waddenzee. Oorspronkelijk liep de Stuifdijk door tot raai 1300 en er is geprobeerd deze zelfs door te trekken tot raai 1600. In 1968 ontstond een gat ter hoogte van raai 1040 en ook oostelijk ervan ontstonden gaten. Het gat werd meerdere malen hersteld maar in de jaren tachtig is het onderhoud ten oosten van raai 1040 gestopt, waarna hier een flink aantal openingen in de zeereep zijn ontstaan, die bij stormvloed functioneren als overslagvlakten.

4.2.3 Beoordeling van de primaire waterkering

De beoordeling van de normtrajecten van Schiermonnikoog (1-1 en 1-2) is te vinden in het waterveiligheidsportaal (www.waterveiligheidsportaal.nl). Figuur 4-6 geeft de actuele veiligheidsstatus van de primaire keringen voor Schiermonnikoog weer. Op 9 oktober 2020 is beoordeeld dat het gecombineerde trajectoordeel van traject 1-1 categorie C is. Dit betekent dat de primaire duinwaterkering op Schiermonnikoog niet aan de signaleringswaarde en niet aan de ondergrenswaarde van 1:1000 per jaar voldoet. Het trajectoordeel voor normtraject 1-2 is D. Dit betekent dat het dijktraject ruim niet aan de signaleringswaarde en ondergrens voldoet. Dit wordt in hoge mate bepaald door het feit dat de uitwateringsduiker slechts één keermiddel heeft en de steenbekleding bij de uitstroomopening een te steile helling heeft. Daarnaast voldoet het gras op het buitentalud voor het merendeel van de vakken binnen het traject niet aan de norm omdat het gras in de golfklapzone ligt. Slechts een aantal vakken in het oosten, met name waar voorland in de vorm van kwelders aanwezig is, voldoen wel aan de norm.

Het Wetterskip gaat in 2027 delen van de dijk en duinen versterken. In 2022 is hiertoe de verkenningsfase gestart ([Dijk- en duinversterking Schiermonnikoog — Wetterskip Fryslân \(weterskipfryslan.nl\)](http://Dijk- en duinversterking Schiermonnikoog — Wetterskip Fryslân (weterskipfryslan.nl))).



Figuur 4-6. Actuele veiligheidsstatus van de primaire keringen voor normtraject 1-1 en 1-2 (www.waterveiligheidsportaal.nl, bezocht oktober 2022)

4.3 Strandrecreatie

Schiermonnikoog is het kleinste van de vijf Waddeneilanden. De meeste toeristen verblijven een dag of een weekend op het eiland. Het eiland is niet toegankelijk met de auto. De grootste trekpleister van Schiermonnikoog is het immense zandstrand. Schiermonnikoog onderscheidt zich van de andere Waddeneilanden, die met name bekend staan om de lengte van hun stranden, door de breedte van het strand, welke op het breedste punt bijna een kilometer breed is.

Het brede strand leent zich voor strandporten als blowkanten en vliegeren. Deze activiteiten vinden aan het eind van de Badweg plaats. Aan het eind van de Prins Bernhardweg is het badstrand waar ook strandbedden worden verhuurd. Daarnaast wordt de strandovergang

aan het eind van de Westerburenweg, aan de westkop van de eilandkop, het drukst bezocht. De rest van het strand is (zeer) rustig.

Een populaire activiteit op het eiland is het bezoeken van de Balg, het meest oostelijke stukje strand. De Balg wordt steeds langer, omdat het eiland aan de oostkant groeit. Tijdens stormen staat de Balg volledig onder water.

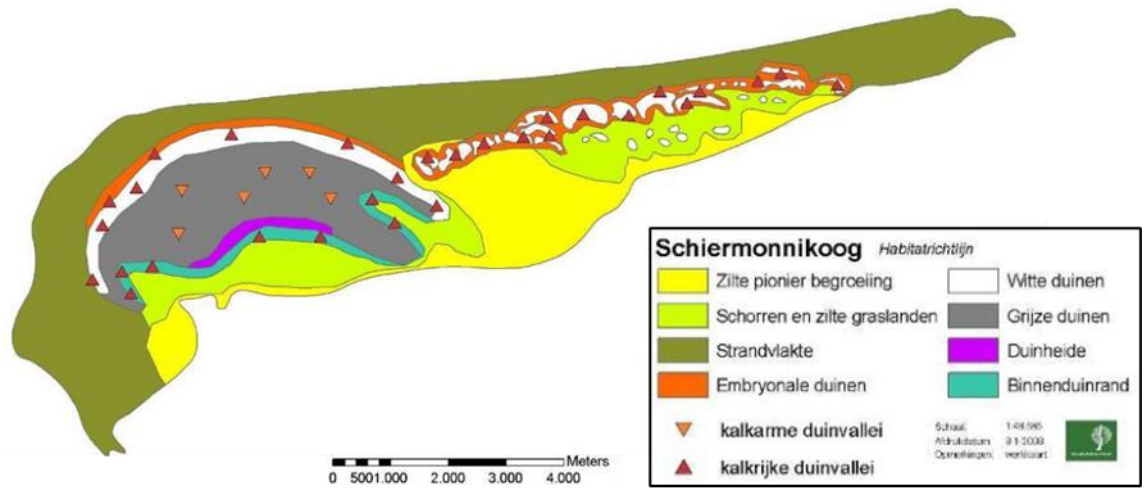
In de zomer staat (strand)Paviljoen Paal 3 op het strand aan het einde van de Badweg. Het hele jaar door staat het paviljoen Noderstraun aan het einde van de Badweg in de duinen. Aan het strand in de duinen bij raai 600-700 staat Strandpaviljoen de Marlijn. Het deel van het strand voor de Marlijn is in het hoogseizoen (meestal zomervakantie Noord) bewaakt. Aan de Waddenzeekust staat havenrestaurant Wad Anderz op een terp.

4.4 Natuur

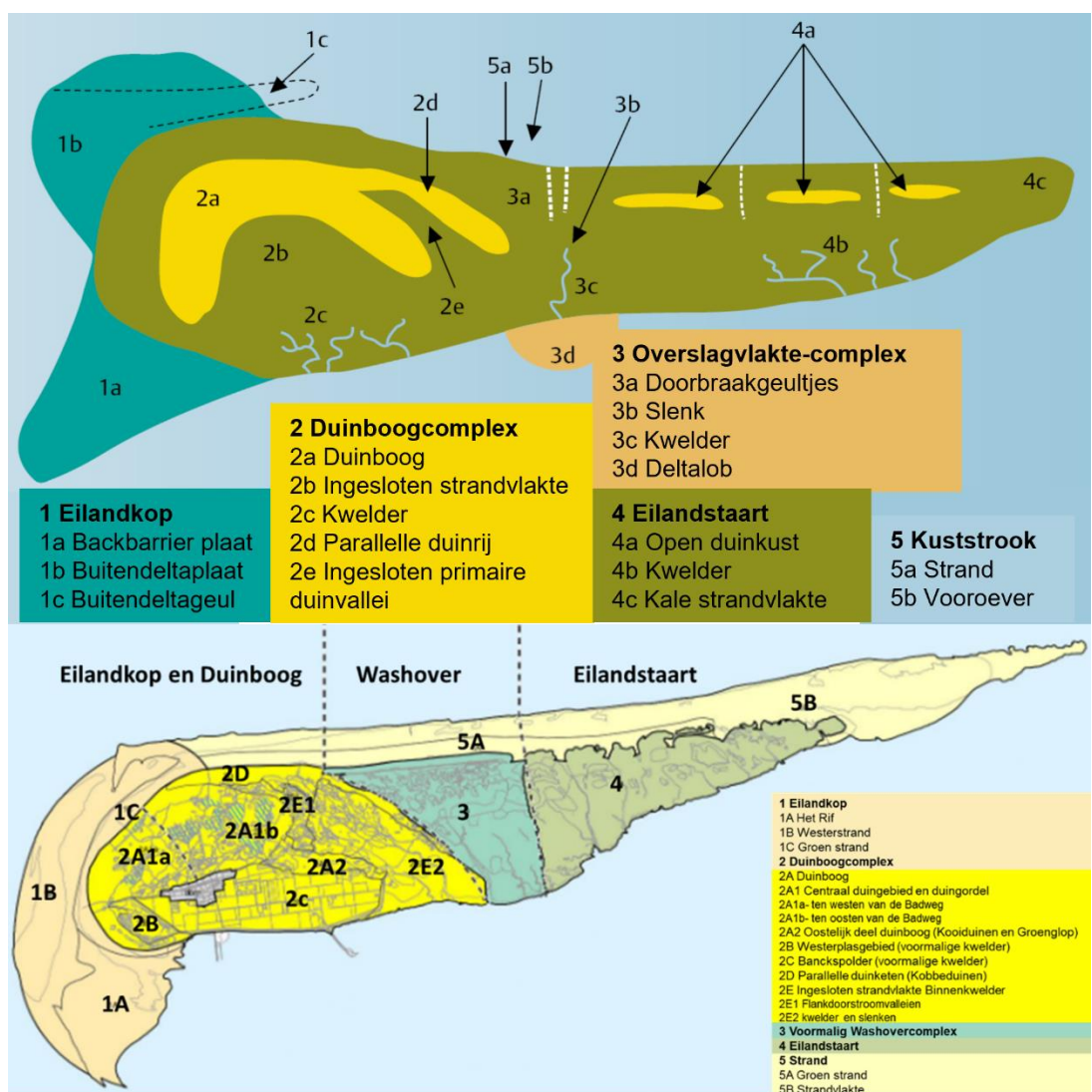
Tenzij anders aangegeven, is de informatie over natuur afkomstig van het Natura2000 beheerplan Schiermonnikoog (RVO, 2016). Natuurmonumenten gaat in 2023 een nieuw beheer- en inrichtingsplan voor het Nationaal Park opstellen. De verwachting is dat dit plan dan ook gebruikt zal worden als het Natura2000 beheerplan.

4.4.1 Algemene beschrijving natuur op Schiermonnikoog

Schiermonnikoog is het kleinste en meest ongerepte van de bewoonde eilanden in het Nederlandse deel van de Waddenzee. Figuur 4-7 toont welke habitattypen op het eiland van nature kunnen voorkomen, op basis van de geomorfologische condities. Op Schiermonnikoog zijn vrijwel alle karakteristieke topografische hoofdelementen van een natuurlijk Waddeneiland te herkennen (Figuur 4-8). Aan de westkant bevindt zich de eilandkop met aanlandende zandplaten. Over een groot deel van de westelijke helft van het eiland bevindt zich een uitgestrekt duingebied met aan de oostkant twee parallelle duinketens (Kobbeduinen) met daartussen een ingesloten strandvlakte (Binnenkwelder). Aan de westzijde omvat dit gebied ook een zoetwaterplas (Westerplas). Het duingebied heeft een grote diversiteit en herbergt goed ontwikkelde kalkrijke duinvalleien. In het gebied komen lokaal duinblauwgraslanden (drogere en zuurdere vormen van blauwgrasland) voor (Hertenbos, Kapenglop). Vroeger is plaatselijk naaldbos aangeplant. Het areaal bos is later door spontane ontwikkeling (loofbos) uitgebreid tot een aanzienlijke oppervlakte. Ten oosten van het duinboogcomplex, tussen Jarkusraai 700 en 1000, bevindt zich een voormalig overslagvlakte-complex (*washover complex*). Dit complex was tot de jaren '50 van de vorige eeuw actief, maar werd daarna van de Noordzee afgesloten door een stuifdijk. Ten oosten van Jarkusraai 1040 kan de Noordzee via stormgaten in de stuifdijk doordringen en sediment afzetten. Het oostelijk deel van het eiland (met o.a. Oosterkwelder) vormt een uitgestrekt kweldergebied. Aan de oostpunt van het eiland bevindt zich de eilandstaart. Dit deel van het eiland is heel dynamisch. De afgelopen 25 jaar is het eiland aan de oostkant zo'n drie kilometer aangegroeid, waarbij ook nieuwe duinen zijn gevormd. Het laatste element is de kuststrook, met strand en vooroever. De stranden van Schiermonnikoog zijn heel breed en op grote schaal is er een groen strand tot ontwikkeling gekomen.



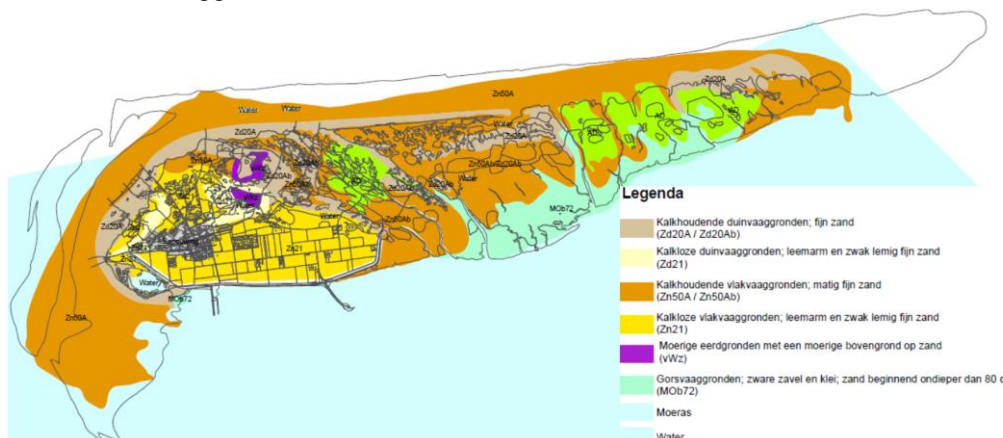
Figuur 4-7 Natuurlijke positie van habitattypen op het geomorfologisch model van Schiermonnikoog: de basis voor ecologische ontwikkelingen op een termijn van 50-100 jaar.



Figuur 4-8. Het modeleiland (boven) (Löffler et al., 2009) en deelgebieden landschapsecologie Schiermonnikoog (onder, aangepast naar RVO, 2016).

4.4.2 Bodem

Het centrale duingebied binnen het Duinboogcomplex bestaat uit een kern van kalkloze oudere duinen (natte vlakvaaggronden en droge duinvaaggronden). In de valleien aan de oostkant van de duinkern, ten westen van de Prins Bernardweg, heeft zich aan het maaiveld een veenlaagje ontwikkeld. Het zand onder de venige bovengrond bevat vaak op geringe diepte (40 -50cm) nog kalk. De bodems aan de oostkant van het Duinboogcomplex en in het oostelijke duin en kweldergebied zijn kalkhoudend. Hier worden op de bodemkaart meerdere bodemtypen aangegeven. De kwelder aan de oostkant van het eiland bestaat uit zware zavel en klei. Daar komen ook complexen van lage duinen, duinvalleien, hoge kwelders en brakke overgangen van kwelder naar duingebied voor. De duinboog ten noorden en ten westen van de oude duinkern en de stuifdijk is opgebouwd uit droog en kalkrijk duinzand (duinvaaggrond). De brede strandvlakte van de eilandkop aan de westkant en ook het strand bestaan uit nat kalkhoudend zand (vlakvaaggrond). In de Banckspolder komen vochtige kalkloze vlakvaaggronden voor.



Figuur 4-9 Bodemkaart Schiermonnikoog (Van Oosten, 1967, Uit: RVO, 2016)

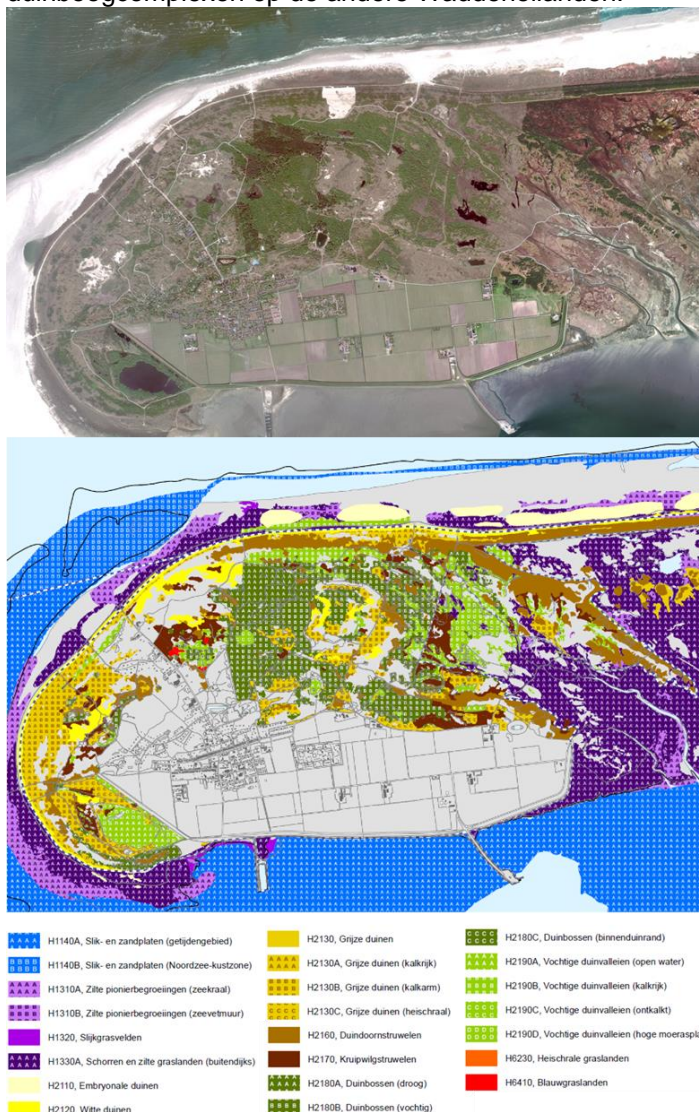
4.4.3 Eilandkop

De eilandkop bestaat uit een zandplaat, die grotendeels onbegroeid is en uit een brede kwelderachtige zone en een groen strand tegen de duinen aan. Kwelder en zandplaat worden gescheiden door een geul. Deze ligt tussen raai 200 en 400 en is een restant van het zeegat (Plaatgat) dat tussen de zandplaat en het eiland lag. De zandplaat is langzamerhand tegen Schiermonnikoog aangelopen. De eilandkop wordt gekenmerkt door een zeer natuurlijke ontwikkeling. Momenteel bevindt de westpunt tussen raai 160 en 260 zich in een sterke aangroefase. Mogelijk leidt dit tot een ophoging van de zandplaat waarbij de hoogste delen alleen nog bij stormtijden overstromen. Daarmee kan de betekenis als hoogwatervluchtplaats (HVP) en broedplaats voor strandbroeders mogelijk toenemen. Ook zou daarmee het areaal aan embryonale duinen (H2110) kunnen groeien. De oppervlakte aan intergetijdengebied (H1140) neemt dan natuurlijk navenant af. De natuurlijke ontwikkeling van de eilandkop op langere termijn hangt af van verdere grootschalige ontwikkelingen in de kustzone, inclusief eventuele effecten van de grootschalige zandsuppleties op Ameland die hebben plaatsgevonden waaronder de vooroeversuppletie van 4 miljoen m³ zand uit 2019/20 (data coastviewer). Aan de binnenzijde van de plaat op de overgang naar de zeereep, en met name ten zuiden van de Westerplas, is een zilte pioniervegetatie aanwezig die geleidelijk overgaat in kwelderbegroeiingen.

4.4.4 Duinboogcomplex

Vanuit de lucht gezien tekent het duinboogcomplex aan de westkant van het eiland zich duidelijk af (Figuur 4-10). Het duinboogcomplex kent nog vrij natuurlijke duinvormen. Binnen de duinboog ligt een kern van relatief lage duinen, die geheel omgeven worden door een hogere duingordel. Aan de noord- en westkant heeft deze duingordel een onnatuurlijk grote

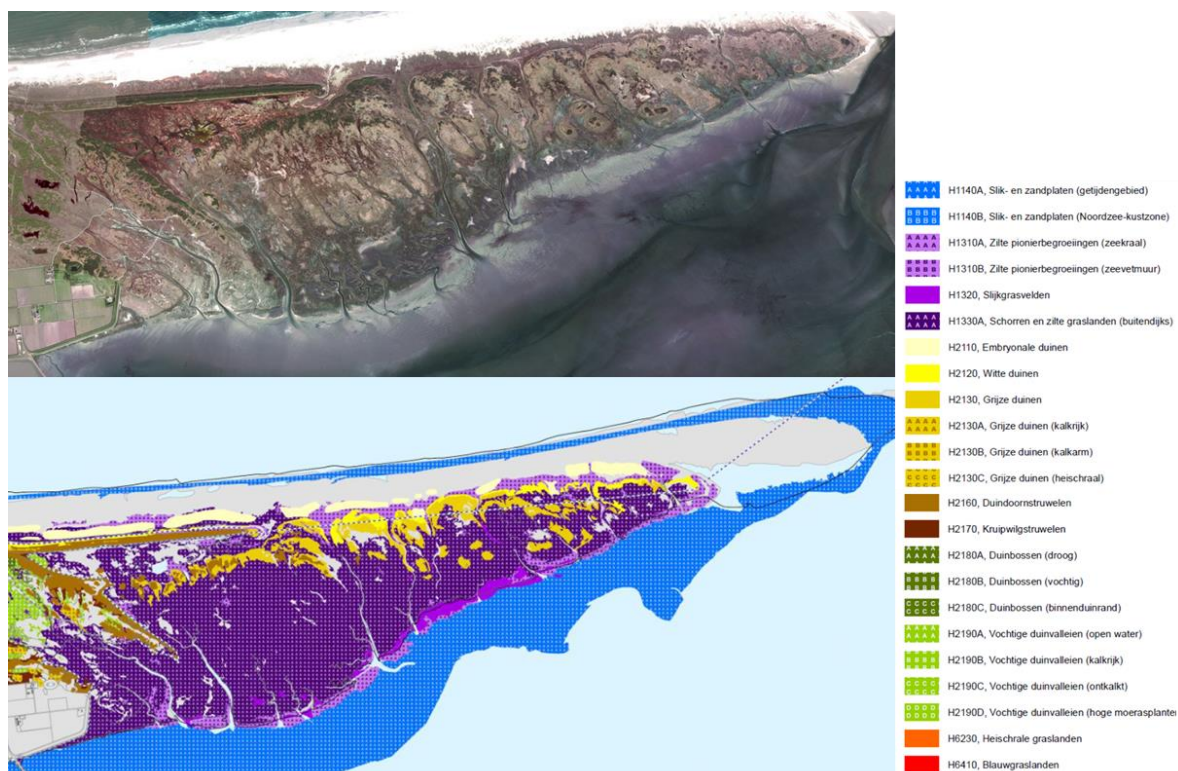
omvang. De Noordzeezijde van het duinboogcomplex werd sinds ca. 1900 gesloten gehouden en telkens verstevigd omwille van de kustverdediging. Met name aan de westzijde van het eiland is op deze manier een zeer brede zeewering ontstaan die min of meer het karakter van een soort hoogvlakte heeft gekregen. Binnen het centrale duingebied liggen een aantal valleien. Opvallend zijn de vrij omvangrijke plekken met secundaire uitstuivingen in de Noorder-en Westerduinen. Mogelijk zijn deze in het verleden geregeld actief gestimuleerd. Tevens is opvallend dat er een relatief grote oppervlakte duinvalleien aanwezig is met een, in bodem chemisch opzicht, gebufferd karakter. Deze buffering (met kalk) hangt waarschijnlijk samen met de geringe ouderdom van het duingebied. Aan de oostzijde loopt de duinboog verder door als de Kooiduinen. In het noordoosten wordt deze geflankeerd door een parallelle duinketen, de Kobbeduinen. Deze omvatten samen een ingesloten strandvlakte met natte duinvalleien op de flanken en slenken in de laagste delen. Op Schier is deze strandvlakte beter bekend onder de naam “Binnenkwelder”. Ten zuiden van de duinboog liggen de Westerplaspolder en de Banckspolder. Beide gebieden zijn bedijkte voormalige kwelders. Op de overgang van duin naar polder ligt het dorp. Vanwege het nog relatief jonge karakter en de open verbinding via de Binnenkwelder met de Waddenzee is er in dit gebied een grotere variatie aan habitattypen aanwezig, deels bovendien van betere kwaliteit dan in de duinboogcomplexen op de andere Waddeneilanden.



Figuur 4-10 Satellietbeeld (boven) en habitattypenkaart (onder) van de eilandkop en het duinboogcomplex op Schiermonnikoog. Satellietbeeld april/mei 2022 Superview 50 cm RGB (via satellietdataportaal.nl). Habitattypenkaart uit (RVO, 2016).

4.4.5 Voormalige overslagvlakte (washovercomplex)

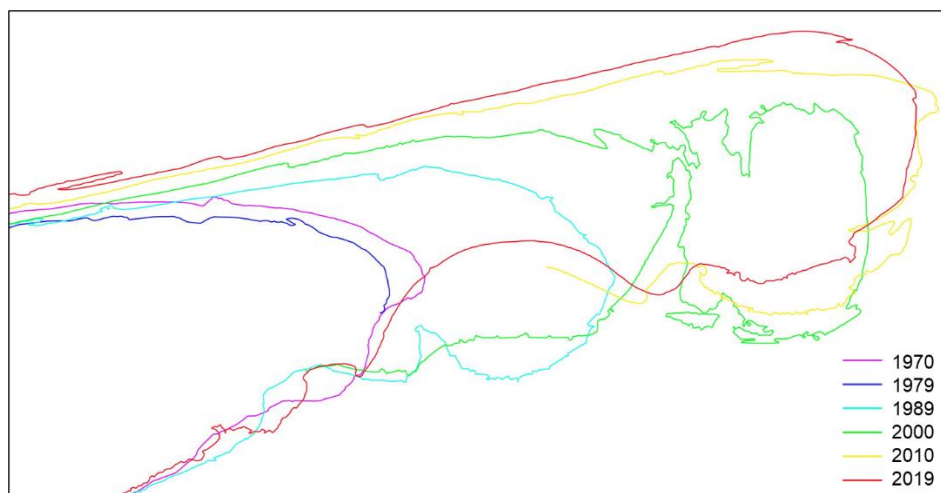
Ten oosten van de Kobbeduinen ligt de voormalige overslagvlakte Korebaak's Slenk, aansluitend op de 3^e slenk (Figuur 4-11). Voorheen bestond dit gebied -het Oosterstrand- uit een grote zandvlakte waar een reeks kleine duinen op vormden. Bij hoge waterstanden kon het zeewater door een opening in de zeereep de achterliggende vlakte overstromen. In de jaren '50 werd er een stuifdijk aangelegd tussen Jarkusraai 700 en 1300 om de zeereep van het eiland in stand te houden. Er is geprobeerd om de stuifdijk door te trekken tot aan Jarkusraai 1600, maar de stuifdijk brak door bij raai 1040 en andere locaties ten oosten hiervan. Deze gaten in de stuifdijk zijn niet blijvend hersteld en sinds de jaren '80 is het beheer van de stuifdijk ten oosten van raai 1040 losgelaten. Daarom wordt de voormalige overslagvlakte nu over een lengte van 3 kilometer (raai 700-1040) afgesloten van Noordzee-invloed door de stuifdijk. Het noordwest - zuidoost gerichte patroon van het overslagvlakte is nog enigszins te herkennen op de luchtfoto (Figuur 4-11). De oude overslagvlakte wordt aan de zuidkant begrensd door een duinenveld (de Oosterduinen), met daartussen kleine, niet meer functionerende overslagsystemen. Ten zuiden hiervan ligt een uitgestrekt kweldergebied dat grotendeels wordt begraasd. De 3^e slenk en een aantal westelijk georiënteerde prielen vanuit de 4^e slenk vormen hier de waterverbindingen met de Waddenzee. Grondwaterstandgegevens van dit deelgebied ontbreken, maar vanwege de geringe omvang van de duinruggen (Kobbeduinen en stuifdijk) zal de kwelstroming gering en zeer lokaal zijn. Verwacht mag worden dat onder de duinruggen en duintjes zoet grondwater aanwezig is. Vanaf de jaren '80 nam de natuurwaarde van het gebied drastisch af door een sterke verzuivering. In 1994 was er vrijwel niets meer van overgebleven. Het gebied van het voormalige overslagvlakte heeft tegenwoordig kenmerken van een sterk verstoord ecosysteem.



Figuur 4-11. Satellietbeeld (boven) en habitattypenkaart (onder) van de voormalige overslagvlakte (washovercomplex), de eilandstaart en het groene strand. Satellietbeeld april/mei 2022 Superview 50 cm RGB (via satellietdataportal.nl). Habitattypenkaart uit (RVO, 2016).

4.4.6 Eilandstaart

Op de oostelijke helft van het eiland is een zeer omvangrijke en weinig beïnvloede eilandstaart aanwezig van circa 7 kilometer lang. Deze bestaat uit kleine overslagvlaktes, aan de noordzijde afgewisseld door meer en minder lange vrijwel natuurlijke duinreeksen. Direct aan de zuidzijde hiervan zijn hoge en verder naar het zuiden, aan de Waddenzeezijde zijn lagere kwelders ontstaan die doorsneden worden door uitgebreide slenkssystemen. Ter hoogte van raai 1100 raken een aantal vanaf de Noordzeezijde periodiek insnijdende en daarna weer dichtstuwende overslaggeulen soms bijna de uiteinden van enkele wadslenken. Aan het oostelijke uiteinde is de eilandstaart de laatste decennia sterk verlengd (Figuur 4-12). Er is tegenwoordig een zeer uitgestrekte zandplaat aanwezig, waar aan de rand uitgestrekte “velden” met embryonale duintjes liggen. Bij een zware storm worden deze soms tijdelijk geëgaliseerd, om daarna weer snel opgebouwd te worden.



Figuur 4-12. Ontwikkeling van de 0m contour tussen 1970 en 2019 (Vaklodingendata).

4.4.7 Strand

Op het brede strand van de centrale eilandkust is over een lengte van ca. 8 kilometer een groen strand van 200-300 meter breed ontstaan. De begroeiing met een oppervlakte van ca. 150 hectare bestaat uit zilte pioniervegetaties, zoete vegetaties die kenmerkend zijn voor kalkrijke duinvalleien en droge pioniervegetaties op lage embryonale duintjes. Langs het westelijk deel is onder invloed van sterke kwel vanuit de aangrenzende duinboog, een ca. 200 meter breed, permanent met zoet water verzadigd strand aanwezig waarop de duinvalleivegetatie gedijt. Overstromingen met zout water hebben geen invloed op de vegetatieontwikkeling omdat het niet kan infiltreren en daardoor de wortels niet bereikt. Ook vinden hier geen morfologische veranderingen plaats omdat het natte zand niet kan verstuiven. Het groene strand ligt achter een nu eens afvlakkend dan weer opbouwend veld van embryonale duintjes (habitattype H2110). Van buiten naar binnen zijn behalve de embryonale duintjes ook zilte pioniervegetaties met zeekraal (H1310A) en veel zilte pioniervegetaties met zeevetmuur (H1310B) en schorren (kwelders) en zilte graslanden (H1330A) (kweldervegetaties) aanwezig. Verder is opvallend dat tussen raai 500 en 700 een uitgestrekte oppervlakte kalkrijke vochtige duinvallei (H2190B) op het strand aanwezig is, met daarin knobbies, groenknolorchis, moeraswespenorchis en andere kenmerkende plantensoorten. Ook ten oosten van raai 700 ontwikkeld zich aan de voet van de stuifdijk een vegetatie met veel soorten van kalkrijke duinvalleien zoals groenknolorchis en parnassia die hier beiden in grote getale voorkomen.

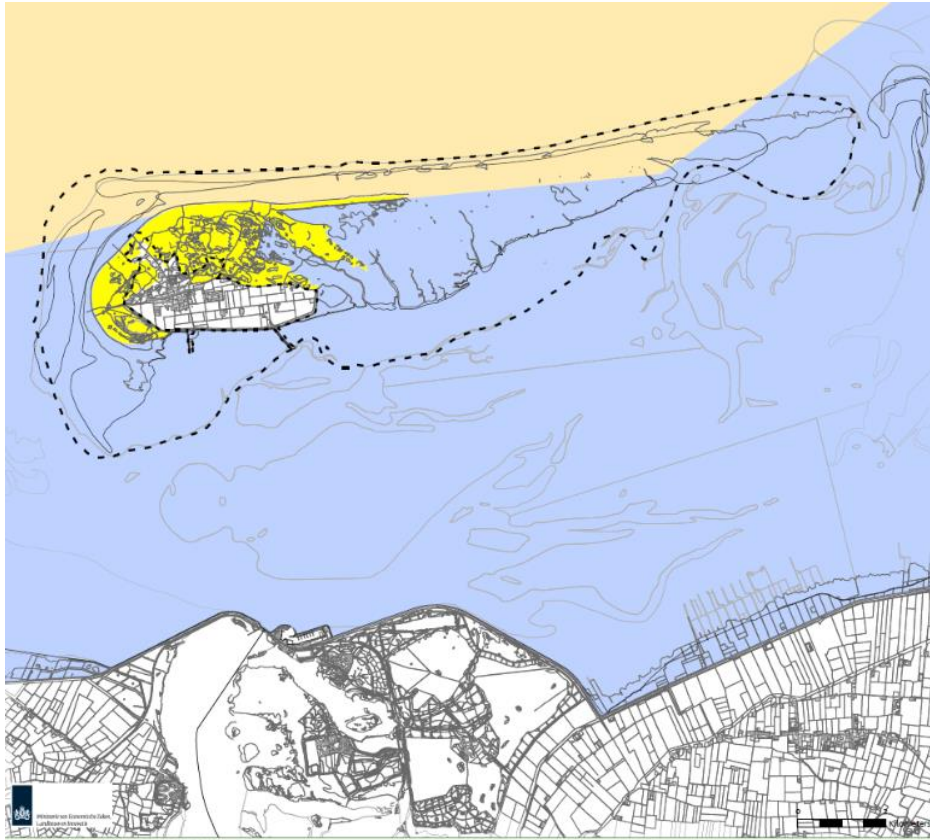
4.4.8 Natura-2000 Habitatrichtlijn en Europese Vogelrichtlijn

De landschappen op Schiermonnikoog zijn bijzonder afwisselend, met zandplaten, kwelders, groen strand, duinen en polders. Door deze variatie is het eiland rijk aan planten- en

diersoorten. Om deze natuur te beschermen zijn op en rondom Schiermonnikoog drie Natura-2000 gebieden aangewezen: Duinen Schiermonnikoog, Noordzeekustzone en Waddenzee (Figuur 4-13). Daarnaast is Schiermonnikoog van belang voor de bescherming van 16 broedende vogelsoorten uit de Europese Vogelrichtlijn. De grijze zeehond, gewone zeehond en groenknolorchis zijn aangewezen als beschermd soort in de Habitatrichtlijn. Tabel 4-1 t/m Tabel 4-5 tonen de habitattypen, habitatsoorten en vogels die op en rondom Schiermonnikoog beschermd zijn onder Natura-2000 Habitatrichtlijn en de Europese Vogelrichtlijn. De habitattypekaarten zijn in de voorgaande tekst al getoond (Figuur 4-10 en Figuur 4-11).

In het beheerplan Schiermonnikoog (RVO, 2016) staat beschreven dat op dat moment de kwaliteit van de habitattypen op Schiermonnikoog, die zijn aangemerkt als stikstofgevoelig, matig tot slecht is met uitzondering van de kalkrijke vochtige duinvalleien. Deze matige tot slechte kwaliteit is mede het gevolg van de hoge stikstofdepositie op Schiermonnikoog. Deze stikstofdepositie is in vergelijking met de andere eilanden relatief hoog. De trend in de oppervlakte en kwaliteit van de habitattypen op Schiermonnikoog varieert van ongunstig voor de grijze duinen tot stabiel voor de vochtige duinvalleien. Voor de grijze duinen geldt dat zij kwalitatief sterk achteruit gegaan zijn door de stikstofdepositie en het ontbreken van gericht beheer. Lokaal is er de laatste jaren geplagd, o.a. in de Hertenboschvallei en het Kapenglop, wat daar leidt tot een betere kwaliteit. Verder wordt er de laatste jaren begrazing met schapen ingezet, wat ook leidt tot een lokale kwaliteitsverbetering in de duinen. Waar geen begrazing of pluggen plaatsvindt, zet de verruiging en ontwikkeling tot duinbossen door. Voor de kalkrijke grijze duinen wordt de ongunstige situatie ook versterkt door het ontbreken van dynamiek in de zeeoep. Deze is erg vastgelegd. Er ontstaan wel nieuwe kalkrijke witte duinen op het strand. De kalkrijke vochtige duinvalleien zijn van een goede kwaliteit en daarbij is de trend qua oppervlakte en kwaliteit stabiel. De kwaliteit van de ontkalkte vochtige duinvalleien is minder gunstig mede door de verzuring als gevolg van de stikstofdepositie. Voor de blauwgraslanden geldt dat de oppervlakte dusdanig (< 2 ha) klein dat daar moeilijk een trend aan te geven is.

Ook voor de Vogel- en Habitatrichtlijnsoorten zijn de trends in beeld gebracht, die zijn beschreven in de PAS gebiedsanalyse (Meijer et al. 2017). Let op dat de gegevens hieronder dus geen rekening houden met de trends die tussen 2017 en 2022 zijn opgetreden. Op Schiermonnikoog is het aantal paren **bruine kiekendieven** in de loop der jaren met sterke fluctuaties langzaam toegenomen. Maximaal werden 28 paren vastgesteld in 2000. In recente jaren ligt het aantal paren iets lager en schommelt het aantal paren rondom de 20 en daarmee onder het instandhoudingsdoel van 25 paren. Ook voor de **blauwe kiekendief** worden de aantallen genoemd in het aanwijzingsbesluit de laatste jaren niet gehaald. In 2009 waren nog maximaal 4 territoria vastgesteld, tegenwoordig is de soort als broedvogel afwezig of betreft het aantal territoria hoogstens één of enkele. De instandhoudingsdoelstelling (10 paren) wordt dan ook niet gehaald. Dit kan te maken hebben met stikstofdepositie waardoor de prooibesikbaarheid afneemt. De **velduil** is in de Duinen van Schiermonnikoog altijd een zeer schaarse broedvogel geweest van het open duin. In recente jaren schommelt het aantal paren rond het instandhoudingsdoel van 2 paren (0–4). Voor de velduil worden de aantallen genoemd in het aanwijzingsbesluit min of meer gehaald. De doelsoort het **paapje** broed sinds 2001 niet meer op Schiermonnikoog. Ook de **tapuit** komt de afgelopen jaren niet meer voor als broedvogel en het instandhoudingsdoel van 30 broedparen wordt dus niet gehaald. Van de Habitatrichtlijnsoorten is de populatie van de **groenknolorchis** redelijk stabiel, hoewel deze over de jaren erg kan variëren. Het perspectief voor de soort wordt als gunstig gezien, doordat voortdurend sprake is van aanbod van nieuwe standplaatsen.



Figuur 4-13 Begrenzing Natura 2000-gebieden Duinen Schiermonnikoog (geel), Waddenzee (blauw) en Noordzeekustzone (oranje) (RVO, 2016).

Tabel 4-1 Habitattypen voor de Natura 2000-gebieden op Schiermonnikoog: Duinen Schiermonnikoog (D), Waddenzee (W) en Noordzeekustzone (N). De legenda is opgenomen als tabel 4-5.

Code	Omschrijving	Natura 2000	L-SVI	Doel Opp.	Doel Kwal.
H1310A	Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)	W/N	-	=/=	=/=
H1310B	Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)	D/W/N	+	>/=	=/=
H1320	Slijkgrasvelden	W	--	=	=
H1330A	Schorren en zilte graslanden (buitendijks)	D/W/N	-	=/=	=/>=
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	--	>	>
H2160	Duindoornstruwelen	D/W	+	=/=	=/=
H2170	Kruipwilgstruwelen	D	+	=(<)	=
H2180A	Duinbossen (droog)	D	+	>	=
H2180B	Duinbossen (vochtig)	D	-	>	>
H2180C	Duinbossen (binnenduinrand)	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	-	=	=
H6410	Blauwgraslanden	D	--	>	=

Tabel 4-2 Habitatsoorten voor de Natura 2000-gebieden op Schiermonnikoog: Duinen Schiermonnikoog(D), Waddenzee (W) en Noordzeekustzone (N). De legenda is opgenomen als tabel 4-5.

Code	Omschrijving	Natura 2000	L-SVI	Doel Opp.	Doel Kwal.	Doel Pop.
H1364	Grijze zeehond	W/N	-	=/=	=/=	=/=
H1365	Gewone zeehond	W/N	+	=/=	=/=	>/=
H1903	Groenknolorchis	D	--	=	=	=

Tabel 4-3 Broedvogels voor de Natura 2000-gebieden op Schiermonnikoog: Duinen Schiermonnikoog(D), Waddenzee (W) en Noordzeekustzone (N). De legenda is opgenomen als tabel 4-5.

Code	Omschrijving	Natura 2000	L-SVI	Doel Opp.	Doel Kwal.	Draagkracht (aantal paren)
A021	Roerdomp	D	--	=	=	3(†)
A034	Lepelaar	W	+	=	=	430
A063	Eider	D/W	--	=/=	=/>	200/5000
A081	Bruine kiekendief	D/W	+	=/=	=/=	25 / 30
A082	Blauwe kiekendief	D/W	--	=/=	=/=	10(†) / 3
A132	Kluut	W	-	=	>	3800
A137	Bontbekplevier	W/N	--	=/=	=/=	60 / 20
A138	Strandplevier	W/N	--	>/>	>/>	50(†) / 30(†)
A183	Kleine mantelmeeuw	W	+	=/=	=/=	14000 / 19000
A191	Grote stern	W	--	=	=	16000(†)
A193	Visdief	W	-	=	=	5300
A194	Noordse stern	W	+	=	=	1500
A195	Dwergstern	W/N	--	>/>	>/>	210(†) / 20(†)
A222	Velduil	D/W	--	>/=	>/=	2(†)/5
A275	Paapje	D	--	>	>	10(†)
A277	Tapuit	D	--	>	>	30(†)

Tabel 4-4 Niet-broedvogels voor de Natura 2000-gebieden op Schiermonnikoog: Duinen Schiermonnikoog(D), Waddenzee (W) en Noordzeekustzone (N). De legenda is opgenomen als tabel 4-5.

Code	Omschrijving	Natura 2000	L-SVI	Doel Opp.	Doel Kwal.	Functie	Draagkracht (aantal) (D/W/N)
A017	Aalscholver	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s,f	4200 / 1900
A034	Lepelaar	W	+	=	=	s,f	520
A043	Grauwe gans	W	+	=	=	s,f	7000
A045	Brandgans	W	+	=	=	s,f	36800
A046	Rotgans	W	-	=	=	s,f	26400
A048	Bergeend	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s,f	38400 / 520
A050	Smient	W	+	=	=	s,f	33100
A063	Eider	W/N	--	=/=	>/=	f/f	90000-115000 (†) / 26200
A130	Scholekster	W/N	--	=/=	>/=	s,f/s	140000-160000 (†) / 3300
A132	Kluut	W/N	-	=/=	=/=	s,f/s	6700 / 120
A137	Bontbekplevier	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s	1800 / 510
A140	Goudplevier	W	--	=	=	s,f	19200
A141	Zilverplevier	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s	22300 / 3200
A142	Kievit	W	-	=	=	s,f	10800
A143	Kanoet	W/N	-	=/=	>/=	s,f/s	44400 (†) / 560
A144	Drieteenstrandloper	W/N	-	=/=	=/=	s,f/s,f	3700 / 2000
A147	Krombekstrandloper	W	+	=	=	s,f	2000
A149	Bonte strandloper	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s	206000 / 7400
A156	Grutto	W	--	=	=	s,f	1100
A157	Rosse grutto	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s	54400 / 1800
A160	Wulp	W/N	+	=/=	=/=	s,f/s	96200 / 640
A162	Tureluur	W	-	=	=	s,f	16500
A164	Groenpootruiter	W	+	=	=	s,f	1900
A169	Steenloper	W/N	--	=/=	>/=	s,f/s,f	2300-3000 (†) / 160

Tabel 4-5 Legenda voor tabellen 4-1 t/m 4-4.

Legenda	
*	Prioritaire habitattypen. Voor het instandhouden van deze typen draagt Nederland een bijzondere verantwoordelijkheid.
Natura 2000	Naam Natura 2000-gebied D = Duinen Schiermonnikoog W = Waddenzee, (waarden geldend voor gehele Natura 2000-gebied Waddenzee) N = Noordzeekustzone (waarden geldend voor gehele Natura 2000-gebied Noordzeekustzone)
L-SVI	Landelijke Staat van Instandhouding -- zeer ongunstig - matig ongunstig + gunstig
Doelstelling	> Verbeter- of uitbreidingsdoelstelling = Behoudsdoelstelling =< Aanwijzingsbesluit heeft 'ten gunste van' formulering
Draagkracht (aantal paren)	(†)= verbetering t.o.v. de huidige aantallen De aantallen gelden per deelgebied; Duinen Schiermonnikoog, Waddenzee en Noordzeekustzone.

4.4.9 Knelpunten natuur

In de vorige alinea is besproken dat de kwaliteit van de meeste stikstofgevoelige Natura 2000 habitats matig tot slecht is, en dat de doelen voor een deel van de Vogelrichtlijnsoorten niet worden gehaald. 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.

Dynamiek

In het duingebied is er van nature veel dynamiek. In de afgelopen decennia is door vastlegging van de duinen de invloed van wind en verstuiwing echter kleiner geworden in de duinen. Daarbij is ook de konijnenpopulatie door ziekten gedecimeerd. Al met al is hierdoor de natuurlijke ontwikkeling van de duinen verminderd. En is verruiging opgetreden. Door bijvoorbeeld de bodem plaatselijk los te maken zal de invloed van de wind groter worden, zodat natuurlijke duinvorming en verjonging weer in gang worden gezet. Langs het Noordzeestrand vindt op diverse plaatsen nieuwe duinvorming plaats. Dit proces draagt bij aan dynamische verjonging van de duinen op Schiermonnikoog. Verder zal door het lokaal verwijderen van de (verouderde) vegetatie de kwaliteit van de duinvegetaties toenemen. Dit zal ook ten goede komen aan de vogelsoorten blauwe kiekendief, velduil en tapuit.

Hydrologie

In delen van het duingebied is de hydrologische situatie niet optimaal om de gestelde doelen te bereiken. Hydrologisch onderzoek laat zien dat de grondwaterstand sinds de jaren '50 ongeveer een meter is gedaald. In de duinvalleien is daardoor naast verdroging ook verzuring opgetreden. Dit is ook het geval in de binnenduintrandzone bij het Groenglop. Met een aantal ingrepen in de waterhuishouding is hier mogelijk enige verandering in aan te brengen. Een sterk toegenomen begroeiing met bos, struweel en ruigte heeft ervoor gezorgd dat de verdamping in het duingebied groter is geworden terwijl er juist minder water de grond kan binnendringen om het grondwater aan te vullen. Dit kan deels worden opgelost door de verruiging terug te dringen. De beheerder voert sinds 2011 een aantal projecten in het kader van het duinherstelprogramma uit om het duin weer deels van struweel en ruigte te ontdoen. De waterkwaliteit van de Westerplas is sinds de jaren '90 sterk verslechterd doordat de waterhuishouding hier is veranderd. Er is een plan gemaakt om de kwaliteit duurzaam te verbeteren. Ten slotte wordt aan de oostkant van de duinen de natuurlijke afstroming en toestroming van en naar het geul en slenkstelsel op de Binnenkwelder belemmerd door een aantal smalle en te hoge duikers. Dit is sinds 2013 deels opgelost en kan met een aantal simpele ingrepen verder worden aangepakt.

Stikstof

Industrie, zeescheepvaart, landbouw en verkeer zijn de voornaamste bronnen van stikstof, die door wind en neerslag het gebied in komen. Stikstof zorgt voor de vermessing van de natuur, waardoor karakteristieke planten- en diersoorten verdwijnen en duinvegetaties sterk verruigen en vergrassen. Bij het beheerplan hoort een PAS gebiedsanalyse (Meijer et al. 2017), waarin de knelpunten per habitatype zijn uitgewerkt voor de huidige situatie en waarin de te verwachten trend is aangegeven. Op het ogenblik is de neerslag van stikstof te hoog voor een aantal kwetsbare vegetaties in de duinen. Daartegen worden effectgerichte maatregelen zoals begrazing of plaggen genomen.

Verstoring

Op het strand zijn plaatselijk veel recreatieve activiteiten. Dat kan een probleem zijn voor de vogels die op het strand broeden, met name de dwergstern, de bontbekplevier en de strandplevier. De strandplevier en de bontbekplevier gaan landelijk en ook op Schiermonnikoog in aantal achteruit. De dwergstern laat de laatste jaren wel een toename in aantal zien, maar broedt niet op Schiermonnikoog. Voor deze soorten is het nodig om de gedeelten waar ze broeden tijdelijk af te sluiten en zo te zorgen voor rust in de broedperiode. Daarnaast vindt er ook verstoring van overtuigende vogels plaats door allerlei activiteiten zoals wadlopen. Ook hiervoor zijn gerichte maatregelen gewenst.

4.5 Drinkwaterwinning

Al het drinkwater dat op Schiermonnikoog uit de kraan komt, komt het van eiland zelf. Onder het eiland bevindt zich een zoetwaterbel die door neerslag wordt aangevuld. Plaatselijk komt

deze zoetwaterbel aan de oppervlakte en vormt zo duinmeertjes. De breedte van de duinen bepaalt voor een groot deel de hoeveelheid zoetwater onder de duinen. Hoe breder de duinen, hoe meer water. Het volume van de zoetwaterbel onder Schiermonnikoog blijft ongeveer gelijk, omdat de dynamiek van de duinen door begroeiing grotendeels is stilgevallen.

Het waterverbruik is de afgelopen decennia toegenomen doordat het toerisme flink is gegroeid. De natte duinvalleien dreigen hierdoor te verdrogen. Natuurmonumenten, het Wetterskip Fryslân en Vitens (het waterleidingbedrijf) willen dit voorkomen. Daarom is de waterwinning de afgelopen jaren gedeeltelijk naar de Westerplas verplaatst om de kwetsbare duinen te ontlasten. Een groot deel van de neerslag vloeit via sloten of het strand direct af naar zee, of verdampt. Daarom is een van de doelen voor de komende jaren om regenwater langer op het eiland vast te houden en zo verdroging van de duinen te voorkomen ([Waterbeheer - Nationaal Park Schiermonnikoog \(np-schiermonnikoog.nl\)](https://www.np-schiermonnikoog.nl)).

5 Langetermijnontwikkelingen

5.1 Inleiding

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

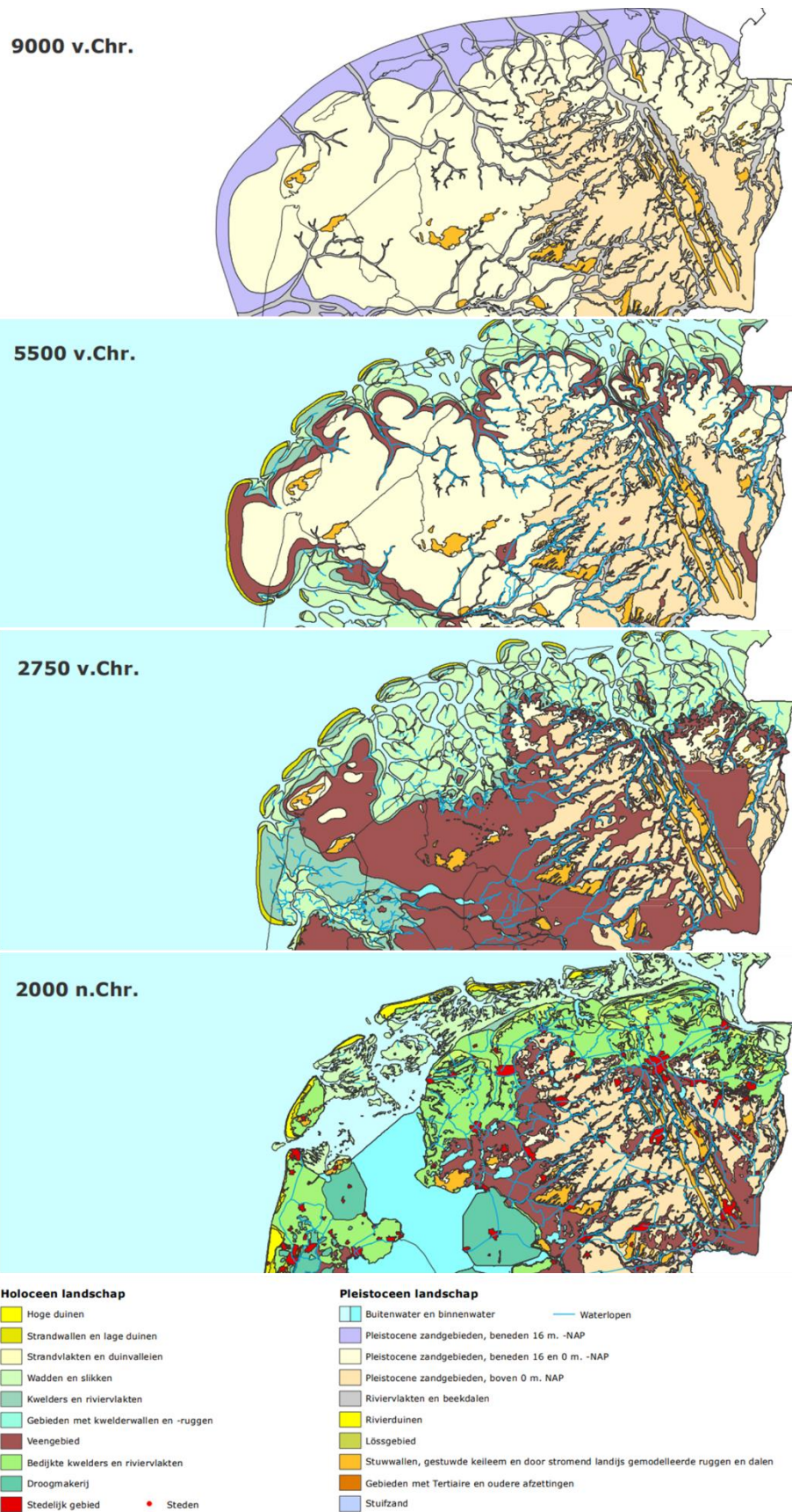
5.2 Paleografische ontwikkeling

Het oostelijke Waddengebied is een vrij eenvormig deel van de Nederlandse kust met barrière-eilanden die de dynamische scheiding tussen de Noordzee en de Waddenzee vormen. Tussen de eilanden liggen getijdengeulen die zich in de Waddenzee vertakken om uiteindelijk tegen de zeedijken uit te lopen. Zeewaarts van de eilanden monden de ebageulen uit op zogenoemde buitendelta's. Er bestaan goede aanwijzingen dat dit systeem van eilanden, platen en geulen zich al vroeg in het Holoceen gevestigd heeft en maar weinig veranderd is. Wel zorgden door de tijd veranderende randvoorwaarden (zoals snelheid van de zeespiegelstijging, sedimentaanvoer, stormklimaat) ervoor dat de dynamiek van het systeem langzaam iets veranderde. Zo is bijvoorbeeld de afstand tussen de eilanden en de kust over duizenden jaren kleiner geworden en zijn mogelijkheden om slib te bergen tegenwoordig sterk gereduceerd (door alle indijkingen). Daarnaast zijn (delen van) kustlijnen vastgelegd door dijk aanleg en door handhaving van de BKL.

Factoren die in de oostelijke Waddenzee een rol speelden bij de paleogeografische ontwikkeling zijn, net als die in andere kustvakken van de Nederlandse kust:

- de configuratie van het landoppervlak aan het einde van het Pleistoceen, ongeveer 11.000 jaar geleden;
- de verschillende tijdstippen en manieren van opvullen van de voormalige getijdensystemen in het gebied;
- de vorming van het veen achter de kust; en
- de acties van de mens, die door de tijd sterk toenamen in intensiteit, reikwijdte en schaal.

Voor de algemene ontwikkeling van de paleogeografie wordt verwezen naar Figuur 5-1: het land verdrinkt in stappen over een periode van ca. 5000 jaar. Opvallend daarbij is de continuïteit in organisatie van het kuststelsel door de tientallen eeuwen heen.



Figuur 5-1. Paleogeografische kaarten van de Waddenzee (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, TNO en Deltares, 2022). Voor meer kaarten zie: www.cultureelerfgoed.nl

5.2.1 Pleistocene ontwikkeling

Een eerste blik op de paleogeografische kaarten van het Waddengebied (Figuur 5-1) leert dat de vorm en ligging van het Pleistocene achterland (ruwweg al het land boven + 1 m NAP) een erg belangrijke rol speelt en zeer waarschijnlijk ook heeft gespeeld in de paleogeografische ontwikkelingen van het gebied. Aan de westzijde van de Waddenzee komen hooggelegen stuwwalresten voor (Texel, Wieringen, Gaasterland). Deze relatief hooggelegen bulten van zand en keileem maken deel uit van een uitgestrekte west-oost verlopende gordel van stuwwallen uit het Saalien (einde ca. 120.000 jaar geleden), die vanuit de Noordzee, door Nederland heen de Noord-Duitse laagvlakte in lopen. Het zijn overblijfselen van een sterk geaccidenteerd landschap dat door de toenmalige gletsjers omhoog is gedrukt, met initiële hoogteverschillen van meer dan 200 m tussen de toppen van de stuwwallen en de bodems van de tussengelegen bekkens (in Nederland het Bekken van Amsterdam, Eemvallei en het IJsseldal). Veel van de hoogteverschillen zijn tijdens de opvolgende warme periode van het Eemien en koude periode van het Weichselien sterk verminderd, maar ze zijn nog steeds niet verdwenen. Gedurende het Weichselien zijn de rivieren die o.a. het Drents plateau afwaterden, sterk ingesneden in de ondergrond. Aan het begin van het Holoceen, zo'n 11.000 jaar geleden, waren die ingesneden rivierdalen uiteraard de aangrijpingspunten voor de stijgende zeespiegel om het land binnen te dringen, met het Hunze- en het Eemsdal als de voornaamste (Figuur 5-1 linksboven). Het Basisveen, dat waarschijnlijk vrijwel overal heeft bestaan en de daarop afgezette oudere Holocene afzettingen, zijn bijna overal geërodeerd door de geulen, die het sediment van de oudere getijdenafzettingen naar binnen brachten. De oudere geulen volgden uiteraard de Pleistocene oppervlakte-morfologie, maar de ligging van de jongere geulen is daar veel minder door beïnvloed. Die sloten aan op riviertjes waarvan de erosiebasis inmiddels met 20 m of meer omhoog was getrokken (Figuur 5-1 rechtsboven).

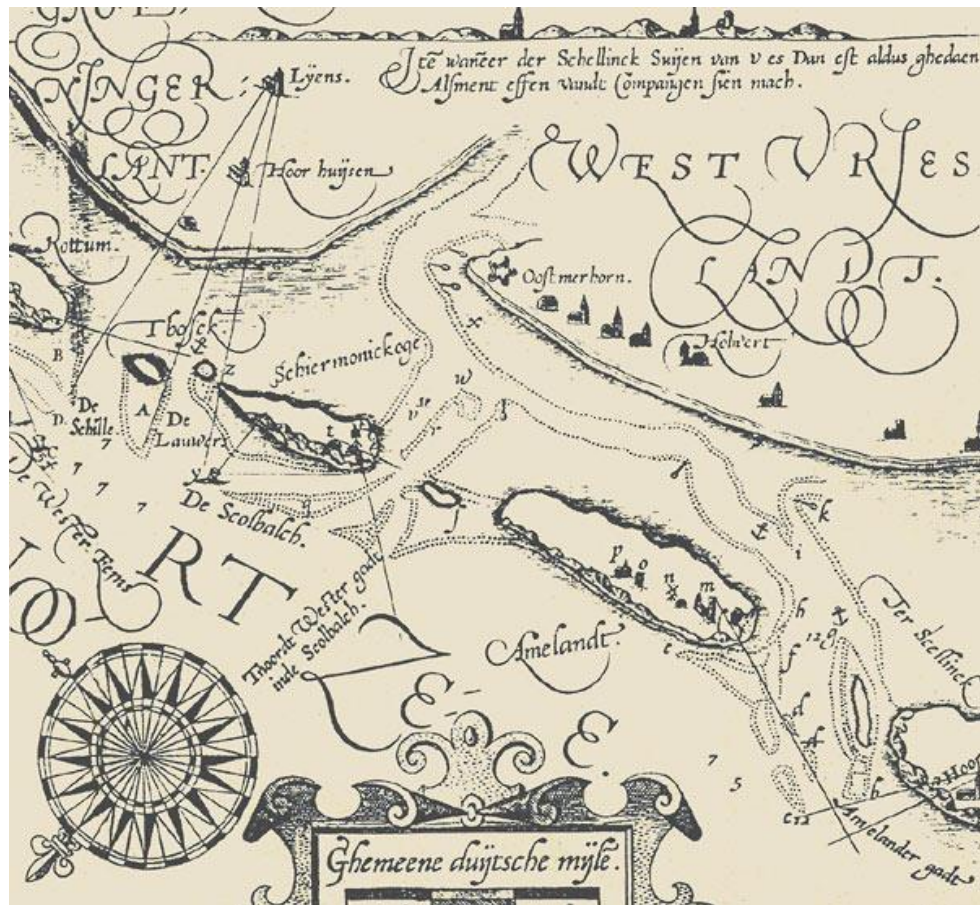
In de periode tussen de vorming van de oude en de jong getijdensystemen, ruwweg het Subboreaal (van ca. 5660 tot 2400 jaar voor heden, zie Figuur 5-1 linksonder) is veen tot ontwikkeling gekomen. Hier en daar zijn daar nog stukken van bewaard, maar de jonge geulen hebben er ook veel van opgeruimd. Verder landwaarts zijn meer voormalige veengebieden onder de jonge getijdenafzettingen bewaard. Waar de geulen van jonge getijdenafzettingen eroderend hebben gewerkt, is het erg lastig op lithologische gronden onderscheid te maken tussen oude en jonge getijdenafzettingen (van Staalduinen et al., 1977).

Er wordt aangenomen dat de Waddeneilanden al zeer lange tijd aanwezig waren: men spreekt van 6000 jaar. Daar is erg weinig geologisch bewijs voor te vinden en nog veel minder archeologisch bewijs. Dat is niet zo vreemd, omdat de positie van de eilanden in dit oostelijke waddengebied een tiental kilometers naar het noorden moet hebben gelegen, waarna het zuidwaarts opschuiven van het kustprofiel voor veel erosie zorgde (Van Heteren en Van der Spek, 2003). Oudere posities van de eilanden worden vooral afgeleid uit de ligging van de getijdengeulen van de eerste generatie (Vos, 2016). Het aantal Waddeneilanden in de paleogeografische reconstructies neemt volgens Vos en Knol (2015) af over de tijd.

Vanaf 3000 BP kon de sedimentatie de zeespiegelstijging bijhouden en was er ook genoeg sediment om geulen die het binnenland instaken, te doen verlanden. De doorgaande langzame landwaartse migratie van de Waddeneilanden verkleinde de afstand van de Noordzeekust tot het achterland. De getijdengeulen liepen minder ver het land in en door stagnerende waterafvoer trad veenvorming op grote schaal op, als gevolg van de afzetting van dikke pakketten kwelderlei in het zeewaartse deel van de getijdenbekkens.

De oudst bewaard gebleven delen van de eilanden Terschelling en Ameland waarvoor geologisch bewijs is verzameld, dateren uit laat-Romeinse en Vroegmiddeleeuwse periode

(De Jong, 1984; Van Staalduinen et al., 1977). Opvallend is dat zeer weinig bekend is over oudere geullopen dan die uit de late Middeleeuwen, toen de eerste kaarten van kustgebieden werden gemaakt en de waterdieptes in de vaargeulen voor het eerst opgetekend werden (midden 16^e eeuw; Figuur 5-2).



Figuur 5-2. Kaartuitsnede van de kustzone van de oostelijke Waddenzee en de randzone van de Noordzee (Haeyen, 1585) met enkele geuldieptes (in vadem). Zie ook Oost (1995), p.138-139.

Een combinatie van doorzettende zeespiegelstijging en aantasting van grote veenlichamen in het achterland, tegen de pleistocene zandgronden aan zorgde voor erosie en verdere doordringing van de getijdegeulen het binnenland in. Dit proces zette zich voort tot in de Vroege Middeleeuwen. De Lauwerszee is voor een groot deel in deze periode gevormd.

De versmalling van de oostelijke Waddenzee en de vastlegging van de kusten van de Waddeneilanden zijn twee belangrijke factoren voor de huidige situatie in dit gebied. Het is opmerkelijk dat die processen al zo vroeg gestart zijn en nog steeds spelen. De paleogeografische situatie zet zich dus voort in de huidige tijd.

5.2.2 Recente ontwikkelingen

Op grond van de hierboven beschreven meer algemene ontwikkelingen kan de meer recente ontwikkeling van Schiermonnikoog als atypisch gekenmerkt worden. In plaats van kusterosie vindt er kustaanwas plaats langs grote delen van de Noordzeezijde van dit eiland. De oorzaak voor deze atypische ontwikkeling moet gezocht worden in de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 en de aanlanding van delen van de buitendelta op de westelijke kop van het eiland na die afsluiting.

5.3 Bodemdaling

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

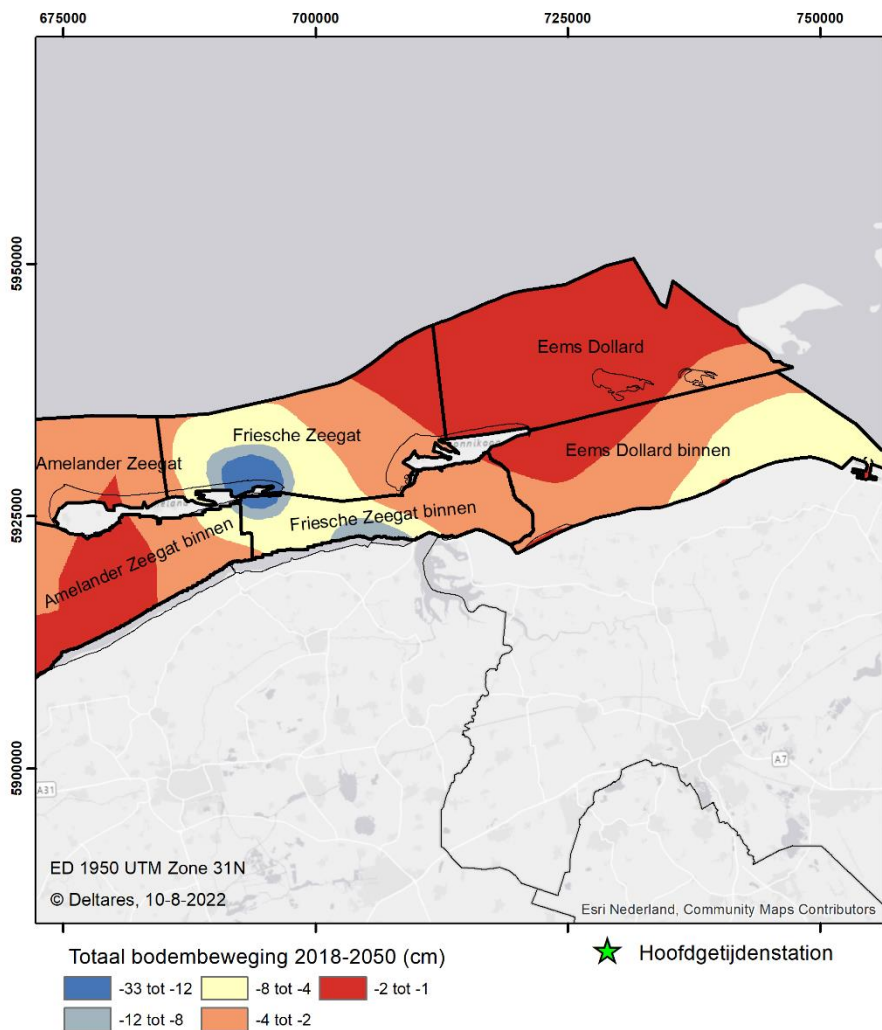
Metingen laten zien dat de bodem van Nederland in beweging is, waarbij sommige delen omhoog komen en andere delen juist dalen. De laatste jaren zijn in verschillende rapporten overzichtskaarten voor bodemweging langs de Nederlandse kust gepresenteerd (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b; Hijma & Van Onselen,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

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

Tabel 5-1. De belangrijkste componenten van bodembeweging in Nederland.

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

De kaart in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is afgeleid van de landelijke kaarten voor bodembeweging langs de Nederlandse kust en toont de verwachte bodemdaling tussen 2018 en 2050, waarbij is ingezoomd op de omgeving van Schiermonnikoog. De kaart laat zien dat dit gebied gekenmerkt wordt door veel variatie in bodemdaling, onder invloed van de regionale gaswinning. In deelgebied 'Eems Dollard' (eigenlijk Groninger Wad) is de invloed van gaswinning beperkt en wordt de bodemdaling van 1-2 cm in de komende 30 jaar vooral veroorzaakt door de geologische bodemdaling. Dichter bij de kust en in de richting van Ameland neemt de snelheid van bodemdaling fors toe door gaswinning. Op Schiermonnikoog zelf neemt de verwachte bodemdaling af van 4 cm in het westen tot 2 cm in het oosten.



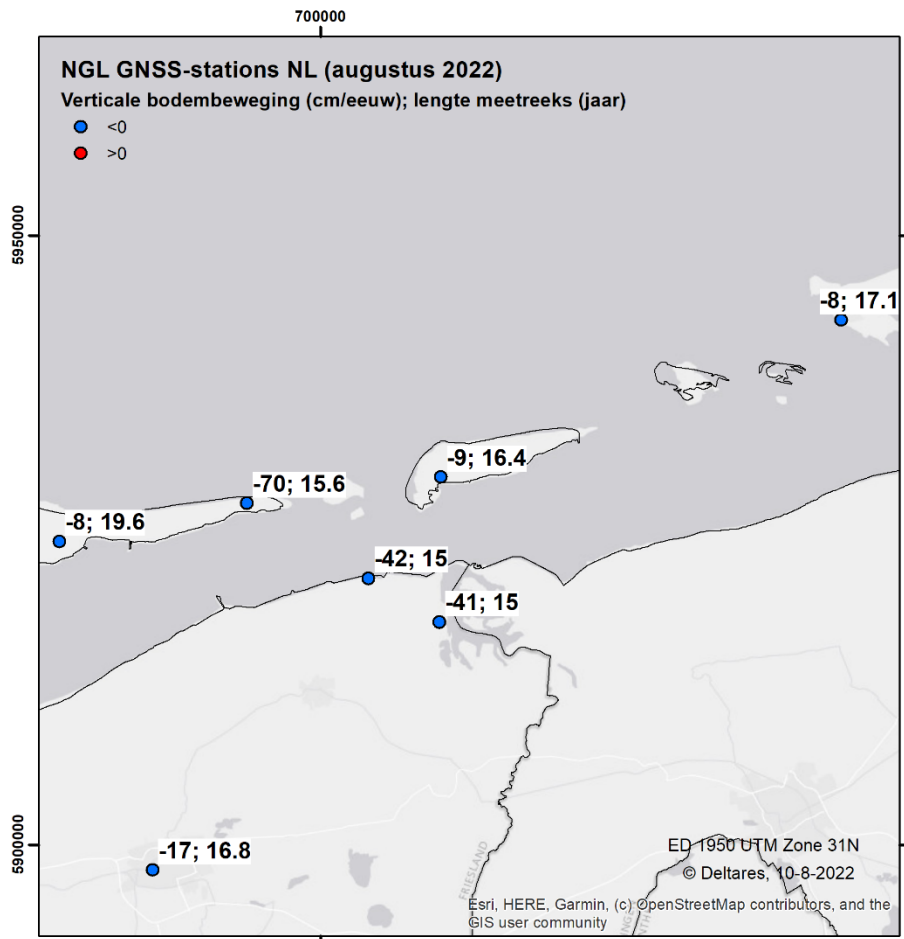
Figuur 5-3. Totale bodembeweging (winning van gas, olie en zout plus de geologische bodemdaling) in de periode 2018-2050 met de relevante deelgebieden (naar Hijma, 2021). Tabel 5-2 geeft voor deelgebieden Friesche Zeegat, Friesche Zeegat Binnen, Eems Dollard en Eems Dollard Binnen de bodemdalingsgetallen voor de afgelopen en komende 30 jaar. De afname in bodemdaling wordt veroorzaakt door de verwachte afnemende gasproductie. Het grote volume voor Eems Dollard Binnen wordt veroorzaakt door de grootte van het gebied in vergelijking met de andere gebieden.

Tabel 5-2 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden in Figuur 5-1 (deze zijn aangepast ten opzichte van Hijma & Kooi (2018b); zie dat rapport voor onderbouwing van de berekende onzekerheden, zie Hijma (2021) voor de laatst gerapporteerde bodemdalingsvolumes).

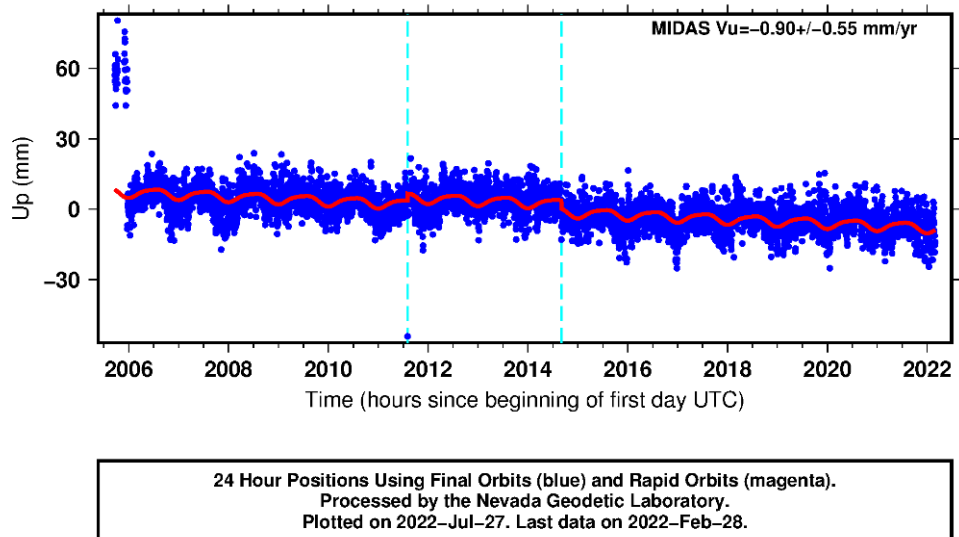
Periode	Gemiddelde geologische bodem-beweging (cm)	Gemiddelde bodem-beweging door winning van olie, gas en zout (cm)	Gemiddelde bodem-bewegings-snelheid (cm/yr)	Totale bodemdalings-volume ± onzekerheid (Mm ³)	Totale bodemdalings-volume ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)
<i>1991-2020</i>					
Friesche Zeegat	-1.7	-4.08	-0.19	16.92 ± 3.84	0.564 ± 0.145
Friesche Zeegat B.	-1.66	-4.14	-0.19	9.00 ± 2.04	0.300 ± 0.073
Eems Dollard	-1.65	-0.04	-0.06	6.24 ± 2.97	0.208 ± 0.099
Eems Dollard B.	-1.53	-2.95	-0.15	21.72 ± 5.13	0.724 ± 0.192
<i>2021-2050</i>					
Friesche Zeegat	-1.7	-1.57	-0.11	9.57 ± 3.33	0.319 ± 0.134
Friesche Zeegat B.	-1.66	-2.26	-0.13	6.09 ± 2.16	0.200 ± 0.079
Eems Dollard	-1.65	-0.03	-0.06	6.21 ± 2.97	0.207 ± 0.099
Eems Dollard B.	-1.53	-2.38	-0.13	18.96 ± 6.84	0.632 ± 0.259

Rond Schiermonnikoog staan ook GNSS-stations die nauwkeurige hoogtemetingen doen. Belangrijke vraag daarbij is altijd wel hoe diep de stations gefundeerd staan en welke bodemdaling ze dus feitelijk meten. Daarnaast is het essentieel dat aanpassingen aan het station, bijvoorbeeld aanpassingen aan de antenne, goed gedocumenteerd zijn. Figuur 5-4 laat de GNSS-stations rondom Schiermonnikoog zien met een meetreeks langer dan 10 jaar. Omdat bodembewegingssnelheden laag zijn, is een lange meetreeks nodig om een eventuele trend met enige zekerheid vast te stellen. De data is afkomstig van het Nevada Geodetic Laboratory (<http://geodesy.unr.edu/>). De stations geven sterk wisselende snelheden als gevolg van de gaswinning. De stations die beperkt beïnvloed worden door bodemdaling door gaswinning dalen met snelheden van 8-9 cm/eeuw. Dit is maar iets hoger dan de gemodelleerde geologische bodemdaling in het gebied (5-6 cm/eeuw). De modellen en de metingen zijn dus goed met elkaar in overeenstemming. De stations in de wingebieden laten veel hogere snelheden van bodemdaling zien, tot wel 70 cm/eeuw. Figuur 5-5 laat de data zien voor station Schiermonnikoog en duidelijk is dat dit station vrij constant aan het dalen is met een snelheid van gemiddeld 9 cm/eeuw. Deze snelheid omvat zowel een geologische bodemdalingscomponent (5-6 cm/eeuw) als een winningscomponent (rond 3 cm/eeuw).

Samengevat: de geologische bodemdaling in het gebied rondom Schiermonnikoog ligt rond de 5-6 cm/eeuw en is voor Nederland relatief hoog. Door gaswinning dalen grote gebieden rondom Schiermonnikoog veel sneller dan dit en snelheden lopen hierbij op tot tientallen centimeters per eeuw. De verwachting is dat de dalingsnelheden hun maximum reeds bereikt hebben en onder invloed van verminderde gasproductie de komende decennia langzaam zullen afnemen. De totale bodemdaling, en dus de bodemdalingsvolumes, zijn hiermee voor Nederland relatief fors.



Figuur 5-4 – Kaart van omgeving van Schiermonnikoog met bij ieder GNSS-station de bodemdaling in cm/eeuw. Er worden alleen stations getoond met een meetreeks langer dan 10 jaar. De data is afkomstig van het Nevada Geodetic Laboratory.



Figuur 5-5 – GNSS-data van het station op Schiermonnikoog (Station SCHI, data gedownload op 10-8-2022 van <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/SCHI.sta>).

6 Beschrijving van het morfologisch systeem

6.1 Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag

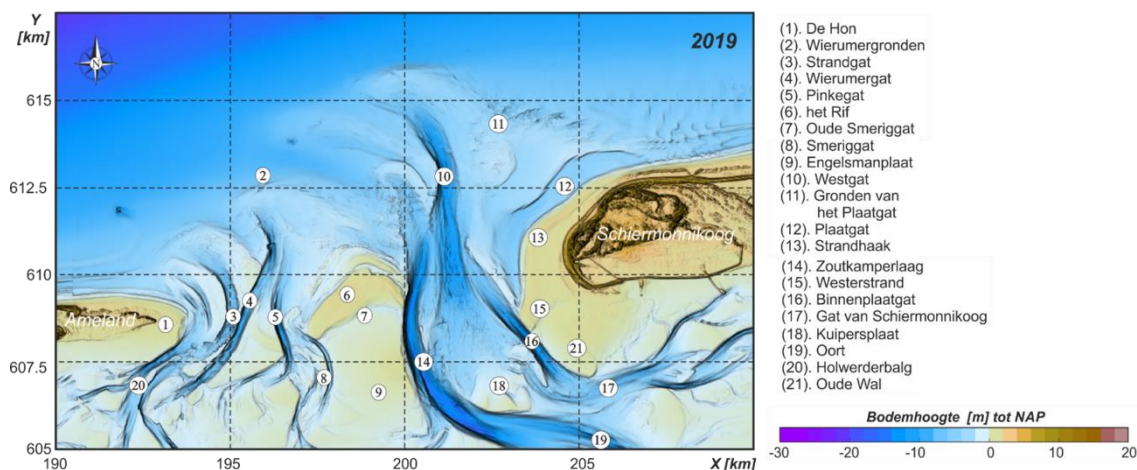
Schiermonnikoog is begrensd door twee zeegaten: de kleine Eilanderbalg aan de oostzijde en het veel grotere Friesche Zeegat aan de westzijde. Het Friesche Zeegat bestaat weer uit twee aparte zeegaten, van elkaar gescheiden door de Engelsmanplaat. Het oostelijke en grootste zeegat is de Zoutkamperlaag en het kleinere zeegat heet het Pinkegat. De morfologische ontwikkelingen van deze zeegaten –deels onder de invloed van de mens– bepalen in grote mate de ontwikkeling van Schiermonnikoog en de lokale veranderingen bij de eilandkop en -staart. Aan de oostzijde kan de natuurlijke dynamiek ongestoord plaatsvinden en is het eiland in de loop van de tijd netto aangegroeid. Aan de westzijde van Schiermonnikoog is al sinds langere tijd geen afslag van betekenis opgetreden (Oost, 1995). In de volgende paragrafen worden de morfologische veranderingen beschreven. Eerst wordt het morfologische gedrag van de zeegaten en de buitendelta's beschreven en vervolgens de uitwisseling met de aanliggende eilandkust. Als het geulgedrag van de buitendelta goed wordt begrepen, kan ook de ontwikkeling van de aanliggende eilandkust beter worden begrepen (en voorspeld).

6.2 Friesche Zeegat

6.2.1 Algemene kenmerken

In Elias & Oost (2021) worden de morfologische processen van het Friesche Zeegat uitgebreid beschreven. In deze paragraaf worden de belangrijkste bevindingen samengevat.

Het Friesche Zeegat bestaat uit twee delen. Figuur 6-1 geeft een overzicht weer van de geulen en platen van het Friesche Zeegat. Het Pinkegat in het westen is hierbij veel kleiner in omvang dan de oostelijk gelegen Zoutkamperlaag. In deze paragraaf ligt de focus op de Zoutkamperlaag, omdat deze naar verwachting de grootste invloed heeft op de morfologische ontwikkeling van Schiermonnikoog.



Figuur 6-1. Een overzicht van de geulen en platen van de Zoutkamperlaag. De bodemdata zijn afkomstig uit de Vaklodingen datasets. Waar nodig zijn missende datapunten aangevuld met de omliggende jaren. De centrale delen van de eilanden zijn gebaseerd op het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Bron: Elias & Oost (2021).

6.2.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Friesche Zeegat

De afsluiting van de Lauwerszee in 1969 is van grote invloed geweest op de morfologische ontwikkeling van Schiermonnikoog (Appendix B, Figuur B 1 geeft de bodemhoogte voor en na afsluiting weer).

Voor de afsluiting van de Lauwerszee traden twee dominante morfologische ontwikkelingen op in het Zoutkamperlaag Zeegat:

- 1) grootschalige geulverandering in de keel van het zeegat. De voormalige hoofdgeul Vriesche Gat wordt verdrongen door de nieuwe hoofdgeul Zoutkamperlaag.
- 2) variatie in het aantal en de ligging van de uitstroomgeulen de buitendelta op. Variaties in de (uitstroom)geulliggingen liggen ten grondslag aan het ontstaan van banken op de buitendelta die uiteindelijk aanlandden op de kust van Schiermonnikoog (Elias & Oost, 2021).

1. Geulverandering in de keel van het zeegat

Op de huidige positie van de Zoutkamperlaag geul, maar dan net iets verder naar het westen, lag in de 19^e eeuw de oude hoofdgeul, het Vriesche Gat (of Noordgat) (zie Appendix B, Figuur B 2). De Zoutkamperlaag geul lag toen nog verder naar het oosten en werd door een plaat, de Eilanderbult, van het Vriesche Gat gescheiden. Doordat de Eilanderbult naar het zuiden migreerde, ontstond een tweedeling in de hoofdgeul. De noordoostelijke zijde vormde een verbinding met de Zoutkamperlaag geul. Het zuidwestelijke deel, het voormalige Vriesche Gat, verkleinde in doorsnede omdat het nauwelijks westwaarts kon migreren doordat de Engelsmanplaat beneden -5 m NAP uit massieve mariene klei bestaat. De Zoutkamperlaag is dan nog de enige hoofdgeul in de keel van het Zeegat.

2. Variatie in het aantal en de ligging van de uitstroomgeulen de buitendelta op

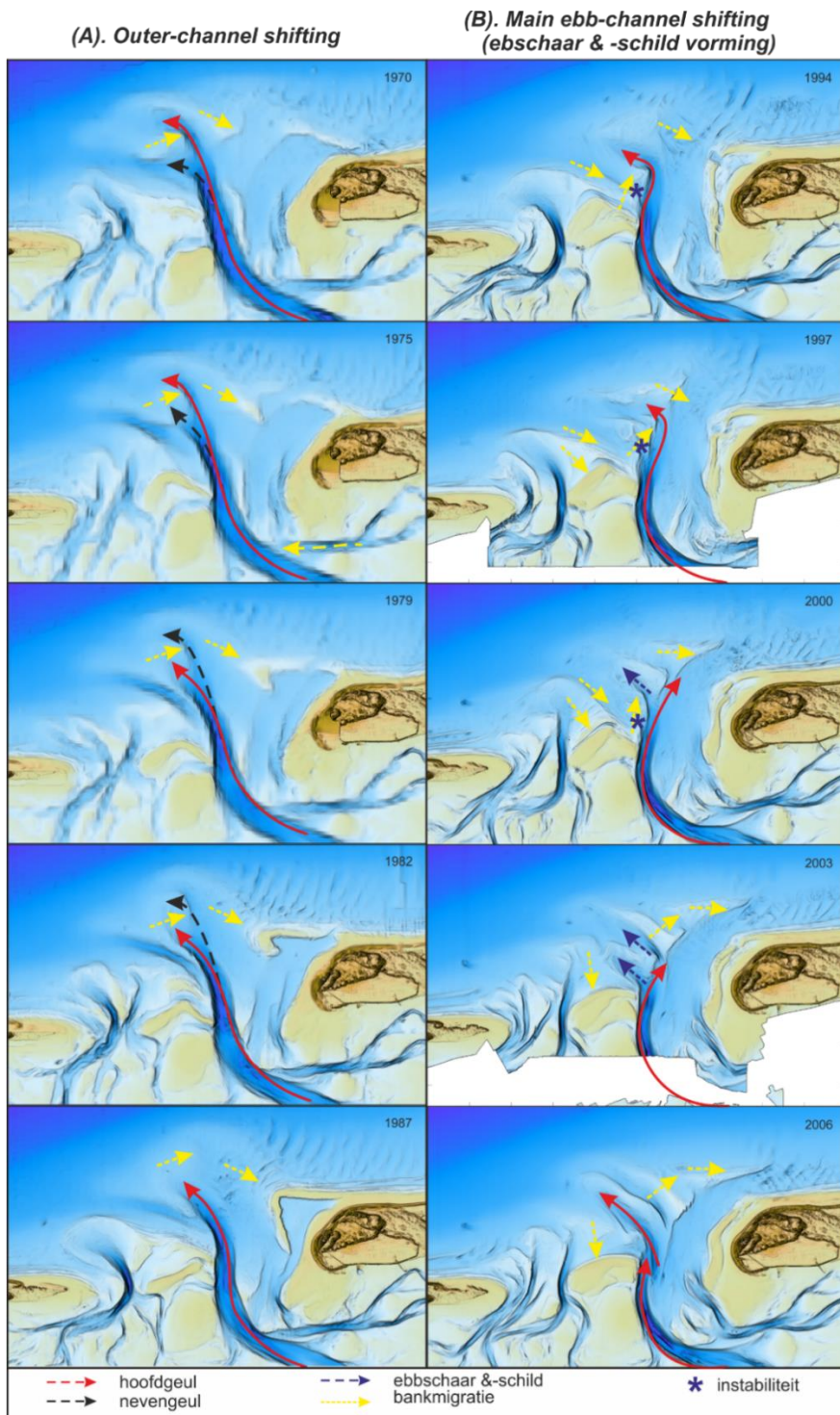
In de periode 1832-1927 wisselen fases waarin er slechts één enkele dominante uitstroomgeul aanwezig is zich af met fases waarin er twee geulen zijn (zie Appendix B, Figuur B 3). Daarnaast vindt er in dezelfde periode ook een migratie/rotatie van de hoofdgeul plaats. Deze verplaatsing van de geuluitstroom wordt ook wel *outer channel shifting* genoemd (Elias & Oost, 2021) en wordt verderop aan de hand van een conceptueel model uitgelegd.

De afsluiting van de Lauwerszee verkleinde het bekkenoppervlakte met ongeveer 30%, waardoor het getijprisma afnam van 306 miljoen m³ naar 200 miljoen m³ (Oost, 1995; Wang, 2007). Deze grote afname in getijprisma was mede verantwoordelijk voor grote morfologische veranderingen: het zeegat probeert een nieuw morfologisch evenwicht te vormen met het verkleinde prisma. De geulen zijn te groot voor de kleinere debieten en dit resulteert in een afname van de stroomsnelheden en een snelle opvulling van de geulen. Elias (2018) observeerde dat er in de periode 1967-1979 in het bekken 48 miljoen m³ sedimentatie optrad. In de periode daarna (1979-2012) zijn de volumeveranderingen met 15 miljoen m³ veel kleiner, wat suggereert dat het bekken zich snel heeft aangepast. Volgens Oost (1995) zijn er aanwijzingen dat de platen langs de hoofdgeul van de Zoutkamperlaag in de periode 1975-1982 erodeerden om aan de sedimentvraag van de geul te voldoen. In de periode 1967-2015 was het volumeverlies van de buitendelta van de Zoutkamperlaag ongeveer gelijk aan het aanzandingsvolume (-50 miljoen m³). Hierdoor is het aannemelijk dat de buitendelta het bekken heeft gevoed. Doordat de zeewaarts gerichte getijgedreven transporten afnamen, overheerste de landwaarts gerichte component door golven. Hierdoor werd het sediment aan de buitenkant van de buitendelta landwaarts herverdeeld. Het voormalige plaatoppervlakte ten noordoosten van de Zoutkamperlaag geul is dan al aangeland aan de kust van Schiermonnikoog. Een relatief lange bank strekt zich vanaf de eilandkust de buitendelta op. In een later stadium vormt deze bank de gesloten strandhaak. De aanlanding van deze strandhaak en de herverdeling van dit sediment bepaalt de morfologische ontwikkeling van de achterliggende eilandkop in grote mate (paragraaf 6.2.3). Na de aanlanding van de strandhaak vormde zich geen nieuwe strandhaak, maar

ontwikkelde een *sediment bypassing* proces dat meer in evenwicht is met de huidige situatie. Hierbij vormen kleinere banken rond de uitstroom van de Zoutkamperlaag. Deze banken migreren vervolgens over de buitendelta om ten oosten van de eilandkop aan te landen.

Niet alleen vóór maar ook na de afsluiting van de Lauwerszee is *outer channel shifting* waarneembaar. Figuur 6-2A bevat een conceptuele weergave van deze vorm van sediment bypassing. Het landwaartse en centrale deel van de hoofdgeul blijft hierbij stabiel, maar de uitstroom van de hoofdgeul (Westgat) roteert met de klok mee. Deze rotatie wordt geïnitieerd door de vorming van banken aan de benedenstroomse zijde. Onder invloed van golven migreren de banken oostwaarts en drukken daarbij het zeewaartse deel van de ebgel oostwaarts. Hierbij wordt de geul minder efficiënt. Op een gegeven moment vormt zich een nieuwe uitstroming middels een ebschaar aan de westelijke (bovenstroomse) zijde van de bank en herstart het proces.

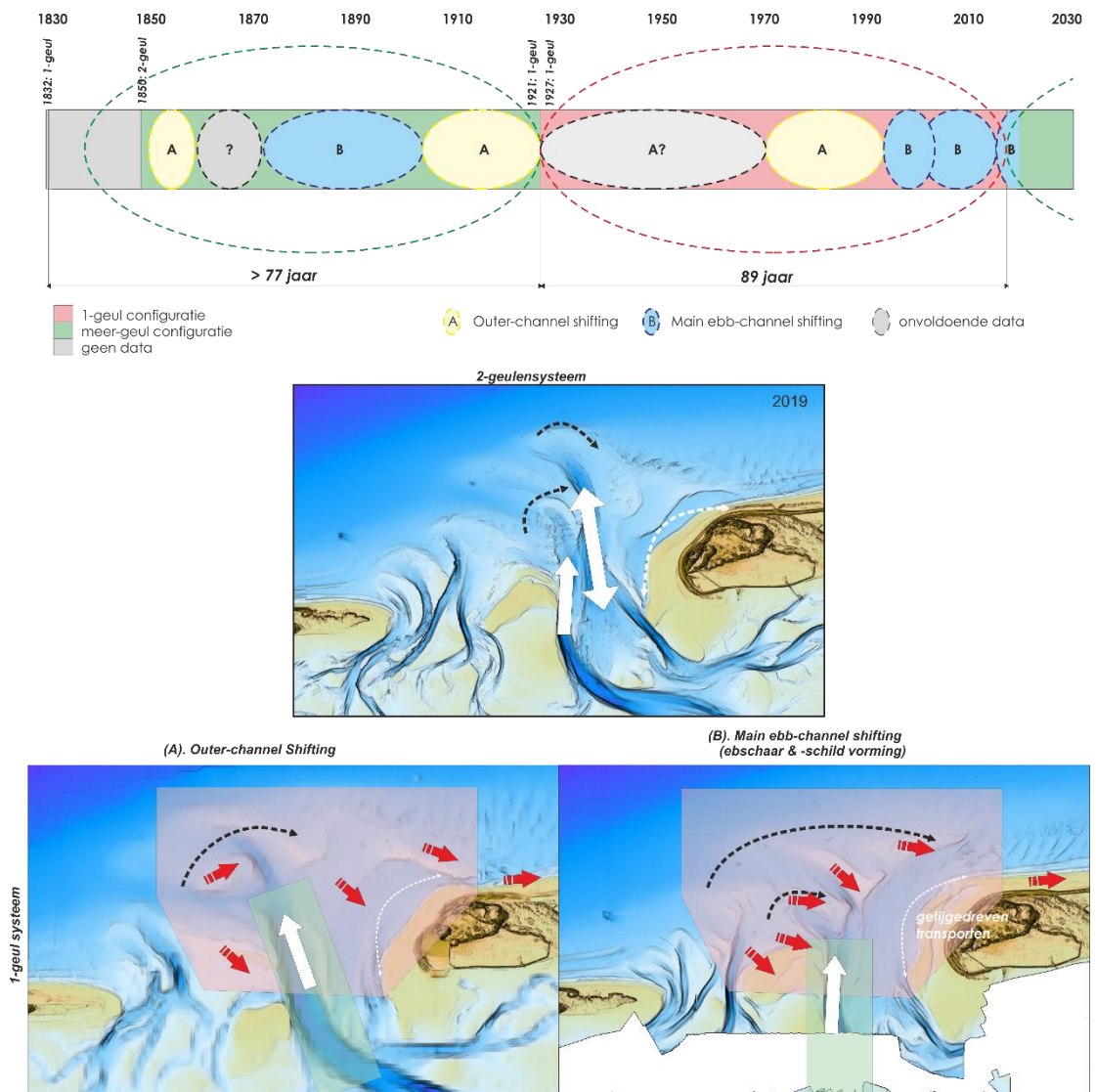
- A.1 Tussen 1987 en 2006 vindt ook een andere vorm van sediment bypassing door middel van hoofdgeulverplaatsing (*main ebb channel shifting*) plaats. Het verschil tussen verplaatsing van de geuluitstroom en hoofdgeulverplaatsing zit voornamelijk in de zeewaartse extensie van de hoofdgeul. Bij verplaatsing van de geuluitstroom strekt de geul zich ver uit. Het centrale deel van de buitendelta is dan relatief stabiel en de dominante morfologische veranderingen vinden plaats op het zeewaartse deel van de buitendelta. Bij hoofdgeulverplaatsing blijft alleen de keel stabiel en is vrijwel de gehele buitendelta aan verandering onderhevig. Figuur 6-2B bevat een conceptuele weergave van deze vorm van sediment bypassing. Appendix B (



Figuur B 5. Het optreden van Outer channel shifting (link) en Main ebb channel shifting (rechts) op de buitendelta van het Zoutkamperlaag zeegat. Bron: Elias & Oost (2021).

)7.3.4B laat het optreden van *outer channel shifting* en *main ebb channel shifting* zien voor de buitendelta van het Zoutkamperlaag Zeegat.

Waarschijnlijk speelt de vorm van het Rif een belangrijke rol bij de start van de hoofdgeulverplaatsing. Zeewaarts van het Rif kan zand van het Pinkegat naar de geul Zoutkamperlaag verplaatsen. Er vormt zich dan een ondiepe, langgerekte bank langs de bovenstroomse zijde van de geul. Op deze bank ontwikkelen instabiliteiten. Uiteindelijk groeien ze uit tot een kleine geul (ebschaar) en bijbehorende bank (ebschild). Doordat deze ebschaar een deel van het debiet van de hoofdgeul overneemt, wordt de hoofdgeul minder dominant. Het ebschild verplaatst verder zeewaarts en groeit. Door golven wordt het vervolgens oostwaarts gedrukt, waardoor het de oude hoofdgeul dicht begint te drukken. Dit versterkt de groei van de nieuwe ebgeul. Wanneer deze nieuwe ebgeul zeewaarts migreert, ontstaat weer ruimte voor de vorming van een nieuwe instabiliteit die weer kan uitgroeien tot een nieuw systeem van ebschaar en ebschild.

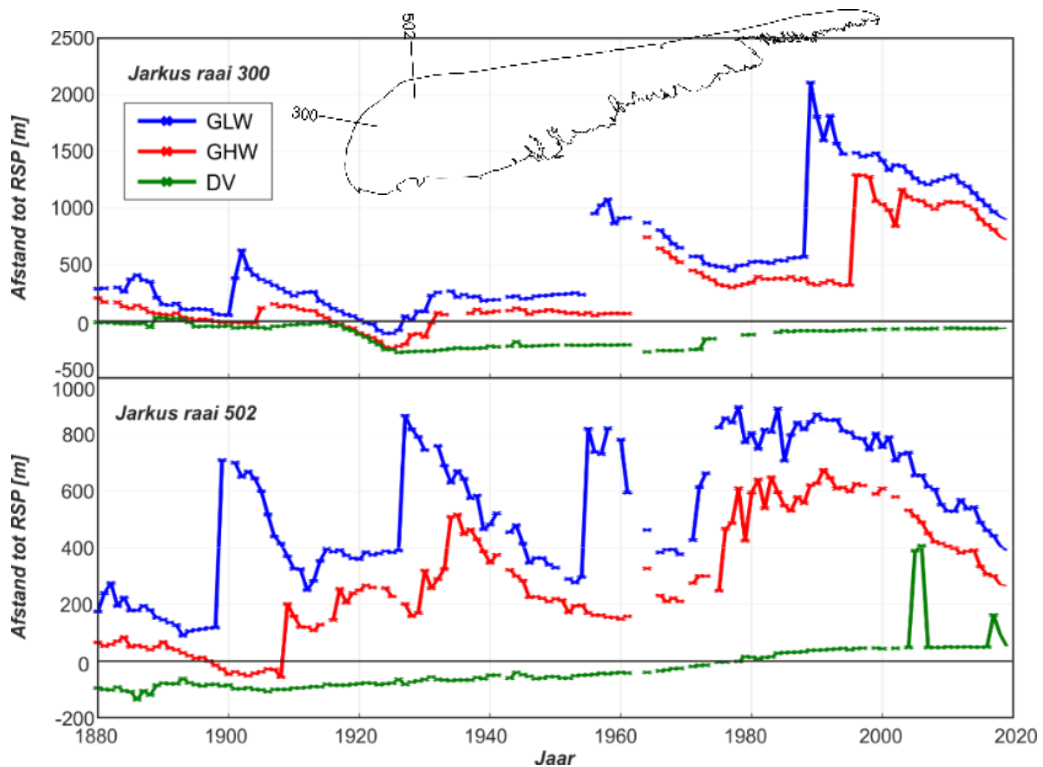


Figuur 6-2. Conceptuele weergave van het morfologische gedrag van het Pinkegat. Boven: Een schematische tijdlijn van (A) het ontstaan van een één-geul systeem (de gestreepte, grijze, cirkels) en (B) de kleinschalige (ebgeul) dynamiek van Strandgat en Wierumergat. Alleen over de periode 1997-2019 is de meetdata beschikbaar om deze dynamiek duidelijk te onderscheiden. Het is echter waarschijnlijk dat ook voor 1997 deze dynamiek heeft plaatsgevonden. Bron: Elias & Oost (2021).

Vaklodingendata (bv. Figuur 6-2) laten zien dat er ten oosten van de buitendelta van de Zoutkamperlaag op ca. -5 m NAP een groot aantal schuin op de kust staande banken liggen. Dit zijn zogeheten 'saw-tooth bars'. Saw-tooth bars komen voor op de benedenstroomse kant van sommige buitendelta's in de Waddenzee. Het is nog onduidelijk hoe saw-tooth bars gevormd worden. Flemming (1990) beweert dat het geulen zijn die water zeewaarts afvoeren tijdens stormen die door *edge waves* gevormd worden. Brakenhoff et al. (2019) suggereren dat het een speciaal type zandgolven zijn die door getij en windgedreven stromingen worden gevormd. Ze vermoeden dat de saw-tooth bars gevormd worden door instabiliteiten die resulteren van golven die onder een grote hoek invallen. Brakenhoff et al. (2017) vonden dat dat de saw-tooth bars op de buitendelta tussen Terschelling en Ameland aanzienlijk bijdroegen aan het sediment transport over de buitendelta. Over de rol van deze banken in het hele functioneren van de zandhuishouding van de kust is tot nu toe nog weinig bekend.

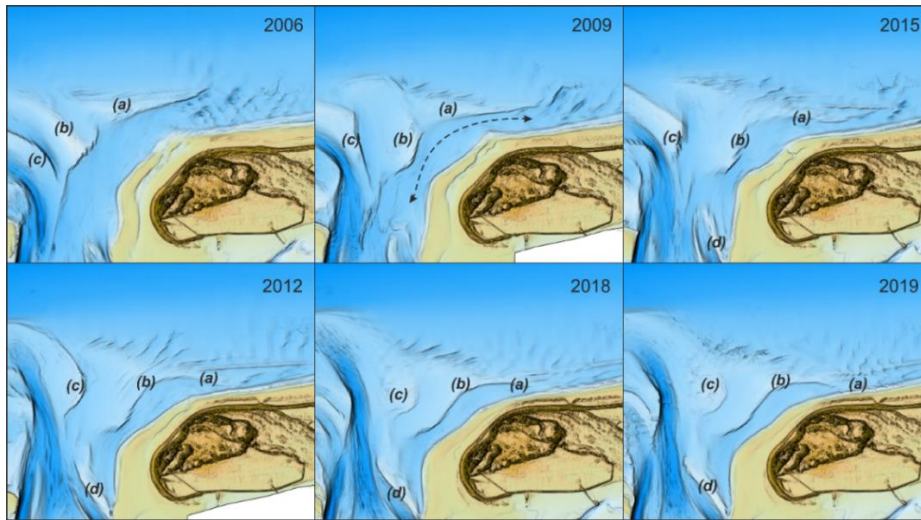
6.2.3 Morfologische ontwikkeling van de kustlijn

Oost (1995) beschrijft dat Schiermonnikoog vooral wordt gekenmerkt door groei. Waarschijnlijk vond er al vanaf 1700 geen noemenswaardige netto terugtrekking van de Noordzeekust van Schiermonnikoog plaats. Wel wisselen perioden van wel of geen aangroei op de eilandkop elkaar af. De kustlijnligging laat deze afwisseling duidelijk zien. Figuur 6-3 laat de strandlijnligging van de GLW, GHW en DV zien voor Jarkusraaien 300 en 502. Deze raaien liggen aan de noordwestzijde van de eilandkop, waar de banken vanaf de buitendelta aanlanden. In raai 502 treedt er periodiek een sterke zeewaartse verplaatsing van de kustlijn op. Deze verplaatsing hangt samen met het aanlanden van grootschalige banken. In de periodes 1850-1859 en 1873-1903 landden er twee banken aan. Figuur 6-3 laat de vorming en migratie van zo'n aanlandingsbank zien voor de periode 1850-1859 en 1873-1903. Tot 1967 vond er om de 25 tot 35 jaar een plaataanlanding plaats. Deze tijdschaal is ongeveer gelijk als de tijdschaal waarop veranderingen in de ebgeul (het Westgat) plaatsvinden. De aanlanding rond 1990 wijkt hier vanaf, want deze wordt veroorzaakt door de Strandhaak. De aanlanding van de strandhaak heeft de periodiciteit van de plaataanlandingen verstoort. Elias (2022) heeft de hoeveelheid zand die zich in de aanlandingsbanken bevindt gekwantificeerd. Op basis van de uitgevoerde analyses wordt geconcludeerd dat 31 miljoen m³ aan sedimentvolume in de aanlandingsbanken aanwezig is. Dit volume is vergelijkbaar met dat van de Strandhaak. Net voor aanlanding in 1987 bedroeg het geschatte volume hiervan 30 miljoen m³. Op basis van de landwaartse verplaatsing van de aanlandingsbank is het zeer waarschijnlijk dat er in de toekomst weer een grote bankaanlanding zal plaatsvinden.



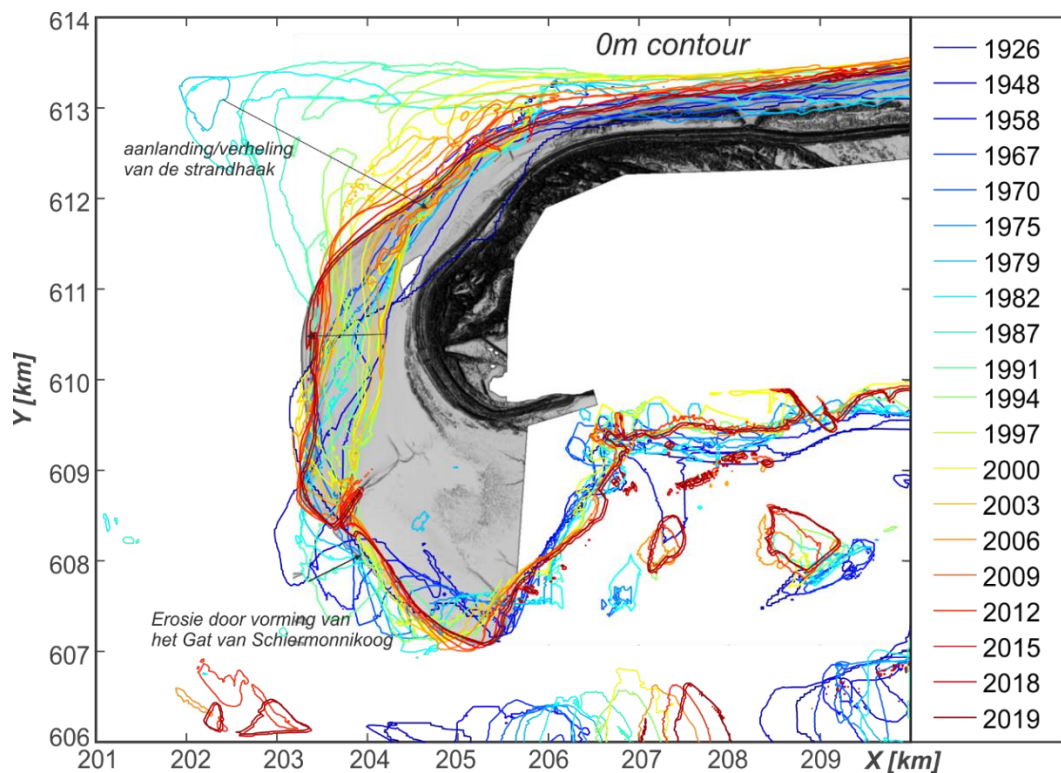
Figuur 6-3: Ontwikkeling van strandlijnen van raai 300 en raai 502 op Schiermonnikoog voor Gemiddeld Laag Water (GLW), Gemiddeld Hoog Water (GHW) en de DuinVoet (DV) over de periode 1880-2019. Bron: Elias & Oost (2021).

De oostwaarts migrerende ebschilden vormen banken en ondiepten op de Gronden van het Plaatgat. Tussen de bank en de kust ontstaat een ondiepe geul, het Plaatgat (zichtbaar in Figuur 6-4). Het Plaatgat is geen dominante stroomvoerende geul (want de diepte verandert nauwelijks), maar dit betekent niet dat de geul geen invloed uitoefent op het gedrag van de buitendelta en de kustlijn. De kustlijn verplaatst landwaarts doordat het Plaatgat ook landwaarts verplaatst. Sinds 2000 verplaatst de noordwestzijde van de eilandkop gemiddeld 30 m/jaar landwaarts. Als er voldoende zand in de buurt van het Plaatgat is, kan dit het evenwicht verstoren en is een grootschalige plaataanlanding weer mogelijk. Daarnaast is er kustlijnerosie door (lokale) golfwerking. Grote golven breken wel op de ondiepe buitendelta, maar kleinere golven kunnen ongestoord over de buitendelta landwaarts propageren om vervolgens op de kustlijn te breken. De geul Plaatgat zorgt ervoor dat de landwaartse verplaatsing van de banken vertraagt en dat het sediment kustlangs wordt afgevoerd. Aan zowel de noordoost- als aan de zuidzijde ontstaan hierdoor banken. De banken aan de noordoostzijde verhelen met de kust van Schiermonnikoog ter plaatse van Jarkusraai 500.



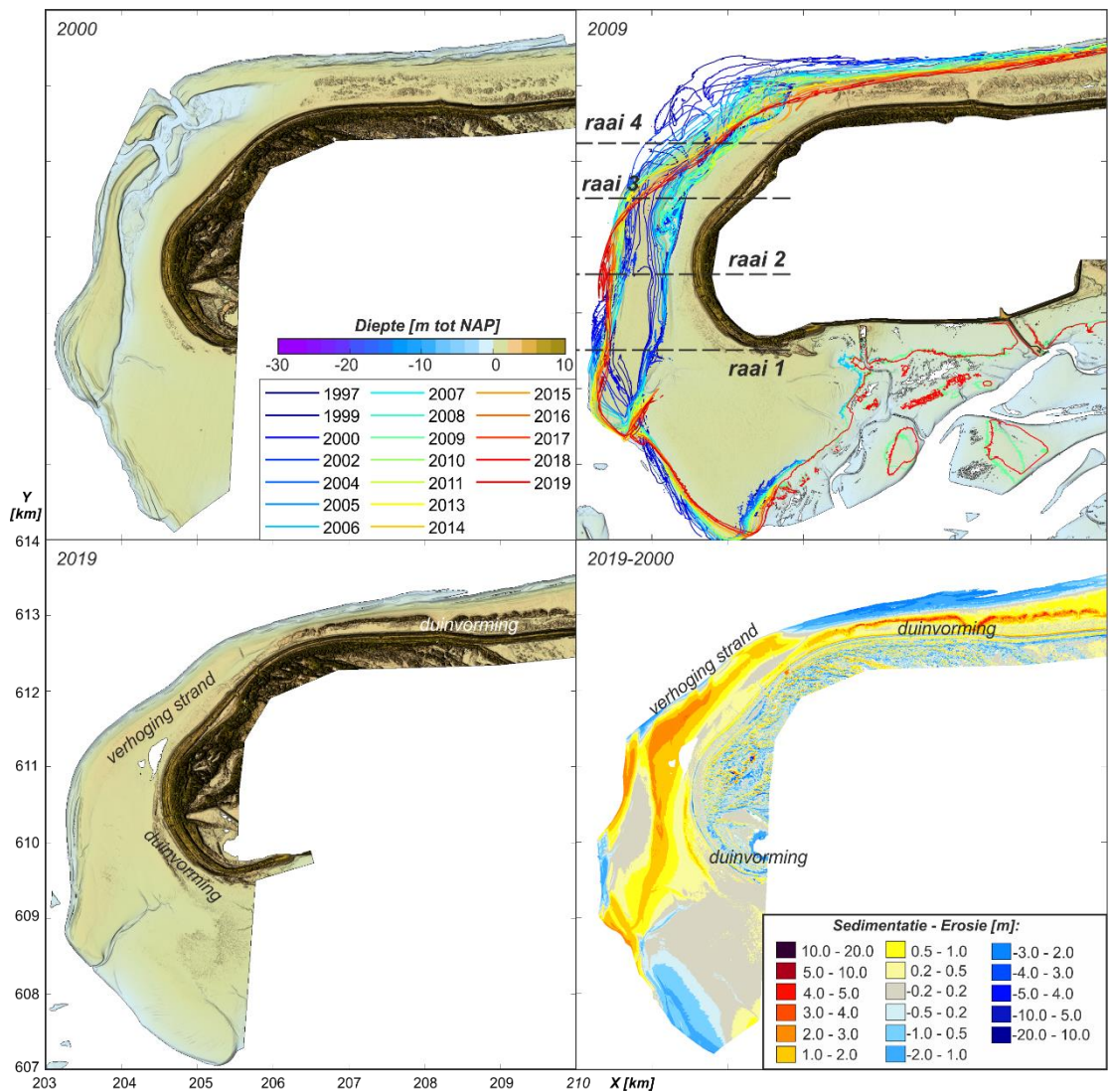
Figuur 6-4: Verplaatsing van banken over het oostelijke deel van de buitendelta tussen 2006 en 2019. (a-d) geeft de positie van de verschillende banken weer.

Figuur 6-5 geeft de kustlijnontwikkeling sinds 1926 weer op basis van de 0 m contour onttrokken uit vaklodings data. De noordwestzijde van het Westerstrand bouwt eerst sterk uit, maar trekt vervolgens terug door doorgaande verheling (en het landwaarts verplaatsen van het Plaatgat). De huidige ligging van de kustlijn wijkt hier niet veel af van de ligging vóór de afsluiting van de Lauwerszee. Aan de westkant van de eilandkop (tussen Y-km 609 en 611) was de kust eerst teruggetrokken, maar sinds 2003 wordt hier een uitbouwende kust geobserveerd. De 0 m contour ligt in 2019 weer op de locatie van de oudere contourlijnen.

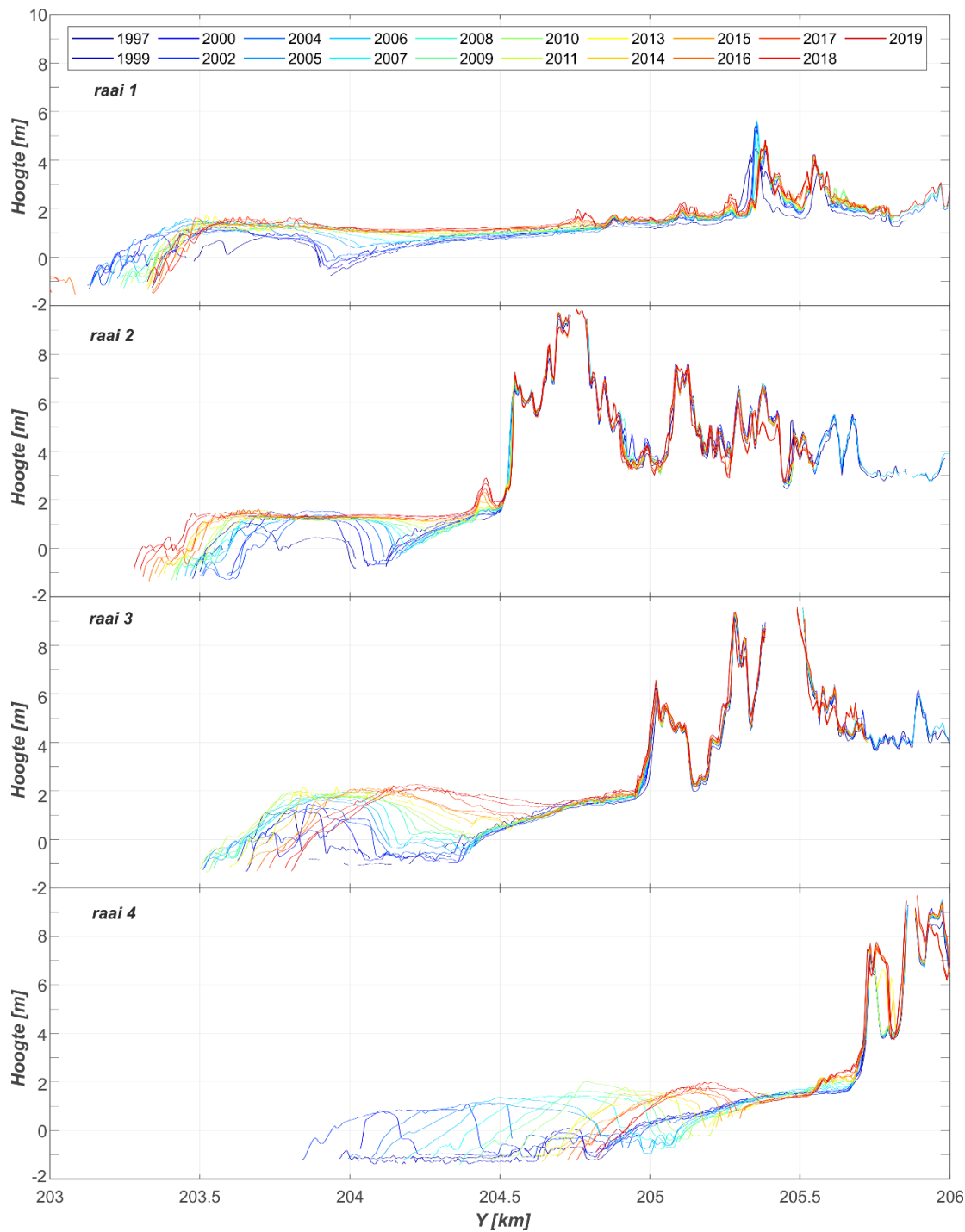


Figuur 6-5: Ontwikkeling van de kop van Schiermonnikoog, het Westerstrand, aan de hand van de 0m NAP contour gebaseerd op de Vaklodings data over de periode 1926-2019 (geprojecteerd op 2019 Lidar hoogte). Bron: Elias & Oost (2021).

De LiDAR opnamen in Figuur 6-6 geven de recente ontwikkelingen over de periode 1997-2019 in detail weer. Wat opvalt is de significante verhoging van het strand. Rond de locatie van de strandhaak trekt de kustlijn zich sterk terug, maar het achterliggende strand neemt juist door verstuiwing sterk in hoogte toe. Aan zowel de noordzijde als de zuidwestzijde is sprake van embryonale duinvorming. Het grootschalige beeld vertoont een terugtrekking van de eilandkop. In totaal is kustlijn in de westelijke punt 700 m teruggetrokken. Het merendeel van deze terugtrekking vond plaats tussen 1997 en 2006. Sinds 2009 vindt vooral een vormverandering van de eilandkop plaats: Tussen 2006 en 2008 had de eilandkop een vrijwel ronde, doorgaande vorm. Vanaf 2008 vervormt de eilandkop en vindt er vanaf de zeezijde een kleine uitbouw plaats en aan de bekkenzijde (Schiermonnikoog-zuid) juist erosie doordat hier een kleine geul (bestaande uit het Binnenplaatgat en het Gat van Schiermonnikoog) vormt. Deze geul zorgt ervoor dat er zand zeewaarts en landwaarts wordt neergelegd. Ter hoogte van X-km 205 kan een lichte uitbouw van de kust worden waargenomen. De kustlijnpositie aan de Noordzezijde blijft relatief stabiel. De strandvlakte neemt in die tijd in hoogte met ongeveer 0,5 m toe. Aan de zeewaartse zijde van de duinenrij vindt duingroei plaats.



Figuur 6-6: Ontwikkeling van de kop van Schiermonnikoog, het Weststrand, aan de hand van de Lidar data voor de bodems 2000 (a), 2009 (b), 2019 (c) en de verschilkaart tussen de jaren 2000-2019 (d). In (b) wordt tevens de ligging van de 0m contour over de gehele periode (1997-2019) getoond. De hoogteontwikkeling van raaien 1-4 wordt in Figuur 6-7 getoond. Bron: Elias & Oost (2021).

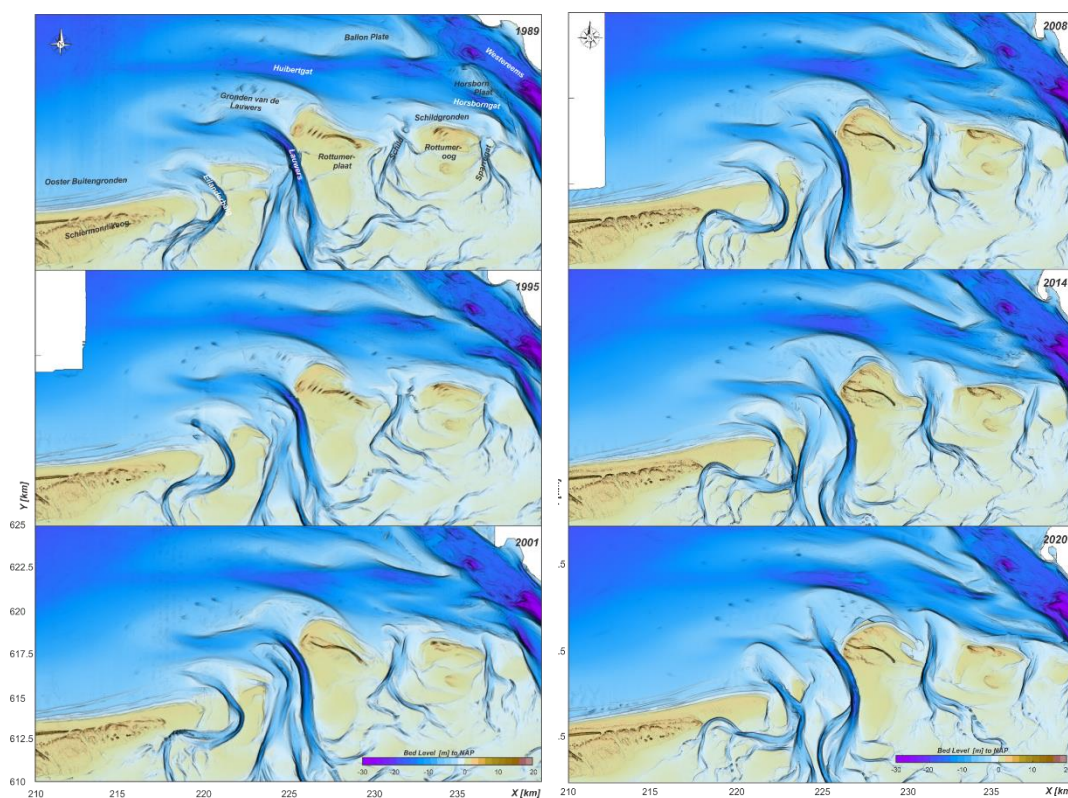


Figuur 6-7: Ontwikkeling van de kop van Schiermonnikoog aan de hand van raaien 1 tot 4 (zie Figuur 6-6 voor ligging).

6.3 Eilanderbalg

6.3.1 Algemene kenmerken

Het gebied tussen de eilandstaart van Schiermonnikoog en de Rottumerplaat is zeer dynamisch en er vormen zich kleinschalige geulen en banken (Elias et al., 2021). De diepe Eilanderbalg geul is tussen 1989 en 2020 zo'n 3,3 km naar het oosten opgeschoven (Figuur 6-8). De positie van de Lauwers was in die periode vrij stabiel. Het tussenliggende bankencomplex is daarmee sterk in breedte afgenomen. Het ebschild van de Eilanderbalg is in omvang toegenomen en had in 2020 de westelijke uitstroom van de Lauwers vrijwel dichtgedrukt. De uitstroom van de Lauwers is met de klok mee gedraaid van een westelijke uitstroom in 1989 naar een noordelijke uitstroom in 2020.

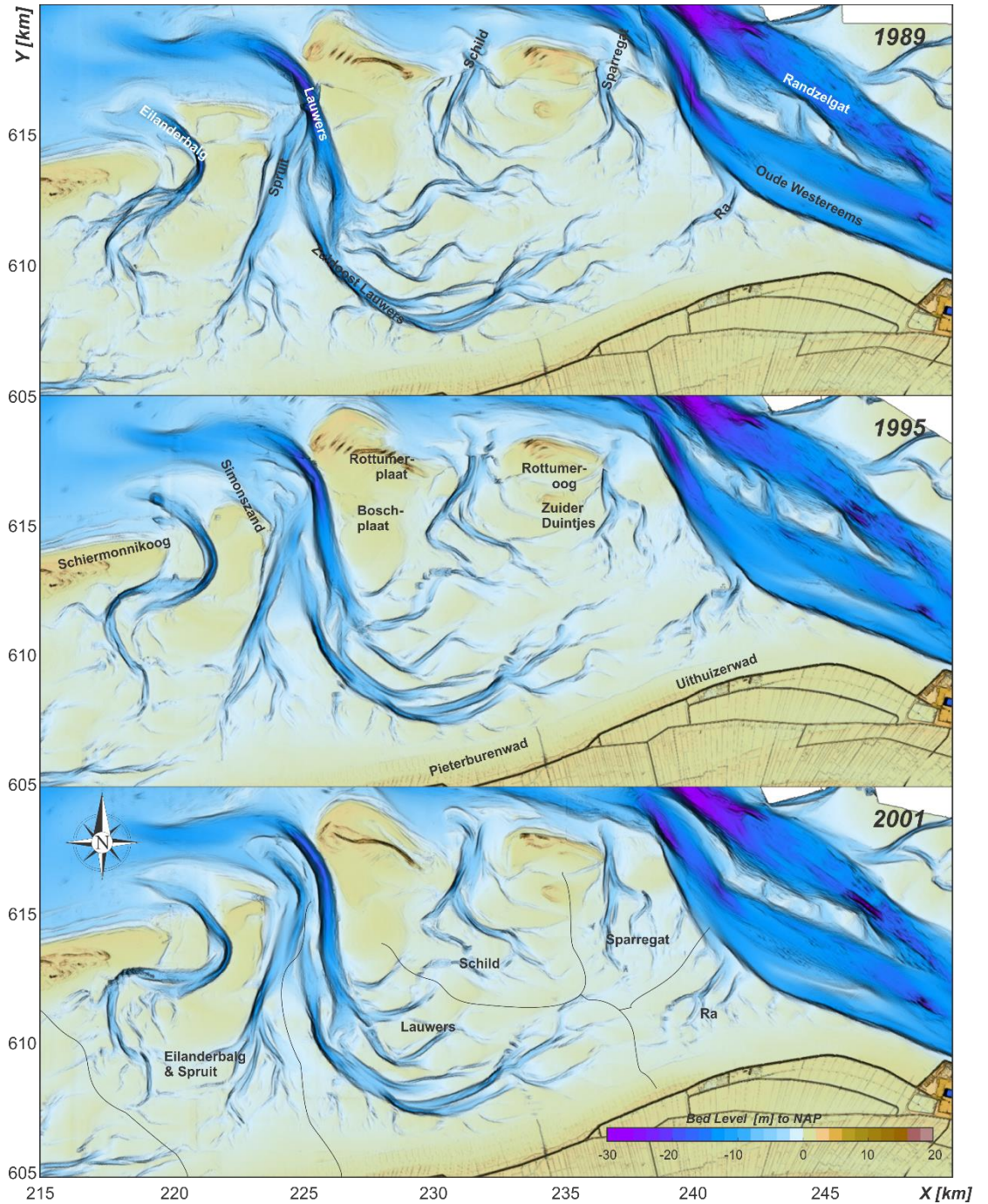


Figuur 6-8: Bodemligging van de kustzone tussen 1989 en 2020. Bron: Elias et al. (2021).

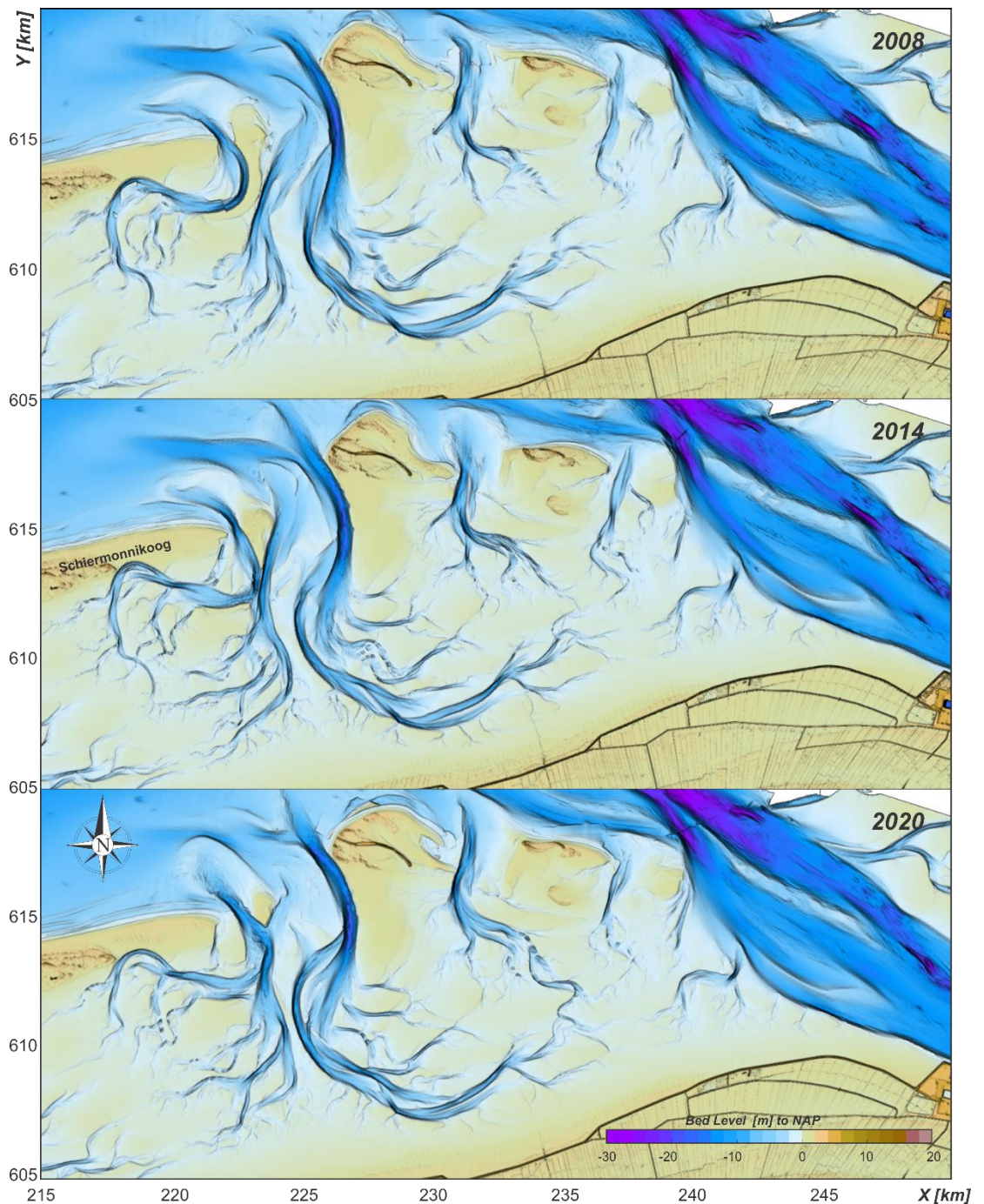
6.3.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Eilanderbalg Zeegat

Figuur 6-9 en Figuur 6-10 geven een overzicht van de bodemligging van het Groninger Wad in de periode 1989-2020 (Elias et al., 2021). Focus in deze beheerbibliotheek ligt op het geulensysteem tussen Schiermonnikoog en de Rottumerplaat. In Elias et al. (2021) wordt ook het oosten van deze figuren besproken. In 1989 wordt het bekken in het westen gedomineerd door twee grote geulensystemen: Eilanderbalg en het gecombineerde systeem van Lauwers en Spruit. Eilanderbalg strekt zich zuidwaarts en richting Schiermonnikoog uit. Tussen de Eilanderbalg geul en de Spruit bevindt zich dan nog een groot plaatoppervlak, dat aantakt op het Simonszand. In de periode 1989-2020 hebben hier grote veranderingen plaatsgevonden. Doordat de staart van Schiermonnikoog naar het oosten toe uitgroeit, worden de naastgelegen geulen en banken ook oostelijk gedruwd. Eilanderbalg is hierdoor naar het oosten verplaatst. Door deze verplaatsing is het Simonszand sterk in breedte afgenomen. Een groot deel van dit zand is zeewaarts verplaatst en heeft bijgedragen aan de vorming van het grote ebschild dat zich aan de zeezijde van de Eilanderbalg heeft gevormd. In 2014 ligt Eilanderbalg zo ver in het oosten, dat het in het bekken verbinding maakt met Spruit. In 2020 hebben deze twee geulen een gezamenlijke geul gevormd met een dominante uitstroom via

de Eilanderbalg en een kleine secundaire uitstroom richting de Lauwers. In 2020 is Spruit niet meer zichtbaar als apart geulenstelsel.



Figuur 6-9: Bodemligging van het Groninger Wad in de periode 1989-2001. Onderste figuur geeft een indicatie van de 5 deelsystemen die zich in 2013 op het Groninger Wad hebben gevormd. Bron: Elias et al. (2021).



Figuur 6-10: Bodemligging van het Groninger Wad in de periode 2008-2020. Bron: Elias et al. (2021).

Voor zover te volgen draaien de zeegatgeulen in oostwaartse richting en worden van tijd tot tijd nieuwe doorbraken westelijk ervan gevormd. Van tijd tot tijd werden platen liggend boven GHW gevormd in de mond die ook oostwaarts migreerden. Als (een deel van de) geulen tussen Schiermonnikoog en de plaat opgevuld raakten konden deze platen zich verhelen met het eiland Schiermonnikoog. Dit gebeurde bijvoorbeeld rond 1600 en opnieuw rond 1848 (Oost, 1995).

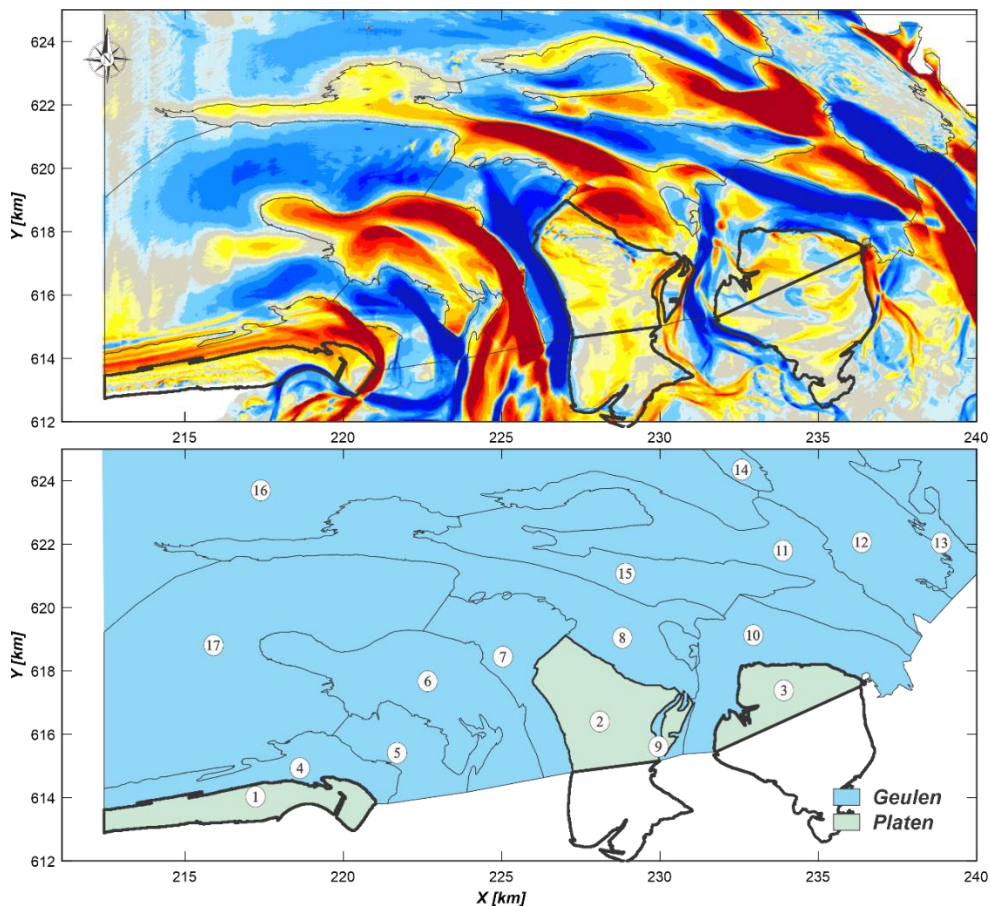
Door de kleine afmetingen is dit zeegat erg gevoelig voor overnames van getijdeareaal in het kombergingsgebied door de meer westwaarts gelegen Zoutkamperlaag en de oostwaarts ervan gelegen Zeegat van de Lauwers. Na de afsluiting van de Lauwerszee verschoof het wantij van de Zoutkamperlaag en Eilanderbalg over meerdere kilometers naar het oosten, ten

koste van het Eilanderbalg-kombergingsgebied (zie Appendix A en B). Tussen 1970 en 1979 namen de dimensies van de Eilanderbalg dan ook sterk af in getijdvolume, areaal en natte doorsnede. Na verondieping van de hoofdgeul van de Zoutkamperlaag verschoof het wantij deels terug in westwaartse richting en werd de Eilanderbalg weer groter.

De sterke oostwaartse verlegging van de Eilanderbalg resulteerde erin dat sinds 1972 Schiermonnikoog oostwaarts over 5 km is aangegroeid. De Eilanderbalg werd ondieper in de periode 1989-1994, maar de diepte nam weer toe in de periode 1994-2014 (Van Rooijen & Oost, 2015). In 2014 maakte de Eilanderbalg in het bekken verbinding met Spruit en in 2020 hebben de twee geulen een gezamenlijke geul gevormd met een dominante uitstroom via de Eilanderbalg en een kleine secundaire uitstroom richting Lauwers. Spruit is in 2020 niet meer zichtbaar als apart geulenstelsel.

6.3.3 Morfologische ontwikkeling van de kustlijn

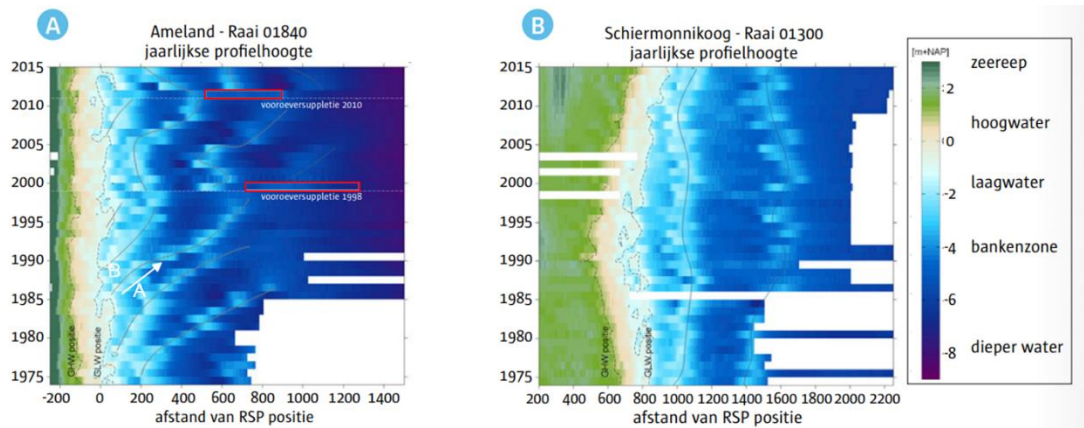
Hierboven is al beschreven dat de staart van Schiermonnikoog oostwaarts sterk is gegroeid. De sedimentatie-erosie kaart uit Elias et al. (2021) (Figuur 6-11) geeft een goed beeld van de opgetreden bodemhoogteverandering over de periode 1989-2020. We focussen in deze beheerbibliotheek op de veranderingen rondom Schiermonnikoog. In Elias et al. (2021) staan ook de veranderingen rondom Rottumerplaat en Rottumeroog beschreven. De volumeverandering boven de -1.5 m NAP, nr 1 in Figuur 6-11, beschrijft de volumeverandering van het zeevaartse deel van Schiermonnikoog. Schiermonnikoog neemt met 8,1 miljoen m³ toe. Gemiddeld betekent dit dat Schiermonnikoog (over het betreffende polygoon) 103 cm in hoogte is toegenomen. Deze volumetoename treedt over de gehele periode op, alleen is de toename voor 2010 hoger dan na 2010. Voor de kust van Schiermonnikoog (polygoon 4) neemt de ondiepe vooroever met 19 miljoen m³ sediment toe. Informatie over het kombergingsgebied van het Groninger Wad is te vinden in het Kombergingsrapport Lauwers en Groninger Wad (Elias & Cleveringa, 2021).



Figuur 6-11: Overzicht van de morfologische veranderingen over de periode 1985/1989 – 2020 aan de hand van het sedimentatie-erosie patroon (boven). Onderste figuur geeft onderscheid tussen plaat- en geulgebieden en nummering van de deelpolygonen weer. Bron: Elias et al. (2021).

6.4 Centrale eilandkust

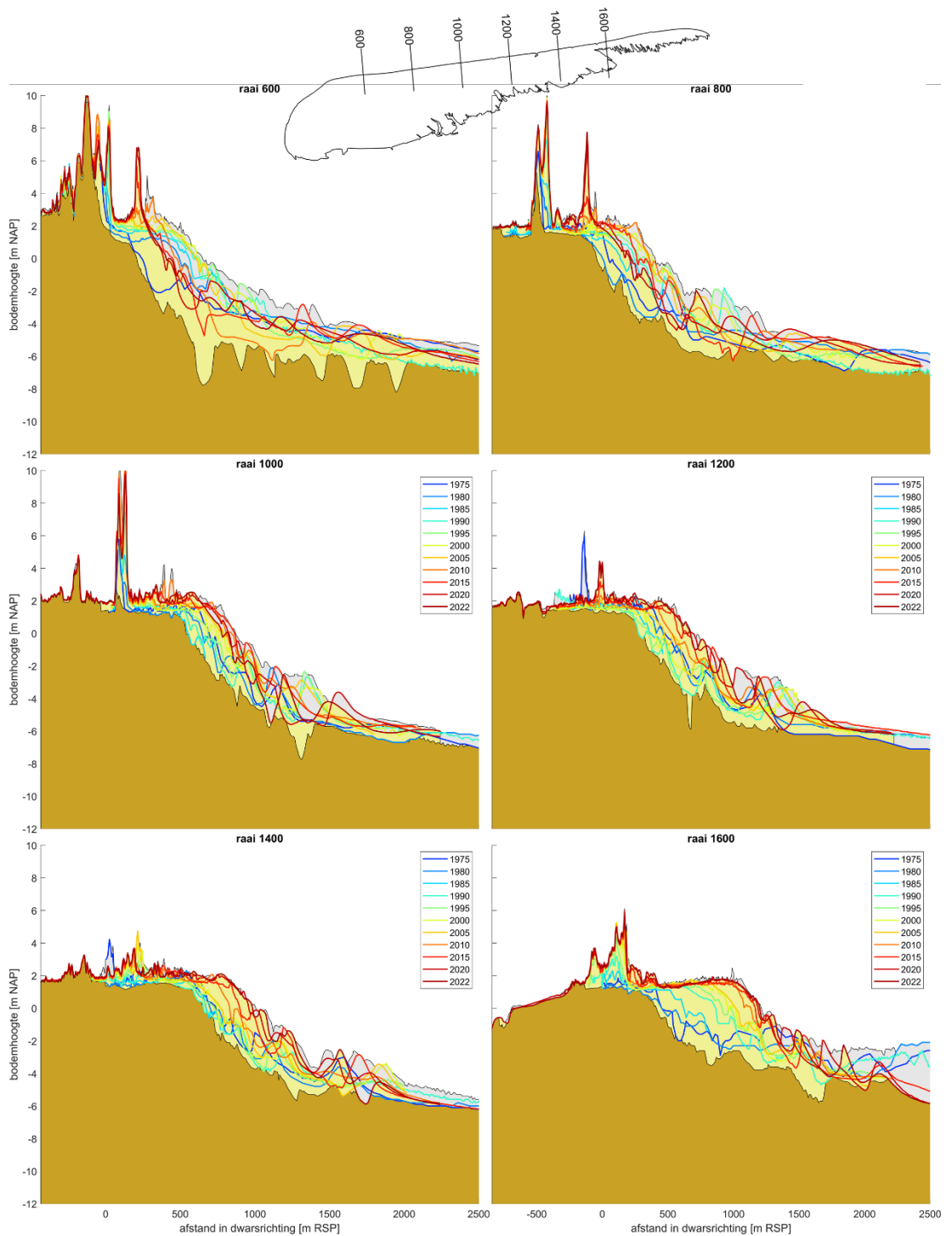
De vooroever van Schiermonnikoog bestaat uit een dynamisch patroon van zandbanken. Het bankgedrag van Schiermonnikoog is anders dan bij de andere Waddeneilanden (Figuur 6-12). Het profiel is minder steil, er zijn slechts twee banken en de banken liggen stabiel. De onderlinge afstand tussen de banken neemt toe in oostelijke richting. De kust van Schiermonnikoog is tot op heden nog niet beïnvloed door suppleties uitgevoerd op het eiland zelf. De kustlijnbeoordeling van 1 januari 2023 toont echter aan dat de BKL is overschreden op de Westkop van Schiermonnikoog (zie 7.3.1).



Figuur 6-12. Timestack van het profiel op een locatie in Ameland (A) en een locatie op Schiermonnikoog (B). In een 'timestack' worden de profielen van opeenvolgende jaren bovenop elkaar geplaatst. De Y-as geeft de jaren weer en de X-as de afstand tot de kust. De lijnen geven schematisch de locatie van de banktoppen aan. De rode omkadering zijn de vooroeverstapelingen op deze locatie. Ter illustratie van het cyclische bankgedrag: A (in Figuur A) geeft het zeewaarts migreren van de bank in de tijd weer waarbij op locatie B een nieuwe bank wordt gevormd welke vervolgens ook zeewaarts gaat migreren. Bron: Brochure Deltares (2015).

Figuur 6-13 laat Jarkus profielen zien voor zes raaien langs de centrale eilandkust tussen 1975 en 2021. Raai 600 en 800 laten zien dat het strand tussen ca. 1975 en 2000 zeewaarts uitbouwde. Dit hangt waarschijnlijk samen met de sediment bypassing cycli als gevolg van de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 (zie bijvoorbeeld 6.2.2). De sediment bypassing cycli zorgen ervoor dat sediment langs het buitendelta front landwaarts migreert en aan de noordzijde van de eilandkop met de kust van Schiermonnikoog verheelt. Een deel verplaatst over het platform zuidoostwaarts richting het centrale deel van de eilandkop (Oost et al., 2020). De aanlanding van de Strandhaak rond 1990 heeft de periodiciteit van bankaanlandingen verstoord. In de raaien verder naar het oosten, vindt deze uitbouw van de kust later plaats. Mogelijk komt dit doordat het even duurt voordat zand dat is aangeland op de kop oostwaarts is verplaatst. Na 2000 stopt de zeewaartse uitbreiding in het westen, waarna terugtrekking in landwaartse richting volgt. Deze terugtrekking verplaatst zich oostwaarts en treedt rond 2020 op halverwege het eiland (bijv. raai 1200).

Verder laat Figuur 6-13 zien dat het meest recente profiel (geel) lager ligt dan het maximum profiel uit de gehele periode (grijs). Het meest recente profiel ligt wel hoger dan het minimum profiel uit de gehele periode (bruin). De positie van het maximum profiel samen met het aanlanden van een grote zandplaat (de Strandhaak) op de kop van Schiermonnikoog in de periode 1969-1990. Daarna is het zand kustlangs verspreid en is het profiel dus lager komen te liggen. Op de locatie van raai 1000 en 1200 heeft er dicht bij de kustlijn vooral sedimentatie plaatsgevonden in de gehele periode (het meest recente profiel is bijna gelijk aan het maximum profiel). De profielen laten wel zien dat er zo'n 1 km uit de kust wel erosie op heeft getreden. Dit hangt mogelijk samen met het zeewaarts verplaatsen van de banken en daarmee ook de geul tussen de banken in. Meer naar het oosten (raai 1400 en 1600) vindt sterke sedimentatie plaats. Zo'n 2 km uit de kust vindt wel wat erosie plaats.



Figuur 6-13. Jarkusraaien voor de periode 1975-2022 langs de centrale eilandkust van Schiermonnikoog (600, 800, 1000, 1200, 1400 en 1600). Het bruine vlak is het minimum profiel, het grijze vlak het maximum profiel en het gele vlak het meest recente (2021) profiel.

6.5 Dynamiek van de duinen

6.5.1 Dynamiek in de zeeleep

Binnen het KPP Beheer en Onderhoud Kust programma is het onderdeel “Natuurlijk Veilig” opgenomen. Dit onderdeel van het programma onderzoekt onder andere of, en hoe, de ruimtelijke planning en uitvoering van suppleties (locatie/frequentie) kan bijdragen aan het maximaliseren van biodiversiteit van duinlandschappen op Nederlandse schaal, door

gedifferentieerd landschapsbeheer toe te laten zonder andere functies in het gedrang te brengen. Er zijn twee rapporten over verschenen (IJff et al. 2019 en Groen et al. 2019) en de data is openbaar beschikbaar. Zie www.natuurlijkveilig.nl.

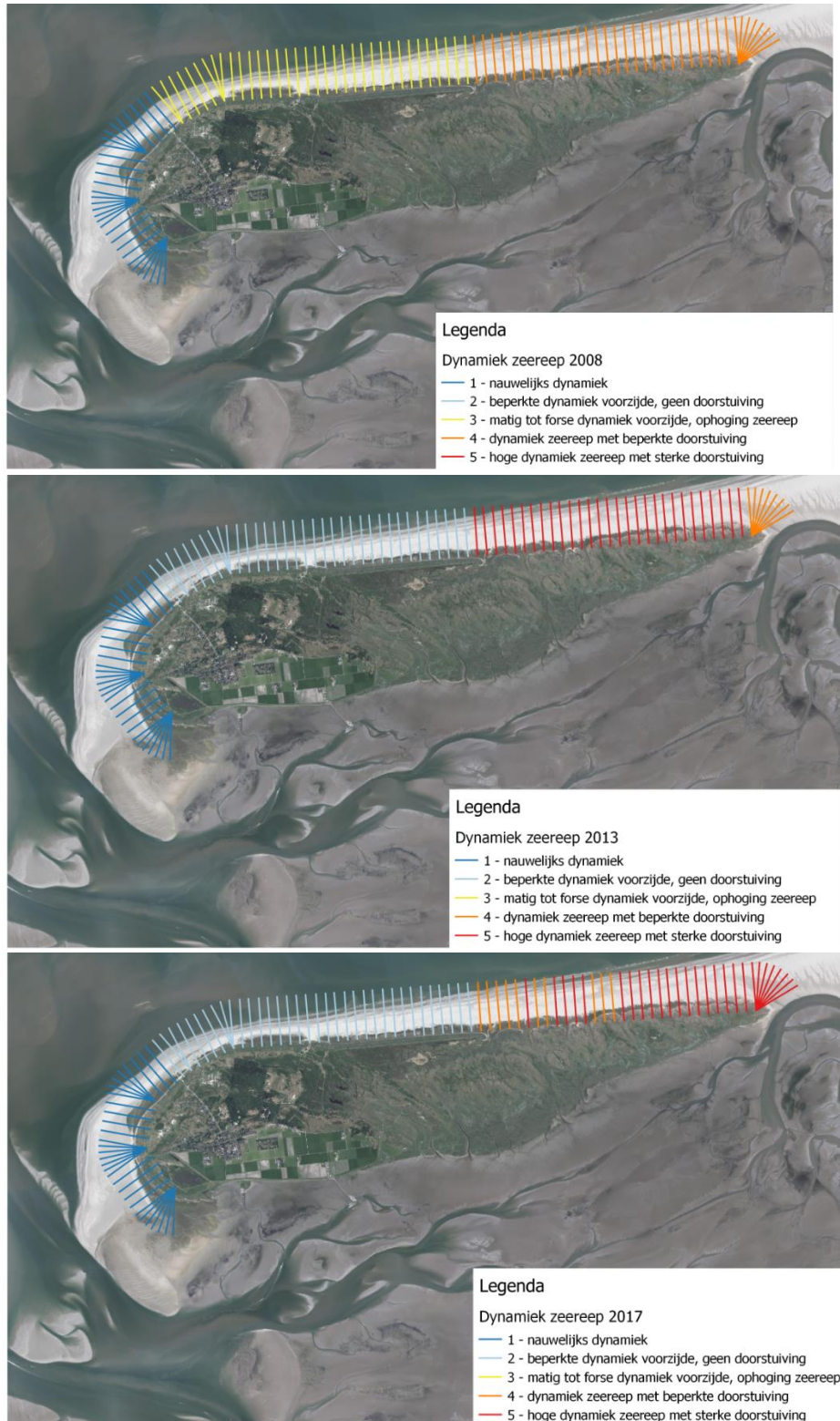
In Natuurlijk Veilig wordt de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde 'responstypen' (Tabel 6-1). Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter 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 Jarkusraai het responstype bepaald. Met hoogteverschilkaarten is het aantal centimeter sedimentatie en erosie bepaald, en met een combinatie van de hoogtekaart en de luchtfoto 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 Jarkusraai.

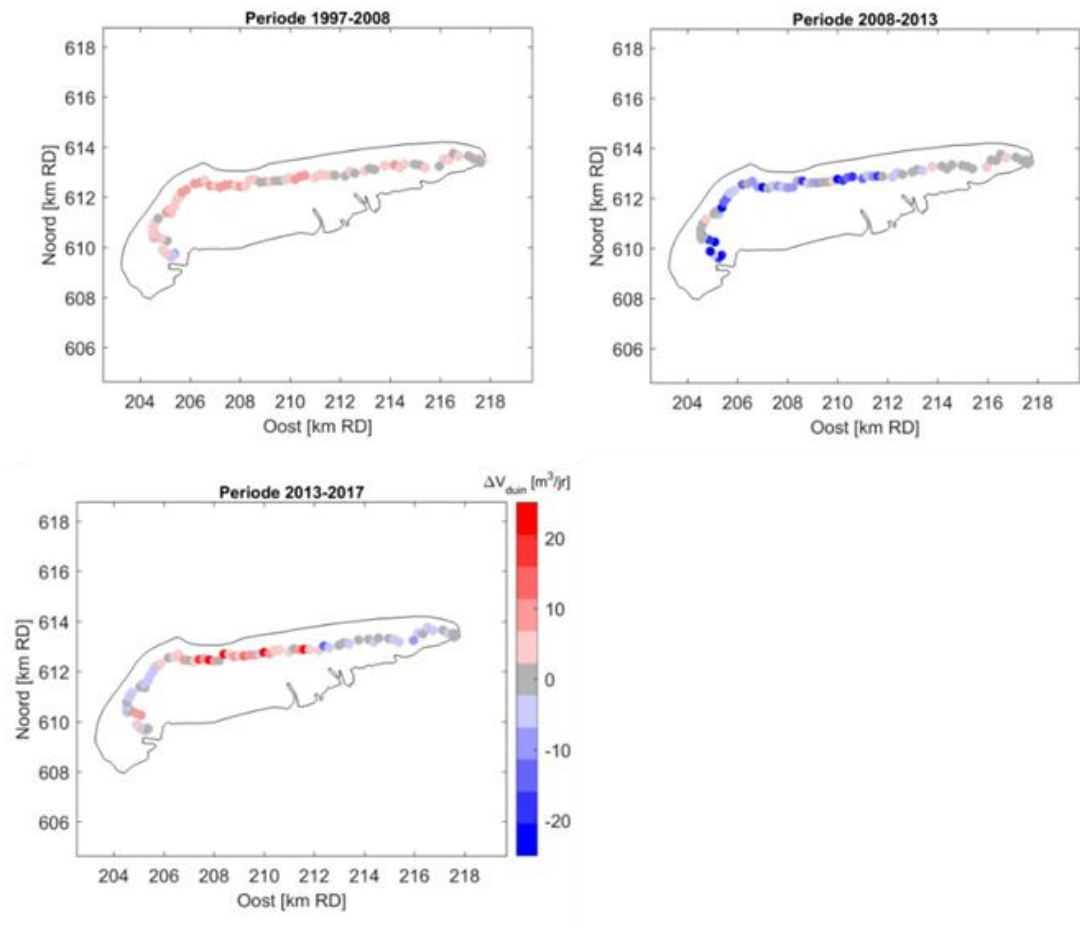
Responstype	Criteria
0 - Geen zandige kust	<ul style="list-style-type: none"> • Bijvoorbeeld een dijk of boulevard
1 - Nauwelijks dynamiek	<ul style="list-style-type: none"> • Geen sedimentatie op de kruin of achter de zeereep • Geen embryonale duinen • Evt. lichte sedimentatie* aan duinvoet (10-50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak)
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 achter de zeereep (10-50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak)
5 - Gekerfde zeereep met sterke doorstuiving	<ul style="list-style-type: none"> • Sterke sedimentatie vóór en op de kruin van de zeereep (>50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak tussen twee Jarkusraaien in) • Aanwezigheid van kerven die de zeereep helemaal doorklieven • Evt. aanwezigheid van stuifkuilen achter de zeereep • Sterke sedimentatie achter de zeereep (>50 cm in 5 jaar voor 10% van het oppervlak)

De dynamiek van de zeereep op Schiermonnikoog is vooral hoog op de eilandstaart, ten oosten van raai 1060. Sinds 2008 is de zeereep daar dynamischer geworden, met meer kerven (Figuur 6-14). De stuifdijk is sinds 2008 juist minder dynamisch geworden. Mogelijk doordat het zand al in de embryoduinen op het strand wordt vastgelegd. De duingordel aan de westzijde van het eiland wordt onderhouden als zeewering en doorstuiving wordt niet getolereerd. De zeereep heeft in het westen dan ook een statisch karakter.

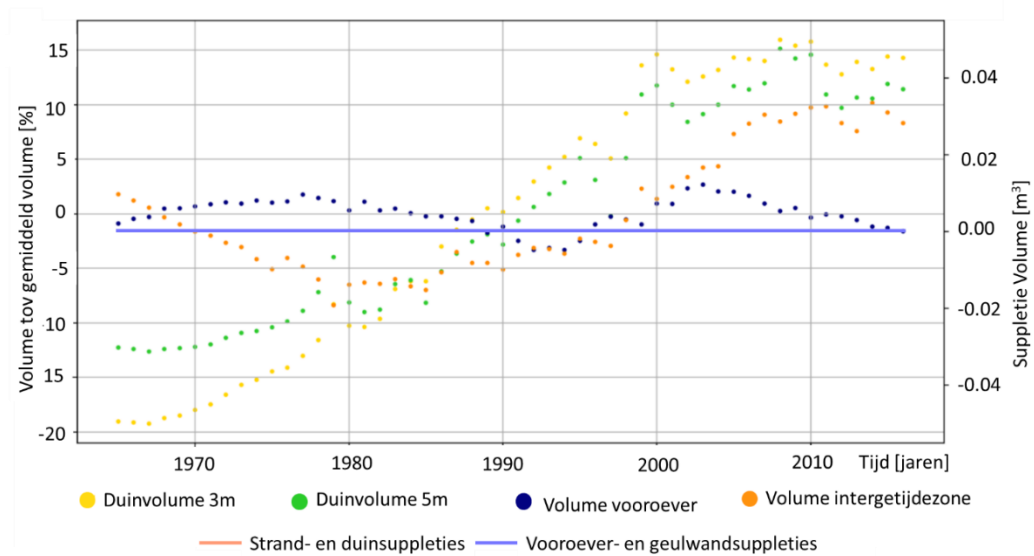
De zeereep van Schiermonnikoog laat een toename in volume zien, vooral in de periodes 1997-2008 en 2013-2017 (Figuur 6-15). Dit wordt veroorzaakt door de natuurlijke aanvoer van zand door aanlandende zandplaten, er zijn immers geen suppleties uitgevoerd (Figuur 6-16).



Figuur 6-14 Dynamiek in de zeereep in 2008 (boven), 2013 (midden) en 2017 (onder). (IJff et al. 2019).



Figuur 6-15 Volumeveranderingen van de zeereep MSL +3m in de perioden 1997-2008, 2008-2013 en 2013-2020. (Jff et al. 2019)



Figuur 6-16 Volumeverandering in Schiermonnikoog van de zeereep (berekend met een duinvoet van 3m en 5m), de vooroever en de intergetijdzone (stippellijnen) en de volumeverandering van vooroeversuppleties (inclusief geulwandsuppleties, blauwe lijn)

6.5.2 Dynamisch beheer

De zeereep is de laatste 30 jaar aanzienlijk vast komen te liggen en vol gegroeid. Dat heeft gevolgen voor het landschap en de biodiversiteit. Soms is menselijk ingrijpen nodig om een zeereep die vroeger als stuifdijk actief is vastgelegd (door o.a. helm planten), weer dynamisch te krijgen zodat er kerven en stuifkuilen ontstaan. In het kader van het beheerplan Natura2000 is er een opgave om meer stuivend duin te krijgen. Er is de ambitie om buiten de primaire waterkering dynamiek te herstellen waardoor de zee en wind vrij spel krijgen om het landschap te vormen. Daarom is bij de buitenste duinen tussen raai 500 en 600 door de beheerder Natuurmonumenten een project uitgevoerd 'Verstuiving van de zeereep' in het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS). Het ontwerp is gemaakt door Bas Arens (Arens 2016), waarna door Eelerwoude een definitief ontwerp is opgesteld (Verhoef 2016). Het project is uitgevoerd in twee winters: 2020-2021 en 2021-2022. Er is circa 6,5 hectare geplagd. Het voornaamste doel van het project is het herstel van het habitattypen Grijze Duinen. In dit gebied, de Noorderduinen, zijn nog wat mooie bloem- en korstmosrijke duingraslanden maar die staan als gevolg van vergrassing en verstruiking sterk onder druk. Natuurmonumenten hoopt dat deze vegetaties zich in het geplagde gebied gaan herstellen en dat er bovendien kalkrijk zand vanaf het strand via de plagplek verder landinwaarts kan waaien (pers. comm. Natuurmonumenten).

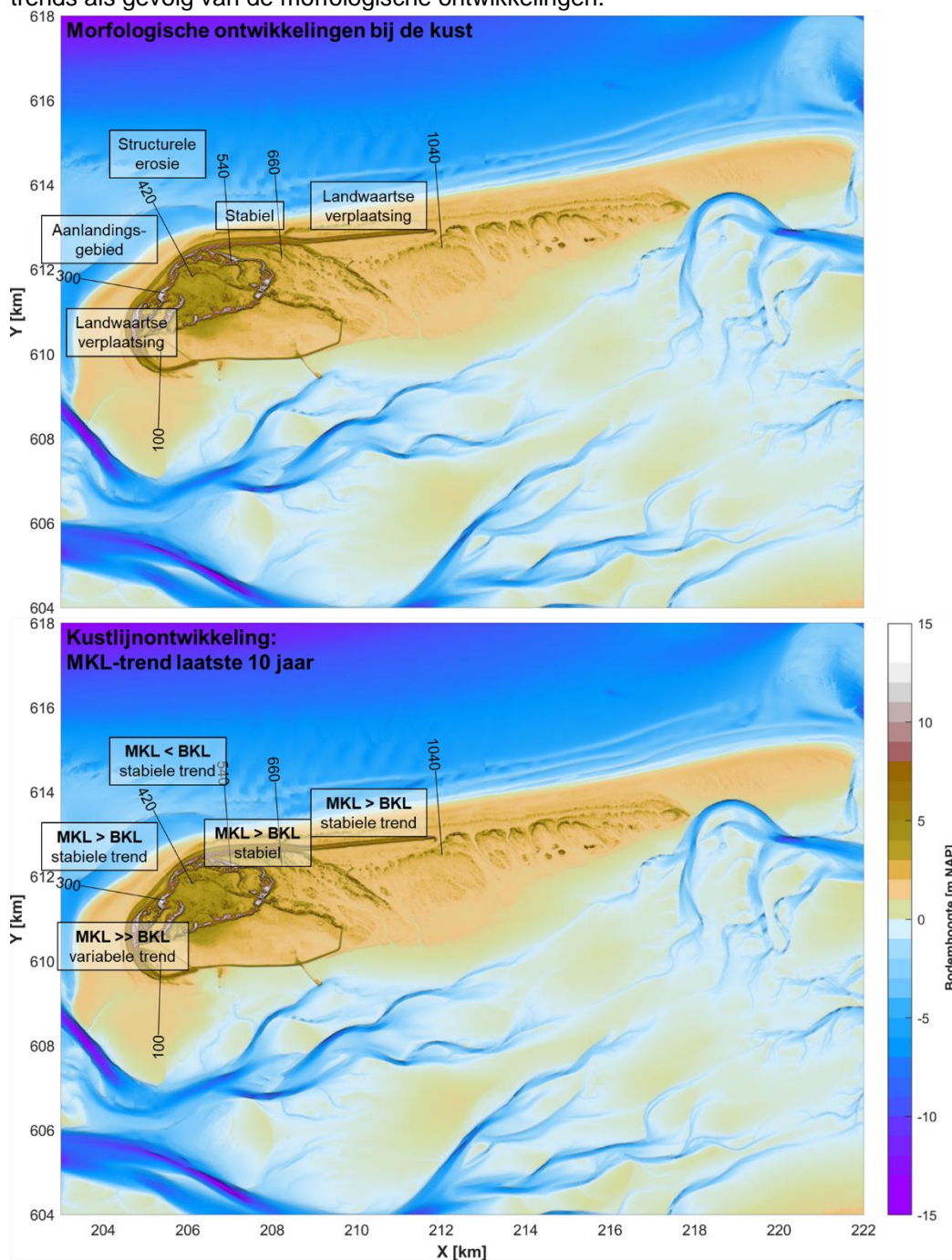
Daarnaast was er de wens voor het realiseren van een overslagvlakte tussen raai 700 en raai 1000. Deltares heeft hier in 2018 een haalbaarheidsstudie voor uitgevoerd. Het bleek dat een overslagvlakte niet haalbaar is vanwege de aanwezigheid van het groene strand, de veiligheid van de primaire waterkering en de kosten. Daarom worden er door Natuurmonumenten alternatieven uitgewerkt voor het terugbrengen van de dynamiek (SWECO 2019).

Een overzicht van de verschillende maatregelen en een toelichting over de uitvoering is te vinden in het rapport Evaluatie BIP+ Nationaal Park Schiermonnikoog (SWECO 2019).

7 Kustlijnontwikkeling

7.1 Hoofdlijnen

Op basis van de morfologische kenmerken uit Hoofdstuk 6 zijn enkele deelgebieden onderscheiden, opgedeeld tussen Jarkusraaien: 100-300, 300-420, 420-540, 540-660 en 660-1040. Figuur 7-1 geeft de hoofdlijnen weer van de algemene kenmerken van de MKL-trends als gevolg van de morfologische ontwikkelingen.



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

De kust van Schiermonnikoog wordt vooral gekenmerkt door verticale en horizontale groei. Dit hangt vooral samen met de toename van sedimentaanvoer als gevolg van het kleiner worden van het kombergingsgebied door afsluiting van de Lauwerszee. In het westen vindt er echter structurele erosie van de kustlijn plaats. Dit komt doordat een zandplaat het kuststelsel binnendringt en richting de kust migreert, waardoor de geul Plaatgat de kust in wordt gedrukt.

7.2 Zandsuppleties

Schiermonnikoog is een uniek kustvak in Nederland, aangezien hier nog tot op heden nog nooit is gesuppleerd. Er wordt echter wel een achteruitgang van de ligging van de kustlijn waargenomen. De kustlijnbeoordeling van 1 januari 2023 toont aan dat de BKL op de Westkop van Schiermonnikoog (raai 440-540) daardoor is overschreden. Daarom wordt het onderwerp suppleren de laatste jaren steeds vaker opgebracht.

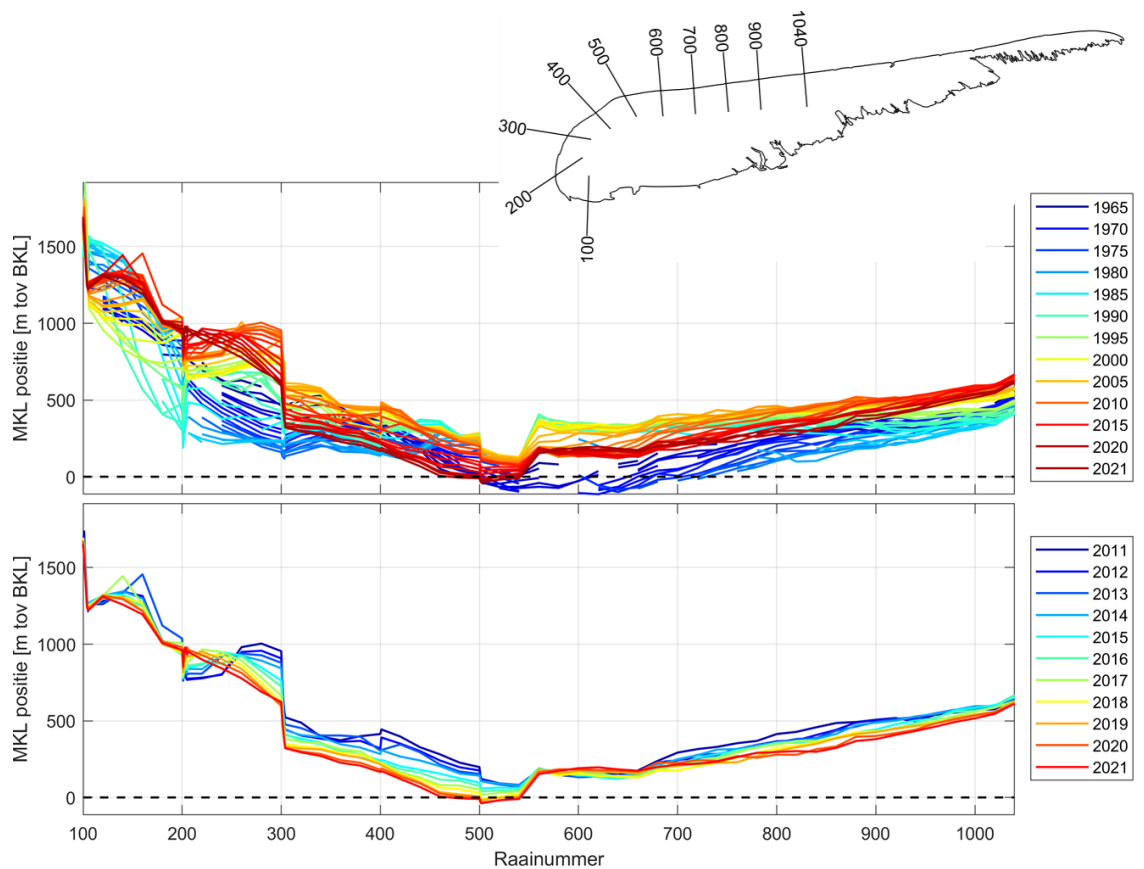
7.3 Ontwikkeling kustindicatoren

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

7.3.1 MKL – BKL

De MKL-positie (voor definitie, zie Hoofdstuk 3) representeert de jaarlijkse kustlijnligging en wordt vergeleken met de BKL. Figuur 7-2 geeft de MKL ontwikkeling voor 1965 tot 2021 (boven) en de laatste 10 jaar (onder).

De positie van de MKL langs de zuidwestkust van Schiermonnikoog was behoorlijk dynamisch. Globaal heeft de positie zich tussen 1965 en 2011 zeewaarts verplaatst. De laatste tien jaar lijkt de positie weer wat meer landwaarts te verplaatsen, dit hangt mogelijk samen met de ontwikkeling van het Gat van Schiermonnikoog. De positie van de MKL ligt steeds verder landwaarts tussen raai 300 en 500, langs de noordwestkop. Dit hangt mogelijk samen met verheling van de Strandhaak. Dit is ook goed te zien in de laatste tien jaar, waarin de positie van de MKL steeds verder landwaarts verplaatst is. Tussen raai 500 en 600 lag de MKL rond de jaren '70 verder landwaarts dan de BKL. Rond 1990 is de positie snel zeewaarts verschoven (door aanlanding van de Strandhaak), waarna het weer langzaam landwaarts verplaatste. Deze landwaartse verplaatsing hangt samen met de structurele erosie van de kustlijn doordat een zandplaat het kuststelsel binnendringt en richting de kust migreert, waardoor de geul Plaatgat de kust in wordt gedrukt. Dit heeft ertoe geleid dat de MKL positie landwaarts van de BKL kwam te liggen tussen raai 440 en 540 tijdens de kustlijnbeoordeling van 1-1-2023. De verwachting is dat deze erosie op termijn zal overgaan in natuurlijke aanzanding door verheling van de zandplaat met de kust, maar het is onzeker of dit op termijn van enkele jaren al zal gebeuren. De positie van de MKL langs de centrale eilandkust (raai 600-1040) is redelijk stabiel.

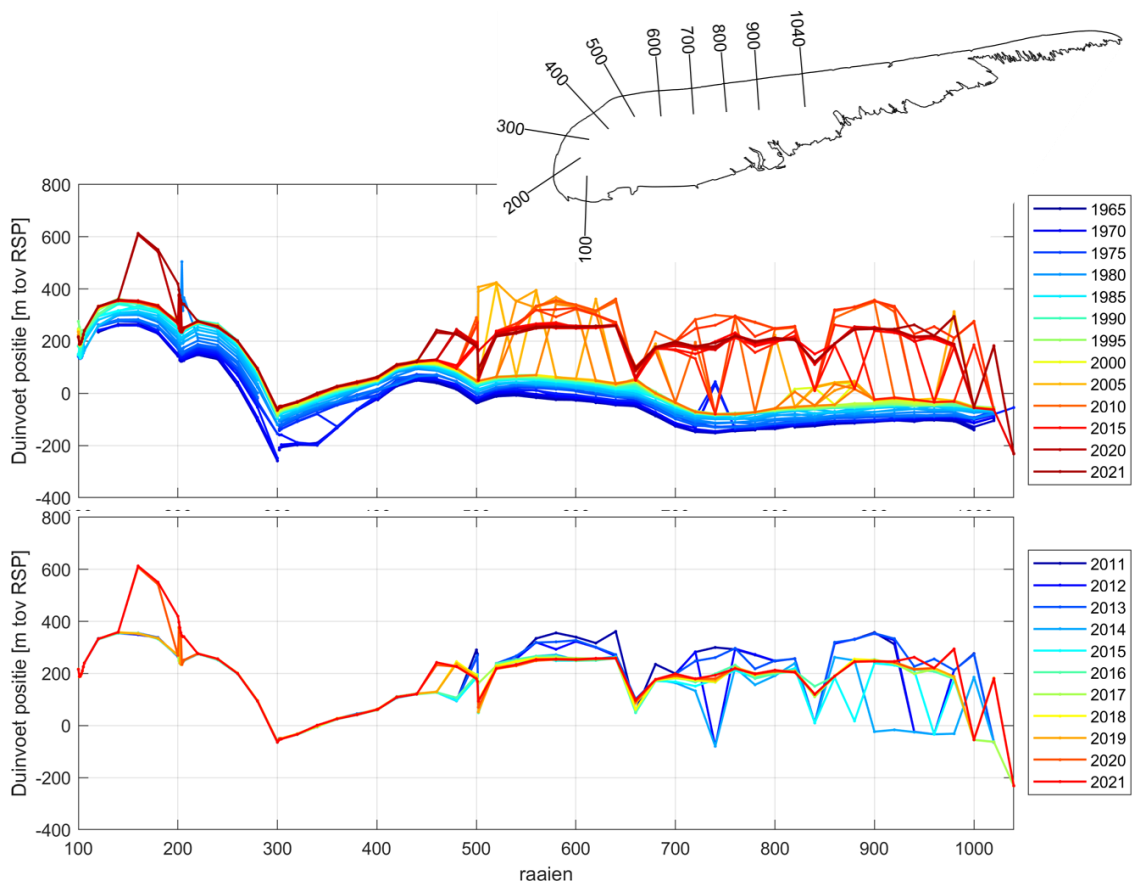


Figuur 7-2. Ontwikkeling MKL positie t.o.v. BKL (zwarte stippellijn) over de periode 1965 tot 2021 (boven) en de laatste 10 jaar (onder).

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 7-3 wordt de ontwikkeling van de DV tussen 1965 en 2021 en de laatste 10 jaar weergegeven langs de kust van Schiermonnikoog. De figuur laat zien dat de positie van de duinvoet tussen 1965 en 2000 vrij constant zeewaarts verplaatste. Tussen 2000 en 2011 zitten er, met name langs de Noordzeekust, grote sprongen in de positie van de duinvoet. Na 2011 is de positie van de duinvoet weer constanter langs de kust. De satellietbeelden in Figuur 7-4 laten zien dat er in 2005 voor de stuifdijk veel embryoduintjes aanwezig zijn met gaten tussen onderlinge duintjes. In 2018 is het duinvoet voor de stuifdijk volledig aaneengesloten en zeewaarts verplaatst. Dit kan de sprongen in de grafieken verklaren.



Figuur 7-3 – Ontwikkeling duinvoet positie t.o.v. RSP over de periode 1965 tot 2021.



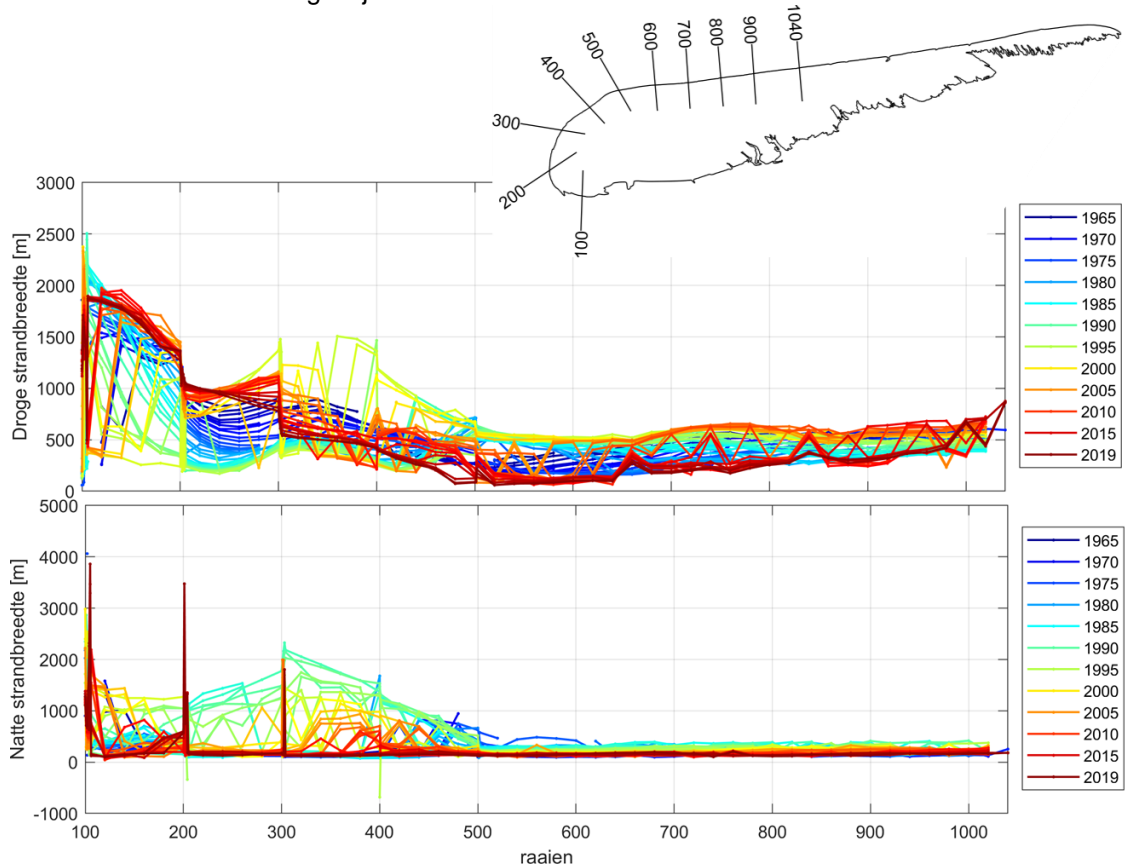
Figuur 7-4. Google Earth afbeeldingen van de duinvoet tussen raai 500 en 1040 voor 2005 en 2018.

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 A3 voor de berekeningsmethode). In Figuur 7-5 staat de ontwikkeling van de droge en natte strandbreedte tussen 1965 en 2019 langs de kust van Schiermonnikoog.

De figuren laten duidelijke variatie zien in de strandbreedte langs de westkop van het eiland. Langs de centrale eilandkust (raai 600-1040) is zowel de droge als natte strandbreedte vrij constant. Tussen raai 100 en 300 (langs de zuidwestkop) nam de droge strandbreedte tussen 1965 en ca. 1990 eerst af, waarna de strandbreedte vanaf de jaren 2000 weer toenam. De natte strandbreedte is hier in die periode afgenomen. Langs de noordwestkop (raai 300-500) varieerde de droge strandbreedte tussen 1965 en 2019. In deze periode nam de natte strandbreedte eigenlijk alleen maar af.



Figuur 7-5. Ontwikkeling droge (boven) en natte (onder) strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 voor alle raaien bij de kust van Schiermonnikoog. .

7.3.4 Faalkans eerste duinenrij/zeereep

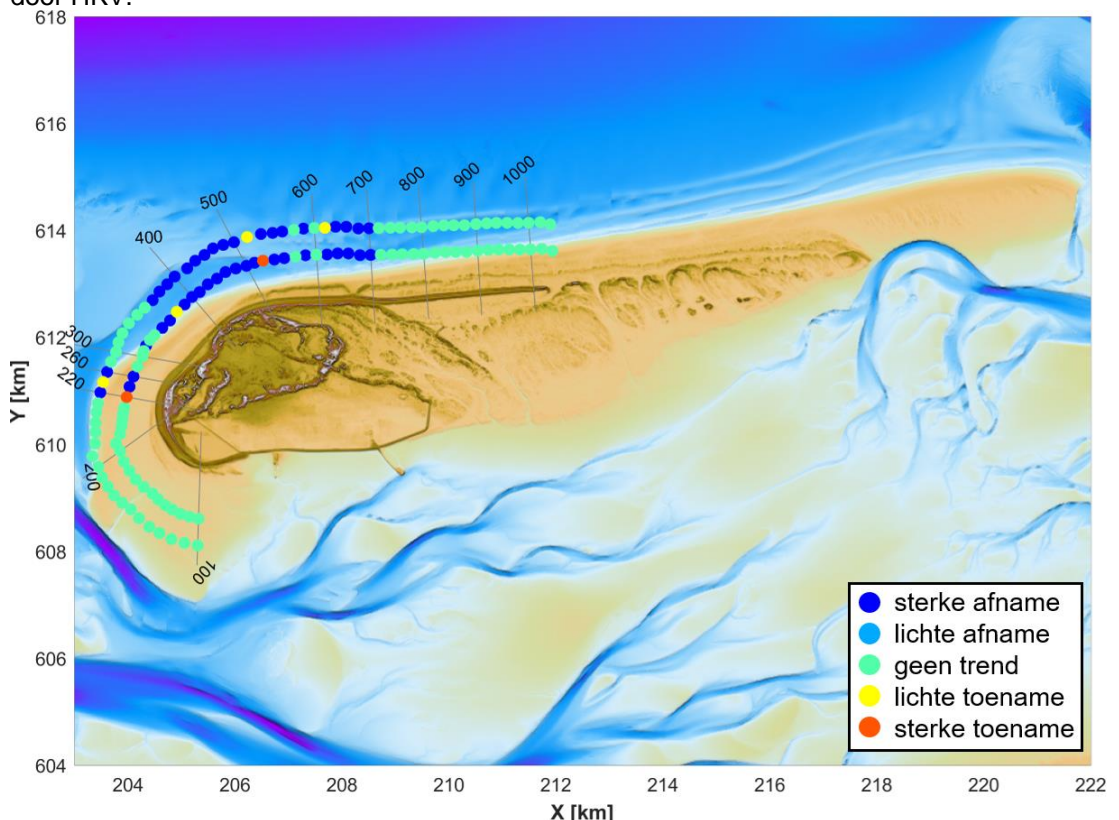
De wettelijke beoordeling van de duinen als primaire waterkering is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende condities. Bij deze beoordeling komt geen informatie beschikbaar over het effect van suppleties op de ontwikkeling van de veiligheid. Om dit effect in beeld te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

De hierbij berekende faalkansen hebben geen officiële betekenis voor de faalkans van de duinwaterkering, omdat het ontwikkelde probabilistische duinafslagmodel geen officiële status binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) heeft.

Trends in de ontwikkeling van de faalkansen zijn bepaald voor twee perioden: 1965-1990 en 1990-2017. Figuur 7-6 toont de trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Schiermonnikoog 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 Jarkusdata 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 Schiermonnikoog is er langs de zuidwestkant en noordoostkant van de eilandkop geen verandering in de trend in de faalkans berekend. Langs de noordwestkant van de eilandkop is er een sterke afname in de faalkans berekend in zowel de periode 1965-1990 als de periode 1990-2017. Dit hangt waarschijnlijk samen met het extra sediment dat hier geleverd wordt door aanlandingsbanken. Op slechts twee locaties, bij aan de westkant van de eilandkop (raai 220) en in het noordoosten (raai 502) was er tussen 1965 en 1990 een sterke toename in faalkans berekend. Voor de periode daarna is hier een sterke afname berekend. Omdat dit slechts twee raaien betreft, komt dit mogelijk door de automatische trendbepaling door HKV.



Figuur 7-6. Trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Schiermonnikoog voor de perioden 1965-1990 (meest landwaarts) en 1990-2017 (meest zeewaarts).

Referenties

Arens, B. (2016). Ontwerp verstuiving in de zeereep van Schiermonnikoog bij paal 5.60. RAP2015.06 32 pp.

Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., de Winter, R., & Nicolai, R. (2019). Zeespiegelmonitor 2018—De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust.

Brakenhoff, L., Ruessink, G., & van der Vegt, M. (2019). Characteristics of saw-tooth bars on the ebb-tidal deltas of the Wadden Islands. *Ocean Dynamics*, 69(11), 1273-1285.

Brakenhoff, L. B., Van der Vegt, M., & Ruessink, B. G. (2017). Saw-tooth bar dynamics on the Ameland ebb-tidal delta. *Proceedings Coastal Dynamics 2017*, 292-299.

Brochure Deltares (2015). Vooroever, onderdeel Ecologisch gericht suppleren.

De Groot, A.V., Oost, A.P., Veeneklaas, A.V. Lammerts, E.J., van Duin, W.E., van Wesenbeeck, B.E., Dijkman E.M. & Koppenaar, E.C. (2014). Ontwikkeling van eilandstaarten: Geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie. Rapport 1208549.01, 108 pp.

Elias, E. (2022). Aanlandingsbanken Schiermonnikoog. Deltares rapport: 11208035-004-ZKS-0002. 44 pp.

Elias, E. & Cleveringa, J. (2021). Kombergingsrapport Lauwers en Groninger Wad. Deltares rapport: 11206799-002. 89 pp.

Elias, E., Colina Alonso, A., Van Maren, B. (2021). Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Deltares rapport: 11203742-000. 145 pp.

Elias, E. & Oost, A.P. (2021). Morfologische processen van het Friesche Zeegat. Een conceptueel model. Deltares rapport: 11205236-003-ZKS-0005. 130 pp.

Flemming, B. W. (1990). Zur holozänen Entwicklung, Morphodynamik und faziellen Gliederung der mesotidalen Düneninsel Spiekeroog (südliche Nordsee). *Ber. Fachbereich Geowiss. Univ. Bremen*, 10, 13-73.

Groot Placaat en Charter-boek van Vriesland pp. 976 (1782). In: Van der Ven (1993). Een omstreden eiland, de eigendom van het eiland Schiermonnikoog in geding. P 19. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.

Hijma, M.P. (2021). Bodemdalingsmonitor 2021 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Actualisatie bodemdalingsvolumes, Deltares rapport 11206794-003-ZKS-0002. 26 pp.

Hijma, M. D., & Kooi, H. D. (2018a). Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens. Technisch rapport Deltares. 63 pp.

Hijma, M. P., & Kooi, H. (2018b). Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2)-Een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden. Deltares rapport 11202190-001-ZKS-0001. 59 pp.

- Hijma, M., & Van Onselen, E. (2019). Bodemdalingsmonitor 2019 Kustfundament en getijdenbekkens. Deltares rapport 11203683-002-ZKS-0017. 32 pp.
- Hijma, M.P., Van Onselen, E., (2020). Bodemdalingsmonitor 2020 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Vergelijk met GNSS-data, Deltares rapport 11205236-002-ZKS-0004. 29 pp.
- Löffler, M.A.M., de Leeuw, C.C., ten Haaf, M.E., Verbeek, S.K., Oost, A.P., Grootjans, A.P., Lammerts E.J. & Haring R.M.K. (2008). Eilanden natuurlijk. Natuurlijke dynamiek en veerkracht op de Waddeneilanden. Het Tij Geleerd. ISBN/EAN 978-90-70322-30-4.
- Meijer, J. et al. (2017). Document PAS-analyse Herstelstrategieën voor Schiermonnikoog. 139 pp.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012). Basiskustlijn 2012. Herziening Basiskustlijn.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018). Basiskustlijn 2017 Herziening van de ligging van de basiskustlijn. 29 pp.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1990). Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijnverzorg. (de 1e kustnota).
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995). Kustbalans 1995; De tweede kustnota.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003). Basiskustlijn 2001 Evaluatie ligging Basiskustlijn. 92 pp.
- Mulder, J. P. M. (2000). Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel: Advies voor dynamisch handhaven in de 21e eeuw. rapport RIKZ/2000.36.
- Oost, A.P. (1995). Dynamics and Sedimentary Development of the Dutch Wadden Sea with Emphasis on the Frisian Inlet. A Study of Barrier Islands, Ebb-Tidal Deltas, Inlets and Drainage Basins. Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen 126, Utrecht University (Utrecht): 454 pp.
- Oost, A., Cleveringa, J. & Taal, M. (2020). Kombergingsrapport Friesche Zeegat. Deltares rapport: 11205229-001. 131 pp.
- Oost, A.P., Nederhoff, K., Van der Valk, B., Maarse, M. (2018). Beheerbibliotheek Schiermonnikoog. Deltares rapport: 11202190-000-ZKS-0007.
- Provinciaal Overlegorgaan Kust Fryslân (2000). Kustbeheer Schiermonnikoog anno 2000. POK Fryslân, Projectgroep Schiermonnikoog, 24 pp.
- Rietman, L. (2020). Schiermonnikoog. Onzichtbaar verleden, een interdisciplinair onderzoek naar het historisch grondgebruik en landschapsbeheer in Nationaal Park Schiermonnikoog. RUG, Groningen (download).
- SWECO (2019). Evaluatie BIP+ Nationaal Park Schiermonnikoog. Rapport SWNL0242780. 16 pp.
- Van Rooijen, A. & Oost, A.P. (2014). Memo morfologische veranderingen Rottumeroog en Rottumerveer. Voor de periode 1983-2014. Rapport. no.1209381-008, 61 pp.

Van Staalduinen, C. J. (Ed.). (1977). Geologisch onderzoek van het Nederlandse Waddengebied (Vol. 1). De Dienst.

Van Veen, J. (1950). Eb en vloodschaar systemen in de Nederlandse getijwateren (in Dutch). Tijdschrift Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, 303-325.

Verhoef, A. (2016). Definitief Ontwerp Stuifkuilen Schiermonnikoog. Eelerwoude rapport. 26 pp.

Vermaas, T., Elias, E. (2019). Werking van het Friesche Zeegat. Deltares rapport: 11203669-000-ZKS-0005. 53 pp.

Vos, P. C., & S. De Vries (2013). 2e generatie palaeogeografische kaarten van Nederland (versie 2.0). Deltares.

Vos, P. C., & Knol, E. (2015). Holocene landscape reconstruction of the Wadden Sea area between Marsdiep and Weser: explanation of the coastal evolution and visualisation of the landscape development of the northern Netherlands and Niedersachsen in five palaeogeographical maps from 500 BC to present. Netherlands Journal of Geosciences, 94(2), 157-183.

Wang, Z.B. (2007). Morfologische ontwikkeling van Het Rif en de Engelsmanplaat. Analyse naar mogelijke invloed van de bodemdaling. Rapport Z3973 WL Delft Hydraulics, Delft

Westhoff, V., Van Oosten, M. F. & Van Bohemen, H. D. (1991). De plantengroei van de Waddeneilanden (Ser. Natuurhistorische bibliotheek van de knnv, nr. 53). Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging.

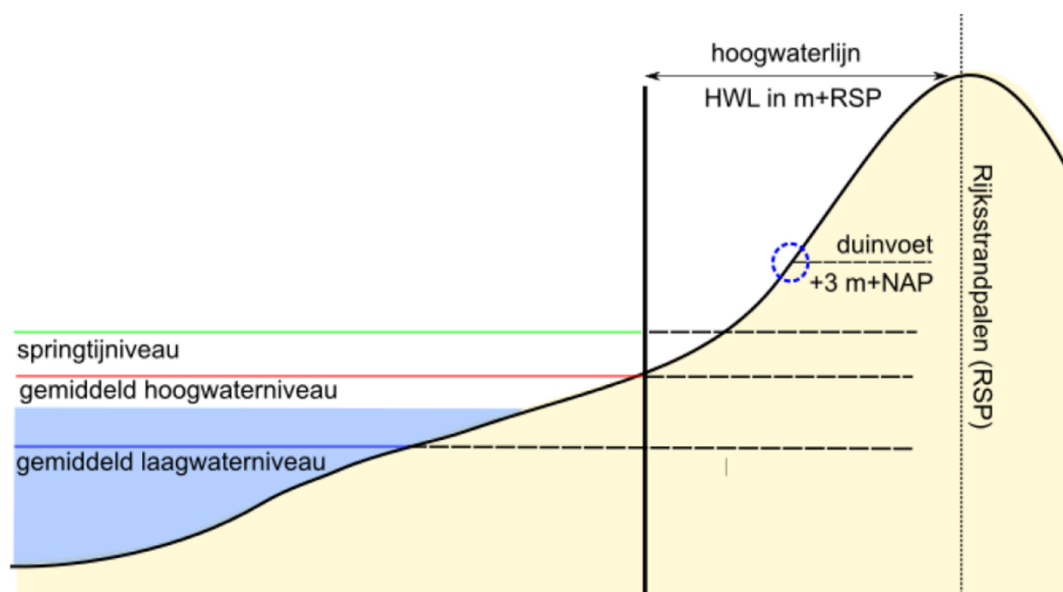
A Kustindicatoren: berekenmethode

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, 2002⁴). TPXO is een wereldwijd model van de getijbewegingen gebaseerd op de TOPEX/Poseidon en JOSEN satelliet data en bevat de 13 harmonische componenten: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MF, MM, M4, MS4, MN4.

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

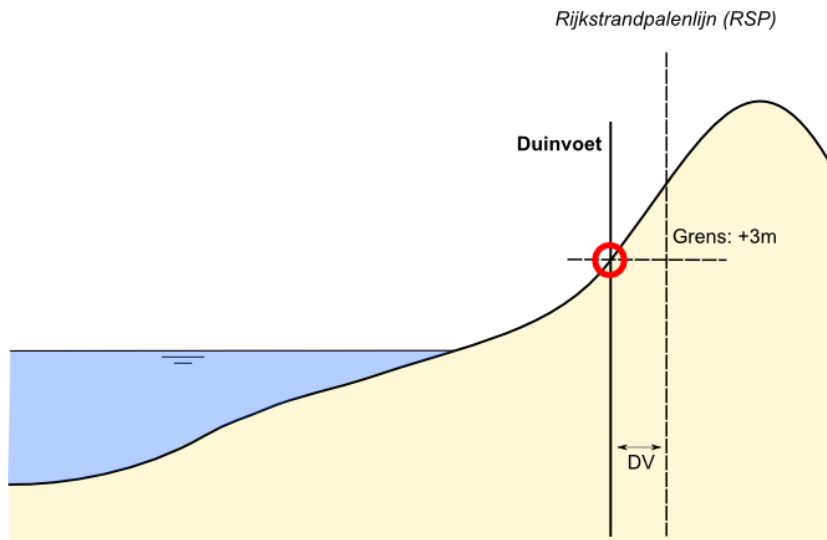


Figuur A 1. Rekenmethodiek voor de bepaling van gemiddeld hoogwater niveau (GHW), gemiddeld laagwater niveau (GLW), hoogwaterlijn (HWL) en laagwaterlijn (LWL).

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

A.2 Duinvoet

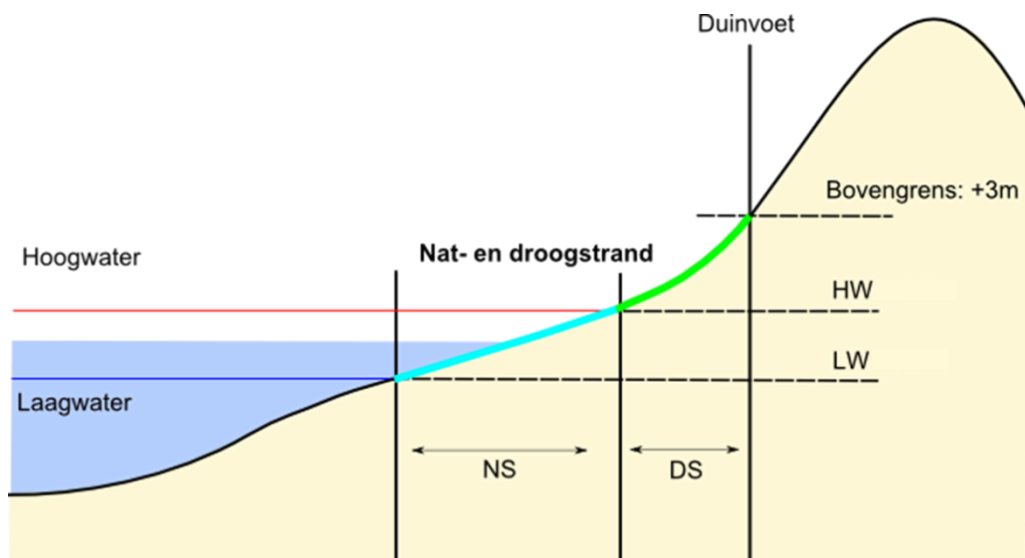
De duinvoet (DV in Figuur A 2) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten opzichte van RSP. Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van 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 faalkansen van de duinen (HKV, 2012). In 2017 deze database geactualiseerd voor de periode tot en met 2017 (HKV, 2017).

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

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

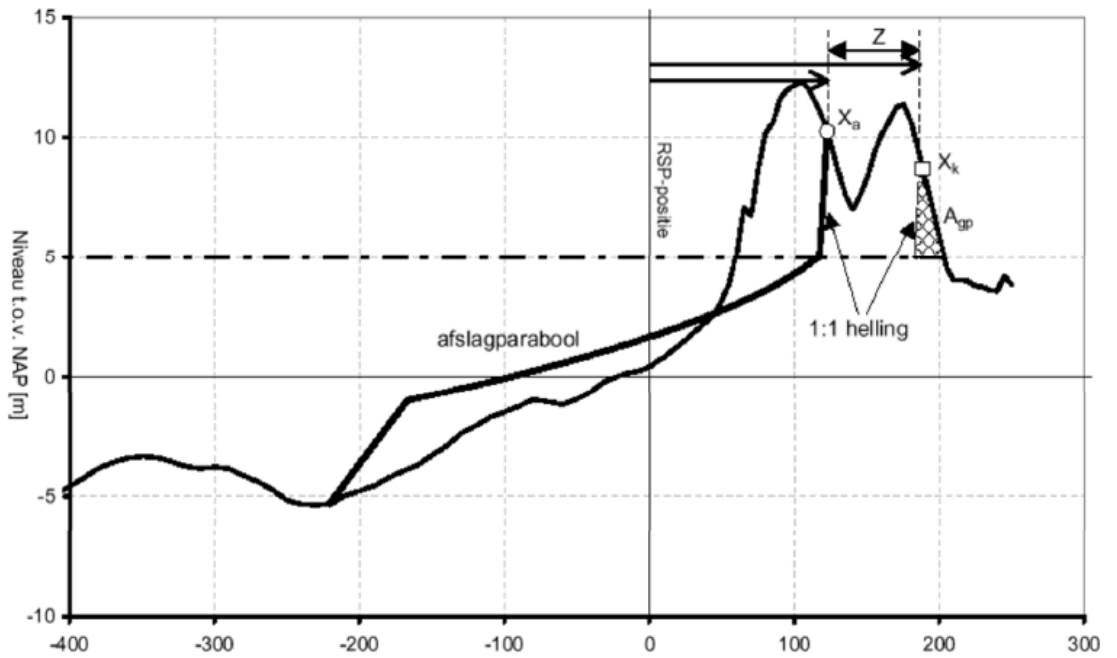
Elke combinatie die tot falen leidt, heeft een kans van voorkomen. De First Order Reliability Method, kortweg aangeduid als FORM, is een methode die bepaalt welke combinatie die tot falen leidt de grootste kans van voorkomen heeft. Deze kans van voorkomen is de faalkans. De geselecteerde combinatie staat 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](#)

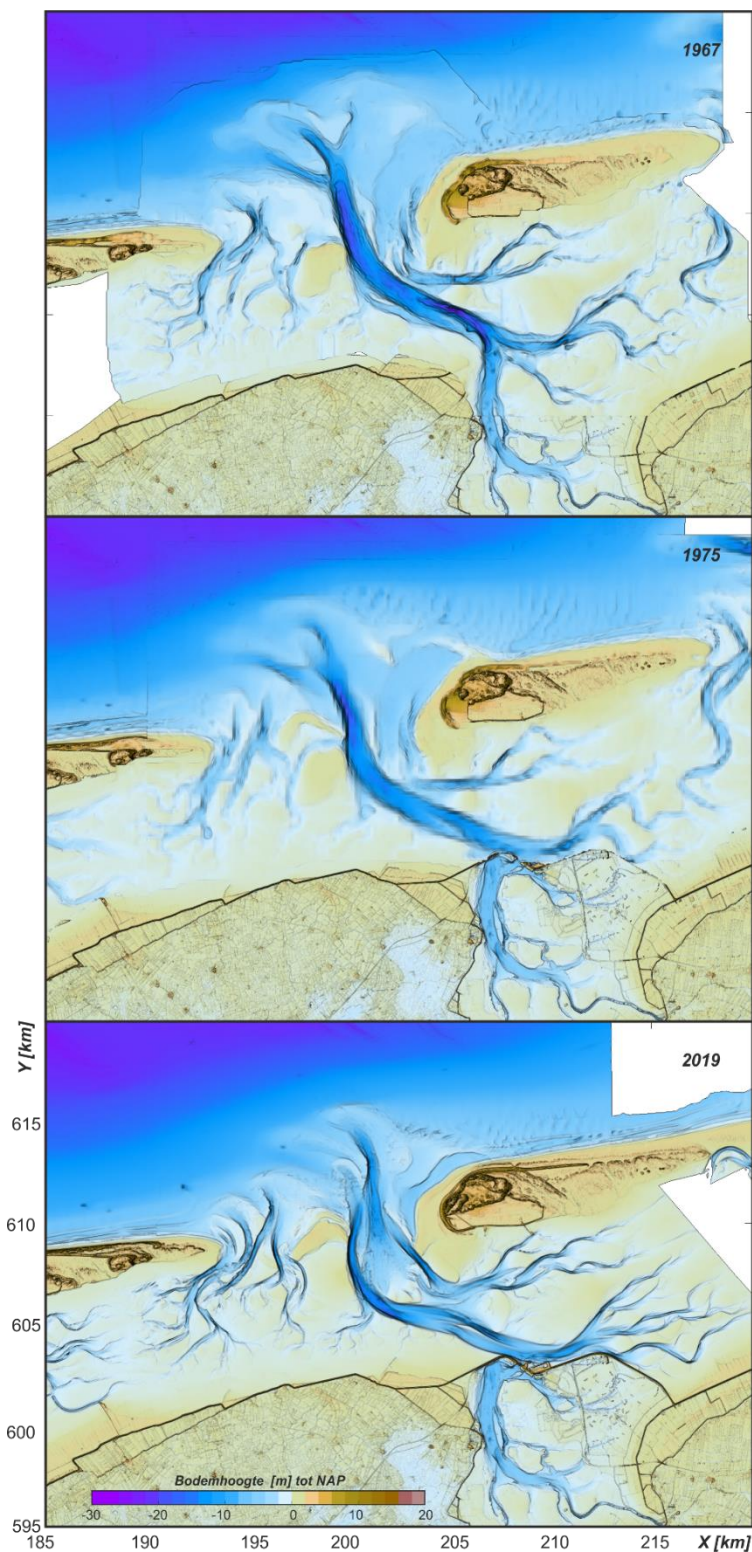
HKV (2017): [link naar rapport](#)



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).

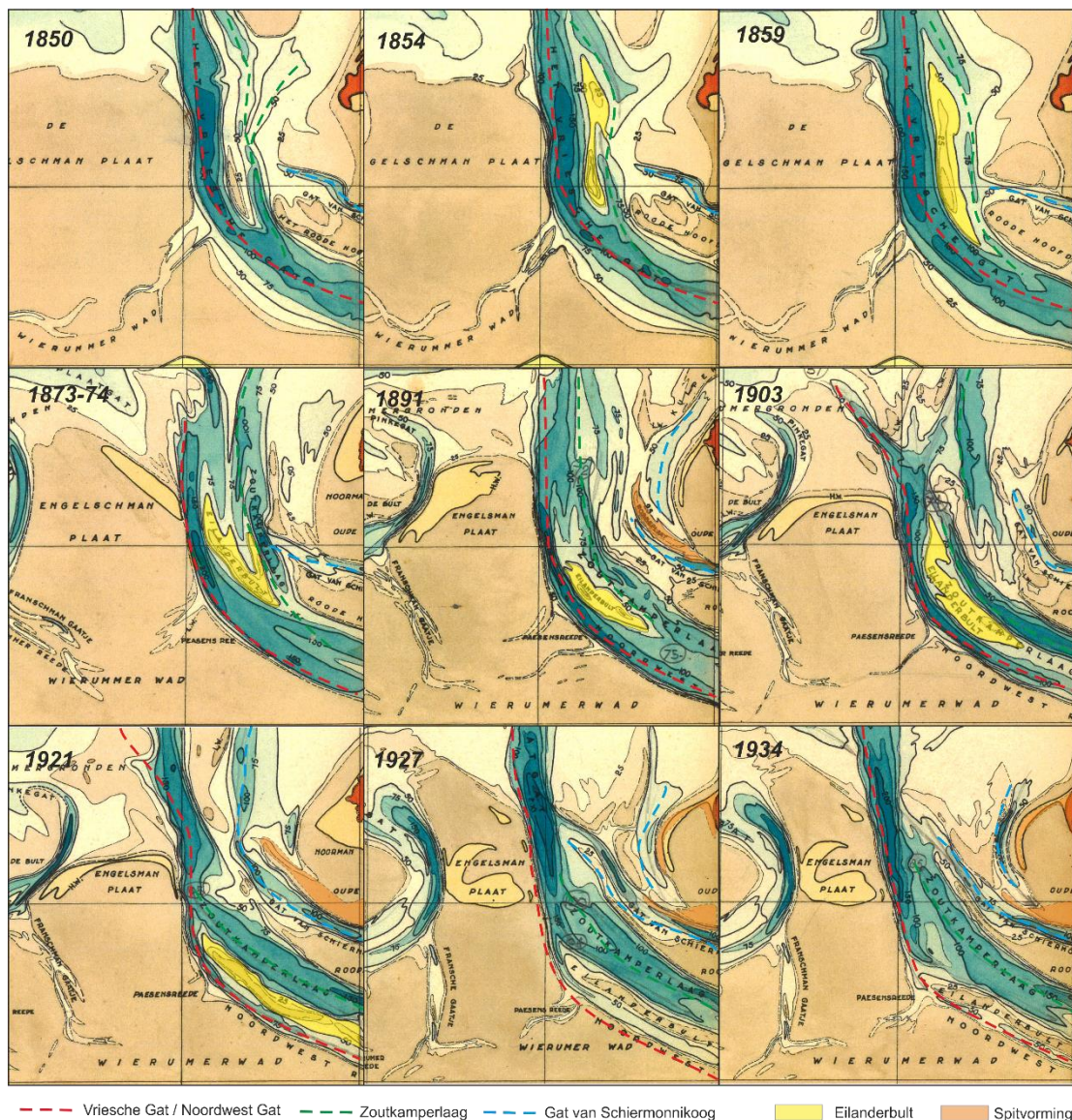
B Extra figuren morfologische ontwikkelingen

B.1 Bodemhoogte voor en na afsluiting van de Lauwerszee



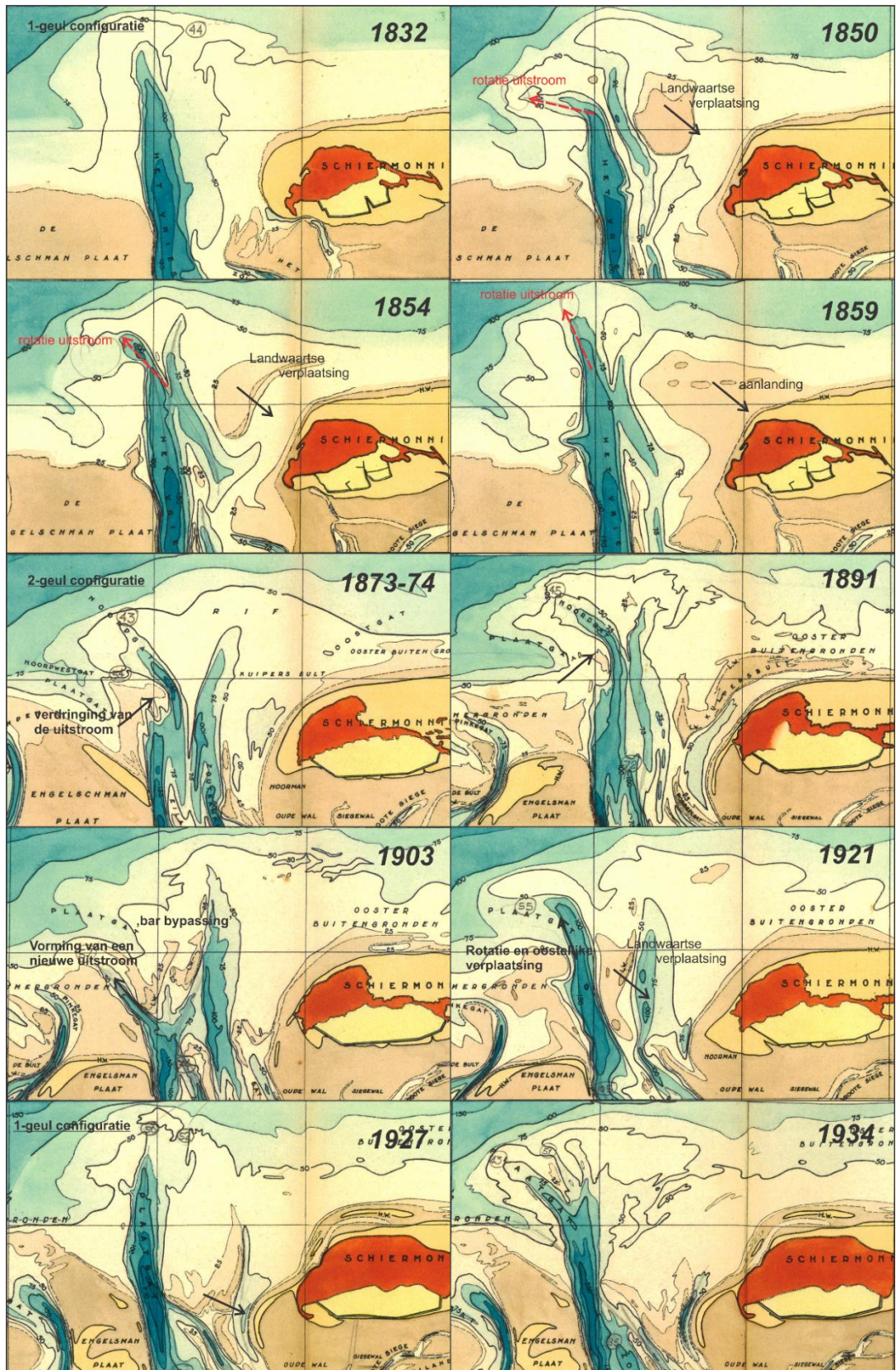
Figuur B 1. Bodemhoogte voor (1967) en na (1975) afsluiting van de Lauwerszee en de meest recente 2019 bodem (onder). Bron: Elias & Oost (2021).

B.2 Ontwikkeling van de keel van de Zoutkamperlaag in de periode 1850-1934

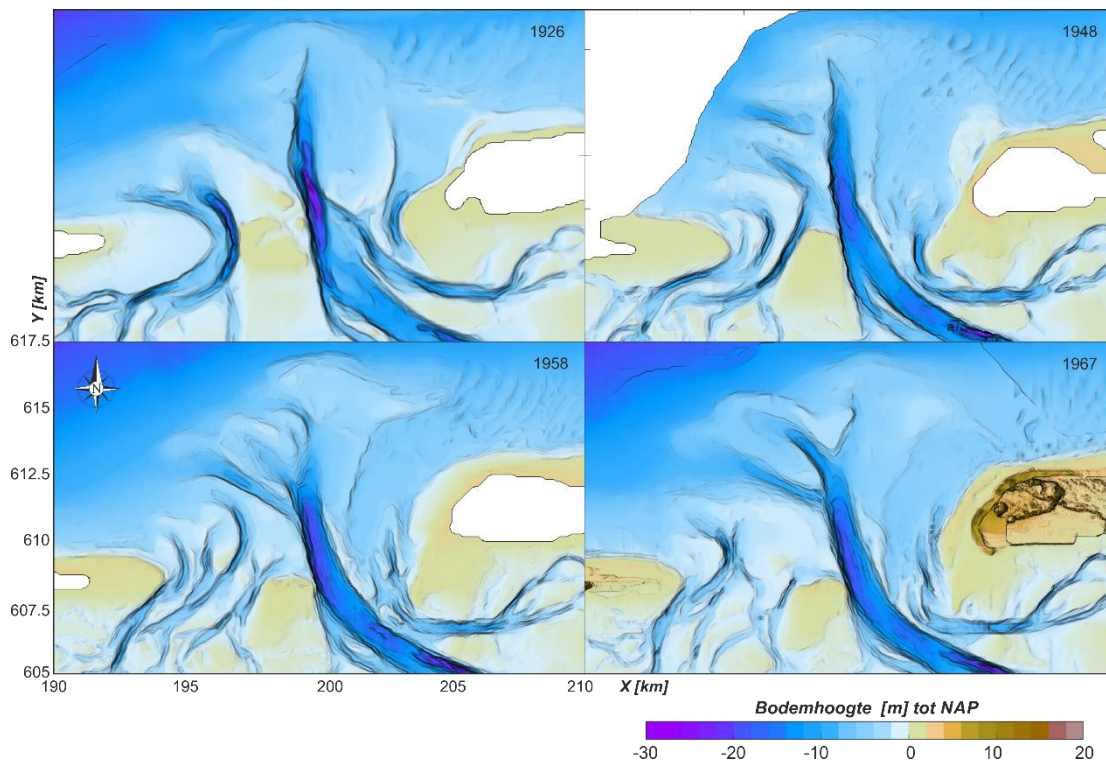


Figuur B 2. Ontwikkeling van de keel van de Zoutkamperlaag in de periode 1850-1934 op basis van de hydrografische kaarten. De stippellijnen geven de geulliggingen van Vriesche Gat (rood), Zoutkamperlaag (groen) en Gat van Schiermonnikoog weer. De gele polygonen geven het bankengebied Eilanderbult weer. De oranje polygonen illustreren spitvorming lang de eilandkop van Schiermonnikoog. Bron: Elias & Oost (2021).

B.3 Ontwikkeling van de buitendelta van de Zoutkamperlaag in de periode 1832-1967

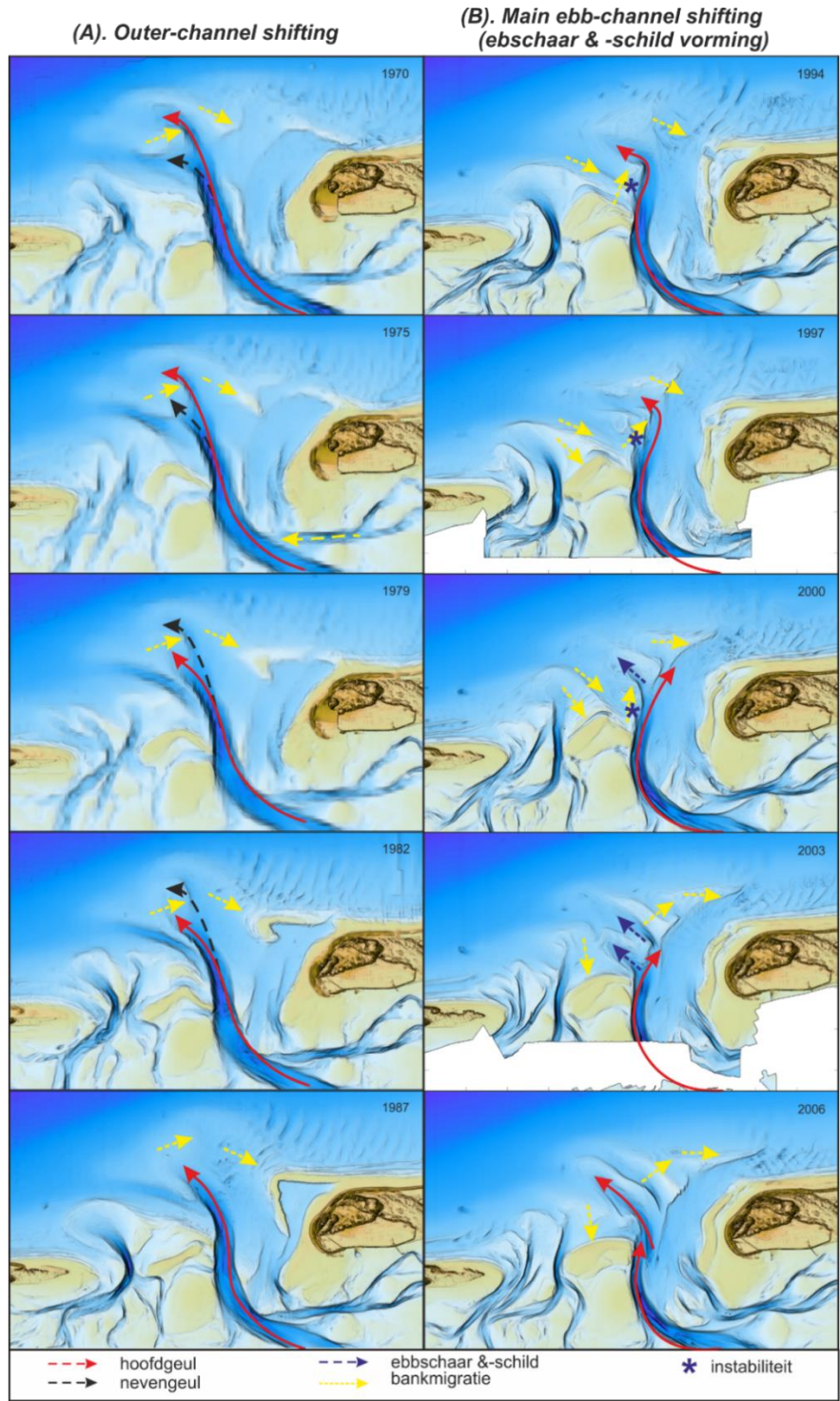


Figuur B 3. Ontwikkeling van de buitendelta van het Zoutkamperlaag Zeegat van 1832 tot en met 1934. Bron: Elias & Oost (2021).



Figuur B 4. Ontwikkeling van de buitendelta van het Zoutkamperlaag Zeegat van 1926 tot en met 1967. Bron: Elias & Oost (2021).

B.4 Sediment bypassing processen op de buitendelta van het Zoutkamperlaag zeegat



Figuur B 5. Het optreden van Outer channel shifting (link) en Main ebb channel shifting (rechts) op de buitendelta van het Zoutkamperlaag zeegat. Bron: Elias & Oost (2021).

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