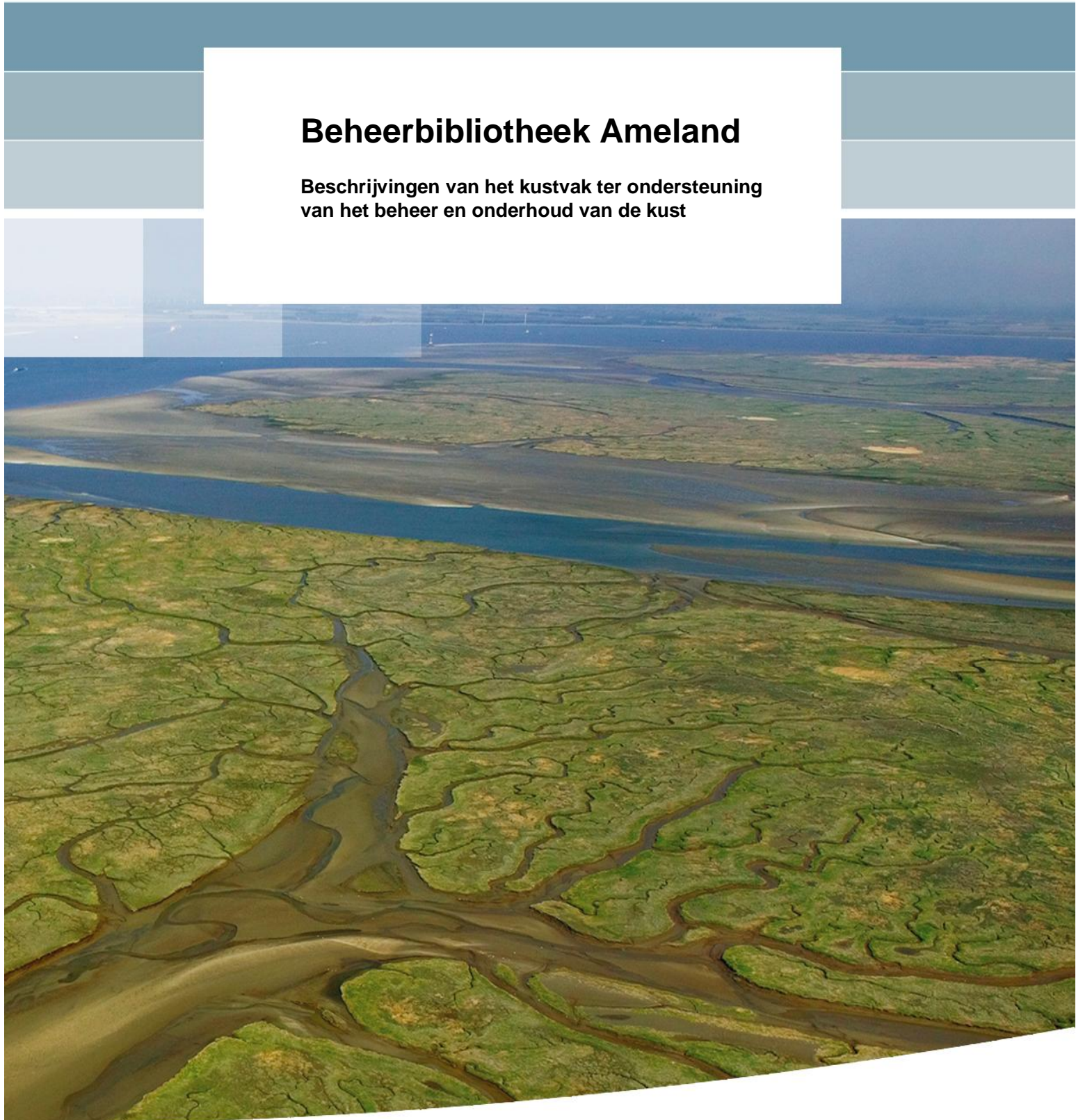


Beheerbibliotheek Ameland

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



Beheerbibliotheek Ameland

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

Dick Mastbergen
Kees Nederhoff
Bert van der Valk
Maaïke Maarse

11202190-000

Titel
Beheerbibliotheek Ameland

Opdrachtgever Rijkswaterstaat	Project 11202190-000	Kenmerk 11202190-000-ZKS-0009	Pagina's 119
---	--------------------------------	---	------------------------

Trefwoorden





Beheerbibliotheek, kustvak Ameland, morfologische ontwikkeling, beheer en onderhoud kust

Samenvatting

Het hoofddoel van de beheerbibliotheek is samenbrengen en inzichtelijk maken meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer per kustvak. Gebruikers van dit document zijn Rijkswaterstaat, Deltares en andere (kennis)partijen. De beheerbibliotheek biedt onder andere een basis voor het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en onderzoek.

De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het kustvak en omvat een beschrijving van de geomorfologische systeemwerking. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties, evenals van de waargenomen effecten van dat beheer. Ten slotte wordt in de beheerbibliotheek de informatie over de gebruiksfuncties van de kust samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma. De beheerbibliotheek is een levend document en resulteert (op termijn) in een handreiking voor suppleren in het betreffende kustvak.

De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust, maar ook uit eerder uitgevoerde andere kustprojecten en uit wetenschappelijk onderzoek.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2.0	aug 2018	Dick Mastbergen		Edwin Elias		Frank Hoozemans	
		Kees Nederhoff					
		Bert van der Valk					
		Maaïke Maarse					

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Kustonderhoud en -onderzoek	3
1.2	Waarom een beheerbibliotheek?	3
1.3	Wat staat er in een beheerbibliotheek?	3
1.4	Kustviewer	4
1.5	Kustlijnkaartenboek	4
1.6	Algemene informatie betreffende kustvak 3, Ameland	4
1.7	Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Ameland	5
2	Beleid: dynamische kustlijnhandhaving	6
2.1	Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven	6
2.2	Vaststelling Basiskustlijn	7
2.2.1	Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn	7
2.2.2	Regionale afspraken voor het kustvak Ameland	8
2.3	Herzieningen Basiskustlijn	8
2.3.1	Landelijke herzieningen	8
2.3.2	Regionale herzieningen voor het kustvak Ameland	8
3	Beschrijving van het grootschalig morfologisch systeem	10
3.1	Paleogeografische ontwikkeling van de oostelijke Waddenzee	10
3.1.1	Pleistocene ontwikkeling	10
3.1.2	Subrecente ontwikkelingen	14
3.2	Algemene gebiedsbeschrijving	16
3.3	Grootschalige morfologie	16
3.3.1	Ontwikkeling van het Zeegat van Ameland	16
3.3.2	Opdringen van het Borndiep	21
3.3.3	Aanlanding van het Bornrif	21
3.3.4	Het Friesche Zeegat	24
3.3.5	Centrale Noordzeekust van Ameland	28
3.3.7	Volumeontwikkelingen rondom Ameland (uit Vermaas & Marges, 2015)	31
3.3.8	Volumeontwikkelingen kustzone Ameland	32
3.3.9	Samenvatting morfologische gedrag en kenmerken	35
4	Kustlijnhandhaving en ontwikkeling vooroever	38
4.1	Inleiding	38
4.2	Suppletieoverzicht	39
4.2.1	Uitgevoerde suppleties	39
4.2.2	Invloed van onderwatersuppleties op het bankgedrag.	43
4.2.3	Evaluatie suppletie 1998 (uit Spanhoff et al, 2002).	47
4.2.4	Evaluatie suppletie 2010-2011 (uit Vermaas et al. 2013)	47
4.3	Detailontwikkeling vooroever	48
4.3.1	Deelgebieden	48
4.3.2	Westelijke eilandkop - Borndiep	50
4.3.3	Aanlandingsgebied Bornrif; Raai 300-920.	57
4.3.4	Eilandkust; Raai 1320 - 1720	61
4.3.5	Overgang naar het Pinkegat	62
4.3.6	Lange-termijnontwikkeling van de strandlijnen (LW – HW)	67

4.4	Dynamiek van de zeereep	70
4.4.1	Inleiding	70
4.4.2	Algemene beschrijving situatie	70
5	Kustverdediging en primaire waterkering	74
5.1	Harde kustverdediging	74
5.2	Primaire waterkering Ameland	75
5.3	Beoordeling primaire waterkering	76
5.3.1	Eerste toetsronde: 1996-2001	77
5.3.2	Tweede toetsronde: 2001-2006	77
5.3.3	Derde toetsronde: 2006-2011	78
6	Gebruiksfuncties	79
6.1	Recreatie Ameland	79
6.1.1	Strandrecreatie Ameland	79
6.1.2	Gemeentes met strandrecreatie op Ameland	79
6.1.3	Overzicht van knelpunten op Ameland (Decisio, 2011)	80
6.2	Natuur Ameland	81
6.2.1	Natuurwetgeving	81
6.2.2	Habitatkaracteristieken	82
7	Literatuur	85
Bijlage(n)		
A	Achtergrondinformatie over het beleid van dynamische kustlijnhandhaving	A-1
A.1	Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn	A-1
A.2	Landelijke vaststelling Basiskustlijn 1990	A-2
A.3	Landelijke herzieningen	A-4
A.3.1	Landelijke herziening van 2001	A-4
A.3.2	Landelijke herziening van 2012	A-5
B	Begrippenlijst morfologie	B-6
C	Ontwikkeling kustlijnindicatoren TKL-BKL Ameland	C-8
D	Beschrijving duinsituatie 1988 en 2011 per deelgebied	D-17
D.1	RSP 47.20 – 2.40	D-17
D.2	RSP 2.40 – 9.20 / 8.20	D-19
D.3	RSP 8.20/9.20 – 16.00	D-21
D.4	RSP 16.00-17.80	D-24
D.5	RSP 17.80-23.20	D-25
D.6	RSP 23.30-25.12	D-27

1 Inleiding

1.1 Kustonderhoud en -onderzoek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het onderhoud van onze kust. Daarvoor wordt de zandvoorraad op het strand en op de zeebodem vlak voor de kust regelmatig waar nodig aangevuld door middel van zandsuppleties en daardoor wordt erosie van de kustlijn gecompenseerd. Het zand draagt bij aan de bescherming van Nederland tegen de zee en het behoud van de kustlijn. Tussen 2001 en 2018 is er gemiddeld 12 miljoen kubieke meter zand per jaar gesuppleerd. Hoeveel zand er precies nodig is en op welke plaatsen en tijdstippen het zand het best kan worden neergelegd (de suppletiepraktijk) baseert Rijkswaterstaat op de jaarlijkse evaluatie van de kustmetingen en op kennis over het kuststelsel.

In de loop der jaren zijn er vele studies afgerond en is er veel kennis over het kuststelsel ontwikkeld. Toch komen er voortdurend nieuwe onderzoeksvragen naar voren, bijvoorbeeld of zandsuppleties nog efficiënter en duurzamer kunnen worden uitgevoerd. Tevens is er nog geen eenduidig beeld van de effecten van suppleties op de ecologie van de kust en wordt hiertoe meerjarig onderzoek uitgevoerd. Om de kennis over het kuststelsel uit te breiden en te verspreiden voert Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat kustonderzoek uit (project KPP-B&O Kust), in nauwe samenwerking met andere onderzoeksinstituten en met Rijkswaterstaat. Nieuwe inzichten die uit het onderzoek voortkomen, kunnen ertoe leiden dat de suppletiepraktijk wordt aangepast. Deze interactie tussen kustbeleid, kustbeheer en kustonderzoek draagt er aan bij dat acute veiligheidsproblemen langs de kust zoveel mogelijk kunnen worden beperkt.

1.2 Waarom een beheerbibliotheek?

Het hoofddoel van de beheerbibliotheek is samenbrengen en inzichtelijk maken van de meest recente kennis vanuit onderzoek en beheer per kustvak. Gebruikers van dit document zijn Rijkswaterstaat, Deltares en andere (kennis)partijen. De beheerbibliotheek biedt onder andere een basis voor het opstellen van het suppletieprogramma, kustadvies en onderzoek.

1.3 Wat staat er in een beheerbibliotheek?

De beheerbibliotheek beschrijft de toestand van het kustvak en omvat een beschrijving van de geomorfologische systeemwerking. Verder bevat de beheerbibliotheek een overzicht van het uitgevoerde kustbeheer, met nadruk op de eerder uitgevoerde suppleties, evenals van de waargenomen effecten van dat beheer. Tenslotte wordt in de beheerbibliotheek de informatie over de gebruiksfuncties van de kust samengevat, het gaat daarbij om informatie die relevant is voor het vaststellen van het suppletieprogramma.

Doelstelling van deze tweede versie van de beheerbibliotheek is 1) een overzicht geven van de huidige kennis over het gebied en het delen van deze kennis, 2) op basis van deze huidige kennis mogelijk aanbevelingen geven met betrekking tot het kustonderhoud, en 3) aangeven tegen welke kennisleemten we nog aanlopen bij het opstellen van adviezen met betrekking tot kustonderhoud.

De kennis in de beheerbibliotheek komt voort uit het project KPP-B&O Kust, maar ook uit eerder uitgevoerde andere kustprojecten en uit wetenschappelijk onderzoek. Tevens wordt opgedane ervaring en kennis uit de uitvoering meegenomen in de beheerbibliotheek.

De voorliggende beheerbibliotheek kustvak 3, Ameland betreft een update (v2.0) van de eerste versie, zie Elias et al (2013). Belangrijke delen van de tekst zijn uit dit document overgenomen, daarnaast zijn tekst, figuren en tabellen geactualiseerd. Paragraaf 4.4 (Arens, 2013) is nog niet geactualiseerd, evenals paragraaf 6.1 (Decisio 2011).

1.4 Kustviewer

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

<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>.

Een KML-bestand kan worden weergegeven via Google Earth of Google Maps. Daarnaast zijn kustindicatoren zichtbaar via [subversion](#) of via de volgende [URL](#).

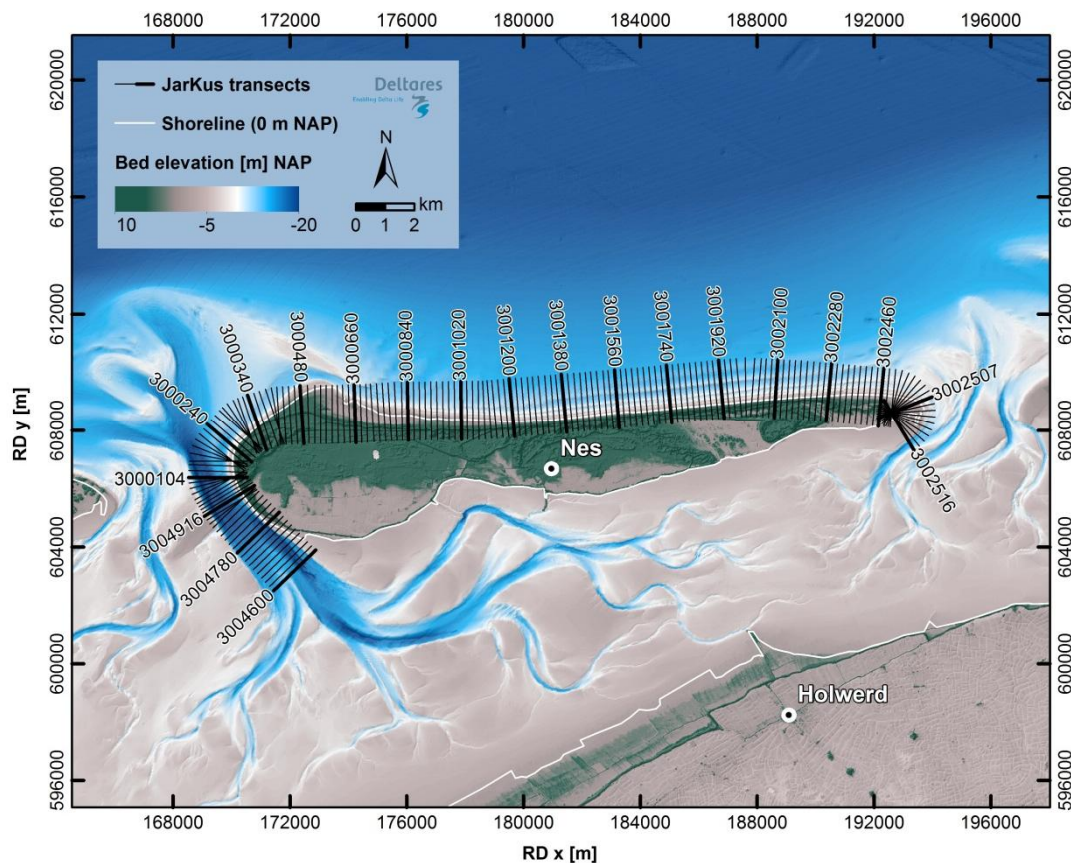
1.5 Kustlijnkaartenboek

Rijkswaterstaat meet elk jaar waar de kustlijn op dat moment ligt. Aan de hand van de metingen van de laatste 10 jaar berekent Rijkswaterstaat de lineaire trend van de kustlijnligging. Op basis van die trend leidt Rijkswaterstaat af waar de kustlijn op 1 januari van het daaropvolgende jaar zal liggen. Deze positie wordt vervolgens vergeleken met de norm, de Basiskustlijn. Deze informatie wordt ieder jaar opgeleverd in het kustlijnkaartenboek en is beschikbaar via:

<http://publicaties.minienm.nl/documenten/kustlijnkaarten-seriebeschrijving>.

1.6 Algemene informatie betreffende kustvak 3, Ameland

Het eiland Ameland, zie Figuur 1.1, is centraal gelegen in de rij van Nederlandse Waddeneilanden. Het voornamelijk uit zandduinen bestaande eiland is ongeveer 25 km lang met een maximale breedte van 4,5 km. Het oostelijke gedeelte van het eiland (de laatste 10 km) is onbewoond en herbergt het natuurgebied "Het Oerd" dat bestaat uit een landschap van hoge duinen, duinvalleien en kwelders. De meest oostelijke punt wordt "de Hon" genoemd. Het Amelander eiland is ingesloten door twee zeegaten. Het zeegat van Ameland, met de geul Borndiep, bevindt zich aan de westkant en het Friesche Zeegat met het Pinkegat aan de oostkant. De twee eilandkoppen hebben een verschillend morfologisch karakter. Aan de oostzijde (Pinkegat) kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden. Aan de zuidwestzijde van Ameland zijn er diverse harde kustverdedigingswerken uitgevoerd en vinden er met regelmaat suppleties plaats om erosie van de eilandkop door het opdringende Borndiep tegen te gaan.



Figuur 1.1 Ligging van de Jarkusraaien (RSP km's) voor kustvak 3 Ameland.

1.7 Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Ameland

In het eerstvolgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2) wordt de achtergrond van het kustbeleid uitgelegd. Hierin staat een beschrijving van de totstandkoming van de Basiskustlijn, landelijke herzieningen die hebben plaatsgevonden en welke regionale afspraken er vervolgens zijn gemaakt.

In Hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van het grootschalige morfologische systeem.

Hoofdstuk 4 beschrijft de kustlijnhandhaving en ontwikkeling van de vooroever, door een overzicht te geven van het uitgevoerde beheer en de detailontwikkeling van de vooroever.

Een overzicht van de huidige en de historische kustverdediging en de primaire waterkering is gegeven in Hoofdstuk 5.

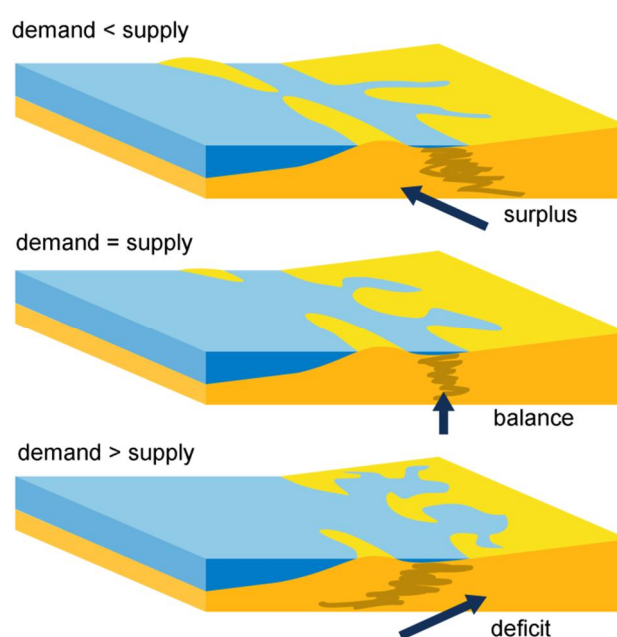
In Hoofdstuk 6 wordt een bescheiden start gemaakt met een overzicht van gebruiksfuncties van de kust. Vooralnog betreft dit een uitwerking van de strandrecreatie en een uitwerking van de natuur en bijbehorende wetgeving en natuurbeleving. In de toekomst zou dit verder kunnen worden uitgebreid, bijvoorbeeld met informatie over grondstoffenwinning (drinkwater).

2 Beleid: dynamische kustlijnhandhaving

Sinds 1990 is er sprake van het dynamisch handhaven van de Nederlandse kust en geldt het principe 'zacht waar het kan en hard waar het moet'. Bij de implementatie van dit beleid is er een zogenaamde Basiskustlijn (BKL) vastgesteld die als referentielijn voor de positie van de kustlijn fungeert. In paragraaf 2.1 wordt een toelichting gegeven over de achtergrond van dit kustbeleid, in paragraaf 2.2 welke keuzes gemaakt zijn bij het vaststellen van de Basiskustlijn en welke aanvullende afspraken zijn gemaakt voor het kustvak Ameland en in paragraaf 2.3 de landelijke herziening van de Basiskustlijn en de gevolgen hiervan voor het kustvak Ameland. Meer achtergrondinformatie staat in Appendix A.

2.1 Achtergrond kustbeleid dynamisch handhaven

Kusterosie - Hoewel er op kleine tijd- en ruimteschaal sprake is van afwisseling tussen kustopbouw en kustafbraak, vertoont de Nederlandse kust gemiddeld genomen al duizenden jaren een eroderende trend. Dit wordt veroorzaakt doordat er sprake is van een grote zandvraag, terwijl er slechts een gering zandaanbod is (Figuur 2.1). De grote zandvraag is het gevolg van een stijgende zeespiegel en van grootschalige ingrepen in de getijbekkens. Het geringe aanbod wordt veroorzaakt doordat de aanvoer van zand vanaf de diepere Noordzee bodem vrijwel tot nul is gereduceerd en de rivieren eveneens al lange tijd nauwelijks meer zand naar de kustzone transporteren.



Figuur 2.1 Samenspel van vraag (demand) en aanbod (supply) van sediment. Een tekort (deficit) van sediment zal uiteindelijk leiden tot erosie en landwaartse terugtrekking van de kust. (Nichols, 1989, aangepast door RWS).

Dynamische kusthandhaving - In 1990 besloot de regering dat het afgelopen moest zijn met de structurele erosie van de kust; de duinen langs de kust moesten behouden blijven om duurzaam de veiligheid en het behoud van functies te garanderen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990). Sindsdien wordt het structurele zandverlies aangevuld met supplementies. Het gesuppleerde zand wordt door stroming, wind en golven over het kuststelsel verspreid.

Basiskustlijn - Om te bepalen waar het zand gesuppleerd moet worden, is in 1990 de 'Basiskustlijn' ofwel BKL als referentie gedefinieerd, met als doel het signaleren van structurele erosie. Elk jaar wordt getoetst waar de kustlijn zich ten opzichte van deze Basiskustlijn bevindt. Als de Basiskustlijn structureel overschreden dreigt te worden, wordt het zandverlies met suppleties aangevuld. Het benodigde jaarlijkse suppletievolume om de Basiskustlijn te handhaven werd in 1990 vastgesteld op 6 miljoen kubieke meter zand.

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

Herziening Basiskustlijn - Om ervoor te zorgen dat de Basiskustlijn overeen blijft komen met de gewenste kustlijn, is de Basiskustlijn sinds 1990 herzien in 2001 en 2012 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012). In de nieuwe Waterwet en het Nationaal Waterplan is, net als in de voorgaande Wet op de Waterkering, de noodzaak voor een terugkerende herziening van de Basiskustlijn vastgelegd.

2.2 Vaststelling Basiskustlijn

In deze paragraaf worden de gemaakte keuzes en argumenten achter de huidige Basiskustlijn beschreven. Eerst wordt de (landelijke) hoofdlijn met betrekking tot het vaststellen en herzien van de Basiskustlijn toegelicht voor de periode 1990 tot 2012 (in dit jaar vond de laatste herziening plaats; dit document is opgesteld in mei 2018). Vervolgens wordt de huidige Basiskustlijn en de gehanteerde argumenten voor specifiek het kustvak Ameland uitgewerkt.

De teksten in de volgende sub-paragrafen zijn gebaseerd op de volgende documenten:

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1990)
- Hillen et al (1991)
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1993)
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003)
- Bruens et al (2012)
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012)

2.2.1 Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn

Sinds 1965 wordt de kustlijn jaarlijks gemeten (i.e. JARKUS: JAarlijkse KUStmeting). Op basis van deze JARKUS-profielen kan de positie van de Momentane KustLijn (MKL) bepaald worden. De MKL wordt berekend uit de ligging van het strand en het bovenste gedeelte van de vooroever.

Ieder jaar wordt beoordeeld of de BKL wordt overschreden, door de MKL-positie met de BKL-positie te vergelijken. Daartoe wordt gekeken naar de ligging van de jaarlijkse 'te Toetsen Kustlijn' (TKL) ten opzichte van de BKL. De jaarlijkse TKL wordt afgeleid uit de trend in de MKL uit voorgaande jaren (meestal 10 jaar).

In Appendix A.1 staat meer informatie over de Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn. In Appendix A.2 staat meer informatie over de landelijke vaststelling van de BKL in 1990.

2.2.2 Regionale afspraken voor het kustvak Ameland

Bij het vaststellen van de Basiskustlijn in 1990 (Hillen et al; 1991) zijn regionale afspraken gemaakt over het kustvak Ameland. Voor de ligging van de raaien zie Figuur 1.1.

Voor de volgende raaien werd overwogen de Basiskustlijn te verleggen:

Regio	Beginraai	Eindraai	BKL
Friesland	220	740	Landwaarts
Friesland	2200	2280	Landwaarts

Voor de volgende raaien werd besloten om de Basiskustlijn los te laten:

Regio	Beginraai	Eindraai	BKL
Friesland	2300	2560	Loslaten

Het advies van het POK en de reactie van Rijkswaterstaat, met betrekking tot Ameland, luidde (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993):

1. POK Friesland (Provinciaal Overleg Kust) stemt in met het voorstel tot het loslaten van de Basiskustlijn op de strandvlaktes aan de uiteinden van de Waddeneilanden, ten behoeve van de natuurlijke dynamiek van de duinenkust.
2. Eveneens stemt het in met landwaarts verleggen van de Basiskustlijn op locaties waar voldoende ruimte aanwezig is (motivatie III, brede strandvlakte). Voor Ameland betreft dit de locatie van het Bornrif (km 2,2 – 8,2).

2.3 Herzieningen Basiskustlijn

2.3.1 Landelijke herzieningen

Na de vaststelling van de BKL in 1990 is deze twee keer herzien.

- Herziening in 2001: Naar aanleiding van de tweede Kustnota (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1995), waarin werd geconstateerd dat de ligging van de basiskustlijn niet overal optimaal is, heeft een technische en bestuurlijke evaluatie van de BKL plaatsgevonden. Dit heeft geresulteerd in een eerste BKL herziening.
- Herziening in 2012: Na de versterking van de meeste Zwakke Schakels is de BKL wederom op een aantal locaties aangepast om de versterkingen goed te onderhouden.

Meer informatie over de landelijke herzieningen staat in Appendix A.3.

2.3.2 Regionale herzieningen voor het kustvak Ameland

Bij de landelijke herzieningen van de Basiskustlijn zijn regionale afspraken gemaakt over het kustvak Ameland.

2.3.2.1 Herzieningen en afspraken 2001

Het POK Friesland heeft in 2000 aangegeven geen aanpassing van de Basiskustlijn te wensen. Wel zijn in overleg met belanghebbenden nieuwe aanvullende criteria opgesteld voor de mate van verlies aan duinareaal en voor het flexibel omgaan met overschrijdingen van de Basiskustlijn, zonder deze te verleggen. Het doel hierbij is om meer dynamiek in de zeeleep te krijgen. Het POK adviseerde om met de aanpassing van

de BKL te wachten tot na de evaluatie van de gebiedsgerichte projecten. Voor de Friese Waddeneilanden zijn daarom geen wijzigingsvoorstellen gedaan.

2.3.2.2 *Herzieningen en afspraken 2012*

Voor Ameland is bekeken of de Basiskustlijn bij Ameland Oost en Ameland Noordwest herzien moest worden vanwege een te ver zeewaarts vastgestelde Basiskustlijn.

Ameland Oost

Aanleiding voor Ameland Oost waren regionale afspraken, waarin was afgesproken om alleen te suppleren wanneer er sprake is van een bepaalde gemiddelde overschrijding. De vraag was of het mogelijk was om dit te vertalen naar een aanpassing van de BKL. Uit de beschikbare data bleek dat de MKL van 2012 niet verder landwaarts lag dan eerdere MKL's (sinds 1965). Vooral de verandering in de gemiddelde laagwaterlijn zorgde voor een verandering in de MKL. Het was mogelijk om de BKL te verleggen naar een minimum positie van de afgelopen 20 jaar. Dit zou kunnen worden aangevuld met een monitoring van de ontwikkeling in duinvoet, gemiddeld laagwater en gemiddeld hoogwater.

Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft besloten om de BKL niet aan te passen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012)). Technisch was het vatten van de regionale afspraken in een nieuwe BKL goed mogelijk, maar gezien de vaststelling van de legger voor de primaire waterkering op de Waddeneilanden werd de BKL in 2012 hier niet herzien. Mogelijk kan de BKL later worden aangepast als de leggers zijn vastgesteld. Tot die tijd volstaan de regionale afspraken.

Ameland Noordwest

Aanleiding voor Ameland Noordwest is de aanwezigheid van het Bornrif. Bij het vaststellen van de BKL is weliswaar rekening gehouden met de natuurlijke dynamiek van deze aangelande zandplaat, maar de vraag was of dit voldoende was en de BKL niet te ver zeewaarts lag.

De kustlijn trekt zich niet structureel terug, de erosie in de afgelopen jaren/decennia is waarschijnlijk van tijdelijke aard. De erosie wordt veroorzaakt doordat de aangelande plaat zich in noordwaartse richting verplaatst. Overigens is de positie van de duinvoet in dit gebied zeer stabiel.

Door de kustlijn rond de raaien 200 en 300 (zie Figuur 1.1) enkele honderden meters landwaarts te verplaatsen, wordt er meer ruimte gegeven aan natuurlijke dynamiek, zonder dat er sprake is van structurele erosie. De consequenties voor de gaswinlocatie en grondwaterwinning moeten in meer detail in beeld gebracht worden en met belanghebbenden besproken worden.

In Noord-Nederland is het handhaven van de kustlijn gekoppeld aan het dynamisch zeereepbeheer: Een grote mate van dynamiek in de zeereep wordt toegestaan, omdat er daarnaast sprake is van kustlijnhandhaving. Het blijven bestaan van verstuing, maar tegelijkertijd landwaarts verplaatsen van de basiskustlijn zal resulteren in maatschappelijk onrust, ondanks het feit dat een verplaatsing op deze locatie nauwelijks effect op het handhavingbeleid van de kustlijn heeft. De voorkeur van de beheerder gaat daarom uit naar het niet verleggen van de BKL. In het verleden hebben de overschrijdingen waarbij men niet overging tot suppleren geresulteerd in onbegrip of vragen bij de betrokkenen. De huidige situatie is helder uit te leggen.

De positie van de BKL, zoals vastgesteld in 1990 en de lokale herzieningen in 2001 en 2012 zijn terug zien in de kustviewer (zie paragraaf 1.4).

3 Beschrijving van het grootschalig morfologisch systeem

Dit hoofdstuk beschrijft de algemene kenmerken van de kust van het vasteland van Ameland. Paragraaf 3.1 geeft de paleogeografische ontwikkeling van de Oostelijke Waddenzee (Ameland en Schiermonnikoog). Paragraaf 3.2 geeft een overzicht van het totale gebied en de belangrijkste bevindingen uit eerdere studies en is afkomstig uit de morfologische beschrijving van Ameland in Elias (2013). In de paragrafen 3.3.1 t/m 3.3.5 wordt dieper ingegaan op de grootschalige morfologische ontwikkelingen van de verschillende deelgebieden en het natuurlijke systeemgedrag en in 3.3.6 op de volumeontwikkelingen van de kustzone van Ameland.

3.1 Paleogeografische ontwikkeling van de oostelijke Waddenzee

Het oostelijke Waddengebied is een vrij eenvormig deel van de Nederlandse kust met barrière eilanden die de dynamische scheiding tussen de Noordzee en de Waddenzee vormen. Tussen de eilanden liggen getijdengeulen die zich in de Waddenzee vertakken om uiteindelijk tegen de zeedijken uit te lopen. Zeewaarts van de eilanden monden de ebgeulen uit op zgn. buitendelta's (Oost et al., 2017). Er bestaan goede aanwijzingen, dat dit systeem van eilanden, platen en geulen zich al vroeg in het Holoceen gevestigd heeft en maar weinig veranderd is. Wel zorgden door de tijd zich wijzigende randvoorwaarden ervoor (zoals snelheid van de zeespiegelrijzing, sedimentaanvoer, stormklimaat), dat langzaam de dynamiek van het systeem iets wijzigde. Zo is bijvoorbeeld over de duizenden jaren de afstand tussen de eilanden en de kust kleiner geworden en zijn mogelijkheden om slib te bergen tegenwoordig vrijwel niet meer aanwezig (door alle indijkingen). Daarnaast zijn (delen van) kustlijnen verhard c.q. min of meer vastgelegd door dijk aanleg en door handhaving van de BKL. De kortere afstand Noordzee-vastelandsdijk leverde over de tijd meer golfenergie in de Waddenzee op, zelfs bij gelijkblijvend golfspectrum, terwijl de onmogelijkheid tot slibberging sterke vertroebeling van het Waddenzeewater met zich mee bracht. Beide processen oefenen ook (een versterkende) invloed op elkaar uit.

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

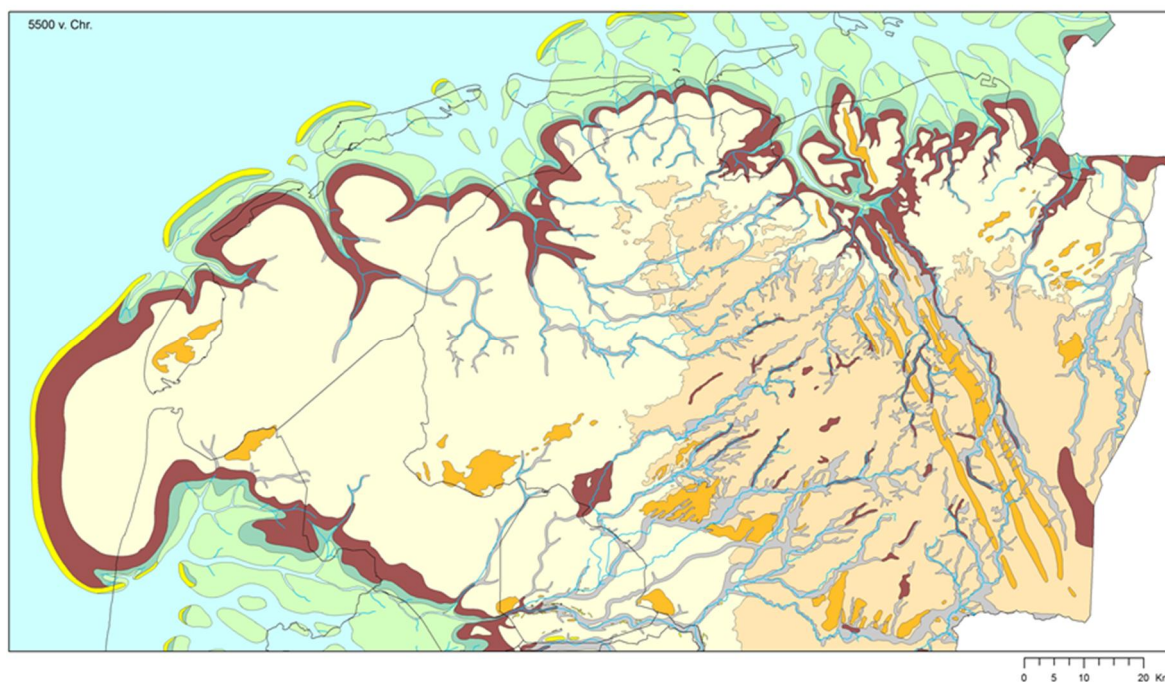
- de configuratie van het landoppervlak aan het einde van het Pleistoceen, ongeveer 11.000 jaar geleden;
- de op verschillende tijdstippen en manieren van opvullen van de voormalige getijdensystemen in het gebied;
- de vorming van het veen achter de kust; en
- de acties van de mens, die door de tijd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

Voor de algemene ontwikkeling van de paleogeografie wordt verwezen naar Figuur 3.1 t/m Figuur 3.5: het land verdrinkt in stappen over een periode van ca. 5000 jaar. Opvallend daarbij is de continuïteit in organisatie van het systeem kust doorheen de tientallen eeuwen.

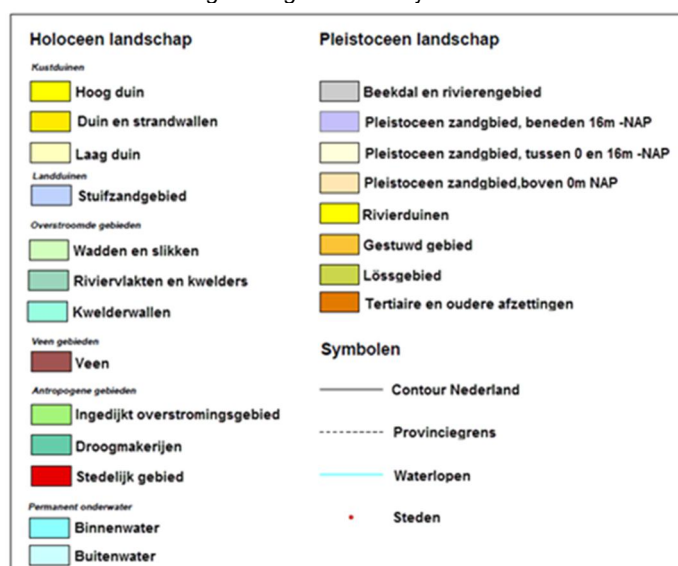
3.1.1 Pleistocene ontwikkeling

Een eerste blik op de paleogeografische kaarten van het Waddengebied (Figuur 3.1 t/m Figuur 3.5) leert dat de vorm en ligging van het Pleistocene achterland (ruwweg al het land boven + 1 m NAP) een erg belangrijke rol speelt en zeer waarschijnlijk ook heeft gespeeld in de paleogeografische ontwikkelingen van het gebied. Aan de westzijde van de Waddenzee komen hooggelegen stuwwalresten voor (Texel, Wieringen, Gaasterland). Deze relatief hooggelegen opduikingen van zand en keileem maken deel uit van een uitgestrekte west-oost verlopende gordel van stuwwallen uit het Saalien (einde ca. 120.000 jaar geleden), die vanuit de Noordzee doorlopen, door Nederland

heen de Noord-Duitse laagvlakte in. Door de toenmalige gletsjers omhoog gedrukt, zijn het overblijfselen van een sterk geaccidenteerd landschap met initiële hoogteverschillen van meer dan 200 m tussen de toppen van de stuwwallen en de bodems van de tussengelegen bekkens (in Nederland het Bekken van Amsterdam, Eemvallei en het IJsseldal). Veel van de hoogteverschillen zijn tijdens de opvolgende warme periode van het Eemien en koude periode van het Weichselien sterk verminderd, maar ze zijn nog steeds niet verdwenen. Gedurende het Weichselien zijn de rivieren die o.a. het Drents plateau afwaterden, sterk ingesneden in de ondergrond. Aan het begin van het Holoceen, ca. 11.000 jaar geleden, waren die ingesneden rivierdalen uiteraard de aangrijpingspunten voor de stijgende zeespiegel om het land binnen te dringen, met het Hunze- en het Eemsdal als de voornaamste (Figuur 3.1).

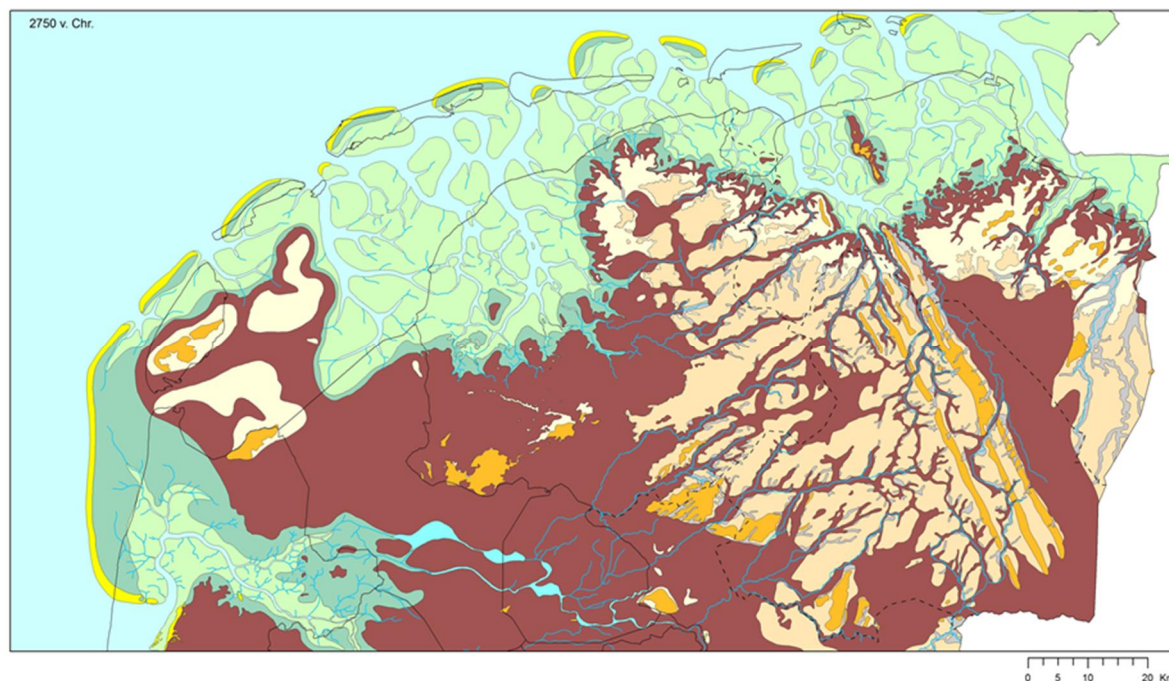


Figuur 3.1 Noord-Nederland ca. 7500 jaar geleden (5500 v. Chr.). De stuwworene van Texel steekt nog ver de Noordzee in. De zeespiegel staat nog lager dan 15 m beneden NAP en stijgt snel. Het land wordt overstromd via de in het Pleistoceen ingesneden rivierdalen. De eilandenboog ligt nog relatief ver voor de huidige doorgaande kustlijn.



Figuur 3.2 Legenda voor de vier paleogeografische kaarten in deze paragraaf (Figuur 3.1, Figuur 3.3, Figuur 3.4 en Figuur 3.5), naar Vos en De Vries, 2013.

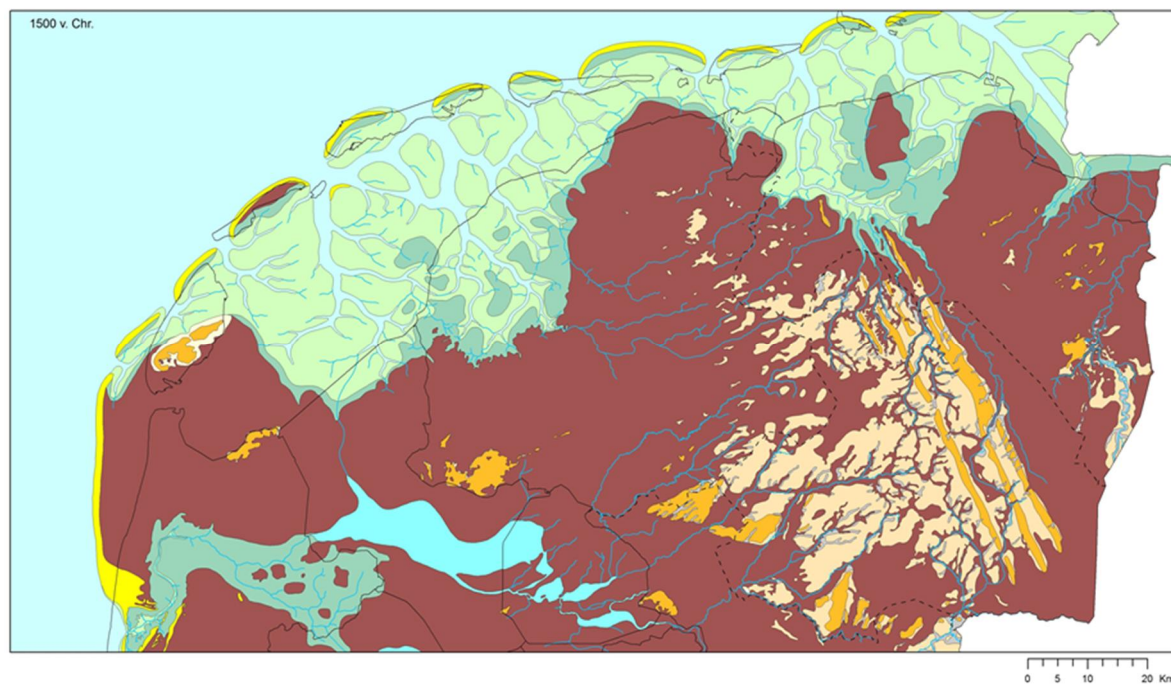
Het Basisveen, dat waarschijnlijk vrijwel overal heeft bestaan en de daarop afgezette oudere Holocene afzettingen, is bijna overal geërodeerd door de geulen, die het wadzand van de oudere getijdenafzettingen naar binnen brachten. De oudere geulen volgden uiteraard de Pleistocene oppervlakte-morfologie, maar de ligging van de jongere geulen is daar veel minder door beïnvloed. Die sloten aan op riviertjes waarvan de erosiebasis inmiddels met 20 m of meer omhoog was getrokken.



Figuur 3.3 Noord-Nederland ca. 4750 jaar geleden (ca. 2750 v. Chr.). Grote delen van Noord-Nederland zijn overstroomd met zeewater. In deze kustvlakte worden enorme hoeveelheden wadzand en klei afgezet. De snelheid van ZSR is flink afgenomen. De eilandenboog ligt vlak boven de huidige kustlijn.

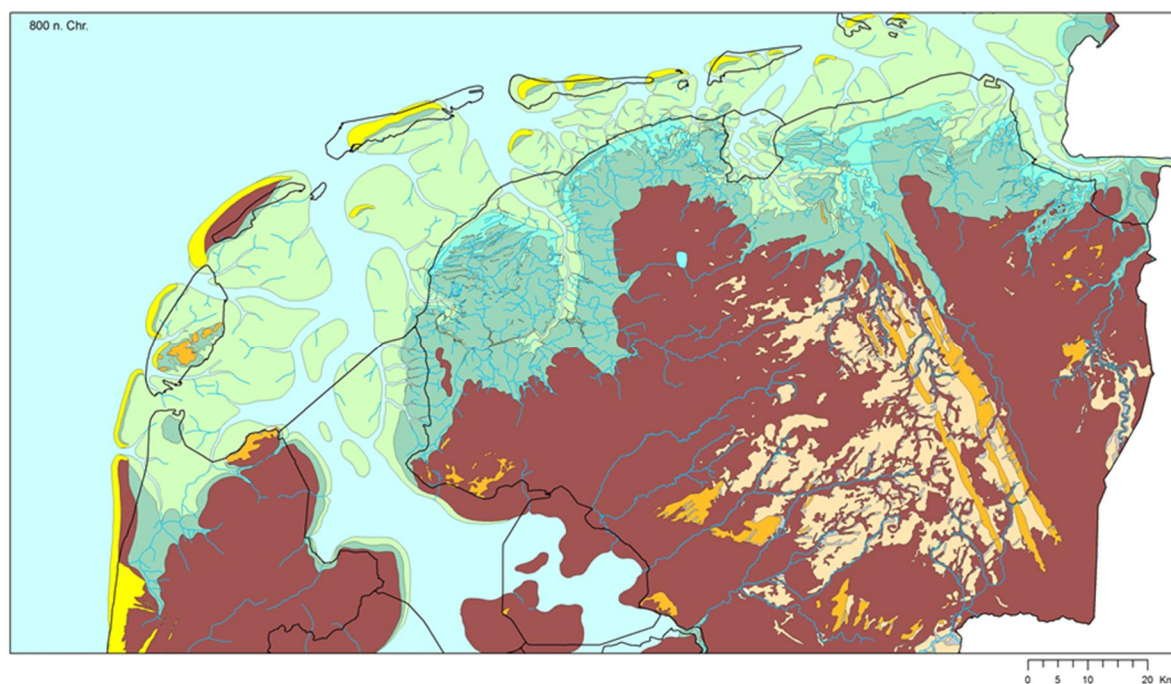
In de periode tussen de vorming van de oude en de jong getijdensystemen, ruwweg het Subboreaal (van ca. 5660 tot 2400 jaar voor heden) is veen tot ontwikkeling gekomen (Figuur 3.3). Hier en daar zijn daar nog stukken van bewaard, maar de jonge geulen hebben er ook veel van opgeruimd. Verder landwaarts zijn meer voormalige veengebieden onder de jonge getijdenafzettingen bewaard. Waar de geulen van jonge getijdenafzettingen eroderend hebben gewerkt, is het erg lastig op lithologische gronden onderscheid te maken tussen oude en jonge getijdenafzettingen (van Staalduinen et al., 1977).

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



Figuur 3.4 Noord-Nederland ca. 3500 jaar geleden (ca. 1500 v. Chr.). De kustvlakte is nog steeds breed. De verder afnemende snelheid van ZSR weerspiegelt zich in de uitbreiding van de veengroei, zelfs achter een Waddeneiland (Vlieland). De eilandenboog ligt nu op de huidige kustlijn.

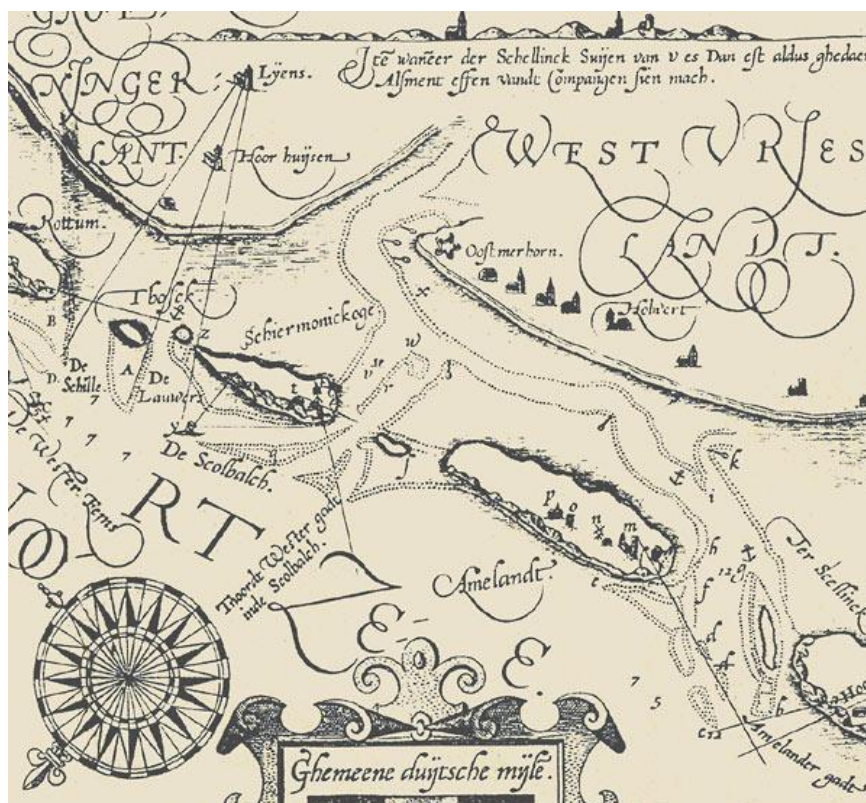
Vanaf 3000 BP (Figuur 3.4) kon de sedimentatie de zeespiegelstijging bijhouden en was er ook genoeg sediment om geulen die het binnenland instaken, te doen verlanden. De doorgaande langzame landwaartse migratie van de Waddeneilanden verkleinde de afstand van de Noordzeekust tot het achterland.



Figuur 3.5 Noord-Nederland ca. 1200 jaar geleden (ca. 800 n. Chr.). De kustvlakte is nog steeds breed. De eilandenboog ligt op de huidige kustlijn, en de omtrekken van de huidige vorm van de Waddeneilanden begint zich af te tekenen. Ameland bestaat nog uit 3 eilandboogcomplexen. De andere eilanden (behalve Texel) hebben al ongeveer hun huidige vorm en ligging bereikt.

De getijdengeulen liepen minder ver het land in en door stagnerende waterafvoer trad veenvorming op grote schaal op, mede als gevolg van de afzetting van dikke pakketten kwelderklei in het zeevaartse deel van de getijdenbekkens.

De oudst bewaard gebleven delen van de eilanden Terschelling en Ameland waarvoor geologisch bewijs is verzameld, dateren uit laat-Romeinse en Vroegmiddeleeuwse periode (De Jong, 1984; Van Staalduinen et al., 1977) (zie Figuur 3.5). Opvallend is dat zeer weinig bekend is over oudere geullopen dan die uit de late Middeleeuwen, toen de eerste kaarten van kustgebieden werden gemaakt en de waterdieptes in de vaargeulen voor het eerst opgetekend werden (midden 16^e eeuw; Figuur 3.6).



Figuur 3.6 Kaartuitsnede van de kustzone van de oostelijke Waddenzee en de randzone van de Noordzee (Haeyen, 1585) met enkele geuldieptes (in vadem, 1 vadem = 1,83 m). Zie ook Oost (1995), p. 138-139.

Een combinatie van doorzettende zeespiegelrijzing en aantasting van grote veenlichamen in het achterland, tegen de pleistocene zandgronden aan zorgde voor erosie en verdere doordringing van de getijdegeulen het binnenland in. Dit proces zette zich voort tot in de Vroege Middeleeuwen. De Lauwerszee is voor een groot deel in deze periode gevormd (Figuur 3.5).

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

3.1.2 Subrecente ontwikkelingen

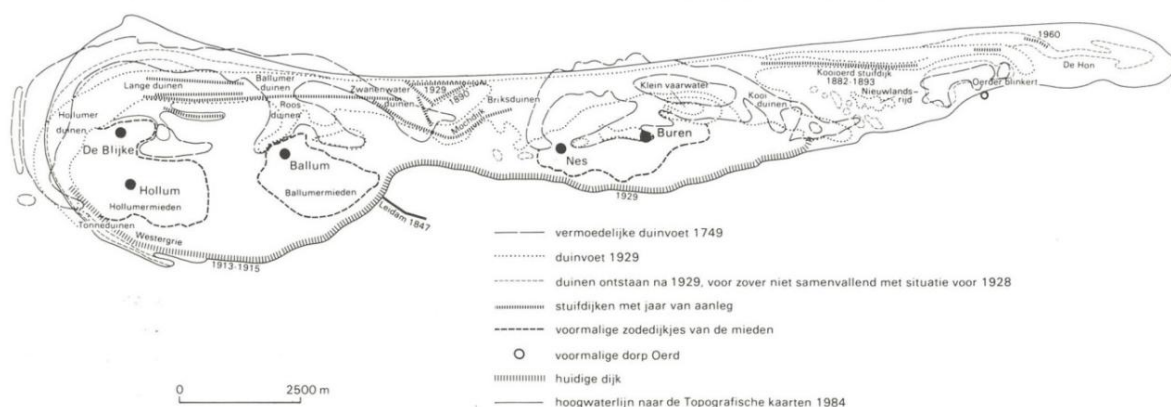
Tot in de 19^e eeuw bestond Ameland uit een drietal niet of nauwelijks verbonden boogduincomplexen: dat van Hollum-Ballum, Nes-Buren en het Oerderduin (Figuur 3.7).

De eerste twee werden bewoond, het derde complex niet. Tussen de drie boogduincomplexen bevinden zich zgn. overwash complexen: tijdens stormen vond via deze laagtes water- en zandtransport plaats van de Noordzeekust naar de Waddenkust; op zo'n moment waren de verbindingen tussen de eilanddelen verbroken. Opvallend is de afname van grootte van de boogduincomplexen van west naar oost.

De grote overwash-geulen bestonden vanaf tenminste het jaar van de eerste tekeningen van het eiland (van Deventer, 1545) tot ze werden afgesloten door stuifdijken. Een groot overwashcomplex was aanwezig tussen Ballum en Nes. Het werd in de 19^e eeuw afgesloten door de aanleg van een serie stuifdijken: een eerste stuifdijk werd hier aangelegd in 1807 en in 1851 verder opgehoogd.

Het andere overwashcomplex, het Reid (ook wel: Neerlands Reid) tussen Buren en het Oerd wordt zelfs al in 1483 genoemd. Na de eerste pogingen om deze af te sluiten in 1855 en 1880, lukte dit uiteindelijk door een stuifdijk aan te leggen in de jaren 1882-1893 (Westhoff en Van Oosten, 1991; Oost, 1995).

Die stuifdijken zijn in de 19^e en 20^e eeuw aangelegd, via paardenkracht met 'molborden'. Nog altijd bestaat de grootschalige morfologie van het eiland uit deze onderdelen, maar vond overwash niet meer plaats sinds ca. 1850, behalve via de kleinere overwashkanalen op de staart van het eiland. Aanlandende delen van de buitendelta veroorzaken langlopende zandgolven langs het eiland. De eilandstaart wordt niet verdedigd en mag afslaan of verlengen. Het indijken van de kwelder langs de Waddenzee vond plaats in de vroege 20^e eeuw.

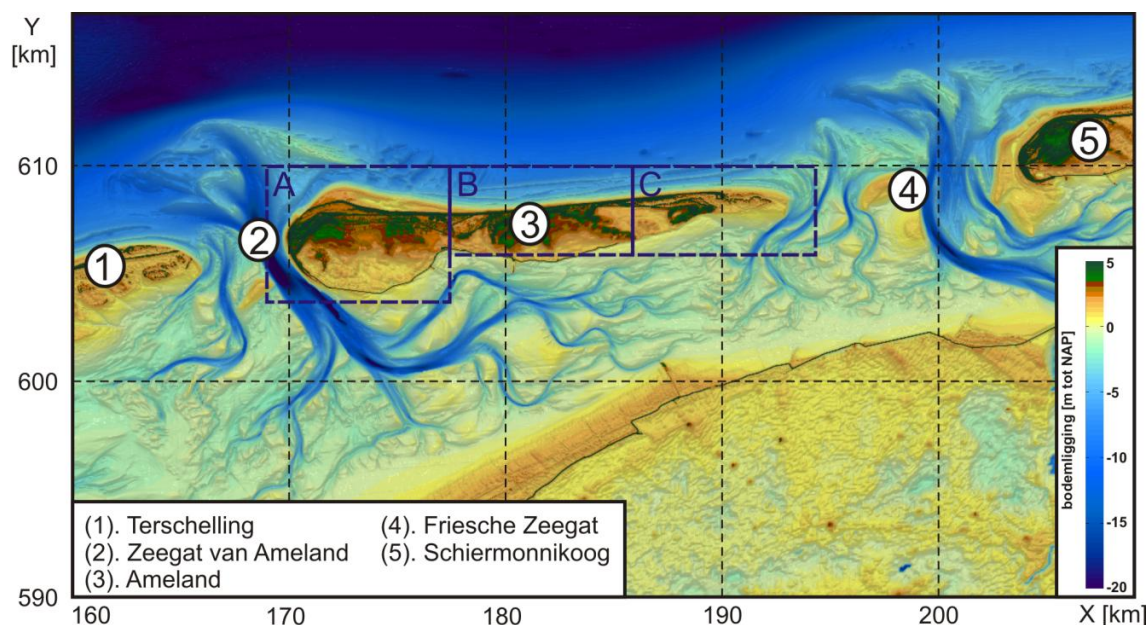


Figuur 3.7 De vormverandering van Ameland vanaf de 18^e eeuw (naar Westhoff en van Oosten, 1991). De individuele duinboogcomplexen blijven door de tijd steeds zichtbaar. Ook nu nog bepalen die boogcomplexen de grootschalige geomorfologie van het eiland, met enkele toevoegingen als de periodieke westelijke aanlanding van zandbanken afkomstig van de ebgetijdendelta en de eilandstaart.

Samenvattend, het eiland Ameland vertoont het typische beeld van langzame kustlijn-terugtrekking op de lange termijn, die gepaard gaat met stevige erosie aan de westelijke kop van het eiland. Sinds de vastlegging van de kustlijn (1990) is er inderdaad stabilisatie van het middendeel van de noordelijke kustlijn opgetreden, die wel met veel en vaak suppleren moeten worden gewaarborgd. Die suppleties zijn vooral nodig om de sedimentvolumina van de BKL van oostelijk Ameland op peil te houden. De volumina sediment staan onder druk van de nu al decennia durende bodemdaling onder Ameland-Oost als gevolg van gaswinning. Suppleren moet nog regelmatig plaatsvinden, ondanks de recente impuls van grote hoeveelheden zand door de aanlanding van een deel van het Bornrif rond 1990 (zie verder paragraaf 3.3.3).

3.2 Algemene gebiedsbeschrijving

Het eiland Ameland is centraal gelegen in de rij van Nederlandse Waddeneilanden (Figuur 1.1). Het voornamelijk uit zandduinen bestaande eiland is ongeveer 25 km lang met een maximale breedte van 4,5 km. Het totale oppervlak beslaat zo'n 60 km². De ruwweg 3600 inwoners leven in vier dorpen: Hollum, Nes, Buren en Ballum. Het oostelijke gedeelte van het eiland (de laatste 10 km) is onbewoond en herbergt het natuurgebied "Het Oerd" dat bestaat uit een landschap van hoge duinen, duinvalleien en kwelders. De meest oostelijke punt wordt "de Hon" genoemd.



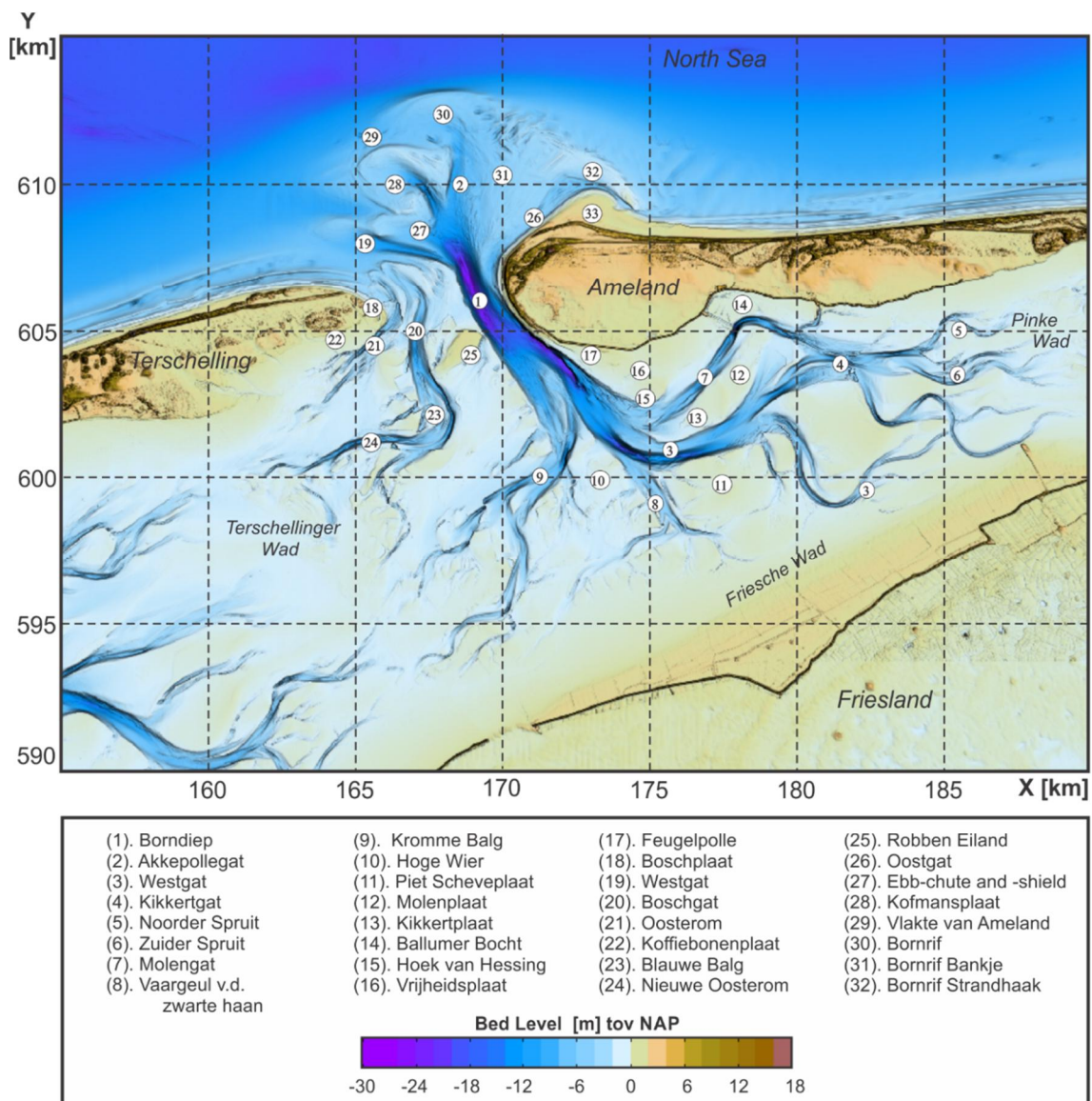
Figuur 3.8 Locatie Ameland en indeling in 3 morfologische eenheden: (A) westelijke eilandkop, (B) de eilandkust en (C) oostelijke eilandstaart. De bodem is representatief voor 2011/2012. (Elias, 2013).

Het Amelander eiland is ingesloten door twee zeegaten. Het zeegat van Ameland, met de geul Borndiep, bevindt zich aan de westkant en het Friesche Zeegat met het Pinkegat aan de oostkant (Figuur 3.8). De morfologische ontwikkelingen van deze zeegaten bepalen in grote mate de ontwikkeling van het eiland Ameland en met name de veranderingen bij de eilandkoppen (Cleveringa et al., 2005, Oost, 1995). De twee eilandkoppen hebben een verschillend morfologisch karakter. Aan de oostzijde (Pinkegat) kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden. Aan de westzijde van Ameland zijn er diverse harde kustverdedigingswerken uitgevoerd en vinden er met regelmaat suppleties plaats om erosie van de eilandkop door het opdringende Borndiep tegen te gaan.

3.3 Grootschalige morfologie

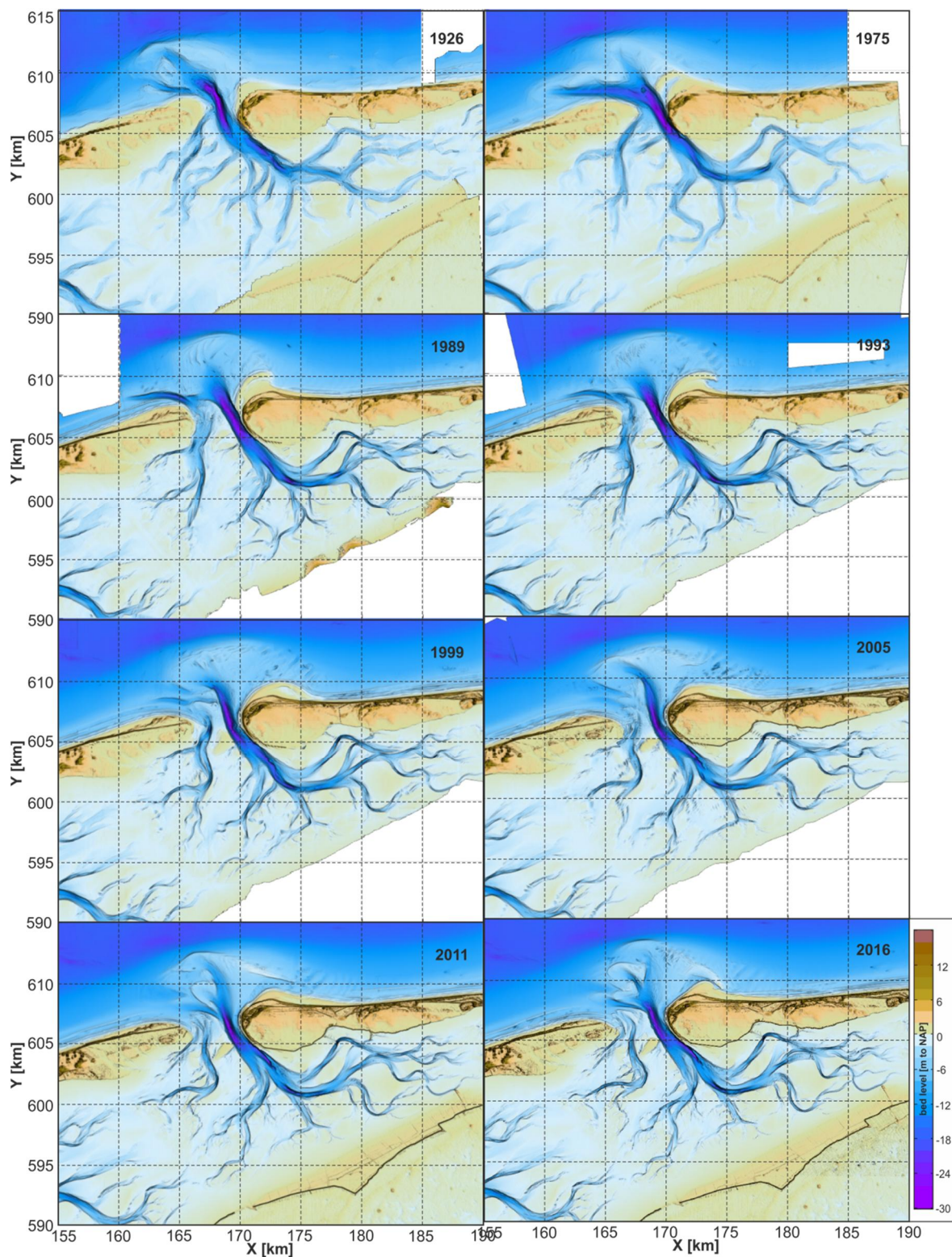
3.3.1 Ontwikkeling van het Zeegat van Ameland

Figuur 3.9 geeft een overzicht van de belangrijkste geulen in het Amelander Zeegat, gelegen tussen Terschelling en Ameland. Historisch gezien vertoont het zeegat een cyclisch gedrag waarin enkele en dubbele geulconfiguraties elkaar afwisselen. De bodemligging van het Amelander Zeegat van 2016 (Figuur 3.9) vertoont een duidelijke hoofdgeul aan de oostzijde, langs de westkust van Ameland (het Borndiep-Akkepollegat [1, 2]). Aan de westzijde, langs de Boschplaat [18], bevinden zich de geulen Westgat [3] aan de zeezijde en Boschgat in het bekken [20]. De grootte en invloed van deze twee nevengeulen varieert door de tijd. In 2016 zijn de geulen over een ondiepte met elkaar verbonden.

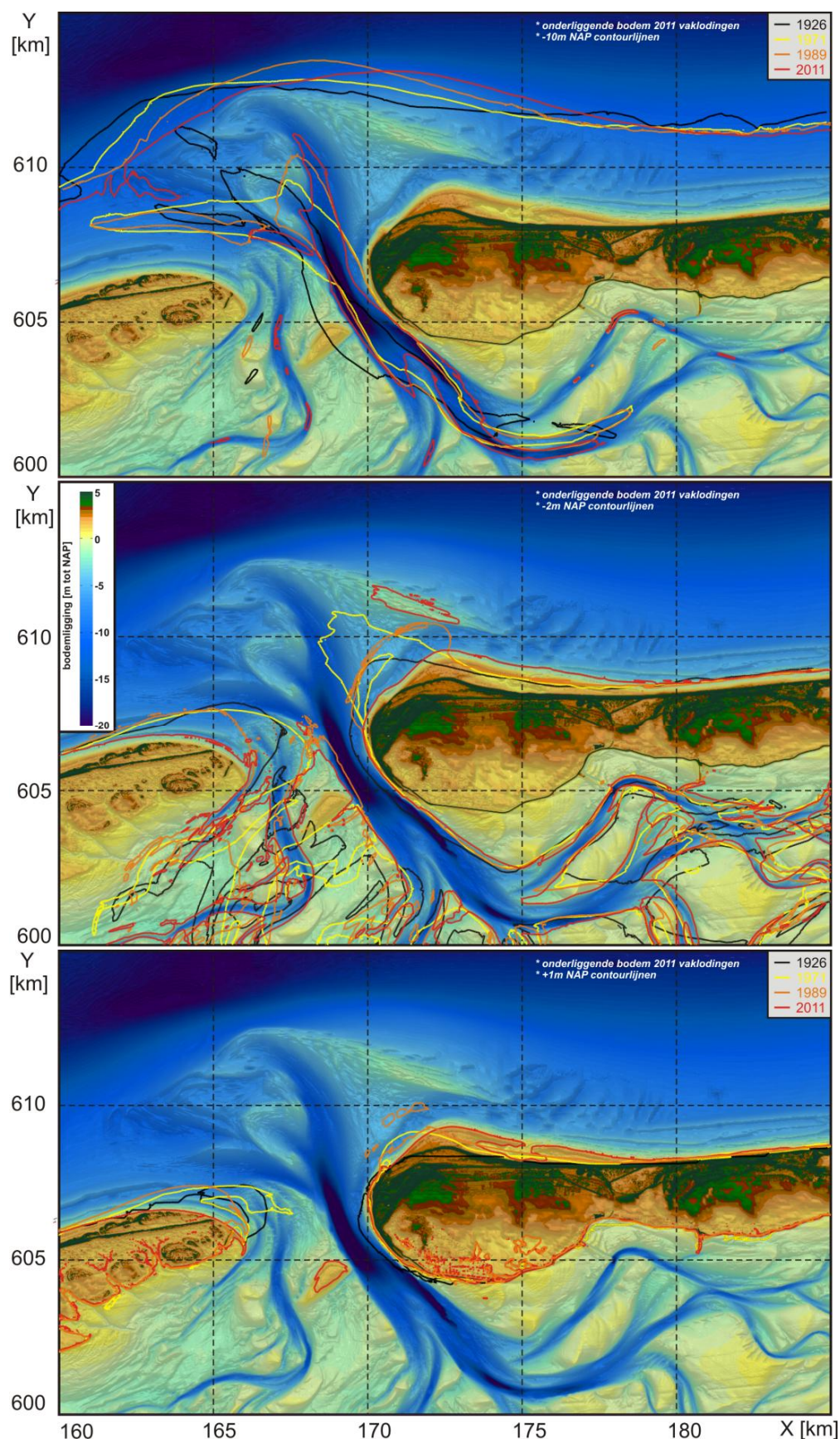


Figuur 3.9 : Overzicht van de belangrijkste geulen en platen in het Amelander zeegat in 2016.

Het grootste plaatoppervlak op de buitendelta ligt ten noorden van de hoofdgeul. Periodiek is er door het aanlanden van zandbanken sprake van (veel) zanduitwisseling met de kust van Ameland. Een voorbeeld hiervan is de vorming en aanlanding van het Bornrif [30, 31 en 32], zie details in paragraaf 3.3.3. In deze studie zullen we de buitendelta aanmerken als Bornrif [30]. Het aangelande gedeelte van Bornrif wordt beschreven als Strandhaak Bornrif [32]. De ontwikkeling van de Strandhaak Bornrif heeft de achterliggende kustontwikkeling van Ameland over de laatste decennia in grote mate gestuurd.

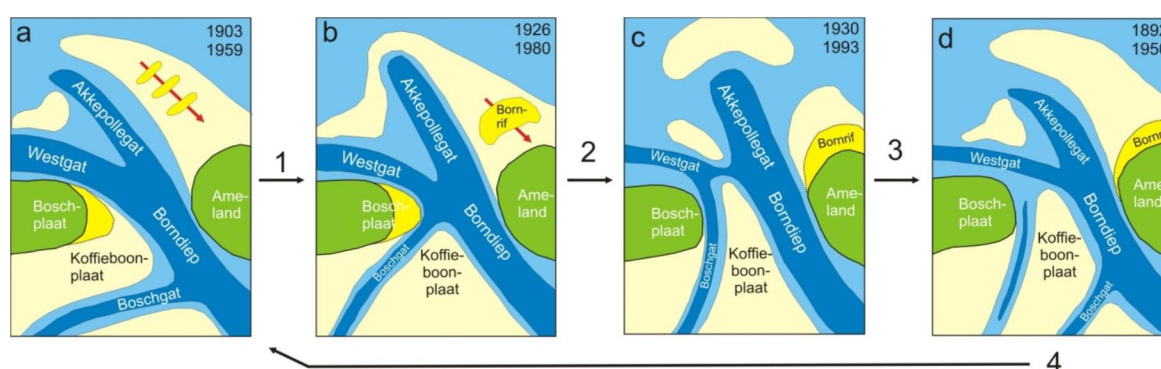


Figuur 3.10 : Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Amelanders zeegat aan de hand van de bodems gecompileerd vanuit de Vaklodings datasets (1926 – 2016). De eilanden zijn ingevuld met het AHN1 (Algemeen Hoogtebestand Nederland met data uit de periode 1996-2003).



Figuur 3.11 : Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Amelandse zeegeat d.m.v. geselecteerde contourlijnen (van boven naar onder): -10 m (representatief voor de hoofdgeulen), -2 m (net onder de laagwaterlijn) en +1 m NAP (Hoogwaterlijn) 1926-2011.

De uitwisseling tussen het zeegat en de noordwest kust van Ameland is uitvoerig beschreven in Cleveringa et al. (2005). Deze laatste studie vat de resultaten van 10 jaar morfologisch onderzoek in het kader van Rijkswaterstaat programma's KUST2000 en KUST2005 samen. De grootschalige morfologische ontwikkelingen worden bepaald door complexe interacties op een breed scala van tijd- en ruimteschalen (Cleveringa et al, 2004). De grootste morfologische veranderingen in deze 10 jaar zijn de toename van het sedimentvolume en de sedimentherverdeling van west (updrift) naar oost (downdrift) op de buitendelta. De hoofdgeul (Borndiep-Akkepollegat) ontwikkelt een westelijke (updrift) uitstroming, maar verplaatst als geheel oostwaarts. Dit is in Figuur 3.10 en Figuur 3.11 vooral te zien in de periode 1926-1971. Vanaf 1983 lijkt de hoofdgeul zich weer westwaarts te bewegen en zich verder op de buitendelta uit te strekken. In 1989 is te zien dat de oorspronkelijk vrij brede, enkele geul zich heeft ontwikkeld in een twee-geulen systeem. De hoofdgeul (Borndiep) ligt hierin tegen de westelijke kop van Ameland aan, terwijl een tweede, kleinere geul de oostpunt van Terschelling (Boschplaat) doorsnijdt.



Figuur 3.12 : Cyclische veranderingen in het Amelanders zeegat (Israël en Dunsbergen, 1999).

Gebaseerd op de analyse van historische data over de periode 1798 tot 1999, wijzen zowel van der Spek en Noorbergen (1992), Israël en Dunsbergen (1999) als Cheung et al. (2007) op het mechanisme van cyclische plaat-geul ontwikkelingen. De waargenomen cyclus heeft een duur van 50 tot 60 jaar. In deze plaat-geul cyclus zijn vier karakteristieke stadia te onderscheiden (Figuur 3.12). In fase 1 (Figuur 3.12a) is er sprake van een één-geul systeem. Er ligt één dominante hoofdgeul tussen de eilandkoppes die verbonden is met een grote westelijke geul (Westgat) en een iets kleinere zeewaartse geul (Akkepollegat). De Boschplaat zit hier ruim in het zand en steekt relatief diep in het zeegat met een west-oost oriëntatie. Dit systeem gaat geleidelijk over in een twee-geul systeem (fase 2, Figuur 3.12b). Het Boschgat migreert hierbij dichterbij de Boschplaat toe, terwijl de Boschplaat als een spit verder oostwaarts uitbreidt. Op een bepaald moment wordt de spit doorsneden door een kortsluitgeul die het Westgat en het Boschgat met elkaar verbindt. Er is nu sprake van een twee-geul systeem in het zeegat (fase 3 en 4, Figuur 3.12c en Figuur 3.12d). Het Boschgat is in het twee-geul systeem relatief klein ten opzichte van het Borndiep. Op de buitendelta heeft de hoofdgeul (Akkepollegat) nu een zeewaartse richting, terwijl het Westgat kleiner is. Vergelijken we dit cyclische model met de opgetreden ontwikkelingen (Figuur 3.10 en Figuur 3.11) dan zien we dit gedrag duidelijk terug in de metingen. Dit is op zich logisch, want Israël en Dunsbergen gebruiken (tot 1999) dezelfde data. Een tekortkoming van het cyclische model is, dat de mechanismen welke de overgang tussen de verschillende fasen in de cyclus bepalen, slechts beperkt bekend en beschreven zijn. Dat komt mede door het beperkt aantal lodingen waarop dit model gebaseerd is. Hierdoor wordt de voorspelling van (de duur van) toekomstige ontwikkelingen bemoeilijkt en moeten hier geen onrealistische verwachtingen aan worden toegekend.

Gebaseerd op de cyclus gaven Israël en Dunsbergen als prognose voor 2010: *“Voor de Ameland kust is met name de aanlanding van zandbanken met origine op de buitendelta van belang. Als onderdeel van de morfologische cyclus ontwikkelen er zich op de buitendelta zandbanken (zie o.a. Bornrif strandhaak) die onder invloed van golven en getij over de buitendelta richting de kust migreren. Aanlanding van deze zandbanken geeft lokaal een sterke sedimentimpuls”*.

3.3.2 Opdringen van het Borndiep

De erosie van de westkust van Ameland is gerelateerd aan de oostwaartse verplaatsing van de hoofdgeul Borndiep. In Figuur 3.11 is deze verplaatsing duidelijk te zien in de ligging van de -10 m contour. Vanuit de literatuur (Beckering Vinckers, 1943; Cleveringa et al., 2005) worden verschillende redenen gegeven voor deze oostwaartse migratie. Zowel de ontwikkelingen van buitendelta en bekken lijken hiervoor van belang te zijn. De verplaatsing van Borndiep hangt samen met:

- (1) de oostelijke verplaatsing van het kombergingsgebied (tussen de wantijen ten zuiden van Terschelling en Ameland). Vanaf 1830 is dit wantij enkele kilometers verplaatst (van der Spek, 1995). Deze verplaatsing is mede gestuurd door de opvulling van het achterliggende bekken (de Middellzee). Maar ook de oostelijke getij- en windgedreven resttransporten (de Boer et al. 1991a,b) over de wantijen lijken van belang te zijn.
- (2) het verbinden en vastleggen van Boschplaat met Terschelling in de 19^e eeuw. Door deze afsluiting is de vorming van kortsluitgeulen over de Boschplaat verhinderd. Het debiet kan alleen nog door het Borndiep.
- (3) het cyclische gedrag in de buitendelta-ontwikkeling (zie paragraaf 4.3.6).

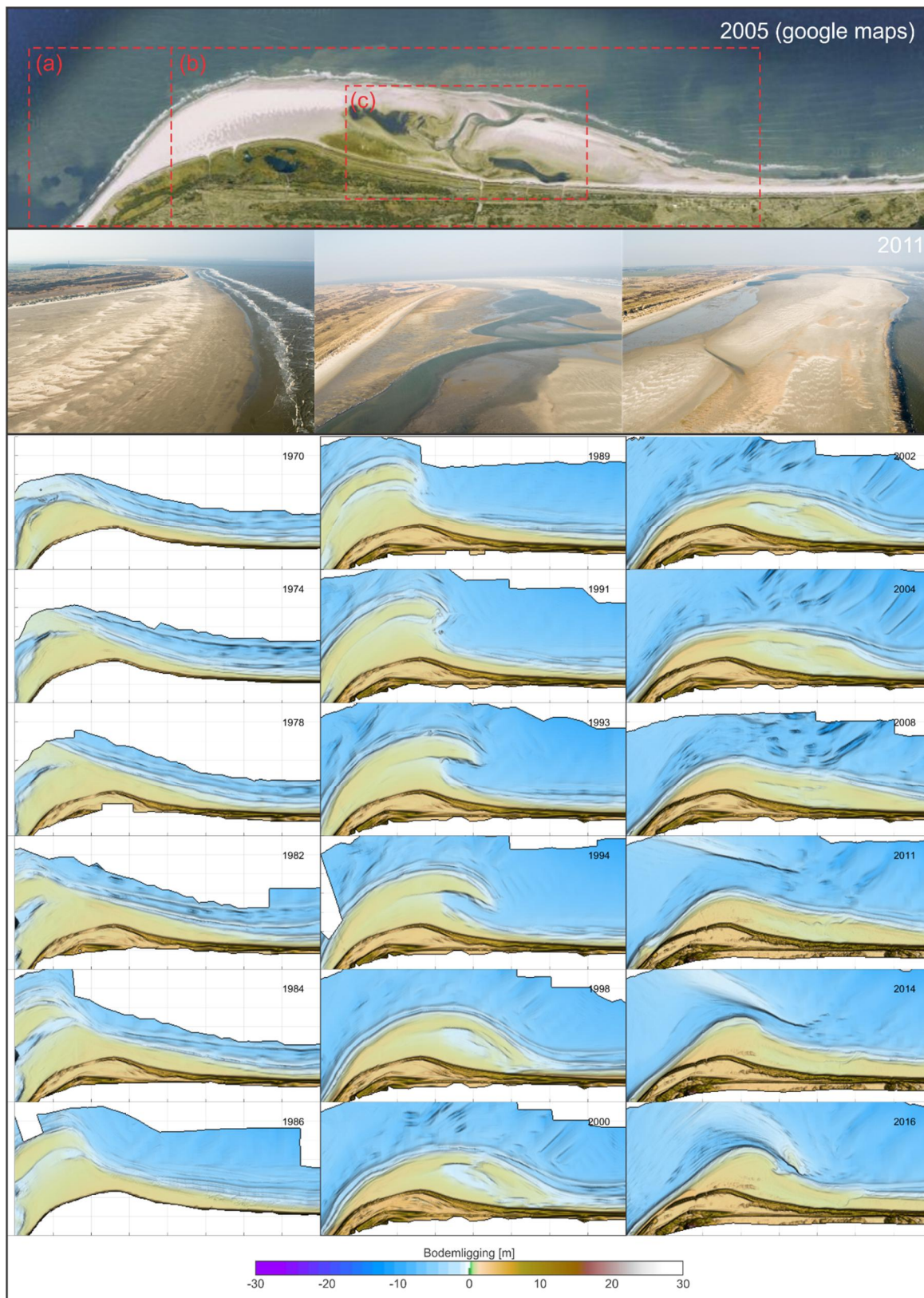
Een gedetailleerde analyse van de uitwisseling tussen Borndiep en de westpunt van Ameland wordt gegeven in paragraaf 3.3.2.

3.3.3 Aanlanding van het Bornrif

Als onderdeel van de cyclische ontwikkeling van de Amelander buitendelta, landen er periodiek zandbanken en daarmee grote zandvolumes aan op de noordwestkust van Ameland. In Figuur 3.13 is de aanlanding en vervolgens de verspreiding van de strandhaak Bornrif te volgen. Initieel geeft de aanlanding een grote, bijna instantane, zeewaartse sprong van de kustlijn (Figuur 3.13, 1980-1985). Het aangelande volume wordt daarna in de loop van jaren als een strandhaak langs de kust verspreid. Na aanlanding bouwt de oostelijke punt van de strandhaak snel uit naar het zuidoosten, in de richting van de kust (Figuur 3.13, 1989-1995). Deze uitbouw wordt gevoed door een verplaatsing van de zandbank. De noordwestelijke rand van de strandhaak erodeert en verplaatst in de richting van de kust. Initieel bouwt het noordwestelijke kustgedeelte dan ook sterk uit (tot 1989). Deze uitgebouwde kust trekt zich vervolgens weer snel terug, zoals duidelijk te zien is in de periode 1989-1995. De strandhaak zelf ontwikkelt zich als een halve cirkel (1989 – 1998). Rond 1998 bereikt de punt van de strandhaak de kust en vervolgens ontstaat er een langgerekte uitbouw langs de kust (ongeveer 8 km lengte). Op een tijdschaal van decennia zorgt de aanlanding van platen voor een netto uitbouw van dit kustvak.

De detailontwikkeling van de Bornrif strandhaak laat duidelijk zien dat verschillende tijden en ruimteschalen van belang zijn in de morfologische karakterisering van de kust. Over de gehele periode is dit kustvak sedimentierend. Lokaal en tijdelijk zijn er echter duidelijke bedreigingen van de kustlijn of de duinvoet aanwezig. In het geval van de strandhaak komt dit bijvoorbeeld door de insluiting van een meanderende getijgeul. Op basis van een visualisatie van de kustlidar-opnamen is dit proces duidelijk te volgen. In de eerste LiDAR opname (1997) is de strandhaak, zichtbaar als een grote halfronde zandrug, de kust dicht genaderd. Hierbij is een kleine getijdekom ingesloten tussen de zandhaak en

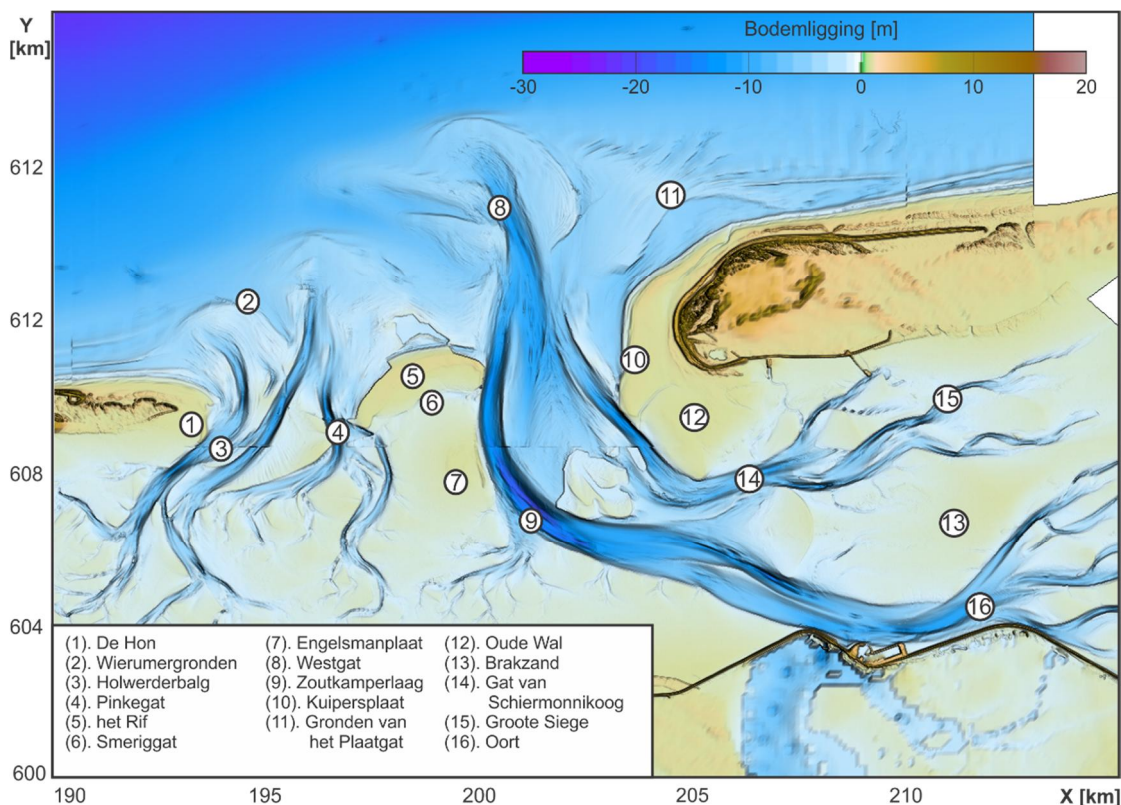
de duinen. De in- en uitstroom vanuit deze getijdekom verloopt door een kleine geul. Door de landwaartse verplaatsing van de punt van de strandhaak wordt het geultje het kustprofiel ingedrukt en vindt er duinvoeterosie plaats (1997). Het geultje zorgt er ook voor dat de strandhaak niet aanlandt, maar oostwaarts langs de kust uitspreidt (1997-1999). Met de toegenomen lengte van de geul krijgt deze een meanderend karakter. In 1999 en 2000 is duidelijk een tweede, meer oostwaarts gelegen duinvoetinsnijding te zien. Het geultje verliest zijn functie in 2000, als er zeewaarts een kortsluitgeul dwars door de strandhaak ontstaat. De oorspronkelijke geul langs de kust verzandt en de strandhaak kan nu vrij met de kust verhelen. Na het sterk uitbouwen van dit kustvlak is het de verwachting, dat de komende jaren tot decennia dit kustvlak sterk zal eroderen. Het aangelande zand wordt kustlangs (vooral oostwaarts) verspreid. In de kustlijnkaarten zal dit te zien zijn als landwaartse trend, maar met een TKL en MKL zeewaarts van de BKL. Bij de oorspronkelijke definitie van de BKL was onvoldoende rekening gehouden met de aangelande Bornrif Strandhaak. Daardoor lag de BKL ver (honderden tot duizenden meters) voor de duinvoet. In 1994 is dit gecorrigeerd en is de BKL landwaarts verlegd (zie paragraaf 2.3.2).



Figuur 3.13 : Aanlanding van de Bornrif strandhaak in detail weergegeven d.m.v. de JarKus metingen (1970-2016).

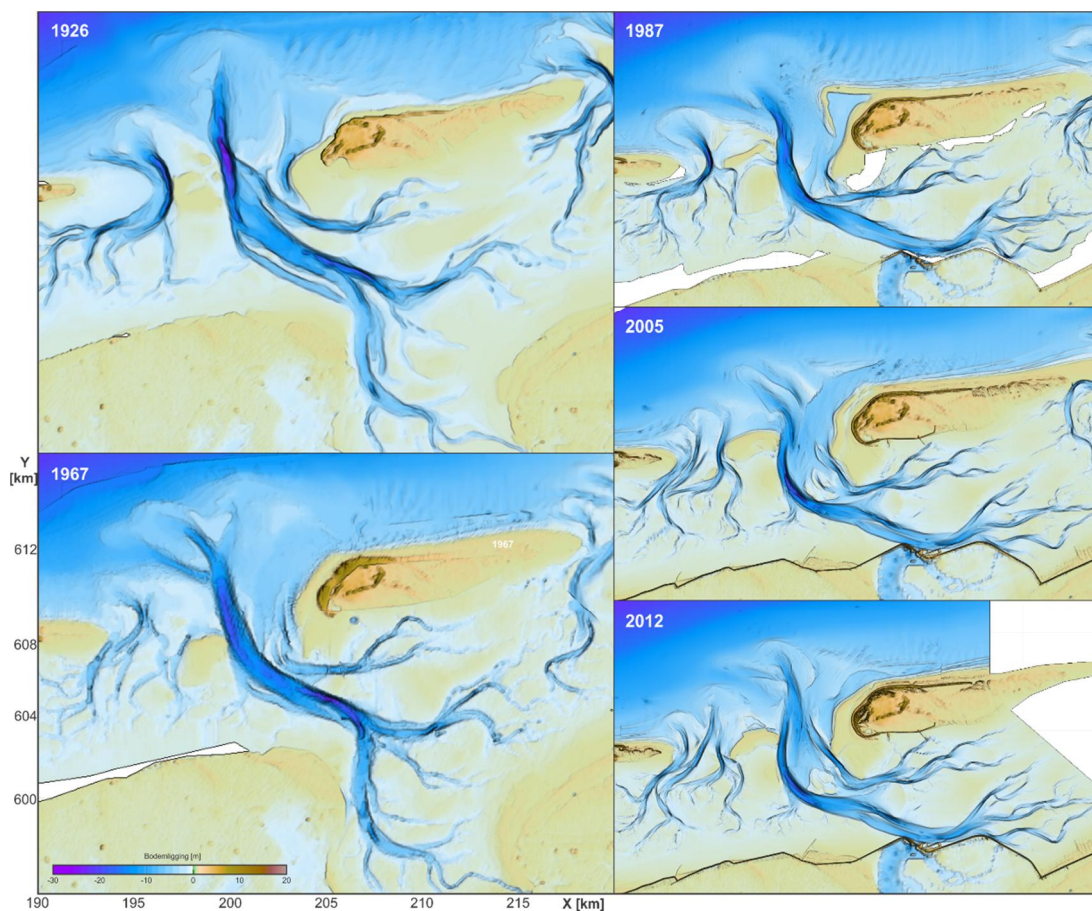
3.3.4 Het Friesche Zeegat

Het Friesche Zeegat, gelegen tussen Ameland en Schiermonnikoog, bestaat uit twee deelsystemen, Pinkegat, Figuur 3.14, [4] en Zoutkamperlaag [9], gescheiden door de Engelmansplaat [7].



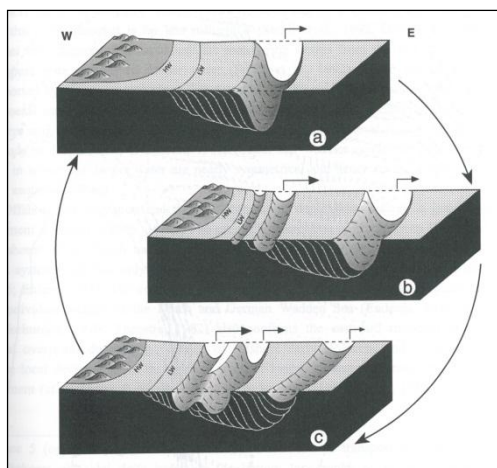
Figuur 3.14 : Overzicht van de belangrijkste geulen en platen in het Friesche zeegat (2015 bodem)

De huidige configuratie van platen en geulen is sterk beïnvloed door de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 (Biegel, 1993; Oost, 1995). Vóór de afsluiting was er zowel in het Pinkegat als in het Zoutkamperlaag-deelsysteem een cyclische ontwikkeling tussen een één- en een twee-geulensysteem te zien. Na afsluiting vonden er grote veranderingen in zowel het bekken als het zeegat plaats (Figuur 3.15). De afsluiting verkleinde het bekkenoppervlakte met ongeveer 30%, waardoor het getijprisma reduceerde van 306 miljoen m³ naar 200 miljoen m³. Deze grote afname in getijprisma was mede verantwoordelijk voor de morfologische veranderingen; het zeegat tracht een nieuw morfologisch evenwicht te vormen met het verkleinde prisma. Door de gereduceerde getijstromingen kon de omvang en de vorm van de oorspronkelijke buitendelta niet worden behouden. Golfgedreven transporten duwen de buitendelta landwaarts en een grote strandhaak werd gevormd aan de noordwestpunt van Schiermonnikoog (Figuur 3.15, 1987) De aanlanding van deze strandhaak en de herverdeling van dit sediment bepaalt de huidige morfologische ontwikkeling van het eiland.



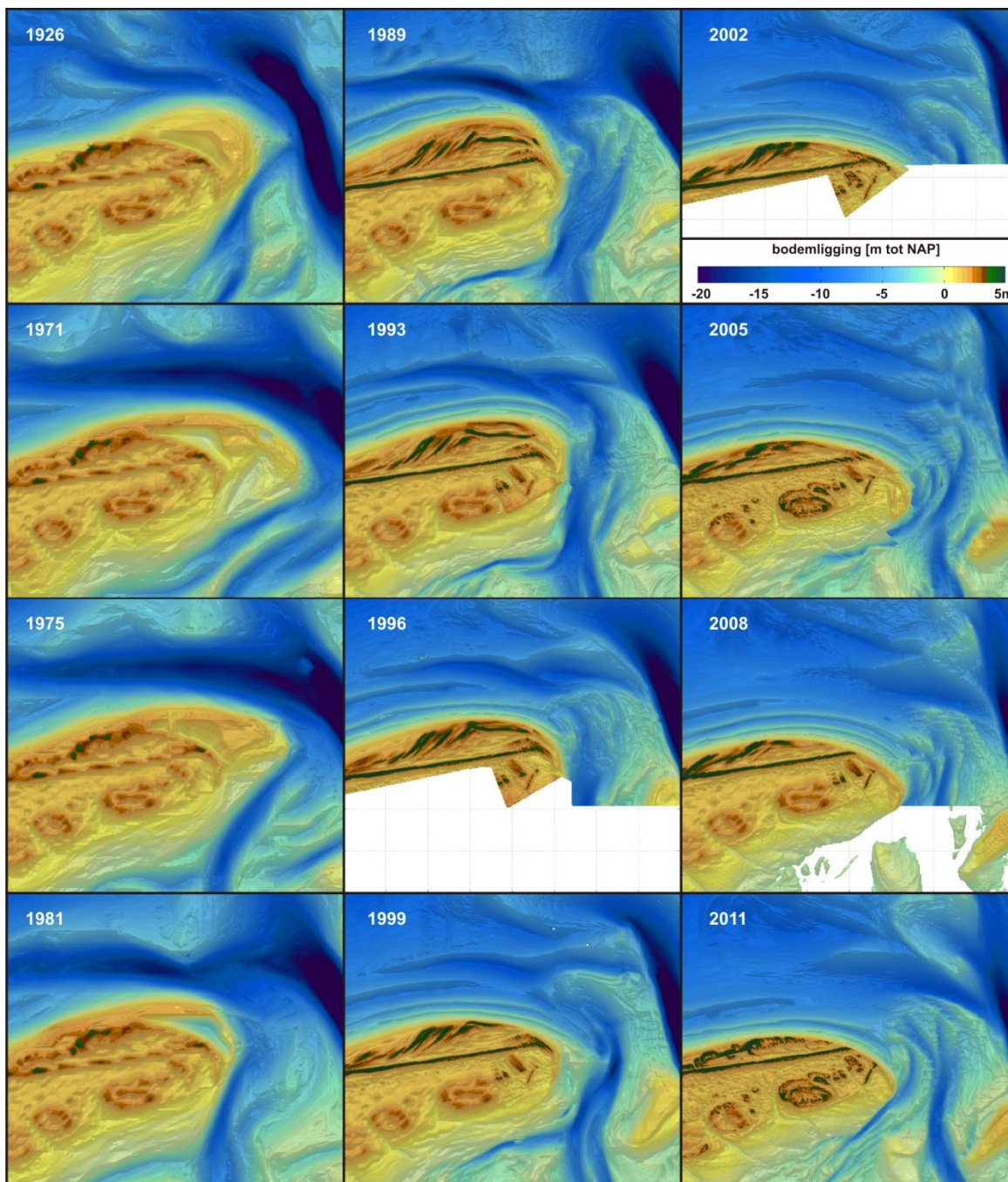
Figuur 3.15 : Grootschalige morfologische ontwikkeling van het Friesche zeegat op basis van de Vakklodingen (de eilanden zijn ingevuld met het AHN-1(1926-2012))

Voor Ameland zijn het vooral de ontwikkelingen van het Pinkegat die belangrijk zijn. Het werk van Oost (1995) beschrijft de lange-termijn ontwikkeling van het Pinkegat in detail. Deze auteur concludeert na bestudering van de morfologische veranderingen over de periode 1809-1991 dat er een duidelijke cyclische ontwikkeling aanwezig is. Tijdens deze cyclus vervormt het zeegat van een één-geul naar een twee-geulen systeem en weer terug. Dit gebeurt in een tijdsbestek dat ligt tussen de 20 en 40 jaar. Figuur 3.16 geeft een conceptuele weergave van de cyclische ontwikkeling. De cyclus bestaat uit drie fasen: De eerste fase (Figuur 3.16, a) geeft een enkel-geul systeem weer met maximale geuldoorsnede. Eigenlijk is dit de meest stabiele fase in de cyclus, doordat grote getijvolumes door de geul worden getransporteerd. Het netto zandtransport langs het aanliggende eiland is van west naar oost en bouwt het eiland oostwaarts uit. Deze spitvorming duwt de geul oostwaarts. Naast de netto oostwaartse langstransporten spelen waarschijnlijk ook bochtstroming en het 'motorische vermogen' een rol in de waargenomen ontwikkelingen (Van Veen, 1936). De gevormde spit is vrij smal en laag. Tijdens stormen of hoog water kunnen er kleine vloedgeultjes ("flood-shutes" of "spill-overs") door de spit ontstaan. Deze kunnen zich verder ontwikkelen als ze verbinding maken met de geulen in het bekken (Fase 2: Figuur 3.16, b), ze migreren oostwaarts, gaan samen en vergroten in omvang. Deze geulen nemen ook een gedeelte van het getij-prisma over, waardoor de oorspronkelijke hoofdgeul debiet verliest en daardoor onder invloed van het langstransport door golven in omvang kan afnemen. Op een gegeven moment verliest de oorspronkelijke hoofdgeul een zodanig groot debiet dat deze verlaten wordt en opvult met sediment. De nieuw gevormde geul neemt dan de rol van hoofdgeul over (Fase 3: Figuur 3.16, c).



Figuur 3.16 : Concept van cyclische morfologische ontwikkeling van het Pinkegat (uit Oost 1995).

Ook na de afsluiting van de Lauwerszee vinden deze cyclische ontwikkelingen plaats. De jaren 1926 en 1987 in Figuur 3.15 zijn illustratief voor een één-geul configuratie (fase 1 van de cyclus). Deze geul migreert oostwaarts door het netto oostwaarts gerichte langtransport en spitvorming bij de eilandstaart. Een meer-geulen systeem wordt gevormd als deze spit zich te ver oostwaarts uitstrekt en doorbroken wordt door een kortsluitgeul (Figuur 3.15, 1967, 2005, 2012). Van Veen (1936) verklaart de vorming van deze kortsluitgeulen door de grotere hydraulische gradiënt ter plaatse van de spit. Na vorming van de kortsluitgeul wordt de oorspronkelijke geul opgevuld. Figuur 3.15, 2005, is illustratief voor een configuratie in het midden van de cyclus. Sinds 1989 lijkt de cyclus te versnellen met een verwachte duur van 20 tot 30 jaar. Deze snellere cyclus zou gerelateerd kunnen zijn aan de afsluiting van de Lauwerszee. De ontwikkeling van het Pinkegat deelsysteem wordt in Figuur 3.17 in meer detail weergegeven. Bij deze figuur moet opgemerkt worden dat tussen 1971 en 1981 er geen kortsluitgeultjes te zien zijn. De Holwerderbalg [3] verlegt zijn oriëntatie naar een noordelijke uitstroom waarbij de spit (staart van het eiland) wordt geërodeerd. De heroriëntatie van de Holwerderbalg is waarschijnlijk gedreven door het bekken.



Figuur 3.17 : Detailontwikkeling van het Pinkegat aan de hand van de Vaklodingen (1926- 2011).

De Engelsmanplaat vormt een belangrijk element binnen het zeegat. De Engelsmanplaat is lange tijd een hooggelegen gebied geweest (Oost, 1995). De kern bestaat uit erosieresistente Holocene klei. Aan de noordkant hiervan hebben zich in de afgelopen vijf eeuwen grote (droogvallende) zandbanken ontwikkeld. Dit heeft geleid tot een cyclisch patroon van morfologische ontwikkeling. De Engelsmanplaat vergroot in oppervlak en in hoogte als de zandbank aan de noordkant aansluit en de kortsluitgeul afsluit. Deze zandbank ontstaat door golven en vloedstroming en krijgt zand van de buitendelta's van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag. Na het ontstaan groeit de zandbank tot een droogvallend zandlichaam en migreert naar het zuiden. Door de afscherming van de zandbank wordt het zandtransport naar de Engelsmanplaat geblokkeerd, waardoor de plaat erosie vertoont. Na verloop van tijd verdwijnt de kortsluitgeul en de droogvallende zandbank voegt samen met de Engelsman-plaat.

Telkens als dit gebeurt (ongeveer eens in de 100 jaar), vergroot de Engelsmanplaat zich plotseling zowel in oppervlak als hoogte. Daarna gaat de plaat weer eroderen doordat er een geul aan de noordkant ontstaat, waarna de cyclus opnieuw begint. Het merendeel van de tijd vertoont de Engelsmanplaat dus erosie. Naast een cyclische ontwikkeling is er ook een structurele trend van erosie vanuit de westkant van de plaat. De breedte van Engelmansplaat is afgenomen van 7,1 km in 1832 tot 2,2 km in 1991.

In de huidige morfologische situatie wordt de droogvallende zandbank ten noorden van de Engelsmanplaat het Rif genoemd (Figuur 3.14, [5]). Deze zandbank is nu gescheiden van de Engelsmanplaat door de kortsluitgeul het Smeriggat (Figuur 3.14, [6]). Volgens Oost (1995) is de Engelsmanplaat al aan het verlagen sinds 1970 en ook het Rif vertoont verlaging in de periode 1982-1991. De verlaging van het Rif is een gevolg van de ontwikkeling van een nieuwe zandbank ten noorden daarvan. Redenerend vanuit de cyclische ontwikkeling was de verwachting, dat het Rif binnen korte tijd aan de Engelsmanplaat zou aansluiten en het Smeriggat zou verdwijnen als geul. De nieuwe zandbank ten noorden van het Rif zou dan de rol van het huidige Rif overnemen. Deze ontwikkeling heeft zich echter niet doorgezet (zie ook Wang 2007). Ook in de 2011 bodem zijn het Rif en Engelmansplaat nog steeds gescheiden door het Smeriggat. Het is mogelijk, dat de veranderingen in vooral de vloedkom van hete Zoutkamperlaag na afsluiting van de Lauwerszee de cyclus hebben vertraagd, of dat er hier geen cyclische ontwikkeling aanwezig is.

3.3.5 Centrale Noordzeekust van Ameland

Bankenpatroon

Het gedrag van de centrale Noordzeekust van Ameland wordt weergegeven in Figuur 3.18, aan de hand van de vergridde JarKus data. In alle figuren zien we een coherent gedrag langs de eilandkust. Het westelijke gedeelte wordt gekenmerkt door grootschalige morfologische veranderingen, welke samenhangen met het aanlanden en verhelen van de strandhaak Bornrif (zie paragraaf 3.3.3).

In 1965 is er een bijna continue kustlangse bank aanwezig van zeegat tot zeegat, maar met de aanlanding van de strandhaak Bornrif wordt de bank onderbroken (zie bijv. Figuur 3.18, 1995). Na aanlanding en verhelving van de strandhaak ontstaat er vrij snel een nieuwe continue bank langs de eilandkust en om het Bornrif heen. Zo is in bijvoorbeeld 2000 al weer een doorgaande brekerbank te onderscheiden.

Afhankelijk van het moment van opname zijn er 2 tot 3 dominante banken aanwezig. Deze banken vertonen een cyclisch gedrag met een cycluslengte tussen de 10 en 15 jaar. De waargenomen cyclus wijkt af van die zoals aanwezig langs de Hollandse Kust (Elias en Bruens, 2013, Wijnberg, 1995). Hier migreren alle banken gelijktijdig zeewaarts.

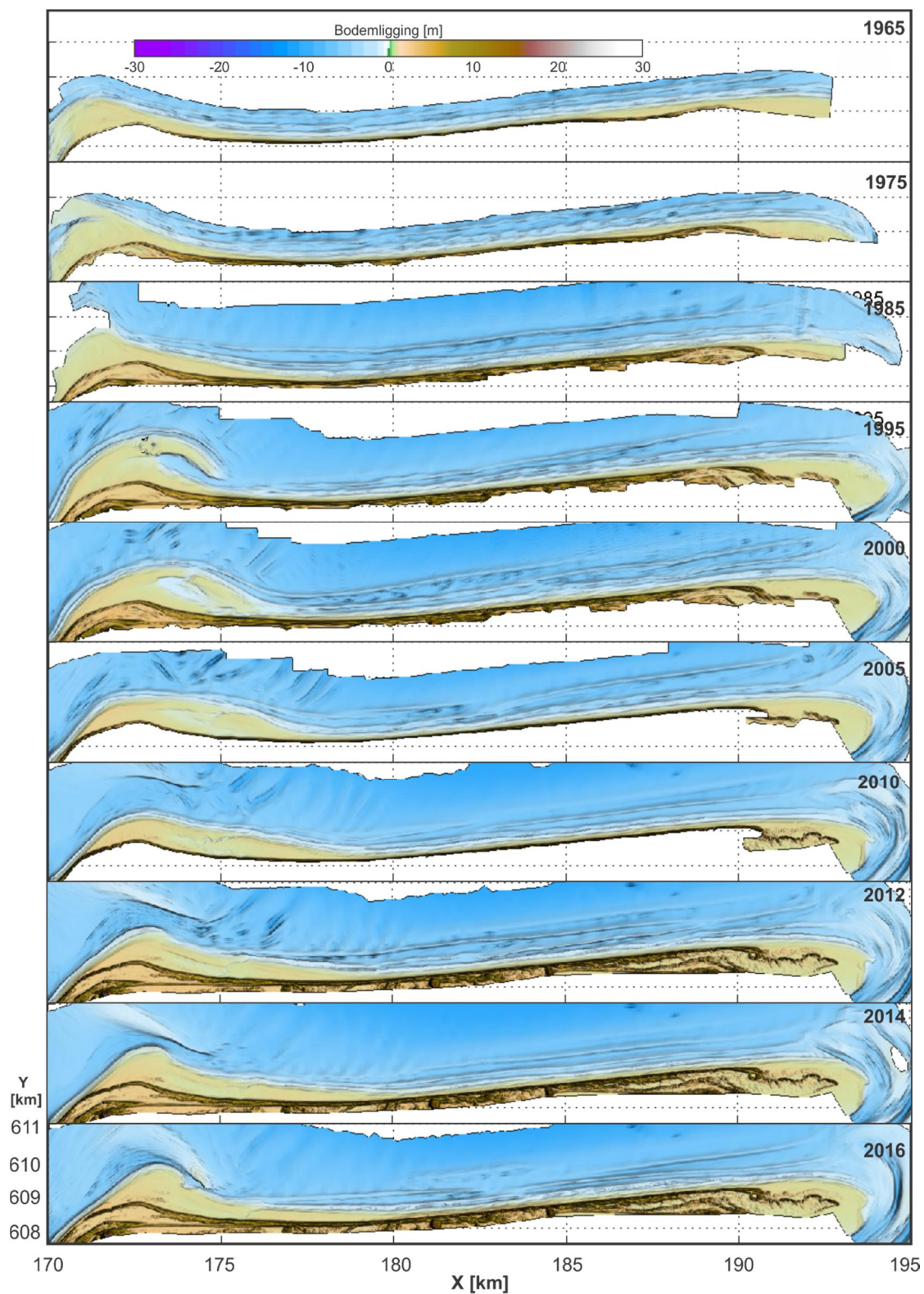
Aan de oostkant van het eiland lijkt de buitendelta van het Pinkegat een ophangpunt te vormen voor de buitenste bank. Deze bevindt zich hier veel verder uit de kust, terwijl de binnenbank de eilandkust volgt. Vanaf het midden van het eiland oostwaarts gezien zijn er 3 tot 4 dominante banken aanwezig. Er liggen hier een duidelijke buiten-, midden- en binnenbank. Westelijk hiervan zijn er 2 banken aanwezig. In sommige opnamen (zoals 2012) zijn er overal 2 middenbanken aanwezig. Deze lijken samen te hangen met het aanleggen van de vooroeversuppleties in 1998, 2003, 2006 en 2010.

Sinds 1998 is hier bijna 12 miljoen m³ zand op de vooroever aangebracht. De grote vooroeversuppleties lijken het bankgedrag sterk te beïnvloeden (zie paragraaf 4.2.2 voor een nadere analyse). Vóór 1998 is het banksysteem over het algemeen uniform en geordend. Buiten het invloedsgebied van het Bornrif migreren de banken zeewaarts met

een snelheid van 20 – 50 m/jaar. De buitenste bank dempt hierbij uit, de binnenbank wordt dan de buitenbank en een nieuwe binnenbank wordt gevormd.

Een duidelijk verschil in de periode na 1998 ten opzichte van de eerdere periode, is het ontstaan van bifurcatiepunten en het splitsen van de banken. Dit zien we bijvoorbeeld in de periode 1998-1999. Bifurcatie van de binnenbank in het midden van het eiland vormt tijdelijk een 3-banken systeem oostelijk van het bifurcatiepunt en een 2-banken systeem richting Bornrif (zie Figuur 3.18, 2000). Een dergelijk splitsingspunt blijft in vrijwel alle opnamen sinds 1995 zichtbaar. De locatie varieert wel sterk langs het eiland. Na aanleg van de 2011 vooroeversuppletie zien we de vorming van een splitsing aan de oostzijde van het suppletiegebied. Zie paragraaf 4.2.4 voor meer details.

Zeewaarts van de aangelande strandhaak bevindt zich een veld zaagtandbanken (zie bijv. Figuur 3.18, 2005). Deze opvallende bodemvormen staan ruwweg loodrecht op de kust en lijken in oostelijke richting te migreren. Hoewel het niet geheel duidelijk is wat de effecten zijn, lijken ze een overgang te vormen van de buitendelta naar de ongestoorde eilandkust. Enig effect van de zaagtandbanken op het zandtransport naar de kust is niet aangetoond (Gordeau, 1999). In de analyse van Vermaas et al (2013) wordt gesuggereerd dat het gedeelte van de vooroeversuppletie aangelegd in het zaagtandbankengebied snel opgeruimd wordt (paragraaf 4.2.4).



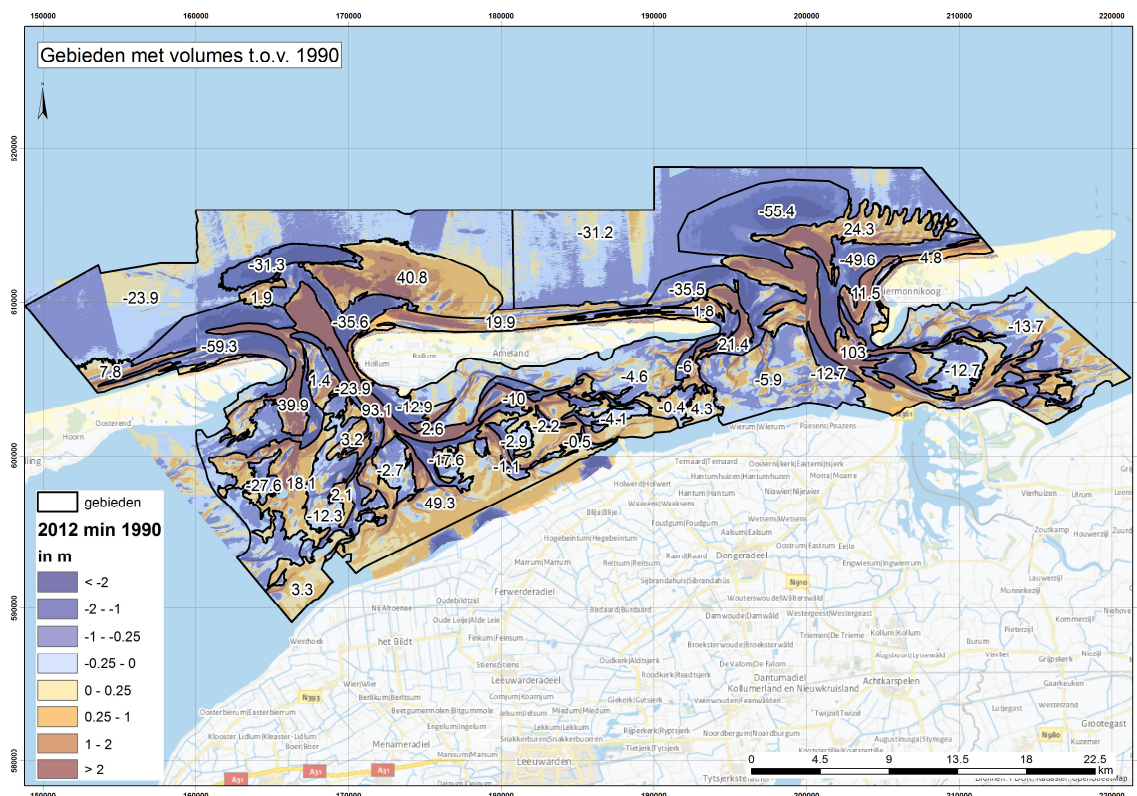
Figuur 3.18 : Bovenaanzicht van de morfologie van de eilandkust van Ameland op basis van vergridde JarKus data representatief voor de periode 1965-2016.

3.3.7 Volumeontwikkelingen rondom Ameland (uit Vermaas & Marges, 2015)

Netto is in het onderzochte gebied het volume sediment met ruim -22 miljoen m³ achteruit gegaan tussen 1990 en 2012 (Figuur 3.19). Belangrijker is echter de verdeling van het sediment over het gebied. De belangrijkste gebieden waarvan de volumes zijn toegenomen zijn de kusten van de eilanden en het geul/plaat systeem tegen het vasteland van Friesland aan bij het Zeegat van Ameland. De andere geul/plaat systemen in de Waddenzee laten juist een afname in volume zien in deze periode, terwijl de meeste gebieden vóór 1990 wel nog sedimentatie lieten zien. Overall tonen de kwelders die direct tegen het vasteland liggen een toename in volume, in totaal geschat op 18 miljoen m³ tussen 1990 en 2012. Deze gebieden zijn echter niet vaak ingemeten, waardoor alleen een schatting gemaakt kon worden.

Voor beide zeegaten is het volume van ebdelta samen met dat van het zeegat min of meer gelijk gebleven of iets achteruit gegaan. De grootste afname in volume is in de offshore gebieden. Hoewel de veranderingen hier klein zijn, wordt het totaal volume (-55 miljoen m³) groot doordat het een groot gebied beslaat.

Het sterke netto oostwaartse transport wat geconstateerd is door Elias en Bruens (2013) en Vermaas et al. (2013) is relatief tot de totale volumeveranderingen relatief klein. De geschatte hoeveelheid van 0,55 miljoen m³ per jaar komt voor de periode 1990-2012 neer op 12 miljoen m³. Er zijn geen specifieke (deel)gebieden aan te wijzen waar dit sediment naar toe wordt getransporteerd. Het is mogelijk dat het gedeeltelijk de bodemdaling door gaswinning compenseert, maar ook naar de rest van het Friese Zeegat wordt getransporteerd. Dat het volume precies even groot is als het geschatte volume van de bodemdaling betekent niet dat het volledig voor de compensatie zorgt.



Figuur 3.19 Deelgebieden met verandering in volume tussen 1990 en 2012 in miljoen m³, positieve waarden zijn sedimentatie, negatieve erosie. (Bron: Vermaas & Marges, 2015)

3.3.8 Volumeontwikkelingen kustzone Ameland

De volumeontwikkeling van de kustzone van het eiland Ameland is beschouwd aan de hand van de vergriddde JarKus data (Figuur 3.20). In deze dataset zitten niet de volledige buitendelta's van de aanliggende zeegaten, waardoor er geen sluitende zandbalans ontstaat. In een vervolgstudie zou deze balans uitgebreid moeten worden met een volumeanalyse van de vaklodingen om een volledig beeld te krijgen. De (vergriddde) JarKus data zijn beschikbaar sinds 1965, in een gebied tot ongeveer 1 km uit de kust. Sinds 1985 zijn ook verlengde lodingen (JarKus doorlodingen) beschikbaar, wat het mogelijk maakt ook de diepere vooroever te bekijken. Om optimaal gebruik te maken van de verschillende dekking van de bodemdata is de eilandkust onderverdeeld in drie stroken (kust, midden en zee). Daarnaast zijn er per strook 6 deelgebieden gedefinieerd (Figuur 3.20, boven). Door verschillen in dekking van deze polygonen is er alleen over de periode 1990 – 2012 een volumebepaling met voldoende nauwkeurigheid te maken (Figuur 3.20b). Voor de strandhaak Bornrif en de centrale eilandkust kan vanaf 1980 een redelijke schatting worden gegeven. Alle volumes in Figuur 3.20c-f zijn weergegeven ten opzichte van het volume van 2012. Een stijgende lijn betekent hier dus een volumetoename (sedimentatie) en een dalende lijn volumeafname (erosie).

Over de periode 1990-2012 is er een beperkt verlies van 1,9 miljoen m^3 uit het totale balansgebied (Figuur 3.20b). Dit verlies wordt voornamelijk veroorzaakt door erosie van de eilandkop (-11,3 miljoen m^3) en -staart (-3,8 miljoen m^3). In het centrale gedeelte van het eiland (polygonen 3-6) is er juist een volumetoename van 7,2 miljoen m^3 . Deze toename in het centrale deel is het grootst naast het aanlandingsgebied van de strandhaak Bornrif en neemt in oostelijke richting sterk af. In totaal mag er dan wel een toename zijn, maar dit is inclusief supplementies. Langs het eiland Ameland is er in deze periode in totaal 24 miljoen m^3 gesuppleerd, waarvan 19 miljoen m^3 binnen het zandbalansgebied van de eilandkust (zie paragraaf 4.2.1). Corrigeren we voor deze zandtoevoer, dan betekent dit eigenlijk dat er langs de eilandkust een volumeverlies is opgetreden van bijna 12 miljoen m^3 (-0,55 miljoen m^3 /jaar). Inclusief de eilandkop en -staart is het volumeverlies bijna 26 miljoen m^3 (-1,22 miljoen m^3 /jaar).

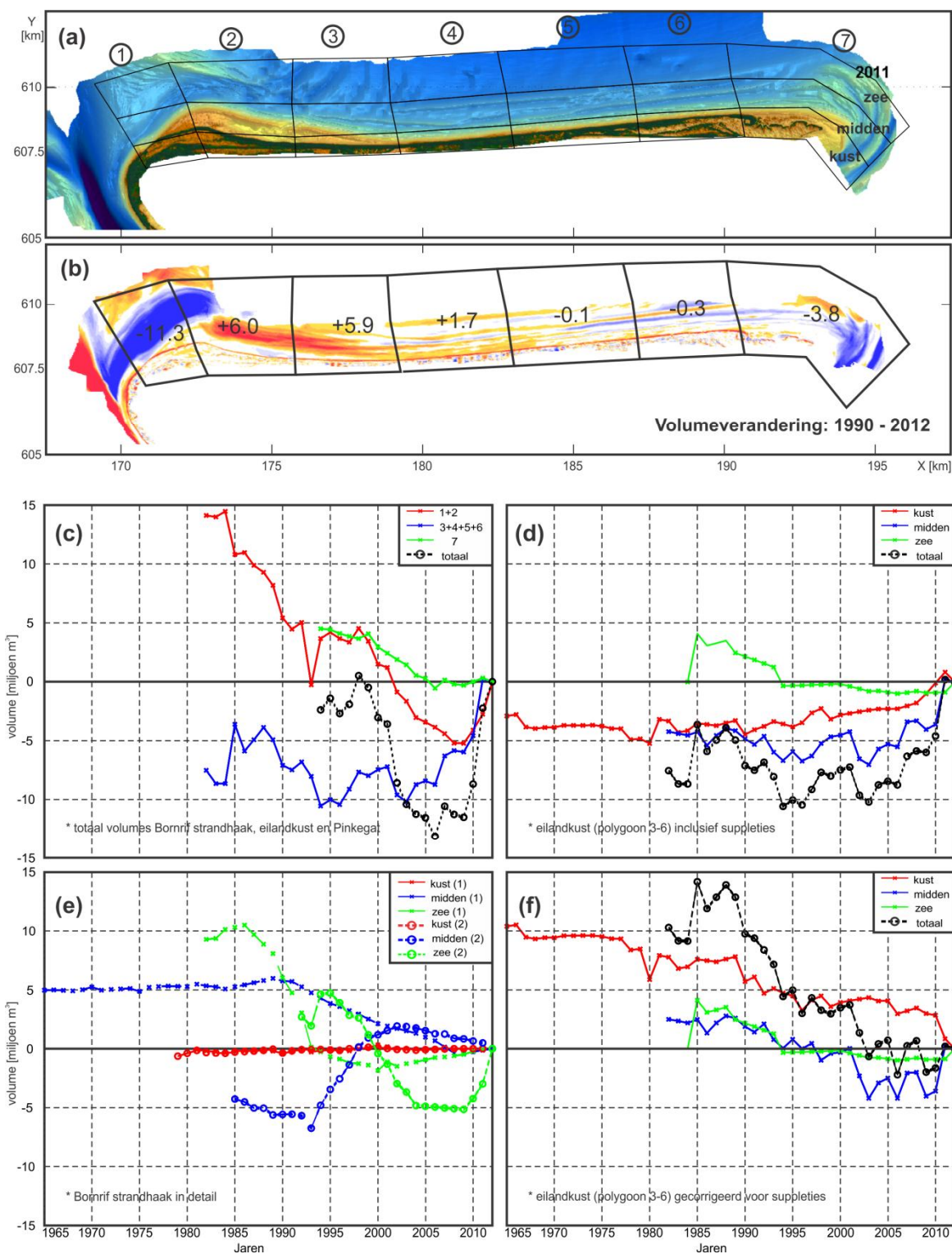
De strandhaak Bornrif vertoont over de periode 1982-2008 een volumeafname van bijna 20 miljoen m^3 (Figuur 3.20c,e). Sinds 2008 nemen de volumes hier weer toe. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan het landwaarts migreren van een voorliggende bank op het Bornrif (Figuur 3.20e laat zien dat deelgebied 2, zee in volume toeneemt). Deze bank kan mogelijk in de toekomst weer verhelen met de kust van Ameland. Uit de bodemopnamen is te zien dat deze nieuwe zandbank zich niet hetzelfde gedraagt als de aanlanding van de strandhaak Bornrif. De strandhaak Bornrif verplaatste zich vanuit het centrale gedeelte van de buitendelta en landde dicht tegen de eilandkop aan. De nieuwe bank verplaatst zich langs de rand van de buitendelta en zal waarschijnlijk verder oostwaarts aanlanden. De relatief grote geul die tussen de bank en het eiland aanwezig is en het zand kustlangs verplaatst, zou hier verantwoordelijk voor kunnen zijn. Het verder landwaarts opschuiven van de bank zou er ook voor kunnen zorgen dat deze geul verder verdiept en landwaarts migreert. Deze geul kan een doorgaande (toenemende) erosie in het gebied van de strandhaak Bornrif veroorzaken. Deze ontwikkeling moet in de toekomst nauwgezet gevolgd worden.

In de tijdseries van volumeverandering van de strandhaak Bornrif (Figuur 3.20e) is de oostwaartse verspreiding van de Bornrif strandhaak duidelijk te zien. Het volume in het westelijke deel neemt sinds 1985 continu af. Het zeewaartse deel verliest tussen 1986 en 1993 10 miljoen m^3 zand uit deelgebied 1 en in de periode 1995-2005 10 miljoen uit deelgebied 2. De middenpolygoon van deelgebied 1 blijft initieel vrijwel constant in volume, maar erodeert in de periode 1990-2008 met 7 miljoen m^3 . Ongeveer 8,5 miljoen m^3 van dit geërodeerde sediment vinden we in 2002 direct terug in de middenpolygoon

van deelgebied 2. Sinds 2002 vertoont ook deze polygoon een continue erosie. Gezien de oostelijke vervorming van de spit is het zeer waarschijnlijk dat het geërodeerde sediment oostwaarts is getransporteerd. De oostwaartse transporten kunnen over deze periode worden geschat op 0,8 miljoen m^3 /jaar.

Ondanks de significante toevoer van sediment van de Bornrif strandhaak, vertoont ook de eilandkust een trend van continue erosie. Ongecorrigeerd voor suppleties neemt het volume wel iets toe (Figuur 3.20d), maar gecorrigeerd voor suppleties (Figuur 3.20f) is de volumeafname 0,55 miljoen m^3 /jaar. Met een afname van 0,55 miljoen m^3 van de eilandkust en 0,8 miljoen m^3 van de strandhaak, betekent dit dat er in totaal ruwweg 1,35 miljoen m^3 sediment per jaar verplaatst wordt. Het is de verwachting dat het merendeel hiervan oostwaarts het Pinkegat in wordt getransporteerd. Misschien dat deze transporten bijdragen in het opvangen van de effecten van bodemdaling door gaswinning, waarvoor extra zand is benodigd. Een nadere detailanalyse van de volumeontwikkeling in het Pinkegat is zeer wenselijk om hier meer inzicht in te verkrijgen.

Een conclusie die hier getrokken kan worden, is dat de sedimenttransportcapaciteit langs het eiland zeer groot is. Indien er sediment in overvloed aanwezig is zal dit ook getransporteerd worden, tot er een evenwicht wordt bereikt. Verstoring van het evenwicht kan veroorzaakt worden door natuurlijke processen, zoals de aanlanding van de strandhaak Bornrif, maar ook door suppleties. De zeer grote suppleties die zijn uitgevoerd op de vooroever en het strand van Ameland, hebben zeker bijgedragen tot de grote transporten. Een suppletie geeft altijd een verstoring van het natuurlijke (dynamische) evenwicht. Om dit evenwicht te herstellen zal de suppletie initieel, direct na aanleg, sterk vervormen waardoor zandverliezen toenemen.



Figuur 3.20 : Zandbalans Ameland eiland. (a). Overzicht ligging polygonen. (b). Sedimentatie-erosie volumes en patroon over de periode 1990-2012. (c - f) Volume veranderingen binnen de verschillende deel-polygonen.

3.3.9 Samenvatting morfologische gedrag en kenmerken

Ameland is ingesloten door twee zeegaten (Figuur 3.8, Figuur 3.21). Het Zeegat van Ameland, met de geul Borndiep, bevindt zich aan de westkant en het Friesche Zeegat met het Pinkegat, ligt ten oosten. De morfologische ontwikkelingen van deze zeegaten bepalen in grote mate direct en indirect de ontwikkeling van het eiland zelf. Een directe invloed is te vinden bij de eilandkop en staart (deelgebieden 1 en 4 in Figuur 3.21). De eilandkop en -staart hebben ieder een verschillend morfologisch karakter. Aan de oostzijde (Pinkegat) kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden. Aan de westzijde van Ameland zijn er diverse harde kustverdedigingswerken uitgevoerd en vinden er met regelmaat suppleties plaats om erosie van de eilandkop door een opdringend Borndiep tegen te gaan. Het gedeelte van het eiland tussen de eilandkop en staart wordt indirect beïnvloed door de naastliggende zeegaten. Als onderdeel van de cyclische ontwikkeling van de Amelander buitendelta, landen er periodiek grote zandvolumes aan op de noordwestkust van Ameland. De meest recente aanlanding van de strandhaak Bornrif (1980 - 1985) geeft nog steeds een zandimpuls in oostelijke richting. De zandverliezen naar het Pinkegat zijn een mogelijke oorzaak van de grote langstransporten en verliezen van de centrale eilandkust. In meer detail kunnen we de vier deelsystemen als volgt beschrijven:

(1) de eilandkop – Borndiep (km raai 47- 2.5).

Dit deelgebied grenst aan het Borndiep. De ontwikkeling van de kustlijn wordt direct aangestuurd door de ontwikkelingen in het Zeegat van Ameland. Door het oostwaarts verplaatsen van het Borndiep wordt een gebied van zo'n 2km al sinds 1850 gekenmerkt door kustafslag. De zuidwestelijke kustlijn is hier gestabiliseerd door het aanbrengen van oeverbestortingen met zinkstukken en een stortstenen dam, zie ook 0 en 5.1. Aan de noordwestzijde wordt de aanhoudende kusterosie door middel van suppleties ondervangen. Dit vergt een forse inspanning. Meer dan 5 miljoen m³ zand is hier al gesuppleerd. Aan de zuidwestzijde zijn de bestortingen tot nu toe effectief geweest om de kustlijn te behouden (de laatste bestorting was in 1994). Recente verdieping en migratie van het Borndiep geven hier in de toekomst mogelijk problemen. Op dit moment (november 2017) vindt hier een geulwandsuppletie plaats (4.2.1). De bestorting is een essentieel onderdeel voor de kustveiligheid: de waterkering wordt goedgekeurd in de beoordeling door de aanwezigheid van deze bestorting, zonder bestorting zou de kering niet aan de gestelde eisen voldoen (zie 5.3).

(2) De noordwestelijke eilandkop – strandhaak Bornrif (km 2.5 – 10.0).

Hier wordt het gedrag gedomineerd door het periodiek aanlanden en verspreiden van grote zandvolumes vanuit de buitendelta. In dit gebied treedt afwisselend afslag en aangroei op, afhankelijk van het stadium in de aanlandingscyclus. Netto vindt er aangroei plaats. Er is een verdere onderverdeling te maken in:

km 2.5 - 3.0; waar er een structurele terugtrekking van de kust te zien is. Hier ligt de kustlijn nog wel zeewaarts van de BKL.

km 3.0 - 10; hier vond initieel uitbouw van de kust plaats door het uitsmeren van de Bornrif strandhaak (tot 1998). Met de verplaatsing van de strandhaak oostwaarts schuift ook het aanzandende gebied op. Recent begint dit gedeelte een terugtrekkende trend te vertonen. Lokaal heeft wel sterke erosie plaatsgevonden en waren er negatieve kustlijnposities t.o.v. de BKL (bijv. in 1995). Dit was gerelateerd aan het ontstaan van ingesloten (meanderende) getijgeultjes die tijdelijk kusterosie veroorzaakten.

De strandhaak Bornrif vertoont over de periode 1982-2008 een volumeafname van 20 miljoen m³. Sinds 2008 nemen de volumes weer toe. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan het landwaarts migreren van een voorliggende bank op het Bornrif. Deze bank kan mogelijk in de toekomst weer verhelten met de kust van Ameland. Uit de bodemopnamen is wel te zien dat deze nieuwe zandbank zich momenteel niet identiek gedraagt als de strandhaak Bornrif. De aanlanding van de strandhaak Bornrif gebeurde dicht bij de eilandpunt, vanuit het centrale gedeelte van de buitendelta. De nieuwe bank verplaatst zich meer over de rand van de buitendelta en zal waarschijnlijk verder oostwaarts aanlanden. De relatief grote geul die tussen de bank en het eiland aanwezig is en die het zand kustlangs verplaatst, zou hier verantwoordelijk voor kunnen zijn. Het verder landwaarts opschuiven van de bank zou er ook voor kunnen zorgen dat deze geul smaller wordt, verder verdiept en landwaarts migreert. Dit kan verdere erosie in het gebied van de strandhaak Bornrif veroorzaken. Deze ontwikkeling moet in de toekomst nauwgezet gevolgd worden, zie verder 4.3.3.

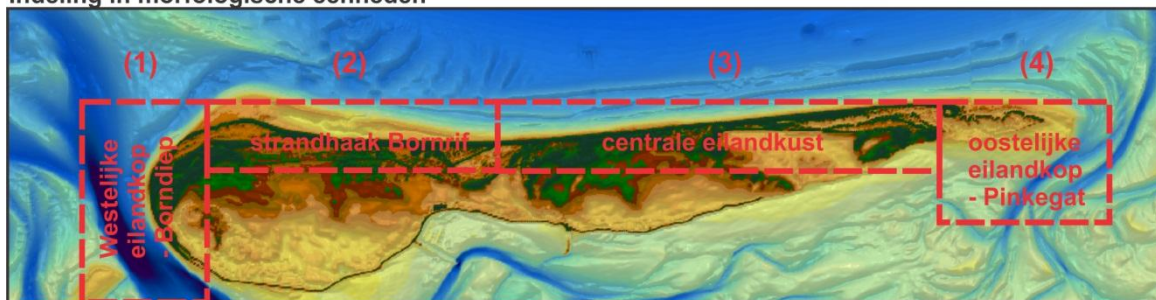
(3) De ongestoorde eilandkust (km 10 - 21).

Ten oosten van het verhelingsgebied van het Bornrif vertoont het centrale eilandgedeelte een erosieve trend. Het autonome kustprofiel heeft hier drie dominante banken, die met een herhalingsstijd van 12-15 jaar zeewaarts migreren, uitdempen en opnieuw vormen. De vele grote suppleties sinds 1998 hebben dit proces verstoord. Door de suppleties vormt zich een vrijwel continue buitenbank. Over de periode 1990-2012 is er in het centrale gedeelte van het eiland een volumetoename van meer dan 7 miljoen m³. Dit is inclusief 25 miljoen m³ aan suppletievolume. Gecorrigeerd voor suppleties zijn de zandverliezen groot en in de orde van 0,7 miljoen m³/jaar langs de centrale eilandkust en 0,8 miljoen m³/jaar van het Bornrif. Het lijkt waarschijnlijk dat het merendeel van dit verlies door het Pinkegat-systeem wordt opgenomen, zie verder 4.3.4.

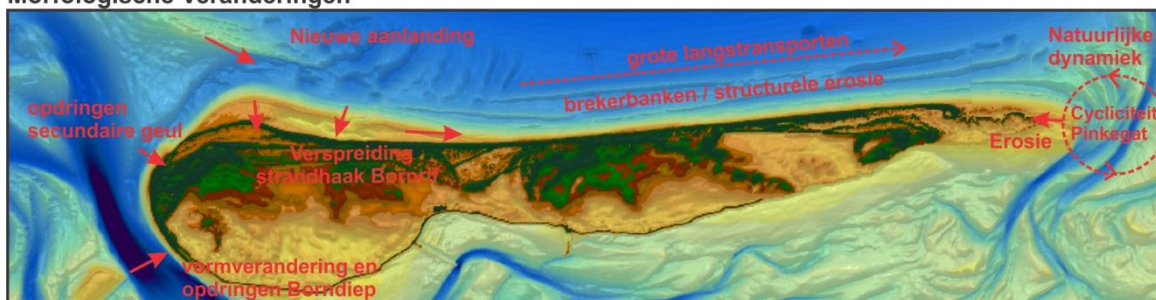
(4) De oostelijke eilandkop – Pinkegat (km 21 - 25).

Voor de oostelijke eilandkop is geen BKL vastgelegd. De ontwikkelingen hier hangen in grote mate samen met de dynamiek van het Pinkegat. De geulen en platen in het Pinkegat vertonen een cyclische ontwikkeling. Op dit moment vindt er significante erosie plaats van de oostelijke eilandkop. De uitwisseling tussen Pinkegat en Ameland dient nader onderzocht te worden. Vooral de volumeveranderingen binnen het kombergingsgebied van het Pinkegat zijn van belang. Deze kunnen een mogelijke verklaring geven waar het grote volume zand, dat aan de zeezijde van Ameland erodeert, naar toe verdwijnt, zie verder paragraaf 4.3.5.

Indeling in morfologische eenheden



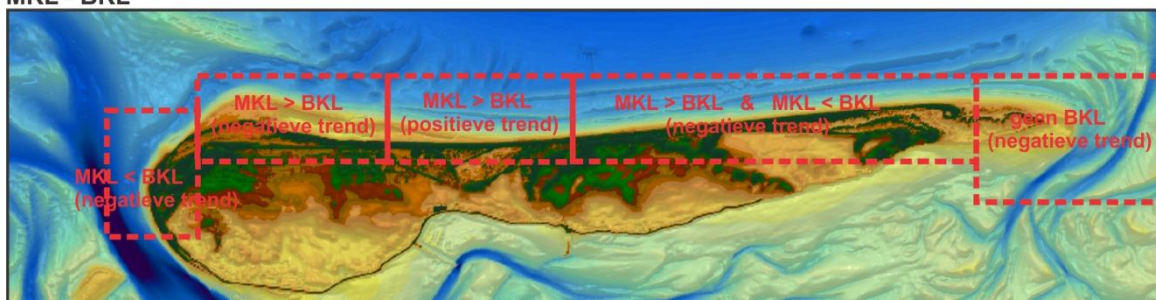
Morfologische Veranderingen



Kustbescherming



MKL - BKL



Figuur 3.21 Samenvatting morfologische kenmerken van het eiland Ameland

4 Kustlijnhandhaving en ontwikkeling vooroever

4.1 Inleiding

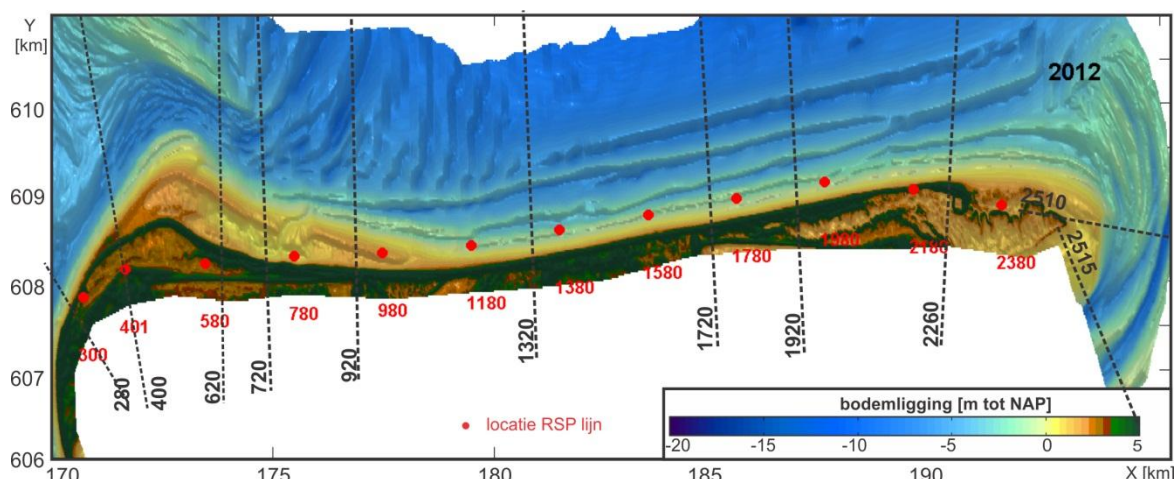
Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkelingen van de vooroever, in relatie tot het uitgevoerde beheer voor het kustvak Ameland, met name de zandsuppleties. Jaarlijks wordt aan de hand van posities van de MKL en de TKL getoetst hoe de kustlijn erbij ligt ten opzichte van de BKL (voor uitleg zie Appendix A). De resultaten van deze beoordeling worden vastgelegd in de kustlijnkartenboeken.

De jaarlijkse kustlijnkartenboeken worden opgesteld in de laatste maand van het voorafgaande jaar. Van het kustvak 3, Ameland worden jaarlijks 4 kustlijnkarten gemaakt (42 t/m 45), waarin wordt aangegeven de ligging van de TKL t.o.v. BKL, kustlijntrends (in m/jaar, landwaarts of zeewaarts) en de ligging van de BKL en de JARKUS raaien. De kustlijnkartenboeken (van 1992 t/m 2018) zijn te downloaden op de website van Rijkswaterstaat: <http://publicaties.minienm.nl/documenten/kustlijnkarten-seriebeschrijving>

Figuur 1.1 en Figuur 4.1 geven een overzicht van het kustvak met de ligging van de raaien.

Paragraaf 4.2 geeft een gedetailleerd overzicht van de ingrepen (suppleties) die langs de kust van Ameland hebben plaats gevonden. De detailontwikkeling van de vooroever met de kustindicatoren staat beschreven in paragraaf 0 en de dynamiek van de zeereep in paragraaf 4.4.

In de Kustviewer (<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>) is ook veel informatie te vinden in kaartvorm over de toestand van de kust en de zandsuppleties.



Figuur 4.1 : Ligging van de RSP lijn en tevens km nummering. (raai 2380 correspondeert met km 23.80).

Dwarsraaien geven de ligging van de profielen die worden besproken in hoofdstuk 4.

4.2 Suppletieoverzicht

4.2.1 Uitgevoerde suppleties

Sinds 1979 zijn strandsuppleties uitgevoerd op Ameland. In totaal is er t/m 2017 ruim 30 miljoen m³ aan zand op Ameland gesuppleerd (Figuur 4.2, Figuur 4.3, Figuur 4.4 en Tabel 4.1).

Suppleties vinden voornamelijk plaats op de noordwestelijke eilandkop (ter plaatse van het Bornrif) en in het midden van het eiland (km 10 - 20). Aanvankelijk werden de suppleties vooral uitgevoerd op het strand of duin. In 1998 is de eerste vooroeversuppletie uitgevoerd, waarbij 2 miljoen m³ zand werd aangebracht. Sindsdien zijn ook in 2003, 2006 en 2010-2011 vooroeversuppleties aangebracht. De uitgevoerde evaluaties staan beschreven in paragrafen 4.2.2, 4.2.3 en 4.2.4.

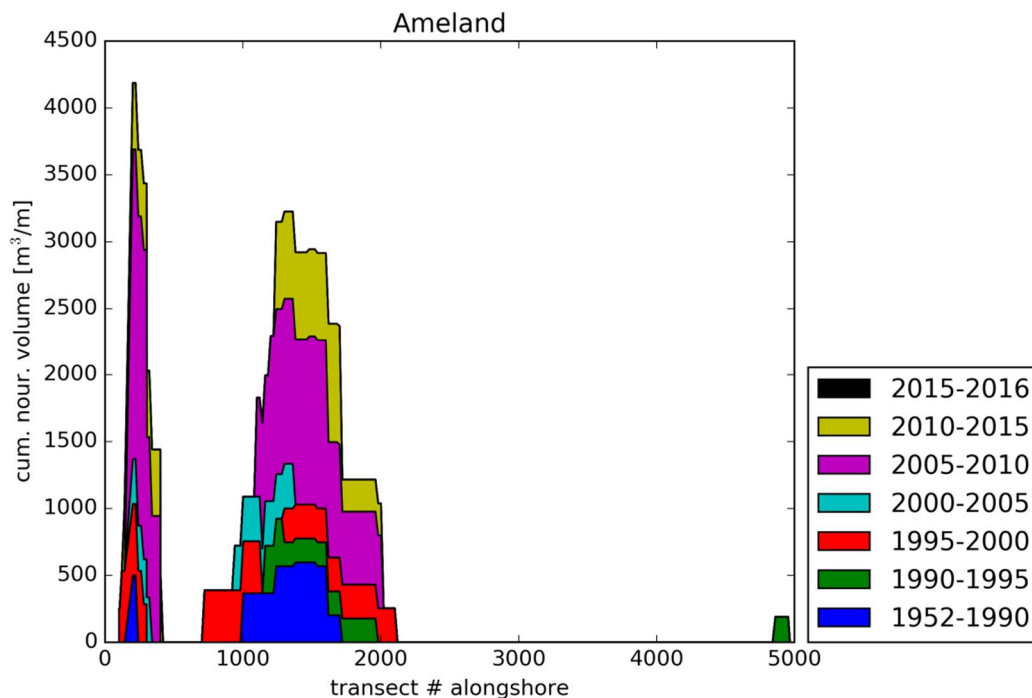
De vooroeversuppletie van 2010-2011 bij Ameland Midden was erg groot, in totaal 6,7 miljoen m³. Deze grote hoeveelheid is aangebracht, omdat de suppletie van 2006 op dezelfde locatie met een volume van 2,5 miljoen m³ snel verdwenen was. De suppletie van 2010-2011 bestond uit zowel strand- als vooroeversuppleties, die gefaseerd uitgevoerd zijn. De vooroeversuppletie is in drie stappen aangelegd, de strandsuppletie in twee stappen. Rond deze suppletie is ook een grootschalig ecologisch monitoringsonderzoek opgezet, zie paragraaf 4.2.4 voor details.

In 2017-2018 is een geulwandsuppletie uitgevoerd van 2,5 miljoen m³ op de zuidwestpunt tussen raaien 4600-4966 ter hoogte van de strandhoofden bij het Borndiep, zie verder paragraaf 4.3.2.

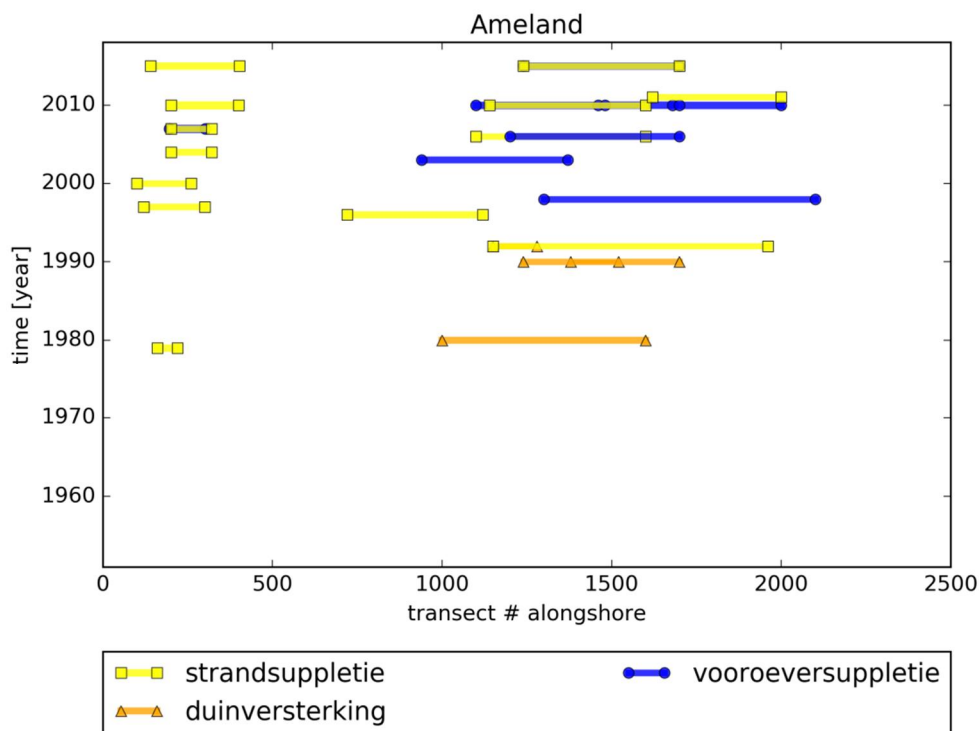
In de periode 2018-2020 zijn door Rijkswaterstaat nog een aantal grote suppleties voorzien in het kustvak Ameland, voor in totaal meer dan 10 miljoen m³ (inclusief een grote pilotsuppletie van 5 miljoen m³ in het Amelander Zeegat).

Tabel 4.1: Overzicht suppleties uitgevoerd op Ameland gebaseerd op de suppletiedatabase t/m 2017 (in-situ m³).

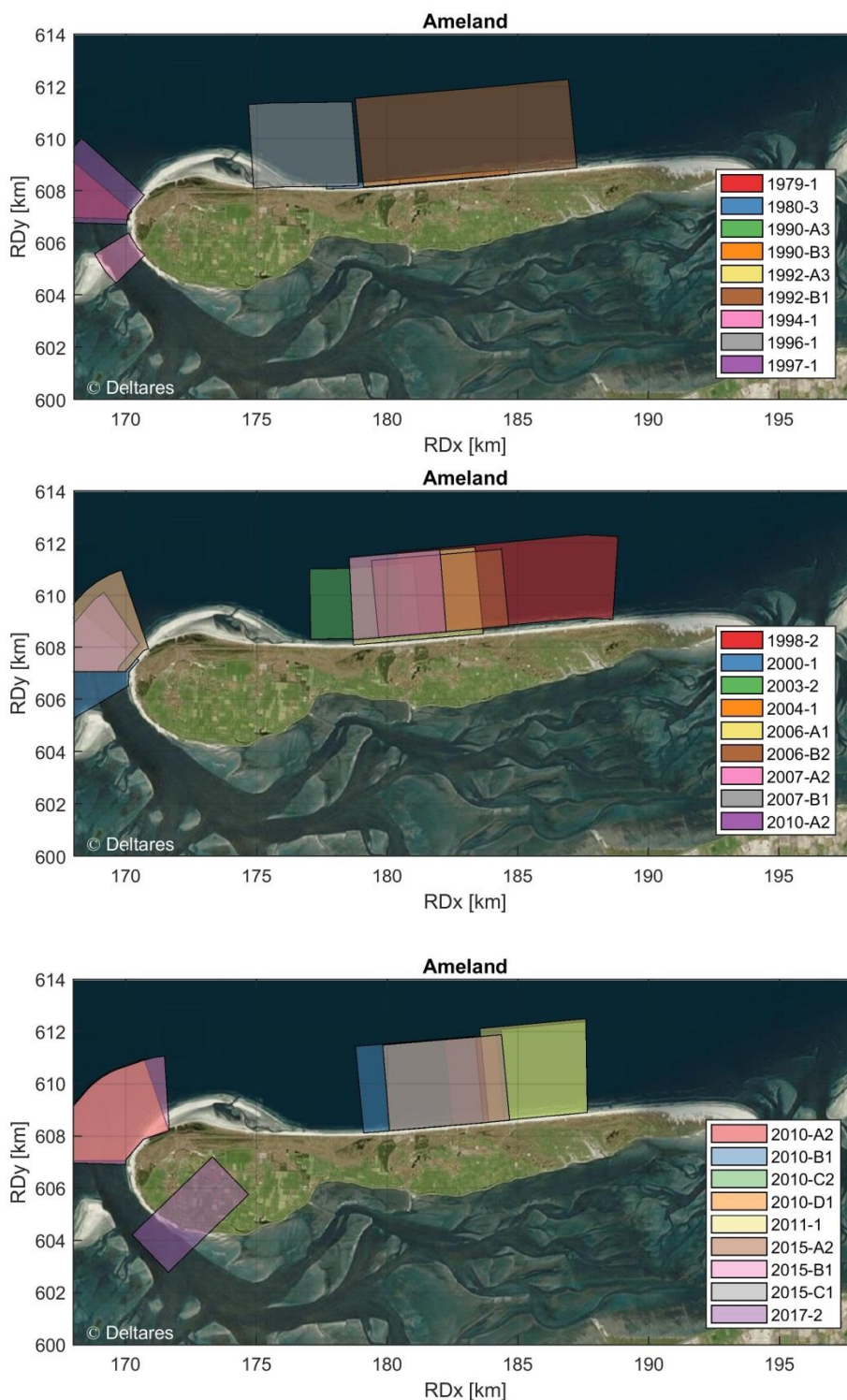
Locatie	Datum	Begin raai	Eind raai	Type	Volume (situ) [10 ³ m ³]	Volume [m ³ /m]
Hollum	01-Jun-79	160	220	strandsuppletie	300	500
Ameland-midden	01-Oct-80	1000	1600	duinverzwaring	2200	367
Oegepad-Paardepad	01-Aug-90	1380	1520	duinverzwaring	40	29
Westerpad-Jan Sietzepad	01-Aug-90	1240	1700	duinverzwaring	930	202
Ameland-midden	01-Jul-92	1150	1280	duinverzwaring	230	177
Ameland-midden	01-Jul-92	1150	1960	strandsuppletie	1442	178
Ameland-west	01-Jul-94	4860	4960	strandsuppletie	190	190
Ballum	01-Jun-96	720	1120	strandsuppletie	1555	389
Hollum	01-May-97	120	300	strandsuppletie	511	284
Ameland-midden	01-Apr-98	1300	2100	onderwatersuppletie	2031	254
Hollum	01-Apr-00	100	260	strandsuppletie	401	251
Midden	01-Jul-03	940	1370	onderwatersuppletie	1432	333
noord-west	01-May-04	200	320	strandsuppletie	404	336
Midden	01-May-06	1100	1600	strandsuppletie	1001	200
Midden	01-May-06	1200	1700	onderwatersuppletie	1502	300
Westkop	01-Jul-07	195	302	onderwatersuppletie	1201	1123
Westkop	01-Jul-07	200	320	strandsuppletie	303	253
Midden	01-May-10	1100	1460	onderwatersuppletie	1941	539
Midden	01-May-10	1480	1680	onderwatersuppletie	1124	562
Midden	01-Sep-10	1140	1600	strandsuppletie	925	201
Midden	01-Nov-10	1700	2000	onderwatersuppletie	1635	545
West	01-Nov-10	200	400	strandsuppletie	1889	944
Midden	01-Jul-11	1620	2000	strandsuppletie	910	239
Midden	01-Jan-15	1240	1700	onderwatersuppletie	2000	435
West	01-Apr-15	140	402	strandsuppletie	1300	496
Midden	01-Sep-15	1240	1700	strandsuppletie	1000	217
Zuidwest	01-May-17	4600	4800	onderwatersuppletie	2500	1250



Figuur 4.2 Cumulatieve suppletievolume per meter voor kustvak Ameland met op de x-as de verschillende raaien. Kleuren geven verschillende tijdsperiode aan.



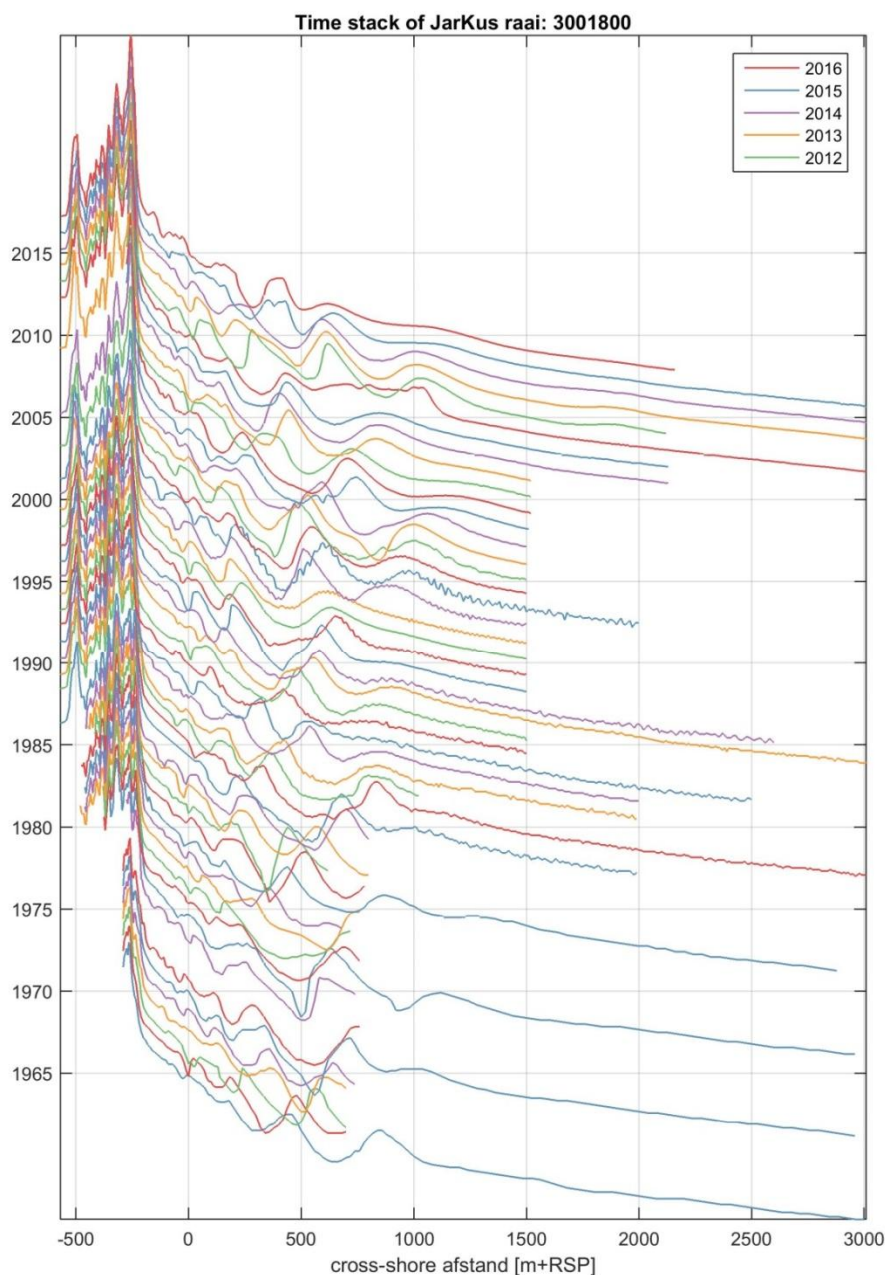
Figuur 4.3 Overzicht suppleties kustvak Ameland. Kleuren geven de soort suppletie aan: Geel = strandsuppletie, Blauw = vooroeversuppletie, Oranje = duinversterking.



Figuur 4.4 Suppletieoverzicht in kaart voor kustvak Ameland 1979-2017. Kleuren geven verschillende tijdsperiode aan. Het jaar en type suppletie is aangegeven in de legenda. 1: vooroeversuppletie, 2: strandsuppletie, 3: duinverzwaring, 4. overige. Letters geven volgorde in betreffende jaar aan (A-C). Zie ook de kustviewer, download link in paragraaf 1.4.

4.2.2 Invloed van onderwatersuppleties op het bankgedrag.

Langs de centrale eilandkust (Noordzeekust Ameland Midden) worden al sinds 1998 grote onderwater- of vooroeversuppleties toegepast. In totaal is hier al bijna 12 miljoen m³ zand onder water aangebracht tot 2016 in een gebied met een lengte van slechts 10 km. In de periode vóór 1998 is er dynamisch bankgedrag aanwezig. Afhankelijk van het moment van opname zijn er twee of drie duidelijke banken te onderscheiden. Deze banken migreren langzaam zeewaarts om vervolgens op een positie ca. 800 m uit de RSP uit te dempen. In de timestack van profiel 1800 (zie Figuur 4.5) zijn er tussen 1980 en 1995 vijf van deze bankcycli waar te nemen. In Figuur 4.6 geven de jaren 1993 tot 1998 nog een beeld van zo'n natuurlijke cyclus. In 1993 zien we een restant van een uitdempende buitenbank, de middenbank migreert zeewaarts en ligt dan rond 1995 op de positie van de vorige buitenbank. Landwaarts hiervan heeft zich een nieuwe middenbank gevormd op een positie van ca. 250 m uit de RSP en een binnenbank rond de RSP lijn.



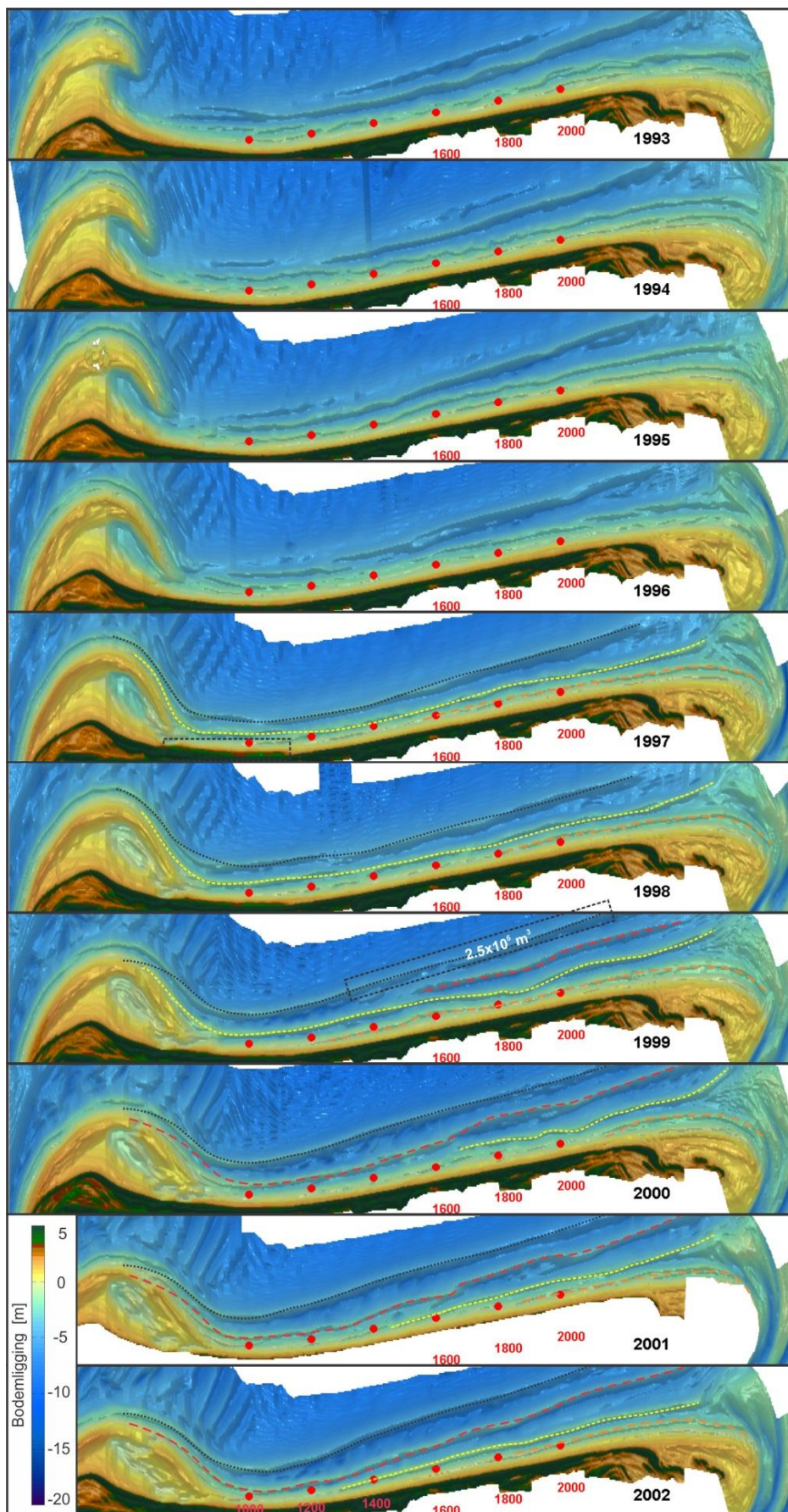
Figuur 4.5 Timestack plot ontwikkeling raai 1800 (km 18.0) over de periode 1965-2016 Kleurenschema wordt iedere vijf jaar herhaald (e.g. 2011 is de tweede rode lijn vanaf boven).

De suppleties hebben vooral een zichtbaar effect op de ligging van de banken (Figuur 4.6 en Figuur 4.7). Toch is het lastig de invloed van de suppleties te onderscheiden van het natuurlijke gedrag. Dit komt doordat de aanlanding van het Bornrif grote sediment-verplaatsingen veroorzaakt. De natuurlijke sedimentatie-erosiewaarden liggen in de zelfde orde van grootte als de verstoringen door suppleties. Tot de aanlanding van het Bornrif waren er in het aanlandings-gebied geen duidelijke banken aanwezig. Na aanlanding ontwikkelt zich een doorlopende brekerbank van oost naar west langs het gehele eiland (zie Figuur 4.6, 1997). Het is niet duidelijk of dit ook het autonome bankgedrag ten oosten van het aanlandings-gebied heeft verstoord.

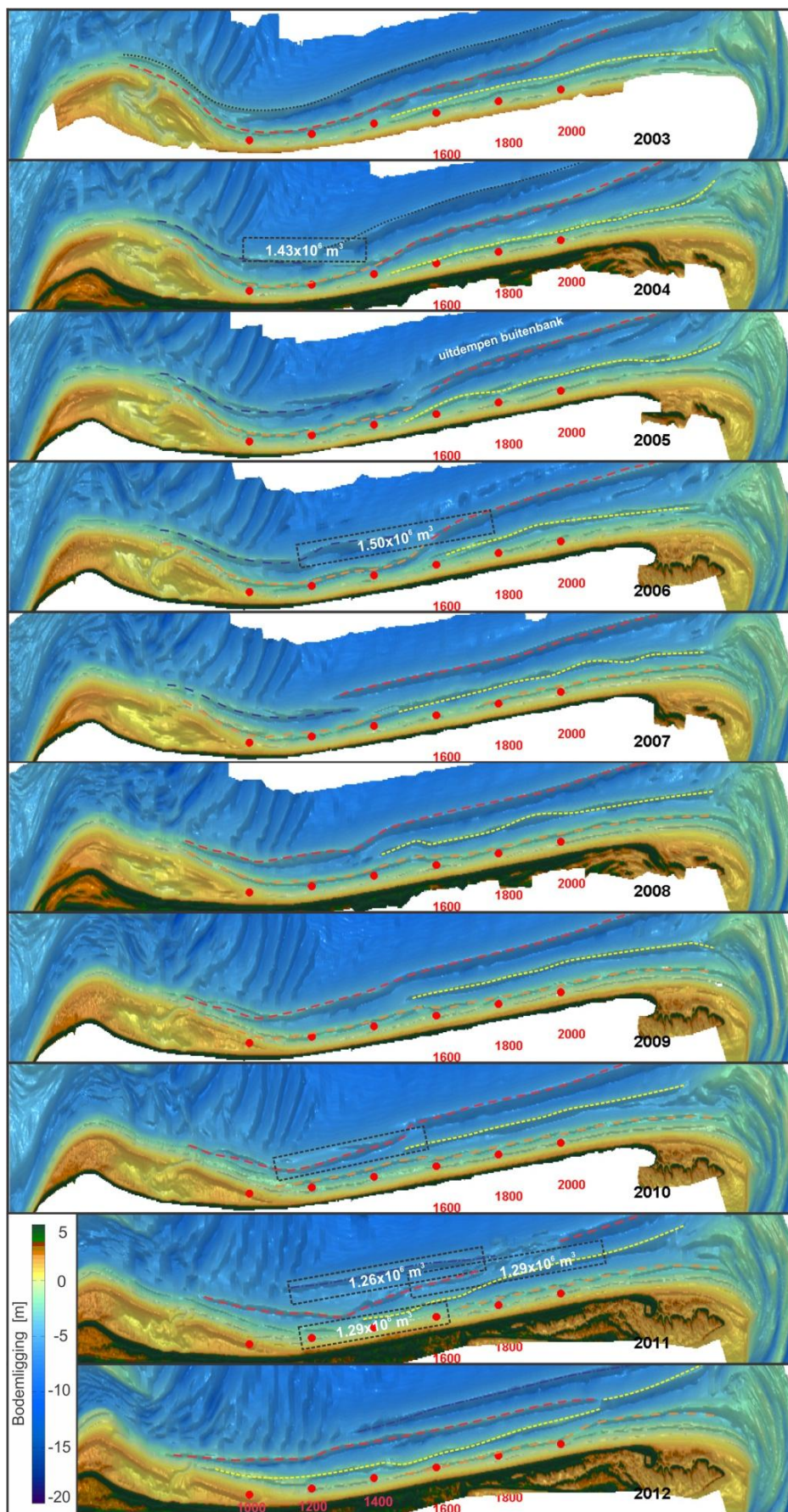
De onderwatersuppletie van 1998 (tussen raaien 1300 en 2100) heeft een duidelijk effect op het bankenpatroon. In 1999 heeft de suppletie zich al vervormd tot 2 brekerbanken die rond de locatie van de oorspronkelijke buitenbank liggen. De nieuwe zeewaartse bank ligt duidelijk iets verder zeewaarts van de oorspronkelijke buitenbank. Oostelijk van raai 1600 is ook een tweede middenbank gevormd. Deze verdringt de oorspronkelijke middenbank en verheelt met het westelijke gedeelte van deze bank. In 2000 is er een nieuwe doorlopende middenbank, terwijl de oorspronkelijke middenbank tegen de kust is gedrukt en nu de rol van binnenbank heeft overgenomen. Tot 2003 blijft dit systeem vrij stabiel.

De suppletie uitgevoerd in 2003 (tussen raai 940 en 1360), zie ook Figuur 4.7, geeft opnieuw een verstoring van eerst het lokale en later het grootschalige bankgedrag. De suppletie veroorzaakt een onderbreking in de buitenbank (rond raai 1350). In de volgende jaren dempt de buitenbank snel uit. Het is niet geheel duidelijk of dit uitdempen veroorzaakt wordt door de discontinuïteit van de bank. Het is mogelijk dat het langstransport hierdoor is veranderd en hierdoor het dynamische evenwicht van de bank is verstoord, waardoor deze zich niet kan handhaven en uitdempt. Het uitdempen van de buitenbank werd echter ook in het autonome bankgedrag waargenomen. Tijdens het uitdempen van de buitenbank migreren de midden- en binnenbank zeewaarts. Na de onderwatersuppletie in 2006 (tussen raai 1200 en 1700) zien we de vorming van een bijna continue buiten- en middenbank. De buitenbank verheelt in 2008 met de bank rond Bornrif. De binnenbank is hier vervormd naar de middenbank. Langs het strand is er nog een doorlopende binnenbank aanwezig langs vrijwel het gehele eiland.

De suppletie van 2010 (tussen raaien 1100 en 1680) verstoort dit banksysteem opnieuw. Na de suppletie hervormt zich een nieuwe buitenbank (deze ligt zeewaarts van de oorspronkelijke bank). Landwaarts hiervan ontstaan nu 2 middenbanken. Deze veranderingen lijken vooral een kustdwars proces te zijn. De totale volumes blijven gehandhaafd (zie paragraaf 4.2.4 en Vermaas et al, 2013). Alleen ten oosten van profiel 2200 is de oorspronkelijke bankenconfiguratie nog te herkennen. Een interessante ontwikkeling vindt plaats in het westelijk deel tussen 2011 en 2012. De vooroeversuppletie van 2010 is verder zeewaarts aangelegd dan de oorspronkelijke banken en ligt nu gedeeltelijk over het veld zaagtandbanken heen. Deze zaagtandbanken lijken de buitenbank hier snel op te ruimen. Het extra zand lijkt hier te zijn omgezet in meer en verder oostwaarts strekkende zaagtandbanken.



Figuur 4.6 : Overzicht van de bankenpatronen over de periode 1993-2002 (Elias et al, 2013)



Figuur 4.7 : Overzicht van de bankenpatronen over de periode 2003-2012 (Elias et al, 2013)

4.2.3 Evaluatie suppletie 1998 (uit Spanhoff et al, 2002).

Een uitvoerige evaluatie van de 1998 onderwatersuppletie wordt gegeven in Spanhoff et al. (2002). In deze paragraaf worden de belangrijkste conclusies opgesomd. Voor details wordt er verwezen naar Spanhoff et al. (2002).

- De onderwatersuppletie (km 13-21) uit 1998 bij Ameland heeft vooral een positief effect op de oostelijke helft van het gesuppleerde kustvak.
- De invloedssfeer van de suppletie strekt zich ver uit buiten het monitoringsgebied (km 12-22).
- In het gesuppleerde gebied ontstaat een extra bank. Dit bevestigt de hypothese dat het aantal banken bepaald wordt door de instantane (korte-termijn) hoeveelheid zand in een kustvak/profiel in relatie tot de globalere (lange-termijn) hydrodynamische condities.
- De respons van de bodem op de suppletie is snel (om niet te zeggen instantaan). De genoemde bank is al direct na afloop van het suppleren aanwezig.
- Het positieve effect van de suppletie op de kustlijn wordt vooral veroorzaakt door de extra en/of verhoogde banken in het suppletievak.
- Het aangebrachte suppletiezand wordt oostwaarts afgevoerd. Mogelijk heeft de extra bank vooral "tot taak" dit te realiseren.
- De invloedssfeer van de onderwatersuppletie strekt zich zo'n 3-5 km in westelijke richting uit, waar brekerbanken versneld zeewaarts migreren om met de suppletie gelijke tred te houden. Ook dit proces begint direct na de aanleg van de suppletie. Kennelijk is de in het hele gebied gewijzigde hydrodynamica sturend. Onduidelijk is (nog) in hoeverre deze relatief grote invloedssfeer wordt veroorzaakt door de grote lengte van de suppletie.
- De nieuw gevormde buitenste brekerbank strekt zich over het hele centrale deel van het eiland uit (km 9-23), nagenoeg langs een rechte lijn, met naar het oosten een steeds grotere afstand tot de kust.

4.2.4 Evaluatie suppletie 2010-2011 (uit Vermaas et al. 2013)

Een uitvoerige evaluatie van de 2010-2011 gefaseerde onderwater- en strandsuppletie van 6.53 miljoen m³ wordt gegeven in Vermaas et al. (2013). In deze paragraaf worden de belangrijkste conclusies beschreven. Voor details wordt er verwezen naar Vermaas et al. (2013).

Op het strand is de ontwikkeling van de suppletie voor een groot deel bepaald door een storm in de winter 2011/2012. Hierdoor is een groot volume geërodeerd, met name in het oostelijke deel, wat na het westelijke deel is aangelegd. De oorzaak hiervan lijkt niet direct aan de gefaseerde aanleg te liggen, maar mogelijk heeft de kortere tijd tussen aanleg en storm er wel aan bijgedragen. Ondanks de erosie is de MKL ter plaatse van de suppletie zeewaarts verplaatst, deels doordat de toppen van banken zich in de BKL-zone bevinden.

De vooroever toont op de meeste punten een ontwikkeling vergelijkbaar met eerdere vooroeversuppleties die op deze locatie zijn uitgevoerd. Het toegevoegde sediment zorgt voor de vorming van een nieuwe bank in het hele suppletievak en het stabiliseren van de buitenste bank. Ondanks de stormachtige winter van 2011/2012 toont de vooroever over de gehele periode geen grote erosie per jaar, maar is de erosie vergelijkbaar met die voor de aanleg. Het grotere suppletievolume zorgt daardoor dus voor een langere levensduur van de suppletie.

4.3 Detailontwikkeling vooroever

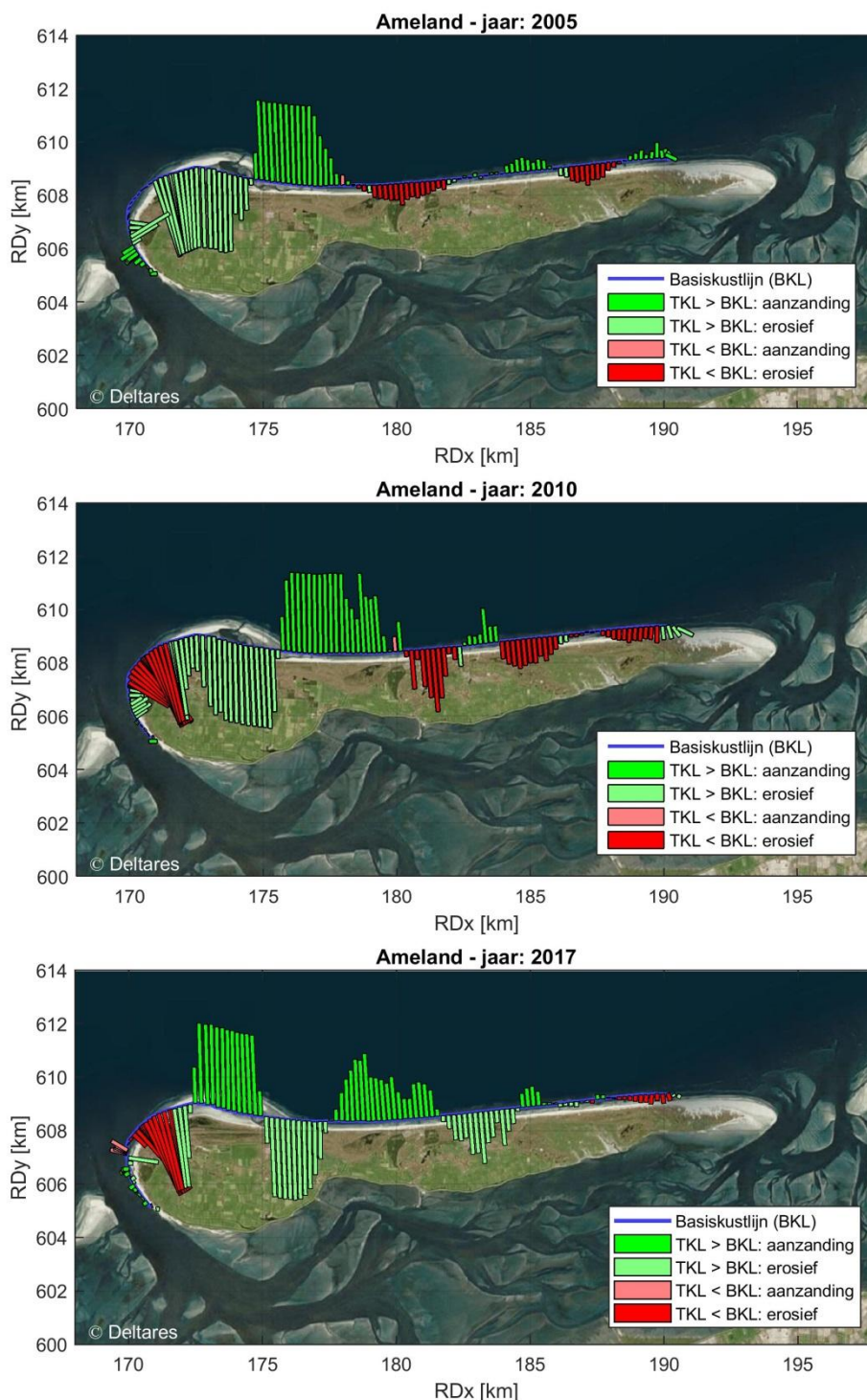
4.3.1 Deelgebieden

In deze paragraaf worden de detail ontwikkelingen in de tijd van de Noordzee kustlijn van Ameland per JARKUS raai bekeken, de kustindicatoren, zoals positie laag- en hoogwaterlijn (MLW en MHW) en duinvoet (DF), de kustlijnen MKL, TKL en BKL en de ingrepen (suppletievolumen). De figuren zijn geactualiseerd met de laatste metingen (1992 t/m 2016), zie bijvoorbeeld Figuur 4.15.

Een overzichtskaartje van de ontwikkeling van het gehele kustvak Ameland aan de hand van de kustlijn-indicatoren wordt gegeven in Figuur 4.8. De kustlijnkarten geven dit ook weer maar dan niet voor heel Ameland, zie paragraaf 4.1.

Karakteristieke raaien worden beschreven per deelgebied. Er is een indeling gemaakt in een viertal deelgebieden met een eigen dynamiek en problematiek. Deze deelgebieden worden hieronder kort samengevat en uitvoerig behandeld in de volgende paragrafen (zie paragraaf 3.3.9 voor de onderbouwing).

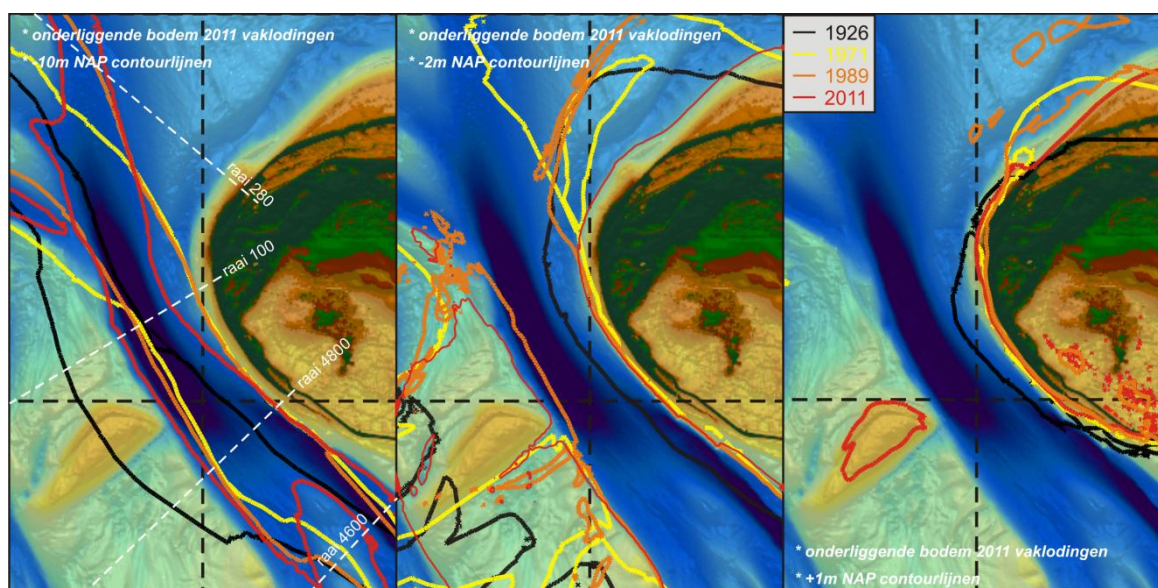
- 1 De eilandkop – Borndiep (km raai 47 - 2.5).
- 2 De noordwestelijke eilandkop – strandhaak Bornrif (km 2.5 – 10.0).
- 3 De ongestoorde eilandkust (km 10 - 21).
- 4 De oostelijke eilandstaart – Pinkegat (km 21 - 25).



Figuur 4.8 : Overzicht ontwikkeling BKL op Ameland in de periode 2005-2017 (van boven naar onder). Het eiland kan worden onderverdeeld in 4 deelgebieden (1) westelijke eilandkop - Borndiep, (2) strandhaak Borndiep aanlandingsgebied, (3) eilandkust en (4) oostelijke eilandkop – Pinkegat. Zie Figuur 4.1 voor km en raainummering. Westelijke eilandkop – Borndiep. Zie Bijlage C voor volledige serie.

4.3.2 Westelijke eilandkop - Borndiep

De westkop van Ameland grenst rechtstreeks aan het Borndiep. Door het oostwaarts verplaatsen van Borndiep in de periode 1926-1971 is de geul direct langs de eilandkop komen te liggen en heeft er significante erosie plaatsgevonden. Sinds 1971 zijn de verplaatsingen hier beperkt. Hoewel de morfologische ontwikkeling van de eilandkop in zijn geheel sterk bepaald wordt door het Borndiep, zien we in meer detail toch verschillen in respons. JarKus metingen ter plaatse van het Borndiep zijn aanwezig sinds 1989. De timestacks van profielontwikkeling op basis van deze metingen voor raaien 4600, 4800 en 100 geven het gedrag over de periode 1987-2012 weer, in de verschillende deelgebieden. De locatie van de profielen is weergegeven in Figuur 4.9, linker plot. De timestacks geven op de verticale as het jaartal dat hoort bij de doorgang van het profiel met RSP afstand 0 m. Ter indicatie zijn labels van de jaartallen bij de lijnen toegevoegd.



Figuur 4.9 : Verplaatsing van het Borndiep op basis van de Vaklodingen (1927-2011). Van links naar rechts: - 10 m contour (midden in de geulwand), de -2 m contour (bovenkant geul) en de +1 m contour (strand) 1926-2011.

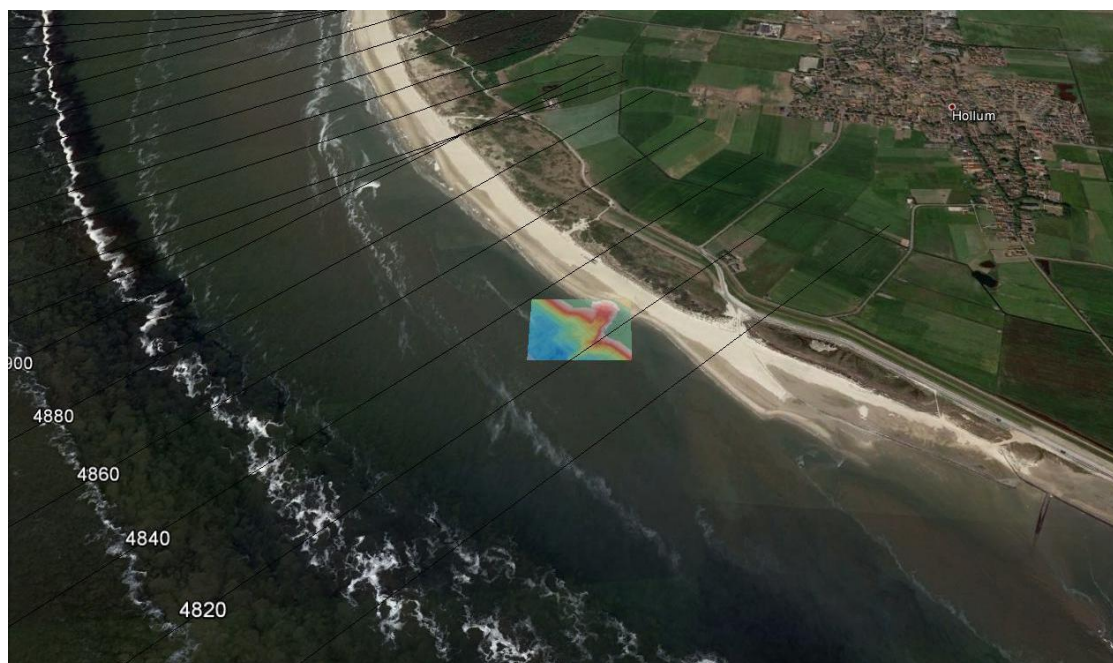
In de meest zuidelijke raai 4600 (Figuur 4.12, boven) zien we een landwaartse migratie van het Borndiep. Tot 1995 verplaatsen zowel de oostelijke als westelijke geulwand met een vergelijkbare snelheid. Rond 1995 zien we dat de binnenste geulwand een smal, ongeveer 150 m breed, platform vormt op -9 m NAP (waarschijnlijk is dit platform gerelateerd aan bestortingen). Hierbij neemt ook de verplaatsingssnelheid van de binnenste geulwand sterk af. De buitenste geulwand blijft zich echter met een ongeveer gelijke snelheid verplaatsen. Hierdoor neemt de geulbreedte af en de diepte toe. Tussen 2000 en 2012 is de geuldiepte toegenomen van -18,5 m naar -22,5m. Deze verdieping hangt mogelijk samen met de vorming van een rug tussen de twee geulen in het zeegat. Sinds 2007 zien we deze vorming. De rug duwt het Borndiep kustwaarts en verkleint de doorstroombreedte, waardoor de geul verdiept. Tezamen met de steilheid van de geulwand is dit een toenemend risico voor de stabiliteit van de kustzone, die hier dan ook met harde middelen wordt verdedigd, zie ook 5.1.

In het iets noordelijker gelegen profiel 4800 (Figuur 4.12, onder) is dankzij de verdedigingswerken van geulmigratie vrijwel geen sprake. In dit profiel sluit de steile oostelijke geulwand rechtstreeks aan op het strand. Er is hier geen platform aanwezig. Het geulprofiel blijft stabiel in zowel ligging als vorm gedurende de gehele periode (1995-2012). Wel neemt de maximale diepte iets af. Tot 1981 ligt de maximale diepte rond de 25 m. In 1982 verspringt de diepte naar 22 m. Daarna neemt de diepte geleidelijk af naar

20 m in 1988 en 18 m in 1994. In de periode 1994 – 2011 fluctueert de maximale diepte tussen de 16 m en 19 m. Wel is er een opmerkelijk grote verdieping aanwezig in de 2012 bodem. De maximale diepte neemt tussen 2011 en 2012 met bijna 1,5 m toe. In 2017 is hier een geulwandsuppletie toegepast. Bij het strandhoofd in raai 4820 is meermalen een strandval opgetreden (10 maart, 3, 11 en 16 november 2017), zie Figuur 4.10 en Figuur 4.11. Een meetcampagne en analyse zijn eind 2017 uitgevoerd.



Figuur 4.10 Strandval 10 maart 2017 (foto Staatsbosbeheer)

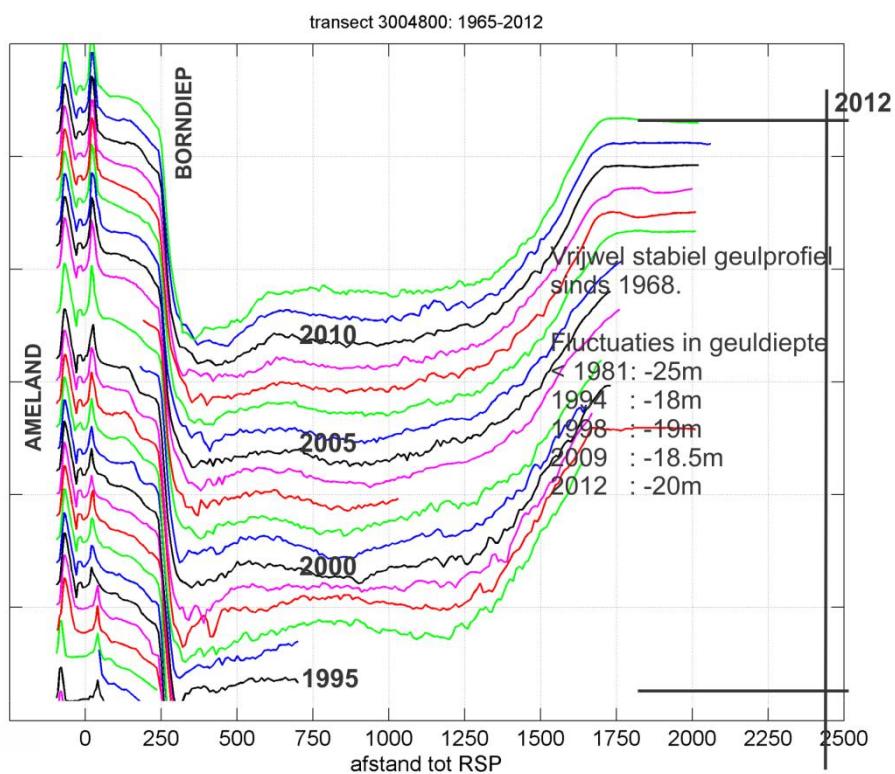
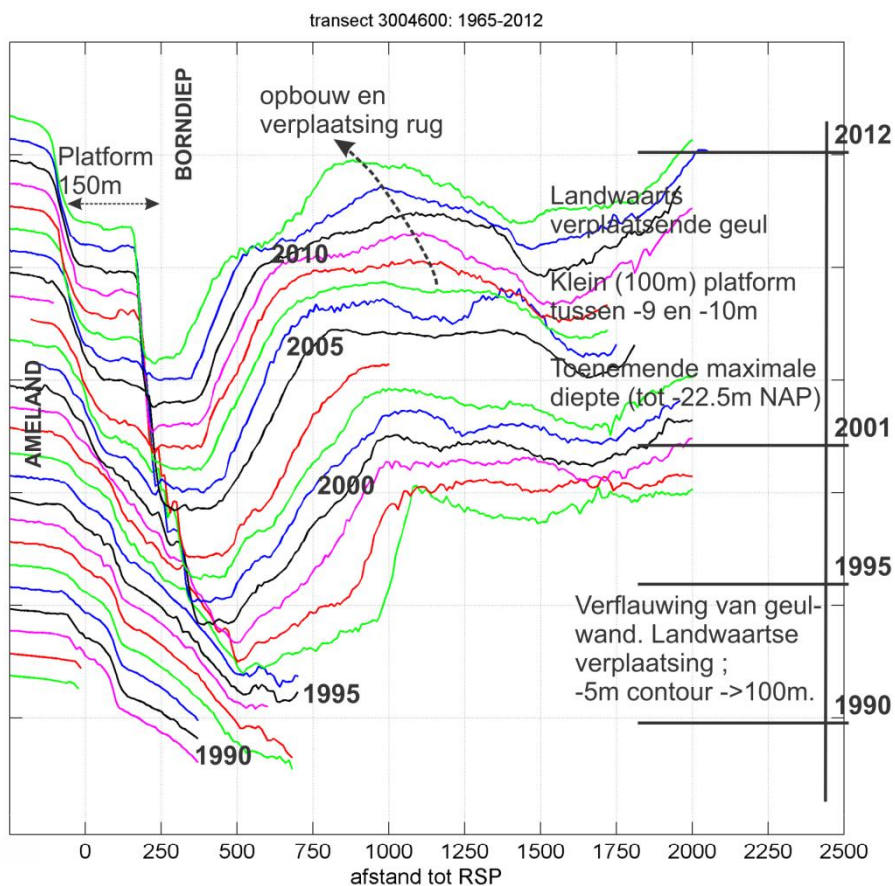


Figuur 4.11 Locatie strandval met meting en rainnummers (meting 14 maart 2017)

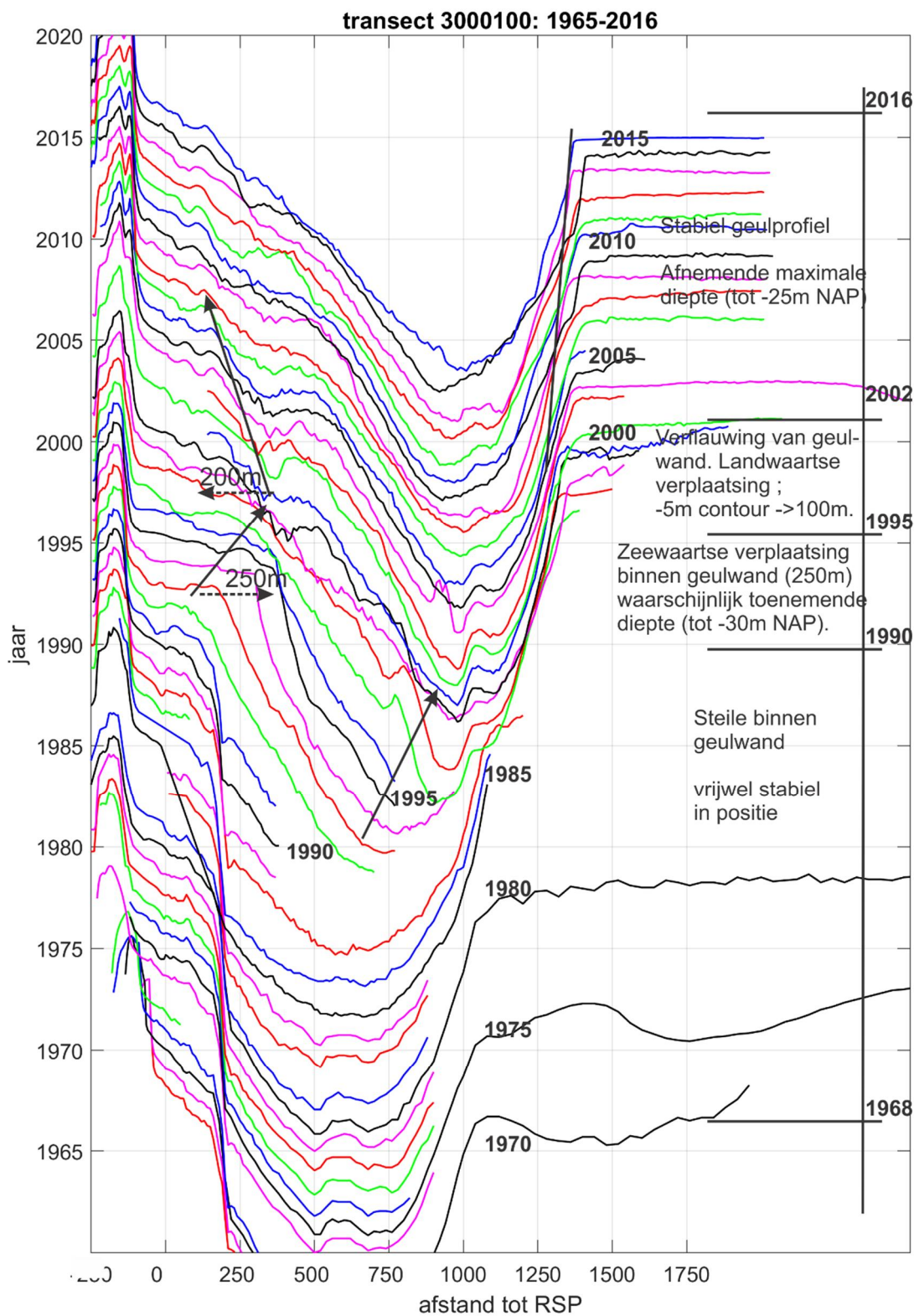
Richting de buitendelta verandert het geulprofiel weer in vorm en ontwikkeling (Figuur 4.13, profiel 100 en Figuur 4.15, links). Tot ruwweg 1985 sluit de steile binnenste geulwand hier nog rechtstreeks aan op het strand (de vorm lijkt op die van profiel 4800). Het Borndiep lag vrijwel stabiel tegen het eiland aan met een geuldiepte rond de 28 m. Vanaf 1985 zien we een verondieping van de geul, terwijl de ligging vrijwel constant blijft.

De gehele binnenste geulwand schuift in de periode 1990-1995 bijna 250 m van het eiland af. Hierbij blijft de steile geulwand behouden. Waarschijnlijk is de geuldiepte hierbij toegenomen. In 1997 is de geuldiepte al 30 m (de tussenliggende jaren zijn onvolledig gemeten). In de periode 1997-2001 zien we juist een verflauwing van het binnentalud; het profiel zakt onderuit. Het is niet geheel duidelijk of dit gerelateerd is aan een ingreep of dat dit een gevolg is van de aanlanding van Bornrif. De volumetoename vindt in ieder geval wel plaats vóór de periode van intensief suppleren en na aanlanding van Bornrif. Ten gevolge van dit laatste is een puls zand het zeegat in verplaatst. Dit gaat gepaard met een achteruitgang van het profiel boven de -10 m, maar een vooruitgang hierbeneden. De -5 m contour verplaatst bijna 200 m landwaarts. De 0 m contour fluctueert tussen de 0 en 125 m tot RSP. Sinds 2002 blijft het profiel dan eigenlijk weer constant in vorm en positie. Wel neemt de diepte sinds 2002 geleidelijk af, tot 25 m in 2012. De boven geschetste ontwikkeling zien we duidelijk terug in de posities van de MKL (Figuur 4.15, links). Tot 1990 lag de MKL stabiel tussen 20 en 40 m tot de RSP. Tussen 1990 en 1995 is de MKL sterk zeewaarts verplaatst. Dit werd gevolgd door een korte, sterke landwaartse verplaatsing in de periode 1996-1999. Sinds de suppletie in 2000 zijn de verplaatsingssnelheden afgenomen. Gedurende de laatste jaren (2008-2016) ligt de MKL stabiel tussen de 70 en 100 m tot RSP. Oostelijk van profiel 100 blijft de trend in de huidige MKL wel negatief. Dit wordt duidelijk weergegeven in Raai 280 (Figuur 4.14 en Figuur 4.15, rechts).

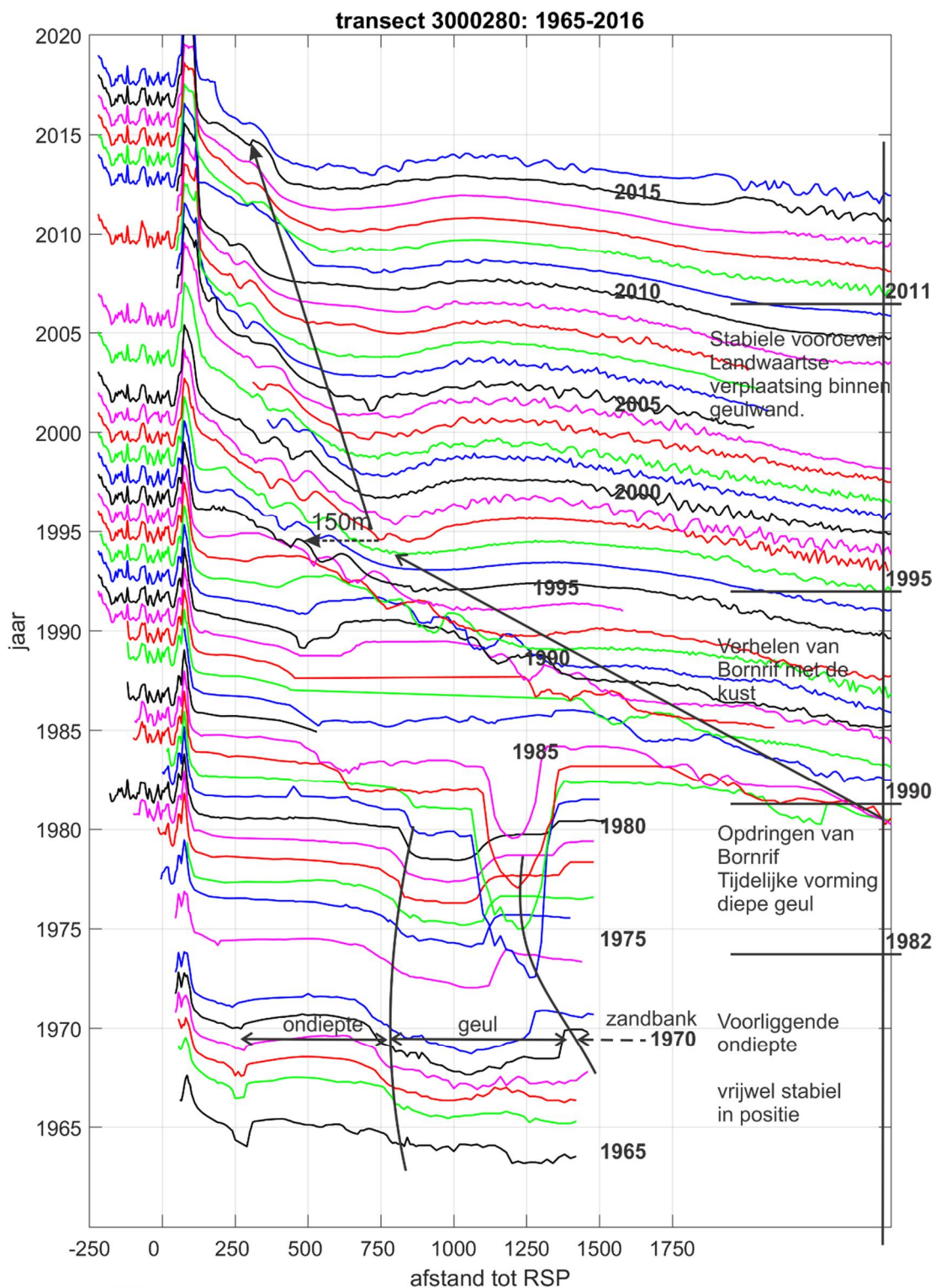
In raai 280 is het Borndiep niet meer te zien in het profiel. Deze raai ligt dan net ten oosten en evenwijdig aan het Borndiep in het overgangsgebied van een getij- (of geul-) naar een golfgedomineerd plaatgebied. Dit overgangsgebied van geul naar plaat behoort tot het meest intensief gesuppleerde gebied op Ameland. Sinds 1979 zijn hier op een stukje kustvak van ongeveer 3 km lengte, 8 suppleties met een totaal volume van meer dan 5 miljoen m³ aangebracht (paragraaf 4.2.1). Raai 280 illustreert de grote veranderingen die hier door de tijd hebben plaatsgevonden, gerelateerd aan de aanlanding en verhelving van de Bornrif strandhaak. Tot 1980 is het profiel eigenlijk vrij stabiel en bestaat uit de kuststrook die aansluit op een voorliggende ondiepte met een hoogte tot 1,5 m NAP. Een ondiepe geul (-4 m NAP) vormt de scheiding met de zandplaat (Bornrif) die hier weer zeewaarts van ligt. Deze voorliggende zandbank verplaatst zich landwaarts, maar dit ligt voor het merendeel buiten de metingen. Deze verplaatsing is waarschijnlijk de oorzaak van het ontstaan van een tijdelijke, diepe geul. Deze geul ontwikkelt zich tussen 1980 en 1981, het diepteverschil tussen deze 2 jaren is meer dan 15m. In de daarop volgende jaren verondiept de geul tot -9 m in 1984 en 2 jaar later, in 1986, is deze geul weer geheel verdwenen. Er heeft zich nu een grote zandvlakte gevormd (strandhaak Bornrif), de 0 m contour bevindt zich op 1400 m tot RSP, met een hoogte tussen de 0 en de -1 m.



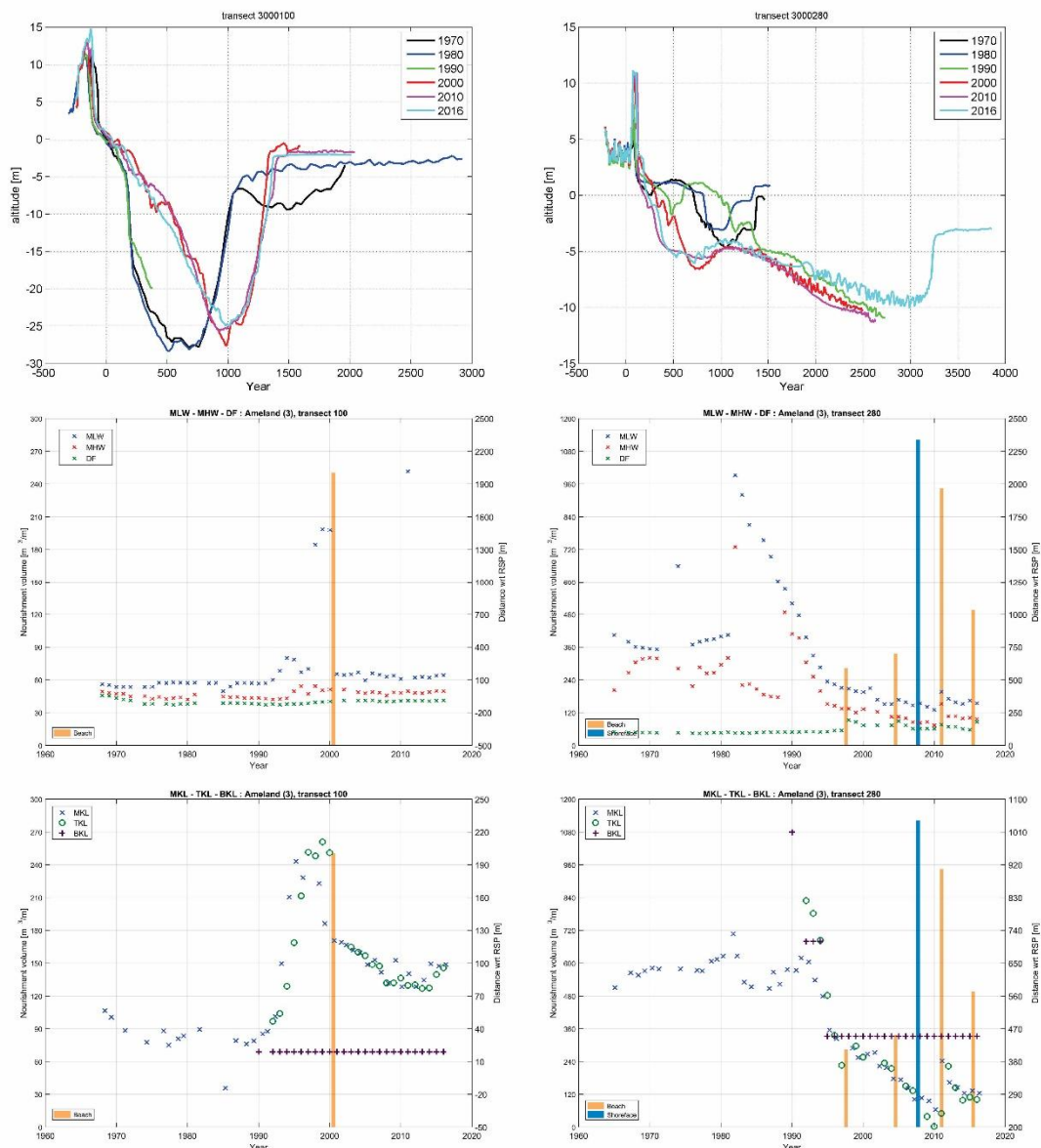
Figuur 4.12 : Timestack van profielontwikkelingen voor raai 4600 en 4800 (1965-2012).



Figuur 4.13 Timestack van profielontwikkelingen voor raai 100. 1965-2016



Figuur 4.14 : Timestack van profielontwikkelingen voor raai 280.1965-2016



Figuur 4.15 : Overzicht ontwikkeling JarKus profielen en waterlijnen Eilandkop; raai 100 (links) en raai 280 (rechts). 1965-2016

4.3.3 Aanlandingsgebied Bornrif; Raai 300-920.

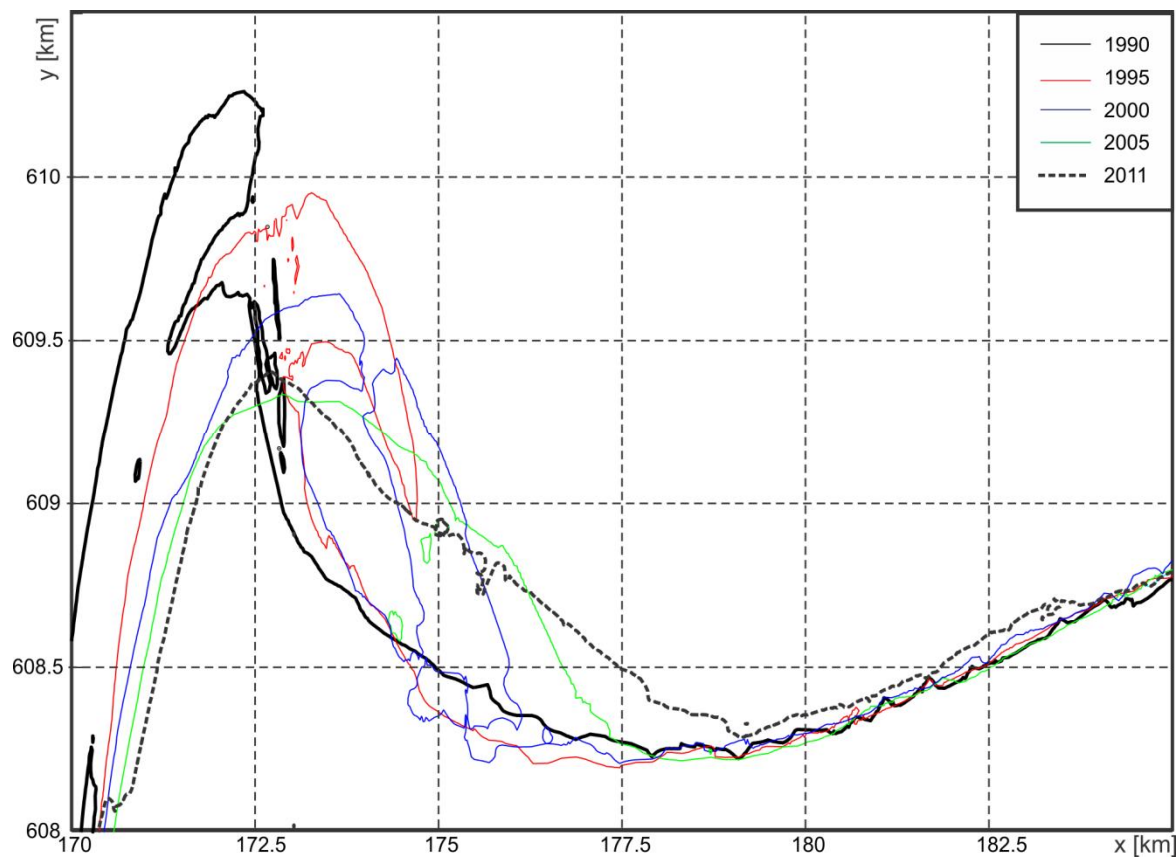
Vanaf 1982 is de aanlanding en de verheling van de zandplaat (Bornrif) duidelijk te volgen, omdat er nu over de voorliggende zandbank heen is gemeten (Figuur 4.16). Als we de 0 m contour volgen zien we pas duidelijk de grote migratiesnelheid van de kust. Over de periode 1982-1995 verplaatst de 0 m contour van 1900 m RSP naar 360 m RSP in 1995 (een verplaatsingssnelheid van bijna 120 m/jaar). Rond 1994 is de strandhaak dan weer verdwenen uit het profiel. Het profiel is in de eerste 1500 m verdiept en vormt een soort platform met een diepte rond de -5 m (Figuur 4.17, rechtsboven). Het gehele profiel migreert langzaam landwaarts. Dit is duidelijk terug te zien in de negatieve trend van de MKL. Tussen raaien 200 en 380 ligt de MKL landwaarts van de BKL (Figuur 4.17, rechtsonder).

Het aanlanden en vervormen van de Bornrif strandhaak domineert de kustontwikkeling in de profielen 300 - 920 (Figuur 4.17, Figuur 4.18 en Appendix D). De kustlijnen zijn hier tijdelijk tot 1,5 km zeewaarts verplaatst. De aanlanding van de Bornrif zandhaak is als eerste zichtbaar in profiel 300, waar al in 1985 een maximale uitbouw plaatsvindt. Het zandpakket migreert dan in oostelijke richting verder. Tot profiel 920 is er een duidelijke piek in de kustontwikkeling te onderscheiden. Figuur 4.16 illustreert de vervorming van de strandhaak in detail aan de hand van de 0 m contour. Sinds 1990 is de maximale uitbouw ongeveer 1 km teruggetrokken en 3 km oostwaarts uitgesmeerd. Dit terugtrekken en oostwaarts uitsmeren zal ook in de toekomst de kustontwikkeling blijven domineren. We kunnen een aantal gebieden met verschillend gedrag onderscheiden. Westelijk van de piek (raai 300 – 500) vindt er vooral erosie plaats en is het aangelande zand al verdwenen uit het profiel. Tussen raai 500 - 920 vindt erosie plaats, maar is er nog een buffer van aangeland zand en oostelijk van raai 0 vindt kustuitbouw plaats.

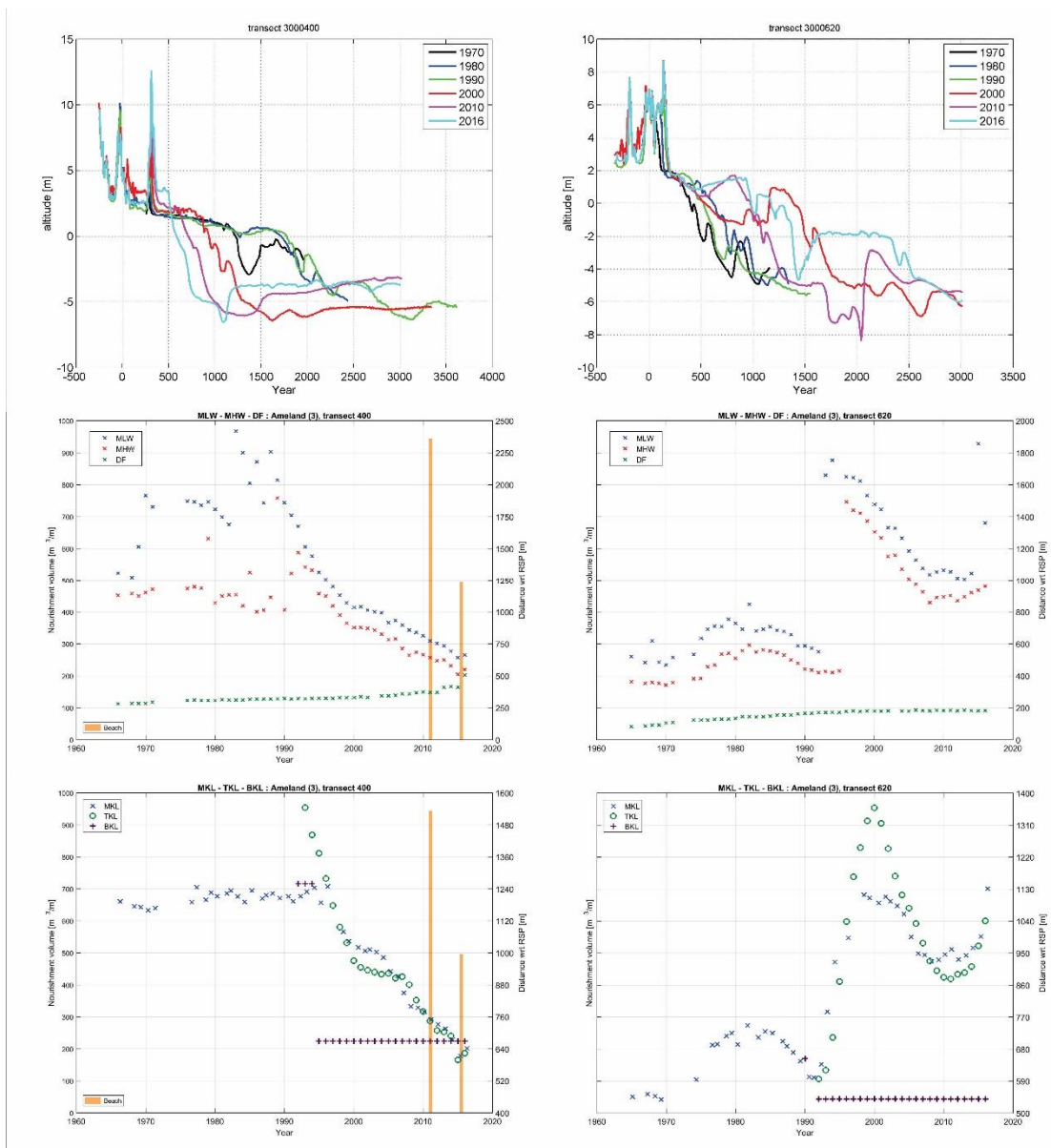
Richting het Borndiep is het merendeel van het aangelande zand al weer verdwenen en zijn er opnieuw BKL overschrijdingen (zie de analyse in paragraaf 4.3.2). Tussen ruwweg raai 400 en 920 heeft het strand al een maximale uitbouw bereikt. In raai 400 was dit omstreeks 1990, in raai 620 rond 1996 en in raai 920 omstreeks 2008. Daarna begon de kust zich terug te trekken. Maar in deze profielen is nog steeds een aanzienlijke zandbuffer aanwezig. Figuur 4.17 geeft hiervan een gedetailleerd beeld. Raai 400 ligt in het gebied waar de voet van de strandhaak aan de kust vast zit. Hier was al in de eerste metingen een aanzienlijk volume zand aanwezig. Met de vorming en verheling van de strandhaak is dit zandvolume verplaatst. Dit komt tot uitdrukking in de sterk landwaarts verplaatsende strandlijnen en MKL volumes. De huidige MKL ligt zeer dicht tegen de BKL aan. Ten westen van deze raai wordt de BKL al overschreden en zijn er weer suppleties uitgevoerd. De iets oostelijk gelegen raai 620 ligt centraal over de strandhaak heen. De vorming van de strandhaak is hier duidelijk zichtbaar als een piek in de strandlijnen en MKL positie. Dit zorgt initieel voor een zeer sterke zeewaartse verplaatsing, gevolgd door een vrijwel even sterke landwaartse verplaatsing nadat de strandhaak is aangeland en zich oostwaarts verspreidt. Initieel zorgt deze verplaatsing voor een sterke terugtrekking, maar de terugtrekkingsnelheid neemt nu sterk af naarmate de verstoring t.o.v. de evenwichtskustlijn afneemt. Op middellange termijn (orde 5 jaar) zijn hier nog geen structurele problemen te verwachten.

Raai 720 en 920 (Figuur 4.18) geven een representatief beeld van het kustgedrag in het verhelingsgebied van de strandhaak. In raai 720 zien we dat een maximale uitbouw bereikt is rond 2001. Sindsdien is de MLW met meer dan 500 m teruggetrokken. Toch ligt deze nog steeds ruim zeewaarts van de oorspronkelijke positie. Met de huidige terugtrekkingsnelheid zal het nog ruim 5 jaar duren voordat de oorspronkelijke positie weer wordt bereikt. Maar gezien de ontwikkeling van de voorgaande profielen, is het de verwachting dat de snelheid zal afnemen en het nog langer zal duren voordat de kustlijn weer op de oorspronkelijke positie ligt. Raai 920 ligt rond het knikpunt van erosie- naar

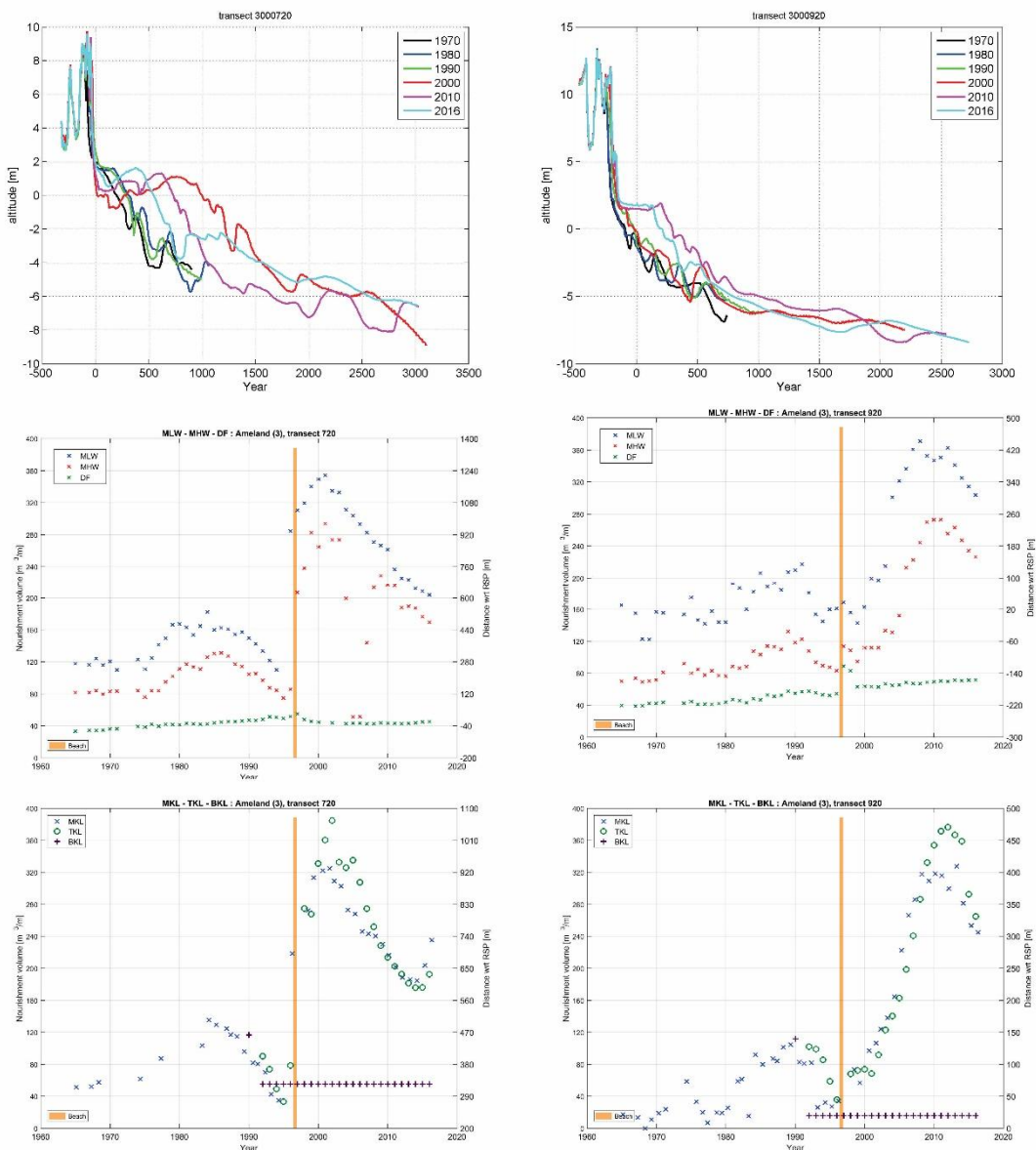
sedimentatiegebied. In deze raai is de kustuitbouw nog maximaal en staat het profiel aan het begin van erosie. Ook hier ligt de MLW rond de 400 m en de MKL rond de 400 m zeewaarts van de oorspronkelijke positie. Het gebied waarin we de positieve effecten van het oostwaarts verspreiden van het aangelande zandvolume kunnen zien, is vrij beperkt. Alleen tussen raai 920 en raai 1160 zien we dat de MLW en MKL duidelijk zeewaarts verplaatsen. Hoewel hier ook nog suppleties zijn uitgevoerd, lijkt dit voornamelijk een gevolg van het oostwaarts verspreiden van de strandhaak zandvolumes. Het is de verwachting dat het invloedsgebied zich verder oostwaarts uitbreidt.



Figuur 4.16 : Ontwikkeling van de Bornrif strandhaak aan de hand van de 0 m contour (let op x en y as hebben ongelijke schaal). 1990-2011



Figuur 4.17 : Overzicht ontwikkeling JarKus profielen en waterlijnen 'strandhaak Bornrif'; raai 400 en 620. 1965-2016



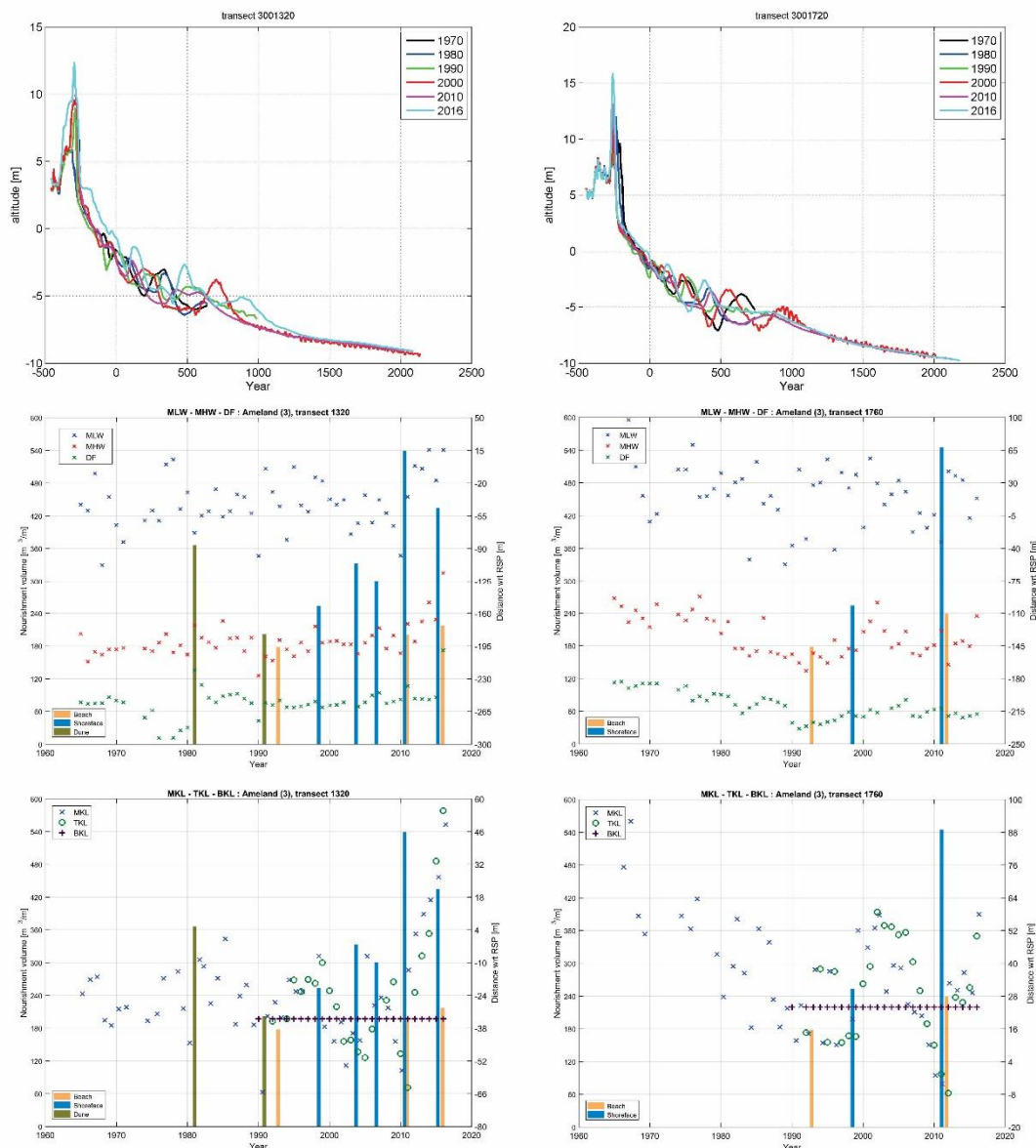
Figuur 4.18 : Overzicht ontwikkeling JarKus profielen en waterlijnen 'strandhaak Bornrif'; raai 720 en 920. 1965 - 2016

4.3.4 Eilandkust; Raai 1320 - 1720

De ontwikkeling van de centrale eilandkust is uitgebreid beschreven in de evaluatie van de uitgevoerde suppleties (paragraaf 4.2.2 t/m 4.2.4) en de beschrijving van het bankgedrag (paragraaf 3.3.5). In deze paragraaf beschrijven we kort de waargenomen ontwikkelingen van twee representatieve profielen (zie Figuur 4.19). Deze profielen zijn representatief voor het gebied tussen raai 1180 en 1820. Westelijk van raai 1180 wordt het recente kustgedrag bepaald door de oostelijke verspreiding van de strandhaak Bornrif (paragraaf 4.3.3), ten oosten van raai 1820 vinden we een overgangsgebied, waarin de invloed van het Pinkegat het kustgedrag bepaalt (4.3.5).

Raai 1320 (Figuur 4.19, links) bevindt zich nog net buiten het invloedsgebied van de strandhaak. De kust vertoont hier een 'klassiek' profiel, vergelijkbaar met de Hollandse kust (Elias en Bruens, 2013). De vooroever is flauw en de banken vertonen een cyclische migratie. Tot 1985 zien we duidelijk, dat de profielontwikkeling gedomineerd wordt door zeewaarts migrerende banken. In tegenstelling tot de Hollandse kust is dit een continu proces. Zowel binnen-, midden- en buitenbank migreren simultaan zeewaarts. Terwijl de buitenbank uitdempt ontstaat er een nieuwe binnenbank aan het strand. Tussen 1975 en 1985 zien we vier van deze bankcycli. Het is waarschijnlijk dat dergelijk gedrag ook vóór 1975 plaatsvond, alleen zijn de profielmetingen van die tijd niet lang genoeg om dit te zien. Tussen het ontstaan en het uitdempen van de bank ligt 10 tot 15 jaar. Na 1990 vinden we dit bankgedrag niet meer terug. De frequent terugkerende vooroeversuppleties zijn hier waarschijnlijk de oorzaak van. Net als bij de Hollandse kust zien we dat er na een vooroeversuppletie een nieuwe buitenste brekerbank ontstaat. Door de vele vooroeversuppleties (1998, 2003, 2006, 2009) heeft deze buitenbank niet de tijd om uit te dempen (zie ook 3.3.5). Wat opvalt in de MKL ontwikkelingen is dat voor 1985 de MKL hoofdzakelijk fluctueerde tussen de -45 m en -2 m tot RSP. Sinds 1985 zijn de jaarlijkse fluctuaties groter en liggen deze tussen de -70 en +2 m. Over de gehele periode blijven de strandlijnen echter wel behouden. Het is mogelijk dat de veranderde bankwerking de MKL berekening verstoort, doordat er andere (delen van de) banken meegenomen worden in de berekeningen. Het effect van bankgedrag op de MKL volumes moet nader onderzocht worden. Het verstoorde bankgedrag vinden we terug in de profielen 1100 – 1620.

Profiel 1720 (Figuur 4.19, rechts) is representatief voor de profielen tussen raai 1620 en 1820. Ook in profiel 1720 vinden we tot 1995 een duidelijk patroon van zeewaarts migrerende en uitdempende banken. Vijf van zulke cycli zijn te volgen sinds 1965. Een goed voorbeeld voor de ontwikkeling is de bankmigratie tussen 1975 en 1988. Rond 1975 begint een kleine bank op 250 m tot RSP te ontwikkelen. In een periode van 13 jaar migreert deze bank tot 800 m RSP en dempt daar vervolgens snel uit (binnen 3 jaar). De grote vooroeversuppletie uitgevoerd in 1999 creëert ook in dit profiel een nieuwe buitenbank. Deze blijft echter niet stabiel liggen, maar migreert langzaam zeewaarts en dempt vervolgens vanaf 2005 snel uit. Na dit uitdempen migreren de midden- en binnenbank zeewaarts. Deze migratie wordt verstoord door de 2010 vooroeversuppletie. Wat ook hier opvalt in de MKL zijn de grote fluctuaties in MKL positie (Figuur 4.19, rechtsonder). Na suppletie verplaatst de MKL zich tijdelijk zeewaarts, maar ondanks de vele uitgevoerde suppleties blijft de MKL over het algemeen rond de BKL-positie slingeren.



Figuur 4.19 : Overzicht ontwikkeling JarKus profielen en waterlijnen centrale eilandgedeelte (raai. 1320 en 1720). 1965-2016

4.3.5 Overgang naar het Pinkegat

Vanaf profiel 1820 naar het oosten treedt een duidelijke verandering in gedrag op. Profielen 1920 en 2260 in Figuur 4.20 geven hier een representatief voorbeeld van. Profiel 1920 (Figuur 4.20, links) vertoont in 1965 een twee-banken systeem. Het is mogelijk dat zich zeewaarts hiervan een buitenbank bevindt, maar de profielen zijn daarvoor niet lang genoeg. De twee banken vertonen een duidelijke zeewaartse migratie. Tussen 1965 en 1970 is de migratie 50-60 m/jaar. Tussen 1975 en 1980 zien we juist een tegengesteld gedrag; de banken migreren nu zo'n 150 m terug landwaarts. In de periode 1980-1990 zien we een identiek gedrag aan voorgaande profielen met een cyclus van naar buiten migrerende en uitdempende banken. Er zijn dan in de zone tot 850 m tot RSP drie banken aanwezig in het profiel. Vanaf 1990 blijft ook hier de buitenbank vrijwel stabiel aanwezig in het profiel. Na de onderwatersuppletie uitgevoerd in 1998 vindt er wel een splitsing plaats van de buiten-bank, waardoor er tijdelijk (tot 2005) twee brekerbanken in de zone 500-1250 m tot RSP aanwezig zijn. In 2005 lijkt de nu weer enkelvoudige buitenbank zich te herstellen rond 800 m tot RSP en tussen 2005

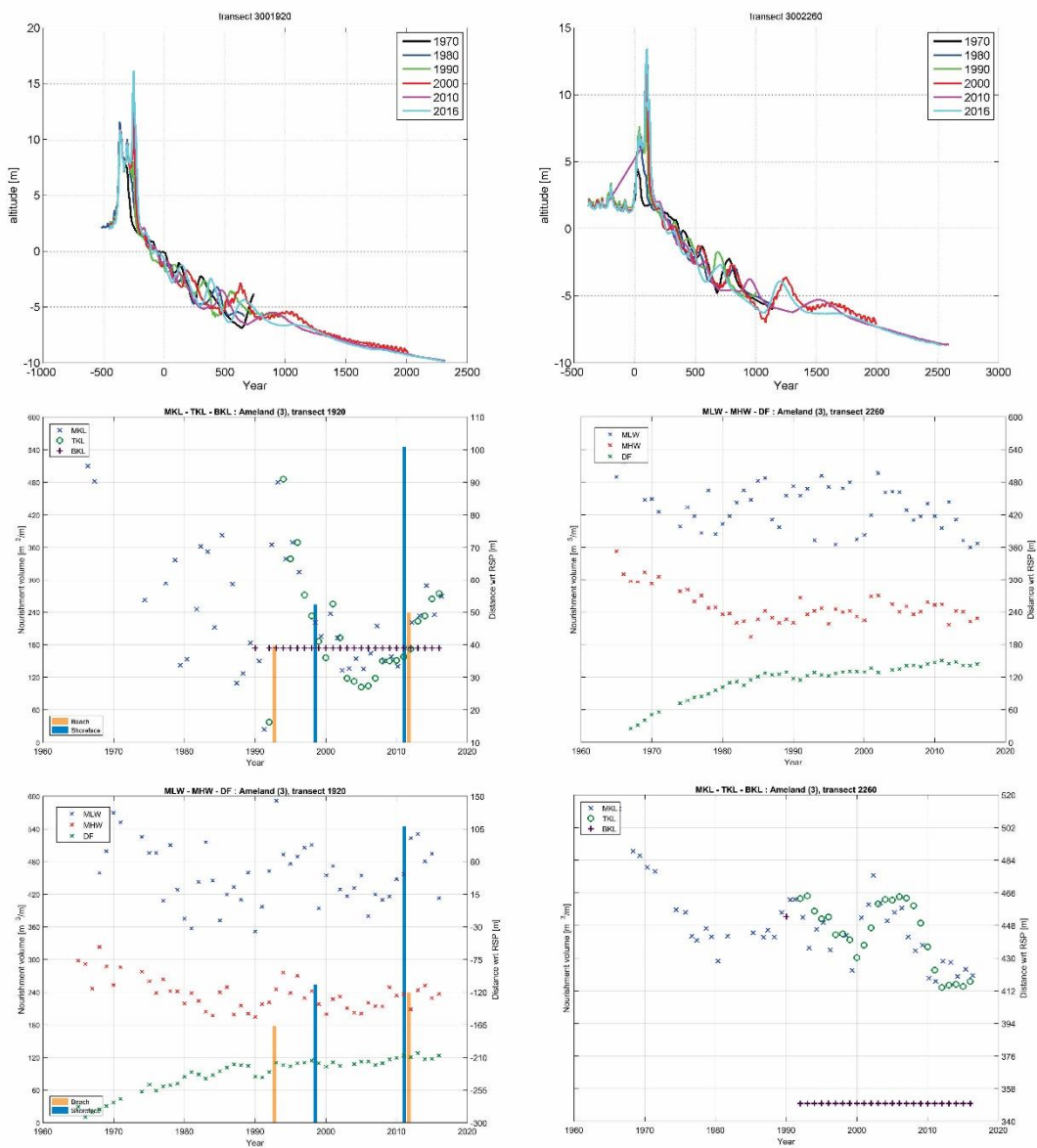
en 2010 zien we het autonome gedrag van een zeewaarts migrerende binnenbank en uitdempende buitenbank weer terug. Dit autonome gedrag wordt verstoord door de suppletie van 2010. Het profiel van 2012 laat nu vier grote banken zien. Het profielgedrag komt goed tot uitdrukking in de MKL ontwikkeling. Tot 1990 zien we een brede spreiding in de ligging van de MKL. Deze is mogelijk gerelateerd aan de bankdynamiek. De MKL ligt hierbij tussen de 10 en 100 m tot RSP. Tussen 1990 en 2000 zien we een continu dalende waarde van de MKL, van 90 naar 40 m tot RSP. De spreiding hierin is beperkt. Dit is vrijwel continu landwaarts van de BKL. Tussen 1965 en 1970 lagen zowel de MKL als de strandlijnen verder zeewaarts. Dit hangt mogelijk samen met de ontwikkeling van het naastliggende zeegat Pinkegat.

Lag in profiel 1920 de buitenbank nog maximaal op 1000 m tot RSP, in profiel 2260 (Figuur 4.20, rechts) is deze afstand toegenomen tot 1500 m RSP. Het bankgedrag lijkt op grote lijnen wel in overeenstemming met eerdere waarnemingen. Het bankgedrag vertoont perioden met zeewaartse migratie en uitdemping (bijv. 1980-1995) en stabiel bankgedrag (1995-2005). Ook hier is het effect van suppleties duidelijk te onderscheiden. Na de vooroeversuppletie van 1998 ontwikkelt er een extra buitenbank op 1250 m RSP. Deze migreert langzaam zeewaarts en is in 2010 vrijwel niet meer te onderscheiden van het ongestoorde kustprofiel. De binnenbank blijft initieel stabiel of vertoont zelfs een kleine landwaartse migratie (2000-2005), maar verplaatst zich sindsdien zeewaarts. In 2012 zien we een vorming van een extra binnenbank waardoor er nu twee binnenbanken in de zone 0-750 m RSP aanwezig zijn. In de ontwikkeling van de MKL is de invloed van het Pinkegat ([4] in Figuur 3.8) duidelijk terug te zien. In de periode 1965-1980 verplaatste de MKL zich 90 m landwaarts, sindsdien fluctueert de positie periodiek (Figuur 4.20, rechts). Met een interval van ongeveer 15 jaar verplaatst de MKL zich van een minimale positie rond de 410 m RSP naar een maximale positie van 460 m RSP en weer terug. Dit gedrag hangt samen met de ontwikkelingen op de buitendelta van het Pinkegat, waar perioden van aanzanding en erosie elkaar afwisselen (paragraaf 3.3.4).

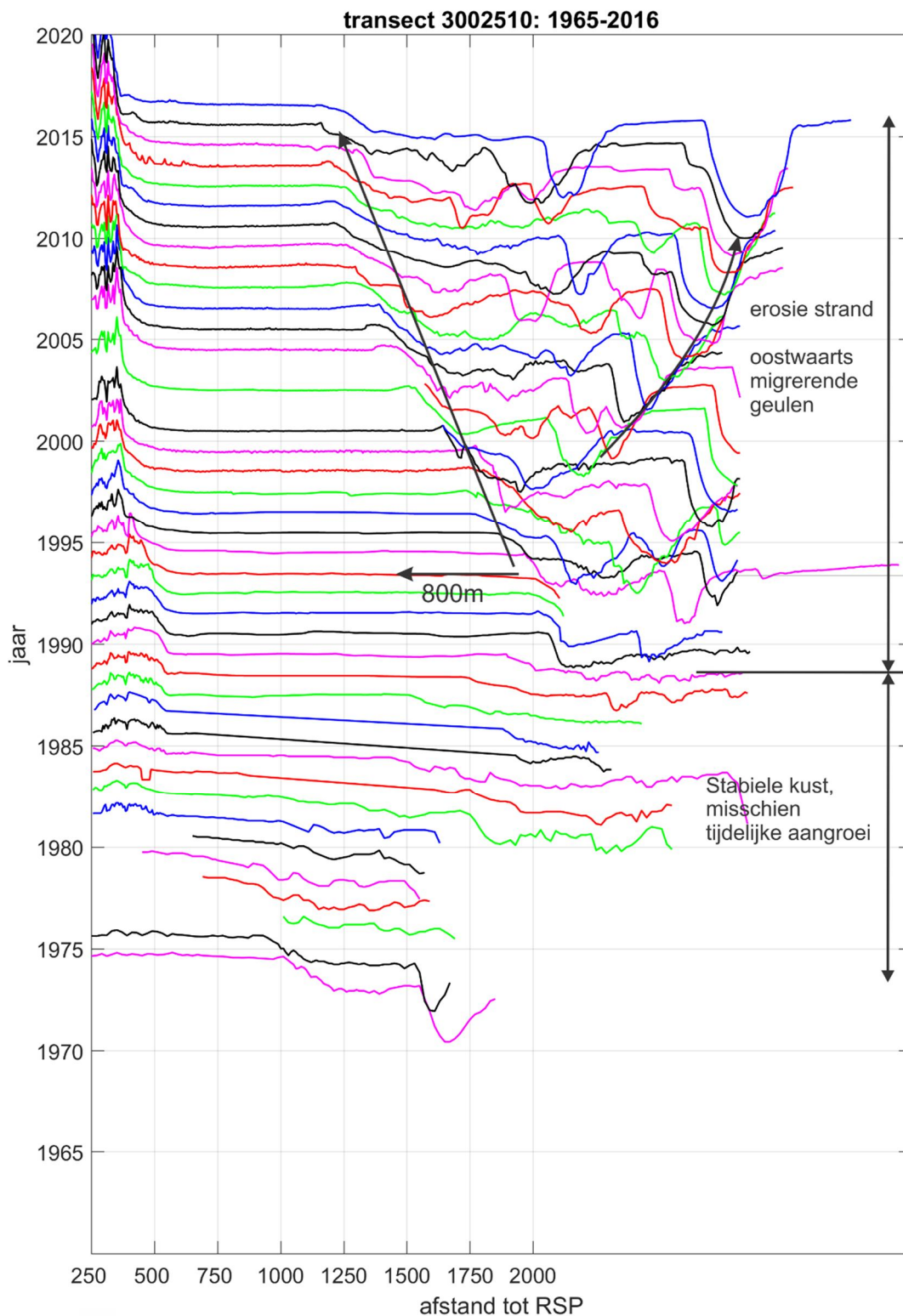
De cycliciteit van het Pinkegat is duidelijk terug te zien in profiel 2510 (Figuur 4.21), gelegen in het midden van het zeegat. Het profiel vertoont een breed strand dat zich sinds 1990 wel sterk heeft teruggetrokken. De 0 m contour is hier bijna 800 m landwaarts verplaatst (zie ook Figuur 4.22). Grenzend aan het strand ligt een ondiepe geul. In 1990 is de geul 2 m diep. In deze geul ontwikkelt zich een tweede, diepere geul (-3,5 m in 1991). Dit diepere gedeelte neemt in diepte toe (-6 m in 1994 en -8 m in 1999) en migreert oostwaarts met een snelheid van 100 m/jaar. Dit geulgedrag is periodiek. In de periode 1990 – 2012 zijn er waarschijnlijk vier van deze geulmigraties geweest (twee hiervan zijn duidelijk te volgen, zie Figuur 4.23).

Profiel 2515 (Figuur 4.23) geeft een beeld van de ontwikkelingen aan de zuid(oost)kant van het Pinkegat (bij de Hon, [1] in Figuur 3.14). De profielontwikkeling aan de zuidkant van de Hon vertoont twee stadia in geulontwikkeling over de periode 1988-2012. In de periode 1988-2000 zien we een landwaartse migratie van de geul met 130 m. De geuldoorsnede neemt daarbij af van 400 m in 1992 naar minder dan 300 m in 1997. De geuldoorsnede is hier gedefinieerd als de doorsnijding van de geul met de -2 m contour. De geuldiepte neemt hierbij toe van -8 m in 1991 tot -10 m in 1994 en stabiliseert rond de -9 m in 1998. Tot 2005 blijven het diepe geulgedeelte en de landwaartse geulwand stabiel. Een tweede stadium in geulontwikkeling is zichtbaar sinds 2005. Er ontwikkelt zich een vrijwel van elkaar gescheiden twee-geulen systeem, doordat er een drempel tussen de twee geulen ontstaat. De binnen-geul op 1250 m tot RSP was stabiel gedurende de periode 2007-2010, maar verdiept sindsdien sterk. Dit gebeurde gelijktijdig met de vorming van de scheiding tussen de twee systemen.

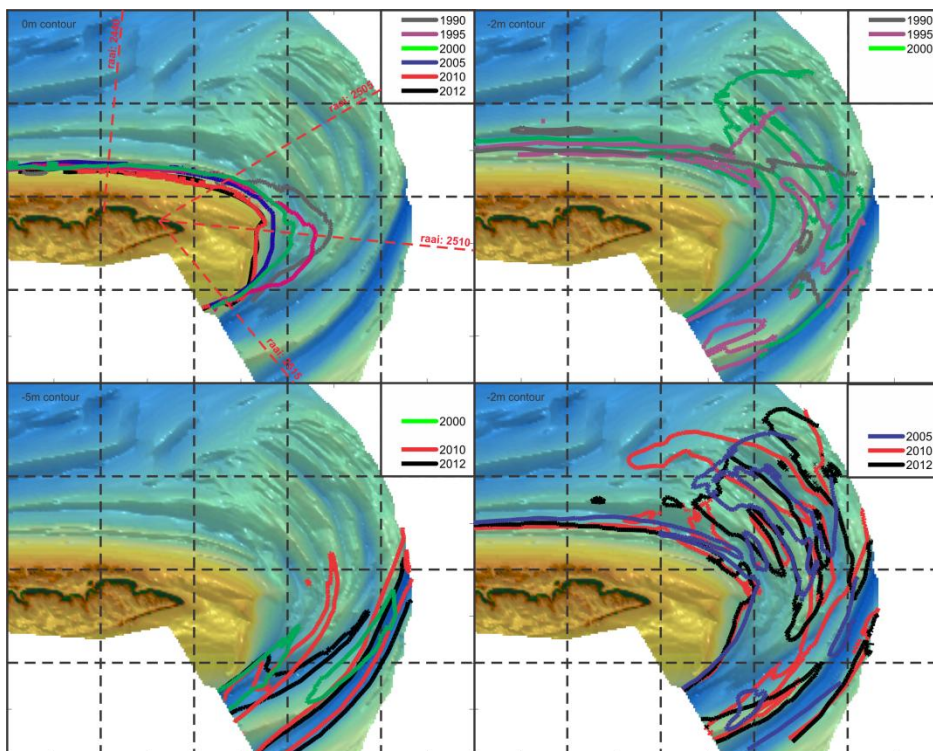
De uitwisseling van sediment tussen Pinkegat en Ameland dient nader onderzocht te worden. Vooral de volumeveranderingen binnen het kombergingsgebied van Pinkegat zijn van belang. Deze kunnen een mogelijke verklaring geven waar de grote zandverliezen aan de zeezijde van Ameland naar toe verdwijnen.



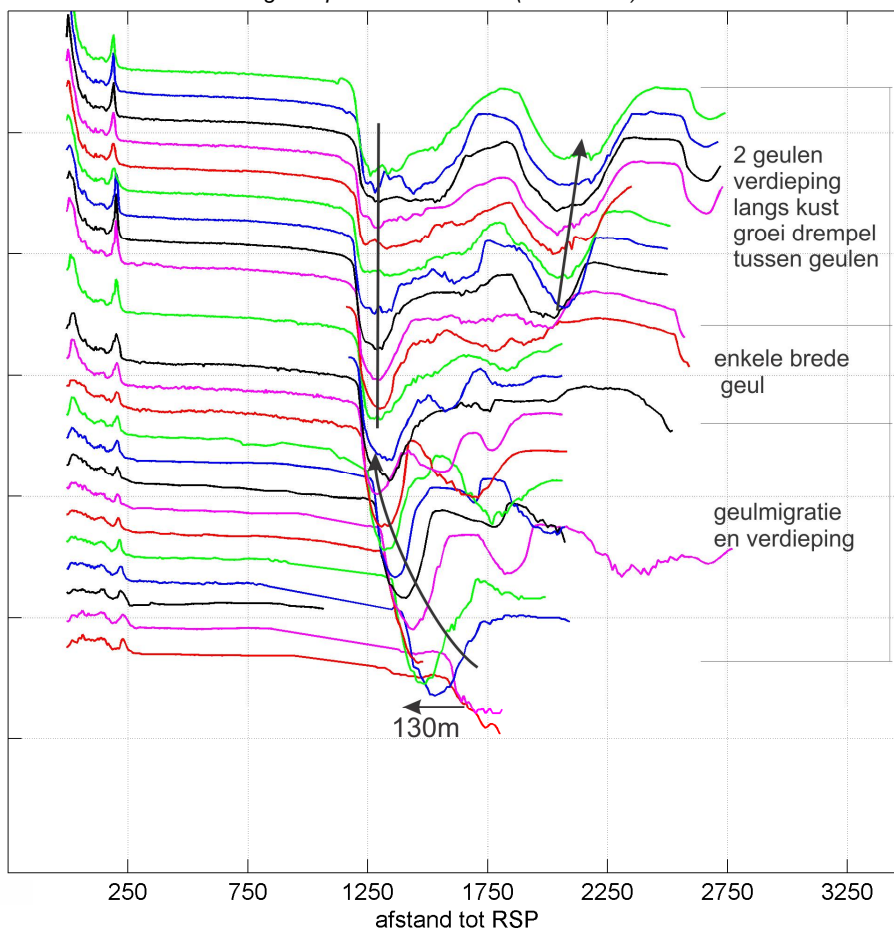
Figuur 4.20 : Overzicht ontwikkeling JarKus profielen en waterlijnen bij de overgang naar het Pinkegat (raai.1920 en 2260) (1965-2016)



Figuur 4.21 : Overzicht ontwikkeling JarKus profiel 2510. (1965-2016)



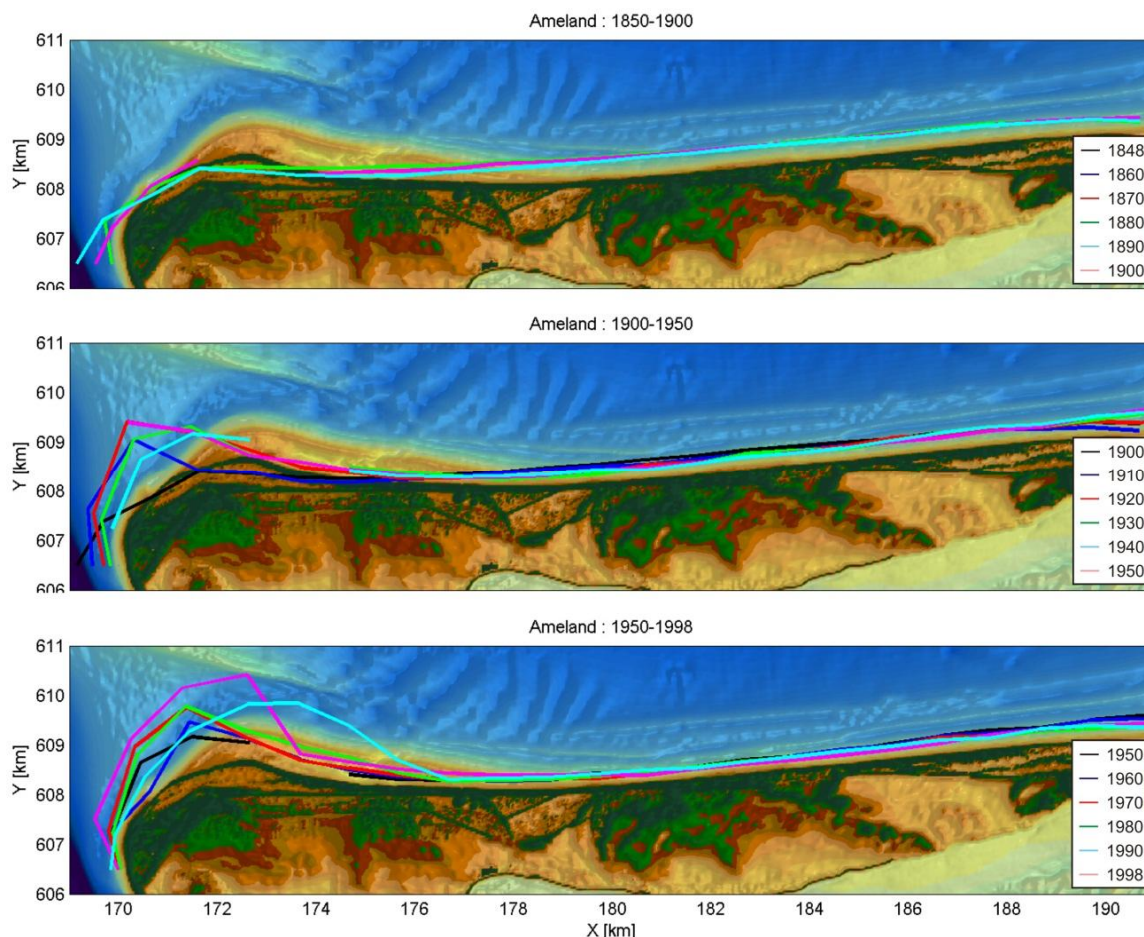
Figuur 4.22 Detailontwikkeling oostpunt van Ameland (1990-2012)



Figuur 4.23 : Overzicht ontwikkeling JarKus profiel 2515. (1965-2016)

4.3.6 Lange-termijnontwikkeling van de strandlijnen (LW – HW)

Voor een beperkt aantal profielen zijn over lange tijd (1880- 2000) de lijnen van gemiddeld hoogwater (MHW), gemiddeld laagwater (MLW) en de duinvoet opgenomen. Figuur 4.24 geeft een beeld van de grootschalige dynamiek van de MLW, details worden weergegeven in Figuur 4.25 voor enkele representatieve tijdseries.



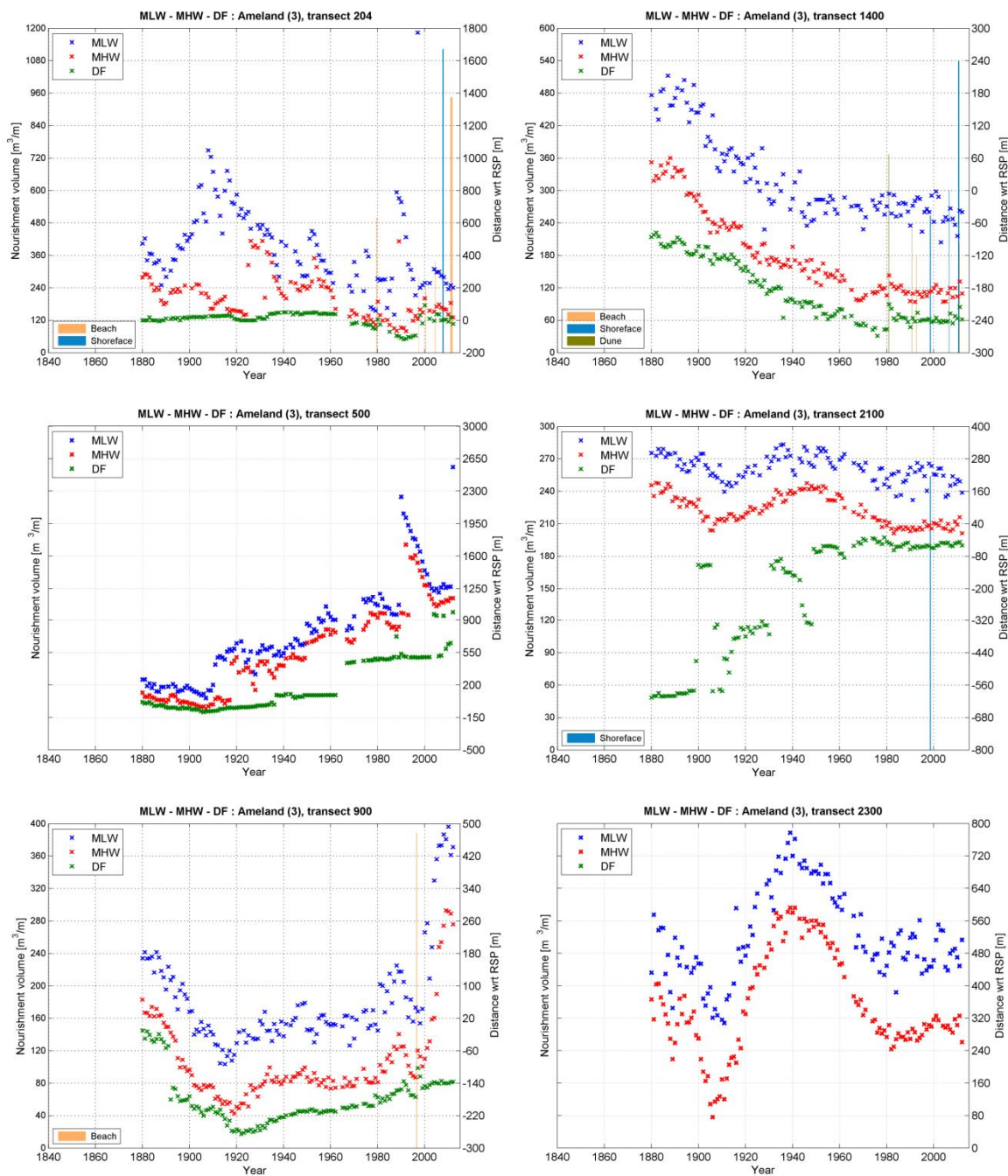
Figuur 4.24 : Overzicht van de lange-termijnontwikkeling laagwater (LW) lijn (1848-1998).

Ook in de lange-termijnprofielen zien we de maatgevende veranderingen op de westelijke eilandkop. Profiel 204 (Figuur 4.25, linksboven) laat zien dat het periodiek insnijden van het Borndiep al een langlopend proces is. Rond 1885 lag het Borndiep dicht tegen het eiland. Tussen 1885 en 1910 is het Borndiep juist westelijk, het zeegat in, gemigreerd. De hoog- en laagwaterlijnen liggen honderden meters westelijker dan nu. Vanaf 1910 zien we dat het Borndiep terug richting Ameland verplaatst. Hierdoor verschuift vooral de laagwaterlijn in een periode van 40 jaar ongeveer 300-400 m naar het eiland toe. In Profiel 204 is deze verplaatsing nog wat groter. Sinds 1950 is de trend van landwaartse verplaatsing kleiner. Deze afname is zeker gerelateerd aan de verdedigingswerken die rond de eilandkop zijn aangebracht (zie paragraaf 5.1). De grote piek in de MLW rond 1990 is gerelateerd aan de aanlanding van de strandhaak Bornrif. Tijdens de aanlanding werd een gedeelte van het zand het bekken in getransporteerd. De effecten van de aanlanding zijn echter beperkt in de tijd (minder dan 10 jaar). Intensief suppleren in de laatste decennia zorgt ervoor dat de strandlijnen gestabiliseerd zijn rond de RSP positie. De tijdserie is niet lang genoeg om sluitende conclusies te trekken over een mogelijke cyclus van het Bornrif. Tussen 1880 en 1950 migreert het Borndiep van een minimale afstand tot de RSP naar een maximum en weer terug. De duur van deze volledige cyclus is 70 jaar. Na 1950 kunnen we dit gedrag echter niet meer duidelijk waarnemen.

Vanaf profiel 401 tot profiel 1000 (Figuur 4.25; raai 500 en 1000) bouwt de kust over vrijwel de gehele periode uit. Dit gebied vormt het aanlandingsgebied van zandbanken die over de buitendelta migreren. Tot de aanlanding van het Bornrif rond 1990 lijkt dit een heel geleidelijk proces te zijn, waarbij kleinere zandbanken verhelen met de kust. Vanaf 1990 worden de metingen gedomineerd door de aanlanding van de Bornrif strandhaak en de kustlangse verspreiding van het zand. De Bornrif strandhaak is een uitzondering in de meetreeks, niet eerder landde er zo'n groot zandvolume aan. Tussen 1975 en 1985 landt een grote zandbank aan op de westelijke punt (Figuur 3.13). Een duidelijke strandhaak vormt rond 1990. In de opeenvolgende profielen (profiel 500 en 1000, Figuur 4.25) is de oostelijke verplaatsing en aanlanding van de strandhaak duidelijk te volgen als een piek in kustlijnligging van MHW en MLW. Het verschil in ligging tussen de piek in profiel 500 en 1000 illustreert de oostelijke verplaatsing van de strandhaak. In profiel 900 is ook te zien dat na aanlanding van de strandhaak (ten oosten) een gebied ontstaat, dat in de luwte ligt van de strandhaak. Hier vindt aanvankelijk (van 1998 tot 2000) erosie van de kust plaats. Verheling van de strandhaak geeft een sterke uitbouw, tot 500m, gevolgd door een iets langzamere terugtrekking van de strandlijnen. Deze terugtrekking verklaart de TKL trends in de kustlijnkaarten. De strandlijnen liggen echter wel duidelijk zeewaarts van de historische waarnemingen. Gebaseerd op de strandlijnontwikkeling lijkt de aanlanding van Bornrif wel een uniek proces te zijn. In de meetreeks is niet eerder een dergelijke grote kustopbouw op deze locatie te zien.

Oostelijk van profiel 1000 is de strandhaak nog niet direct van invloed op de kustlijnligging. In het gebied tussen raaien 1000 – 1800 (centrale eilandkust) wordt de lange-termijntrend gedomineerd door terugtrekking van de kustlijn (Figuur 4.25, profiel 1400 geeft een representatief beeld). In profielen 1000-1400 vindt deze terugtrekking vooral plaats vóór 1960. Dit komt overeen met de waargenomen verandering van de eilandkop. De huidige ligging is min of meer (dynamisch) stabiel. Vanaf raai 1400 tot 2200 (Figuur 4.25, profiel 1400) zien we twee dominante ontwikkelingen. De hoog- en laagwaterlijnen vertonen een kleine golvende beweging van landwaartse en zeewaartse verplaatsing (zie ook profiel 2300). Netto verplaatst de kustlijn landwaarts met een gemiddelde snelheid van 1 m/jaar. De duinvoet is sinds 1940 stabiel, nadat er tussen 1880 en 1940 een sprong in ligging van 120 m heeft plaatsgevonden. Het effect van kustsuppleties op deze tijdschaal is niet duidelijk te onderscheiden. De jaarlijkse fluctuaties in historische en huidige strandlijnligging zijn vrijwel even groot.

Raaien 2300 – 2500 (Figuur 4.25, profiel 2300 geeft een representatief beeld) laten grote fluctuaties in kustlijnliggingen zien. Deze zijn gerelateerd aan de cyclische ontwikkelingen van het Pinkegat en de invloed hiervan op de eilandstaart (zie paragraaf 3.3.4 en 4.3.5).



Figuur 4.25 : Overzicht van de langetermijontwikkeling van de posities van hoogwater (HW), laagwater (LW) en duinvoet (DF) voor profielen 204 – 2300. 1880-2016

4.4 Dynamiek van de zeereep

4.4.1 Inleiding

Veroudering en verstarring van het duin- en kustlandschap hebben duidelijk effect op kwaliteit en voorkomen van habitattypen en beschermde soorten in de uitgestrekte Natura2000 gebieden langs de Nederlandse kust. Van zanddynamiek wordt verwacht dat dit een positieve invloed kan hebben op karakteristieke habitattypen, - flora en –fauna. In deze paragraaf wordt de dynamiek van de zeereep en de achterliggende duinen beschreven. De informatie in deze paragraaf is gebaseerd op de volgende studies: Arens et al. (2009) Arens et al. (2010), Arens et al. (2012), Stuijzand et al. (2012). Doelstelling voor deze onderzoeken was het in beeld brengen van de dynamiek van de zeereep en duinen en het verkrijgen van meer inzicht in de effecten van zandsuppleties.

In Figuur 4.26 staat weergegeven welke responstypen (Arens, 2009) langs de Amelandse kust voorkomen. In Appendix D staat de volumeverandering boven de +3 m NAP per kilometer voor vier perioden (1966-1978, 1978-1988, 1988-1998, 1998-2008). De volumeberekening is gebaseerd op de JarKus meting.

In Figuur 4.27 is de volumeverandering van het duin boven de + 3 m NAP weergegeven. Deze volumeberekening is gebaseerd op de laseraltimetrie meting, de berekenmethode en de beperking van de berekening (bijvoorbeeld fouten door de aanwezigheid van vegetatie) staan beschreven in Arens et al., 2010. De berekeningen zijn het meest betrouwbaar voor langjarige perioden. De dynamiek die in deze figuren zichtbaar is wordt in deze paragraaf verder toegelicht: In paragraaf 4.4.2 staat een algemene beschrijving van de situatie in 1988 en de situatie in 2011, in Bijlaage D staat een beschrijving voor de situatie in 1988 en 2011 voor de verschillende deelgebieden.

4.4.2 Algemene beschrijving situatie

Ameland kan onderverdeeld worden in delen waar de zeereepvorm bepaald wordt door kustachteruitgang en dientengevolge door het beheer en delen waar de zeereep zich min of meer natuurlijk ontwikkeld.

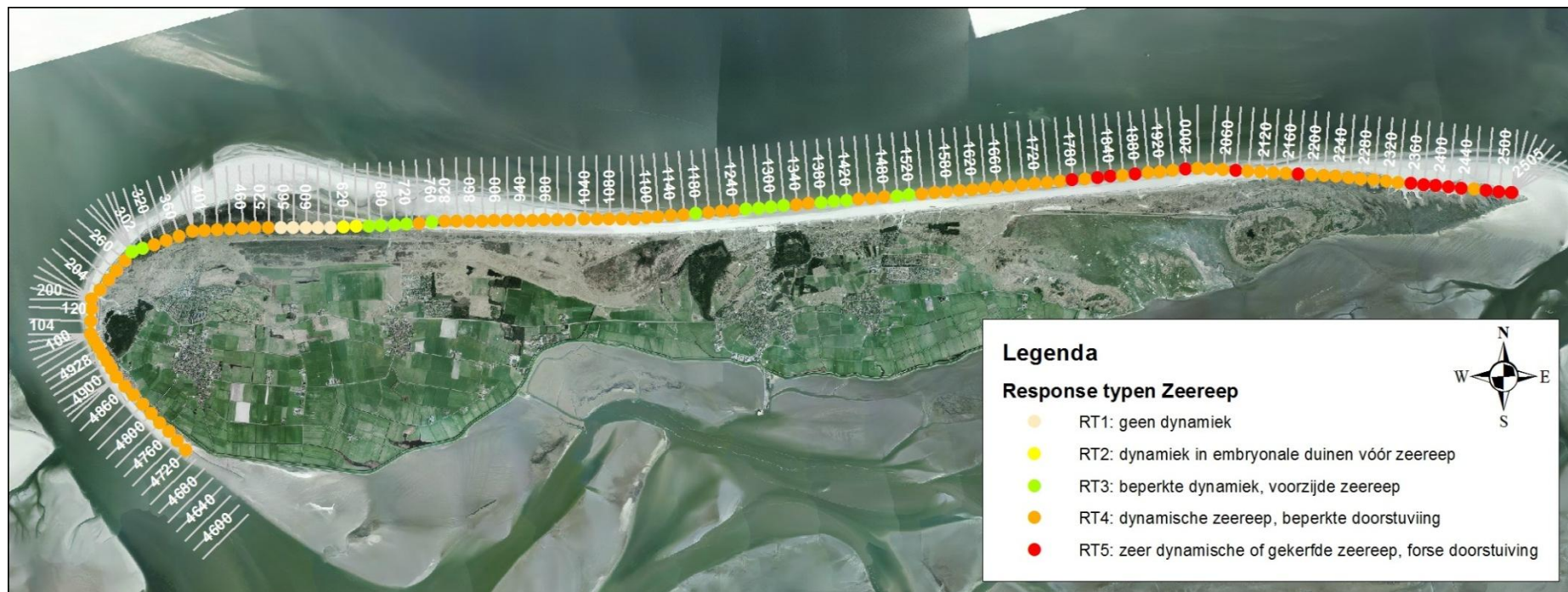
Afslag speelt door suppleren vrijwel geen rol meer. Over grote delen van de kustlijn is er nu sprake van een aanstuivende zeereep, meestal met een forse hoogtoename. De voorzijde is dan vaak zeer dynamisch en natuurlijk. Winderosie speelt slechts een bescheiden rol, blijktbaar is de Helm zeer goed in staat het zand vast te houden. In het centrale deel worden zo af en toe kleine ingrepen uitgevoerd met hetzelfde doel. Op deze plaats bevindt zich een oude duinverzwaring met "slecht", schelpenrijk materiaal, waarop de helm moeizaam vat krijgt. Door doorstuiving te bevorderen verdwijnt hopelijk een deel van deze verzwaring onder vers zand.

In Figuur 4.27 is de volumeverandering van het duin boven de + 3 m NAP weergegeven. In de figuur is erosie te zien (boven de +3 m NAP) binnen een gebied van 1 kilometer rond km07 (ten noorden van Ballum) over de periode t/m 2008, en in het gebied tussen km12 en km14 (ten noorden van Nes en Buren) over de jaren 1997 tot 2008.

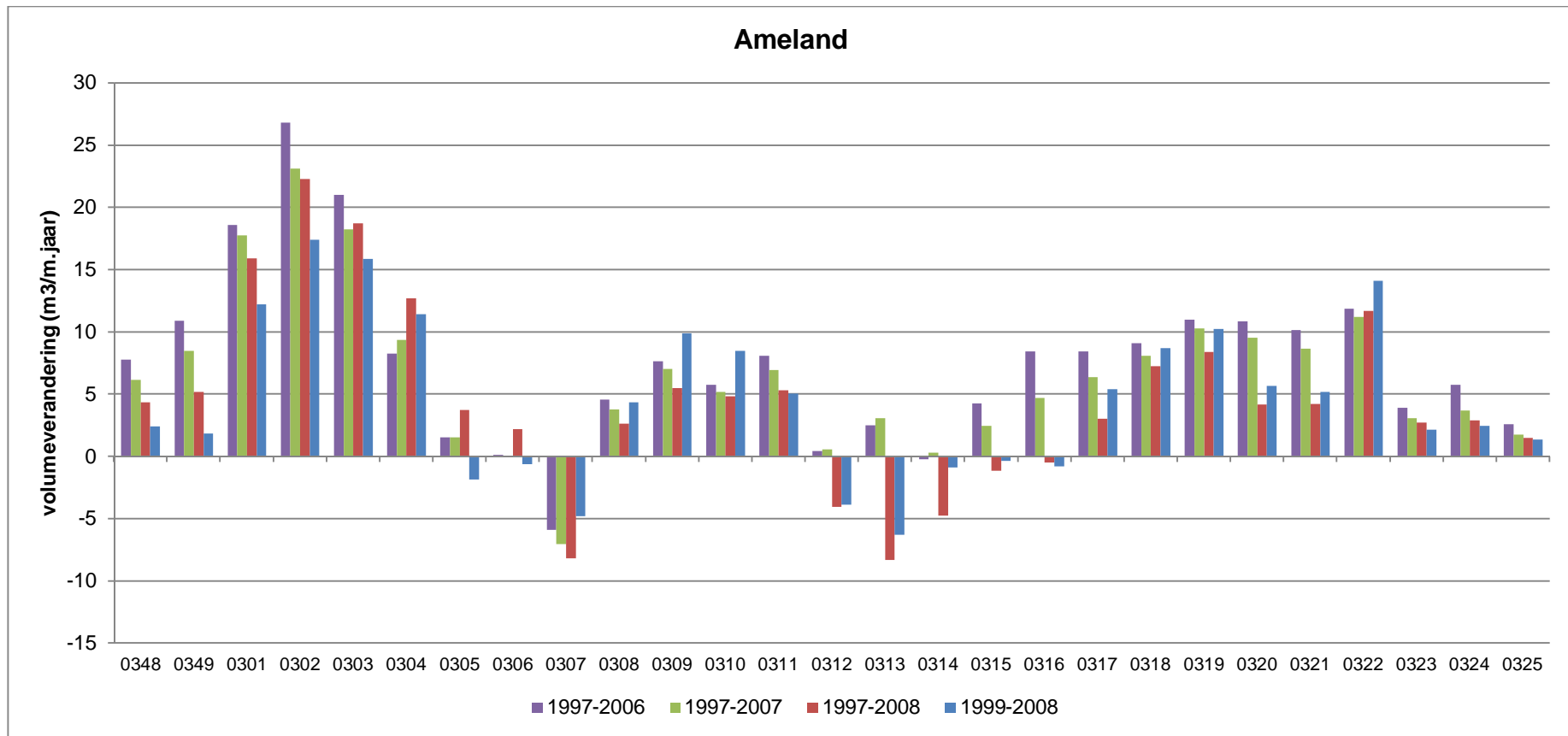
Het gebied rond km 07 bevindt zich bij een strandovergang ten noorden van Ballum, waar incidenteel lokale geulerosie op het strand plaatsvindt en er is een veelgebruikte strandopgang waar intensieve dynamiek optreedt. Samen kan dit tot erosie leiden. Ook het gebied tussen km 12-14 bevindt zich bij een strandopgang, in dit geval van een relatief druk recreatiestrand ten noorden van Nes en Buren, met veel dynamiek. Dat zorgt voor diffuse verspreiding van het zand, op gelijke wijze als rond km07. Omdat niet in detail wordt bijgehouden waar dit zand naartoe gaat, is niet goed aan te geven waar dit zand is gebleven. Naar verwachting zal het grootste deel verwaaien, landwaarts en

zijdelings het strand op onder invloed van zuidwestelijke winden (ZW winden overheersen tijdens het recreatieseizoen). Naar alle waarschijnlijkheid blijft het zand binnen de BKL zone, maar dat is met de jaarlijkse volumebepaling door middel van JarKus niet nader te determineren. (NB: de data van Ameland in de getoonde figuren lopen t/m 2008).

Voor details wordt men doorverwezen naar Appendix D.



Figuur 4.26 Classificatie van de zeereep voor Ameland. Het betreft de huidige classificatie van responstypen zoals ze nu (2012) gelden, gebaseerd op laseraltimetrie 1997/1998-2012 en luchtfoto's 2011 en 2012.



Figuur 4.27 volumeverandering boven de +3 m NAP per kilometer. De volumeberekening is gebaseerd op de laseraltimetrie meting (verschilmeting van de twee aangegeven jaren).
 Notatie: kustvak, km. Km 48 (0348) ligt aan de zuidwestkant, km 25 (0325) aan de oostkant.

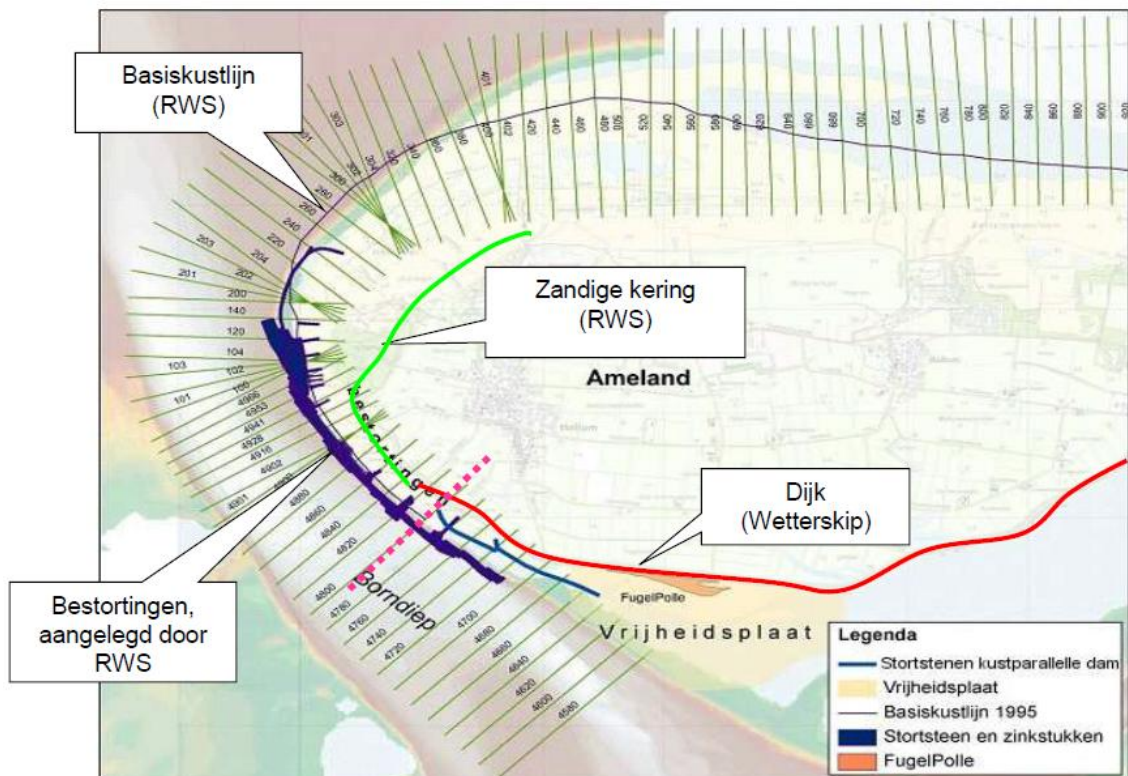
5 Kustverdediging en primaire waterkering

5.1 Harde kustverdediging

De kustverdediging van west en noordwest Ameland bestaat uit een combinatie van harde kustverdedigingsmaatregelen en het herhaald uitvoeren van zandsuppleties op het strand (Figuur 5.1). Harde verdedigingswerken zijn vooral aangelegd aan de west-zuidwest zijde van Ameland, waar het Borndiep dicht langs het eiland ligt. De eerste harde verdedigingsmaatregelen zijn uitgevoerd in 1947, in de vorm van zinkwerk. In 1979 is dit gevolgd door de aanleg van een stortstenen onderwaterdam en door de aanleg van stortstenen dammen dwars op de kust. Figuur 5.2 geeft een beeld van de aanwezige bestorting en zinkstukken. In 1994 is er voor de laatste keer grootschalig onderhoud uitgevoerd en is de bestorting aangevuld. Recente metingen laten zien dat het opdringen van het Borndiep vooral richting de Vrijheidsplaat (zie Figuur 3.9 voor locatie) de voet van de bestorting erodeert (zie ook paragraaf 3.3.2 en 4.3.2), dat kan resulteren in strandvallen. In de toekomst kan dit problemen geven, omdat de bestorting een essentieel onderdeel is voor de kustveiligheid. De waterkering wordt goedgekeurd in de beoordeling door de aanwezigheid van de bestorting, zonder bestorting zou de kering niet aan de gestelde eisen voldoen (5.3).



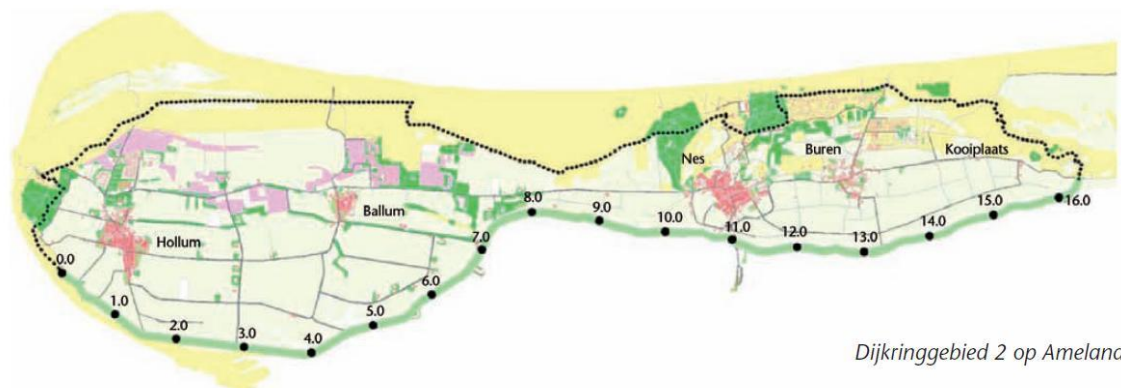
Figuur 5.1 : Kustverdediging Ameland (<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat). Links: Strandhoofden beschermen de eilandkop ter plaatse van het Borndiep in 1954. Rechtsboven: kustverdediging Borndiep in 2007 en uitvoering van een suppletie op de eilandkust.



Figuur 5.2 : Kustverdediging Ameland; overzicht van het stortsteen en de zinkstukken (bron. E. Lofvers, persoonlijke communicatie, 2013).

5.2 Primaire waterkering Ameland

De primaire waterkering op Ameland, Figuur 5.3, kan worden verdeeld in twee afzonderlijke onderdelen, namelijk: de zandige duinenkust aan de Noordzeezijde (de zwarte stippellijn) en de Waddenzeedijk aan de Waddenzeezijde (de groene lijn). Samen vormen deze onderdelen dijkkring 2. De verantwoordelijkheid voor het beheer van de onderdelen ligt echter bij twee verschillende instanties, de zandige duinenkust is in beheer bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland en de Waddenzeedijk valt onder de verantwoordelijkheid van Wetterskip Fryslân.



Figuur 5.3 Waterkering Ameland.

Duin - Noordzee

De zandige kust aan de Noordzeezijde bevat een aaneengesloten duinenrij met een lengte van 20,3 km en strekt van even ten zuidwesten van Hollum, langs de Noordzeezijde van het eiland, tot iets ten oosten van Kooiplaats. Op deze plekken bevindt zich een aansluitingsconstructie tussen het duin en de zeedijk. De afstand tussen de duinenrij en de zeereep varieert over de lengte van de duinenrij. Over de gehele lengte zijn geen NWO's (Niet Waterkerende Objecten) bekend.

Ten westen van Hollum (tussen raai 47 en 1) is over een lengte van ongeveer 2,5 km een geulwandbestorting geplaatst ter stabilisatie van de geulwand, paragraaf 5.1. De geul (het Borndiep) verplaatst zich namelijk oostwaarts, zoals beschreven in paragraaf 3.3.2 en 4.3.2. Geulwandsuppleties zijn uitgevoerd om de kust te beschermen, 4.2.1. Door de geringe afstand tussen het Borndiep en de westelijke eilandkop van Ameland is er sprake van een smal strand en een smalle duinwaterkering. Voor de rest van de duinwaterkering geldt dat de afstand tussen strand en grensprofiel in kustlangse richting sterk varieert. Het dwarsprofiel van de duinenrij is relatief licht voor het stuk tussen Ballum en Nes, terwijl het zwaarder is tussen Nes en Buren. Verdere afslag door erosie van het strand en golfaanval vanaf de Noordzee vormen de voornaamste bedreiging voor de duinwaterkering.

Dijk - Waddenzee

De Waddenzeedijk ligt tussen de twee aansluitingsconstructies aan de zuidzijde van Ameland en heeft een lengte van 16,5 km. De dijk bevat drie kunstwerken, allen uitwateringssluizen. Deze liggen (corresponderend met de afstanden in de afbeelding) ten zuiden van Ballum (4,95 km), ten zuidwesten van Nes (10,35 km) en ten zuiden van Buren (13,55 km). De Waddenzeedijk wordt uitsluitend bedreigd door golfaanval vanuit de Waddenzee.

Tussen 1979 en 1988 is de Waddenzeedijk versterkt; er is een flauwer buitentalud gerealiseerd, zodat de hoogte van de dijk kan worden beperkt. Als onderdeel van het HWBP (Hoogwaterbeschermingsprogramma) Fryslân staat er nog een dijkversterking ingepland voor de periode 2008-2017. De aanleiding voor deze nieuwe versterking is het oordeel *onvoldoende* bij de beoordeling in 2006, dit betreft de gras- en steenbekleding van de dijk (zie paragraaf 5.3). De versterking is nog in de voorbereidende fase, volgens de huidige planning is met de realisatie in 2014 worden begonnen.

5.3 Beoordeling primaire waterkering

De Waterwet¹ schrijft voor dat er elke zes jaar een beoordeling van de primaire waterkering moet plaatsvinden. Bij de beoordeling wordt gekeken of de waterkering in kwestie nog aan de wettelijke veiligheidsnormen voldoet. Uit de beoordeling komt één van drie mogelijke oordelen voort:

- de waterkering voldoet aan de norm,
- de waterkering voldoet niet aan de norm,
- of er kan geen oordeel geveld worden.

De ligging en de bijbehorende veiligheidsnormen (de dijktrajecten) van de primaire waterkeringen zijn beschreven in het Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen (NBPW). De wijze van toetsen en de hulpmiddelen die nodig zijn voor de beoordeling worden aangeleverd in het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium 2017 (WBI²).

¹ <http://wetten.overheid.nl/>

² [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/)

Het WBI 2017 bevat de methoden en regels die waterkeringbeheerders dienen te gebruiken bij de beoordeling van de primaire waterkeringen. Hiernaast zijn er de nodige gegevens nodig om de beoordeling uit te kunnen voeren. De gegevens over de belasting op de waterkering (bijvoorbeeld golfeigenschappen en waterstanden) worden aangeleverd in de Hydraulische Randvoorwaarden (HR). De beheerders van de waterkering zijn verantwoordelijk voor gegevens over (de actuele toestand van) de waterkering.

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

- dijken & dammen,
- duinen, waterkerende kunstwerken (bijvoorbeeld sluizen of kademuuren),
- niet waterkerende objecten (NWO's, zoals kabels en leidingen).

Voor al deze categorieën zijn toetsmethodieken beschreven in het WBI.

De primaire waterkeringen zijn voor ongeveer 90% bij de waterschappen en voor ongeveer 10% bij Rijkswaterstaat in beheer. Deze waterkering beheerders zijn verantwoordelijk voor het (laten) uitvoeren van de beoordeling en de beschikbaarheid van de actuele gegevens m.b.t. de beoordeling van de waterkering.

5.3.1 Eerste toetsronde: 1996-2001

In deze paragraaf worden de toetsingen van de Waterkering Ameland (dijkring 2) samengevat, de volledige toetsresultaten staan beschreven in de toetsrapporten van Rijkswaterstaat Dienst Noord-Nederland en het waterschap. Dijkring 2 heeft een normfrequentie van 1/2000 per jaar.

Zandige kust

Alle duinwaterkeringen krijgen het oordeel 'goed', evenals de oostelijke aansluitingsconstructie. De westelijke aansluitingsconstructie krijgt het predicaat 'Geen oordeel', omdat de grondgegevens van het dijklichaam niet bekend zijn.

Beide aansluitingsconstructies blijken ook voldoende veilig.

Harde keringen

Voor 5,7 km van de Waddenzeedijk geven de rekenresultaten een te lage kruinhoogte aan. Uiteindelijk wordt er besloten 'Geen oordeel' te vellen, gezien er tijdens de beoordeling nog niet is gekeken naar de erosiebestendigheid van het binnentalud. Daarnaast is er sprake van een gebrek aan gegevens en kan de beoordeling op stabiliteit niet worden uitgevoerd (voor de hele lengte van de dijk).

5.3.2 Tweede toetsronde: 2001-2006

Zandige kust

Bij het technisch oordeel scoort er slechts één van de getoetste dwarsprofielen een onvoldoende (raai 1040), de rest van duinwaterkering wordt beoordeeld met een 'Goed'. Voor het stuk duinwaterkering dat direct aan het Borndiep grenst (raaien 4840 t/m 4928) is echter uitgegaan van verlaagde golfrandvoorwaarden, omdat dat deel gedeeltelijk wordt afgeschermd van aanval vanuit de Noordzee. Het afgekeurde stuk duinwaterkering is opgenomen in het HWBP (Hoogwaterbeschermingsprogramma) 2006.

Ook wordt er gekeken naar de twee aansluitingsconstructies tussen de duinen en de Waddenzeedijk. De westelijke aansluitingsconstructie wordt, mits de dijk van voldoende sterkte is, goedgekeurd. De oostelijke aansluiting wordt in zijn geheel door een voorliggend duingebied afgeschermd van zware golfbelasting en wordt derhalve goedgekeurd.

Harde keringen

Bijna de gehele Waddenzeedijk krijgt het oordeel 'Onvoldoende' voor de golfaanval op de steenbekleding en de golfklappen op de grasbekleding. Hiermee voldoet de waterkering niet aan de wettelijke veiligheidsnormen. Naar aanleiding van dit toetsresultaat is een versterking van de Waddenzeedijk opgenomen in het Hoogwaterbeschermings-programma Fryslân, dat in de periode 2008 - 2017 ten uitvoer zal worden gebracht (zie ook Waterkering Ameland).

5.3.3 Derde toetsronde: 2006-2011

De derde toetsronde is voltooid op basis van de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid) en HR (Hydraulische Randvoorwaarden) uit 2006.

Zandige kust

Het technische oordeel met betrekking tot de zandige kust luidde dat 1 km duinenkust niet aan de norm voor duinafslag voldeed. Dit stuk duin ligt grofweg tussen RSP km 48.4 en 49.4 (raaien 4840 t/m 4928), pal naast het Borndiep op het westelijke puntje van Ameland. Gezien het feit dat dit duinvak wordt afgeschermd voor golven, zowel door de aanwezigheid van de voordelta als door de grote hoek tussen de kustnormaal en de dominante golfrichting, werd besloten tot een toets op maat. Bij deze toets op maat zijn de golfcondities op diep water (die gebruikt zijn voor het technisch oordeel) met het golfmodel SWAN vertaald naar ondiep water, vlak bij de duinwaterkering, om een beter beeld te krijgen van de daadwerkelijke golfbelasting. Met deze nieuwe golfcondities zijn nogmaals afslagsommen gedaan, met als resultaat dat het duinvak nu wel voldoet aan de veiligheidsnorm.

Wederom worden ook de aansluitingsconstructies getoetst. Hierbij wordt de westelijke aansluitingsconstructie (nabij Hollum) afgekeurd, omdat het dichtstbijzijnde duinprofiel niet aan de veiligheidsnorm voldoet (het dichtstbijzijnde profiel ligt in het stuk duin dat initieel niet voldeed, zoals hierboven beschreven). Dit betekent echter ook, dat deze aansluitingsconstructie alsnog goed is gekeurd, toen bij de toets op maat de duinprofielen wel bleken te voldoen aan de norm voor duinafslag.

Harde keringen

Het toetsrapport hierover ontbreekt op dit moment nog.

6 Gebruiksfuncties

In deze beheerbibliotheek staat de kennis over het morfologische systeem en kustindicatoren centraal (Hoofdstuk 3 en 4). Daarnaast bevat de beheerbibliotheek een beschrijving van het uitgevoerde kust- en duinbeheer (Hoofdstuk 2), met nadruk op de uitgevoerde suppleties, alsmede van de waargenomen effecten van dat beheer. De beheerbibliotheek dient, op termijn, verder aangevuld te worden met ecologische en socio-economische kennis die relevant is voor het vaststellen van de suppletiestrategie. Hiervoor zal in de aankomende jaren bekeken worden of en waar deze kennis beschikbaar is. In deze versie van de beheerbibliotheek is alvast een bescheiden gestart gemaakt met de volgende onderwerpen: In paragraaf 6.1 volgt een samenvatting van het voorkomen van type recreatiestranden op Ameland, deze paragraaf is een samenvatting van de studie die door Decisio in 2011 is uitgevoerd (Decisio, 2011). In paragraaf 6.2 staat een overzicht van de Natura 2000 gebieden en habitatkaarten van het gebied. Op basis van uitgevoerde Passende Beoordelingen wordt deze informatie aangevuld met een beschrijving van de voorkomende ecologie en hoe hier bij het uitvoeren van suppleties rekening mee wordt gehouden.

6.1 Recreatie Ameland

6.1.1 Strandrecreatie Ameland

Ameland wordt jaarlijks bezocht door 550.000 bezoekers, waarvan 30% uit Duitsland komt. De gemeente schat in dat per jaar ruim meer dan een miljoen keer het strand wordt bezocht (Decisio, 2011). De belangrijkste concentratiepunten voor strandrecreatie liggen bij de strandovergangen aan het eind van de wegen naar het badstrand van Hollum, Ballum, Nes en Buren.

Tabel 6.1 geeft de kerngegevens van de stranden van de gehele provincie Fryslân.

Onderwerp	
Aantal strandpaviljoens	18
Totaal aantal horecabedrijven	1.844
Aantal campings	203
Aantal logiesaccommodaties	699
Aantal slaapplaatsen	97.947
Aantal overnachtingen logiesaccommodaties	5.142.200
Percentage buitenlandse overnachtingen	24%
Aantal overnachtingen verblijfsrecreatie	3.705.300
Percentage buitenlandse overnachtingen verblijfsrecreatie	27%
Aantal Hotelovernachtingen	1.436.900
Waarvan zakelijk	31%
Werkzame personen in de Horeca	12.200
Dagtochten naar zee	237.000

Cijfers voor gehele provincie Fryslân, inclusief niet-kustgemeenten.

Tabel 6.1 Kerngegevens voor de gehele provincie Fryslân (Decisio, 2011).

6.1.2 Gemeentes met strandrecreatie op Ameland

Het drukst is het bij de stranden van Nes en Buren waar strandtenten zijn met campings en een bungalowpark. Daarbuiten zijn nog twee strandopgangen met een strandpaviljoen; op de rest van het strand zijn geen economische activiteiten. Ameland heeft ten opzichte van

Terschelling en Vlieland een sterkere oriëntatie op dagtoerisme, vanwege de relatief korte vaartocht naar het eiland.

Ook de Hollumer duinen (km 1.2 – 3) hebben een belangrijke recreatieve functie. Aan de binnenzijde van de duinen bevinden zich de kampeer- en caravanterreinen en zomerwoningcomplexen de Blieke, Boomhiemke en Koudenburg. Het aantal recreatieve slaapplekken in en nabij Hollum bedroeg ca. 4.860 in 1997.

In de westkop van Ameland vinden demonstraties plaats met de paardenreddingsboot. Het duingebied tussen km 12 (Westerpad) en km 15.5 (badweg Buren) kent van Oost-Ameland het meest intensieve gebruik en heeft een fijnmazig net van wegen en paden met een camping en zomerhuiscomplex. Buiten dit gebied worden de standovergangen bij Ballum, de Ballumer Blinkert en km 17 het drukst bezocht (Figuur 6.1).



Figuur 6.1 Recreatieve stranden Ameland (Decisio, 2011)

Overzicht van belangrijkste stranden op Ameland:

- Sport en evenementenstranden Ameland: Nes
- Matig / redelijk intensieve stranden van Ameland: bij Nes en ten Noorden van Ballum

6.1.3 Overzicht van knelpunten op Ameland (Decisio, 2011)

Alle Waddeneilanden hebben relatief brede stranden. Op Ameland wordt het strand bij Nes zowel voor badrecreatie gebruikt als voor evenementen en andere activiteiten. Volgens de betrokkenen is de strandbreedte voor badrecreatie geen probleem, maar voor evenementen is het strand niet altijd breed genoeg (Figuur 6.2).



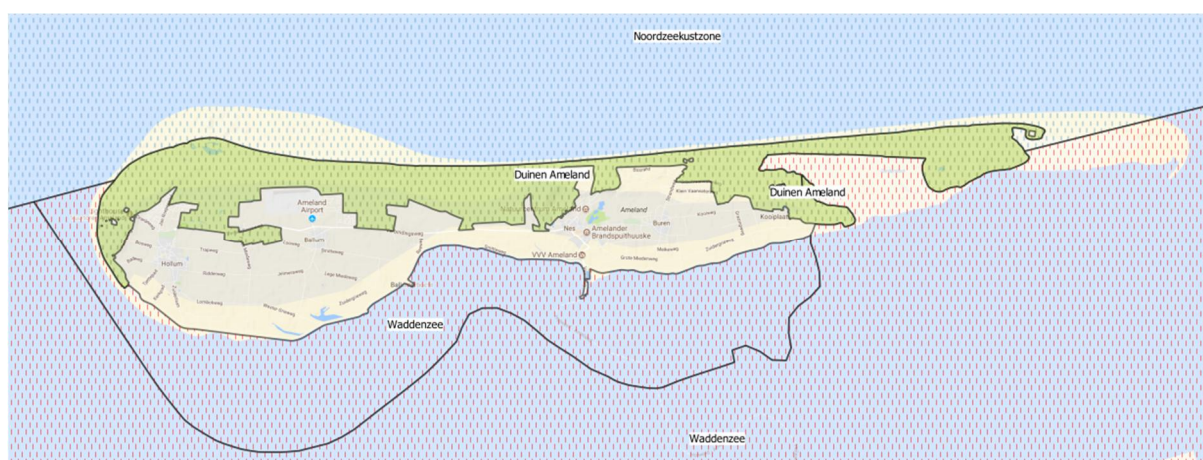
Figuur 6.2 Locaties waar regelmatig knelpunten in strandbreedte optreden langs de Noordzeekust van Ameland (Decisio, 2011). Knelpunten zijn tijdens workshops door deelnemers aangegeven.

Via de Kustviewer (<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/>) kan zowel de ontwikkeling in strandbreedte als het type recreatiestrand en knelpunten bekeken worden.

6.2 Natuur Ameland

6.2.1 Natuurwetgeving

De duinen, het strand en de zee rondom Ameland zijn belangrijke gebieden voor de natuur. Alle delen van het eiland die onder invloed staan van de zee zijn onderdeel van het Natura 2000-gebied Waddenzee. Het duingebied van Ameland dat niet onder invloed van de zee staat is apart aangewezen als Natura 2000-gebied Duinen Ameland. De zee en de stranden aan Noordzeezijde behoren tot aan de duinvoet tot het Natura 2000-gebied Noordzeekustzone (Figuur 6.3).



Figuur 6.3 Ligging van de Natura 2000 gebieden Noordzeekustzone, Waddenzee en Duinen Ameland. Bron: GIS-kaart Natura2000 gebieden 17feb2017.

In paragraaf 6.2.2 zijn de gebiedsbeschrijvingen weergegeven zoals deze zijn opgenomen in de aanwijzingsbesluiten Duinen Ameland, Waddenzee en Noordzeekustzone. Ook zijn daar, waar van toepassing, stukken opgenomen uit de Doeluitwerking Noordzeekustzone (2014) en Doeluitwerking Waddenzee (2014). Voor gedetailleerde informatie over de specifieke habitats en soorten wordt geadviseerd de online informatie te raadplegen via de website van Natura 2000 (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Natura 2000-gebieden, zie link hieronder).

Regio	URL
Ameland:	https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=2&id=n2k5
Waddenzee	https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=2&id=n2k1
Noordzeekust zone	https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=2&id=n2k7

6.2.2 Habitatkarakteristieken

Duinen Ameland (*Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Natura 2000-gebieden*)

Het Natura 2000-gebied Duinen Ameland wordt landschappelijk gekenmerkt door een uitgestrekt duingebied dat aan de Noordzeezijde wordt begrensd door het strand en aan de andere kant door open poldergebied, recreatiecomplexen en de kwelders van het Nieuwlandsreid. Het duingebied, dat ook twee bossen omvat, strekt zich uit over de gehele lengte van het eiland en grenst in het oosten aan de zandplaat De Hon. Het duingebied bestaat uit drie oudere kernen, die door jongere duinreeksen zijn verbonden. De drie kernen zijn de duincomplexen van rond Hollum en ten oosten daarvan, de duinen bij Nes en Buren en het Oerd op de oostpunt. Deze oudere kernen zijn pas in de 19^e eeuw door stuifdijken verbonden. De laagte tussen Ballum en Nes werd tot in de 19^e eeuw periodiek doorstroomd. Tussen Hollum en Ballum zijn in het begin van de 19^e eeuw stuifdijken aangelegd (de Lange Duinen). Ten noorden hiervan is ook nog een primaire vallei ontstaan. Tussen Ballum en Nes is in de tweede helft van de 19^e eeuw door stuifdijkaanleg en natuurlijke duinvorming een aaneengesloten duinenrij ontstaan. In de duinen van het Klein Vaarwater en de Kooiduinen heeft vrij recent (eerste helft 20^e eeuw), onder andere als gevolg van (over)begrazing en kustafslag, nog sterke verstuiving plaatsgevonden. Het eiland heeft aan de westkant natte duinvalleien.

Noordzeekustzone (*Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Natura 2000-gebieden*)

Het Natura 2000-gebied Noordzeekustzone bestaat uit de kustwateren van de Noordzee langs de Noord-Hollandse kust ten noorden van Bergen en langs de hele waddenkust tot aan de Eems. De zeewaartse grens ligt op de doorgaande NAP -20 meter dieptelijn. Langs de Noord-Hollandse vastelandkust ligt de grens aan de landzijde op de laagwaterlijn: het Natura 2000-gebied bestaat daar alleen uit de met water bedekte kustzone. Op de eilanden behoren de stranden tot aan de duinvoet ook tot de Noordzeekustzone. Op de Waddeneilanden ligt de grens op de duinvoet en is daardoor dynamisch: bij duinaangroei verplaatst de grens zich zeewaarts, bij duinafslag landinwaarts met de duinvoet mee.

In de Natura 2000 doeluitwerking wordt het zeegebied ten noorden van Ameland aangewezen als kansrijk gebied. Het gebied heeft verschillende kwaliteiten, zoals de aanwezigheid van schelpdierbanken en andere kenmerkende soorten bodemdieren met een relatief lange levensduur en opgroeiende vis. In het gebied kwamen schelpdierbanken van *Spisula* voor, tegenwoordig is het vooral *Ensis*. *Spisula* en kleine exemplaren van *Ensis* worden gegeten door onder andere zwarte zee-eenden, die overwinteren in de Noordzeekustzone. Momenteel is dit vrijwel de enige locatie waar zwarte zee-eenden langdurig rusten en foerageren in de Noordzeekustzone. De locatie is daardoor van groot belang voor de zwarte zee-eenden. Om deze reden zijn maatregelen dringend nodig. Belangrijk voor de zwarte zee-eenden is voldoende voedsel en voldoende rust in de winterperiode, zodat de eenden deze schelpdieren kunnen eten.

Het groene strand op de westkant van Ameland omvat verschillende habitattypen, zoals embryonale duinen (Figuur 6.4), zilte pionierbegroeiingen met zeekraal en zeevetmuur en zeer lokaal ook vochtige duinvalleien. Vooral de embryonale duinen zijn van belang als broedgebied van bontbekplevier, strandplevier en dwergstern. Aanvoer van voldoende zand is nodig ter behoud van de embryonale duinen. Ook zijn er maatregelen nodig om te zorgen voor voldoende rust op de (potentiële) broedlocaties tijdens het broedseizoen.

Op de oostpunt van Ameland (ca. paal 23 - 24) ligt het dynamische gebied de Hon. Het aanzien van het gebied is aan sterke verandering onderhevig door wind en water en zonder enige vorm van beheer is hier een zone ontstaan met strandvlakte, embryonale duinen en witte duinen. Aanvoer van voldoende zand en een ongestoorde, natuurlijke ontwikkeling zijn de belangrijkste voorwaarden voor behoud van het habitatype. Deze zone is een potentiële broedplek voor strandplevier en dwergstern, mits er voldoende rust is tijdens het broedseizoen en de embryonale duinen zich ongestoord kunnen ontwikkelen.



Figuur 6.4 Embryonale duinen op Noordwest Ameland (foto Jaap Hofker, Ameland)

Waddenzee (*Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Natura 2000-gebieden*)

Het Nederlandse deel van de Waddenzee is een dynamisch zoutwatergetijdengebied tussen de vastelandskust van Groningen, Friesland en Noord-Holland enerzijds en duin en stranden van de eilanden Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog en Rottum anderzijds. Kleine, ingesloten duincomplexen op de kwelders van de Waddeneilanden, alsmede de gehele eilanden Griend, Rottumerplaat en Rottumeroog (inclusief Zuiderduinen) horen eveneens bij het Natura 2000-gebied Waddenzee. De niet onder invloed van zeewater staande delen van Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog zijn elk voor zich apart aangewezen als zelfstandig Natura 2000-gebied.

Door de getijdenwerking is er een complex systeem van geulen, ondiep water en zand- en slibbanken ontstaan. Langs de randen van het gebied zijn in het verleden grote kweldergebieden ontstaan. Deze oude kwelders zijn bijna allemaal ingepolderd, maar vanaf ongeveer het jaar 1900 zijn ook nieuwe kwelders ontstaan. Op de Waddeneilanden gebeurde dat door de aanleg van stuifdijken aan de uiteinden (vooral de oostzijde) van de eilanden. Deze platen lagen al wel hoog genoeg voor vorming van kwelders, maar voordat de

stuifdijken waren aangelegd was het milieu te dynamisch voor kwelderplanten. De stuifdijken worden momenteel niet meer onderhouden, en op de oostpunten van Ameland en Schiermonnikoog zijn openingen (stormvloedgeulen) ontstaan. De toegenomen dynamiek heeft tot nog toe niet geleid tot kwelderverlies.

7 Literatuur

- Arens, B., Geelen, L. van der Hagen, H. & Slings, R. (2009). Duurzame verstuiving in de Hollandse duinen. Kans, droom of nachtmerrie. Eindrapport fase 2. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Waternet, Dunea, PWN, RAP 2009.03.
- Arens, S.M., van Puijvelde S.P. en Brière, C. (2010). Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Rapportage geomorfologie. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Bosschap Rapport OBN 142.
- Arens, S.M., Everts, F.H. Kooijman, A.M. Leek, S.T. Nijssen, M. de Vries N.P.J. (2012) Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust. OBN rapport DK166.
- Balen, W. van, Vuik, V., Van Vuren, S. (2011) Indicatoren voor kustlijnzorg-Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie. HKV rapport PR2063.20.
- Beckerling Vinckers, J.A., 1943, Ameland Gat, Rijkswaterstaat studiedienst Hoorn, Nota D98.
- Biegel, E. J., 1993, Morphological changes due to sea-level rise in tidal basins in the Dutch Wadden Sea versus morphological response model MORRES. Rapport IMAU-93.14. Institute for Marine and Atmospheric research Utrecht. Faculty of Geographical Sciences (Utrecht): 124 pp.
- Boer, M. de, G. Kool, en M.F. Lieshout, 1991a, Erosie en sedimentatie in de binnendelta van het Zeegat van Ameland 1926-1984, deelonderzoek nr. 4, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee, Adviesdienst Hoorn, Rapport ANVX-91.H202, 42 pag., 22 bijlagen.
- Boer, M. de, G. Kool, M.F. Lieshout en D.L. Ulm, 1991b, Erosie en sedimentatie in de buitendelta van het Zeegat van Ameland 1926 – 1982, deelonderzoek nr. 8, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee, Adviesdienst Hoorn, Rapport ANVX-91.H205, 30 pag., 22 bijlagen.
- Bruens, A., McCall, R., Steetzel, H., van Santen, R. (2012). Achtergrondrapport Basiskustlijn 2012 – feiten & cijfers ter onderbouwing van de herziening van de Basiskustlijn. Deltares rapport 1206171-000-ZKS-0031.
- Bruens, A., Van der Spek, A., Elias, E., Giardino, A. (2013). Projectplan KPP-B&OKust 2013. Deltares rapport 1207724-000-ZKS-0005
- Cheung, K. F., F. Gerritsen, en J. Cleveringa, 2007, Morphodynamics and sand bypassing at Ameland Inlet, The Netherlands., Journal of Coastal Research 23(1): 106-118.
- Cleveringa J., S. Mulder, en A.P., Oost, 2004, Kustverdediging van de koppen van de Waddeneilanden De dynamiek van de kust nabij buitendelta's en passende maatregelen voor het kustbeheer. Rapport RIKZ/2004.017 . Rijkswaterstaat RIKZ (Den Haag),

- Cleveringa, J., C.G. Israel, en D.W. Dunsbergen, 2005, De Westkust van Ameland. Resultaten van 10 jaar morfologisch onderzoek in het kader van de Rijkswaterstaat programma's KUST2000 en KUST2005. Rapport RIKZ/2005.029. Rijkswaterstaat RIKZ (Den Haag), 74 pp.
- Decisio, (2011). Ruimte voor recreatie op het strand; onderzoek naar een recreatieBasiskustlijn.
- Elias E.P.L., A. Bruens, 2012, Morfologische Analyse Boschplaat (Terschelling). Quicksan. Rapport 1206171-001, Deltares, Delft.
- Elias, E.P.L., 2013. Morfologie Ameland. Rapport 1207724-002-ZKS-0005, Deltares, Delft
- Elias, E.P.L. en Bruens, A., 2013. Beheerbibliotheek Ameland. Feiten en cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse beoordeling van de kustlijn. Deltares rapport 1207724-004-ZKS-0015, 1 november 2013
- Elias, E.P.L., Vonhögen-Peeters, L., Bruens, A., 2013. Ontwikkeling gefaseerde suppletie Ameland 2010-2011. Deltares rapport 1207724-002-ZKS-0010, 5 december 2013, definitief.
- Elias, E.P.L., 2015. Stroming en sedimenttransport op het Bornrif (Ameland). Deltares werkdocument (opgenomen in Nederhoff et al., 2016. Erosie op Ameland Noordwest. Modelstudie: simulaties met Delft3D en XBeach)
- Gordeau, L., 1999, Saw-tooth bars defined; a case study of the Ameland inlet, Rijkswaterstaat RIKZ & Universiteit Utrecht, werkdocument RIKZ/OS-99.114x, 26 pag., 8 fig., 17 tab. en 19 bijlagen.
- Heteren, S. van en A.J.F. van der Spek, 2003. Long-term evolution of a small estuary: the Lauwerszee (northern Netherlands). NITG 03-108-A. Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO - National Geological Survey, 18 pp.
- Hillen, R., Ruig, de J.H.M., Roelse, P., Hallie, F.P., 1991. DE BASISKUSTLIJN, een technisch/morfologische uitwerking. Rijkswaterstaat nota GWWS-91.006.
- Israël, C.G., 1998, Morfologische ontwikkeling Amelander Zeegat. Werkdocument RIKZ/OS-98.147x, Rijkswaterstaat RIKZ (Den Haag).
- Israël, C.G. en D.W. Dunsbergen, 1999, Cyclic morphological development of the Ameland Inlet, proceedings of the I.A.H.R Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Genova, Italy, p. 705-714.
- Jiao, J., 2014. Morphodynamics of Ameland Inlet. Medium-term Delft3D modelling. MSc thesis Delft University of Technology. 10 September 2014.
- Jong, J. de, 1984. Age and vegetational history of the coastal dunes in the Frisian Islands, The Netherlands. Geologie en Mijnbouw 63, p. 269-275.
- McLaren, 1996, The sediment transport regime of the Borndiep Basin of the Waddenzee", Rapport GeoSea Consulting, voor RIKZ/Rijkswaterstaat.

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017. Kustlijnkaartenboek 2016.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012, Basiskustlijn 2012, Herziening Basiskustlijn
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Natura 2000-gebieden:
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990. Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnverzorging. Tweede Kamer 1989-1990, 21 136, nrs 5-6.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993. De Basiskustlijn, Norm voor Dynamisch Handhaven. Rijkswaterstaat rapport DGW-93.035.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995. Nota Kustbalans 1995 – De Tweede Kustnota.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002a. Basiskustlijn 2001, Evaluatie ligging Basiskustlijn. Rijksinstituut voor Kust en Zee, rapport RIKZ-2002.018.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002b. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Achtergrondrapport. Resultaten van de eerste toetsronde van 1996 – 2001.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. Voorschrift Toetsen op Veiligheid.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2012. Basiskustlijn 2012.
- Mulder, J. P. M. (2000). Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel. Advies voor dynamische handhaven in de 21e eeuw (in Dutch), Report RIKZ/2000.36. Rijkswaterstaat RIKZ, The Hague.
- NBTC (2010). Terug naar de kust in cijfers
- Nederhoff, C.M., Oost, A.P., Vermaas, T., 2015. Erosie op Ameland Noordwest. Evaluatie morfologische ontwikkelingen. Deltares rapport 1220040-001-ZKS-0003, 27 november 2015
- Nichols, M.M., 1989. Sediment accumulation rates and relative sea-level rise in lagoons. *Marine Geology* 88: 201-219.
- NRIT (2004). Waarde (kust)recreatie Intensiteit, bestedingen en werkgelegenheid in relatie tot toerisme en recreatie aan de Nederlandse kust.
- NRIT / CBS (2016), Trendrapport toerisme, recreatie en vrije tijd 2016
- NRIT (2007). Strandlopers.
- Oost, A.P., 1995, Dynamics and Sedimentary Development of the Dutch Wadden Sea with Emphasis on the Frisian Inlet. A Study of Barrier Islands, Ebb-Tidal Deltas, Inlets and Drainage Basins. *Geologica Ultraiectina*, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen, Utrecht University (Utrecht): 454 pp.
- Oost, A.P., R. van Buren en A. Kieftenburg, 2017. Trilateral desktop study on the hydromorphology of ebb-tidal deltas of the Wadden Sea in the light of climate change and human interests. Deltares 11200926-000, 334 pp.

- RIKZ (2006). Risicobeheersing in kustplaatsen.
- Rooijen, A.A. van, Oost, A.P., 2014. Regionale advisering Ameland Noord-West. Deltares memo 1209381-0008-ZKS-0008, 18 december 2014.
- Schuttenhelm, R. , 2017. Wetenschappelijke inzichten over zeespiegelstijging, sedimentatie en bodemdaling - en een concreet verdrinkingsrisico binnen de 21ste eeuw. Waddenvereniging, Harlingen, pp. 143.
- Spanhof, R., E.J., Biegel, en A.M., Walburg, 2002, Evaluatie onderwatersuppletie Ameland. Werkdocument RIKZ/OS/2002.105x, Rijkswaterstaat RIKZ (Den Haag).
- Speelman, H., A. Oost, H. Verweij en Zh. B. Wang, 2009. De ontwikkeling van het Waddengebied in tijd en ruimte. Position paper Geowetenschap (Juni 2009) Waddenacademie, Leeuwarden, 103 pp.
- Spek, A. J. F. van der, en H. H. S. Noorbergen, 1992, Morphodynamica van intergetijdgebieden. Rapport Beleidscommissie Remote Sensing, Delft.
- Spek, A. J. F. van der, 1995, "Reconstruction of tidal inlet and channel dimensions in the Frisian Middelzee, a former tidal basin in the Dutch Wadden Sea". In: Flemming en Bartholomä (eds), Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments. Special Publications International Association of Sedimentologists, 24, p. 239-258.
- Staalduinen, C.J. van, (ed.), 1977. Geologisch onderzoek van het Nederlandse Waddengebied. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 77 pp.
- Stuyfzand, P.J., Arens S.M., Oost A.P. en Baggelaar, P. K. (2012). Geochemische effecten van zandsuppleties in Nederland; langs de kust van Ameland tot Walcheren. OBN rapport DK167.
- Veen, J. van, 1936. Onderzoekingen in Den Hoofden in verband met de gesteldheid des Nederlandsche kust. Proefschrift, Universiteit Leiden, Leiden, 252 pp.
- Vermaas, T., E.P.L., Elias, L. Vonhögen-Peeters, 2013, Ontwikkeling gefaseerde suppletie Ameland 2010-2011. Deltares, Delft.
- Vermaas, T. en Marges, V., 2015. Detailanalyse volumeveranderingen rondom Ameland. Deltares rapport 1220040-006-ZKS-0004, 13 aug 2015
- Vos, P.C., en S. de Vries, 2013. Tweede generatie paleogeografische kaarten van Nederland; Deltares, Utrecht.
- Vos, P. C., 2015. Origin of the Dutch coastal landscape. Groningen, p.1-359. Ook als proefschrift Universiteit Utrecht.
- Vos. P.C., en E. Knol, 2015. Holocene landscape reconstruction of the Wadden Sea area between Marsdiep and Weser. Explanation of the coastal evolution and visualisation of the landscape development of the northern Netherlands and Niedersachsen in five palaeogeographical maps from 500 BC to present. Netherlands Journal of Geosciences — Geologie en Mijnbouw |94 – 2 | p. 157–183. <https://doi.org/10.1017/njg.2015.4>

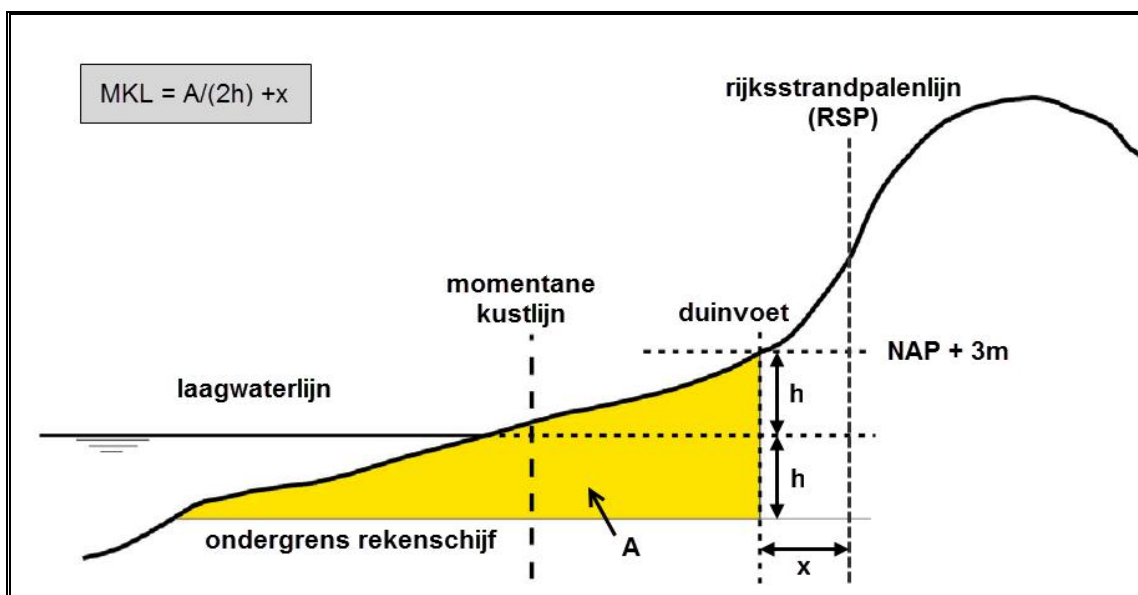
- Vuik, V., Van Balen, W., Paarlberg, P. (2012) Indicatoren voor kustlijnzorg- Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid. HKV rapport PR2063.30.
- Wang, Z.B., 2007, Morfologische ontwikkeling van het Rif en de Engelsmanplaat. Analyse naar mogelijke invloed van de bodemdaling. Rapport Z3973 WL Delft Hydraulics, Delft.
- Westhoff, V. & Van Oosten, M. F., 1991. De plantengroei van de Waddeneilanden. Uitgeverij KNNV, Utrecht, pp. 410.
- Wijnberg, K.M., 1995. Morphologic Behavior of a Barred Coast over a Period of Decades. Ph.D. thesis, University Utrecht, Faculty of Geographical Sciences (Utrecht), 245 p
- Willemsen, P., 2013. Morfologische veranderingen Amelander zeegat; een methodische aanpak. BSc thesis University of Twente, 12 July 2013.

A Achtergrondinformatie over het beleid van dynamische kustlijnhandhaving

A.1 Definitie Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn

De ligging van de laagwaterlijn kent een grote fluctuatie in ruimte en tijd. De laagwaterlijn is dan ook niet geschikt als referentielijn voor het bestrijden van structurele erosie. Bij het laatste wordt, per definitie, niet gekeken naar een momentopname, maar naar een trend over een langere periode. Uitgaande van een tijdshorizon van zo'n 10 jaren is hieraan, bij de definitie van een referentiekustlijn, op twee manieren een uitwerking gegeven.

Allereerst is een ruimteschaal gekozen, passend bij de tijdschaal. Vandaar dat in 1990 is besloten de kustlijnligging af te leiden uit het zandvolume in een rekenschijf rondom de laagwaterlijn. Op deze wijze worden de fluctuaties in de *tijd* beperkt, terwijl vormfluctuaties in het profiel mogelijk blijven; gesproken wordt dan ook van dynamisch handhaven van de kustlijn. De methode om in afzonderlijke jaren, deze 'Momentane Kustlijn' te bepalen staat in Figuur 7.1 en wordt uitgebreid toegelicht in de nota *De Basiskustlijn, een technisch morfologische uitwerking* (Hillen et al, 1991).

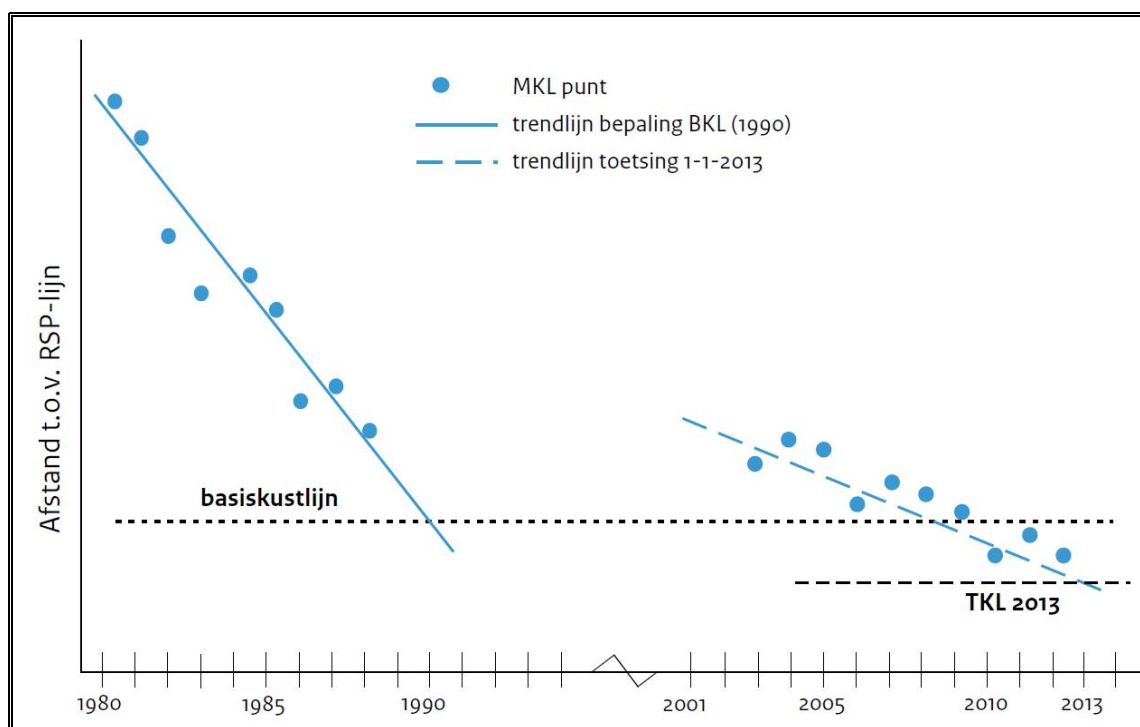


Figuur 7.1 Methode om de Momentane Kustlijn (MKL) af te leiden uit het gemeten kustprofiel. Eerst wordt het zandvolume (oppervlak A) bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans NAP + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater (h)). Vervolgens wordt de Momentane Kustlijn bepaald door het oppervlak te delen door de hoogte van de rekenschijf (2h). Om de Momentane Kustlijn uit te drukken in meters ten opzichte van Rijksstrandpalenlijn (RSP), moet hier de horizontale afstand van de duinvoet tot RSP (x) nog bij worden opgeteld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

Vervolgens is geconstateerd dat ook de Momentane Kustlijnligging (MKL) in een bepaald jaar slechts een momentopname weergeeft; als gevolg van een (lokaal) recent opgetreden conditie kan deze niet in overeenstemming zijn met de trend in de

voorgaande periode³. Om die reden is als norm niet gekozen voor het handhaven van de Momentane Kustlijn in 1990, maar voor het handhaven van een 'Basiskustlijn' (BKL) die is afgeleid uit de trend van de voorgaande 10 jaren (1980-1989).

Ieder jaar wordt beoordeeld of deze Basiskustlijn wordt overschreden. Daartoe wordt gekeken naar de ligging van de jaarlijkse 'te Toetsen Kustlijn' (TKL), ten opzichte van de Basiskustlijn. Ook de jaarlijkse Te Toetsen Kustlijn wordt afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn uit voorgaande jaren (meestal 10 jaar). De methode om de Basiskustlijn en de Te Toetsen Kustlijn uit de trend te bepalen staat weergegeven in Figuur 7.2.



Figuur 7.2 De Basiskustlijn (BKL) en de jaarlijkse Te Toetsen Kustlijn (TKL) worden afgeleid uit de trend in de Momentane Kustlijn (MKL) uit de voorgaande jaren (Rijkswaterstaat, 2012).

A.2 Landelijke vaststelling Basiskustlijn 1990

Voor de meeste delen van de Nederlandse kust leidt toepassing van de beschreven methodiek tot een goede norm. Voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust is in 1990, bij het vaststellen van de Basiskustlijn, geconstateerd dat het wenselijk is om af te wijken van de standaardmethode uit Figuur 7.1 en Figuur 7.2. De belangrijkste afwijkingen zijn (Hillen et al, 1991):

- Afwijkingen in de rekenschijf (als de ondergrens het profiel niet snijdt, wordt de rekenschijf eerder 'afgekapt'). Schematische voorbeelden staan gegeven in Hillen et al (1991).
- Indien de boven- en ondergrens meerdere snijpunten met het profiel hebben, wordt het meest zeewaartse snijpunt als grens gekozen.
- In geval van een getijgeul wordt echter het landwaartse snijpunt als grens gekozen.

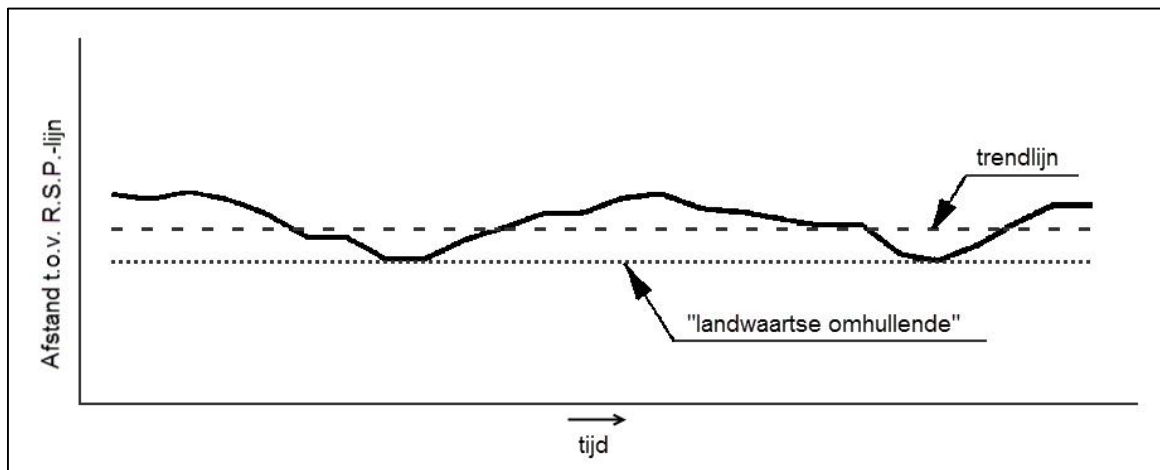
3. Een voorbeeld is de Momentane Kustlijn in 1990. Door het optreden van de zogenaamde 'crocusstormen,' die mede aanleiding waren voor het invoeren van het dynamisch handhaven, lag de kustlijn in dit jaar niet op een 'representatieve' locatie.

- Indien er sprake is van een trendbreuk in de kustontwikkeling wordt de trendperiode daarop aangepast. Dit wordt onder andere toegepast na het uitvoeren van een suppletie.

Daarnaast bleek dat het voor een aantal locaties wenselijk is om de volgens de standaard methode berekende Basiskustlijn niet als norm te hanteren, maar om ofwel geen Basiskustlijn vast te leggen, of de volgens de standaard berekende Basiskustlijn te verleggen op basis van morfologische argumenten. In 1990 is door Rijkswaterstaat een voorstel opgesteld met betrekking tot de vakken waarin de berekende Basiskustlijn moet worden vastgehouden, verlegd, of geen Basiskustlijn moet worden vastgelegd (Hillen et al, 1991). Voorgesteld werd om in geval van fluctuaties als gevolg van zandbanken, de 'omhullende' als Basiskustlijn te kiezen (Figuur 7.3). Het niet vastleggen van een Basiskustlijn werd voorgesteld voor de uiteinden van de Waddeneilanden: zo kan meer ruimte aan de natuurlijke processen worden gegeven.

Samengevat luidt het voorstel voor verlegging van de Basiskustlijn (Hillen et al, 1991): De Basiskustlijn, zoals berekend volgens de standaardmethode, is niet overal morfologisch de meest logische kustlijn om te handhaven. Er wordt voorgesteld om op basis van de volgende morfologische argumenten de berekende Basiskustlijn te verleggen:

- I. Zandbanken die zorgen voor een (korte (<10 jaar)) fluctuatie in kustlijnligging.
- II. Zandgolven die zorgen voor een (lange (>10 jaar)) fluctuatie in kustlijnligging.
- III. Aanwezigheid kans dat een positieve trend omslaat naar een negatieve trend en aanwezigheid van extreem breed strand.



Figuur 7.3 Eén van de argumenten om de Basiskustlijn zeewaarts vast te stellen ten opzichte van de afgeleide trend 1980-1989 was het voorkomen van 'korte' fluctuaties zoals door verschuivende zandbanken: "Indien de belangen op het strand en in de duinen het toelaten kan worden overwogen de Basiskustlijn in landwaartse richting te verleggen. De landwaartse omhullende lijkt daarvoor een zinvolle maatstaf" (Hillen et al, 1991).

De voorstellen van Rijkswaterstaat betroffen voorstellen op louter morfologische gronden. In 1992 brachten de Provinciale Overleggen Kust (POK) hun advies uit over het voorstel. Bij het beoordelen van het voorstel hebben zij rekening gehouden met het waterkering belang en andere belangen zoals natuur, recreatie, bebouwing en drinkwaterwinning. Voor 90% van de gevallen is het voorstel van Rijkswaterstaat overgenomen. Vervolgens gaf Rijkswaterstaat in 1993 aan hoe zij met het advies van de POK om zullen gaan (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993). Op basis van deze

rapportage van Rijkswaterstaat is uiteindelijk de Basiskustlijn door de staatssecretaris vastgesteld⁴.

A.3 Landelijke herzieningen

A.3.1 Landelijke herziening van 2001

In de nota Kustbalans 1995, de tweede Kustnota, werd geconstateerd dat de ligging van de Basiskustlijn niet overal optimaal is. De evaluatie van de Basiskustlijn geeft vaak weliswaar eenduidige en uniforme informatie ten behoeve van de planning van maatregelen (doorgaans suppleties), maar de POK's vragen zich af of de doelstelling van veerkracht en dynamiek daarbij voldoende ruimte krijgt. Dit vormt de aanleiding om de POK's advies uit te laten brengen met betrekking tot verdere optimalisatie van de Basiskustlijn. Rijkswaterstaat heeft deze adviezen vervolgens samengevat, geanalyseerd en beoordeeld tegen de achtergrond van het kusthandhavingsbeleid. De resultaten hiervan zijn hieronder samengevat (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003).

Ervaringen met suppleties hebben aangetoond dat met strand- en duinsuppleties het waterkerend vermogen van de duinen kan worden verbeterd en efficiënt kan worden gehandhaafd. Dit is vooral van belang op locaties waar het duin zich niet in landwaartse richting kan verplaatsen (als gevolg van duinvoetverdediging, achterliggende bebouwing en/of dijken). Ook de natuur heeft baat bij zandsuppleties: duinareaal neemt sneller toe en er ontstaan meer mogelijkheden om de natuur zijn gang te laten gaan. Beheerders staan meer en meer open voor natuurlijker beheer van de duinenkust (minder onderhoud, toestaan van verstuingen en zelfs doorbreken van de zeereep, zolang de veiligheid niet in het geding is).

Er wordt geconstateerd dat er verschillen bestaan in de relatie 'ligging van de Basiskustlijn' en 'veiligheid'. Bij een zeer smalle waterkering en bij bebouwing in de afslagzone⁵ zal snel sprake zijn van een knelpunt met veiligheid: de Basiskustlijn heeft hier een *interventiefunctie*. In andere situaties zijn fluctuaties juist nodig voor het behoud van waarden en functies en zijn ze ook toelaatbaar: de Basiskustlijn heeft hier een *signaleringsfunctie*.

Afweging Rijkswaterstaat

De adviezen van de POK's van de verschillende provincies leveren een divers beeld. Enerzijds door morfologische verschillen, anderzijds door verschillende visies op de functie van de Basiskustlijn (interventie versus signalering). Daarnaast speelt mee dat het advies het resultaat is van het samenspel van verschillende actoren met uiteenlopende belangen. De POK's hechten grote waarden aan het regionale maatwerk. Om de volgende redenen is er momenteel nog geen aanleiding om te streven naar een landelijke uniformiteit:

- Positief beeld uit de evaluatie van 10 jaar dynamisch handhaven,
- Eenduidigheid van de rekentechnische bepaling van de Basiskustlijn,
- Geen significante verandering van suppletiebehoefte bij doorvoering van alle voorgestelde aanpassingen van de Basiskustlijn.

4. Inmiddels is het dan 1994, in de periode 1990-1994 wordt de initieel door Rijkswaterstaat voorgestelde Basiskustlijn gehanteerd.

⁵ Afslagzone is de zone van het duin die tijdens stormvloed kan afslaan.

Rijkswaterstaat stemt in met het voorstel van de POK's om niet te streven naar landelijke uniformiteit en weegt de voorstellen van de POK's af. In het licht van toekomstige ontwikkelingen (zwakke schakels, kustplaatsen) zal tevens worden bezien of ten behoeve van de transparantie van beleid en uitvoering moet worden gestreefd naar een harmonisatie van het kusthandhavingsbeleid of dat de huidige regionale verschillen het logisch gevolg zijn van de geografische en morfologische verschillen.

A.3.2 Landelijke herziening van 2012

In 2012 is de Basiskustlijn opnieuw herzien (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2012). Voor het ministerie van Infrastructuur en Milieu waren er in 2009 twee concrete aanleidingen voor het herzien van de Basiskustlijn:

1. Benodigde aanpassing vanwege het onderhoud van de zandige zeewaartse versterkingen: Op een aantal plaatsen is de kust zeewaarts versterkt. Zonder aanpassing van de Basiskustlijn zouden deze versterkingen niet worden onderhouden en eroderen.
2. Benodigde aanpassing vanwege een te ver zeewaarts vastgestelde Basiskustlijn: Op een aantal plaatsen is de Basiskustlijn vastgelegd op een zeewaartse positie die moeilijk is te handhaven. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu hanteert voor deze locaties de volgende beschrijving: *“Op een aantal locaties langs de kust sluit de ligging van de Basiskustlijn niet aan bij de natuurlijke, reële ligging van de kust”*.

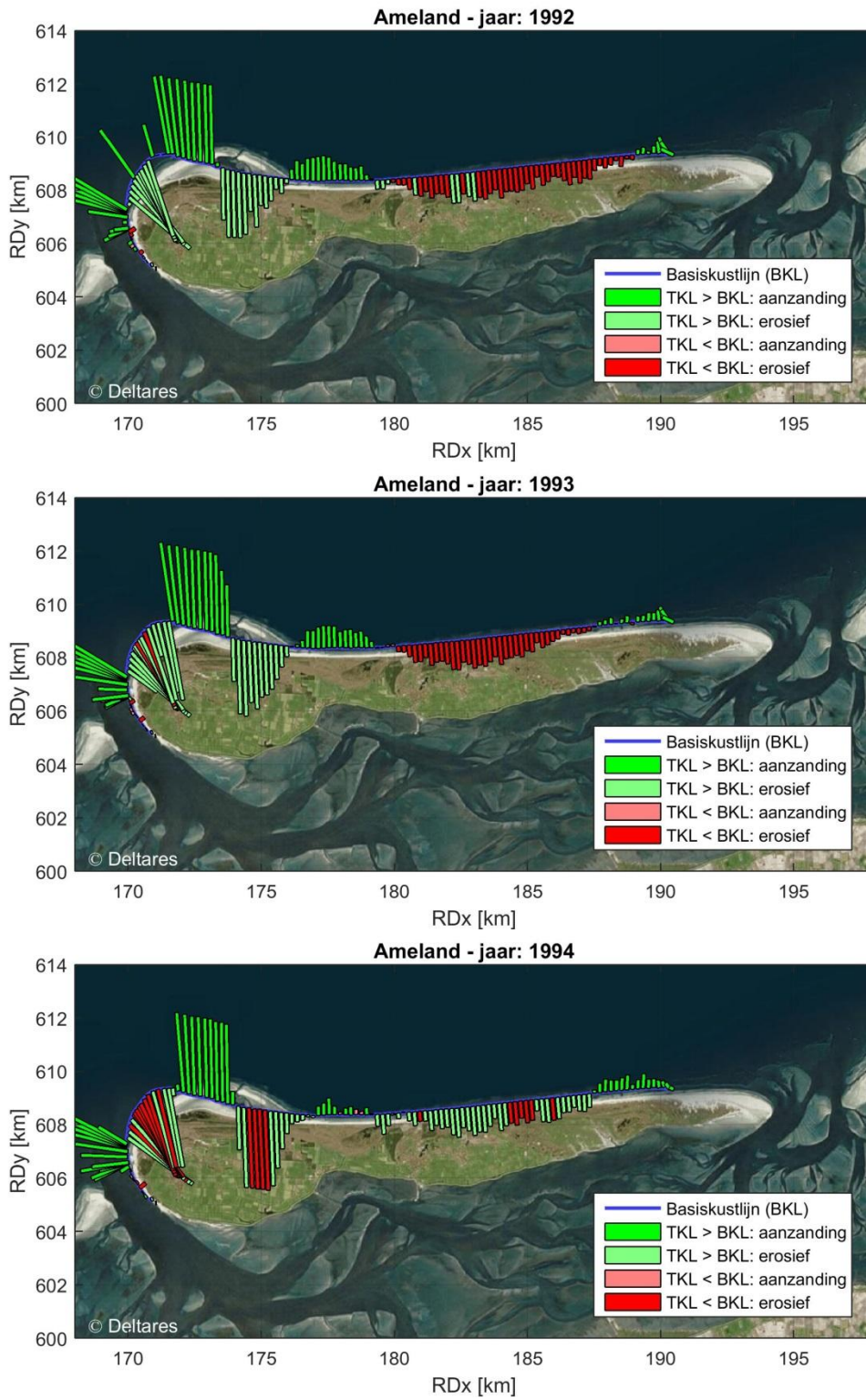
B Begrippenlijst morfologie

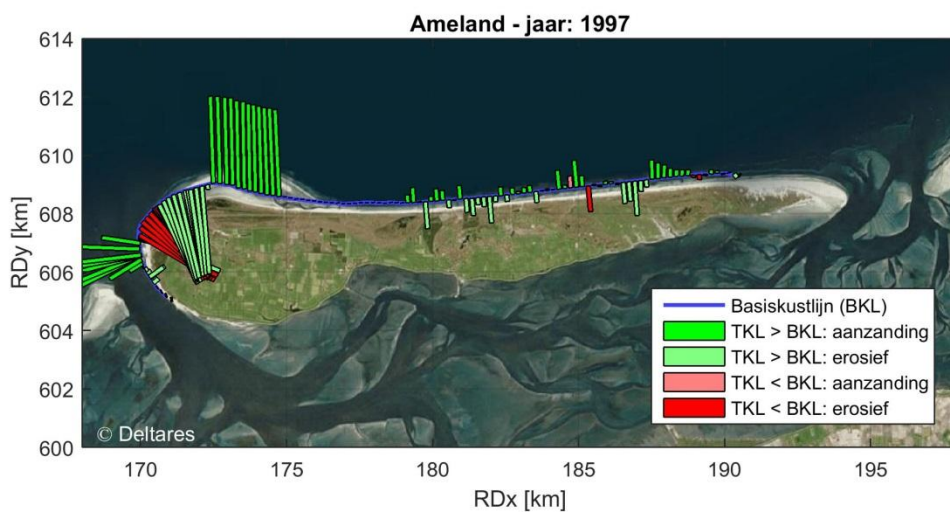
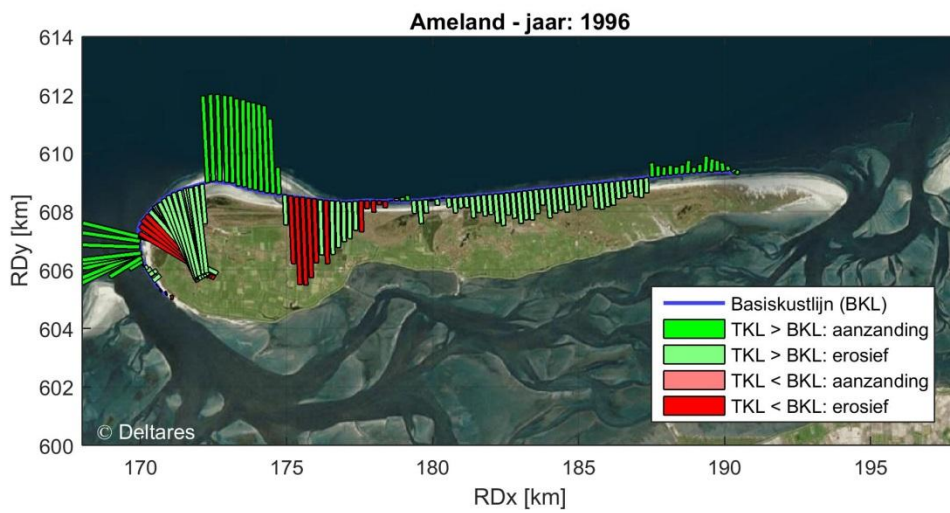
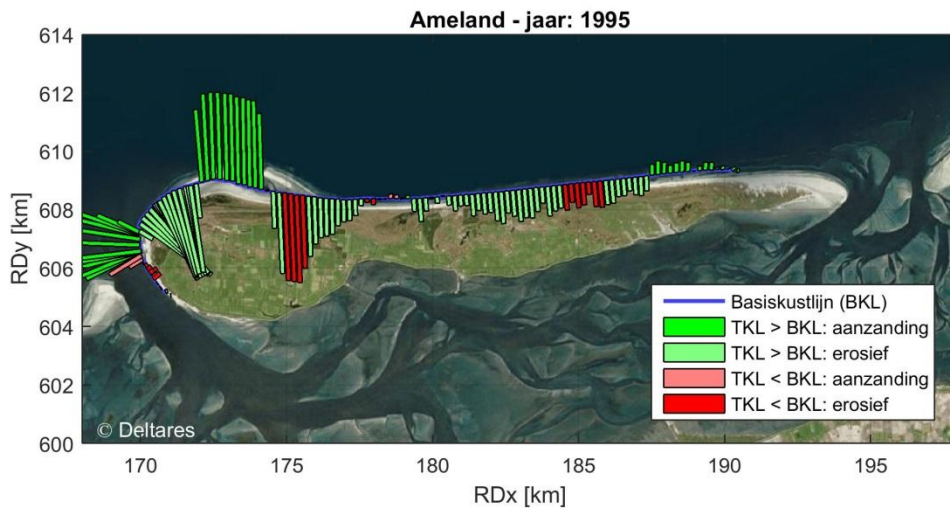
Begrippenlijst morfologie	
Brekerbanken	Zandruggen (of –banken), dichtbij en parallel aan de kust, waarop breking van golven plaatsvindt. Deze banken vertonen een cyclisch gedrag, waarbij ze ontstaan aan landzijde en gedurende enkele jaren zeewaarts migreren, waar ze uiteindelijk uitdempen. Op de meeste plaatsen langs de kust zijn 2 tot 4 rijen van zulke banken waar te nemen: de binnenbank aan de landzijde, de middenbank(en) en tenslotte de buitenbank.
Vooroever	Deel van een dwarsprofiel van een onderwateroever, gelegen beneden de laagwaterlijn en doorlopend tot voorbij de actieve bankenzone.
Kombergingsgebied	Compartiment (getijbekken of kom) aan landzijde van een zeegat, waarin het getijdenwater dat via het zeegat naar binnenstroomt geborgen wordt. Deze gebieden worden veelal gekenmerkt door platen en (vertakkende) getijgeulen, die in het zeegat samenkomen.
Buitendelta / ebdelta	Een systeem van geulen en zandplaten aan de zeezijde van een zeegat. Het zijn zeer complexe en dynamische gebieden, waar veel interactie is tussen de werking van golven en getij. De buitendelta's worden vooral gevormd door het bezinken van zand op de ebstream komende uit het zeegat. De zandplaten die hierdoor ontstaan, worden door de golven vanuit zee vervormd en weer richting kust geduwd. Hierdoor ontstaat het kenmerkende waaierpatroon (delta-patroon).
Zandgolf	De term zandgolven wordt meestal op twee manieren gebruikt: met horizontale zandgolven wordt het cyclische verschijnsel bedoeld van toe- en afname van de sedimentvoorraad langs de kust. Dit verschijnsel is te zien langs de eilanden in de Zuid-Westelijke Delta en langs de Waddeneilanden. De migratieperiode hiervan kan variëren van 50 tot 135 jaar, met een migratiesnelheid van 30 tot 300 meter per jaar (Hoozemans, 1991). Naast de horizontale zandgolven wordt de term zandgolf ook gebruikt voor harmonische bedvormen die in ondiepe zandige kusten voorkomen en in de hele Noordzee aanwezig zijn (Van Dijk en Kleinhans, 2005). Ze vormen kammen en troggen loodrecht op de getijdestroming en hebben migratiesnelheden in de orde van grootte van meters tot tientallen meters per jaar.

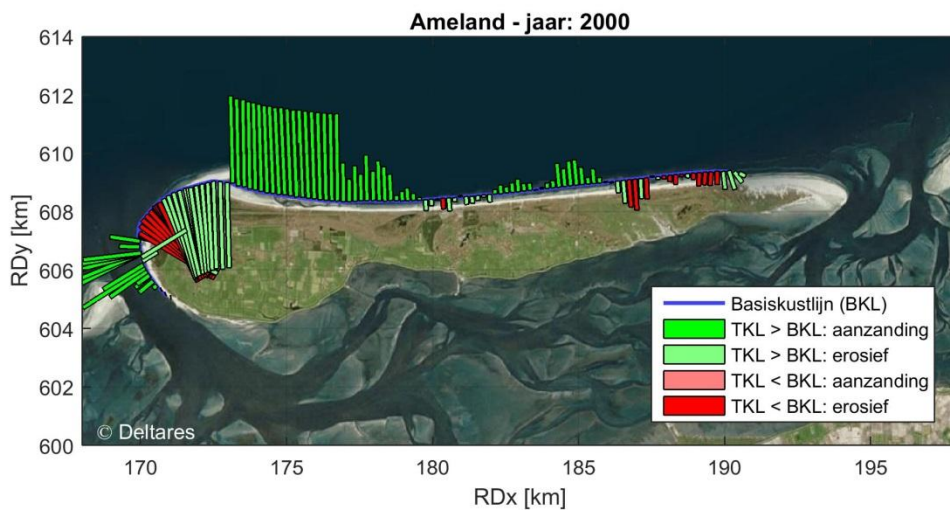
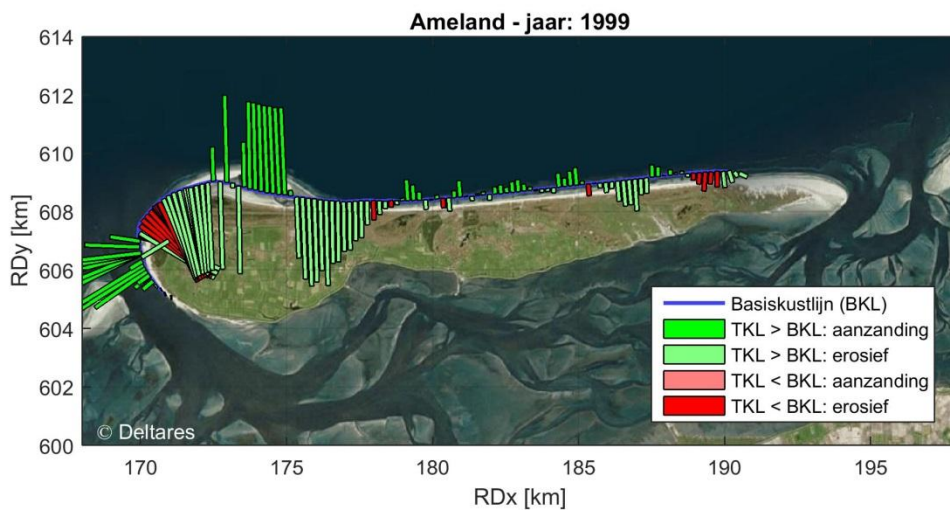
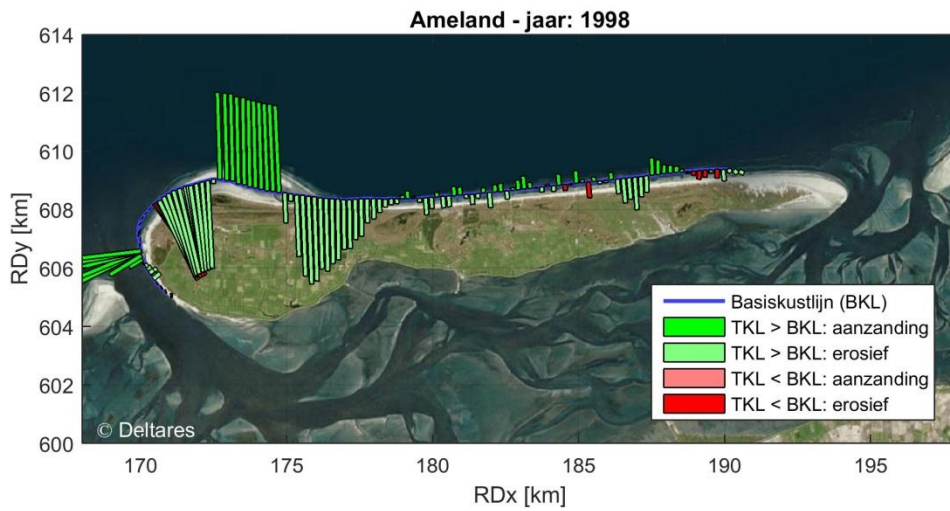
Spit en Strandhaak	<p>Uitstulping van de kust, die aan één zijde vastzit aan het land, en aan de andere zijde uitbouwt, in de richting van het netto sedimenttransport.</p> <p>Een spit ontstaat vaak op plaatsen waar de kustlijn abrupt wordt onderbroken, zoals bijvoorbeeld aan de bovenstroomse zijde van een zeegat. Als een spit te ver is uitgebouwd, kan deze losbreken van de kust en als een zandplaat verder migreren om uiteindelijk aan te landen aan benedenstroomse zijde van het zeegat.</p> <p>Een strandhaak ontstaat vaak aan de benedenstroomse zijde van een zeegat, waar bijvoorbeeld aanlanding van een zandplaat heeft plaatsgevonden. Hierdoor ontstaat een uitstulping die door het kustlangse sedimenttransport 'omkrult' richting de benedenstroomse kustlijn, waardoor een haakvorm ontstaat. Hierbij wordt vaak een klein stuk van het intergetijdegebied ingesloten binnen de haak. Na verloop van tijd (jaren tot decennia) is de zanduitstulping gelijkmatig over de kust verspreid.</p>
Slufter	<p>Een slufter is een getijdengebied waarbij zout water vanuit zee onder invloed van het getij door een geul in de duinen het land binnen kan dringen. Kreken met zout water stromen dwars door het gebied en bij storm kan het gebied geheel onder water lopen.</p>

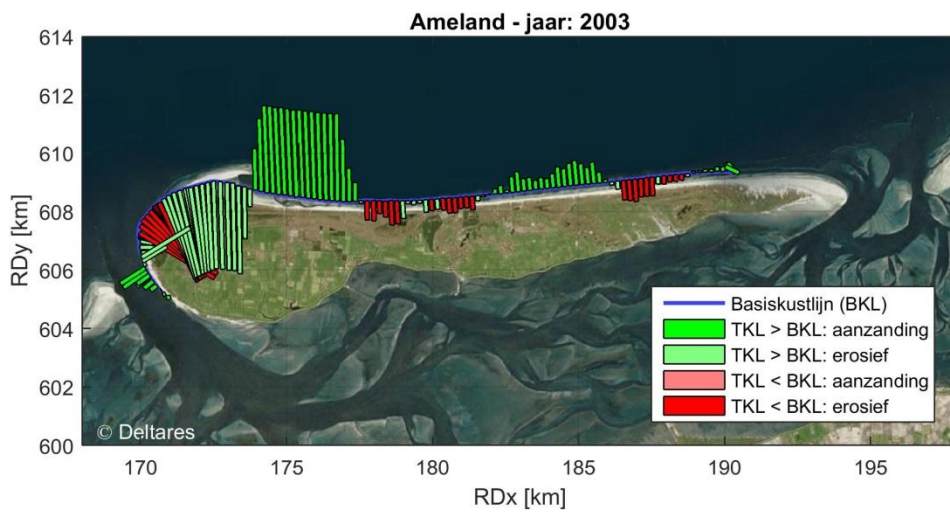
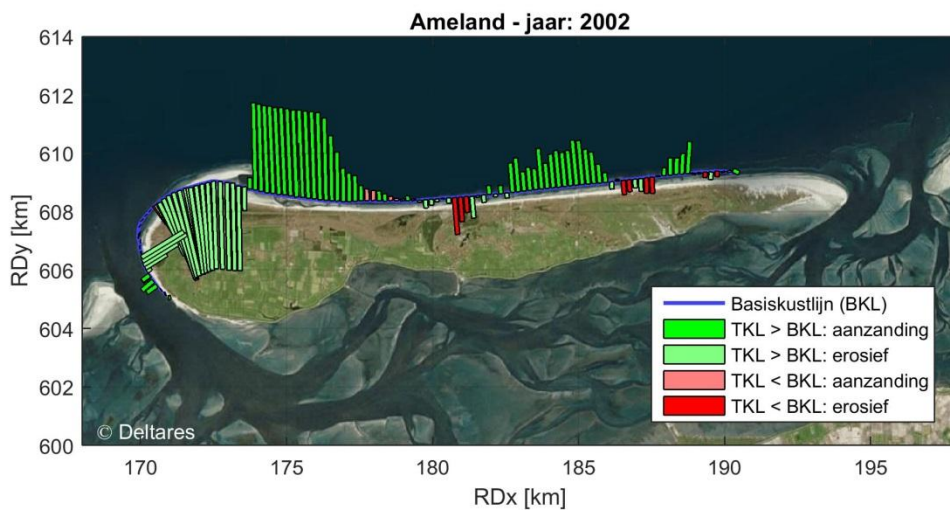
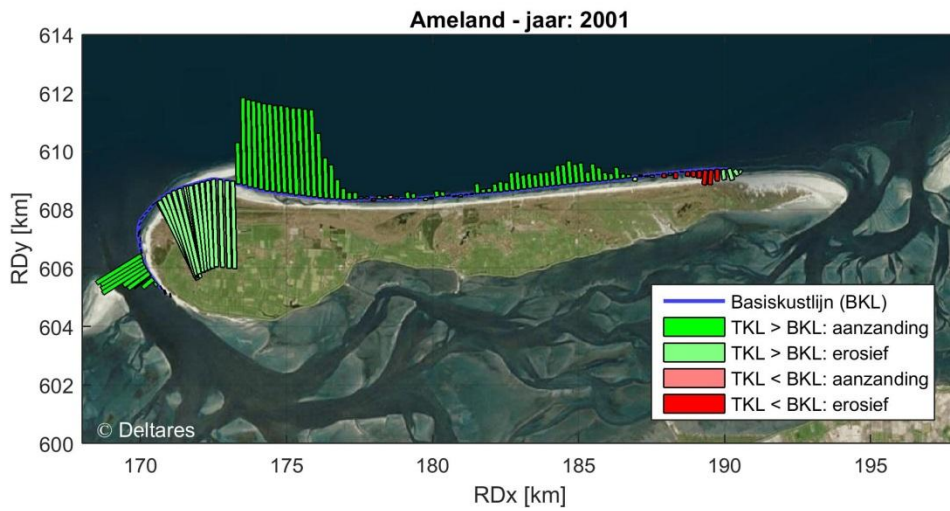
Begrippenlijst dynamiek zeereep	
Dynamiek	Dynamiek van stuivend zand, overstuiving (depositie) al dan niet gecombineerd met winderosie.
Aanstuiving	Overstuiving nabij de duinvoet, dus aan de voorzijde van de zeereep, waardoor de zeereep zich zeewaarts uitbreidt. In het verleden vaak gestuurd door stuifschermen.
Opstuiving	Overstuiving van de zeereeptop, waardoor deze in hoogte toeneemt.
Gekerfde zeereep	Een grillig gevormde (vaak grotendeels natuurlijke) zeereep waar het reliëf zowel door overstuiving als door winderosie wordt gevormd.
Stuifkuil	Duidelijk geïsoleerde, schotelvormige winderosievorm.
Kerf	Winderosievorm in de zeereep die een opening heeft naar het strand.

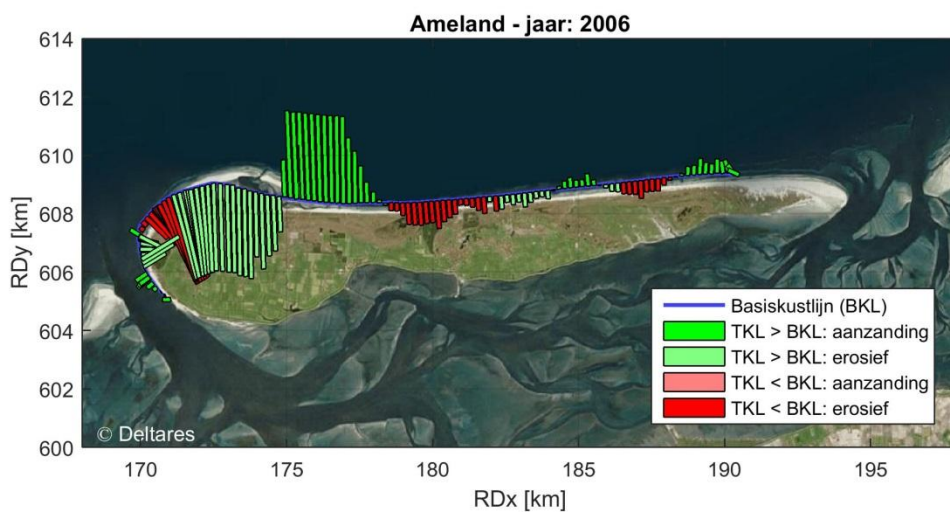
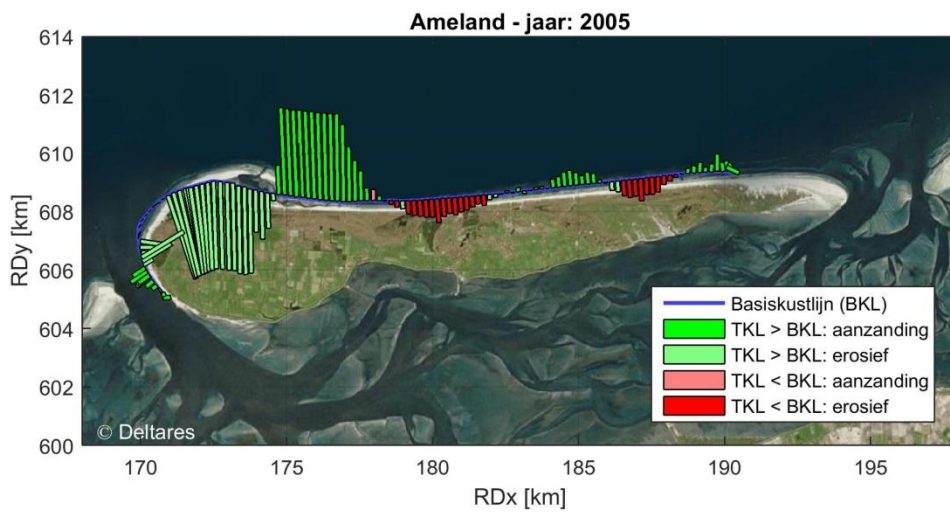
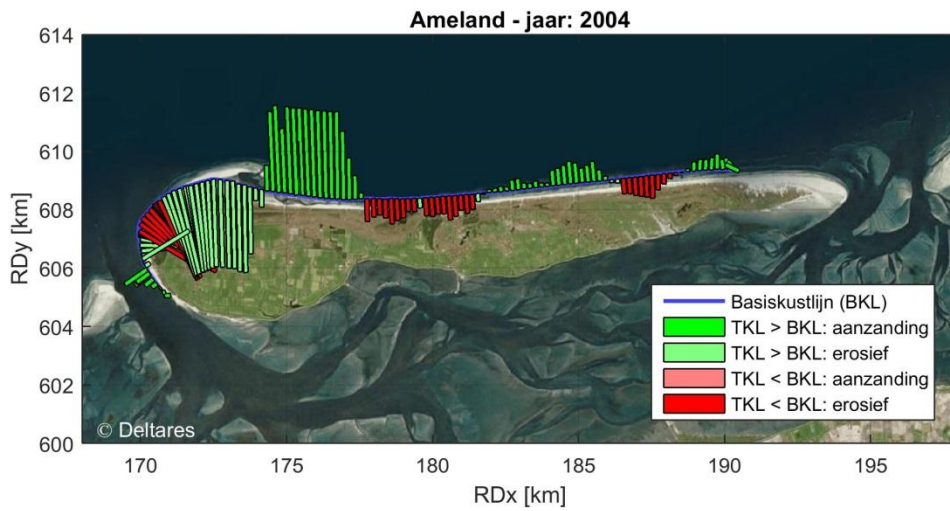
C Ontwikkeling kustlijnindicatoren TKL-BKL Ameland

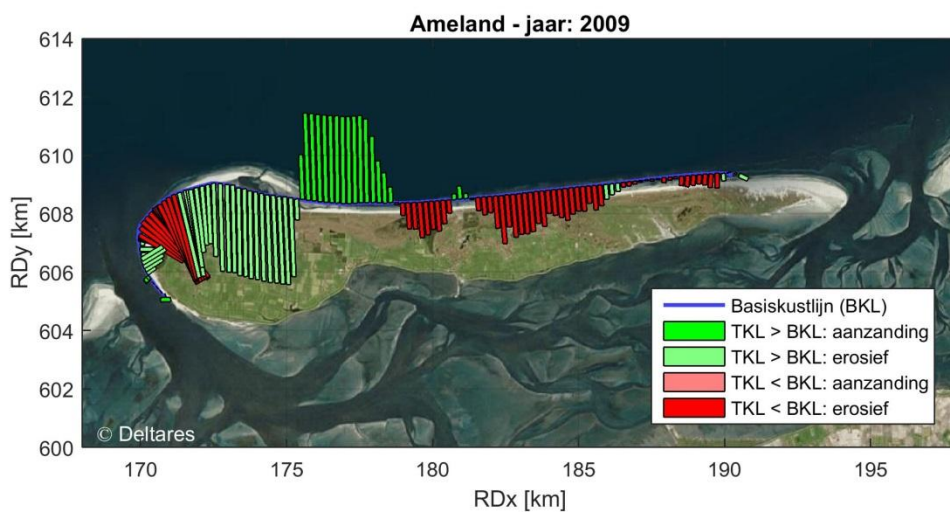
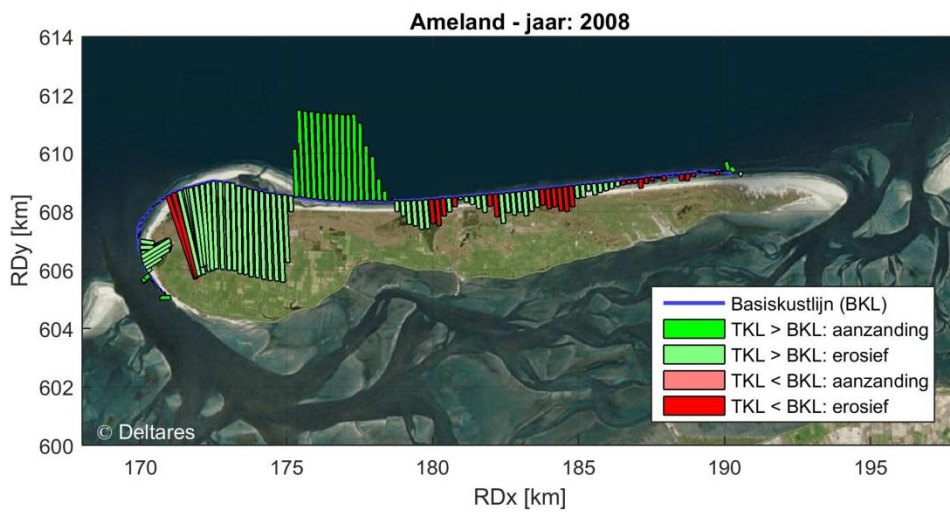
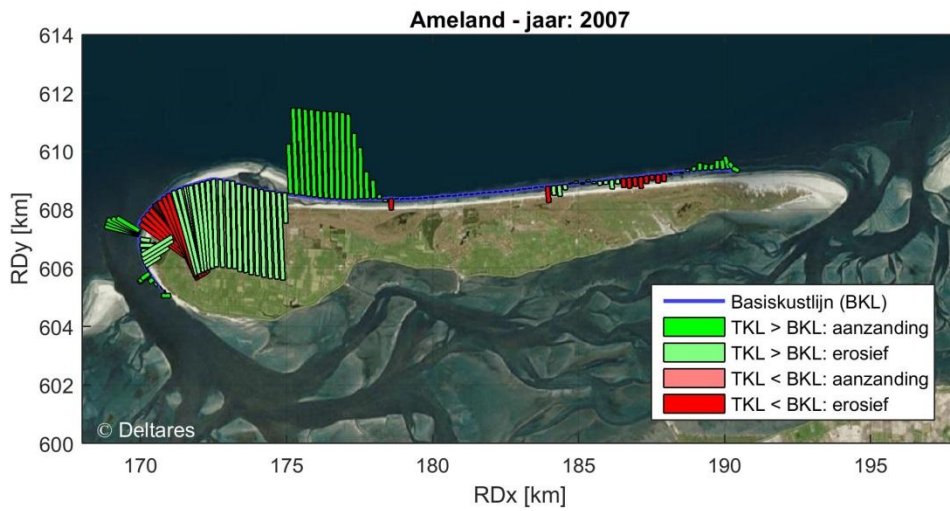


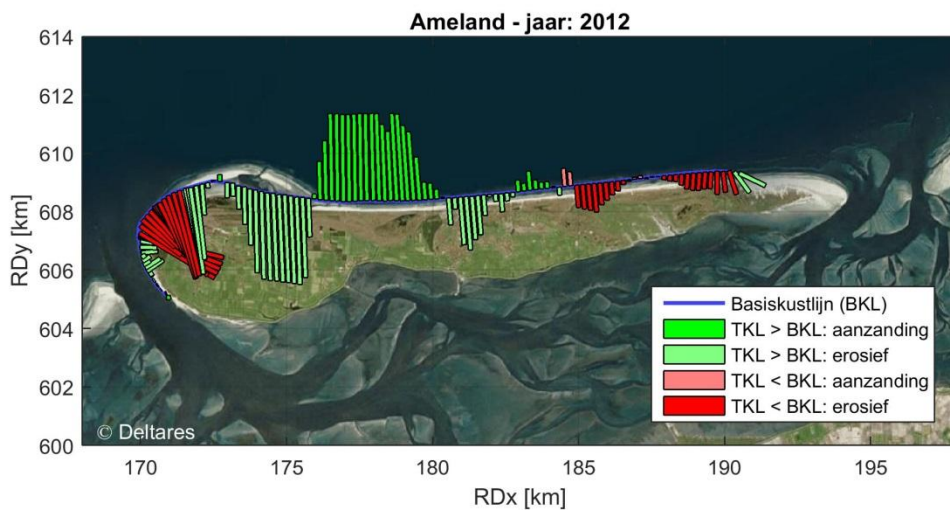
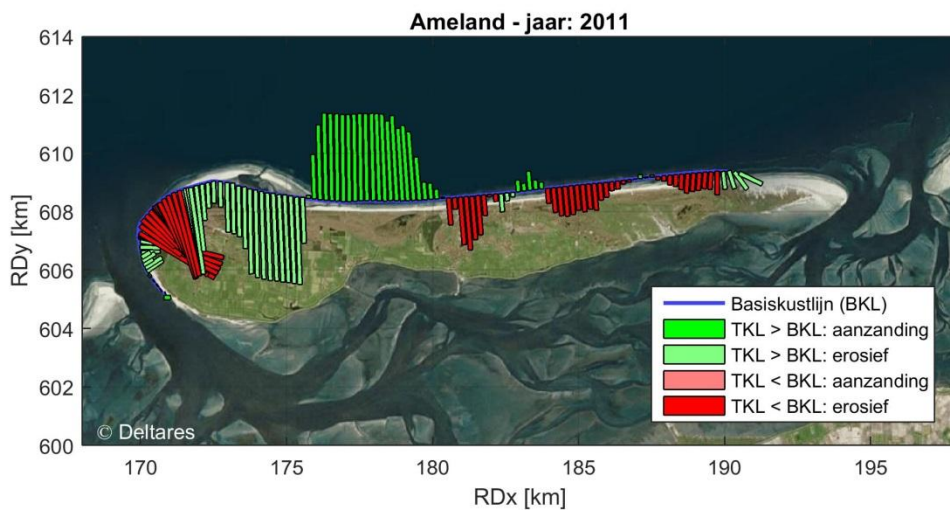
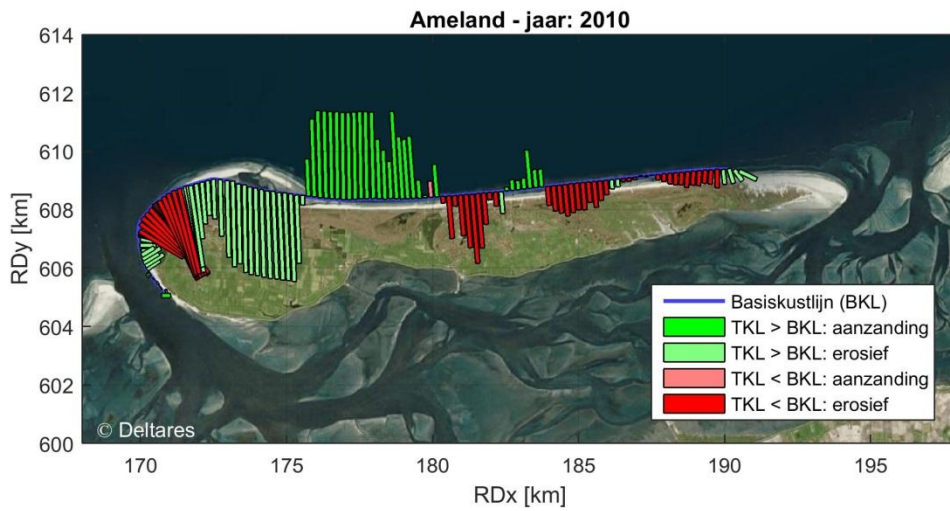


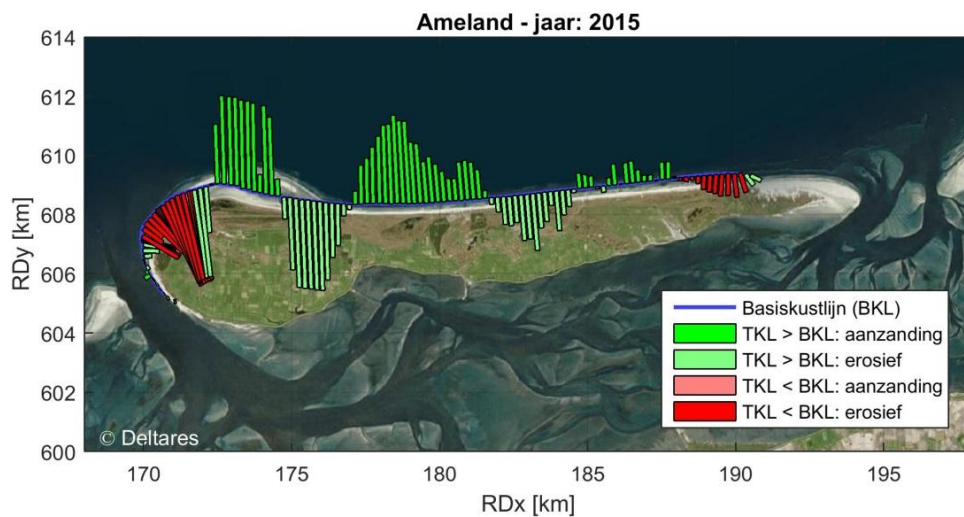
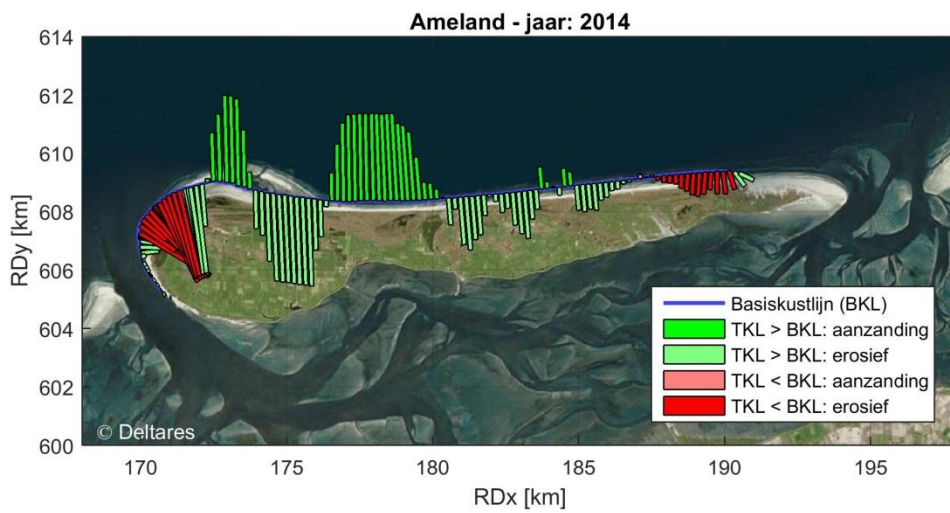
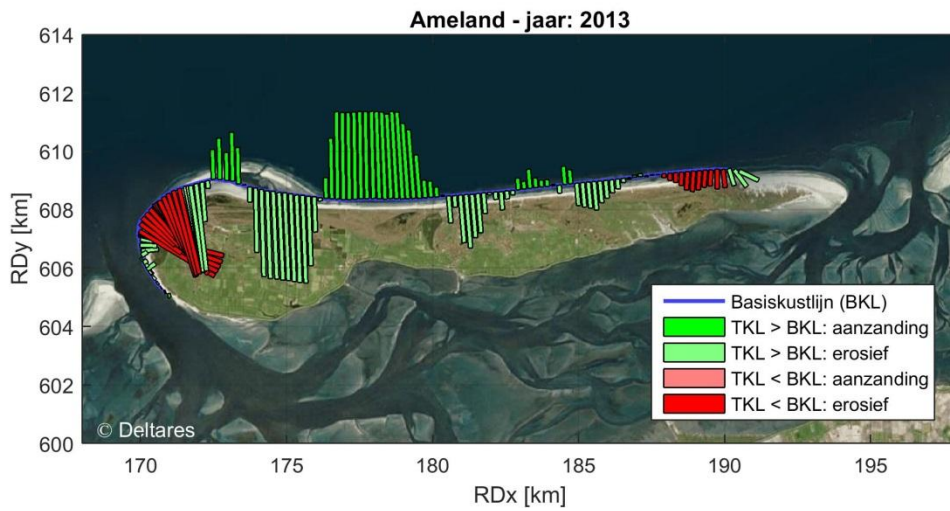


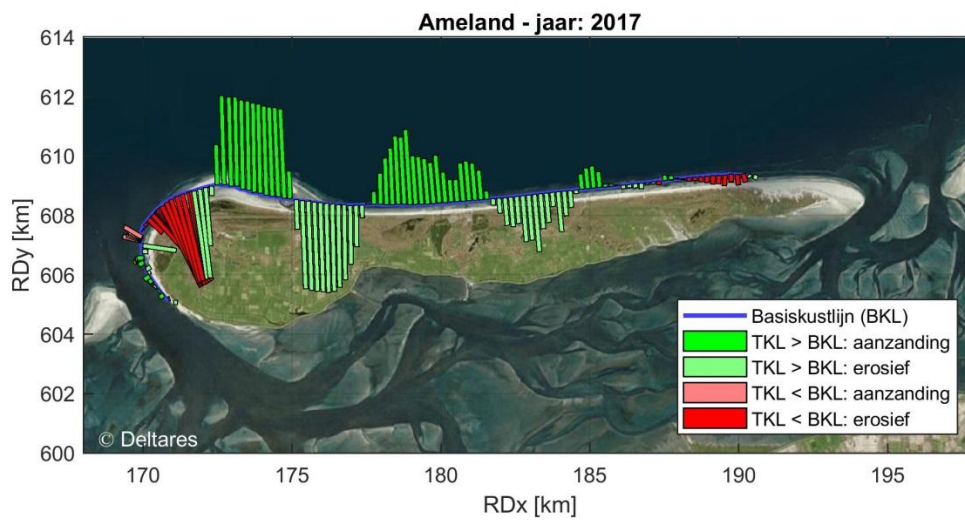
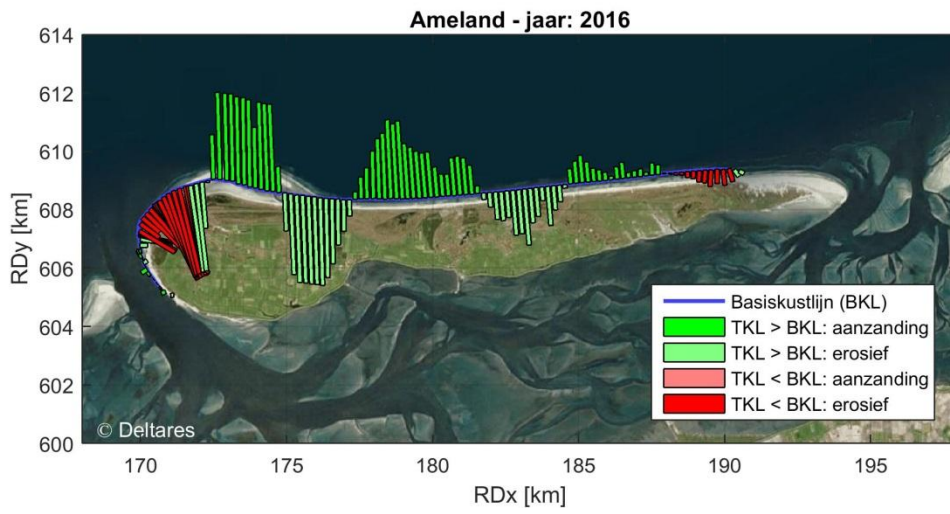












D Beschrijving duinsituatie 1988 en 2011 per deelgebied

De locaties van de deelgebieden zijn af te lezen aan de hand van de raainummers in Figuur 4.26.

De aangegeven responstypen zijn:

- 1: geen dynamiek
- 2: dynamiek in embryonale duinen vóór zeereep
- 3: beperkte dynamiek, voorzijde zeereep
- 4: dynamische zeereep, beperkte doorstuiving
- 5: zeer dynamische of gekerfde zeereep, forse doorstuiving

D.1 RSP 47.20 – 2.40

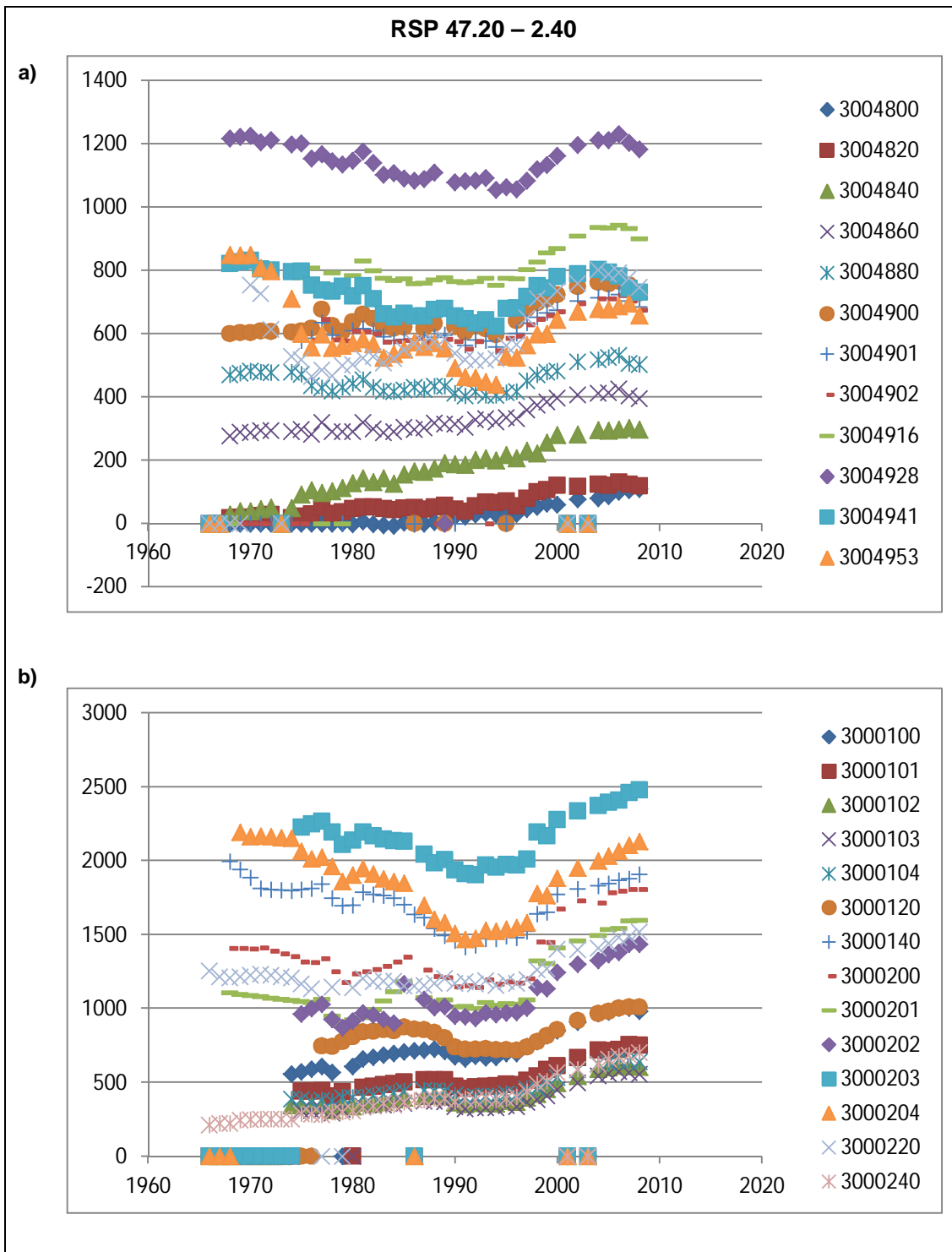
1988

Ten gevolge van verplaatsing van de voor de kust liggende getijdegeul vindt sterke duinafslag plaats. Het beheer bestaat uit zandsuppleties, strandhoofden, stenendammen, stuifschermen, aanplant, egalisaties en herprofilering. Het beheer is zo intensief dat de zeereepvorm hier sterk door beïnvloed wordt. Tussen 1.20 en 2.20 is de zeereep geheel kaal (opname d.d. 14-4-88).

2011

De duinvoet is stabiel of uitbouwend, tegen de zeereep vindt forse overstuiving plaats, waardoor deze hoger wordt. Sinds halverwege de jaren 1990 neemt het volume toe. Op de kop is dit beperkt tot enkele m³, tussen raai 1.00 en 2.40 neemt dit toe tot 17-35 m³/m.jaar sinds 1998. Er is diverse malen gesuppleerd.

Respons type 4, dynamische zeereep, beperkte doorstuiving.



Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 47.2 – 49.5 (a) en RSP 1.0 – 2.4 (b), zie legenda (nummering in legenda gebaseerd op de JarKus raainummering, bestaande uit kustvaknummer 3, gevolgd door enkele nullen en de RSP locatie in decameters).

D.2 RSP 2.40 – 9.20 / 8.20

1988

Tussen west en midden bevindt zich een brede strandvlakte met een zeereep die zich zeewaarts uitbreidt: lage scherpe ruggen met duidelijke accumulatievormen, vergelijkbaar met de primaire duinruggen op Schiermonnikoog. Er vindt sterke aanstuiving en depositie achter stuifschermen plaats. In de zeereep vindt overstuiving plaats, vaak ook op de landwaartse helling. Het beheer beperkt zich tot het plaatsen van stuifschermen en het reguleren van overstuiving. Winderosie lijkt nauwelijks voor te komen. In de zeereep bevindt zich op twee plaatsen een opening (slufter).

2011

Dit stuk wordt voor de situatie in 2011 in twee stukken verdeeld: 2.40-5.00, 5.00-8.20. Vanaf 8.20 tot 9.20 werd in 1988 bij dit deelgebied beschouwt maar heeft recentelijk een duidelijk andere ontwikkeling. Het eerste stuk, 2.40-5.00 heeft een dynamische en aanstuwende zeereep, die hoger en breder wordt. Het volume neemt gestaag toe, maar sinds de periode 1990-2000 is de toename sterker dan daarvoor. De toename is in raai 3.60 het meest extreem, met een aanwas van meer dan $26\text{m}^3/\text{m.jaar}$. Er is geen sprake van winderosie in de zeereep. De sluffers (meer kerven) zijn nog steeds open, maar ook hierdoor stuift nauwelijks zand naar binnen toe.

In het tweede stuk, 5.00 tot 8.20, is de zeereep weinig of niet dynamisch, als gevolg van groenstrandontwikkeling. Plaatselijk is er sprake van embryonale duinontwikkeling op het strand. Tussen 6.80 en 8.00 is de duinvoet door erosie door een opdringende geul landwaarts verplaatst. In het verleden was er sprake van een volumetoename, maar vanaf circa 2000 is dit gestagneerd. Tussen 3.40 en 6.60 is nooit gesuppleerd. In de overige stukken is diverse malen gesuppleerd.

Respons typen:

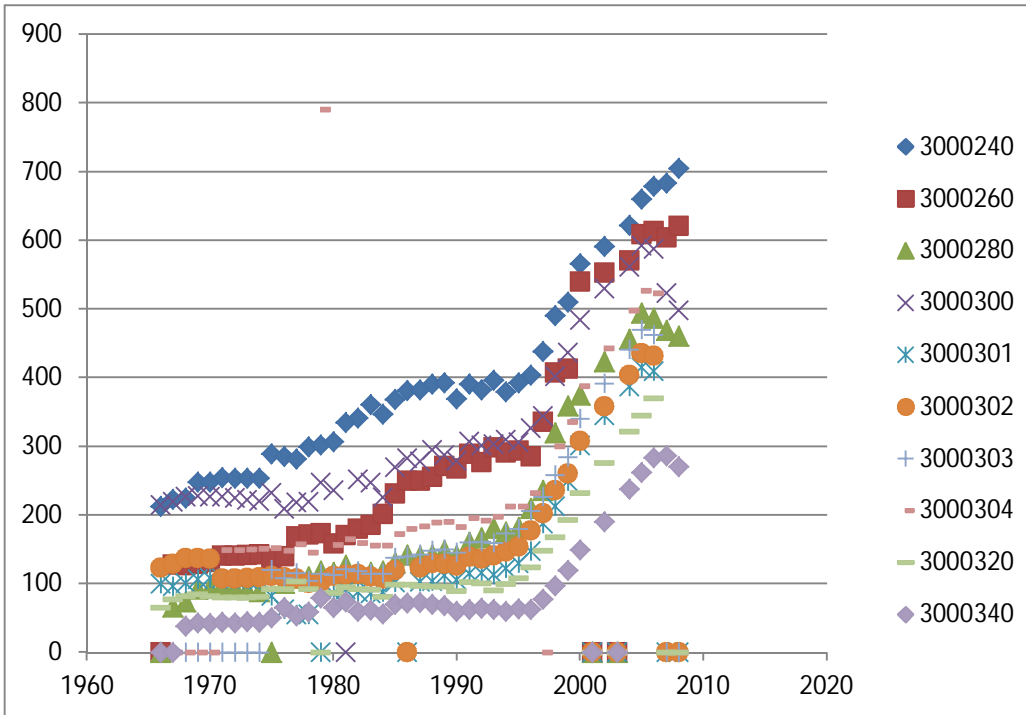
RSP 2.40 -5.00: type 4, dynamische zeereep, beperkte doorstuiving

RSP 5.40-7.60: typen 1 (geen dynamiek), 2 (dynamiek en embryonale duinen vóór zeereep) en 3 (beperkte dynamiek, voorzijde zeereep)

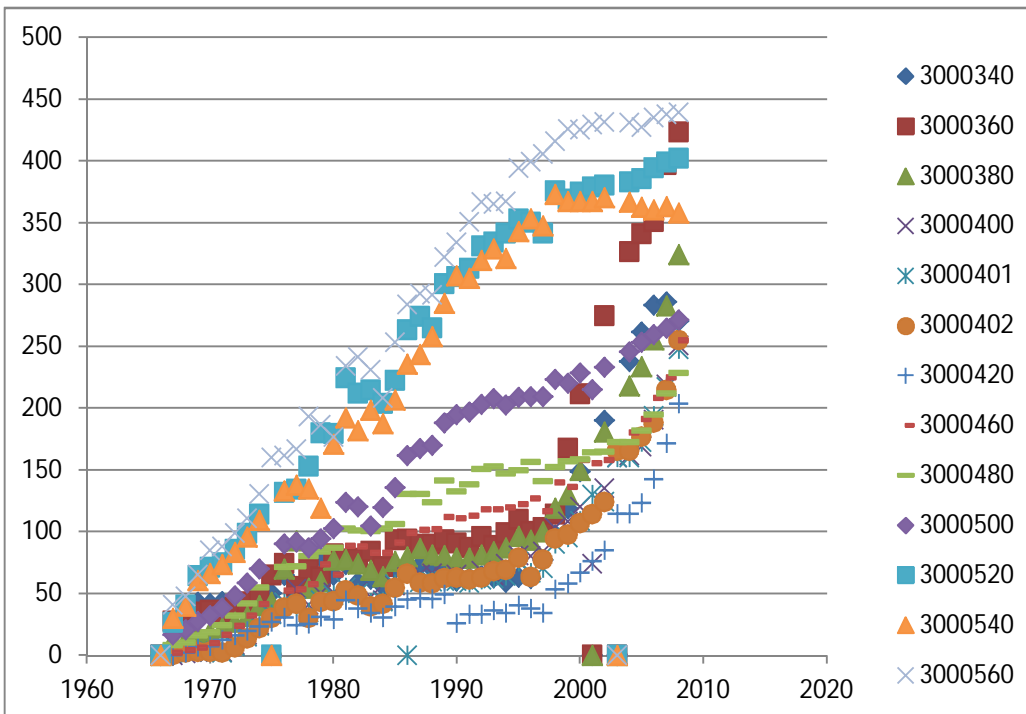
RSP 8.20 – oostwaarts: type 4

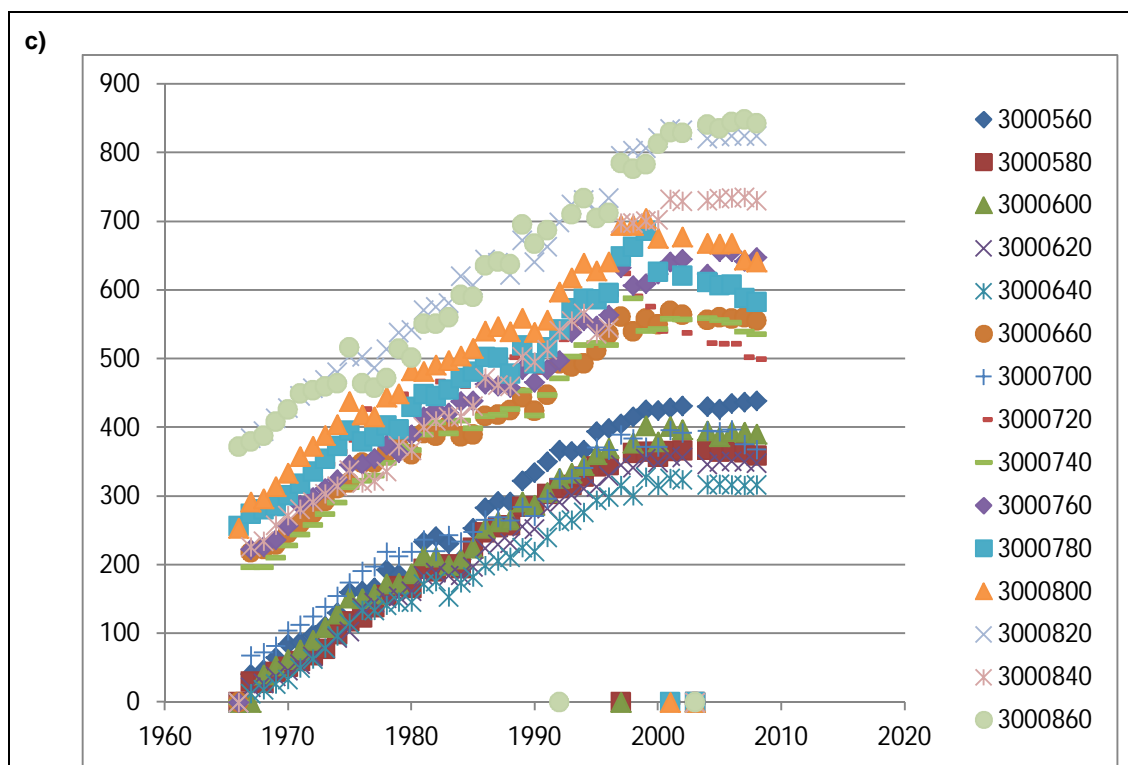
RSP 2.40 – 9.20 / 8.20

a)



b)





Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 2.40-3.40 (a), RSP 3.40-5.60 (b) en 5.60-8.60 (c), zie legenda (nummering in legenda gebaseerd op de JarKus raainummering, bestaande uit kustvaknummer 3, gevolgd door enkele nullen en de RSP locatie in decameters).

D.3 RSP 8.20/9.20 – 16.00

1988

Het centrale deel van Ameland is onderhevig aan sterke afslag. Door middel van suppleties wordt dit tegengegaan. De suppleties zijn hier in de vorm van een verzanding aan de zeewaartse kant van de zeereep uitgevoerd. De zeereep is dus eigenlijk kunstmatig, en kent een geringe natuurlijke ontwikkeling.

2011

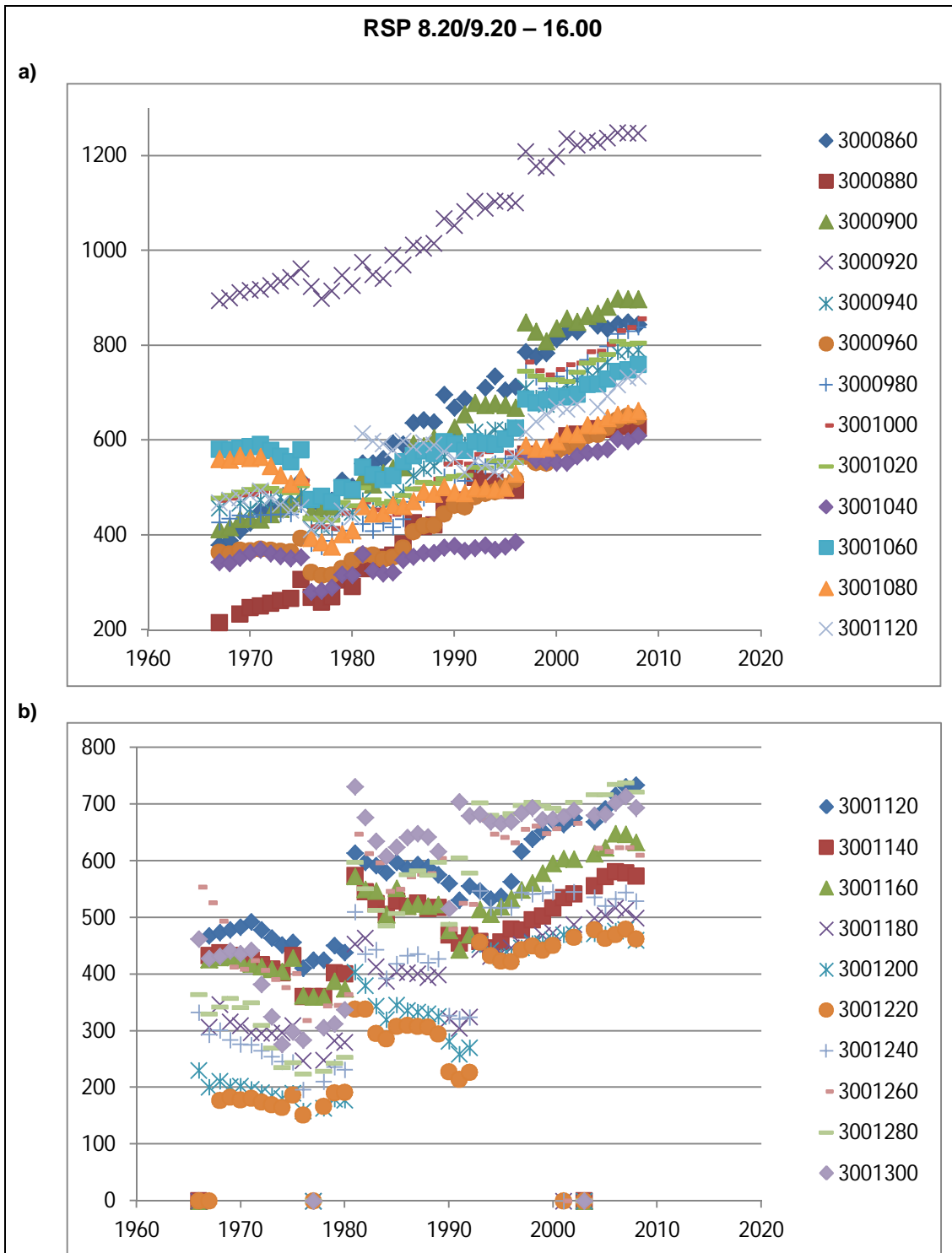
Dit stuk wordt voor de situatie in 2011 in twee stukken verdeeld: 8.20-11.60 en 11.60-16.00. Het eerste stuk kent een matig dynamische zeereep, met overwegend aanstuiving (sporadisch zijn er sporen van winderosie) en een enigszins terugtrekkende duinvoet door erosie op het hoge strand. Het volume van de zeereep neemt toe, circa $10m^3/m.jaar$. Vele malen gesuppleerd.

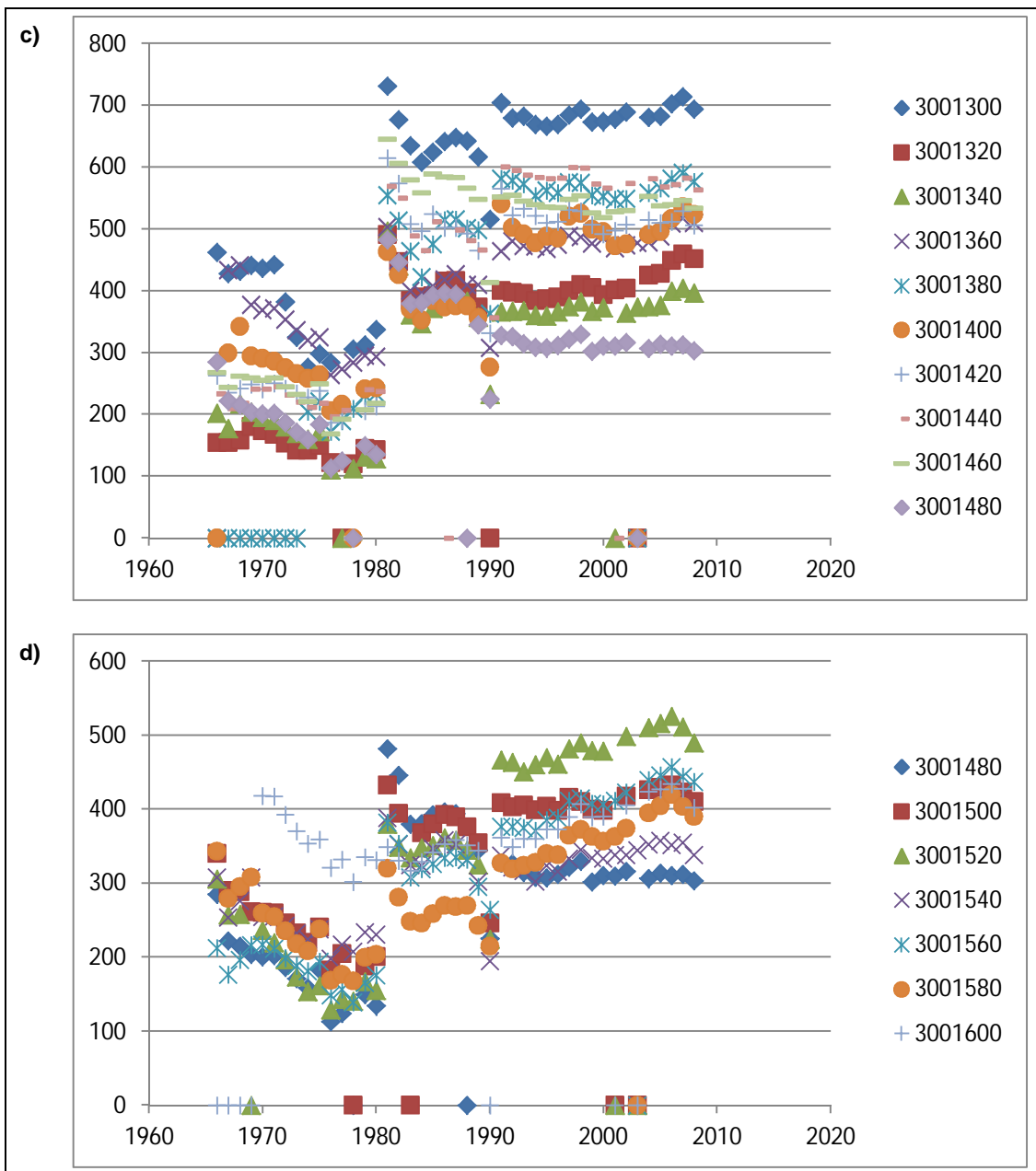
In het tweede stuk zijn mechanisch kleine kerven aangebracht om meer doorstuiving door de zeereep te forceren. Er vindt beperkte aanstuiving plaats. Op het hoge strand, net voor de duinvoet, vindt afwisselend erosie en depositie plaats. De laatste 10 jaar is er sprake van een geringe volumetoename, $5m^3/m.jaar$ tot km 12. Ten oosten daarvan is het volume momenteel stabiel. De mate van natuurlijkheid is door overstuiving toegenomen ten opzichte van 1988, maar het geheel oogt nog vrij kunstmatig.

Respons type:

RSP 8.20-11.60: type 4 (dynamische zeereep, beperkte doorstuiving)

RSP 11.60-16.00: type en 3 (beperkte dynamiek, voorzijde zeereep) en 4.





Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 8.60-11.2 (a), RSP 11.2-13.0 (b), RSP 13.0-14.8 (c), RSP 14.8 – 16.0 (d), zie legenda (nummering in legenda gebaseerd op de JarKus raainummering, bestaande uit kustvaknummer 3, gevolgd door enkele nullen en de RSP locatie in decimeters).

D.4 RSP 16.00-17.80

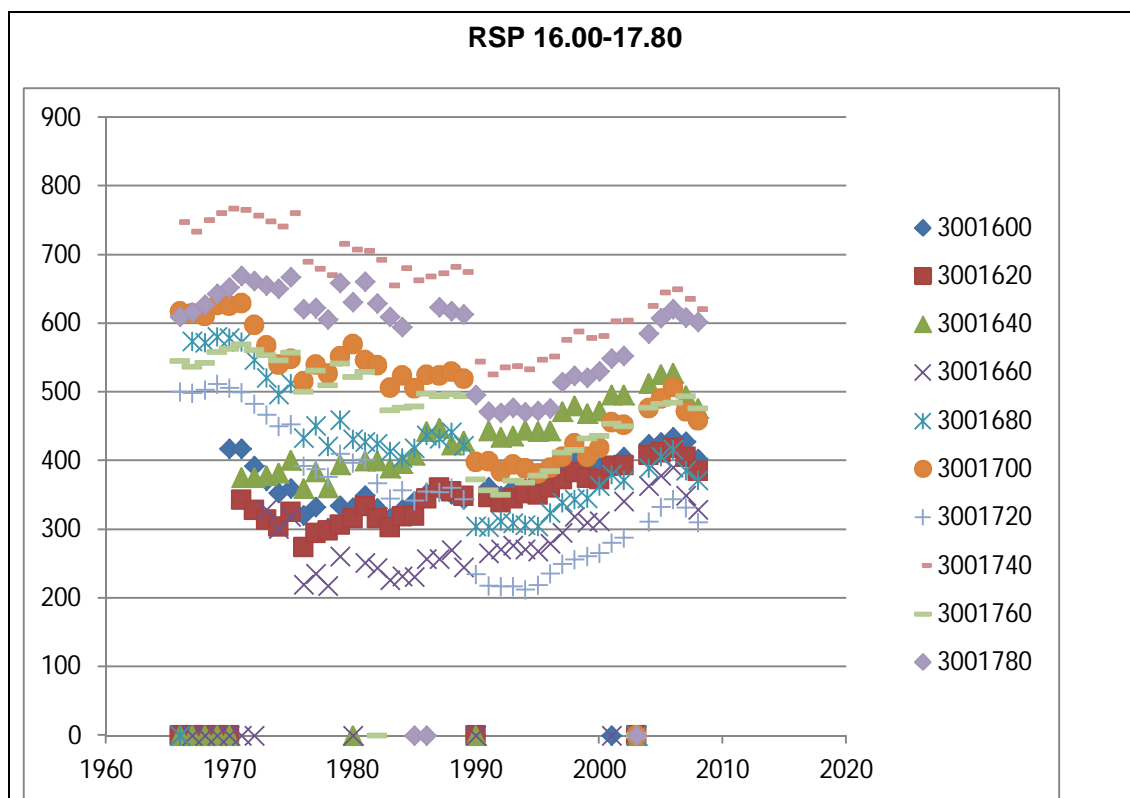
1988

Zeereep met geringe achteruitgang. Met behulp van stuifschermen is voor de zeereep een duidelijke aanstuifzone gecreëerd. In de zeereep vindt overstuiving plaats, hierdoor neemt de hoogte geleidelijk toe. Bij 16.40 bevinden zich blow-outs in de zeereep.

2011

De duinvoet is nu stabiel of licht uitbreidend. Naar het oosten neemt de mate van aanstuiving toe en zijn er ook meer verschijnselen van winderosie (kleine kerven en blow-outs). De zeereep neemt in hoogte toe, meeste aanstuiving is op de top. De volumetoename is gestart rond 1990, daarvoor nam het volume geleidelijk af. De toename is circa 0-10m³/m.jaar. Er is diverse malen gesuppleerd.

Respons type 4 (dynamische zeereep, beperkte doorstuiving).



Volume (m³) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 16.00 – 17.80, zie legenda (nummering in legenda gebaseerd op de JarKus raainummering, bestaande uit kustvaknummer 3, gevolgd door enkele nullen en de RSP locatie in decimeters).

D.5 RSP 17.80-23.20

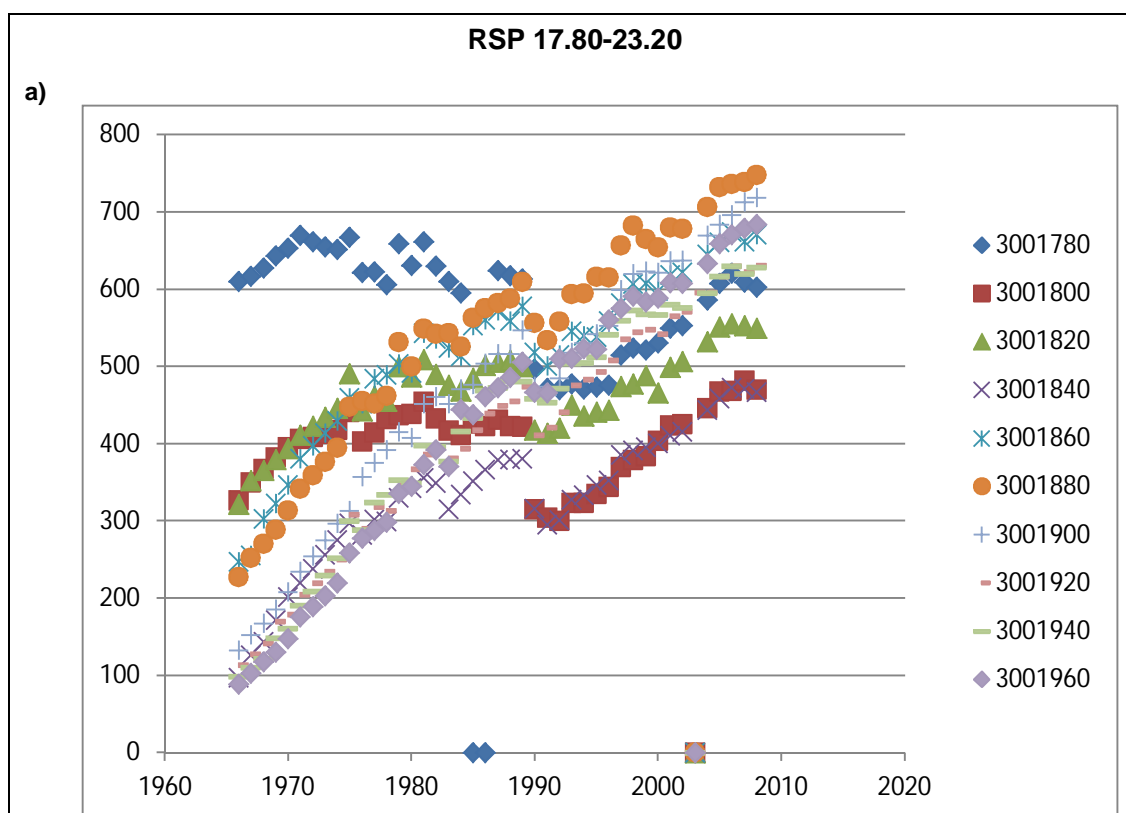
1988

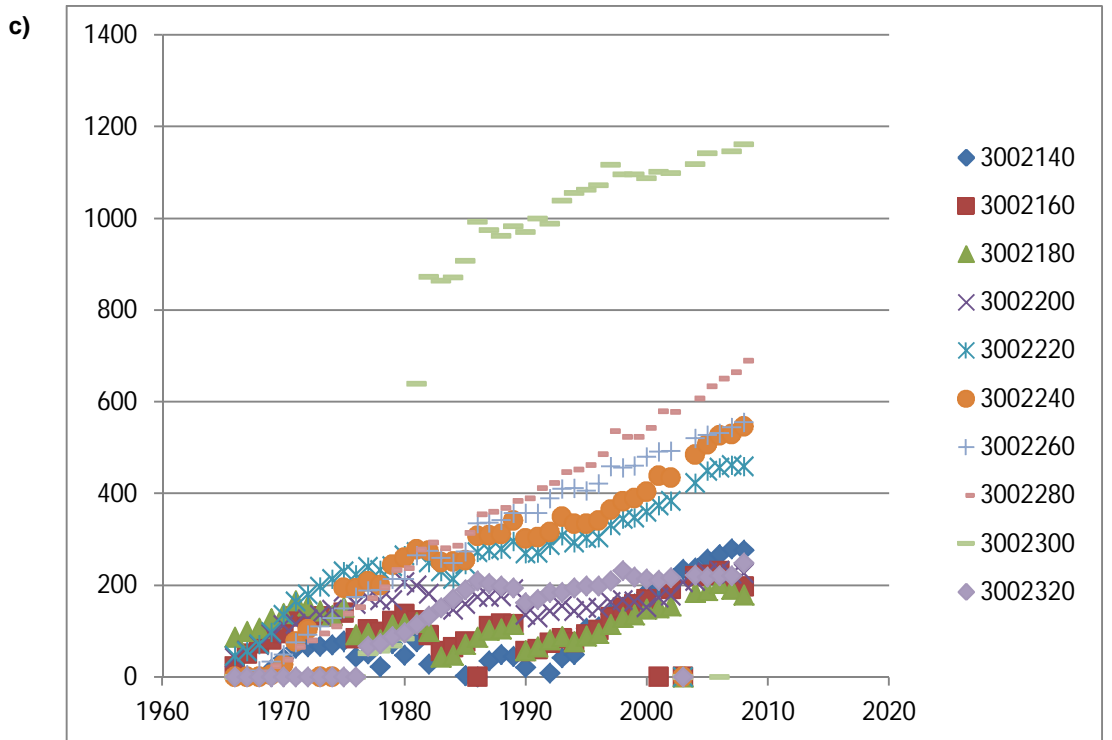
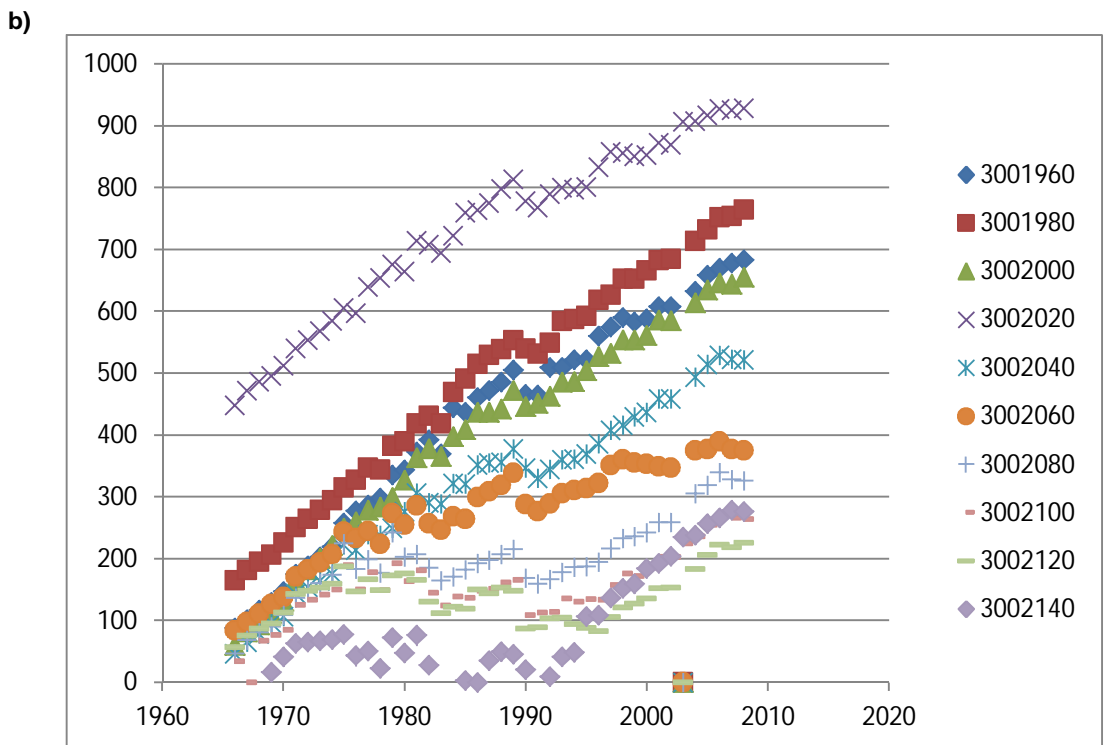
Naar het oosten toe eerst aangroei tot 21.20 en vanaf 22.40, met sterke accumulatie tegen de duinvoet en de zeewaartse helling. Slechts plaatselijk zijn verschijnselen van winderosie waarneembaar. Het beheer beperkt zich tot het plaatsen van stuifschermen en het reguleren van overstuiving. Tussen 21.20 en 22.40 geringe achteruitgang. Accumulatie vindt hier op de top van de zeereep plaats, waardoor deze in hoogte toeneemt. Ook hier lijkt het beheer zich te beperken tot het plaatsen van stuifschermen. Raai 23.00 is verstoord door het aanleggen van een zanddijk om de gaswinlocatie heen.

2011

De duinvoet is stabiel of licht uitbouwend. De zeereep stuift flink aan, met vooral een toename van de hoogte. De voorzijde oogt zeer dynamisch en natuurlijk. Plaatselijk zijn er verschijnselen van winderosie. Op sommige plaatsen is er sprake van een sterkere doorstuiving over de top van de zeereep. In 2012 zijn maatregelen genomen om de doorstuiving te vergroten. Enkele kleine stuifkuilen zijn aangebracht, enkele kleine en één grotere kerf zijn gegraven. De volumetoename was in het verleden groter en ligt nu rond de 10 m³/m.jaar. De grote toename in raai 23.00 rondom 1980 is waarschijnlijk onjuist (als gevolg van de landwaartse begrenzing JarKusdata). Vanaf 21.20 naar het oosten is nooit gesuppleerd.

Respons type 4 (dynamische zeereep, beperkte doorstuiving) en 5 (zeer dynamische of gekerfde zeereep, forse doorstuiving).





Volume (m^3) boven +3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 17.8-19.6 (a), RSP 19.6-21.4 (b) en 21.4-23.3 (c), zie legenda (nummering in legenda gebaseerd op de JarKus raainummering, bestaande uit kustvaknummer 3, gevolgd door enkele nullen en de RSP locatie in decameters).

D.6 RSP 23.30-25.12

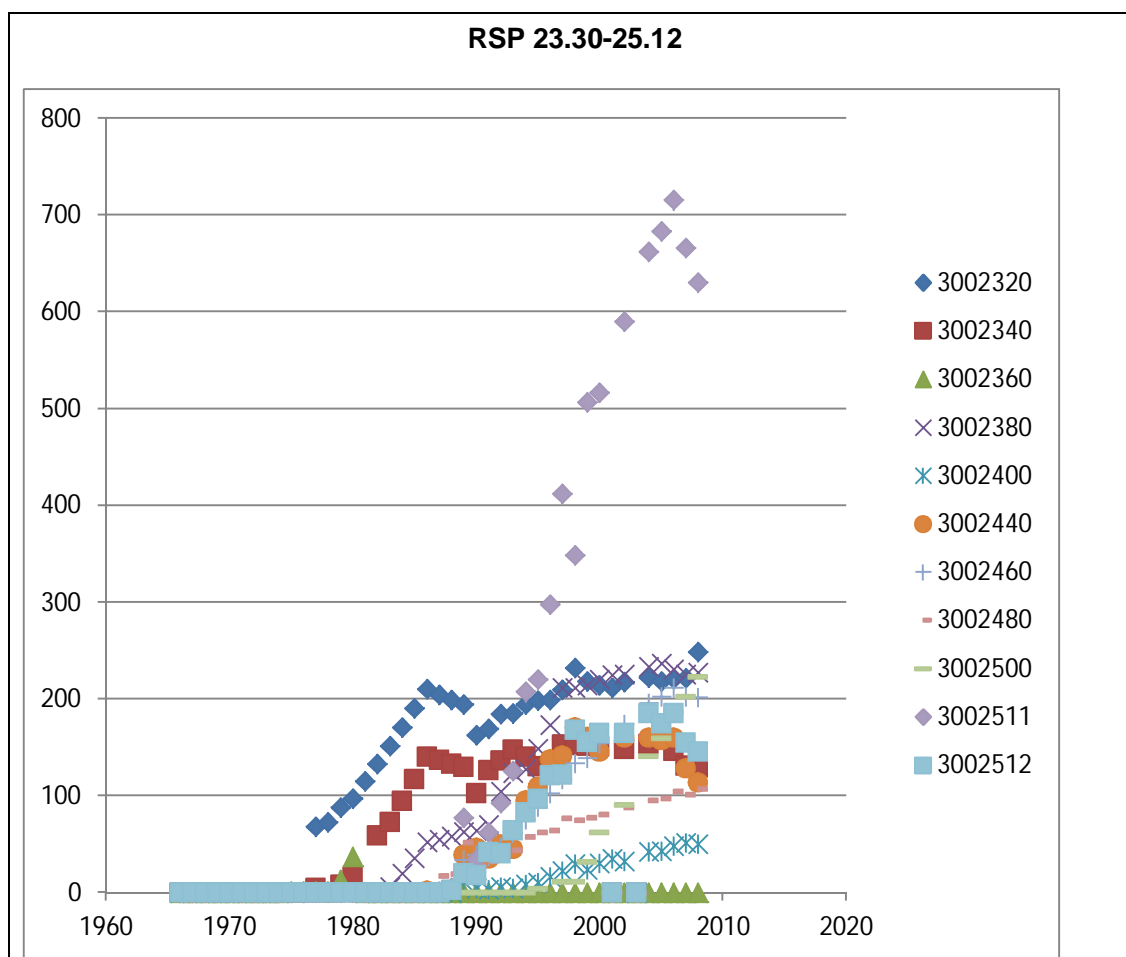
1988

De zeereep is niet gesloten en heeft een natuurlijk karakter (vergelijkbaar met de oostkant van Schiermonnikoog). Er lijkt geen beheer plaats te vinden. De zeereep is over het algemeen gekerfd. Er vindt overstuiving plaats en vorming van embryoduinen op het strand. Door accumulatie van stuifzand neemt vooral de hoogte van de zeereep toe, in geringere mate de breedte (matige aangroei).

2011

De situatie is vergelijkbaar met 1988. Door groenstrandontwikkeling is de overstuiving van de zeereep mogelijk iets afgenomen. De voorzijde erodeert over een smalle zone, hoogstwaarschijnlijk door winderosie. Veranderingen zijn het gevolg van een combinatie van wind en overwashprocessen. Volumeveranderingen wisselen per raai, en variëren van -5 tot +30m³/m.jaar. In dit deelgebied is nooit gesuppleerd.

Respons type 5 (zeer dynamische of gekerfde zeereep, forse doorstuiving).



Volume (m³) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 23.20 – 25.12, zie legenda (nummering in legenda gebaseerd op de JarKus raainummering, bestaande uit kustvaknummer 3, gevolgd door enkele nullen en de RSP locatie in decimeters).