

Beheerbibliotheek Kust Noord-Holland

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



Beheerbibliotheek Kust Noord-Holland

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

Auteur(s)

Nienke Vermeer

Marc Hijma

Maike Maarse

Ellen Quataert

Beheerbibliotheek Kust Noord-Holland

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

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Falco van Bakel & Niels van Kuik
Referenties	Zie pagina 73
Trefwoorden	Noord-Holland, Zeegat van Texel, suppleties, duindynamiek, bodemdaling, kustlijnonderhoud, morfologie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	12-01-2024
Projectnummer	11209263-002
Document ID	11209263-002-ZKS-0004
Pagina's	89
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Nienke Vermeer	
	Marc Hijma	
	Maaïke Maarse	
	Ellen Quataert	

Samenvatting

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

De voorliggende beheerbibliotheek van het kustvak Noord-Holland is een actualisatie van de tweede versie door Mastbergen et al. (2017). Tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd. Ook zijn er resultaten van nieuwe studies opgenomen. Zo is er de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de suppleties die langs de kust van Noord-Holland zijn uitgevoerd: Elias et al. (2021) hebben een studie uitgevoerd naar vooroeversuppleties bij Callantsoog. Knaake & Vermaas (2023) hebben de serie suppleties bij Julianadorp bestudeerd. Verder heeft Elias (2021) de morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel gedeeltelijk geüpdatet met de beschrijving van de ontwikkeling van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	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	9
2	Algemene gebiedsbeschrijving	10
3	Beleid t.a.v. kustonderhoud en waterveiligheid	12
3.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	12
3.2	Basiskustlijn voor Noord-Holland	15
3.3	Waterveiligheidsbeleid	16
4	Gebruiksfuncties van de kust van Noord-Holland	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Waterveiligheid	19
4.2.1	Kustverdedigingswerken	19
4.2.2	Primaire waterkering	23
4.2.3	Beoordeling van de primaire waterkering	24
4.3	Strandrecreatie	26
4.4	Natuur	26
4.4.1	Duinen Den Helder-Callantsog	28
4.4.2	Zwanenwater & Pettemerduinen	28
4.4.3	Abtskolk & De Putten	29
4.4.4	Schoolse duinen	30
4.4.5	Noordhollands Duinreservaat	30
4.5	Drinkwaterwinning	31
5	Langetermijnontwikkelingen	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Paleogeografische ontwikkeling	33
5.3	Bodemdaling	36
6	Beschrijving van het morfologisch systeem	42
6.1	Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag	42
6.2	Zeegat van Texel	42

6.2.1	Algemene kenmerken	42
6.2.2	Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel	44
6.2.3	Morfologische ontwikkeling van de kustlijn	49
6.3	Noord-Hollandse kust	50
6.3.1	Pettemer Polder	51
6.3.2	Hondsbossche Duinen	52
6.3.3	Bergen – Heemskerk	53
6.3.4	Invloedsgebied IJmuiden	54
6.3.5	Volumeontwikkeling	56
6.4	Dynamiek van de duinen	56
6.4.1	Veranderingen in de dynamiek van de duinen (resultaten Natuurlijk Veilig)	56
6.4.2	Hondsbossche duinen	58
6.4.3	Kerven in de zeereep	59
6.4.4	Onderzoekslocatie Egmond aan Zee	60
7	Kustlijnontwikkeling	62
7.1	Hoofdlijnen	62
7.2	Zandsuppleties	63
7.3	Ontwikkeling kustindicatoren	67
7.3.1	MKL – BKL	67
7.3.2	Duinvoet	69
7.3.3	Strandbreedte	70
7.3.4	Faalkans eerste duinenrij/zeereep	72
	Referenties	74
A	Kustindicatoren: berekenmethode	82
A.1	Gemiddeld hoog- en laagwater	82
A.2	Duinvoet	83
A.3	Strandbreedte	83
A.4	Faalkans van de eerste duinenrij	84
B	Suppletieoverzicht Noord-Holland	86

1 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 11 miljoen m³ zand. Voor ontwerp, volume en de uitvoeringsperiode 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 kennisprogramma B&O Kust (Beheer en Onderhoud Kust) in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen ertoe leiden dat de suppletiepraktijk wordt aangepast.

1.2 Waarom een beheerbibliotheek?

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

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.

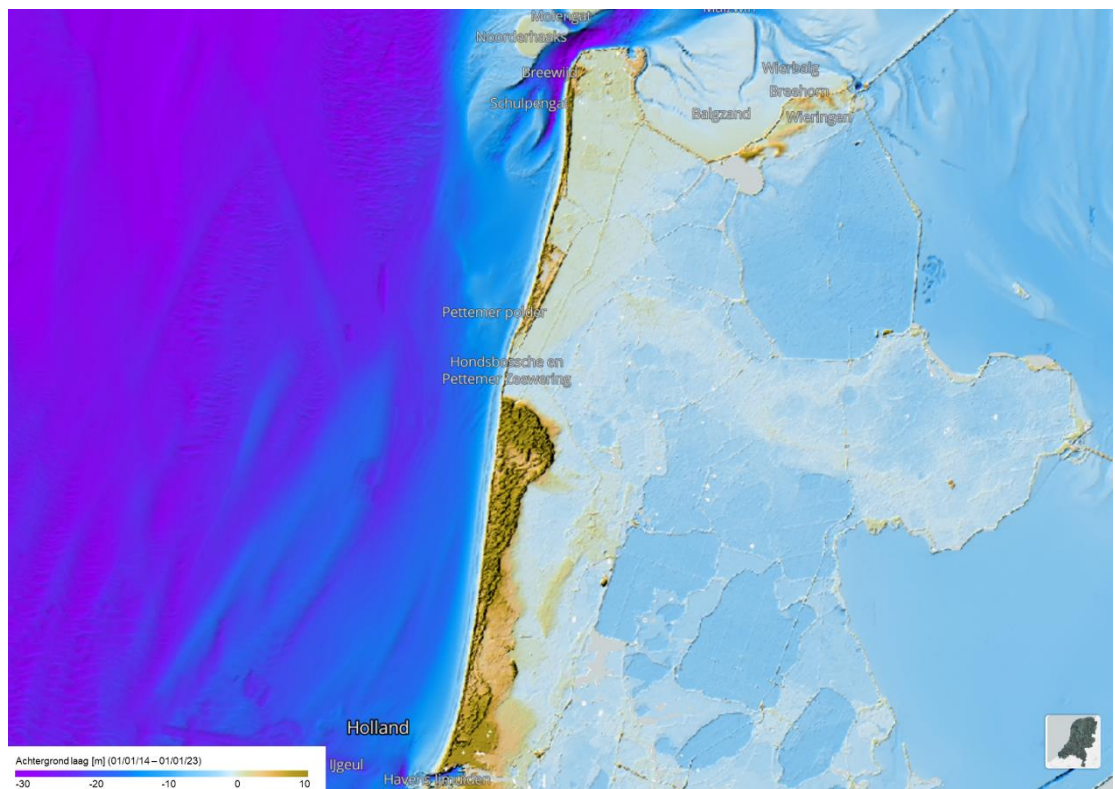
1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

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, en 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 programma 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 Noord-Holland is een actualisatie van de tweede versie door Mastbergen et al. (2017). Tekst, figuren en tabellen zijn aangevuld en geactualiseerd. Ook zijn er resultaten van nieuwe studies opgenomen. Zo is er de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de suppleties die langs de kust van Noord-Holland zijn uitgevoerd: Elias et al. (2021) hebben een studie uitgevoerd naar vooroever-suppleties bij Callantsoog. Knaake & Vermaas (2023) hebben de serie suppleties bij Julianadorp bestudeerd. Verder heeft Elias (2021) de morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel gedeeltelijk geüpdatet met de beschrijving van de ontwikkeling van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks.

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. Noord-Holland is weergegeven met de Vakclodingen en AHN data en benaming van morfologische gebieden. Bron: <https://www.openearth.nl/coastviewer-static/>

1.5 Kustlijnkaartenboek

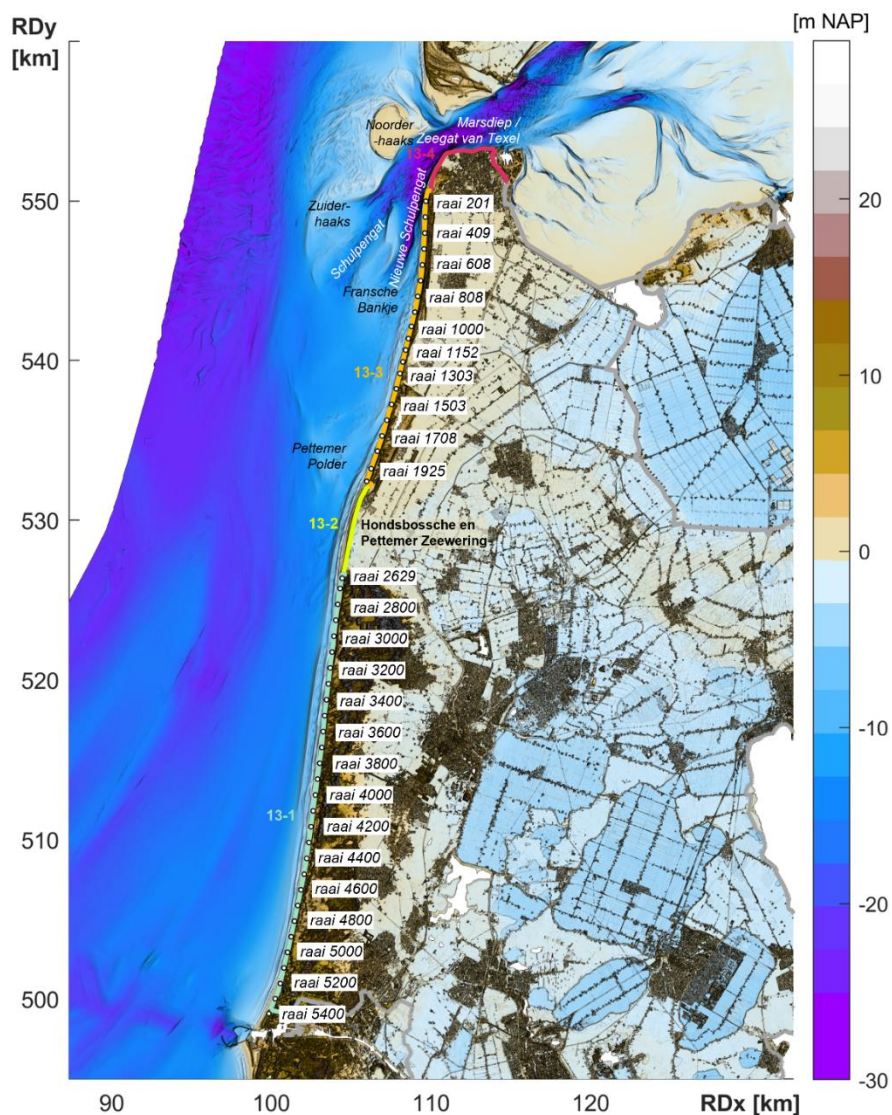
Jaarlijks wordt door Rijkswaterstaat gemeten en berekend hoe de ligging van de kustlijn (de momentane kustlijn, MKL) zich verhoudt tot de basiskustlijn (BKL). Op basis hiervan wordt een suppletieprogramma opgesteld, met als doel structurele achteruitgang van de Nederlandse kust te voorkomen. Het kustlijnkaartenboek 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 Noord-Holland, 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 Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium 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 langetermijnontwikkelingen bij Noord-Holland, waaronder de paleografische ontwikkeling en het onderzoek met betrekking tot bodemdaling. Hoofdstuk 6 gaat in op de het morfologisch systeem van Noord-Holland, 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 Noord-Holland.

2 Algemene gebiedsbeschrijving

Kustvak Noord-Holland (kustvak 7) (Figuur 2-1) betreft de Noordzeekust van het vasteland van Noord-Holland. Het kustvak is circa 55 km lang en strekt van de havendammen van IJmuiden in het zuiden tot de Helderse Zeewering in het noorden. Hiermee vormt het kustvak onderdeel van de Hollandse Kust: de 'rechte' kust van Hoek van Holland tot Den Helder.



Figuur 2-1 : De kust van Noord-Holland middels een hoogtekarte van de kustzone op basis van de meest recente Vaklodingen en AHN3. De nummers van de dijkttrajecten langs de kust van Noord-Holland zijn ook weergegeven.

De Noord-Hollandse kust wordt grotendeels door duinen beschermd. Hier liggen bekende badplaatsen als Wijk aan Zee, Egmond aan Zee en Bergen aan Zee. Waar de duinen door de Noordzee waren verzwolgen, werd de Hondsbossche Zeewering aangelegd. De oorsprong van de deze zeewering ligt in de 16^e eeuw. Rond 1880 kreeg de zeewering meer zijn huidige vorm en vormde het één geheel met de veel kortere Pettemer Zeewering. In 2015 is de Hondsbossche en Pettemer Zeewering met 35 miljoen kubieke meter zand versterkt en daarna hernoemd tot Hondsbossche Duinen.

Ten noorden van de Hondsbossche Duinen wordt het gedrag van de kust in toenemende mate bepaald door uitwisseling van sediment met het Zeegat van Texel. Door de afsluiting van de Zuiderzee en de vele strekdammen die al sinds 1838 zijn aangelegd, zijn het gedrag van de voorliggende buitendelta, de ondiepte Pettemer Polder en het kustgedrag hier verre van natuurlijk.

Ten zuiden van de Hondsbossche Duinen is de kustlijn relatief ongestoord; er zijn in ieder geval geen harde kustbeschermingsmaatregelen aanwezig. Hier vindt afwisselend aanzanding en erosie plaats. Tussen Camperduin en Castricum (raai 2629 – 4000) worden geregeld strand- en vooroeversuppleties uitgevoerd. De kust ter hoogte van Heemskerk (raai 4600 – 5075) kenmerkt zich vooral door erosie. Hier zijn in 2011-2012 en 2017 zandsuppleties uitgevoerd, maar inmiddels heeft er alweer veel erosie plaatsgevonden. Direct ten noorden van de noordelijke havendam van IJmuiden is de trend in kustlijnpositie zeewaarts.

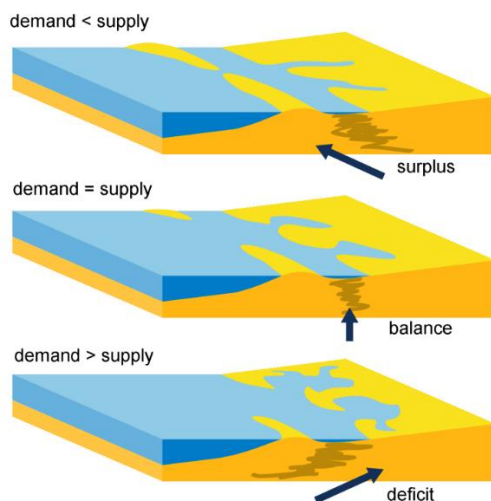
De waterkeringen van dijktraject 13 zijn volledig in beheer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Het merendeel van de kunstwerken is eveneens in het beheer van HHNK. Een aantal is in beheer bij de gemeente of de provincie Noord-Holland (van Reen, 2014). Het technisch beheer van het sluizencomplex bij IJmuiden valt formeel onder Rijkswaterstaat Waterdistrict Noord-Holland. De regio West-Nederland Noord is vanuit Rijkswaterstaat de beheerder van het strand van Noord-Holland.

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 Noord-Holland. Paragraaf 3.3 beschrijft het beleid met betrekking tot waterveiligheid en beoordeling 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 Noordzeebodem 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 zandsuppleties. Het gesuppleerde zand wordt door stroming, wind en golven over het kuststelsel verspreid.

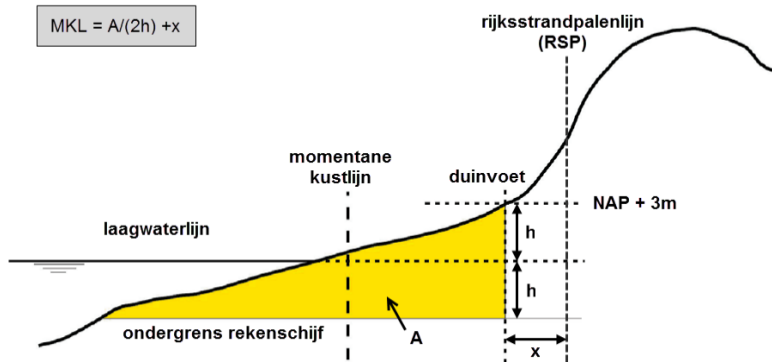
Basiskustlijn (BKL) - Om te bepalen waar het zand langs de kust gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL, als referentie gedefinieerd. De BKL wordt gebruikt als instrument om eventuele kustachteruitgang te signaleren. De BKL vertegenwoordigt een zandvolume dat (kustdwars) aanwezig 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 initieel 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.

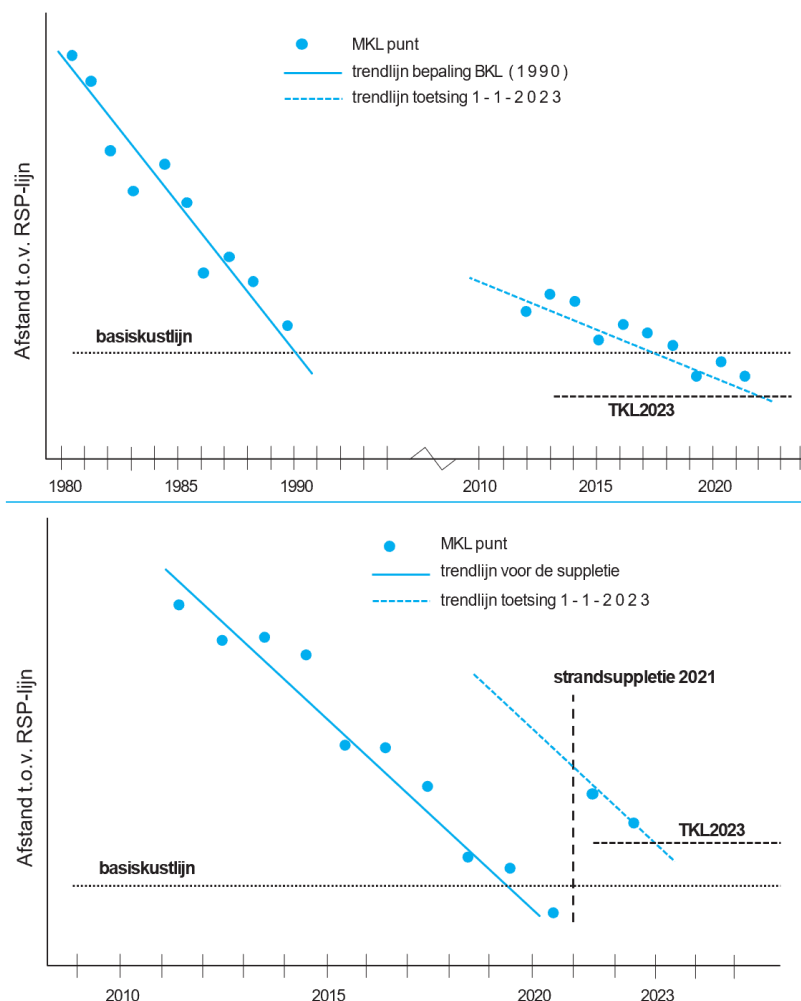
Kustfundament - In de jaren na 1990 groeide het inzicht dat er niet alleen structurele erosie optrad in de ondiepe kustzone, maar ook in dieper water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003; Mulder, 2000). Het structurele zandverlies in deze zone zou op 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 is destijds (rekenkundig) gedefinieerd als de zone tussen de binnenduinrand en de doorgaande -20m NAP-dieptelijn. Het hele oppervlak van het kustfundament moet meegroeien met de zeespiegel. Het landelijke suppletievolume werd daartoe verhoogd van 6 naar gemiddeld 12 miljoen m³ zand per jaar. Met het aanleggen en onderhouden van de Hondsbossche Duinen en de Tweede Maasvlakte, waarbij tot op heden geen BKL is vastgesteld, is hier in de loop der jaren in totaal 1 miljoen m³ aan jaarlijks suppletievolume bijgekomen. In navolging op het advies vanuit Kustgenese 2.0 is het jaarlijkse suppletievolume voor de gehele Nederlandse kust echter verlaagd naar 10 miljoen m³ voor 2022-2023 en 11 miljoen m³ vanaf 2024 (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2021). Hiervan is 10 miljoen m³ bestemd voor locaties waar een basiskustlijn is vastgesteld. Voor de langere termijn wordt onderzocht of en wanneer een toename van het suppletievolume in de rede ligt.

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, 2017 en 2023, en op verschillende locaties herzien (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018a; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 2023a). In de nieuwe Waterwet en het Nationaal Waterplan is, net als in de voorgaande Wet op de Waterkering, de noodzaak tot regelmatige (iedere 6 jaar) herziening van de Basiskustlijn vastgelegd. Het hoofddoel van de herziening van de basiskustlijn is om (weer) de juiste signaalfunctie voor het kustonderhoud te creëren. Een herziening houdt de basiskustlijn dus actueel.

Momentane Kustlijn (MKL) en Toekomstige Kustlijn (TKL) - Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (m.a.w. JarKus: JAaRlijks KUSmeting). Op basis van deze JarKus-profielen kan de positie van de Momentane KustLijn (MKL) bepaald worden. De MKL-positie wordt, net zoals 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 een lineaire trend in MKL-positie over de laatste jaren 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.



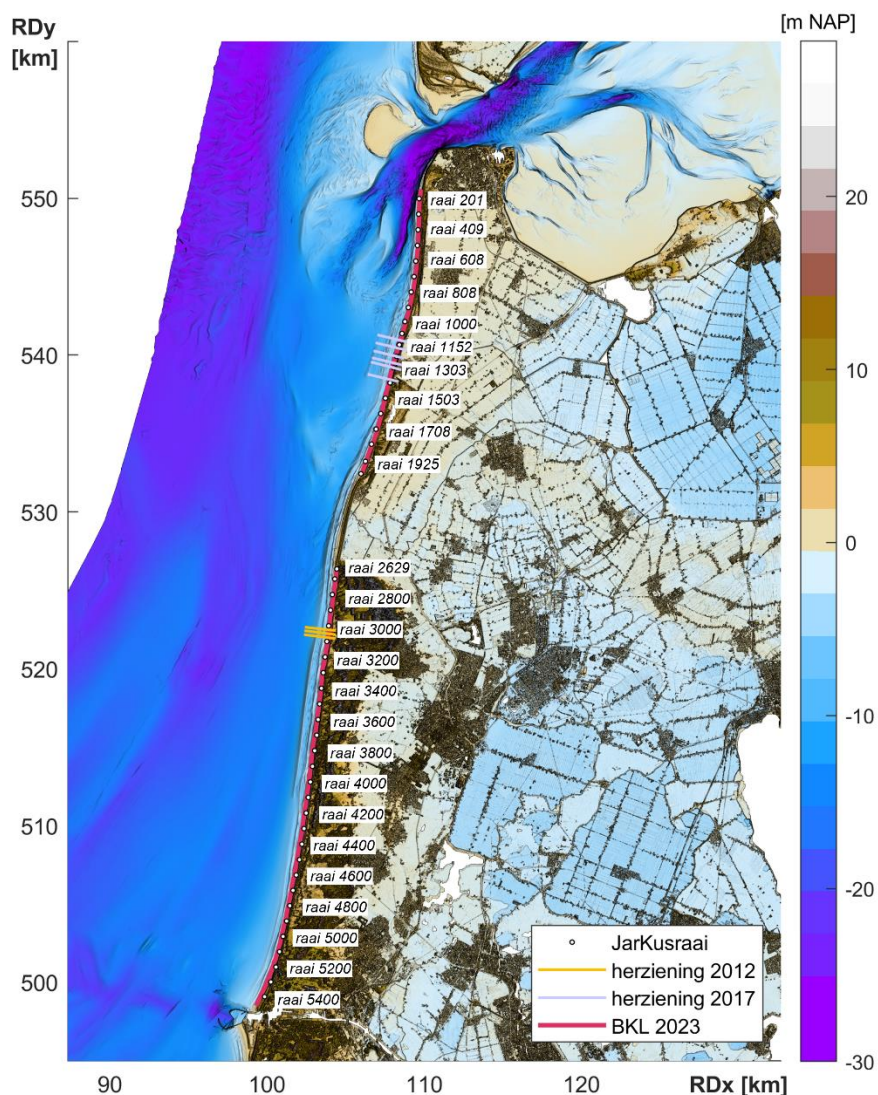
Figuur 3-2 : Bepaling Momentane Kustlijn (MKL). Waarbij het zandvolume (gele oppervlak A) wordt bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen de rekenkundige duinvoet (doorgaans + 3m NAP) en de ondergrens. De afstand van het gemiddeld laagwater tot de duinvoet en gemiddeld laagwater tot de ondergrens (h) 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 jaarlijkse Toekomstige Kustlijn (TKL) wordt afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) van de voorgaande jaren. Voor de bepaling van de BasisKustLijn (BKL) in 1990 is gebruik gemaakt van de trend in MKL van de jaren ervoor. Het tweede voorbeeld geeft aan hoe voor de bepaling van TKL 2022 wordt omgegaan met een trendbreuk (namelijk, een strandsuppletie) (Kustlijнкаartenboek 2023).

3.2 Basiskustlijn voor Noord-Holland

Voor Noord-Holland is de BKL vastgesteld tussen raaien 5475 en 2629 ten zuiden van de Hondsbossche Duinen (HBD) en tussen raai 2023 en 150 ten noorden van de HBD (Figuur 3-4). Na vaststelling is de BKL voor Noord-Holland in 2012 herzien voor de raaien 3025, 3050 en 3075 (Camperduin-Bergen) en in 2017 voor de raaien 1123 t/m 1381 (Callantsoog). Hieronder worden deze twee herzieningen besproken. In 2023 is voor de gehele Nederlandse kust de BKL opnieuw geëvalueerd. Hierbij zijn geen aanpassingen voorgesteld voor de BKL van 2017 bij Noord-Holland. 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 (2023) Basiskustlijn voor Noord-Holland, samen met de positie van enkele JarKus raaien en de locatie van de herzieningen in 2012 en 2017.

De herziening in 2012 bij Camperduin-Bergen betrof het landwaarts verplaatsen van de BKL voor de raaien rond de Kerf. De Kerf is een inham in de Schoorlse Duinen waar zeewater bij hoogtij de duinen in kan stromen. De BKL werd hier regelmatig overschreden. Er wordt op deze plek echter niet gesuppleerd, om te voorkomen dat er extra verzanding in de Kerf plaatsvond en om de gewenste dynamiek een kans te geven. Door de BKL terug te leggen naar een positie die de functies beter vertegenwoordigt, kreeg de BKL een sterkere signaalfunctie dan voorheen het geval was.

De herziening in 2017 betrof het zeewaarts verplaatsen van de BKL voor de raaien bij Callantsoog. Deze locatie was een van de 'Zwakke Schakels' in de Nederlandse kustlijn. De zeereep is hier relatief smal, terwijl de zee en wind er een relatief grote belasting op uitoefenen. De maatregel die hier in het kader van de Zwakke Schakel versterkingen is genomen, was het verbreden van het strand en de duinen middels herhaaldelijke strand- en onderwatersuppleties. Om de vereiste veiligheid van de waterkering te behouden, moet het volume zand behouden blijven. Hierdoor is de BKL zeewaarts verplaatst.

Regionale afspraken

Bij het opstellen van het suppletieschema en/of het uitvoeren van de suppleties houdt Rijkswaterstaat voor specifieke gebieden rekening met gemaakte afspraken. Voor Noord-Holland zijn er alleen voor het gebied rondom de Kerf afspraken gemaakt over het handhaven van de Basiskustlijn: Deze inham in de duinen is in 1997 in de eerste duinenrij gegraven. Hierdoor kwam er ruimte voor nieuwe zilte natuur. Voor de natuur wordt het van belang geacht dat De Kerf open blijft. De ingang tot de Kerf verzandt van nature. Een suppletie zal dit proces waarschijnlijk versnellen en dit is niet gewenst. Daarom is er in de *'overeenkomst inzake het herstel van de dynamiek in de kustzone van Schoorl en Bergen'* rond de voorgenomen aanleg van de Kerf uit 1997 afgesproken om in een strook van 100 m ten weerszijden van de Kerf geen strandsuppleties uit te voeren. Over vooroeversuppleties zijn geen afspraken gemaakt, behalve dat ze op gepaste afstand moeten blijven. Staatsbosbeheer beheert het gebied.

3.3 Waterveiligheidsbeleid

Eerste Landelijke Beoordeling van Primaire Waterkeringen

In de Waterwet is vastgesteld dat de veiligheid van alle primaire waterkeringen elke twaalf jaar moet worden beoordeeld. De beoordeling van de veiligheid van een primaire kering dient te worden uitgevoerd volgens procedurele regels. De basis voor de beoordeling was het Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium 2017 (WBI 2017¹). Het WBI 2017 bevat de methoden en regels die waterkeringbeheerders dienen te gebruiken bij de beoordeling van de primaire waterkeringen. Het WBI 2017 verving de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid).

De vorige beoordelingsronde liep van 2017 tot 2023. Deze beoordelingsronde was de eerste ronde op basis van de overstromingskansbenadering (LBO-1, sinds 2017 vigerend) en werd gebruikt om een eerste veiligheidsbeeld van de keringen te schetsen, ervaring op te doen met de nieuwe systematiek en te leren voor de toekomst.

Tweede Landelijke Beoordeling van Primaire Waterkeringen

In 2023 is de Tweede Landelijke Beoordeling van Primaire Waterkeringen Overstromingskansen (LBO-2) gestart met een nieuwe wettelijke regeling, de Omgevingsregeling. De LBO-2 loopt van 2023-2035 en de overstap naar overstromingskansen van primaire waterkeringen staat centraal. De komende periode ligt de nadruk op het op orde brengen van de primaire waterkeringen voor 2050. Dat betekent dat in 2035 een nauwkeurig beeld van de veiligheidsopgave bekend moet zijn.

Om dit te bereiken heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat samen met de waterkeringbeheerders een beoordelingsprocedure ontwikkeld. De beoordelingsmethodiek voor de landelijke beoordelingsronde die loopt tot 2035 is een doorontwikkeling van de in 2017 in gebruik genomen overstromingskansbenadering. In het programma BOI 2020-2023 zijn verschillende onderdelen van het instrumentarium doorontwikkeld en in de komende jaren wordt er verder aan gewerkt. Meer informatie is te vinden in het BOI-portaal van het Informatiepunt Leefomgeving (IPLO): www.iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/primaire-waterkeringen/boi-portaal/beoordelings-ontwerpinstrumentarium-boi/.

¹ <https://iplo.nl/thema/water/waterveiligheid/primaire-waterkeringen/beoordelen-primaire-waterkeringen/>

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

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

- dijken & dammen,
- duinen (ook wel duinwaterkeringen genoemd)
- waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld sluizen of kademuren) en
- niet waterkerende objecten (NWO's, zoals kabels en leidingen).

Voor al deze categorieën zijn beoordelingsinstrumenten beschreven in het BOI.

De waterkeringen van dijkkringgebied 13 zijn volledig in beheer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Het merendeel van de kunstwerken is eveneens in het beheer van HHNK. Een aantal is in beheer bij de gemeente of de provincie Noord-Holland (van Reen, 2014). Het technisch beheer van het sluizencomplex bij IJmuiden valt formeel onder Rijkswaterstaat Waterdistrict Noord-Holland. In het volgende tekstkader staan begrippen die in het waterveiligheidsbeleid gebruikt worden toegelicht.

De beoordeling van de waterkering van Noord-Holland is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3.

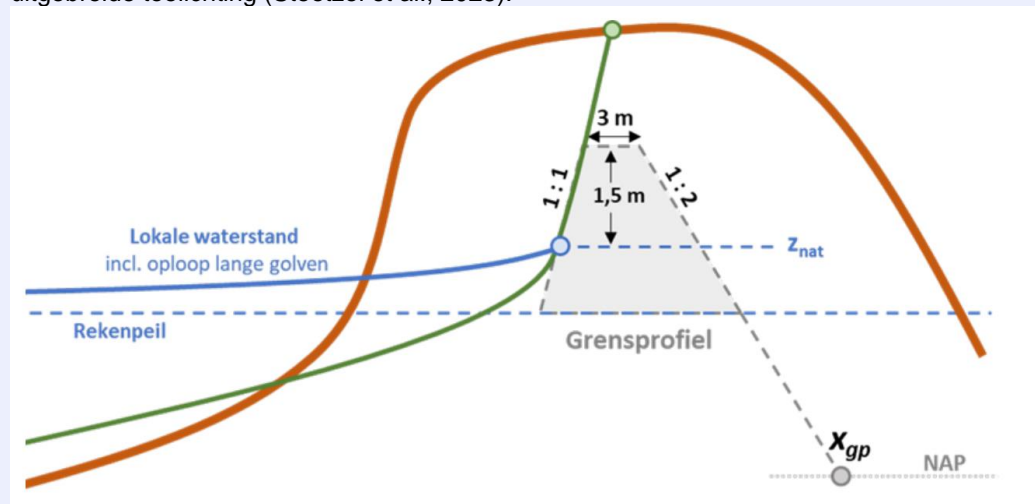
Begrippenlijst Beoordeling Waterkering

Aansluitingsconstructie

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

Grensprofiel

Het grensprofiel is een pragmatische wijze om aan te tonen dat er een minimaal volume zand in het profiel aanwezig is tijdens en na het initiële faalmechanisme duinafslag om de wettelijke veiligheid van het binnendijks gelegen gebied te waarborgen. De rol en definitie van het grensprofiel is in het BOI (2023-2035) minder strikt voorgeschreven dan in het WBI, zie voor een uitgebreide toelichting (Steetzel et al., 2023).



Bron: Steetzel et al. (2023) : De rode lijn is het duinprofiel en de groene lijn het afslagprofiel.

Hybride kering

Dit is een kering die bestaat uit een combinatie van twee type waterkeringen die de waterveiligheid waarborgen, 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.

Omgevingswaarde

Een omgevingswaarde legt de kwaliteit vast voor de fysieke leefomgeving. Voor waterveiligheid zijn de omgevingswaarden waaraan dijktrajecten in 2050 moeten voldoen vastgelegd in het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl). De omgevingswaarde voor de meeste dijktrajecten is de maximale toelaatbare 'overstromingskans per jaar'. Voor een aantal dijktrajecten is een andere of aanvullende omgevingswaarde in het Bkl vastgelegd.

Signaleringsparameter

Gebruikte term om 'de andere parameter voor de signalering over de veiligheid van een dijktraject' aan te duiden. De monitoring van de omgevingswaarden in relatie tot de signaleringsparameters zorgt ervoor dat tijdig maatregelen kunnen worden getroffen om de veiligheid van de primaire waterkeringen te borgen.

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 Noord-Holland

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 Noord-Holland.

4.2 Waterveiligheid

4.2.1 Kustverdedigingswerken

Vanaf circa 1000 jaar na Chr. werden de eerste dijken gebouwd door de bewoners van noordelijk Noord-Holland. De eerste waterschappen verschenen in de 13^e eeuw, omdat de noodzaak tot coördinatie van waterbeheer en kustverdediging steeds sterker werd gevoeld. De West-Friese omringdijk (1250) is een goed voorbeeld van een dergelijke gecoördineerde actie. In het verleden zijn talrijke harde verdedigingswerken aangelegd langs de Noord-Hollandse kust; Tabel 4.1 en Figuur 4-1 geven een overzicht. Tussen de Hondsbossche Duinen en de Helderse Zeewering bevinden zich 69 strandhoofden. Naast deze strandhoofden zijn er havendammen aangelegd bij IJmuiden. Hieronder worden de harde constructies kort behandeld.

Tabel 4.1 : Overzicht van de harde verdedigingswerken langs de Noord-Hollandse kust.

Kunstwerk	Locatie (RSP)	Periode van constructie	Opmerkingen
Helderse Zeewering	1.1	1721 1956	Constructie Verlenging
Hondsbossche en Pettemer Zeewering	20.0 – 26.0	1500 / 1872 / 1954 1969 / 2015	'zacht' versterkt in 2015
Strandhoofden	0.4 – 31.0	1880 - 1935	
Havendammen IJmuiden	55.0 – 56.0	1865-1879 1962-1967	Lengte 1,5 km Verlenging tot 2,3 km (noord) en 2,5 km (zuid)



Figuur 4-1 : Overzicht van 'harde' constructies in het Noord-Hollandse kustvak: (a) aanleg strandhoofden uit Verhagen en van Rossum (1990), (b) Helderse Zeewering, (c) hoofden tussen Helderse en Hondsbosse zeewering, (d) Hondsbosse en Pettemer Zeewering in 1982, (e) Hondsbosse Duinen (foto: EcoShape), en (f,g) havendammen van IJmuiden en de aanzanding in 2011 aan de noordzijde daarvan. Alle foto's zijn afkomstig van het Beeldarchief Rijkswaterstaat (m.u.v. (e)).

Strandhoofden

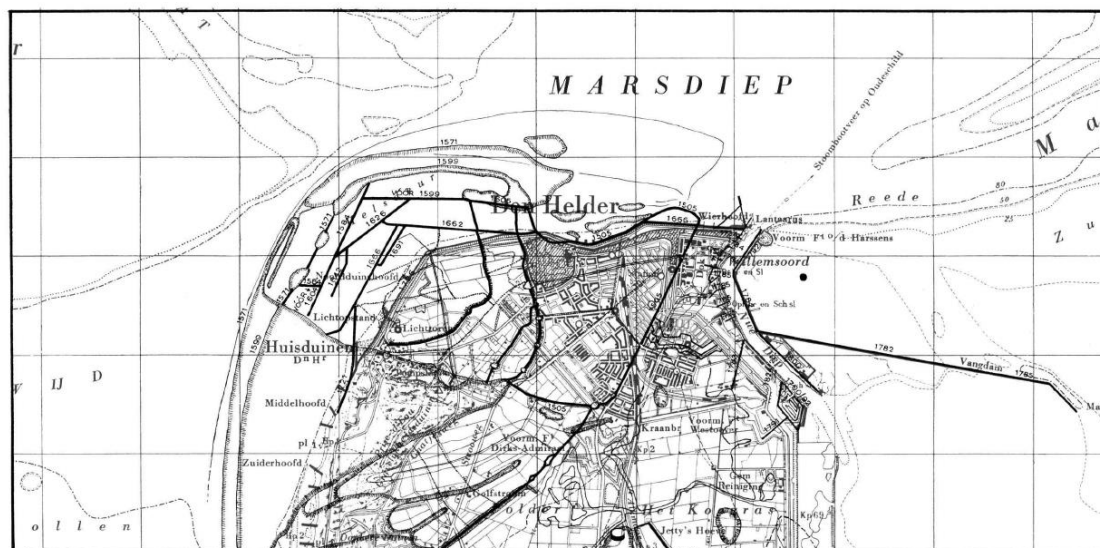
In het verleden zijn talrijke harde verdedigingswerken aangelegd langs de Noord-Hollandse kust (Figuur 4-1). Tussen de HPZ en de Helderse Zeewering bevinden zich 69 strandhoofden. Met de aanleg van de eerste hoofden bij Callantsoog werd al in 1880 begonnen. In 1930 zijn vanaf de HPZ tot de Helderse Zeewering strandhoofden aangelegd. Ten zuiden van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering is van 1932 tot 1935 over 4 km een reeks hoofden aangelegd, later aangevuld met palenrijen over een afstand van een kilometer.

Uitgebreide analyses naar het functioneren van de strandhoofden zijn sinds de studie van Verhagen en van Rossum (1990) niet meer uitgevoerd. Uit de analyse van de strandhoofden (en palenrijen) langs de gehele kust wordt in de studie van Verhagen en Rossum geconcludeerd dat strandhoofden op twee verschillende manieren invloed kunnen hebben op het kustgedrag: Ten eerste via beïnvloeding van het door golven aangedreven brandingsstroomtransport en ten tweede door beïnvloeding van de getijstroming. Op locaties waar strandhoofden de getijstroom van de kust afhouden, lijken deze over het algemeen succesvol te functioneren. Op plaatsen waar strandhoofden de golfgedreven stroming beïnvloeden, zoals op de meeste locaties in Noord-Holland, is de effectiviteit minder duidelijk aan te tonen. Verhagen en van Rossum (1990) concluderen op basis van regressieanalyse dat de erosiesnelheid na aanleg van de hoofden tussen raai 200 en 900 juist toenam. Tussen raai 1000 en 1300 is er een afname van de erosiesnelheid en tussen raai 1300 en 2000 varieert de ontwikkeling. Door het wisselende succes van de al bestaande strandhoofden en de grote kosten voor aanleg en onderhoud, wordt de kust van Noord-Holland tegenwoordig, sinds de keuze voor dynamisch kustbeheer, onderhouden middels zandsuppleties.

Bij de HPZ wordt door Verhagen en van Rossum geconstateerd dat de doorgaande kusterosie aan weerszijden van de dijk nauwelijks beïnvloed wordt door de strandhoofden. Deze erosie gaat in het normale tempo door, waardoor de dijk als een bolwerk in zee ligt en daarmee een gedeeltelijke scheiding tussen de kust ten noorden en zuiden ervan vormt. De studie van Allersma (1988) geeft als mogelijke oorzaken voor de kop- en staarterosie; (1) de algemene recessie van de kust, (2) toenemende contractie van de stroming rond de vooruitstekende zeewering, (3) verstoring van het bewegingspatroon van de brekerbanken voor de kust, (4) het doorbreken van een erosie-resistente laag zodat een zachter materiaal is blootgesteld.

Helderse Zeewering

De oorsprong van de Helderse Zeewering ligt in het begin van de 17^{de} eeuw (Figuur 4-2). Houten palen en zinkstukken opgebouwd uit wilgenmatrassen werden geplaatst aan de voet van de dijk om de erosie van de kust tegen te houden en de teen van de dijk te beschermen. Deze constructies vertraagden de erosie wel, maar een echte stabilisatie vond plaats in de 18^{de} eeuw door de aanleg van een stenen zeewering welke tegenwoordig de Helderse Zeewering wordt genoemd. De ontgrondingskuil en voortdurende uitschuring langs de voet van de Helderse Zeewering maken periodiek onderhoud noodzakelijk. Tot 2007 werd dit onderhoud voornamelijk door aanvullende steenbestortingen uitgevoerd. In 2007 is een grote zandsuppletie (geulwandsuppletie) uitgevoerd met mede als doel de stabiliteit van de zeewering te waarborgen.



Figuur 4-2 : Landverlies Kop van Noord-Holland vóór voltooiing Helderse Zeewering (Westenberg, 1961)

Hondsbossche en Pettemer Zeewering

De oorsprong van de Hondsbossche zeewering ligt in de 16^{de} eeuw toen paalwerken en strandhoofden langs de kustlijn werden geplaatst om zo de erosie van de duinreep te stoppen. De zeewering is verschillende keren landwaarts verplaatst door de erosie aan de noord- en zuidzijde hiervan. Rond 1880, met de versterking van het aanwezige zandlichaam met basaltblokken, kreeg de zeewering meer zijn huidige vorm. Aan weerszijden werden strandhoofden gebouwd om de kop- en staarterosie te beperken. In 1981 werd de basaltdijk op Deltahoogte (11,5 m +NAP) gebracht. De Hondsbossche Zeewering vormt één geheel met de Pettemer Zeewering die zich in het noordelijke gedeelte bevindt. Het Pettemer deel is hoger en steiler aangelegd.

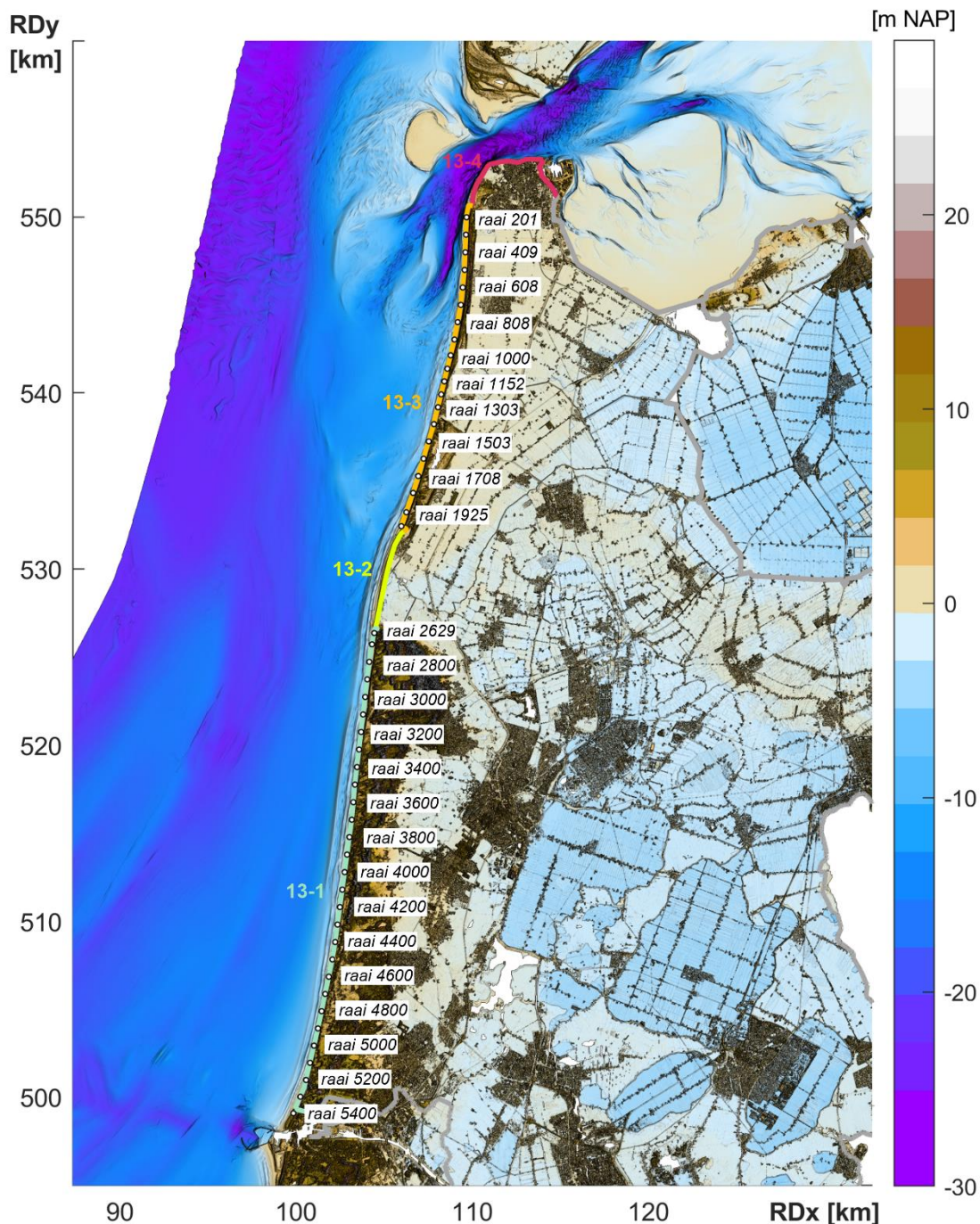
Vervolgens werd in het rapport *Verkenning Kustverdedigingsstrategieën. Zwakke Schakels Noord-Holland* van 2005 vastgesteld dat dit deel van de kust niet meer voldeed aan de wettelijke veiligheidsnorm. Het rapport meldde: 'Momenteel zou er bij extreme omstandigheden meer water over de dijk slaan dan volgens de heersende opvattingen verantwoord is. Bovendien zijn de aansluitingsconstructies met het aangrenzende duingebied kwetsbaar en is er sprake van een kans op toenemende erosie van de zandige vooroever, waardoor de stabiliteit van de voet van de dijk in gevaar kan komen.' Er zijn toen noodmaatregelen getroffen om de veiligheid van het achterliggende land te waarborgen. Eind 2004 is er stalen damwand geplaatst in de kruin van de Pettemer Zeewering die 70 cm boven de dijk uitsteekt. In 2005 werd ook de Hondsbossche Zeewering aan de buitenkant verstevigd met een blokkenpatroon van beton. In 2014-2015 is de zeewering ingepakt met 35 miljoen m³ zand als onderdeel van het kustversterkingsproject 'Kust op Kracht'. Het resultaat is een compleet nieuw, 250 meter breed duingebied zeewaarts (en over de volle lengte) van de oude zeewering met daarvoor een strand. Het gebied wordt nu ook wel Hondsbossche Duinen genoemd (Figuur 4-1). Op het traject van de Hondsbossche Duinen is geen basiskustlijn (BKL) bepaald. Het onderhoud van de versterking (middels suppleties) is voor twintig jaar, tot eind 2035, bij een aannemerscombinatie belegd.

Havendammen bij IJmuiden

In de periode 1867-1876 zijn de haven van IJmuiden en de bijbehorende havenhoofden aangelegd. Het zuidelijke en noordelijke havenhoofd reikten toen respectievelijk 1300 m en 1050 m zeewaarts t.o.v. van de kustlangse lijn waarop de Rijksstrandpalen zijn geplaatst (RSP-lijn). Beide havenhoofden hebben een nagenoeg gelijke vorm. Na de aanleg is de morfologie van de aangrenzende kust veranderd om uiteindelijk een nieuw evenwicht te bereiken. Honderd jaar na aanleg, tussen 1962 en 1967, zijn de havenhoofden met 1,5 km aan de zuidkant en 1 km aan de noordkant verlengd als onderdeel van de vergroting van de havenmond. De nieuwe havenmond moet veel grotere schepen kunnen verwerken. De asymmetrische vorm van de pieren moet helpen bij het op natuurlijke wijze opruimen van een grote zandplaat voor de ingang en het tegengaan van verzanding. Het zuidelijke en noordelijke havenhoofd reiken nu 2800 m en 1850 m zeewaarts (De Kruif & Keijer, 2003).

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 Noord-Holland bestaat uit meerdere trajecten die allen in beheer zijn bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Aan de Noordzeezijde betreft dit dijktraject 13-1, 13-2, 13-3 en 13-4 (Figuur 4-3). Dijktraject 13-1 (IJmuiden-Camperduin), 13-2 (Camperduin-Petten) en 13-3 (Petten-Den Helder) bestaan volledig uit duinen. Dijktraject 13-4 bestaat uit de (Verlegde-) Helderse zeewering, Havendijk en Koegraszeedijk. Alle trajecten hebben een signaleringsparameter ('signaleringswaarde' in de Waterwet) van 1:3000. De omgevingswaarde ('ondergrens' in de Waterwet) wisselt per traject: dijktraject 13-1, 13-3 en 13-4 hebben een waarde van 1:1000 en dijktraject 13-2 heeft een waarde van 1:3000 (www.waterveiligheidsportaal.nl).



Figuur 4-3 : Overzicht van de dijktrajecten langs de Noordzezijde van kustvak Noord-Holland.

4.2.3 Beoordeling van de primaire waterkering

De eerste beoordelingsronde, van 2017 t/m 2022 is afgerond en alle dijktrajecten zijn beoordeeld. De beoordeling van de normtrajecten van Noord-Holland is te vinden in het waterveiligheidsportaal (www.waterveiligheidsportaal.nl). Figuur 4-4 geeft de actuele veiligheidsstatus van de primaire keringen voor Noord-Holland weer.

Op 13 oktober 2020 is beoordeeld dat dijktraject 13-1 'Zandige kust IJmuiden-Camperduin' voldoet aan de signaleringswaarde zoals vastgesteld in de Waterwet ('signaleringsparameter' in de Omgevingswet). Dit betekent dat de overstromingskans van het dijktraject kleiner is dan de signaleringswaarde. Op 10 september 2019 kreeg dijktraject 13-3 ('Petten-Den Helder'

dezelfde beoordeling. Op 9 december 2019 is beoordeeld dat dijktraject 13-2 'Zandige kust Camperduin-Petten' ruim voldoet aan de signaleringswaarde. Op 16 juli 2021 is beoordeeld dat dijktraject 13-4 'De (Verlegde -) Helderse Zeewering, Havendijk en Koegraszeedijk' niet aan de signaleringswaarde en ook niet aan de ondergrens voldoet. Dit betekent dat de overstromingskans van het dijktraject groter is dan de signaleringswaarde en de ondergrens. Met name de macrostabiliteit buitenwaarts, golfklappen op en wateroverdruk bij asfaltbekleding, en stabiliteit steenzetting voldoen niet aan de ondergrens.

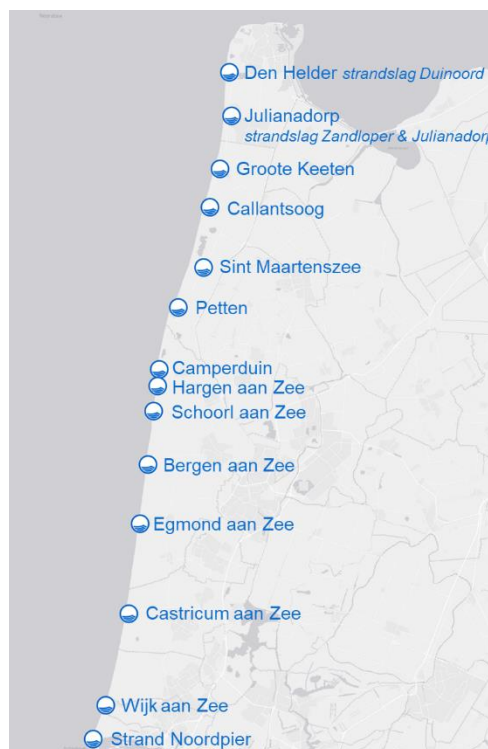


Figuur 4-4 : Actuele veiligheidsstatus van de primaire keringen voor normtraject 13-1, 13-2, 13-3 en 13-4 (www.waterveiligheidsportaal.nl, geraadpleegd juli 2023).

4.3 Strandrecreatie

Langs vrijwel de gehele kop van Noord-Holland zijn badplaatsen te vinden. Figuur 4-5 laat de Blauwe Vlag stranden langs de kop van Noord-Holland zien. Stranden met de blauwe vlag zijn internationaal erkend o.a. als zeer schoon en hebben een (seizoensgebonden) reddingspost.

Bekende badplaatsen in de gemeente Schagen zijn Grote Keeten, Callantsoog en Sint Maartenszee. De gemeente Bergen heeft een 20 km lange kust met vele verschillende stranden: Egmond-Binnen, Egmond aan Zee, Bergen aan Zee, Schoorl aan Zee, Hargen aan Zee en Camperduin. Elk strand heeft een eigen karakter. Camperduin is het noordelijkste strand van deze gemeente en ligt dicht tegen Petten en de (oud) Hondsbossche Zeewering aan. In 2014 is bij Camperduin een heel nieuw strand en duinen gemaakt. Ook is er een lagune gekomen. Strand Noordpier ligt ten noorden van het Noordzeekanaal en is zeer geschikt voor golf, wind- en kitesurfen.

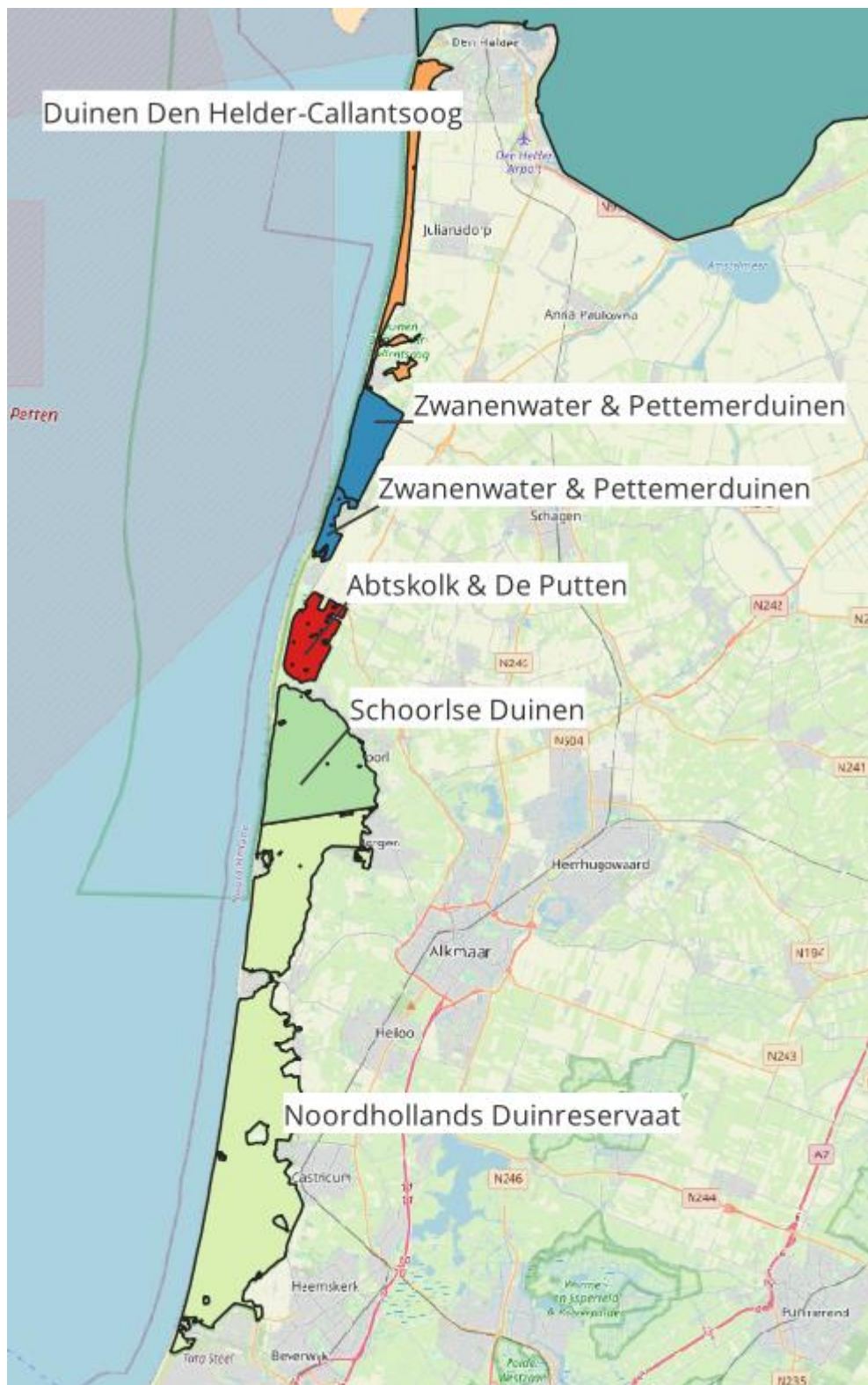


Figuur 4-5. Locaties met de Blauwe Vlag.

4.4 Natuur

De duingebieden in de Noord-Hollandse kustzone zijn grotendeels beschermd Natura2000 gebied. Er zijn 5 verschillende Natura2000 gebieden in de kustzone (Figuur 4-6). De gebieden zijn in eigendom en beheer van verschillende terreinbeheerders (Landschap Noord-Holland, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en PWN). Een deel van de buitenste duinstrook (van circa 300 meter breed) is in technisch beheer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, omdat deze strook fungeert als primaire waterkering. Voor deze Natura 2000-gebieden zijn het Ministerie van Economische Zaken en de provincie Noord-Holland bevoegd gezag.

Vier van de vijf gebieden omvatten een duinlandschap, met uitzondering van het gebied Abtskolk en de Putten, wat een ingepolderd gebied is (beschermd door een waterkering) en met name bestaat uit grasland en een aantal plassen. Hiervoor is alleen een korte beschrijving van het gebied opgenomen. Voor de overige gebieden zijn ook de belangrijkste knelpunten uit het gebiedsbeheerplan overgenomen.



Figuur 4-6 : Natura2000 gebieden aan de Noord-Hollandse kust

4.4.1 Duinen Den Helder-Callantsoog

Op de Natura2000 website van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (<https://www.natura2000.nl/gebieden/noord-holland>) staan de Natura2000 gebieden beschreven. Onderstaande alinea is overgenomen uit de gebiedspagina 'Duinen Den-Helder-Callantsoog'.

Het gebied Duinen Den Helder-Callantsoog bestaat van noord naar zuid uit de Grafelijkheidsduinen en de Donkere Duinen, de Noordduinen (de strook tussen Den Helder en Callantsoog) en enkele nollenterreintjes en het Kooibosch ten oosten van het Callantsoog. Het noordelijk deel en de nollen zijn restanten van voormalige eilanden. In het noordelijk deel verandert het landschap van west naar oost van de zeereepduinen via een sterk geaccidenteerd landschap met valleicomplexen naar een bosrijke binnenduintrand. Over een groot deel van de duinen is een abrupte hoge steile overgang van duinen naar polders aanwezig. Het gebied heeft goed ontwikkelde duingraslanden. In 1995 is in de Grafelijkheidsduinen een natte duinvallei hersteld en langs de randen uitgebreid. In de Noordduinen zijn in de afgesnoerde strandvlakte bij het Botgat vochtige duinvalleien aanwezig. De nollen behoren tot de Oude Duinen; hier zijn duingraslanden aanwezig (tekst overgenomen van Ministerie van Economische Zaken)

In het beheerplan (Provincie Noord-Holland, 2017a) worden de belangrijkste knelpunten om de doelstellingen voor behoud en verbetering in de open duinen te realiseren beschreven. Deze zijn de hoge stikstofneerslag, die leidt tot vermesting en versnelde ontkalking, en het gebrek aan dynamiek/verstuing vanuit de zeereep door vastlegging. Deze zorgen ervoor dat de karakteristieke open duinen dichtgroeien en vergrassen, waardoor de plantensoorten die van lichte en voedselarme omstandigheden houden, verdwijnen. Daarmee verdwijnen ook de insecten en andere dieren die van deze planten afhankelijk zijn. De processen van verstarren en dichtgroeien van het open duin worden versterkt door de lage konijnenstand. Duinbossen hebben te lijden van te hoge stikstofneerslag waardoor de samenstelling van de ondergroei verandert. Vochtige duinvalleien worden te voedselrijk door de stikstofneerslag en ont kalken door het gebrek aan overstuiving met kalkrijk zand. In alle delen van het gebied vormen zogenoemde invasieve en gebiedsvreemde soorten, zoals de rimpelroos, een probleem.

In de afgelopen jaren heeft de terreinbeherende organisatie (Landschap Noord-Holland) al natuurherstelmaatregelen uitgevoerd om de knelpunten aan te pakken. Voor duurzaam behoud zijn ook in de komende jaren nog maatregelen nodig. Voor alle habitattypen, behalve struwelen, zijn ten opzichte van het reguliere beheer aanvullende maatregelen nodig. Het gaat om beheer- en inrichtingsmaatregelen zoals het maken van stuifplekken, plaggen, opslag verwijderen, invasieve soorten bestrijden, drukkbe grazing en (extra) maaien. Deze maatregelen zijn voor een deel nodig vanwege de te hoge stikstofneerslag op het gebied. Ze zijn bedoeld om de negatieve effecten van stikstof tegen te gaan en zijn overgenomen uit de 'gebiedsanalyse' die in het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS) is opgesteld voor de Duinen Den Helder-Callantsoog.

4.4.2 Zwanenwater & Pettemerduinen

Op de Natura2000 website van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (<https://www.natura2000.nl/gebieden/noord-holland>) staan de Natura2000 gebieden beschreven. Onderstaande alinea is overgenomen uit de gebiedspagina 'Zwanenwater & Pettemerduinen'.

Ten zuiden van Callantssoog ligt een uitgestrekt duingebied dat tot Petten doorloopt. Het noordelijke deel hiervan is het Zwanenwater. Het Zwanenwater is een vrijwel ongeschonden landschap van overwegend kalkarme duinen met vochtige en drassige valleien. In het centrum liggen twee uitgestrekte duinmeren. Beide meren worden omringd door een brede strook moerasland. In sommige van de vochtige duinvalleien en plaatselijk op de oevers van de meren treedt laagveenvorming op. Achter de zeereep in het zuidelijke deel, de Pettemerduinen, liggen goed ontwikkelde duinvalleien, zoals de Korfwateren, en droge duinen. Door de grote variatie in milieutypen in het gebied, variërend van droog tot zeer nat en van kalkrijk tot kalkarm, is een grote verscheidenheid van vegetatietypen aanwezig waarin al van zeldzame plantensoorten voorkomen. De kalkarme droge duinen van met name het Zwanenwater herbergen een oppervlakte duinheide. Het gebied is ontstaan nadat omstreeks 1600 het zeegat Zijpe werd afgesloten. Door deze afsluiting kon duinvorming optreden, eerst aan de oostzijde van de aanwezige strandwal, later ook aan de westzijde. Tussen beide duinenrijen ontstond een duinvallei. De westelijke duinenrij is tot aan de dag van vandaag onderhevig aan verstuiwing. Er is dan ook een ingewikkeld complex ontstaan van secundaire valleien en paraboolduinen, die elkaar op vele manieren overlappen en doorkruisen.

In het beheerplan (Provincie Noord-Holland 2017b) staan de belangrijkste knelpunten beschreven. Dit zijn de hoge stikstofneerslag, die leidt tot vermesting en versnelde ontkalking, en het gebrek aan dynamiek/verstuiwing vanuit de zeereep door vastlegging. Deze zorgen ervoor dat de karakteristieke open duinen dichtgroeien en vergrassen, waardoor de plantensoorten die van lichte en voedselarme omstandigheden houden, verdwijnen. Daarmee verdwijnen ook de insecten en andere dieren die van deze planten afhankelijk zijn. De processen van verstarring en dichtgroeien van het open duin worden versterkt door de lage konijnenstand. Duinbossen hebben te lijden van te hoge stikstofneerslag waardoor de samenstelling van de ondergroei verandert. Vochtige duinvalleien worden te voedselrijk door de stikstofneerslag en ontkalken door het gebrek aan overstuiving met kalkrijk zand. Voor de meeste soorten zijn er geen knelpunten met uitzondering van de Roerdomp (afname oppervlakte kwaliteit waterriet) en de lepelaar (verdringing door Aalscholver en predatie door de vos). Voor dat laatste heeft Natuurmonumenten al maatregelen genomen in de vorm van hekken.

In de afgelopen jaren hebben de terreinbeherende organisaties (SBB en Natuurmonumenten) al natuurherstelmaatregelen uitgevoerd om de knelpunten aan te pakken. Voor duurzaam behoud zijn ook in de komende jaren nog maatregelen nodig. Voor alle habitattypen, behalve Kruiwilgstruwelen, zijn ten opzichte van het reguliere beheer aanvullende maatregelen hard nodig. Het gaat met name om beheer- en inrichtingsmaatregelen zoals het maken van stuifplekken, plaggen, opslag verwijderen, drukbegrazing, (extra) maaien en oevers verflauwen. Deze maatregelen zijn voor een deel nodig vanwege de te hoge stikstofneerslag op het gebied. Ze zijn bedoeld om de negatieve effecten van stikstof tegen te gaan en zijn overgenomen uit de 'gebiedsanalyse' die in het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS) is opgesteld voor het Zwanenwater en Pettemerduinen.

4.4.3 Abtskolk & De Putten

Op de Natura2000 website van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (<https://www.natura2000.nl/gebieden/noord-holland>) staan de Natura2000 gebieden beschreven. Onderstaande alinea is overgenomen uit de gebiedspagina 'Abtskolk & De Putten'.

Het aangewezen gebied maakt deel uit van de Zijpe-en Hazepolder en de Vereenigde Harger- en Pettemerpolder. De Zijpe-en Hazepolder is een droogmakerij die is drooggelegd aan het eind van de 16e eeuw. De polder is in afdelingen verdeeld vanwege hoogteverschillen tussen de delen van het drooggevalen land. Elke afdeling werd met een letter van het alfabet aangeduid en had voor bemaling zijn eigen windmolen. De Vereenigde Harger- en

Pettemerpolder is enkele tientallen jaren later drooggelegd. De opening in de duinenrij tussen Petten en Camperduin is eind 16e eeuw definitief gedicht maar de Hondsbossche Zeewering is in zijn huidige vorm in 1870 gereed gekomen. Ten gevolge van kleiwinning in de jaren vijftig en zeventig van de vorige eeuw zijn respectievelijk de plassen van De Putten en de Abtskolk ontstaan. Het gebied bestaat verder overwegend uit grasland. De Zijpe-en Hazepolder heeft een rechtlijnige verkaveling terwijl het slotenpatroon in de Vereenigde Harger- en Pettemerpolder een minder regelmatig karakter heeft.

4.4.4 Schoorlse duinen

Op de Natura2000 website van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (<https://www.natura2000.nl/gebieden/noord-holland>) staan de Natura2000 gebieden beschreven. Onderstaande alinea is overgenomen uit de gebiedspagina 'Schoorlse Duinen'.

Het gebied Schoorlse Duinen beslaat een strook kalkarme (en plaatselijk kalkrijkere) duinen die ligt tussen Bergen en de Hondsbossche Zeewering. Hier bevinden zich de hoogste duinen van ons land, tot maximaal 58 m boven zeeniveau. Het is een gevarieerd en uitgestrekt duinlandschap dat reliëfrijk en landschappelijk zeer afwisselend is. In het westen liggen lagere zeereepduinen, gevolgd door een sterk geaccidenteerd landschap met uitgestrekte valleicomplexen, die over een grote oppervlakte zijn begroeid met dophei- en kraaiheivegetatie. De binnenduintrand is vrijwel geheel bebost. Een deel van deze bossen zijn oude loofbossen, een ander deel bestaat uit naaldbossen, die gezien de ouderdom en het lokaal voorkomen van zeldzame planten grote natuurwaarde hebben. In het zuidelijk deel lopen de boscomplexen door tot aan het buitenduin. In 1997 is ter hoogte van de Parnassiavallei een kerf aangebracht in de 100-150 m brede zeereep om zeewaterinvloed tot in de binnenduinen terug te brengen.

In het beheerplan (RVO 2016) wordt als belangrijkste knelpunt in het duingebied genoemd dat op dit moment de sleutelprocessen onvoldoende werken. Dit zijn vooral het gebrek aan grond- en waterdynamiek en in de laagste delen ook verdroging. Het gevolg hiervan is dat het duinecosysteem de laatste tijd sterk verarmd is geraakt. Veel kenmerkende dier- en plantensoorten zijn zeldzaam geworden of zijn al uit de duinen verdwenen. Centraal in het beheerplan staat daarom de vraag welke maatregelen er de komende jaren genomen kunnen worden om de natuurlijke processen opnieuw op gang te brengen, zodat de soortenrijkdom in het duingebied zich kan herstellen. Naast het (plaatselijk) terugbrengen van dynamiek in de duinen en het tegengaan van verdroging in de laag gelegen duinvalleien liggen er knelpunten in verbossing en veroudering van heidevegetaties, in het grote aandeel naaldhout in de bossen (verdampen veel water en vormen hier geen natuurlijk duinbosecosysteem) en in verruiging van de duinbeek in het Hargergat.

4.4.5 Noordhollands Duinreservaat

Op de Natura2000 website van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (<https://www.natura2000.nl/gebieden/noord-holland>) staan de Natura2000 gebieden beschreven. Onderstaande alinea is overgenomen uit de gebiedspagina 'Noordhollands Duinreservaat'.

Het Noordhollands Duinreservaat is een karakteristiek voorbeeld van een Nederlands duinlandschap, zoals dat in de loop der eeuwen ontstaan is als gevolg van een samenloop van geologische, geomorfologische en klimatologische omstandigheden en menselijk handelen. Het is een biologisch, morfologisch, hydrologisch en landschappelijk geheel van duinen met natte en vochtige duinvalleien, duingraslanden, struwelen, bossen en ruigten. Het ligt op de overgang van de kalkrijke naar de kalkarme duinen. Het reservaat behoort in zijn algemeenheid tot de kalkrijke duinen; er is echter een verloop in kalkrijkdom te zien. Het meest noordelijke stuk, ten noorden van Bergen aan Zee, is, evenals het aangrenzende gebied Schoorlse duinen,

kalkarm. De vegetatie weerspiegelt de kalkgehalten in de bodem: in het uiterst noordelijke deel komen kalkarme vegetaties met kraaiheide, kruipwilg, buntgras en dergelijke voor, ten zuiden van Bergen aan Zee overgaand in kalkrijke duingraslanden met duinsterretje en zeedorpenvegetaties, zoals bij Wijk aan Zee en Egmond aan Zee. Een aanzienlijk deel van het gebied is bebost met naaldbos en loofbos, die voor een deel zeer oud zijn.

In het beheerplan (Provincie Noord-Holland 2017c) staan de volgende belangrijkste algemene knelpunten genoemd:

- Verandering van gradiënt door grootschalig kustbeheer
- Ingrepen in de geomorfologie
- Ontbreken van natuurlijke, hydrologische gradiënten door verdamping en (grond)wateronttrekking
- Stikstofdepositie en verzuring
- Exoten
- Afname van begrazing door het konijn

4.5 Drinkwaterwinning

Typierend voor de duinen is de afwisseling tussen droge en nattere gebieden. Verdroging door drinkwaterwinning was hier een groot probleem. Plantensoorten als parnassia, duizendguldenkruid en verschillende soorten orchideeën dreigden te verdwijnen (Regionaal Waterprogramma Noord-Holland 2022-2027). Maar in de afgelopen decennia zijn er veel maatregelen genomen. Zo is de drinkwaterwinning in de Grafelijkheidsduinen bij Den Helder en in het Nationaal Park Zuid-Kennemerland gestopt. In het Noordhollands Duinreservaat (53 km²), waar drinkwaterwinning plaatsvindt door PWN, is de winning van natuurlijk duinwater teruggebracht van 6 tot 2 miljoen m³/jaar. Deze drinkwaterwinningen hebben een lange historie en in de duinen werd het risico van uitputting, verdroging en verzilting al lang voor het in werking treden van de Kaderrichtlijn Water (KRW) signaleerd.

Om de drinkwatervoorraad op peil te houden wordt in deze duinen sinds de tweede helft van de vorige eeuw voorgezuiverd oppervlaktewater geïnfiltreerd. PWN haalt bij Andijk (Figuur 4-7) water uit het IJsselmeer en bij Nieuwegein uit de Lek. Hier zeven ze het water om er de grove bestanddelen uit te halen. Dit voorgezuiverde water gaat vervolgens naar het Noordhollands Duinreservaat. Hier liggen twee infiltratiegebieden: Castricum (ICas) en Kieftenvlak (IKief). De waterinlaat bij Castricum wordt ook wel De Kwal genoemd vanwege zijn vorm (zie Figuur 4-7). Deze zogenoemde zandpassage filtert schadelijke stoffen en bacteriën uit het water. De infiltratieplassen zijn zo ingericht dat ze niet alleen het water op een efficiënte manier zuiveren, maar ook een leefomgeving vormen voor vele planten en dieren. Er blijft zuurstofarm water over. Na ongeveer 30 dagen pompt PWN het gezuiverde water op. Dan gaat het naar de productiebedrijven Bergen en Wijk aan Zee. Hier wordt het nagezuiverd. Via beluchting wordt er weer zuurstof aan het water toegevoegd. Ten slotte verwijderen zandfilters de nog aanwezige vaste deeltjes. Dit water is echter nog niet zacht genoeg. Hiervoor wordt het water gemengd met puur water afkomstig van productiebedrijf Heemskerk. De hoeveelheid water die wordt onttrokken (51 miljoen m³/jaar) is bijna gelijk aan de grondwateraanvulling (49 miljoen m³/jaar) in het gebied (Regionaal Waterprogramma Noord-Holland 2022-2027).



Figuur 4-7 : Overzichtskaart van de drinkwaterwinning in Noord-Holland boven het Noordzeekanaal. Waternet levert water aan Amsterdam en enkele plaatsen in de omgeving, PWN levert in de rest van Noord-Holland boven het Noordzeekanaal.

Habitats van natte en vochtige duinvalleien hebben zich op verschillende plaatsen uitgebreid. In het Regionaal Waterprogramma Noord-Holland 2022-2027 staat beschreven dat voor de komende KRW-periode de uitdaging vooral ligt in de binnenduinrand. Het grondwater dat niet meer wordt opgepompt stroomt naar de duinrand en kan worden benut voor ontwikkeling van bijzondere kwelmilieu's zoals duinrellen met fonteinkruiden en percelen met blauwgraslanden. Door het water vast te houden ontstaat er ook een 'klimaatbuffer' tegen droge periodes.

5 Langetermijnontwikkelingen

5.1 Inleiding

De kennis over de langetermijnontwikkelingen van het kustvak Noord-Holland is relevant voor het beheer van de kust. De paragraaf over de paleogeografische ontwikkeling (5.2) schetst hoe het landschap van Noord-Holland 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.

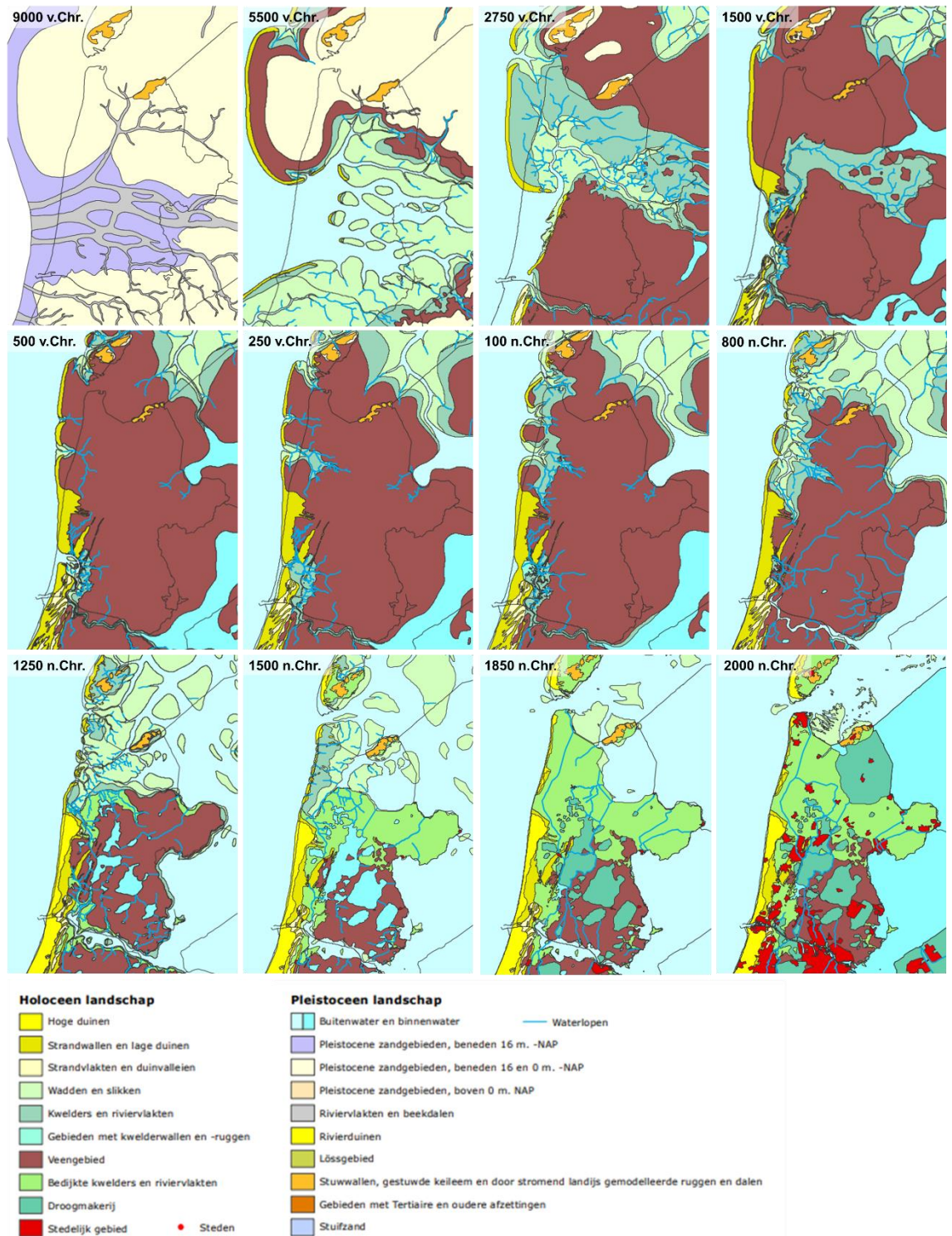
5.2 Paleogeografische ontwikkeling

De paleogeografische ontwikkeling van het gebied waarin de Noord-Hollandse kust (kustvak 7) nu ligt, kent een gevarieerd, maar toch verbonden patroon. De rechte Noord-Hollandse kust van *Ijmuiden tot aan Bergen* en de kust van *Bergen tot aan het Marsdiep* konden eerder in de geologische geschiedenis veel beter onderscheiden worden dan nu. Toch is er sprake van een lange overerving van gebiedsspecifieke kenmerken. Die kenmerken worden o.a. bepaald door:

- de configuratie van het landoppervlak aan het einde van het Pleistoceen, ongeveer 11.000 jaar geleden (Figuur 5-1 – 9000 v.Chr.);
- de op verschillende tijdstippen en manieren van opvullen van de voormalige getijdensystemen in het gebied: het Oer-IJ, het Zeegat van Bergen, de kleinere 'overwash' type zeegaten in noordelijk Noord-Holland en de vorming van het Marsdiep;
- 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.

Figuur 5-1 toont de algemene paleogeografische ontwikkeling van Noord-Holland. Opvallend is dat het Pleistocene oppervlak onder het noordelijk deel van Noord-Holland (van Bergen tot aan het Marsdiep) relatief ondiep ligt en onder het zuidelijke deelgebied zeer diep. Het is begrijpelijk dat die grote verschillen een grote invloed hebben gehad op kustvorming. Eveneens is de samenstelling van de Pleistocene ondergrond van enige invloed geweest op kustvorming en dan vooral het gebied ten noorden van Wieringen, waar erosie-resistente afzettingen ondieper dan -20 tot 16 m NAP liggen. Verder naar het zuiden komen in de lager gelegen delen van de kusthelling ook erosiebestendige, vroeg-Holocene kleilagen voor (bijvoorbeeld de Laag van Velsen en kleiafzettingen in het Zeegat van Bergen (Hijma, 2017)).

Rond 2750 v.Chr. bestaat nog een min of meer doorlopende strandwal vanaf noordelijk Noord-Holland tot Texel. De fragmentatie van die strandwal en de verdrinking van het achterland gaat vanaf die periode door tot aan de 19^e eeuw. Sindsdien is de situatie min of meer stabiel en kon veel land weer aangewonnen worden.



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

Noord-Hollandse kust van IJmuiden tot aan Bergen

De rechte kust tussen IJmuiden en Bergen is pas relatief korte tijd recht: sinds ongeveer 15 eeuwen. Daarvoor is de ontwikkeling van dit kustdeel lang gedomineerd geweest door een tweetal getijdenopeningen in de kust. De oudste en grootste van die twee was het Zeegat van Bergen (in het gebied waar nu Bergen en Uitgeest liggen); het jongste was het Oer-IJ (in het gebied waar nu Velsen en Beverwijk liggen). Het Oer-IJ was de laatste vorm van een zeegat wat aan het eind van het Atlanticum (ca. 4400 v.Chr.) aanwezig was ter hoogte van de westelijke Haarlemmermeer (Zeegat van Hoofddorp). Via een tussenstadium (Zeegat van Haarlem) ontstond ca. 2850 v. Chr. het Oer-IJ (Van der Valk, 1996).

De ligging van het Zeegat van Bergen werd bepaald door de regionaal zeer lage ligging van het oppervlak van de pleistocene afzettingen: hier lag de diep ingesneden bedding van de westelijke voortzetting van de Overijsselse Vecht onderlangs de zuidelijke rand van het stuwwallencomplex van Texel-Wieringen-Gaasterland. Deze topografische depressie heeft tijdens het Holoceen lang als een depositielocatie voor zand en klei gefungeerd. Het patroon van de strandwallen aan weerszijden van dit zeegat reflecteren duidelijk de ligging van dat zeegat en de veranderingen (progradatie van de kust) over de duizenden jaren dat dit zeegat functioneerde (Westerhoff et al., 1987; Vos, 2015). Tegen het begin van de Bronstijd, ca. 1800 v.Chr. raakte het bekken opgevuld en werd bewoning mogelijk.

Ondertussen was de verbinding tussen het hart van Holland met de zee gemigreerd tot de positie van het Oer-IJ tussen Uitgeest/Castricum en Limmen. Ondanks de afnemende functie van het zeegat bleef het nog tot ongeveer 100 n.Chr. een open verbinding met zee houden (Vos, 2015). De strandwallen ten zuiden en noorden van het Oer-IJ bouwden uit. Ook het zeewaarts gelegen deel van de Zeegat van Bergen liep vol met zand, deels afkomstig van de delta van de Oude Rijn ten noorden van Katwijk, die inmiddels in afbraak was en deels vanuit het noorden van het Noordelijk Noord-Hollands en Texels hoog.

In de vroege middeleeuwen zal het deel van de Hollandse kust van IJmuiden tot aan Bergen al een redelijk recht verloop hebben gehad (Vos, 2015). Verder rechtrokken trad op tijdens de periode van de vorming van de Jonge Duinen waarvan wordt aangenomen dat die ongeveer 800 n.Chr. begon en op de meeste plaatsen in ca. 1300 afliep. In de eeuwen daarna is nog regelmatig en voortdurend kusterosie opgetreden, waarvan de verwoesting van eerdere versies van het kustdorp Egmond misschien het meest tot de verbeelding spreekt. Verder rechtrokken van de kust vond plaats tijdens het strikte en eenvormige beheer van de zeereep in de 19^e en 20^e eeuw.

De kust van Bergen tot aan het Marsdiep

Het gebied waar de kop van Noord-Holland en het eiland Texel nu liggen, is tijdens en na de laatste glaciële periode (het Weichselien) onderhevig geweest aan lokale sedimentatie. Dit sediment was afkomstig van spoelzandwaaiers en dekzanden vanaf het in het Saalien door gletsjers opgestuwde hooggelegen gebied van wat nu Texel/Wieringen is (Kruiver, 2013).

De relatief hoge ligging van het Pleistocene oppervlak en de uitgestrektheid van die hooggelegen Pleistocene afzettingen tot ver in de Noordzee, heeft lang betekend dat de effecten van de zeespiegelstijging die zich gedurende het Holoceen voltrok, hier maar beperkt voelbaar waren. Er wordt aangenomen dat het gebied tot enkele duizenden jaren geleden een aaneengesloten dynamische strandwal heeft gekend, die tientallen kilometers zeewaarts van de huidige positie van de Noord-Hollandse kust en Texel lag. De erosieve werking van de relatief ondiepe stroming langs de oude kusten heeft veel materiaal kustlangs verplaatst naar het zuiden, het Zeegat van Bergen in en naar het oosten, waarna het door een voorganger van o.a. het Eierlandse Zeegat de Waddenzee in werd gevoerd. Hierbij schoof de kustlijn van de strandwal steeds verder naar het oosten op.

Achter de strandwal begon in de tweede helft van het Holoceen zoetwater te stagneren. Hierdoor ging onder meer veenvorming wijd verbreid optreden. De voortdurend stijgende zeespiegel, samen met het geleidelijk aan afnemen van de sedimentbron van de Texelse stenen, zorgde voor doorbraken van de strandwal vanaf de vroege middeleeuwen. Deze doorbraken hadden een relatief kort leven en zijn beter te beschouwen als grote, maar tijdelijke 'overwash' geulen (de reeds lang verdwenen/opgevolde getijdengeulen van het Zijpergat en het Heersdiep). Door die geulen werd over het veen een enkele meters dik pakket zand afgezet wat naar het oosten tot steeds dunner en kleiiger werd. De kustvorm was die van eilanden, die "ogen" werden genoemd: min of meer ronde of ellipsvormige, zich landwaarts verplaatsende eilanden, die aan de zeezijde beschermd werden door een goed onderhouden duinenrij en aan de landzijde door een dijkje (de voorlopers van Petten, Callantsoog en Huisduinen). Deze "ogen" zijn pas in de 18^e en 19^e eeuw permanent met elkaar verbonden, waarna de landwaarts gelegen kwelders en slikken konden worden ingepolderd (De Groot et al., 1994).

Verder opbreken van de kust ten zuiden van Texel vond plaats gedurende de periode 1000-1200 n.Chr. Het Marsdiep is een jonge inbraakgeul die zich in eerste instantie in de vroege middeleeuwen heeft gevormd. Vanaf 800 n.Chr. nam de invloed van het Marsdiep gestaag toe. Na 1200 n.Chr. kwam het Marsdiep tot grote ontwikkeling door verbinding met het Vlie (Schoorl., 2000; Aten, 2007). Geulontwikkeling werd hier deels beïnvloed door pakketten Pleistocene kleien in de ondergrond op dieptes van 10-16 m beneden NAP (Hijma, 2017). De effecten van stormvloed deden ten slotte het gehele veengebied van de Westelijke Wadden onder wadplaten verdwijnen (Schoorl, 2000). De complete verdrinking van het gebied tussen Wieringen en Medemblik heeft plaatsgevonden in de periode 1170 (Allerheiligenvloed) tot en met 1328 (St Clemensvloed) (Leek, 2016).

De kust van de kop van Noord-Holland vertoonde een voortdurende achteruitgang van de kustlijn, die gepaard ging met doorbraken het achterland in, totdat de mens in staat was de kustlijn te sluiten. Hierna konden de achterliggende intergetijdengebieden in de laatste twee eeuwen ingepolderd worden. Het Marsdiep is een geheel nieuw hoofdstuk in de kustontwikkeling gebleken. Hoewel reconstructie van de vermoedelijke debietontwikkeling het ontstaan van het Marsdiep niet verder terug brengt dan 1200 (Oost et al., 2012), kan desondanks vermoed worden dat er een oudere versie van het Marsdiep is geweest, namelijk van vóór de verbinding met wat nu de westelijke Waddenzee is. In Hoofdstuk 6 wordt de recente morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel en de Noord-Hollandse kust beschreven.

5.3 Bodemdaling

In Nederland wordt de ligging van het maaiveld en de waterbodem gerelateerd aan het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Er zijn momenteel 6 NAP-merken, allemaal gelegen in Midden-Nederland, die als stabiel worden verondersteld en alle andere NAP-merken zijn opgehangen aan deze punten. De laatste landelijke aanpassing van de primaire NAP-merken vond plaats in 2004 na de 5^e nauwkeurigheidswaterpassing (1996-1999). Ook de jaarlijks gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust wordt in NAP uitgedrukt; de laatste jaren stond de zee gemiddeld net onder de 0,10 m NAP (Stolte et al., 2022).

De waterpassingen, maar ook satellietmetingen, 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 binnen de Bodemdalingsmonitor (Hijma, 2022). 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 jaar². Hierbij wordt geen rekening gehouden met sedimentatie, het betreft feitelijk de bodembeweging van de top van de Pleistocene afzettingen. Dit betekent dat de verwachte bodemdaling niet gelijk staat aan de feitelijke veranderingen aan het maaiveld of de waterbodembodem. Indien 5 cm bodemdaling optreedt van de top van het Pleistoceen, maar er wordt ook 5 cm zand afgezet, dan is er geen verandering waarneembaar in de ligging van het maaiveld of waterbodembodem. Wel is dan het bodemdalingsvolume bekend dat is opgevuld met sediment.

De verwachte bodemdaling is gebaseerd op gepubliceerde modelberekeningen en kent een behoorlijke mate van onzekerheid (+/- 50%). Er wordt momenteel gewerkt aan de verbetering van de monitoring van bodembeweging langs de Nederlandse kust om de modellen te kalibreren en de bestaande onzekerheden te verkleinen. Hierbij speelt Global Navigation Satellite System (GNSS)-data een steeds grotere rol (Nougues & Hijma, 2022).

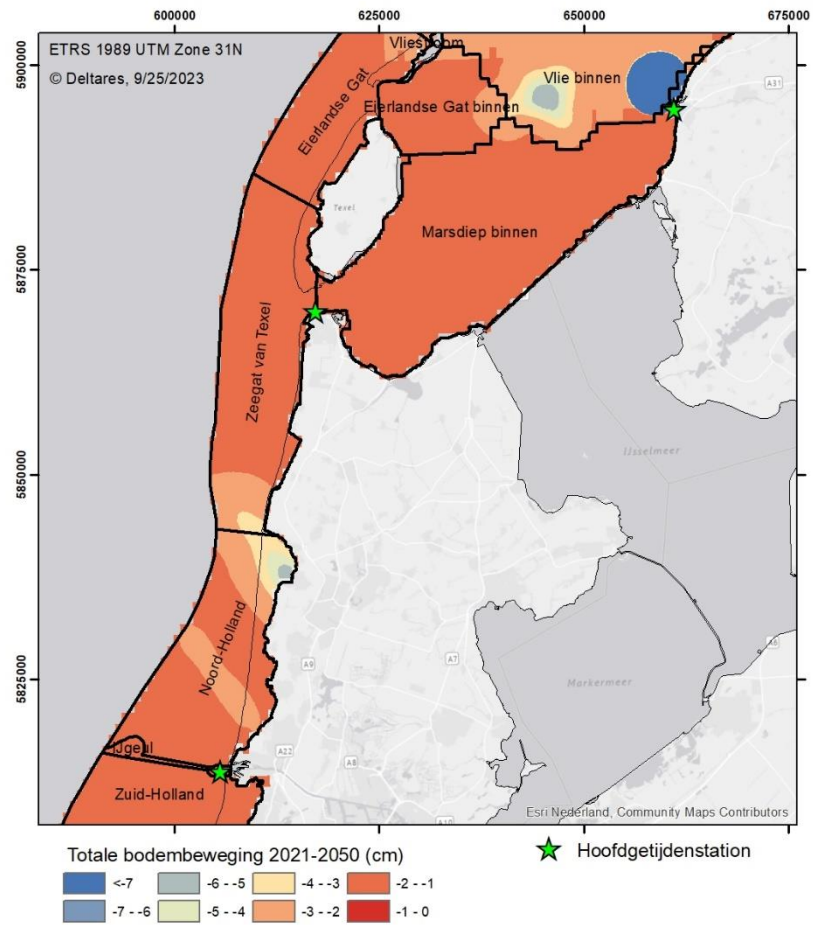
Tabel 5-1 : De belangrijkste componenten van bodembeweging in Nederland.

Hoofdoorzaak	Oorzaak	Beschrijving
Geologische bodembeweging	Tektoniek (< 1 cm/eeuw)	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 (2-6 cm/eeuw)	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 doorgebogen. Het proces van herstel (terugbuigen) is nog gaande.
Antropogene bodemdaling	Olie-/gaswinning (cm-dm per eeuw)	Daling aan het maaiveld die wordt veroorzaakt door de drukverlaging in olie- of gasvelden en die zorgt voor samendrukking van de betreffende lagen.
	Zoutwinning (cm-dm per eeuw)	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 (cm-dm per eeuw)	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 (cm-dm per eeuw)	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 (cm-dm per eeuw)	Daling onder invloed van extra gewicht dat op het maaiveld (of waterbodembodem) wordt aangebracht door de mens en waardoor lagen in de ondergrond worden samengedrukt.

Figuur 5-2 is afgeleid van de landelijke kaarten voor bodembeweging langs de Nederlandse kust (Hijma, 2022). De kaart toont de verwachte totale bodemdaling tussen 2021 en 2050, waarbij is ingezoomd op de omgeving van het vaste land van Noord-Holland. De kaart laat zien dat de komende 30 jaar in het grootste deel van het kustfundament 1-2 cm bodemdaling verwacht mag worden als gevolg van geologische bodemdaling. De gaswinningsgebieden bij Castricum en Bergen/Groet zijn zichtbaar als zones met meer bodemdaling, waarbij de grootste daling in het duingebied van Bergen zal optreden (5-6 cm de komende 30 jaar). Het

² De kaarten zijn gemaakt binnen het Bodemdalingmonitor-programma van KPP B&O Kust. Actualisaties zullen nodig zijn als bijvoorbeeld modellen voor het berekenen van geologische bodembeweging veranderd zijn of als winningsplannen veranderen.

noorden van Marsdiep Binnen grenst aan het gaswingebied Zuidwal en het zoutwingebied Ballastplaat voor de kust van Harlingen. De bodemdalingsschotel van Zuidwal reikt nauwelijks tot Marsdiep Binnen, maar in een smalle strook voor de kust van Harlingen kan tot 20 cm bodemdaling optreden in Marsdiep Binnen. Deze schotel ligt ruim buiten de provinciegrens van Noord-Holland, maar wordt hier toch vermeld omdat Marsdiep Binnen aan Noord-Holland grenst.



Figuur 5-2 : Totale bodembeweging (winning van gas, olie en zout plus de geologische bodemdaling) voor de periode 2021-2050 met de relevante deelgebieden (naar Hijma, 2022).

Tabel 5-2 geeft voor deelgebieden Noord-Holland, het Zeegat van Texel en Marsdiep Binnen de bodemdalingsgetallen voor de afgelopen en komende 30 jaar. De afname in bodemdaling langs de Noordzeekust wordt veroorzaakt door de verwachte afnemende gasproductie, de toename in het Waddengebied door de zoutwinning.

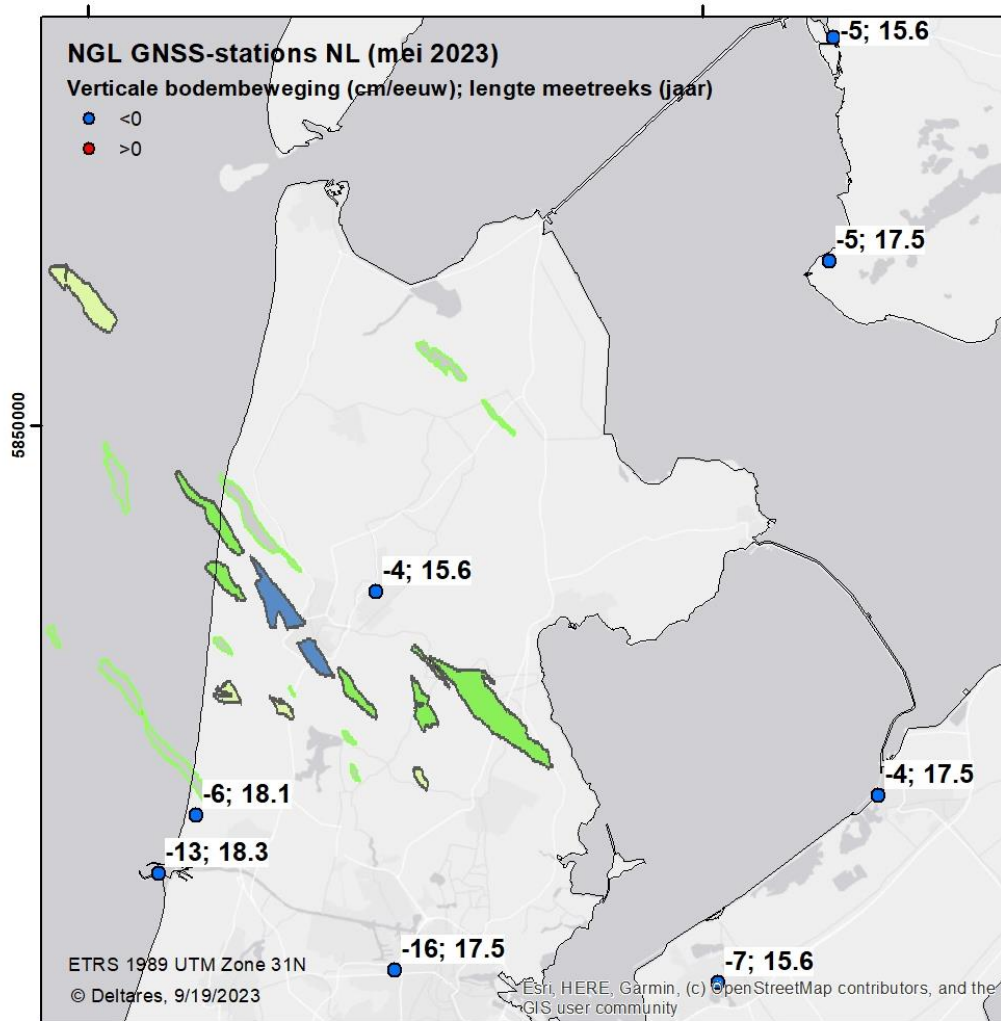
Tabel 5-2 : Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden in

Figuur 5-2 (uit Hijma (2022), zie Hijma & Kooi (2018) voor details over de gebruikte methodes.

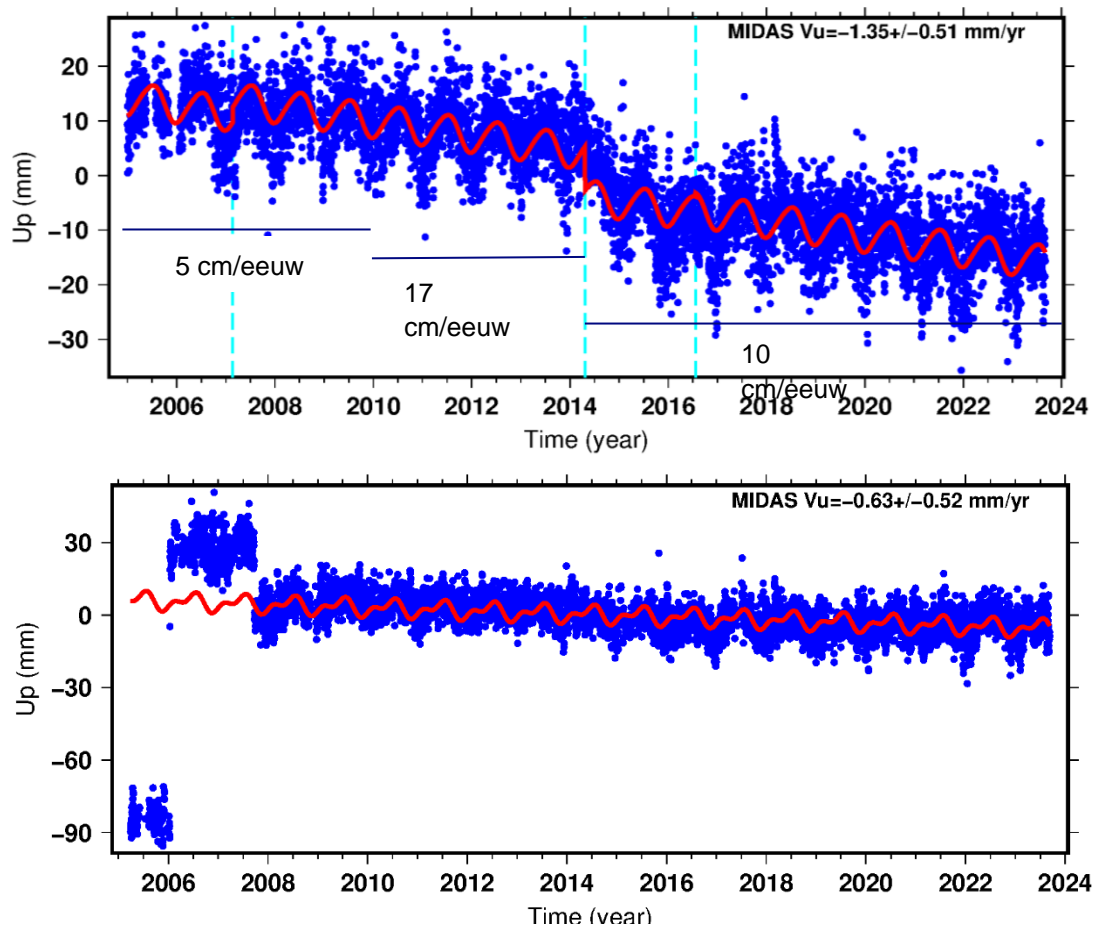
Deelgebieden per periode	Gemiddelde geologische bodembeweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning van olie, gas en zout (cm)	Gemiddelde bodembewegings-snelheid (cm/yr)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (Mm ³ , gem. per jaar)
<i>1991-2020</i>					
Noord-Holland	-1.55	-0.84	-0.08	8.28 ± 2.46	0.276 ± 0.088
Zeegat van Texel	-1.64	-0.10	-0.06	6.93 ± 3.00	0.231 ± 0.102
Marsdiep Binnen	-1.69	-0.02	-0.06	11.82 ± 5.40	0.394 ± 0.180
<i>2021-2050</i>					
Noord-Holland	-1.55	-0.36	-0.06	6.60 ± 2.43	0.220 ± 0.087
Zeegat van Texel	-1.64	-0.08	-0.06	6.84 ± 3.03	0.228 ± 0.102
Marsdiep Binnen	-1.69	-0.14	-0.06	12.66 ± 5.43	0.442 ± 0.195

In Noord-Holland staan ook GNSS-stations die nauwkeurige hoogtemetingen doen. Belangrijke vragen daarbij zijn altijd wel hoe diep de stations gefundeerd staan en welke bodemdaling ze dus feitelijk meten. Dat is echter voor vrijwel alle stations onbekend (Nougues & Hijma, 2022). Daarnaast is het essentieel dat aanpassingen aan het station, bijvoorbeeld aanpassingen aan de antenne, goed gedocumenteerd zijn. Figuur 5-3 laat de GNSS-stations in Noord-Holland 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 zijn afkomstig van het Nevada Geodetic Laboratory (<http://geodesy.unr.edu/>). De meeste stations laten snelheden zien van 4-7 cm/eeuw, snelheden die goed passen bij de verwachte snelheid van geologische bodemdaling in het gebied (5-6 cm/eeuw). De modellen en de metingen zijn in dit geval dus goed met elkaar in overeenstemming. De GNSS-metingen bij hoofdgetijdenstation IJmuiden en Amsterdam laten echter veel hogere dalingssnelheden zien van respectievelijk 13 en 16 cm/eeuw. Aangezien de stations niet direct in de buurt van gasvelden liggen, moet deze daling veroorzaakt worden door andere factoren. De exacte oorzaak kan alleen na gericht onderzoek bepaald worden, maar veel voorkomende oorzaken zijn een ondiepe fundering, daling door grondwateronttrekking of daling door een toegenomen bovenbelasting. Figuur 5-4 laat de GNSS-data zien voor station IJmuiden en het dichtbij gelegen station Wijk aan Zee. Bij IJmuiden valt op dat de snelheid van bodemdaling aanvankelijk (tussen 2005-2009) een stuk lager ligt dan in de periode daarna. Een lineaire trend over 2005-2009 geeft een snelheid van 5 cm/eeuw, goed in lijn met de verwachte geologische bodemdaling. Tussen 2010 en een knik in de data (rond 2014/2015, vervanging van de ontvanger) is de gemiddelde snelheid toegenomen tot 17 cm/eeuw, na de knik ligt de lineaire trend rond 10 cm/eeuw. Deze fluctuaties in gemiddelde snelheid duiden op menselijke invloed op de bodemdaling van het hoofdgetijdenstation. De gemeten bodemdaling bij Wijk aan Zee laat een constant en regelmatig patroon zien.

Samengevat: de gemodelleerde geologische bodemdaling in Noord-Holland ligt rond 5-6 cm/eeuw en komt goed overeen met de gemeten bodemdaling bij de meeste GNSS-stations. Rondom de gasvelden, met name bij Bergen aan Zee ligt de bodemdalingssnelheid meerdere centimeters per eeuw hoger. Het GNSS-station bij IJmuiden laat een hoge gemiddelde bodemdalingssnelheid zien (13 cm/eeuw), waarbij de dalingssnelheid vooral na 2010 flink is toegenomen.



Figuur 5-3 : Kaart van Noord-Holland 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. Ook de ligging van de gasvelden wordt getoond. Donkergroen: actief; lichtgroen: onontwikkeld; grijs: uitgeproduceerd; patroon: tijdelijk niet producerend; donkerblauw: gasopslag



Figuur 5-4 : GNSS-data van de stations bij hoofdgetijdenstation Ijmuiden (boven, station IJMUI, data gedownload op 19-9-2023 van <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/IJMUI.sta>) en Wijk aan Zee (onder, WIJK, data gedownload op 19-9-2023 van <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/WIJK.sta>). Bij station Ijmuiden staan onderaan de berekende lineaire trends voor subsecties van de metingen. De blauwe punten zijn de metingen, de rode lijn is de trendlijn.

6 Beschrijving van het morfologisch systeem

6.1 Hoofdlijnen van het morfologisch gedrag

Het kustvak Noord-Holland is begrensd door het Noordzeekanaal in het zuiden en het Zeegat van Texel in het noorden. De morfologische ontwikkelingen van dit zeegat – deels onder de invloed van de mens – bepalen in grote mate de lokale veranderingen bij de Kop van Noord-Holland. Het centrale kustgedeelte van Noord-Holland, wordt indirect beïnvloed door het zeegat. Zuidelijke migratie van het zeegat tussen 1600 en 1750 veroorzaakte veel erosieproblemen aan de kop van Noord-Holland. Door aanleg van de Helderse Zeewering in 1750 werd deze zuidwaartse verplaatsing permanent gestopt en ontstaan de contouren van het huidige zeegat. De buitendelta wordt in de 19de en begin 20ste eeuw gekenmerkt door een stabiel geulen- en platensysteem (Elias en van der Spek, 2006). Grote morfologische veranderingen hebben zich vervolgens voorgedaan in de periode na afsluiting van de Zuiderzee (voltooid in 1932) tot ongeveer 1975. Sinds 1975 blijft de configuratie van geulen en platen stabiel, wel vindt er nog steeds een afname van het buitendelta volume en erosie van de kustlijn plaats.

In de volgende paragrafen wordt een beknopt overzicht gegeven van de morfologische ontwikkelingen van het Zeegat van Texel en de kust van Noord-Holland. Deze ontwikkelingen staan uitgebreid beschreven in Elias et al. (2013), Elias & Van der Spek (2017) en Elias (2021). Informatie over de morfologische verandering in de Waddenzee (m.a.w. kombergingsgebieden) staan in aparte kombergingsrapportages beschreven: Zo beschrijven Vroom et al. (2021) de morfologie van het kombergingsgebied van het Marsdiep. Hieronder wordt het morfologische gedrag van het Zeegat van Texel en de buitendelta beschreven en vervolgens de uitwisseling met de aanliggende kust van Noord-Holland. Als het geulgedrag van de buitendelta goed wordt begrepen, kan ook de ontwikkeling van de aanliggende eilandkust beter worden begrepen (en voorspeld).

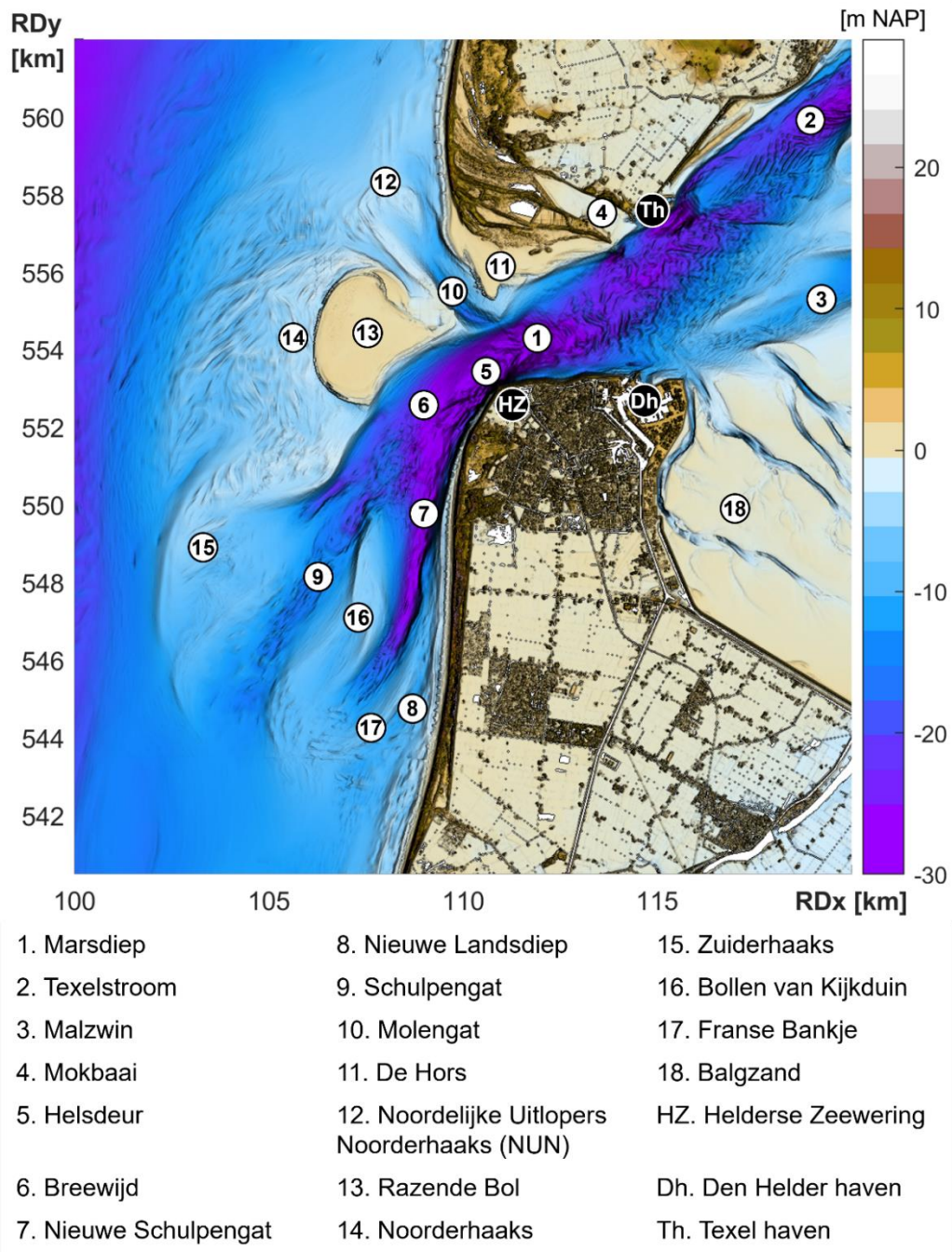
6.2 Zeegat van Texel

Al sinds de vorming van de Waddenzee, ruwweg 7000 jaar geleden, zijn de zeegaten van grote invloed geweest op de morfologische ontwikkelingen van de aangrenzende kust. Het ontstaan van het Zeegat van Texel rond de 12^{de} eeuw v.Chr. (Schoorl, 1973; Hallewas, 1984, zie het overzicht in Oost & Kleine Punte, 2004, p. VII-6) vormde de kop van Noord-Holland zoals we die nu kennen. De aanleg van de Helderse Zeewering (vanaf 1750) zorgde ervoor dat het zeegat in de huidige positie stabiliseerde, terwijl de ligging van de huidige geulen en platen op de buitendelta is ontstaan na afsluiting van de Zuiderzee in 1932; zie Elias et al. (2012) en Elias en van der Spek (2006) voor een gedetailleerde beschrijving.

6.2.1 Algemene kenmerken

Figuur 6-1 geeft een beeld van de buitendelta en de keel van het Zeegat van Texel. De keel van het zeegat, ingesloten door het eiland Texel en de kop van Noord-Holland, heeft een minimale breedte van 2,5 km. In de keel ligt de geul Marsdiep (Figuur 6-1 [1]). Het Marsdiep heeft tegenwoordig een gemiddelde getijprisma van 1054 miljoen m³ (Louters & Gerritsen, 1994). Ter vergelijking, de getijprisma's voor de andere zeegaten zijn 207, 1078, 478 en 300 miljoen m³ voor het Eierlandse Gat, Zeegat van het Vlie, Amelander Zeegat en Friesche Zeegat (Louters & Gerritsen, 1994). De maximale eb- en vloednelheden in het Marsdiep liggen tussen de 1 en 2 m/s. Debietmetingen in het Zeegat van Texel geven aan dat er een zeewaarts gericht resulterend debiet optreedt (restdebiet). Dit wordt veroorzaakt door uitwisseling tussen het bekken van het Vlie en het bekken van het Marsdiep. De omvang van het restdebiet is

ongeveer 10% van het getijprisma (Ridderinkhof et al., 2002). Een belangrijk element in de keel is de Helderse Zeewering [HZ]. Deze zeewering stabiliseert de zuidelijke oever van het zeegat, de Kop van Noord-Holland. Tot de voltooiing van de Helderse Zeewering zoals deze nu nog bestaat, eind 18e eeuw, was hier sprake van een aanzienlijk landverlies door kusterosie en dijkvallen (zie ook Figuur 4-2). Versnelling van de stroming om de noordwestelijke punt van deze Zeewering heeft de geul lokaal uitgeschuurd tot dieptes van meer dan 50 m ter plaatse van de Helsdeur [5]. Het Marsdiep [1] verbindt de hoofdgeulen in het bekken (de Texelstroom [2] en het Malzwin [3]) via het Breewijd [6] met de hoofdgeulen op de buitendelta: Molengat [10], Schulpengat [9] en Nieuwe Schulpengat [7].



Figuur 6-1 : Overzichtsfiguur van het Zeegat van Texel op basis van de meest recente Vaklodingen data en de AHN3 met daarin de morfologische eenheden aangegeven.

De buitendelta strekt zich ongeveer 10 km zeewaarts uit en 25 km kustlangs. De ongeveer 4 km² grote ondiepte Noorderhaaks [14] vormt het middelpunt van de buitendelta. De oostzijde van de Noorderhaaks bevindt zich tijdens normale omstandigheden boven water en wordt de Razende Bol [13] genoemd. Aan de noordkant bevindt zich een langgerekte spit: de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks [12]. Door het landwaarts verplaatsen van deze spit (Elias & Van der Spek, 2017) is de geul het Molengat [10] na afsluiting van de Zuiderzee dieper geworden en ook richting de kust verplaatst. Het opdringen van het Molengat is een belangrijke reden waarom er grote zandverliezen in dit kustvak plaatsvinden (Cleveringa, 2001). Op de zuidelijke helft van de buitendelta bevinden zich de twee grote geulen, Schulpengat [9] en Nieuwe Schulpengat [7], die worden gescheiden door de kleine, langgerekte ondiepte Bollen van Kijkduin [16]. Deze geulen strekken zich zuidwaarts uit langs de kust van Noord-Holland. Het Nieuwe Schulpengat strekt zich uit in zuidelijke richting, wordt steeds ondieper en buigt zeewaarts af. Tussen het Nieuwe Schulpengat en de Noord-Hollandse kust ligt de ondiepe geul Nieuwe Landsdiep [8]. Deze geul veroorzaakt structurele zandverliezen (Elias & Cleveringa, 2003). Aan het zeewaartse uiteinde van het Nieuwe Schulpengat ligt het Franse Bankje [17].

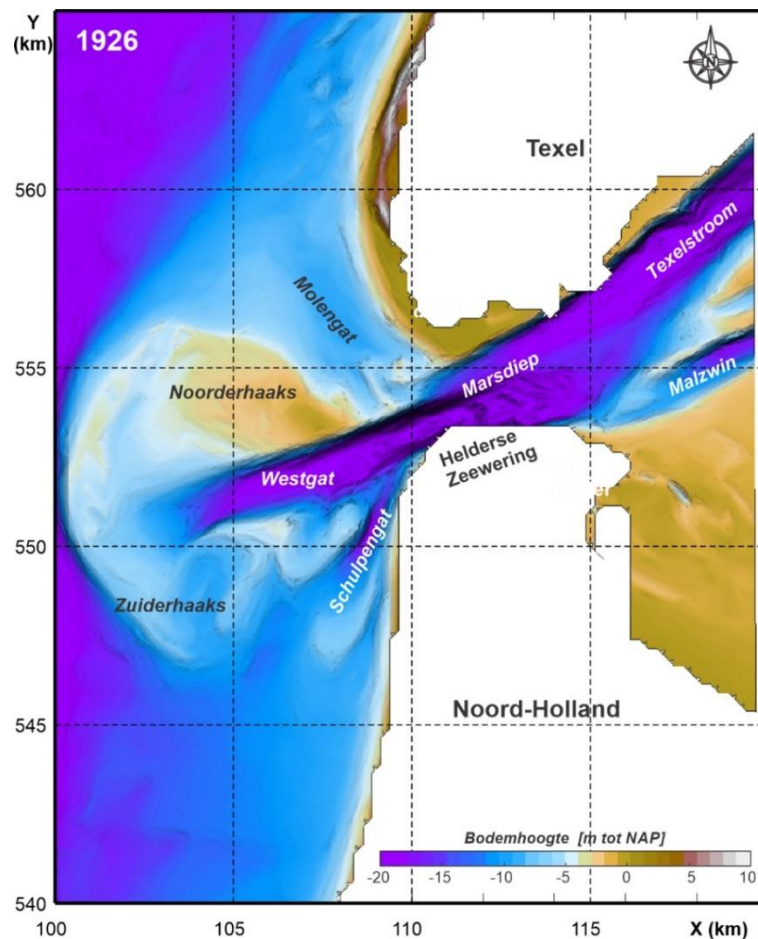
6.2.2 Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel

De grootschalige morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel focust zich voor deze beheerbibliotheek op de interactie van de buitendelta van het Zeegat van Texel met de aanliggende kust van Noord-Holland. Elias & Van der Spek (2006) toonden het belang aan van de aanleg van omvangrijke kustverdedigingswerken aan de zuidoever van het Zeegat van Texel in 1750 (voorlopers van de Helderse Zeewering) en de afdamming van de Zuiderzee die in 1932 werd voltooid. Hieronder wordt de morfologische ontwikkeling van het zeegat beschreven voor verschillende periodes: De periode tussen de aanleg van de Helderse Zeewering tot de afsluiting van de Zuiderzee; De morfologische veranderingen in respons op de afsluiting van de Zuiderzee; De vorming van de huidige buitendelta.

Het Zeegat van Texel vóór afsluiting van der Zuiderzee

Door aanleg van de Helderse Zeewering in het midden van de 18de eeuw werd de zuidwaartse verplaatsing van het zeegat permanent gestopt en ontstaan de contouren van het huidige zeegat. Het periodiek doorbreken van banken en de verplaatsing van de uitstroomrichting van de geulen waren de dominante mechanismen voor *sediment bypassing* (= het proces waarbij de buitendelta het doorgeefluik vormt voor de sedimentstroom van het bovenstroomse eiland naar het benedenstroomse eiland) (Joustra, 1971; Sha, 1990; van Heteren et al., 2006). Hoewel andere factoren mogelijk een rol hebben gespeeld, ontwikkelde zich na de aanleg van de Helderse Zeewering in ca. 60 jaar een stabiele buitendelta. Er ontwikkelt zich een hoofdgeul met een westzuidwestelijke oriëntatie (het Westgat) met aan weerszijden grote zandbanken; de Noorderhaaks en de Zuiderhaaks.

Figuur 6-2 geeft een goed beeld van de bodemligging van de buitendelta en de keel van het Zeegat van Texel rond 1926, net voor afsluiting van de Zuiderzee (Elias, 2021). In de keel van het zeegat bevindt zich de hoofdgeul Marsdiep die verbinding maakt met de geulen Texelstroom en Malzwin in het bekken. Het Westgat vormt de uitstroomgeul van Marsdiep de buitendelta op en is westzuidwestelijk gericht. Het Schulpengat is dan nog een kleinere vloedgeul die zich langs de kust van Noord-Holland uitstrekt. Een groot platenoppervlak Noorderhaaks bevindt zich aan de noordzijde van het Westgat. Een breed maar ondiep Molengat vormt de scheiding tussen de Noorderhaaks en de kust van Texel. De ondiepe drempel die als scheiding tussen het Molengat en het Marsdiep ligt wijst erop dat het Molengat een vloedgedomineerde geul is.

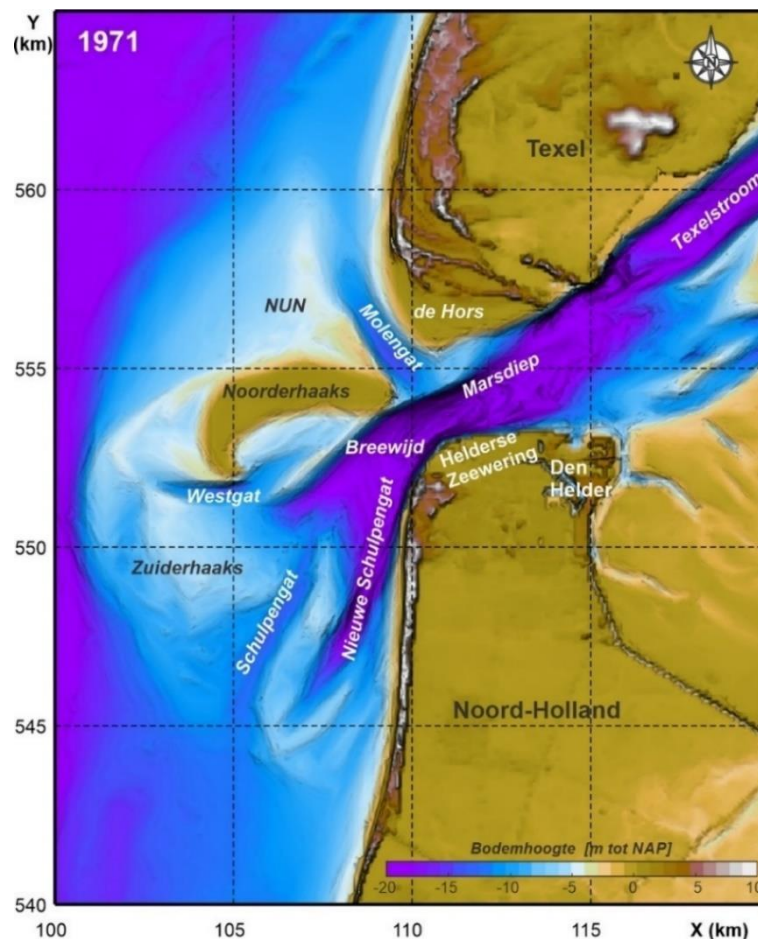


Figuur 6-2 : Overzicht van de belangrijkste platen en geulen in het Zeegat van Texel rond 1926 (bodem gebaseerd op de 1926-1932 Vaklodingen) (bron: Elias, 2021).

De morfologische veranderingen in respons op de afsluiting van de Zuiderzee

De afsluiting van de Zuiderzee verstoortte deze stabiele toestand van de buitendelta. De Afsluitdijk, voltooid in 1932, verkleinde het oppervlak van de bekkens van Texel en het Vlie van ruim 4000 km² tot ongeveer 1400 km². Door de verandering in de getijdenkarakteristieken is het getijslag drastisch vergroot van ca. 1,15 naar 1,4 m bij het getijdenstation Den Helder en is het getijprisma door het Zeegat van Texel met 26% vergroot (Rietveld, 1962; Thijsse, 1972; Elias et al., 2003). Deze toename van het getijprisma werd al voorspeld in de studies voorafgaand aan de bouw door Lorentz (1926).

De grote veranderingen in hydrodynamica en geometrie van het bekken resulteerden in sterke veranderingen in de morfodynamische ontwikkeling van het resterende bekken. Deze veranderingen, zoals het opvullen van de afgesloten geulen, zijn uitgebreid onderzocht (zie Berger et al., 1987; Oost & de Boer, 1994; Elias et al., 2003, 2012). Op de buitendelta veranderde de oriëntatie van de hoofdgeul in de loop van 40 jaar naar het zuiden en ontwikkelde de geul zich tot twee afzonderlijke geultjes: Schulpengat en Nieuwe Schulpengat (Figuur 6-3). De voormalige hoofdgeul het Westgat verzandde. Sinds 1975 is deze tweegeulen configuratie vrijwel stabiel aanwezig op de buitendelta. Grote stroomsnelheden en versnelling van de stroming om de noordwestelijke punt van de Helderse Zeewering hebben het Marsdiep hier lokaal tot dieptes van meer dan 50 m uitgeschuurd (Elias et al., 2003; Elias & van der Spek, 2006).



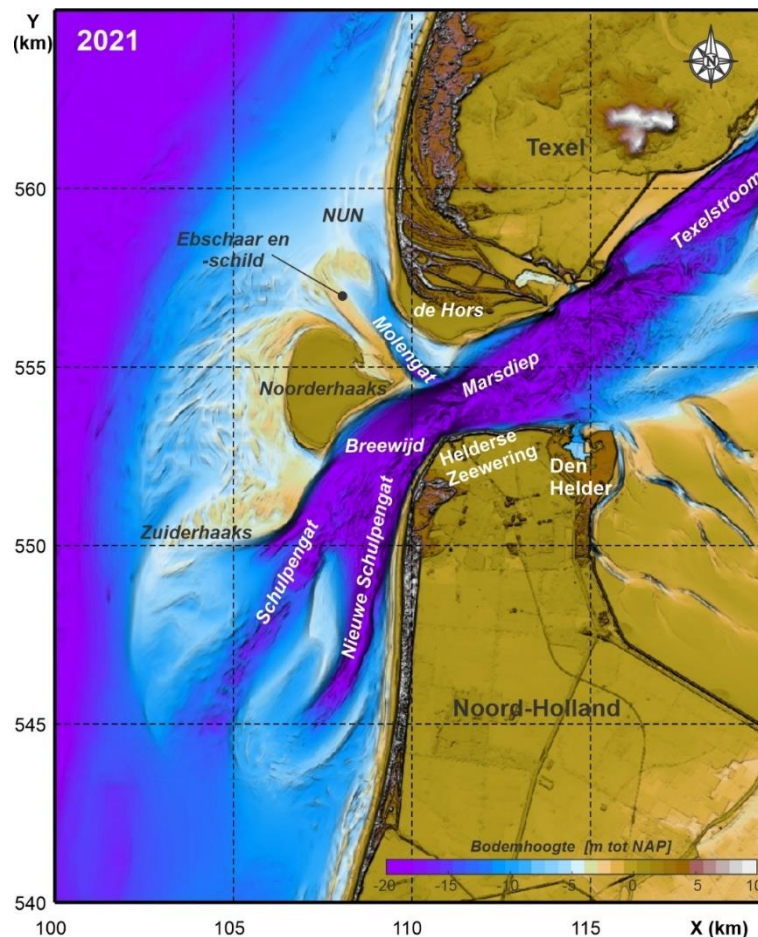
Figuur 6-3 : Overzicht van de belangrijkste platen en geulen in het Zeegat van Texel rond 1971; na de initiële respons op afsluiting van de Zuiderzee (bron: Elias, 2021).

Vóór afsluiting van de Zuiderzee strekte de buitendelta zich ongeveer 10 km zeewaarts en 20 km kustlangs uit. In het centrum van de buitendelta bevond zich een groot, ondiep gedeelte de Noorderhaaks; een gebied waarin de zeewaartse zandaanvoer door het Westgat in dynamisch evenwicht was met het landwaarts zandtransport door golven. Met het verzanden van de voormalige hoofdgeul Westgat reduceerde ook de zandtoevoer vanuit het bekken naar de Noorderhaaks, waardoor het landwaarts transport door golven dominant werd. De Noorderhaaks migreerde landwaarts, nam toe in hoogte en vervormde. De Razende Bol, de oostzijde van de Noorderhaaks, verschoof sinds zijn droogvallen in de jaren '50 al langzaam naar het oosten toe. Aan de noordzijde ontstond een langgerekte zandbank, de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks (NUN) (zie ook Steijn, 1997; Steijn & Jeuken, 2000; Cleveringa, 2001). Elias (2021) beschrijft de morfologische ontwikkeling van deze zandbank. Het landwaarts verplaatsen van de rand van de buitendelta na beïnvloeding van een zeegat is geen unieke respons. Ook na afsluiting van de Grevelingen, het Haringvliet en bij de afsluiting van de Lauwerszee werd een soortgelijke verplaatsing geobserveerd (Van der Spek en Elias, 2021; Elias en Oost, 2021).

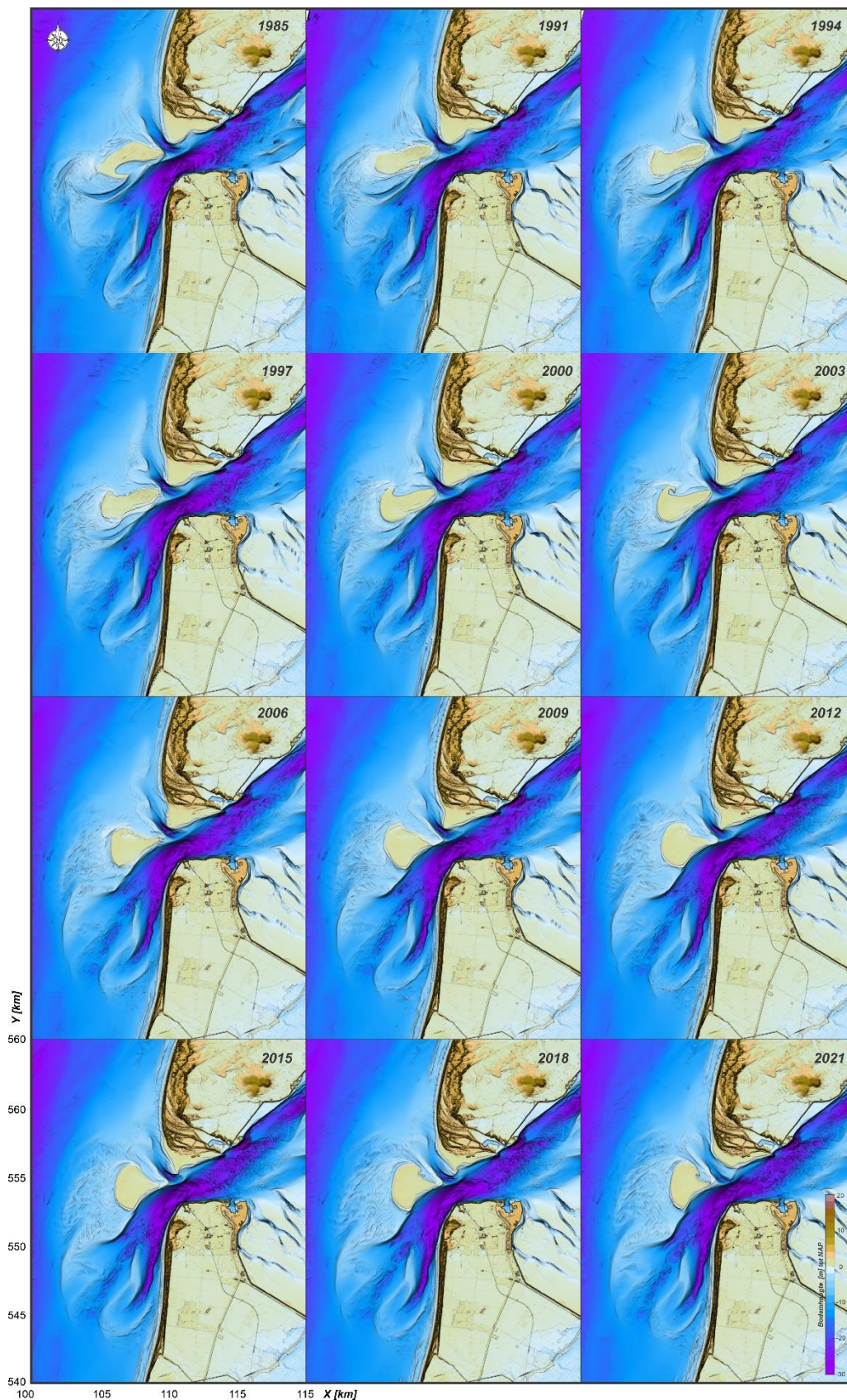
De vorming van de huidige buitendelta

Ook na de initiële aanpassing van de geulen treedt er tot ongeveer 1975 nog een langdurige periode van grote erosie en verandering van de platen op (Elias en Van der Spek, 2017). Sinds 1975 blijft de configuratie van geulen en platen op de buitendelta van het Zeegat van Texel stabiel (Figuur 6-5), wel vindt er nog steeds een afname van het buitendelta volume en erosie van de kustlijn plaats. Deze erosie is groot tussen 1975 en 2001 (6 miljoen m³/jaar), maar

neemt sindsdien sterk af tot 2 miljoen m³/jaar. Elias en van der Spek (2017) concluderen dat deze afname samenhangt met de stabilisatie van de morfologie in het zuidelijk deel van de buitendelta. Hier blijven de hoofdgeulen op de buitendelta, Schulpengat en Nieuwe Schulpengat, vrij stabiel liggen en ook op de Zuiderhaaks zijn de veranderingen beperkt. Alleen lokaal (raaien 409-1000), waar geul-bank interacties dominant zijn, gaat de erosie van het Nieuwe Schulpengat en de aanliggende kustlijnen door. De landwaartse en zuidelijke migratie van de Bollen van Kijkduin veroorzaakt een gelijke, landwaartse en iets zuidelijke, migratie van de geul Nieuwe Schulpengat, met als gevolg landwaartse migratie van het daarnaast gelegen Franse Bankje en lokale kustlijnerosie. Aan de westzijde van de Noorderhaaks gaat de erosie onverminderd door. Het geërodeerde zand draagt bij aan de vervorming van de Noorderhaaks; de westzijde verplaatst landwaarts. Aan de zuidzijde wordt de voormalige geul Westgat volledig opgevuld en aan de noordzijde bouwt de Noorderhaaks uit.



Figuur 6-4 : Overzicht van de belangrijkste platen en geulen in het Zeegat van Texel (bodem gebaseerd op de 2021 Vaklodingen en AHN3) (bron: Elias, 2021).



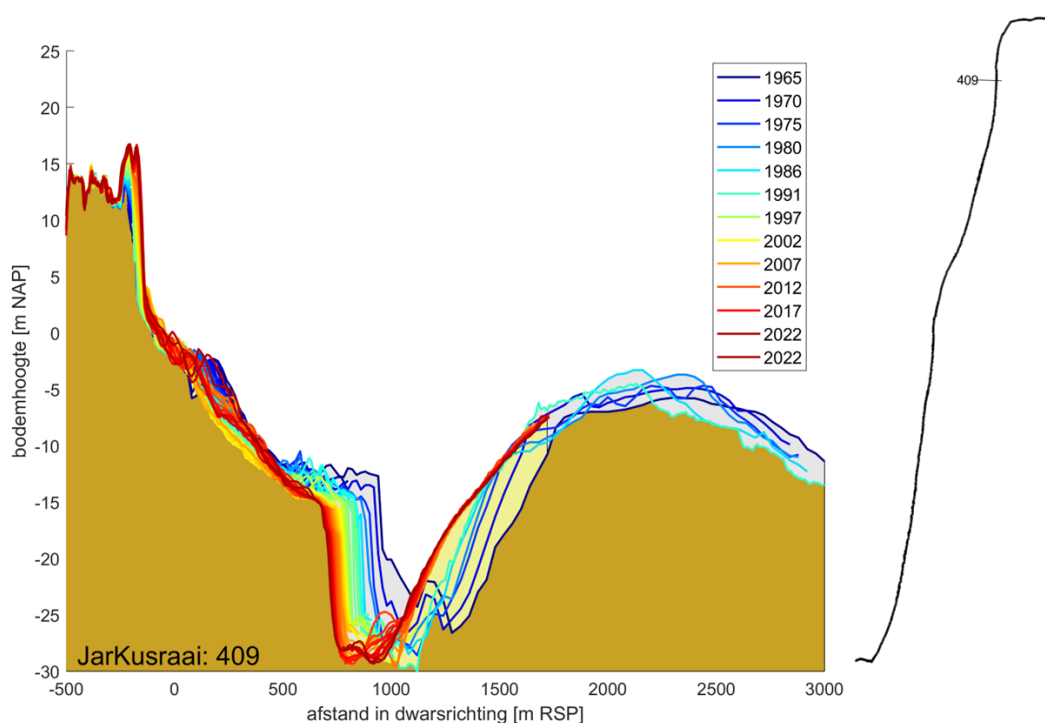
Figuur 6-5 : Overzicht van de Vaklodgingen, aangevuld met LiDAR en het AHN, over de periode 1986-2018 (bron: Elias, 2017).

6.2.3 Morfologische ontwikkeling van de kustlijn

Er is een lange geschiedenis van kustverdedigingswerken langs de kustlijnen aangrenzend aan het Zeegat van Texel (zie bv. ook Hoofdstuk 4.2.1). Zoals in 6.2.1 genoemd was er langs de zuidelijke oever van het zeegat sprake van aanzienlijk landverlies door kusterosie en dijkvallen. De aanleg van de Helderse Zeewering zoals deze nu nog bestaat, eind 18^e eeuw, stabiliseerde de oever. Sindsdien heeft versnelling van de stroming om de noordwestelijke punt van deze zeewering de geul lokaal uitgeschuurd.

Elias et al. (2021) concluderen op basis van een grootschalige analyse dat het kustvak ten noorden van raai 1000 direct wordt beïnvloed door de processen in het Zeegat van Texel. Hier wordt de kustlijnontwikkeling gestuurd door de verplaatsingen van de geulen en platen op de buitendelta. Zoals hierboven beschreven, vindt er kustlijnerosie plaats bij raaien 409-1000. Hier veroorzaakt de landwaartse en zuidelijke migratie van de Bollen van Kijkduin een gelijke, landwaartse en iets zuidelijke, migratie van de geul Nieuwe Schulpengat, met als gevolg landwaartse migratie van het daarnaast gelegen Franse Bankje en lokale kustlijnerosie (zie bv. Figuur 6-6).

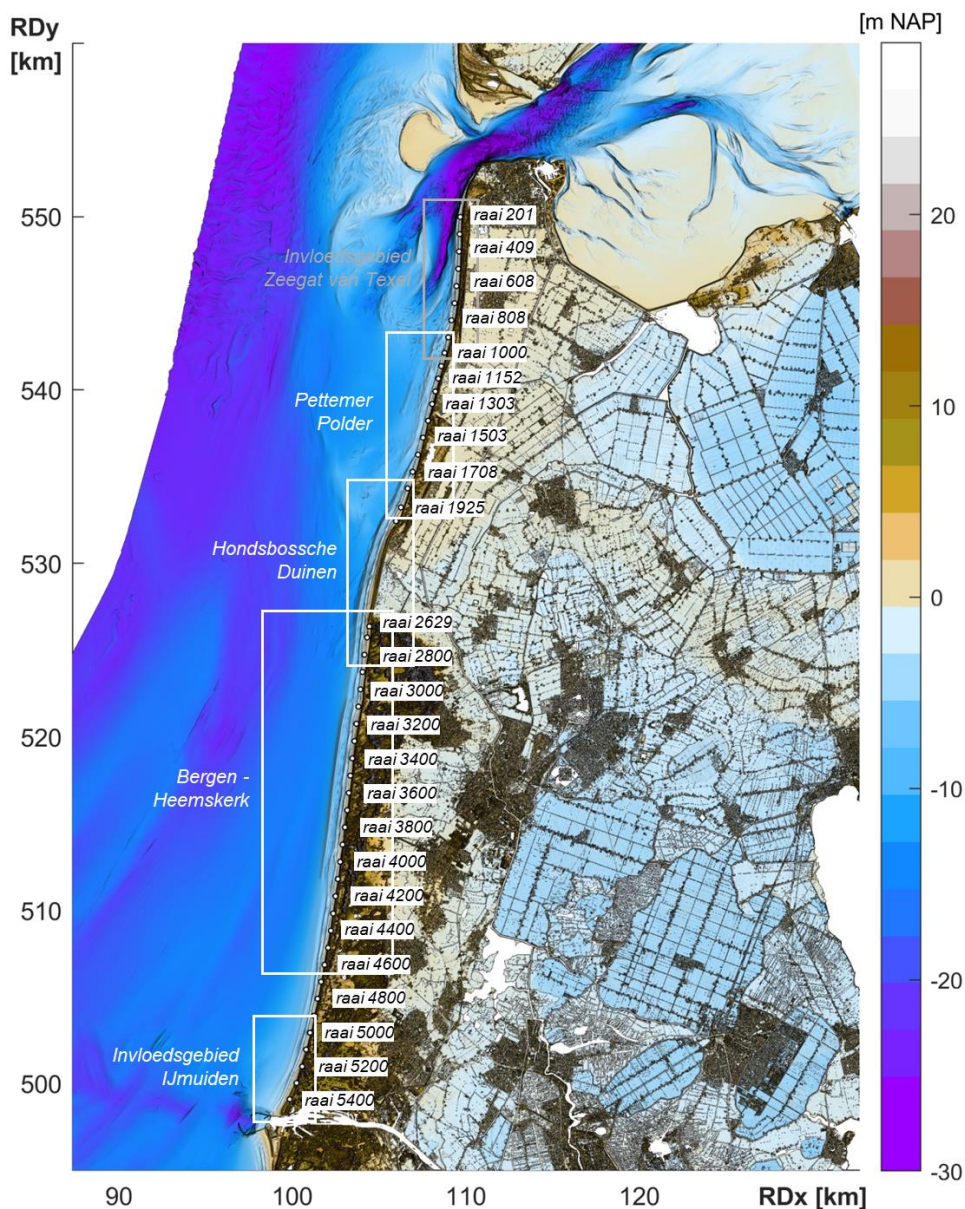
De kust tussen raai 1000 en 2009 ligt buiten de rechtstreekse invloedssfeer van het zeegat. De vooroever wordt hier gekenmerkt door een ondiep platform, de Pettemer polder (zie ook paragraaf 6.3.1). Die aanwezigheid zorgt daar voor meer golfdissipatie in de vooroever dan langs de kust ten zuiden van de Hondsbossche Duinen. Indirect speelt ook de buitendelta van het Zeegat van Texel hier een rol, door de golfafschermende werking op de noordelijke golfcondities. Paragraaf 6.3 bespreekt de morfologie van het deel van de Noord-Hollandse kust ten zuiden van raai 1000.



Figuur 6-6 : Profielen langs JarKus-raai 409 voor 1965-2022. De landwaartse migratie van de Bollen van Kijkduin en de daaropvolgende landwaartse migratie van het Nieuwe Schulpengat zijn hierin zichtbaar.

6.3 Noord-Hollandse kust

In Paragraaf 6.2 is de morfologische ontwikkeling van het Zeegat van Texel besproken. Het invloedsgebied van dit zeegat reikt tot ongeveer JarKus-raai 1000 ter plaatse van Grote Keeten, net ten zuiden van Julianadorp. Deze paragraaf beschrijft de morfologische ontwikkelingen van de Noord-Hollandse kust ten zuiden van raai 1000. Dit stuk kust kan worden onderverdeeld in vier deelgebieden (Figuur 6-7). De Hondsbossche Duinen vormt hierbij een duidelijke scheiding tussen een noordelijk en zuidelijk gedeelte met eigen karakteristieke kenmerken. In het noordelijke gedeelte ('Pettemer Polder') bepaalt de voorliggende vooroever in grote mate de morfologische veranderingen langs de kust. In het zuidelijke gedeelte worden de morfologische veranderingen vooral gedreven door golfgedreven transporten en is bankgedrag van belang voor de kustlijnontwikkeling.

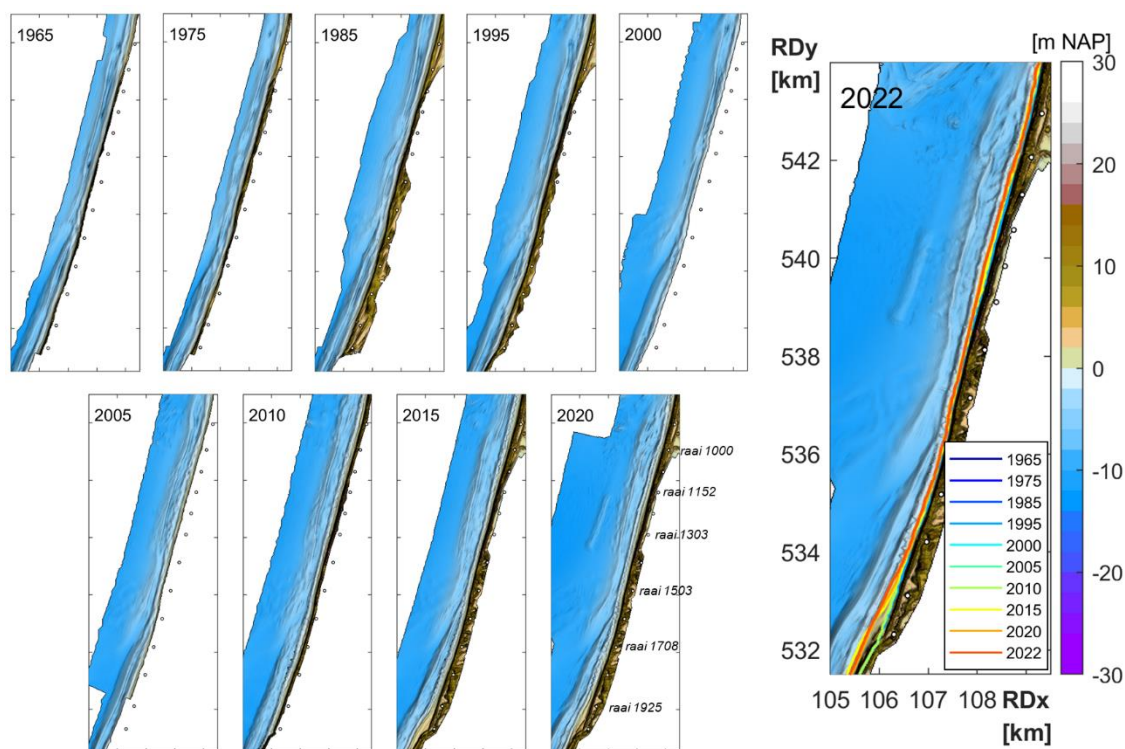


Figuur 6-7 : Overzichtsfiguur van de Noord-Hollandse kust op basis van de meest recente Vaklodingen data en de AHN3 met daarin de vier deelgebieden aangegeven: Pettemer Polder, Hondsbossche Duinen, Bergen – Heemskerk en invloedsgebied IJmuiden.

6.3.1 Pettemer Polder

Ten zuiden van raai 1000 begint het deelgebied 'Pettemer Polder' (Figuur 6-7), waar de voorliggende vooroever in grote mate de morfologische veranderingen langs de kust bepaalt. De kust ligt hier buiten de rechtstreekse invloedssfeer van het zeegat. Indirect speelt de buitendelta van het Zeegat van Texel hier aan de noordzijde wel een rol, door de golfafschermende werking op de noordelijke golfcondities. Aan de zuidzijde zijn de langstransporten verstoord sinds de aanleg van de Hondsbossche Zeewering. De vooroever is relatief ondiep door de voorliggende Pettemer Polder. De Pettemer Polder is een opduiking van de Pleistocene ondergrond (De Mulder, 1983). Daarnaast wordt dit kustvak beschermd door strandhoofden die om de 250 m op het strand liggen en ongeveer 200 m in de zee steken. Het kustprofiel, gemiddeld over het gehele kustvak, bestaat uit een enkele bank, evenwijdig langs de kust en stabiel in positie (Figuur 6-8). Een bankencyclus met zeewaarts migrerende, uitdempende banken en de vorming van nieuwe banken landwaarts, zoals waargenomen langs het merendeel van de Hollandse kust (zie ook Paragraaf 6.3.3) is hier niet aanwezig. In het gehele deelgebied is de benodigde onderhoudsinspanning groot.

De negatieve zandbalans kan verklaard worden door (1) een netto relatief groot noordwaarts transport. De ondiepten van de buitendelta van Texel strekken zich ver zeewaarts uit. Deze ondiepten blokkeren golven uit een noordelijke richting. Hierdoor worden de zuidelijke golven relatief belangrijker en neemt het noordwaarts transport toe. De buitendelta (en zeegat) fungeren als een put ('sink') voor het aangevoerde sediment. Een andere verklaring (2) is een verstoorde toevoer door de blokkerende werking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering. Een derde verklaring (3) voor de negatieve zandbalans is lokale concentratie van golfenergie t.g.v. de vooroever.



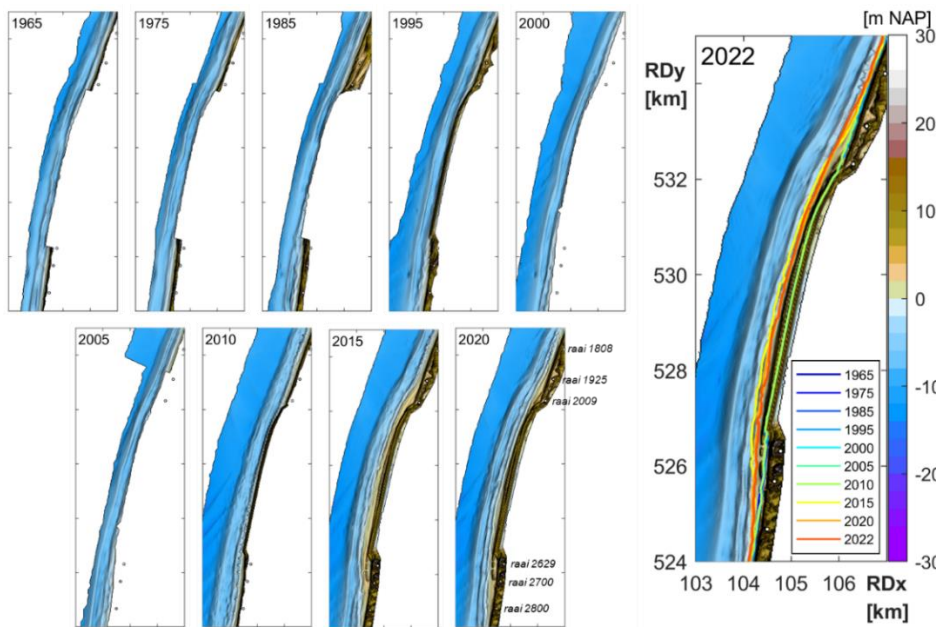
Figuur 6-8 : JarKus grids ter plaatse van de Pettemer Polder voor 1965 – 2022 (zie Figuur 6-7 voor de ligging van dit deelgebied). Vanaf 2020 is de diepe vooroeversuppletie uit 2017 zichtbaar. De 2022-figuur geeft de 0-m NAP contour weer voor de weergegeven jaren.

6.3.2 Hondsbossche Duinen

Figuur 6-9 & Figuur 6-10). Kroon et al. (2022) beschrijven de evaluatie van het strand in de eerste vijf jaar na aanleg. In centrale 7 km van de suppletie vindt erosie plaats en aan de flanken, met name de noordzijde, vindt sedimentatie plaats. Over de periode van vijf jaar bedroegen de netto volumeverliezen van het projectgebied echter minder dan 5% van het oorspronkelijke gesuppleerde zandvolume. Het kunstmatige strandprofiel langs de kust bootst snel de kenmerken van aangrenzende stranden na en binnen twee winters heeft de surfzone een gelijkwaardige helling. De aanvankelijk brede stranden (d.w.z. tot 225 m) zijn teruggebracht tot ongeveer 100 m breed. Tegelijkertijd is het duinvolume toegenomen en is de duinvoet op de gehele gesuppleerde plek zeewaarts gemigreerd, ongeacht of het onderwaterprofiel sediment won of verloor. Kroon et al. (2022) laten zien dat de suppletie van de Hondsbossche Duinen, aangelegd met een natuurlijk talud en breed strand, gedurende een vijf jaar na aanleg voor een positieve sedimentbalans in het duin zorgde.



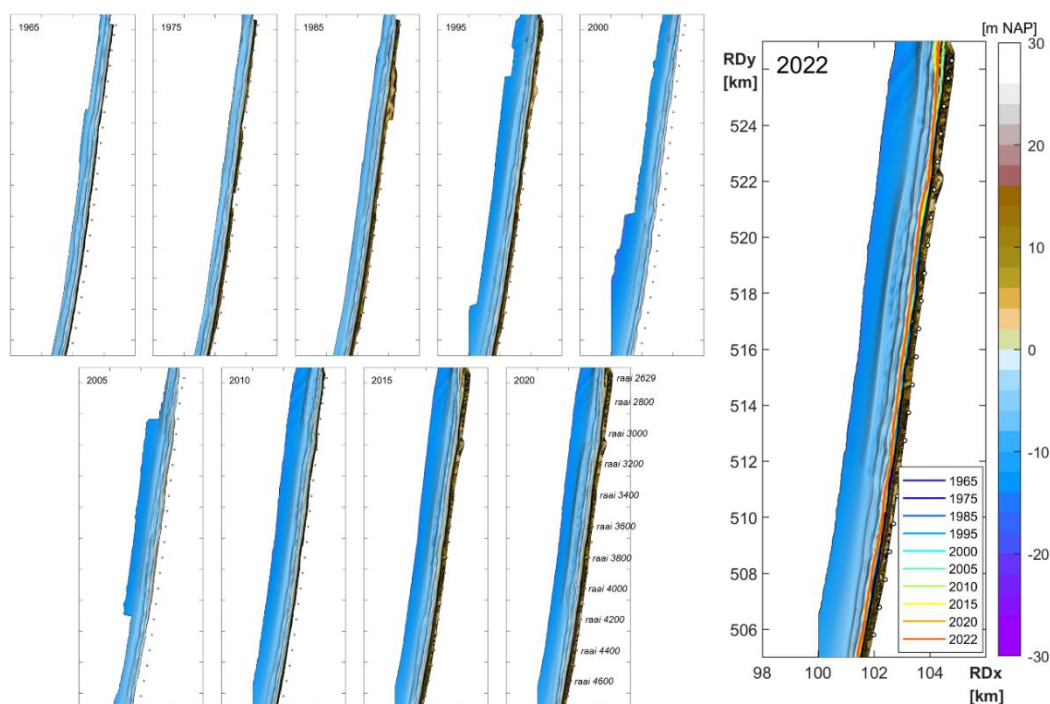
Figuur 6-9 : Links: HPZ voor de 2015-suppletie (beeldbank RWS). Rechts: de Hondsbossche Duinen net na aanleg van de suppletie in april 2015 (Aannemerscombinatie Zwakke Schakel–Van Oord-Boskalis). De rode lijn geeft de kruin van de originele zeedijk weer (bron: Kroon et al., 2022).



Figuur 6-10 : JarKus grids ter plaatse van de Hondsbossche Duinen voor 1965 – 2022 (zie Figuur 6-7 voor de ligging van dit deelgebied). Vanaf 2015 zijn de Hondsbossche Duinen zichtbaar. De 2022-figuur geeft de 0-m NAP contour weer voor de weergegeven jaren.

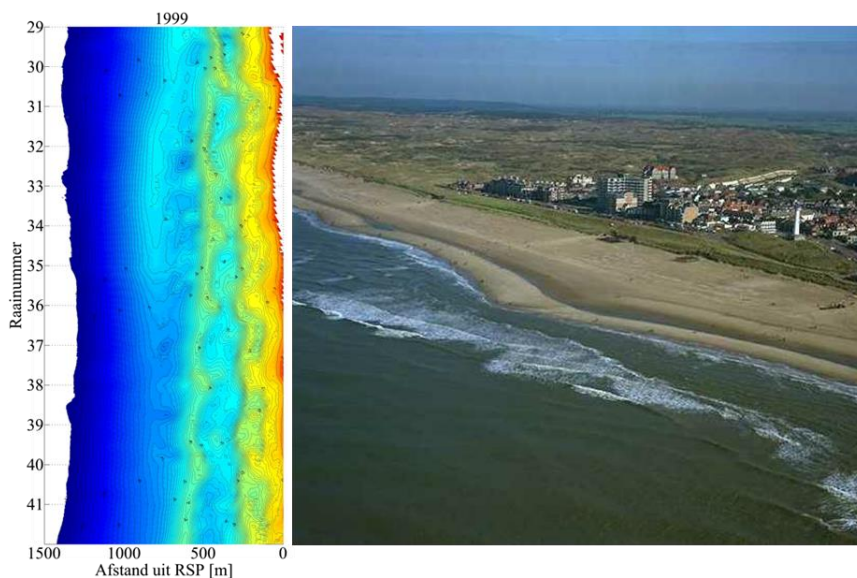
6.3.3 Bergen – Heemskerk

Langs de ongestoorde Hollandse kust tussen Bergen en Heemskerk (zie Figuur 6-7 voor de ligging) bevinden zich over het algemeen enkele lange, min of meer rechte en kust-parallelle brekerbanken (Figuur 6-11). Deze banken migreren langzaam zeewaarts om op een zekere afstand uit de kust uit te dempen (Wijnberg, 1995). Tijdens het uitdempen ontstaan bij de waterlijn nieuwe banken die de plaats van de vorige innemen, zodat het aantal banken in het profiel ongeveer constant blijft (2 tot 3). Het aantal banken en hun levensduur of cyclustijd is gebiedsafhankelijk, maar in het stuk tussen Bergen en Heemskerk is de typische tijdschaal van het bankgedrag ongeveer 15 jaar. Er is een duidelijke beïnvloeding in bankgedrag door de uitgevoerde suppleties zichtbaar (o.a. Grunnet en Ruessink, 2005; Ojeda et al., 2008; De Sonnevile en Van der Spek, 2012; Van der Spek en Elias, 2013). Vermaas et al. (2017) beschrijven de morfologische ontwikkelingen van de gedifferentieerde vooroeversuppletie die in 2011 en 2012 is aangelegd. Ook deze studie laat zien dat de suppletie een duidelijk effect heeft op het natuurlijke bankgedrag.



Figuur 6-11 : JarKus grids ter plaatse van de ongestoorde Hollandse Kust voor 1965 – 2022 (zie Figuur 6-7 voor de ligging van dit deelgebied). De 2022-figuur geeft de 0-m NAP contour weer voor de weergegeven jaren.

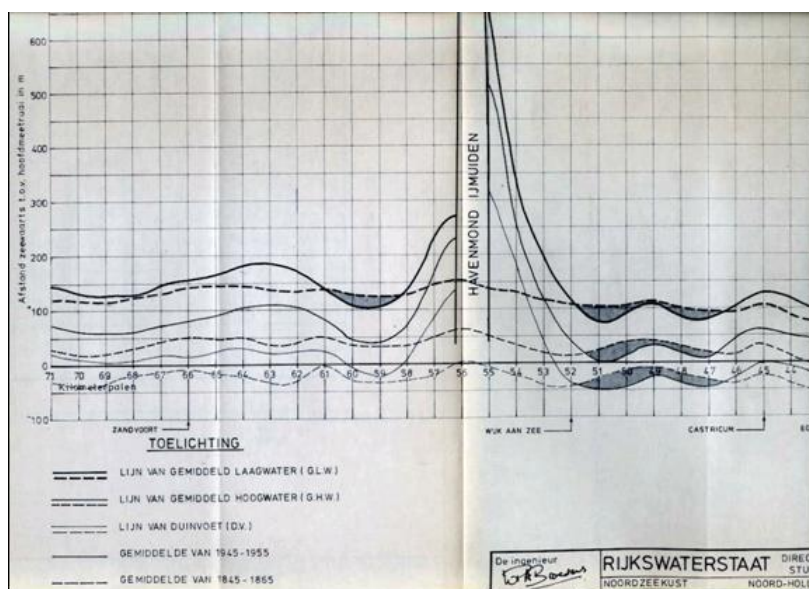
De banken langs de kust van Petten en Egmond zijn niet altijd volledig kustparallel. Soms hebben ze een crescentische configuratie, die gekenmerkt wordt door een kustlangse ritmische (golvende) periodiciteit (Spanhoff et al., 2004; Figuur 6-12). Crescentische brekerbanken zijn vaak morfologisch gekoppeld aan soortgelijke ritmische patronen in de kustlijn (Price & Ruessink, 2013). Dit is ook het geval voor Egmond en Bergen, waar de kustlijnligging en het bankensysteem sterk gekoppeld lijken (Spanhoff et al., 2004). Dit is een belangrijke waarneming, omdat de grote vooroeversuppleties het bankensysteem sterk beïnvloeden en dus naar verwachting ook een duidelijk effect hebben op de kust.



Figuur 6-12 : Links: crescentische vormen in de buitenste bank corresponderen met de kustlangse patronen van het strand. Rechts: zichtbare kustlangse patronen van het strand bij Egmond (Spanhoff et al., 2004).

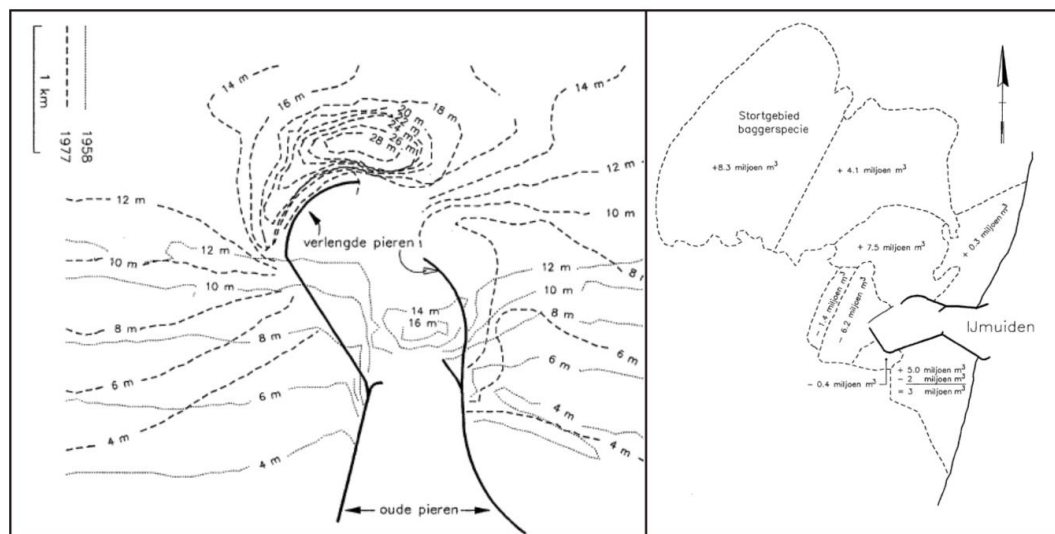
6.3.4 Invloedsgebied IJmuiden

Het effect van de initiële constructie van de havendammen op de aangrenzende kust (zie Figuur 6-7 voor de ligging van het invloedsgebied) wordt goed weergegeven in Figuur 6-13, overgenomen uit Schalkers en Visser (1978). Zowel aan de noord- als zuidzijde van de dam traden gebieden van sedimentatie en erosie op. Aan de noordzijde strekte het sedimentatiegebied zich ruwweg 3 km uit. Aanliggend was er een gebied van 5-6 km waarin erosie domineerde. Wat in deze figuur opvalt, is dat de aanzanding aan de noordkant veel groter (ongeveer 3x) was dan de aanzanding aan de zuidkant. Rond 1900 waren de liggingen van gemiddeld laag water (GLW) en gemiddeld hoog water (GHW) weer min of meer stabiel en lagen dan ongeveer 500 m zeewaarts van de oorspronkelijke kustlijn. De positie van de duinvoet stabiliseerde pas rond 1965; 350 m zeewaarts.

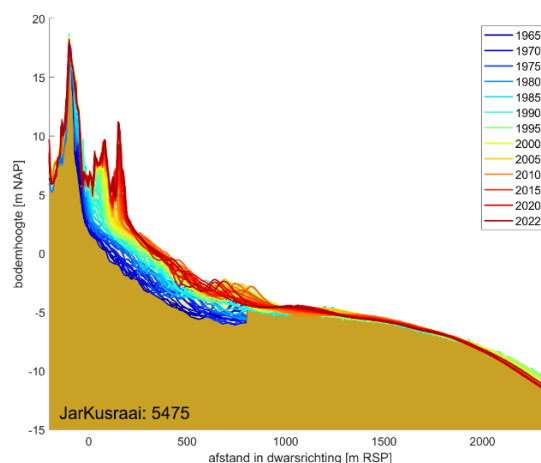


Figuur 6-13 : In deze figuur is de ligging van de gemiddelde laagwaterlijn, de gemiddelde hoogwaterlijn en de duinvoet weergegeven voor de jaren 1850 (gem. van 1845-1855) en 1950 (gem. van 1945-1955), uit Schalkers en Visser (1978).

Door de verlenging van de havenhoofden (tussen 1962 en 1967) wordt de getijstroom om de hoofden heen gestuurd. Contractie van de stroming verhoogt hier lokaal de stroomsnelheden. De verhoogde stroomsnelheden initiëren extra erosie waardoor een ontgrondingskuil aan de kop van de havendammen ontstaat. Een sedimentbudget opgesteld over de periode 1958 – 1968 laat zien dat er na aanleg 8 miljoen m³ sediment voor de kop is geërodeerd (Figuur 6-14, rechts). Daarnaast bezinkt er sediment in de luwte van de havenhoofden. Zowel aan de noord- als zuidzijde bouwde de kust uit door het invangen van het langstransport. Van Rijn (1995) geeft aan dat de dammen de langstransporten in de brandingszone (tot ongeveer 200 m zeewaarts) met ca. 50 – 70% blokkeren. De uitbouw aan de zuidkant is nu veel groter (2x) dan de sedimentatie aan de noordzijde. Uit het opgestelde sedimentbudget over de periode 1958 – 1968 volgt dat er 10,9 miljoen m³ is aangezand (Figuur 6-14, rechts). De Kruif & Keijer (2003) hebben de sedimentatie ten noorden van het noordelijke havenhoofd in de periode daarna (1963 – 2001) bepaald op 5 miljoen m³. Vanaf 2012 blijkt de aanwas minder sterk dan in de periode vlak na verlenging (Figuur 6-15). Daarnaast vonden De Kruif & Keijer (2003) ook dat er met name aan de zuidkant van de havenhoofden een sterke zeewaartse uitbouw plaatsvond na aanleg van de verlengde havenhoofden. In het gebied dat 2 tot 4 km ten zuiden van het zuidelijke havenhoofd ligt, blijft de aanzanding constant. Hier wordt verwacht dat rond 2025 de kustlijn een evenwicht bereikt.



Figuur 6-14 : Links, bodemligging bij IJmuiden in 1958 en 1977 en rechts, aanzanding en erosie bij IJmuiden van 1958 - 1968. Beide figuren uit Verhagen en van Rossum (1990).



Figuur 6-15 : Profielen langs JarKus-raai 5475, net ten noorden van de havendammen van IJmuiden, voor 1965-2022. De zeewaartse uitbouw van de kust en de dynamiek van het bankensysteem zijn zichtbaar.

6.3.5 Volumeontwikkeling

Een onderwerp van vele studies is de ontwikkeling van het sedimentvolume van de kust. Pot (2011) behandelt de volumeontwikkeling van de ondiepe vooroever van de Noord-Hollandse kust op basis van JarKus data. Uit deze studie volgt dat er in de periode 1965-1990 structurele erosie van de kust plaatsvindt. Gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties ligt de netto erosie rond de 22,5 miljoen m³ (ca. 1 miljoen m³/jaar). De erosie neemt toe richting het noorden (samenhangend met het landwaarts migreren van het Nieuwe Schulpengat). Alleen bij de havenhoofden van IJmuiden vindt tussen 1965 en 1990 aanzanding plaats (6 miljoen m³). Sinds 1990 (de start van het dynamische kustbeheer) blijft het totale kustvolume niet alleen behouden, maar groeit het met 1,1 miljoen m³/jaar. Gecorrigeerd voor suppleties blijft de 'autonome' erosie van 1 miljoen m³/jaar vrijwel identiek aan de voorgaande periode. Met deze autonome erosiesnelheid van 1 miljoen m³/jaar en een aangebracht suppletievolume van 2 miljoen m³/jaar, neemt de sedimentvoorraad toe. Een belangrijke conclusie van de studie is dat de verliezen niet per definitie toenemen door overmatig supleren. Het overgesuppleerde volume wordt herverdeeld over de kust en deze bouwt uit.

Verschillende studies hebben gekeken naar het sedimenttransport in de diepere zone van de Hollandse kust, waaronder Van Rijn (1997), Kalf & Walburg (1999; in Stam, 1999), Stam (1999) en Vermaas (2010). Vermaas (2010) geeft een overzicht van deze studies. De exacte volumes verschillen per studie. Zo concludeert Stam (1999) dat het zandverlies uit de zone tussen de NAP -8 en -12 m in de orde van -1 miljoen m³/jaar ligt; zowel de analyse van de korte termijn (-1,1 miljoen m³, 1965-1997) als de lange termijn (-1,3 miljoen m³, 1898-1997) geven een identieke trend. Vermaas (2010) concludeert ook dat de trend tussen NAP -8 en -12 m tussen 1965 en 2001 over het algemeen eroderend is. Alleen ten noorden van de havendammen van IJmuiden is er aanzanding. De totale erosie tussen 1965 en 1990 is volgens Vermaas (2010) gemiddeld -0,43 miljoen m³/jaar. In de periode 1990 – 2001 neemt de erosie iets toe tot -0,53 miljoen m³/jaar. De maximale erosie treedt ook hier op in het noorden ten gevolge van de migratie van de geul het Nieuwe Schulpengat. Sinds 2001 vindt in bijna het gehele kustvak sedimentatie plaats. Dit komt door de grote suppleties die hier zijn uitgevoerd. Vermaas (2012) geeft een aanvulling op de voorgaande studie door de JarKus data te combineren met vaklodingen data. De totale volumeverandering tussen -8 en -12 m NAP langs Noord-Holland op basis van nieuwe trends is voor de periode 2001-2008 0,37 miljoen m³/jaar.

Elias & Quataert (2024, in voorbereiding) zijn in het kader van het [Kenniprogramma Zeespiegelstijging](#) bezig met het opstellen van een grootschalige sedimentbalans van de Nederlandse kust op basis van Vaklodingen, JarKus en LiDAR data. Het doel van de studie is het kwantificeren van de grootschalige en langetermijnontwikkeling (1965-heden) van de volumes van de zeereep tot en met de diepe vooroever.

6.4 Dynamiek van de duinen

6.4.1 Veranderingen in de dynamiek van de duinen (resultaten Natuurlijk Veilig)

Binnen het 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 de Groen et al. 2019) en de data is openbaar beschikbaar. Zie www.natuurlijkveilig.nl.

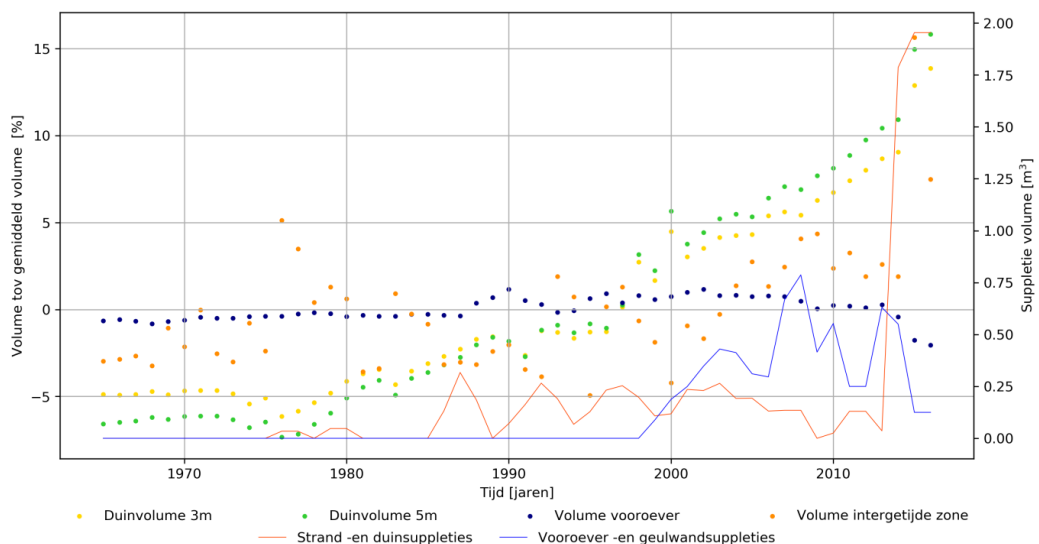
In Natuurlijk Veilig wordt de dynamiek en doorstuiving van de zeereep gecategoriseerd in zogenoemde 'responstypen' (Tabel 6-1). Binnen deze responstypen wordt de overstuivingsgradiënt van Type 1 naar Type 5 steeds uitgestrekter in de kustdwarse richting, met een steeds grotere beïnvloeding van de achter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

sedimentatie en erosie bepaald, en met een combinatie van de hoogtekkaart 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.

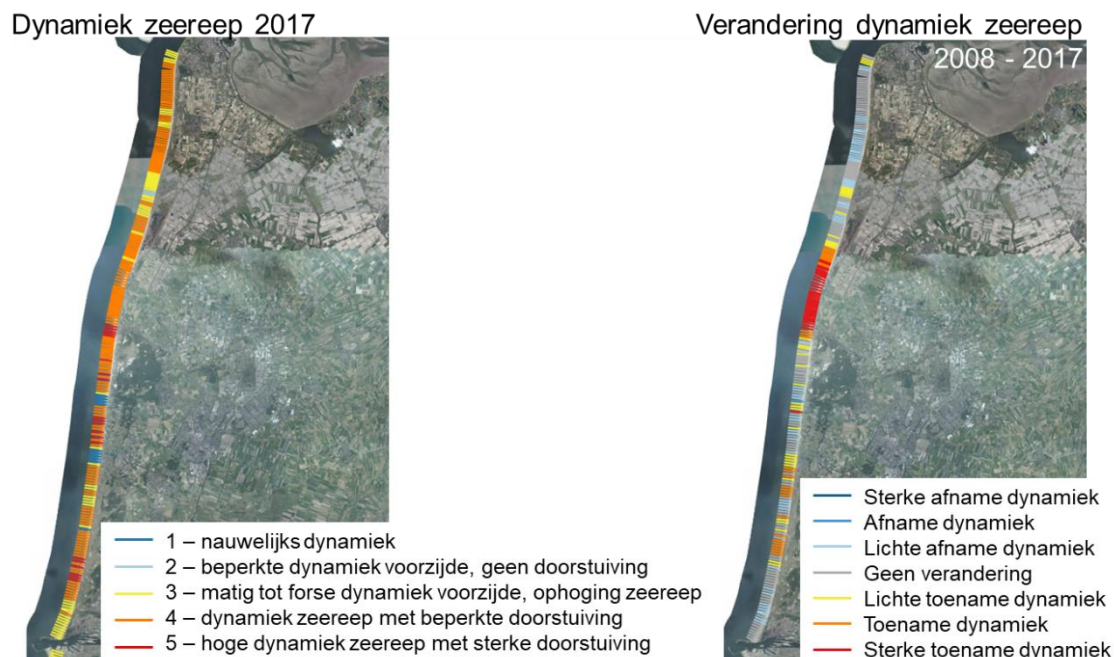
Tabel 6-1 : Responstypen met criteria hoe de responstypen zijn bepaald per JarKus raai (gebied voor de zeereep, de kruin, of achter de zeereep, behorend tot een bepaalde JarKus raai).

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

Het is aannemelijk dat suppleties de mate van dynamiek verhogen, doordat de hoeveelheid zand dat mogelijk door stuift naar de zeereep toeneemt (IJff et al., 2019). In kustvak Noord-Holland is over de tijd een groot suppletievolume aangebracht (Figuur 6-16), en heeft een stijging van de dynamiek in de zeereep plaatsgevonden (Figuur 6-17). De sterkste stijging in dynamiek heeft plaatsgevonden bij de Hondsbossche Duinen (zie ook 6.4.2).



Figuur 6-16 : Volumeverandering in Noord-Holland 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) en strand- en duinsuppleties (oranje lijn) (bron: IJff et al., 2019).



Figuur 6-17 : Dynamiek van de zeereep in 2017 (links) en veranderingen in de dynamiek van de zeereep 2017 ten opzichte van 2008 (rechts) (bron: IJff et al., 2019).

6.4.2 Hondsbossche duinen

In 2015 onderging de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) een versterking waarbij 35 miljoen kubieke meter zand werd aangebracht. Het vernieuwde gebied, nu bekend als de 'Hondsbossche Duinen' (HD), kenmerkt zich door een zachte, ondiepe vooroever (strand) en diverse duinhabitats, die samen niet alleen primaire veiligheid garanderen maar ook bijdragen aan de gewenste ruimtelijke kwaliteit.

Gedurende de eerste drie jaar na de aanleg van de HD werden verschillende parameters gemonitord, zoals hoogteligging, vegetatie- en bodemsamenstelling (Bodde et al., 2017). Uit hoogtemetingen is gebleken dat er een gemiddelde accumulatie is van 33 m³ zand per meter per jaar in het duingebied, waarvan 70% van het eolische transport aan de zeewaartse zijde van het duin terecht komt en 25-30% op de kruin. Om zand vast te houden zijn maatregelen zoals wilgenschermen, het aanplanten van vegetatie, en het creëren van luwe laagtes ingezet. Deze luwe laagtes dragen ook bij aan een toename van de lokale dynamiek.

Het HD-gebied bezit het potentieel om zich te ontwikkelen tot waardevolle Natura 2000-habitattypen. De opdrachtgever voor de kustversterking heeft geëist dat de Natuurzone na aanleg gunstige omstandigheden biedt voor natuurontwikkeling van specifieke duinvalleihabitattypen: H2190A (Vochtige duinvalleien met open water), H2190B (Vochtige, kalkrijke duinvalleien) en H2190D (Vochtige duinvalleien met hoge moerasplanten). Daarnaast kan het duingebied zich potentieel ontwikkelen tot Europese habitatrichtlijn-typen zoals Embryonale duinen (H2110), Witte duinen (H2120), Grijze duinen (H2130), en Duindoornstruwelen (H2160), welke als referentiekader dienen voor ontwikkelingen in de HD. Om te bevestigen of de voorspelde habitattypen daadwerkelijk tot stand komen, is meer tijd en onderzoek vereist. Het creëren van de juiste fysieke condities is niet voldoende om de ontwikkeling van de beoogde habitats te garanderen.

Tot slot is waargenomen dat in gebieden met veel dynamiek de helmplanten vitaal zijn en er een natuurlijk plantenpatroon ontstaat. In zones met extreme zandaanwas kan de bedekking met helm echter verminderen. In gebieden zonder dynamiek lijkt de natuurlijke ontwikkeling te stagneren, waarbij de helm weliswaar overleeft maar minder vitaal lijkt.

De Hondsbossche Duinen vormen (naast de Zandmotor) een proeftuin voor het onderzoeksproject C-SCAPE (2020-2025). Dit project heeft als doel om te kijken wat het verbreden van de kust kan opleveren.

6.4.3 Kerven in de zeereep

Als gevolg van het dynamische kustbeheer ontstaan (natuurlijke) kuilen en kerven in de zeereep. Deze fungeren als doorgeefluik van zand: via de kerven blaast de wind zand van het strand naar de achterliggende duinen. Daar hoopt het zand zich op, waardoor het duingebied kan meegroeien met de stijgende zeespiegel.

Voorbeelden van deze natuurlijke kerven zijn te vinden in het Noordhollands Duinreservaat, tussen Wijk aan Zee en Castricum aan Zee. Hier heeft de wind enkele natuurlijke kerven uitgeblazen in de zeereep, zoals het 'Gat van Heemskerk'. Na de zandsuppleties van 2005/2006 en 2011 is er via deze kerf enorm veel zand van het strand naar de duinen gestoven, dat als een ringvormige wal landwaarts van de kerf is afgezet. Zand is vervolgens over deze wal heen gestoven, waardoor er in 2016 een zandtong lag van bijna 130 m (Löffler et al., 2016). Een ander voorbeeld is de 'Wezel', een kleinere kerf die in de zeereep ten westen van Heemskerk is ontstaan vanuit een stuifkuil die richting strand groeide. Sinds het moment dat de kuil verbinding kreeg met het strand, perst de wind het zand er door heen richting de duinen. Het zand hoopt zich nu in de duinen op tot een nieuwe zeereep.

De kerven in de duinen zorgen er niet alleen voor dat het gebied kan meegroeien met zeespiegelstijging, de natuur profiteert ook van de kerven. Permanente embryonale duintjes, gelegen tegen de zeereep, verhinderen het zandtransport. De kerven zorgen ervoor dat het zandtransport van strand naar duin weer op gang komt. Daarnaast heeft door luchtvervuiling teveel stikstof zijn weg gevonden naar het kwetsbare open duin, waardoor open zandplekken zijn dichtgegroeid, exoten woekeren en het landschap veroudert. Via de kerven kan de zeewind vrij kalkrijk duinzand over het landschap verspreiden, waardoor dichte en 'oude' struwelen in het duingebied begraven worden en plaatsmaken voor kaal zand en jonge 'pionier-vegetaties'. Daardoor neemt de diversiteit aan habitats en aan flora en fauna toe.

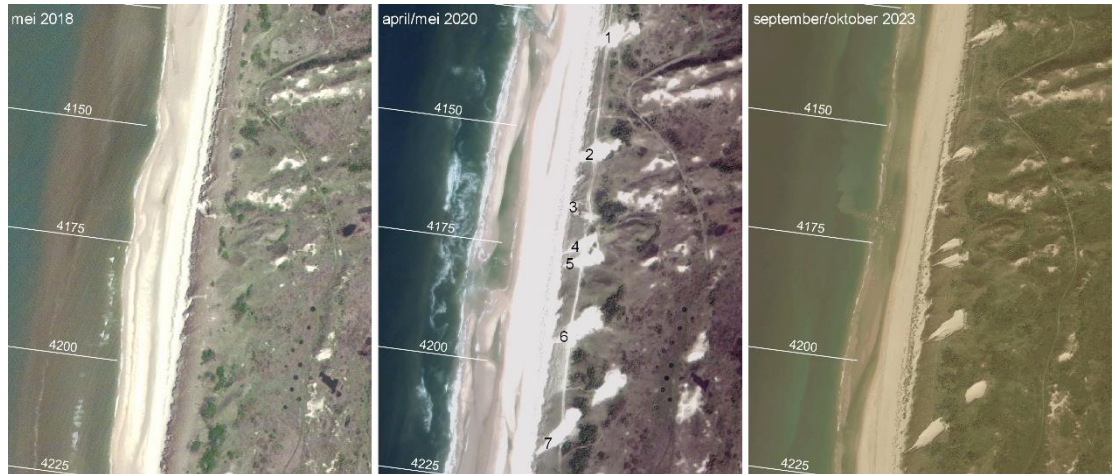
Er worden ook kunstmatige kerven in de zeereep aangelegd om de natuurlijke dynamiek van het landschap te herstellen. Hieronder worden enkele aangelegde kerven in de kust van Noord-Holland toegelicht.

De kerf bij Schoorl is wellicht de bekendste kerf van Nederland. Het is een van de eerste kerven die is aangelegd (in 1997) en afwijkend ten opzichte van de andere kerven is, dat de zee hier de ruimte kreeg om de achterliggende duinvallei in te stromen. Het ging in eerste instantie dus om een sluffer die later, door dichtstuiving, veranderd is in een kerf. Nijenhuis (2022) beschrijft voor deze en andere kerven de succes- en faalfactoren.

In het duingebied tussen Wijk aan Zee en Castricum, rond het infiltratiegebied Castricum en het Kieftenvlak, is in 2015 één bestaande kerf verdiept en één nieuwe kerf aangelegd (bv. Van Hoek en Dubelaar, 2020). In dit infiltratiegebied wordt een kwart van het drinkwater voor Noord-Holland geproduceerd. Omdat het gebied buitendijks ligt en overstroming door de zee rampzalige gevolgen zou hebben voor de drinkwatervoorziening, moest het gebied binnendijks worden. Daarbij moest rekening worden gehouden met de door Natura 2000 beschermde habitattypen die in het gebied voorkomen. Hier is door de beheerder van de waterkering

(Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) en de duinbeheerder (PWN) besloten tot het aanleggen van kerven, die zowel de natuur als de veiligheid dienen (zie ook Löffler et al., 2016).

In 2019 zijn er zeven kerven (de Zeven Zusters; Figuur 6-18) aangelegd in de zeereep tussen Castricum aan Zee en Egmond aan Zee (De Kil; strandpaal 42). Het verse kalkrijke zand zorgt voor verjonging van het achterliggende landschap en gaat verzuring van de bodem tegen. De duinen worden zo dynamischer en sterker, en het zandvolume stijgt. Bij deze kerf is nabehoer nodig in de vorm van het verwijderen van vrij gestoven wortels en vegetatie die zich (her)vestigt, anders groeit de kerf hier weer dicht.



Figuur 6-18 : Drie satellietbeelden (2018, 2020 en 2023) van de kust tussen Castricum aan Zee en Egmond aan Zee waar in 2019 zeven kerven in de zeereep zijn aangelegd (bron: satellietdataportaal.nl).

Voor 2024-2025 staat de aanleg van vijf kerven in het Lazaretduin, ten zuiden van infiltratiegebied Castricum (ICAS), op de planning (PWN, 2023). De duinenrij langs de zee is hier decennialang vlakgemaakt met bulldozers en dichtgeplant met helmgras. Om deze duinen hun bewegingsvrijheid terug te geven, worden ze weer open gemaakt.

6.4.4 Onderzoekslocatie Egmond aan Zee

Aan de Noord-Hollandse kust is veel onderzoek gedaan naar de opbouw en afbraak van de duinen. Egmond aan Zee wordt veel gemonitord aangezien dit één van de weinige, betrekkelijk ongestoorde (niet-gesuppleerde), rechte stukken kust is. Hierdoor zijn er veel data beschikbaar. De studies focussen over het algemeen op het begrijpen van bepaalde processen, door bijvoorbeeld het kalibreren van modelresultaten met veldmetingen.

De Winter et al. (2015) gebruikten bijvoorbeeld meetdata om een duinerosiemodel te kalibreren. Hiermee zijn waardevolle stappen gezet in het verdiepen van ons inzicht in duinerosieprocessen en het verbeteren van predictiemodellen. Dit is van cruciaal belang, zeker in gebieden waar duinen dienen als primaire bescherming tegen overstromingen. *De Winter & Ruessink (2017)* hebben vervolgens dit duinerosiemodel gebruikt om de impact van zeespiegelstijging en veranderingen in de karakteristieken van stormgolven en -vloed op duinerosie bij Egmond aan Zee te kwantificeren. Deze erosie vermindert op zijn beurt de veiligheidsniveaus van kustgebieden die afhankelijk zijn van duinen als natuurlijke beschermingsbarrières. Uit de modellering blijkt een lineair verband tussen zeespiegelstijging en het volume van duinerosie. Deze relatie is echter afhankelijk van de lokale hydrodynamische omstandigheden. De hoofdoorzaak van verhoogde erosie lijkt de stijgende zeespiegel te zijn, die golven in staat stelt op een hoger niveau tegen de duinen aan te slaan. Aanvullende simulaties tonen aan dat veranderingen in de hoek van inkomende golven, mogelijk als gevolg van veranderende stormbanen, een vergelijkbare impact kunnen hebben op het erosievolume als zeespiegelstijging zelf.

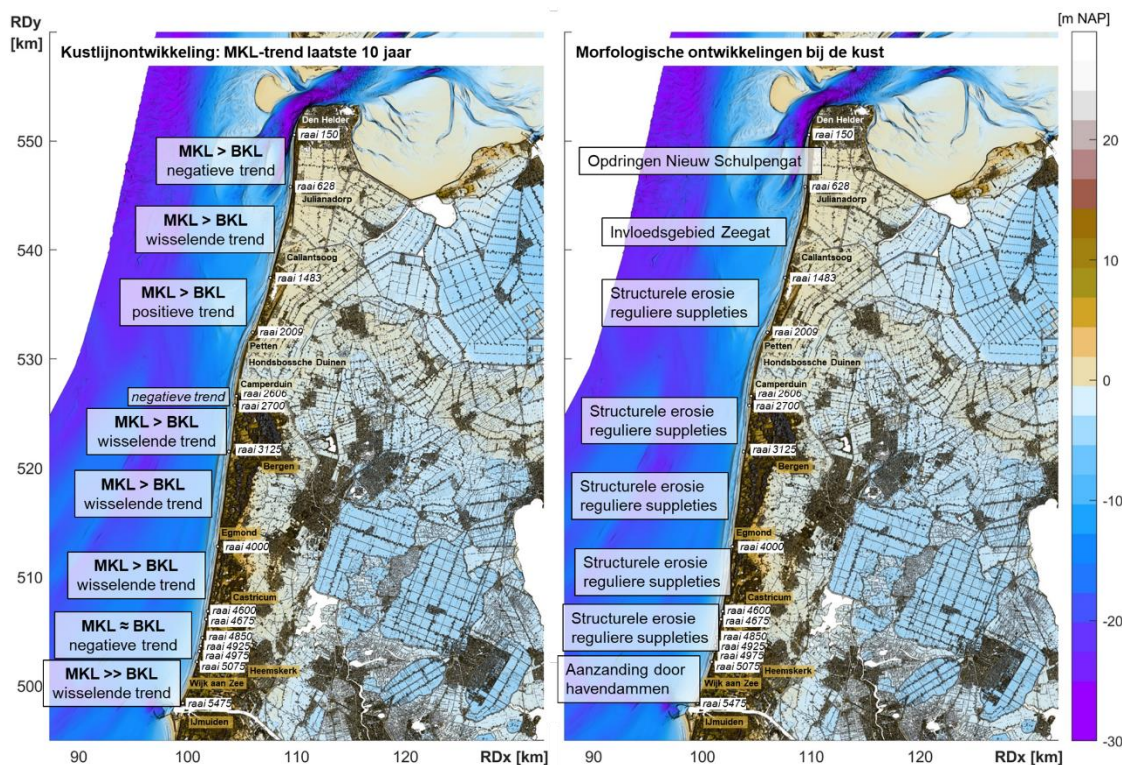
Ruessink et al. (2007) vergeleken een model met meetdata om zo het kustdarse gedrag van brekerbanken bij Egmond aan Zee beter te begrijpen. De studie vond bijvoorbeeld (in overeenkomst met eerdere studies) dat zeewaartse migratie van brekerbanken plaatsvindt tijdens stormen, en landwaartse migratie tijdens energieke condities waarbij golven beperkt tot niet breken.

Ruessink et al. (2019) hebben een dataset opgeleverd van DEMs en orthofoto's van het strand en de zeereep bij Egmond. Deze unieke dataset werpt een nieuw licht op de dynamische processen van duinvorming en -afbraak. Door de combinatie van lange observatieperioden (zes jaar, van januari 2013 tot januari 2019) en hoge resolutie kunnen wetenschappers en beheerders beter inzicht krijgen in de duindynamiek. Dit inzicht is onontbeerlijk om de veelzijdige functies die duinen vervullen voor maatschappij en natuur te behouden en te beschermen. De data biedt een solide basis voor verdere studies en de ontwikkeling van geavanceerde duinmodellen die helpen bij het voorspellen en beheren van onze waardevolle duingebieden.

7 Kustlijnontwikkeling

7.1 Hoofdlijnen

Op basis van de morfologische kenmerken uit Hoofdstuk 6 zijn enkele deelgebieden te onderscheiden, opgedeeld tussen JarKus raaien: 150-2023, 2041-2606, 2629-3125, 3150-4000, 4000-5475. Figuur 7-1 geeft de hoofdlijnen weer van de algemene kenmerken van de MKL-trends en 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. Trends in kustlijnontwikkeling zijn afkomstig uit het Kustlijkaartenboek 2023.

Tussen Den Helder en Petten (150-2023) vindt afwisselend aanzanding en erosie plaats. In de raaien 150-628 is de trend in kustlijnpositie landwaarts. In dit gebied vindt de landwaartse verschuiving van het Nieuwe Schulpengat plaats. Het traject tussen raai 648 en 1483 is afwisselend aangroeiend en eroderend. Dit gebied valt nog binnen de invloedsfeer van het Zeegat van Texel. Het traject tussen raai 1503 en 2009 kent een overwegend zeewaartse trend in kustlijnpositie.

Bij de Hondsbossche Duinen (raaien 2041-2606) is er geen BKL vastgesteld.

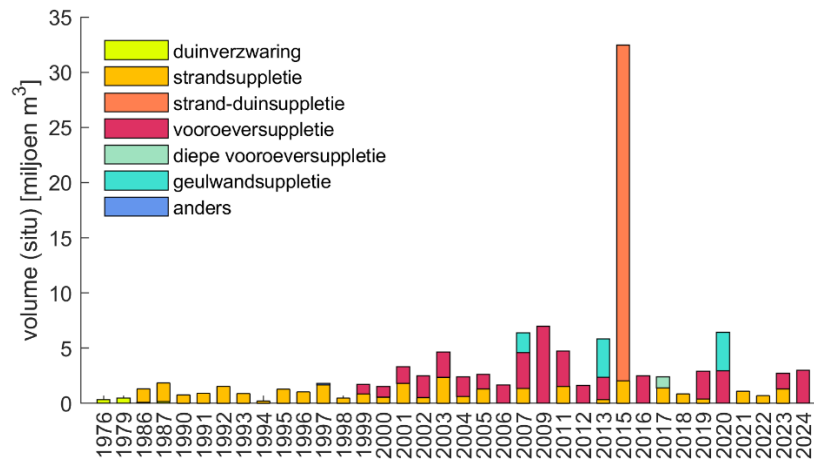
Ten zuiden van de Hondsbossche Duinen (raai 2629-4600) is de trend in MKL overal wisselend aanzandend en erosief. Een uitzondering is de trend in kustlijnpositie direct ten zuiden van de Hondsbossche Duinen (raai 2629-2700), die sterk landwaarts is gericht. Wat opvalt is dat de morfologische ontwikkelingen veelal niet aansluiten op de kustlijnontwikkeling. Langs vrijwel de gehele kust van Noord-Holland vindt structurele erosie plaats, maar door de reguliere

suppleties die hier worden uitgevoerd (zie ook Paragraaf 7.2) is deze erosie niet altijd terug te zien in de ligging van de MKL.

Het traject tussen raai 4600 en 5075, ter hoogte van Heemskerk, kenmerkt zich vooral door erosie. Hier zijn de afgelopen jaren meerdere zandsuppleties uitgevoerd. Deze hebben de kustlijn tijdelijk zeewaarts opgeschoven, maar sindsdien heeft er alweer veel erosie plaatsgevonden. Hierdoor is de BKL op dit traject in 2023 overschreden bij raai 4675, 4850, 4925 en 4975 en worden er nog meer overschrijdingen verwacht tussen raai 4650 en 5075. Een stukje kust net ten noorden van de havendammen van IJmuiden (raai 5075 – 5475) wordt duidelijk door deze dammen beïnvloed.

7.2 Zandsuppleties

Er wordt sinds 1976 gesuppleerd voor de kust van Noord-Holland, waarvan vanaf 1990 frequent. Figuur 7-2 en Appendix B geven een compleet overzicht van alle uitgevoerde suppleties met de gesuppleerde volumes. Vóór 1990 zijn strandsuppleties en duinverzwaringen incidenteel uitgevoerd als maatregel om de kust en de duinen tegen erosie te beschermen. Duinverzwaringen zijn aanvullingen van de zandvoorraad van de duinen. Duinverzwaringen zijn veelal uitgevoerd om de waterveiligheid te vergroten, daar waar de duinen het achterland beschermen tegen overstromingen. Vanaf 1990 zijn zandsuppleties de structurele beheermaatregel tegen verdere erosie van de kust, als onderdeel van het beleid om de basiskustlijn dynamisch te handhaven.



Figuur 7-2. Overzicht van de uitgevoerde suppleties langs de kust van Noord-Holland onderverdeeld per type.

Tabel 7-1 vat de typerende suppleties langs de kust van Noord-Holland samen. Sinds 1976 is er ruim 113 miljoen m³ aan zand gesuppleerd, waarvan 30,4 miljoen m³ voor de aanleg van de Hondsbossche Duinen. In het kustvak ten noorden van raai 2058 (de noordelijke aansluiting op de HPZ) is 41,9 miljoen m³ aangebracht. Een klein deel (1 miljoen m³) is als duinverzwaring uitgevoerd. Het merendeel bestond echter uit strand- en vooroeversuppleties (resp. 17,3 en 13,8 miljoen m³). Een bijzondere vooroeversuppletie is uitgevoerd in 2017. Deze suppletie van 1 miljoen m³ is verder zeewaarts geplaatst in de vorm van een diepe vooroeversuppletie. De suppletie is aangebracht buiten de actieve brekerbankzone op een diepte van -10 tot -10,5 m NAP. Vanwege het experimentele karakter van deze suppletie is er een uitgebreid monitoringsprogramma uitgevoerd naar de effecten op de ecologie (zie Wijsman & Schotanus, 2022). Daarnaast zijn er bij Den Helder drie geulwandsuppleties uitgevoerd, in 2007, 2013 en 2020 (resp. 1,8, 3,5 en 3,5 miljoen m³). In het kustvak ten zuiden van raai 2058 is 41,6 miljoen m³ gesuppleerd (exclusief de 30,4 miljoen m³ van de aanleg van de HPZ). Het merendeel van deze suppleties waren strand- en vooroeversuppleties (resp. 13,5 en 28 miljoen m³). Hieronder worden een paar suppleties verder toegelicht.

Den Helder - Julianadorp

Tussen Den Helder en Julianadorp is in 2007 een combinatie van een geulwandsuppletie, vooroeversuppletie en strandsuppletie uitgevoerd. Er is een aantal redenen voor deze unieke uitvoeringsvorm. Directe aanleiding voor de strandsuppletie waren overschrijdingen van de basiskustlijn. Door de aanwezigheid van grote getijgeulen langs de kust was er twijfel of een strandsuppletie op zichzelf voldoende effectief zou zijn. Een vooroeversuppletie zou de effectiviteit/levensduur van de strandsuppletie kunnen verlengen. De vooroever- en geulwandsuppletie werden uitgevoerd om het kustfundament te onderhouden. De Waddenzee onttrekt namelijk jaarlijks circa 5 tot 6 miljoen m³ zand aan de kust en de buitendelta op de Kop van Noord-Holland en Texel. Deze kustfundamentsuppletie vult het kustfundament daar aan waar zandverlies optreedt. Ook draagt deze suppletie bij aan de stabiliteit van de geulwand onder water (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2018b).

In Elias et al. (2013) is de ontwikkeling van deze geulwand-vooroever- en strandsuppletie beschreven. De vooroeversuppletie blijft goed intact en vormt een extra bijdrage aan het zandvolume binnen het systeem. Het zandpakket erodeert relatief langzaam, waardoor op grotere schaal een natuurlijke voeding van het systeem plaatsvindt. De geulwandsuppletie vormde een extra zandbuffer voor de Helderse Zeewering. Binnen ruwweg 3 jaar was deze buffer afgevoerd. De strandsuppletie had een identiek effect: ook hier vond normale afslag van de suppletie plaats. De MKL bevond zich 4 jaar na suppletie over het algemeen nog zeewaarts van de oorspronkelijke (2007) positie. Het is mogelijk dat dit mede komt door de afscherpende werking van de vooroeversuppletie.

De aanwezigheid van het Nieuwe Schulpengat dicht langs de kust veroorzaakt lokaal veel zandverliezen (Elias & Cleveringa, 2003; Elias et al., 2013). In 2013 is er voor het eerst een geulwandsuppletie in het Nieuwe Schulpengat nabij Den Helder uitgevoerd. In 2020 is er hier nogmaals een geulwandsuppletie uitgevoerd.

Knaake & Vermaas (2023) hebben een serie strand-, vooroever- en geulwandsuppleties bij Julianadorp tussen 1993 en 2015 geanalyseerd om meer inzicht te krijgen in het gedrag van zandsuppleties. Ze vonden dat de meeste suppleties bij Julianadorp een jaargemiddelde volumeafname hebben van tenminste 10% van het aanlegvolume. De vooroeversuppleties lijken hierop een uitzondering te zijn met 5% of minder per jaar maar bij strand- en geulwandsuppleties lijkt dit onafhankelijk te zijn van het type suppletie. Door de jaren heen is geen duidelijke trend zichtbaar wat aangeeft dat de suppleties zich niet specifiek anders gaan gedragen met de tijd. Dit lijkt aan te geven dat de processen die lokaal van invloed zijn op het gedrag van de suppletie weinig lijken te veranderen door de tijd.

Julianadorp – Callantsoog

De zandige kust tussen twee dijken (de Helderse Zeewering in het noorden en de Pettemer Zeewering in het zuiden) had een opvallend smalle duinenrij. Door het landwaarts migreren van de geul het Nieuwe Schulpengat en het netto zandtransport naar het noorden, is de kust bij Julianadorp onderhevig aan structurele erosie. De combinatie van een smal duin met snelle erosie zorgde ervoor dat dit stuk kust tot de 'Zwakke Schakels' langs de Nederlandse kust behoorde (zie ook paragraaf 3.3). De kust is hier uitgebouwd door middel van extra zandsuppleties op het strand en de onderwateroever. Een evaluatie van de 2013 vooroeversuppletie (2 miljoen m³) laat zien dat na aanleg van de suppletie deze verheelt met de brekerbank (Elias et al., 2021). De nieuwe brekerbank ligt dan verder zeewaarts, vergeleken met de ongestoorde situatie, en migreert langzaam landwaarts.

In 2017 is de ligging van de BKL opnieuw vastgesteld om het extra aangebrachte zandvolume te behouden. Vervolgens is er in 2017 tussen raai 1213 en 1401 een diepe vooroeversuppletie geplaatst voor de kust bij Callantsoog. Elias et al. (2021) geven een beknopte evaluatie van deze suppletie: de hoogte van de suppletie neemt iets af, maar de breedte neemt juist toe. De grootste afname in hoogte treedt op in het zuidelijk deel (-1 m). Het centrale deel van de suppletie neemt ongeveer -0,40 m in hoogte af. Doordat de breedte van de suppletie toeneemt, blijft het totale volume van de suppletie vrijwel gelijk. Verder resulteert de suppletie niet in duidelijke veranderingen in de omliggende kustzone. De landwaarts gelegen brekerbank blijft ook na de suppletie behouden en de landwaartse verplaatsing zet zich verder door. Daarnaast is er in Elias et al. (2021) gekeken naar het geultje dat tussen de brekerbank en de kust ligt en of verliezen in de strandzone tussen raai 1320-1421 kunnen worden beperkt door het aanleggen van een vooroeversuppletie. De conclusie was dat het geultje waarschijnlijk geen primaire rol speelt in de kusterosie in de strandzone tussen raai 1320-1421.

Om te zorgen dat de kustlijnligging blijft voldoen aan de BKL is in 2019 een strandsuppletie uitgevoerd. Deze suppletie heeft de kustlijn zeewaarts uitgebouwd, maar de verwachting was dat de BKL in 2022 weer overschreden zou worden. Daarom is er in 2023 een strandsuppletie uitgevoerd vanuit het suppletieprogramma 2020-2023 (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2021). In het suppletieprogramma 2024-2027 is aanvullend een vooroeversuppletie geprogrammeerd, met als doel om de kust op langere termijn te voeden en de levensduur van de strandsuppleties te verlengen (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2023b)

Bergen - Egmond

Voor het behoud van de aanwezige functies van de dorpen Bergen en Egmond, waaronder veiligheid, buitendijkse bebouwing en recreatie, ligt de basiskustlijn bij deze dorpen circa 30 meter zeewaarts ten opzichte van de naastgelegen kustvakken. Omdat de kustlijn uitsteekt, erodeert deze hier structureel. In 2010-2011 en 2015-2016 zijn bij Bergen en Egmond een vooroever- en strandsuppletie uitgevoerd. Gezien de lange ervaring met de levensduur van suppleties op deze locaties is er in 2019 een vooroeversuppletie uitgevoerd vanuit suppletieprogramma 2016-2019 (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2018). In eerste instantie was er een strandsuppletie opgenomen in het suppletieprogramma 2020-2023. De 2019-vooroeversuppletie heeft echter goed bijgedragen aan het op peil krijgen van het zandvolume, waardoor de strandsuppletie is omgezet in een vooroeversuppletie. Vanuit de geobserveerde (positieve) kustlijnontwikkeling was een strandsuppletie niet noodzakelijk. Het inzetten van een vooroeversuppletie is wel nuttig, omdat het effect van zo'n suppletie op de BKL pas enkele jaren later wordt teruggezien (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2019).

Castricum - Heemskerk

In 2011-2012 is een vooroeversuppletie bij Heemskerk uitgevoerd (raai 4574 – 5075). De bijdrage van deze suppletie aan de ontwikkeling van het zandvolume in de basiskustlijnzone is onvoldoende gebleken om de basiskustlijn op alle raaien te herstellen. Daarom is er in 2017 een strandsuppletie uitgevoerd (Ministerie van Infrastructuur & Milieu, 2016). In 2021 en 2022

werden er echter opnieuw BKL-overschrijdingen verwacht (in resp. raai 4925-4975 en raai 4650-4725). Verder in de toekomst werden er ook overschrijdingen verwacht in de omliggende raaien, waaronder raai 4375 in Castricum. Om die reden is er een vooroeveroppletie opgenomen bij Castricum en Heemskerk met een uitvoer in 2022-2023 (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2021).

Tabel 7-1 : Samenvatting van de typerende suppleties langs de kust van Noord-Holland. De vastgestelde suppletieprogramma's en de actualisaties met onderbouwingen zijn te vinden via:

<https://open.rijkswaterstaat.nl/overige-publicaties/2023/suppletieprogramma-kustlijnzorg#highlight=suppletieprogramma>

Locatie (raaien)	Typerende suppleties	Onderbouwing
Den Helder (20-308)	geulwandsuppletie	De geulwandsuppletie moet op de langetermijn voor kustveiligheid zorgen door het kustfundament te laten meegroeien. Ook draagt deze suppletie bij aan de stabiliteit van de geulwand onder water.
Julianadorp (328-708) (150-648)	vooroeversuppletie strandsuppletie	Compensatie van de optredende structurele erosie is nodig om de functies van het gebied, waaronder lange termijn veiligheid, recreatie en natuur, te behouden (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2018b). In 2015 is hier een strandsuppletie uitgevoerd. In 2019-2020 is er een vooroeversuppletie uitgevoerd vanuit het suppletieprogramma 2016- 2019. Er is naast deze onderwatersuppletie ook een aanvullende strandsuppletie uitgevoerd om de kustlijn te herstellen (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2019).
Callantsoog (1213-1421) (1213-1503) (1182-1606)	(diepe) vooroeversuppletie strandsuppletie	De kust bij Callantsoog is in 2013 middels strand- en vooroeversuppleties versterkt vanuit het kustversterkingsproject 'Zwakke Schakels'. Vervolgens is de BKL opnieuw vastgesteld om het extra aangebrachte zandvolume te behouden. Om te zorgen dat de kustlijnligging blijft voldoen aan deze BKL zijn in 2019 en 2023 strandsuppleties uitgevoerd.
Bergen-Egmond (3100-4100) (3200-4200 & 3650 – 3950)	vooroeversuppletie strandsuppletie	De kustlijn steekt hier uit, waardoor structurele erosie plaatsvindt. In 2010-2011 en 2015-2016 zijn bij Bergen en Egmond een vooroever- en strandsuppletie uitgevoerd. Daarnaast is er in 2019 een vooroeversuppletie uitgevoerd en staat er een voor 2023 op de planning (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2022).
Castricum - Heemskerk (4575-5075) (4300-5150)	vooroeversuppletie strandsuppletie	In 2011-2012 is een vooroeversuppletie bij Heemskerk uitgevoerd. De bijdrage van deze suppletie kustlijnpositie was niet voldoende, waardoor er in 2017 een strandsuppletie is uitgevoerd (Ministerie van Infrastructuur & Milieu, 2016). In 2021 en 2022 werden echter opnieuw BKL-overschrijdingen verwacht. Om die reden is er een vooroeversuppletie opgenomen bij Castricum en Heemskerk met een uitvoer in 2022-2023 (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2021).

7.3 Ontwikkeling kustindicatoren

7.3.1 MKL – BKL

De MKL-positie (voor definitie, zie Hoofdstuk 3) representeert de jaarlijkse kustlijnligging en wordt vergeleken met de BKL. Figuur 7-3 geeft de MKL ontwikkeling voor 1965 tot 2022 (boven) en de laatste 10 jaar (onder) t.o.v. de BKL2023. Trends in kustlijnpositie zijn bepaald in het Kustlijnkaartenboek 2023 en zullen hieronder worden toegelicht.

Tussen Den Helder en Petten (150-2023) vindt afwisselend aanzanding en erosie plaats. In de raaien 150-628 is de trend in kustlijnpositie landwaarts. In dit gebied vindt de landwaartse verschuiving van het Nieuwe Schulpengat plaats. Deze verschuiving heeft betrekking op een diepte onder de -10 m NAP, oftewel zeewaarts van de MKL zone. Deze verschuiving heeft geen direct effect op de ontwikkeling van de MKL. Mogelijk hangt de erosie hoger in het profiel,

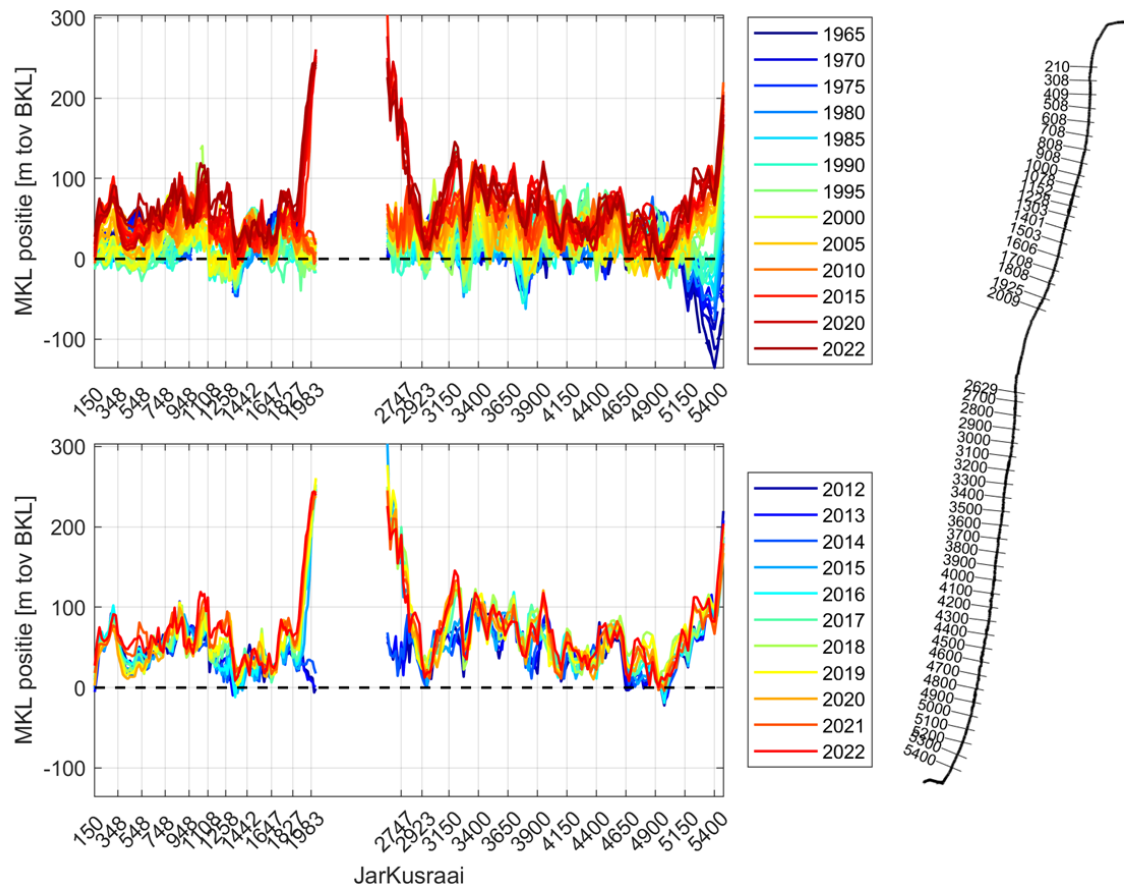
in de MKL zone, wel samen met de verschuiving van het Nieuwe Schulpengat. De verschuiving van het Nieuwe Schulpengat heeft dan wel een indirect effect op de ontwikkeling van de MKL (Elias et al., 2013). Het traject tussen raai 648 en 1483 is afwisselend aangroeiend en eroderend. Tussen raai 150 en 1483 zijn de afgelopen jaren zandsuppleties uitgevoerd. In het noorden is de kustlijn hierdoor voldoende zeewaarts opgeschoven. In het zuiden worden tussen 2023 en 2027 jaar BKL-overschrijdingen verwacht. Het traject tussen raai 1503 en 2009 kent een overwegend zeewaartse trend in kustlijnpositie.

Bij de Hondsbossche Duinen (raaien 2041-2606) is er geen BKL vastgesteld. Ten zuiden van raai 1800 is een grote zeewaartse sprong in MKL-ligging (en strandbreedte, zie Figuur 7-5) opgetreden na aanleg van de Hondsbossche Duinen (HBD). Elias et al. (2019) schatten dat de volumes in het vak tussen raai 1606 en de HBD met 5,9 miljoen m³ zijn toegenomen. Het merendeel van deze toename vond plaats tijdens of direct na aanleg.

Tussen Camperduin en Bergen (raai 2629-3125) is de trend in kustlijnpositie afwisselend licht landwaarts en licht zeewaarts gericht. Een uitzondering is de trend in kustlijnpositie direct ten zuiden van de Hondsbossche Duinen (raai 2629-2700), die sterk landwaarts gericht is (10 à 15 meter per jaar). De kust is tussen Camperduin en Bergen voldoende voorzien van zand, waardoor er geen BKL-overschrijdingen worden verwacht.

Op het traject van Bergen tot Castricum (3150 – 4000) vindt afwisselend aanzanding en erosie plaats. De raaien rond de badplaatsen Bergen en Egmond aan Zee kenmerken zich door een landwaarts gerichte trend. Hier worden geregeld zandsuppleties uitgevoerd waardoor er geen BKL-overschrijdingen worden verwacht.

Op het traject Castricum – Wijk aan Zee (raai 4000 – 5475) is de trend in kustlijnpositie afwisselend landwaarts en zeewaarts gericht. Het traject tussen raai 4600 en 5075, ter hoogte van Heemskerk, kenmerkt zich vooral door erosie. Hier zijn de afgelopen jaren meerdere zandsuppleties uitgevoerd. Deze hebben de kustlijn tijdelijk zeewaarts opgeschoven, maar sindsdien heeft er alweer veel erosie plaatsgevonden. Hierdoor is de BKL op dit traject in 2023 overschreden bij raai 4675, 4850, 4925 en 4975 en worden er nog meer overschrijdingen verwacht tussen raai 4650 en 5075.

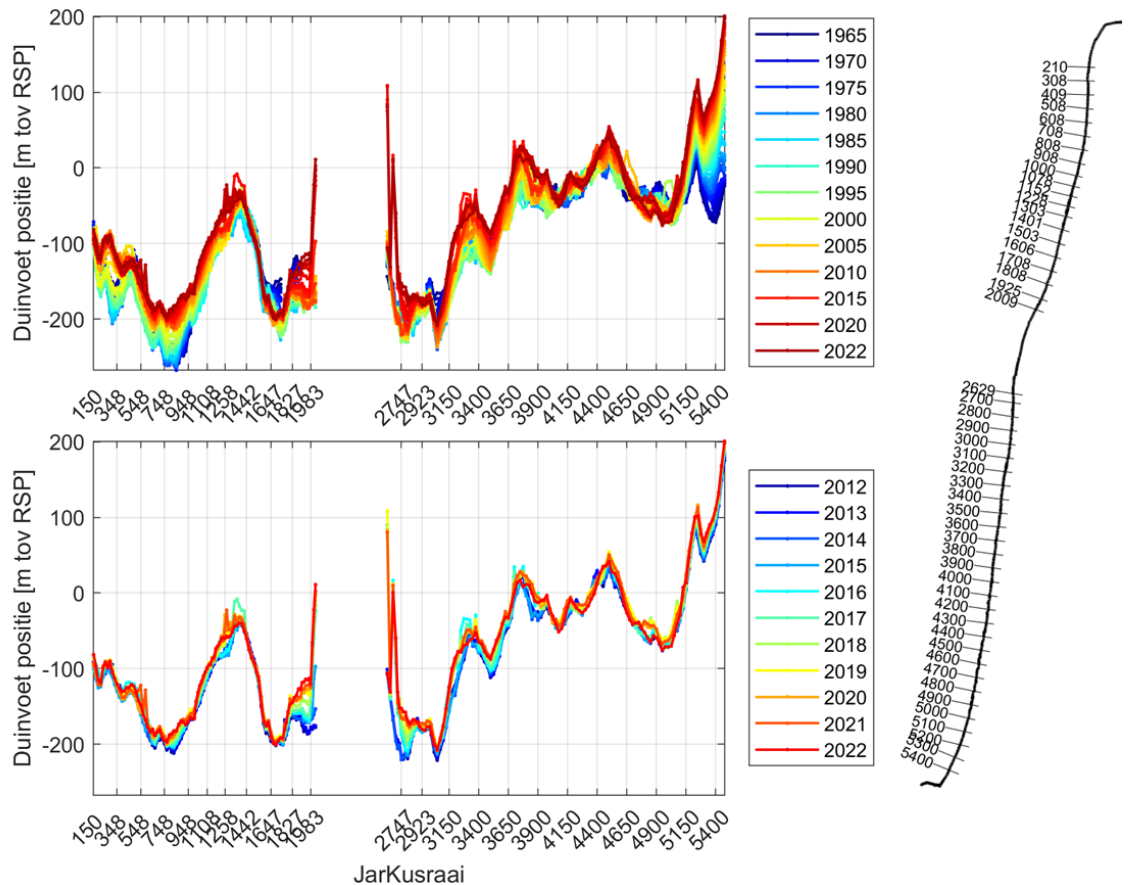


Figuur 7-3 : Ontwikkeling MKL positie t.o.v. BKL2023 (zwarte stippellijn) over de periode 1965 tot 2022 (boven) en de laatste 10 jaar (onder).

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 (m.a.w. knikpunt in het profiel).

In Figuur 7-4 wordt de ontwikkeling van de DV tussen 1965 en 2022 en de laatste 10 jaar weergegeven langs de kust van Noord-Holland. De figuur laat zien dat de positie van de duinvoet vrijwel overal langs de kust zeewaarts verplaatst. Dit komt door de vele suppleties die hier zijn uitgevoerd. De positie van de duinvoet is met name bij de Noordpier (raai 5400) sinds 1965 (na verlenging van de havenhoofden) sterk zeewaarts verplaatst. Rond raai 4900 (Heemskerk) is de duinvoet juist wat landwaarts verplaatst, met name de laatste tien jaar.

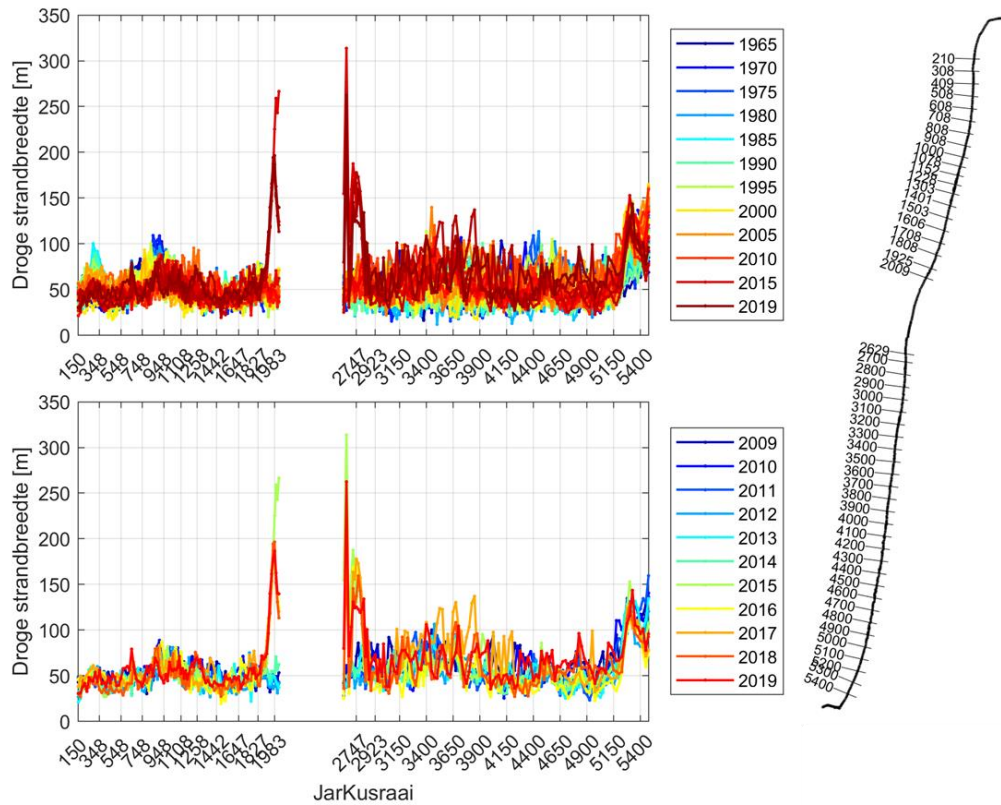


Figuur 7-4 : Ontwikkeling duinvoet positie t.o.v. RSP over de periode 1965 tot 2022.

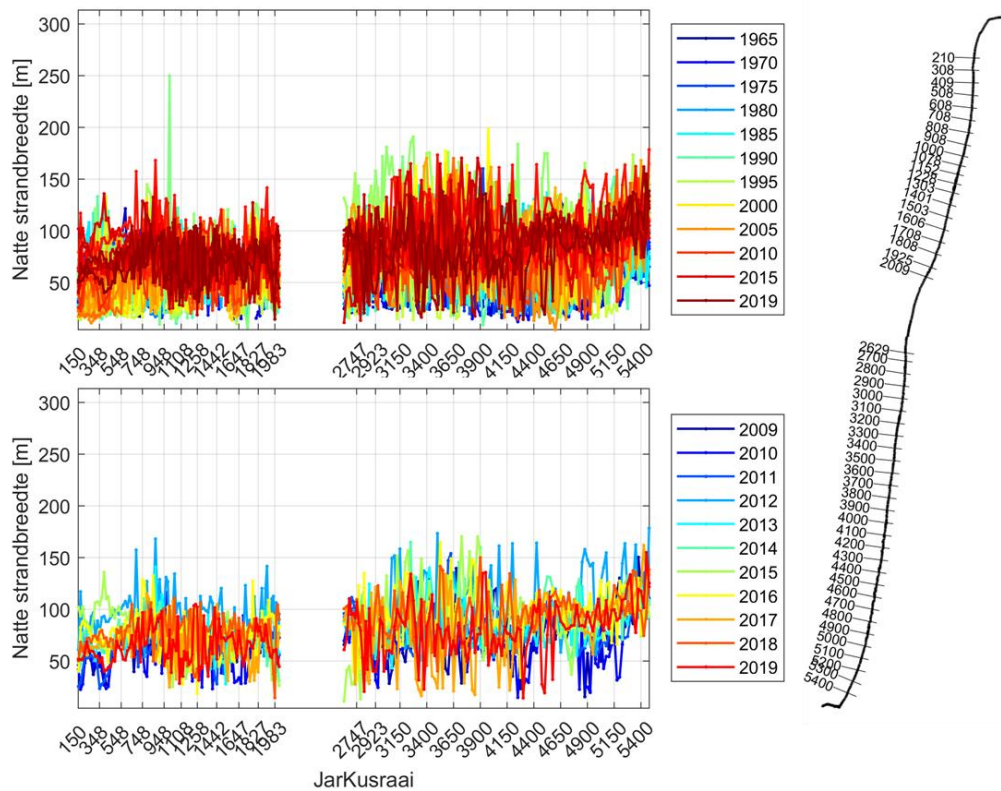
7.3.3 Strandbreedte

Het onderhouden van een strandbreedte is geen doelstelling van het beleid dat Rijkswaterstaat binnen Uitvoeringsprogramma Kustlijn zorg uitvoert voor het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 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 en Figuur 7-6 staat de ontwikkeling van de droge en natte strandbreedte tussen 1965 en 2019 langs de kust van Noord-Holland.

De figuren laten duidelijke variatie zien in de strandbreedte langs de Noord-Hollandse kust. Door aanleg van de Hondsbossche Duinen is de (droge) strandbreedte lokaal sterk toegenomen. De natte strandbreedte fluctueert sterk. Dit hangt mogelijk samen met de (wisselende) positie van intergetijdzandbanken, die soms wel en soms niet worden meegenomen in de natte strandbreedte.



Figuur 7-5 : Ontwikkeling droge strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 (boven) en 2009-2019 (onder) voor alle raaien bij de kust van Noord-Holland.



Figuur 7-6 : Ontwikkeling natte strandbreedte voor de periode 1965 – 2019 (boven) en 2009-2019 (onder) voor alle raaien bij de kust van Noord-Holland.

7.3.4 Faalkans eerste duinenrij/zeereep

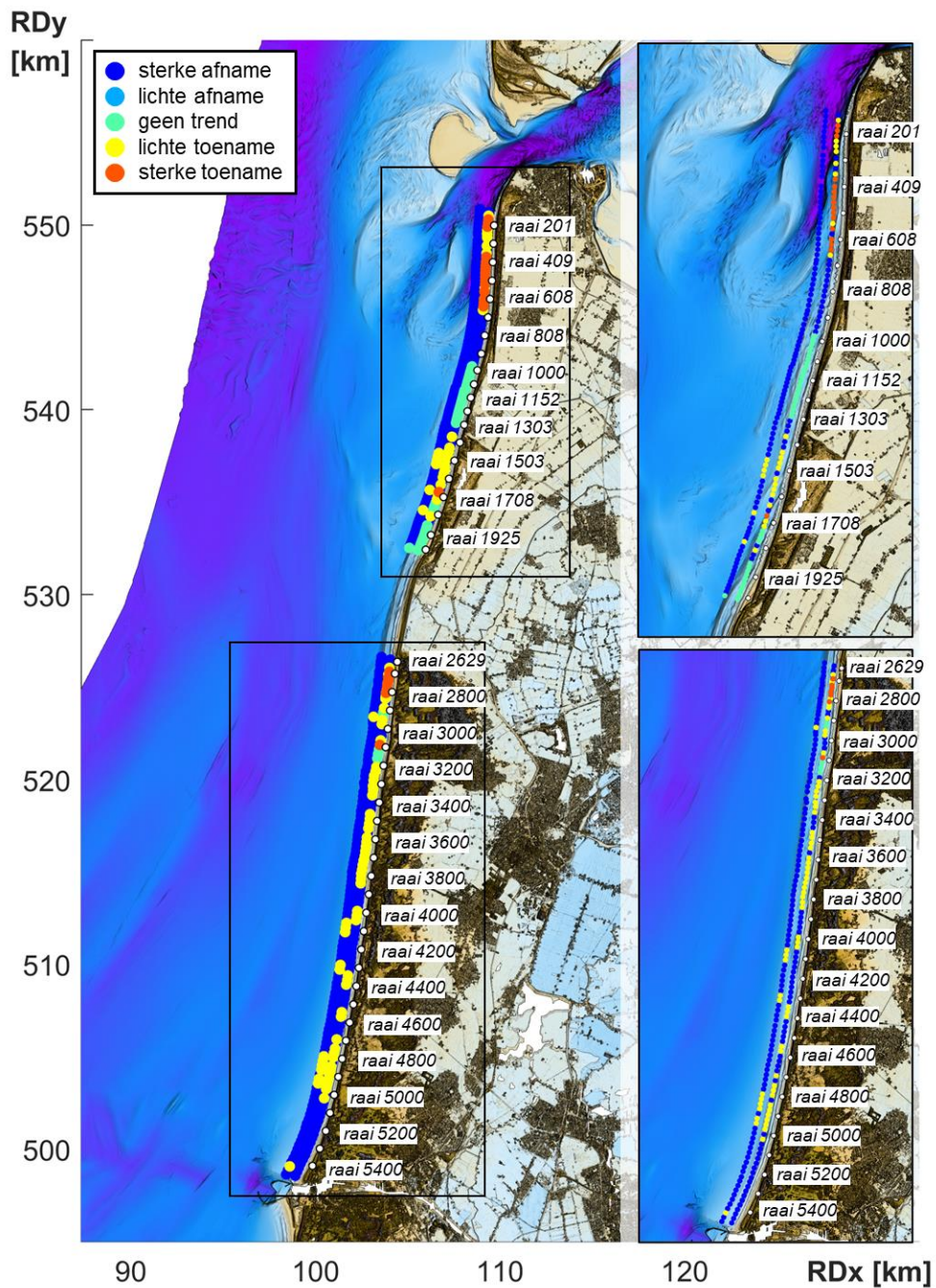
De wettelijke beoordeling van de duinen als primaire waterkering is gebaseerd op het bepalen van de hoeveelheid duinafslag onder maatgevende condities. Bij deze beoordeling komt geen informatie beschikbaar over het effect van suppleties op de ontwikkeling van de veiligheid. Om dit effect in beeld te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

De hierbij berekende faalkansen hebben geen officiële betekenis voor de faalkans van de duinwaterkering, 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 7-7 toont de trend in de faalkans van de eerste duinenrij van Noord-Holland voor elke periode. Er is een onderverdeling aangebracht in vijf klassen:

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

De figuur laat zien dat de berekende faalkans na 1990 vrijwel overal sterk is afgenomen. Dit hangt samen met de vele suppleties die hier zijn uitgevoerd.



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

Referenties

- Allersma, E., 1988. Analyse erosie-problematiek vooroever Hondsbossche Zeewering. Analyse van het erosieproces. Verslag bureaustudie. Rapport H237, WL-Delft Hydraulics, Deltares, Delft.
- Aten, D., 2007. Een afgerond geheel. Waterstaat en waterschappen ten noorden van het IJ tot 1800. In: *Hollanders en het water Deel 1*, Hilversum, p. 23-60.
- Berger, G.W., Eisma, D. & van Bennekom, A.J., 1987. ^{210}Pb -derived sedimentation rate in the Vlieter, a recently filled-in channel in the Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 21(4): 287–294.
- Willem Bodde, Rik Huiskes, Stéphanie IJff, Henk Kramer, Loek Kuiters Georgette Lagendijk, Jakolien Leenders, Sonja Ouwerkerk, Michaela Scholl, Marije Smit, Nina Smits, Roelof Stuurman, Bert vd Valk, Anne Verheijen, Daisy de Vries, Carolien Wegman. Innovatieproject Hondsbossche Duinen – Eindrapportage. Ecoshape 2017.
- Cleveringa, J., 2001. Zand voor zuidwest Texel. Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel. Report RIKZ/OS/2001/031. National Institute for Coastal and Marine Management RIKZ (The Hague): 59 pp.
- De Groen, F., Van Zelst, V., Van der Valk, L., Arens, B., 2019. *Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer*. Deltares rapport: 11203683-002-ZKS-0014
- De Groot, T.A.M., de Jong, J., Lenselink, G., Koopstra R., van der Valk, L., 1994. *Holoceen. De Jongste ontwikkelingen van het landschap*. In: *In de bodem van Noord-Holland. Geologie en archeologie*. Amsterdam, p. 97-140.
- De Kruif, A.C. & Keijer, A.M., 2003. Evenwichtsligging Kennemerstrand en aanzanding havenmond IJmuiden. Een analyse van de morfologische ontwikkelingen in het kustgebied rondom IJmuiden. Rapport RIKZ/2003.054. Rijkswaterstaat RIKZ, The Hague.
- De Mulder, E.F.J., 1983. *Geologische geschiedenis van de Hondsbossche Zeewering*. Derde uitgave van 'Vrienden van de Hondsbossche', 15 pp.
- De Sonneville, B. en Van der Spek, A., 2012. Sediment- and morphodynamics of shoreface nourishments along the North-Holland Coast, ICCE 2012: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering, Santander, Spain, 1-6 July 2012.
- De Winter, R. C., Gongriep, F., & Ruessink, B. G., 2015. Observations and modeling of alongshore variability in dune erosion at Egmond aan Zee, the Netherlands. *Coastal Engineering*, 99, 167-175.
- De Winter, R. C., & Ruessink, B. G., 2017. Sensitivity analysis of climate change impacts on dune erosion: case study for the Dutch Holland coast. *Climatic Change*, 141(4), 685-701.
- Eisma, D. & Wolff, W.J., 1980. The development of the westernmost part of the Wadden Sea

- in historical times. In: Dijkema, K.S., Reineck, H.E. & Wolff, W.J. (eds): Geomorphology of the Wadden area. Report 1. Wadden Sea Working Group (Leiden): 95–103.
- Elias, E.P.L., 2021. De morfologische ontwikkeling van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks. Deltares rapport 11206794-004. 55 pp.
- Elias, E. P. L. & Cleveringa, J., 2003. Morfologische analyse van de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat en de aangrenzende kust (in Dutch), Report RIKZ-2003.040. Rijkswaterstaat RIKZ, The Hague. 61 pp.
- Elias, E.P.L. & Oost, A.P., 2021. Morfologische processen van het Friesche Zeegat. Een conceptueel model. Rapport Deltares 11205236-003-ZKS-0005, 130 p.
- Elias, E.P.L. & Quataert, E., 2024 (in voorbereiding). Sedimentbalans van de Nederlandse kustzone.
- Elias, E.P.L., Stive, M.J.F., Bonekamp, J.G. & Cleveringa, J., 2003. Tidal inlet dynamics in response to human intervention. *Coastal Engineering Journal* 45(4): 629–658.
- Elias, E.P.L. & Van der Spek, A.J.F., 2006. Long-term morphodynamic evolution of Texel Inlet and its ebb-tidal delta (The Netherlands). *Marine Geology*, 225: 5-21.
- Elias, E.P.L. & Van der Spek, A.J.F., 2017. Dynamic preservation of Texel Inlet, the Netherlands: understanding the interaction of an ebb-tidal delta with its adjacent coast. *Netherlands Journal of Geosciences* 96 (4), 293–317.
- Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F, Wang, Z.B. & de Ronde, J., 2012. Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw* 91(3): 293–310.
- Elias, E.P.L., Vonhögen – Peeters, L., Bruens, A., 2013. Ontwikkeling suppletie tussen Den Helder en Julianadorp. Deltares rapport: 1206171-000. 58 pp.
- Elias, E., Quataert, E., Pearson, S., 2021. Morfologische analyse vooroeversuppletie Callantsog. Deltares rapport: 11206794-004. 90 pp.
- Grunnet, N.M. en Ruessink, B.G., 2005. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 52(2): 119-137.
- Hallewas, D. P., 1984. The interaction between man and his physical environment in the county of Holland between circa 1000 and 1300 AD: a dynamic relationship. *Geologie en Mijnbouw*, 62: 299-307.
- Hijma, M.P., 2017. Geology of the Dutch coast, The effect of lithological variation on coastal Morphodynamics, Deltares, 1220040-007.
- Hijma, M.P. en H. Kooi, 2018. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (Deel 2) - Een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden. Deltares report 11202190-001-ZKS-0001_v1.0.
- Hijma, M.P., 2022. Bodemdalingsmonitor 2022 - Kustfundament en de getijdenbekkens – Overzicht onderzoek 2018-2021. Deltares report 11208035-003-ZKS-0003.
- HKV, 2011. Indicatoren voor kustlijn zorg. Analyse van indicatoren voor veiligheid en

- recreatie. HKV rapport pr2063.20. Wim van Balen, Vincent Vuik en Saskia van Vuren, 29 oktober 2011.
- HKV, 2012. Indicatoren voor kustlijn zorg. Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid. HKV rapport pr2063.30. Vincent Vuik, Wim van Balen en Andries Paarlberg, 29 oktober 2012.
- HKV, 2017. Faalkansendatabase duinen. Update voor de periode 1965-2017. HKV rapport PR2063.70. Vincent Vuik en Guy Dupuits, december 2017.
- IJff, S., Smits, B., Van Zelst, V., Arens, B., 2019. Natuurlijk Veilig – Landschapsvormende processen. Invloed van suppleties en beheer op dynamiek in de zeeoever. Deltares rapport: 11202190-001-ZKS-0012
- Joustra, D. S., 1971. Geulbeweging in de buitendelta's van de Waddenzee, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Afdeling Kustonderzoek, Den Haag, studierapport WWK 71-14, 27 pag., 21 bijlagen.
- Knaake, B. & Vermaas, T., 2023. Analyse serie suppleties Schouwen, Julianadorp en Texel. Deltares rapport 11208035-003-ZKS-0005. 72 pp.
- Kroon, A., de Schipper, M., de Vries, S., & Aarninkhof, S., 2022. Subaqueous and subaerial beach changes after implementation of a mega nourishment in front of a sea dike. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(8), 1152.
- Kruiver, P., 2013. Geologische beschrijving bij dijkkring 4 Vlieland. Memo 1206930-000-BGS-0040, 6 pp.
- Leek, J., 2016. Onder golven bedolven. De archeologie van het verdwenen West-Friesland in de middeleeuwse Wieringermeer. *Archeologie van West-Friesland* 20, Hoorn, 8 pp.
- Löffler, M., Goessen, P., Hoogstrate, T., Van der Valk, B., 2016. Dynamisch kustbeheer – Kustveiligheid en natuur profiteren van stuivend zand. H2O-Online / 26 oktober 2016.
- Louters, T. & Gerritsen, F., 1994. The Riddle of the Sands. A Tidal System's Answer to a Rising Sea Level. Report RIKZ-94.040. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management RIKZ (The Hague), 69 pp.
- Lorentz, H.A., 1926. Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918–1926. The Hague: 100 pp.
- Mastbergen, D., Nederhoff, K., Van der Valk, B., Maarse, M., 2017. Beheerbibliotheek Noord-Holland. Beschrijvingen van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust. Deltares rapport 11200538-002. 169 pp.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016. Onderbouwing actualisatie suppletieprogramma 2016-2019.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012. Basiskustlijn 2012. Herziening Basiskustlijn.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018a. Basiskustlijn 2017 Herziening van de ligging van de basiskustlijn. 29 pp.

- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018b. Onderbouwing actualisatie suppletieprogramma 2016-2019.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019. Onderbouwing suppletieprogramma 2020-2023.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021. Onderbouwing suppletieprogramma 2020-2023.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023a. Basiskustlijn 2023. Herziening van de ligging van de basiskustlijn.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023b. Onderbouwing suppletieprogramma 2024-2027.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990. Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijnverzorging. (de 1e kustnota).
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995. Nota 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.
- Nichols, M.M., 1989. Sediment accumulation rates and relative sea-level rise in lagoons. *Marine Geology* 88: 201-219.
- Nijenhuis, M., 2022. Evolutie van de kerf: Een onderzoek naar succes- en faalfactoren van kerf in de zeeoever.
- Nougues, L., & Hijma, M.P., 2022. Bodemdalingsmonitor 2022 - Fundering En Geologie Bij Gns-Stationen. Deltares report 11208035-003-ZKS-0004.
- Ojeda, E., Ruessink, B. G., & Guillen, J., 2008. Morphodynamic response of a two-barred beach to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 55(12): 1185-1196.
- Oost, A.P. & de Boer, P.L., 1994. Sedimentology and development of barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and back-barrier areas of the Dutch Wadden Sea. *Senckenbergiana Maritima* 24: 65–115.
- Oost, A.P., Hoekstra, P., Wiersma, A., Flemming, B., Lammerts, E.J., Pejrup, M., Hofstede, J., van der Valk, B., Kiden, P., Bartholdy, J., van der Berg, M.W., Vos, P.C., de Vries, S., Wang, Z.B., 2012. Barrier island management: Lessons from the past and directions for the future. *Ocean & Coastal Management*, Vol.68, p. 18-38.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.07.010>
- Oost, A.P. & Kleine Punte, P.A.H., 2004. Autonome morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee; Een doorkijk naar de toekomst. Rijkswaterstaat RIKZ Rapport RIKZ/2004.021.
- Pot, R., 2011. System-description Noord-Holland Coast. "a review of the nourishment strategy applied". M.Sc. Thesis. Delft University of Technology, Delft.

- Price, T. D., & Ruessink, B. G., 2013. Observations and conceptual modelling of morphological coupling in a double sandbar system. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(5), 477-489.
- Provincie Noord-Holland, 2017a. Natura 2000 Beheerplan Duinen Den Helder-Callantssoog 2018-2024. <https://www.bij12.nl/assets/NbpDen-Helder-Callantssoog.pdf>
- Provincie Noord-Holland 2017b. Natura 2000 Beheerplan Zwanenwater & Pettemerduinen 2018-2024 <https://www.natura2000.nl/gebieden/noord-holland/zwanenwater-pettemerduinen/zwanenwater-pettemerduinen-doel>
- Provincie Noord-Holland 2017c. Natura 2000 Beheerplan Noordhollands Duireservaat 2018-2024. https://www.bij12.nl/assets/Noordhollands-Duinreservaat-N2000_9-1-2018_ia.pdf
- PWN, 2019. Dynamische duinen door zeven sleuven. <https://www.pwn.nl/over-pwn/nieuws/natuur-beleving/dynamische-duinen-door-zeven-sleuven> (12 december 2019). Bezocht op 20 oktober 2023
- PWN, 2023. Dynamisering van de zeereep in Castricum. <https://www.pwn.nl/over-pwn/nieuws/natuur-beleving/dynamisering-van-de-zeereep-castricum> (19 oktober 2023). Bezocht op 20 oktober 2023.
- Quataert, E. & de Goede, R., 2023. Factsheets herziening BKL. Deltares rapport: 11208038-002-ZKS-0001. 185 pp.
- Regionaal Waterprogramma Noord-Holland 2022-2027. Vastgesteld door Provinciale Staten op 31 januari 2022. Verkregen via: https://www.noord-holland.nl/Onderwerpen/Water_Bodem/Regionaal_Waterprogramma_Noord_Holland_2022_2027 op 17 oktober 2023.
- Ridderinkhof, H., Van Haren, H., Eijgenraam, F., Hillebrand, T., 2002. "Ferry observations on temperature, salinity and currents in the Marsdiep tidal inlet between the North Sea and Wadden Sea." Proceedings of the second international conference on EUROGOOS. Operational oceanography: implementation at the European and regional scales. FLEMMING, N.C. et al., eds., Elsevier Oceanography Series, 66, pp: 139-148.
- Rietveld, C.F.W., 1962. The natural development of the Wadden Sea after the enclosure of the Zuider Sea. 8th International Conference on Coastal Engineering, Mexico City, Mexico. American Society of Civil Engineers (New York): 765–781.
- RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland), 2016. Natura 2000-beheerplan Schoorlse Duinen (86). Verkregen via https://www.bij12.nl/assets/86_Schoorlse-Duinen_definitief-beheerplan.pdf
- Ruessink, B.G., Kuriyama, Y., Reniers, A. J. H. M., Roelvink, J. A., & Walstra, D. J. R., 2007. Modeling cross-shore sandbar behavior on the timescale of weeks. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112(F3).
- Ruessink, B.G., Schwarz, C. S., Price, T. D., & Donker, J. J., 2019. A multi-year data set of beach-foredune topography and environmental forcing conditions at Egmond aan Zee, The Netherlands. *Data*, 4(2), 73.
- Schalkers, K.M. & Visser G.C., 1978. Uitbreiding havenfaciliteiten buiten het

noorderhavenhoofd van IJmuiden. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland, Studiedienst hoorn. Nota 78H020.

Schoorl, H., 1973. Zeshonderd Jaar Water en Land : bijdrage tot de historische geo - en hydrografie van de Kop van Noord-Holland in de periode 1150 – 1750. Wolters-Noordhoff (Groningen): 534 pp.

Schoorl, H., 2000. De Convexe Kustboog (Texel, Vlieland, Terschelling), ISBN: 90 6455 279 7

Sha, L.P., 1990. Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands the Netherlands. Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen no. 64, Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, Nederland.

Spanhoff, R., De Keijzer, S., Walburg, A. M., & Biegel, E. J., 2004. Evaluatie onderwatersuppleties Egmond en Bergen. *RIKZ/OS/2004/112W*.

Stam, J.M.T., 1999. Zandverlies op diep water aan de Hollandse kust. Rapport RIKZ/99.006, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Steezel, H., Van Santen, R., Coumou, L., McCall, R., De Goede, R., De Bakker, A., 2023. Achtergrond Sterktemodel Duinafslaginstrumentarium. BOI Zandige Waterkeringen.

Steijn, R.C., (1997a). Getijrandvoorwaarden voor ZW- Texel studie, rapport Alkyon A078.15 , 8 pag., 2 tab., 31fig.

Steijn, R.C., (1997b). Morfodynamische berekeningen ZW- Texel Fase I: Modelopzet en calibratie, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A78/Z2175, 60 pag., 30 tab., 125 fig.

Steijn, R.C. & Jeuken, C., 2000. Vier mogelijke beheersingrepen in het Zeegat van Texel – morfodynamische modelberekeningen, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A514/Z2742, 68 pag., 15 tab., 146 fig.

Stolk, A., 1989. Kustverdediging na 1990, technisch rapport 1: ZANDSYSTEEM KUST, een morfologische karakterisering. Rapport GEOPRO 1989.02, Rijksuniversiteit Utrecht Vakgroep Fysische Geografie.

Stolte, W., F. Baart, S. Muis, M. P. Hijma, M. Taal, D. Le Bars, en S. Drijfhout, 2022. Zeespiegelmonitor 2022. Deltares report 11209266-000-ZKS-0001.

Thijssen, J.T., 1972. Een Halve Eeuw Zuiderzeewerken 1920–1970. Tjeenk Willink (Groningen): 469 pp.

Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2021. Waterbeleid. Vergaderjaar 2021–2022, nota 27 625, nr. 557, 16 november 2021.

Van der Spek, A.J.F. & Elias, E.P.L., 2013. The effects of nourishments on autonomous coastal behaviour, Coastal Dynamics, Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics: 1753-1763.

Van der Spek, A.J.F. & Elias, E.P.L., 2021. Half a century of morphological change in the Haringvliet and Grevelingen ebb-tidal deltas (SW Netherlands) - Impacts of large-scale engineering 1964–2015. Marine Geology 432 (2021) 106404.

- Van der Valk, L., 1996. Coastal barrier deposits in the central Dutch coastal plain. In: Beets, D.J., M.M. Fisher and W. de Gans (eds.), Coastal studies on the Holocene of the Netherlands. Meded. RGD 57 (1996), p. 133-199.
- Van Heteren, S., Oost, A. P., de Boer, P.L., van der Spek, A.J.F. & Elias, E.P.L., 2006. Island-terminus evolution as a function of changing ebb-tidal delta configuration: Texel, The Netherlands. Marine Geology 235(1): 19–23.
- Van Hoek, M., Dubelaar, J., 2020. Kerven en stuifkuilen: minder verzuring duingebied. De Groene Kennemer. Jaargang 39, voorjaar 2020.
- Van Reen, M.J., 2014. Veiligheid Nederland in Kaart 2. Overstromingsrisico dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland. Document HB 2631022. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. Uitgevoerd door Consortium Albicom.
- Van Rijn, L. C., 1995. Sand budget and coastline changes of the central coast of Holland between Den Helder and Hoek van Holland period 1964-2040, Report H2129. WL-Delft Hydraulics, Delft.
- Van Reen, M. J., 2014. Veiligheid Nederland in Kaart 2. Overstromingsrisico dijkkringgebied 13, Noord-Holland.
- Van Rijn, L.C., 1997. Sediment transport and budget of the central coastal zone of Holland. Coastal Engineering, 32(1): 61-90.
- Verhagen, H. J. & van Rossum, H., 1990. Strandhoofden en paalrijen: evaluatie van hun werking. Min V&W, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- Vermaas, T., 2010. Morphological behaviour of the deeper part of the Holland coast. Deltares, Delft.
- Vermaas, T, 2012. Analyse bruikbaarheid gecombineerde hoogtedata Hollandse kust; Pilotstudie naar het combineren van hoogtedata uit verschillende bronnen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2378. 36 blz.; 20 fig.; 1 tab.; 12 ref.
- Vermaas, T., de Bruijn, R., Vonhögen-Peeters, L., 2017. Ontwikkeling Suppletie Heemskerk 2011-2016. Deltares rapport 1230043-001.
- Vos, P., 2015. Origin of the Dutch landscape. Groningen, p.1-359. Ook als proefschrift Universiteit Utrecht.
- Vos, P., & De Vries, S., 2013. Tweede generatie paleogeografische kaarten van Nederland; Deltares, Utrecht.
- Vroom, J., Cleveringa, J., Oost, A., Taal, M., 2023. Kombergingsrapportage Marsdiep. Overzicht van informatie en kennis van fysisch systeem. Deltares rapport 11209267-001-ZKS-0005.
- Westenberg, J., 1961. Oude kaarten en de geschiedenis van de Kop van Noord-Holland, Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde, Eerste Reeks, Deel XXIII, No. 2 1961, AMSTERDAM

- Westerhoff, W.E., de Mulder, E.F.J. & de Gans, W., 1987. Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1: 50.000. Bladen 19W en 19O. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Wijsman, J.W.M. & Schotanus, J., 2022. Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog op de bodemdieren. Wageningen University & Research rapport C036/22.

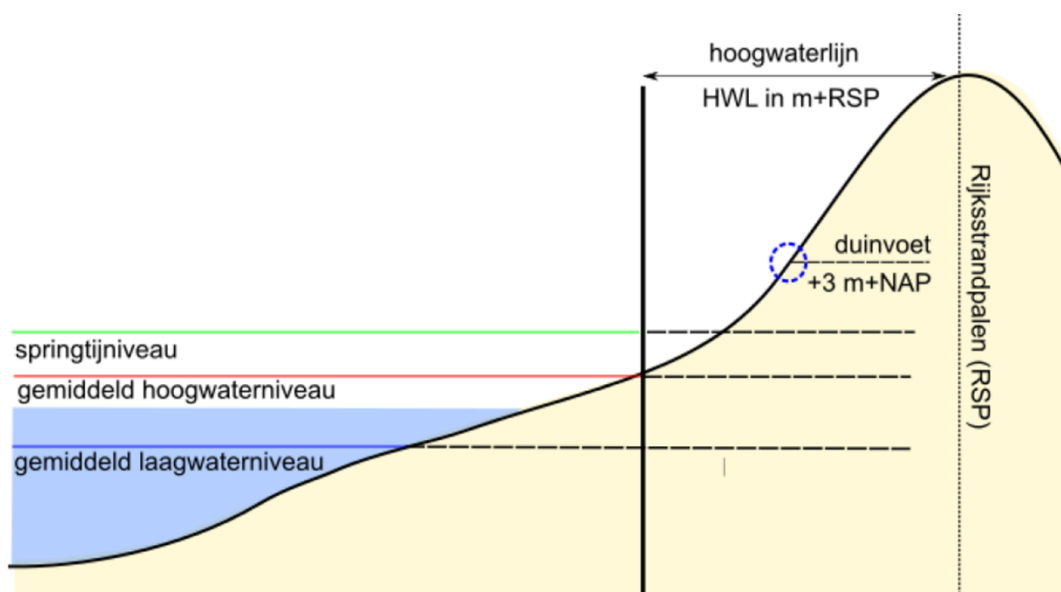
A Kustindicatoren: berekenmethode

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, 2002³). 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.

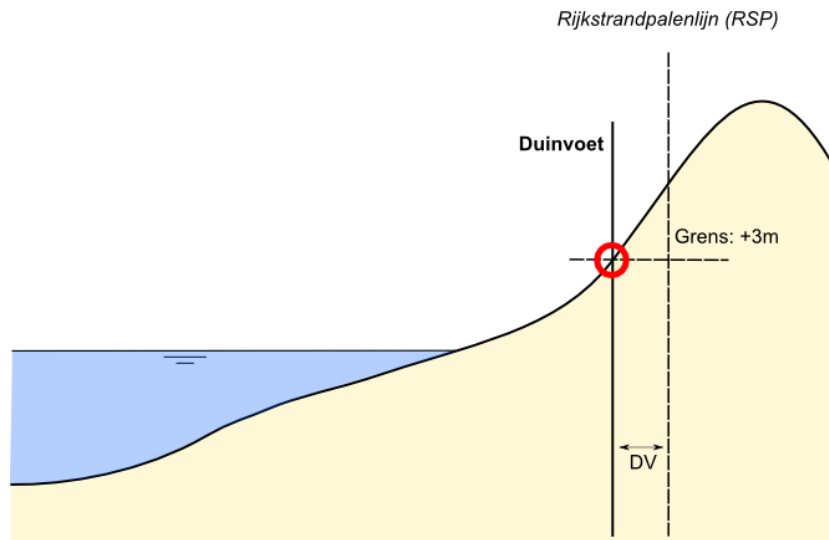


Figuur A 1. Rekenmethodiek voor de bepaling van gemiddeld hoogwater niveau (GHW), gemiddeld laagwater niveau (GLW), hoogwaterlijn (HWL) en laagwaterlijn (LWL).

³ 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

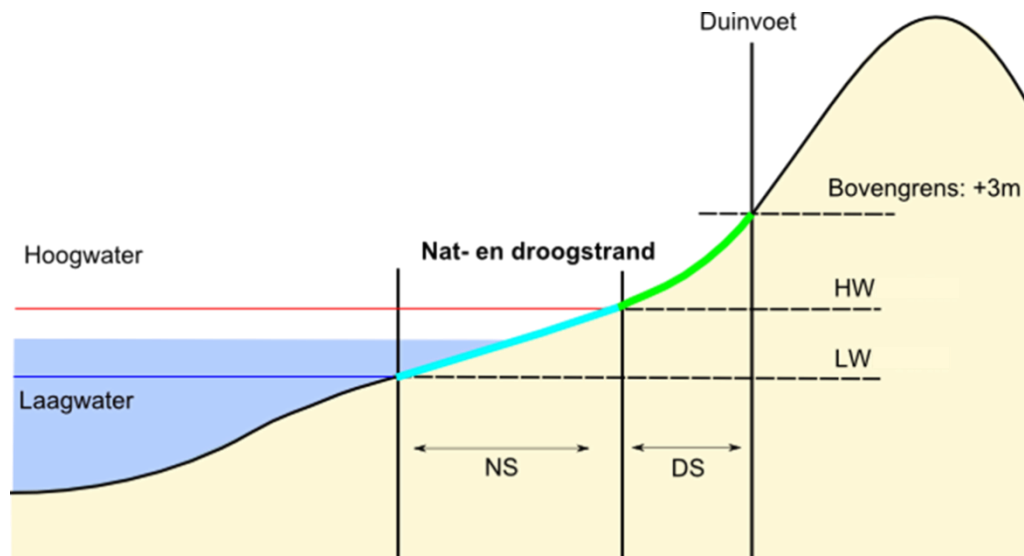
De duinvoet (DV in Figuur A 2) is de overgang van het droge strand naar de eerste duinenrij. Deze wordt bepaald als de positie van het snijpunt van het profiel met de +3 m NAP lijn, ten opzichte van RSP. Dit snijpunt hoeft in de realiteit niet altijd overeen te komen met de daadwerkelijke overgang van 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 droge strand is de afstand tussen de snijpunten van het strandprofiel met de hoogwaterlijn (HW) en de duinvoet (+3m). Deze definities zijn weergegeven in Figuur 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 faalkansen 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.

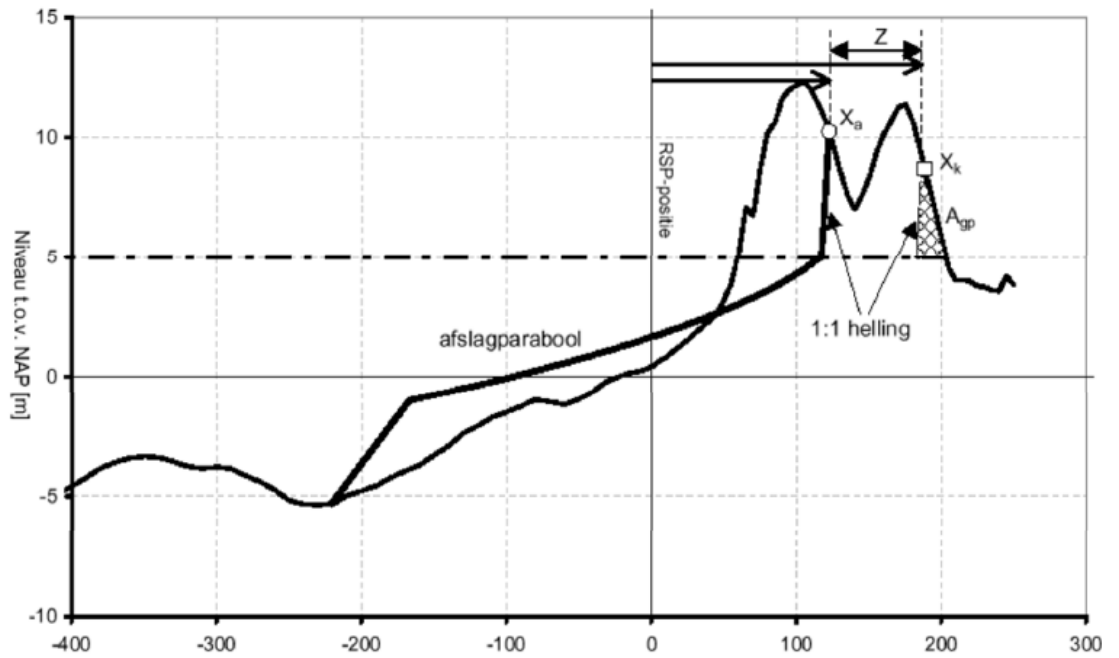
Elke combinatie die tot falen leidt, heeft een kans van voorkomen. De First Order Reliability Method, kortweg aangeduid als FORM, is een methode die bepaalt welke combinatie die tot falen leidt de grootste kans van voorkomen heeft. Deze kans van voorkomen is de faalkans. De geselecteerde combinatie staat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

Tabel B 1 : Suppletieoverzicht Noord-Holland (op basis van gegevens van Rijkswaterstaat t/m augustus 2023).

Locatie	Start	Einde	Begin-raai	Eindraai	Lengte [m]	Type	Volume [10 ³ m ³]
Callantsoog	sep-1976	sep-1976	1298	1375	775	duinverzwarend	342
Callantsoog	jan-1979	dec-1979	1115	1280	1650	duinverzwarend	470
Callantsoog	aug-1986	okt-1986	1083	1373	2900	strandsuppletie	1242
Callantsoog	aug-1986	okt-1986	1175	1205	300	duinverzwarend	78
Zwanenwater	apr-1987	sep-1987	1376	1810	4345	strandsuppletie	1695
Zwanenwater	apr-1987	sep-1987	1470	1784	3140	duinverzwarend	155
Bergen aan Zee	mei-1990	jun-1990	3225	3375	1500	strandsuppletie	60
Bergen aan Zee	mei-1990	jun-1990	3225	3375	1500	strandsuppletie	386
Egmond	mei-1990	mei-1990	3700	3850	1500	strandsuppletie	323
Callantsoog	mei-1991	jun-1991	1100	1400	3000	strandsuppletie	538
Petten	sep-1991	okt-1991	1800	2018	2180	strandsuppletie	371
Egmond-Camperduin	mei-1992	nov-1992	2620	3850	12300	strandsuppletie	1473
Den Helder	aug-1992	mei-1993	100	750	6500	strandsuppletie	616
Egmond	sep-1992	nov-1992	3765	3860	950	strandsuppletie	69
Den Helder	mei-1993	mei-1993	328	568	2400	strandsuppletie	280
Bergen aan Zee	jun-1994	jun-1994	3290	3350	600	strandsuppletie	101
Egmond	jun-1994	jun-1994	3785	3820	350	strandsuppletie	106
Bergen aan Zee	mei-1995	mei-1995	3263	3363	1000	strandsuppletie	306
Egmond	mei-1995	mei-1995	3725	3875	1500	strandsuppletie	306
Petten	sep-1995	okt-1995	1880	2040	1600	strandsuppletie	362
Zwanenwater	sep-1995	okt-1995	1624	1760	1360	strandsuppletie	307
Zijpe	mei-1996	jun-1996	1001	1410	4090	strandsuppletie	459
Den Helder	aug-1996	sep-1996	150	750	6000	strandsuppletie	400
Heemskerk	okt-1996	nov-1996	5043	5100	575	strandsuppletie	180
Heemskerk	feb-1997	mrt-1997	4965	5120	1550	strandsuppletie	304
Bergen-Egmond	mei-1997	mei-1997	3450	3575	1250	strandsuppletie	158
Egmond	mei-1997	mei-1997	3625	3880	2550	strandsuppletie	314
Bergen aan Zee	jun-1997	jun-1997	3005	3105	1000	anders	133
Bergen aan Zee	jun-1997	jun-1997	3105	3350	2450	strandsuppletie	352
Schoorl	jun-1997	jul-1997	2600	3005	4050	strandsuppletie	547
Egmond	jun-1998	jul-1998	3750	3875	1250	strandsuppletie	244
Zijpe	okt-1998	nov-1998	1925	2050	1250	strandsuppletie	229
Julianadorp	jan-1999	mrt-1999	395	628	2330	strandsuppletie	287
Bergen aan Zee	apr-1999	mei-1999	3250	3375	1250	strandsuppletie	206

Locatie	Start	Einde	Begin-raai	Eindraai	Lengte [m]	Type	Volume [10 ³ m ³]
Egmond	apr-1999	apr-1999	3725	3875	1500	strandsuppletie	215
Callantsoog	mei-1999	jun-1999	1320	1400	800	strandsuppletie	144
Egmond	jun-1999	sep-1999	3690	3910	2200	vooroeversuppletie	880
Zwanenwater	jan-2000	dec-2000	1626	1688	620	strandsuppletie	120
Bergen aan Zee	apr-2000	aug-2000	3225	3425	2000	vooroeversuppletie	994
Bergen aan Zee	jun-2000	jun-2000	3275	3325	500	strandsuppletie	225
Egmond	jun-2000	jul-2000	3800	3900	1000	strandsuppletie	207
Bergen	jun-2001	jul-2001	2832	3000	1680	strandsuppletie	511
Den Helder	jun-2001	jul-2001	150	568	4180	strandsuppletie	1290
Zijpe	jun-2001	okt-2001	1108	1401	2930	vooroeversuppletie	1500
Petten	apr-2002	jul-2002	1827	2035	2080	strandsuppletie	501
Camperduin	jun-2002	okt-2002	2650	3000	3500	vooroeversuppletie	1972
Callantsoog-Zwanenwater	feb-2003	mei-2003	1000	1600	6000	vooroeversuppletie	2315
Den Helder-Julianadorp	mrt-2003	mei-2003	150	588	4380	strandsuppletie	1305
Callantsoog	jun-2003	jul-2003	1110	1375	2650	strandsuppletie	438
Petten	jun-2003	jun-2003	1983	2058	750	strandsuppletie	231
Camperduin	aug-2003	sep-2003	2565	2641	760	strandsuppletie	358
Groote Keeten	aug-2003	aug-2003	913	943	300	vooroeversuppletie	12
Aansluit-constructie Petten	jun-2004	jun-2004	1983	2058	750	strandsuppletie	134
Callantsoog	jun-2004	jul-2004	1110	1374	2640	strandsuppletie	264
Egmond aan Zee	jun-2004	nov-2004	3620	4020	4000	vooroeversuppletie	1801
Aansluit-constructie Camperduin	sep-2004	okt-2004	2565	2641	760	strandsuppletie	220
Bergen	apr-2005	apr-2005	3225	3375	1500	strandsuppletie	300
Egmond	apr-2005	mei-2005	3700	3925	2250	strandsuppletie	486
Castricum-Heemskerk	mei-2005	jun-2005	4650	4850	2000	strandsuppletie	520
Castricum	jun-2005	jun-2005	4450	4500	500	strandsuppletie	6
Bergen	aug-2005	sep-2005	3150	3620	4700	vooroeversuppletie	1306
Callantsoog - Zwanenwater	mrt-2006	okt-2006	1000	1520	5200	vooroeversuppletie	1652
Den Helder	aug-2007	dec-2007	0	200	2000	geulwandsuppletie	1782
Den Helder-Julianadorp	aug-2007	dec-2007	200	710	5100	vooroeversuppletie	3239
Den Helder-Julianadorp	aug-2007	nov-2007	150	590	4400	strandsuppletie	1350
Hondsbossche en Pettemer Zeewering	sep-2008	mrt-2009	1500	2950	14500	vooroeversuppletie	5700

Locatie	Start	Einde	Begin-raai	Eindraai	Lengte [m]	Type	Volume [10 ³ m ³]
Den Helder - Julianadorp	jan-2009	mrt-2009	700	1000	3000	vooroeversuppletie	1302
Bergen - Egmond	aug-2010	aug-2011	3400	3900	5000	vooroeversuppletie	1714
Bergen	nov-2010	aug-2011	3150	3400	2500	strandsuppletie	500
Bergen	nov-2010	feb-2011	3100	3400	3000	vooroeversuppletie	1124
Egmond	mrt-2011	apr-2011	3700	3900	2000	strandsuppletie	400
Heemskerk	jul-2011	okt-2012	4575	4750	1750	vooroeversuppletie	720
Heemskerk	jul-2011	aug-2012	4800	5000	2000	vooroeversuppletie	880
Egmond	aug-2011	sep-2011	3900	4000	1000	vooroeversuppletie	361
Julianadorp	okt-2011	okt-2011	289	628	3390	strandsuppletie	652
Callantsoog	apr-2013	jul-2013	1000	1421	4210	vooroeversuppletie	2000
Den Helder	mei-2013	jul-2013	20	230	2100	geulwandsuppletie	3500
Petten	mei-2013	jun-2013	1940	2041	1010	strandsuppletie	360
HPZ	mrt-2014	mrt-2015	1925	2782	8570	strand-duinsuppletie	30435
Bergen-Egmond noord	apr-2015	apr-2015	3125	3400	2750	strandsuppletie	605
Bergen-Egmond zuid	apr-2015	apr-2015	3700	3900	2000	strandsuppletie	433
Julianadorp	mei-2015	jun-2015	150	628	4780	strandsuppletie	1000
Bergen-Egmond	jul-2015	sep-2016	3100	4000	9000	vooroeversuppletie	2500
Callantsoog	feb-2017	mrt-2017	1213	1421	2080	strandsuppletie	400
Callantsoog	feb-2017	dec-2017	1213	1401	1880	diepe vooroever	1000
Heemskerk	mei-2017	jun-2017	4575	5075	5000	strandsuppletie	1000
Hondsbossche Duinen	mrt-2018	apr-2018	2512	2677	1650	strandsuppletie	854
Bergen-Egmond	jul-2019	sep-2019	3100	4000	9000	vooroeversuppletie	2500
Julianadorp	okt-2019	jun-2020	328	708	3800	vooroeversuppletie	1800
Callantsoog	okt-2019	nov-2019	1213	1421	2080	strandsuppletie	400
Den Helder	jan-2020	jun-2020	20	308	2880	geulwandsuppletie	3500
Petten	sep-2020	nov-2020	2110	2280	1700	vooroeversuppletie	503
Camperduin	sep-2020	nov-2020	2510	2665	1550	vooroeversuppletie	626
Julianadorp	dec-2020	mei-2021	150	648	4980	strandsuppletie	1100
Heemskerk*	jun-2022	mrt-2024	4300	5150	8500	vooroeversuppletie	3000
Camperduin	nov-2022	dec-2022	2512	2677	1650	strandsuppletie	700
Petten	jan-2023	feb-2023	2123	2263	1400	strandsuppletie	500
Callantsoog	apr-2023	jun-2023	1213	1500	2900	strandsuppletie	800
Bergen-Egmond*	mrt-2023	dec-2024	3250	3900	6500	vooroeversuppletie	1400

*gepland

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