

Regionaal advies Noordsvaarder, Terschelling

**Morfologische ontwikkeling en ecologie van de
Noordsvaarder en de effecten van een suppletie
hierop**



Titel

Regionaal advies Noordsvaarder, Terschelling

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad	11202190-000	11202190-000-ZKS-0023	75

Samenvatting

Doel van dit onderzoek is om de natuurlijke morfologische en ecologische ontwikkeling van de kust van de Noordsvaarder, Noordwest Terschelling, te onderzoeken alsmede de veiligheid van de primaire waterkering. In dit rapport wordt de natuurlijke ontwikkeling van de morfologie en ecologie beschreven als mede het effect van een mogelijke suppletie hierop. Op basis hiervan moet Rijkswaterstaat een gefundeerd advies aan het Technisch Management van het programma Kustlijnzorg van Rijkswaterstaat kunnen schrijven.

De aanleiding voor dit onderzoek is dat er in het gebied van de Noordsvaarder sprake is van structurele erosie waarbij de Basiskustlijn (BKL) al jaren wordt overschreden en de strandbreedte in sommige delen beperkt is. Deze overschrijding verplaatst zich in oostwaartse richting en komt nu in de buurt van de zeewaartse grens van de primaire waterkering nabij raai 800. Omdat een overschrijding van de BKL bij de kering niet gewenst is, is er in dit onderzoek in kaart gebracht wat de historische en verwachte toekomstige morfologische en ecologische ontwikkelingen zijn en het effect van een suppletie hierop.

Periodiek landen er in het gebied van de Noordsvaarder zandplaten aan die zorgen voor een sedimenttoevoer aan de kust. De verwachting heerst dat de volumes van aanlandende platen zullen afnemen vanwege de afname van het volume van de Noordwest- en Noordergronden. Dit is veroorzaakt door het veranderen van het afzettingsgebied van de Vliestroom sinds de aanleg van de Afsluitdijk. Door deze verwachte afname van de sedimenttoevoer op lange termijn is het niet aannemelijk dat de lokale overschrijding van de BKL tussen raaien 620-760 in de toekomst door natuurlijke processen opgeheven zal worden. Hierbij verschuift de locatie van de overschrijding zich oostwaarts met een snelheid in de orde grootte van 11-33 meter per jaar. Hierbij zou de overschrijding van de BKL volgens de conservatieve trendlijnen rond 2028-2032 voor het eerst het gebied voor de primaire waterkering (vanaf raai 800) kunnen bereiken. Dit betekent echter niet dat vanaf dat moment de veiligheid van de primaire waterkering in het geding is.

Door het uitvoeren van een vooroever- dan wel strandsuppletie wordt ervoor gezorgd dat de huidige overschrijding van de BKL gecompenseerd wordt en de Momentane Kustlijn (MKL) weer zeewaarts van de BKL zal liggen. De verwachting is dat na het aanbrengen van een suppletie de erosieve trend zich voort zal zetten (nadat de MKL zeewaarts wordt 'teruggezet'). Wel zal het veel langer duren (ruim meer dan de genoemde 10 jaar voor de natuurlijke situatie) voordat de BKL vanaf raai 800 overschreden wordt. De keuze voor een vooroever- dan wel strandsuppletie heeft voor de veiligheid geen directe voorkeur omdat de tijdschalen lang genoeg zijn voor sediment van een vooroeversuppletie om de kust te bereiken. Wel komt er in het algemeen bij een vooroeversuppletie (die vaak met een groter volume wordt aangelegd) meer sediment beschikbaar voor het systeem op grotere schaal, vergeleken met het lokale effect van een strandsuppletie.

De vegetatie van de Noordsvaarder en de Kroonpolders kenmerkt zich door de aanwezigheid van vochtige duinvalleivegetaties (H2190) en pioniervegetaties. Wegens het ontbreken van dynamiek zijn veel van deze valleien echter dichtgegroeid met kruipwilgstruweel (H2170), riet (H2190D) en wilgenbos (H2180B). Beheermaatregelen zoals plaggen en het aanbrengen van

Titel

Regionaal advies Noordsvaarder, Terschelling

OpdrachtgeverRijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving,
Lelystad**Project**

11202190-000

Kenmerk

11202190-000-ZKS-0023

Pagina's

75

kerven in de zeereep hebben de afgelopen jaren een deel van de vegetatie kunnen herstellen. Hoewel het zand dat afkomstig is van de Noordsvaarder kalkarm is, zijn veel vegetatietypen op de Noordsvaarder kenmerkend voor gebufferde omstandigheden.

De geochemie en korrelgrootte van de suppletie heeft geen effect op de vegetatie en daar hoeft dus geen rekening mee te worden gehouden bij het selecteren van een zandwinlocatie. Bij de afweging tussen een vooroeversuppletie en strandsuppletie, speelt de invloed op ecologie wel een rol. Het variabele karakter van bodemdiergemeenschappen maakt het echter moeilijk om een uitspraak te doen over de verwachte effecten van een vooroeversuppletie hierop. De huidige hoge dichtheden van *ensis* en *spisula* zijn van belang als voedselbron voor duikeenden zoals de zwarte zee-eend. Daarom wordt aanbevolen om bij het uitvoeren van een suppletie, een locatie te kiezen met een lage dichtheid aan bodemdieren.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	11 Maart 2019	Stephanie IJff		Kees Nederhoff		Dirk-Jan Walstra	
		Tim Leijnse					
		Maaïke Maarse					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	2
1.3 Afbakening	3
1.4 Leeswijzer	4
2 Systeembeschrijving gebied Noordsvaarder	5
2.1 Algemene gebiedsbeschrijving	5
2.2 Historische ontwikkeling	6
2.2.1 Algemene ontwikkeling	7
2.2.2 Noordsvaarder	8
2.2.3 Centrale eilandkust	10
2.3 Aanlanden van platen	10
2.4 Optredende erosie	11
2.5 Kustbeheer en zeereep	12
3 Methode	14
3.1 Data	14
3.2 Methode	15
4 Morfologische ontwikkeling	16
4.1 Recente ontwikkeling natuurlijke situatie	16
4.1.1 Algemene patronen	16
4.1.2 Situatie per deelgebied	22
4.2 Toekomstige ontwikkeling	24
4.2.1 Komende 5 jaar	24
4.2.2 Komende 5-20 jaar	26
4.2.3 Veiligheid primaire waterkering	26
5 Ecologie	28
5.1 Vegetatie	28
5.1.1 Noordsvaarder	28
5.1.2 Kroonpolders	30
5.1.3 De centrale eilandkust	32
5.1.4 Invloed van verstuing	34
5.2 Vooroever	37
6 Effecten van suppleties	41
6.1 Effecten op morfologische ontwikkelingen en veiligheid	41
6.1.1 Vooroeversuppletie	41
6.1.2 Strandsuppletie	41
6.1.3 Invloed op morfologisch systeem	41
6.2 Effecten op ecologische ontwikkeling	42
6.2.1 Vegetatie	42
6.2.2 Strand en vooroever	42
7 Conclusies en aanbevelingen	44

7.1	Conclusies	44
7.2	Aanbevelingen	45
8	Referenties	47
9	Appendices	49

1 Inleiding

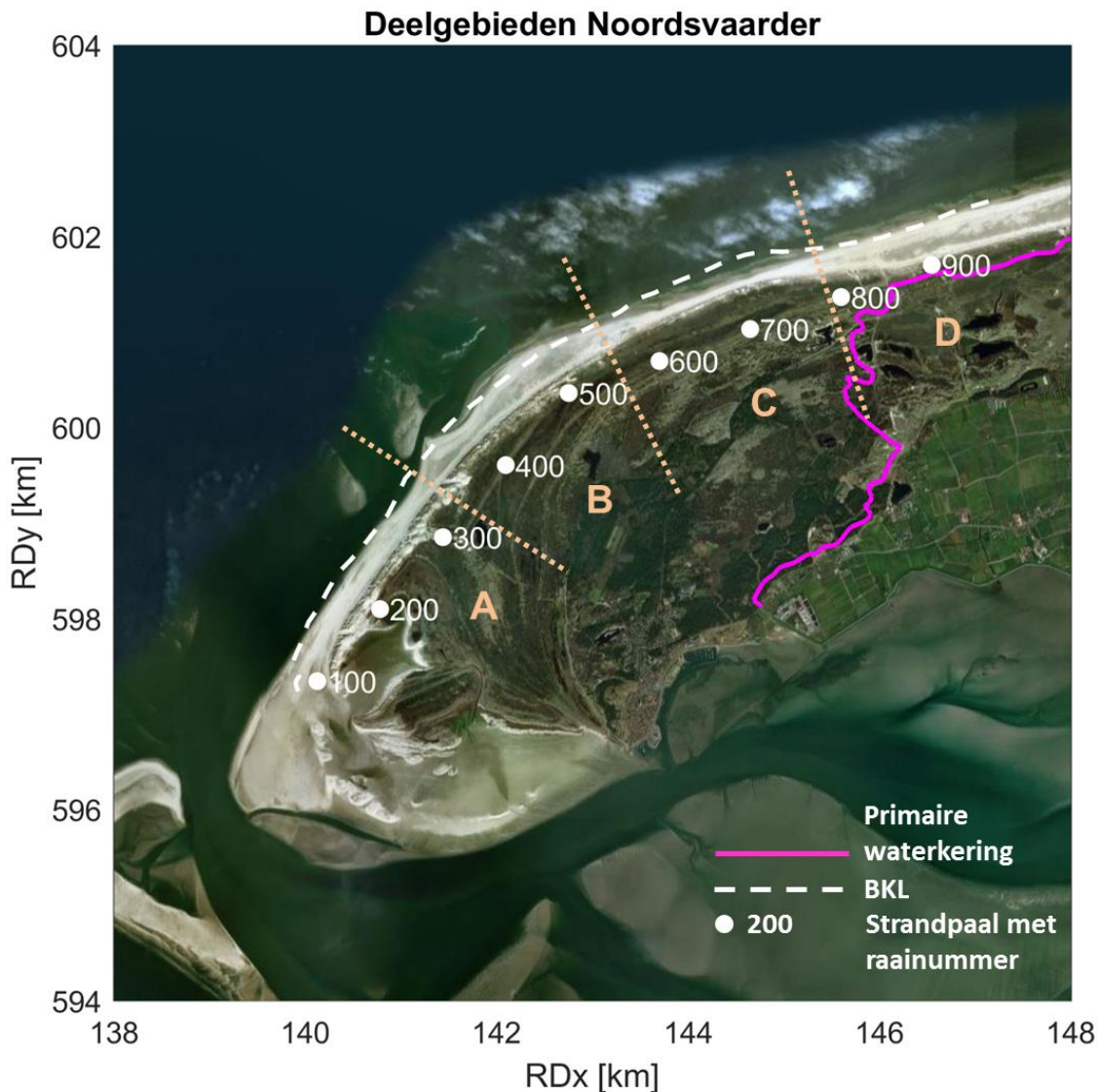
1.1 Achtergrond

In het huidige Nederlandse kustbeleid wordt jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand gesuppleerd om de kustlijn en het kustfundament op peil te houden. Hoeveel zand er precies nodig is en op welke plaatsen en tijdstippen het zand het best kan worden neergelegd, wordt gebaseerd op jaarlijkse toetsing van de kust. Het project 'KPP Beheer en onderhoud van de Nederlandse kust (B&O Kust)' heeft tot doel om vragen over suppletieontwikkeling en -uitvoering te beantwoorden en de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden. In dit project werken Deltares en Rijkswaterstaat samen. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen leiden tot aanpassingen aan uit te voeren suppleties.

De Noordsvaarder is een uitgestrekte zandplaat gelegen in het noordwesten van Terschelling, die al bijna anderhalve eeuw geleden met het eiland is vergroeid. Er zijn op en rond de Noordsvaarder vier deelgebieden te onderscheiden: A) Kop Noordsvaarder; B) het Aanlandingsgebied; C) Overgangsgebied; en D) Centrale eilandkust (Figuur 1.1). De Kop van de Noordsvaarder (A) is het meest westelijk gelegen deel van de Noordsvaarder zandplaat, waar veel erosie plaats vindt. Ter hoogte van het Aanlandingsgebied (B) landen cyclisch zandplaten aan die verhelen met de kust. Ten oosten van het aanlandingsgebied vindt structurele erosie plaats (C), met als gevolg dat de strandbreedte hier flink is afgenomen. Oostelijk van het overgangsgebied bevindt zich de overgang naar de Centrale eilandkust (D) waar de kust redelijk stabiel is en gedomineerd wordt door cyclisch bankengedrag.

In deelgebied C van de Noordsvaarder treedt sinds verscheidende jaren (sinds ongeveer 2010) structurele erosie op waarbij de Basiskustlijn (BKL) wordt overschreden. Inmiddels bevindt de Momentane Kustlijn (MKL) zich in de buurt van de primaire waterkering (vanaf raai 800). In 2018 is deze primaire kering verlegd om woningen in West aan Zee en Midsland aan Zee binnendijs te brengen (Rijkswaterstaat, 2018). Door het overschrijden van de BKL ter hoogte van de primaire waterkering zou in de nabije toekomst de veiligheid in het geding kunnen komen.

Het overgangsgebied (C) bevindt zich in de overgang tussen de Noordsvaarder (A en B, waar de BKL niet strikt wordt gehandhaafd) en de centrale eilandkust (D, waar de BKL wel wordt gehandhaafd). Overschrijding van de BKL is lokaal dan ook in zekere mate acceptabel, mits de verwachte lange-termijn ontwikkelingen de veiligheid niet ondermijnen. Het is echter onduidelijk wat de verwachte natuurlijke ontwikkeling zal zijn en in welke mate suppleties positief kunnen bijdragen aan de morfologie en ecologie.



Figuur 1.1 Kaart met deelgebieden op en rond de Noordsvaarder, te weten gebied A) Kop Noordsvaarder, B) Aanlandingsgebied, C) Overgangsgebied en D) Centrale eilandkust. In het wit zijn de strandpalen raainummers aangegeven (stip en getal), de momentane kustlijn (MKL, doorgetrokken lijn) en de Basiskustlijn (BKL, gestippelde lijn). In magenta is landwaartse grens van de beschermingszone (primaire waterkering) aangegeven.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Rijkswaterstaat heeft Deltares gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de historische en toekomstige morfologische en ecologische ontwikkeling langs de kust van Terschelling tussen de raaien 0 t/m 1000. Hierbij moet de noodzaak van een menselijke ingreep (in de vorm van een suppletie) en de te verwachten effecten van deze ingreep op de morfologische en ecologische ontwikkeling op dit systeem expliciet worden meegenomen.

De Noordsvaarder is een morfologisch actief systeem waarbij periodiek zandplaten aanlanden. Dit onderzoek dient inzicht te geven in het historisch patroon van het aanlanden van de zandplaten en het ontstaan van geulen. Daarnaast dient er een uitspraak te worden

gedaan over de te verwachten morfologische en ecologische ontwikkelingen. Op basis van deze studie kan een gefundeerde beslissing kunnen worden genomen over het wel of niet suppleren in dit kustgebied, en bij de keuze om te suppleren over de locatie en het type suppletie. Hoewel de noodzaak tot suppleren wordt bepaald door de (structurele) overschrijding van de BKL door de MKL, waarbij de functies van de kust (waaronder de waterveiligheid) in het geding komen, hoeft een BKL-overschrijding in de Noordsvaarder niet direct te leiden tot een suppletie. Dit komt doordat in dit gebied aanvullende (regionale) beheerafspraken zijn gemaakt, waarbij een (beperkte) overschrijding van de BKL wordt toegestaan. Met betrekking tot de uitvoering: bij de vooroever-suppletie liggen de randvoorwaarden vast voor dit onderzoek (i.e. suppletie in 2019 en tussen raaien 540 t/m 820), maar voor een strandsuppletie is er meer vrijheid in de uitvoering.

Bij deze analyse zullen de volgende onderliggende vragen worden onderzocht:

1 Natuurlijke situatie op Terschelling Noordwest:

- 1.1 Wat is de (natuurlijke) morfologische ontwikkeling tussen de raaien 0 t/m 1000 in de afgelopen 20 jaar en wat zijn de verwachte ontwikkelingen in de toekomst?
 - 1.1.1 *Wat is het effect hiervan op de Momentane Kustlijn (MKL) in relatie tot de Basis Kustlijn (BKL) tussen de raaien 0 t/m 1000 in de afgelopen 20 jaar en wat zijn de verwachte ontwikkelingen in de toekomst?*
 - 1.1.2 *Op welke termijn verwachten we dat de veiligheid van de primaire kering in het geding komt door een terugschrijdende kustlijn?*
- 1.2 Wat is de ecologische ontwikkeling in het gebied in de afgelopen 20 jaar en wat zijn de verwachte ontwikkelingen in de toekomst?
 - 1.2.1 *Wat is de invloed van (natuurlijke) morfologische ontwikkeling [onderzoeksvraag 1.1] op de ecologische ontwikkeling?*

2 Programmering van een vooroever-suppletie tussen de raaien 540 t/m 820 in 2019 op Terschelling Noordwest:

- 2.1 Wat is de te verwachten toekomstige verandering in morfologische ontwikkeling als gevolg van een vooroever-suppletie tussen de raaien 0 t/m 1000?
 - 2.1.1 *Wat is het effect van de vooroever-suppletie op de Momentane Kustlijn (MKL) in relatie tot de Basis Kustlijn (BKL) tussen de raaien 0 t/m 1000 en op de veiligheid van de primaire kering?*
- 2.2 Wat is de te verwachten toekomstige verandering in ecologische ontwikkeling als gevolg van een vooroever-suppletie tussen de raaien 0 t/m 1000?

3 Programmering van een strandsuppletie op Terschelling Noordwest:

- 3.1 Wat is de te verwachten toekomstige verandering in morfologische ontwikkeling als gevolg van een strandsuppletie tussen de raaien 0 t/m 1000?
 - 3.1.1 *Wat is het effect van de strandsuppletie op de Momentane Kustlijn (MKL) in relatie tot de Basis Kustlijn (BKL) tussen de raaien 0 t/m 1000 en op de veiligheid van de primaire kering?*
- 3.2 Wat is de te verwachten toekomstige verandering in ecologische ontwikkeling als gevolg van een strandsuppletie tussen de raaien 0 t/m 1000?

1.3 Afbakening

Het doel van dit onderzoek is om de natuurlijke morfologische en ecologische ontwikkeling van de kust van de Noordsvaarder, Noordwest Terschelling, te onderzoeken alsmede de veiligheid van de primaire waterkering. Op basis hiervan moet Rijkswaterstaat een gefundeerd advies aan het Technisch Management van het programma Kustlijn-zorg van

Rijkswaterstaat kunnen schrijven. In dit rapport wordt de natuurlijke ontwikkeling van de morfologie en ecologie beschreven als mede het effect van een mogelijke suppletie hierop. De tijdschaal waarnaar gekeken wordt is voor morfologie de afgelopen 20 jaar en de komende 5 jaar (korte termijn) en 5-20 jaar (middellange termijn). De ecologische ontwikkelingen worden beschreven voor de afgelopen 50 jaar (vegetatie) en 10 jaar (bodemdieren), en de toekomstige 5-10 jaar (beide). Hoewel in het rapport de ontwikkelingen op of in de directe nabijheid van de Noordsvaarder (raaien 0 t/m 1000) worden onderzocht, zullen ook de morfologische ontwikkelingen op grotere schaal worden beschreven voor een beter systeembegrip. De morfologische ontwikkelingen worden onderzocht op basis van literatuur en een analyse van beschikbare data. De ecologische ontwikkelingen worden in samenwerking met Staatsbosbeheer onderzocht op basis van literatuur en beschikbare data. De toekomstige morfologische ontwikkelingen en de invloed van een suppletie op de morfologie en ecologie wordt gedaan op basis van *expert judgement*. Er wordt uitdrukkelijk geen gebruik gemaakt van modellen om de toekomstige ontwikkelingen te voorspellen.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt er een beschrijving gegeven van het gebied van de Noordsvaarder en de optredende erosie. In Hoofdstuk 3 wordt de methode van het onderzoek verder beschreven. Hoofdstuk 4 behandelt de morfologische ontwikkelingen in de natuurlijke situatie en Hoofdstuk 5 de ecologische veranderingen. Hoofdstuk 6 beschrijft vervolgens wat de effecten zijn van een suppletie op de morfologie en ecologie. Conclusies en aanbevelingen worden gegeven in Hoofdstuk 7.

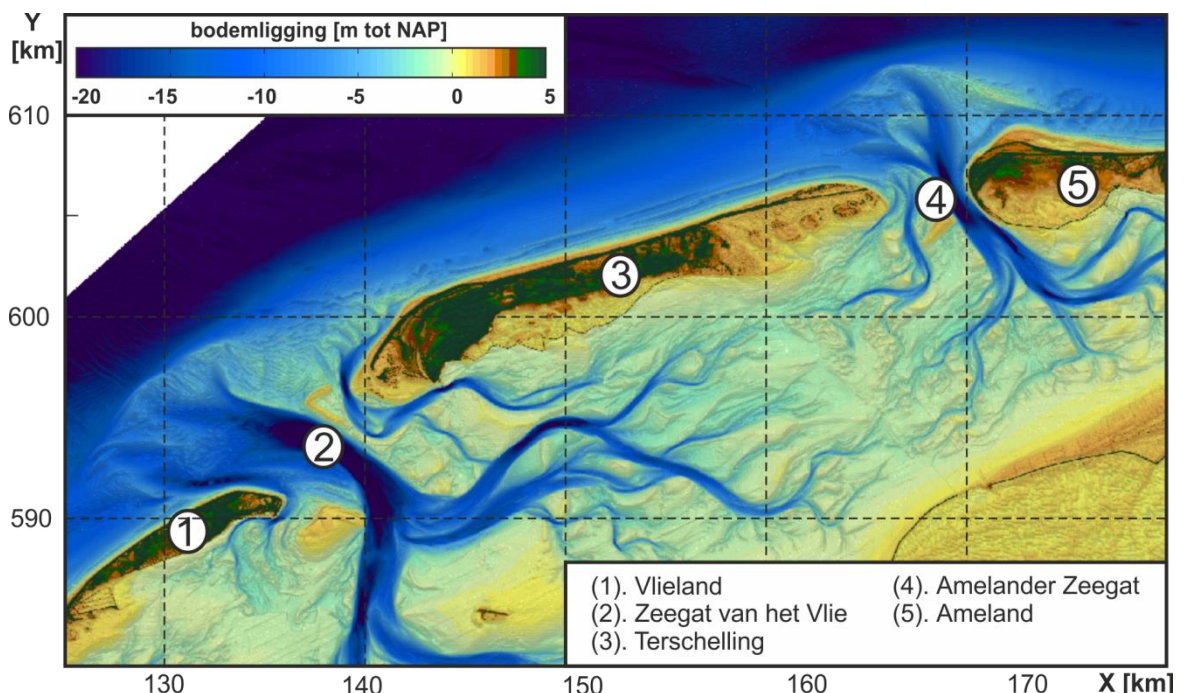
2 Systeembeschrijving gebied Noordsvaarder

In dit hoofdstuk wordt ten eerste het algemene gebied van de Noordsvaarder beschreven in paragraaf 2.1. Vervolgens wordt op basis van literatuur de historische ontwikkeling van de natuurlijke situatie beschreven in paragraaf 2.2. Hierna wordt in paragraaf 2.3 kort ingegaan op het kustbeheer in de regio en de status van de zeereep. Ten slotte wordt in paragraaf 2.4 verder ingegaan op de optredende erosie in relatie tot de primaire waterkering.

2.1 Algemene gebiedsbeschrijving

Deze paragraaf is een samenvatting van de relevante informatie uit de Beheerbibliotheek Terschelling (Elias, et al., 2015). Voor meer informatie zie (Elias, et al., 2015).

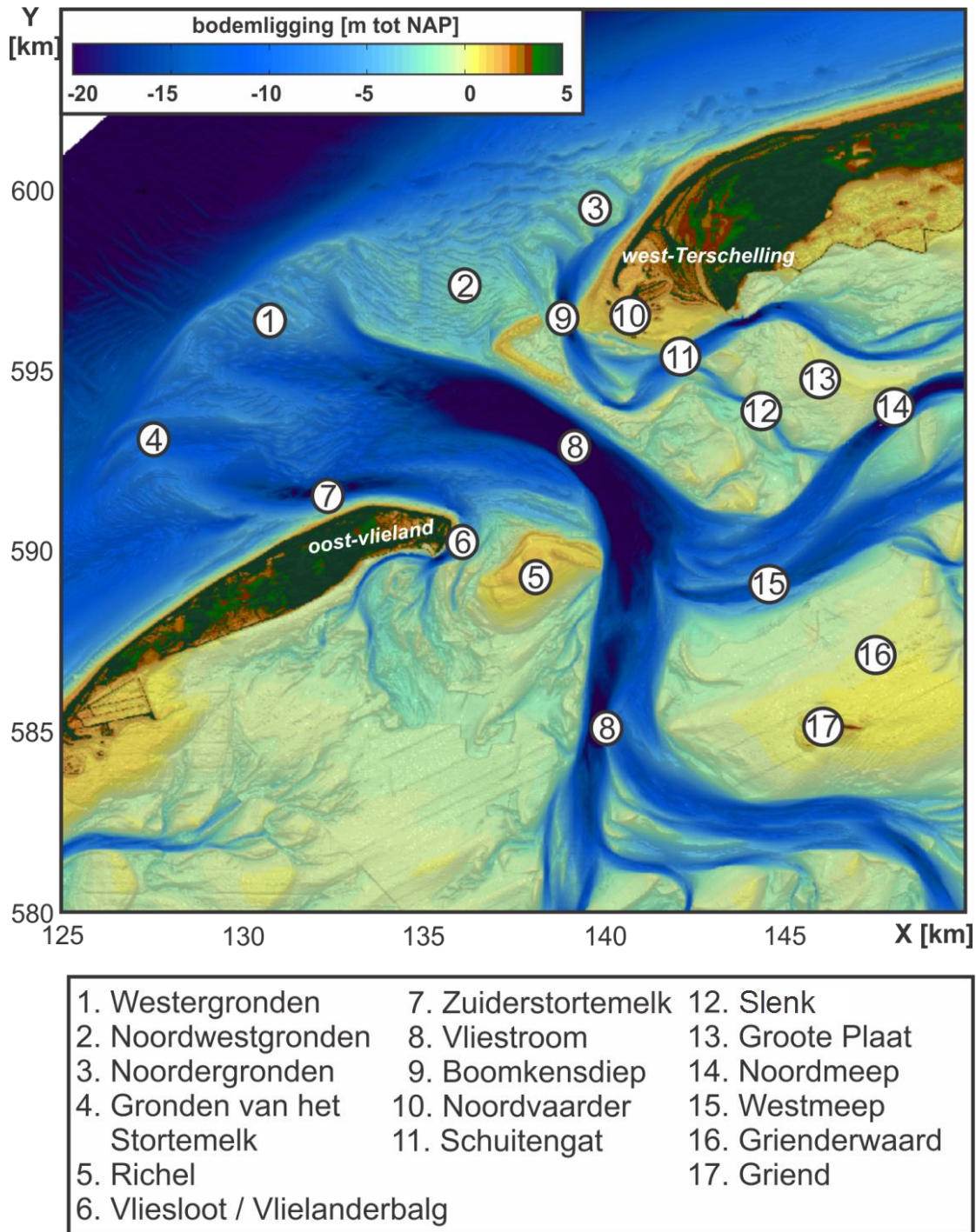
Het gebied Noordsvaarder bevindt zich in het kustvak Terschelling [3] (Figuur 2.1) aan de noordwestelijke kant van het eiland. Het is een gevarieerd 650 hectare groot natuurgebied bestaande uit grote zandvlaktes, kwelders en stuifduinen. Daarbij bevat het belangrijke ecologische waarden met diverse zeldzame plantensoorten en verschillende soorten voorkomende broedvogels. Vroeger was de Noordsvaarder een grote zandplaat, die in de 19^e eeuw aangeland is aan het eiland Terschelling. Aansluitend in het westen bevindt zich het Zeegat van het Vlie [2].



Figuur 2.1 Locatie Terschelling en de naastgelegen zeegaten Zeegat van het Vlie en Amelander. De bodem is representatief voor 2010-2011 metingen en aangevuld met Lidar en het AHN hoogte bestand. (Elias, et al., 2015)

Het Zeegat van het Vlie bestaat uit de hoofdgeul Vliestroom [8] (Figuur 2.2). Op de buitendelta bevinden zich twee nevengeulen, Zuiderstortemelk [7] en Boomkensdiep [9], die zich langs de aanliggende eilandkoppen van respectievelijk Vlieland en Terschelling uitstrekken. Het Boomkensdiep gaat aan de binnenzijde over in het Schuitengat [11]. De buitendelta strekt zich ongeveer 8 km in zeewaartse richting en 22 km in langsrichting uit. Het merendeel van het plaatoppervlak en volume bevindt zich ten noorden van de Vliestroom in

de Noordwestgronden [2]. Op de plaat zijn verschillende kleinere platen te onderscheiden die zich in noordoostelijke richting verplaatsen. De kleinere Noordergronden [3] bevinden zich het dichtst bij de kust van west-Terschelling. De Noordsvaarder is aangegeven met [10].



Figuur 2.2 Overzicht van de belangrijkste geulen en platen in het Zeegat van het Vlie (de weergegeven bodem is representatief voor 2010/2011), (Elias, et al., 2015).

2.2 Historische ontwikkeling

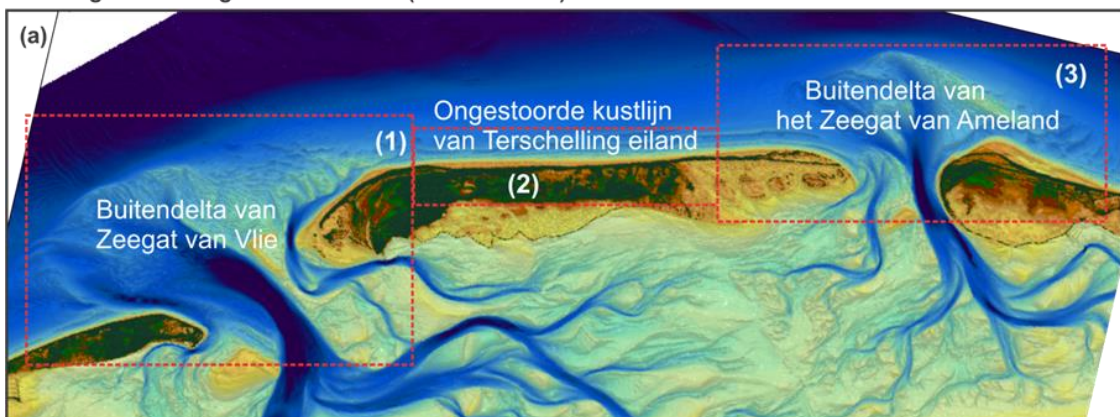
Deze paragraaf is een samenvatting van de relevante delen van de Beheerbibliotheek Terschelling (Elias, et al., 2015).

2.2.1 Algemene ontwikkeling

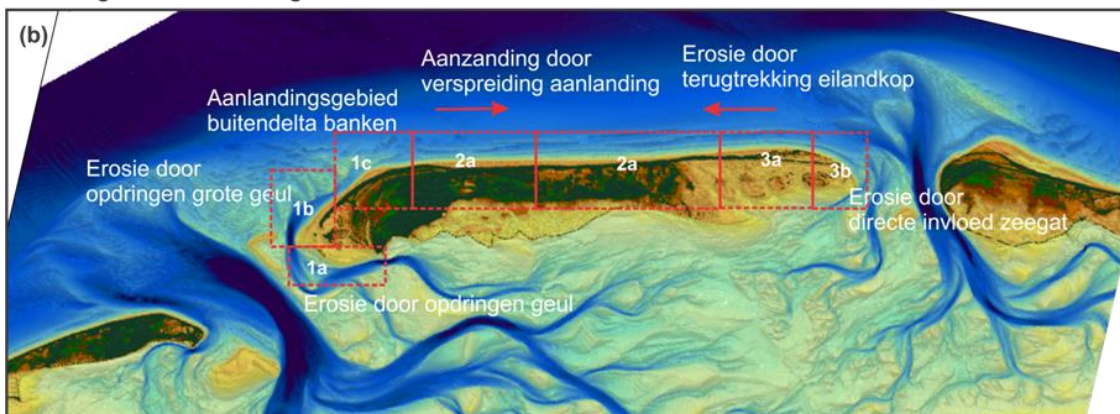
Bij de Noordwest kop van Terschelling bepaalt het Zeegat van Vlie grotendeels direct en indirect de morfologische ontwikkelingen van het eiland (zie Figuur 2.3a). De natuurlijke dynamiek kan vrijwel ongestoord plaatsvinden bij de eilandkop. De Noordsvaarder staat direct onder invloed van de voorliggende buitendelta en de geul het Boomkensdiep, waardoor het kustgedrag ruimtelijk sterk varieert. Aan de zuidzijde (Figuur 2.3b, 1a) is er een overheersend erosieve trend. Deze is gerelateerd aan het landwaarts insnijden van een relatief klein geultje. Dit geultje lijkt zich sterk te verondiepen en op te vullen. Gescheiden door een klein gebied van kustuitbouw, vindt er grenzend aan de geul Boomkensdiep erosie plaats van de kust (Figuur 2.3 1b).

In oostelijke richting lijkt het Boomkensdiep sterk beïnvloed te worden door de voorliggende banken (Figuur 2.3b, 1c), hier neemt de geul sterk in diepte en breedte af. Dit resulteert nog wel in erosie van de achterliggende kust. Het is de verwachting dat in de nabije toekomst de banken van de buitendelta hier met de kust verhelten. Het verhelten en daarna verspreiden van de sedimenten bepaalt hier de langere termijn kustontwikkeling. Rond 1970 heeft hier de laatste grote aanlanding plaatsgevonden. Sindsdien overheerst erosie. Oostwaarts draagt dit sediment echter bij tot kustuitbouw. Tot het midden van het eiland is de kust eigenlijk stabiel of uitbouwend door de grote aanvoer van zand. Het is de verwachting dat in de toekomst een nieuwe aanlanding zal plaatsvinden waardoor lokaal de kust weer sterk zal uitbouwen.

Indeling in morfologische eenheden (macro-schaal)



Morfologische veranderingen



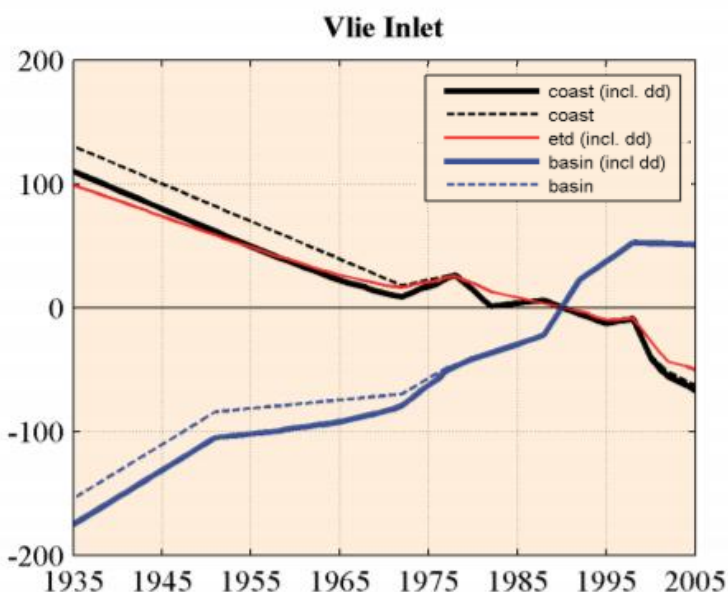
Figuur 2.3 Samenvatting morfologische kenmerken van het morfologische systeem Terschelling (Elias, et al., 2015).

2.2.2 Noordsvaarder

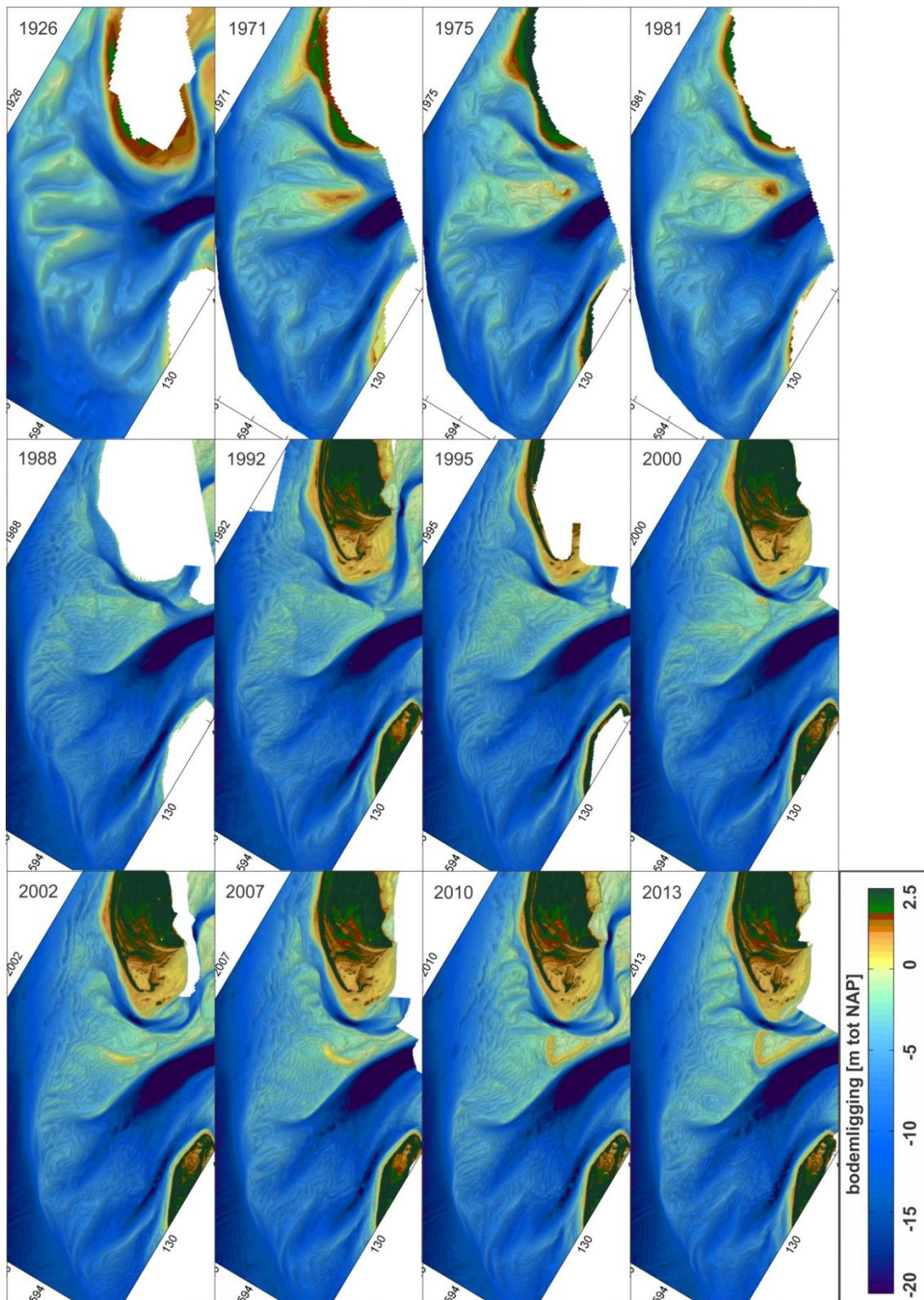
Verder kijkend naar de ontwikkelingen van de kop van de Noordsvaarder in Figuur 2.5, zijn diverse patronen te onderscheiden. Sinds de aanleg van de Afsluitdijk is de dynamiek in het Zeegat van Vlie veranderd en is er nu sprake van een enkele grote eb-gedomineerde geul (de Vliestroom) en vloedgeulen langs de eilandkoppen (Boomkensdiep bij Terschelling). De Vliestroom is in de loop der tijd breder en dieper geworden, terwijl de Boomkensdiep smaller maar wel dieper is geworden.

Tijdens eb wordt het sediment nu voornamelijk afgezet op de Westergronden en Gronden van het Stortemelk. Deze 2 ondiepten vormen nu de nieuwe 'actieve' buitendelta. De Noordwestgronden verliest daarbij gedeeltelijk zijn functie en wordt langzaam door golven opgeruimd. De golven 'bulldozeren' het sediment naar de kust. De Noordwestgronden vormt een grote uniforme vlakte die in hoogte wat toeneemt. De landwaartse verplaatsing van Noordwestgronden drukt het Boomkensdiep dicht. Daardoor neemt de geulbreedte sterk af, verplaatst de geul zich landwaarts en neemt ook de diepte toe. De landwaartse verplaatsing van de geul zorgt voor de erosie aan de kop van de Noordsvaarder.

Veel van het sedimentoverschot in de buitendelta lijkt zich inmiddels herverdeeld te hebben. Het landwaarts verplaatsen en aanlanden van platen heeft ervoor gezorgd dat het oppervlak van de Noorder- en Noordwestgronden sterk is afgenomen. Tot op heden heeft de kust kunnen profiteren van deze zandtoevoer naar het eiland en wordt de kust dus gedomineerd door het cyclisch aanlanden van platen. Het afnemen van de totale omvang van de buitendelta zal naar verwachting gevolgen hebben voor de toekomst: Er zullen nog steeds platen aanlanden aan de kust, maar de volumes zullen waarschijnlijk kleiner zijn dan voorheen. Een schatting voor de volumeveranderingen voor het Zeegat van het Vlie is gegeven in (Elias et al., 2012), zie Figuur 2.4. Hierbij zijn volumeveranderingen van de omringende kust (coast), de buitendelta (etd) en de waddenzee (basin) weergegeven. Ondanks dat er een vrijwel lineaire erosie van de volledige buitendelta optreedt (groter gebied dan enkel de Noorder- en Noordwestgronden), is het patroon van geulen en platen over de laatste decennia vrij stabiel; in de periode 1995 – 2010 is er op hoofdlijnen nauwelijks verandering te onderscheiden (Figuur 2.5). Lokaal is te zien hoe er in de periode 2000-2007 in de Noordergronden diverse banken en ondiepten zich om en om ontwikkelen. Deze verplaatsen zich in de richting van de kust van de Noordsvaarder waar ze aanlanden en verhalen met de kust. Deze platen zorgen voor extra sedimenttoevoer naar de kust.



Figuur 2.4 Overzicht van de sedimentatie-erosie volumes voor het Zeegat van het Vlie (uit (Elias, et al., 2012)).

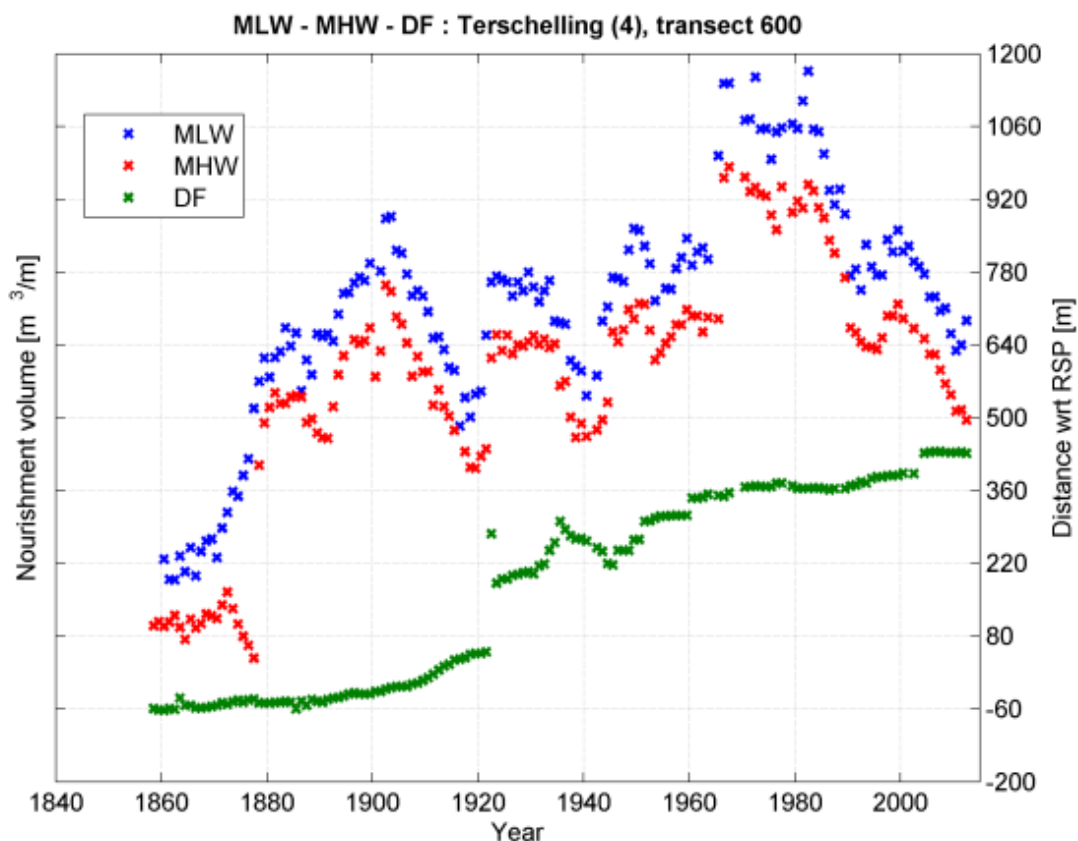


Figuur 2.5 Grootschalige morfologische ontwikkeling van de buitendelta van het Zeegat van het Vlie over de periode 1925-2013. De eilanden zijn ingevuld met het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland) met data uit de periode 1996-2003 (Elias, et al., 2015)

2.2.3 Centrale eilandkust

Rond de overgang van de Noordsvaarder naar de eilandkust zorgen de aanlandingen van platen voor een hoop extra sediment, wat daarna structureel wordt geërodeerd. Oostelijk hiervan zorgt dit voor een bijbehorende uitbouw van de kust waar de hele eilandkust van profiteert. De kustlijn van de eilandkust is hier redelijk lang uniform en bouwt langzaam uit. Deze centrale eilandkust wordt gedomineerd door cyclisch bankengedrag. Rond de overgang van de Noordsvaarder naar de eilandkust (waar nu de BKL overschreden wordt) is de erosie en versmalling van de kust te zien.

De impact die een grote aanlanding kan hebben is te zien in Figuur 2.6. Een zeewaartse verschuiving van de posities van de gemiddelde hoog- en laagwaterlijn ter hoogte van raai 600 duidt op uitbouw van de kust door extra sedimenttoevoer door een aanlanding. Er is duidelijk te zien dat dit gedurende de laatste 150 jaar een cyclisch proces is geweest. Ook is de grote aanlanding rond 1970 duidelijk te zien, evenals een kleinere rond het jaar 2000. Verder toont de figuur de positie van de duinvoet, die zich in de loop der jaren sterk uitgebreid heeft en de laatste 10 jaar stabiel is.

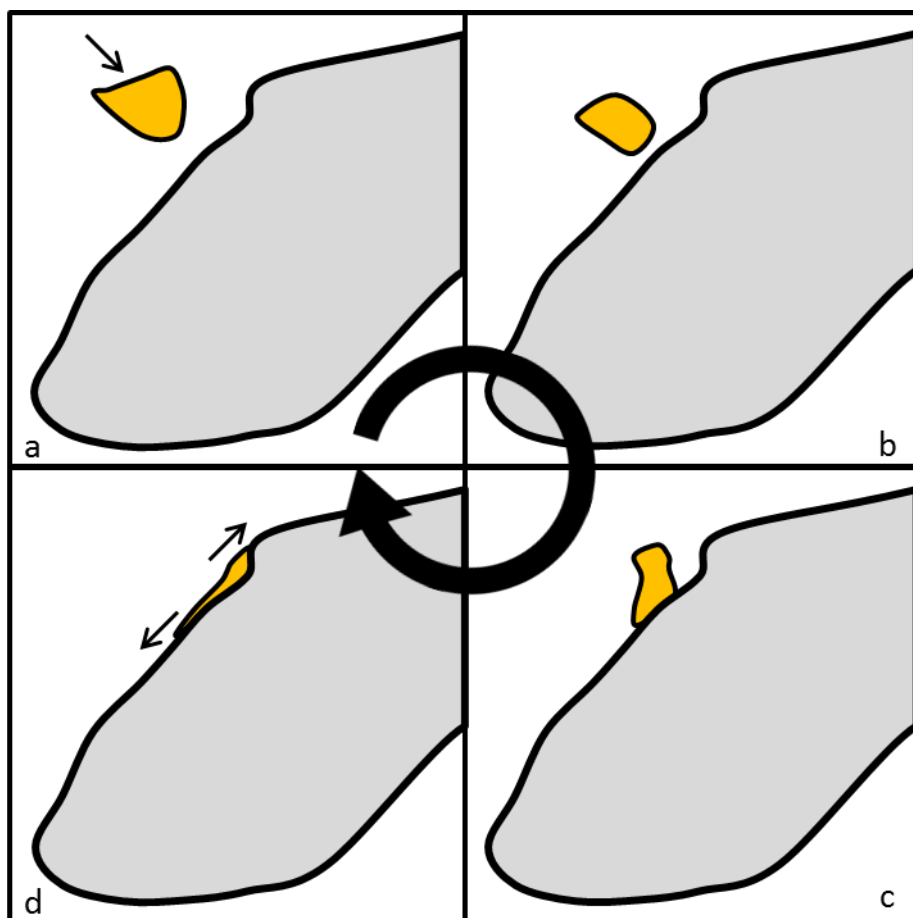


Figuur 2.6 Overzicht van de langetermijn-ontwikkeling van de posities van hoogwater (HW), laagwater (LW) en duinvoet (DF) voor profiel 600 (aanlandingsgebied buitendelta) (Elias, et al., 2015).

2.3 Aanlanden van platen

Het gebied van de Noordsvaarder wordt gevoed met sediment door het aanlanden van zandplaten vanuit de Noordwest – en Noordergronden. Zandplaten worden zoals beschreven in de vorige paragraaf door de golven richting de kust gemigreerd (zie Figuur 2.7a voor een geschematiseerde weergave). Na verdere verplaatsing wordt de kust in enkele jaren bereikt (Figuur 2.7b&c). Na aanlanding verheelt de plaat met de kust, waarbij het strand lokaal wordt uitgebreid (Figuur 2.7d). Dit extra sediment wordt vervolgens door het netto langstransport in

oostwaartse richting langs de kust verspreid. Het duurt vervolgens enkele jaren voordat het sediment van de aangelande plaat de vaste eilandkust bereikt. Door het aanlanden van een zandplaat wordt ook de geul die voor de kust ligt tijdelijk dichtgedrukt. Na verloop van tijd gaat deze door de voortdurende getijstrooming weer open, waarna op een gegeven moment weer de volgende plaat aanlandt. Er is dus sprake van een dynamisch systeem waarbij er met een cyclisch patroon platen aanlanden, verhelen en weer eroderen. Dit geldt ook voor de geulen en ondiepten die zich in de loop der tijd verplaatsen, opvullen en weer verdiepen.

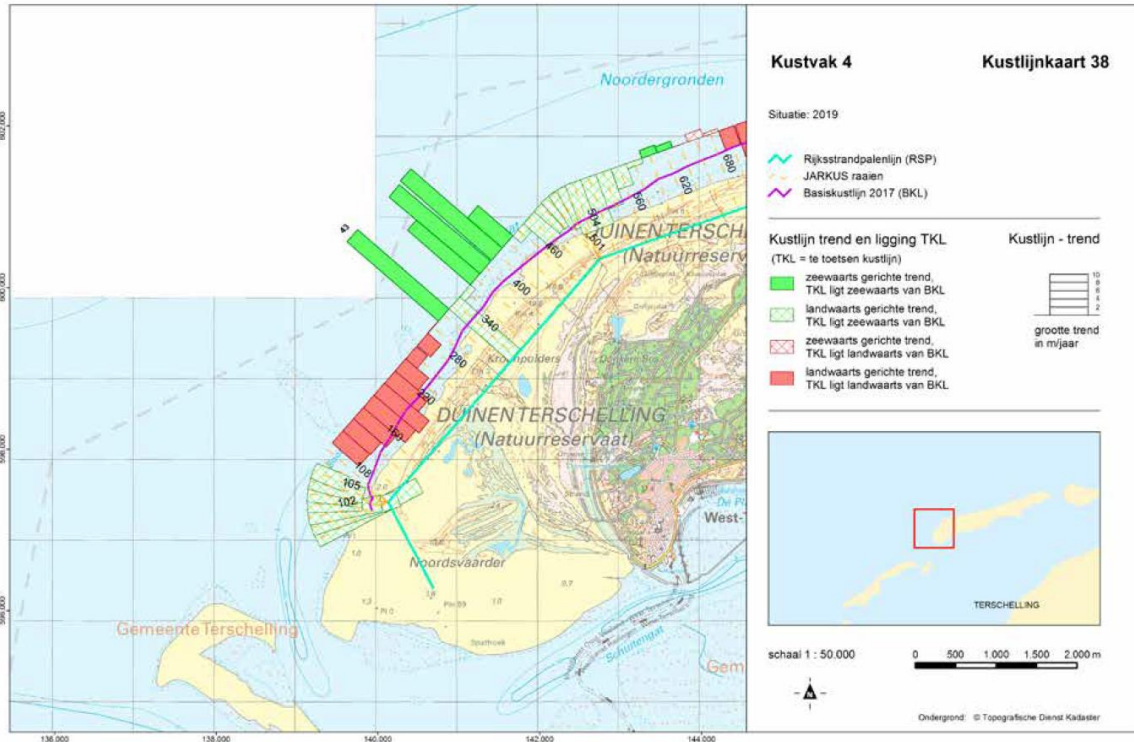


Figuur 2.7 Schematisch overzicht aanlanden zandplaten op Terschelling in 4 tijdstappen.

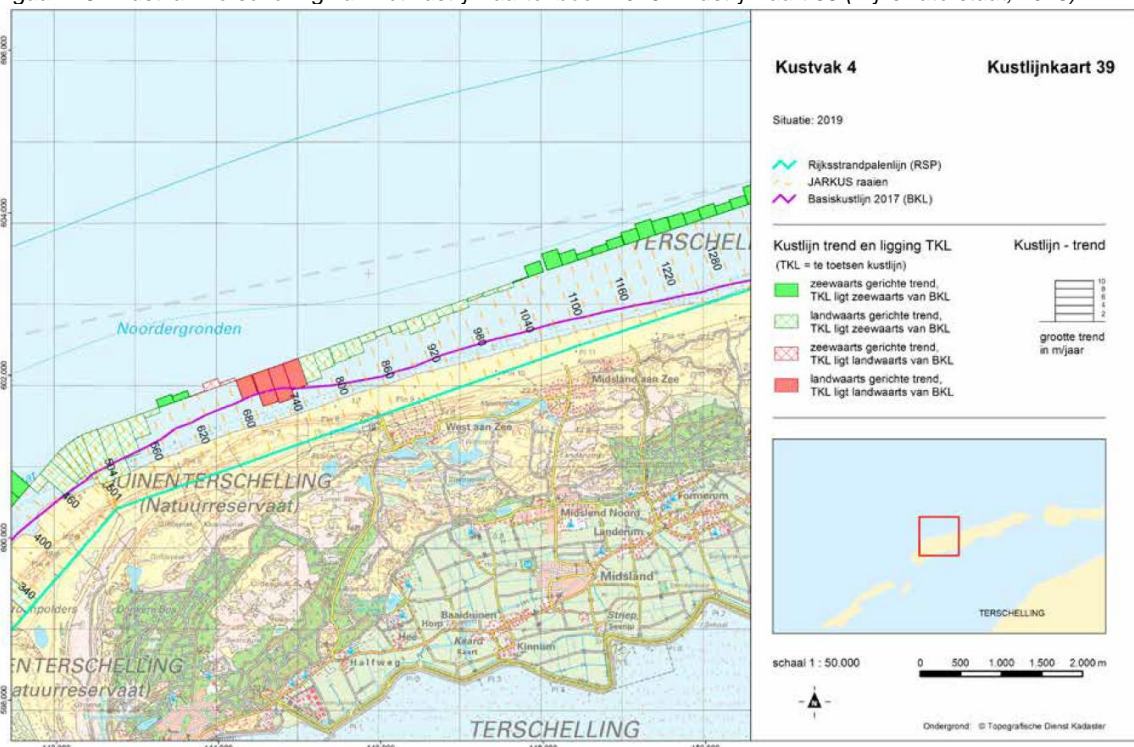
2.4 Optredende erosie

De Noordsvaarder staat direct onder invloed van de voorliggende buitendelta en de geul van het Boomkensdiep die migreert in oostwaartse richting. Dit resulteert in erosie aan de kust waarbij de BKL wordt overschreden. Figuur 2.8 toont dat in 2018 voor raaien 108-300 er een landwaarts gerichte trend is waarbij de TKL (te Toetsen Kustlijn) landwaarts ligt van de BKL. Deze erosie zorgt in het oostelijke aanliggende gebied tussen raaien 320-440 juist voor aanzanding met een zeewaarts gerichte trend, waarbij de TKL zeewaarts ligt van de BKL. Ter hoogte van de Noordergronden (tussen raaien 460-980) zijn ook landwaarts gerichte trends te zien, uitgezonderd van een klein gebied rond raaien 560-660 (Figuur 2.9). Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat de overschrijding van de BKL vanaf raai 800 en oostwaarts hiervan niet gewenst is. De grens van de primaire waterkering is hier recentelijk in zeewaartse richting verplaatst en komt vanaf raai 800 (strandpaal 8) dicht bij de zeereep (Figuur 1.1). In dit gebied is het dan ook de intentie om de BKL te handhaven en bij een overschrijding maatregelen te nemen. Het is de verwachting dat de erosie tussen raaien 620 en 740 zich

oostwaarts (richting raai 800 en de primaire zeekering) verplaatst, wat de aanleiding is voor dit onderzoek.



Figuur 2.8 Kustvak Terschelling van het kustlijkaartenboek 2019 – kustlijkaart 38 (Rijkswaterstaat, 2018)



Figuur 2.9 Kustvak Terschelling van het kustlijkaartenboek 2019 – kustlijkaart 39 (Rijkswaterstaat, 2018)

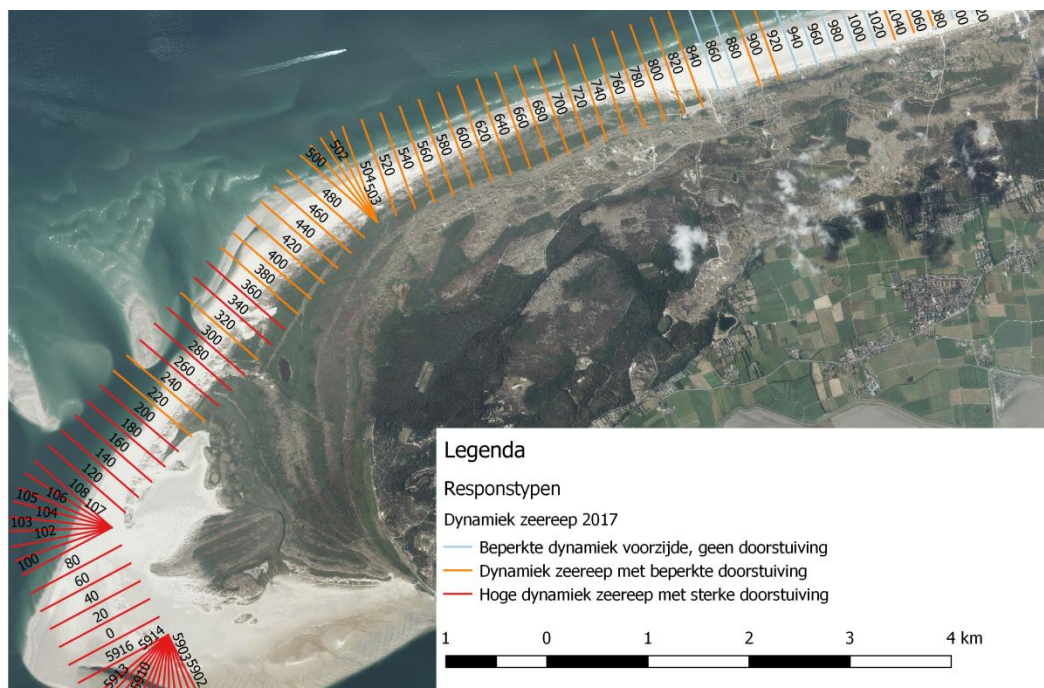
2.5 Kustbeheer en zeereep

Op Terschelling komen verschillende vormen van kustbeheer voor. Bij de kop van de Noordsvaarder tot raai 200 wordt de kustlijn losgelaten en heeft de natuur vrij spel.

Vervolgens tussen raaien 200-800 wordt de kustlijn flexibel gehandhaafd. Hierna vindt de overgang naar de vaste eilandkust plaats waar de kustlijn strikt(er) wordt gehandhaafd vanwege de invloed op de primaire waterkering.

Beheermaatregelen langs de kust van Terschelling zijn beperkt. Alleen in 1993 is er een vooroeversuppletie uitgevoerd tussen raaien 1360-1800 (Appendix A). Deze suppletie is uitgevoerd in het kader van het NOURTEC onderzoeksproject (Hoekstra, et al., 1994). Het doel van de suppletie was om de BKL in de 8 volgende jaren in stand te houden. De suppletie van 2.1 miljoen m³ werd uitgevoerd in de trog tussen de midden en buitenste brekerbank. Dit komt overeen met een gemiddeld volume van 450 m³/m.

De mate van dynamiek in de zeereep is verder onderzocht in het kader van het onderzoek Natuurlijk Veilig (www.natuurlijkveilig.nl). Op basis van toetsingsmomenten 2008, 2013 en 2017 is de Noordsvaarder in het algemeen te classificeren als een gebied met een dynamische zeereep met beperkte tot sterke doorstuiving (Figuur 2.10).



Figuur 2.10 Mate van dynamiek in de zeereep van de Noordsvaarder in 2017 (met in het zwart de raainummers) (Jff, et al., 2018)

3 Methode

3.1 Data

Voor dit onderzoek is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van literatuur en data die al bij Deltares beschikbaar is. Daarnaast is er informatie ingewonnen bij Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en data uit de landelijke schelpdiersurvey (WOT).

In deze studie is voor de morfologische analyse gebruik gemaakt van JARKUS profielen en grids en kustindicatoren (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Databronnen morfologie

Soort	Locatie	Datum opname	Opmerking	Referentie
JARKUS profielen	Raainummers: 4000100-4001000	1965 t/m 2018	Om de 200m	(Deltares, 2019)
JARKUS grids	Kaartblad: KB1312_124&125, KB1514_124	1965 t/m 2017	Resolutie 20x20m	(Deltares, 2019)
Kustindicatoren	Raainummers: 4000100-4001000	1965 t/m 2018	MKL/GHW/HLW/DV/BW om de 200m	(Deltares, 2019)
Kustindicatoren	Raainummers: 4000100-4001000	1965 t/m 2018	MKL met de rekenschijf van 2018	(Rijkswaterstaat, 2018)

Voor de ecologische analyse zijn vegetatiekaarten, luchtfoto's , WOT-gegevens (benthos) en geochemische data over zandwingebieden gebruikt (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Databronnen ecologie

Soort	Locatie	Datum	Opmerking	Referentie
Vegetatiekaart	Noordwest Terschelling	2012		Staatsbosbeheer, kaartnummer EGG1015
Kaart habitattypen	Noordwest Terschelling	2016		Staatsbosbeheer, uit (Meijer, et al., 2016)
Luchtfoto 2012	Noordwest Terschelling	2012	Resolutie 50x50 cm	(CycloMedia, 2012)
Luchtfoto 2017	Noordwest Terschelling	2017	Resolutie 25x25 cm	(Kadaster, 2017)
Gegevens benthos uit WOT-survey	Raainummers 4000540 t/m 4000820	2017		(Troost, et al., 2017)
Geochemische samenstelling boringen in wingebieden voor suppletiezand	Meerdere locaties voor de kust van Terschelling	2017		(Blauw, et al., 2017)

3.2 Methode

Morfologie

Voor de morfologische analyse is op basis van de benoemde data het verloop over de jaren van deze kustindicatoren onderzocht:

- Momentane Kustlijn (MKL)
- Toekomstige KustLijn (TKL)
- Gemiddeld hoogwater lijn (GHW)
- Gemiddeld laagwater lijn (GLW)
- Duinvoet (DF, NAP+ 3 m)
- Droge strandbreedte (BW)

Hiernaast zijn op basis van de JARKUS grids erosie- en sedimentatiefiguren voor verschillende tijdspannes worden gemaakt. Door deze informatie te combineren met de kustindicatoren ontstaat een goed beeld van de ontwikkeling van de geulen, vooroever, brekerbanken strand tot en met de buitenste duinenrij rondom de Noordsvaarder.

Ecologie

Voor de ecologische analyse is een inventarisatie gemaakt van de ruimtelijke distributie van vegetatietypen in het duingebied met gegevens van Staatsbosbeheer (kaarten van vegetatietypen en habitattypen). Soorten of vegetatietypen die gevoelig zijn voor pH buffering (o.a. door overstuiving) zijn op de kaart gelokaliseerd. Vervolgens is op de luchtfoto's de mate van overstuiving onderzocht en vergeleken met de vegetatiekaarten. De geochemische eigenschappen van wingebieden voor suppletiezand zijn gebruikt om de mogelijke effecten op het kalkgehalte van de bodem te onderzoeken. Om de mogelijke effecten van een vooroeversuppletie op de ecologie te onderzoeken, zijn resultaten van de WOT-survey gebruikt om de soortensamenstelling en dichtheden van bodemdieren (waaronder spisula) en zwarte zee-eenden voor de kust van de Noordsvaarder in kaart te brengen.

4 Morfologische ontwikkeling

De morfologische ontwikkeling wordt in dit rapport beschouwd op basis van beschikbare literatuur en data. De historische ontwikkeling van de natuurlijke situatie op basis van literatuur is hierbij al in paragraaf 2.2 uiteengezet. Hierop voortbordurend is in paragraaf 4.1 uitgebreider gekeken naar de ontwikkelingen in de laatste 20 jaar op basis van beschikbare data. Op basis hiervan worden in paragraaf 4.2 de toekomstige verwachte ontwikkelingen op korte en lange termijn beschreven, evenals mogelijke gevolgen voor de primaire waterkering.

4.1 Recente ontwikkeling natuurlijke situatie

Om de natuurlijke morfologische ontwikkelingen in de laatste 20 jaar beter in beeld te brengen is een analyse gedaan op basis van data zoals JARKUS-raaien, JARKUS-grids en diverse hiervan afgeleide kustindicatoren (zie paragraaf 3.2). Hierbij is verder ingezoomd op de locatie van de Noordsvaarder en de overgang naar de eilandkust tot raai 1000. Eerst zal het gehele gebied beschouwd worden in paragraaf 4.1.1, waarna de ontwikkelingen in de laatste 5 jaar, opgesplitst in 4 deelgebieden, worden beschreven in paragraaf 4.1.2.

4.1.1 Algemene patronen

Zoals eerder benoemd is het gebied rondom de Noordsvaarder dynamisch met vele plaatbewegingen. Dit is bijvoorbeeld te zien in Figuur 4.1, waarin de bathymetrie voor verschillende jaren is weergegeven. De zwarte contourlijnen zijn van NAP-3m, om een indicatie te geven van de grote van de platen. In de figuur corresponderen de linker en rechter panelen met elkaar waarbij eerst de bodem vlak voor een aanlanding is weergegeven (bijv. 1998) en daarnaast de bodem rond het jaar van aanlanden (bijv. 2002). De jaartallen van aanlanden zijn indicatief omdat het visueel niet erg eenduidig is wanneer dit precies plaatsvindt. De bodemkaart van 2017 laat zien dat er nog meer platen aan zitten te komen, er zal dus over enkele jaren weer een plaat aanlanden. Deze 3 aanlandingen van de laatste 20 jaar verhelen met de kust in het gebied tussen raaien 350-550.

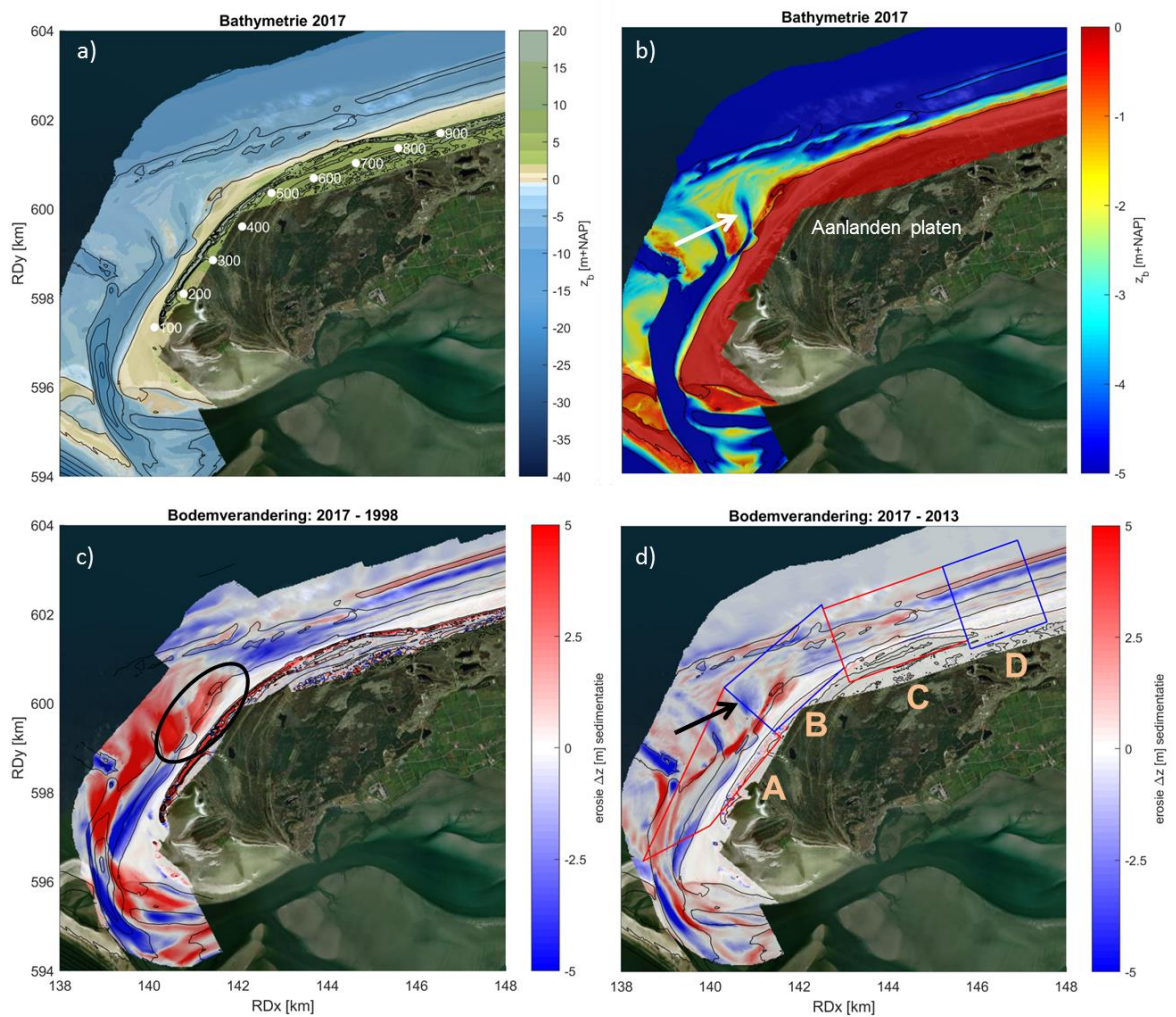
In Figuur 4.2a is vervolgens de bathymetrie van 2017 nogmaals weergegeven, maar ditmaal verder uitgezoomd om ook het zeegat van het Vlie en de overgang naar de centrale eilandkust weer te geven. In Figuur 4.2b is dezelfde figuur te zien maar dan met de bodem tussen NAP-5m en NAP+0m. Hierbij zijn de platen weergegeven in rood en geulen in blauw. De platen bewegen zich in noordoostelijke richting waarna ze aanlanden en verhelen met de kust als aangeven met de pijl, er zijn afwisselend platen en geulen te zien. Dit is ook te zien in de erosie- en sedimentatiepatronen van de laatste 5 jaar in Figuur 4.2d. Bij deze bodemveranderingen voor de tijdsperiode 2017 – 2013 laat de afwisseling tussen rode en blauwe kleuren (depositie en erosie) inderdaad zien dat er over een periode van enkele jaren zand naar de kust migreert. Dit is aangegeven met de zwarte pijl. Figuur 4.2c laat vergelijkbare sedimentatie en erosiepatronen zien voor de langere tijdperiode tussen 2017-1998. Hier is terug te zien dat er een gebied is met sterke sedimentatie (aangegeven met de zwarte omcirkeling), maar ook erosiegebieden west- en oostwaarts hiervan. Ten westen van de omcirkeling vindt structurele erosie plaats door het opdringen van de Boomkensdiep, waarbij dit sediment afgezet wordt aan de zuidkant van de kop en mogelijk ook in de Waddenzee. Oostwaarts van de omcirkeling vindt over de laatste 20 jaar gezien structureel erosie plaats. Figuur 4.2d toont dat er op een kortere tijdschaal van 5 jaar aan de kust in dat gebied (Gebied C) om en om lichte sedimentatie en daarna erosie optreedt, wat de dynamische beweging laat zien. Bij de centrale eilandkust is het duidelijk dat de brekerbank zich uniform in zeewaartse richting begeeft. Verder laat Figuur 4.2c ook nog zien dat de duinhoogte significant toegenomen is in de laatste 20 jaar.

Om de sedimentatie en erosiepatronen te kwantificeren zijn de volume toe- en afnames ten opzichte van 1998 binnen de deelpolygonen van Figuur 4.2d berekend en getoond in Figuur 4.3. In gebied A is er een duidelijke toename van de hoeveelheid sediment doordat platen het gebied hier inkomen aan de zeewaartse grens. Dit weegt voor de volumebalans dus op tegen de erosie aan het strand door het opdringen van het Boomkensdiep. Gebied B ligt rond het gebied waar platen aanlanden waardoor een cyclische trend kan plaatsvinden tussen toe- en afname van sediment in dat gebied. Daarom neemt het volume eerst af tot 2005, waarna het volume toeneemt en laatste 5 jaar stabiel is. In gebied C is duidelijke erosie te zien met een afvlakking in recente jaren en in gebied D zijn er schommelingen aanwezig met een lichte afname in recente jaren. Netto is er sprake van een toename van sediment in het gebied door de aanvoer van zandplaten, te zien in de totale volumes. Op basis van deze jaarlijkse bodemdata kan alleen wat gezegd worden over de netto veranderingen in het gebied. Doordat de bruto transporten hieruit niet bepaald kunnen worden kan er geen uitspraak gedaan worden of het sediment zich voornamelijk westelijk of oostelijk het gebied verlaat. De gekozen polygonen bevatten niet (de volledige) Noordwest- en Noordergronden waar de volumes afnemen, vanwege een gebrek aan data aldaar. Het is dus niet precies bekend waarom de volumebalans niet sluitend is. Wel kan er gezegd worden dat een deel van het aangevoerde sediment zich bevindt in de aangevoerde platen. Het vergelijken van de bodemprofielen van 1998 en 2017 in Figuur 4.1 laat zien dat in 1998 op dat moment dieper zeewaarts geen platen te zien zijn, in tegenstelling tot 2017. De bodemhoogte is dus toegenomen waar een deel van het aangevoerde sediment in zit. Tevens valt er te zien dat rond de jaren 2002/2012/2015 het totale volume in het gebied met een sprong toeneemt, wat overeenkomt met de indicatieve aanlandingen van Figuur 4.1.

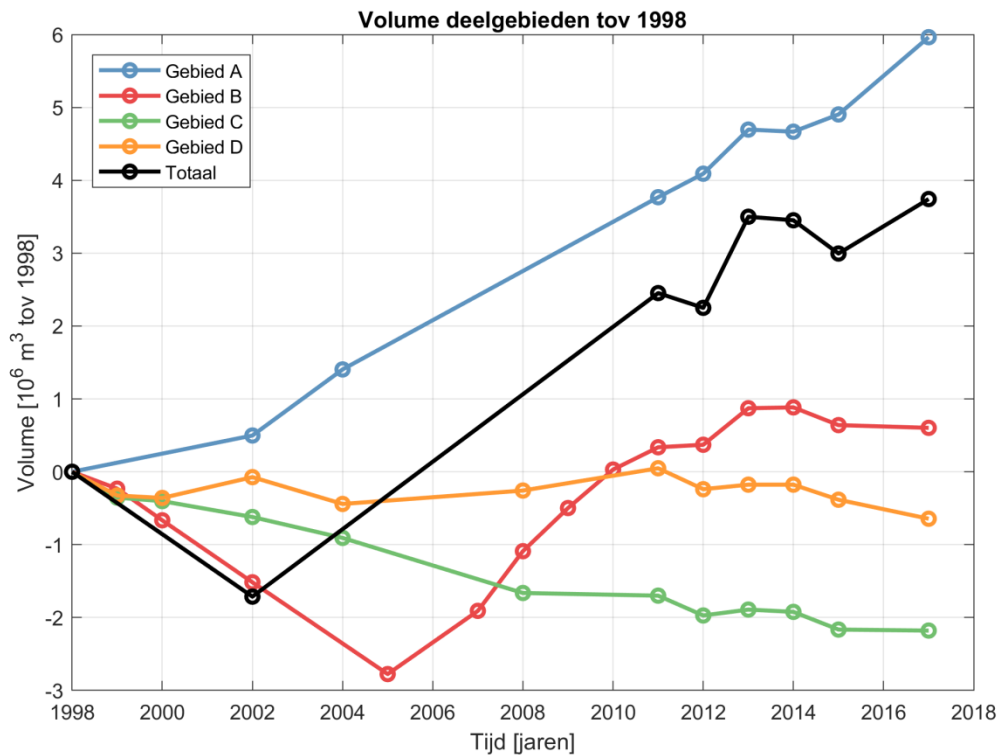
Figuur 4.4 laat de ruimtelijke positie van de BKL en MKL in de tijd zien. De besproken patronen zijn hier ook in terug te zien zijn. In deze figuur is steeds de rekenschijf van 2018 gebruikt omdat in de tijd de rekenschijf is aangepast na het aanlanden van een plaat in 2015. Zie Appendix B voor de originele data van de MKL ten opzichte van de BKL. Op basis van deze data kan ook berekend worden hoeveel de MKL over de laatste 20 jaar achteruit is gegaan in het gebied (Figuur 4.5). De figuur laat zien dat de MKL tussen raaien 450-700 het sterkst is achteruit gegaan en daarna oostwaarts in de orde grootte van 50 meter is en redelijk lineair afloopt. Hierbij moet bedacht worden dat de positie van de MKL een momentopname is, en dat de kust rond raai 500 in 1998 door extra sediment van een aanlanding uitgebouwd was. Dit extra sediment is sindsdien geërodeerd waardoor er een sterke afname van 200-250 meter te zien is. Over het algemeen is er in het gebied sprake is van een teruggang van de MKL.



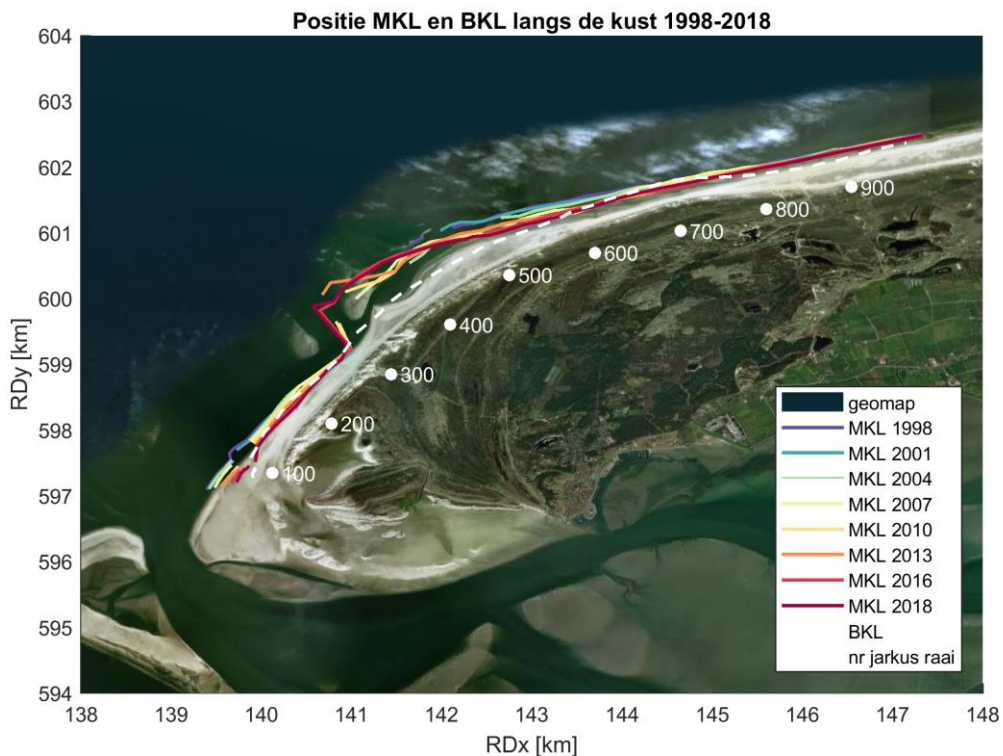
Figuur 4.1 Bathymetrie op basis van JARKUS-grids van verschillende jaren rondom aanlandingen van platen met strandpalen en raanummers in wit. De linker- en rechter figuur tonen steeds samen het proces van aanlandingen, waarbij de linker figuur de situatie vlak voor de aanlanding laat zien, en de rechterfiguren de situatie vlak na aanlanding. De zwarte contourlijnen komen overeen met NAP-3m.



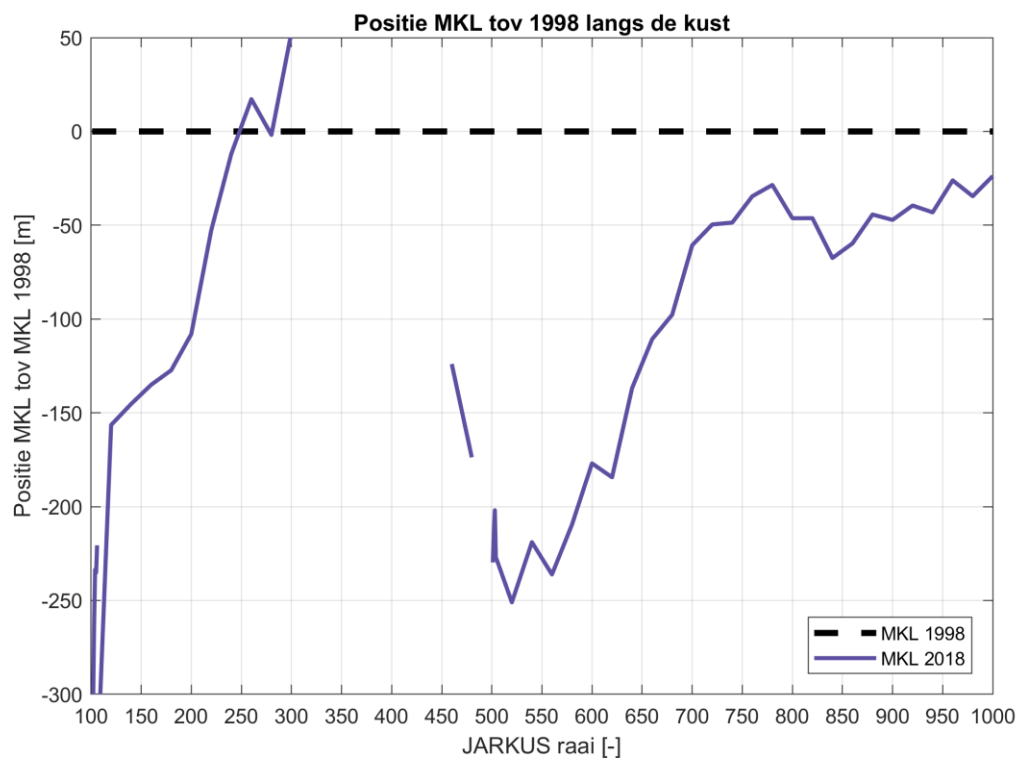
Figuur 4.2 a) Bathymetrie 2017 op basis van JARKUS-grids met strandpalen en raainummers in wit, b) bathymetrie 2017 tussen de -5 en 0 m+NAP met aangegeven migratierichting platen, c) erosie (in rood)/sedimentatie (in blauw) tov 1998, d) erosie (in rood)/sedimentatie (in blauw) tov 2013 met deelgebieden als gebruikt in de volume berekeningen van Figuur 4.3. Gebied A=Kop Noordsvaarder, B=Aanlandingsgebied, C=Overgangsgebied en D=Centrale eilandkust.



Figuur 4.3 Volumes in deelgebieden ten opzichte van 1998. Deelgebieden als weergegeven in Figuur 4.2. Bolletjes geven aan in welke jaren er data beschikbaar was voor betreffend deelgebied/totaal. Gebied A=Kop Noordsvaarder, B=Aanlandingsgebied, C=Overgangsgebied en D=Centrale eilandkust.



Figuur 4.4 Locatie BKL (gestippelde lijn) en de MKL voor verschillende jaren inclusief nummers Jarkus raai. De MKL lijnen zijn bepaald met de rekenschijf van 2018 (Rijkswaterstaat, 2018).



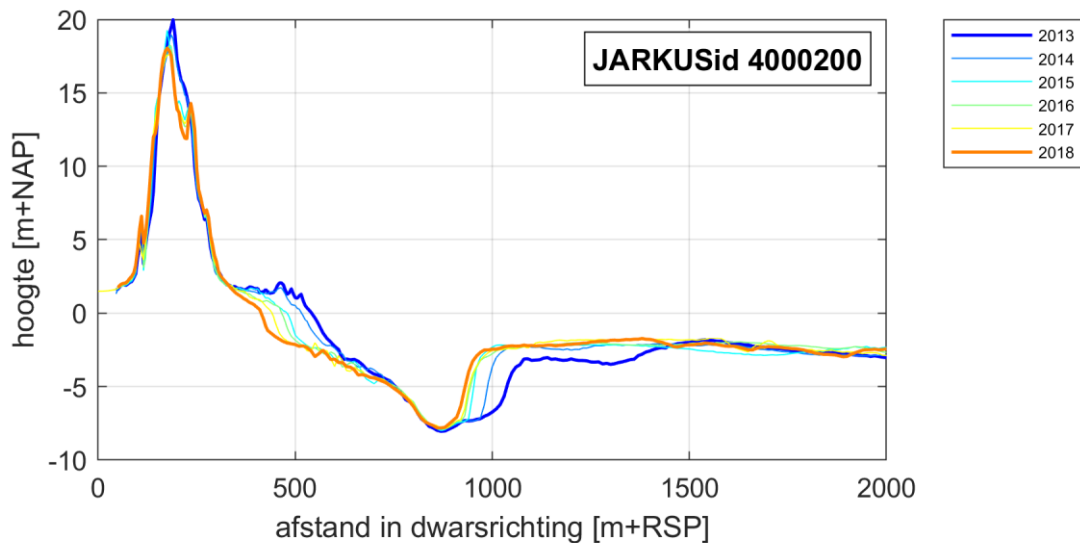
Figuur 4.5 Positie MKL 2018 tov MKL 1998 langs de kust, waarbij de MKL van 1998 bepaald is met de rekenschijf van 2018 (Rijkswaterstaat, 2018).

4.1.2 Situatie per deelgebied

Door middel van een visualisatie van de JARKUS-raaien zal er per deelgebied met een representatieve raai de ontwikkelingen in de laatste 5 jaar besproken worden.

Kop Noordsvaarder

Raai 200 in Figuur 4.6 laat zien dat de geul van het Boomkensdiep ongeveer 110 meter smaller is geworden en is opgeschoven in landwaartse richting. Hierbij is de breedte van het strand sterk afgenomen (125 meter op de hoogte 0 m+NAP). De duinhoogte is met 2 meter afgenomen, dit sediment is deels afgezet aan de achterzijde van de duin.



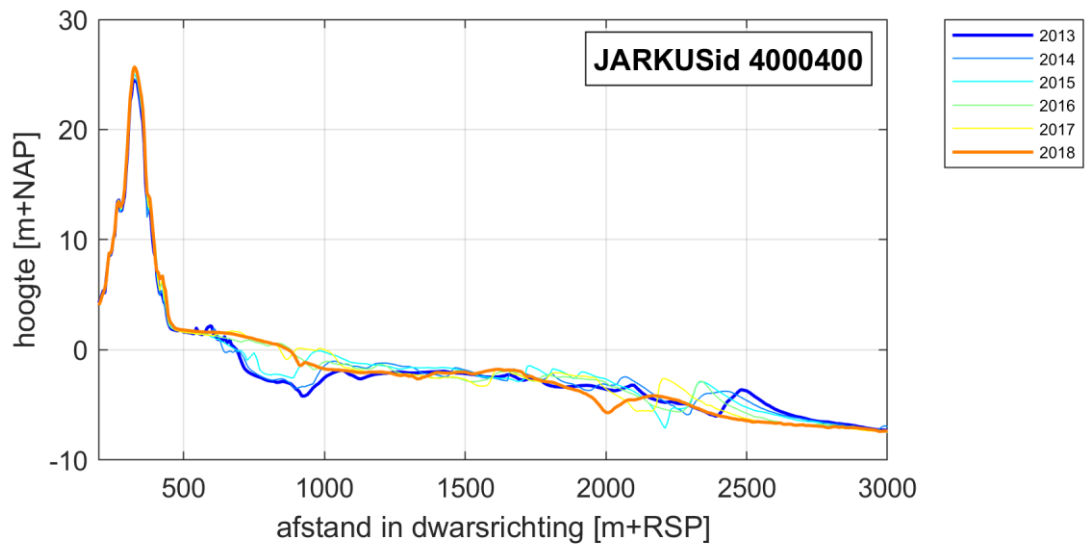
Figuur 4.6 JARKUS-raai 4000200 voor de periode 2013-2018.

Aanlandingsgebied

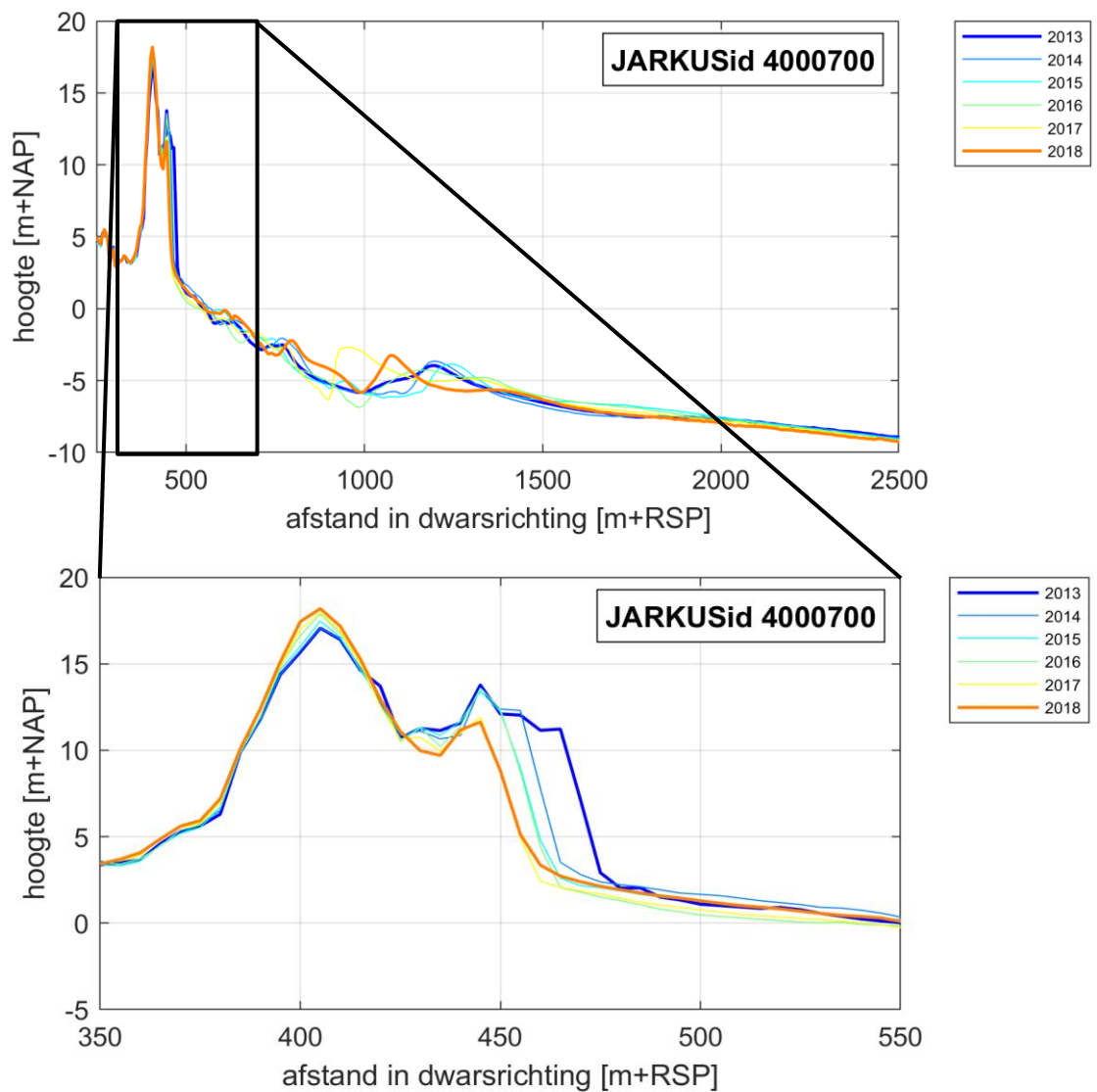
Raai 400 in Figuur 4.7 laat zien dat de breedte van het strand sterk is toegenomen (185 meter op de hoogte 0 m+NAP) doordat de ondiepe geul is opgevuld door het aanlanden van een plaat (opvulling orde grootte 3 meter hoog). Tevens is het dynamisch karakter van het aanlandingsgebied goed te zien tussen ca. 1700 en 2700 m+RPS. De duinhoogte is met 1,3 meter toegenomen.

Overgangsgebied

Raai 700 in Figuur 4.8 (bovenpaneel) laat zien dat het duinfront in de orde grootte van 17 m is teruggetrokken. Het volume tussen 350-550 m+RSP (als in onderste paneel van Figuur 4.8) is hierbij met 9.4% ($144 \text{ m}^3/\text{m}$) afgenomen ten opzichte van 2013. Dit komt waarschijnlijk door de geringe strandbreedte, waardoor tijdens stormen de duinvoet is afgeslagen. Door aeolische processen is een deel van het sediment op de kruin van de duin terecht gekomen, welke tussen 2013 en 2018 ongeveer 1 meter hoger is geworden. Verder is nog te zien dat de brekerbank zich over het algemeen richting de kust beweegt.



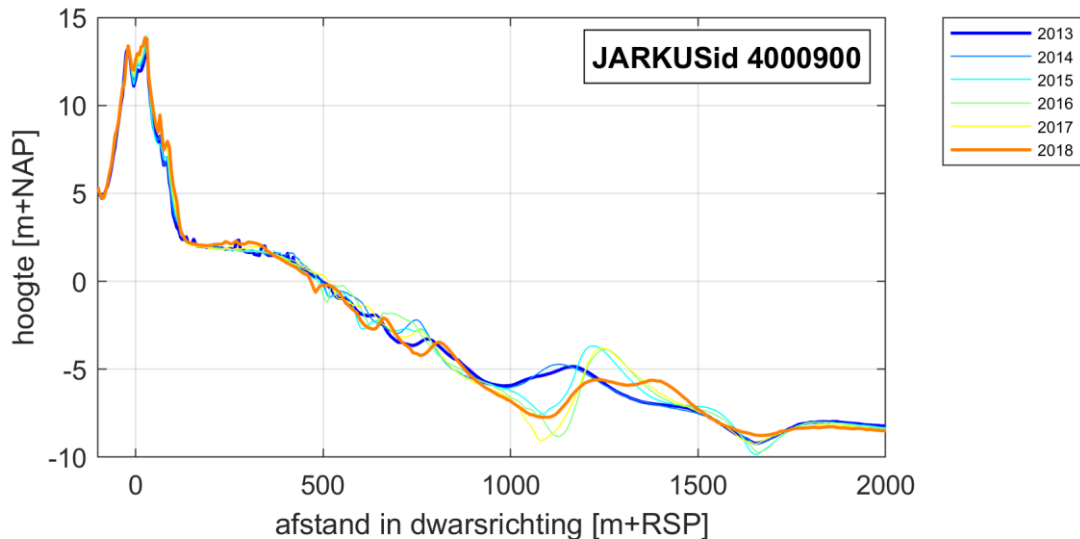
Figuur 4.7 JARKUS-raai 4000400 voor de periode 2013-2018.



Figuur 4.8 JARKUS-raai 4000700 voor de periode 2013-2018 met ingezoomd profiel in box.

Eilandkust

Raai 900 in Figuur 4.9 laat zien dat de duin in hoogte is toegenomen (ongeveer een meter) en zich ook in zeewaartse richting heeft uitgebouwd (5-10 meter). De strandbreedte is redelijk stabiel en de Brekerbank verplaatst zich over het algemeen in zeewaartse richting.



Figuur 4.9 JARKUS-raai 4000900 voor de periode 2013-2018.

Voor extra JARKUS raaien zie Appendix C. Tevens zijn er nog extra kustindicatoren bekeken zoals de gemiddelde hoog- en laagwaterstand, de duinvoet en de strandbreedte. De patronen hiervan zijn overeenkomstig met wat hier geschetst is, zie Appendix D.

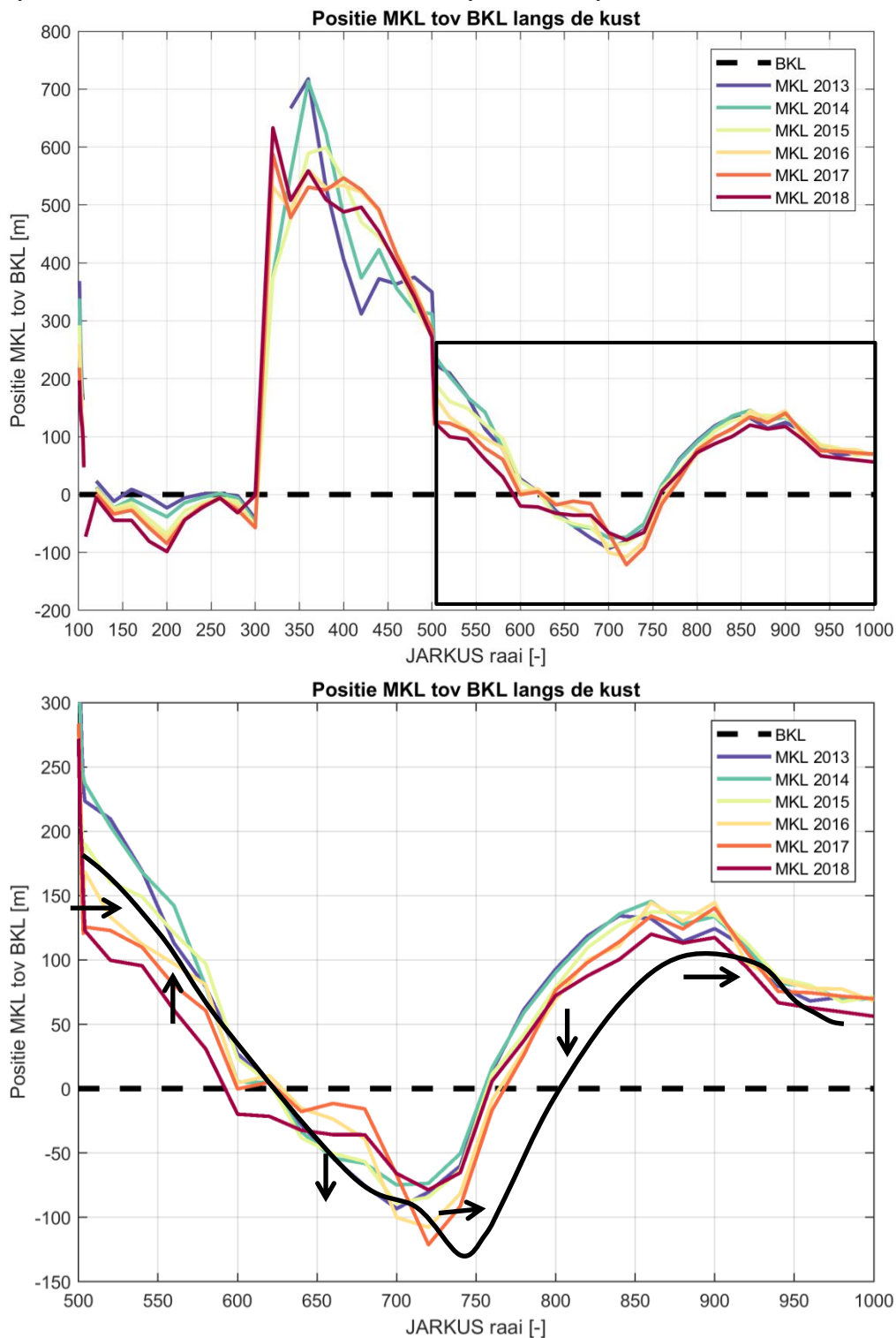
4.2 Toekomstige ontwikkeling

Voor het beschrijven van de toekomstige ontwikkeling van de natuurlijke situatie is op basis van de historische patronen een verwachting uitgesproken voor de komende 5 jaar (paragraaf 4.2.1) en de middellange termijn van 5-20 jaar (paragraaf 4.2.2). Daarnaast wordt het effect op de veiligheid van de primaire waterkering behandeld in paragraaf 4.2.3.

4.2.1 Komende 5 jaar

In Figuur 4.10 wordt de positie van de MKL per raai ten opzichte van de bijbehorende BKL weergegeven. Op basis van deze patronen in de afgelopen 5 jaar kan er een patroon geschetst worden die inzicht geeft in de te verwachten toekomstige natuurlijke ontwikkeling. Naar alle waarschijnlijkheid zal de kust rond raaien 100-300 verder blijven eroderen. Verder is er te zien dat er extra sediment binnen de MKL rekenschijf is gekomen tussen raaien 350-500 door een aanlanding. Deze uitbouw zal net als in afgelopen jaren verder gaan eroderen waarbij vrijgekomen sediment westwaarts en oostwaarts afgezet zal worden. De genoemde aanlanding zorgt ervoor dat er via oostwaarts langstransport extra sediment beschikbaar komt voor raaien 500-600 en de MKL zal zich hier weer iets uitbouwen (zie de indicatieve verwachte positie in de doorgetrokken zwarte lijn in het benedenpaneel van Figuur 4.10). Sediment dat in de laatste jaren vrijgekomen is door de erosie tussen raaien 500-600 is inmiddels oostwaarts afgezet, rond raai 650. Rondom deze raai zal in de komende 5 jaar misschien weer wat erosie plaatsvinden. De sterke overschrijding van de BKL tussen raaien 700-750 zal zich in oostwaartse richting verplaatsen. Hierbij is het mogelijk dat de piek wat smaller maar misschien wel met een sterkere overschrijding wordt. Tussen raaien 750-850 lijkt het beschikbare sediment zich redelijk uniform en constant in oostelijke richting te verplaatsen. Voor een kwantitatieve indicatie van de snelheid van deze beweging naar het

oosten zie paragraaf 4.2.3. Vanaf raai 950 vindt relatief weinig erosie of sedimentatie plaats waarbij er verwacht wordt dat de kust hier redelijk stabiel blijft.



Figuur 4.10 Positie MKL ten opzichte van BKL per raai voor de laatste 5 jaar voor raaien 100-1000 (boven) en ingezoomd in zwarte deelgebied op de raaien 500-1000 (onder). De MKL lijnen zijn bepaald met de rekenschijf van 2018 (Rijkswaterstaat, 2018). Doorgetrokken zwarte lijn is een indicatie van de verwachte positie in 5 jaar op basis van expert judgement (onder), zwarte pijltjes geven de verwachte beweging van de MKL weer.

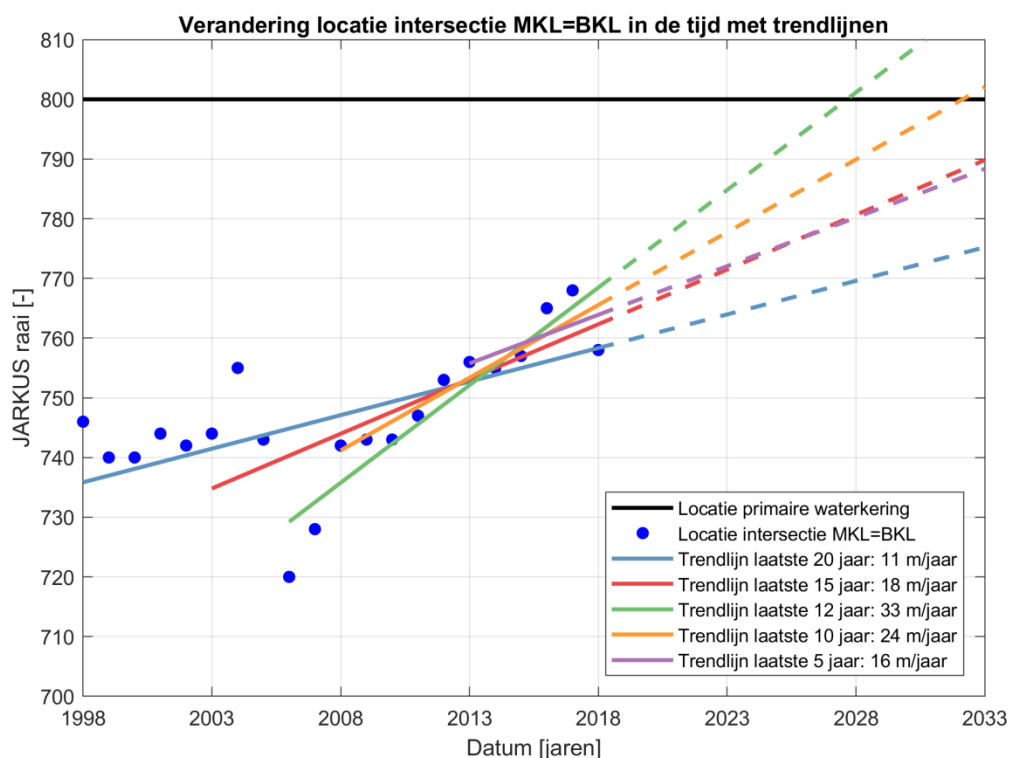
Samenvattend is de verwachting dat in de komende 5 jaar de kop van de Noordsvaarder verder zal eroderen. Er zullen in het aanlandingsgebied cyclisch af en toe (kleine) platen aanlanden die voor wat extra sediment aan de kust zorgen. Tevens is de verwachting dat de structurele erosie zal aanhouden. De lokale overschrijding van de BKL tussen raaien 620-760 zal waarschijnlijk niet door natuurlijke processen opgeheven worden. Wel zorgt het extra sediment van de aanlanding van 2015 dat oostwaarts getransporteerd zal worden ervoor dat de overschrijding in sommige delen weer iets minder wordt. De rand van waar de overschrijding optreedt (nu raai 750) zal zich verder in oostwaartse richting bewegen richting de primaire waterkering (vanaf raai 800). De eilandkust zelf blijft waarschijnlijk stabiel.

4.2.2 Komende 5-20 jaar

Voor langere tijdschalen is het nog lastiger om te voorspellen hoe de erosie zich zal gedragen. Op basis van paragraaf 2.2.2 kan gesteld worden dat de volumes van de Noordwestgronden en Noordergronden afnemen. Het is de verwachting dat de volumes van aanlandende platen zullen afnemen. Hierdoor zal de huidige overschrijding van de BKL rond raaien 620-760 naar verwachting niet natuurlijk opgelost worden. De structurele erosie blijft mogelijk aanhouden en een gevolg hiervan is dat de overschrijding van de BKL zich uit zal breiden. Zolang zich dit niet in de nabijheid van de primaire waterkering bevindt, hoeft deze overschrijding geen onveilige situatie op te leveren.

4.2.3 Veiligheid primaire waterkering

Om te kwantificeren hoe snel de overschrijding van de BKL zich oostwaarts beweegt en mogelijk de veiligheid van de primaire waterkering in het geding zou kunnen brengen, is er gekeken naar hoe het oostelijke punt van de overschrijding zich verplaatst. Hierbij wordt er per jaar bepaald wat het meest oostelijke punt is waar de BKL nog net niet overschreden wordt, wat een indicatie geeft van hoe snel de erosie zich langs de kust verplaatst. Dit kan gezien worden als het punt in Figuur 4.10 waar geldt dat de BKL gelijk is aan de MKL (rond raai 760 in 2018). Als dit voor de laatste 20 jaar bekeken wordt in Figuur 4.11, is te zien dat er een algemene trend in oostelijke richting is (toenemende raainummer). Tussen 1998-2006 was deze trend flauwer dan tussen 2006-2018. Tevens zorgt een extra hoeveelheid sediment in 2006 ten gevolge van een aanlanding ervoor dat deze positie weer in westelijke richting is verschoven.



Figuur 4.11 Locatie intersectie MKL en BKL per jaar (meest oostelijke punt tot waar geen overschrijding plaats vindt). Tevens zijn trendlijnen op basis van de laatste 20/15/12/10/5 jaar weergegeven met snelheden waarmee de erosie zich per jaar oostwaarts verplaatst. 'Locatie primaire waterkering' betekent de zeewaartse grens van de primaire waterkering bij raai 800. Voor de MKL is er gebruik gemaakt van de rekenschijf van 2018 (Rijkswaterstaat, 2018).

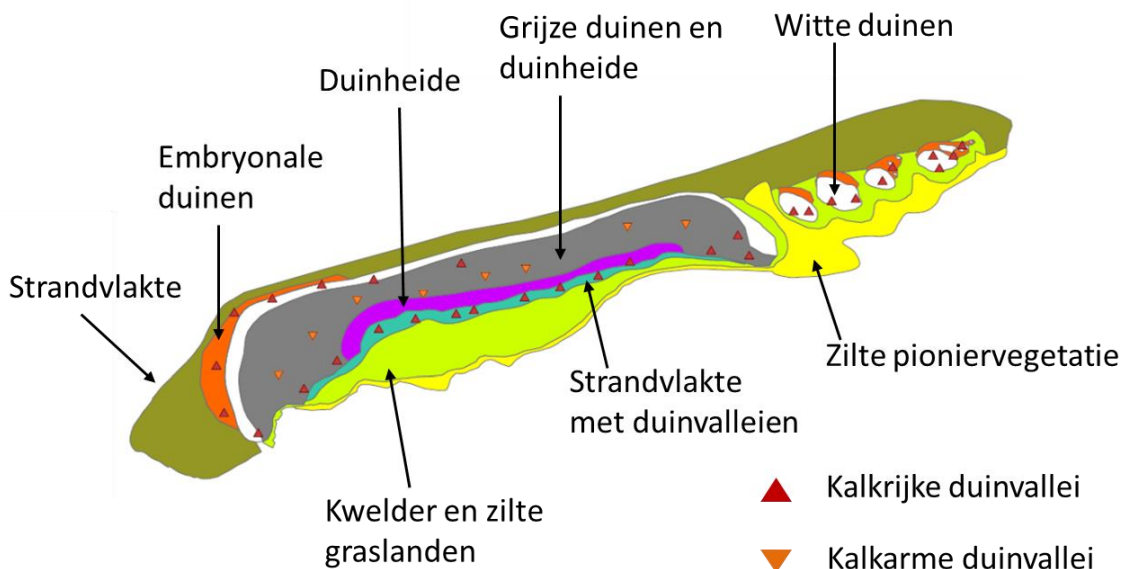
Zoals te zien in Figuur 4.11 is de trend van de oostwaartse verplaatsing van de erosie in de orde grootte van 11-33 meter per jaar. Met deze overwegend lineaire trend zou de overschrijding van de BKL zich rond 2028-2032 voor het eerst in het gebied van de primaire waterkering van raai 800 begeven op basis van de trends van de laatste 10 en 12 jaar. Hierbij geeft de trend op basis van de laatste 12 jaar de meest conservatieve inschatting van 2028. Op basis van de andere trendlijnen is het duidelijk dat er een flinke spreiding is in wanneer de overschrijding van de BKL raai 800 zou kunnen bereiken. Wanneer de flauwste trend van de afgelopen 20 jaar gebruikt wordt duurt het nog 20 jaar langer dan de meest conservatieve trend voordat deze overschrijding plaatsvindt.

Sedimentaanvoer, als gevolg van een aanlanding zoals rond 2006, kan de locatie van het meest oostelijke punt tot waar geen overschrijding plaats vindt deels weer in westwaartse richting verplaatsen maar zal de erosie niet opheffen. Indien er weer extra sedimentaanvoer ten gevolge van een aanlanding plaats zou vinden in de toekomst, kan de erosie weer incidenteel westwaarts opgeschoven worden. Hierdoor zou de genoemde overschrijding ook nog later kunnen plaatsvinden. Hierbij moet ook gesteld worden dat wanneer de overschrijding van de BKL zich uiteindelijk binnen het directe gebied waar de waterkering zich dicht bij de kust ligt zal bevinden, dit niet direct betekend dat de veiligheid van het ook gebied in gevaar is.

5 Ecologie

In dit hoofdstuk worden de ecologische ontwikkelingen van de Noordsvaarder in kaart gebracht. Er is daarvoor gekeken naar de aanwezigheid en verspreiding vegetatietypen en Natura2000 habitats. Het hoofdstuk geeft informatie over de historische ontwikkelingen van habitats en de toekomstperspectieven, gebaseerd op beheerplannen. Ook wordt de invloed van verstuiwing op vegetatie besproken. Daarnaast is het bodemleven op de vooroever in kaart gebracht op basis van gegevens uit de nationale schelpdiersurvey (WOT).

5.1 Vegetatie



Figuur 5.1 Natuurlijke positie van habitattypen op Terschelling, die aangeeft waar habitattypen de komende 50-100 jaar van nature optimaal (kunnen) voorkomen.

West Terschelling bestaat uit verschillende habitattypen, zoals schematisch weergegeven in Figuur 5.1. De aanvoer van zand zorgt voor het ontstaan van embryonale duinen, met daarachter witte en grijze duinen. Het relatief kalkrijke zand van de Noordsvaarder zorgt voor kalkrijke duinvalleien. Hieronder worden de habitattypen van de Kop van de Noordsvaarder (deelgebied A), de Kroonpolders (deelgebied B en C) en het westen van de centrale eilandkust (deelgebied D) beschreven (Figuur 1.1). Waar mogelijk wordt de historische ecologische ontwikkeling (ca. 100 jaar) van de gebieden beschreven, en wordt een uitspraak gedaan over de te verwachten toekomstige ontwikkelingen (op basis van beheerplannen). Tenzij anders aangegeven, is de informatie afkomstig uit het Natura-2000 beheerplan (Meijer, et al., 2016).

5.1.1 Noordsvaarder Habitattypen

De Noordsvaarder is een uitgestrekte zandplaat die al bijna anderhalve eeuw geleden met het eiland is vergroeid en waar zich sindsdien geleidelijk een mozaïek van vegetatietypen

heeft gevormd (Figuur 5.2). De eilandkop herbergt vrijwel alle habitattypen die langs een natuurlijke gradiënt van buiten naar binnen als volgt terug te vinden. Op zeer kleine afstand zijn allerlei overgangen aan te treffen, in samenhang met hoogteverschillen van slechts enkele centimeters. Vooral in de randzone van de Noordsvaarder komt het habitatype Vochtige Duinvalleien (H2190) voor met begroeiingen van het Caricion davallianae (Galigaanmoerassen), waarbij zowel het Parnassio-Juncetum atricapilli als het Junco baltici-Schoenetum nigricantis goed zijn vertegenwoordigd (Alterra, n.d.). Hier vinden we grote aantallen Groenknolorchis, Parnassia (Parnassia palustris) en - iets meer landinwaarts - Vleeskleurige orchis (Dactylorhiza incarnata).

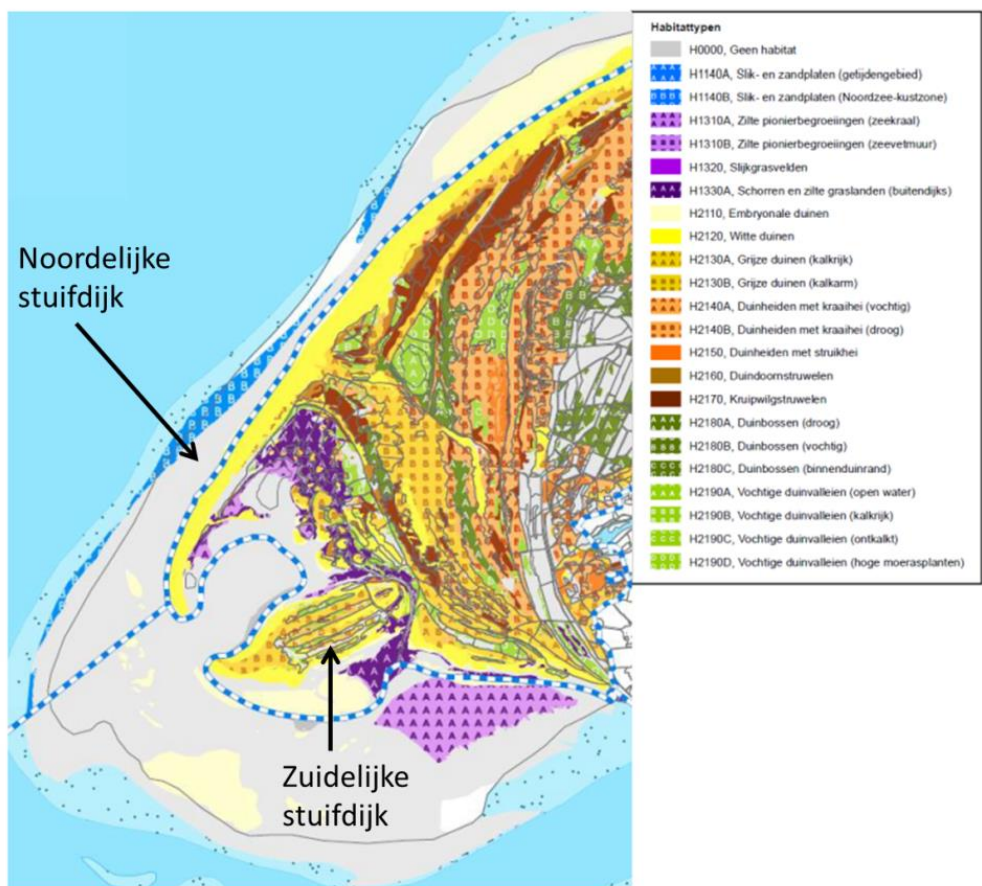
Historische ontwikkelingen

In de loop van de jaren 50 zijn op de Noordsvaarder twee stuifdijken aangelegd (Figuur 5.2). Het deel tussen de stuifdijken is tot 1995 gebruikt door de luchtmacht. Het oostelijke deel hiervan is inmiddels begroeid geraakt met zeebies en riet en in het noorden komen dichte duindoornstruwelen voor. Tussen deze struwelen en de noordelijke stuifdijk zijn inmiddels plekken met vochtige kalkrijke duinvalleivegetaties ontstaan. Het westelijke deel van de vlakte is nog maar spaarzaam begroeid. In deze valleien treedt echter sterke vergrassing op waardoor de aantallen groenknolorchis sterk teruglopen.

Sinds de jaren '90 wordt de noordelijke stuifdijk tussen paal 1 en 7 steeds dynamischer. Er zijn kerven ontstaan, en het zand wordt honderden meters landinwaarts gestoven. Deze verandering is tot stand gekomen nadat de Noordsvaarder geen functie meer heeft als militair oefenterrein en het kustbeheer door RWS is veranderd van vastleggen naar bescherming van de basiskustlijn.

Toekomstperspectief

Op de onbegroeide zandplaat kunnen embryonale duinen (H2110), deze kunnen tijdelijk of voor een langere duur zijn (bij continue aanvoer van zand en uitblijven van storm). Bij het uitblijven van onderhoud zullen ook in de toekomst secundaire verstuivingen blijven voorkomen. Ook voor de diverse brakke pioniervegetaties aan de voet van de duinen op en rond de voormalige schietrange zijn de perspectieven voor langere termijn gunstig. Ten minste, zolang overstuiving en overstroming voor de natuurlijke afbraak- en opbouwprocessen blijven zorgen.



Figuur 5.2 Overzicht habitattypen op de eilandkop (Meijer, et al., 2016)

5.1.2 Kroonpolders

Habitattypen

Noordoost van de Noordsvaarder bevinden zich de Kroonpolders. De ooit soortenrijke vochtige duinvalleien (H2190B) in het ingedijkte gebied zijn nu begroeid met struwelen van kruipwilg (H2170), duindoorn en vochtige heide (H2140A) (Figuur 5.4). Recente en geplande ingrepen moeten de soortenrijkdom herstellen.

Historische ontwikkelingen

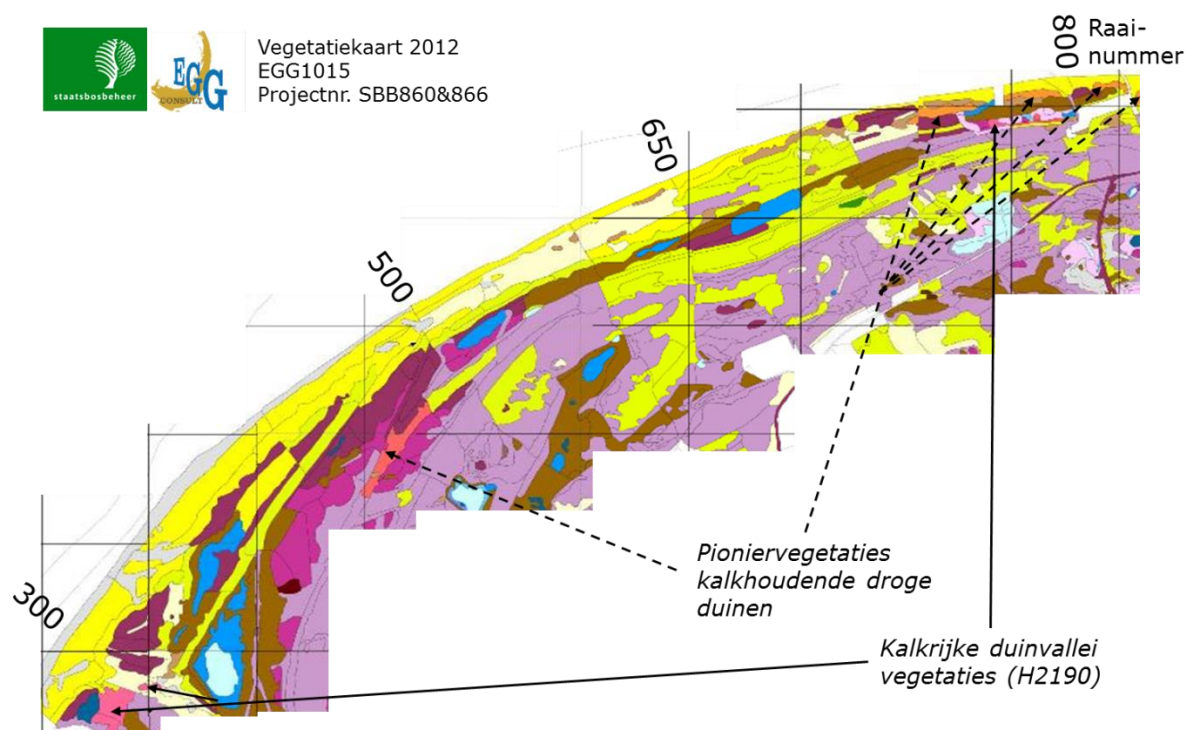
In de kroonpolders werden tussen 1921 een samenhangend stelsel van stuifdijken aangelegd. De valleien van de Kroonpolders zijn permanent nat en staan in de winter grotendeels onder water. In de jaren na de inpoldering kwamen hier tijdelijk soortenrijke natte tot vochtige pioniervegetatie van habitattype vochtige duinvalleien (H2190B) voor. Vanwege het ontbreken van dynamiek in de latere stadia zijn de meeste van de polders echter goeddeels dichtgegroeid met kruipwilgstruweel (H2170), riet (H2190D) en wilgenbos (H2180B). Aan de buitenzijde van de noordelijkste dijk van de Kroonpolders tussen raai 600 en de reddingsbootschuur bij raai 800 zijn omstreeks de 30-er jaren een paar smalle primaire duinvalleien ontstaan. Via een parnassia - duinrus gemeenschap heeft zich hier geleidelijk een knobbiesvegetatie gevestigd (H2190B). Tegenwoordig zijn alleen heel lokaal aan de rand van de vallei nog enige fragmenten van deze knobbiesvegetatie terug te vinden. Grote delen zijn met vochtige heide (H2140A) en met kruipwilg begroeid geraakt. Hier en daar komen nog restanten met zeebies voor, duidend op de voormalige zilte invloed.




































Toekomstperspectief

Om de eens zo diverse vegetaties te herstellen, is het zuidwestelijk deel van de direct aan de reddingsbootschuur grenzende vallei recent geplagd. Hier hervestigen zich weer een aantal soorten van kalkrijke duinvalleien, o.a. parnassia. In het duingebied zijn als onderdeel van Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) maatregelen genomen om verstuiwing te stimuleren. Door de bovenste begroeide bodemlaag te verwijderen, ontstaat een stuifkuil. Bij harde wind waait het zand de duinen in, waardoor het gebied een 'verjongingskuur' krijgt en soorten als het duinviooltje en zandblauwtje weer een kans krijgen. Ter hoogte van raai 500 en 700 worden door Staatsbosbeheer bovendien kerven aangebracht in de zeereep, ook in het kader van de PAS. Deze kerven kunnen op termijn mogelijk 'gevoed' worden door aanlandende zandplaten, wat vervolgens kan doorstuiven naar het achterliggende duingebied.



Figure 5.3 Stuifkuilen, aangelegd als PAS-maatregel in de Kroonpolders (foto Stéphanie IJff)



vegetatielegenda Terschelling	
	Open water (50A)
	Watervegetaties (01-, 04-, 05-serie, 06-1, 06B1-1)
	Rietvegetaties (08-serie excl. 08C-serie, 09-1)
	Grote zeggenvegetaties (08C-serie, 08-12)
	Kleine zeggenvegetaties(09A1-1 tot 3, 09A-1, 09A-4 tot 5, 09A-10, 09A3-1 tot 3, 09-2 tot 5)
	Oeverkruid-en duinvallei-pioniervvegetaties (06C-serie, 06-3 tot 4, 08A-1, 09C3-1 tot 5, 09A-6 tot 9, 28-serie)
	Kalkrijke duinvalleivegetaties (09-6 tot 8, 09C3-6 tot 13, 09C3-16, 09C-1 tot 4)
	Natte duinheiden (11A-1, 11A3-1 tot 2, 11A3-5, 11-1 tot 3, 19-1, 09-10 tot 14, 11A1-1 tot 2)
	Pionierheiden met Trekrus (11A3-3 tot 4, 20A3-1)
	Heischrale graslanden en Duinblauwgraslanden (16A1-1, 16A-1 tot 2, 19A2-1, 19-2 tot 3, 19A-1 tot 3)
	Droge duinheiden (20A-serie, 19-4, 20-1 tot 2)
	Pioniervvegetaties van kalkarme droge duinen (14-1, 14A2-1 tot 5, 14-2, 14C1-1)
	Pioniervvegetaties van kalkhoudende droge duinen (14B1-serie)
	Duingraslanden (14D-serie, 14-3 tot 5)
	Duinruigte (14-6 tot 13, 09-15)
	Zeereepvegetaties en Vloedmerkenvegetaties (22-serie, 23-serie)
	Kweldervegetaties (26-serie)
	Overstromingsgaslanden (12B-serie)
	Natte schraallanden (16B3-1, 16B3-2, 09C3-14, 12B-5)
	Matig voedselrijke graslanden (16-1 tot 4, 16-6, 19-6, 4-14, 14-25)
	Kamgrasweilanden en Glanshaverhooilanden (16C4-1, 16-7 tot 8, 12B-6, 16C-1 tot 2)
	Voedselrijke graslanden (16-9 tot 14)
	Cultuurgraslanden (16-15 tot 16)
	Vochtige struwelen (36A-serie, 09-21)
	Kruipwilgstruwelen (09-16 tot 19, 09C3-15, 14-15, 19-7, 20-3, 14-16)
	Droge duinstruwelen (14-19, 37-1 37B1-serie, 37B1 tot 4)
	Overige struwelen (37-2, 37-4, 14-20, 14-26, 35A-1, 42A-1 tot 2, 16-17)
	Vochtig tot natte bossen (37B-5, 40A-1, 37B-6, 39A2-1, 39A-1 tot 3)
	Naaldbossen (41A-serie)
	Bossen van voedselarme gronden (37B-7, 42A1-1 tot 3, 42A-3 tot 6, 42-1 tot 3)
	Bossen van voedselrijke gronden (43B-1, 43-1 tot 3, 43A-1)
	Overige, veelal aangeplante struwelen en bossen (40A-2, 37B-8 tot 9, 43A-2, 42A-7, 42-4 tot 6)
	Ruigtes(16A-3, 09-20, 16-18 tot 21, 16A-4, 08C-4, 14-21 tot 24, 31-1, 33-1, 34A1-1, 30-1, 29A2-1,12A1-1)
	Overig (50C-serie)
	Niet gekarteerd (300-1 tot 6)

Figuur 5.4 Vegetatiekaart Kroonpolders 2012 (bron: Staatsbosbeheer)

5.1.3 De centrale eilandkust

Habitattypen

De centrale eilandkust (ten oosten van strandpaal 8) bestaat uit oude en ontkalkte duinen die kunnen worden gezien als een zeer groot, secundair verstoven duinboogcomplex. In het duingebied zijn natte duinvalleien, die met slenken en sloten met elkaar in verbinding staan. Ter hoogte van de reddingsbrigade (paal 8) liggen doorstroomvalleien die permanent water bevatten. Ten oosten hiervan liggen hogere (en dus drogere) valleien.

Historische ontwikkeling

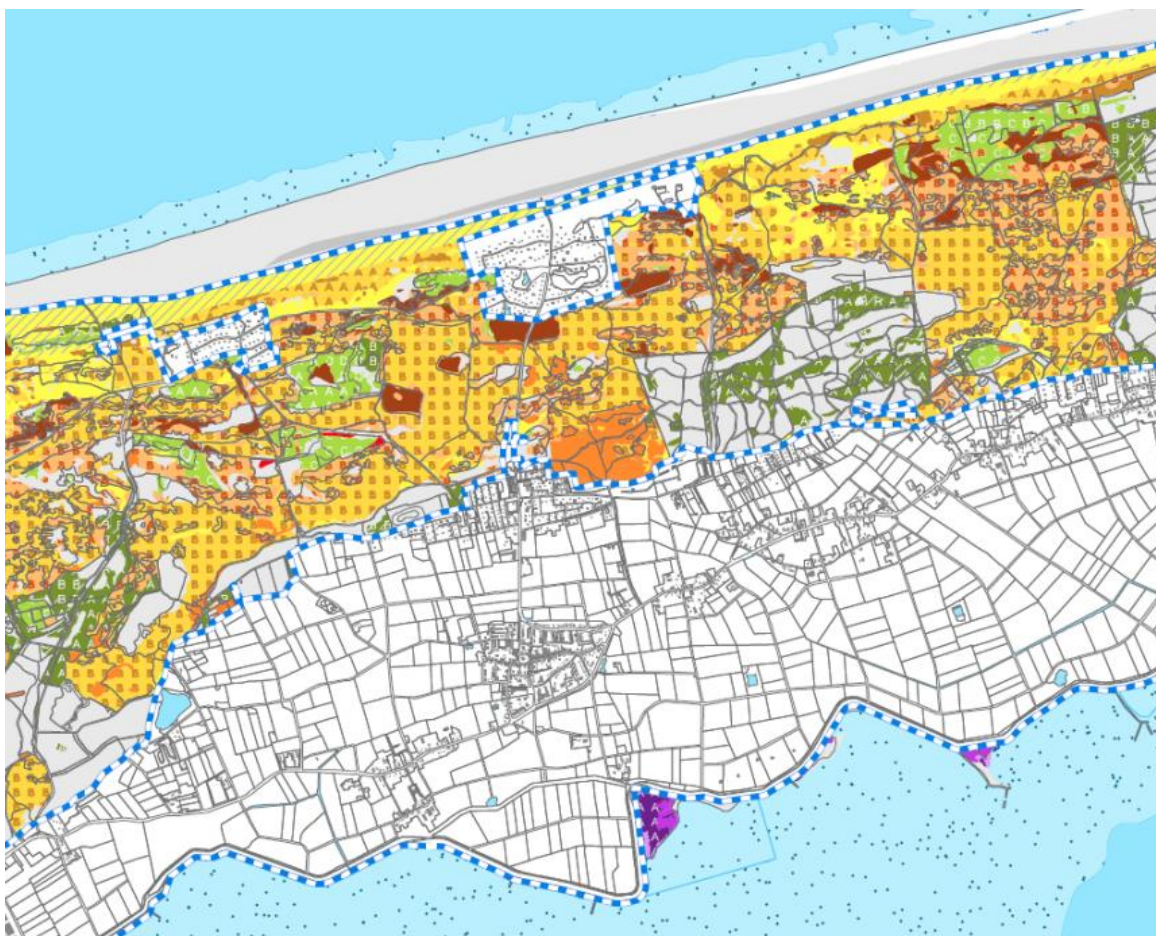
Het duingebied van de centrale eilandkust is al eeuwenlang een aaneengesloten eenheid (gebaseerd op kaarten die terug gaan tot de 16^e eeuw). De invloed van de hoeveelheden stuifzand uit het westen is hier minder groot en de omstandigheden zijn daardoor minder dynamisch dan bijv. de Noordsvaarder. Er zijn wel vormveranderingen opgetreden als gevolg van aangroei en afslag langs de Noordzeekust en (secundaire) verstuivingen in het duingebied zelf.

In het verleden zijn de duinen vastgelegd om overstuiving op akkers en bebouwing zo veel mogelijk te voorkomen. De valleien zelf zijn in het begin van de 20^e eeuw ontgint en tot de jaren 50/60 als landbouwgrond gebruikt. Als gevolg van de bemesting en ontwatering had de vegetatie in de jaren 70 een verruigd en verdroogd karakter gekregen. Dit proces werd versterkt door een toename aan stikstofdepositie en broedkolonies van meeuwen. Inmiddels zijn de valleien allemaal opgeschoond door de bovenste grondlaag te verwijderen (plaggen) in de periode 2009-2011. Daarna zijn allerlei plantensoorten van zwak gebufferde

duinwateren teruggekomen. Van de draadgentiaal en dwerggrus zaten er nog zaden in de bodem, soorten die zich massaal weer hebben gevestigd.

Toekomstperspectief

In 2009 is de waterhuishouding verbeterd, waardoor het grondwaterregime is hersteld en permanent open wateren zullen ontstaan met kranswieren en fonteinkruiden, verlandingzones met veelstengelige waterbies en randzones met galigaan. Door natuurlijke schommelingen in de waterstand kunnen pioniervegetaties van zwak gebufferde wateren zoals waterpunge, waterpostelein, pilvaren en biesvaren weer meer voorkomen. Om verruiging tegen te gaan, is ook begrazing onderdeel van het beheer in dit gebied.



Habitattypen

	H0000, Geen habitat		H2150, Duinheiden met struikhei
	H1140A, Slik- en zandplaten (getijdengebied)		H2160, Duindoornstruwelen
	H1140B, Slik- en zandplaten (Noordzee-kustzone)		H2170, Kruiwilgstruwelen
	H1310A, Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)		H2180A, Duinbossen (droog)
	H1310B, Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)		H2180B, Duinbossen (vochtig)
	H1320, Slijkgrasvelden		H2180C, Duinbossen (binnenduinrand)
	H1330A, Schorren en zilte graslanden (buitendijks)		H2190A, Vochtige duinvalleien (open water)
	H2110, Embryonale duinen		H2190B, Vochtige duinvalleien (kalkrijk)
	H2120, Witte duinen		H2190C, Vochtige duinvalleien (ontkalkt)
	H2130A, Grijs duinen (kalkrijk)		H2190D, Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)
	H2130B, Grijs duinen (kalkarm)		H6230, Heischrale graslanden
	H2140A, Duinheiden met kraaihei (vochtig)		H6410, Blauwgraslanden
	H2140B, Duinheiden met kraaihei (droog)		

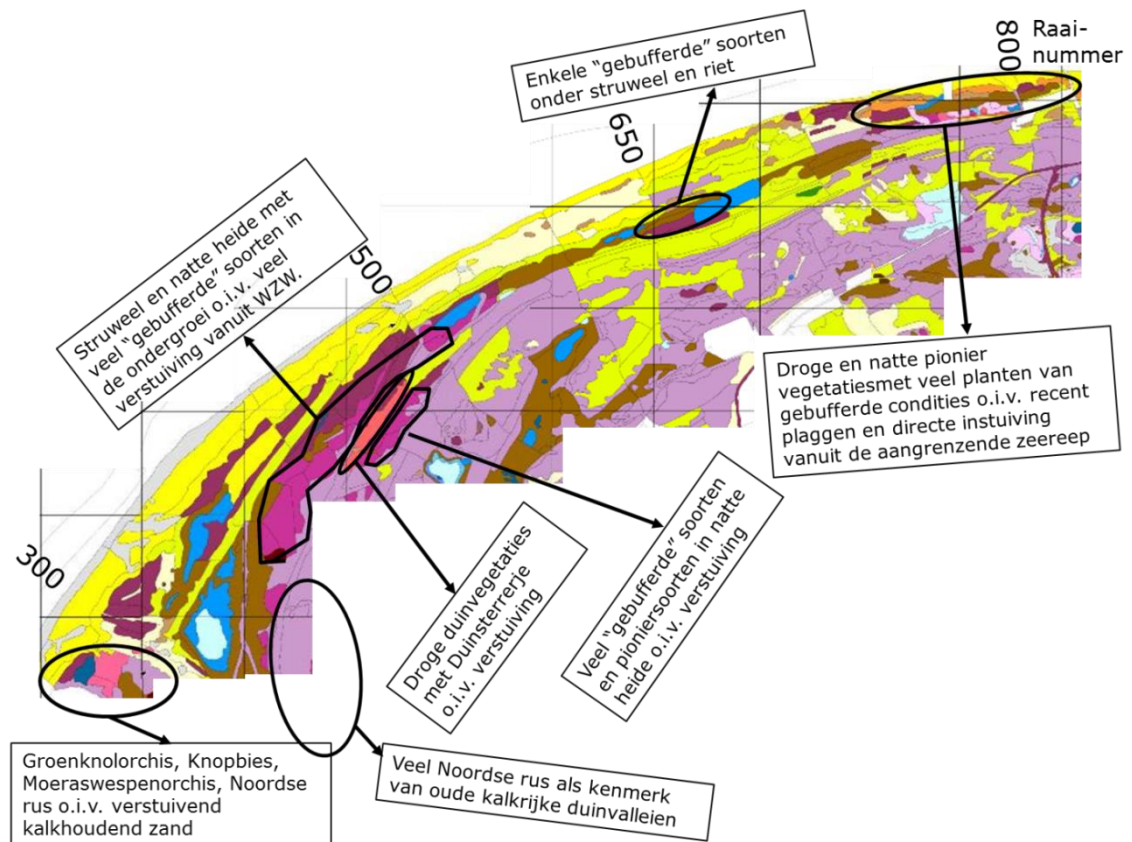
Figure 5.5 Habitattypen in het duingebied van de (westelijke) centrale eilandkust (Meijer, et al., 2016)

5.1.4 Invloed van verstuiving

Kustvegetatie staat onder invloed van de natuurlijke dynamiek van de kust, zoals erosie en het instuiven van zand. Omdat suppleties invloed kunnen hebben op de mate van dynamiek en op de geochemische eigenschappen van het zand (zie Hoofdstuk 6), wordt hier de invloed van verstuiving op habitats beschreven. Instuivend zand kan verschillende effecten hebben op verschillende habitats:

1. Geen dynamiek; successie schrijdt voort wat leidt tot vergrassing en verzuivering (zoals kruiwilg- of duindoornstruweel);
2. Het inwaaien van zand door natuurlijke dynamiek zorgt voor 'verjonging' van de vegetatie. Grassen sterven af, maar zeldzamere soorten zoals het duinviooltje en het zandblauwtje komen juist terug.
3. Geochemie: de samenstelling van het inwaaiende zand kan anders zijn dan het aanwezige zand, bijvoorbeeld het kalkgehalte. Zeker de oude duingebieden van Terschelling (centrale eilandkust) zijn grotendeels ontkalkt. Het inwaaien van kalkrijk zand zorgt daar samen met het kalkhoudende grondwater voor het tegengaan van verzuring.

Het zand dat afkomstig is van de Noordsvaarder heeft een mediane korrelgrootte van ongeveer 200 µm (ENW, 2007) en opvallend kalkarm (zelfs in jonge delen met een kalkgehalte van minder dan 0,3 %). Toch wijzen de begroeiingen van het *Caricion davallianae* op neutrale tot kalkrijke omstandigheden (Alterra, n.d.). Blijkbaar wordt de hoge pH in de toplaag in stand gehouden door overstuiving, waarbij het kalkgehalte van het zand niet hoog hoeft te zijn. De zuurgraad wordt ook beïnvloed door zeewater en in de meest oostelijke delen van het gebied calciumrijk grondwater (ook wel buffering genoemd). Figuur 5.6 toont de locaties die wijzen op invloed van deze buffering, meestal onder invloed van verstuiving maar meer landinwaarts ook door aanvoer van gebufferd grondwater. Het gaat meestal om planten die in de ondergroei van vrij ruige begroeiingen voorkomen behalve in het uiterste oosten, de Reddingbootvallei waar pluggen de oorzaak is van het voorkomen van de indicatieve soorten.



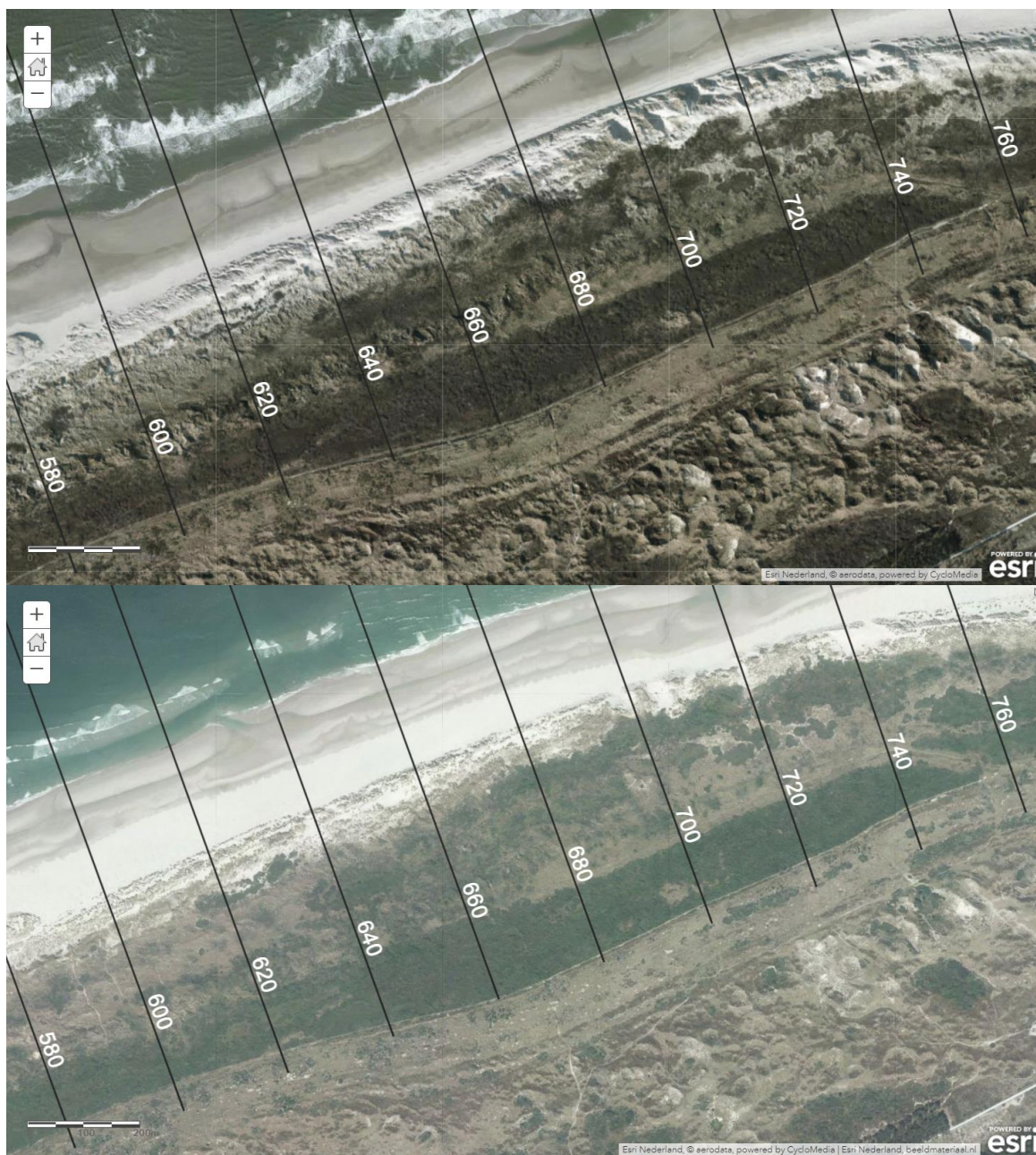
Figuur 5.6 Overzicht vegetatietypen en soorten die wijzen op invloed van buffering (kaart: Staatsbosbeheer 2012)

Luchtfoto's laten zien dat de mate van verstuiving tussen 2012 (jaar van de vegetatiekartering) en 2017 op de meeste plekken is afgenomen (zie Appendix F voor een overzicht van de luchtfoto's). Ter hoogte van raai 300 was in 2012 nog duidelijk de aanwezigheid van stuifzand over de zeereep heen zichtbaar (Figuur 5.7). Dit komt overeen met de vegetatietypen die indicatief zijn voor buffering van de zuurgraad van de bodem, zoals de groenknolorchis en knobbies (Figuur 5.6). In 2017 is nog steeds overpoedering aanwezig (zichtbaar als de lichtere kleur), maar minder dan in 2012. In dezelfde figuur zijn de twee grote kerven te zien die zich tussen de raaien 320 en 380 ontwikkelen. Hoewel de zeereep eromheen tussen 2012 en 2017 langzaam begroeid raakt, breiden de kerven zich uit door de zeereep heen. Het is aannemelijk dat de kerven een belangrijke bron van zand vormen voor de vegetatie áchter de stuifdijk.



Figuur 5.7 Luchtfoto van Terschelling raai 300 t/m 400 in 2012 (boven) en 2017 (onder)

Ook meer richting het oosten komen meer typen vegetatie voor die het goed doen bij overstuiving van zand. Figuur 5.8 toont het overgangsgebied waar door erosie spontaan kerven zijn ontstaan in de zeereep. Deze kerven dragen bij aan de overstuiving van vegetatie achter de zeereep, zoals de 'gebufferde soorten' ter hoogte van raai 650 (zie ook Figuur 5.6). Erosie kan dus een positief effect hebben op de dynamiek van de zeereep, die over het algemeen positief beoordeeld wordt vanuit een ecologisch perspectief.



Figuur 5.8 Luchtfoto van Terschelling raai 580 t/m 760 in 2012 (boven) en 2017 (onder)

5.2 Vooroever

Om een uitspraak te kunnen doen over de aanwezigheid van schelpdierbanken voor de kust van Terschelling, is gekeken naar de resultaten van de WOT Schelpdierenmonitoring in de Nederlandse kustzone. In Figuur 5.9 zijn de verschillende monsterpunten uit de WOT voor de kust van Terschelling weergegeven. De gegevens van de 6 punten het dichtst bij het gebied van de Noordsvaarder (raai 540 t/m 820) zijn gebruikt om Tabel 5.1 te maken. In deze tabel zijn voor de jaren 2011-2017 alle gegevens bij elkaar opgeteld en gemiddeld over de jaren.

Historische ontwikkeling

Vanaf 2011 komen schelpdiersoorten in verschillende samenstellingen en in variërende dichtheden voor, op de vooroever ter hoogte van de Noordsvaarder. In 2017 is een sterke toename te zien van *Ensis sp.* (mesheften) en *Spisula subtruncata* (halfgeknotte

strandschelp). Ook in vergelijking met andere Waddeneilanden en de gehele Nederlandse kustzone, zijn in het gebied voor de Noordsvaarder in 2017 relatief veel schelpdieren gevonden. Samen met een aantal andere locaties is de kust ten Noordwesten van Terschelling als ‘hotspot’ te benoemen voor de soorten *Ensis sp.* (mesheften), *Spisula subtruncata* (halfgeknotte strandschelp), *Lutraria* (otterschelpen) en *Donax Vittatus* (zaagjes). Zie Appendix G voor kaarten met dichtheden en biomassa van schelpdieren langs de Nederlandse kust.

Hierbij kan worden aangemerkt dat de hoge aantallen *Ensis* vooral worden gevonden op locatie 34468, het monsterpunt het verst van het gebied van de Noordsvaarder. De hoge aantallen *Spisula subtruncata* zijn vooral gevonden op locatie 19704, het monsterpunt het dichtst bij het gebied van de Noordsvaarder. Een compleet overzicht van de aantallen per monsterpunt is weergegeven in de tabel in Appendix G.

Toekomstperspectief

Ensis en *Spisula subtruncata* vormen een belangrijke voedselbron voor duikeenden zoals de zwarte zee-eend. Uit vogeltellingen blijkt dat deze soort dan ook in hoge aantallen voor de kust van de Noordsvaarder wordt waargenomen (Figure 5.10). Zoals Tabel 5.1 laat zien, is soortsaamenstelling en dichtheid van schelpdieren op de vooroever echter erg variabel. Dit is afhankelijk van onder andere broedval, en laat zich moeilijk voorspellen. Daarom is het niet mogelijk om een uitspraak te doen over de te verwachten ontwikkeling van de schelpdierbanken en het belang van de vooroever als voedselbron voor duikeenden in de komende jaren.



Figuur 5.9 Geselecteerde monsterpunten uit de WOT, weergegeven op een luchtfoto van het gebied en de jarkusraaien.

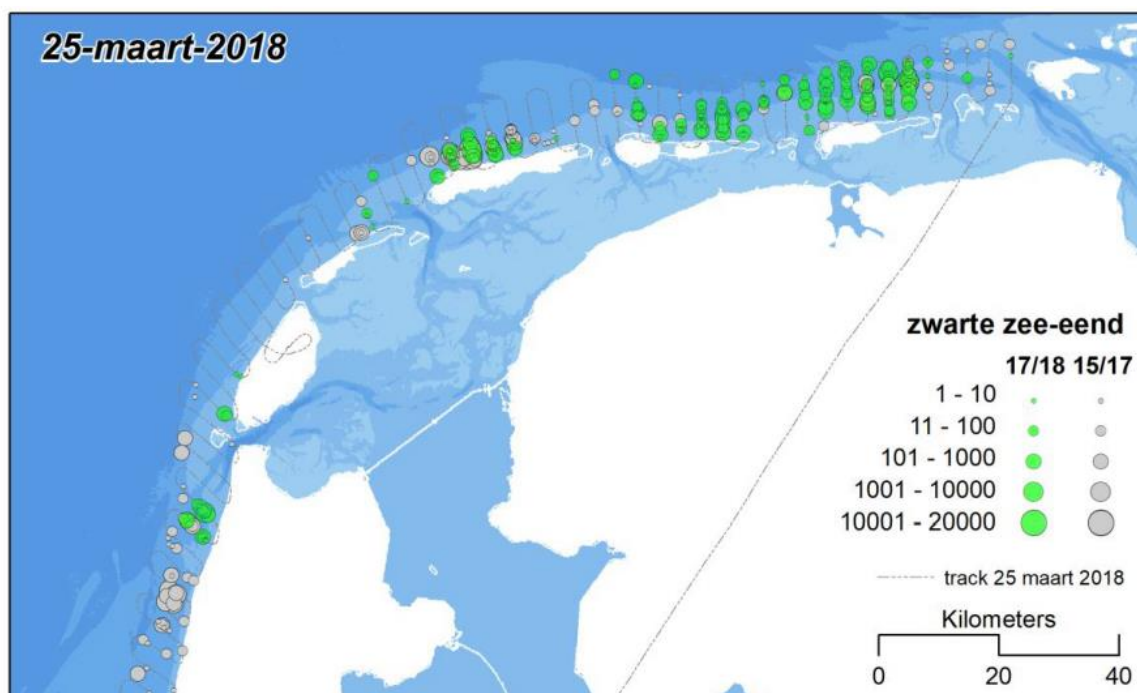


Figure 5.10 Verspreiding zwarte zee-eend in maart 2018 (Van der Zee, et al., 2018)

Tabel 5.1: overzicht van de gemiddelde aantallen in de jaren 2011-2017 op de 6 dichtstbijzijnde monsterlocaties.

Soort	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Gemiddelde
Spisula subtruncata	0.35	0.51	0.29	2.10	1.71	1.26	341.43	76.79
Ensis	12.66	12.08	7.23	58.55	105.10	14.23	110.75	45.57
Donax vittatus	1.77	0.42	0.12	0.60	0.93	6.28	6.65	2.84
Limecola balthica							2.58	2.58
Macoma balthica	1.30	2.57	1.97	2.62	3.17	2.01		2.25
Ophiura ophiura	0.58	0.89	0.51	0.29	6.27	0.28	2.47	1.93
Tellina fabula	0.62	1.65	1.40	0.95	0.20	0.71		1.07
Fabulina fabula							1.03	1.03
Diogenes pugilator	0.07	0.87	0.47	1.24	1.15	1.33	0.24	0.97
Lutraria lutraria					0.58	0.53	2.47	0.94
Tellina tenuis	1.37	1.73	0.46	0.32	0.35	0.40		0.70
Ophiura albida					0.23		0.93	0.58
Macomangulus tenuis							0.54	0.54
Chamelea striatula	0.37	0.15	0.12	0.24	0.38	0.66	1.06	0.46
Spisula elliptica	0.10	0.08	0.07	0.59	0.57	0.11	0.16	0.35
Pagurus bernhardus	0.11		0.16	0.12	0.20	0.21	0.89	0.32
Liocarcinus holsatus	0.26	0.19	0.39	0.32	0.22	0.32	0.47	0.31
Corystes cassivelaunus		0.08			0.29	0.19	0.38	0.28
Abra alba	0.46	0.22	0.43	0.09				0.25
Spisula solida	0.11						0.33	0.22
Actiniaria	0.09	0.11	0.11	0.13	0.16	0.14	0.45	0.19
Cancer pagurus				0.16	0.13			0.14

Liocarcinus navigator			0.12			0.12
Nassarius nitidus			0.12			0.12
Carcinus maenas	0.07		0.10		0.17	0.11
Asterias rubens	0.11		0.07	0.10	0.11	0.10
Euspira catena						0.08
Pinnotheres pisum		0.08				0.08
Portumnus latipes		0.07				0.07
Thia scutellata	0.07					0.07
Astropecten irregularis					0.07	0.07

6 Effecten van suppleties

6.1 Effecten op morfologische ontwikkelingen en veiligheid

De effecten van een mogelijke suppletie op de morfologische ontwikkelingen en veiligheid zullen kwalitatief beschreven worden voor een vooroeversuppletie in paragraaf 6.1.1 en een strandsuppletie in paragraaf 6.1.2. De invloed op het systeem in algemene zin wordt behandeld in paragraaf 6.1.3.

6.1.1 Vooroeversuppletie

Er is door Rijkswaterstaat aangegeven dat er een ontwerpvoorstel ligt voor een vooroeversuppletie die 1,4 miljoen m³ betreft. Hierbij wordt er uitgegaan van het suppleren tussen de raaien 540-820 met een minimaal ontwerpvolume van 500 m³/m. Dit kan geïnterpreteerd worden als het uitbouwen van kust over een actieve hoogte van 5 meter in zeewaartse richting met 100 meter. Dit is groter dan de gemiddelde overschrijding van de MKL tussen de raaien 540-820 (zie Figuur 4.10). Dit zou betekenen dat wanneer na plaatsing van de suppletie het gesuppleerde sediment zich binnen de MKL rekenschijf bevindt, de huidige overschrijding van de BKL opgeheven moet zijn. Het zal daardoor nog langer duren dan de genoemde tijdschaal van 10 jaar voordat de BKL vanaf raai 800 voor het eerst overschreden zal worden. Het op de vooroever aangebrachte sediment zal hierbij middels natuurlijke processen richting en langs de kust verspreid worden. Hierdoor moet een vooroeversuppletie ook langer van tevoren aangelegd worden, omdat het tijd kost voordat voldoende sediment zich naar de kust bewogen heeft.

Er kan hierbij nog een onderscheid gemaakt worden tussen een vooroeversuppletie hoger in het profiel (binnen de MKL-schijf, rond NAP-3m) en een diepe vooroeversuppletie bij de brekerbank. Rond de -5m +NAP contour is een duidelijke brekerbank te onderscheiden (bijvoorbeeld raai 700 in Figuur 4.8). Zeewaarts hiervan zou een vooroeversuppletie geplaatst kunnen worden. Het is op basis van de JARKUS-profielen niet eenduidig vast te stellen hoe snel sediment nu naar de kust beweegt, aangezien er fluctuaties in de bewegingen van de brekerbanken zitten (Figuur 4.8). Rond raai 700 beweegt de brekerbank zich in het algemeen licht in landwaartse richting, het door brekerbanken gedomineerde gebied begint verder naar het oosten.

6.1.2 Strandsuppletie

Bij het toepassen van een strandsuppletie kan het suppleren uitgevoerd worden over beperktere breedte vanwege de meer directe sedimenttoevoer op het strand. Op basis van Figuur 4.10 zou de suppletie aangelegd kunnen worden rond raaien 620-770 waar de BKL lokaal wordt overschreden. Daarmee kan de overschrijding van de BKL op die locatie worden gecompenseerd. Doorgaans wordt hierbij uitgegaan van een ontwerpvolume in de orde grootte van 250 m³/m. Hiermee zou het aan te brengen volume kleiner zijn dan voor een vooroeversuppletie. De kosten zijn per volume wel hoger voor een strand- dan een vooroeversuppletie. Met het toepassen van de strandsuppletie wordt de strandbreedte en de duinvoet op een directe manier versterkt en kun je dit dus beter sturen.

6.1.3 Invloed op morfologisch systeem

Over het algemeen zorgt het uitvoeren van een suppletie er in dit gebied voor dat de huidige overschrijding van de BKL wordt gecompenseerd en het daarbij langer duurt voordat de erosie het invloedsgebied van de primaire waterkering zal bereiken. Het precieze gedrag van de erosiepatronen in het gebied na een suppletie is moeilijk te voorspellen, aangezien er geen eerdere suppleties in dit gebied uitgevoerd zijn. De verwachting is dat de huidige lineaire erosieve trend niet gecompenseerd zal worden. Wel zal het veel langer duren (ruim

meer dan de minimaal genoemde 10 jaar) voordat de zeewaartse grens van de BKL vanaf raai 800 overschreden wordt. Hierdoor is er meer zekerheid over de veiligheid van de waterkering. Omdat de overschrijding van de BKL door erosie pas over minimaal 10 jaar verwacht wordt, ligt een vooroeversuppletie meer voor de hand dan een strandsuppletie. Er is voldoende tijd beschikbaar voor de landwaartse migratie van het aangebrachte sediment door natuurlijke processen. Wel zorgen deze natuurlijke processen voor meer onzekerheid over waar het sediment zal aanlanden. Een ander voordeel van een vooroeversuppletie is dat er doorgaans meer sediment gesuppleerd kan worden, waardoor er extra sediment beschikbaar komt voor het volledige morfologische systeem. Voor de keuze tussen een vooroeversuppletie hoger of dieper in het profiel aanbrengen kan de afweging gemaakt worden hoe snel het gewenst is om de overschrijding van de MKL te compenseren. Bij het aanbrengen hoger in het profiel zal het minder lang duren voordat het sediment binnen de rekenschijf valt (of deels gelijk al). Bij het dieper aanbrengen zal het misschien enkele jaren duren voordat het sediment zich op die positie bevindt. Gezien de genoemde tijdschaal van minimaal 10 jaar hoeft dit geen probleem te zijn.

6.2 Effecten op ecologische ontwikkeling

6.2.1 Vegetatie

Uit lopend onderzoek in het project Natuurlijk Veilig (www.natuurlijkveilig.nl) blijkt dat op locaties waar gesuppleerd wordt de doorstuiving achter de zeereep vaker toeneemt dan op locaties waar niet gesuppleerd wordt (Deltares, 2018). Er is hierbij geen verschil gevonden tussen vooroeversuppleties en strandsuppleties. Deze resultaten zijn gebaseerd op trends langs de gehele Nederlandse kust. Het hoeft dus niet zo te zijn dat op Terschelling hetzelfde effect optreedt.

Voor het doorstuiven van zand is de aanwezigheid van kerven in de zeereep een belangrijke factor. Op de luchtfoto's is te zien dat de zeereep langzaam begroeid raait, waardoor meer zand wordt ingevangen en de mate van overstuiving afneemt. Het aanleggen en open houden van kerven in de zeereep is daarom belangrijk om overstuiving in het gebied achter de zeereep mogelijk te maken. De beheerplannen voor het aanleggen van kerven als PAS-maatregel sluiten daar goed bij aan.

Naast de mate van overstuiving, kan ook de geochemische samenstelling van het suppletiezand bepalend zijn voor het effect op de vegetatie. Vooral het kalkgehalte is hierbij van belang om te onderzoeken. De kalkgehalten in de zandwingebieden variëren per boring en per diepte van kalkloos tot kalkrijk (zie Appendix H). Het is daardoor niet mogelijk een uitspraak te doen over het te verwachten kalkgehalte van het suppletiezand. De aanwezigheid van de huidige vegetatietypen wijzen er echter op dat ook lage kalkgehalten in het stuifzand voor voldoende buffering zorgen, zeker in combinatie met kalkrijk grondwater. Het kalkgehalte van het suppletiezand is in dit geval dus geen bepalende factor in de afweging om al dan niet te suppleren.

6.2.2 Strand en vooroever

De soorten die op het strand voorkomen zijn voornamelijk wormen en kreeftachtige. Deze dieren zijn bestand tegen de dynamische omstandigheden op het strand: door invloed van het getij moeten ze veel kunnen verdragen. Op het natte strand komen minder bodemdieren voor dan op de vooroever. Toch vormen ze een belangrijke voedselbron voor verschillende kustvogels. Voor Ameland is het effect van een vooroever- en strandsuppletie op het strandleven onderzocht (Deltares, 2016). Direct na de strandsuppletie werden er minder bodemdieren gevonden op de suppletielocatie, en hadden de bodemdieren een lagere biomassa. De dominante gemshoornworm (*Scolelepis squamata*) nam in aantallen af en een

aantal soorten verdween compleet na de suppletie. Na een periode van anderhalf jaar was de gemiddelde biomassa van het bodemleven grotendeels hersteld. Omdat het bodemleven op het strand in staat is zich te handhaven in een dynamische omgeving, lijkt het effect van een enkele suppletie niet direct een grote impact teweeg te brengen.

Bij het uitvoeren van een vooroeversuppletie worden de schelpdierbanken bedolven met zand. Uit de resultaten van Ecologisch Gericht Suppleren (nu Natuurlijk Veilig) blijkt dat in Ameland en Schiermonnikoog (referentiegebied) de bodemdiergemeenschap op de vooroever twee tot drie jaar nodig had om zich te herstellen (Deltares, 2016). Hoewel het jaar na de vooroeversuppletie de gemiddelde biomassa van het bodemleven was afgenomen, nam deze het tweede jaar weer toe (bijvoorbeeld voor het nonnetje en borstelwormen). De hersteltijd verschilt wel per soort, en deze is vaak niet precies bekend (zoals bij de spisula). De vooroever voor de Noordsvaarder is rijk aan schelpdierbanken, die een belangrijke voedselbron vormen voor schelpdiereters zoals zwarte zee-eenden. De onverwachte ontwikkeling van spisulabanken langs de Nederlandse kust is een onzekerheid. Het is niet bekend hoe lang en onder welke omstandigheden deze schelpdierbanken zich kunnen handhaven. Door een vooroeversuppletie uit te voeren is er tijdelijk minder voedsel beschikbaar voor deze soorten. De hoge aantallen schelpdieren komen voor de kust van de Noordsvaarder op een aantal specifieke locaties voor (Tabel 5.1). Mogelijk kan hier met de locatie van de suppletie rekening worden gehouden, door te suppleren op een plek met een lage dichtheid aan schelpdieren.

Hoewel bij zowel de strandsuppletie en de vooroeversuppletie in Ameland de biomassa zich binnen een paar jaar heeft hersteld, geven deze resultaten geen uitsluitsel over de verwachte effecten rondom de Noordsvaarder. Zowel bij een strand- als vooroeversuppletie wordt het bodemleven bedolven met zand, dat effect heeft op de voedselbeschikbaarheid. Hoe lang dit effect duurt, is afhankelijk van de hersteltijd en deze is voor de Noordsvaarder niet bekend. Er kan daarom geen voorkeur worden uitgesproken voor een strand- dan wel vooroeversuppletie, in relatie tot de effecten op het bodemleven.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het gebied rondom de Noordsvaarder is een zeer dynamisch gebied wat gedomineerd wordt door de geul 'de Boomkensdiep' en het aanlanden van platen vanuit de Noordwestgronden en de Noordergronden. Op de tijdschaal van enkele jaren landen er kleinere platen aan en in de tijdschaal van decennia een grote plaat (de laatste grote plaat is aangeland in 1970). Het aanlanden van platen zorgt voor extra sedimenttoevoer naar de kust, die in de opeenvolgende jaren wordt geërodeerd en langs de kust verspreid. Hierdoor is er sprake van structurele erosie aan de kust rondom de kop van de Noordsvaarder en in de overgang van de Noordsvaarder naar de eilandkust. Op de termijn van decennia nemen de volumes van de Noordwestgronden en Noordergronden af, waardoor er de verwachting heerst dat de volumes van aanlandende platen ook zullen afnemen. Daarom is het niet aannemelijk dat de lokale overschrijding van de BKL tussen raaien 620-760 in de toekomst door natuurlijke processen opgeheven zal worden. Hierbij verschuift de locatie van de overschrijding zich oostwaarts met een snelheid in de orde grootte van 11-33 meter per jaar. Het is de verwachting dat de overschrijding rond 2028-2032 voor het eerst het gebied waar de primaire waterkering direct aan de kust ligt (vanaf raai 800) kan bereiken volgens de conservatievere trendlijnen. Wanneer dit moment precies bereikt wordt, hangt mede af van natuurlijke processen (b.v. volume en locatie van aanlandende platen, jaarlijks golfklimaat etc.). Deze overschrijding betekent niet direct dat de veiligheid vanaf dat moment in het geding is, maar alleen dat de zeewaartse grens van de BKL op die locatie vanaf dat moment overschreden wordt.

Door het uitvoeren van een vooroever- dan wel strandsuppletie wordt ervoor gezorgd dat de huidige overschrijding van de BKL wordt gecompenseerd. De verwachting is dat ook dat na het aanbrengen van een suppletie de erosieve trend zich voort zal zetten (nadat de MKL zeewaarts wordt 'teruggezet'). Wel zal het veel langer duren (ruim meer dan de genoemde 10 jaar voor de natuurlijke situatie) voordat de zeewaartse grens van de primaire waterkering overschreden kan worden. De keuze voor een vooroever- dan wel strandsuppletie heeft voor het compenseren van de MKL ten behoeve van de veiligheid geen directe voorkeur omdat de tijdschalen lang genoeg zijn voor sediment van een vooroeversuppletie om de kust te bereiken. Wel komt er bij een vooroeversuppletie meer sediment beschikbaar voor het systeem op grotere schaal. Door natuurlijke processen beweegt dit volume zich naar de kust. Bij het uitvoeren van een vooroeversuppletie hoger in het profiel zal het aangebrachte sediment zich sneller binnen de MKL rekenschijf binnen dan wanneer dit dieper rondom de brekerbank wordt aangelegd.

De vegetatie van de Noordsvaarder en de Kroonpolders kenmerkt zich door de aanwezigheid van vochtige duinvalleivegetaties (H2190) en pioniervegetaties. Wegens het ontbreken van dynamiek zijn veel van deze valleien echter dichtgegroeid met kruipwilgstruweel (H2170), riet (H2190D) en wilgenbos (H2180B). Beheermaatregelen zoals plaggen en het aanbrengen van kerven in de zeereep hebben de afgelopen jaren een deel van de vegetatie kunnen herstellen. Het doorstuiven van zand door de zeereep heeft een positief effect op het herstellen en behouden van de bijzondere vegetatietypen in de Noordsvaarder.

Op de vooroever bij de Noordsvaarder zijn hoge concentraties schelpdieren gemeten. In vergelijking met andere gebieden langs de Nederlandse kust is de kust ten Noordwesten van Terschelling een 'hotspot' te noemen voor de soorten *Ensis sp.* (mesheften), *Spisula subtruncata* (halfgeknotte strandschelp), *Lutraria* (otterschelpen) en *Donax Vittatus* (zaagjes)

Deze soorten vormen een belangrijke voedselbron voor duikeenden, zoals de beschermde zwarte zee-eend.

Uit lopend onderzoek blijkt dat op locaties waar gesuppleerd wordt de doorstuiving achter de zeereep vaker toeneemt dan op locaties waar niet gesuppleerd wordt. Suppleren kan dus positief uitpakken voor doorstuiving in de Noordsvaarder. Hiervoor is het wel nodig dat het beheer zich richt op het dynamiseren van de zeereep, bijvoorbeeld door kerven aan te leggen (zoals het nu al in het beheerplan is opgenomen). Ter hoogte van het overgangsgebied (rondom raai 700) zijn spontaan kerven gevormd. Voor de natuurwaarden is het daarom waardevol om de erosie in dit gebied ook in de toekomst toe te laten. Dit is mogelijk wanneer de suppletie oostelijk van dit 'erosiegebied' wordt uitgevoerd (vanaf raai 800), zodat de overschrijding van de BKL alleen ter hoogte van de primaire waterkering wordt gecompenseerd en het huidige erosiegebied zo min mogelijk beïnvloed wordt. Wat het kalkgehalte van het suppletiezand zal zijn is niet te zeggen, omdat het kalkgehalte in de wingebieden varieert. Ook lage kalkgehalten kunnen nog bijdragen aan het bufferen van de pH in de bodem en het in stand houden van bijzondere vegetaties, in combinatie met het calciumrijke grondwater.

Een vooroeversuppletie kan onder andere negatieve gevolgen hebben voor de schelpdierbanken op die plek. De wateren boven Terschelling zijn landelijk gezien zeer belangrijk voor zwarte zee-eenden. Omdat deze schelpdierbanken (op de juiste diepte en met de juiste soorten) een belangrijke voedselbron vormen voor zwarte zee-eenden, is het aan te raden hier in de besluitvorming rekening mee te houden. Bijvoorbeeld door het effect van een vooroeversuppletie in relatie met een strandsuppletie op de ecologische waarde van het gebied te onderzoeken of door de vooroeversuppletie uit te voeren op een locatie met relatief lage schelpdierdichtheden.

7.2 Aanbevelingen

Dit rapport dient ter informatie aan Rijkswaterstaat om een beslissing te kunnen nemen over het óf, waar (welke raaien / locaties), hoe (strand of vooroever) en wanneer (in de tijd) we suppleren. De conclusies en aanbevelingen uit dit onderzoek kunnen ter onderbouwing van een eventuele suppletie dienen.

Vanuit morfologisch oogpunt speelt de invloed op het grotere systeem een rol in de afweging tussen de twee typen suppleties. Tevens wordt vanuit Staatsbosbeheer de wens geuit om het overgangsgebied ten westen van raai 800 zo min mogelijk te beïnvloeden. De erosie in dit gebied heeft meerwaarde voor de natuurlijke ontwikkeling, en zo lang de veiligheid niet in het geding is, wordt aanbevolen om dit in de toekomst zo te laten. De geochemie en korrelgrootte van de suppletie heeft geen verwacht effect op de vegetatie, daar hoeft dus geen rekening mee te worden gehouden bij het selecteren van een zandwinlocatie. Bij de afweging tussen een vooroeversuppletie en strandsuppletie, speelt de invloed op ecologie wel een rol. Er is nog weinig bekend over de hersteltijd van bodemdiersoorten na een suppletie, wat onder andere invloed heeft op vogels waarvoor het een belangrijke voedselbron is. Omdat de schelpdierdichtheden op de vooroever zo hoog zijn, is de verwachting dat de ecologische impact op duikeenden (waaronder de zwarte zee-eend) groot is. Wij raden aan om deze effecten mee te nemen in de afweging tussen het al dan niet suppleren, het type suppletie, de locatie en de timing.

Als er een suppletie uitgevoerd gaat worden, raden wij aan om dit als kans te grijpen om de invloed van suppleties op de ecologie verder te onderzoeken (duin en eventueelstrand/voroever). De Noordsvaarder kan dan als onderzoekslocatie worden geselecteerd binnen bijvoorbeeld het onderzoek Natuurlijk Veilig en/of onderzoeksactiviteiten

van OBN (Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit, www.natuurkennis.nl/). Voor de effecten van een suppletie op de morfologie zou nog beter gekeken kunnen worden naar de effectiviteit op de andere Waddeneilanden. Dat kan ook een indicatie geven hoe snel een vooroeversuppletie effect zal hebben. Tevens zou er een kustlijn model studie gedaan kunnen worden om het effect van een suppletie op de toekomstige ontwikkeling van de kustlijn beter te voorspellen. Hierbij kan een indicatie voor de groottes van de west- en oostwaartse langstransporten in de huidige en toekomstige situatie bekeken worden.

8 Referenties

Alterra, sd *Natura 2000-gebieden: Duinen Terschelling*. [Online] Available at: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=1&id=n2k4>

Anon., 2018. *kustlijnkaart*. [Online] Available at: <https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/apps/pdokkaart/applicaties/kustlijnkaart/?zoom=7&lat=472792.08&lon=92753.64&layers=0BTTT> [Geopend 16 10 2018].

Blauw, M. et al., 2017. *Rapportage geologisch onderzoek zoekgebieden Noordzee zandwinning*, Delft: Deltares.

CycloMedia, 2012. *Luchtfoto 2012 - 50 cm*. [Online] Available at: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=e418fcf93771471796e5fd37cae78162> [Geopend 14 01 2019].

Deltares, 2016. *Ecologisch gericht suppleren 2009-2015 - Brochure Strand*

Deltares, 2016. *Ecologisch Gericht Suppleren 2009-2015 - Brochure Vooroever*

Deltares, 2019. *Data Deltares - Rijkswaterstaat*. [Online] Available at: <http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/>

Elias, E., van der Spek, A., Wang, Z. & 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*.

Elias, E., Vergouwen, S. & van Oeveren, C., 2015. *Beheerbibliotheek Terschelling. Beschrijving van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud kust. Rapport 1220040-002*, sl: Deltares.

ENW, 2007. *Technisch rapport duinafslag*, sl: sn

Hoekstra, P. et al., 1994. *The NOURTEC experiment of Terschelling: process-oriented monitoring of a shoreface nourishment (1993-1996)*. New York, ASCE, pp. 402-416.

IJff, S., Smits, B. & Arens, B., 2018. *Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen Tussenrapportage 2018*, Delft: Deltares.

Kadaster, 2017. *Luchtfoto 2017 - 25cm*. [Online] Available at: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=5c621f71daf34eef8d2973caa94a7b3b> [Geopend 14 01 2019].

Karssemeijer, P., 2016. *Ligging primaire zandige waterkering Terschelling - Integraal ontwerprapport - Documentcode: RSLV-R-030*, sl: LievenseCSO.

Meijer, J., Vriens, G. & Lammerts, E. J., 2016. *Natura 2000-beheerplan Terschelling (4)*.

Rijkswaterstaat, 2018. *Kustlijnkaarten 2019*, sl: Ministerie van infrastructuur en Milieu, december 2018.

Rijkswaterstaat, 2018. *MKL-BKL data Rijkswaterstaat Toetsing najaar 2018 _Noordsvaarder*.

Rijkswaterstaat, 2018. *Start versterking primaire waterkering op Terschelling*. [Online] Available at: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2018/10/start-versterking-primaire-waterkering-op-terschelling.aspx> [Geopend 14 01 2019].

Rijkswaterstaat, 2019. *Primaire Waterkeringen NN*. [Online] Available at: <https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/ext/geoweb51/index.html?viewer=PrimaireKeringenNN>

Synbiosis-Alterra, sd *Natura 2000-gebieden - Duinen Terschelling*. [Online] Available at: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=1&id=n2k4&topic=introductie> [Geopend 14 01 2019].

Troost, K. et al., 2017. *Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone in 2017*, IJmuiden: Stichting Wageningen Research Centrum voor Visserijonderzoek (CVO).

Van der Zee, E., Van Horssen, P., De Jong, R. & Dirksen, S., 2018. *PMR NCV monitoring zwarte zee-eenden Voordelta. Jaarrapport 2017-2018*. , Feanwalden: Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek.

9 Appendices

Appendix A: Locatie vooreroeversuppletie 1993

Appendix B: MKL langs de kust tov constante referentie

Appendix C: Overzicht JARKUS-raaien

Appendix D: Overige kustindicatoren

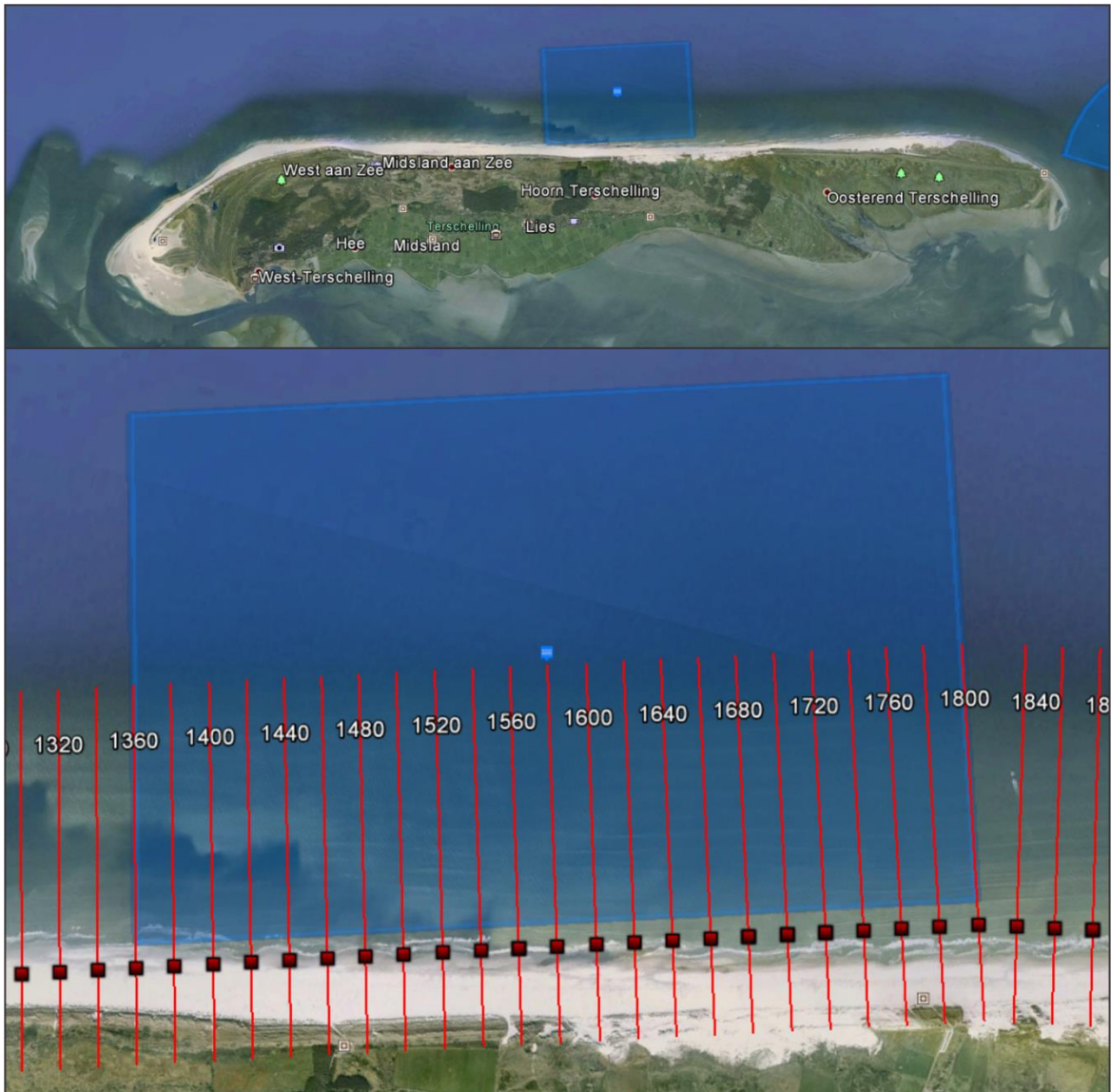
Appendix E: Habitattypen west Terschelling

Appendix F: Luchtfoto's Noordsvaarder 2012 en 2017

Appendix G: WOT resultaten schelpdieren Nederlandse kustzone 2017

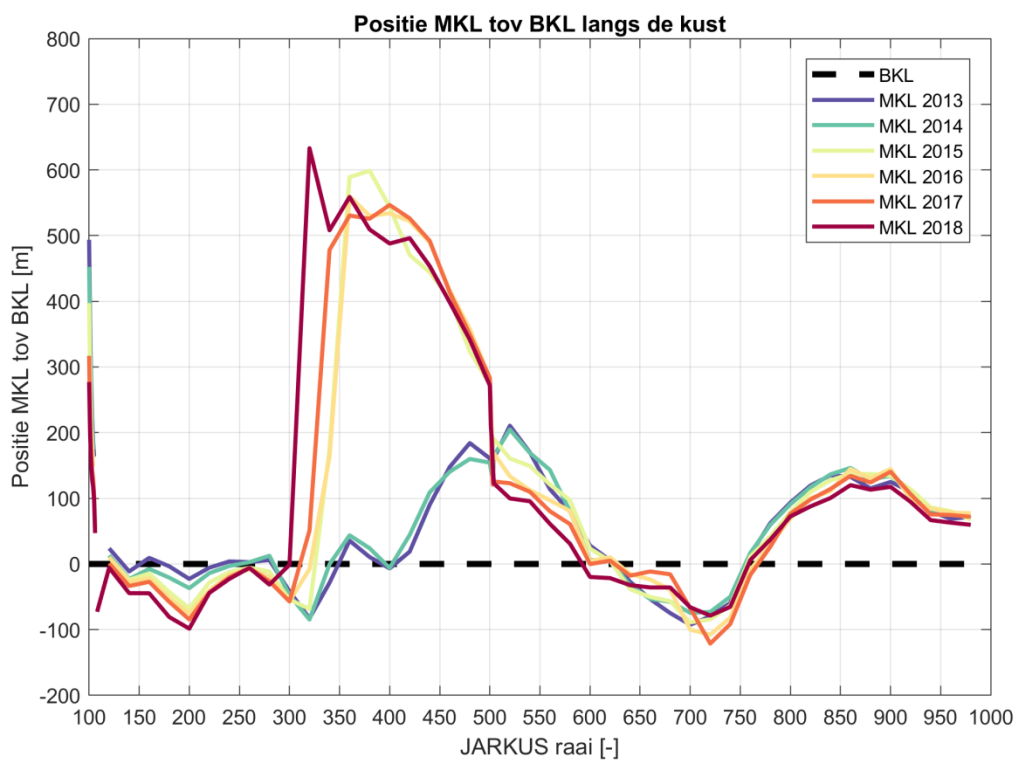
Appendix H: Boorbeschrijvingen zoekgebieden suppletiezand

A Appendix; Locatie vooroeversuppletie 1993



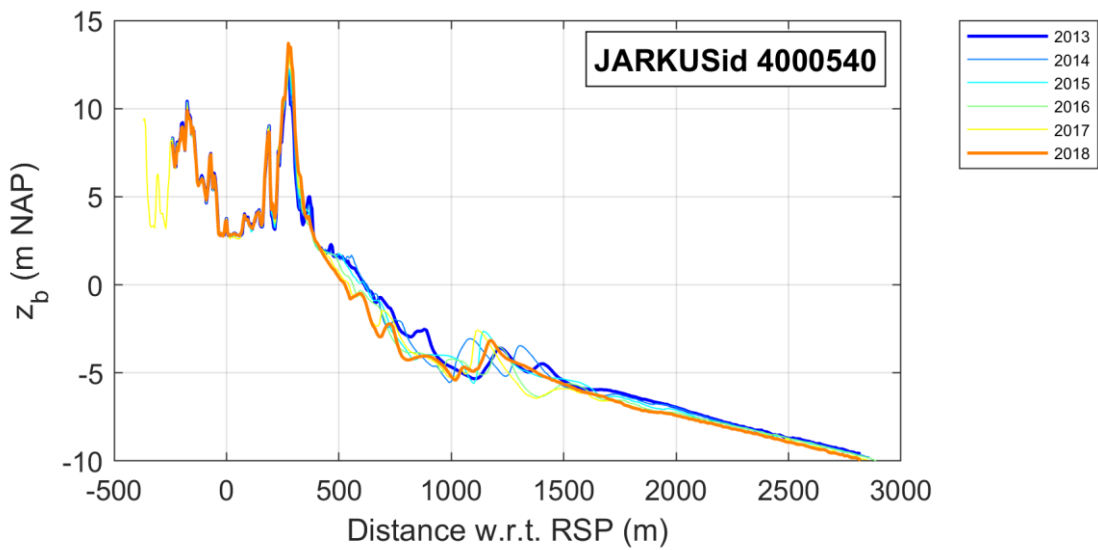
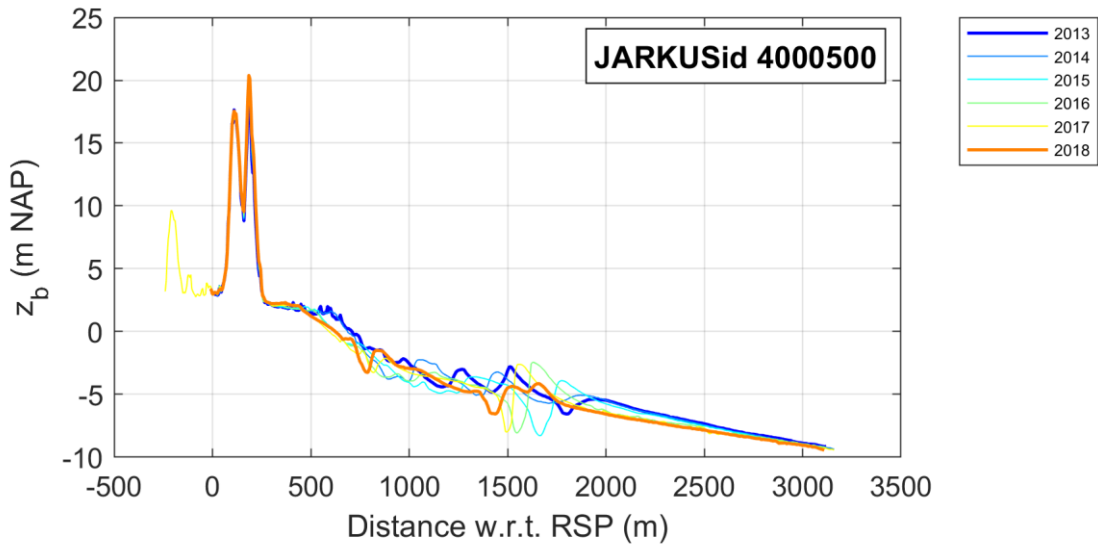
Figuur 9.1 Locatie van de vooroeversuppletie in 1993. (Elias, et al., 2015)

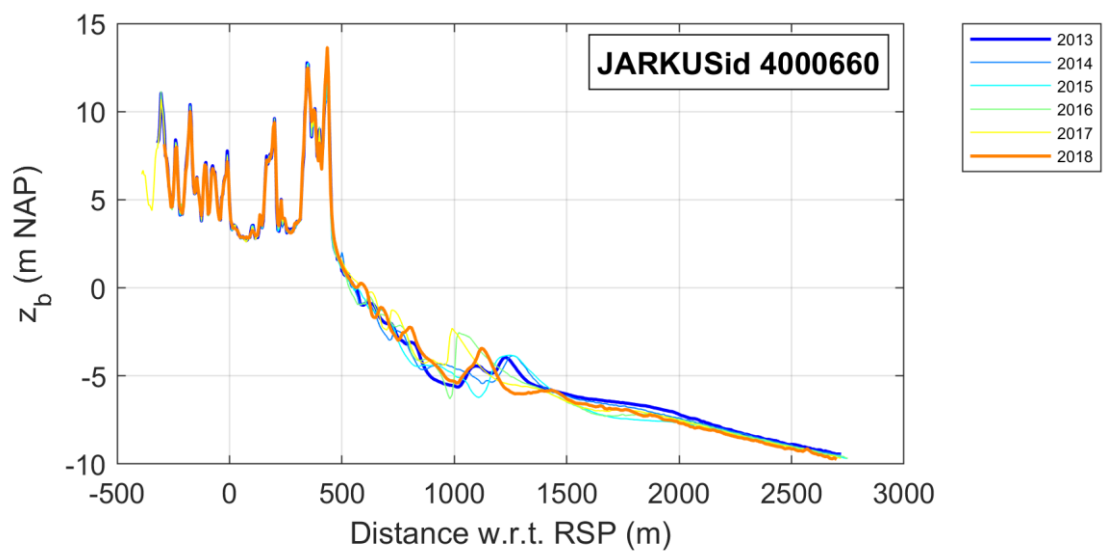
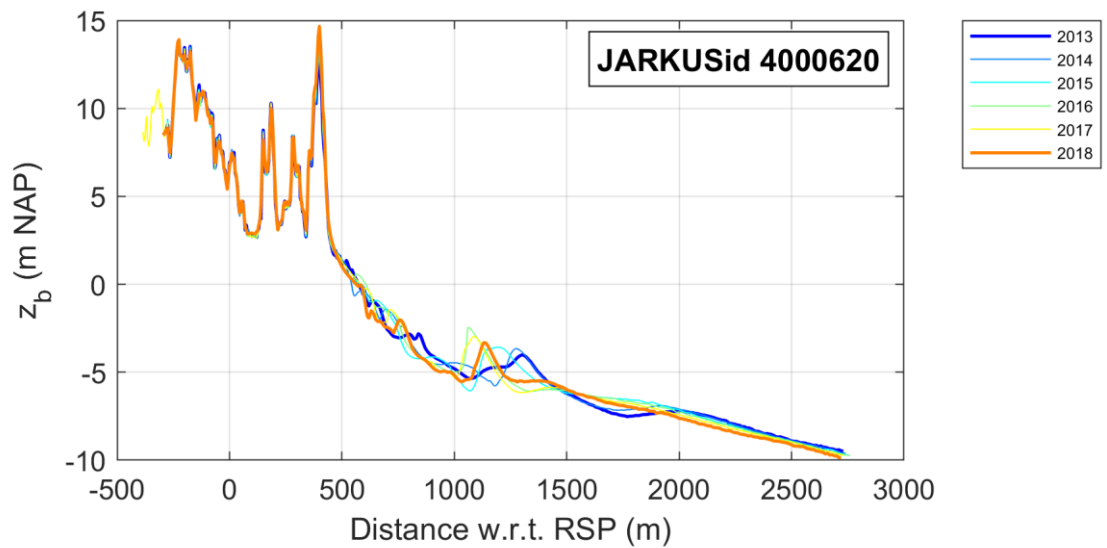
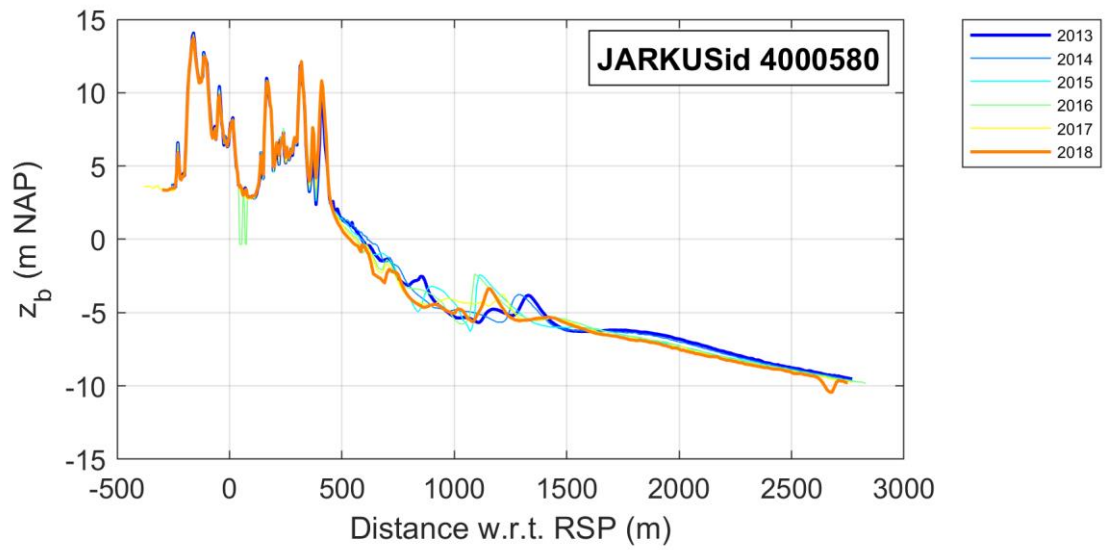
B Appendix; MKL langs de kust

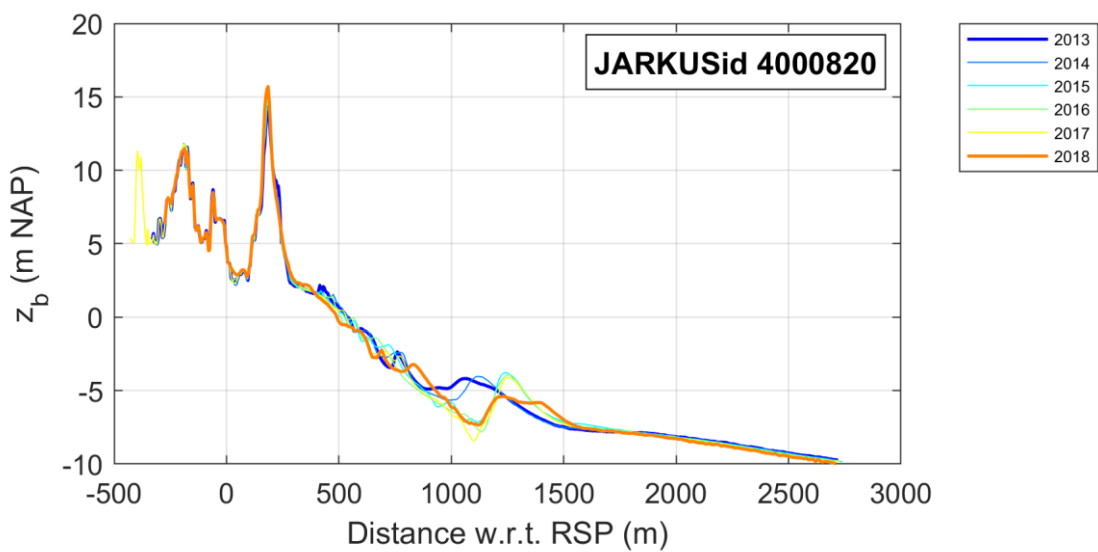
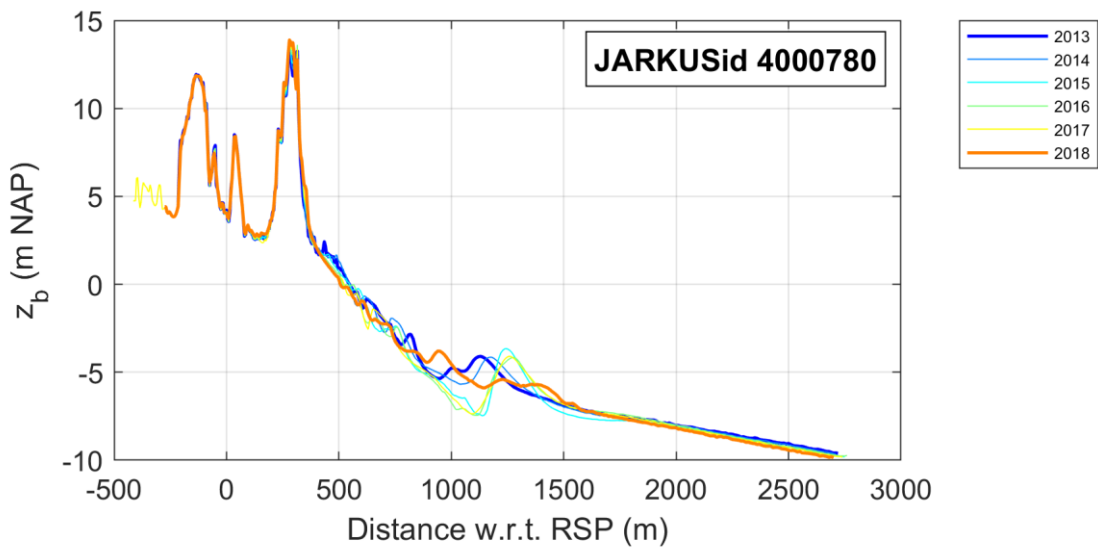
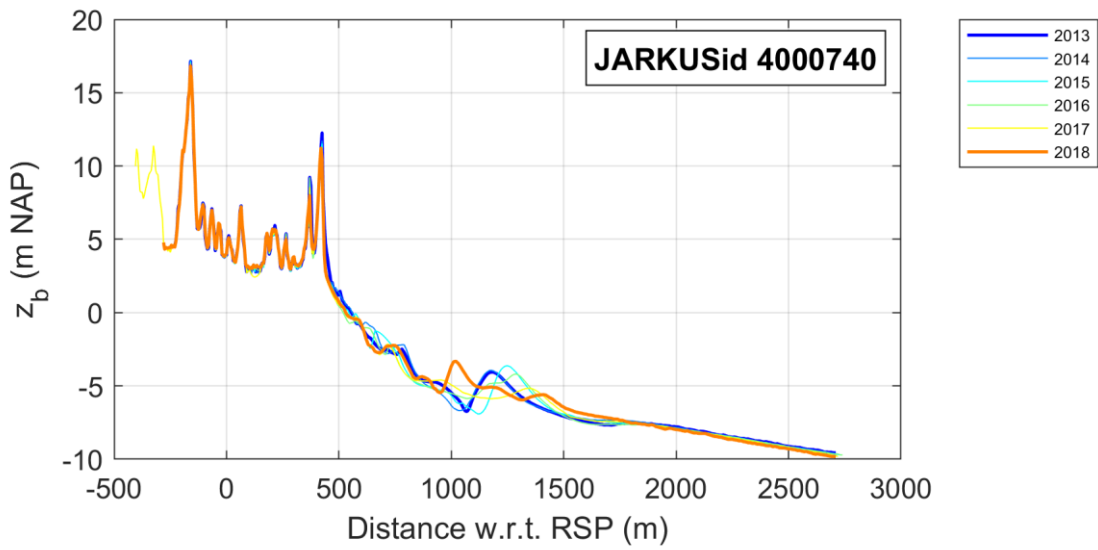


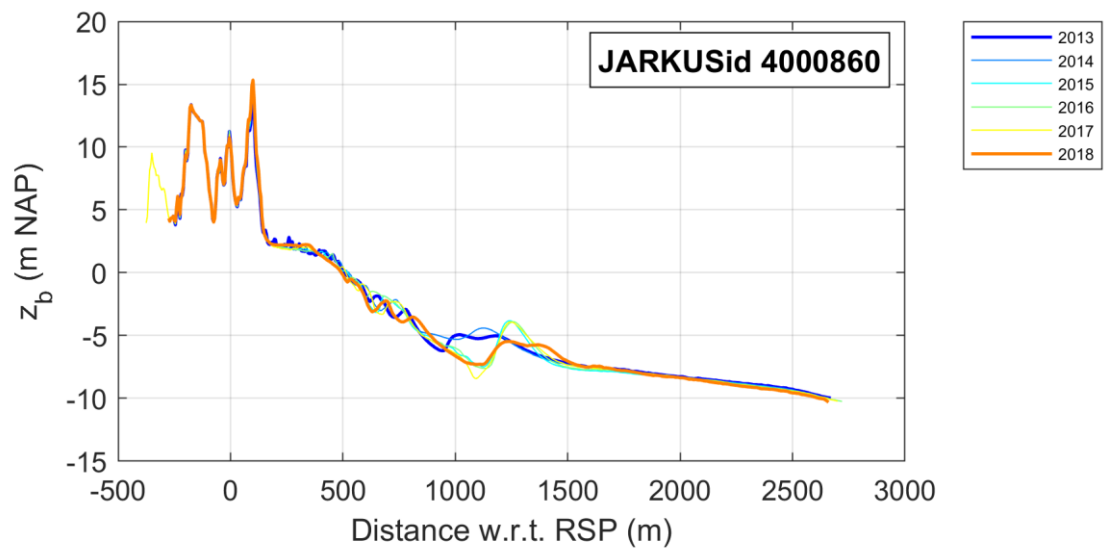
Positie MKL ten opzichte van BKL per raai voor de laatste 5 jaar voor raaien 100-1000 volgens originele data MKL met wisselende rekenschijf.

C Appendix; Overzicht JARKUS-raaien

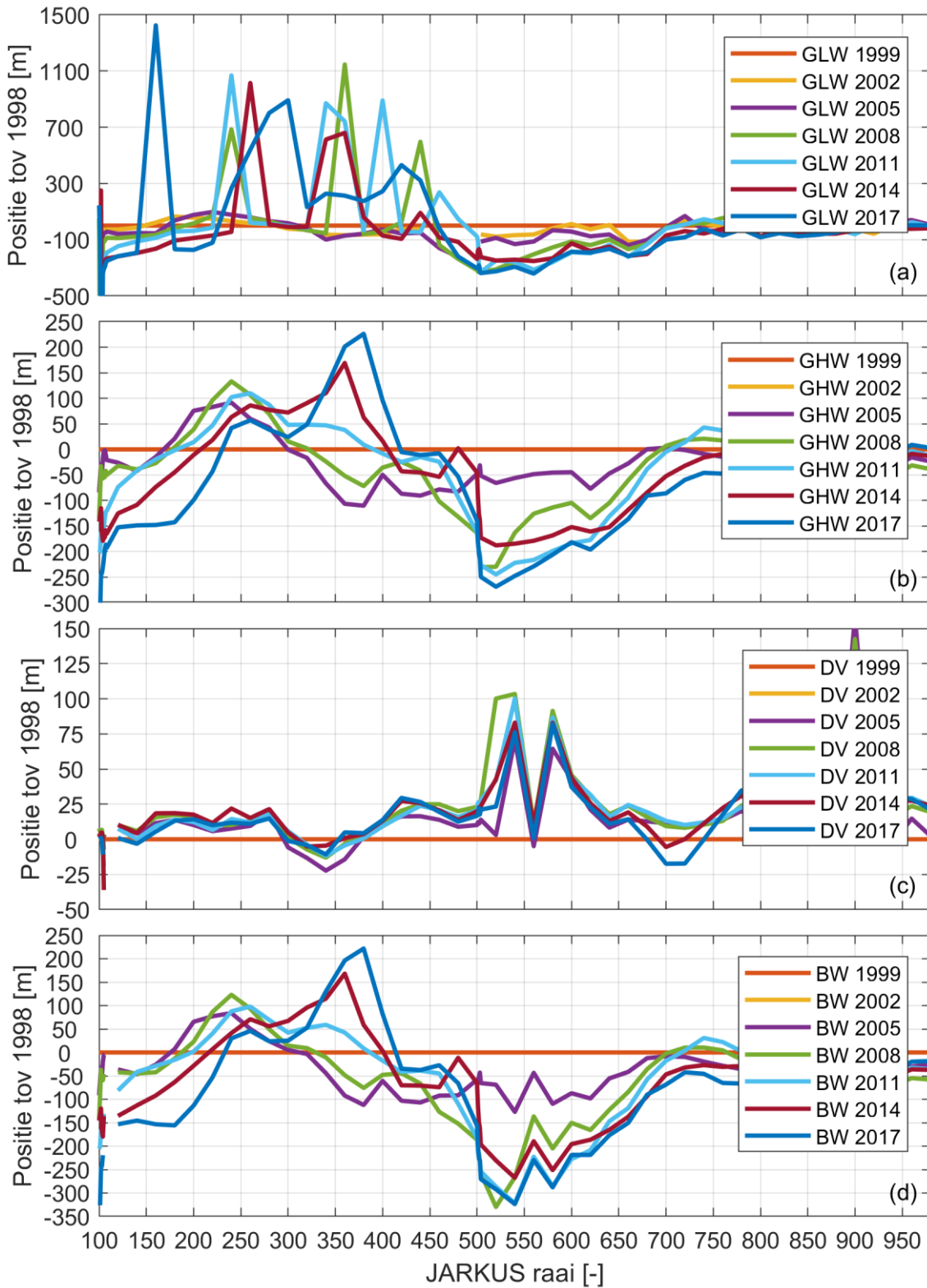






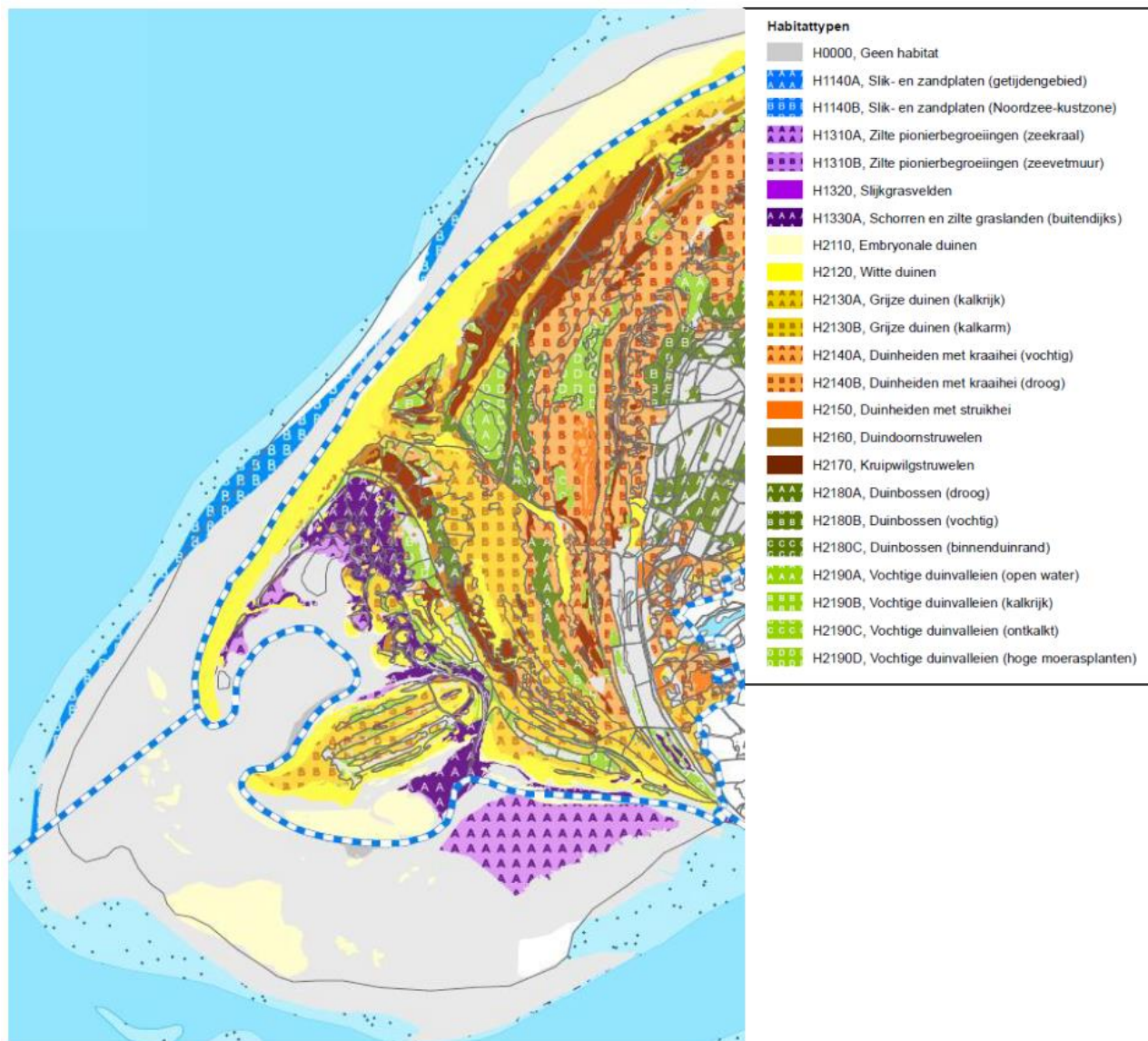


D Appendix; Overzicht kustindicatoren

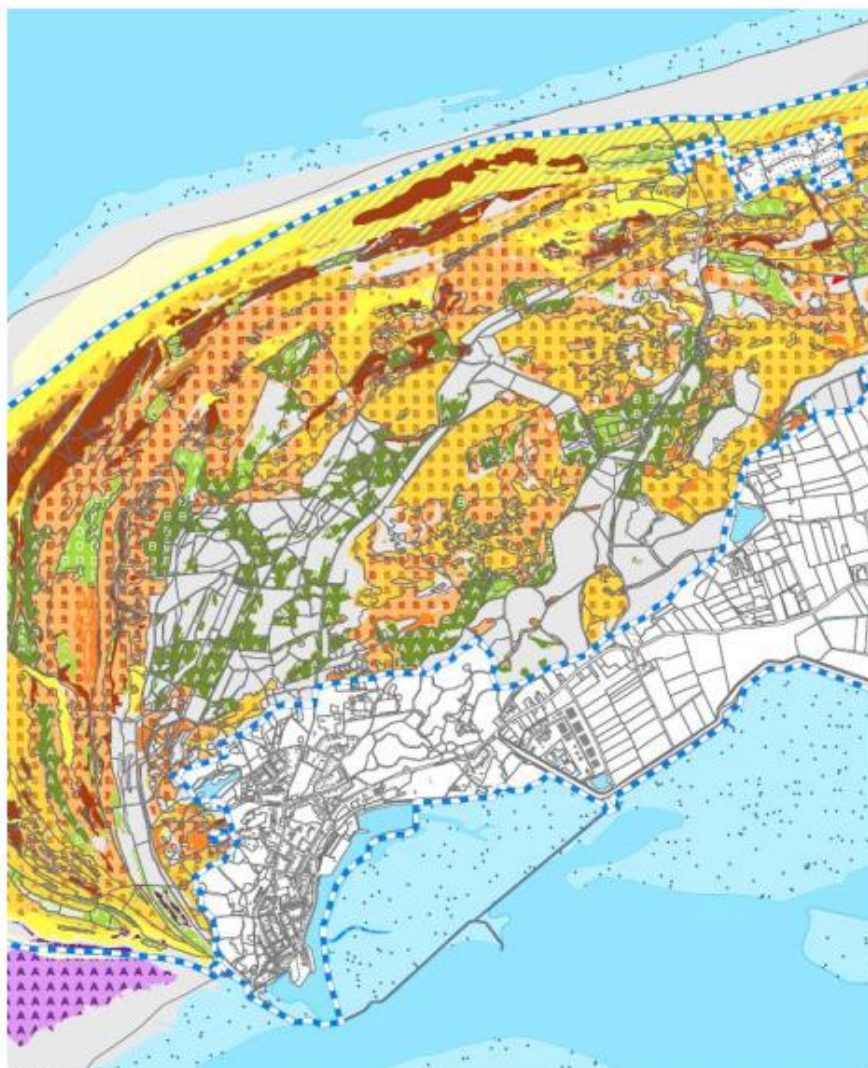


E Appendix; Habitattypen west Terschelling

Bron: Terschelling Natura 2000-beheerplan 2016



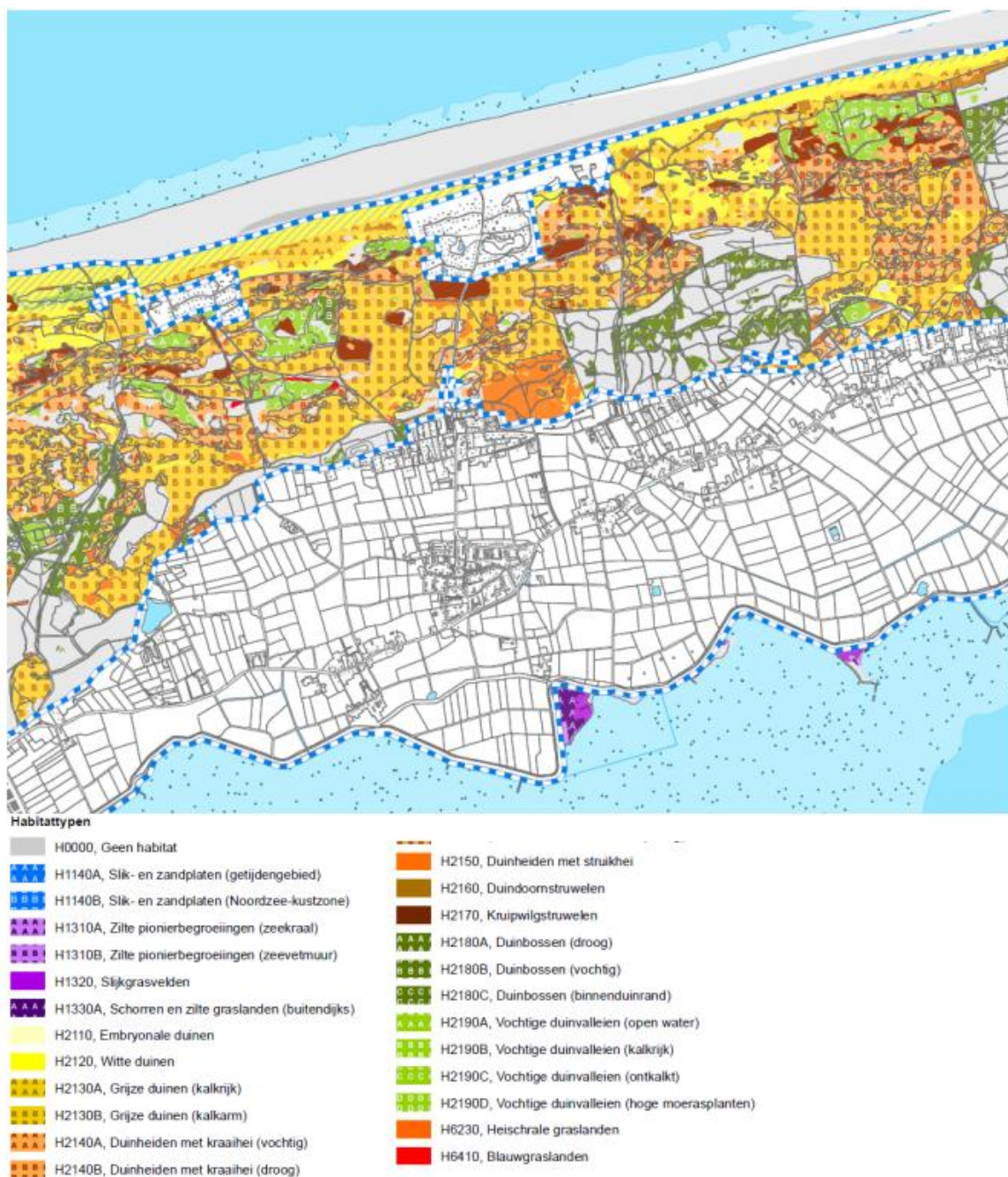
Overzicht van de habitattypen op de eilandkop (beheerplan 2016)



Habitattypen

- | | |
|--|--|
| H0000, Geen habitat | H2150, Duinheiden met struikhei |
| H1140A, Slik- en zandplaten (getijdengebied) | H2160, Duindoornstruwelen |
| H1140B, Slik- en zandplaten (Noordzee-kustzone) | H2170, Kruiptwilgstruwelen |
| H1310A, Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal) | H2180A, Duinbossen (droog) |
| H1310B, Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur) | H2180B, Duinbossen (vochtig) |
| H1320, Slijkgrasvelden | H2180C, Duinbossen (binnenduinrand) |
| H1330A, Schorren en zilte graslanden (buitendijks) | H2190A, Vochtige duinvalleien (open water) |
| H2110, Embryonale duinen | H2190B, Vochtige duinvalleien (kalkrijk) |
| H2120, Witte duinen | H2190C, Vochtige duinvalleien (ontkalkt) |
| H2130A, Grijs duinen (kalkrijk) | H2190D, Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten) |
| H2130B, Grijs duinen (kalkarm) | H6230, Heischrale graslanden |
| H2140A, Duinheiden met kraaihei (vochtig) | H6410, Blauwgraslanden |
| H2140B, Duinheiden met kraaihei (droog) | |

Overzicht van habitattypen in het Westelijk duingebied (Beheerplan 2016)



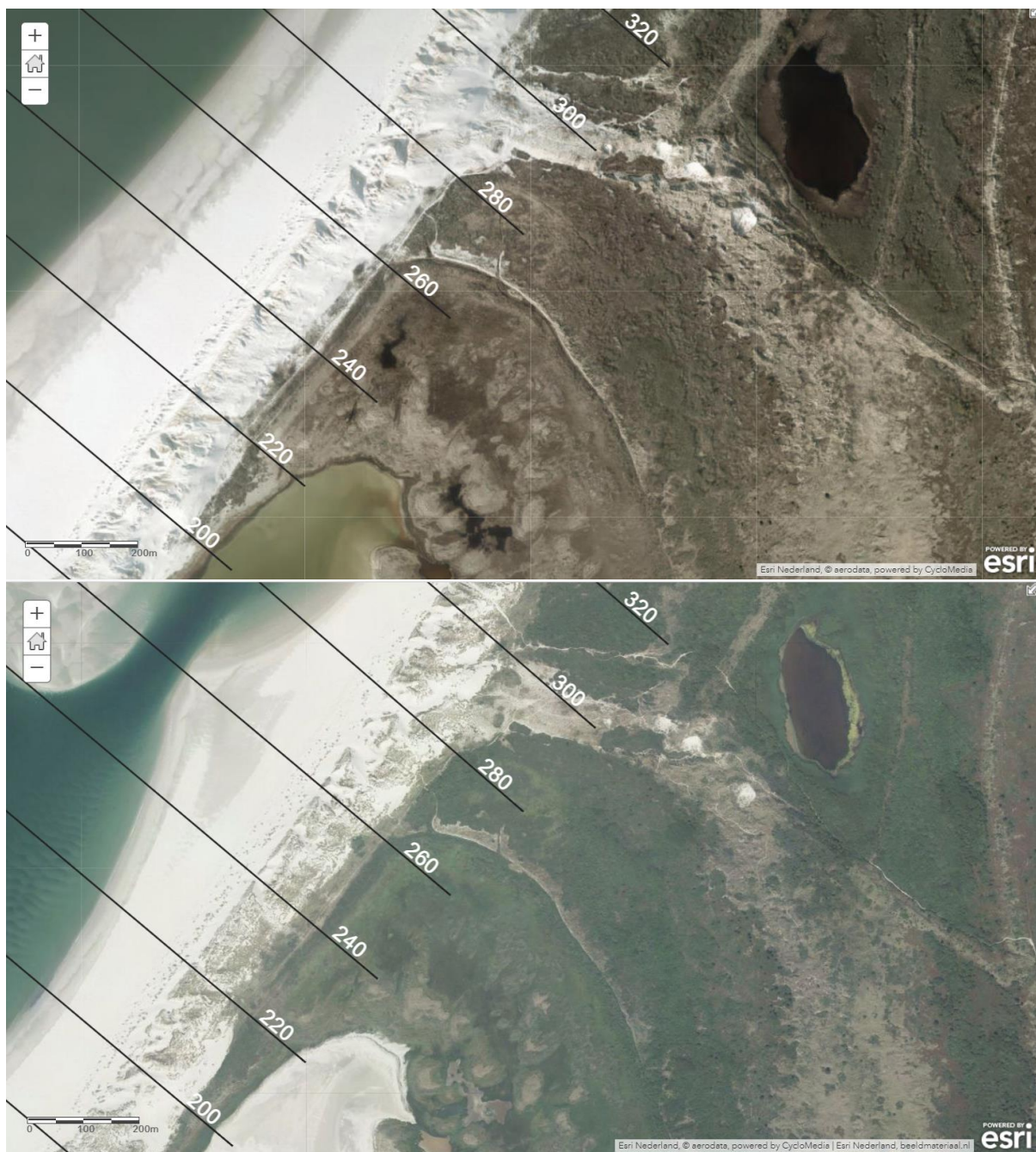
Habitattypen in laaggelegen duingebied tussen West aan Zee en Formerum aan Zee en omgeving (Beheerplan 2016)

F Appendix; Luchtfoto's Noordsvaarder 2012 en 2017

De luchtfoto's zijn bekeken met de ArcGIS Map Viewer. De kaarten zijn aangeboden door Esri Nederland Content en zijn gemaakt op basis van LuchtfotoNL 50 cm van CycloMedia, 2012 en de 2017 open data luchtfoto van de Nederlandse overheid (Kadaster, beeldmateriaal.nl).



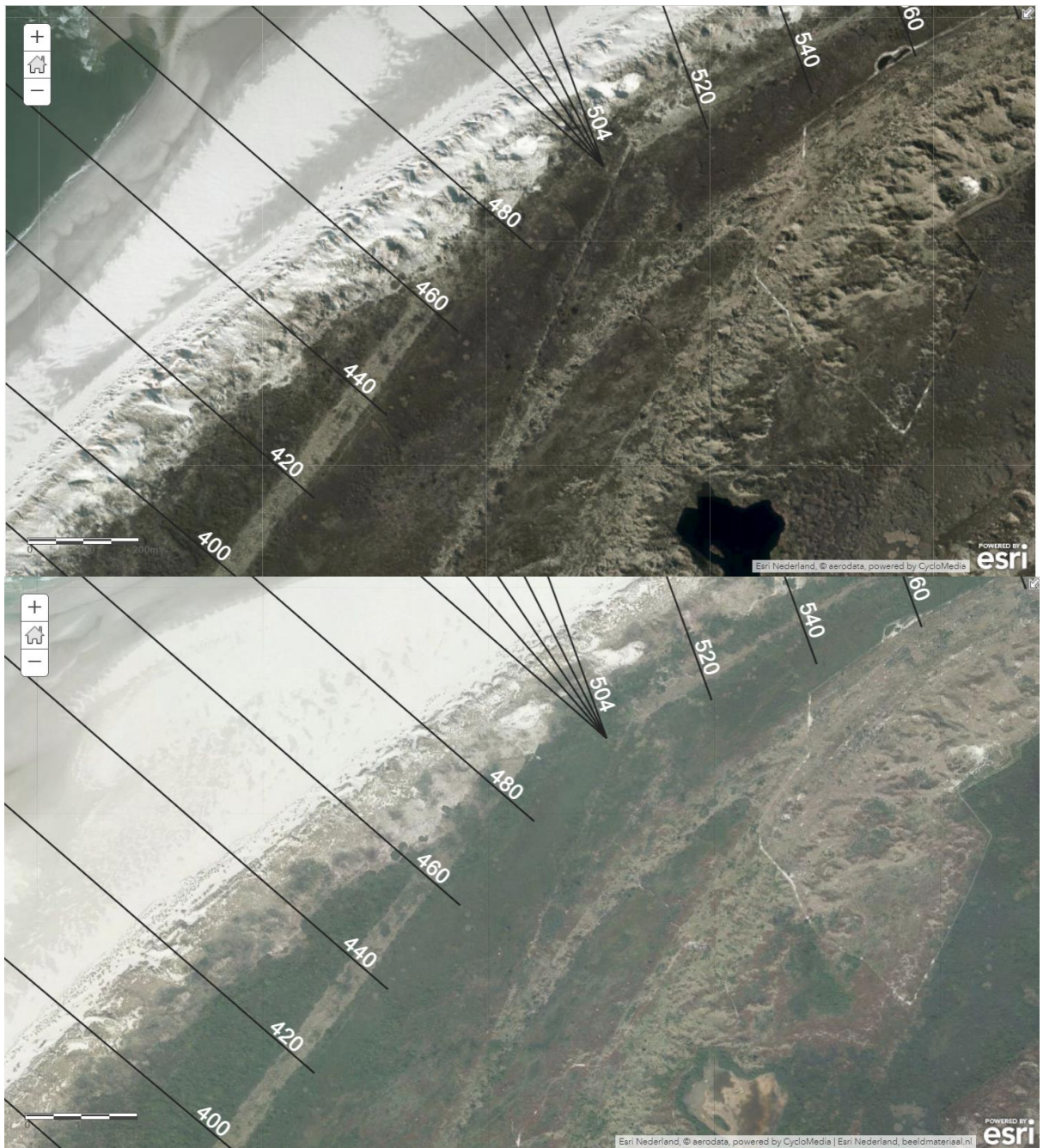
Figuur 1 Luchtfoto van het studiegebied in noordwest Terschelling, 2012 (boven) en 2017 (onder)



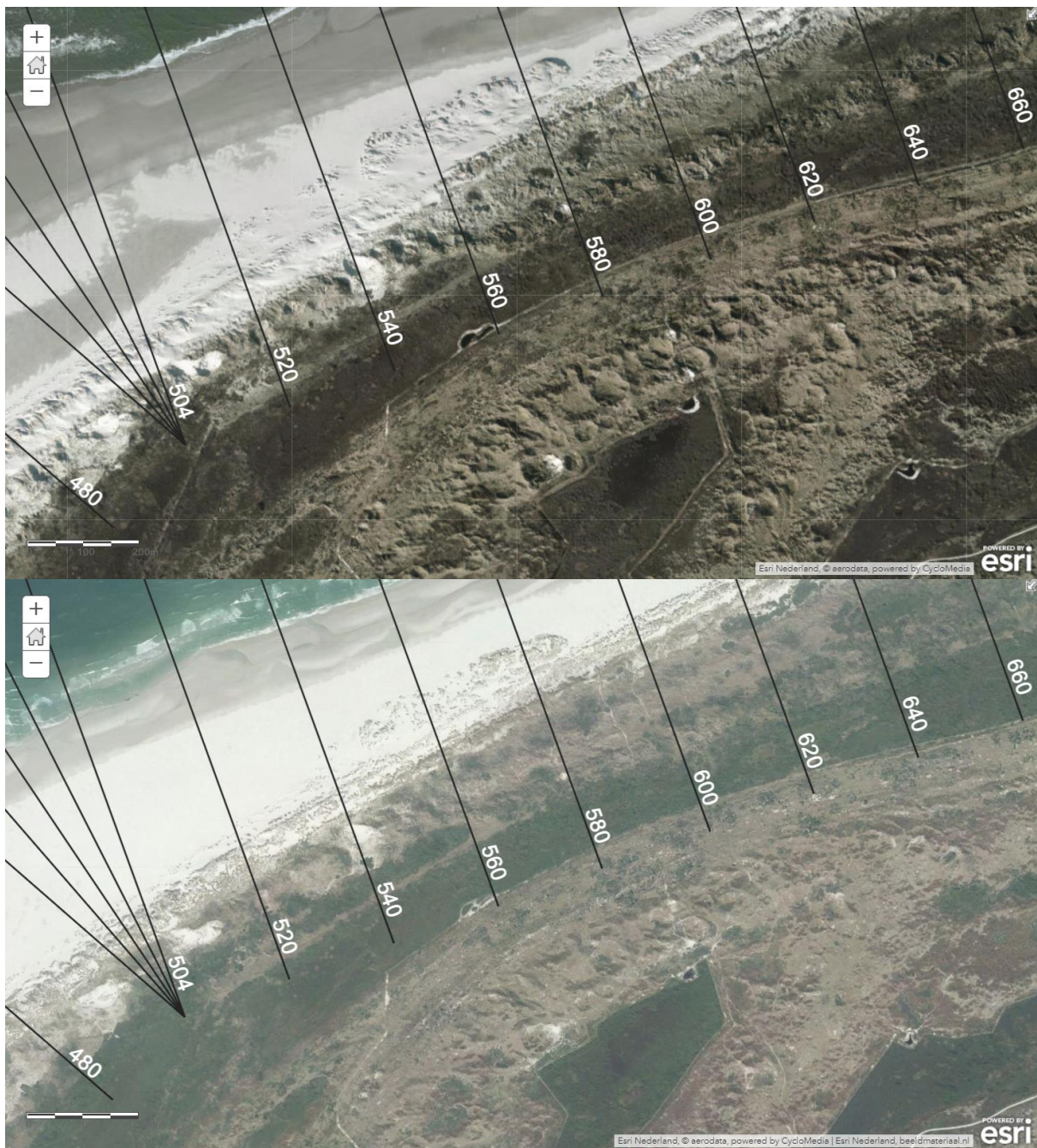
Figuur 2 Luchtfoto van Terschelling raai 200 t/m 320 in 2012 (boven) en 2017 (onder)



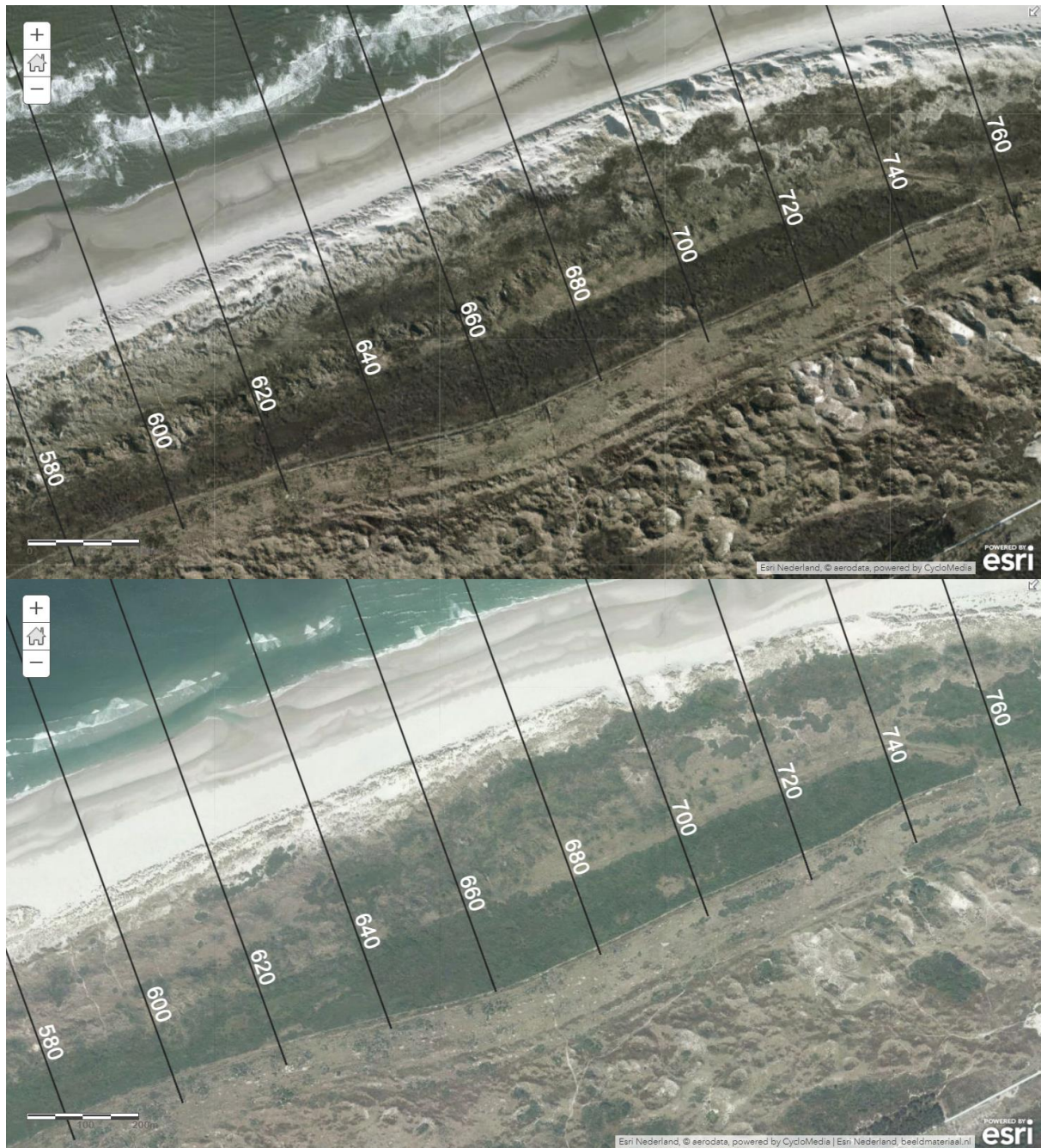
Figuur 3 Luchtfoto van Terschelling raai 300 t/m 400 in 2012 (boven) en 2017 (onder)



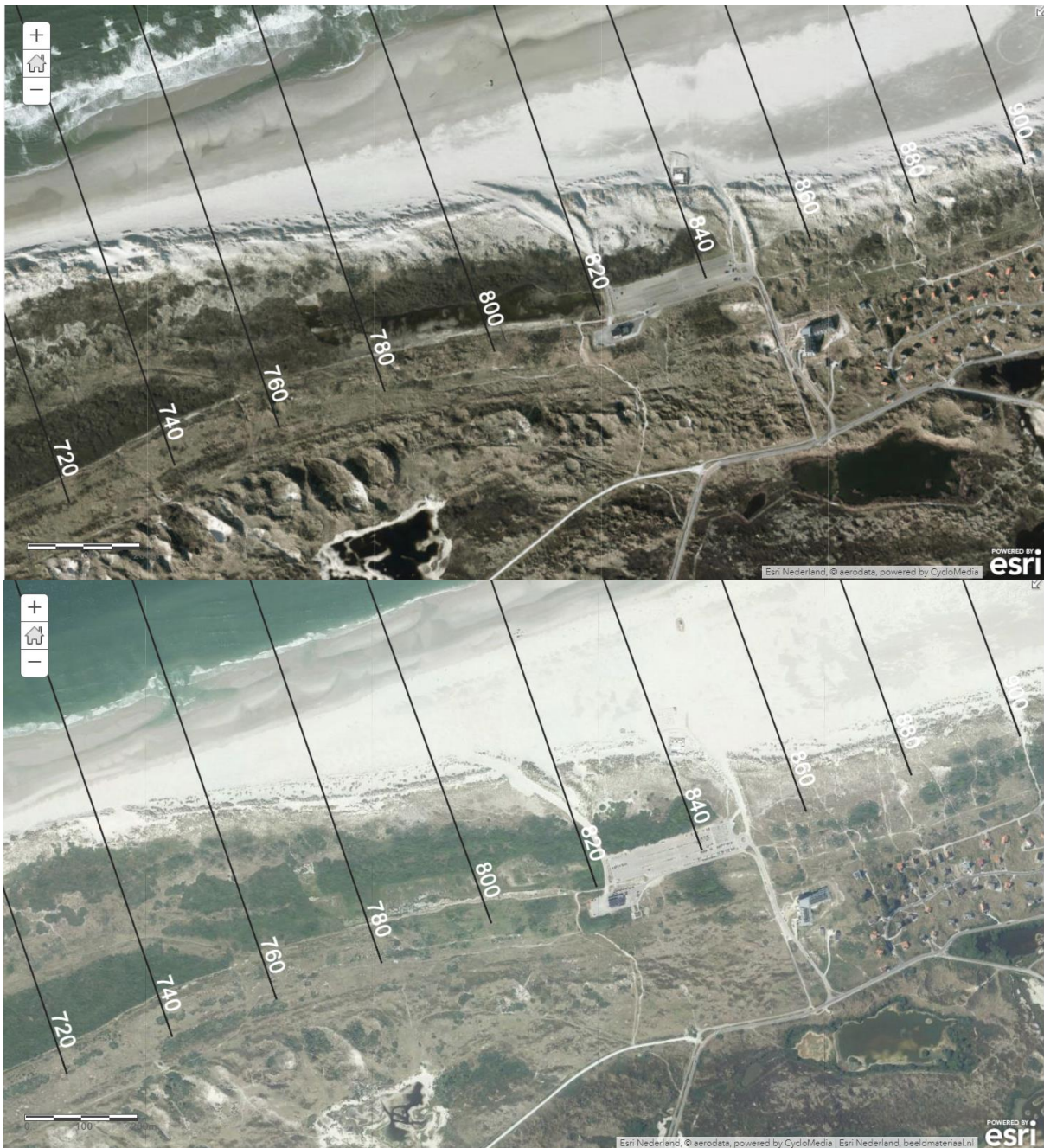
Figuur 4 Luchtfoto van Terschelling raai 400 t/m 540 in 2012 (boven) en 2017 (onder)



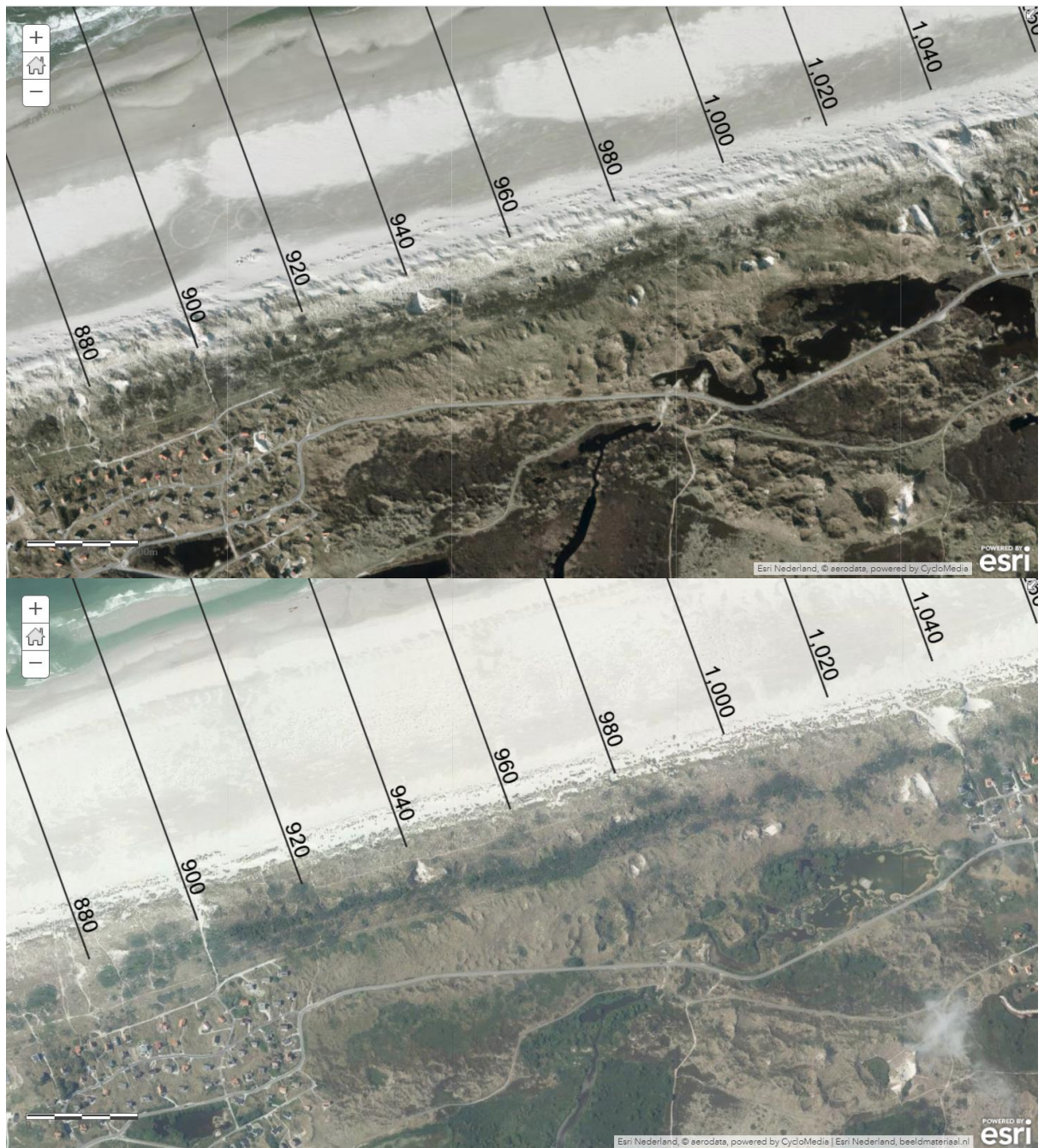
Figuur 5 Luchtfoto van Terschelling raai 480 t/m 660 in 2012 (boven) en 2017 (onder)



Figuur 6 Luchtfoto van Terschelling raai 580 t/m 760 in 2012 (boven) en 2017 (onder)

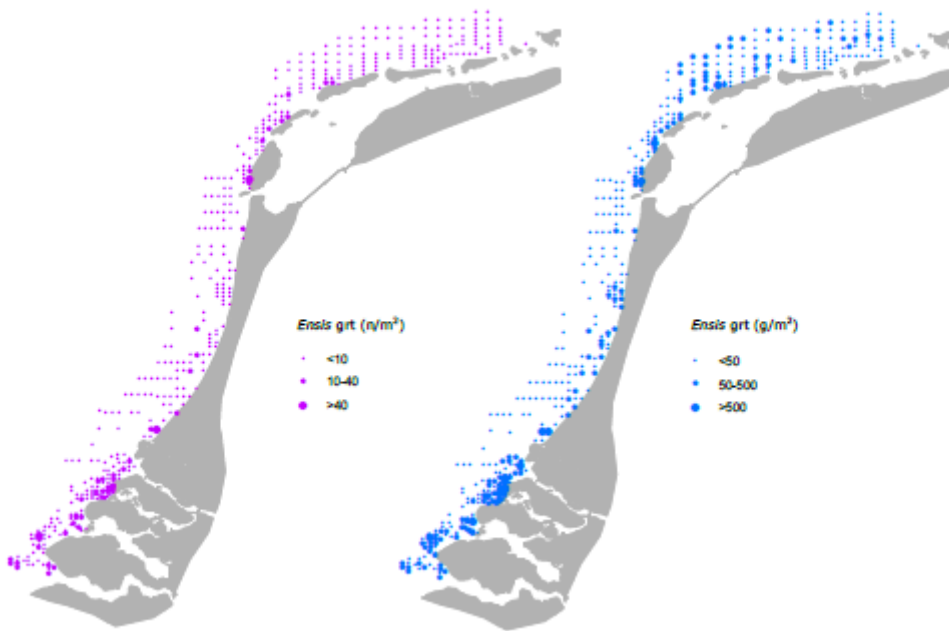


Figuur 7 Luchtfoto van Terschelling raai 720 t/m 900 in 2012 (boven) en 2017 (onder)

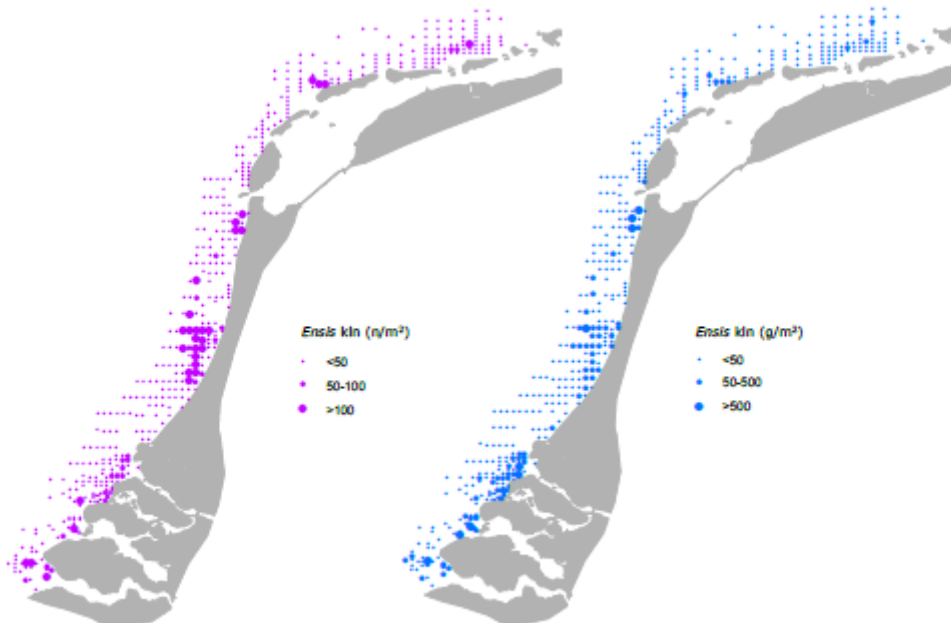


Figuur 8 Luchtfoto van Terschelling raai 880 t/m 1040 in 2012 (boven) en 2017 (onder)

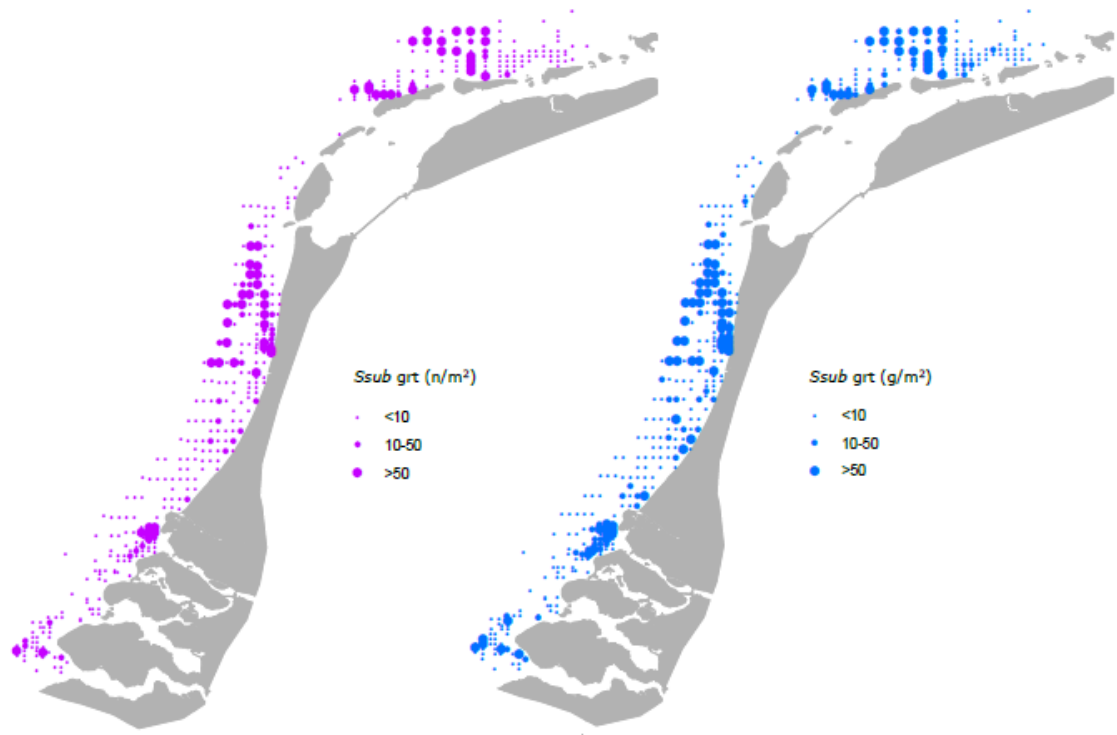
G Appendix; WOT resultaten schelpdieren Nederlandse kustzone 2017



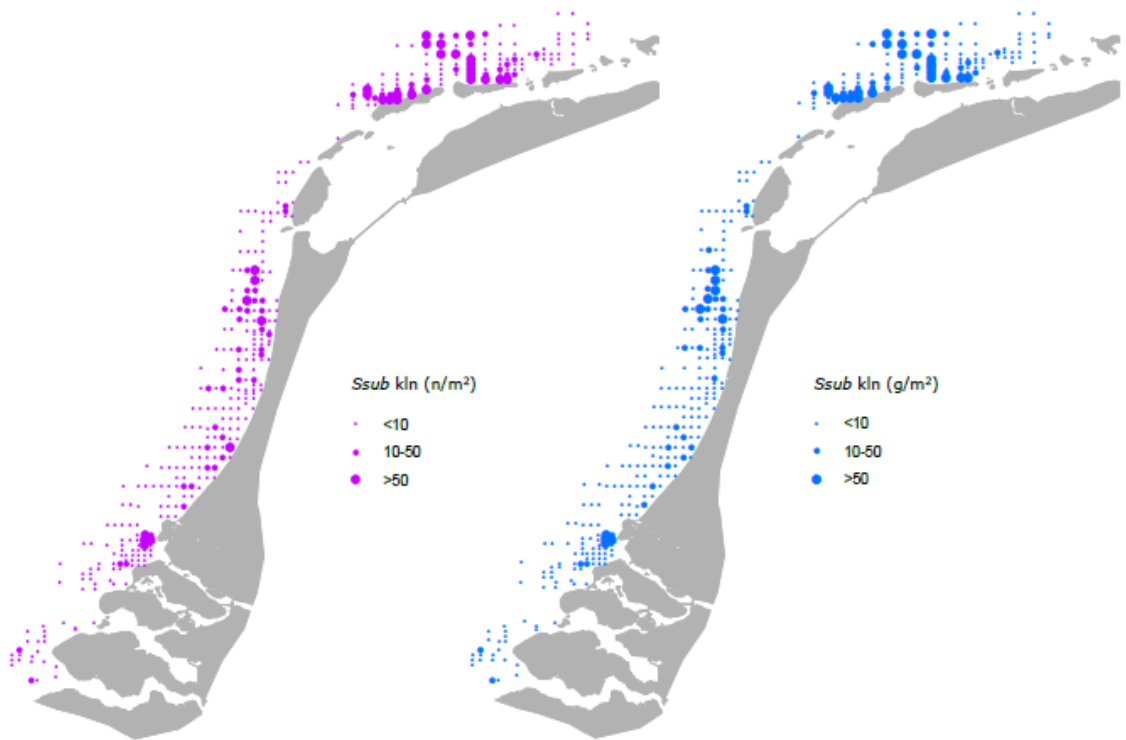
Figuur 5. De dichtheid van mesheften (schelpbreedte ≥ 16 mm) in aantal per m^2 (links) en biomassa in gram versgewicht per m^2 (rechts) in 2017.



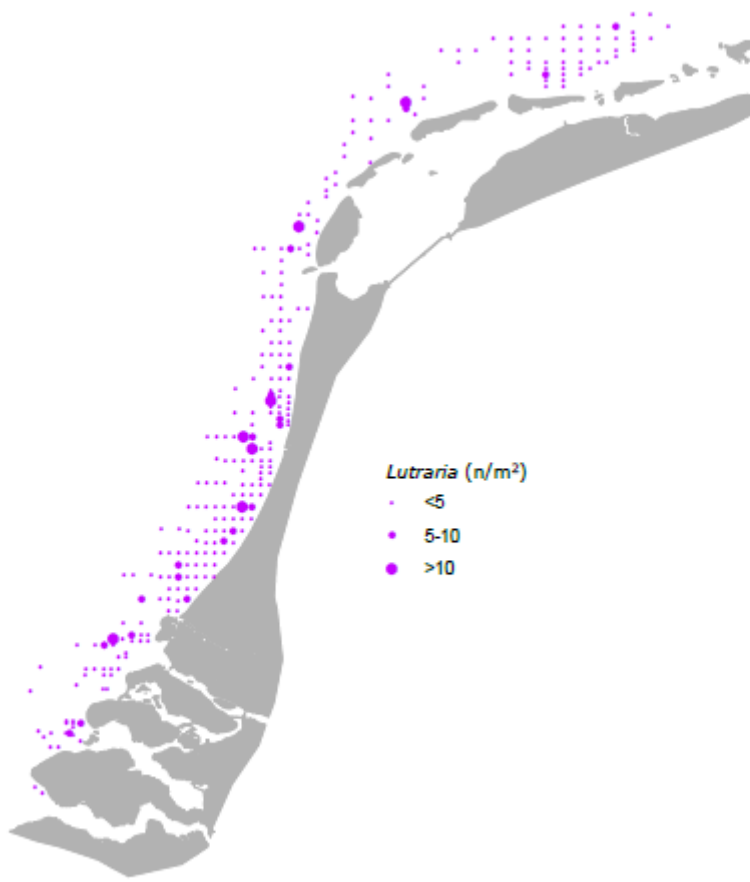
Figuur 6. De dichtheid van mesheften (schelpbreedte < 16 mm) in aantal per m^2 (links) en biomassa in gram versgewicht per m^2 (rechts) in 2017.



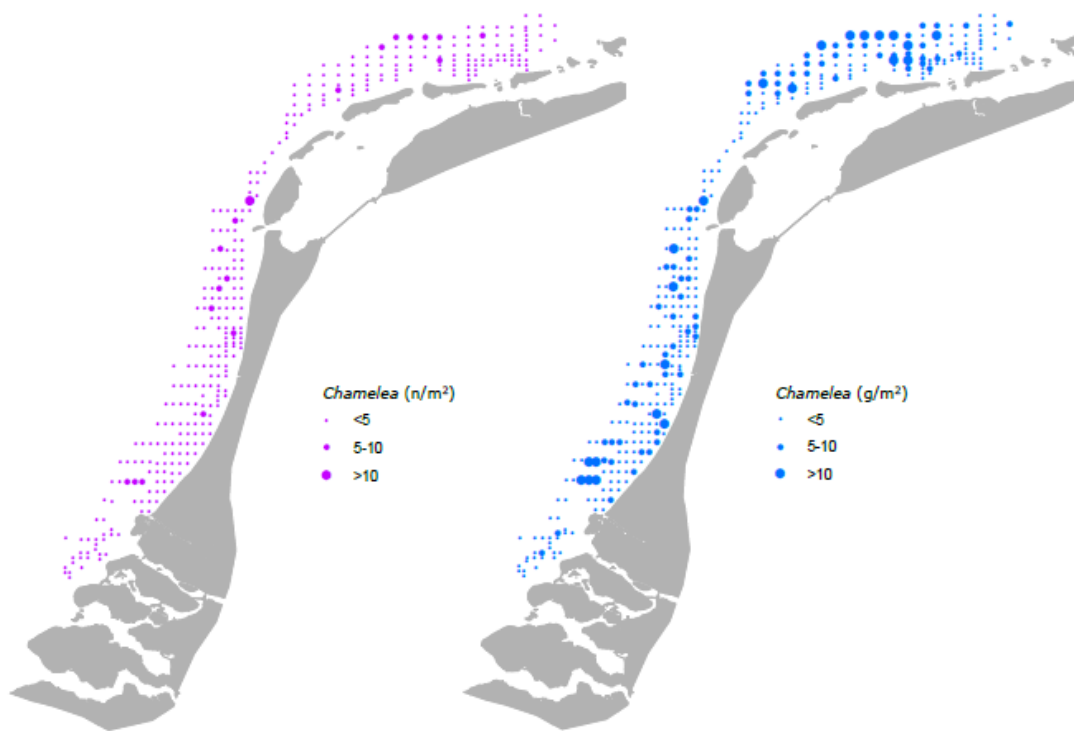
Figuur 9. De dichtheid van de halfgeknotte strandschelp (S_{sub}) groot ($> 19\text{mm}$) in aantal per m^2 (links) en biomassa in gram versgewicht m^2 (rechts) in 2017.



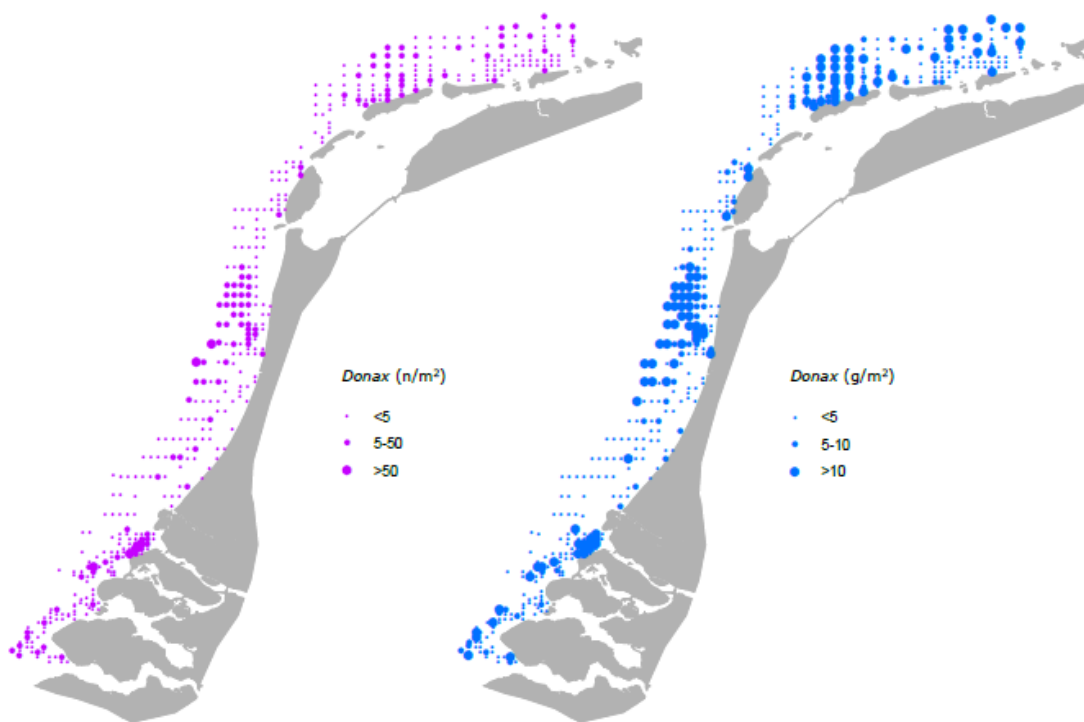
Figuur 10. De dichtheid van de halfgeknotte strandschelp (S_{sub}) klein ($< 19\text{mm}$) in aantal per m^2 (links) en biomassa in gram versgewicht m^2 (rechts) in 2017.



*Figuur 14. De dichtheid van otterschelpen (*Lutraria*) in aantal per m² in 2017.*



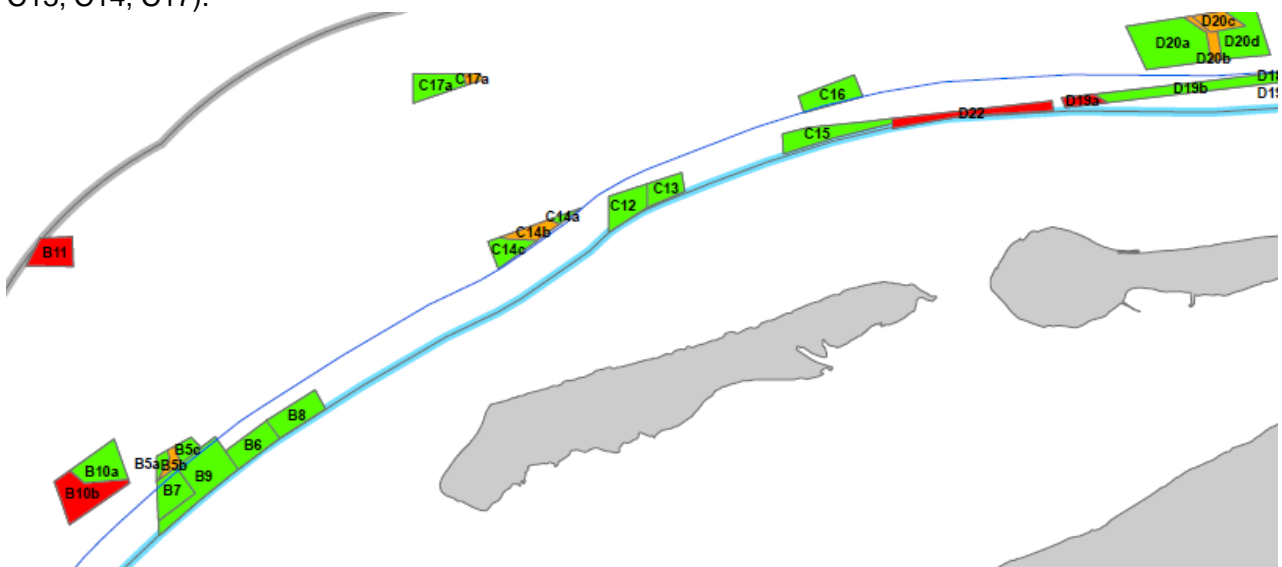
Figuur 16. De dichtheid van venusschelpen (*Chamelea*) in aantal per m^2 (links) en biomassa in gram versgewicht per m^2 (rechts) in 2017.



Figuur 20. De dichtheid van zaagjes (*Donax vittatus*) in aantal per m^2 (links) en biomassa in gram versgewicht per m^2 (rechts) in 2017.

H Appendix; Boorbeschrijvingen zoekgebieden suppletiezand

In 2016 is in opdracht van RWS Kustlijnzorg en stichting LaMER een grootschalige geologisch onderzoek uitgevoerd voor het vaststellen van de geologische opbouw van 105 geologische zoekgebieden voor de winning van suppletie- en ophoogzand (Figuur 9.2 **Error! Reference source not found.**) (Deltares 2017). In de boorbeschrijvingen is voor elke laag een kalkgetal opgenomen (CA). Deze is bepaald met behulp van 10% verdund zoutzuur, waarna vervolgens op gehoor het kalkgehalte bepaald is (pers. comm S. de Jong). Kalkloos (Ca1) bruist niet, kalkrijk (Ca3) bruist en Ca2 heeft een matig kalkgehalte en bruist matig. In zijn de boorbeschrijvingen voor de locaties voor de kust van Terschelling opgenomen (C12, C13, C14, C17).



Figuur 9.2 Locaties en nummers zoekgebieden suppletiezand

Tabel 9.1 Boorbeschrijvingen van locaties voor de kust van Terschelling (C12, C13, C14 en C17)

soort/Meetpunt ID/	aantallen per Meetjaar							AVERAGE
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Abra alba	0.455	0.2225	0.428	0.092				0.252
19391	0.455	0.302	0.428					0.395
19704				0.121				0.121
19705		0.143						0.143
34468				0.063				0.063
Actiniaria	0.113	0.108	0.112	0.126	0.267	0.141	0.445	0.219625
19391						0.141	0.655	0.398
19704		0.108						0.108
19705							0.235	0.235
34468	0.113		0.112	0.126				0.117
34469					0.267			0.267
Asterias rubens	0.152			0.111				0.124667
19391	0.152							0.152
19392				0.096				0.096

34468				0.126				0.126
Astropecten irregularis						0.071		0.071
34468						0.071		0.071
Cancer pagurus				0.157				0.157
19391				0.157				0.157
Carcinus maenas	0.072		0.076		0.172			0.099
19391					0.172			0.172
19704	0.072		0.076					0.074
34469			0.076					0.076
Chamelea striatula	0.455	0.302	0.115	0.2435	0.344	0.436333	0.655	0.3667
19391	0.455	0.302		0.157	0.344	0.424	0.655	0.3895
19705			0.115	0.33		0.601		0.348667
34468						0.284		0.284
Corystes cassivelaunus						0.2865	0.185	0.46
19391					0.344			0.344
19392							0.844	0.844
19704					0.113			0.113
19705					0.622	0.3	0.47	0.464
34469					0.067	0.07	0.066	0.067667
Diogenes pugilator	0.072	0.9798	0.650333	1.2415	1.066	1.76125	0.235	1.065167
19391		0.302	1.497		0.516			0.771667
19392				0.096	0.582	1.363		0.680333
19704	0.072	2.268		3.986	1.701	2.873		2.18
19705		0.429	0.229		2.179		0.235	0.768
34468		0.791	0.225	0.252	0.684	0.142		0.4188
34469		1.109		0.632	0.734	2.667		1.2855
Donax vittatus	1.576167	0.3358	0.119333	0.607	0.7172	6.311	7.613333	2.887257
19391	2.884	0.302		0.63	1.377	6.786	1.964	2.323833
19392	3.843	0.528	0.167			3.134	24.047	6.3438
19704	0.43	0.108	0.076	1.57	1.361	8.618	4.535	2.385429
19705	0.146		0.115	0.165	0.311	13.22	2.821	2.796333
34468	1.247	0.593		0.063	0.137	0.213	4.123	1.062667
34469	0.907	0.148			0.4	5.895	8.19	3.108
Ensis	15.37883	14.40433	9.389	54.90133	130.8765	18.074	145.8032	55.54674
19391	4.249	2.413	0.214	1.574	1.033	1.131	0.982	1.656571
19392	45.447	25.362	0.835	38.71	326.198	27.253	229.5	99.04357
19704	10.025	17.277	7.032	171.498	195.918	18.878	51.398	67.43229
19705	24.578	10.01	3.665	6.106	5.602	5.408	9.402	9.253
34468	3.741	5.336	0.561	50.818	227.696	47.634	580.499	130.8979
34469	4.233	26.028	44.027	60.702	28.812	8.14	3.038	24.99714
Fabulina fabula							1.276667	1.276667
19392							0.844	0.844
34468							2.061	2.061
34469							0.925	0.925

Limecola balthica							3.0652	3.0652
19392							3.797	3.797
19704							6.047	6.047
19705							3.056	3.056
34468							1.237	1.237
34469							1.189	1.189
Liocarcinus holsatus	0.2152	0.186	0.47675	0.338333	0.2268	0.3505	0.5974	0.337972
19391	0.455		0.642	0.63	0.172	0.283	0.327	0.418167
19392		0.264	0.501	0.191	0.291	0.545	0.844	0.439333
19704	0.286	0.108		0.362	0.227	0.41	0.756	0.358167
19705	0.146	0.286	0.458	0.33	0.311	0.3	0.235	0.295143
34468	0.113	0.198		0.377		0.425	0.825	0.3876
34469	0.076	0.074	0.306	0.14	0.133	0.14		0.144833
Liocarcinus navigator				0.121				0.121
19704				0.121				0.121
Lutraria lutraria					0.5825	0.992	2.474	1.15775
19391					0.344			0.344
34468					0.821	0.992	2.474	1.429
Macoma balthica	1.3805	2.891333	2.279	2.622333	3.1715	2.397		2.458657
19391	0.152	0.302	1.07	0.315	0.172			0.4022
19392	1.838	1.321	1.337	1.625	4.369	1.09		1.93
19704	2.435	11.23	7.032	5.797	4.989	6.566		6.3415
19705	1.024	2.717	2.863	6.271	7.158	3.906		3.989833
34468	0.113	1.186	0.225	0.252	0.274	0.142		0.365333
34469	2.721	0.592	1.147	1.474	2.067	0.281		1.380333
Macomangulus tenuis							0.888	0.888
19704							1.512	1.512
34469							0.264	0.264
Nassarius nitidus				0.121				0.121
19704				0.121				0.121
Ophiura ophiura	0.603	0.202667	0.489833	0.294	5.473333	0.298	1.2466	1.509581
19391		0.302	0.642	0.472	5.679	0.424	3.927	1.907667
19392			0.167	0.382	2.039	0.273		0.71525
19704		0.108	0.535		0.113		0.756	0.378
19705	0.146		0.687		0.311		0.94	0.521
34468	1.587	0.198	0.449	0.252	24.631	0.284	0.412	3.973286
34469	0.076		0.459	0.07	0.067	0.211	0.198	0.180167
Pagurus bernhardus	0.152		0.198667	0.139	0.269	0.205333	1.4345	0.388385
19391	0.152		0.214	0.157				0.174333
19704				0.121	0.227	0.103	0.756	0.30175
19705			0.229		0.311	0.3		0.28
34468						0.213		0.213
34469			0.153				2.113	1.133
Portumnus latipes		0.074						0.074

34469		0.074						0.074
Spisula elliptica	0.076			0.285333	0.44825	0.071		0.310667
19391					0.344			0.344
19705			0.66	1.245				0.9525
34468			0.126	0.137		0.071		0.111333
34469	0.076		0.07	0.067				0.071
Spisula solida	0.113						0.327	0.22
19391							0.327	0.327
34468	0.113							0.113
Spisula subtruncata	0.3494	0.5065	0.28775	1.9576	1.9294	1.257	453.6352	85.98256
19391	0.607	0.905	0.428	1.889	1.033	0.707	29.455	5.003429
19392	0.334			0.287	0.582	0.409	485.999	97.5222
19704	0.286	0.108	0.382	0.483	0.34	0.308	1886.621	269.7897
19705	0.293		0.229	5.116	5.913	4.507	51.712	11.295
34468	0.227		0.112	2.013	1.779	0.354	263.863	44.72467
34469							4.161	4.161
Tellina fabula	0.3532	2.32975	1.3982	1.3365	0.344	0.707		1.211111
19391	0.607	6.335	3.423		0.344	0.707		2.2832
19392			1.671					1.671
19704	0.143	2.16	0.076					0.793
19705	0.146	0.429	1.26	0.66				0.62375
34468	0.794	0.395	0.561	2.013				0.94075
34469	0.076							0.076
Tellina tenuis	0.797	0.97	0.477667	0.3175	0.349333	0.256		0.507789
19391	0.607	1.508	0.428					0.847667
19392	1.671		1.337			0.136		1.048
19704		0.432	0.382					0.407
19705			0.229	0.495	0.311			0.345
34468	0.113		0.337		0.137	0.071		0.1645
34469			0.153	0.14	0.6	0.561		0.3635
Grand Total	2.509625	2.909093	1.756353	6.877593	14.90876	3.460865	75.12841	15.30277