

Beheerbibliotheek Schiermonnikoog

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



Beheerbibliotheek Schiermonnikoog

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

Albert Oost
Kees Nederhoff
Bert van der Valk
Maaïke Maarse

11202190-000

Titel
Beheerbibliotheek Schiermonnikoog

Opdrachtgever Rijkswaterstaat	Project 11202190-000	Kenmerk 11202190-000-ZKS-0007	Pagina's 87
---	--------------------------------	---	-----------------------

Trefwoorden

Beheerbibliotheek, kustvak Schiermonnikoog, 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.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2.0	aug. 2018	Albert P. Oost		Bert van der Valk		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 de beheerbibliotheek?	3
1.4 Kustviewer	4
1.5 Kustlijnkaartenboek	4
1.6 Algemene informatie betreffende kustvak 2, Schiermonnikoog	4
1.7 Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Schiermonnikoog	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 Schiermonnikoog	8
2.3 Herzieningen Basiskustlijn	8
2.3.1 Landelijke herzieningen	8
2.3.2 Regionale herzieningen voor het kustvak Schiermonnikoog	8
3 Beschrijving van het grootschalig morfologisch systeem	9
3.1 Paleogeografische ontwikkeling van de oostelijke Waddenzee	9
3.1.1 Pleistocene ontwikkeling	11
3.1.2 Subrecente ontwikkelingen	13
3.2 Algemene Gebiedsbeschrijving	16
3.3 Grootschalige morfologie	23
3.3.1 Ontwikkeling van de Zoutkamperlaag	23
3.3.2 Ontwikkeling van de Eilanderbalg	27
3.3.3 Eilandkust van Schiermonnikoog	28
4 Kustlijnhandhaving en ontwikkeling vooroever	36
4.1 Inleiding	36
4.2 Suppletieoverzicht	36
4.3 Detailontwikkeling vooroever	36
4.3.1 Eilandkop – Zoutkamperlaag (RSP 1 - 4).	37
4.3.2 De noordwestelijke eilandkop – duinboogcomplex (RSP 4 – 8)	37
4.3.3 Het voormalige overslagvlaktecomplex (RSP 8 - 15)	37
4.3.4 De oostelijke eilandstaart – Eilanderbalg (RSP 15 e.v.)	38
4.4 Dynamiek van de zeereep	38
4.4.1 Inleiding	38
4.4.2 Algemene beschrijving situatie 1988 en 2011	38
5 Beheer en Onderhoud	42
5.1 Historische ontwikkeling kustverdediging voor Waterstaat (voor ca. 1842)	42
5.2 Ontwikkeling kustverdediging tijdens de Waterstaat periode (vanaf ca. 1842)	43
5.3 Dynamische kustlijnhandhaving: regionale afspraken	45
5.4 Toetsing van de waterkering	46
5.4.1 Waterwet	46
5.4.2 Beschrijving van de Waterkering Schiermonnikoog	47

5.4.3	Toetsing waterkering Schiermonnikoog	48
6	Gebruiksfuncties	51
6.1	Recreatie Schiermonnikoog	51
6.2	Natuur Schiermonnikoog	52
6.2.1	Natuurwetgeving	52
6.2.2	Habitatkarakteristieken	52
7	Synthese	58
7.1	Systeemwerking en huidige beheer	58
7.2	Hypotheses systeemwerking	59
7.3	Aanbevelingen (verwijzend naar de bovengenoemde hypothesen)	59
8	Literatuur	60
	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	Kustlijnindicatoren van Schiermonnikoog (1992-2016)	C-1
D	Beschrijving duimsituatie 1988 en 2011 per deelgebied	D-10
D.1	RSP 1.00 – 10.00	D-10
D.2	RSP 10.4 - 16.0	D-14

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 de 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 Schiermonnikoog betreft een update (v2.0) van de eerste versie, zie Oost & Bruens (2013). 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](#).

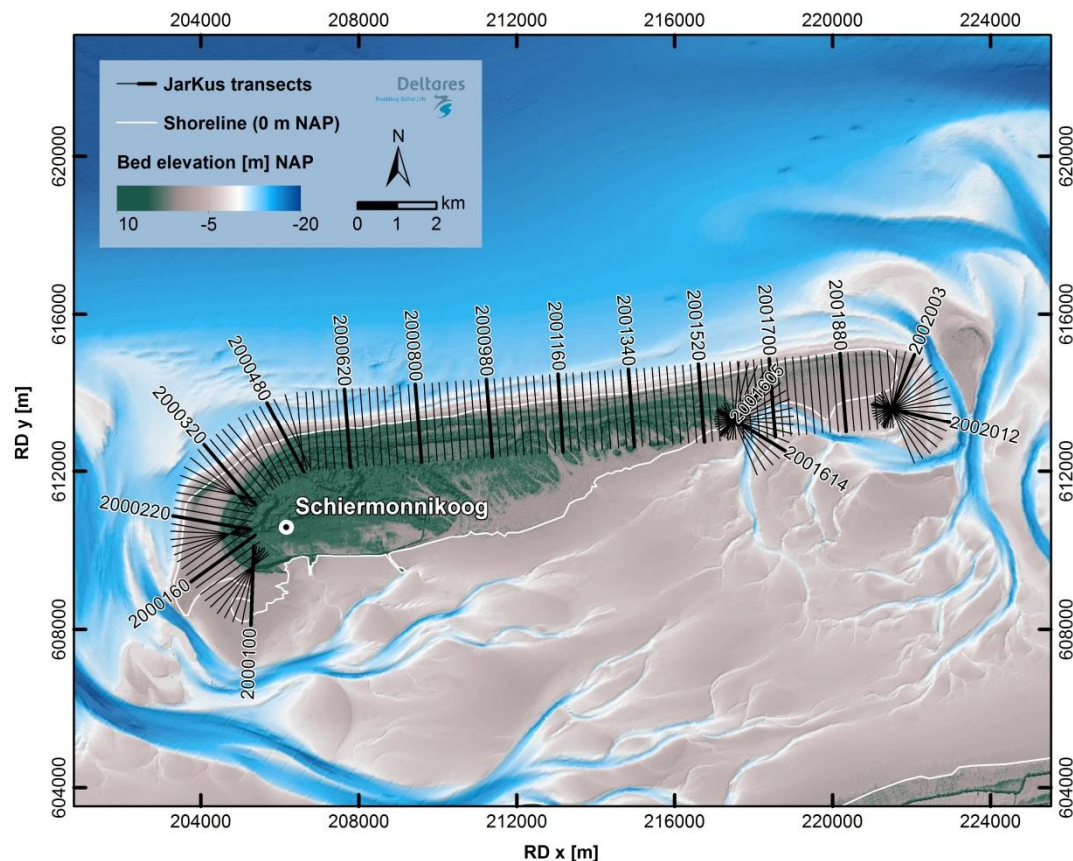
1.5 Kustlijnkaartenboek

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 2, Schiermonnikoog

Schiermonnikoog is de meest oostelijke van de rij van de bewoonde West-Friese Waddeneilanden (Figuur 1.1) Het eiland is ongeveer 18 km lang met een maximale breedte van 3 km. Het totale landoppervlak beslaat zo'n 41 km². De ruwweg 980 inwoners leven in het dorp Schiermonnikoog (ook wel Oostdorp genoemd). Schiermonnikoog is het meest natuurlijke eiland van alle Nederlandse Waddeneilanden. Het is dan ook grotendeels een Nationaal Park sinds 1989. Het beheer van het eiland viel eeuwenlang onder één beheerder, waardoor het landschap niet versnipperd is geraakt.



Figuur 1.1 Ligging van de Jarkusraaien (RSP km's) voor kustvak 2 Schiermonnikoog.

1.7 Leeswijzer voor de beheerbibliotheek Schiermonnikoog

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 en 4 wordt een beschrijving gegeven van het morfologische systeem.

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

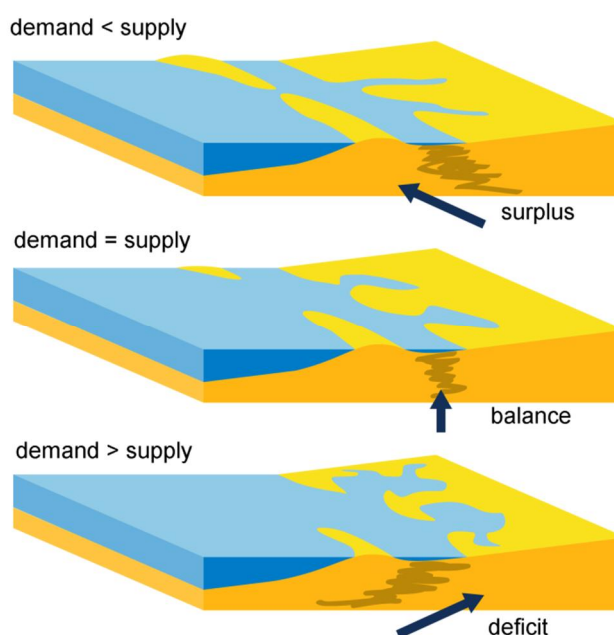
In Hoofdstuk 6 wordt een bescheiden start gemaakt met een overzicht van gebruiksfuncties van de kust. Voornamelijk betreft dit een uitwerking van de strandrecreatie en een uitwerking van de natuur en bijbehorende wetgeving en natuurbeleving. In de toekomst zou dit verder kunnen worden uitgebreid, bijvoorbeeld 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 Schiermonnikoog en in paragraaf 2.3 de landelijke herziening van de Basiskustlijn en de gevolgen hiervan voor het kustvak Schiermonnikoog. 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 suppleties. 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 Schiermonnikoog 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 KUSStmeting). 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 staat meer informatie over de Momentane Kustlijn, Te Toetsen Kustlijn en Basiskustlijn en over de landelijke vaststelling van de BKL in 1990.

- 2.2.2 Regionale afspraken voor het kustvak Schiermonnikoog
Er zijn regionale afspraken gemaakt over de BKL voor het kustvak Schiermonnikoog.

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.

- 2.3.2 Regionale herzieningen voor het kustvak Schiermonnikoog
Er zijn regionale afspraken gemaakt over de BKL voor het kustvak Schiermonnikoog.

3 Beschrijving van het grootschalig morfologisch systeem

Dit hoofdstuk beschrijft de algemene kenmerken van de kust van het vasteland van Schiermonnikoog. Paragraaf 3.1 geeft de paleogeografische ontwikkeling van de Oostelijke Waddenzee (Ameland en Schiermonnikoog). Paragraaf 3.2 geeft een overzicht van het totale gebied. In de paragrafen 3.3 wordt dieper ingegaan op de grootschalige morfologische ontwikkelingen.

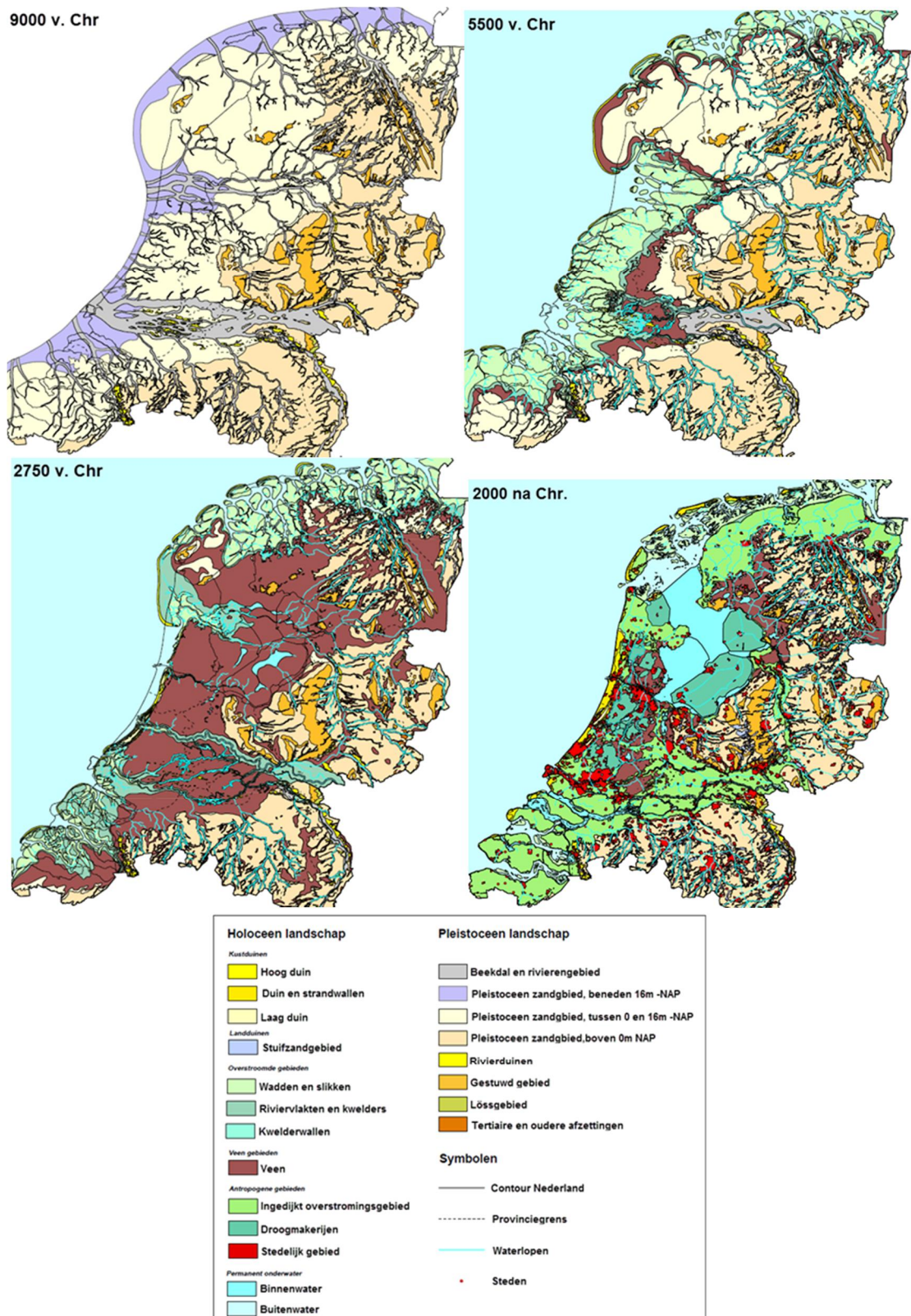
3.1 Paleogeografische ontwikkeling van de oostelijke Waddenzee

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 eb geulen 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: 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.



Figuur 3.1 Paleogeografische kaarten van Nederland (Vos en De Vries, 2013). Voor meer kaarten zie: <https://archeologiein nederland.nl/bronnen-en-kaarten/paleogeografische-kaarten>

3.1.1 Pleistocene ontwikkeling

Een eerste blik op de paleogeografische kaarten van het Waddengebied (Figuur 3.1) leert dat de vorm en ligging van het Pleistocene achterland (ruwweg al het land boven + 1 m NAP) een erg belangrijke rol speelt en zeer waarschijnlijk ook heeft gespeeld in de paleogeografische ontwikkelingen van het gebied. Aan de westzijde van de Waddenzee komen hooggelegen stuwwalresten voor (Texel, Wieringen, Gaasterland). Deze relatief hooggelegen 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, zo'n 11.000 jaar geleden, waren die ingesneden rivierdalen uiteraard de aangrijpingspunten voor de stijgende zeespiegel om het land binnen te dringen, met het Hunze- en het Eemsdal als de voornaamste (Figuur 3.1 linksboven). Het Basisveen, dat waarschijnlijk vrijwel overal heeft bestaan en de daarop afgezette oudere Holocene afzettingen, zijn bijna overal geërodeerd door de geulen, die het 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 3.1 rechtsboven).

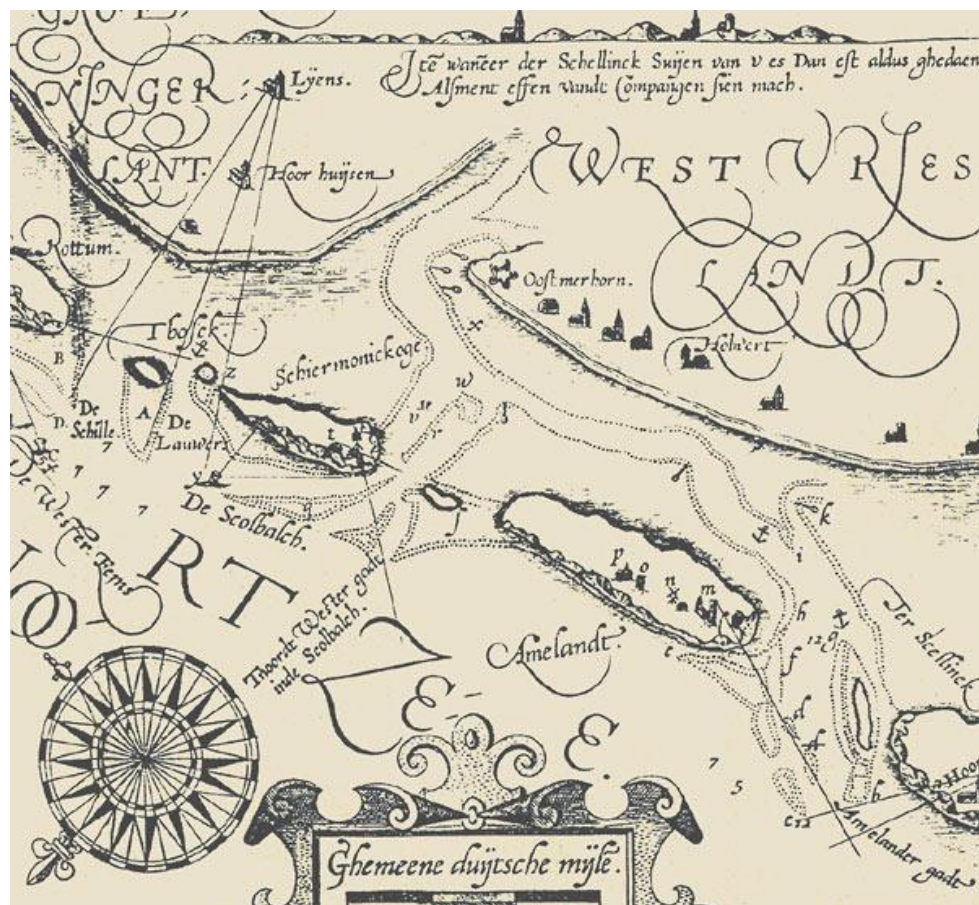
In de periode tussen de vorming van de oude en de jong getijdensystemen, ruwweg het Subboreaal (van ca. 5660 tot 2400 jaar voor heden, zie Figuur 3.1 linksonder) is veen tot ontwikkeling gekomen. Hier en daar zijn daar nog stukken van bewaard, maar de jonge geulen hebben er ook veel van opgeruimd. Verder landwaarts zijn meer voormalige veengebieden onder de jonge getijdenafzettingen bewaard. Waar de geulen van jonge getijdenafzettingen eroderend hebben gewerkt, is het erg lastig op lithologische gronden onderscheid te maken tussen oude en jonge getijdenafzettingen (van Staalduinen et al., 1977).

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

Vanaf 3000 BP kon de sedimentatie de zeespiegelstijging bijhouden en was er ook genoeg sediment om geulen die het binnenland instaken, te doen verlanden. De doorgaande langzame landwaartse migratie van de Waddeneilanden verkleinde de afstand van de Noordzeekust tot het achterland. De getijdengeulen liepen minder ver het land in en door

stagnerende waterafvoer trad veenvorming op grote schaal op, als gevolg van de afzetting van dikke pakketten kwelderklei in het zeewaartse deel van de getijdenbekkens.

De oudst bewaard gebleven delen van de eilanden Terschelling en Ameland waarvoor geologisch bewijs is verzameld, dateren uit laat-Romeinse en Vroegmiddeleeuwse periode (De Jong, 1984; Van Staalduinen et al., 1977). Opvallend is dat zeer weinig bekend is over oudere geullopen dan die uit de late Middeleeuwen, toen de eerste kaarten van kustgebieden werden gemaakt en de waterdieptes in de vaargeulen voor het eerst opgetekend werden (midden 16^e eeuw; Figuur 3.2).



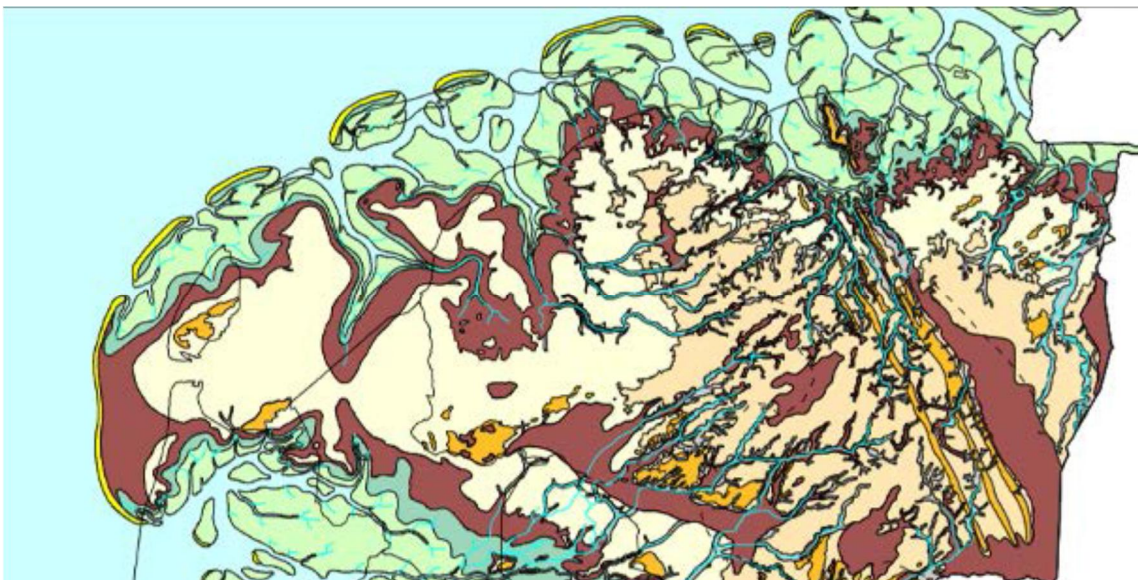
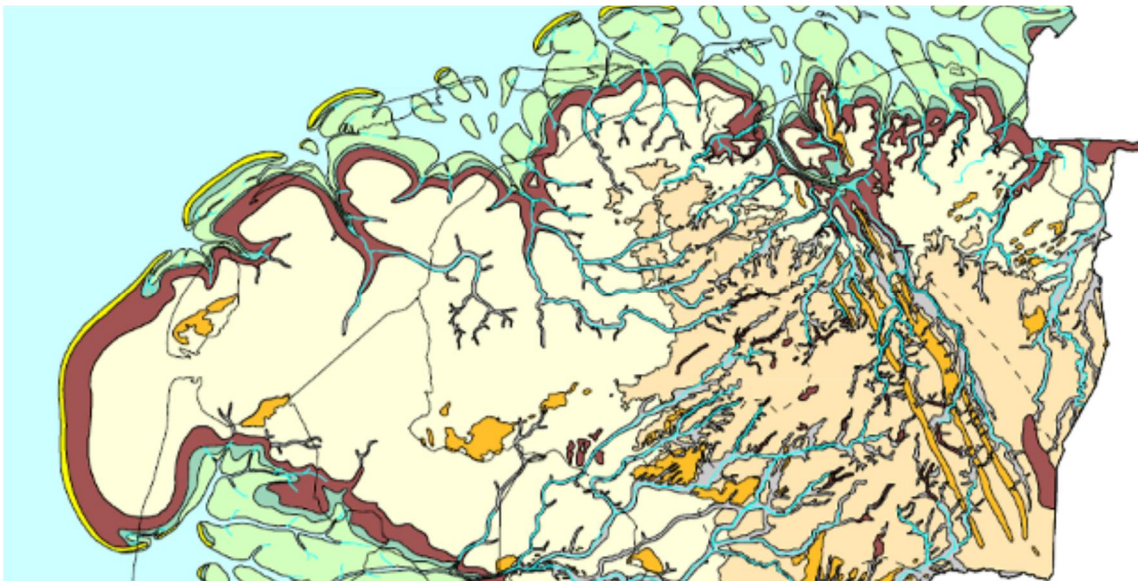
Figuur 3.2 Kaartuitsnede van de kustzone van de oostelijke Waddenzee en de randzone van de Noordzee (Haeyen, 1585) met enkele geuldieptes (in vadem). Zie ook Oost (1995), p. 138-139.

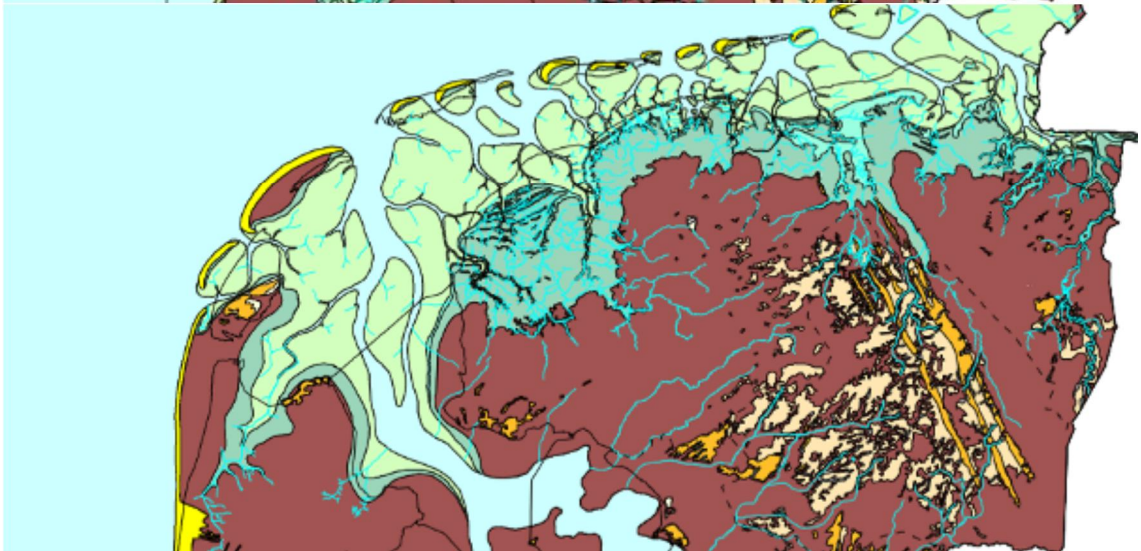
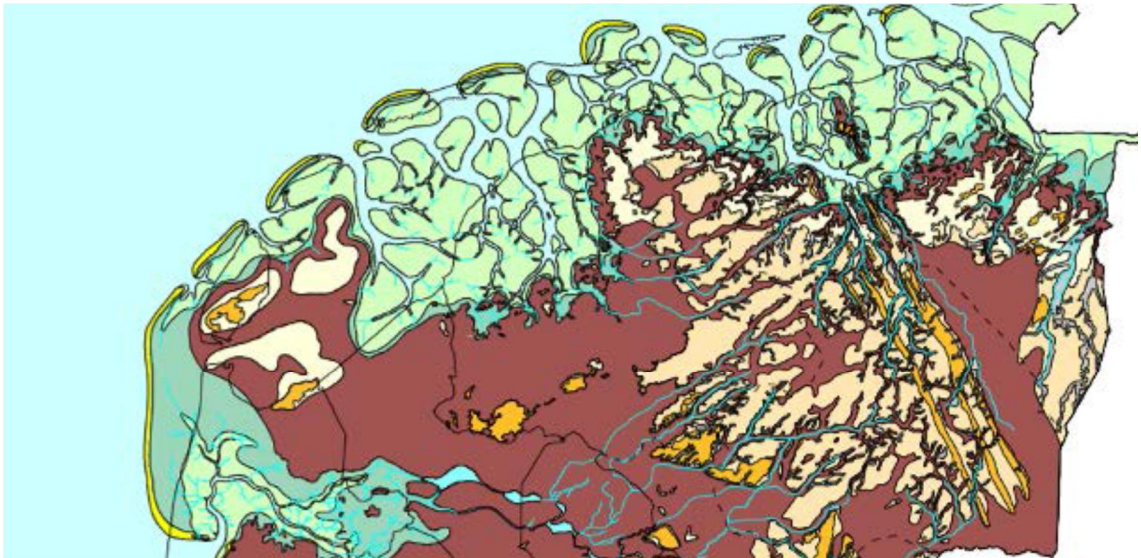
Een combinatie van doorzettende zeespiegelrijzing en aantasting van grote veenlichamen in het achterland, tegen de pleistocene zandgronden aan zorgde voor erosie en verdere doordringing van de getijdegeulen het binnenland in. Dit proces zette zich voort tot in de Vroege Middeleeuwen. De Lauwerszee is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

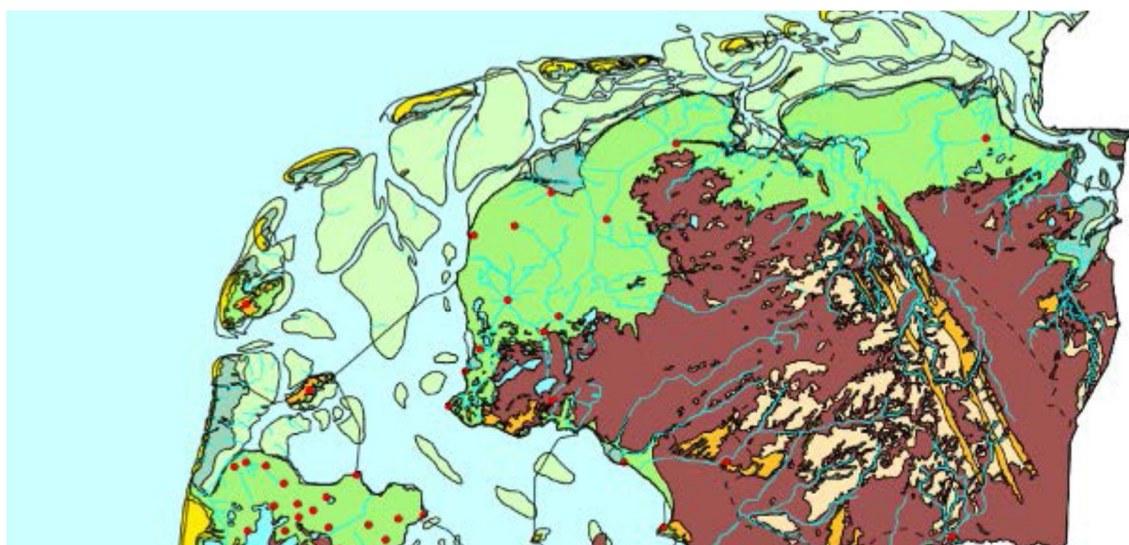
De versmalling van de oostelijke Waddenzee en de vastlegging van de kusten van de Waddeneilanden zijn twee belangrijke factoren voor de huidige situatie in dit gebied. Het is opmerkelijk, dat die processen al zo vroeg gestart zijn en nog steeds spelen. De paleogeografische situatie zet zich dus voort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

3.1.2 Subrecente ontwikkelingen

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











Holoceen landschap




Kustduinen

-  Hoog duin: Jonge Duinen, gevormd na 900 na Chr., reliëfrijk.
-  Duin en strandwallen: duingebied, voornamelijk Oude Duinen
-  Laag duin: duinvalleien tussen de strandwallen en lagere delen van het duin

Landduinen

-  Stufzand gebied: zandverstuivingen, hoofdzakelijk vanaf 1500 na Chr.

Overstroomde gebieden

-  Intergetijdengebied: wadden en slikken
-  Overstromingsvlakte: gebieden in de rivier- en kustvlakte die periodiek of incidenteel onder water lopen; riviervlakten en kwelders.
-  Kwelderwallen: relatief hoog gelegen delen binnen de kwelders.

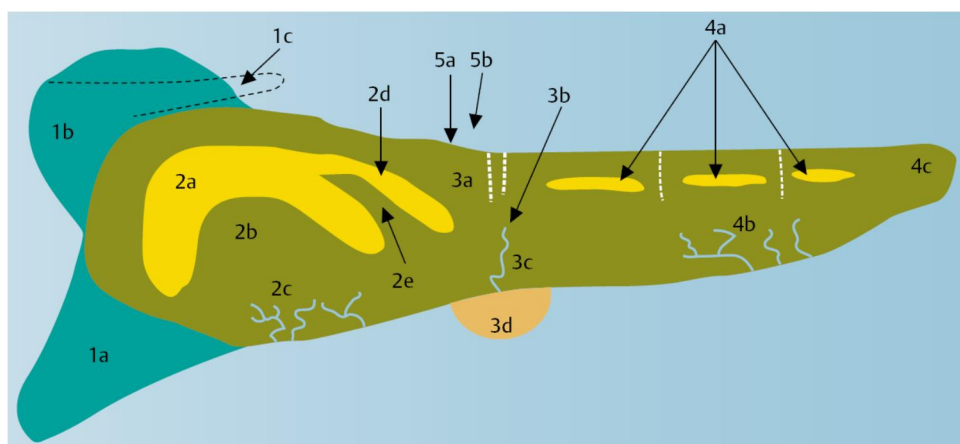
Veen gebieden

-  Veen

Figuur 3.3 Details van paleogeografische kaarten (Vos en De Vries, 2013), van boven naar beneden: 5500 BC, 3850 BC, 2750 BC, 100 AD, 800 AD, 1500 AD.

3.2 Algemene Gebiedsbeschrijving

Uit onderzoek en verkenningen bleek dat er een aantal karakteristieke topografische hoofdelementen aanwezig zijn of zijn geweest op elk Waddeneiland (Löffler et al., 2009). Deze hoofdmilieus tezamen worden weergegeven in het "modeleiland", welke de algemene natuurlijke situatie weergeeft (Figuur 3.4). Op Schiermonnikoog zijn van alle Nederlandse Waddeneilanden al deze elementen nog het beste te zien.



Figuur 3.4 Het modeleiland, waarin weergegeven de belangrijkste oorspronkelijk aanwezige elementen: 1: Eilandkop, met 1a: backbarrier plaat; 1b: buitendeltaplaat; 1c: buitendeltageul; 2: Duinboog-complex, met 2a: duinboog; 2b: ingesloten strandvlakte; 2c: kwelder; 2d: parallelle duinrij; 2e: ingesloten primaire duinvallei; 3: Overslagvlakte-complex, met 3a: doorbraakgeultjes; 3b: slenk; 3c: kwelder; 3d: deltalob; 4: Eilandstaart, met 4a: open duinkust; 4b: kwelder; 4c: kale strandvlakte van de eilandpunt; 5: Kuststrook, met 5a: strand; 5b: vooroever (Löffler et al., 2009).

De volgende elementen zijn aanwezig:

1) Eilandkop

De eilandkop vormt het westelijk uiteinde van het modeleiland. Op Schiermonnikoog strekt de kop zich uit tussen RSP 28 (ten zuidoosten van de Westerplas) en RSP 4 (ten oosten van de Badweg). De eilandkop omvat ook aanlandende zandplaten en strandhaken. Op Schiermonnikoog landt ongeveer elke 25 jaar een nieuwe zandplaat aan; variërend van 2 tot 4 decennia; Doornenbal et al., 2011). Na de afsluiting van de Lauwerszee was de hoeveelheid zand die verheelde met het eiland extra groot (Figuur 3.5). Door dit zand is het strand van Schiermonnikoog aanzienlijk aangegroeid. Voor het duin is een hoogliggend en daardoor begroeid zogeheten groen strand ontstaan dat momenteel wel 400 meter breed is en zich uitstrekt langs ongeveer tien kilometer van de kust.



Figuur 3.5 Eilandkop Schiermonnikoog kijkend naar het noorden, zicht op de Westerduinen, 2007. (foto: Rijkswaterstaat). <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt)

2) Duinboog-complex

Het duinboog-complex van Schiermonnikoog strekt zich uit van de Westerduinen tot en met de Kobbeduinen (Figuur 3.6). Bijna alle karakteristieke onderdelen, zoals duinboog, ingesloten strandvlakte en parallelle duinen (oostzijde), zijn hier nog te vinden. De polder van Schiermonnikoog bestaat grotendeels uit zand. Ze is niet ontstaan uit een kleiige kwelder zoals op de andere eilanden, maar bestaat voornamelijk uit een overstoven zandige strandvlakte. Vroeg 18^e eeuwse tekeningen en namen geven aan dat er vroeger wel een lager gelegen kweldergebied met krekens aanwezig was.



Figuur 3.6 Duinboogcomplex Schiermonnikoog kijkend naar het oosten: verloop duinboog van Westerduinen (westzijde) tot en met Kobbeduinen (oostzijde), welke de Noordzeebegrenzing vormen van het duinboogcomplex aangegeven in geel, 2010. (foto: Piet Hoekstra).

Het oostelijke deel van het eiland is onbewoond natuurgebied dat bestaat uit een:

3) (voormalig) Overslagvlakte-complex

Net ten oosten van de Kobbeduinen, een duinketen die aansluit op de oostelijke arm van het duinboogcomplex, lag vroeger een overslagvlakte-complex (Figuur 3.7). Het hele complex leek oorspronkelijk sterk op de tegenwoordige situatie van het Duitse Waddeneiland Spiekeroog. In de jaren '50 van de vorige eeuw probeerde men de overslagvlakte en het gebied oostelijk ervan te dichten met stuifdijken, maar oostelijk van de vlakte bij RSP 10.4 en RSP 11 brak de stuifdijk telkens weer door. Na aanleg van de stuifdijk raakte de voormalige strandvlakte al snel begroeid met bijzondere pioniervegetaties met veel bijzondere soorten. De vegetatie is daarna snel verouderd en veel van die soorten zijn weer achteruit gegaan of verdwenen. Op dit moment is het oude overslagvlakte-complex tussen RSP 7 en 8 niet meer actief. De hoge stuifdijk ter plekke verhindert uitwisseling van water, nutriënten en sediment tussen Noordzee en het eiland, waardoor de natuurlijke dynamiek sterk gereduceerd en veranderd is.



Figuur 3.7 Voormalig overslagvlakte-complex kijkend naar het noordwesten, met aan de Noordzeezijde de stuifdijk, Schiermonnikoog, 2011. (foto: Rijkswaterstaat). <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt).

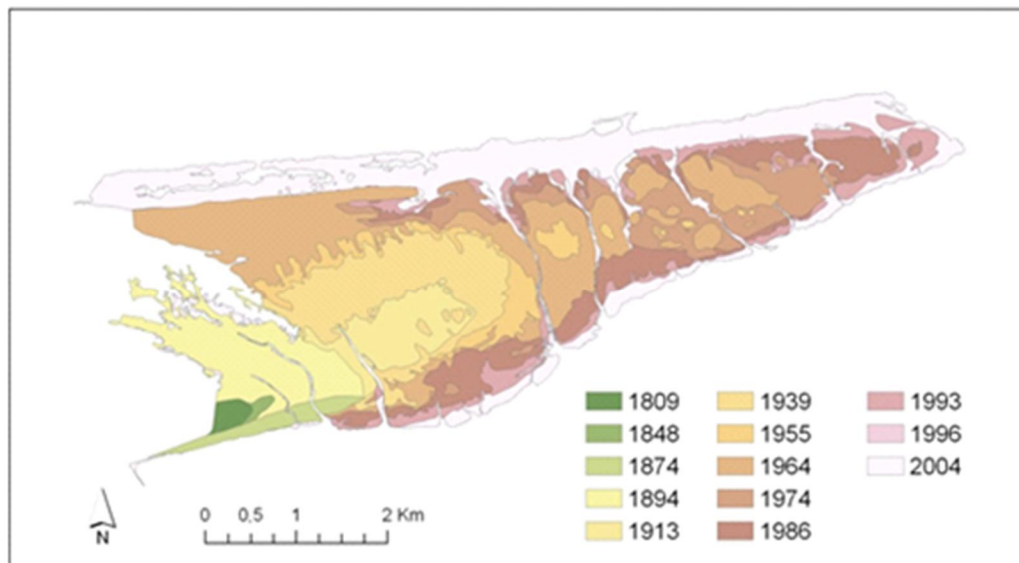
4) Eilandstaart

Ten oosten van het voormalige overslagvlakte-complex ligt de eilandstaart (Figuur 3.8). Net als op Ameland is het een staart die met de verplaatsingen van het aangrenzende zeegat meebeweegt. In het verleden verzandde het zeegat (de Eilanderbalg) meerdere malen waarbij er regelmatig zandplaten met de oostpunt van het eiland samensmolten. Dit en het kustparallele zandtransport naar het oosten zorgden ervoor dat Schiermonnikoog oostwaarts is aangegroeid. Sinds 1982 is er maar liefst drie kilometer bijgekomen. De uiterste oostpunt is een kale zandvlakte.



*Figuur 3.8 Eilandstaart, kijkend naar het oosten; Schiermonnikoog, 1982 (foto: Rijkswaterstaat).
<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt).*

Na aanleg van de stuifdijk (1954-1958) breidde de kwelder die oorspronkelijk alleen aanwezig was aan de oostzijde van de Kobbeduinen zich uit over grote delen van de oostpunt. Ten oosten van RSP 10 wordt de stuifdijk niet meer actief beheerd en hebben wind en zee vrij spel. De duinen zijn jong en dynamisch en overwegend begroeid met helm. Westelijk ervan is de stuifdijk nog grotendeels onaangetast. Dat verhindert het natuurlijk functioneren van de morfodynamiek in het gebied, met als gevolg minder snelle ophoging van dit gebied maar wel een snelle successie van de vegetatie en daardoor een sterke achteruitgang van de natuurwaarden (Löffler et al., 2009). In de luwte van de stuifdijk en de latere duinen is geleidelijk steeds meer oostwaarts een kwelder tot ontwikkeling gekomen. Op de kwelder van Schiermonnikoog ligt daardoor, gaande van west naar oost, een overgang van oude naar jonge kwelder.



Figuur 3.9 Leeftijden van de kwelders en duinen van de eilandstaart van Schiermonnikoog (Uit: De Groot et al., 2014).

5) Strand en vooroever

Schiermonnikoog heeft brede stranden en is het enige Waddeneiland waar zandsuppleties nog niet nodig zijn geweest. Op bijna het hele eiland liggen er jonge duintjes op het strand en zijn de hogere delen van het strand begroeid geraakt (Figuur 3.10 en Figuur 3.11). Schiermonnikoog heeft het hiermee breedste en grootste groene strand van Nederland. Op het groene strand aan de westkant van het eiland heeft ook kalkrijk zoetwater aan de oppervlakte. Hier worden waardevolle vochtige duinvalleisoorten aangetroffen zoals Knopbies en Moeraswespenorchis. In het oostelijk deel worden de strandduinen doorsneden door krekken vanuit de Waddenzee. Hier heeft zoet kwelwater geen invloed en domineren zilte soorten, zoals Zeekraal en Melkkruid.

Schiermonnikoog is begrensd door twee zeegaten: de kleine Eilanderbalg aan de oostzijde en het veel grotere Friesche Zeegat aan de westzijde. Het Friesche Zeegat bestaat weer uit twee aparte zeegaten, van elkaar gescheiden door de Engelsmanplaat. Het oostelijke en grootste zeegat is de Zoutkamperlaag en het kleinere zeegat heet het Pinkegat. De morfologische ontwikkelingen van deze zeegaten – deels onder de invloed van de mens – bepalen in grote mate de ontwikkeling van Schiermonnikoog en de lokale veranderingen bij de eilandkop en -staart. Aan de oostzijde kan de natuurlijke dynamiek ongestoord plaatsvinden en is het eiland in de loop van de tijd netto aangegroeid. Aan de westzijde van Schiermonnikoog is al sinds langere tijd geen afslag van betekenis opgetreden (Oost, 1995). Omdat de zeegaten ook bijdragen tot de zandaanvoer naar de eilanden worden ze echter wel besproken in de volgende hoofdstukken.



Figuur 3.10 Strand middendeel Schiermonnikoog, 1987: nog onbegroeid. (foto: Rijkswaterstaat).
<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt).

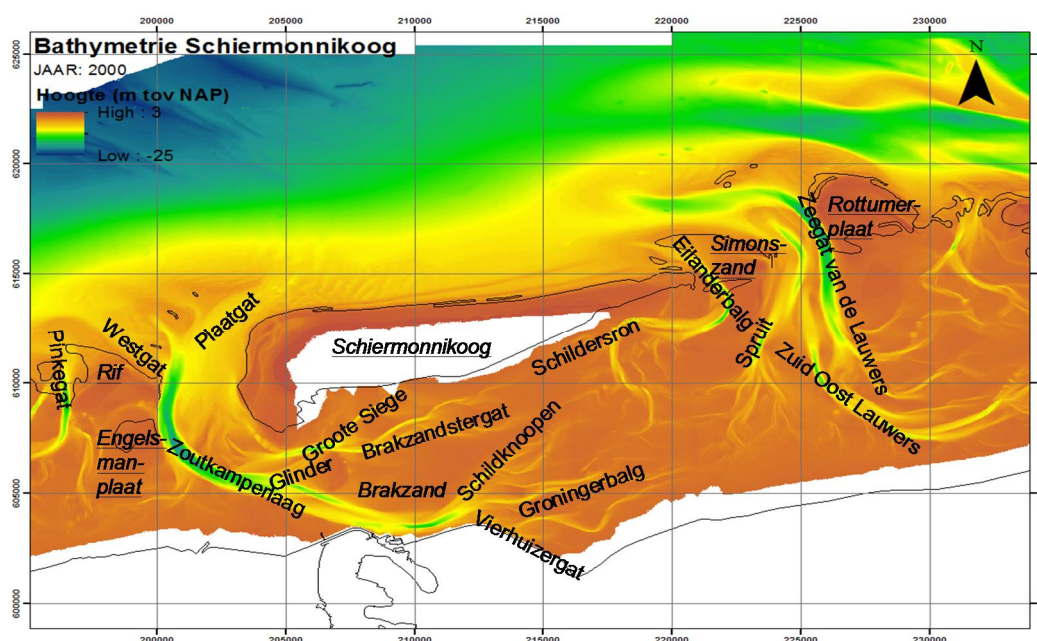


Figuur 3.11 Strand middendeel Schiermonnikoog, 2011: duidelijk zichtbaar is het groene strand zeewaarts van de duinenrij (vgl. Figuur 3.8). (foto: Rijkswaterstaat). <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt).

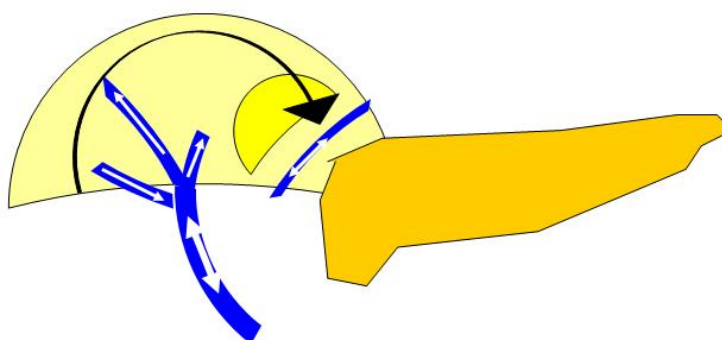
3.3 Grootschalige morfologie

3.3.1 Ontwikkeling van de Zoutkamperlaag

Figuur 3.12 geeft een overzicht van de belangrijkste geulen in de Zoutkamperlaag. Historisch gezien vertoont het zeegat een – qua timing wat onduidelijk – cyclisch gedrag (Figuur 3.13). Van tijd tot tijd vormen zich nieuwe vloed-gedomineerde geulen aan de westzijde van de buitendelta (bijv. Westgat), onder invloed van het getij. De meeste van de buitendeltageulen migreren met de wijzers van de klok mee. Westelijk van het zeegat, draaien en verplaatsen daarbij de buitendeltageulen naar het noorden-noordnoordoosten. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door de noordwaartse oriëntatie van de Zoutkamperlaag, in combinatie met de vorming van platen en, tegelijk, buitenbocht erosie van de buitendeltageulen. Voor de volledige weergave van de ontwikkeling van de zeegaten rond Schiermonnikoog tussen 1927 en 2016 wordt verwezen naar Appendix A (bodemkaarten) en Appendix B (verschilkaarten).



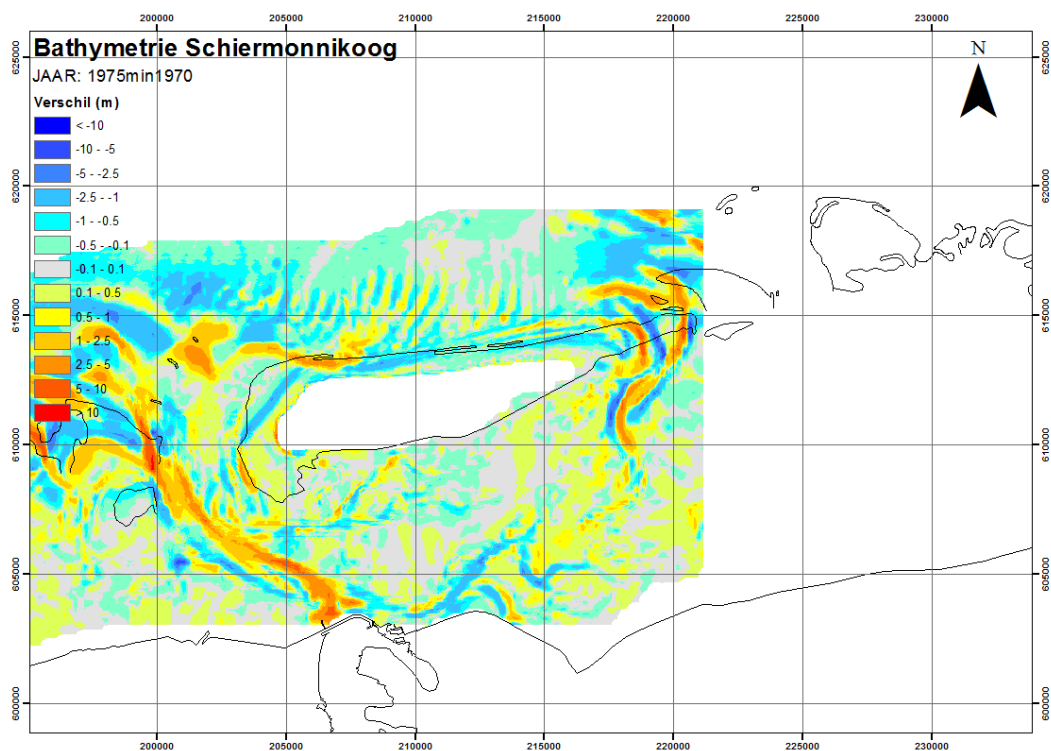
Figuur 3.12 Overzicht van de belangrijkste geulen en platen in de Zoutkamperlaag en Eilanderbalg: cursief = namen van platen; cursief & onderlijnd = namen van droogvallende platen; overige = namen van geulen. Bodem is representatief voor 2000.



Figuur 3.13 Schets van de kloksgewijze verplaatsing (zwarte pijl) van geulen (blauw) en platen (geel) op de buitendelta (lichtgeel). Pijlen geven het dominante getij weer in de geulen.

Gedurende de draaiing van west naar oost veranderen de geulen van karakter: van vloed- naar eb-georiënteerd. De laatsten hebben een N-Z oriëntatie door de traagheid van het ebwater. Oostelijk van het zeegat zorgt de migratie van zandplaten door wind en getij voor een verdere kloksgewijze (en dus downdrift) migratie van de buitendeltageulen (bijv. Plaatgat) en (in enige mate) van het zeegat zelf. Gedurende de verdere migratie in een downdrift richting raken de geulen NO-ZW-georiënteerd waarbij de geulen uiteindelijk verzanden. Dit geeft de zandplaten westelijk ervan de gelegenheid om te versmelten met het eiland Schiermonnikoog. Soms vormen zich ook nieuwe vloed-georiënteerde geulen aan de oostzijde van de buitendelta van de Zoutkamperlaag. Uit waarnemingen is afgeleid dat dit vooral gebeurt als de andere buitendeltageulen en het zeegat westwaarts liggen, misschien in combinatie met een oostwaartse oriëntatie van de Pinkegat geulen (Oost, 1995).

Voorafgaand aan de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 was in het kombergingsgebied een cyclisch gedrag van de hoofdgeul(en) waar te nemen dat sterk bepaald werd door de ontwikkelingen in de buitendelta van de Zoutkamperlaag. Gedurende korte perioden was er sprake van één enkele hoofdgeul die het bekken ledigde en vulde met getijwater. Deze geul splitste zich in een vloedschaar aan de westzijde en een geul oostelijk ervan die zowel door de vloed als de eb werd gebruikt. Dit gebeurde wanneer de buitendeltageulen en het zeegat de stroming concentreerden langs de oostzijde van de hoofdgeul. Geleidelijk werd de oostelijke geul nam de geul in dimensies toe, terwijl zij belangrijker voor de drainage van het kombergingsgebied. Tussen beide geulen ontstond een langwerpige intergetijdse plaat. Uiteindelijk werd de meest westelijke geul verlaten en raakte opgevuld. Zo ontstond opnieuw een situatie met een enkele hoofdgeul. De vorming van nieuwe vloedscharen kon gedeeltelijk overlappen met de het verlaten raken van de oude (Oost, 1995).

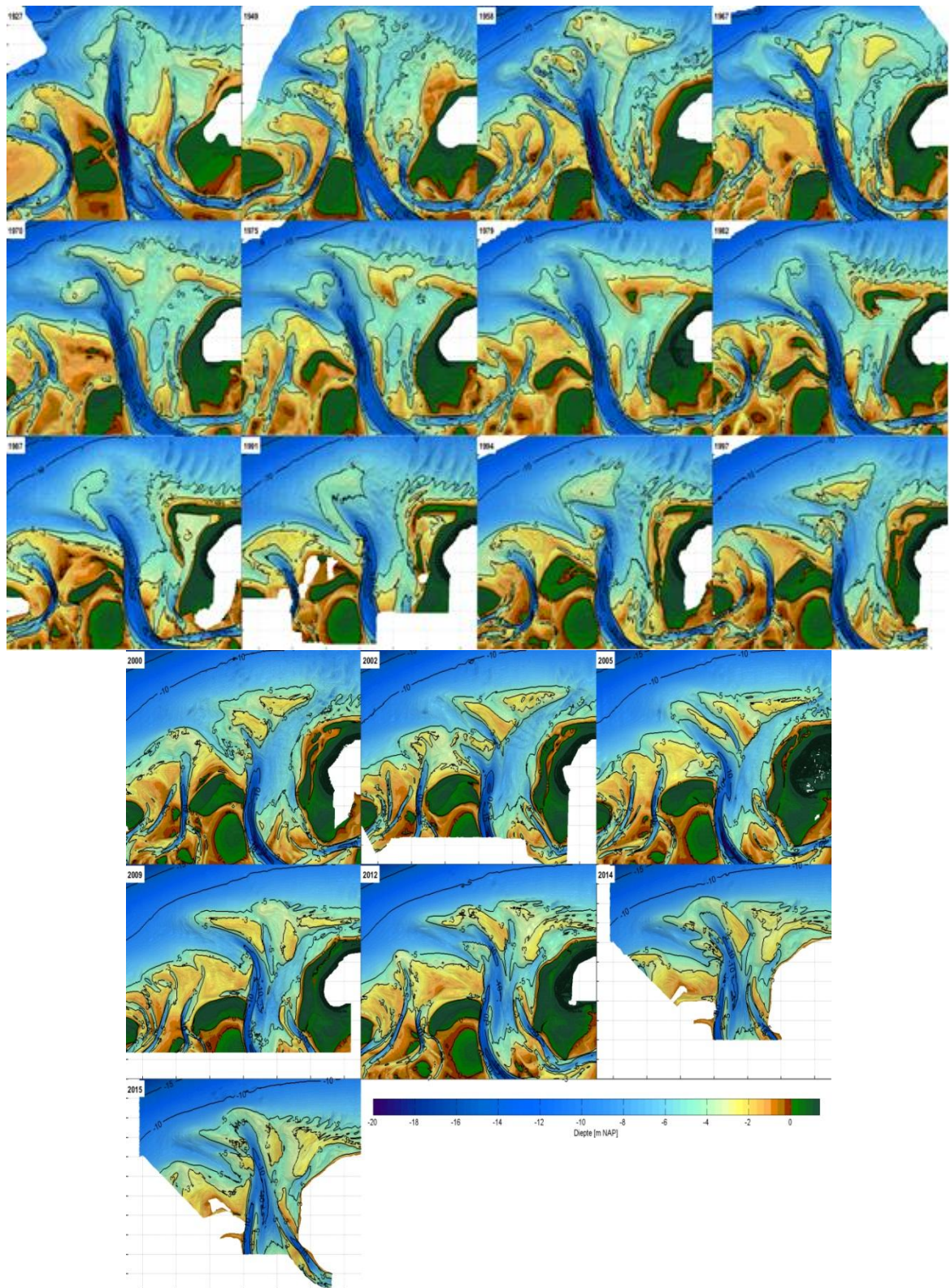


Figuur 3.14 Verschilkaart 1975-1970: de reactie op de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 is duidelijk zichtbaar: een sterke opvulling van de hoofdgeul met meerdere meters sediment, erosie van de buitendelta en het oostwaarts verleggen van de hoofdgeul direct noordelijk van de Lauwerszeedijk.

Na de afsluiting van de Lauwerszee stopte deze cyclus, wat suggereert dat het bestaan van de Lauwerszee essentieel was voor het gedrag van de Zoutkamperlaag (Oost, 1995). Over de periode 1832-1967 is de morfologie van de Lauwerszee maar weinig veranderd. Door de relatieve luwte die deze inham bood verliep de morfologische ontwikkeling relatief langzaam.

De huidige configuratie van platen en geulen is sterk beïnvloed door de afsluiting van de Lauwerszee in 1969 (Biegel & Hoekstra, 1995; Oost, 1995). Na afsluiting van de Lauwerszee vonden er grote veranderingen in zowel het bekken als het zeegat plaats (Figuur 2.11). De afsluiting verkleinde het bekken oppervlakte met zo'n 30%, waardoor het getijprisma reduceerde van $306 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ naar $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Daardoor was de morfologie van het geulensysteem en de buitendelta niet langer in evenwicht met de hydraulische condities. Het systeem ontwikkelde zich dan ook in de richting van een nieuw (dynamisch) evenwicht. Door de gereduceerde getijstromingen kon het oorspronkelijke zandvolume van de buitendelta en de natte doorsnede van de wadgetijdegeulen niet worden behouden. Golfgedreven transporten duwen de buitendelta landwaarts. Het zand werd vooral afgezet in de hoofdgeul in het kombergingsgebied. Tussen 1970 en 1987 (de tijd van de sterkste veranderingen) werd in de wadgeulen ca. $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sediment afgezet en erodeerde de buitendelta met ca. $26 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Oost, 1995). Verder naar binnen toe nam het zandgehalte van de vele meters dikke opvulling van de hoofdgeul af; nabij de afsluitdijk van de Lauwersmeer overheerste slibafzetting. Zo raakte in een paar decennia de natte doorsnede weer grotendeels afgestemd op het nieuwe getijvolume.

Een beperkt maar toch nog aanzienlijk deel van het zand van de buitendelta migreerde in de richting van Schiermonnikoog en verheelde in de vorm van een zandhaak (eigenlijk een gekromde spit) met de kust. Dit zand werd in de loop van de tijd geleidelijk uitgesmeerd over de kust van Schiermonnikoog als een zandgolf die in oostwaartse richting migreert, waarbij een buitengewoon breed strand ontstond. Door verstuiving werd het strand zo hoog dat zich terrestrische planten konden vestigen en ontstond een zogeheten groen strand. Deze ontwikkeling is nu langzamerhand ten einde gekomen: een golf van erosie trekt nu in oostwaartse richting langs het strand. De kop van deze erosiegolf bevindt zich in 2017 bij RSP 9. Daarnaast verschoven het zeegat en de buitendeltageulen in de richting van Schiermonnikoog. Sinds 2013 nadert een nieuwe zandplaat de kust. Deze zal naar verwachting zich gaan verhelen met de kust en daar mogelijk een nieuwe zandhaak gaan vormen (Figuur 3.15).



Figuur 3.15 De ontwikkeling van de buitendelta van de Zoutkamperlaag in de periode 1927-2015 (Oost et al., 2015).

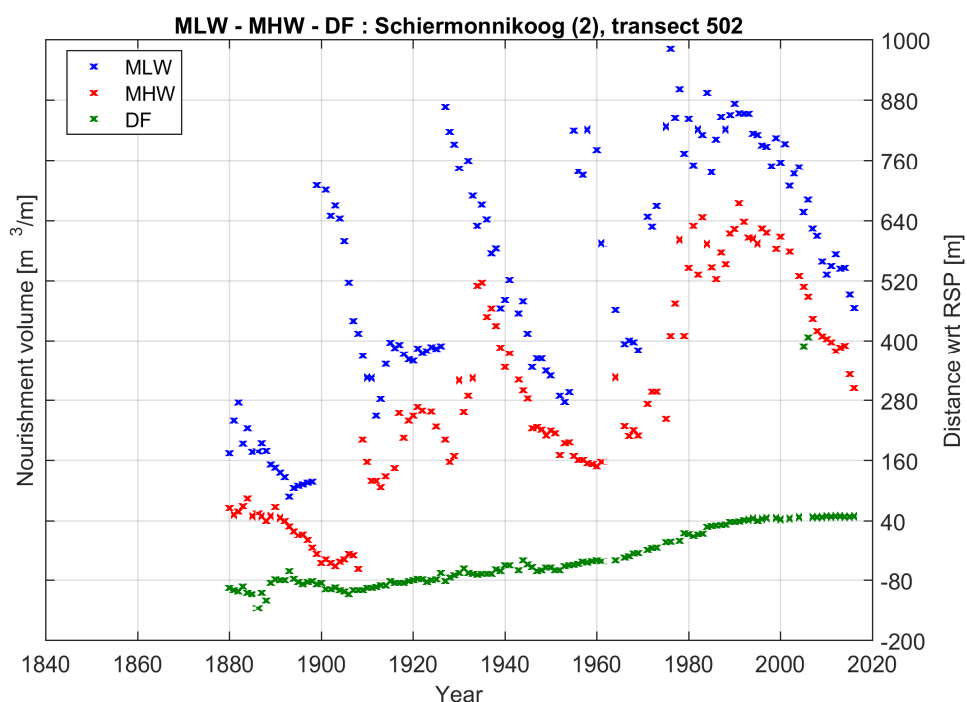
3.3.2 Ontwikkeling van de Eilanderbalg

De Eilanderbalg is een relatief klein zeegatsysteem ten oosten van Schiermonnikoog, dat qua gedrag overeenkomsten lijkt te hebben met het Pinkegat, maar helaas is het minder vaak opgemeten. Voor zover te volgen draaien de zeegatgeulen in oostwaartse richting en worden van tijd tot nieuwe doorbraken westelijk ervan gevormd. Van tijd tot tijd werden platen liggend boven GHW gevormd in de mond die ook oostwaarts migreerden. Als (een deel van de) geulen tussen Schiermonnikoog en de plaat opgevuld raakten konden deze platen zich verhelen met het eiland Schiermonnikoog. Dit gebeurde bijvoorbeeld rond 1600 en opnieuw rond 1848 (Oost, 1995).

Hoewel het een klein apart zeegatsysteem is zou het ook kunnen worden beschouwd als het westelijke deel van het Zeegat van de Lauwers, vergelijkbaar met de Vliesloot in het Zeegat van het Vlie of het Boschgat in het Amelander Zeegat. Rond 2012 werd het wantij tussen het Zeegat van de Lauwers en de Eilanderbalg doorbroken en raakten de twee zeegatsystemen verbonden, maar recente waarnemingen (Google Earth) laten zien dat er nog wel sprake is van twee min of meer aparte zeegaten.

Door de kleine afmetingen is dit zeegat erg gevoelig voor overnames van getijdeareaal in het kombergingsgebied door de meer westwaarts gelegen Zoutkamperlaag en de oostwaarts ervan gelegen Zeegat van de Lauwers. Na de afsluiting van de Lauwerszee verschoof het wantij van de Zoutkamerlaag en Eilanderbalg over meerdere kilometers naar het oosten, ten koste van het Eilanderbalg-kombergingsgebied (zie Appendix A en B). Tussen 1970 en 1979 namen de dimensies van de Eilanderbalg dan ook sterk af in getijdevolume, areaal en natte doorsnede. Na verondieping van de hoofdgeul van de Zoutkamperlaag verschoof het wantij deels terug in westwaartse richting en werd de Eilanderbalg weer groter.

De sterke oostwaartse verlegging van de Eilanderbalg resulteerde erin dat sinds 1972 Schiermonnikoog oostwaarts over 5 km is aangegroeid. De Eilanderbalg werd ondieper in de periode 1989-1994, maar de diepte nam weer toe in de periode 1994-2014 (Van Rooijen & Oost, 2015).



Figuur 3.16 Ontwikkeling gemiddelde laag- en hoogwaterlijn (MLW, resp. MHW) en duinvoet (DF) sinds 1880 ter hoogte van RSP 5.02. Het zeewaarts uitbouwen van de eilandkust door het aanlanden van zandplaten is duidelijk zichtbaar in een herhaald plotseling zeewaarts uitbouwen van de kustlijnligging. De oorspronkelijke strandopnamen tot 1964 werden op het zicht werden gelopen met een meetwiel rond gemiddeld laagwater).

3.3.3 Eilandkust van Schiermonnikoog

3.3.3.1 Inleiding: verschillende ruimte- en tijdschalen

Onderscheid kan worden gemaakt tussen kustontwikkeling op drie verschillende ruimte- en tijdschalen (Doornenbal et al., 2011):

Eerste orde ontwikkeling (tijdschaal van eeuwen - lange termijn trend)

Deze kan bestaan uit:

- Structurele erosie met een landwaartse verplaatsing van de kustlijn (terugtrekking);
- Verticale accretie (sedimentatie) met stilstand van de kustlijn (de accretie is dan ongeveer gelijk aan de relatieve zeespiegelstijging);
- Horizontale accretie met een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn (uitbouw).

De eerste orde ontwikkelingen worden vooral bepaald door stormfrequentie en -intensiteit; de relatieve zeespiegelstijging of -daling (i.e. inclusief bodemdaling cq. -rijzing); en de beschikbaarheid van sediment.

Tweede orde ontwikkelingen (tijdschaal van decennia tot een eeuw - middellange termijn)

Deze worden veroorzaakt door het opschuiven van getijdegeulen (vooral eb georiënteerde geulen) en het 'aanlanden' van zandplaten. De zandplaat ontwikkelt zich langs de kust in drie stadia. Dit is deels een stochastisch proces, gedreven door stormvloed en meteorologische

condities:

- Het zand wordt getransporteerd naar de buitendelta, soms wordt er een bank gevormd;
- De bank wordt tegen de kust aangedrukt;
- De bank spreidt lateraal uit langs de kust. Daarbij is het niet duidelijk of het zand afkomstig is uit de zandplaat zelf, of nieuw zand dat wordt ingevangen aan de 'lijzijde'.

Derde orde ontwikkelingen (tijdschaal van jaren tot een decennium - korte termijn)

Hieronder worden verstaan:

- de ontwikkeling, verplaatsing en afbraak van brekerbanken;
- de ontwikkeling en dynamiek van saw tooth ridges;
- andere kleinschalige veranderingen, zoals suppleties, duinvorming etc.

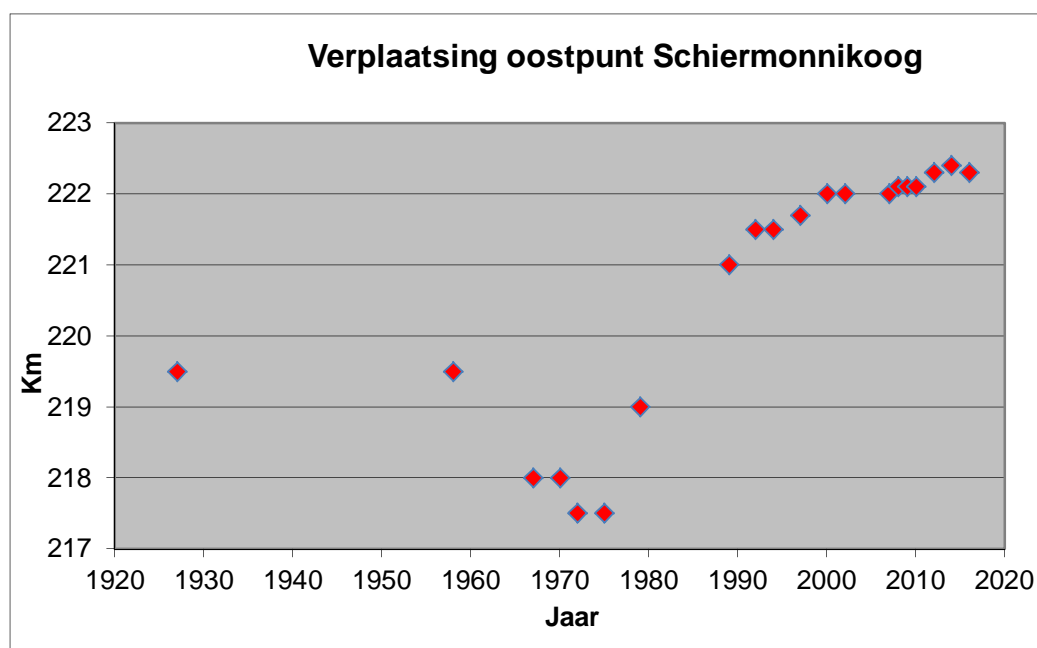
3.3.3.2 *Eerste orde ontwikkelingen: Historische kustontwikkeling op hoofdlijnen*

Schiermonnikoog is een kust die vooral gekenmerkt wordt door verticale en horizontale groei. Al vanaf tenminste het jaar 1700 vond waarschijnlijk netto geen noemenswaardige landwaartse terugtrekking van de Noordzeekust van Schiermonnikoog plaats. De westzijde ondervond wel erosie, terwijl de oostzijde aangroeide (zie onder). Sinds 1850 bouwt de kust van Schiermonnikoog langzaam maar zeker in zeewaartse richting uit (Oost, 1995). Vanaf 1880 wordt de lange termijn uitbouw geschat op 1-5 m/jr (Stolk, 1994; Doornenbal et al., 2011). Dit wordt in belangrijke mate gevoed door het van tijd tot tijd aanlanden van grote hoeveelheden sediment.

Eerste orde ontwikkelingen in 1 zin:

De Noordzeekust van Schiermonnikoog was stabiel van 1700 en bouwde vanaf 1850 langzaam zeewaarts uit terwijl netto erosie aan de westzijde domineerde en aangroei aan de oostzijde.

De sedimentaanvoer kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan het kleiner worden van het getijdvolume van de Zoutkamperlaag sinds ca. 1500 door geleidelijke sedimentatie in vooral het Lauwerszeegebied. De daar opgeslibde gebieden werden ingepolderd en zodoende onttrokken aan het zeegatsysteem. Daarbij kan, naar analogie van de uiteindelijke afsluiting van de Lauwerszee in 1969, surplus sediment beschikbaar zijn gekomen voor de kust van Schiermonnikoog (Oost, 1995). Een alternatief is dat het zand werd geleverd door sterke erosie van de westkop van het eiland in de periodes 1530-1600 (NW zijde), 1700-1835 (ZW zijde) en 1835-1929 (NW zijde). Een derde alternatief is dat mogelijk de grootte van de aanlandende zandbanken nog van belang is. Daarbij zou door de grote dimensies de slijtage langzamer verlopen, omdat volume met een derde macht toeneemt en het buitenoppervlak kwadratisch. Zo kan zand netto accumuleren aan de kustzijde. Daarbij past wel de kanttekening dat verder zeewaarts uitsteken een toename van de golfaanval betekent. Daarnaast is het nog zo dat een deel van het zandvolume van een zeer grote aangelande plaat wordt opgeslagen in de vorm van duinen die alleen bij zware stormvloed weer kunnen eroderen. Het derde alternatief moet gezien worden als een hypothese die nader onderzoek behoeft. Zulk onderzoek kan mogelijk ook inzichten geven voor efficiëntere suppletieontwerpen. Waarschijnlijk dragen de drie alternatieven samen bij tot de netto uitbouw van de kust van Schiermonnikoog.



Figuur 3.17 Ligging oostpunt van Schiermonnikoog zoals afgelezen uit beschikbare opnamen en uitgaande van over het eiland lopende geulen.

Echter, door de aanzienlijke verkleining van de buitendelta van de Zoutkamperlaag over de periode 1969-2016 met meerdere 10-tallen 10^6 m^3 moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de zandaanvoer na het aanlanden van de volgende zandbank (zie onder) op nog langere termijn (meerdere decennia) kan afnemen. Ook de luwte die de buitendelta bood aan de NW zijde van het eiland zal vermoedelijk zijn afgenomen t.o.v. de situatie 1969. Dit is nog niet onderzocht. Gezamenlijk kunnen, na eeuwen van vooruitgang, deze effecten op termijn van meerdere decennia gaan leiden tot kustachteruitgang (vergelijk De Ronde & van Oeveren, 2013). Dit lijkt nu nog niet het geval te zijn.

Schiermonnikoog is behalve in zeewaartse richting ook in oostwaartse richting aangegroeid; tussen 1972 en 2014 met 5 km (Figuur 3.17), waarna weer een geringe inkorting optrad. De aangroei leidde in de periode 1980-1990 tot overschrijding van de grens met de Provincie Groningen van het Friese eiland dat door Friesland werd afgekocht (NRC, 25 nov 2004). Momenteel kromt een meander van de Eilanderbalg sterk, waarbij noordwaartse uitbochtiging optreedt aan de zuidzijde van oostelijk Schiermonnikoog (ter hoogte van het Schildersron; Figuur 3.3). Daardoor wordt daar, dwars over het eiland gemeten, de eilandstaart smaller. Gezien de waargenomen hoge stroomsnelheden met pieksnelheden van bijna 1 m/s dwars over de eilandstaart bij stormvloed (Engelstad et al., 2017; Wesselman et al., 2017) is het mogelijk dat er een kortsluitgeul ontstaat tussen de Noordzee en de Waddenzee.

Toekomstvoorspelling:

Mocht deze geul de hoofdgeul worden dan kan op termijn er de laatste 3-3,5 km van oost-Schiermonnikoog weer een apart eiland worden. Daarbij zal Schiermonnikoog weer volledig op het oorspronkelijke Friese grondgebied komen te liggen. Helemaal onmogelijk is dit niet, omdat de Eilanderbalg verbonden is geraakt met het oostwaarts gelegen Zeegat van de Lauwers via een kortsluitgeul die dwars door het eilandje Simonszand is geslagen. Vooralsnog blijkt deze ontwikkeling nog niet zodanig door te zetten dat de Eilanderbalg en het Zeegat van de Lauwers een geheel worden.

3.3.3.3 Tweede orde ontwikkelingen: aanlandingen zandplaten

Bovenop de lange-termijn uitbouw zijn schommelingen in de kustlijnligging waar te nemen, als gevolg van aanlanding en verplaatsing van zandbanken vanaf de noordwestkant van de eilanden (zie Figuur 3.15, 3.16 en Appendix C). De banken die aanlanden hebben volumina tot tenminste $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (gemeten boven -2 m NAP). In de periode 1880-1991 migreerden zandgolven met een snelheid van ca. 640 m/jaar van west naar oost waarbij de kustdwarse verplaatsing aan de W zijde van het eiland ca. 1 km bedroeg en 0,5 km op de meeste andere delen van het eiland, uitdovend rond RSP 13. De periodiciteit wordt op basis van IJnsen & van den Boogert (1991) op ca. 25 jaar geschat (Tabel 2.1). Latere schattingen gaven variaties van 2 tot 4 decennia (Doornenbal et al., 2011). Een nadere beschouwing van het strandprofiel bij RSP 4, 5.02, 6 en 7 geeft een gemiddelde aanlandingscyclus van 23 jaar (variërend tussen 9 en 33 jaar). Met een laatste (vrij kleine) aanlanding rond 1988 zou een volgende aanlanding dus te verwachten zijn voor 2021, als tenminste de cycliciteit niet te zeer verstoord is door de afsluiting van de Lauwerszee.

Tabel 3.1 Zandgolven periode 1880-1991, zoals berekend uit de gemiddelde lijn tussen GHW en GLW over het gebied RSP 2-16 (IJnsen & van den Boogert, 1991)

Periode [jaar]	Golflengte langs de kust [km]	Migratiesnelheid [m / jaar]	Kustdwarse verandering [m]
25	c. 16	Oostwaarts: 640	1000 of minder



Figuur 3.18 Een aangelande zandbank afkomstig van de buitendelta in de vorm van een haakvormige spit, situatie 1994.

Opvallend daarbij is dat zandaanvoer naar Schiermonnikoog tenminste deels verzorgd wordt door de aanlanding van zeer grote zandplaten (o.a. in 1710, 1920 en 1977). De zandgolven komen daarbij schoksgewijs binnen op noordwestelijke zijde van het eiland en lopen dan geleidelijk langs de kust oostwaarts (en deels wat zuidwaarts het zeegat in). Soms zijn deze haakvormig waarbij een N-Z georiënteerd stuk aan de westkant en W-O georiënteerd deel dat parallel loopt aan de kust (Figuur 3.18). Daarnaast landen ook kleinere zandbanken op

het eiland (bijv. 1988). Al deze banken leveren zand aan de kust. Eventueel zouden ook de saw tooth bars een bijdrage kunnen leveren aan de kustontwikkeling, maar hierover is nog niet veel bekend.

De zandgolf die momenteel langs de kust van het eiland trekt is groot in volume en lijkt ontstaan te zijn door de samensmelting van de zandbank die in 1977 de kust bereikte en de zandbank die in 1988 de kust bereikte. Dit lijkt deels een reactie op de afsluiting van de Lauwerszee, waarbij veel zand uit de buitendelta beschikbaar kwam, als gevolg van het reduceren van het getijdvolume van de Zoutkamperlaag met $1/3^e$ (Biegel & Hoekstra, 1995; Oost, 1995). Te zien is hoe de kust zich vooral uitbouwt sinds 1977. Na een golf van kustuitbouw in oostelijke richting wordt deze vanaf ca. 2002 gevolgd door een golf van kustterugtrekking die ook oostwaarts beweegt, startend in de NW hoek en in 2016 RSP 9 heeft bereikt. Tussen RSP 2.6 t/m 9.6 gaat de kust vrijwel overal achteruit met (10 jaarlijkse trend) snelheden van vaak meer dan 10 m/jaar en rond RSP 4.2 zelfs met snelheden van meer dan 39 m/jaar (Kustlijkaartenboek 2018).

Een nieuwe zandplaat is sinds 2002 onderweg naar het eiland. Gekeken naar de snelheid van verplaatsing lijkt daarmee geen sterk ander gedrag op te treden na de afsluiting van de Lauwerszee dan ervoor. Op het ogenblik groeit de TKL (volume-indicator) aan rond RSP 5.6-5.8 wat mogelijk een eerste indicatie kan zijn van het verhelen van de zandbank. Uit het Google Earth beeld van 2017 blijkt echter dat de haakvormige zandbank zich langgerekt strekt vanaf RSP 1.0 tot en met 10.0 en daarmee parallel komt te lopen aan de eilandkust. Dus wellicht is de TKL groei rond RSP 5.6-5.8 een gevolg van luwte, enigszins te vergelijken met de werking van een vooroeversuppletie.

Toekomstvoorspelling:

De zandplaat zou kunnen verhelen met de kust in de periode 2019-2022 (gezien het tempo van verplaatsing sinds 2002 en enigszins rekening houdend met het stochastische karakter van dergelijke aanlandingen, die mede afhankelijk zijn van het optreden van stormvloed en e.d.). Hiermee zou weer een nieuwe periode van uitbouw kunnen beginnen.

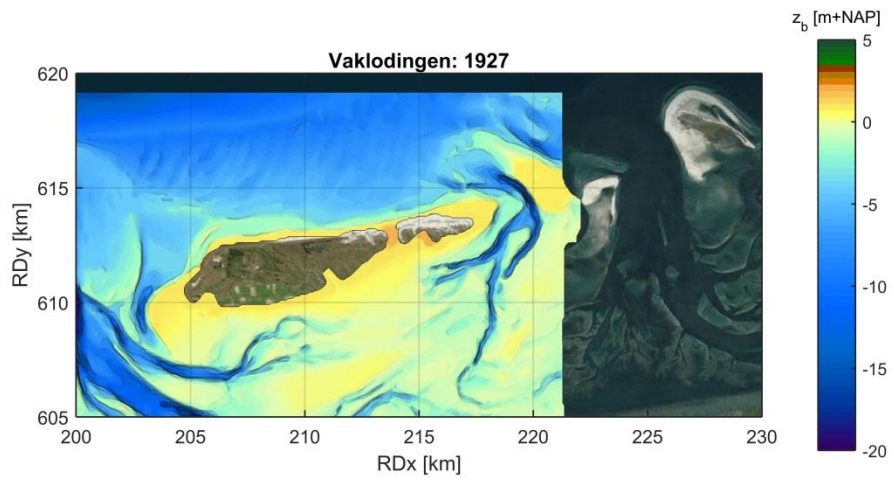
Tweede orde ontwikkelingen in 1 zin:

Aan de Noordzeekust lijkt er gemiddeld elke 23 jaar een aanlanding plaats te vinden waarna de plaat uitgesmeerd wordt langs de Noordzeekust waardoor de kust eerst uitgroeit en daarna erodeert; dat laatste is nu het geval maar er zijn indicaties dat de volgende aanlanding al begonnen is.

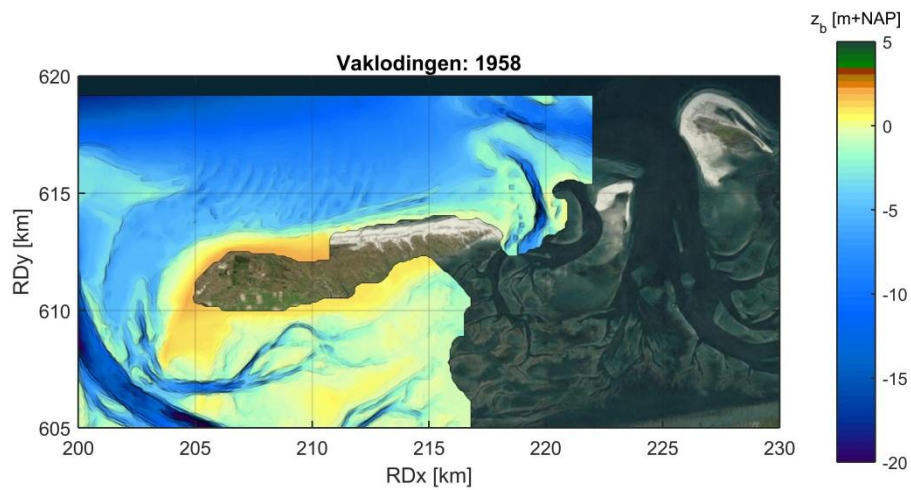
Als onderdeel van de algemene stranduitbouw is ook uitbouw van de duinen opgetreden in zeewaartse richting. In het algemeen is geconstateerd dat zulke natuurlijke duinen sterk afwijken van de kunstmatige stuifdijk landwaarts ervan (Wijnberg et al., 2011). De hoogte van de kammen en de positie van de kammen is veel onregelmatiger bij het voorliggende, natuurlijke duin dan bij een stuifdijk.

3.3.3.4 Derde orde ontwikkelingen: Banken & Saw tooth ridges

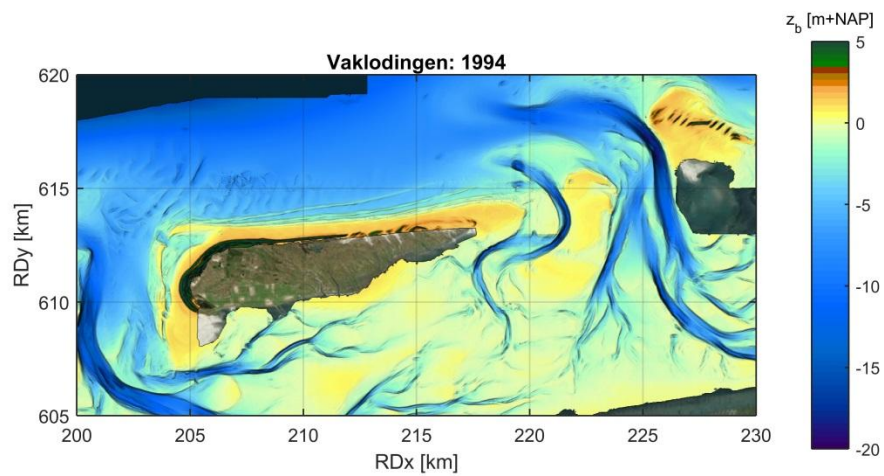
Het gedrag van de rechte eilandkust is vrij consistent, aangezien er een 3 of heel soms 4 bankensystemen voor de kust van Schiermonnikoog aanwezig zijn waarvan de onderlinge afstanden toenemen in oostelijke richting (Figuur 3.19 tot en met Figuur 3.23). De positie en hoogte van de banken varieert met de tijd.



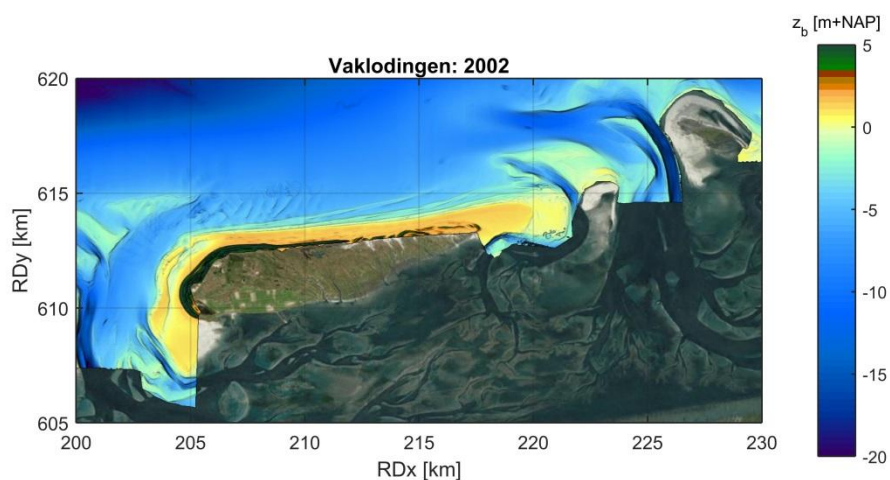
Figuur 3.19 Overzicht van de banken voor de kust van Schiermonnikoog, situatie 1927.



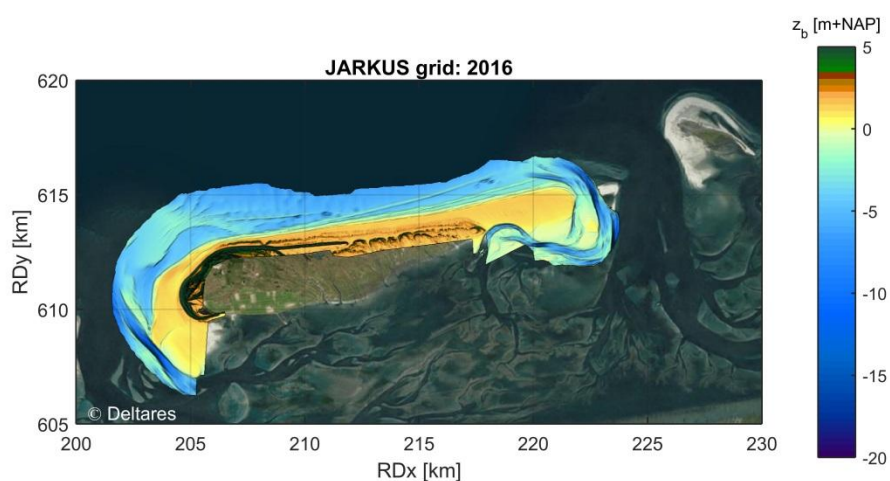
Figuur 3.20 Overzicht van de banken voor de kust van Schiermonnikoog, situatie 1958.



Figuur 3.21 Overzicht van de banken voor de kust van Schiermonnikoog, situatie 1994.



Figuur 3.22 Overzicht van de banken voor de kust van Schiermonnikoog, situatie 2012.



Figuur 3.23 Overzicht van de banken voor de kust van Schiermonnikoog, situatie 2016.

Een opvallend punt is dat de banken daar beginnen waar de boven GHW liggende kust begint. Dat is goed te zien in de periode 1969 tot en 1990 als een grote zandplaat zich verheelt met het eiland. Na 1969 vormt zich een westwaarts van het eiland gelegen spit van ca. 4 km lengte die rond 1987 boven GHW uitsteekt. De brekerbanken verlengen in die periode met eenzelfde afstand westwaarts, om daarna, na afbraak van de spit, weer korter te worden.

Een tweede belangrijke ontwikkeling is dat de banken zich zeewaarts verleggen na 1977, dat wil zeggen samenhangend met de uitbreiding van het natte en droge strand in noordwaartse richting. Dit betekent dat niet alleen het strand zich zeewaarts heeft verlegd na afsluiting van de Lauwerszee, zoals aangegeven bij de tweede orde veranderingen, maar het gehele kustprofiel. Deze zeewaartse uitbreiding lijkt te eindigen in 2004 in het westen waarna terugtrekking in landwaartse richting volgt. Deze terugtrekking verplaatst zich oostwaarts en treedt in 2017 op halverwege het eiland.

Derde orde ontwikkelingen in 1 zin:

De westwaartse uitbreiding van de 3-4 brekerbanken lijkt gerelateerd aan de aanwezigheid van spits, terwijl verleggingen dwars op de kust erop wijzen dat het gehele kustprofiel zich verplaatst en niet alleen het strand.

Hoewel de banken vrij consistent over de meetperiode aanwezig zijn, zijn er soms grote jaarlijkse verschillen in de vorm. In 1996 vertonen bijvoorbeeld vooral de middelste banken een duidelijk sinusvormig patroon. Dit patroon wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de opgetreden hydraulische forcering (hoogstwaarschijnlijk door storm) voorafgaand aan de meting. Onder die omstandigheden zoekt af en toe de dwarsstroming zich een weg, waarbij zand naar buiten wordt gevoerd. Daarbij ontstaat dan een grillig banken patroon, zoals te zien in 1996. De meting van 2012 zal vermoedelijk na een periode van energieke condities opgenomen zijn. Hoge golven wekken een sterke, uniforme kustlangse stroming en sedimenttransporten op. Daardoor is ook het bankenpatroon uniform.

Oostelijk van de buitendelta van de Zoutkamperlaag liggen al sinds tenminste 1927 een groot aantal schuin op de kust staande banken, de zogeheten "saw-tooth bars". Ze liggen zeewaarts van de brekerbanken tot ca. -5m NAP. De banken zijn duidelijk te zien in de figuren vanaf 1966. Het zijn banken die in de luwte van de buitendelta blijken te vormen. Onduidelijk is de rol in het sedimenttransport. Flemming (1990) beweert dat de bodemvormen min of meer stationair zijn bij Spiekeroog en dat het geulen zijn die water zeewaarts afvoeren tijdens stormen. Hij gaat ervan uit dat de structuren worden gevormd door zogeheten edgewaves (gevormd doordat golven van de kust terugkaatsen waarbij een patroon van grotere zich langzaam verplaatsende golven ontstaat), wat op grond van hun afmetingen betwijfeld moet worden. Het feit dat de saw tooth bars overal in de luwte van de buitendelta liggen en dat het zeewaartse gedeelte na de terugtrekking van de buitendelta sinds de sluiting van de Lauwerszee is teruggetrokken, suggereert dat het primair door getij- en mogelijk ook kustparallele stroming gedreven fenomenen zijn. Verplaatsingssnelheden bij Schiermonnikoog worden geschat op 50 m/jaar of minder (Brakenhof, in prep). Uit het feit dat het zeeoppervlak golvingen vertoont in hetzelfde gebied die qua oriëntatie overeen komen met de oriëntatie van de zandgolven wordt geconcludeerd dat er frictie optreedt met de bodem en waarschijnlijk ook zandtransport. Of dit voldoende is om de zandgolven te onderhouden is niet bekend. Mogelijk zijn het zelforganiserende systemen onder invloed van het getij. Het feit dat ze bij Schiermonnikoog lopen en bij Spiekeroog stil liggen zou daardoor mogelijk ook verklaard kunnen worden (Brakenhof, in prep). Over de rol van deze banken in het hele functioneren van de zandhuishouding van de kust is tot nu toe nog weinig bekend.

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 Schiermonnikoog, 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.

4.2 Suppletieoverzicht

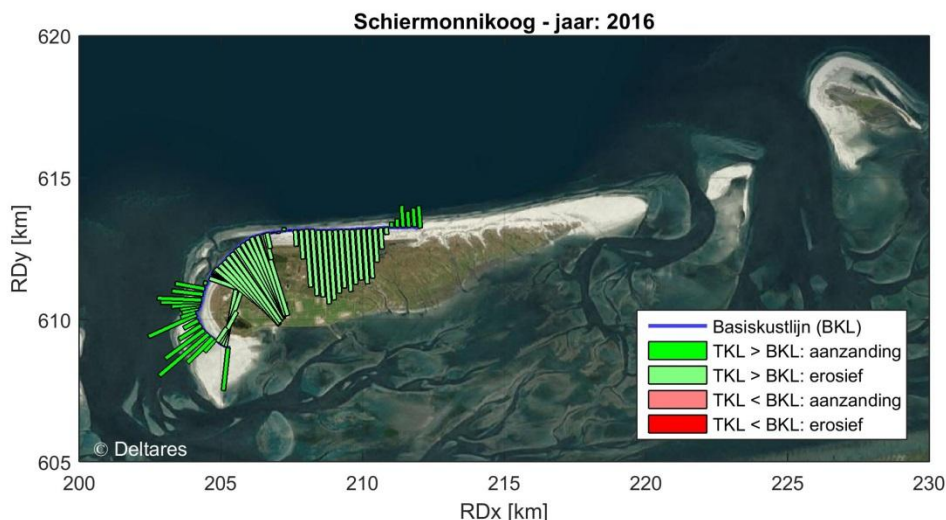
Er hebben nog geen zandsuppleties op Schiermonnikoog plaatsgevonden.

4.3 Detailontwikkeling vooroever

In 1990 hebben regering en parlement besloten om de zogeheten BKL-ligging te handhaven. Dit betekent dat achteruitgang van de kustlijn tot staan gebracht wordt maar dan wel op zo'n manier dat de dynamiek van de kust zo veel mogelijk ruimte krijgt. Bij structurele overschrijding van de BKL wordt ingegrepen. De BKL wordt gehandhaafd tussen RSP 1.0 tot en met RSP 10.4. Van alle eilanden is dit het enige kustvak waar het handhaven van de BKL tot dusver niet om onderhoud vraagt. Voor het gedeelte ten oosten van RSP 10.4 is de BKL losgelaten. Over het algemeen ligt de kustlijn op Schiermonnikoog overal zeewaarts van de BKL. Bij RSP 5.00 wordt in 2017 het minimum van 83 m als verschil van de TKL met de BKL bereikt. Verwacht wordt dat, bij voortzetting van de huidige trend, tussen RSP 4 en 5 de BKL in de periode 2021-2023 doorbroken wordt. Momenteel vindt van RSP 3 tot en met RSP 8 overwegend erosie plaats; (Figuur 3.5).

Na 1990 vindt, door het accepteren van de BKL-handhaving, een verschuiving plaats van het "bufferen van zand" via duinaangroei naar het meer dynamisch beheren van de zeereep waarbij deze minder intensief onderhouden wordt. Het streefbeeld voor de zeereep is op dit eiland *'een zeereep waarin natuurlijke processen van west naar oost gezien in toenemende mate vrij spel hebben, binnen de randvoorwaarden gesteld door de aanwezige belangen'*. Er wordt nu geen helm meer op de zeereep geplant, maar alleen aan de duinvoet langs het strand. Hiermee wordt afslag en doorstuiving zoveel mogelijk voorkomen. Het plaatsen van stuifschermen is beperkt tot de duinovergangen. Langs de Noordzeekust (vanaf RSP 5) werd het voorland tussen de primaire waterkering (grensprofiel) en de zeereep steeds breder en nam de noodzaak tot onderhoud van de zeereep verder af. Of dit in de toekomst zo blijft zal moeten blijken uit de kustontwikkeling (zie vorige hoofdstuk en volgende paragraaf). Per 1 januari 2009 is de primaire waterkering op Schiermonnikoog bestaande uit 4 kilometer Waddenzeedijk en bijna 9 kilometer zandige kering in het duingebied overgedragen aan het Wetterskip Fryslân die nu verantwoordelijk is voor het beheer en onderhoud van de waterkering.

Het overzicht van recente kustlijnkarten in Figuur 3.6 en 3.7 geven de verschillen in ontwikkeling van de kustlijn duidelijk weer. De dominante trend van bijna het gehele eiland is een sedimentatiegolf gevolgd door een erosiegolf. Er zijn een viertal deelgebieden te onderscheiden met ieder hun eigen dynamiek.



Figuur 4.1 Overzicht ontwikkeling TKL op Schiermonnikoog in 2016, zie verder Appendix E.

4.3.1 Eilandkop – Zoutkamperlaag (RSP 1 - 4).

Dit deelgebied grenst aan de Zoutkamperlaag. De ontwikkeling hier wordt aangestuurd door het zeegat. Gemiddeld is een lichte zeewaartse uitbreiding van de duinvoet en de GHW-lijn waar te nemen sinds 1880 (m.u.v. RSP 3), waarbij de zandgolven zorgen voor een vrij sterke erosie- en sedimentatie-wisselingen. De zandgolven migreren ruwweg naar het zuiden: richting de Waddenzee. Bij RSP 1 is in 2017 sprake van enige kustuitbreiding, tussen RSP 105 en 240 is er vooral sprake van kustuitbreiding, terwijl vrij sterke erosie optreedt tussen RSP 260 en 540. In de periode 2020-2023 wordt snijding van de BKL door de MKL voorzien in het gebied RSP 400 tot en met 540 volgens het Kustlijnenkaartenboek 2018. Gezien de grote snelheden van terugtrekking zou doorsnijding mogelijk eerder kunnen optreden.

4.3.2 De noordwestelijke eilandkop – duinboogcomplex (RSP 4 – 8)

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 de aanlandings cyclus. Netto vindt er aangroei plaats. Momenteel is hier sprake van kustlijninterugtrekking waardoor in de toekomst de BKL kan worden overschreden. Dan nog is er een zeer ruime afstand tussen BKL en duinvoet en is op korte termijn geen kans dat de norm overschreden wordt voor de kernzone van de primaire kering. Er is een verdere onderverdeling te maken in:

RSP 4–6; waar veelal zeer geprononceerde snelle zeewaartse uitbreiding wordt afgewisseld met lange perioden van terugtrekking van de kust.

RSP 6-8; waar golven van erosie en sedimentatie geleidelijk langs de kust lopen.

In 2018 (Kustlijnenkaarten 2018) is er sprake van twee erosiegolven. De eerste loopt van RSP 260 tot en met 540, waarbij de BKL in 2020 al overschreden kan worden. De tweede loopt van RSP 600 tot RSP 960, waarbij de BKL pas in 2027 kan worden overschreden.

4.3.3 Het voormalige overslagvlaktecomplex (RSP 8 - 15)

Dit gedeelte van het eiland wordt gekenmerkt door een gemiddeld over de periode 1880-2010 zeewaarts verschuivende kustlijn met daarop gesuperponeerd een aantal minder uitgesproken kustlijnschommelingen. Van RSP 600 tot en met RSP 960 treedt momenteel (Kustlijnenkaarten 2018) erosie op, maar doorsnijding van de BKL wordt pas voor 2027 voorzien. De erosiegolf geeft een oostwaartse verschuiving te zien.

Oostwaarts daarvan is nog sprake van lichte kustuitbouw maar dit zal door de oostwaartse verschuiving van de erosiegolf omslaan in kustterugtrekking in de toekomst erosie in de toekomst.

- 4.3.4 De oostelijke eilandstaart – Eilanderbalg (RSP 15 e.v.)
 Voor de oostelijke eilandstaart is geen BKL gedefinieerd. De ontwikkelingen hier hangen in grote mate samen met de zandleveranties uit het westen en de ontwikkelingen van de Eilanderbalg. Het grootste deel van dit gebied is tamelijk recent (na 1975) gevormd. Rekening moet worden gehouden met de mogelijke afsnijding van de oostelijke 3 km door een nieuw te vormen geul.

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 deze positieve invloed kan hebben op karakteristieke habitattypen, en op - 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) en 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 4.2 staat weergegeven welke responstypen (Arens, 2009) langs de kust van Schiermonnikoog voorkomen. In Figuur 4.3 staat de volumeverandering boven de +3 m NAP per kilometer. 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 subparagraaf 4.4.2 staat een algemene beschrijving van de situatie in 1988 en de situatie in 2011, in subparagraaf 8D staat een beschrijving voor de situatie in 1988 en 2011 voor verschillende deelgebieden.

- 4.4.2 Algemene beschrijving situatie 1988 en 2011

Situatie 1988

De kust van Schiermonnikoog is een aangroei kust. Langs het gehele eiland bevindt zich een breed tot zeer breed strand. Vooral aan de westkant breidt de zeereep zich uit in zeewaartse richting. Er vindt niet of nauwelijks duinafslag plaats. Over het algemeen is er sprake van een uitgebreid primair duinsysteem met verschillende opeenvolgende primaire duinruggen (vaak ontstaan als stuifdijken). De meest zeewaarts gelegen ruggen zijn vrij laag, circa 4-10 m. Grofweg is Schiermonnikoog in twee segmenten te verdelen, een deel ten westen van raai 10.40 met een gesloten zeereep en een deel ten oosten van 10.40 met een niet gesloten zeereep, doorbroken door overslagvlakte structuren (vergelijkbaar met de oostkant Ameland).

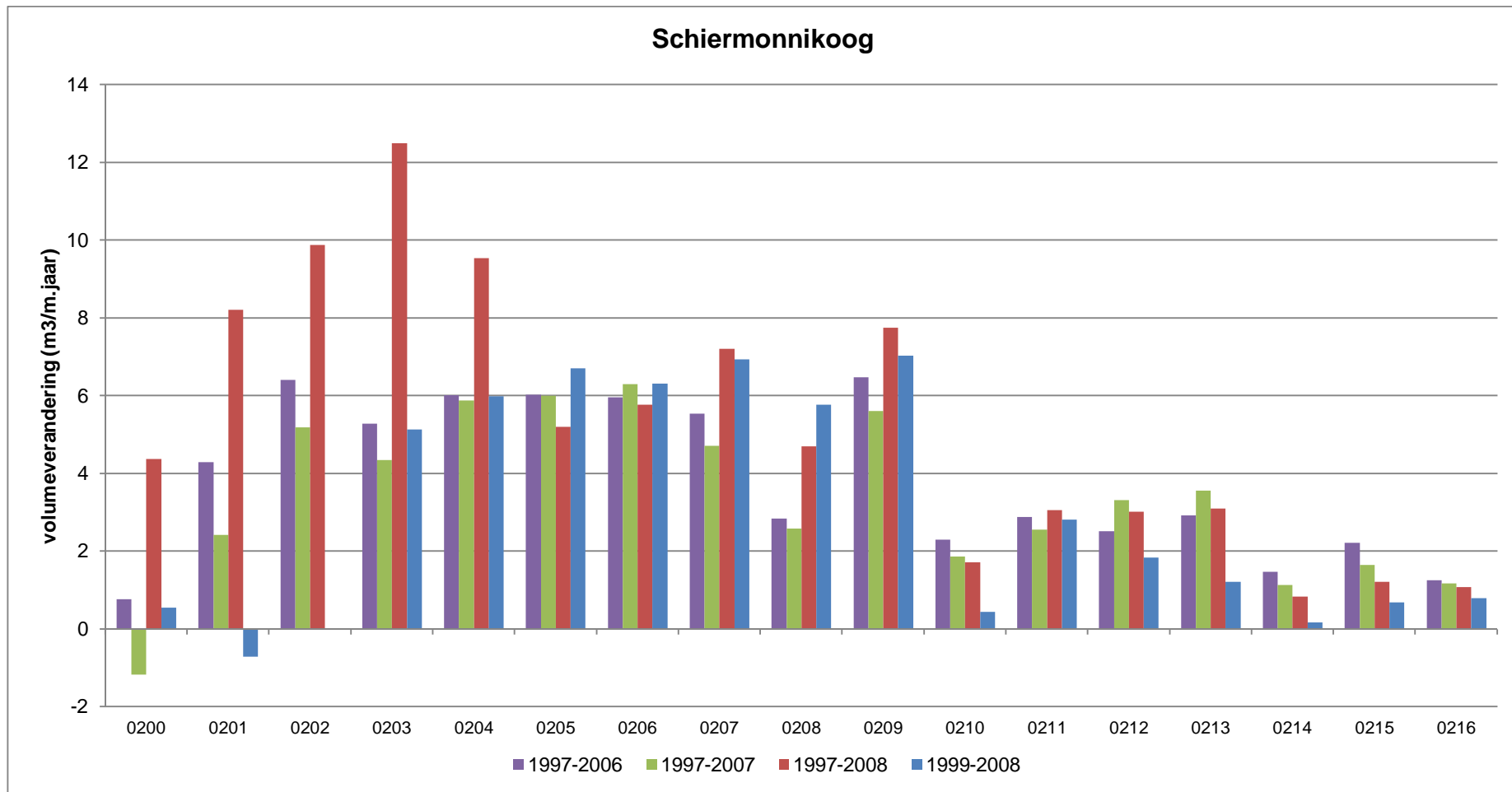
Situatie 2011

Over het geheel genomen is de zeereep van Schiermonnikoog minder dynamisch dan in het verleden, zelfs aan de natuurlijke en dynamische oostkant. Dit is het resultaat van een groen strand ontwikkeling langs het gehele eiland waardoor de dynamiek beperkt blijft tot een zone op het strand. Aan de noordkant van het eiland leidt dit tot de

ontwikkeling van een nieuwe duinzone vóór de oude zeereep, met nu nog kleine duintjes, maar wel regelmatig hoger dan 3m NAP.



Figuur 4.2 Classificatie van de zeereep voor Schiermonnikoog. 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 4.3 Volumeverandering boven de +3 m NAP per kilometer uitgedrukt in veranderingen in m³ per strekkende m per jaar. De volumeberekening is gebaseerd op de laseraltimetrie meting. Notatie x-as: kustvak 2RSP. RSP00 ligt aan de westkant, RSP16 aan de oostkant.

5 Beheer en Onderhoud

5.1 Historische ontwikkeling kustverdediging voor Waterstaat (voor ca. 1842)

(Grotendeels naar Oost, 1995; POK Fryslân, 2000)

Wie oorspronkelijk de eigenaars waren van het eiland is onbekend. Er zijn wat aanwijzingen dat het eiland gelieerd was aan het dorp dat er oorspronkelijk tegenover lag: Wierum (ongepubl. data Oost; vgl Norden-Norderney, Rottum-Rottumeroog). Ergens tussen 1165 (stichting klooster) en 1323 (eerste bevestiging eigenaarschap), vermoedelijk in de 13^e eeuw werd het eiland (deels) uithof van het klooster Klaarkamp. In hoeverre de kloosterlingen en hun lekenbroeders hun best deden om de eilanden ook te beschermen tegen overstroming is onbekend. Dijken om kleine stukjes cultuurland werden onderhouden volgens de "oude gewoonte" zo blijkt uit 14^e eeuwse documenten van Ameland, terwijl oudere afdammingen uit de 12^e eeuw al aanwezig zijn op Terschelling. Wat betreft de duinen is van het naastliggende eiland Rottumeroog bekend dat helmgras al in 1354 tegen oogsten werd beschermd door de abt onder wie het eiland viel. Het is daarom aannemelijk dat enig duin- en dijkonderhoud door Klaarkamp zal zijn uitgevoerd op Schiermonnikoog (Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Dijkenbouw door kloosterbroeders (bron onbekend)

Tijdens de Reformatie werd op 31 maart 1580 het klooster opgeheven en viel Schiermonnikoog toe aan de Staten van Friesland. Deze drongen aan op een beter toezicht op het beschermen van helm op het eiland. Uit contemporaine bronnen bleek echter dat verstuiving en oostwaartse verplaatsing van het eiland tussen 1530 en 1600 overheersten. In 1639 werden de familie Stachouwer de eigenaren. Zij hebben –blijkens kaarten- lokale dijken aangelegd aan de westkant van het eiland in de 17^e en 18^e eeuw. Erg succesvol waren zij niet waar het ging om de duinen onder controle te brengen. Het eerste dorp en de kerk overstoven en in 1717 werd een tweede kerk gebouwd zuidwestelijk van de eerste.

In 1825 werd er na zware stormschade aan het eiland een beroep gedaan op de overheid om het eiland te beschermen, maar er gebeurde niets. In 1859 kocht mr. Banck het eiland over van de verschillende erfgenamen van de Stachouwers. Hij liet de kwelder zuidelijk van het dorp bedijken (1860) en vormde zo de Banckspolder die ook nu nog grotendeels zichtbaar is in het huidige landschap rond het dorp (Figuur 5.2). Verdere dijkjes werden gelegd aan de

zuidwestkant van het gebied dat tot 1700 nog bewoond gebied was geweest maar nu regelmatig overstromde (1^e Stroodijk & Kofjedijk 1864-1884; Stroodijken 1891-1910).



Figuur 5.2 Westerplas kijkend naar het noorden: Rechts is de oorspronkelijke dijk van de Banck nog zichtbaar, zuidelijk ervan bedekt de Waterstaatsdijk deze dijk en gaat naar het westen (links) over in een stuifdijk. Foto 2007; <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt

5.2 Ontwikkeling kustverdediging tijdens de Waterstaat periode (vanaf ca. 1842)

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

Overstuivend zand aan de westkant van de Banckspolder zorgde voor overlast. Aangezien het zand afkomstig was van de Rijksgronden aan de westzijde (RSP 1 tot 2) moest Rijkswaterstaat deze verstuiwing beperken. Tussen 1910 en 1920 werd de duinregel noordelijk van de vuurtoren door de zee weggeslagen en stortte daarbij het badhotel in terwijl een aantal zomerhuizen moest worden afgebroken (Figuur 5.3). Toen men ook begon te vrezen voor de vuurtoren werd opdracht gegeven om de kust te beschermen. Het beheergebied van rijkswaterstaat werd uitgebreid tot RSP 3. De rest van het eiland bleef in onderhoud van de Graaf van Benstorff (de nieuwe bezitter van het eiland sinds 1892) tot en met de Tweede Wereldoorlog.



*Figuur 5.3 instortend Badhotel 1923/24 door ondermijning als gevolg van duinerosie door stormafslag;
<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat*

Na 1945 werd het eiland door het Rijk geconfisqueerd en belastte de minister van Financiën de Dienst der Domeinen met de zorg. Rijkswaterstaat kreeg het onderhoud van alle zeeverende duinen en de zeedijk (Figuur 5.2) en ging over tot de opzet van een eigen dienstonderdeel op het eiland. In de jaren zeventig is door aanleg van de stuifdijk Smitsrêg van het ruitepad bij RSP 2.8 tot de Badweg (RSP 3.7) het groene strand veranderd in een duinvallei (Figuur 5.4).



Figuur 5.4 Overzicht van de stuifdijken aan de westkant van de eilanden die ook het oude groene strand insluiten, foto 2007; <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat

De veiligheid tegen overstroming door het buitenwater wordt tegenwoordig binnen de dijkkring gewaarborgd op grond van de Waterwet. Binnen het dijkkringgebied van Schiermonnikoog vallen de Banckspolder, de Westerplas, het dorp en het duingebied rondom de noordkant van het dorp en bestaat aan de Noordzezijde uit duinen en aan de zuidzijde uit de Waddenzeedijk. Vooral in de afgelopen halve eeuw is door Rijkswaterstaat in de duinen onderhoud gepleegd, voornamelijk door het plaatsen van stuifschermen en planten van helm. Hierdoor is op het eiland een aaneengesloten, brede en hoge zeereep ontstaan. Door de werkzaamheden is langs een groot deel van de kust het duingebied zeewaarts uitgebreid. Het onderhoud van de zeereep vanaf de Waddenzeedijk tot aan RSP 7 had tot 1990 als doel het maken van een hoge en brede zandbuffer om afslag van de kust op te kunnen vangen. Vanaf de noordzijde van de Kobbeduinen (RSP 7) strekt zich de Stuifdijk uit tot RSP 10.4, maar wordt niet meer onderhouden. Deze stuifdijk werd aangelegd tussen 1959 en 1962 als reactie op de Stormvloedramp van 1953 en als een aanzet tot inpoldering van de Waddenzee. Oorspronkelijk liep de Stuifdijk door tot RSP 13 en is geprobeerd deze zelfs door te trekken tot RSP 16. In 1968 ontstond een gat ter hoogte van RSP 10.4 en ook oostelijk ervan ontstonden gaten. Het gat werd meerdere malen hersteld maar in de jaren tachtig is het onderhoud voorbij RSP 10.4 gestopt, waarna oostelijk ervan een flink aantal openingen in de zeereep is ontstaan, die bij stormvloed functioneren als overslagvlakten.

5.3 Dynamische kustlijnhandhaving: regionale afspraken

Bij het opstellen van het suppletieschema en/of het uitvoeren van de suppleties houdt Rijkswaterstaat voor specifieke gebieden rekening met gemaakte regionale bestuurlijke afspraken. Dergelijke afspraken zijn veelal vastgelegd bij de herziening van de BKL of in het POK (Provinciaal Overlegorgaan Kust, 2000. 'Kustbeheer Schiermonnikoog anno 2000').

Hieronder volgt een samenvatting van de bestuurlijke regionale afspraken voor Schiermonnikoog (*bronnen*: POK Fryslân, 2000; Rijkswaterstaat, 2007).

Km 1 – 5 (Westerstrand): De zeereep is hier ofwel onderdeel van de primaire waterkering rond het dijkringgebied ofwel de zeereep ligt op enkele honderden meters aan de zeezijde van de waterkering. Het onderhoud is gericht op het waar nodig vastleggen van de zeereep. Uitgangspunt hierbij is dat de duinvoet gemiddeld over het kustvak op zijn plek blijft. Het beheer is een compromis, om tegemoet te komen aan wensen van bewoners met betrekking tot veiligheid en kustbeheer.

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

Km 5 – 7 (Noorderstrand): Hier zijn geen eisen ten aanzien van de vormvastheid van de zeereep, omdat de waterkering verder naar binnen ligt. Bovendien zijn er weinig overige belangen. Hoofdzakelijk ter weerszijden van de strandovergangen bij de badweg enig onderhoud nodig.

Km 7 – 10.4 (westelijk deel stuifdijk tussen Reddingsweg en de eerste opening): Totale vrije dynamiek. Er vindt geen onderhoud aan de stuifdijk plaats. Het ontstaan van stuifkuilen, kale plekken en afslagranden wordt niet tegengegaan of hersteld. Aan de stuifdijk km 7 - 10 is vanaf 1990 geen onderhoud gepleegd. Tussen de zeereep/stuifdijk en de jonge duintjes op het strand wordt er niet (of alleen bij hoge uitzondering) gereden met auto's. Dit om eventuele ontwikkeling van een 'groen strand' niet te verstoren.

5.4 Toetsing van de waterkering

5.4.1 Waterwet

De Waterwet¹ schrijft voor dat er elke zes (voorheen vijf) jaar een toetsing van de primaire waterkering plaatsvindt. Bij de toetsing wordt gekeken of de waterkering in kwestie nog aan de wettelijke veiligheidsnormen voldoet. Uit de toetsing 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 wijze van toetsen wordt beschreven in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV; Min. V&W, 2007) en de hulpmiddelen die nodig zijn voor de toetsing worden aangeleverd in het

¹ <http://wetten.overheid.nl/>

Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI²). Hiernaast zijn er de nodige gegevens nodig om de toets 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 toetsing hangt in grote mate af van de soort waterkering. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen:

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

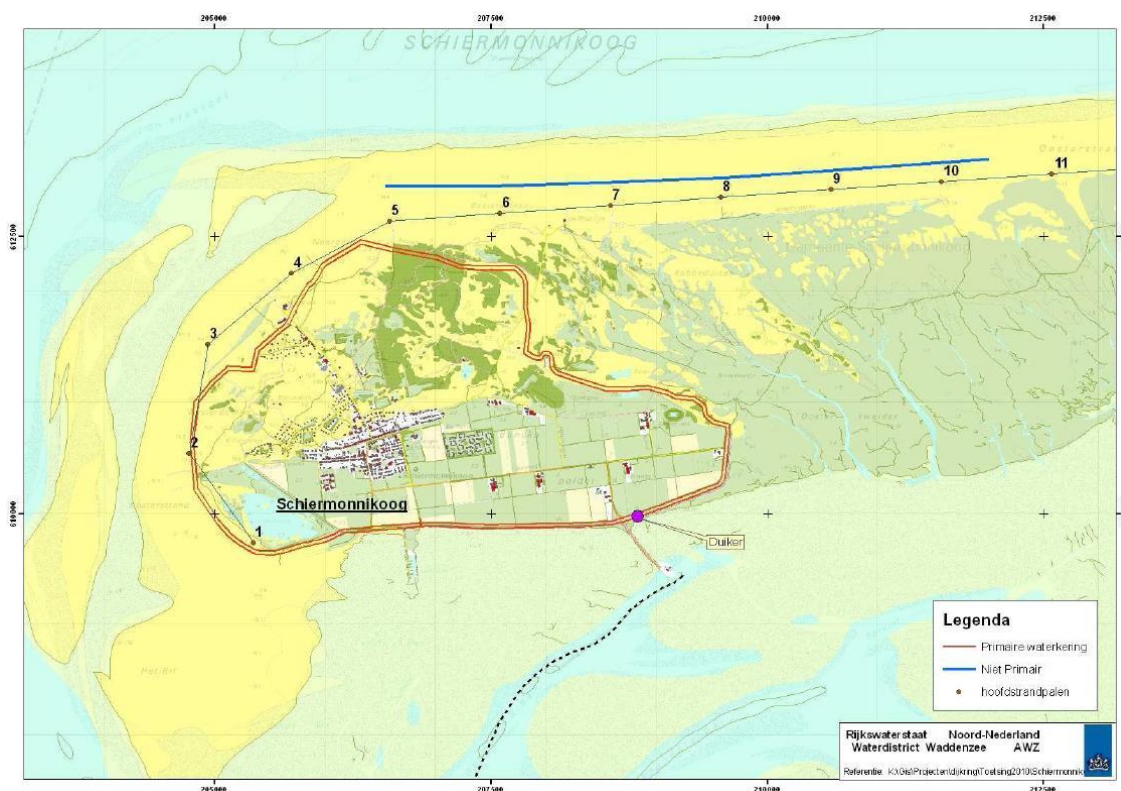
Voor al deze categorieën zijn toetsmethodieken beschreven in het VTV.

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

5.4.2 Beschrijving van de Waterkering Schiermonnikoog

De primaire waterkering op Schiermonnikoog heeft een totale lengte van 12 RSP en vormt dijkkring 1 (Figuur 5.5). De dijkkring bestaat uit een zandige duinenkust aan de Noordzeezijde (8 km) en een dijk aan de Waddenzeezijde (4 km). Tot januari 2009 was het beheer van dijkkring 1 in handen van Rijkswaterstaat Dienst Noord-Nederland. Sindsdien is het beheer overgedragen aan Wetterskip Fryslân.

²http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming_tegen_het_water/organisatie/wettelijk_toetsinstrumentarium/



Figuur 5.5 Waterkering Schiermonnikoog.

Duin - Noordzee

De duinwaterkering heeft een lengte van 8 km en begint aan zuidkant van de westelijke eilandkop van Schiermonnikoog en valt daar samen met de zeereep. Tot aan RSP 1.8 bestaat de kering uit een smalle en redelijk lage duinenrij. De waterkering loopt rond de eilandkop naar de Noordzezijde en daar neemt de afstand tot de zeereep toe. Tussen RSP 1.8 en 5.0 is een breed duingebied aanwezig. Tussen RSP 5.0 en 7.8 ligt er een breed voorland voor de kering. De oostelijke punt van het eiland ligt niet binnen de primaire waterkering. Nabij de Westerplas in het westen en de Eendenkooi in het oosten is de duinwaterkering verbonden met de dijk aan de Waddenzeezijde met twee aansluitingsconstructies

Dijk - Waddenzee

De Waddenzeedijk loopt langs de zuidzijde van het eiland. Er bevindt zich één kunstwerk in de Waddenzeedijk: een uitwateringsduiker net ten oosten van de veerdam.

5.4.3 Toetsing waterkering Schiermonnikoog

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

Toetsronde 1: 1996 – 2001

Zandige kust

In deze situatie krijgen alle raaien van de duinwaterkering het oordeel 'voldoende' of 'goed'. Er wordt ook gekeken naar de hypothetische situatie dat het voorland tussen RSP 5.0 en 7.8 verlaagd zou worden tot +2.5 m NAP. Bij deze test scoren alleen de raaien ter hoogte van

RSP 7.6 en 7.8 een 'onvoldoende'. Omdat er een beleid van dynamisch handhaven van de kustlijn wordt toegepast is het zeer onwaarschijnlijk dat het voorland ook daadwerkelijk zo veel verlaagt.

Beide aansluitingsconstructies blijken ook voldoende veilig.

Harde keringen

De Waddenzeedijk krijgt voor het overgrote deel het oordeel 'nader onderzoek nodig', met betrekking tot de toetsing van de steenbekleding. Op de onderdelen hoogte en stabiliteit wordt echter wel 'voldoende' en 'goed' gescoord.

Toetsronde 2: 2001 - 2006

Zandige kust

De gehele duinwaterkering krijgt het oordeel 'goed'.

Harde keringen

De harde kering wordt als 'voldoende' beoordeeld. Opgemerkt dient te worden dat de stabiliteit van de bekleding een 'voldoende' kreeg door recent uitgevoerde verbeteringen.

Toetsronde 3: 2006 – 2011

Zandige kust

Op de raaien ter hoogte van RSP 7.4 en 7.8 na krijgt de hele duinwaterkering de scores 'voldoende' of 'goed'. Aangezien er tussen de getoetste Jarkus profielen van raaien ter hoogte van RSP 7.4 en 7.8 en de daadwerkelijke primaire waterkering nog meer duinmassief aanwezig is krijgen ook deze raaien alsnog het oordeel 'voldoende'.

Beide aansluitingsconstructies worden als 'goed' beoordeeld.

Harde keringen

De gehele grasbekleding in de golfklapzone van de Waddenzeedijk krijgt 'geen oordeel', dit zou betekenen dat er een geavanceerde toets nodig is om tot een oordeel te komen. Echter, door ervaringen van de beheerder met aanzienlijke schade aan de grasbekleding tijdens eerdere stormen is besloten het oordeel 'onvoldoende' te geven.

Als gevolg hiervan zal de beheerder nagaan of de inspectie van de grasbekleding en maatregelen bij stormschade gewijzigd dienen te worden.

Veiligheid Nederland in Kaart (van Reen, 2014).

Voor Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) zijn nieuwe berekeningen gemaakt over de overstromingskans van dijkkring 1 (Schiermonnikoog) door de faalmechanismen voor alle dijkvakken, duinvakken en kunstwerken van de gehele dijkkring te combineren. Daaruit blijkt dat de overstromingskans van Schiermonnikoog met name wordt gedomineerd door de faalkans van de grasbekleding van dijkvak 2, 3 en 4 (48%) en de kans op niet sluiten van de duiker en het ontbreken van een backup bij falen (ook 48%). Daarbij komt het dijkvak met de grootste faalkans door falende grasbekleding overeen met het in de toetsing afgekeurde dijkvak. De overstromingskans per jaar is 1/350 volgens deze berekeningen. Via het vergoten van de betrouwbaarheid van de sluiting van de duiker en het verbeteren van de grasbekleding kan een hogere score op overstromingskans worden gerealiseerd.

Ontwikkeling kust en kustverdediging in de toekomst

Tot nog toe was er door het brede strand van Schiermonnikoog geen noodzaak om de kust te verdedigen door middel van zandsuppleties. Of dat ook in de toekomst het geval zal zijn is echter de vraag. Op het ogenblik vindt tot RSP 9 overwegend erosie plaats. Op sommige profielen lijkt de kusterosie niet af te remmen, in andere profielen (zuidelijk van RSP 2.8) gaat deze al weer over in aangroei. Lokaal kan de BKL tussen 2021-2023 overschreden worden (Kustlijnkaartenboek, 2017; zie ook Doornenbal et al., 2011). De sterke erosie van het gebied tussen RSP 280 en 540 als gevolg van het dicht- en landwaarts-drukken van de diepte/geul onder invloed van de zeewaarts ervan liggende grote zandplaat die sinds 2002 steeds dicht bij het eiland komt, zou op relatief korte termijn kunnen leiden tot overschrijding van de BKL. Pas na het verhelen van de zandplaat met de kust zal "de druk op de kust" afnemen. De onderweg zijnde verhelung van de zandplaat NW van Schiermonnikoog (situatie 2012; verwachte verhelung: 2019-2022; mogelijk al begonnen rond RSP 560) met het eiland zal voor de westzijde overschrijding van de BKL grotendeels tegengaan. Of in tussentijd suppleties moeten worden uitgevoerd is de vraag. Enerzijds heeft de BKL een vrij zeewaartse positie (veelal honderden meters zeewaarts vanaf de duinvoet) zodat beperkte overschrijding kan worden toegestaan; anderzijds zal er na het verhelen van de zandplaat weer sprake zijn van een groot surplus aan zand.

Zoals al aangegeven kan dit binnen enkele decennia veranderen. De sterke verkleining van de buitendelta kan leiden tot minder zandaanvoer en de buitendelta zelf biedt ook minder luwte t.o.v. de situatie 1969. De algehele verwachting is dat dit leidt tot meer golfenergie op de kust en mogelijk netto kustachteruitgang. Dit zal vermoedelijk pas zichtbaar worden na de aanlanding van de volgende zandplaat. Uit een visuele inspectie van Appendix C kan versnelling van de kustafslag na 1969 wel worden waargenomen bij RSP 3 en 4, maar dit is onvoldoende om hier nu harde conclusies aan te verbinden. Aanbevolen wordt periodiek (bijv. om de 5 jaar) de situatie te herzien. Omdat buitendelta-verkleining ook een generiek probleem is dat ook optreedt bij de zeegaten van Marsdiep en Vlie, wordt voorts aanbevolen om een meer algemeen onderzoek naar de gevolgen voor kustbeheer te beginnen.

Het huidige beheer van de kust met de handhaving van de BKL is in handen van Rijkswaterstaat. Het beheer van de primaire waterkering is overgedragen aan het Wetterskip Fryslân. Het beheer van het natuurgebied is in handen van Natuurmonumenten. Schiermonnikoog is grotendeels een Nationaal Park, waarvan het functioneren sterk wordt bepaald door het plaatsvinden van natuurlijke interactie tussen strand, duinen en achterliggend gebied. Stuifdijken aangelegd in 1954-1958 verhinderen deels de natuurlijke kustdwarse interactie tussen die gebieden. De natuur achter de stuifdijk verrijkt met name tussen RSP 7 en 10, waardoor de waarde voor Natura*2000 afneemt. Duidelijk is geworden dat de werking van kust, duinen en achterliggend gebied nauw samenhangen en dat deze op elkaar moeten worden afgestemd voor een optimaal resultaat: vooral natuurlijke morfodynamische processen zijn een belangrijke sleutel voor het duurzaam beheer van al deze gebieden (Löffler et al., 2009). De huidige kustparallele zonatie van het beheer van het Nationaal Park Schiermonnikoog verhindert momenteel een verdere integratie van het beheer en leidt tot suboptimale resultaten voor natuur en landschap en meegroeivermogen van het eiland (zie Löffler et al., 2009; Anoniem, 2011). Een optimalisatie door afstemming lijkt, door de al bestaande, sterke overlegstructuren tussen de verschillende beheerders goed mogelijk. Schiermonnikoog zou daarmee als proeftuin kunnen fungeren voor het streven naar een verdere kostenefficiëntie en optimalisatie van het beheer van delen van de kust.

6 Gebruiksfuncties

In deze beheerbibliotheek staat de kennis over het morfologische systeem en morfologische kustindicatoren centraal (Hoofdstuk 2 en 4). Daarnaast bevat de beheerbibliotheek een beschrijving van het uitgevoerde kust- en duinbeheer (Hoofdstuk 3), evenals 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 dit hoofdstuk wordt alvast een bescheiden start gemaakt met de volgende onderwerpen: In de eerste paragraaf volgt een samenvatting van het voorkomen van type recreatiestranden (Decisio, 2011). In de tweede paragraaf staat een overzicht van de Natura2000 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.

6.1 Recreatie Schiermonnikoog

Schiermonnikoog is het kleinste van de vijf Waddeneilanden en richt zich voornamelijk op dagtoeristen. Het westelijke deel van Schiermonnikoog is vrij toegankelijk voor toeristen, het hele eiland is niet toegankelijk met auto's.

Het eiland heeft 1 strandtent (raai 3,8 Badweg) en een restaurant in het duin (raai 6,4). De strandopgang nabij dit restaurant is het drukste. Bij de Badweg zijn strandporten als kitebuggyen en vliegeren te vinden. Aan het eind van de Prins Bernhardweg is het badstrand waar ook strandbedden worden verhuurd. Buiten dit gebied (aan de noordwestkant van de westelijke eilandkop) wordt de strandovergang aan het eind van de Westerburenweg het drukst bezocht, aan de westkant van de eilandkop. De rest van het strand is (zeer) rustig, zie Figuur 6.1.

Voor Schiermonnikoog zijn geen knelpunten voor de strandbreedte aangegeven.



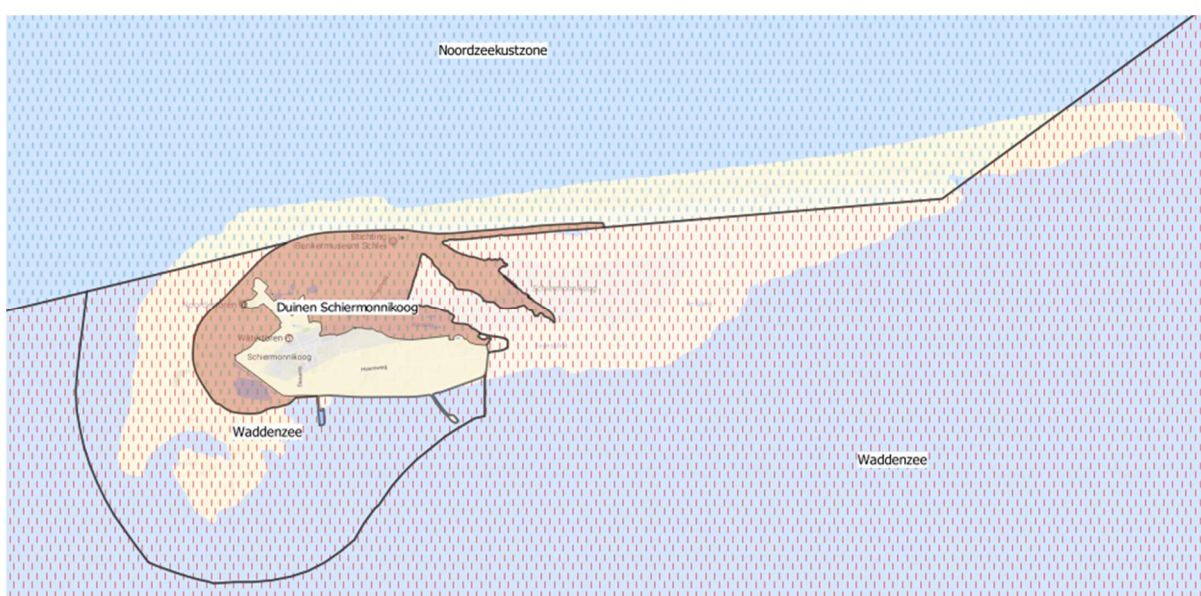
Figuur 6.1 Recreatieve stranden Schiermonnikoog (Decisio, 2011)

Via de Kustviewer <http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/kustviewer/> kan zowel de ontwikkeling in strandbreedte als het type recreatiestrand en eventuele knelpunten bekeken worden, voor alle kustvakken.

6.2 Natuur Schiermonnikoog

6.2.1 Natuurwetgeving

De duinen, het strand en de zee rondom Schiermonnikoog 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 Schiermonnikoog dat niet onder invloed van de zee staat is apart aangewezen als Natura-2000 gebied Duinen Schiermonnikoog. De zee en de stranden aan Noordzeezijde behoren tot aan de duinvoet tot het Natura2000 gebied Noordzeekustzone (Figuur 6.2).



Figuur 6.2 Ligging van de Natura 2000 gebieden Noordzeekustzone, Waddenzee en Duinen Schiermonnikoog.
Bron: GIS-kaart Natura2000 gebieden 17feb2017.

Hieronder zijn de gebiedsbeschrijvingen weergegeven zoals deze zijn opgenomen in de aanwijzingsbesluiten Duinen Schiermonnikoog, 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 Natura2000.

6.2.2 Habitatkarakteristieken

6.2.2.1 Duingebied Schiermonnikoog

(tekst overgenomen van Ministerie van Economische Zaken en Klimaat)

Het Natura 2000-gebied omvat het duingebied met uitzondering van een zone rond het dorp Schiermonnikoog en verder de stuifdijk tussen RSP 7 en 10. Belangrijke deelgebieden voor waterafhankelijke habitattypen zijn de Westerduinen met o.a. de Hertebosvallei en Vuurtorenvallei (westelijk op eiland), het Kapenglop, het Mossenglop (beide centraal in het duinmassief), lage natte gebied met en rond de Arnicavallei (noordoostelijk van het dorp aan

de zuidkant van het duinmassief), het Grienglop (overgang polder-duinmassief, noordoostelijk van duinmassief), valleien ten westen van de Reddingsweg waaronder de Bernardvallei (oostelijk van duinmassief in uitloper van de Oosterkwelder) en de Primaire vallei (aan de strandzijde van duinmassief). In de zuidwesthoek van het duinmassief ligt de duinplas Westerplas. De 'Strandvlakte' valt niet binnen het Natura 2000-gebied 6 - Duinen Schiermonnikoog, maar onder het Natura 2000-gebied 1 - Waddenzee.

6.2.2.2 Waddenzee

(tekst overgenomen van Ministerie van Economische Zaken en Klimaat)

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.

Door schelpenwinning is in het verleden een specifiek habitat verdwenen, namelijk het hard substraat van schelpenbanken bestaand uit recente en fossiele schelpen, in combinatie met de daarop groeiende oesters en andere begeleidende fauna zoals zeeanemonen. Dat habitat is sinds de jaren 1600 intensief bevist, zowel voor de winning van oesters als ook voor de winning van het substraat zelf voor de productie van kalk. De bevissing vond plaats met behulp van stalen schraapnetten (korren). Het habitatype is daardoor in de eerste helft van de jaren 1900 verdwenen. De schelpenwinning vindt nu plaats door steekzuigers die ook onder het bodemoppervlak schelpenbanken kunnen wegzuigen en die ook losse schelpen uit het zand kunnen zeven. Terugkeer van de sublitorale schelpenbanken die geschikt zijn als aanhechtingsplaats voor bodemdieren is niet mogelijk in gebieden waar schelpenwinning plaatsvindt. Daarom is de winning van schelpen sinds 2005 beëindigd in de zeegaten tussen Texel en Vlieland (Eierlandse gat), tussen Terschelling en Ameland (Borndiep) en tussen Schiermonnikoog en Rottum (Lauwers).



Figuur 6.3 Eilandkwelder Schiermonnikoog (Vliegerfoto Jaap de Vlas).

6.2.2.3 Noordzeekustzone

(tekst overgenomen van Ministerie van Economische Zaken en Klimaat)

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 dieptelij. 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 Natura2000 doelenuitwerking 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 aan de Noordzezijde van Schiermonnikoog is vergelijkbaar met het groene strand op Ameland, wat in de Doeluitwerking Waddenzee (2014) als volgt wordt

omschreven als: het groene strand op Ameland omvat verschillende habitattypen, zoals embryonale duinen, 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.

6.2.2.4 Nationaal Park Schiermonnikoog (Uit het Beheer en Inrichtingsplan plus Schiermonnikoog; Braat, 2011)

Een groot deel van Schiermonnikoog is Nationaal Park (figuur 4.4). Voor ieder Nationaal Park in Nederland gelden vier hoofddoelstellingen:

- Natuur: duurzame instandhouding, herstel en verdere ontwikkeling van natuurlijke en landschappelijke waarden, het bereiken van een hoge mate van compleetheid van de ecosystemen en het versterken van natuurlijke processen;
- Recreatie: bevorderen van natuurgerichte recreatie, kwaliteitsverbetering realiseren;
- Voorlichting en educatie: een Nationaal Park heeft een voorbeeldfunctie voor voorlichting en educatie over natuur en landschap in het algemeen;
- Onderzoek: om inzicht te krijgen over aanwezige natuurwaarden, processen of de recreatie.



Figuur 6.4 Weergave grenzen nationaal Park Schiermonnikoog.

Schiermonnikoog is aangewezen als Speciale beschermingszone, omdat er karakteristieke, bedreigde soorten en leefgebieden (habitats) aanwezig zijn. Nederland verplicht zich met de aanwijzing om die soorten en habitats in stand te houden. In de tabel staat om welke het op Schiermonnikoog gaat. Drie habitats met de soorten die er bij horen laten op Schiermonnikoog een ongewenste afname zien:

- Zandbanken en –platen in Waddenzee en Noordzee hebben te lijden van commerciële visserij en verstoring. De voedselsituatie voor vogels is verslechterd, onder andere door

het bijna verdwijnen van mosselbanken³. De afname van eidereend, scholekster, kanoet en steenloper is een uiting van de verslechterde voedselsituatie. Soorten die op stranden en zandplaten broeden (strandplevier, bontbekplevier en dwergstern) hebben het ook moeilijk.

- Oudere open duinen hebben te lijden van vergrassing en van het verdwijnen van geleidelijke overgangen tussen nat en droog, open en dicht begroeid. Grijs duinen (droog en kalkarm), kalkarme natte duinvalleien en soorten die daar voorkomen (paapje, tapuit, blauwe kiekendief) nemen af. Tegengaan van de gevolgen van stikstofdepositie en verbetering van de waterhuishouding zijn nodig om deze tendens te keren.
- Overgangen tussen zoet en zout zijn vreemd genoeg schaars op Schiermonnikoog. Door de aanleg van (stuif)dijken zijn er weinig kalkrijke, ontzilende duinvalleien en zilte graslanden.
- Het Nationaal Park Schiermonnikoog is één van de meest natuurlijke gebieden van Nederland en van Noordwest Europa. Het uitgangspunt van het nieuwe Beheer- en Inrichtingsplan 'plus' (BIP+) is om zo veel mogelijk ruimte te geven aan de natuurlijke processen. De veiligheid van de waterkering is daarbij een harde randvoorwaarde.

Het plan besteedt aandacht aan natuur, recreatie, voorlichting & educatie en onderzoek in het Nationaal Park. De 'plus' in het BIP+ verwijst naar het feit dat maatregelen in het kader van Natura 2000 en het Watergebiedsplan onderdeel zijn van dit plan.

De laatste vijftien jaar groeit het duinlandschap rond het dorp snel dicht met struiken en bomen. In de open delen overheersen enkele grassoorten. De variatie aan typische planten en dieren van duinen neemt af. Deze ontwikkeling kent verschillende oorzaken. De duinen zijn vastgelegd met helm en bosaanplant, waardoor er minder verstuing is. Konijnen zijn bijna verdwenen door ziektes. De neerslag van stikstof is te hoog. Er heeft zich in de loop der jaren veel stikstofrijk strooisel opgehoopt. Aan de binnenduintrand is sprake van verdroging door ontwatering van aangrenzende gebieden. Allemaal ontwikkelingen die in het voordeel zijn van struiken, bomen en vooral bepaalde grassoorten.

Door het dichtgroeien van de duinen verdwijnen zilte graslanden, 'grijze duinen' (met onder andere korstmossen en rozenkransje), vochtige duinvalleien (met onder andere orchideeën) en broedvogels (zoals tapuit en blauwe kiekendief). Het landschap wordt steeds minder begaanbaar voor wandelaars. Het verminderen van de zogenoemde 'verruiging' en 'verbossing' vraagt om een ander beheer. Het intensiveren van maaien, plaggen en bos rooien past niet bij het natuurlijke karakter van het eiland. Er ontstaan harde grenzen en zulk 'mechanisch beheer' brengt verstoring en hoge kosten met zich mee. In het BIP+ is gekozen voor het vitaliseren van de natuurlijke dynamiek van wind, water en planteneterende dieren, groot en klein. Hoe deze koerswijziging precies vorm gaat krijgen wordt de komende jaren duidelijk in de uitwerking, waarbij het Overlegorgaan van het Nationaal Park de inbreng van de bewoners zoekt.

Het opnieuw activeren van het washovercomplex tussen RSP 7 en 10 kan zorgen voor een natuurlijke verjonging en ophoging met vers zand van de achterliggende strandvlakte. Sinds de aanleg van de stuifdijk in de vijftiger jaren van de vorige eeuw is de invloed van de zee hier afgenomen. Het gebied groeit niet meer mee omhoog met de stijgende zeespiegel en is nu grotendeels begroeid met riet, wilgen en strandkweek. Het deels verwijderen van de stuifdijk is een ingrijpende maatregel met grote gevolgen. Voor dat hier over besloten kan

³ Dit is niet langer het geval: mosselbanken hebben zich hersteld.

worden is onderzoek nodig naar de gevolgen voor natuur en kustveiligheid en naar de manier waarop zo'n maatregel vorm kan krijgen. Wanneer de benodigde informatie verzameld is zal het Overlegorgaan uiterlijk in 2018 besluiten of het traject naar uitvoering gestart kan worden. De bewoners van Schiermonnikoog worden bij deze besluitvorming betrokken.

Op Schiermonnikoog is weinig invloed van planteneterende dieren. De ontwikkeling naar ruigte en bos gaat ongehinderd door, gevoed door de neerslag van stikstof. Natuurlijke, extensieve begrazing is een passende manier om het hele scala aan ontwikkelingsstadia in een fijn mozaiek te ontwikkelen: van open zand tot opgaand duinbos. Runderen kunnen goed uit de voeten met hoog gras, edelherten hebben invloed op de bosontwikkeling en paarden zorgen voor het ontstaan van kortere begroeiing. In het kielzog van deze dieren ontstaat ook een geschikter leefgebied voor konijnen. Om aan te sluiten bij het natuurlijke karakter van het eiland en om een maximale invloed op verruiging en verbossing te krijgen, zullen grazers het hele jaar rond in een lage dichtheid een flink deel van eiland begrazen. Voorop staat dat de toegankelijkheid gewaarborgd is: mensen mogen begraasde gebieden gewoon in en lopen geen gevaar. Juist vanwege de invloed op de beleving is het zaak om in overleg een goede vorm voor begrazing te vinden.

7 Synthese

7.1 Systeemwerking en huidige beheer

De ligging en de zandbudgetten Schiermonnikoog worden vooral bepaald door de zandaanvoer vanaf de buitendelta van de Zoutkamperlaag en afslag door de buitendeltageulen. Het eiland kent een lange historie van een stabiele of zelfs zeewaarts uitbouwende kustlijn positie en is nog nooit gesuppleerd. De bron van het zand kan tweeledig zijn. Eén mogelijke bron is het zand dat vrijkomt bij de afslag aan de westzijde van het eiland door het oprukken van het zeegat of buitendeltageulen. Dit zou voor de periodes 1530-1600 (afslag NW zijde), 1700-1835 (ZW zijde) en 1835-1929 (NW zijde) een belangrijke bron kunnen zijn geweest. Daarnaast kan zandaanvoer worden gefaciliteerd door het kleiner worden van het getijdevolume van de Lauwerszee vanaf 1550 (toen het zeegat verbonden werd met de Lauwerszee), waardoor het zandvolume van de buitendelta afnam en dit zand deels kon worden afgegeven aan het eiland. Het krimpen van de Lauwerszee gebeurde deels door geleidelijke opslibbing en inpoldering, deels door abrupte indijking in 1969. Dit laatste heeft aantoonbaar gezorgd voor een sterke kustuitbouw.

Deze sterke uitbouw verliep in twee fasen (ca. 1977 en 1988) waarna de aangelande zandmassa als een golf langs de kust in oostwaartse richting verschoof. Daarna is er een periode aangebroken waarin kustterugtrekking domineert (in 2018 van RSP 2.8 tot en met RSP 9.6). Lokaal kan de BKL tussen 2018-2023 overschreden worden (zie ook Doornenbal et al., 2011). De onderweg zijnde verhelings van de zandplaat NW van Schiermonnikoog (verwachte verhelings: 2019-2022) met het eiland zal voor de westzijde overschrijding van de BKL grotendeels tegengaan of ongedaan maken. Of in tussentijd suppleties moeten worden uitgevoerd is de vraag. Enerzijds heeft de BKL een vrij zeewaartse positie (veelal honderden meters zeewaarts vanaf de duinvoet) zodat beperkte overschrijding kan worden toegestaan en zal er na het verhelens van de zandplaat weer sprake zijn van een groot surplus aan zand. Anderzijds verloopt de terugtrekking rond RSP 4-5 erg snel en zou op korte termijn (2020) al kunnen leiden tot doorsnijding van de BKL.

Op nog termijn van meerdere decennia moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid van minder zandaanvoer vanuit de –als resultaat van de indijking van de Lauwerszee-gekrompen buitendelta, terwijl daardoor ook minder luwte tegen golfaanval vanuit de Noordzee wordt geboden aan met name de noordwestzijde van het eiland. De mogelijke gevolgen zijn nog onbekend.

Schiermonnikoog is grotendeels een Nationaal Park, waarvan de werking sterk wordt bepaald door het plaatsvinden van natuurlijke interactie tussen strand, duinen en achterliggend gebied. Stuifdijken aangelegd in 1954-1958 verhinderen deels de natuurlijke interactie tussen die gebieden. Een meer integraal en kostenefficiënt beheer door afstemming tussen beheerders lijkt, door de al bestaande, sterke, overlegstructuren goed mogelijk. Schiermonnikoog zou daarmee als proeftuin kunnen fungeren voor het streven naar een verdere optimalisatie van het beheer van andere delen van de kust.

Schiermonnikoog richt zich voornamelijk op dagtoeristen. Het westelijke deel van Schiermonnikoog is vrij toegankelijk voor toeristen; in de rest van het gebied gelden seizoenale beschermingsmaatregelen ten behoeve van de vogelstand. Er zijn beperkte faciliteiten op en bij het strand voor toeristen. Het strand is zeer breed en dat geeft aanleiding

tot strandporten als kitebuggyen en vliegeren. Voor Schiermonnikoog zijn geen knelpunten voor de strandbreedte.

Tenslotte moet nog rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de uiterste oostpunt van Schiermonnikoog door een doorbraak naar de Eilanderbalg kan worden afgesnoerd van het eiland, waarbij Schiermonnikoog weer geheel op Fries gebied komt te liggen.

7.2 Hypotheses systeemwerking

- 1) De ontwikkeling van het eiland wordt vooral bepaald door aanzanding en erosie vanuit (de buitendelta van) de Zoutkamperlaag;
- 2) Op korte termijn kan overschrijding plaats vinden van de BKL, maar dit zal spoedig (daarna) ongedaan worden gemaakt door de verheling van een grote zandplaat in het NW van het eiland;
- 3) Door de sterke veranderingen in de Zoutkamperlaag als gevolg van de afsluiting van de Lauwerszee moet rekening gehouden worden met sterke veranderingen in de afslag en in de zandaanvoer naar het eiland over enkele decennia;
- 4) Het eiland is ten behoeve van het natuurherstel in dit nationaal park gebaat bij herstel van een sterke wisselwerking tussen strand, duinen en achterliggend gebied, waar dit zonder gevaar voor de veiligheid kan.
- 5) Op termijn van de komende decennia moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat 3 tot 4 km van de oostkant weer worden afgescheiden van het eiland doordat er een kortsluitgeul van de Eilanderbalg ontstaat over de oostpunt heen.

7.3 Aanbevelingen (verwijzend naar de bovengenoemde hypothesen)

Beheer

Ad 1 & 2: Volg de kustlijnontwikkeling en de migratie van de zandbank aan de NW zijde van het eiland en wees niet te overijverig met het suppleren: als het kan, wacht op de aanlanding van de zandbank; Ga na welke strategie zal worden gevolgd bij een beperkte overschrijding van de BKL wetende dat een zandplaat zich gaat verhelen met het eiland. Zet daartoe ook tijdig een communicatietraject uit;

Ad 3: Onderzoek de implicaties van het kleiner worden van de buitendelta van de Zoutkamperlaag voor 1) zandaanvoer vanuit de buitendelta; 2) luwte tegen stormgolven voor de noordwestkop;

Ad 4: Onderzoek de mogelijkheden tot een meer geïntegreerde benadering van kust- duinen natuurbeheer voor het eiland. Een betere integratie van beheer lijkt van essentieel belang voor het eiland Schiermonnikoog waar het gaat om de kwaliteit van natuur en landschap. Oprichting van een beheerregiegroep kan worden overwogen.

Onderzoek

Ad 3: Modelonderzoek naar de effecten van de krimp van de buitendelta's van de Zoutkamperlaag, het Vlie en het Marsdiep op stormgolven i.r.t. golfaanval op de noordwestkop, zodat een realistischere inschatting kan worden gemaakt m.b.t. het benodigde toekomstig beheer van de eilanden Schiermonnikoog en andere Waddeneilanden. Verkennend literatuuronderzoek naar de implicaties van kleinere buitendelta-afmetingen op de zandaanvoer naar Schiermonnikoog, Terschelling en Texel door vergelijking met andere getijdesystemen in de Waddenzee, zodat een inschatting kan worden gemaakt van de benodigde zandsuppleties;

Ad 4: Onderzoek naar de mogelijkheden tot herstel van overslagvlakten en verstuvende duinen om te komen tot een groter meegroeivermogen (ten opzichte van zeespiegelstijging) van de eilanden en een natuurlijker ecosysteem.

8 Literatuur

- Anoniem, 2011: Beheer- en inrichtingsplan 'plus' 2011-2022 Schiermonnikoog
- Arens, S.M., 1996: Sediment dynamics of a coastal foredune, Schiermonnikoog, The Netherlands. In: Jones, P.S., Healy, M.G. and Williams, A.T. (Eds). Studies in European Coastal Management, 137-146. Samara Publishing Ltd in association with the EUCC.
- Arens, S.M., 2009: Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 1. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2009.02 in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Arens, S.M., van Puijvelde, S.P. & Briere, C., 2010: Effecten van suppleties op duinontwikkeling. Rapportage geomorfologie, Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, RAP 2010.03 in opdracht van LNV Directie Kennis (OBN) en Rijkswaterstaat Waterdienst. 216 pp.
- 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.
- Arens, S.M., Mulder, J.P.M., Slings, Q.L. Geelen, L.H.W.T. en Damsma, P., 2012: Dynamic dune management, integrating objectives of nature development and coastal safety: Examples form the Netherlands. Geomorphology
- van Balen, W., Vuik, V. Van Vuren, S., 2011: Indicatoren voor kustlijn-zorg-Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie. HKV rapport PR2063.20.
- Boers, M., 2008: Duinen als waterkering. Rapport H5019.10, Deltares.
- Biegel, E. & Hoekstra, P., 1995: Morphological response characteristics of the Zoutkamperlaag Inlet, Friesian Inlet, The Netherlands to a sudden basin area reduction. International Association of Sedimentologists. Special Publication 24: 85-99.
- 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.
- Decisio, 2011: Ruimte voor recreatie op het strand, onderzoek naar een recreatiebasiskustlijn. Bijlagenrapport. Onderzoek voor de provincies Friesland, Noord-Holland, Zeeland en Zuid-Holland.
- Doornenbal, P., Oost, A., Bruens A. & van der Werf, J., 2011: Regionale Kustlijn-zorg advisering Schiermonnikoog.
- Engelstad A., Ruessink, B.G., Wesselman, D., Hoekstra, P., Oost, A, van der Vegt, M., 2017. Observations of waves and currents during barrier island inundation. Journal of Geophysical Research 122: 3152–3169.

- de Groot, A.V., Oost, A.P., Veeneklaas, A.V. Lammerts, E.J., van Duin, W.E., van Wesenbeeck, B.E., Dijkman E.M. & E.C. Koppenaal, 2014: Ontwikkeling van eilandstaarten: Geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie. Rapport, no . 1208549.01, 108 pp.
- Hillen, R., Ruig, de J.H.M., Roelse, P., Hallie, F.P., 1991: DE BASISKUSTLIJN een technisch/morfologische uitwerking. Rijkswaterstaat rapport GWWS-91.006.
- Hoekstra, P., ten Haaf, M., Buijs, P., Oost, A.P., Klein Breteler, R., Van der Giessen, K., van der Vegt, M., 2009: Washover development on mixed-energy, mesotidal barrier island systems. In: Mizuguchi, M., Sato, S. (Eds.), Proc. Coastal Dynamics 2009 e Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes. World Scientific, Singapore, pag. 83, 12 pp (& CD-ROM).
- Lammerts, E.J., in prep.: concept versie Natura2000 inventarisatie Schiermonnikoog
- Löffler, M.A.M., C.C. de Leeuw, M.E. ten Haaf, S.K. Verbeek, S.K., A.P. Oost, A.P. Grootjans, A.P., E.J. Lammerts & R.M.K. Haring, 2008: Eilanden natuurlijk. Natuurlijke dynamiek en veerkracht op de Waddeneilanden. Het Tij Geleerd. ISBN/EAN 978-90-70322-30-4.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017: Kustlijnkaartenboek 2017.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012: Herziening Basiskustlijn 2012.
- 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. Rijkswaterstaat 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.
- 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
- NRIT, 2004: Waarde (kust)recreatie Intensiteit, bestedingen en werkgelegenheid in relatie tot toerisme en recreatie aan de Nederlandse kust.
- NRIT, 2007: Strandlopers.

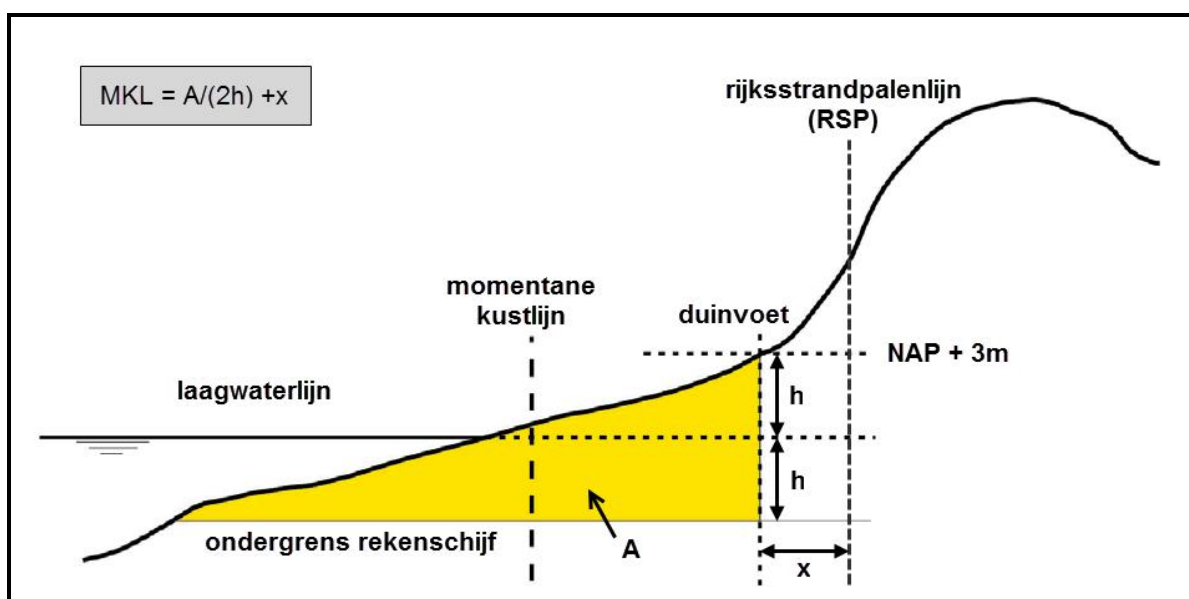
- Oost, A.P., 1995: Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet; a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas and drainage basins. PhD-Thesis, Utrecht, Geologica Ultraiectina, 126, 518 pp.
- Oost, A.P.; Hoekstra, P.; Wiersma, A.; Flemming, B.; Lammerts, E.J.; Pejrup, M.; Hofstede, J.; van der Valk, B.; Kiden, P.; Bartholdy, J.; van der Berg, M.W.; Vos, P.C.; de Vries, S.; Wang, Z.B., 2012: Barrier island management: Lessons from the past and directions for the future; *Ocean & Coastal Management*, Volume 68 Elsevier – Nov 1, 2012
- Provinciaal Overlegorgaan Kust Fryslân, 2000b: Kustbeheer Schiermonnikoog anno 2000. POK Fryslân, Projectgroep Schiermonnikoog, 53 pp + bijlagen.
- Van Reen, M.J., 2014: Veiligheid Nederland in Kaart 2; Overstromingsrisico dijkringgebieden 1, 2, 3 en 4; Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland, HB 2631022; 149 pp.
- RIKZ, 2006: Risicobeheersing in kustplaatsen.
- Rijkswaterstaat, 2007: Evaluatie dynamisch kustbeheer Friese Waddeneilanden.
- de Ronde, J.G. & M.C. van Oeveren – Theeuwes 2013: Quickscan Pilot Megasuppletie Zeegatsysteem (MESUZ), Deltares 1207778-000.
- van Rooijen, A. & A. Oost, 2014: Memo morfologische veranderingen Rottumeroog en Rottumerplaat. Voor de periode 1983-2014. Rapport. no.1209381-008, 61 pp.
- Stolk, A., 1989: Technisch rapport 1, zandsysteem kust, een morfologische karakterisering. Rapport Geopro 1989.02, 97 pp.
- Stuyfzand, P.J., Arens, S.M., Oost, A.P., Baggelaar, P.K, 2012: Geochemische effecten van zandsuppleties in Nederland. Langs de kust van Ameland tot Walcheren. 150pp.
- Vuik, V., Van Balen, W., Paarlberg, P. 2012: Indicatoren voor kustlijnverzorging - Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid. HKV rapport PR2063.30.
- Wesselman, D., de Winter, R. Engelstad, A., McCall, R., van Dongeren, A., Hoekstra, P., Oost, A. Van der Vegt, M., 2017: The effect of tides and storms on the sediment transport across a Dutch barrier island. *Earth Surf. Process. Landforms*, DOI: 10.1002/esp.4235.
- Wijnberg, K.M., Bochev-van der Burgh, L.M. & Hulscher, S.J.M.H., 2011: Coastal management and long-term foredune behavior: characterizing semi-natural foredune evolution. *Journal of Coastal Research*, 329 – 333.

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 vorm-fluctuaties 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 8.1 en wordt uitgebreid toegelicht in de nota *De Basiskustlijn, een technisch morfologische uitwerking* (Hillen et al, 1991).

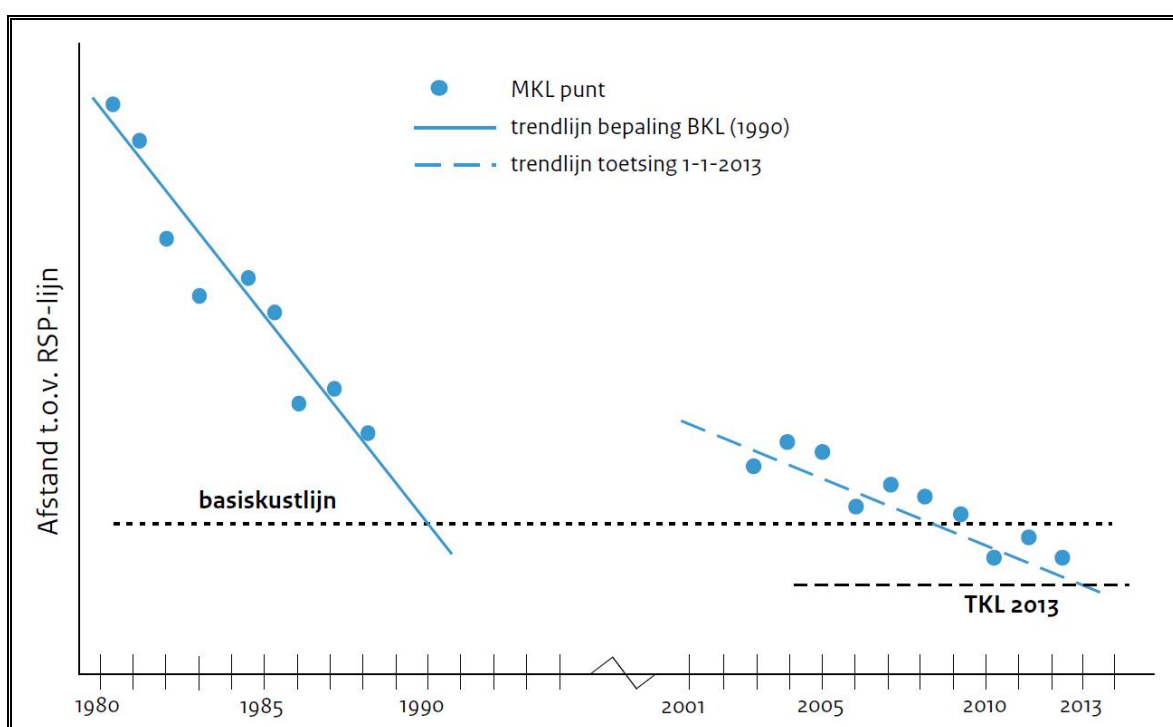


Figuur 8.1 Methode om de Momentane Kustlijn (MKL) af te leiden uit het gemeten kustprofiel. Eerst wordt het zandvolume (oppervlak A) bepaald in de zogenaamde rekenschijf tussen duinvoet (doorgaans NAP + 3m NAP) en een ondergrens (even ver beneden gemiddeld laagwater als de duinvoet boven gemiddeld laagwater (h)). Vervolgens wordt de Momentane Kustlijn bepaald door het oppervlak te delen door de hoogte van de rekenschijf (2h). Om de Momentane Kustlijn uit te drukken in meters ten opzichte van Rijksstrandpalenlijn (RSP), moet hier de horizontale afstand van de duinvoet tot RSP (x) nog bij worden opgeteld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

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 periode⁴. 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 8.2



Figuur 8.2 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 8.1 en Figuur 8.2. 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.

4. 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.

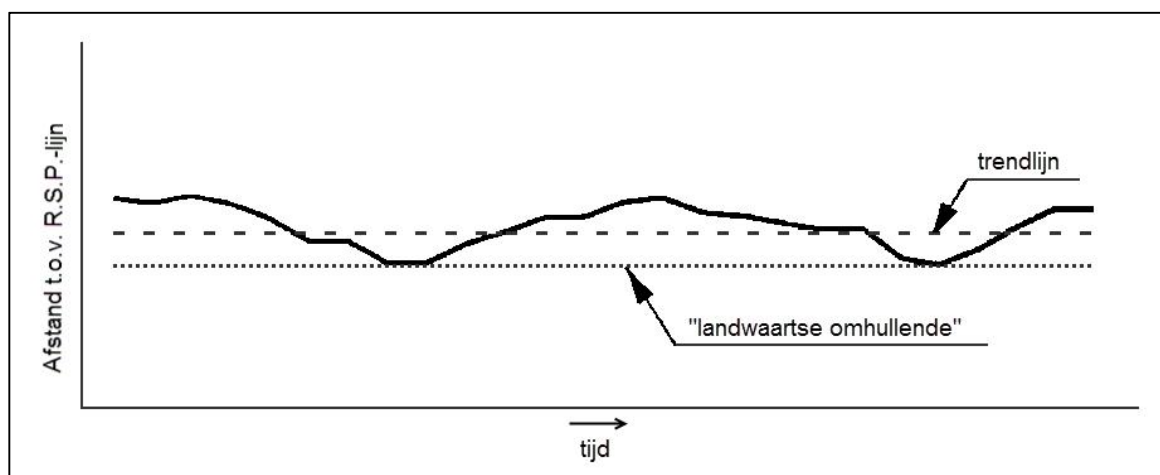
- Indien er sprake is van een trendbreuk in de kustontwikkeling wordt de trendperiode daarop aangepast. Dit wordt onder andere toegepast na het uitvoeren van een suppletie.

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 8.3). 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 8.3 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 vastgesteld⁵.

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 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 afslagzone⁶ 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.

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

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

⁶ Afslagzone is de zone van het duin die tijdens stormvloed kan afslaan.

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”*.

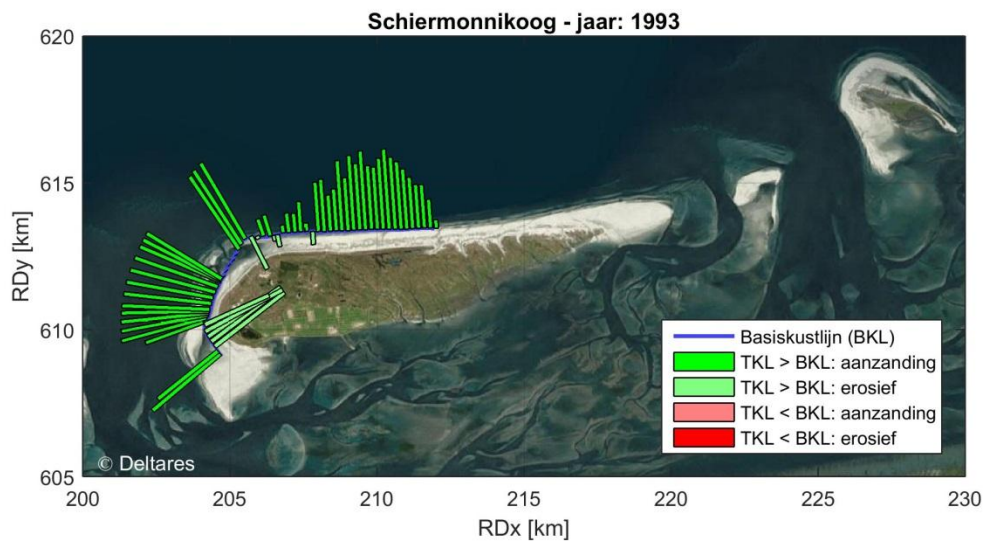
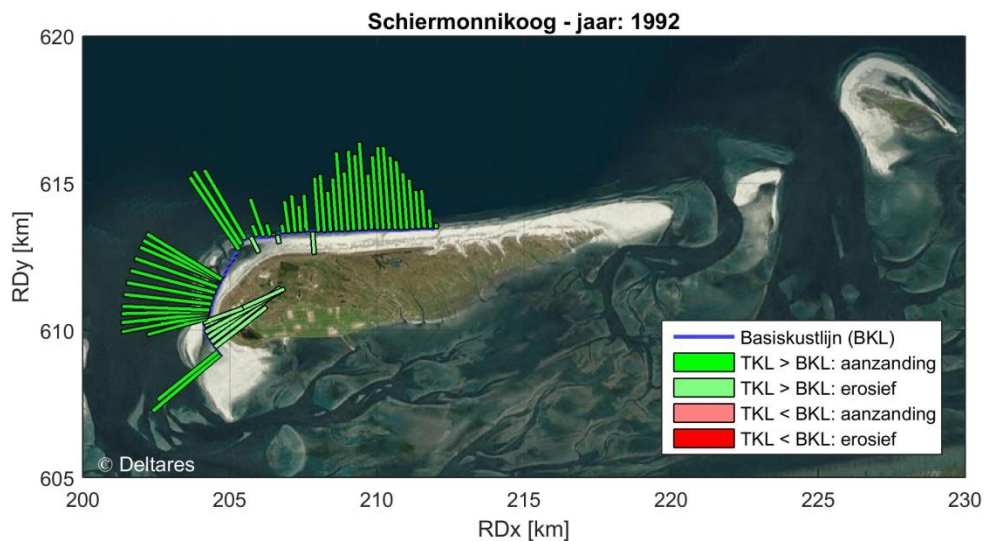
B Begrippenlijst morfologie

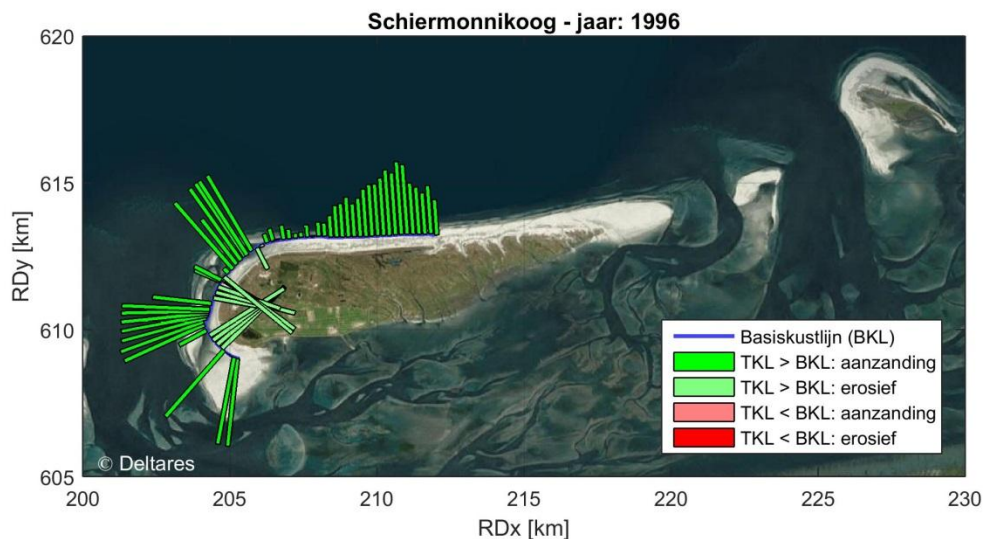
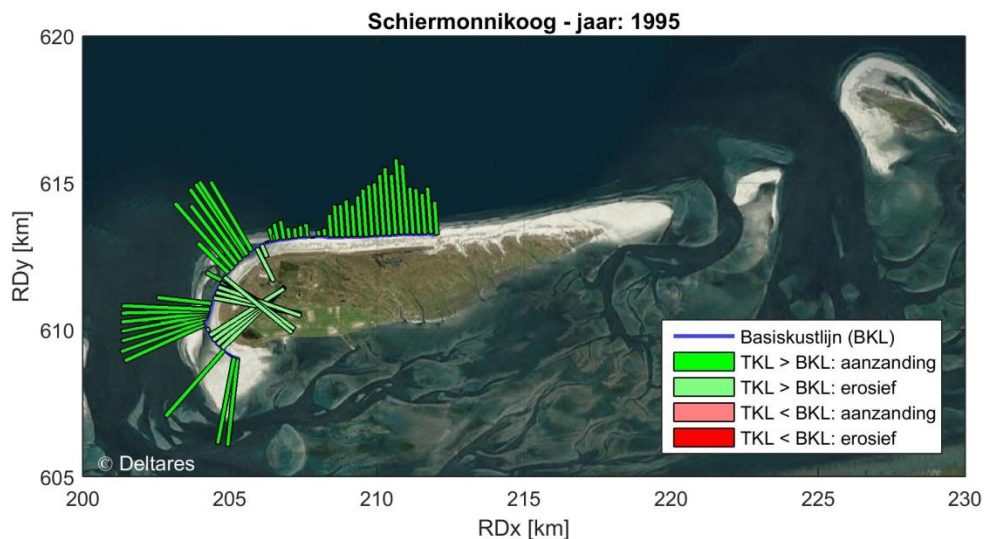
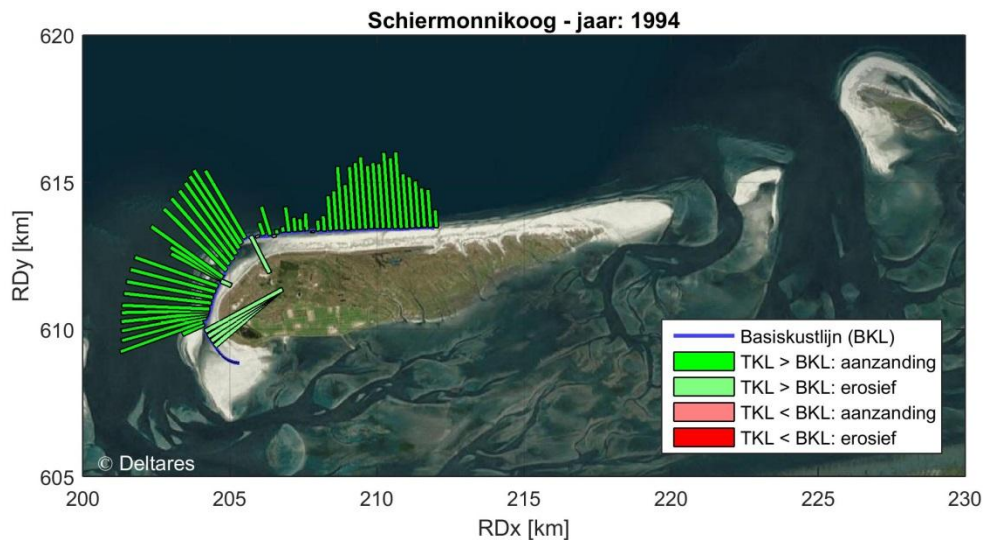
Begrippenlijst morfologie	
Brekerbanken	Zandruggen (of –banken), dichtbij en parallel aan de kust, waarop breking van golven plaatsvindt. Deze banken vertonen een cyclisch gedrag, waarbij ze ontstaan aan landzijde en gedurende enkele jaren zeewaarts migreren, waar ze uiteindelijk uitdempen. Op de meeste 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 (getjebekken 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 ebstroom 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 waaierspatroon (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.

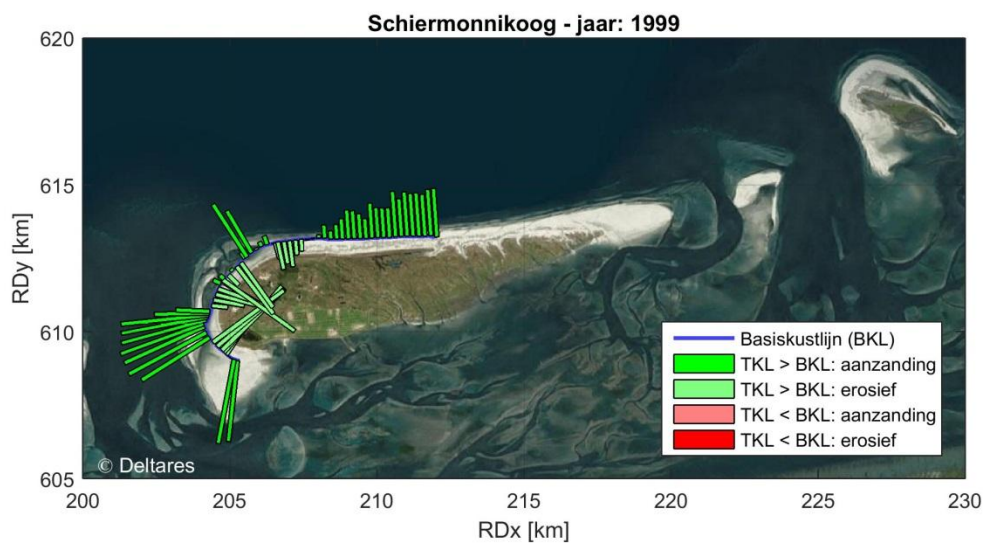
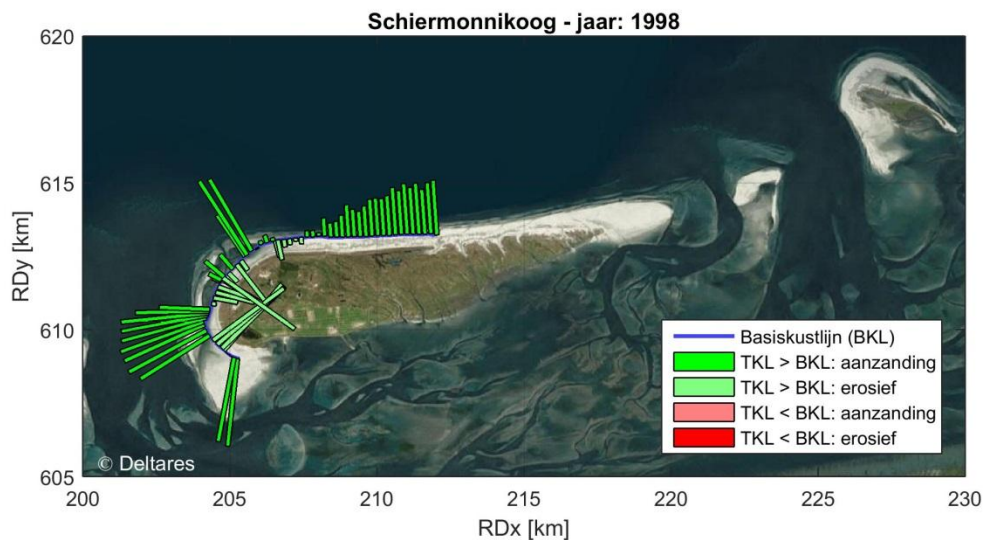
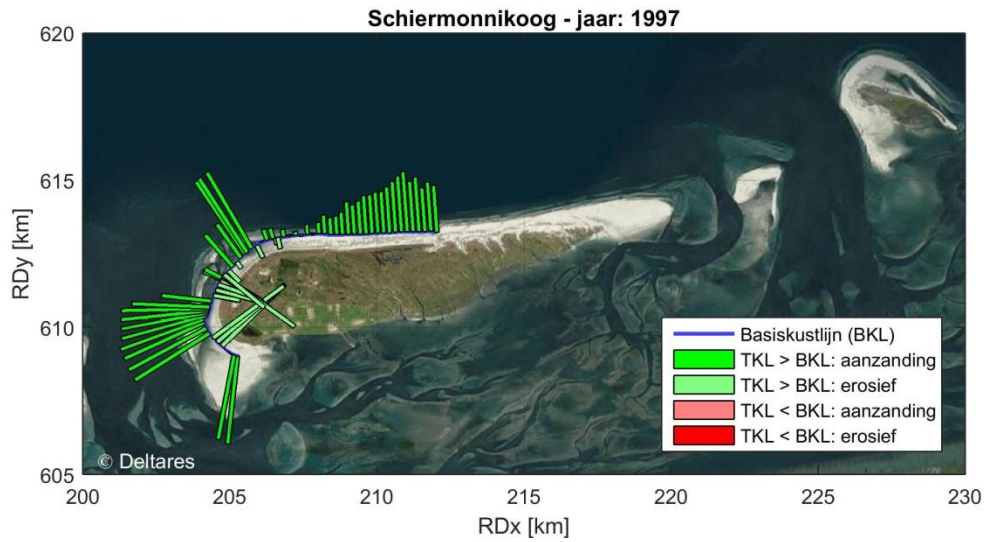
Spit en Strandhaak	<p>Uitstulping van de kust, die aan één zijde vastzit aan het land, en aan de andere zijde uitbouwt, in de richting van het netto sedimenttransport.</p> <p>Een spit ontstaat vaak op plaatsen waar de kustlijn abrupt wordt onderbroken, zoals bijvoorbeeld aan de bovenstroomse zijde van 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>

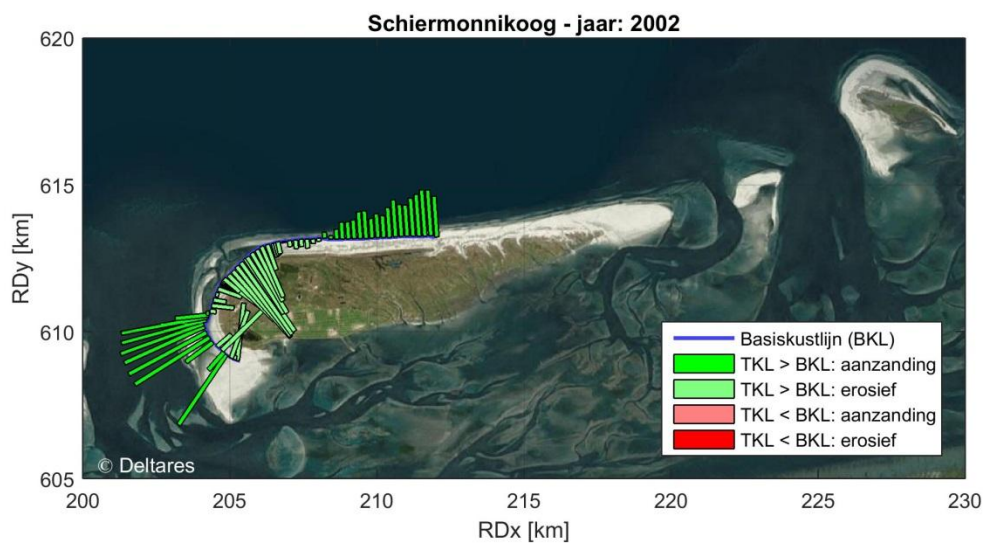
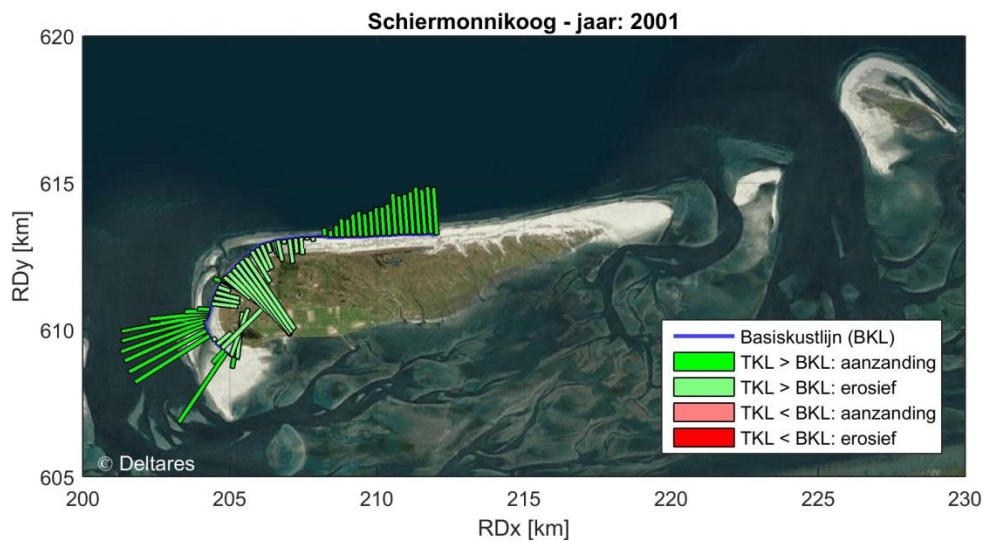
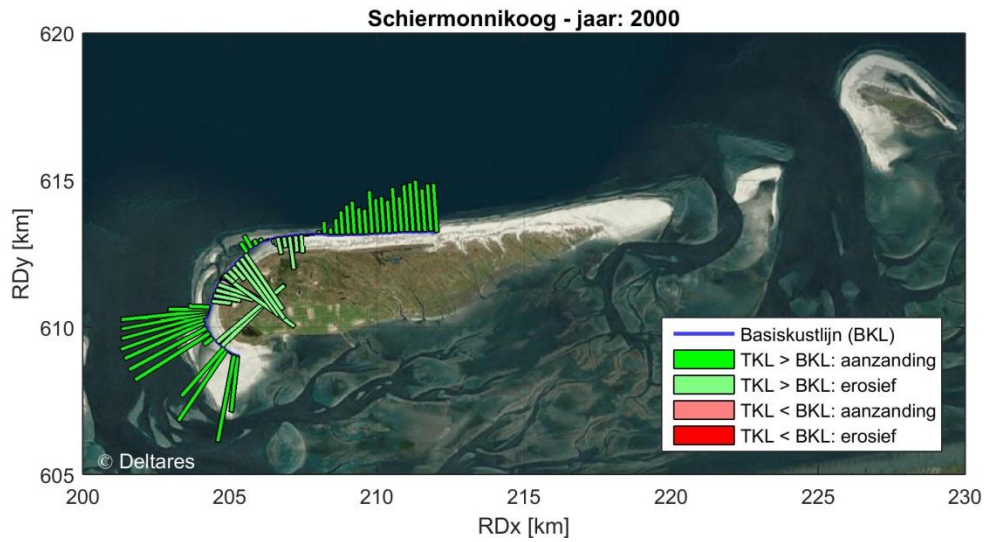
Begrippenlijst dynamiek zeereep	
Dynamiek	Dynamiek van stuvend zand, overstuiving (depositie) al dan niet gecombineerd met winderosie.
Aanstuiving	Overstuiving nabij de duinvoet, dus aan de voorzijde van de zeereep, waardoor de zeereep zich zeewaarts uitbreidt. In het verleden vaak gestuurd door stuifschermen.
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.

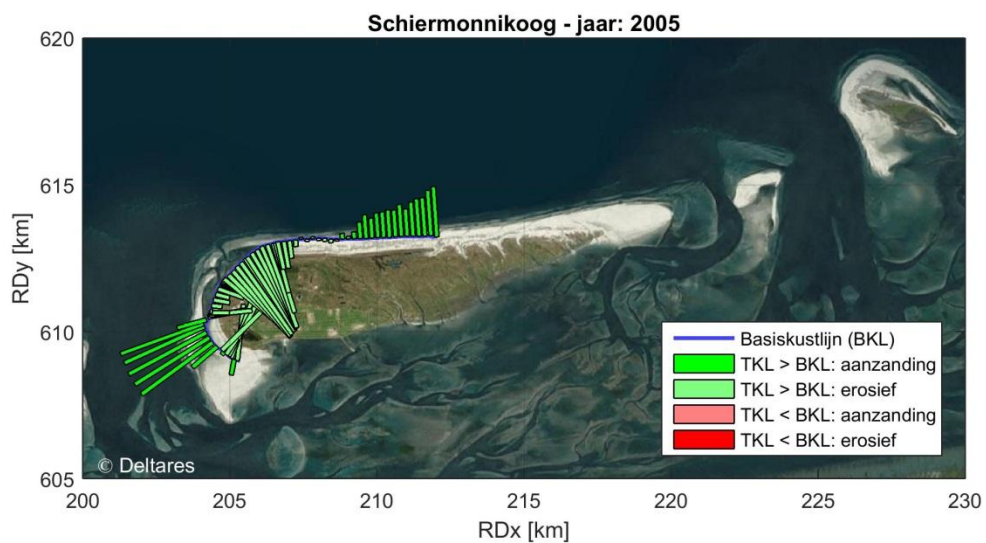
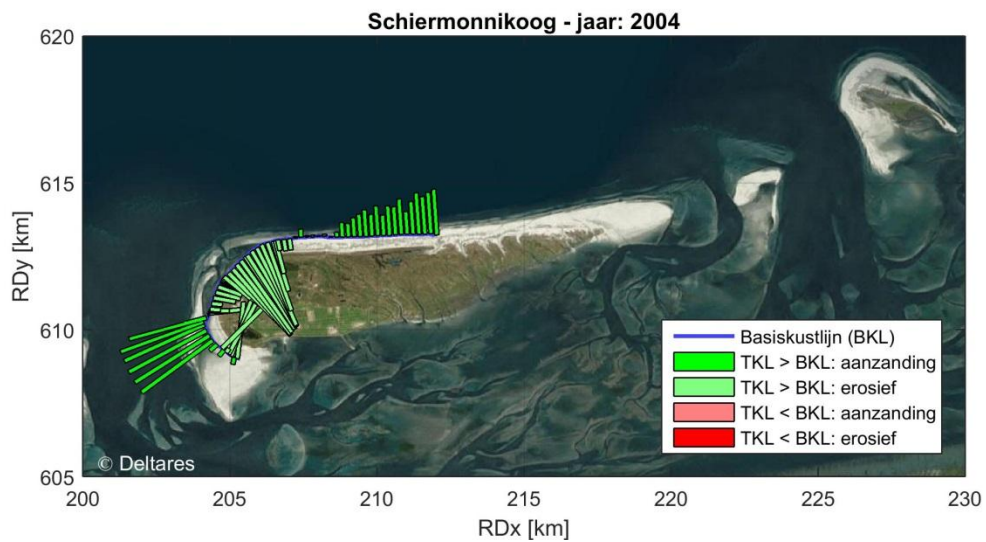
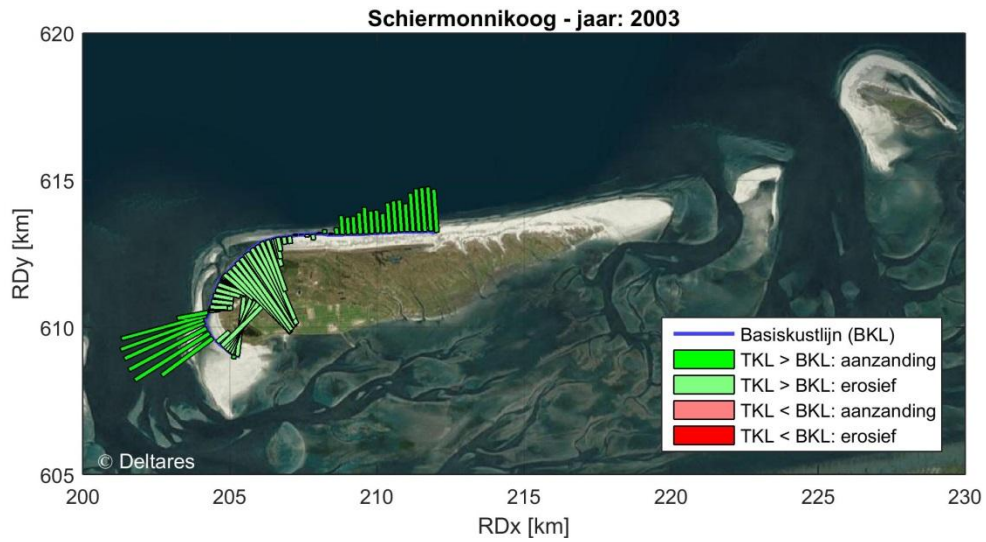
C Kustlijnindicatoren van Schiermonnikoog (1992-2016)

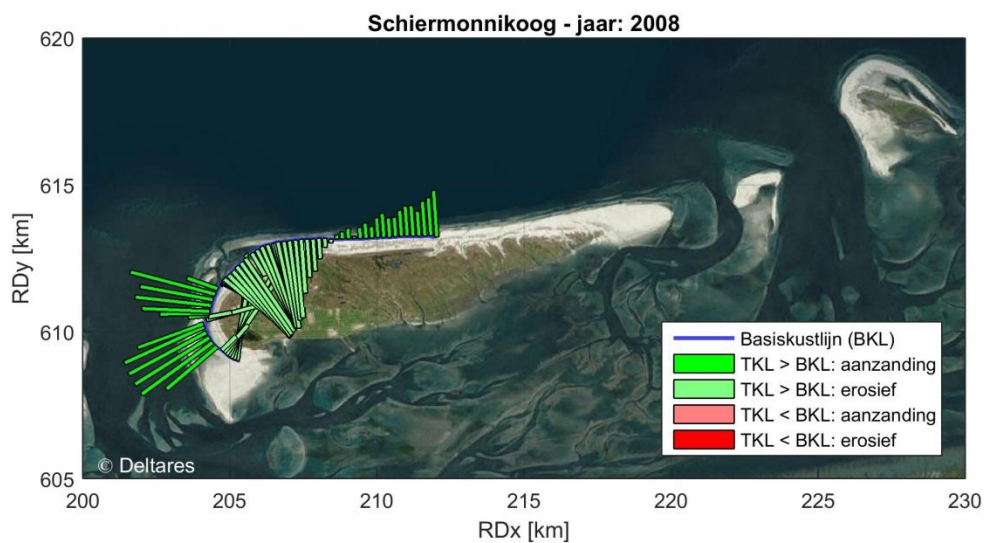
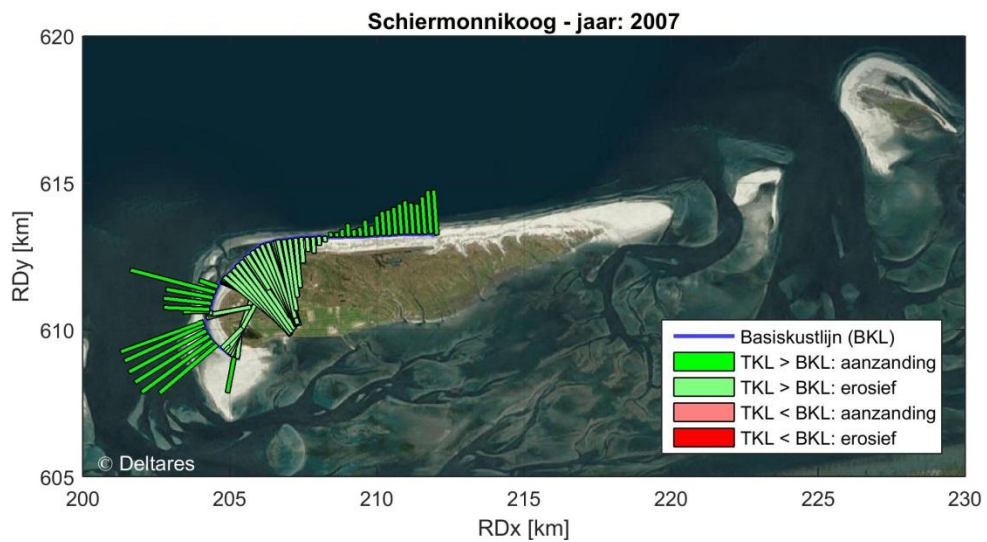
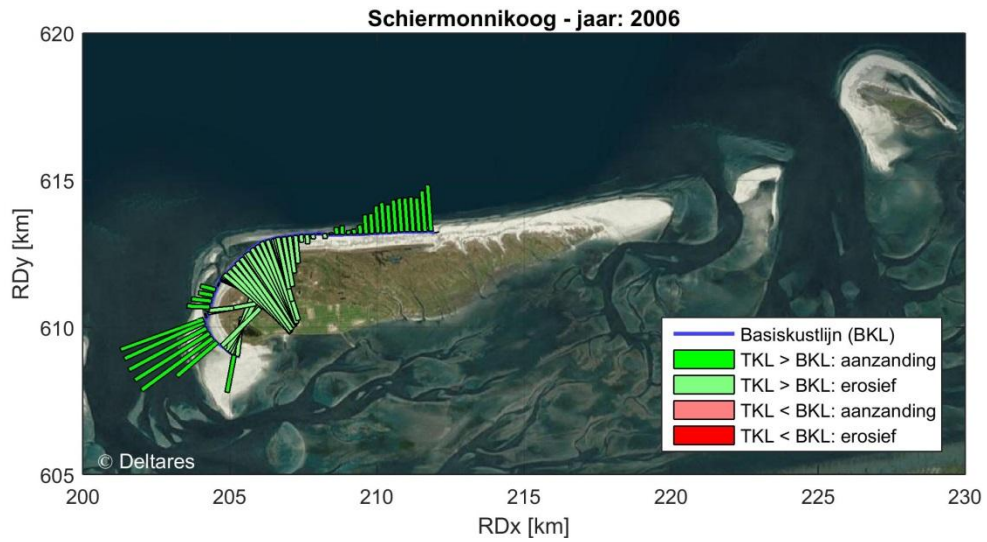


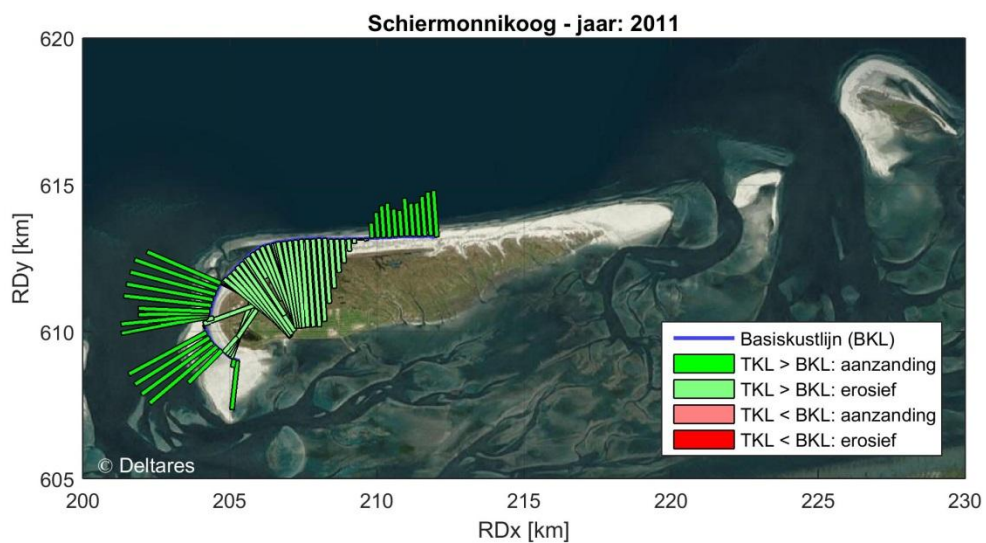
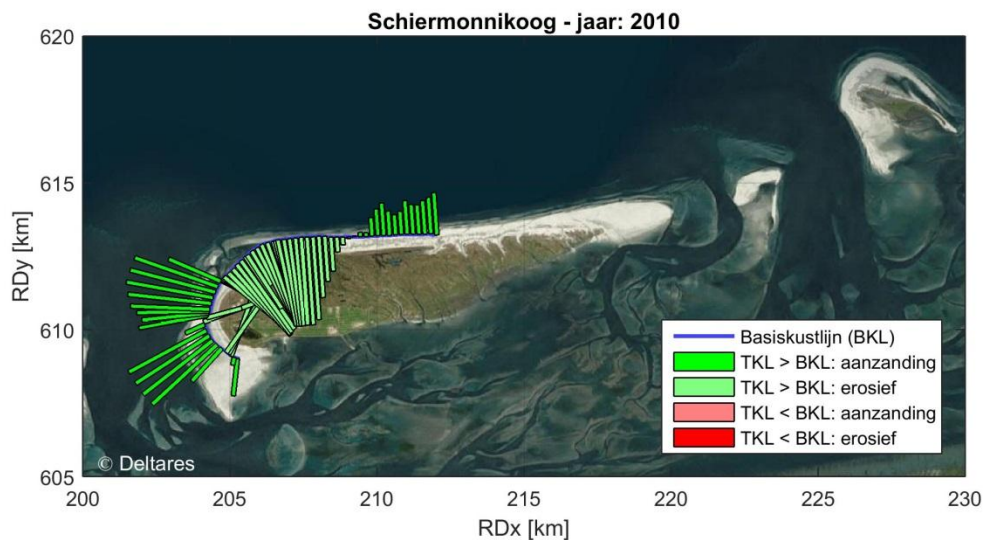
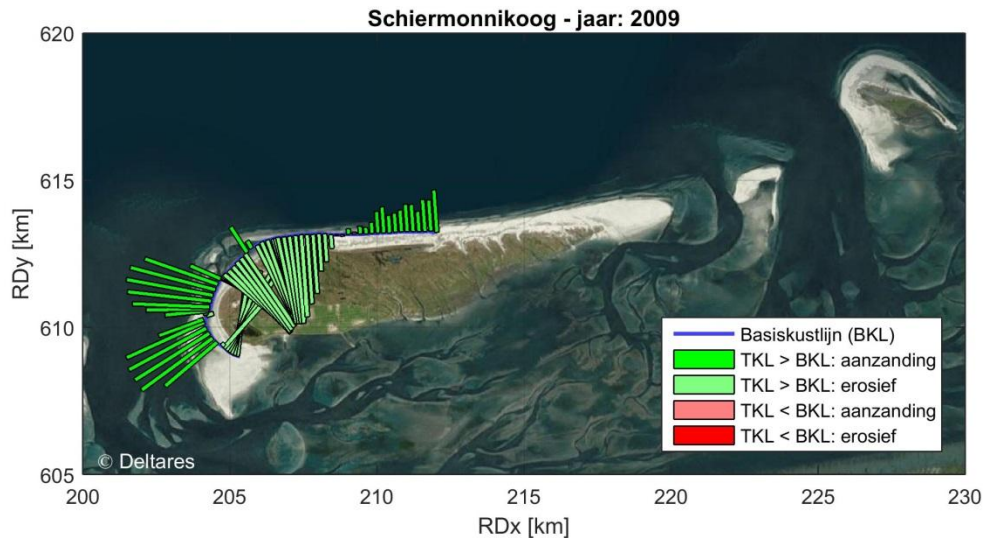


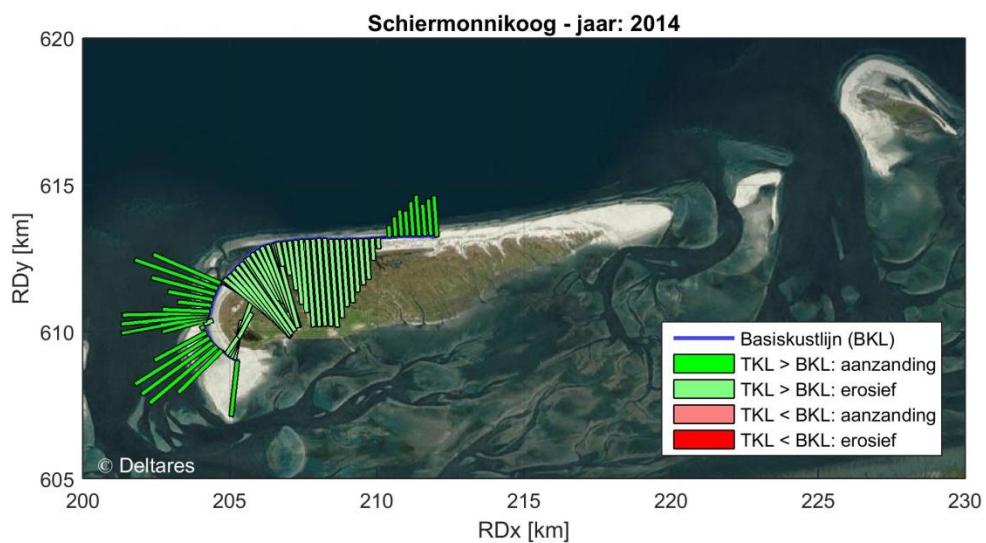
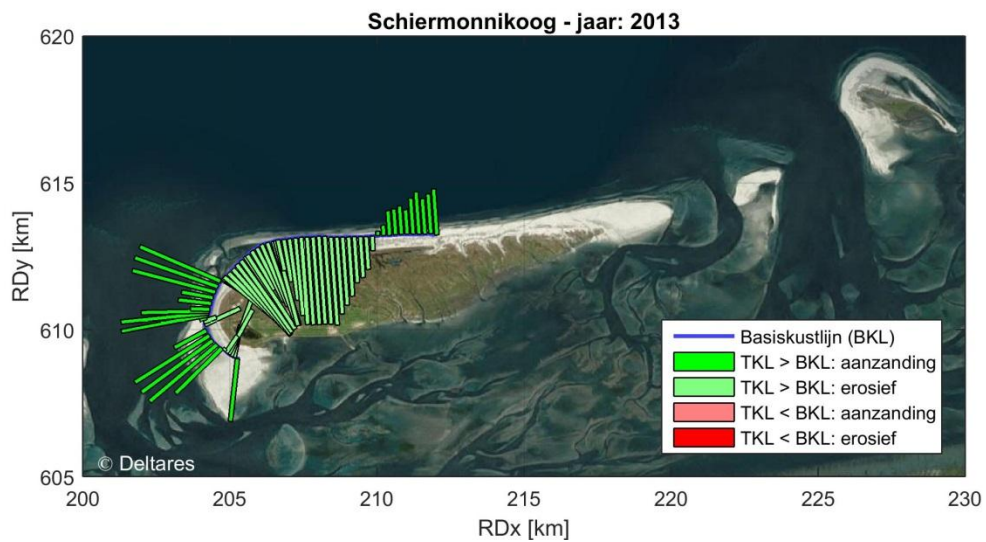
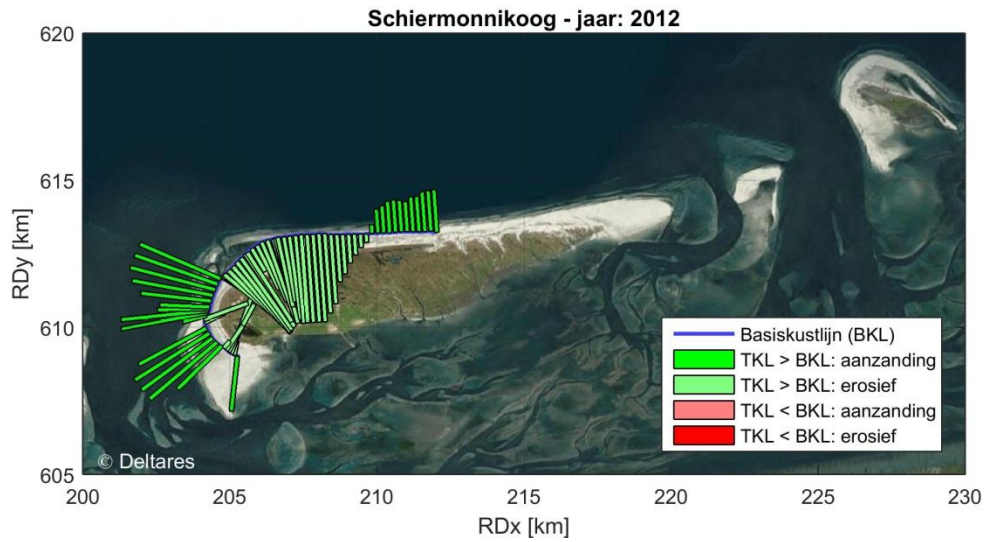


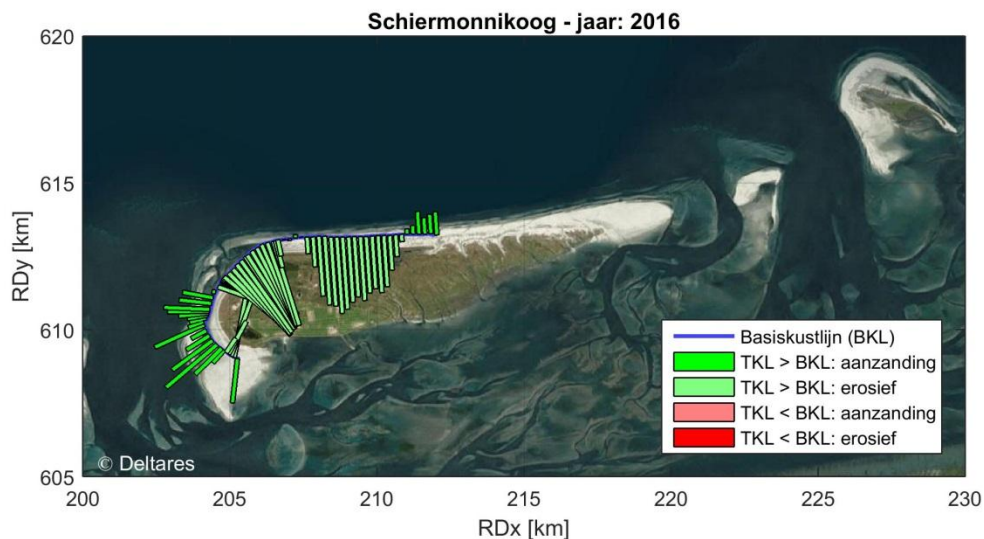
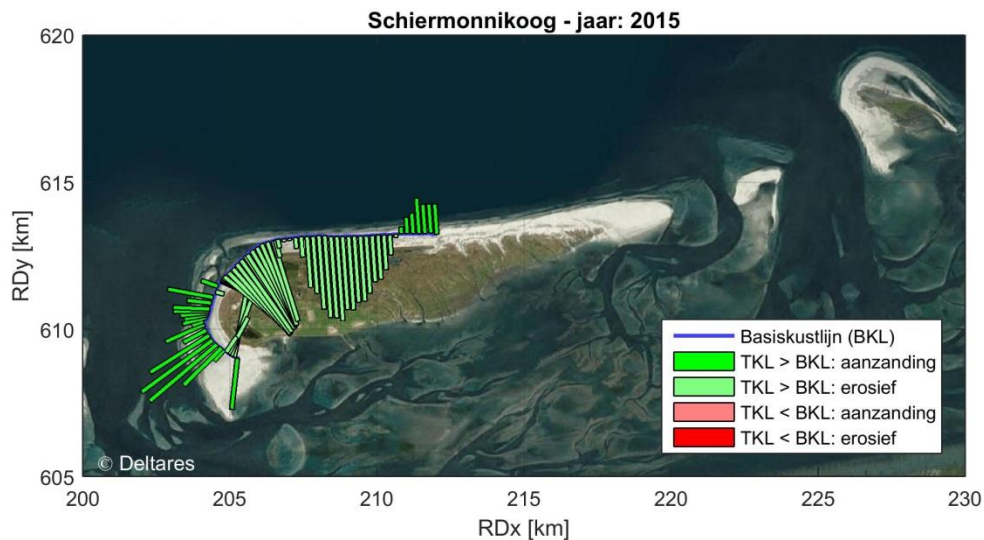












D Beschrijving duimsituatie 1988 en 2011 per deelgebied

De raainummers zijn terug te vinden in Figuur 4.2 (aan de hand van de RSP afstand, uitgedrukt in decameters, dus RSP km1.0 komt overeen met raainummer 0100, etc.).

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 1.00 – 10.00

1988

De gehele zeereep is waarschijnlijk ontstaan als stuifdijk met behulp van stuifschermen. Daarom is de opbouw langs de kust vrij recht. Er vindt weinig of geen duinafslag plaats. Het strand is zeer breed, tot meer dan 1 km. Op het strand worden sikkel- en lengteduintjes gevormd, plaatselijk ook meer permanente duintjes met begroeiing. Over het algemeen bevindt zich een grote hoeveelheid stuifzand op het strand. De zeereep groeit voortdurend aan, aan de zeewaartse kant. Zo ontstaat een opeenvolging van duinruggen met soms uitgestrekte valleien (afgesnoerde strandvlaktes) daartussen. Het beheer beperkt zich voornamelijk tot het plaatsen van stuifschermen aan de duinvoet en het reguleren van verstuivingen met behulp van helmbeplanting. Er vindt binnen de zeereep zelf veel overstuiving plaats, de zeewaartse helling is vaak kaal, waarschijnlijk door overstuiving en niet door erosie. Er vindt heel weinig winderosie plaats, kerven of uitblazingskuilen zijn nauwelijks te zien. Als de huidige luchtfoto's vergeleken worden met die uit 1983 lijkt de intensiteit van het beheer, vooral met betrekking tot het plaatsen van stuifschermen, te zijn afgenomen. Tussen 6.40 en 7.00 zijn egalisaties uitgevoerd.

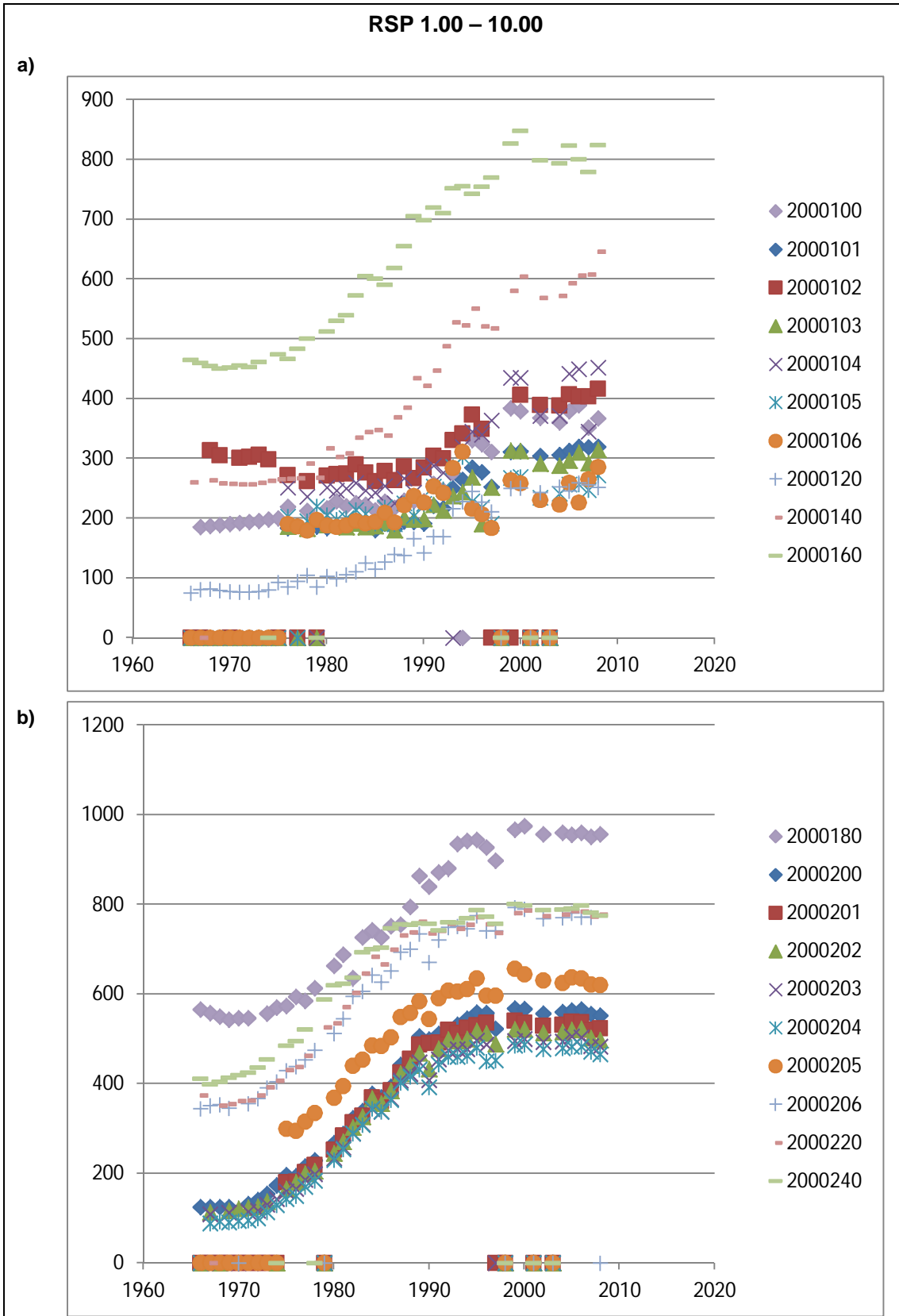
2011

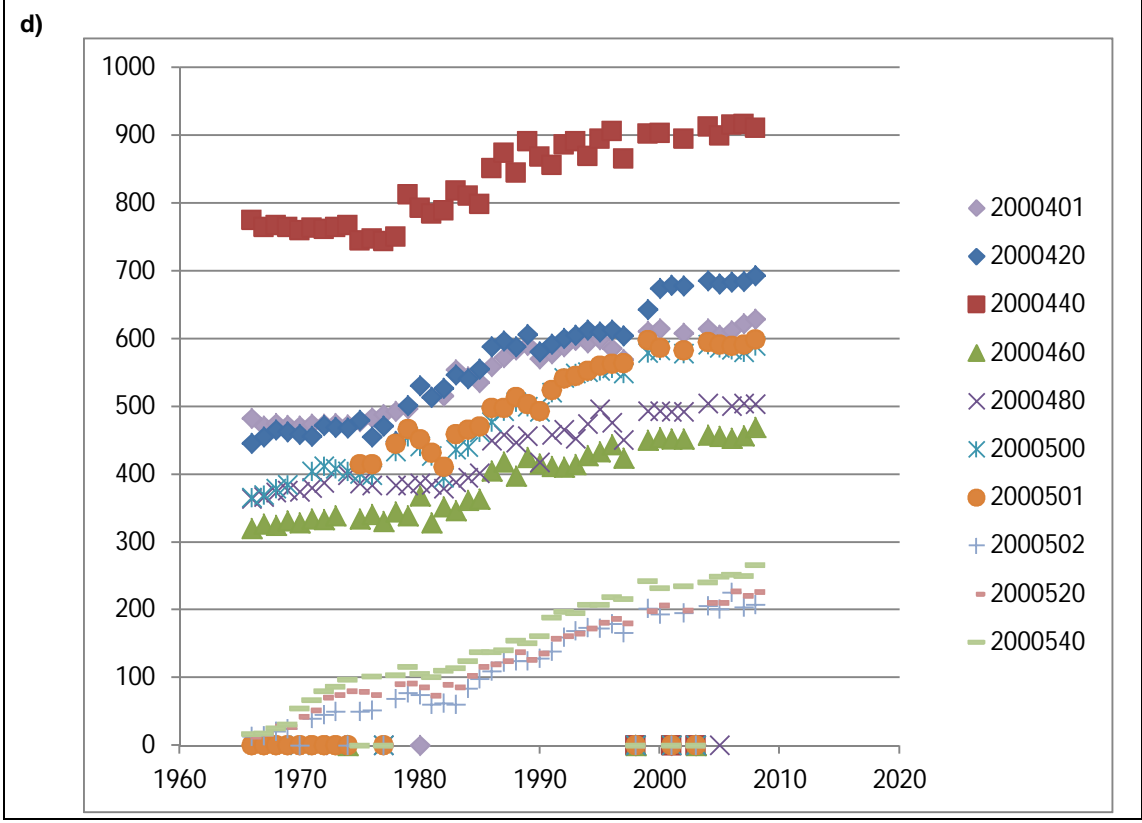
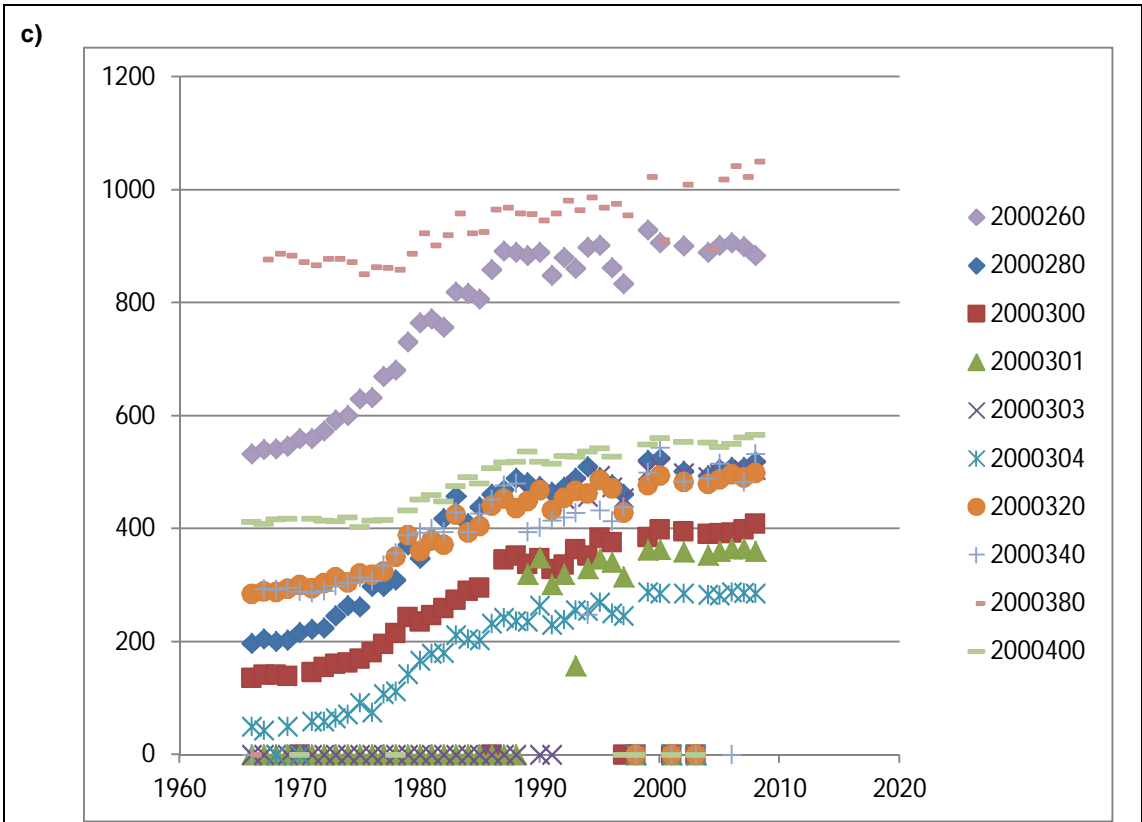
Door ontwikkeling van een groen strand is de zeereep aan de westkant zeer laag-dynamisch. Er gebeurt hier niets qua morfologische dynamiek. Vanaf RSP 3.8 naar het oosten wordt de zeereep iets dynamischer, hoewel het hier vooral embryonale duinontwikkeling op het strand betreft. Alleen bij de strandopgang is er sprake van enige overstuiving van de zeereep. Dit zet zich voort tot RSP 10.2 waar de voormalige stuifdijk is doorbroken. Er vindt geheel geen beheer meer plaats.

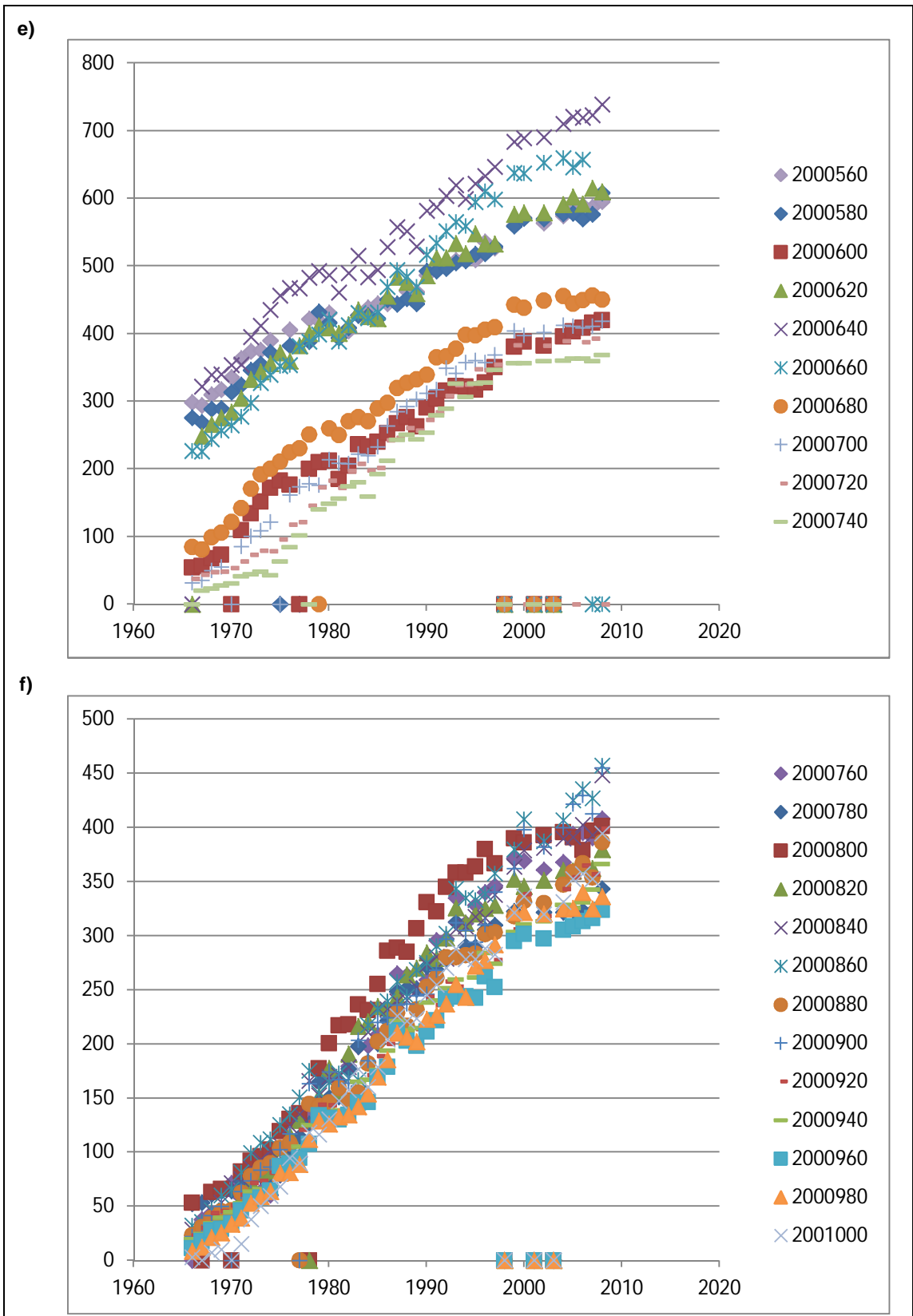
De geringe dynamiek aan de westkant uit zich ook in een stagnerende volumeontwikkeling van de zeereep zelf tussen RSP 1 en 5. Uit de grafieken blijkt een forse toename tot circa 1990 (meer dan 20 m³/m*jaar), daarna een stagnatie. Vanaf RSP 5 naar het oosten is er over het algemeen nog steeds sprake van een toename, 5-10 m³/m*jaar, waarschijnlijk vooral door de opbouw van duintjes op het strand.

Er is op Schiermonnikoog nooit gesuppleerd.

Respons typen 1 (1-3.6), 3 (3.8-4.6), 2 (4.8-10.0)







Volume (m³) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 1.0-1.6 (a), RSP 1.8-2.4 (b), RSP 2.6-4.0 (c), RSP 4.01-5.4 (d), RSP 5.6-7.4 (e), RSP 7.6-10.0 (f), zie legenda.

D.2 RSP 10.4 - 16.0

1988

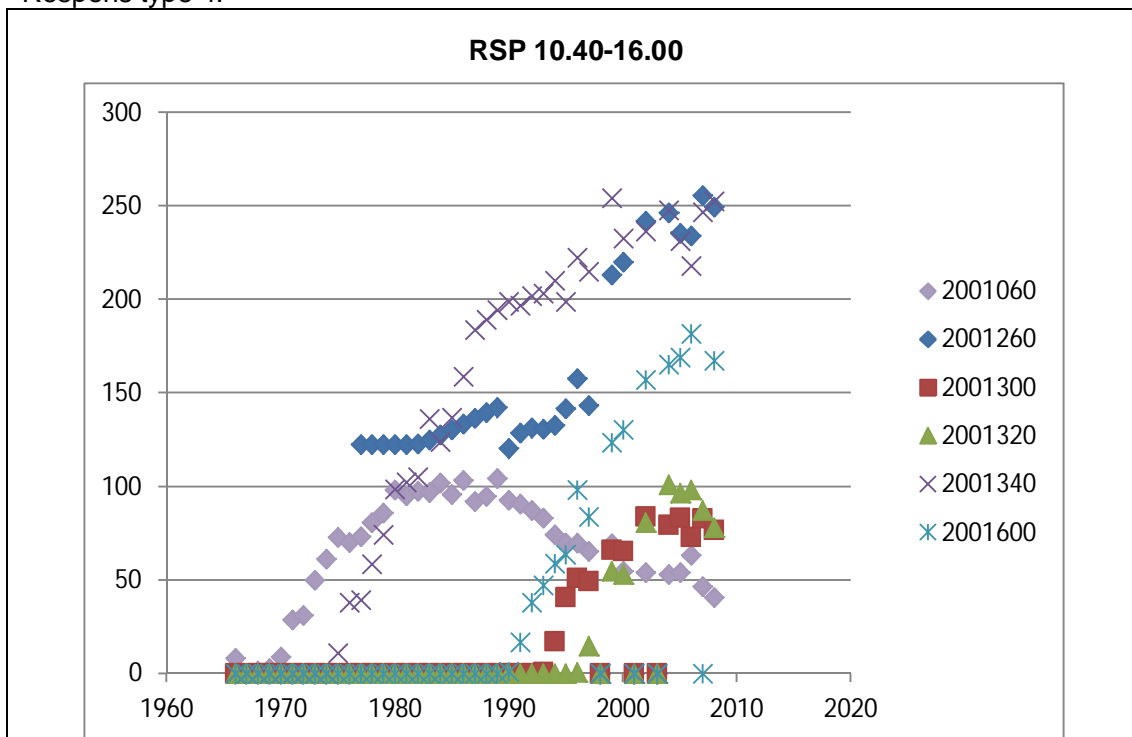
Dit segment is een van de meer natuurlijke segmenten langs de Nederlandse kust doordat dynamische veranderingen al vanaf de 70er jaren niet meer worden beïnvloed door actief menselijk ingrijpen en omdat de 3 meest oostelijke km van dit eiland zich gevormd hebben na 1982. De 'zeereep' bestaat hier uit een voormalige stuifdijk die nu op vele plaatsen doorbroken is. Landwaarts hiervan liggen kwelders. Eigenlijk is er geen sprake van een echte zeereep, meer van een serie losliggende duinen. Het beheer beperkt zich tot het voorkomen van het ontstaan van een verbinding tussen Noordzee en Waddenzee. In de 'zeereep' speelt windactiviteit een grote rol. Er is sprake van aanvoer van zand en van uitgesproken vormen van winderosie (kerven). Alleen op de toppen van de 'zeereep' komt vegetatie voor. De rest is kaal, hetzij ten gevolge van overstuiving, hetzij ten gevolge van erosie. Voor de 'zeereep' vindt embryoduinvorming plaats (sterke accumulatie van stuifzand). Plaatselijk gaat de 'zeereep' in geringe mate achteruit door de werking van de wind.

2011

Ook hier is de zeereepdynamiek afgenomen in vergelijking tot de vroegere situatie, en ook hier is dit het gevolg van een groen strand ontwikkeling vóór de zeereep. Maar de voorkant van de zeereep is deels kaal en hieruit stuift nog het een en ander. Het groene strand is ook aanmerkelijk minder breed dan meer naar het westen, waardoor zand vanaf het strand hier mogelijk nog wel de zeereep bereikt. De volumeontwikkeling varieert van een toename tot $10\text{m}^3/\text{m.jr}$ tot een te verwaarlozen afname.

Er is op Schiermonnikoog nooit gesuppleerd.

Respons type 4.



Volume (m^3) boven + 3m NAP (verticale as) per jaar (horizontale as) voor RSP 10.40-16.00, zie legenda.