

## Kombergingsrapport Lauwers en Groninger Wad



## Kombergingsrapport Lauwers en Groninger Wad

### Auteur(s)

Edwin Elias

Jelmer Cleveringa

## Kombergingsrapport Lauwers en Groninger Wad




<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Jurre de Vries
<b>Referenties</b>	KPP 2021 HV09 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden
<b>Trefwoorden</b>	Lauwers, Groningerwad, Eilanderbalg, Schild, Spruit, Sparregat, Horsbornzand, Rottumeroog, Rottumerplaat, kombergingsrapportage, morfologie, morfologische ontwikkeling

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	2.3
<b>Datum</b>	30-11-2021
<b>Projectnummer</b>	11206799-002
<b>Document ID</b>	-
<b>Pagina's</b>	88
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Edwin Elias	
	Jelmer Cleveringa	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
2.3	Edwin Elias 	Julia Vroom 	Philip Visman 	
	Jelmer Cleveringa			

# Samenvatting

Binnen het 'Kennisprogramma voor Primaire Processen (KPP) Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden' wordt morfologische kennis op een structurele manier verzameld, geanalyseerd, geordend en geborgd. Daarnaast wordt de kennis toegankelijk gemaakt voor beleids- en beheervraagstukken op het gebied van veiligheid, bereikbaarheid, natuur en overige gebruiksfuncties. Hiertoe wordt afstemming gezocht met beleidsmakers, beheerders, adviseurs, wetenschappers en gebruikers van het wad.

Voorliggend rapport is het vierde kombergingsrapport van de Nederlandse Waddenzee en behandelt het kombergingsgebied van het Groningerwad. De voorgaande delen behandelden het kombergingsgebied van het Borndiep (Oost en Cleveringa, 2017), de zeegaten Texel en Vlie (Oost et al., 2019) en van het Friesche Zeegat (Oost et al., 2020).

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Kennisbasis morfologie Waddenzee	7
1.2	Doelen	7
1.3	Begrenzing kombergingsgebied	8
1.4	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>Fysische kenmerken en hydrodynamica</b>	<b>10</b>
2.1	Morfologische kenmerken	10
2.1.1	Platen en geulen	10
2.1.2	Bodemsamenstelling	12
2.2	Bodemdaling door gaswinning	12
2.3	Zeespiegelkarakteristieken	13
2.4	Getij	15
2.5	Golven	16
2.6	Aanvoer van zoetwater	17
<b>3</b>	<b>Grootschalige morfologische ontwikkelingen</b>	<b>18</b>
3.1	Geologische ontwikkeling	18
3.2	Ontwikkeling Friese en Groninger kust	19
3.2.1	Kwelderwallen	20
3.3	Ontwikkeling van geulen, zeegaten en eilanden	21
3.3.1	Geulen en zeegaten	21
3.3.2	Platen en eilanden	23
3.3.3	Wantij onder Schiermonnikoog	26
<b>4</b>	<b>Recente morfologische veranderingen</b>	<b>27</b>
4.1	Geulen en platen	27
4.2	Ontwikkeling van de sedimentvolumes sinds 1989	29
<b>5</b>	<b>Getijdegeulen</b>	<b>33</b>
5.1	Eilanderbalg, Spruit en Lauwers	33
5.2	Schild	38
5.3	Sparregat en Ra	40
<b>6</b>	<b>Wadplaten, supragetijde platen en eilanden</b>	<b>42</b>
6.1	Kenmerken en deelgebieden	42
6.2	Wad onder Schier	43

6.3	Wadplaten voor het vasteland – Pieterburenwad en Uithuizerwad	44
6.4	Boschwad en Groningerwad	47
6.5	Rottumeroog, Rottumerplaat en Zuiderduintjes	47
6.6	Horsbornzand en Horsbornwad	52
<b>7</b>	<b>Kwelders, zeegras, duinen en strandvlaktes</b>	<b>56</b>
7.1	Inleiding	56
7.2	Groningerkwelder	56
7.3	Oosterkwelder Schiermonnikoog en Balg	58
7.4	Eilandstaart Schiermonnikoog, Simonszand en Lauwers.	59
<b>8</b>	<b>Kustzone en Eemsmonding</b>	<b>63</b>
<b>9</b>	<b>Relatie morfologie en gebruiksfuncties</b>	<b>66</b>
9.1	Inleiding	66
9.2	Leiding en kabels	66
9.3	Toegang Noordpolderzijl	67
9.4	Vaargeul Eemshaven-Noordzee	68
9.5	Zoetwateraanvoer	69
9.6	Beheer Rottumeroog en Rottumerplaat	70
<b>10</b>	<b>Referenties</b>	<b>71</b>
<b>A</b>	<b>Historische reconstructies</b>	<b>74</b>
<b>B</b>	<b>Kaarten</b>	<b>79</b>
<b>C</b>	<b>Detailkaarten zeegaten en Rottums</b>	<b>82</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Kennisbasis morfologie Waddenzee

Rijkswaterstaat wil de morfologische kennisbasis voor het beleid en beheer op orde brengen en onderhouden. Hiervoor is een onderzoeksprogramma met Deltares ontwikkeld via het zogenaamde Kennisprogramma voor Primaire Processen (KPP). In dit onderzoeksprogramma 'KPP Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden' wordt morfologische kennis op een structurele manier verzameld, geanalyseerd, geordend en geborgd. Daarnaast wordt de kennis toegankelijk gemaakt voor beleids- en beheervraagstukken op het gebied van veiligheid, bereikbaarheid, natuur en overige gebruiksfuncties. Hiertoe wordt afstemming gezocht met beleidsmakers, beheerders, adviseurs, wetenschappers en gebruikers van het wad. Het voorliggende rapport wordt uitgebracht als onderdeel van dit kennisprogramma.

## 1.2 Doelen

Voorliggend rapport is het vierde kombergingsrapport van de Nederlandse Waddenzee. Het behandelt het kombergingsgebied van het Groningerwad. De voorgaande delen behandelden het kombergingsgebied van het Borndiep (Oost en Cleveringa, 2017), de zeegaten Texel en Vlie (Oost et al., 2019) en van het Friesche Zeegat (Oost et al., 2020).

Een kombergingsrapport heeft twee doelen:

1. Het verzamelt de kennis van de morfologie op diverse tijd- en ruimteschalen, maar richt zich vooral op de middelgrote ruimteschaal (de mesoschaal) op basis van de verschillende typen morfologische elementen. Hiermee wordt een methodiek gevolgd van mesoschaalrapportages die ook succesvol voor de Westerschelde is toegepast.
2. Het is een inleiding en naslagwerk voor de beheerders van de Waddenzee. Het kombergingsgebied is opgedeeld in ruimtelijk samenhangende eenheden die aansluiten bij de schaal waarop gebruik en beheer plaatsvindt. Het sluit daarin aan bij het maken en onderhouden van beheerbibliotheken<sup>1</sup>.

Het streven is om voor alle kombergingsgebieden van de Waddenzee (Figuur 1.1 laat ze allemaal zien) kombergingsrapporten te maken en deze periodiek bij te werken om kennis actueel en informatie beschikbaar te houden.

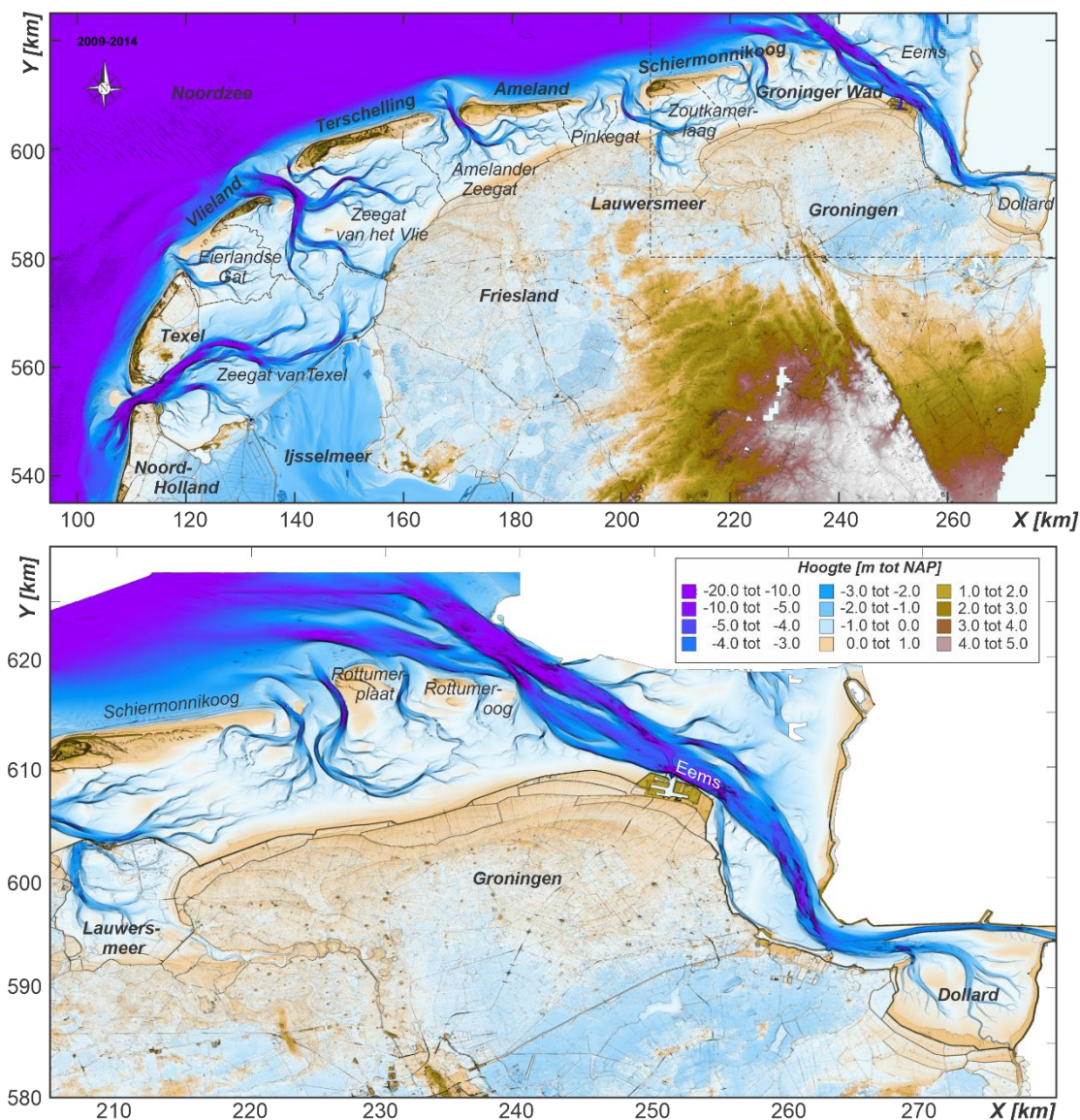
---

<sup>1</sup> Het concept beheerbibliotheek is ontwikkeld bij Rijkswaterstaat-kustlijn­zorg. Het geeft per kustvak of morfologische eenheid een overzicht van het morfologische systeembegrip in samenhang met de spelende beheer- en beleids­vraagstukken. Het biedt qua morfologische kennis een gezamenlijk vertrekpunt voor de verschillende partijen.

### 1.3 Begrenzing kombergingsgebied

Het Groningerwad omvat de wadplaten en geulen ten oosten van het wantij onder Schiermonnikoog en wordt aan de oostzijde begrenst door de geulen van het Eems-Dollard estuarium. Langs de vastelandszijde (provincie Groningen) vormt de Eemshaven tegenwoordig een duidelijke grens van het gebied, die door mensen is gecreëerd. Aan de zeezijde ligt een serie kleine zeegaten gescheiden door de zandbanken en de onbewoonde eilandjes Rottumeroog en Rottumerplaat.

In dit kombergingsrapport worden ook de eilandjes (de Rottums) en de buitendelta's van de zeegaten beschouwd, dit in tegenstelling tot eerdere kombergingsrapporten die de eilanden en buitendelta's niet beschouwden. De reden hiervoor is dat de hoog-dynamische eilanden maken onlosmakelijk deel uit van de hydro-morfologische dynamiek van dit deel van de Waddenzee, waarbij grote sedimentuitwisseling plaatsvindt tussen de eilanden en het wad. Daarnaast zijn er voor deze eilanden geen beheerbibliotheken gemaakt zoals voor de grotere bewoonde eilanden, omdat er feitelijk geen kustonderhoud (meer) plaatsvindt.



Figuur 1.1 Boven: De Waddenzee en haar kombergingsgebieden. Het Groningerwad ligt binnen de gestippelde rechthoek die in de onderste figuur is weergegeven.



## 1.4 Leeswijzer

De kombergingsrapportage bestaat naast deze inleiding uit acht inhoudelijke hoofdstukken. Hoofdstuk 2 geeft een beknopte beschrijving van de morfologische en hydrodynamische kenmerken van het systeem. In hoofdstuk 3 worden de grootschalige morfologische ontwikkelingen beschreven, waarbij zowel geologie als beknopte beschrijvingen van de ontwikkeling van de geulen, zeegaten, eilanden en kusten worden beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft de morfologische veranderingen die over de laatste decennia zijn opgetreden. Hier wordt ook een sedimentvolumebalans gepresenteerd. Hoofdstuk 5 tot 8 geven een beschrijving van verschillende morfologische eenheden:

- Getijdegeulen, vertakkend van groot (bij het zeegat) naar klein (hoofdstuk 5);
- Intergetijdeplaten, ook wel wadplaten (hoofdstuk 6);
- Kwelders, bij het vasteland en onder de eilanden (hoofdstuk 7);
- Kustzone: het gebied zeewaarts van de Rottums (hoofdstuk 8);

Hoofdstuk 9 geeft de belangrijkste verbanden tussen de morfologie van het kombergingsgebied en de gebruiksfuncties. Dit helpt bij het prioriteren van kennisontwikkeling. De prioriteit in het hebben en verspreiden van kennis van de morfologie op de mesoschaal ligt bij die morfologische eenheden die belangrijk zijn voor gebruiksfuncties, in het bijzonder als er belangrijke beheervragen zijn hierover. Nadere interpretatie van de kennis of advisering over beheervragen is geen onderdeel van dit rapport.

De bijlagen omvatten een serie historische reconstructies (bijlage A), bodemkaarten van de vaklodingen vanaf 1987 tot 2018 (bijlage B) en overzichtskaarten en dwarsdoorsneden die morfologische veranderingen van de zeegaten en Rottums illustreren.

## 2 Fysische kenmerken en hydrodynamica

In dit hoofdstuk worden de morfologische en hydrodynamische kenmerken van het (huidige) systeem beschreven. Vaste meetstations waar langjarig (ten minste 19 jaar) de waterstanden worden gemeten zijn op het Groningerwad niet aanwezig. De beschrijvingen zijn dan ook gebaseerd op de nabijgelegen stations in het Friesche Zeegat, de meetstations in het Eems estuarium en op de Noordzee. In het verleden zijn er wel vele meetcampagnes uitgevoerd, waarbij de stromingen en debieten in de zeegaten van de Eilanderbalg, Lauwers en Schild zijn bepaald (De Kleef, 1991). Deze metingen geven echter geen representatief beeld van de huidige debieten en worden hier verder niet meegenomen. Op het Uithuizerwad, vlak ten oosten van de Eemshaven, wordt sinds 2008 de waterstand en de golven gemeten.

### 2.1 Morfologische kenmerken

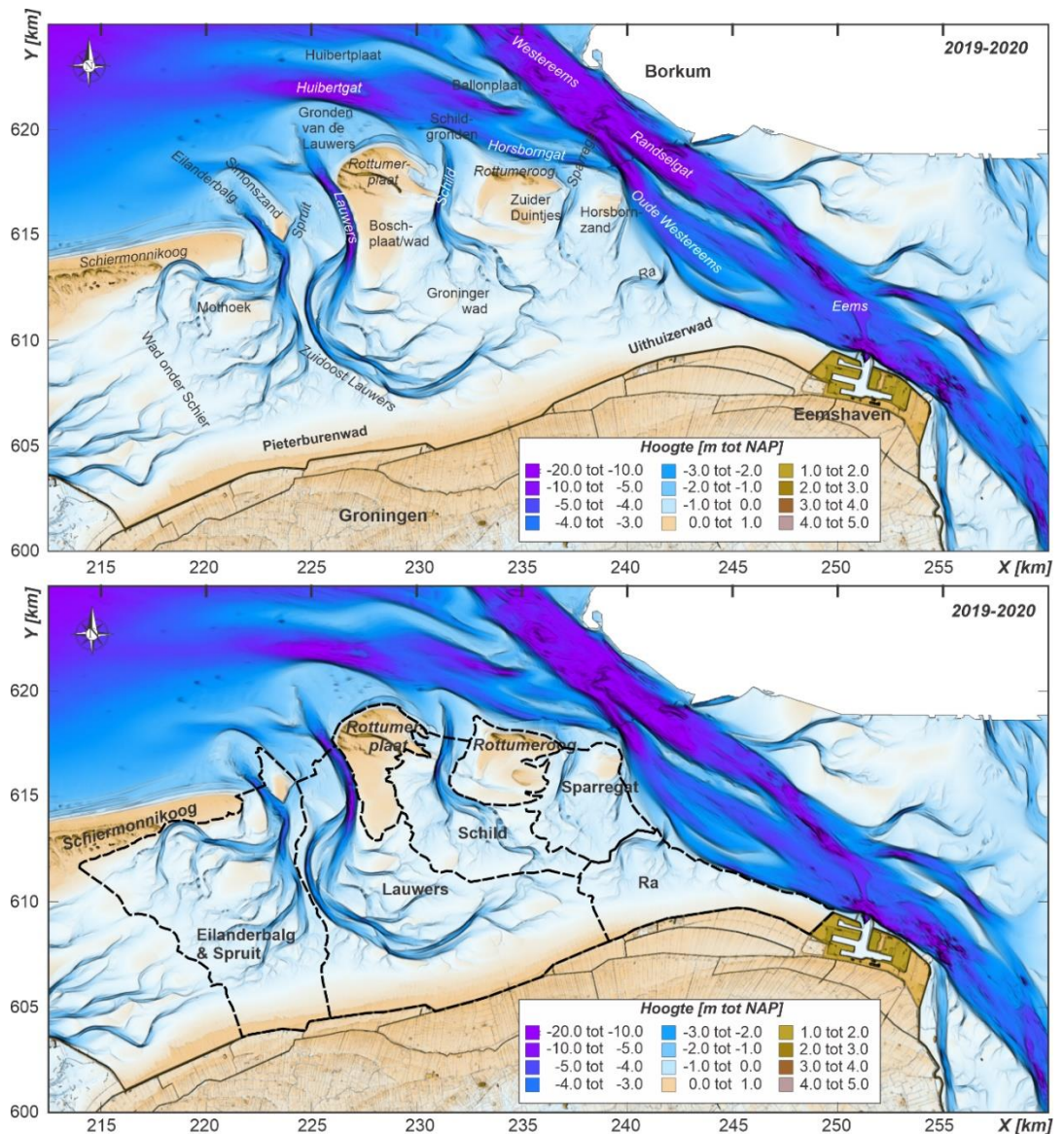
#### 2.1.1 Platen en geulen

Figuur 2.1 illustreert de ligging van de geulen, platen en eilanden die het huidige Groningerwad vormen aan de hand van de 2019-2020 bodemhoogtekaart. De totale oppervlakte tussen de eilanden, tussen het Wad onder Schier, de Oude Westereems en de vastelandkust van Groningen bedraagt 284 km<sup>2</sup>. Het Groningerwad is daarbij onder te verdelen in vijf kleinere kombergingsgebieden: Eilanderbalg, Lauwers, Schild, Sparregat en Ra. Eilanderbalg en Lauwers hebben met respectievelijk 77 km<sup>2</sup> en 96 km<sup>2</sup> de grootste oppervlakte. Schild, Sparregat en Ra zijn met een oppervlakte tussen de 21 en 31 km<sup>2</sup> veel kleiner. Met uitzondering van Ra monden de geulen uit in de Noordzee, waar de buitendelta's een ondiep bankengebied hebben gevormd. De Gronden van de Lauwers zijn daarbij het meest ontwikkeld. Bij Schild en Sparregat zijn deze buitendelta's kleiner doordat hier de geul Horsborngat dicht op de kust ligt.

De zeegaten worden gescheiden door een serie kleine eilanden en banken. Het Simonszand vormt de scheiding tussen de geulen van de Eilanderbalg en de Lauwers. Aan de oostzijde van Simonszand is ook een derde (ondiepe) geul Spruit nog zichtbaar. Spruit was in het verleden onderdeel van de Lauwers, maar maakt tegenwoordig verbinding met de Eilanderbalg. De plaatoppervlakte van Simonszand is de afgelopen decennia sterk in omvang afgenomen. De Lauwers is de grootste geul van het Groningerwad en strekt zich uit in de richting van de vastelandkust van Groningen. Landwaarts draait de geul oostelijk en heet Zuidoost Lauwers. Aan de oostzijde van de Lauwers ligt het eiland Rottumerplaat met aan de zuidzijde hiervan de Boschplaat en -wad. Dit centrale deel van het bekken heeft ook de naam Groningerwad. Ten oosten van de Rottumerplaat, gescheiden door het kleine zeegat Schild, ligt Rottumeroog met aan de zuidzijde hiervan de Zuiderduintjes. Het meest oostelijke zeegat is het Sparregat. Tussen Sparregat en de Oude Westereems bevindt zich nog het bankengebied Horsbornzand. Aan de zuidzijde hiervan bevindt zich een klein geulenstelsel Ra. Ra mondt uit in de Oude Westereems en heeft hier een kleine buitendelta gevormd.

Aan de zeezijde van de zeegaten bevinden zich de geulen en platen die onderdeel vormen van de Eemsmonding. Direct grenzend aan de buitendelta's ligt de geul Huibertgat. Nabij Rottumeroog vormt het Horsborngat een afsplitsing van deze geul. De vorming van het Horsborngat is een reden voor de grote erosie die bij Rottumeroog is opgetreden. Een langgerekte bank vormt de scheiding tussen het Huibertgat en de noordelijke geulen van de Eemsmonding. In de oude kaarten worden zowel de namen Huibertplaat en Ballonplaat

gebruikt voor deze bank. In de 2019 bodem gebruiken we de definitie Huibertplaat voor de westelijke uitloper van de bank en Ballonplaat (of Balon Plate) voor het oostelijke deel nabij de Westereems. Een ondiep banken-/drempelgebied verbindt de Ballonplaat met het Horsbornzand en vormt daarmee een scheiding tussen het Huibertgat en de Oude Westereems.

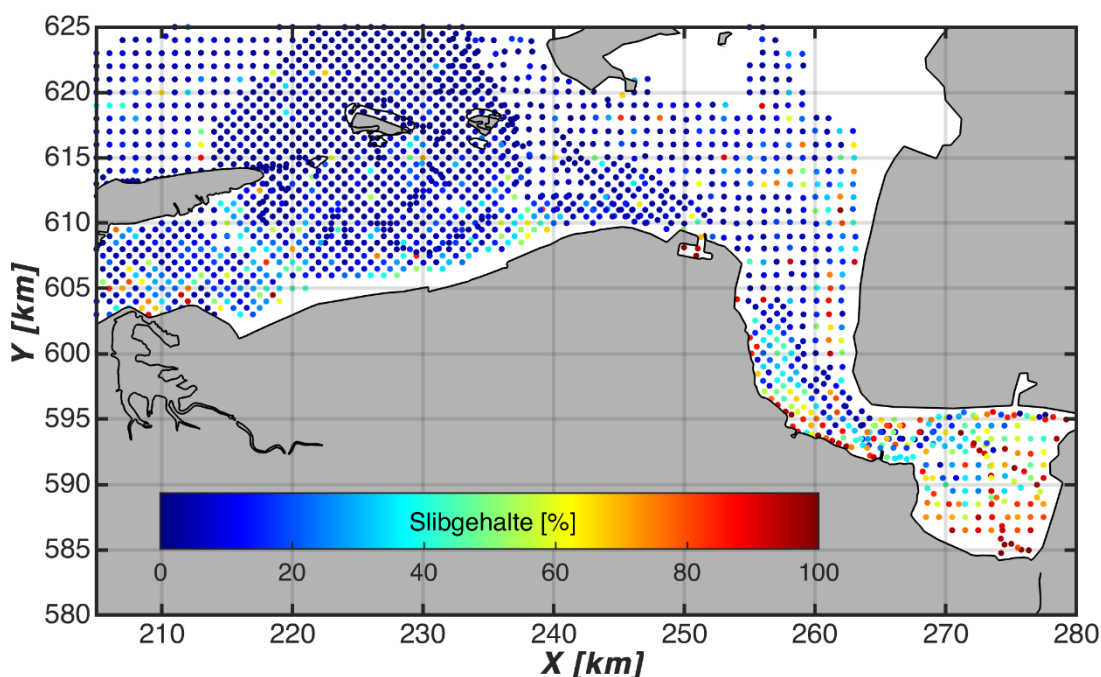


Gebied	Totale oppervlakte [km <sup>2</sup> ]	Oppervlakte geulen [km <sup>2</sup> ]		Oppervlakte platen [km <sup>2</sup> ]		Sedimentvolume platen [miljoen m <sup>3</sup> ]	
		GLW	GHW	GLW	GHW	GLW	GHW
Eilanderbalg	77	20	75	58	3	57	2
Lauwers	96	27	87	69	9	85	5
Schild	31	9	31	23	0	17	0
Sparregat	21	4	21	18	0	11	0
Ra	29	3	28	27	2	31	2
Rottumerplaat	15	0,3	6	15	9	35	6
Rottumeroog	14	0,4	11	14	3	23	2
<b>Totale GW</b>	<b>284</b>	<b>62</b>	<b>259</b>	<b>222</b>	<b>25</b>	<b>259</b>	<b>15</b>

Figuur 2.1 Een overzicht van de belangrijkste geulen en platen in het Groningerwad (boven) met onderverdeling in deelsystemen/kombergingsgebieden (onder) en morfologische kentallen van deze gebieden in de tabel.

### 2.1.2 Bodemsamenstelling

Op basis van de bodemsamenstellingsdata van de Sedimentatlas Waddenzee (RIKZ, 1998) en meer recente SIBES bemonstering kan worden gesteld dat het Groningerwad gedomineerd wordt door de zandfractie (Colina Alonso, 2020). In Figuur 2.2 is zichtbaar dat alleen op het wantij onder Schiermonnikoog en langs de kwelders van de Groninger kust hogere slibgehalten aanwezig zijn.



Figuur 2.2 Slibgehalte in het Eems Estuarium volgens de Waddenzee slibatlas (gegevensbron: RIKZ, 1998).

## 2.2 Bodemdaling door gaswinning

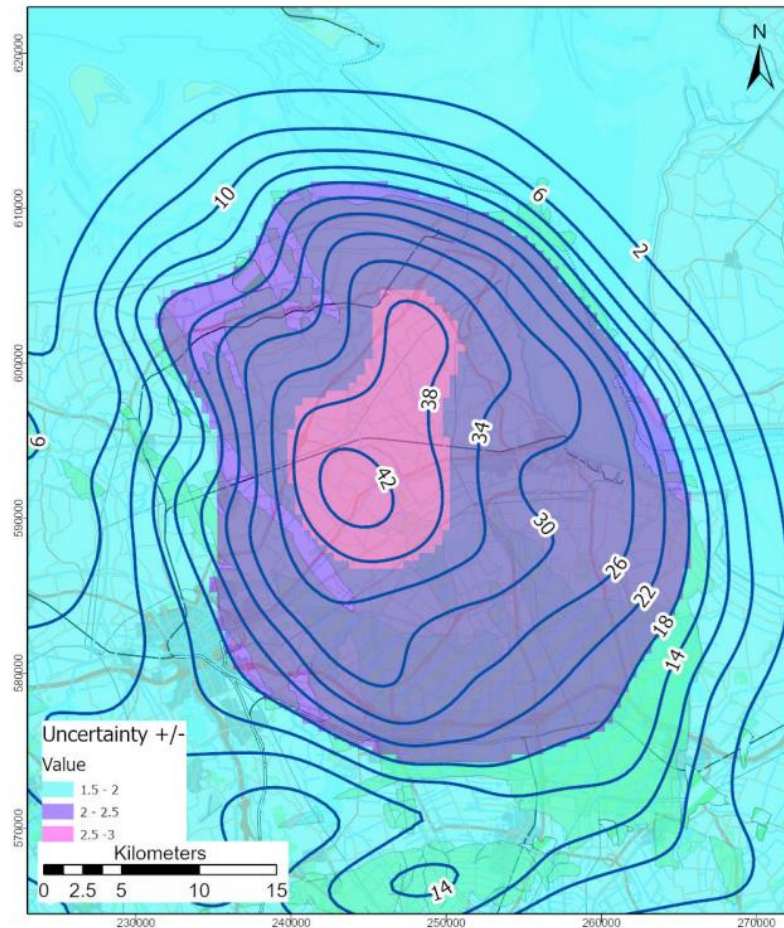
Onder de bodem van het Groningerwad en de kwelders wordt sinds 1964 gas gewonnen en vindt sinds kort na de start van de gaswinning bodemdaling plaats. Omdat in het Waddengebied een constante herverdeling van zand en slib plaatsvindt, is deze bodemdaling van de diepe ondergrond niet merkbaar of meetbaar aan het oppervlak van de Waddenzee. Ook op de kwelders is geen sprake van een meetbaar effect in de bodemhoogte, omdat de opslibbing daar groter is dan de bodemdaling. De bodemdaling heeft wel gevolgen voor de sedimenthuishouding, omdat hiermee een extra 'verliespost' voor sediment is geïntroduceerd: het zand en slib dat zorgt voor de vereffening van bodemdaling in de Waddenzee is afkomstig uit andere delen van het gebied of wordt vanaf de Noordzee geïmporteerd. In de sedimentbalansen van het Groningerwad wordt daarom rekening gehouden met de bodemdaling als gevolg van gaswinning (Cleveringa, 2008).

De gaswinning uit het Groningen-gasveld wordt versneld afgebouwd, zodat nog slechts beperkte bodemdaling als gevolg van toekomstige gaswinning zal plaatsvinden. Wel zal nog sprake zijn van enige na-ijling als gevolg van de reeds uitgevoerde gaswinning. De voorspelde totale bodemdaling tot 2050 staat weergegeven in Figuur 2.3. Een groot deel van deze bodemdaling heeft al plaatsgevonden. De bodemdalingsschotel van de gaswinning reikt tot onder een groot deel van het Groningerwad. Bij de vastelandskust van Groningen is de omvang van de bodemdaling maximaal 26 cm tot 2050. In 2018 bedroeg de gemiddelde bodemdalingssnelheid 0,4 cm/jaar nabij de vastelandskust (NAM, 2021). In de andere delen van het Groningerwad lag de gemiddelde bodemdalingssnelheid onder deze waarde. Volumebepalingen voor de reeds opgetreden en toekomstige bodemdaling specifiek voor het

Groningerwad zijn niet beschikbaar. Wel zijn volumes bepaald voor de Eems-Dollard in combinatie met het Groningerwad, die zijn opgenomen in Hijma en Kooij (2018) en die door Elias et al. (2021) zijn gebruikt in de sedimentbalans van Eems-Dollard. Het betreft de volgende volumes:

- Bodemdalingsvolume tot 2017:  $30\text{-}50 \times 10^6 \text{ m}^3$ .
- Bodemdalingsvolume na 2017:  $7\text{-}22 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Deze volumes zijn bepaald op basis van prognoses die in 2010 zijn verzameld (de Vos, 2010 in Hijma en Kooij, 2018), toen nog niet werd uitgegaan van versnelde stopzetting van de gaswinning. Daarom komen deze volumes niet meer overeen met de prognoses van dit moment. De sedimentbalans is echter alleen gebaseerd op de historische veranderingen, waardoor deze stopzetting van de winning (nog) niet van belang is.



*Figuur 2.3 Bodemdalingsprognose totale bodemdaling tot 2050, veroorzaakt door de gaswinning uit het Groningenveld en naburige gasvoorkomens in het gebied en uitgaande van versnelde stopzetting. De contouren geven de bodemdaling in cm aan en de kleuren de P95 onzekerheidsbandbreedte (NAM, 2021).*

## 2.3 Zeespiegelkarakteristieken

Berekeningen van de (veranderingen in) zeespiegel worden gepresenteerd in de Zeespiegelmonitor (Baart et al., 2019). In deze studie worden echter niet direct kentallen voor het Groningerwad gegeven. De gemiddelde stijging langs de gehele Nederlandse kust bedraagt 18,6 cm per eeuw. De gemiddelde stijging van de zeestand wordt bepaald over de hoofdstations Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl.

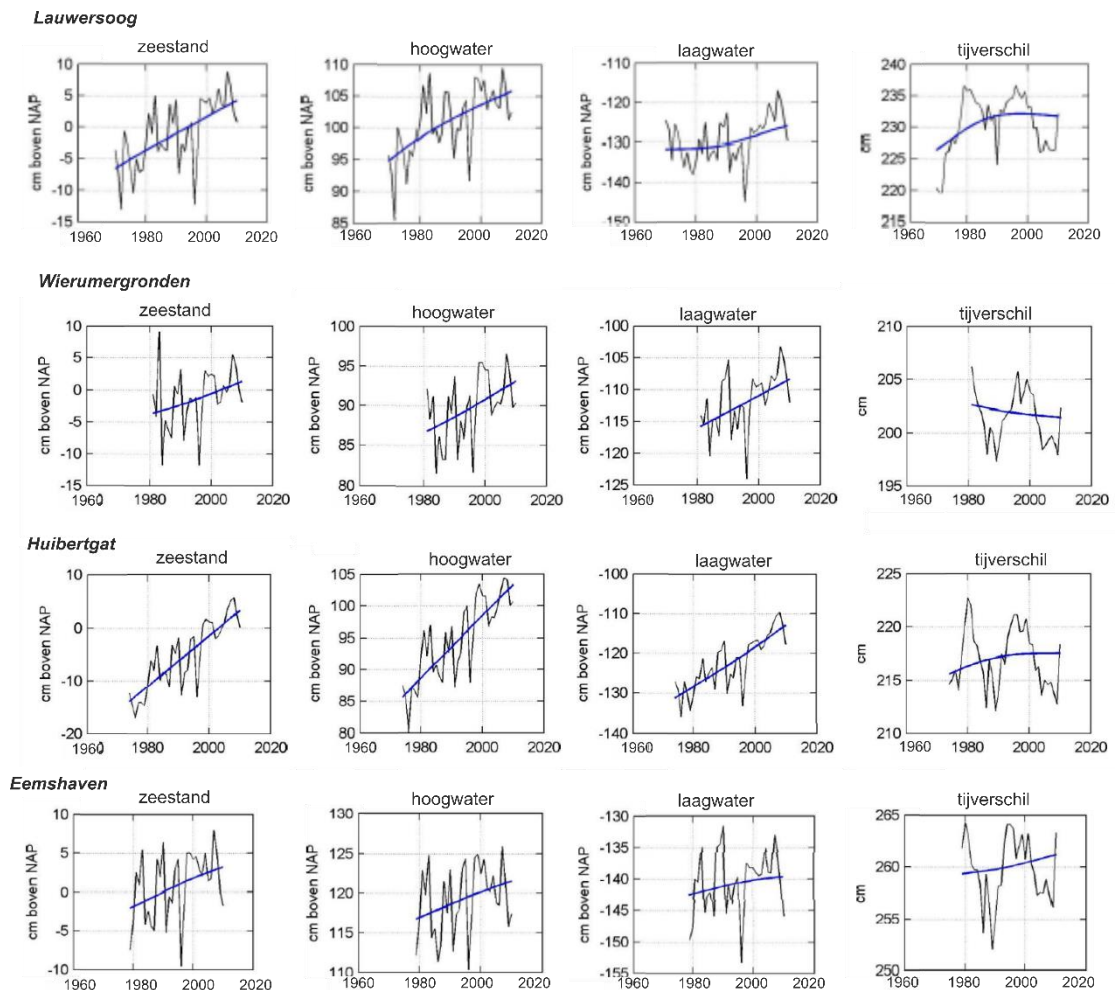
De locaties waar tegenwoordig de waterstanden worden gemeten zijn opgenomen in Figuur 2.4. Van een beperkt aantal van deze locaties zijn meetgegevens over een lange periode beschikbaar, zodat trendmatige veranderingen in de waterstanden kunnen worden bepaald. In de studie van Dillingh (2013a) zijn tijdseries van het gemiddeld zeeniveau, hoog- en laagwater van de stations Huibertgat en Wierumergronden opgenomen (Figuur 2.5 en Tabel 2-1). Beide stations zijn in de kustzone gelegen. Wat hier opvalt is dat de stijgsnelheden voor Huibergat veel hoger zijn dan die voor het naastgelegen Wierumergronden. Het is echter niet duidelijk waar deze verschillen vandaan komen.



Figuur 2.4 Locaties waar actueel de waterstanden worden gemeten (bron: [www.waterinfo.rws.nl](http://www.waterinfo.rws.nl)). De onderstreepte locaties worden in de tekst beschouwd.

Tabel 2.1 Overzicht van de slotgemiddelde waterstanden 2011 (Dillingh, 2013a) en de gemiddelde stijgingen over de periode 1971-2010 (Dillingh, 2013b).

Station	Gemiddeld Zeeniveau		Gemiddeld Hoogwater		Gemiddeld Laagwater	
	Niveau (cm NAP)	Stijgsnelheid (cm/eeuw)	Niveau (cm NAP)	Stijgsnelheid (cm/eeuw)	Niveau (cm NAP)	Stijgsnelheid (cm/eeuw)
Schiermonnikoog	+5	30	+105	24	-122	28
Lauwersoog	+4	27	+106	27	-126	14
Wierumergronden	+1	21	+93	21	-108	28
Huibertgat	+4	49	+104	49	-114	50
Eemshaven	+3	17	+122	24	-140	6
Delfzijl	+11	21	+140	24	-166	3



Figuur 2.5 Verloop van de jaargemiddelde zeeniveaus van Lauwersoog, Wierumergronden, Huibertgat en de Eemshaven. Gebaseerd op Dillingh, 2013a (Figuur C.21 en C.22).

## 2.4 Getij

De getijbeweging in het Groningerwad wordt gegeneerd door de getijgolf die vanuit de Noordzee door de zeegaten de Waddenzee binnendringt. Het Noordzeegetij is een dubbeldaags getij. Langs de kust van Waddeneilanden propageert het getij van west naar oost waarbij de getijslag toeneemt. Bij Den Helder is de getijslag nog 1,4 m maar in het meetstation Huibertgat is dit al toegenomen tot 2,15 m. De getijslag in het naastgelegen Eems estuarium neemt dan verder toe tot 2,56 m in de Eemshaven en bijna 3 m in Delfzijl. In Tabel 2.2 worden de belangrijkste karakteristieken van het getij weergegeven voor de stations Wierumergronden, Huibertgat, Eemshaven en Delfzijl.

Tabel 2.2 Karakteristieken van het getij: duur daling en stijging in uren en minuten; GZN = gemiddeld zeeniveau; overige gegevens slotgemiddelde 2011 in cm (t.o.v. NAP) (Dillingh, 2013a).

	Schiermonnikoog	Wierumergronden	Huibertgat	Eemshaven	Delfzijl
<b>Duur daling</b>	05:59	05:26	6:25	06:28	06:20
<b>Duur stijging</b>	06:26	05:59	6:00	05:57	06:05
<b>Gemiddeld Zeeniveau</b>	5	1	4	5	8
<b>Gemiddeld Laagwater</b>	-122	-108	-114	-140	-166
<b>Gemiddeld Hoogwater</b>	105	93	104	122	140
<b>Gemiddeld Tijverschil</b>	227	201	218	262	306
<b>Gemiddeld Springtij Laagwater</b>	-138	-123	-129	-157	-186
<b>Gemiddeld Springtij Hoogwater</b>	118	105	116	134	153
<b>Gemiddeld Springtij Tijverschil</b>	256	228	245	291	339
<b>Gemiddeld Doodtij Laagwater</b>	-100	-88	-93	102	-140
<b>Gemiddeld Doodtij Hoogwater</b>	86	73	85	-119	119
<b>Gemiddeld Doodtij Tijverschil</b>	186	161	178	221	259

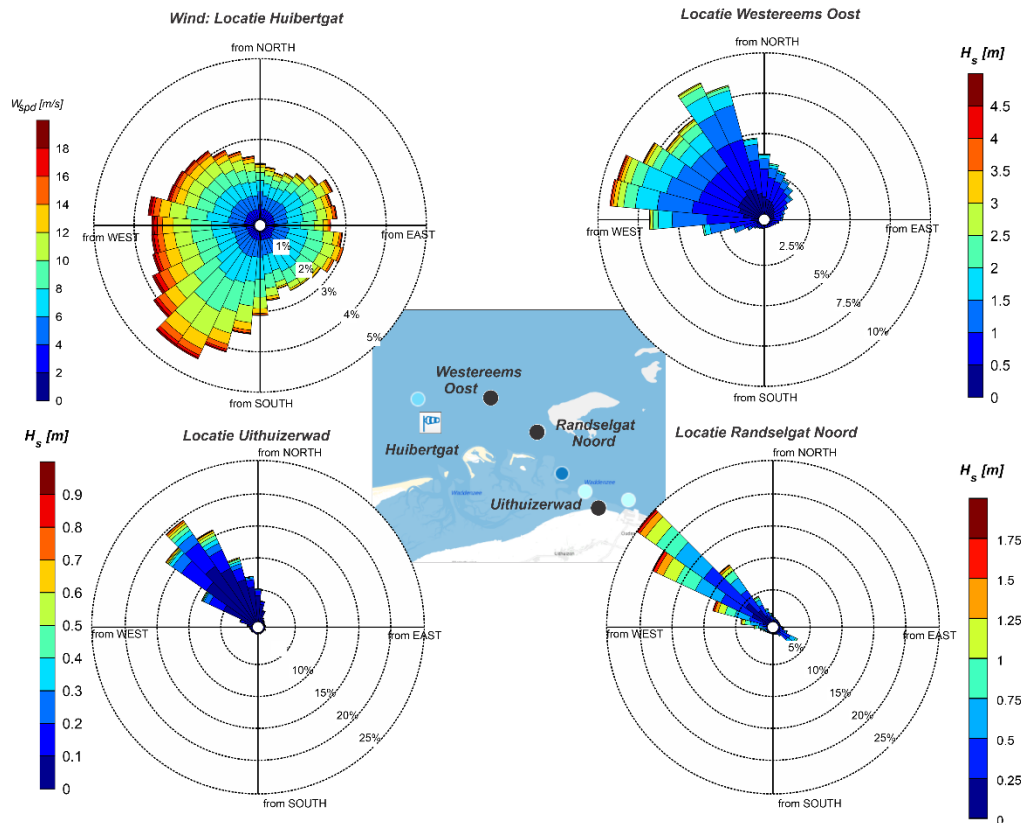
Recente metingen aan de debieten door de zeegaten (ook bekend als 13-uursmetingen) op het Groningerwad zijn niet bekend. Ten oosten van het Groningerwad, nabij de ingang van de Eemshaven, worden de afgelopen jaren permanente metingen van o.a. waterstanden, stroming, troebelheid, saliniteit en primaire productie uitgevoerd (locatie Stroommeetpaal Eemshaven in Figuur 2.4).

## 2.5 Golven

Een overzicht van het golfklimaat wordt weergegeven in Figuur 2.6 voor verschillende meetstations in de monding en het Eems estuarium. De meetboei Westereems Oost geeft een representatief beeld van de golven op de open zee. De gemiddelde significante golfhoogte ( $H_{sig}$ ) is hier 1,04 m. Golven komen vrijwel uitsluitend uit het kwadrant tussen west en oost. Dit is in tegenstelling tot het windklimaat waarin de zuidwestelijke component overheerst (zie locatie Huibertgat). Dit verschil wordt veroorzaakt door de ligging van de kustlijn van de Nederlandse Waddeneilanden, waardoor er afscherming optreedt voor wind uit het kwadrant tussen zuid en west. Een soortgelijke afscherming komt voor bij wind uit de oostelijke richting. Door de ligging van de Duitse kustlijn worden er uit deze richting ook slechts kleine golven gegenereerd. Daarnaast komt deze wind minder vaak voor en is deze minder sterk.

De voorliggende banken in de Eemsmonding en die van het Groningerwad beschermen de achterliggende kust en het Eems estuarium tegen golfaanval. De golfrozen voor stations Randselgat Noord en Uithuizerwad laten een veel kleinere golfhoogte zien (een  $H_{sig}$  van respectievelijk 0,57 m en 0,14 m). Daarnaast is de spreiding in richting beperkt. Alleen golven die via de geulen propageren bereiken deze locaties. Op het Groningerwad zullen de golven beperkt zijn. De voorliggende eilanden en buitendelta's zorgen hier voor een afscherming van de golven vanaf de Noordzee. Golfpropagatie door de getijgeulen, van met name de Lauwers, zou mogelijk kunnen optreden.





Figuur 2.6 Windroses voor station Huibertgat en golfroses voor station Westereems Oost, Randselgat Noord en Uithuizerwad gebaseerd op data over de periode 2007-2017.

## 2.6 Aanvoer van zoetwater

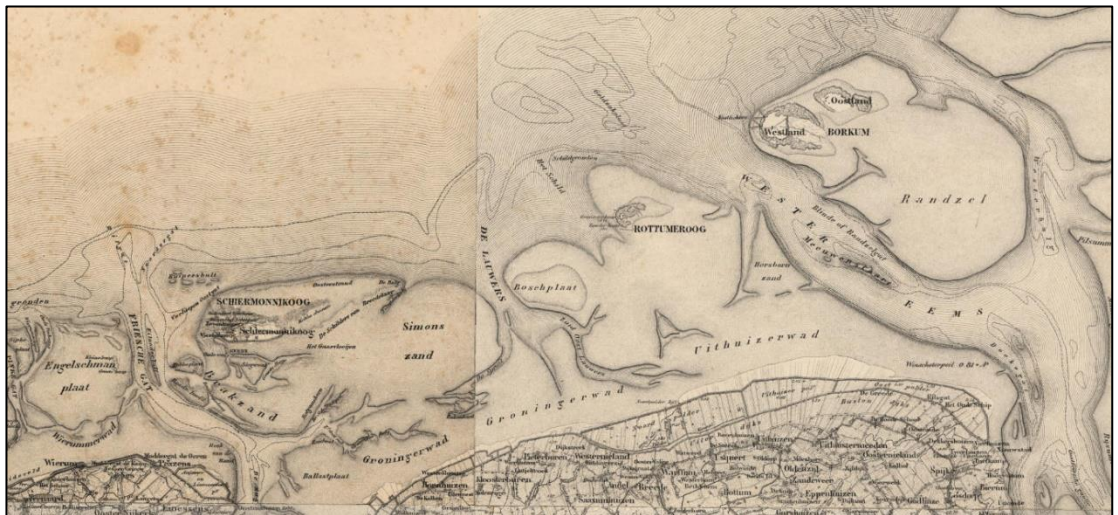
De directe aanvoer van zoetwater op het Groningerwad is verwaarloosbaar. Alleen in Noordpolderzijl is een uitwateringssluis aanwezig. Deze uitwateringssluis is al in 1811 gebouwd om het overtollige water uit de Noordpolder naar de Waddenzee af te voeren. In 1991 is deze sluis vervangen door een elektrisch gemaal. Dit gemaal heeft twee pompen, ieder met een capaciteit van 120 m<sup>3</sup>/min. De daadwerkelijke afvoer van zoetwater is afhankelijk van het zoetwater surplus in de polder en varieert per seizoen en van jaar op jaar.

Ten oosten en westen van het Groningerwad speelt zoet water wel een belangrijke rol. In het naastgelegen bekken van het Friesche Zeegat bevinden zich bij Lauwersoog de uitwateringssluizen van het Lauwersmeer. Tijdens het spuien is het mogelijk dat deze zoetwatergolf het oostelijke deel van het Groningerwad beïnvloedt.

De Eemsrivier is een belangrijke bron van zoet water in het naastliggende Eems estuarium. De jaargemiddelde zoetwaterdebieten variëren tussen de 38 en 131 m<sup>3</sup>/s met een gemiddelde van 81 m<sup>3</sup>/s. De debieten vertonen een sterke fluctuatie door het jaar. In de maanden juni – september liggen de debieten rond de 40 m<sup>3</sup>/s, terwijl deze in de wintermaanden op kunnen lopen tot 250 m<sup>3</sup>/s. Dit zoetwaterdebiet zorgt ervoor dat de saliniteit in het Eems estuarium wordt verlaagd. In de monding, tussen Borkum en Rottumeroog, ligt de saliniteit nog op 29 ppt, maar deze neemt af naar 25 ppt bij de Eemshaven en 20 ppt nabij Delfzijl (Arcadis, 2013). Arcadis (2013) concludeert voor het Eems estuarium dat door het relatief ondiepe gebied en de grote getijvolumes er waarschijnlijk geen of weinig verticale stratificatie aanwezig is. Een groot effect van deze saliniteitsverschillen op de morfologie van het Groningerwad wordt dan ook niet verwacht.

### 3 Grootschalige morfologische ontwikkelingen

In dit hoofdstuk wordt een overzicht van de grootschalige ontwikkeling van het Groningerwad en de Rottums gepresenteerd. De beschrijving is onderverdeeld in een aantal verschillende tijdsperiodes om de beschikbare bodemdata optimaal te gebruiken. Hiervoor is onderscheid gemaakt in de geologische ontwikkeling en de ontwikkelingen vanaf de 14<sup>de</sup> – 16<sup>de</sup> eeuw tot ongeveer 1986. Gedeeltelijk is deze beschrijving gebaseerd op literatuur, daarnaast zijn historische kaarten beschikbaar over de periode 1812-1949. Een voorbeeld hiervan wordt getoond in Figuur 3.1. Vanaf 1986 zijn er gedetailleerde digitale bodemkaarten beschikbaar waardoor het mogelijk is zowel de morfologische verandering als de volumeverandering te beschrijven.



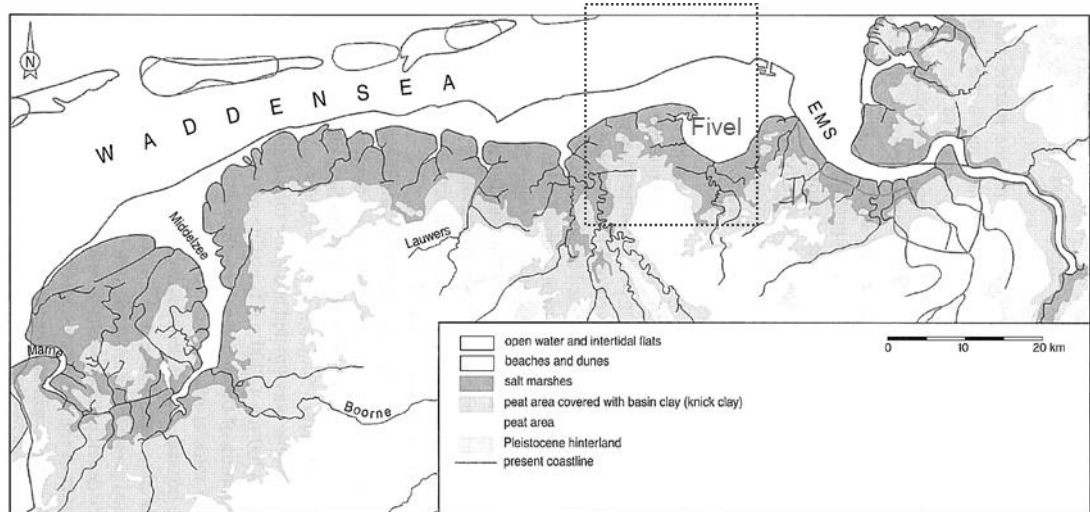
Figuur 3.1 Een illustratie van het Groningerwad rond 1868 (Bron: [www.topotijdreis.nl](http://www.topotijdreis.nl)).

#### 3.1 Geologische ontwikkeling

De geologische ontwikkeling in de afgelopen duizenden jaren is medebepalend geweest voor de huidige morfologie van het gebied. Net als in de rest van het Waddengebied is vanaf het begin van het Holocene tijdperk sprake geweest van verschillende perioden waarin de invloed van de zee toe is genomen, gevolgd door perioden waarin die invloed is afgenomen. In eerste instantie vormde het Pleistocene landschap, met enkele ingesneden valleien de mal, die werd gevuld door de zeer snel stijgende zeespiegel. De getijdebekkens die daardoor ontstonden werden opgevuld met sediment. Later in de geschiedenis, breidden de getijdebekkens in het huidige Waddengebied opnieuw uit, waarbij opnieuw zeearmen en inhammen werden gevormd.

De situatie rond 600 AD is weergegeven in Figuur 3.2. De kustlijn wordt dan gekarakteriseerd door een uitgebreide band van kwelders die de scheiding vormen tussen zee en het vasteland. De kustlijn wordt doorsneden door vele kleinere getidekreeken en beken. Er zijn al enkele voorlopers van estuaria zoals de Middelzee en de Eems. Net ten westen van Delfzijl bevindt zich een laaggelegen gebied, van oorsprong een glaciaal tongbekken. In deze laagte ontwikkelde zich de Fivelboezem. Hier vonden veel overstromingen plaats. Naast landverlies zorgden deze overstromingen er ook voor dat veel sediment werd afgezet. Doordat de dichtgeslibde kwelders zeer vruchtbaar waren, ontstonden rond het jaar 600 voor Christus de

eerste nederzettingen op de kwelderwallen langs de Fivelboezem, eerst alleen in de zomerperiode, later permanent. Om zich te beschermen tegen hoog water, bouwden de bewoners de toenmalige nederzettingen op heuvels. Langs de westelijke oeverwal van de Fivel ontstonden zo Westerwijtwerd, Middelstum, Toornwerd, Kantens, Eelswerd, Rottum, Helwerd, Kloosterwijtwerd en Usquert.



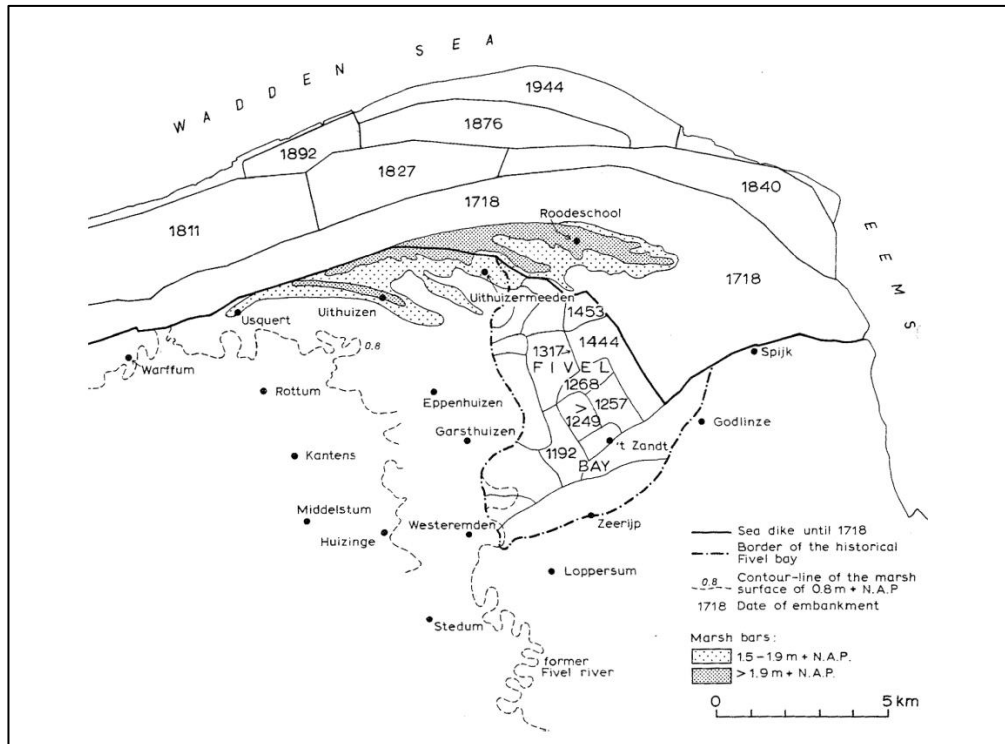
Figuur 3.2 Paleogeografische reconstructie van het oostelijke waddegebied rond ongeveer 600 A.D (uit Esselink, 2000). Hierin is de ligging van de huidige kustlijn weergegeven door de getrokken lijn. Het studiegebied is gemarkeerd met de gestippelde box hier is ook de locatie van Fivel aangegeven.

De Fivel was onderdeel van een groter getijddebekken, waarvan hoofdgeul waarschijnlijk aantakte bij de Eems. Door de doorgaande aanslibbing in de Fivelboezem verplaatste de uitmonding zich in de loop der tijd naar de Westereems en werd rond 1200 afgedamd (Figuur 3.3).

In dezelfde periode was de Lauwerszee nog verbonden met het zeegat van de Lauwers. De oriëntatie van de geulsystemen in de oostelijke helft van de Waddensee was destijds, tot ergens tussen 1300 en 1500 heel anders dan tegenwoordig (Zie Appendix A, Figuur A- 1 en hoofdstuk 3.3).

## 3.2 Ontwikkeling Friese en Groninger kust

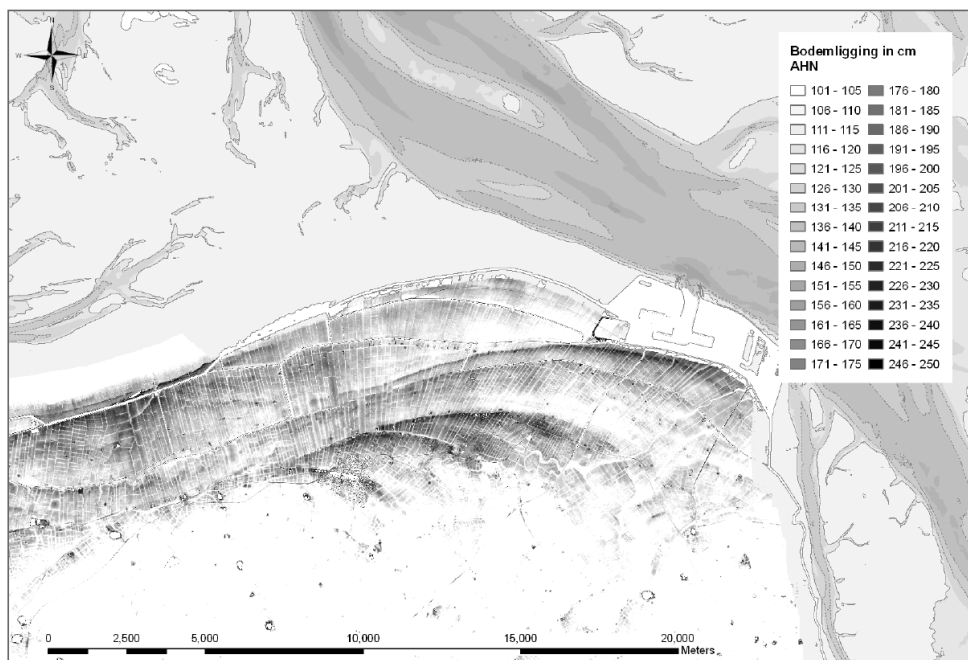
Langs de hele Friese en Groninger kust is vanaf de Middeleeuwen sprake geweest van sedimentatie op kwelders langs het vasteland, waarna bedijking heeft plaatsgevonden. De bedijkingsgeschiedenis van de Fivel-inham en de Groninger kust is op de kaart in Figuur 3.3 zichtbaar gemaakt. Hierin is duidelijk zichtbaar dat in eerste instantie de inham in kleine deelgebieden is bedijkt. De inpoldering van 1718 heeft het resterende deel van de inham en een deel van het Groningerwad bedijkt, zodat de vorm van de kustlijn grotendeels overeenkwam met de huidige kustlijn.



Figuur 3.3 Overzicht van de inpolderingen in het Fivelbekken (overgenomen uit Roeleveld, 1974).

### 3.2.1 Kwelderwallen

In Figuur 3.3 staan ook de kwelderwallen ('marsh bars') aangegeven die aan de westzijde de begrenzing vormden van de Fivel. De kwelderwallen vormden zeer kenmerkende spitvormige complexen, die zijn uitgebouwd naar het oosten. Kwelderwallen kennen we niet meer in deze vorm in het Nederlandse Waddengebied. Ook in het meer recent bedijkte gebied zijn in de hoogte van het landschap nog kwelderwallen zichtbaar, zoals zichtbaar is in de kaart in Figuur 3.4. Het wijst erop dat bij het uitvoeren van de bedijking de hoge delen zijn gevolgd die in de periode daarvoor op de kwelders waren gevormd.



Figuur 3.4 Hoogteligging van noordoost Groningen op basis van AHN1 (Cleveringa, 2008).

### 3.3 Ontwikkeling van geulen, zeegaten en eilanden

Gedetailleerde reconstructies van de ontwikkeling van het Groningerwad en de Rottums vanaf de 14<sup>de</sup> eeuw zijn gemaakt door Oost (1995). Oost (1995) concludeert dat de veranderingen in de kombergingsgebieden van de Zoutkamperlaag en Lauwers een serie veranderingen in gang zet die de morfologische veranderingen van het Groningerwad tot op heden nog beïnvloeden. Eilanden zijn verdwenen of (oostelijk) verplaatst en de geulenstelsels veranderen in ligging en omvang. In onderstaande paragrafen worden de grootschalige veranderingen van de verschillende geulen en eilanden samengevat.

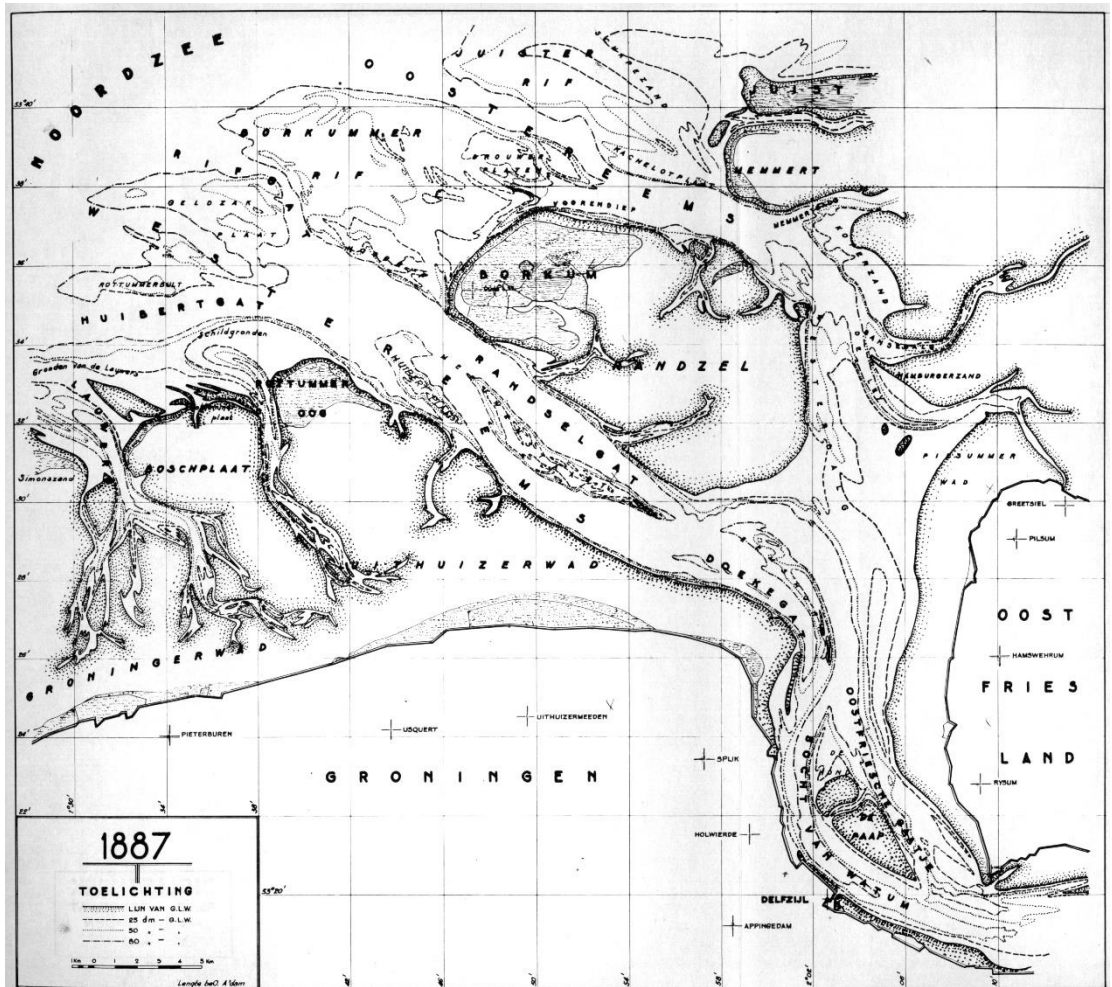
#### 3.3.1 Geulen en zeegaten

In de 14<sup>de</sup> eeuw zijn alleen de geulenstelsels van Lauwers en Schild aanwezig. Ten oosten van Rottumeroog liggen nog de geulen van de Eems (zoals de Westereems), maar deze worden hier verder niet behandeld. Met name de verandering van de Lauwers spelen een belangrijke rol in de grote veranderingen die optreden in de 14<sup>de</sup> tot 18<sup>de</sup> eeuw.

##### *Lauwers*

In de 14<sup>de</sup> eeuw vormde de Lauwers nog de hoofduitstroomgeul van het estuarium wat tot in de 20<sup>ste</sup> eeuw de Lauwerszee vormde. De Zoutkamperlaag, of eigenlijk de voorloper hiervan, was wel al zichtbaar maar had geen of een beperkte verbinding met het zeegat. De Zoutkamperlaag ontwikkelde zich in de 15<sup>de</sup> en 16<sup>de</sup> eeuw al snel tot dominante uitstroomgeul, waarbij de Lauwers steeds minder belangrijk werd en de verbinding met de Lauwerszee verloor. Dit verlies aan komberging leidt ertoe dat het zeegat sterk in omvang afneemt. In de 17<sup>de</sup> eeuw is de geul, tijdelijk, vrijwel volledig verzand. Een toename van getijprisma doordat de Lauwers herstelt zorgt ervoor dat de geul zich vanaf de 17<sup>de</sup> eeuw handhaaft. Het kombergingsgebied is dan wel meer oostelijk georiënteerd ten koste van Schild. De veranderingen in de Lauwers zorgen ervoor dat de eilandstaart van Schiermonnikoog kan sedimenteren, waardoor de sterke oostelijke uitgroei (zo'n 6 km) optreedt.

De hydrografische kaarten geven vanaf 1887 een goed beeld van de geulenstelsels van Lauwers en Schild (Figuur 3.5). In het bekken splitst de Lauwers in een oostelijke en westelijke vertakking. In latere bodemopnamen wordt de oostelijke vertakking Spruit genoemd. Tussen 1887 en 1911 lijken de geulen vrij stabiel te liggen (waarbij echter niet duidelijk is hoe vaak metingen zijn uitgevoerd van dit gebied in deze periode). Vanaf 1911 tot 1949 is vervolgens een duidelijke oostwaartse verplaatsing van de geulenstelsels van Spruit en Lauwers te zien. De Eilanderbalg heeft daarmee een deel van het oostelijk kombergingsgebied van Spruit overgenomen. De Zuidoost Lauwers heeft zich langs de kust van Groningen ver oostelijk uitgestrekt. Deze geul heeft dan komberging van Schild overgenomen, waardoor het geulenstelsel van Schild iets naar het noorden teruggetrokken is. Tussen 1949 en 1989 blijft de Lauwers op grote lijn goed behouden (Appendix A, Figuur A- 5). Lauwers en Spruit vertonen vooral een rotatie. Het zeewaartse deel verplaatst daarbij oostelijk, het landwaartse deel vertoont een kleine westelijke verplaatsing.



Figuur 3.5 Bodemkaart van 1887. Dit is de eerste opname waarin de geulenstelsels van de Lauwers en Schild gedetailleerd worden weergegeven. In Appendix A worden de overige kaarten getoond.

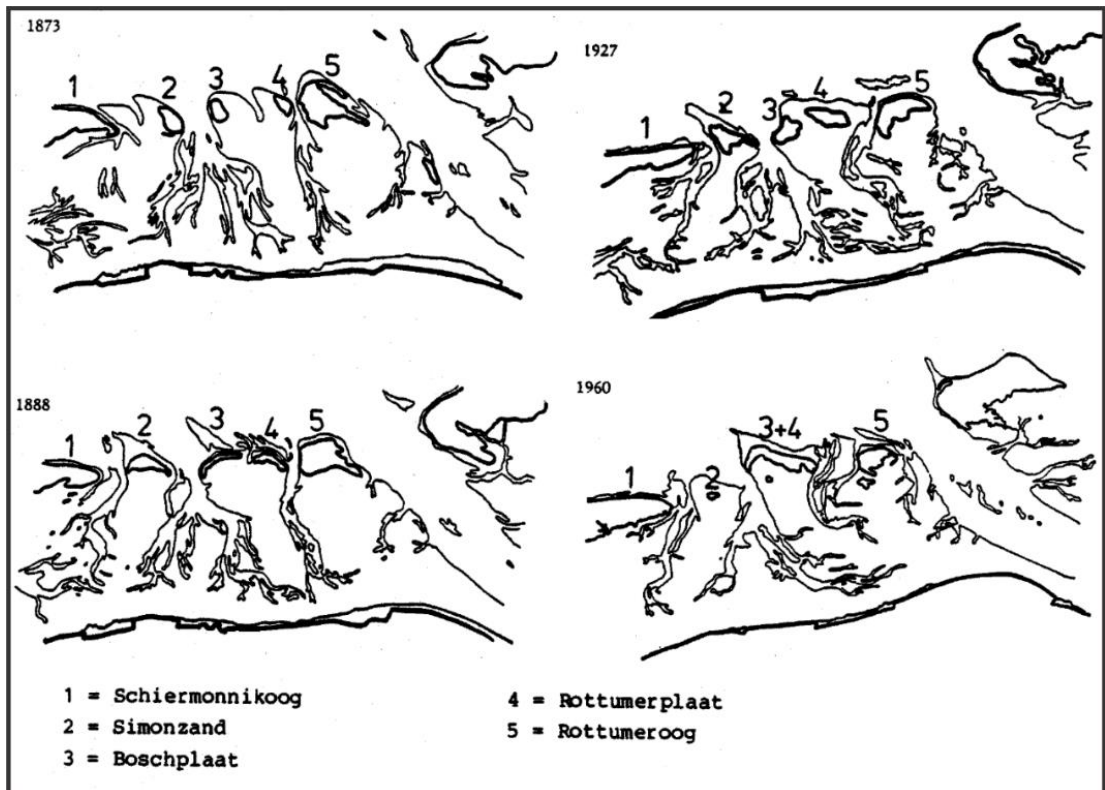
### Schild

De veranderingen van Lauwers beïnvloeden ook het naastgelegen zeegat Schild. Lauwers neemt een deel van het kombergingsgebied van Schild over. Hierdoor neemt het geulenstelsel in omvang af, dit is ook duidelijk terug te zien in de bodemkaarten (Appendix A). In 1887-1901 reikt de geul nog tot aan de vastelandskust van Groningen. In de volgende kaarten (1928-1949) is al te zien dat de geul zich langzaam terugtrekt en de geulen van de Lauwers zich oostelijk gaan uitstrekken. In 1989 is Schild dan nog slechts zichtbaar als een relatief klein geultje dat zich zo'n 3,5 km het zeegat in steekt. Voorspellingen dat Schild steeds kleiner zal worden en waarschijnlijk verdwijnt (Brilhuis et al. 1991) zijn echter niet uitgekomen. De recente bodemdata (1989-2021) laten zien dat Schild weer in omvang toeneemt en heeft zich ontwikkeld tot een volwaardig zeegatsysteem met duidelijke eb- en vloedgeulen en de bijbehorende eb- en vloedchilden. De geul is daarbij vrijwel stabiel in positie blijven liggen (Appendix B).

### Eilanderbalg

Eilanderbalg is lange tijd slechts een klein geultje. Dit geultje vormt zich waarschijnlijk rond 1750 langs eilandstaart van Schiermonnikoog. Omdat dit geultje de kortste route is tussen de Noordzee en het kombergingsgebied gelegen achter Schiermonnikoog neemt het een deel van de komberging van de Lauwers over. Op basis van de hydrografische kaarten kan worden geconcludeerd dat de Eilanderbalg uitgroeit van een klein, ondiep geultje in 1832 tot

een ontwikkelt zeegatsysteem rond 1891. De geul verplaatst zich oostwaarts onder druk van de aangroei van Schiermonnikoog. Tussen 1891 en 1927 heeft de Eilanderbalg zich ongeveer 2,6 km naar het oosten verplaatst. Doordat het wantij ten zuiden van Schiermonnikoog slechts weinig naar het oosten verschoof, is het stroomgebied van de Eilanderbalg groter geworden. Deze verplaatsing heeft weer als gevolg dat de westzijde van het Simonszand erodeert.



Figuur 3.6 Ontwikkeling van het Groningerwad tussen 1873 en 1960 (uit Brillhuis en Bossinade, 1989).

### 3.3.2 Platen en eilanden

De ontwikkeling van de geulen en platen hangt nauw met elkaar samen. De grote veranderingen die optreden in ligging en grootte van de eilanden over de laatste 400 jaar worden samengevat in Figuur 3.5.

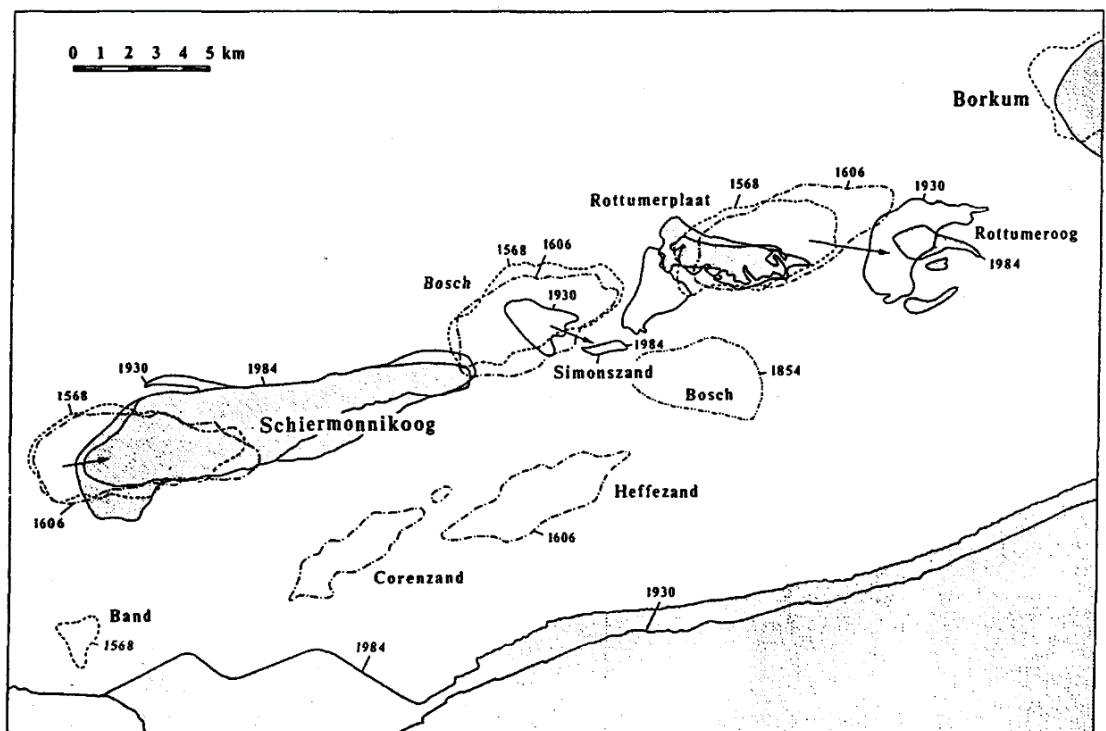
#### *Verdwenen eilanden; Rottum, Bosch, Corenzand en Heffezand*

Grote veranderingen hebben zich voorgedaan bij de eilanden. In de 14<sup>de</sup> eeuw waren er een vijftal eilanden aanwezig. Tussen Schiermonnikoog en Borkum bevonden zich de eilanden Bosch en Rottum en landwaarts hiervan waren nog Corenzand en Heffezand aanwezig (Appendix A; Figuur A- 1). Met uitzondering van Rottum, dat later Rottumeroog wordt genoemd, is niet heel veel bekend van de eilanden. Waarschijnlijk heeft er op alle eilanden wel vee gegraasd, van Bosch is ook bekend dat het bewoond is geweest. Het eiland Corenzand is waarschijnlijk rond 1540 opgegaan in Bosch (Oost, 2005). De Allerheiligenvloed van 1570 zorgde ervoor dat het eilanden Bosch en Heffezand veranderden van een eiland in laagliggende banken die daarna langzaam verdwenen of zijn opgaan in omliggende banken.

#### *Rottum en Rottumeroog*

In de 16<sup>de</sup> eeuw is Rottum nog een relatief groot eiland met een lengte van 9-10 km. Het eiland ligt dan ongeveer op de huidige plaats van Rottumerplaat en strekt zich uit tot

noordelijk van het huidige Rottumeroog. Door afname aan de westzijde en aangroei aan de oostzijde verplaatste het eiland zich geleidelijk in oostelijke richting waarbij het oppervlak afnam tot 700 ha in 1800. Na 1800 nam het oppervlak tijdelijk weer toe. Rond 1900 was het oppervlakte zo'n 850 ha (Figuur 3.8). Sindsdien nemen de volumes sterk af tot ongeveer 300 ha in 1980. Deze afname werd veroorzaakt doordat de aangroei aan de oostkant wordt verhinderd. Borkum houdt de naastliggende geulen van het Eems estuarium vast. De grote stroomsnelheden in deze geulen voeren het sediment kustdwars af, naar de monding en het bekken in. Hierdoor wordt aangroei aan de oostzijde van het eiland bemoeilijkt. Aan de landzijde zijn rond 1930 de zogenaamde Zuiderduintjes geleidelijk van Rottumeroog afgesplitst wat een verder verlies aan oppervlakte oplevert. Ook na 1980 blijft erosie aan de zeezijde optreden.



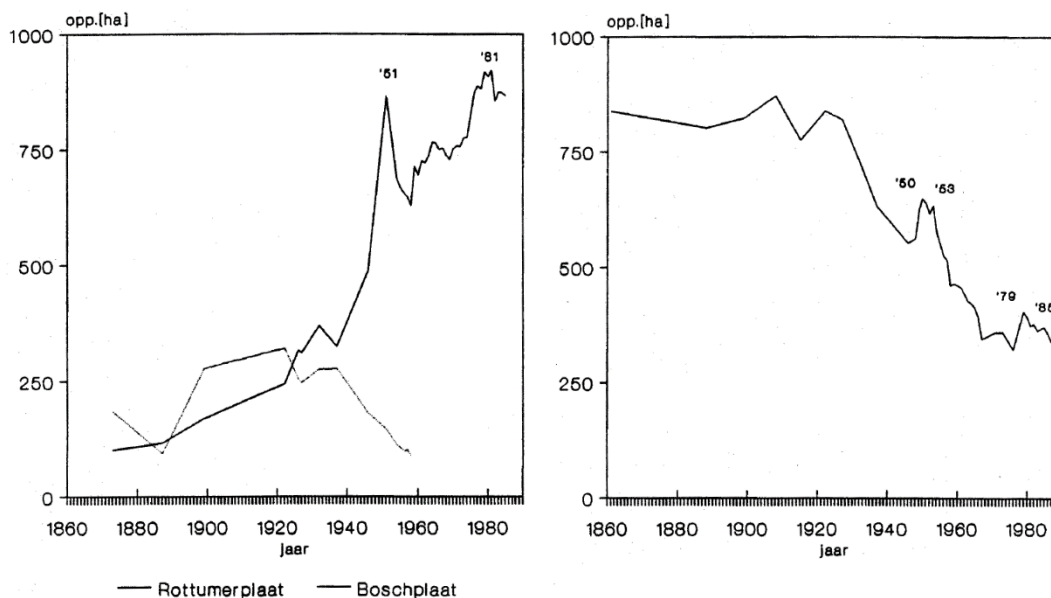
Figuur 3.7 Verplaatsing van de eilanden tussen 1568 en 1984 (uit Huizing 1993).

#### *Bosch en Boschplaat*

Rond 1600 was Bosch nog een eiland dat tussen Rottum en Schiermonnikoog in lag, ongeveer op de plek van het huidige Simonszand (Figuur 3.7). Tussen 1600 en 1954 verplaatste de bank iets oostelijk en landwaarts het bekken in. Deze bank heet dan Boschplaat. Rond 1959 verheelt de Boschplaat met de Rottumerplaat (Bossinade en Brilhuis, 1989).

Rottumerplaat was in de oudere opnamen nog niet gevormd. Pas rond 1833 ontstaat net ten westen van Schild een bank die in 1860 de naam Rottumerplaat krijgt. Rottumerplaat was aanvankelijk, tot 1900, gering van omvang (ca. 100 ha), maar nam met het aanlanden van banken aan de westzijde en de Boschplaat sterk toe in volume. In 1940 lag het volume rond de 250 ha en dat was na 1950 al toegenomen tot boven de 750 ha (Figuur 3.8). Ook na 1950 zet de groei zich door, geholpen door beheermaatregelen. Brilhuis en Bossinade (1989) geven aan dat in de periode 1946-50 en 1975-80 zandgolven aanlanden, waardoor het oppervlakte versneld toeneemt tot zo'n 850 ha rond 1980 (Figuur 3.8).





Figuur 3.8 Verloop oppervlakte Rottumerplaat (links) en Rottumeroog (rechts). Bron: Brillhuis en Bossinade (1989).

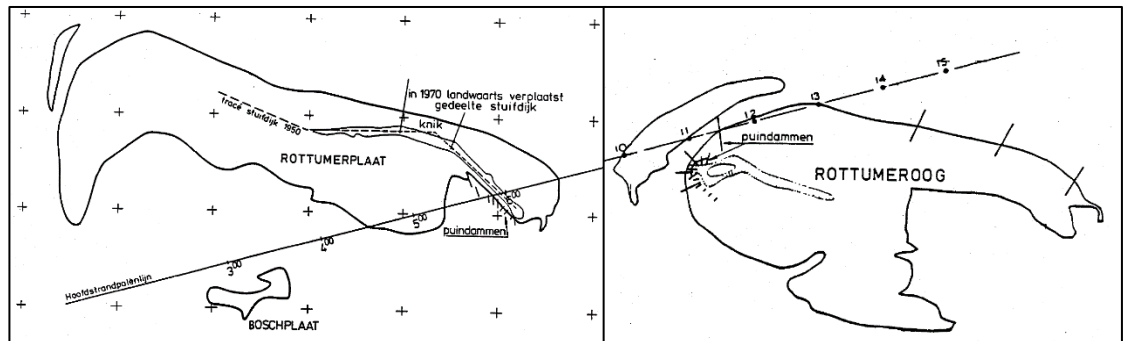
#### Beheer van Rottumeroog en Rottumerplaat

Beheer van Rottum (Rottumeroog) vindt al lang plaats, doordat het eiland eigendom was van twee kloosters. Sinds 1637 vindt er beheer plaats door de 'Voogd van Rottum'. Deze Voogd bewoonde en beheerde het eiland. Ook nadat het eiland in 1876 in beheer en onderhoud kwam van Rijkswaterstaat bleef de Voogd het eiland beheren en tot 1965 heeft er een Voogd op het eiland gewoond. Sinds 1965 is Rottum niet meer permanent bewoond. Wel is het onderhoud van het eiland is tot de jaren negentig doorgezet.

Intensiever beheer van Rottumerplaat start rond 1950 met plannen om de gehele Waddenzee in te polderen, waarbij Rottumerplaat dan zou dienen als steunpunt. De aanleg van een stuifdijk vormt hier een goedkope basis voor een zeeverende dijk. Aansluitend op een bestaande duin op het zuid-oostelijk deel van Rottumerplaat is in de periode 1952-1980 een stuifdijk aangelegd (Figuur 3.9). Door het plaatsen van stuifschermen en het beplanten met helm en zandhaver ontwikkelde deze stuifdijk zich tot een duinenrij. Achter de beschutting van de duinenrij is een rijk begroeid kweldergebied ontstaan. De stuifdijk blijkt echter gevoelig voor erosie tijdens stormen en in 1962 breekt de stuifdijk ter plaatse van de knik door. Erosie van deze knik blijft een probleem dat eerst met zandsuppleties wordt ondervangen. In 1970 wordt de hele stuifdijk over een lengte van 600 m landwaarts verplaatst en versterkt met Gobi-matten. Dit stabiliseert de dijk en in de beschutting van de duinenrij ontstaat aan de Waddenzijde een rijk begroeid kweldergebied. Deze kwelder watert langs de stuifdijk af en tussen 1965 en 1980 zijn puindammen nodig om de afwateringsgeul om de teen van de stuifdijk te leiden. Uiteindelijk stabiliseert het strand.

De kern van Rottumeroog wordt gevormd door een stelsel stuifdijken dat het zuidelijk gelegen kweldergebied afschermt. In 1972 is getracht een nieuwe stuifdijk in noordoostelijke richting aan te leggen. Deze stuifdijk werd vrijwel geheel weggevaagd na een storm in 1973, waarna gestopt werd met aanleg van de stuifdijk. Wel zijn er in de jaren 1978-1985 aan de westzijde van het eiland puindammen aangelegd. Deze dammen liggen boven gemiddeld hoogwater.

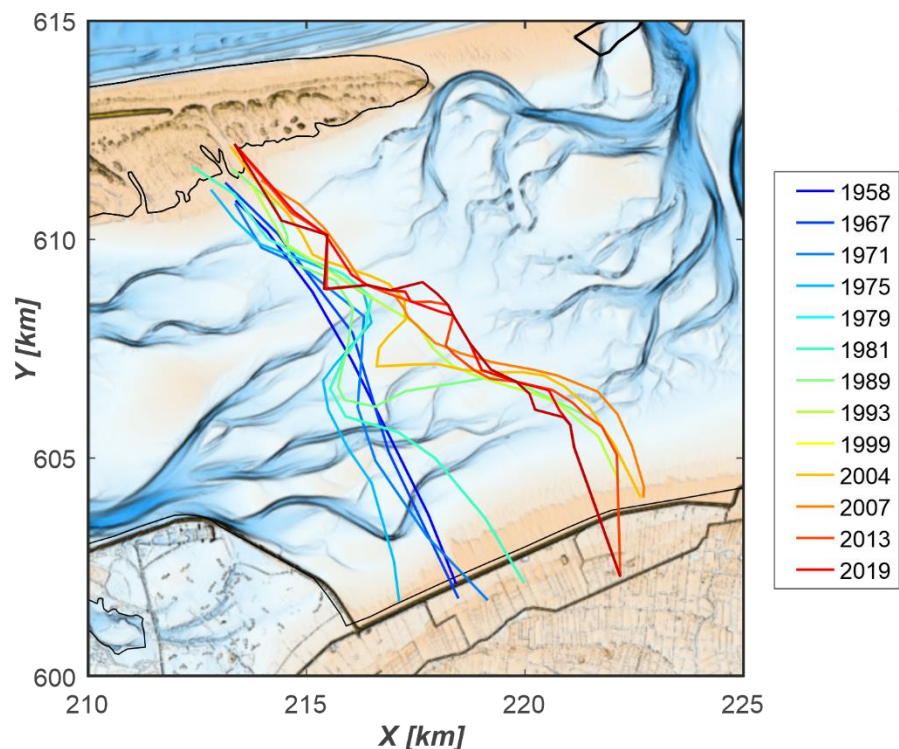
Sinds de jaren negentig worden Rottumerplaat en Rottumeroog niet meer actief beheerd. De angst dat de eilanden zonder beheer snel zouden verdwijnen is ongegrond gebleken. Tegenwoordig, zo'n 30 jaar na de start van dynamisch kustbeheer, zijn de eilanden nog steeds aanwezig. De natuurlijke processen van erosie en aangroei zorgen voor een unieke dynamiek en natuur (Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer, 2019).



Figuur 3.9 Ligging stuifdijken en puindammen Rottumerplaat (links) en puindammen op Rottumeroog (rechts). Bron: Brilhuis en Bossinade (1989).

### 3.3.3 Wantij onder Schiermonnikoog

Het kombergingsgebied van de Eilanderbalg wordt mede bepaald door de ligging van het wantij onder Schiermonnikoog. De ligging van dit wantij kan worden geschat uit de lodingsgegevens (Figuur 3.10). Het wantij verplaatst zich na afsluiting van de Lauwerzee oostelijk. Een maximale oostelijke ligging wordt geobserveerd rond 2007. Sindsdien lijkt het wantij zich iets terug westelijk te verplaatsen. Dit zou de hypothese bevestigen dat het wantij zich op de lange termijn weer terug naar het westen verplaatst nadat het morfologische evenwicht van de Zoutkamperlaag is hersteld.



Figuur 3.10 Schatting van de ligging van het morfologische wantij onder Schiermonnikoog op basis van de bodemhoogte tussen 1926 en 2019. De onderliggende bodem geeft de 2019 bodem weer.

## 4 Recente morfologische veranderingen

Vanaf 1989 zijn bodemdata digitaal beschikbaar en van veel hogere resolutie dan de eerdere metingen. Deze data maakt het mogelijk de veranderingen van de geulen en platen in groot detail te beschrijven (paragraaf 4.1), maar ook om de veranderingen in hoogte en volume te berekenen (paragraaf 4.2).

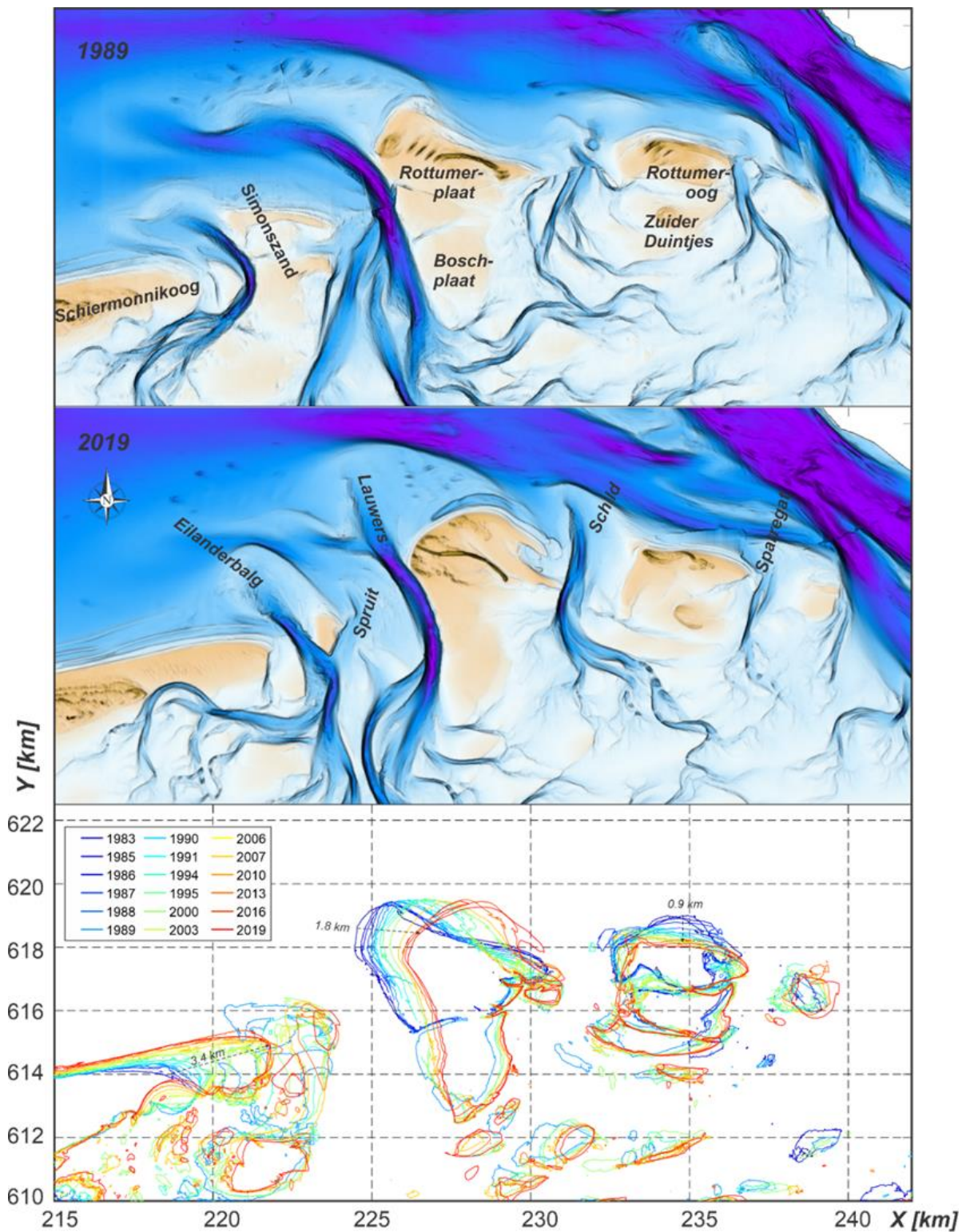
### 4.1 Geulen en platen

De analyse van de morfologische ontwikkelingen is gebaseerd op de Vaklodingen data. De eerste volledige bodemopname is die van 1989 (Figuur 4.1, boven) en de meest recente bodemkaart is een samengestelde bodem voor de jaren 2019/2020 (Figuur 4.1, onder). Een vergelijking van deze bodems laat zien dat de grootschalige kenmerken van het systeem tussen 1989 en 2019 behouden blijven. Wel vertonen de individuele platen en geulen grote morfologische veranderingen en verplaatsingen.

De grootste veranderingen doen zich voor tussen Schiermonnikoog en de Rottumerplaat. In 1989 bevinden zich hier nog twee grote geulensystemen: Eilanderbalg en het gecombineerde systeem van Lauwers en Spruit die gescheiden worden door een groot plaatoppervlak (Simonszand). In de periode 1989 en 2020 is de eilandstaart van Schiermonnikoog zo'n 3,4 km oostwaarts uitgebouwd. Hierdoor is ook de Eilanderbalg oostwaarts verplaatst, waardoor het Simonszand sterk in breedte en omvang is afgenomen. Een groot deel van dit zand is zeewaarts verplaatst en heeft bijgedragen aan de vorming van het grote ebschild dat zich aan de zeezijde van de Eilanderbalg heeft gevormd. In 2014 is Eilanderbalg zo ver oostelijk verplaatst dat in het bekken verbinding gemaakt wordt met Spruit. Deze twee geulen hebben in de 2020 opname een gezamenlijke geul gevormd met een dominante uitstroom via de Eilanderbalg en een kleine secundaire uitstroom richting Lauwers. Spruit is in 2020 dan ook niet meer zichtbaar als apart geulenstelsel.

In vergelijking tot de grote veranderingen in de Eilanderbalg en Spruit zijn de veranderingen van de naastliggende Lauwers eerder beperkt. In zowel 1989 en 2020 ligt de Lauwers langs de Rottumerplaat. Wel hebben zich op de buitendelta grote veranderingen voorgedaan. In 1989 was de uitstroom van de Lauwers nog westelijk gericht maar in 2020 heeft de uitstroom een noord-noordwestelijke oriëntatie. De noordwestzijde van Rottumeroog is hierdoor 1,8 km oostelijk verplaatst. Een deel van het geërodeerde sediment heeft bijgedragen aan de uitbouw van de noordoostelijke zijde van het eiland. Schild heeft zich in die periode ontwikkeld tot een volwaardig zeegatsysteem met duidelijke geulen en de bijbehorende vloed- en ebschilden, en blijft in deze periode stabiel in positie liggen. Ook Rottumeroog vertoont een stabiele ligging, maar wel treedt er aanzienlijke erosie aan de zeezijde op. De kustlijn is hier zo'n 0,9 km teruggetrokken. Deze erosie is gerelateerd aan ontwikkeling van de voorliggende geul Horsborngat. Het Sparregat vertoont zowel in de 1989 als in 2020 overeenkomstige kenmerken. De morfologische veranderingen lijken hier beperkt.

Gedetailleerde beschrijvingen van de veranderingen in de verschillende morfologische eenheden (geulen, platen, eilanden etc.) worden gegeven in hoofdstuk 5 tot 7.



Figuur 4.1 Overzicht van de bodemligging van de Rottums in 1989 (boven) en 2019 (midden). Onderste figuur illustreert de verplaatsing van de eilanden aan de hand van de 0m NAP contourlijn over de periode 1983 - 2019.

## 4.2 Ontwikkeling van de sedimentvolumes sinds 1989

De sedimentatie-erosie kaart (Figuur 4.2) geeft een goed beeld van de opgetreden bodemhoogteverandering over de periode 1989-2019. Op basis van het geobserveerde sedimentatiepatroon zijn de volumeveranderingen en hoogteveranderingen van de afzonderlijke sedimentatie- en erosiegebieden bepaald. Deze indeling maakt het mogelijk de volumeveranderingen zowel op geaggregeerd niveau als voor individuele deelgebieden te beschouwen (Elias et al. 2021). Gemiddeld over het gehele gebied is de netto verandering met -3 cm (-13 miljoen m<sup>3</sup>) beperkt (Tabel 4.1). Toch hebben zich grote morfologische veranderingen voorgedaan. De totale morfologische verandering is 669 miljoen m<sup>3</sup>, waarvan 328 miljoen m<sup>3</sup> sedimentatie en 341 miljoen m<sup>3</sup> erosie.

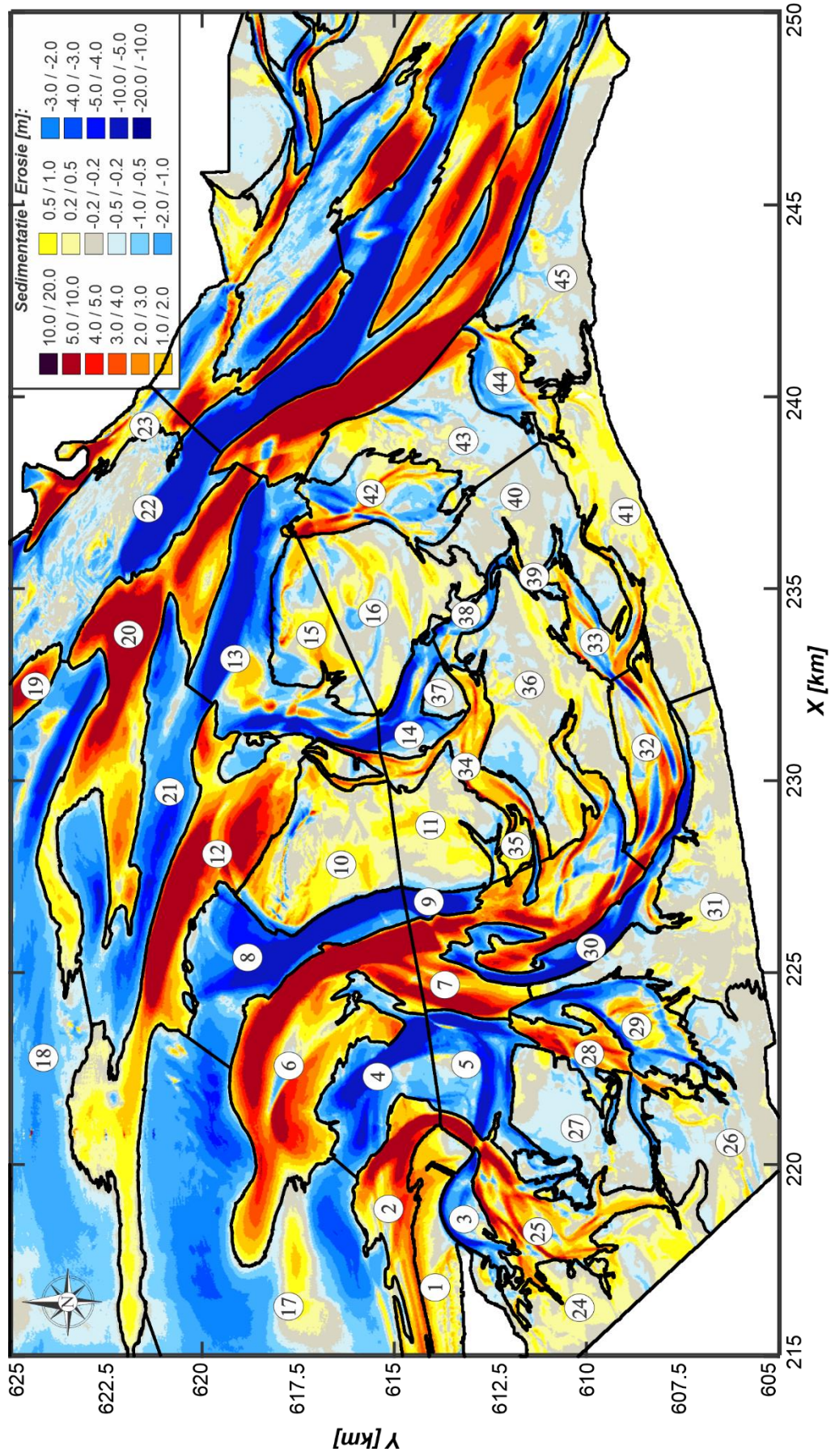
Het Groningerwad vertoont een netto sedimentatie van 60 miljoen m<sup>3</sup> (tussen 1989 en 2019). Deze toename vindt vooral plaats vanaf 2008. In de periode 1990-2008 was de toename nog beperkt. De voorliggende kustzone en de Eemsmonding verliezen sediment (-73 miljoen m<sup>3</sup>). Deze erosie vindt plaats in deelpolygonen (17 en 18). De diepe vooroever vertoont hier een afname van het volume (90 miljoen m<sup>3</sup>), dat is een gemiddelde verdieping van bijna 1 m. Deze verdieping lijkt een indicatie te zijn dat de Eemsmonding zich landwaarts terugtrekt. Het verlies van de diepe vooroever is vrijwel gelijk aan de sedimentimport van het Eems estuarium (Elias et al., 2021). De uitstroming van het Eems estuarium neemt in sedimentvolume toe (+16 miljoen m<sup>3</sup>).

De zeegaten van de Eilanderbalg en Lauwers vertonen grote morfologische veranderingen, maar slechts een beperkte netto verandering. In totaal neemt de hoogte met 11 cm toe (19 miljoen m<sup>3</sup>). Het deelgebied Rottumerplaat en Schild vertoont een vrijwel gelijk toename in sedimentvolume van 17 miljoen m<sup>3</sup>. Door het kleinere oppervlakte resulteert dit wel in een grotere bodemhoogteverandering van +17 cm.

Kijken we naar de volumeverandering van de eilanden, boven de -1,5 m NAP (polygoon 1 Schiermonnikoog, 10+11 Rottumerplaat en 15+16 Rotummeroog) dan kan worden geconcludeerd dat de eilanden met 17 miljoen m<sup>3</sup> in sedimentvolume zijn toegenomen. Het merendeel van deze toename vindt plaats op Schiermonnikoog (8,1 miljoen m<sup>3</sup>) en op Rottumerplaat (7,0 miljoen m<sup>3</sup>). De toename van Rottumerplaat is met 1 miljoen m<sup>3</sup> beperkt. Aan de zeezijde van de Rottumerplaat treden echter wel grote verliezen op (-15 miljoen m<sup>3</sup>) door de vorming van het Horsborngat (polygoon 13). Het oostelijke deel van het Groningerwad, gelegen langs de Oude Westereems, neemt iets in volume (+1 miljoen m<sup>3</sup>) en hoogte (+3 cm) toe.

De Eemsmonding (polygoon 19-23) toont een afwisseling in langgerekte gebieden van sedimentatie en erosie. Gebieden van sedimentatie en erosie wisselen elkaar hier af. Een groot volumeverlies treedt op in de Westereems (polygoon 22). Het sedimentvolume in deze geul neemt met ruim 30 miljoen m<sup>3</sup> in volume af (een verdieping van 177 cm). Deze toename vertoont een lineair verloop sinds 1990 met een trendwaarde van -0,86 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Een vrijwel gelijke volumeafname treedt ook op in polygoon 21, het centrale deel van het Huibertgat. De trendwaarde ligt hier met -1,11 miljoen m<sup>3</sup>/jaar volume-afname wel hoger. De erosie van beide gebieden wordt ruimschoots gecompenseerd door de sterke volumetoename in deelpolygoon 20. Een landwaartse verplaatsing van de Ballon Plaat resulteert hier in een toename in volume van bijna 65 miljoen m<sup>3</sup>. Gemiddeld komt dit overeen met een hoogteverandering van 315 cm.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat het Groningerwad netto een kleine verandering vertoont, maar dat er wel grote bruto veranderingen optreden. Netto neemt het sedimentvolume vanaf 2008 toe. Aan de zeezijde treden grote bruto veranderingen op in de buitendelta's van de Rottums. De voorliggende vooroever vertoont een verdieping.

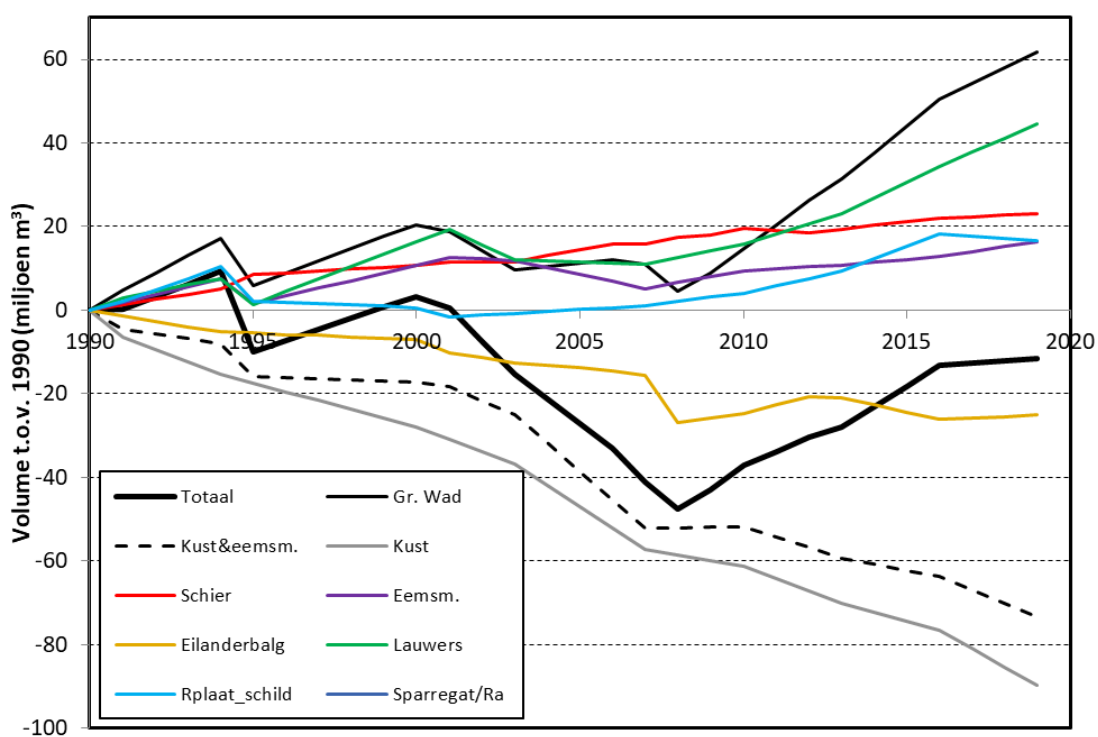


Figuur 4.2 Overzicht van de morfologische veranderingen over de periode 1989 – 2019.

Tabel 4.1 Overzicht van de veranderingen in volume en hoogte per polygoon (1990-2019).

Gebied	Oppervlakte. [km <sup>2</sup> ]	Volume verandering [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	Trend [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /jr]	Hoogte verandering [cm]
1	7,93	8,13	0,29	103
2	8,55	18,97	0,76	222
3	2,59	-4,03	-0,18	-156
<b>Schiern.</b>	<b>19,07</b>	<b>23,07</b>	-	<b>121</b>
4	7,91	-23,26	-0,76	-294
5	6,58	-16,34	-0,63	-248
24	11,88	2,99	0,1	25
25	9,27	15,02	0,5	162
26	14,37	-0,77	-0,04	-5
27	9,98	-2,68	-0,1	-27
<b>Eilanderbalg</b>	<b>59,99</b>	<b>-25,04</b>	-	<b>-42</b>
6	19,47	71,58	2,31	368
7	15,01	35,76	1,34	238
8	10,82	-48,52	-1,87	-449
9	1,31	-10,65	-0,39	-816
28	4,79	5,3	0,15	111
29	6,36	-6,78	-0,22	-107
30	6,24	-18,99	-0,7	-304
31	16,48	1,24	0,05	8
32	6,67	6,99	0,24	105
33	4,07	2,98	0,09	73
41	12,63	4	0,12	32
36	16,94	1,25	0,07	7
<b>Lauwers</b>	<b>120,79</b>	<b>44,16</b>	-	<b>37</b>
10	13,16	5,43	0,23	41
11	7,39	1,6	0,06	22
12	22,87	51,56	1,53	225
34	5,42	6,66	0,23	123
35	0,95	0,75	0,03	79
13	14,91	-40,09	-1,38	-269
14	3,33	-7,56	-0,26	-227
15	6,31	-0,01	0,05	0
16	11,53	1,6	0,06	14
37	1,12	-0,14	0,01	-12
38	1,6	-1,76	-0,06	-110
39	1	-0,3	0	-30
40	10	-0,87	-0,02	-9
<b>Rottumerpl./schild</b>	<b>99,59</b>	<b>16,87</b>	-	<b>17</b>
42	7,52	4,18	0,10	55
43	10,26	-0,95	-0,05	-9
44	3,09	-0,61	-0,11	-20
45	13,08	-1,5	-0,06	-11
<b>Sparregat/Ra</b>	<b>33,95</b>	<b>1,12</b>	-	<b>3</b>
<b>Totaal Gr. Wad</b>	<b>333,39</b>	<b>60,18</b>	-	<b>18</b>

Gebied	Oppervalkte. [km <sup>2</sup> ]	dVolume [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	Trend [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /jr]	dHoogte [cm]
17	50,41	-51,16	-1,7	-101
18	46,07	-38,54	-1,35	-84
<b>Kust</b>	<b>96,48</b>	<b>-89,70</b>	-	<b>93</b>
19	1,55	5,04	0,12	324
20	20,55	64,72	1,85	315
21	16,79	-32,39	-1,11	-193
22	17,17	-30,4	-0,86	-177
23	4,3	9,46	0,28	219
<b>Eemsm.</b>	<b>60,36</b>	<b>16,43</b>	-	<b>27</b>
<b>Totaal</b>	<b>156,84</b>	<b>-73,27</b>	-	<b>-47</b>
<b>Kust &amp; Eemsmonding</b>				



Figuur 4.3 Tijdseries van volumeontwikkeling voor het Groningerwad over de periode 1990 – 2019 voor de morfologische gebieden zoals weergegeven in Tabel 2-1.

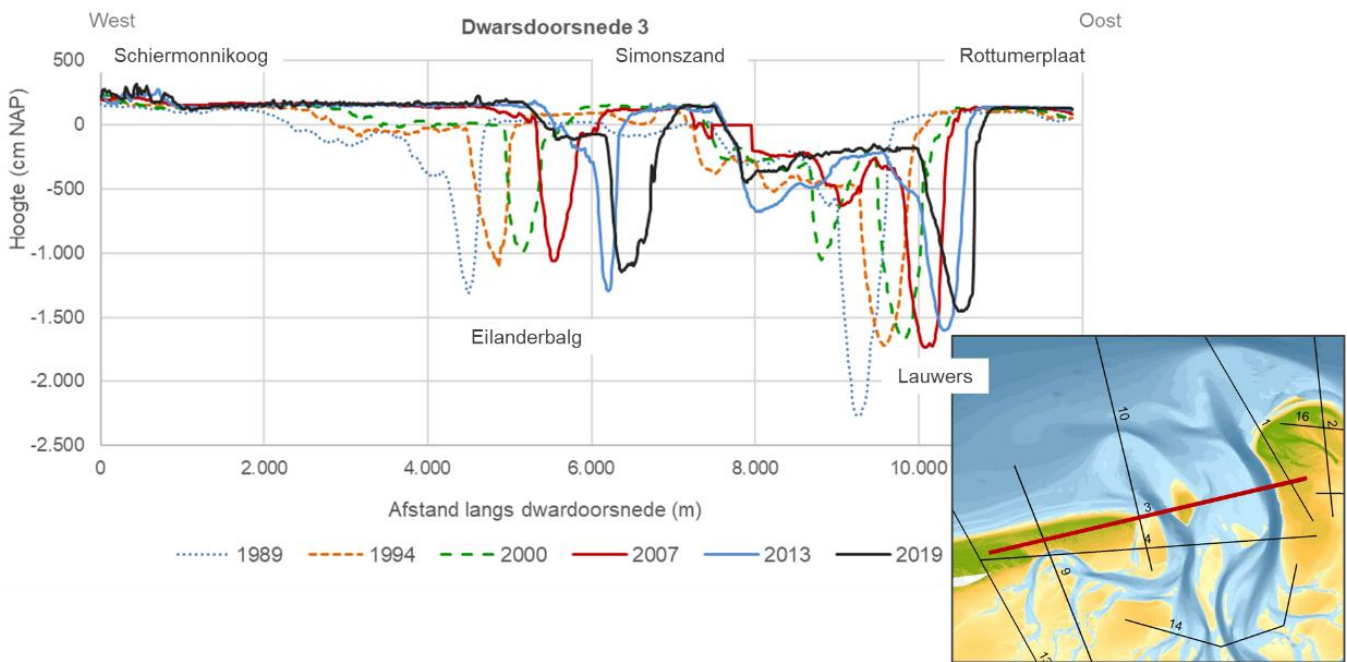


## 5 Getijdegeulen

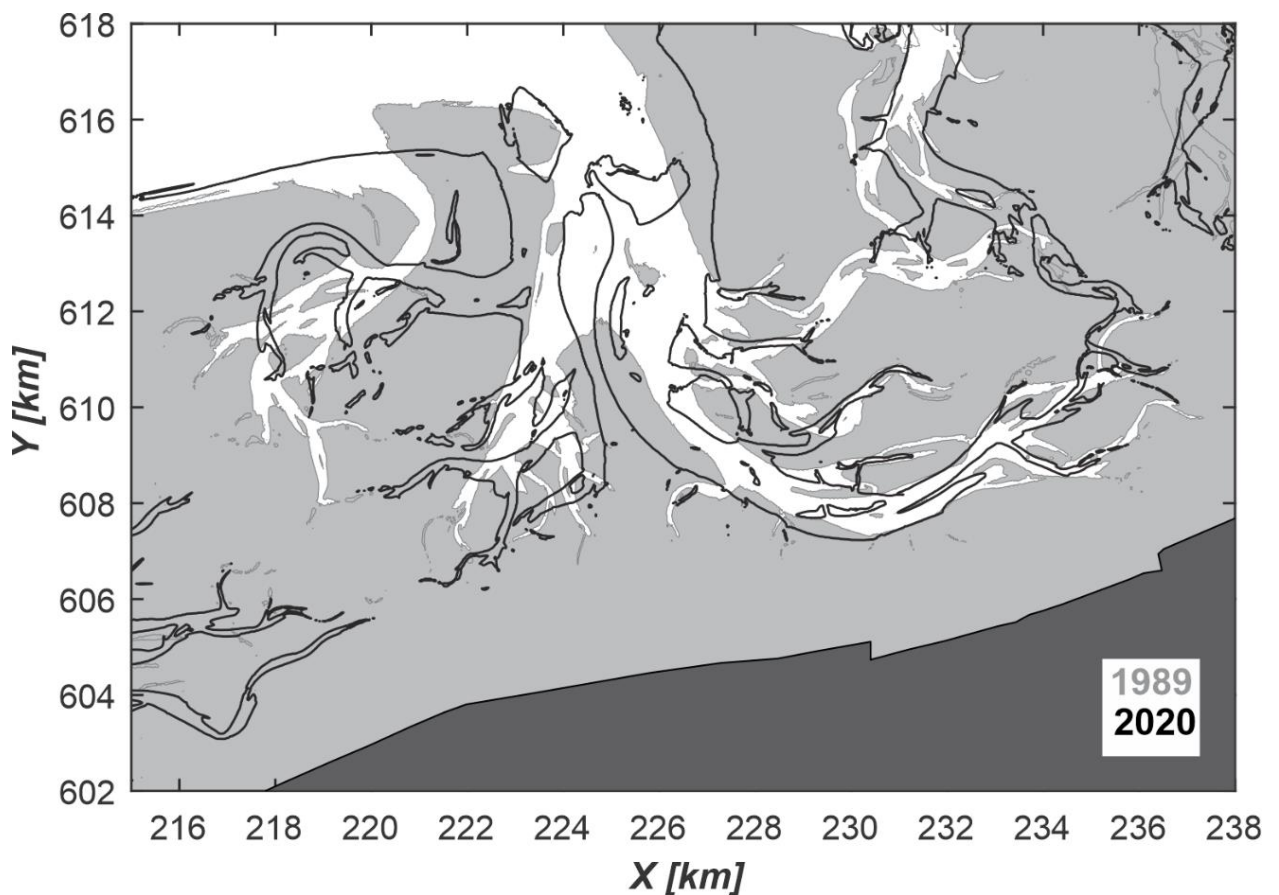
### 5.1 Eilanderbalg, Spruit en Lauwers

Eilanderbalg en Lauwers zijn de grootste geulen in de zeegaten. Figuur 5.1 toont de dwarsdoorsnedes door deze geulen in de opeenvolgende vaklodingen. De maximale diepte van de Eilanderbalg in deze dwarsdoorsnede ligt rond de NAP -13 m en de maximale diepte van de Lauwers ligt rond de NAP -23 m. De breedte van de beide geulen bedraagt enkele honderden meters. In de dwarsdoorsnede is duidelijk zichtbaar dat beide geulen één (Lauwers) tot twee (Eilanderbalg) kilometer naar het oosten zijn verplaatst. De verplaatsing naar het oosten van de Eilanderbalg gaat samen op met de uitbreiding van Schiermonnikoog naar het oosten.

De veranderingen in de omvang van de geulen in het zeegat hebben te maken met herverdeling van de kombergingsvolumes over de verschillende geulen in het gebied (Figuur 5.2). In 1989 was nog sprake van een geheel los Eilanderbalg systeem, dat van de Lauwers en Schild werd gescheiden door het tussenliggende Simonszand. Deze situatie is in stand gebleven totdat in ongeveer 2012 een verbinding tot stand kwam tussen de Eilanderbalg en Spruit. De beperkte afname van de doorstroomoppervlakte van de Eilanderbalg tot 2013 is waarschijnlijk het gevolg van veranderingen in het kombergingsvolume, door kleine veranderingen in de ligging van de (lokale) wantijen en door netto sedimentatie. De toename na 2013 is het gevolg van de verbinding die is ontstaan met Spruit, waardoor een groter kombergingsgebied wordt bediend door de Eilanderbalg. De afname van de doorstroomoppervlakte van de Lauwers tot 2007 is waarschijnlijk het gevolg van verschillende veranderingen in het kombergingsgebied, waaronder de overname van een deel van het gebied door Schild (zie Figuur 5.6). De tijdelijk toename in 2013 is de periode waarin het Simonszand als tussenliggende zandbank dusdanig was geërodeerd dat Spruit zowel was verbonden met de Lauwers als met de Eilanderbalg. Dit wordt geïnterpreteerd als een overgangperiode. In de opname van 2019 is Spruit niet meer verbonden met de Lauwers. Het verlies van het kombergingsgebied van Spruit heeft geleid tot een verdere afname van het kombergingsvolume en daarmee van de afname van de doorstroomoppervlakte van de Lauwers.

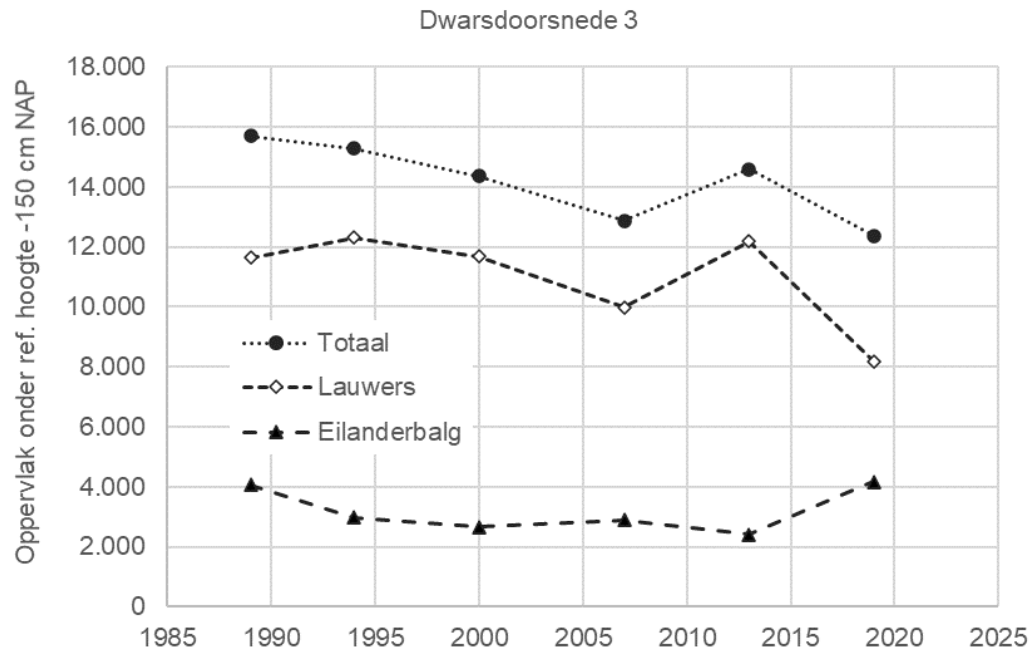


Figuur 5.1 Dwarsoorsnede 3 met de geulen Eilanderbalg en Lauwers in het zeegat in de vaklodingen 1989-2019.



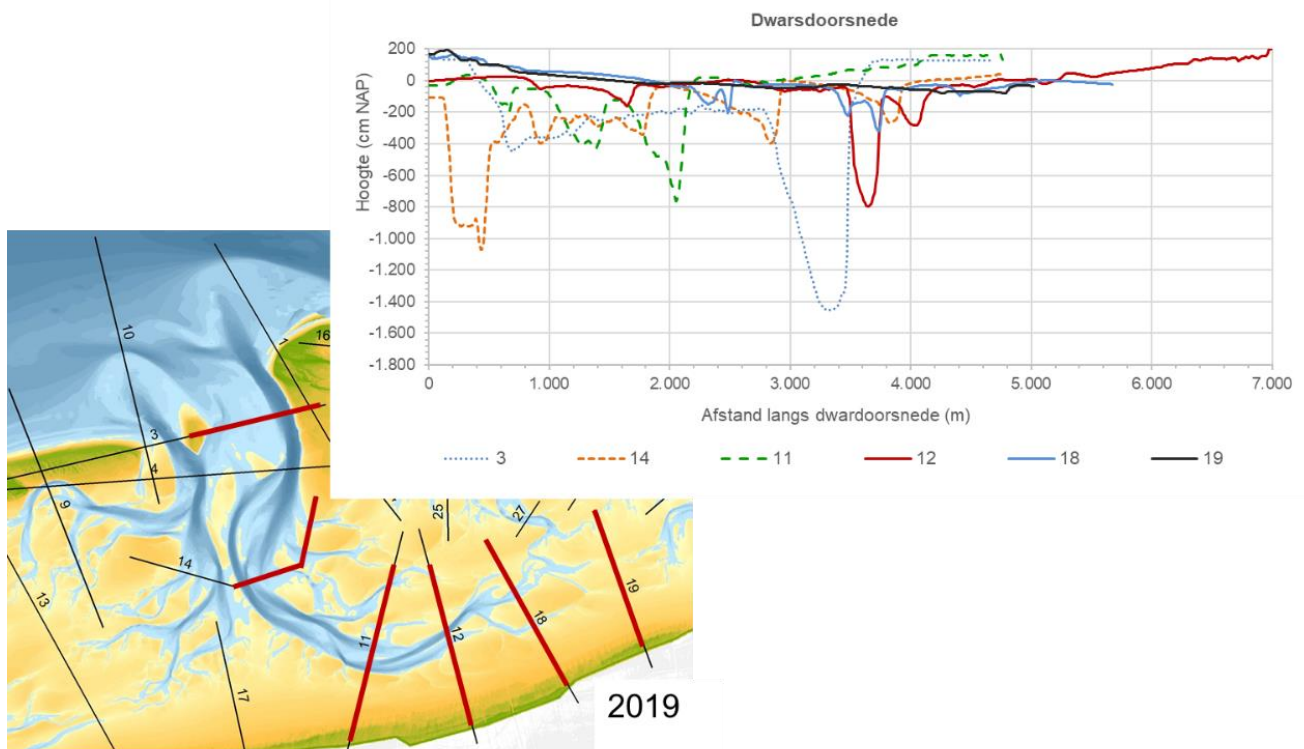
Figuur 5.2 Ontwikkeling van de geulligging van Eilanderbalg en Lauwers tussen 1989 en 2020 aan de hand van de GLW contourlijnen.

Naast de verplaatsing van de beide geulen, vindt ook een verandering plaats van de omvang, zoals zichtbaar is in Figuur 5.3. De gecombineerde doorstroomoppervlakte van Lauwers en Eilanderbalg & Spruit is afgenomen ten opzichte van de eerste opname, met een tussentijdse toename in 2013. De afname van 2013 tot 2019 heeft plaatsgevonden in de Lauwers, terwijl ondertussen de omvang van de Eilanderbalg is toegenomen.



Figuur 5.3 Grafiek met de doorstroomoppervlakte van de geulen Eilanderbalg en Lauwers in het zeegat onder NAP -1,5 m.

De veranderingen in de omvang van de geulen in het zeegat hebben te maken met herverdeling van de kombergingsvolumes over de verschillende geulen in het gebied. In 1989 was nog sprake van een geheel los Eilanderbalg systeem, dat van de Lauwers en Schild werd gescheiden door het tussenliggende Simonszand. Deze situatie is in stand gebleven totdat in ongeveer 2012 een verbinding tot stand kwam tussen de Eilanderbalg en Spruit. De beperkte afname van de doorstroomoppervlakte van de Eilanderbalg tot 2013 is waarschijnlijk het gevolg van veranderingen in het kombergingsvolume, door kleine veranderingen in de ligging van de (lokale) wantijen en door netto sedimentatie. De toename na 2013 is het gevolg van de verbinding die is ontstaan met Spruit, waardoor een groter kombergingsgebied wordt bediend door de Eilanderbalg. De afname van de doorstroomoppervlakte van de Lauwers tot 2007 is waarschijnlijk het gevolg van verschillende veranderingen in het kombergingsgebied, waaronder de overname van een deel van het gebied door Schild (zie Figuur 5.6). De tijdelijk toename in 2013 is de periode waarin het Simonszand als tussenliggende zandbank dusdanig was geërodeerd dat Spruit zowel was verbonden met de Lauwers als met de Eilanderbalg. Dit wordt geïnterpreteerd als een overgangperiode. In de opname van 2019 is Spruit niet meer verbonden met de Lauwers. Het verlies van het kombergingsgebied van Spruit heeft geleid tot een verdere afname van het kombergingsvolume en daarmee van de afname van de doorstroomoppervlakte van de Lauwers.



*Figuur 5.4 Dwarsdoorsnedes van de bodemligging in 2019 door de getijdegeul Lauwers vanaf het zeegat (3) tot achterin het kombergingsgebied (18). In de dwarsdoorsnede 19 die over het wantij loopt is geen geul zichtbaar.*

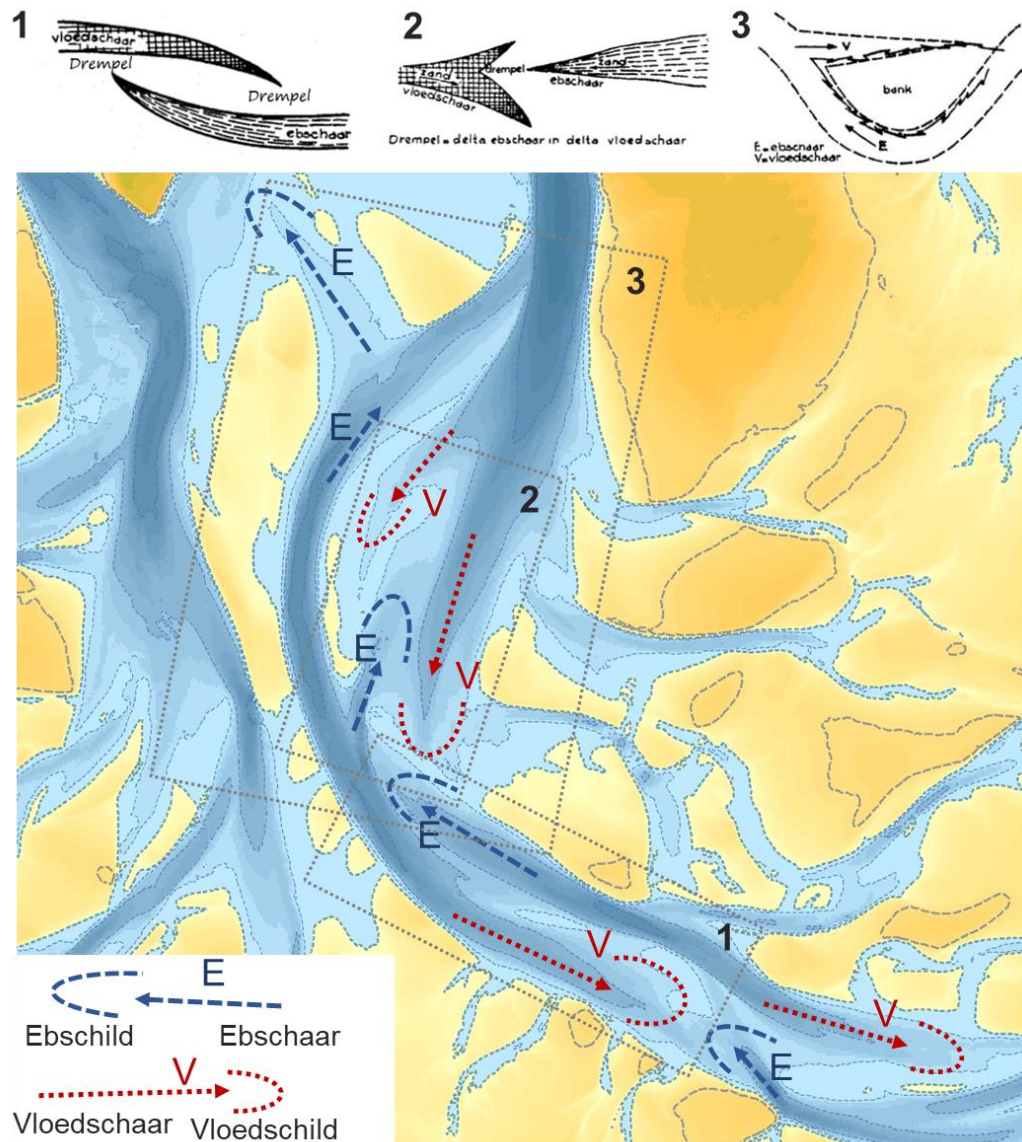
Een voorbeeld van een uitbochtende geul wordt gevormd door de hoofdgeul van de Lauwers, die naar het westen uitbocht. Het gevolg van het uitbochten van deze geul is dat deze steeds westelijker komt te liggen, waardoor de kans toeneemt dat verbinding wordt gemaakt met het geulensysteem van Spruit.

De omvang van de geulen in het Waddengebied heeft een directe relatie met de hoeveelheid water die ieder getij met de vloed door de geul wordt aangevoerd en bij eb wordt afgevoerd. Die hoeveelheid water wordt het getijprisma of getijvolume genoemd. De omvang van het getijprisma van de betreffende geul wordt bepaald door de oppervlakte van het kombergingsgebied en de gemiddelde hoogte daarvan en de getijslag. De oppervlakte van het kombergingsgebied wordt begrensd door (lokale) wantijen en door de overgang van wadplaten naar kwelders en dijk. De maat voor de omvang van een getijdegeul is het watervolume ( $m^3$ ) in de geul. In dwarsdoorsnede wordt de doorstroomoppervlakte in  $m^2$  van de geul beschouwd als maat voor de omvang. De grootste geulen worden aangetroffen in de keel van de zeegaten. Deze geulen zijn gekoppeld aan het hele kombergingsgebied van het betreffende zeegat. Verder achter in de geul, of na een vertakking neemt de omvang van de geul af, omdat de geul dan nog slechts is gekoppeld aan een deel van het kombergingsgebied. In Figuur 5.4 worden dwarsdoorsnedes over de Lauwers weergegeven van keel tot eind van het bekken.

Veranderingen in de omvang van geulen zijn gerelateerd aan veranderingen in de omvang van het getijprisma. Een toe- of afname van het getijprisma kan het gevolg zijn van veranderingen in de ligging van de (lokale) wantijen, veranderingen in de gemiddelde waterdiepte op de wadplaten en veranderingen in de begrenzing door de uitbreiding dan wel afname van de kwelders. De grootste veranderingen in de omvang van de geulen in het studiegebied hebben plaatsgevonden door verplaatsingen van de (lokale) wantijen. Deze

verschuivingen hebben tot gevolg dat de omvang van het ene kombergingsgebied toeneemt ten koste van het andere gebied.

Eb- en vloedscharen zijn misschien wel de meest kenmerkende morfologische patronen van geulen in de Wadden. Ebscharen zijn de aftakkende delen van geulen die eindigen in een ondiepte (het ebschild) met een richting die overeenkomt met de ebstroom. De oriëntatie van vloedscharen komt overeen met de vloedstroming. In Figuur 5.5 zijn een aantal eb- en vloedscharen gemarkeerd, zoals die aanwezig zijn in de Lauwers. In veel gevallen liggen eb- en vloedscharen enigszins parallel samen in een geul, waar ze een paar elkaar ontwijkende eb- en vloedscharen vormen. Dat hoeft echter niet het geval te zijn, ook losse 'scharen' kunnen aanwezig zijn, onder andere in de vorm van vloedscharen die in wadplaten steken.

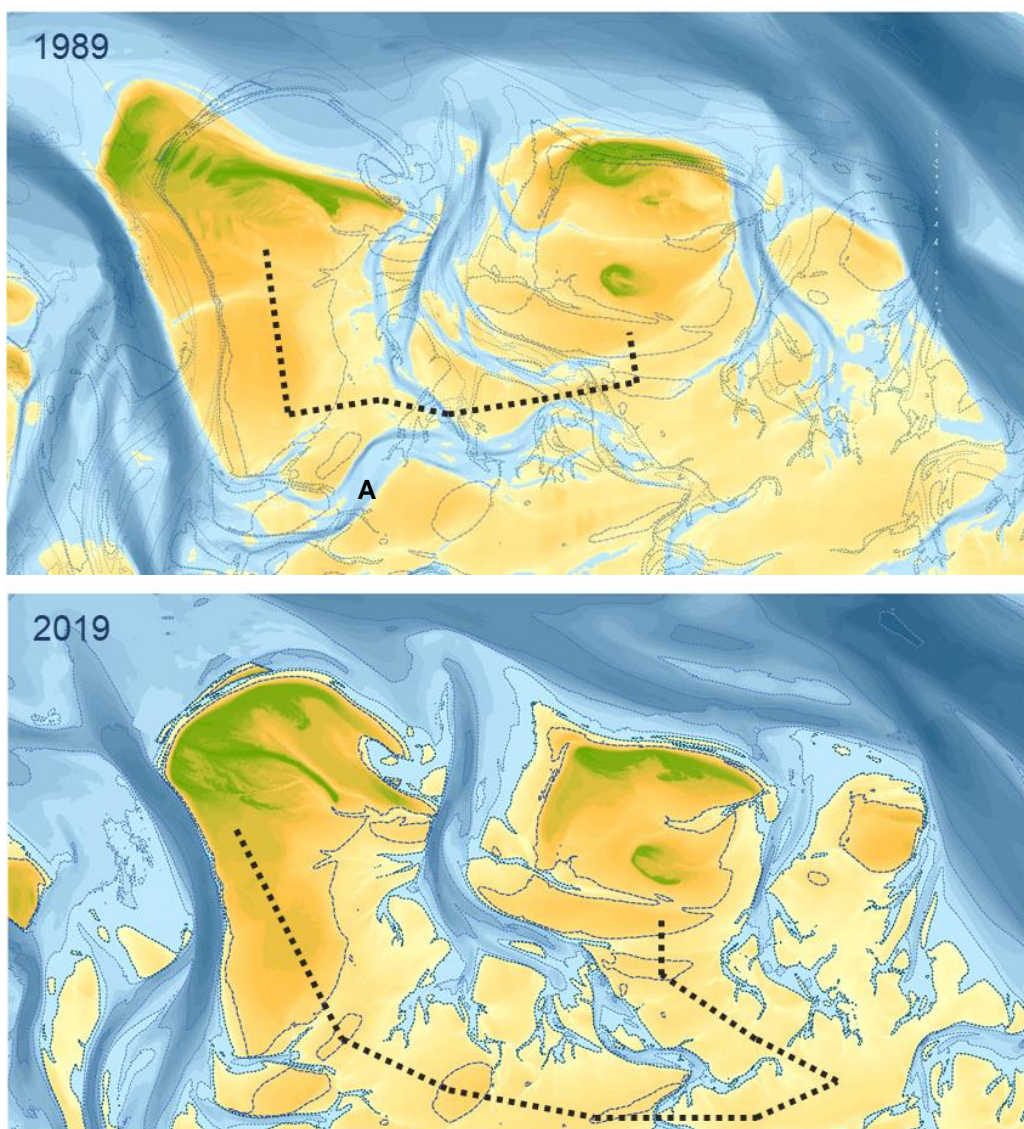


Figuur 5.5 Boven: Eb- en vloed-schaar configuraties volgens Van Veen (1950). 1: 'flankaanval'; 2: 'vorkvorming'; 3: 'zandneren', met zandbeweging in de vloed-schaar stroomopwaarts, stroomafwaarts in de Ebschaar. Onder: Kaart van de bodemligging van de geul Lauwers (situatie 2019) waarin de eb- en vloed-scharen met hun respectievelijke schilden zijn gemarkeerd. Ook zijn met rechthoekige boxen de drie configuraties van Van Veen aangegeven in het gebied, waarbij de getallen verwijzen naar de getallen bij de configuraties.

## 5.2 Schild

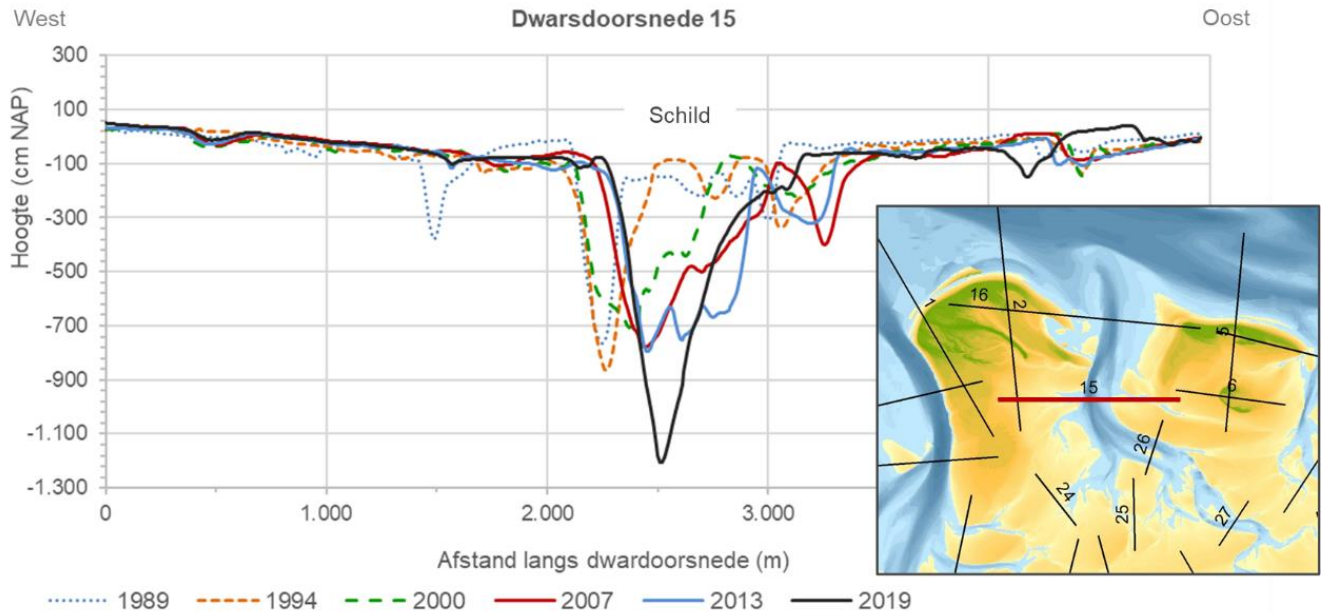
De oostelijke uitbouw van de Zuidoost Lauwers zorgt ervoor dat Schild een steeds kleiner kombergingsgebied bestrijkt. Schild is dan ook veranderd van een geulenstelsel dat zich in 1901 nog tot de vastelandskust uitstrekt naar een veel kleiner systeem. In 1989 is Schild nog slechts zichtbaar als een relatief klein geultje dat zich over een lengte van zo'n 3,5 km uitstrekt.

De voorspelling dat Schild steeds kleiner zal worden en waarschijnlijk verdwijnt is echter niet uitgekomen (Brilhuis et al. 1991). De recente bodemdata (1989-2019) laten zien dat Schild weer in omvang toeneemt en zich heeft ontwikkeld tot een volwaardig zeegatsysteem met duidelijke eb- en vloedgeulen en de bijbehorende eb- en vloedschilden. De keel van het zeegat is daarbij vrijwel stabiel in positie blijven liggen. Het kombergingsgebied is groter geworden (Figuur 5.6). Eigenlijk is het proces nu omgekeerd. Schild heeft een deel komberging van de Lauwers terug overgenomen.

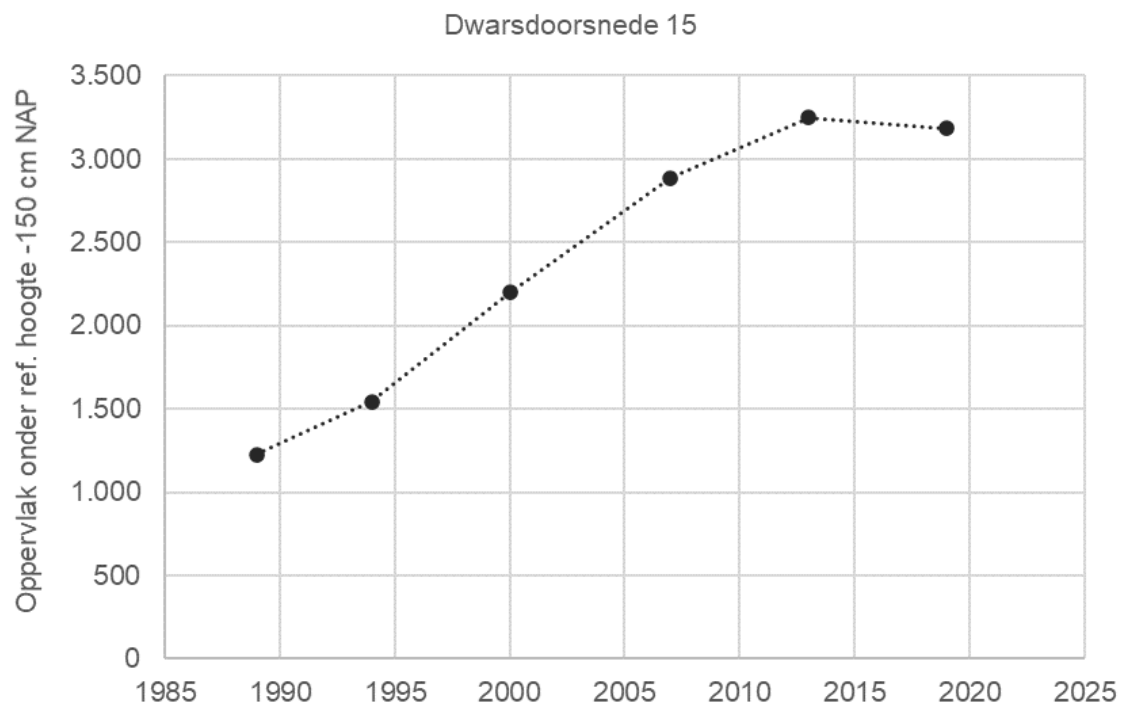


Figuur 5.6 Twee kaarten van de omgeving van Schild. Op beide kaarten zijn de dieptecontouren uit 2019 aangegeven. De zwarte lijn geeft schematisch de ligging van het lokale wantij van de verschillende geulsystemen weer.

In de kaart van de 1989 is zichtbaar dat vanuit de Lauwers een relatief grote zijtak een flink gebied ten zuiden van Rottumerplaat bediende (aangegeven met A in Figuur 5.6). In 2019 resteert weinig van deze geul en vindt de gehele vulling en lediging plaats via Schild. Deze geul neemt daarbij in omvang en diepte toe (Figuur 5.7 en Figuur 5.8). In deze figuur worden de dwarsdoorsnedes van geul in de periode 1989 tot 2019 weergegeven. Het doorstroomoppervlakte is toegenomen van minder dan 1000 m<sup>2</sup> in de eerste opname tot iets meer dan 3000 m<sup>2</sup> in de laatste beschikbare meting uit 2019 (Figuur 5.8).



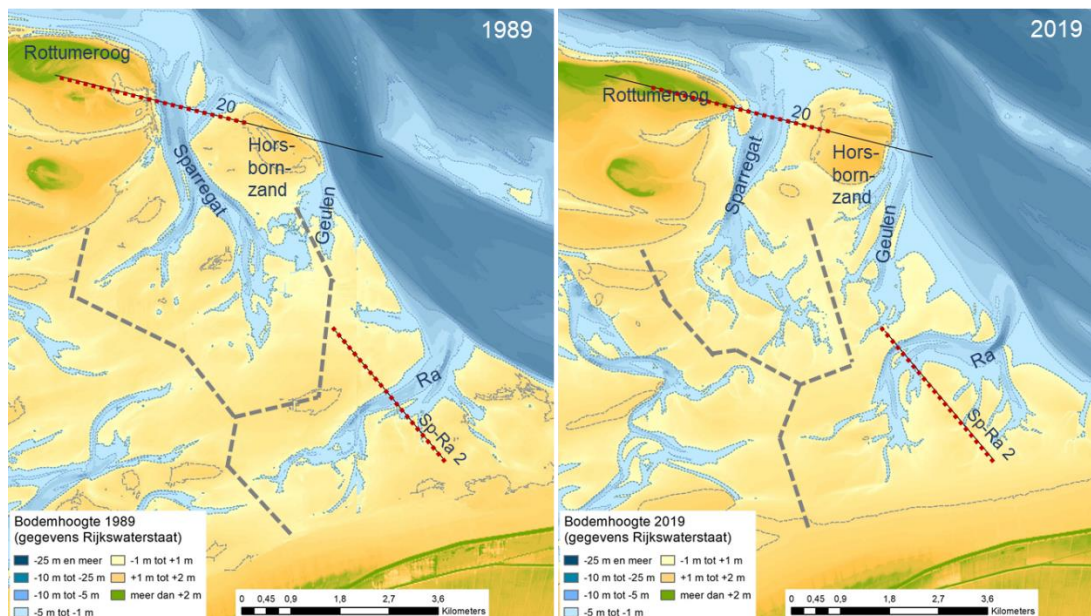
Figuur 5.7 Dwarsdoorsnede 15 van de getijdegeul Schild in de vaklodingen 1989-2019.



Figuur 5.8 Grafiek met de doorstroomoppervlakte van de getijdegeul Schild onder NAP -1,5 m.

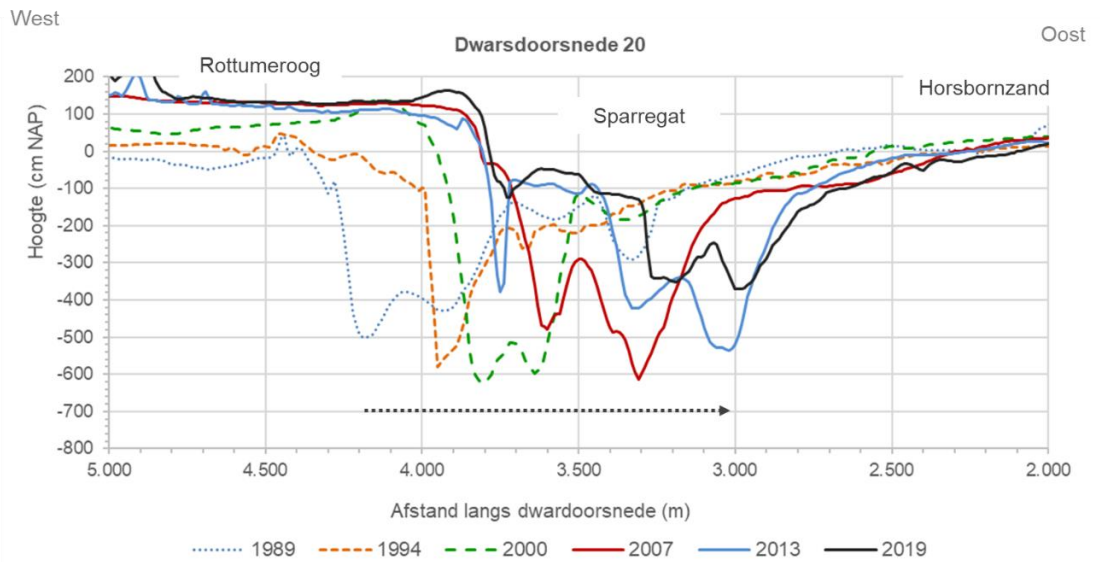
### 5.3 Sparregat en Ra

Het Sparregat is de geul tussen Rottumeroog en het Horsbornzand, dat is verbonden met het kombergingsgebied ten zuiden van deze platen. Het Sparregat is een verkleinde versie van Schild, het is een miniatuur zeegat dat uitmondt in het Horsborngat. De twee kaarten uit 1989 en 2019 in Figuur 5.9 geven zicht op de verschillen die optreden in de ligging van het Sparregat. De oriëntatie van de geul is in deze periode van 30 jaar geroteerd van gericht naar het noordnoordwesten naar gericht naar het noordnoordoosten. Deze rotatie heeft tot gevolg gehad dat de positie van de geul tussen Rottumeroog en het Horsbornzand naar het oostzuidoosten is verschoven, zoals zichtbaar is in de dwarsdoorsnede in Figuur 5.10. In deze dwarsdoorsnede is zichtbaar dat de omvang van de geul iets is afgenomen. Daarbij moet worden bedacht dat de oriëntatie van geul ten opzichte van de dwarsdoorsnede veranderd is en dat veroorzaakt een deel van de veranderingen in de dwarsdoorsnede. Een vergelijking van de ligging van de geulen in het kombergingsgebied van het Sparregat wijst erop dat de oppervlakte van het kombergingsgebied is afgenomen. In de kaarten in Figuur 5.9 is een indicatie opgenomen van de ligging van de wantijen die het kombergingsgebied van het Sparregat begrenzen. Aan de zuidoostzijde van het Sparregat zijn een aantal naamloze geulen tot ontwikkeling gekomen die tegenwoordig een flink gebied ten zuiden van het Horsbornzand beslaan. Ook het wantij met Schild is opgeschoven ten koste van het kombergingsgebied van het Sparregat. Het is plausibel dat een deel van de waargenomen afname van het doorstroomoppervlakte in Figuur 5.10 betrekking heeft op een daadwerkelijke afname van de omvang van het Sparregat.



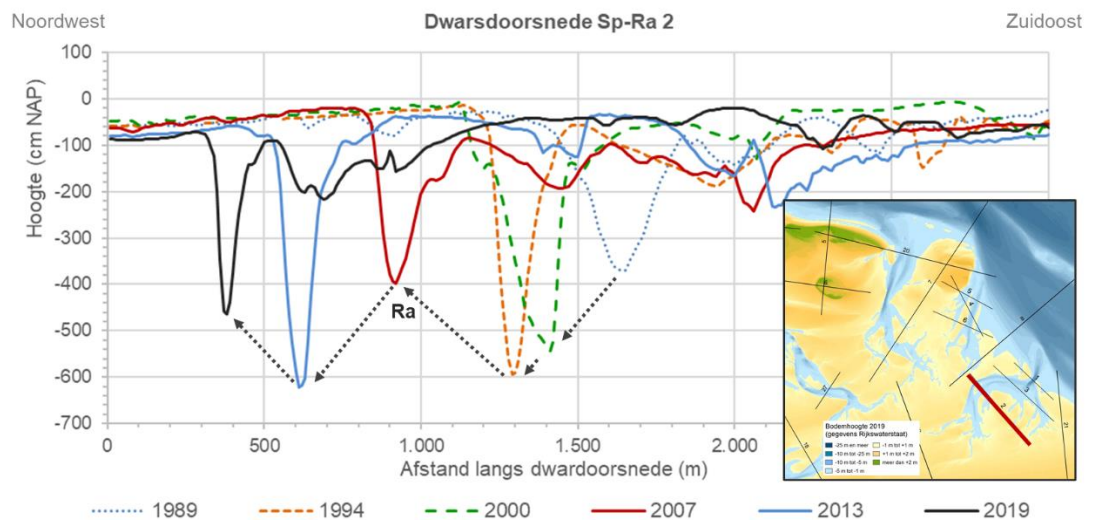
Figuur 5.9 Kaarten van het Sparregat in 1989 (links) en 2019 (rechts). De rode stippellijn geeft de locatie van de dwarsdoorsnede weer. De grijze stippellijnen geven een indicatie van de ligging van de wantijen.





Figuur 5.10 Dwarsdoorsnede 20 door het Sparregat tussen Rottumeroog en het Horsbornzand in de vaklodingen 1989-2019 (locatie in Figuur 5.9).

Ra is de geul die vanuit de Westereems het Uithuizerwad in loopt. De twee kaarten uit 1989 en 2019 in Figuur 5.9 laten zien dat Ra en de geulen die vanuit Ra vertakken grote veranderingen hebben doorgemaakt. Dit is ook duidelijk in de dwarsdoorsneden van de opeenvolgende vaklodingen in Figuur 5.11. De geul is in deze dwarsdoorsnede meer dan een kilometer naar het noorden verplaatst. In Figuur 5.9 is zichtbaar dat de verplaatsing in de dwarsdoorsnede het gevolg van het uitbochten van Ra naar het noordwesten. In de kaart uit 1989 was nog sprake van een vrijwel rechte geul, terwijl in de kaart van 2019 de geul een grote bocht naar het noorden maakt. De omvang van Ra lijkt niet sterk veranderd en ook de omvang van het kombergingsgebied is niet ingrijpend veranderd. Wel zijn aan de noordkant van Ra enkele geulen ontwikkeld die tegenwoordig aan de noordzijde een deel van het kombergingsgebied bedienen, dat eerder nog door Ra werd bediend.



Figuur 5.11 Dwarsdoorsnedes Sp-Ra 2 door Ra op basis van de vaklodingen 1989-2019.

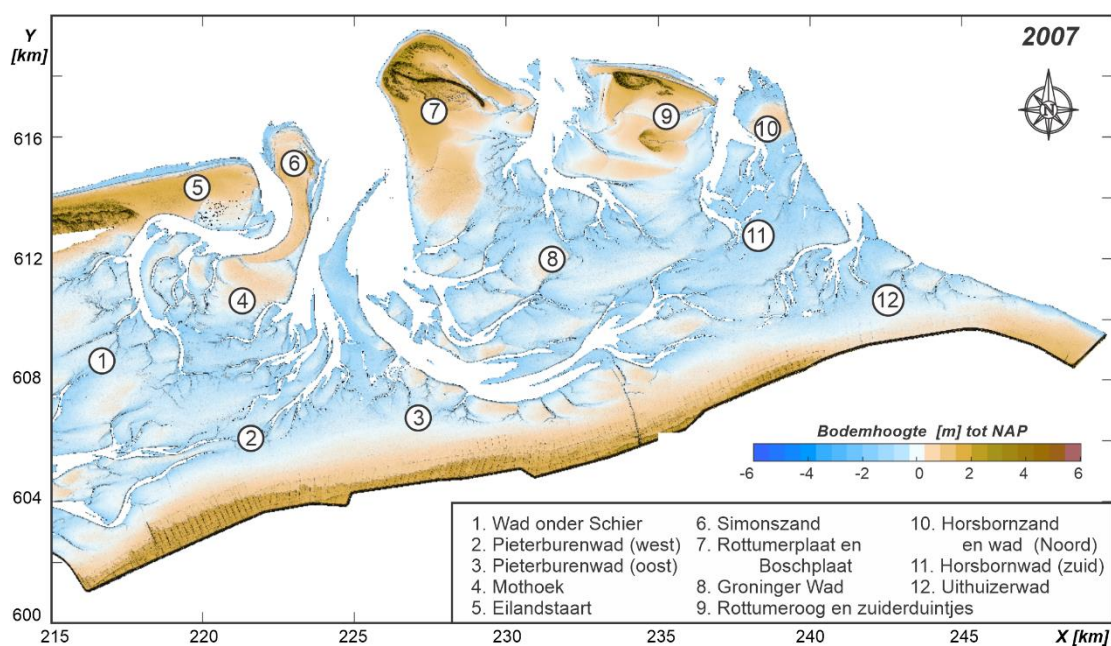
## 6 Wadplaten, supragetijde platen en eilanden

### 6.1 Kenmerken en deelgebieden

Het begrip wadplaten wordt gebruikt om alle gebieden aan te duiden die met laagwater droogvallen en die bij hoogwater onderwater staan. Dit wordt ook wel aangeduid met het litoraal en intergetijdengebied. De wadplaten beslaan een groot deel van het Groningerwad. Naast de wadplaten zijn er plaatgebieden die niet bij ieder hoogwater onderwater staan. Wanneer dit (grotendeels) onbegroeide en vlakke plaatgebieden zijn, dan worden dit supragetijdeplaten genoemd. De begroeide hoge delen van het wad worden kwelders genoemd, die in het volgende hoofdstuk worden beschouwd.

De enige supragetijdeplaat in het aandachtsgebied is het Simonszand, dat tussen de zeegaten Eilanderbalg en Lauwers in ligt. De twee onbewoonde Waddeneilanden Rottumeroog en Rottumerplaat omvatten veel meer morfologische elementen dan een supragetijdeplaat, waaronder duinen en zijn daarom eilanden en geen supragetijdeplaat. Ook Zuiderduintjes, ten zuiden van Rottumeroog is geen 'echte' supragetijdeplaat, omdat een belangrijk deel uit kwelder bestaat en het ook hogere delen kent.

De verschillende wadplaatcomplexen worden van elkaar gescheiden door de getijdegeulen. De namen van de wadplaten staan in Figuur 6.1. Bij de indeling is aansluiting gezocht bij de sedimentbalans, zodat direct een link kan worden gelegd met de ontwikkeling van de sedimentvolumes.

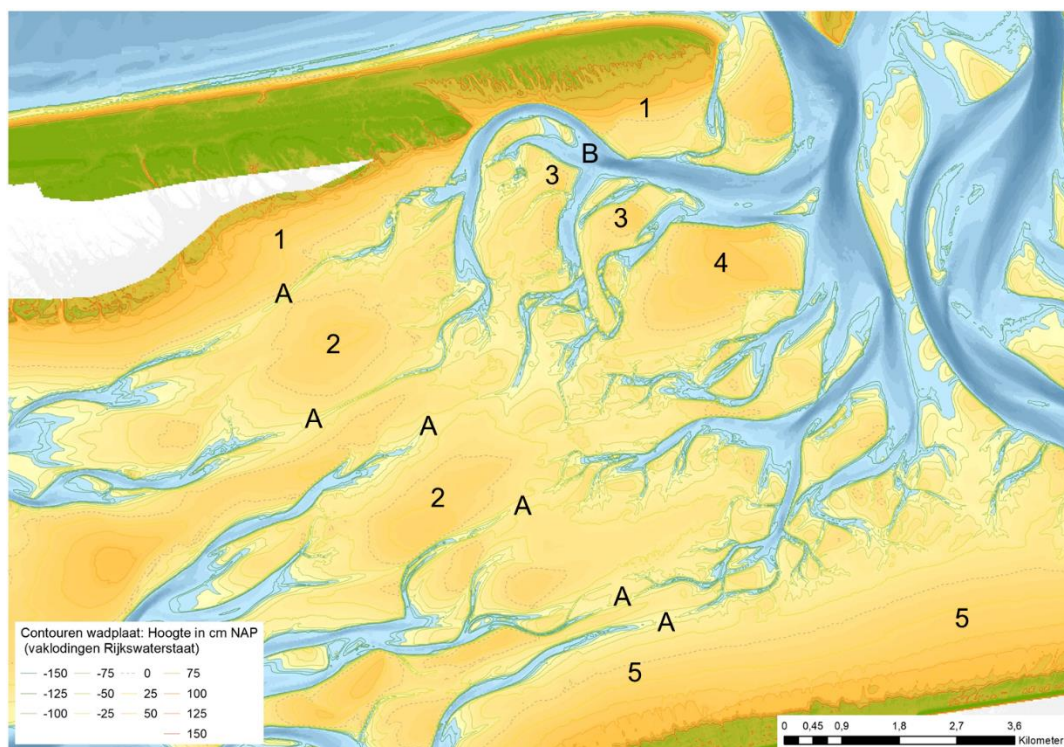


Figuur 6.1 Indeling van de wadplaten in het aandachtsgebied. De onderliggende bodem is gebaseerd op de 2007 LiDAR opname.

## 6.2 Wad onder Schier

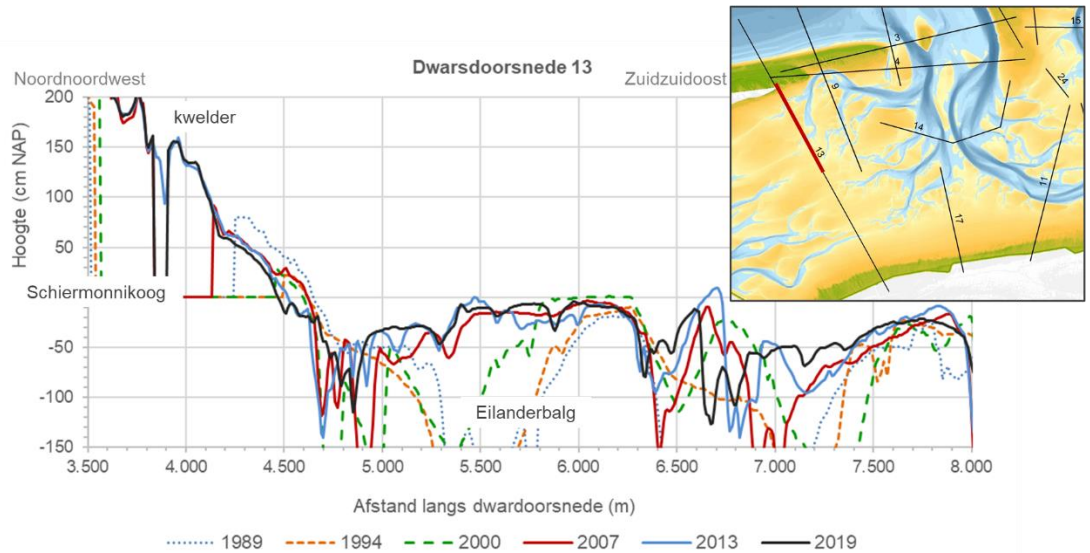
De wadplaten ten zuiden van Schiermonnikoog in het kombergingsgebied van de Eilanderbalg liggen direct ten oosten van het wantij, waar deze platen slechts beperkt worden doorsneden door geulen. In de kaart in Figuur 6.2 zijn de geultjes die in het wantij doorlopen (soms tot in het intergetijdenbereik, zodat de verdiepingen droogvallen bij laagwater) gemarkeerd met een A.

Vanaf de eilandkwelder van Schiermonnikoog lopen de wadplaten geleidelijk in hoogte af naar het zuiden (in Figuur 6.2 gemarkeerd met 1). De hoogteovergang is hier steiler dan aan de vastelandszijde, in minder dan één kilometer neemt de hoogte van de wadplaten af van rond de NAP +0,5 m tot NAP -0,5 m. Verder naar het zuiden liggen tussen de geultjes die in het wantij steken een aantal hogere wadplaten die zijn gemarkeerd met 2 in Figuur 6.2. Verder weg van het wantij, naar het oosten, liggen een aantal kleinere wadplaten die van het eiland zijn gescheiden door de getijdegeul Eilanderbalg en aftakkingen van deze geul (gemarkeerd met 3 in Figuur 6.2). Zuidelijk hiervan ligt ook een grotere wadplaat, dat eigenlijk een restant is van de oorspronkelijk veel grotere combinatie van de Boschplaat en Mothoek (gemarkeerd met 4 in Figuur 6.2). Voor de volledigheid is ook de geleidelijke overgang van de lagere naar de hogere wadplaten bij de vastelandskust gemarkeerd met 5 in Figuur 6.2.



Figuur 6.2 Hoogtekaart 2019 met daarin de hoogtecontouren van de wadplaten ten zuidoosten van Schiermonnikoog (databron: vaklodgingen).

In een groot deel van het gebied ten zuiden van de oostpunt van Schiermonnikoog hebben zich grote veranderingen voorgedaan in de ligging van de geulen en de wadplaten. In de dwarsdoorsnede 13 uit dit gebied in Figuur 6.3 is dit goed zichtbaar. Tegenwoordig wordt het gebied waar dwarsdoorsnede 13 ligt, alleen nog doorsneden door kleine geulen, maar in oudere bodemliggingen lag de Eilanderbalg, die een veel grotere omvang had, nog in dit gebied.

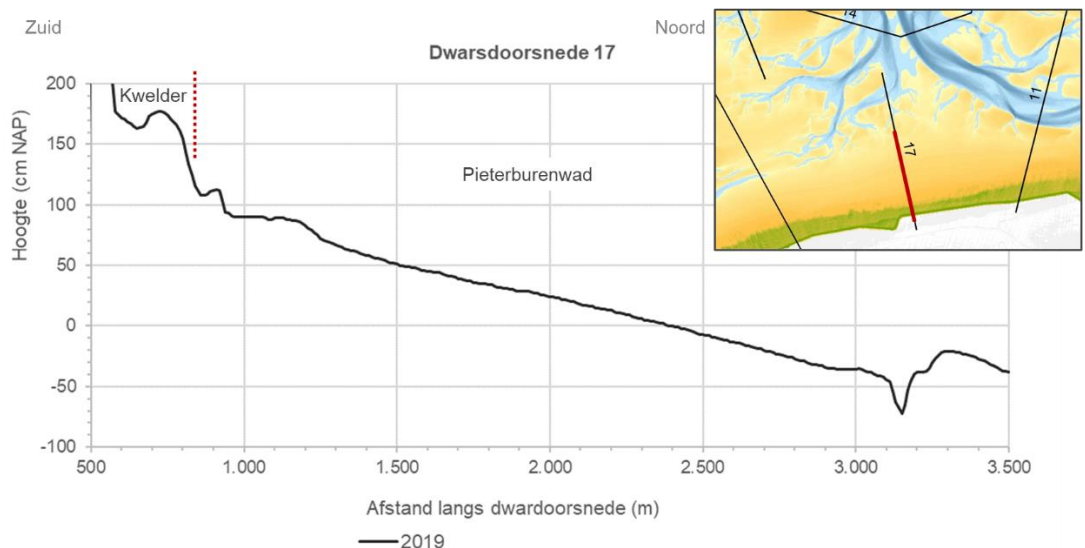


Figuur 6.3 Dwarsdoorsnede 13 door het wad ten zuiden van Schiermonnikoog in de vaklodingen 1989-2019.

Het sedimentvolume van het wad ten zuiden van Schiermonnikoog (deelgebied 1 Wad onder Schier in Figuur 6.1) laat een toename zien, terwijl de Mothoek (deelgebied 4 in Figuur 6.1) een afname laat zien.

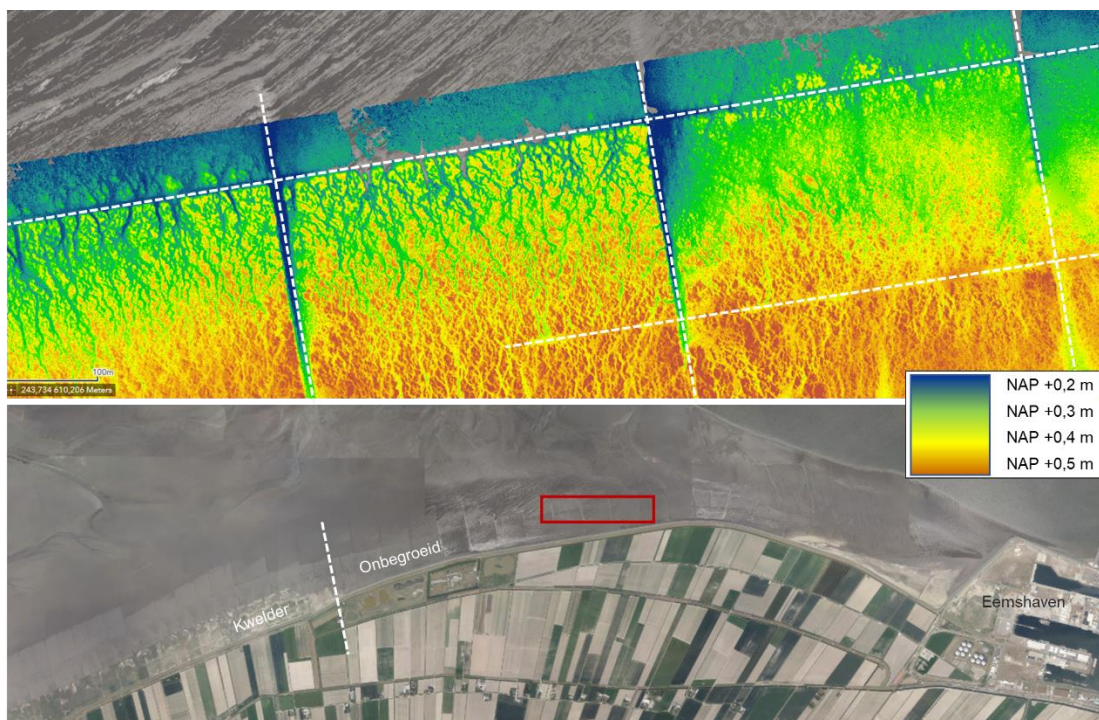
### 6.3 Wadplaten voor het vasteland – Pieterburenwad en Uithuizerwad

De wadplaten voor het vasteland liggen grotendeels voor de Groninger kwelders en deel direct voor de dijk (ten oosten van Uithuizen, zie Figuur 6.5). De hoogte van de wadplaten neemt geleidelijk toe in de richting van de vastelandskust, zoals zichtbaar is in dwarsdoorsnede 17 in Figuur 6.4. De geleidelijke toename in hoogte vanaf het niveau van laagwater over enkele kilometers is aanwezig langs de gehele vastelandskust. Wel verschilt de hoogte tot waar de wadplaten oplopen: aan de oostzijde nabij de Eemshaven loopt de hoogte op tot boven NAP +0,5 m en in het midden en het westen kan de hoogte oplopen tot de NAP +0,8 m.



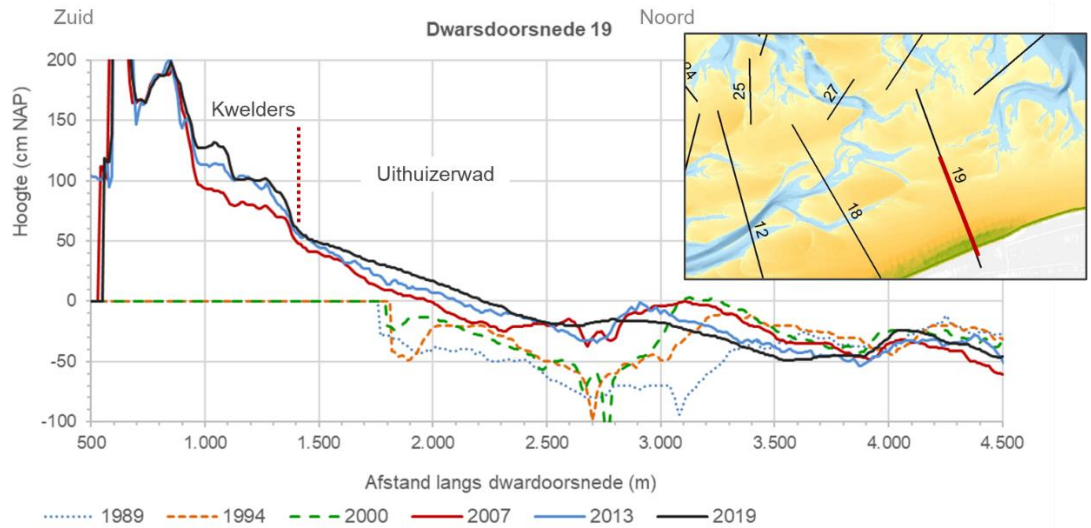
Figuur 6.4 Dwarsdoorsnede 17 door het Pieterburenwad in de vaklodings 2019.

Voor de kwelders liggen op de wadplaten rijshoutendammen van de kwelderwerken. Ook op de wadplaten die direct zeewaarts van de dijk liggen tot aan de Eemshaven, zijn de restanten van kwelderwerken aanwezig. Deze restanten hebben een zichtbaar effect op de hoogte van de wadplaten, zoals zichtbaar is in Figuur 6.5. Tussen de rijshoutendammen nemen de wadplaten in hoogte toe. Ter plaatse van de dammen zijn deze echter lager.



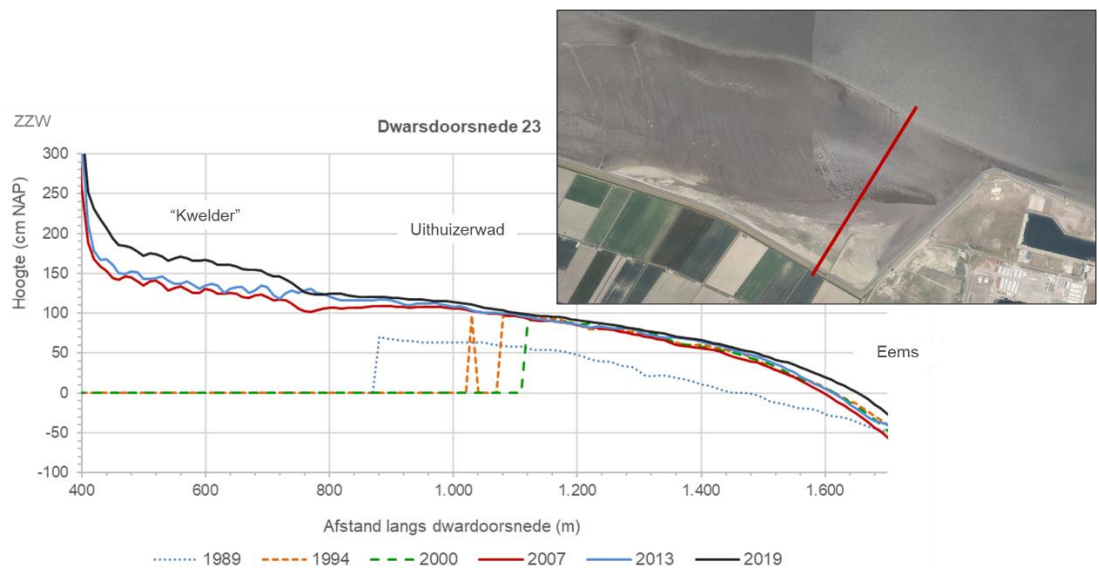
*Figuur 6.5 Bovenzijde: Hoogtekaart (rode kleuren: hoog; blauwe kleuren: laag) met in witte stippellijnen de locatie van de rijshoutendammen van de oorspronkelijk aanwezige kwelderwerken. Onderzijde: Luchtfoto van het Uithuizerwad met in het rode kader het gebied dat in de hoogtekaart staat (bron: AHNviewer).*

De ontwikkeling van de wadplaten langs de vastelandskust verschilt, zoals duidelijk blijkt uit de volume-ontwikkeling in de sedimentbalans (hoofdstuk 4). De hoogteveranderingen in onderstaande analyse zijn gebaseerd op Tabel 4.1. In het westelijke deel (Pieterburenwad-west, gebied 2 in Figuur 6.1) is het gebied nabij de vastelandskust redelijk stabiel, maar er heeft verder op de Waddenzee een trendmatige afname van de hoogte plaatsgevonden sinds 1989 (-5 cm). In het middendeel (Pieterburenwad-oost, gebied 3 in Figuur 6.1) is het sedimentvolume toegenomen, doordat de hoogte van de wadplaten is toegenomen (+8 cm). In het oostelijk deel (Uithuizerwad, gebied 12 in Figuur 6.1) is de hoogte van de wadplaten zelfs nog sterker toegenomen (+32 cm). Deze toename van de hoogte van de wadplaten is ook duidelijk zichtbaar in de in de tijd opeenvolgende dwarsdoorsneden van het Uithuizerwad, zie Figuur 6.6. De hoogtetoeename bedraagt hier van meer dan een halve meter in het lagere deel van de dwarsdoorsnede tot een decimeter op het hoogste deel van de wadplaat.



Figuur 6.6 Dwarsdoorsnede 19 door het Uithuizerwad in de vaklodingen 1989-2019.

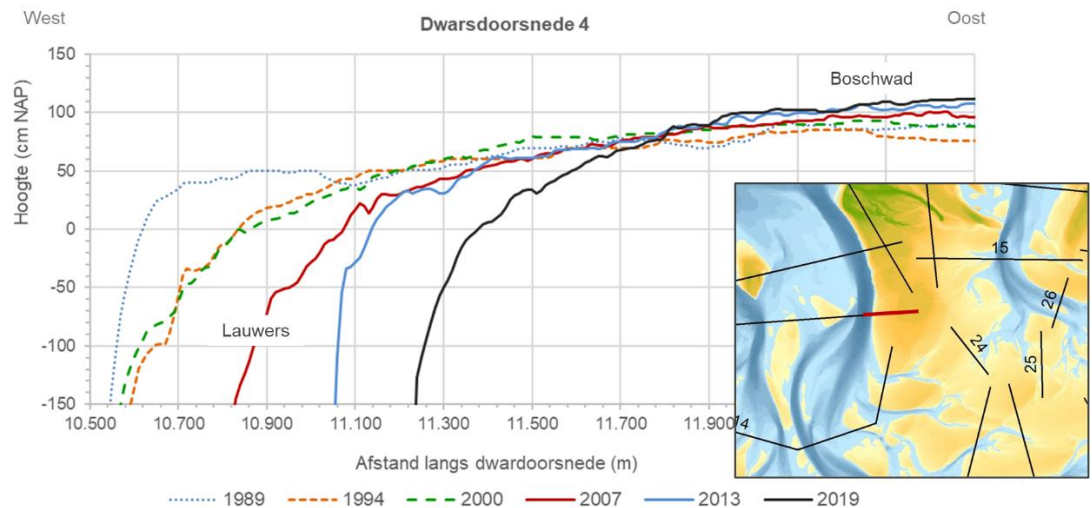
Het meest oostelijke deel van het Uithuizerwad, tussen de vastelandsdijk en de Oude Westereems, laat geen structurele toename van de hoogte zien en een deel van de wadplaat (tussen 2800 m en 3800m) is iets lager geworden. Dat geldt overigens niet voor het meest oostelijke hoekje van het Uithuizerwad, dat tegen de Eemshaven aan ligt. In die hoek is de hoogte dermate toegenomen dat het gebied nu boven het niveau van gemiddeld hoogwater ligt. Daarom is het in Figuur 6.7 gemarkeerd als 'kwelder'. Kwelder staat hier tussen aanhalingstekens, omdat het gebied wel het hoogtebereik heeft van een kwelder, maar (nog) niet de vegetatie. De luchtfoto in Figuur 6.7 toont een lichtgekleurd gebied, wat wijst op een belangrijke bijdrage van zand aan de hoogtetoeiname in dit gebied.



Figuur 6.7 Dwarsdoorsnede 23 door het Uithuizerwad in de vaklodingen 1989-2019.

## 6.4 Boschwad en Groningerwad

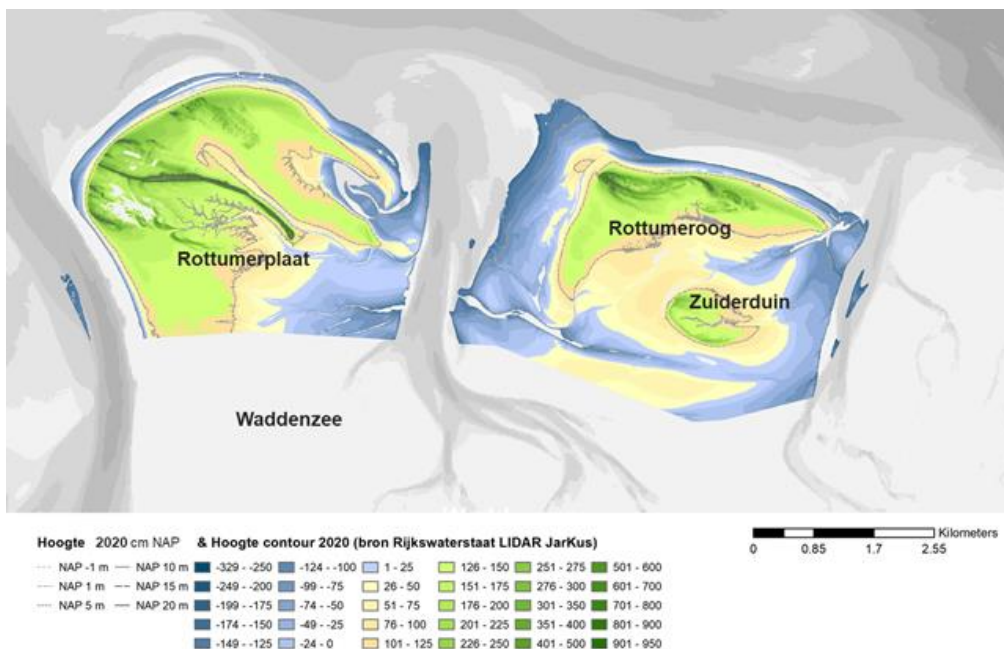
Tegenwoordig vormen het Boschwad, ten zuiden van Rottumerplaat, en het Groningerwad een aangesloten geheel, dat niet meer wordt onderbroken door de getijdegeul die Lauwers en Schild eerder met elkaar verbond (Figuur 5.6). De omvang van het Boschwad neemt gaandeweg af door de verplaatsing van de Lauwers naar het oosten. In Figuur 6.8 zijn deze beide ontwikkelingen zichtbaar. Het gevolg van de hoogtetoename van het Boschwad is dat het sedimentvolume van deze plaat is toegenomen (deelgebied 6 in Figuur 6.1). Ook sedimentvolume van het Groningerwad (deelgebied 5 in Figuur 6.1) is toegenomen.



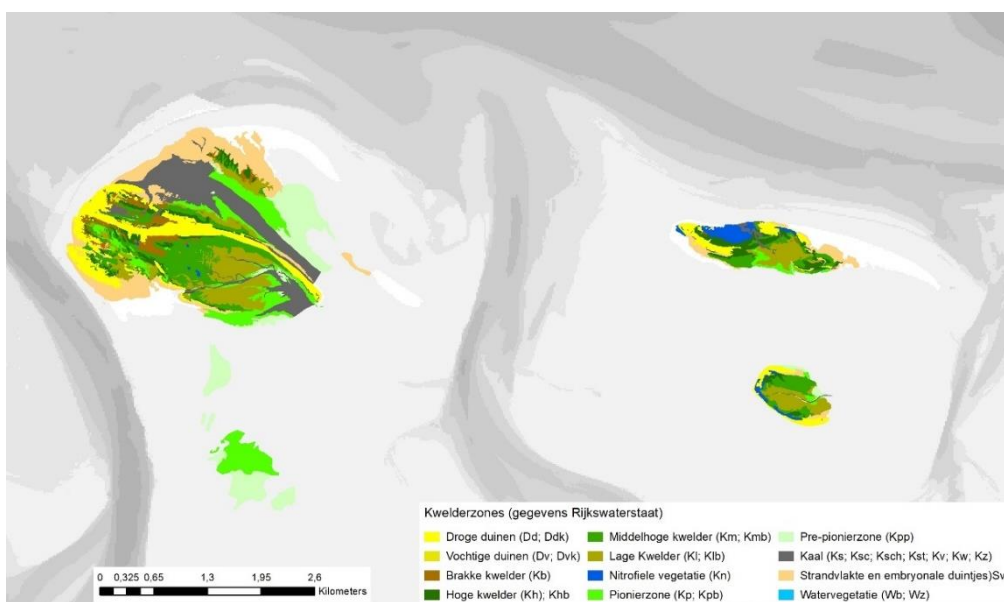
Figuur 6.8 Dwarsdoorsnede 13 door het wad ten zuiden van Schiermonnikoog in de vaklodgingen 1989-2019.

## 6.5 Rottumeroog, Rottumerplaat en Zuiderduintjes

Ingeklemd tussen de eilandstaart van Schiermonnikoog en de Eems liggen de Rottums. Aan de oostzijde van het zeegat van de Lauwers ligt het eiland Rottumerplaat (Figuur 6.9). In het midden van het eiland is de stuifdijk nog duidelijk zichtbaar. Deze stuifdijk is door Rijkswaterstaat tussen 1951 en 1963 aangelegd. Ten zuiden van Rottumerplaat ligt de Boschplaat (Figuur 7.1). Ten oosten van de Rottumerplaat, gescheiden door het kleine zeegat Schild, ligt Rottumeroog met aan de zuidzijde hiervan de Zuiderduintjes. Oostelijk van Rottumeroog ligt de Horsbornplaat, die steeds hoger is geworden, maar met hoogwater nog wel onder stroomt.



Figuur 6.9 Hoogtekaart 2020 van Rottumerplaat, Rottumeroog en Zuiderduin (op basis van LiDAR Jarkus-gegevens, Rijkswaterstaat).



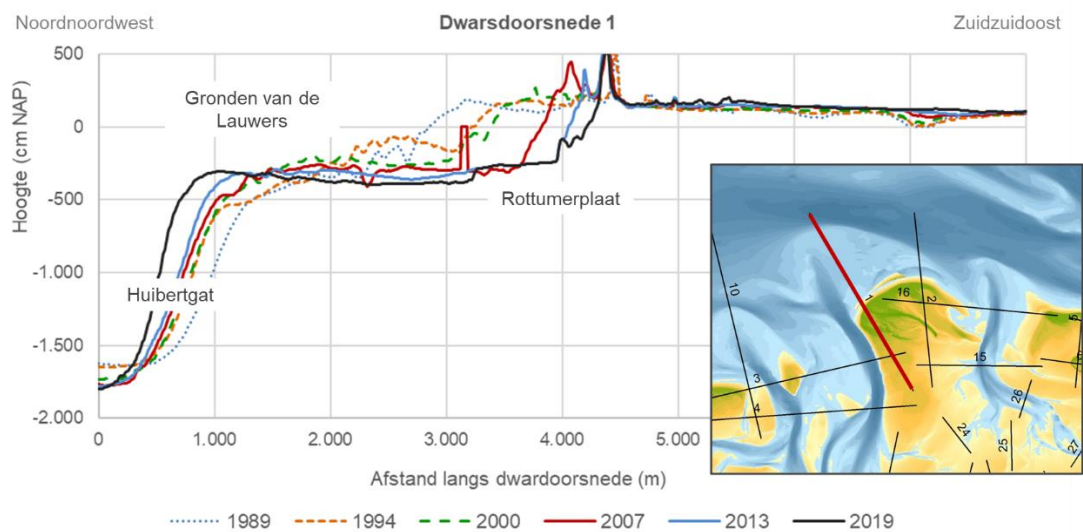
Figuur 6.10 Vegetatiekaart van de Rottums en omgeving (opname 2014, op basis van gegevens Rijkswaterstaat).

De eilanden bestaan uit zandvlaktes, duinen en kwelders, zoals zichtbaar is in de vegetatiekaart (Figuur 6.10). Op Rottumerplaat zijn op de hoogste delen langs de stuifdijk grijze duinen aanwezig, en onderaan de dijk vormt zich een struweel. Op beide Rottums en Zuiderduintjes is sprake van een sterke samenhang tussen de morfologie en de ecologie, inclusief de aanwezigheid van washoverstructuren.

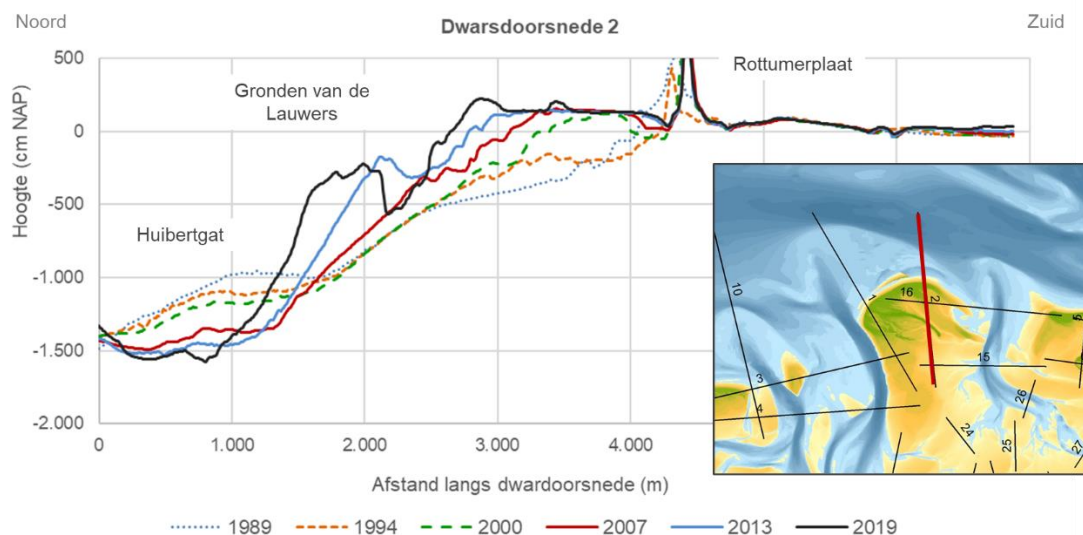


De Rottums en Zuiderduintjes zijn voorbeelden van een vrijwel volledig natuurlijke kustdynamiek. De Rottums vormen een van de weinige plekken aan de Nederlandse kust waar een (morfo)logische samenhang bestaat tussen actieve washovers, duinen en kwelders. De dynamiek van deze terugschrijdende eilanden draagt bij aan afwisseling in en verjonging van de natuur.

De drie eilanden zijn sterk van locatie, vorm en grootte veranderd, zoals voor de afgelopen 35 jaar zichtbaar is in Figuur 4.1 en Appendix C, Figuur C- 4 en Figuur C- 6. Daarbij speelt ook de dynamiek aan de Noordzeezijde een belangrijke rol in de verplaatsing van Rottumerplaat. In de dwarsdoorsnede aan de noordwestzijde van Rottumerplaat in Figuur 6.11 is zichtbaar dat erosie van het strand en vooroever heeft plaatsgevonden tot een diepte van rond de 4 meter. In combinatie met de noordwestelijke verplaatsing van het Huibertgat is hierdoor het buitendeltaplateau tussen Rottumerplaat en het Huibertgat steeds breder geworden. Het zand dat aan de noordwestzijde is geërodeerd, is door kustlangs sedimenttransport waarschijnlijk deels ten goede gekomen aan de noordoostzijde van het eiland, dat sterk is uitgebreid, zoals zichtbaar is in de dwarsdoorsnede in Figuur 6.12

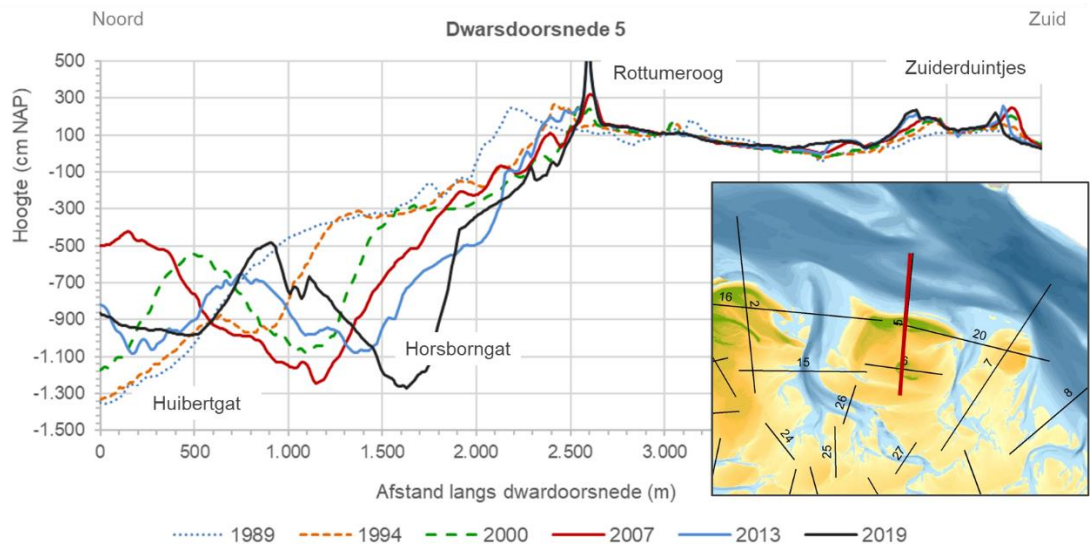


Figuur 6.11 Dwarsdoorsnede 1 door Rottumerplaat in de vaklodingen 1989-2019.



Figuur 6.12 Dwarsdoorsnede 2 door Rottumerplaat in de vaklodingen 1989-2019.

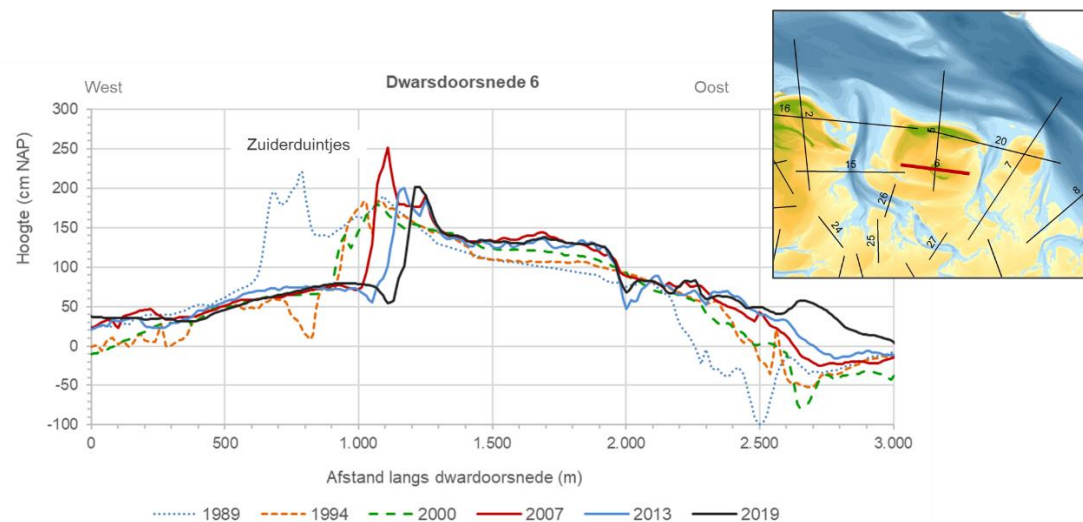
Rottumeroog verplaats niet in oostelijk of westelijke richting, maar er treedt wel aanzienlijke erosie aan de zeezijde op. De kustlijn is hier zo'n 0,9 km teruggetrokken. Deze erosie is waarschijnlijk gerelateerd aan ontwikkeling van de voorliggende geul Horsborngat. De (samenhangende) veranderingen in het Horsborngat en Rottumeroog zijn zichtbaar in de dwarsdoorsnede in Figuur 6.13. In deze dwarsdoorsnede is ook zichtbaar dat de duinenrij aan de zeezijde hoger is geworden. In dezelfde periode is ook de hoogte van de "haak" aan de zuidwestzijde toegenomen.



Figuur 6.13 Dwarsdoorsnede 5 door Rottumeroog in de vaklodingen 1989-2019.

Rottumerplaat en Rottumeroog kunnen beide worden beschouwd als terugschrijdende barrière-eilanden, met duinen en inclusief washovers aan de Noordzezijde. De samenhang tussen kwelder en wad, waarop afzetting van zand vanuit de duinen en washovers plaatsvindt heet 'barrier roll-over'. Dit is het proces waarbij het eiland als het ware landwaarts wordt opgeschoven, waarbij de habitats die naast elkaar liggen (kwelder-washover-duinstrand) over elkaar heen komen te liggen, totdat ze op het strand en de vooroever worden geërodeerd. Langs de Nederlandse kust komt deze situatie bijna niet voor sinds in 1990 het kustbeleid van dynamisch handhaven is geïntroduceerd en de ligging van de kustlijn wordt gehandhaafd op vrijwel alle plekken waar een Basiskustlijn (BKL) is vastgelegd.

Zuiderduintjes ligt niet naast een zeegat of grote geul en in de luwte van Rottumeroog. De vorm en morfodynamiek is daardoor anders dan de twee grotere eilanden. De hoogteverschillen op Zuiderduin zijn beperkt en het heeft geen hoge kwelder. Zuiderduintjes is naar het oosten verplaatst, zoals zichtbaar is in de dwarsdoorsnede in Figuur 6.14. Zuiderduin heeft aan de westzijde een schoorwal (net als Griend), die wordt gevormd en verplaatst tijdens stormen. Daarmee 'verschuift' als het ware het hele eiland. Ook dit is een vorm van 'barrier roll-over', maar wel op een kleinere schaal dan die van de Rottums.

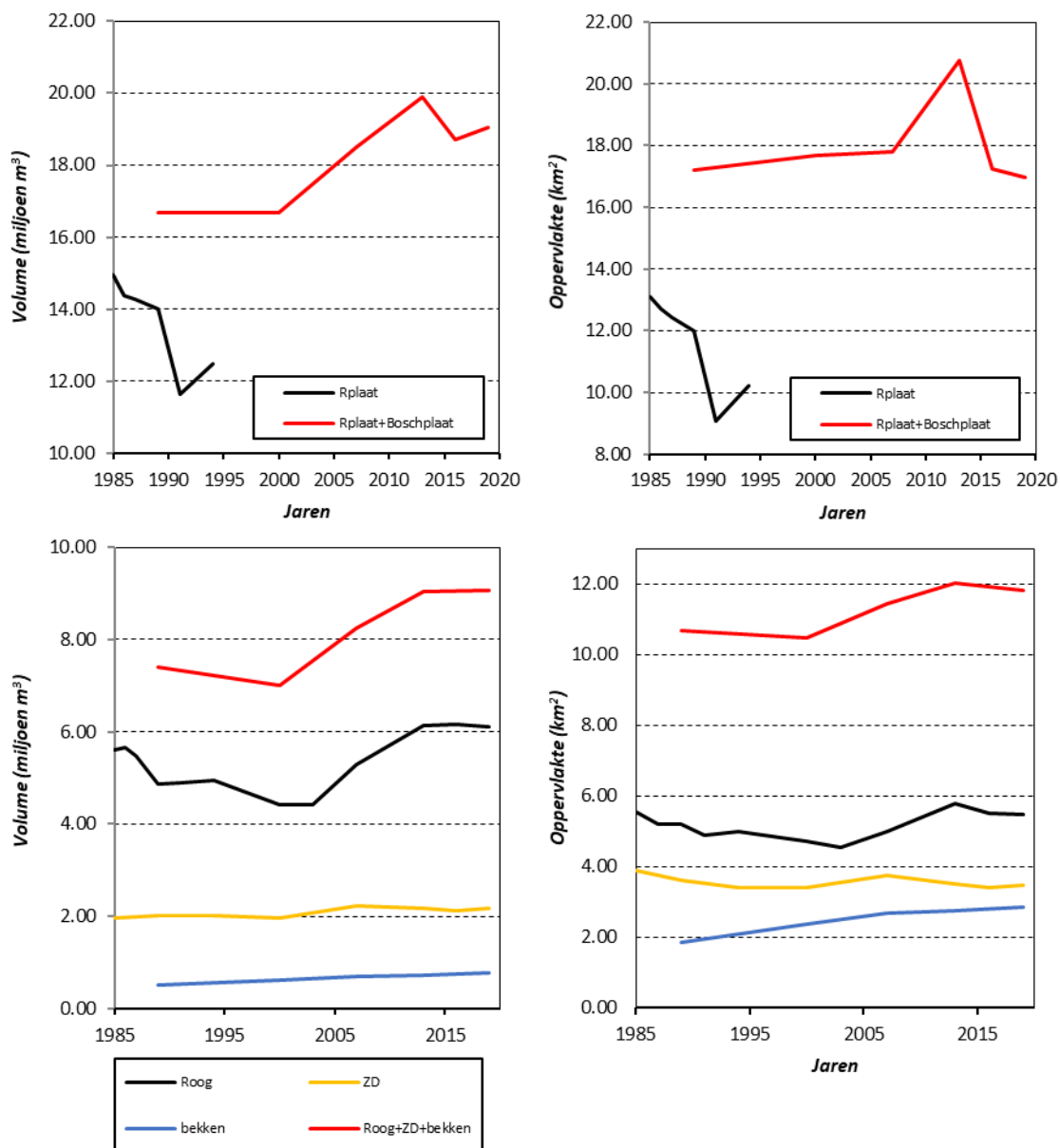


Figuur 6.14 Dwarsdoorsnede 6 door de Zuiderduintjes in de vaklodingen 1989-2019

De verandering in volume en plaatoppervlakte van Rottumeroog en Rottumerplaat is weergegeven in Figuur 6.15. Tot ongeveer 1995 is er nog een duidelijke scheiding tussen Rottumerplaat en de Boschplaat/wad, maar sindsdien gaan deze plaatoppervlakten eigenlijk in elkaar over. Het volume van de gecombineerde plaatoppervlakten van Rottumerplaat en Boschplaat boven de 0 m NAP neemt toe (+2,4 miljoen m<sup>3</sup>). De plaatoppervlakte varieert over het algemeen tussen de 1,7 en 1,8 miljoen m<sup>2</sup> en lijkt sinds 1989 niet significant veranderd te zijn. De ontwikkeling van volume en oppervlakte laten zien dat de erosie aan de zeezijde van Rottumerplaat gecompenseerd wordt door aangroei in het bekken.

Voor de bepaling van de oppervlakte en het volume van Rottumeroog is er een onderverdeling in drie delen gemaakt (Appendix C, Figuur C- 6). Het meest zeewaartse deel (I) wordt hierbij aangeduid als Rottumeroog. Ten zuiden hiervan bevindt zich de Zuiderduintjes (II) en de laag liggende banken in het bekken (III). De ontwikkeling van volume en oppervlakte van deze drie deelgebieden is weergegeven in Figuur 6.15 (onder).

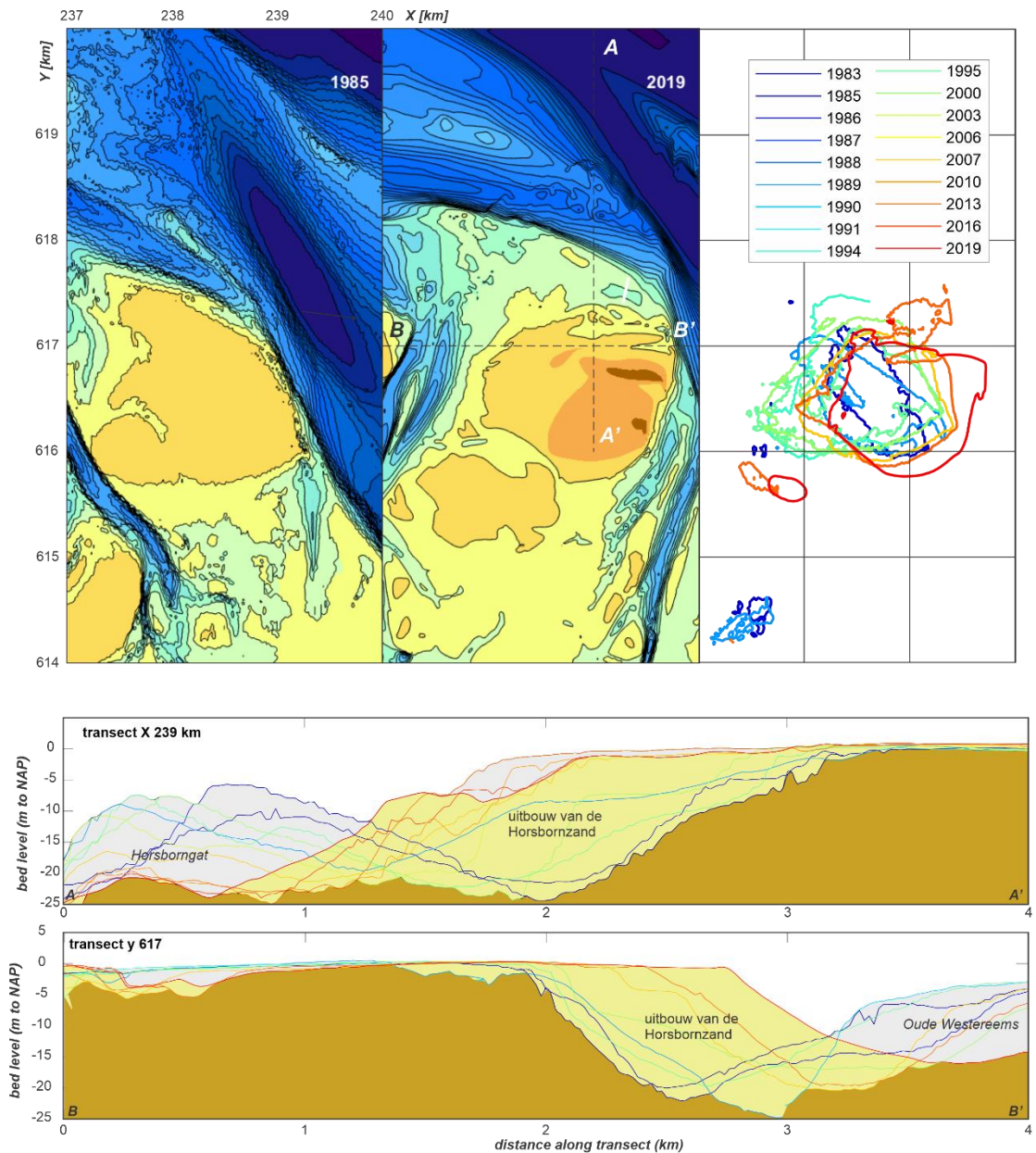
Rottumeroog (deelgebied I) vertoont in de periode 1985-2005 een licht afnemende trend. Het oppervlak neemt dan met 1 km<sup>2</sup> af. Het oppervlakte herstelt zich tussen 2003 en 2013 en blijft daarna stabiel op 5,5 km<sup>2</sup>. Deze oppervlakte is vrijwel gelijk aan dat in 1985. De volumeontwikkeling vertoont een gelijkwaardig verloop, maar het huidige volume van 6,1 miljoen m<sup>3</sup> is zo'n 10% groter dan in 1985. De Zuiderduintjes vertonen een vrijwel gelijk volume over de gehele periode (rond de 2 miljoen m<sup>3</sup>). De meest landwaarts gelegen bank (III) neemt in volume en oppervlakte toe. Het totale volume van de drie banken is sinds 1989 sterk toegenomen van 7,4 miljoen m<sup>3</sup> naar 11,8 miljoen m<sup>3</sup> in 2019 en de oppervlakte neemt daarbij met 1,2 km<sup>2</sup> toe.



Figuur 6.15 Een overzicht van de ontwikkeling van volume (links) en oppervlakte (rechts). Boven: Rottumerplaat boven de 0 m NAP lijn. De zwarte lijn geeft het volumeverloop van Rottumerplaat zonder de Boschplaat. Na 1994 zijn deze twee banken geheel verbonden en worden alleen de totale volumes en oppervlakte getoond. Zie Figuur C- 4 voor ligging van de polygonen. Onder: Rottumeroog boven de 0 m NAP lijn. De drie lijnen geven een onderverdeling van de totale plaat in Rottumeroog (zeewaartse deel), Zuiderduintjes en de aangesloten banken in het bekken (I, II en III), zie Appendix C, Figuur C- 6 voor ligging.

## 6.6 Horsbornzand en Horsbornwad

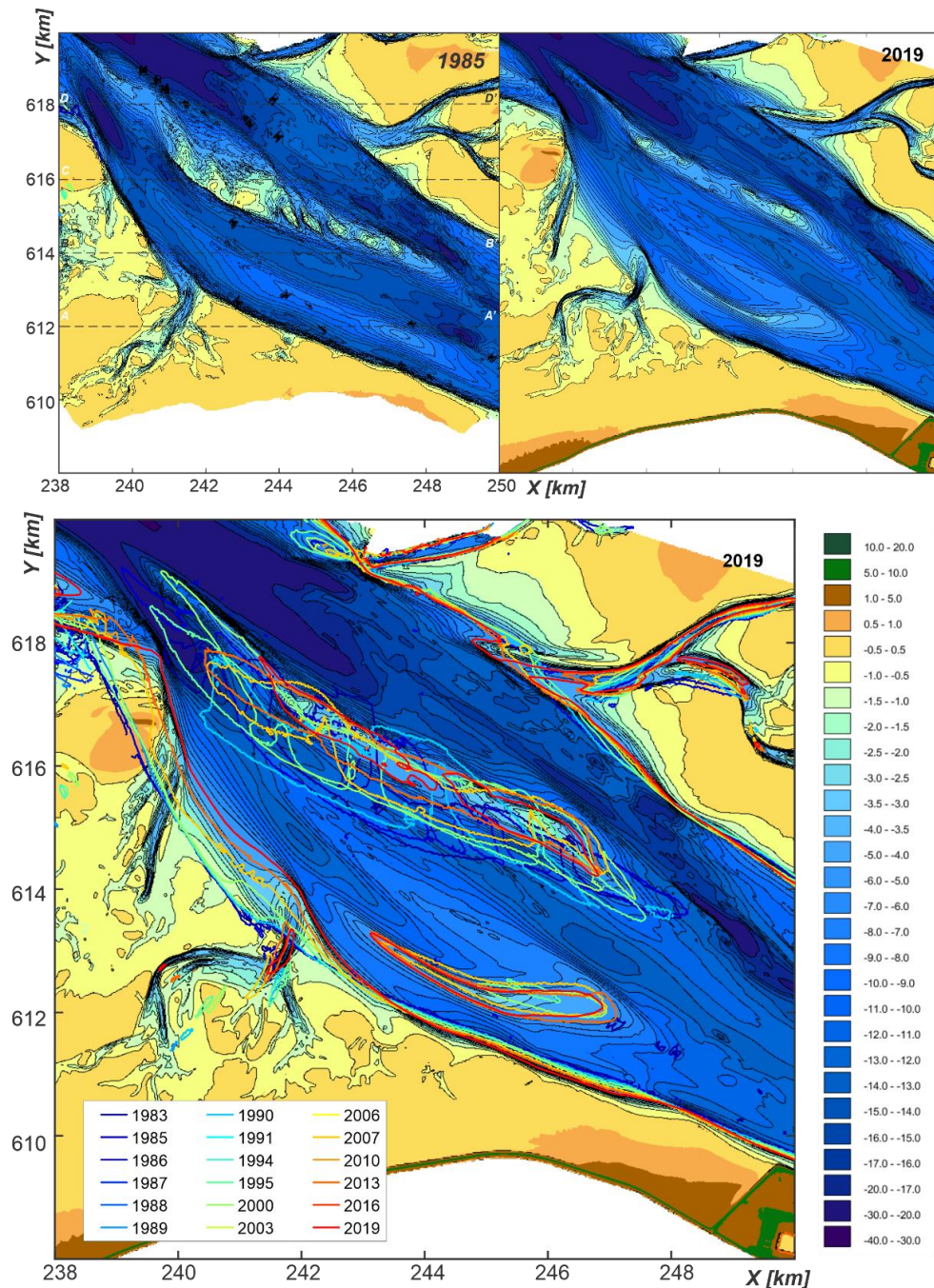
Het Horsbornzand is het plaatgebied ten oosten van Rottumeroog. Het Horsbornzand is in de 1985 opname zichtbaar als een bank met een hoogte tussen de 0,5 en -0,5 m NAP (Figuur 6.16). Het deel boven de gemiddelde waterlijn is dan met een oppervlakte van 0,6 km<sup>2</sup> en een volume van 0,07 miljoen m<sup>3</sup> nog beperkt, maar neemt sterk toe tot 1,5 km<sup>2</sup> en 0,8 miljoen m<sup>3</sup> in 2020.



Figuur 6.16 Boven: Ontwikkeling van Horsbornzand aan de hand van de 1985 en 2019 Vaklodging en 0 m NAP contourlijnen. Onderste figuur geeft de ontwikkeling van dwarsprofiel A-A' en langsprofiel B-B' weer. Donkerbruin geeft aan waar altijd sediment aanwezig is geweest (begrensd door de minimale bodemligging in alle jaren), geel geeft de meest recente bodemligging weer en grijs de envelop van bodemverandering.

De volumetoename van het Horsbornzand wordt gevoed door de sedimentstroom die over de buitendelta's vanaf Rottumeroog en Rottumerplaat plaatsvindt. In de bodemopnamen (Appendix B - 1990-2003) is te zien dat banken aan de noordwestzijde, vanaf de buitendelta van Schild, aanlanden. De banken verplaatsen zich langs Rottumeroog en de buitendelta van het Sparregat naar het Horsbornzand. Vanaf 2007 zijn deze banken niet meer zichtbaar. Kleinschalige banken landen nu aan op de noordwestzijde van Rottumeroog waardoor de bank hier lokaal uitbouwt. Deze verandering in gedrag is waarschijnlijk gerelateerd aan de voorliggende geul. Het diepe deel van het Horsborngat ligt nu direct langs het eiland, waardoor er geen ruimte is voor bankvorming en sediment waarschijnlijk snel kustlangs afgevoerd wordt. In dwarsprofiel A-A' (Figuur 6.16) is ook duidelijk te zien dat in de recentere jaren de kust slechts beperkt zeewaarts uitbouwt. De bank bouwt echter nog wel in oostelijke richting uit (doorsnede B-B').

Ten zuiden van het Horsbornzand liggen droogvallende platen die aan de oostzijde worden begrensd door de Oude Westereems (Figuur 6.17).



Figuur 6.17 Boven: Ontwikkeling van de oostzijde van het Groningerwad en de Oude Westereems 1985 en 2019. Onder: verplaatsing van de -5 m NAP contourlijn. Zie Appendix C.7 voor aanvullende bodemkaarten.

Over het algemeen is het Groningerwad ten noorden van het Ra in oostelijke richting uitgebouwd. In de geselecteerde dwarsraaien (B tot en met D) ligt deze uitbouw tussen de 770 en 1240 m (

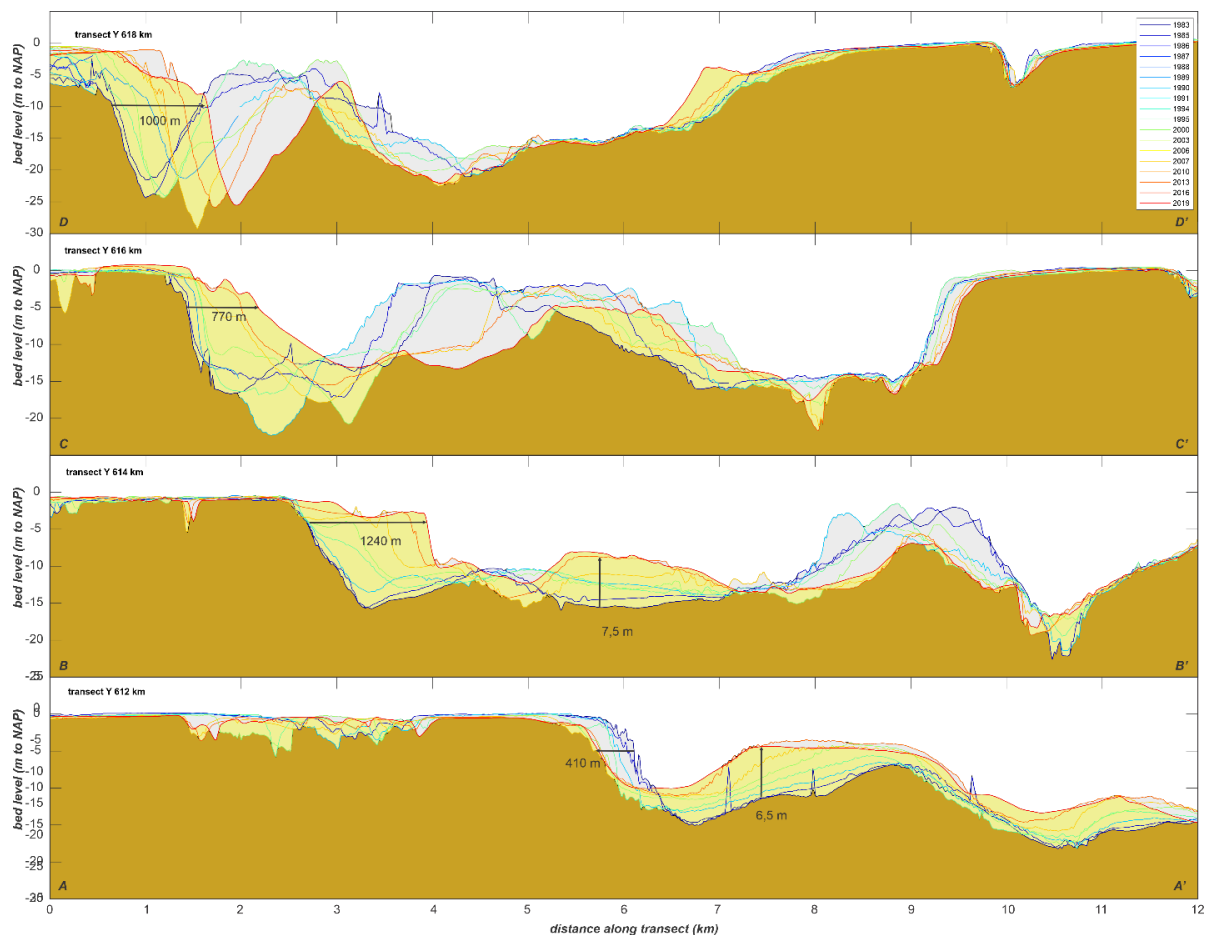
Figuur 6.18). Ten zuiden van Ra blijft het Groningerwad stabiel of trekt iets terug. In doorsnede A-A' ligt deze afname op ongeveer 410 m. Naast deze oostelijke uitbouw valt ook op dat er een klein geulsysteem lijkt te vormen net ten zuiden van het Horsbornzand. Hier was altijd al een klein geultje zichtbaar (zie 1985 opname), maar dit geultje heeft zich verder

vergroot. Vanaf 2007 neemt de diepte dan duidelijk toe (Appendix C.7). Deze diepe geul is in de 2020 opname nog zichtbaar. Ook vertoont een verandering. Hier ontwikkelt zich na 2000 een buitendelta die de Oude Westereems insteekt (zie Figuur 6.17).

In raai D – D' bouwt het Horsbornzand 1 km oostelijk uit. De naastliggende geul (Oude Westereems) wordt hierdoor oostelijk geduwd. De geul varieert over de periode iets in diepte (tussen de -25 en -30 m). De Oude Westereems en Randzelgat werden in 1985 nog door een brede bank gescheiden. Deze bank is door de verplaatsing van de Oude Westereems sterk in omvang afgenomen. De westzijde is daarbij geërodeerd. Deze erosie was veel groter dan de kleine aanzanding die aan de oostzijde te zien is.

Raai C-C' en B-B' laten een vergelijkbare respons zien. Ook hier verplaatst de oostelijke zijde van het Groningerwad oostelijk (770 m tot 1240 m), waardoor de oude Westereems hier opvult. De Oude Westereems neemt wel sterk in diepte af, van -22 m naar -15 m, maar blijft een brede geul. Dit komt door erosie van de oostelijk gelegen bank. De oostelijke verplaatsing van deze bank zorgt ervoor dat Randzelgat hier iets in grootte afneemt.

In de meest zuidelijk gelegen raai (A-A') word een iets andere respons geobserveerd. Hier trekt het Groningerwad juist iets terug (410 m). Wel vult de Oude Westereems sterk op met sediment. Op het voorliggende bankje ligt de aanzanding op bijna 6,5 m. De erosie van de kust zou gerelateerd kunnen zijn aan de groei van dit bankje. Het tussenliggende geultje wordt dan tussen het Bankje en het Groningerwad ingeklemd, dit kan hier (tijdelijk) erosie veroorzaken.



*Figuur 6.18 Ontwikkeling van dwarsprofielen A - D. Zie Figuur 6.17 voor de ligging van de raaien. Donkerbruin geeft aan waar altijd sediment aanwezig is geweest (begrensd door de minimale bodemligging in alle jaren), geel geeft de meest recente bodemligging weer en grijs de envelop van bodemverandering.*

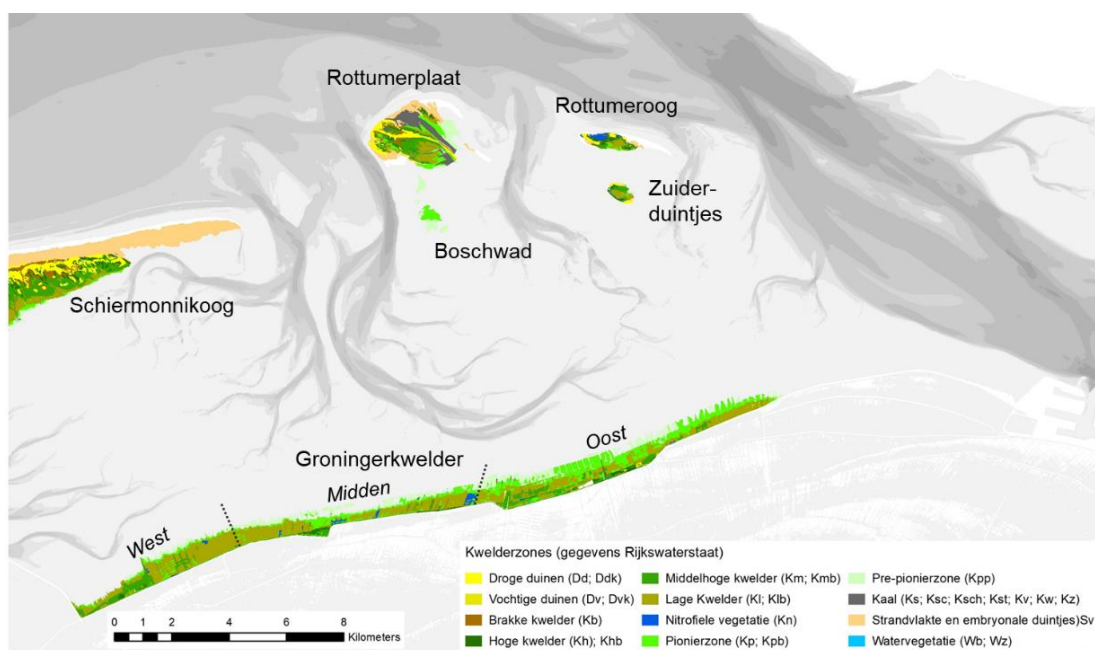


# 7 Kwelders, zeegras, duinen en strandvlaktes

## 7.1 Inleiding

In alle kombergingsgebieden van de Waddenzee liggen op verschillende plekken kwelders. Kwelders zijn de hogere delen van de Waddenzee die maar zelden onder water staan en waar zouttolerante planten aanwezig zijn. Figuur 7.1 laat zien waar de begroeide delen in het Groningerwad liggen. Aan de vastelandskust van Groningen liggen kwelderwerken, die zich uitstrekken vanaf de Lauwersmeerdijk aan de westzijde (in het kombergingsgebied van de Zoutkamperlaag) tot aan Uithuizen. De oostzijde van Schiermonnikoog is voor een deel begroeid met kweldervegetatie en ook de beide Rottums en Zuiderduintjes zijn deels begroeid met kweldervegetatie (zie ook Figuur 6.10).

Kwelders worden op verschillende manieren geclassificeerd, waarbij direct of indirect de hoogte van de kwelders rol speelt. De hoogte van de kwelder ten opzichte van de hoogwaterstanden bepaald namelijk hoe vaak en hoe lang de betreffende kwelder wordt overspoeld door zout water. Omdat de verschillende soorten kwelderplanten meer of minder tolerant zijn voor overspoeling met zoutwater is de overstromingsfrequentie sterk bepalend voor het vegetatietype. Naast de hoogte van de kwelder zijn er andere factoren die van invloed zijn op de vegetatie, zoals de ouderdom van de kwelder, de drainage en de begrazing met koeien, paarden en schapen.



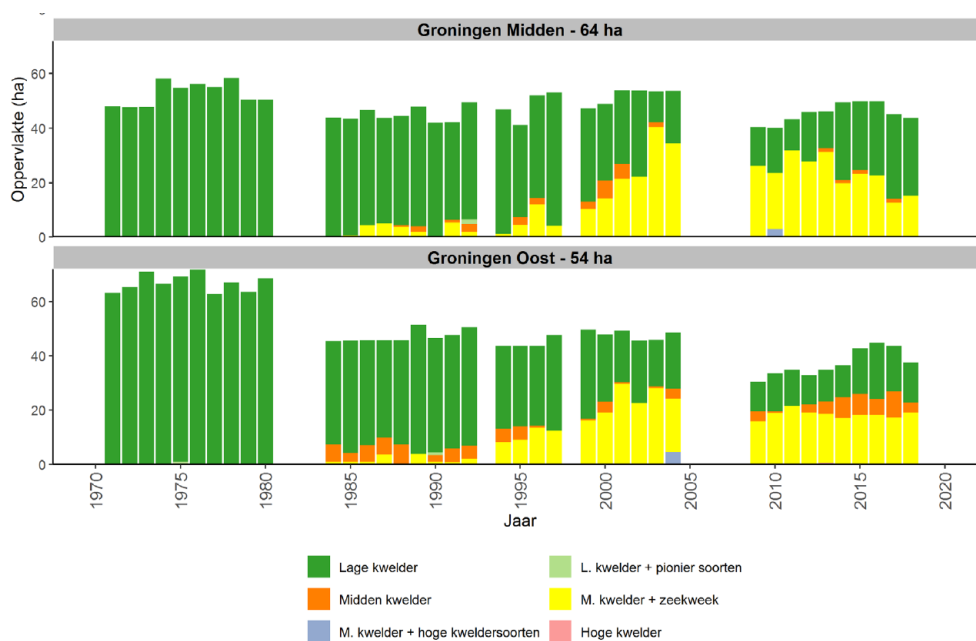
Figuur 7.1 Kaart met kwelders in de omgeving van het Groningerwad, op basis van de vegetatiekarteringen van Rijkswaterstaat 2014 (vastelandskwelders) en 2016 (Schiermonnikoog en Rottums).

## 7.2 Groningerkwelder

De Groningerkwelder is een vastelandskwelder, waarvan de aanwezigheid mede bepaald wordt door de landaanwinningswerken die hier zijn uitgevoerd. Maar ook voordat de landaanwinningswerken zijn uitgevoerd waren langs de Groninger kust al kwelders aanwezig. Deze kwelders werden gaandeweg bedijkt ten bate van de landbouw. Het patroon van de

bedijkingen is nog steeds zichtbaar in het landschap. De landaanwinningswerken, die tegenwoordig kwelderwerken worden genoemd, bestaan uit rijshoutendammen die loodrecht op en parallel aan de kustlijn zijn geplaatst en daarmee een regelmatig patroon van zogeheten bezinkvelden vormen. Oorspronkelijk werden hierbij ook greppels en sloten gegraven voor de drainage van het gebied, maar dat is sinds de jaren '90 vrijwel gestaakt. In de loop van de tijd zijn verschillende aanpassingen gedaan aan de kwelderwerken. Zo zijn vanaf 1989 extra tussendammen geplaatst en zijn de buitenste bezinkvelden verlaten. De hoogte van de rijshoutendammen is aangepast vanwege de stijging van de niveaus van hoogwater en de bodemdaling door gaswinning. Renovatie van de rijshoutendammen in de periode 1994-1998 in het oostelijke gebied heeft geleid tot een verhoogde opslibbing. Een groot deel van de kwelders langs de vastelandskust wordt begraasd door runderen, paarden en/of schapen. In Groningen nam de beweiding vanaf 2001 sterk af, tot in de periode 2011-2013 het Kwelderherstelplan werd uitgevoerd.

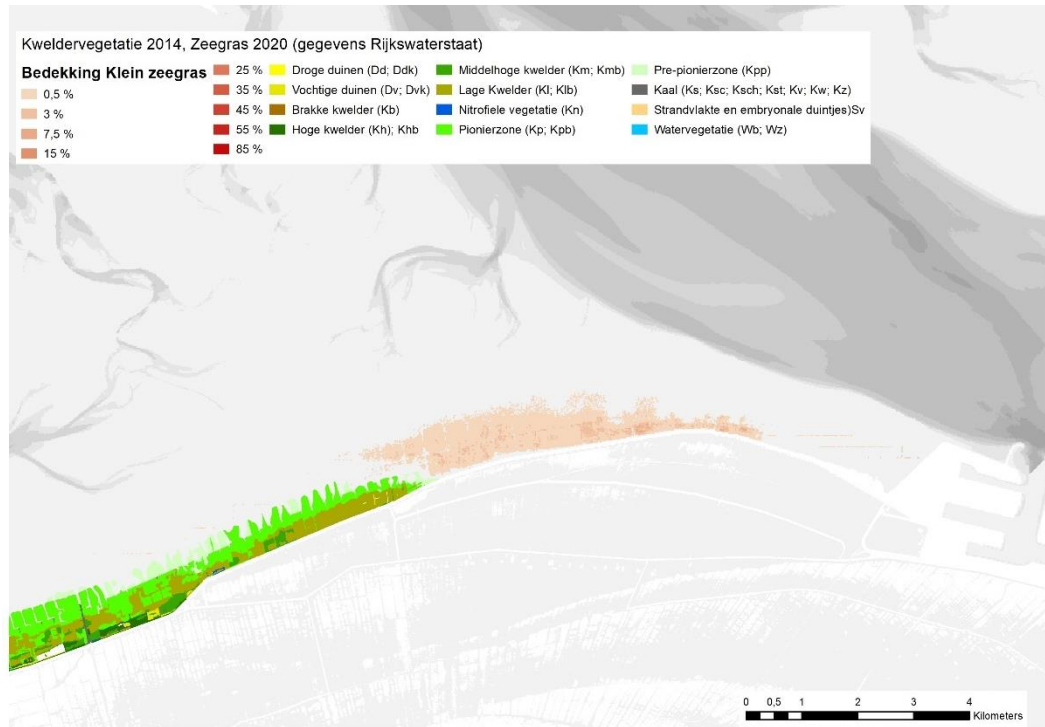
De ontwikkelingen van de arealen van de verschillende kwelderzones, de vegetatie en de hoogte worden gemeten in verschillende onderzoeksprogramma's (Elschot et al., 2020). Daardoor is er veel kennis over de opgetreden ontwikkelingen en de relatie met de beheermaatregelen en de begrazing. Figuur 7.2 laat de ontwikkelingen zien van de arealen van de verschillende kwelderzones, zoals die zijn waargenomen in de meetvakken van Rijkswaterstaat. Duidelijk is dat een toename heeft plaatsgevonden van de middelhoge kwelder (middenkwelder). Een deel van de middelhoge kwelder is begroeid met zeekweek, die overeenkomt met het laatste, verruigde stadium van de vegetatieopvolging. Deze toename is ten koste gegaan van het areaal lage kwelder en is het gevolg geweest van de geleidelijke opslibbing binnen de bezinkvakken. Na de periode 2000 tot 2005 is de toename van de middelhoge kwelder gestopt. In Groningen Midden is het areaal van de lage kwelder toegenomen, deels ten koste van de middelhoge kwelder. In Groningen Oost is het areaal lage kwelder toegenomen als onderdeel van een algehele toename van het areaal kwelders in deze meetvakken. Door Elschot et al. (2020) worden de opgetreden areaalveranderingen na 2011 gekoppeld aan het kwelderherstelprogramma en de toename van de begrazing die heeft plaatsgevonden.



*Figuur 7.2 Oppervlakte van de vegetatiezoneringen (volgens de SALT97-classificatie) binnen meetvakken in de deelgebieden Groningen-Midden en Groningen-Oost in de periode 1971-2018. Het oppervlakte boven de grafiek betreft de totale oppervlakte (kwelderzone + kaal wad) in 2018 binnen de meetvakken. Witte kolommen zijn missende gegevens (uit Elschot et al., 2020).*

De sedimentatiesnelheden die direct zijn gemeten of zijn afgeleid uit hoogteveranderingen bedragen 7-13 mm/jaar. De sedimentatiesnelheden variëren over de jaren. Ook verschilt de sedimentatiesnelheid per bezinkveld en per kwelderzone. In Groningen Midden en Oost worden de laagste snelheden in de pionierzone en de buitenste bezinkvelden gemeten en de hoogste snelheden op de lage kwelder.

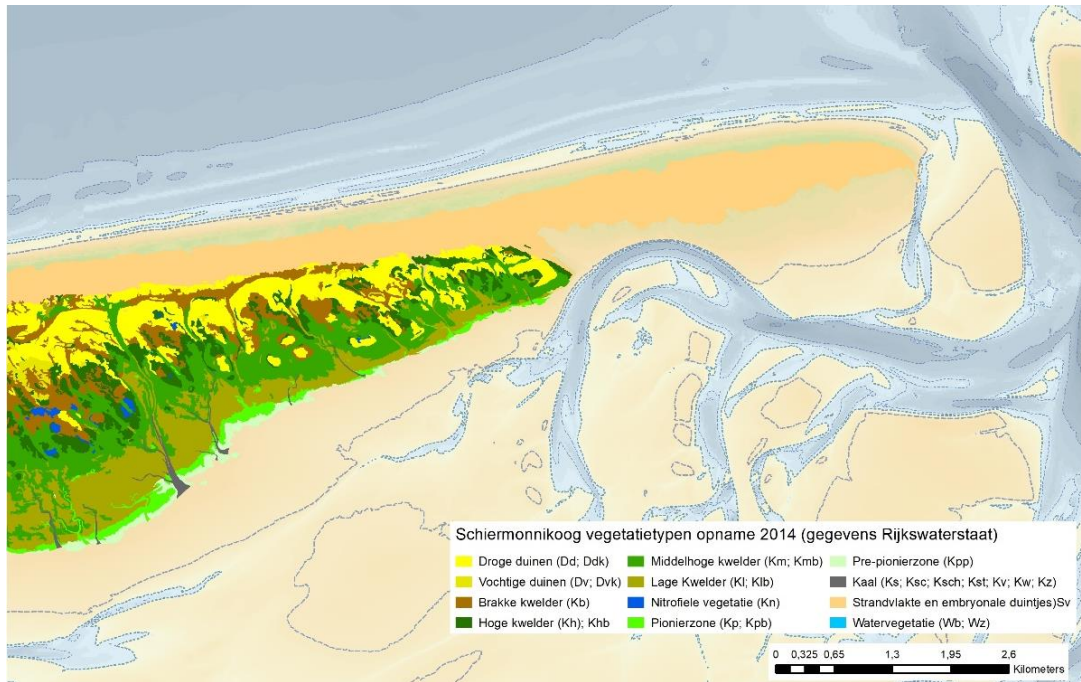
Naast de kweldervegetatie wordt in sommige bezinkvelden van de Groningerkwelder Klein zeegras (*Zostera noltii*) aangetroffen. Het aantal plekken waar zeegras in de bezinkvelden is aangetroffen is na 2000 sterk toegenomen (Elschot, 2020). Ook buiten de bezinkvelden voor de kwelders wordt Klein zeegras aangetroffen, met een groot cluster ten oosten van de Groningerkwelder (Figuur 7.3).



Figuur 7.3 Kaart met de bedekking met Klein zeegras (*Zostera noltii*) in 2020 ten oosten van de Groningerkwelder (opname 2014) op basis van gegevens van Rijkswaterstaat.

### 7.3 Oosterkwelder Schiermonnikoog en Balg

De Oosterkwelder op Schiermonnikoog begint direct ten oosten van de Kooiduinen en loopt door tot aan de onbegroeide oostelijke staart van Schiermonnikoog. Het oostelijke gedeelte van deze eilandkwelder valt binnen het kombergingsgebied van het Groningerwad wordt in het voorliggende rapport beschouwd, samen met de onbegroeide oostpunt die “Balg” wordt genoemd. Morfologisch gezien vormt de oostzijde van de Oosterkwelder één geheel met het duincomplex en het voorliggende strand door de washovercomplexen die de Noordzeezijde met de kwelders verbinden. Binnen de kwelder zijn nog hoge koppen aanwezig, waarvan het Willemssduin er één is. Deze hoge koppen zijn gevormd als duinen toen het gebied nog onbegroeid was. De eerste begroeiing op de oostelijke helft van de Oosterkwelder is gevestigd vanaf de jaren '60 en daarna gaandeweg uitgebreid (Kers et al., 1998 en Jager, 2006). Daarmee is het een jonge kwelder.



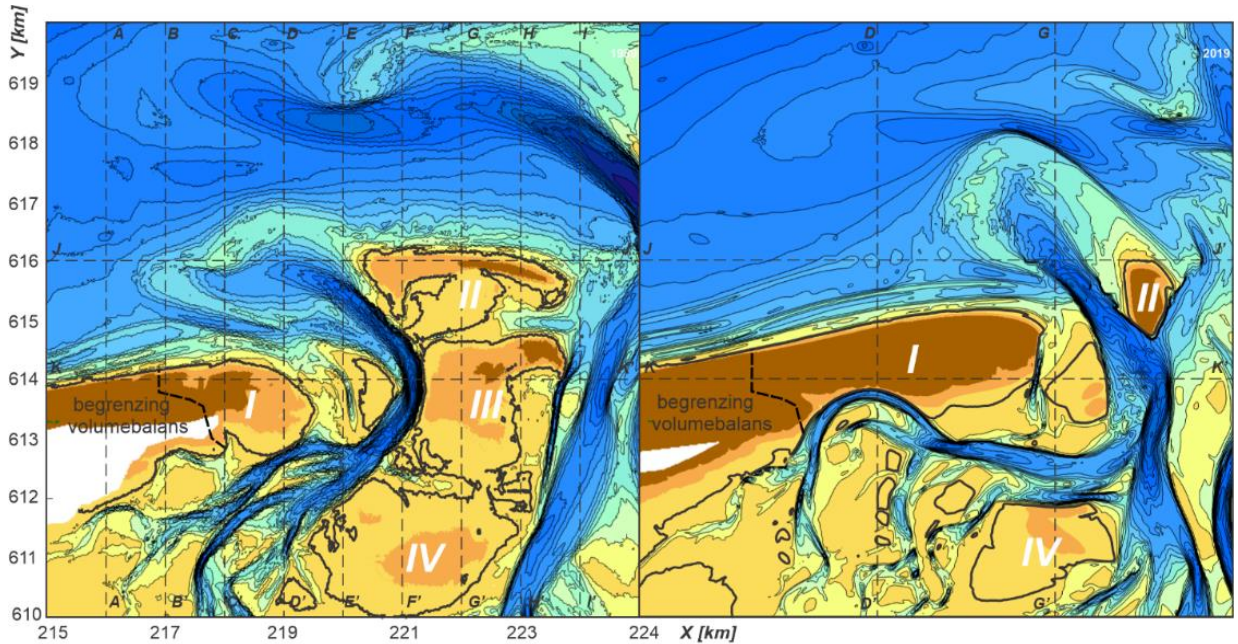
Figuur 7.4 Vegetatiekaart van de oostzijde van Schiermonnikoog, situatie 2014 (op basis van gegevens Rijkswaterstaat).

Ondanks het volstrekt natuurlijke aanzicht van de oostelijke helft van Schiermonnikoog, vanaf de oostpunt van de Stuifdijk ter hoogte van strandpaal 10, hebben menselijke ingrepen het gebied mede vorm gegeven. Met beperkt succes zijn vanaf 1950 stuifdijken aangelegd die doorliepen tot strandpaal 14. Deze stuifdijk bleef niet autonoom in stand en werd regelmatig en met wisselend succes gerepareerd, tot in de jaren '80 het onderhoud van de stuifdijk ten oosten van strandpaal 10,4 werd gestaakt. Op dat moment waren oostelijk daarvan grote openingen aanwezig in de voormalige stuifdijk. Deze openingen hebben zich ontwikkeld tot washovers. Tijdens de sterk verhoogde waterstanden die optreden tijdens stormen stroomt water via de washover van de Noordzeekust naar de kwelders. Hierbij kan transport van zand plaatsvinden, van het strand naar de kwelders. Deze morfologisch heel interessante situatie levert ook ecologisch waardevolle habitats en overgangen tussen verschillende habitats. De afgelopen jaren is zeewaarts van de washovers een nieuwe duinregel ontstaan, waardoor de aanstroming van de washovers minder direct verloopt en deze deels hun functie hebben verloren. Dit komt tot uitdrukking in het geleidelijk dichtgroeien van de (voormalige) washovergeulen. De ontwikkeling van de duinenrij aan de zeezijde van de washovers is gestuurd door de uitbouw van het strand in zeewaartse richting. Deze uitbouw is samen opgetreden met de verlenging van het eiland.

## 7.4 Eilandstaart Schiermonnikoog, Simonszand en Lauwers.

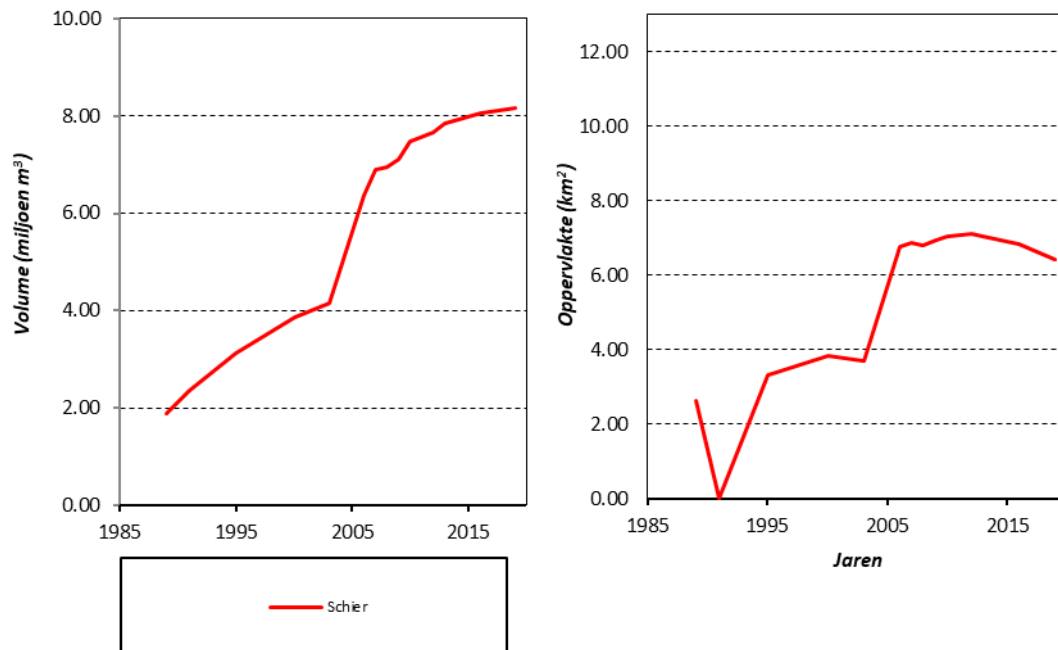
De eilandstaart van Schiermonnikoog is in de periode van 1989-2019 zo'n 3,4 km oostwaarts uitgebouwd (Figuur 7.5). De recent uitgebouwde oostpunt van Schiermonnikoog is een vrijwel onbegroeide zandvlakte, waar zich embryonale duinen ontwikkelen. In het patroon van de duintjes zijn ook de vormen van verbindingsgeulen (washovergeulen) tussen de Noordzeekust en de Waddenzee zichtbaar (Figuur 7.7). Deze situatie lijkt op de situatie in de jaren '50, toen wat nu de begroeide Oosterkwelder is nog de kale eilandstaart van Schiermonnikoog was.

De oorsprong van deze uitbouw ligt waarschijnlijk in de enorme aanvoer van zand die heeft plaatsgevonden vanaf de buitendelta van de westelijke gelegen Zoutkamperlaag, na de afsluiting van de Lauwerszee. In eerste instantie is een belangrijk deel van het zand van de buitendelta aangeland op de noordwestkust van Schiermonnikoog, in de vorm van een grote zandhaak. Dit zand is daarna door het golfgedreven langstransport naar het oosten getransporteerd. Dit verklaart ook waarom de uitbreiding van de oostpunt van het eiland met enige vertraging is opgetreden na de afsluiting van de Lauwerszee.



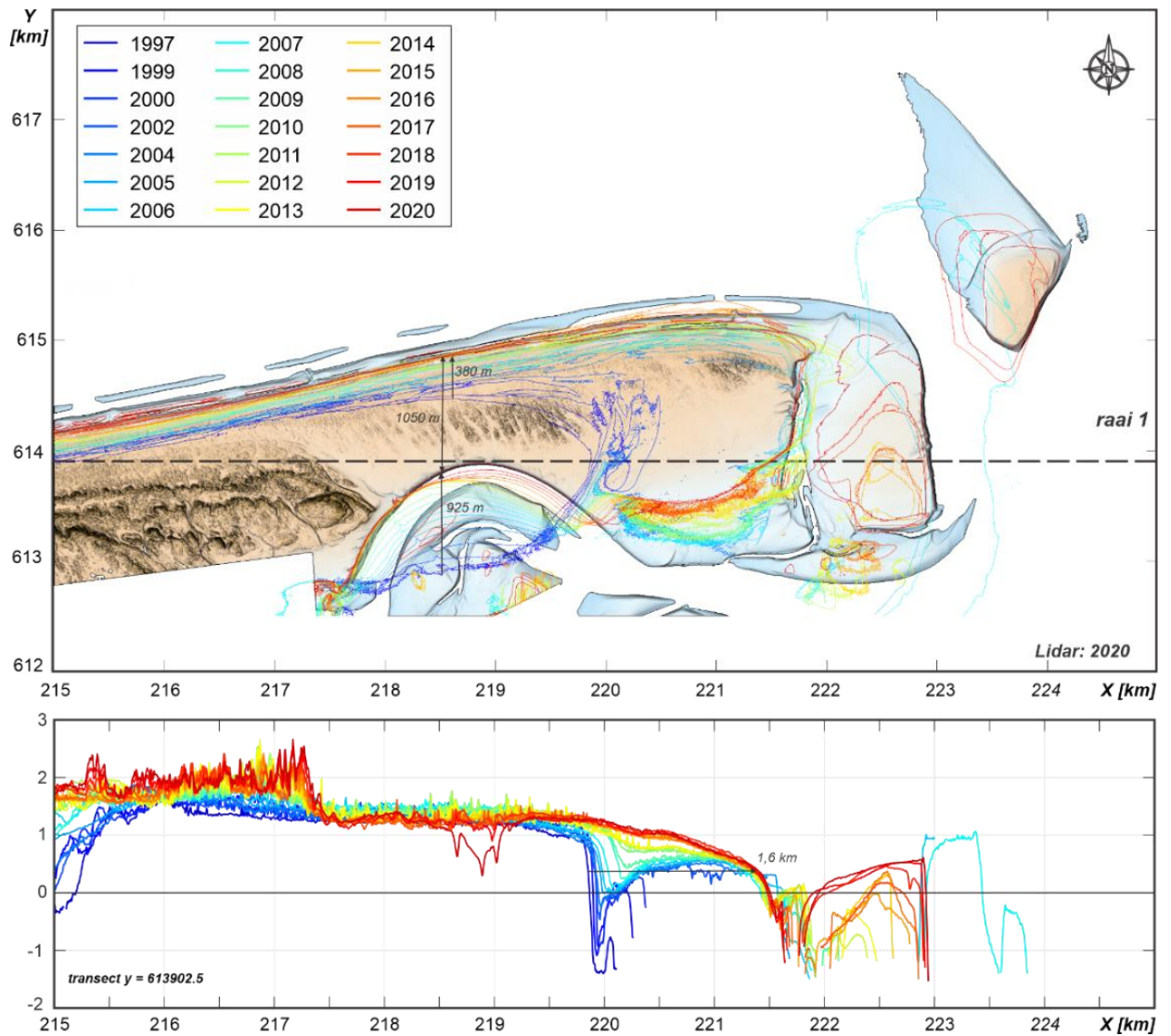
*Figuur 7.5 Boven: Een detailoverzicht van de hoogteligging van de eilandstaart van Schiermonnikoog in 1985 en 2019. Onder: de verplaatsing van de 0 m NAP contourlijnen. De polygonen I-IV geven de begrenzingen van de volumebalans aan. Zie Appendix C, Figuur C- 2 voor aanvullende figuren.*

Het plaatoppervlakte van de eilandstaart is voor polygoon I met zo'n 6,4 km<sup>2</sup> toegenomen sinds 1987 (Figuur 7.6). Deze toename gebeurde voornamelijk tot 2006. Een maximaal oppervlakte van 7,1 km<sup>2</sup> werd in 2012 geobserveerd. Sinds 2012 nemen de oppervlakten dan weer iets af tot 6,4 km<sup>2</sup>. Deze stabilisatie in oppervlakte is ook zichtbaar in de maximale uitbouw. Het volume blijft nog wel steeds toenemen en de toename tussen 1989 en 2019 bedraagt 6,2 miljoen m<sup>3</sup> (Figuur 7.6).



Figuur 7.6 Een overzicht van de ontwikkeling van volume (links) en oppervlakte (rechts) boven de 0 m NAP lijn van de eilandstaart van Schiermonnikoog (polygoon I). Zie Figuur 7.5 voor ligging polygoon I.

Analyse van de LiDAR (kusthoogtemetingen) geeft aanvullend inzicht in de ontwikkeling van de eilandstaart sinds 1997. Deze LiDAR data vormt onderdeel van de jaarlijkse kustmetingen. Sinds 1996 worden de hoogtewaarnemingen van het strand opgenomen met een laserscanner (LiDAR) aan boord van een vliegtuig. Na analyse van de resultaten wordt een Digitaal Terrein Model (DTM) verkregen. De DTM wordt verwerkt in de JarKus metingen (in raaien of lage-resolutie grids), maar wordt ook in 5 m rasterresolutie gearchiveerd. Voor de eilandstaart van Schiermonnikoog zijn er 21 DTM's beschikbaar voor de periode 1997 – 2020. Iedere DTM bevat het droogvallende strand tot een diepte van ongeveer -1,0 m NAP en de eerste duinenrijen. Een beeld van de meest recente (2020) opname is weergegeven in Figuur 7.7 (boven). In de LiDAR opname is de overgang van de duinen (tot X-km 218) naar de langgerekte strandvlakte goed te onderscheiden. De sterke uitbouw van de eilandstaart in de periode 1997- 2015 is aan de hand van de 0 m-contourlijnen voor de verschillende jaren goed te volgen. In totaal nam de eilandstaart met een kleine 2 km in lengte toe. Deze verlenging is ook in het dwarsprofiel (Figuur 7.7, onder) te volgen. Ter plaatse van dit dwarsprofiel was de uitbouw 1,6 km. Sinds 2015 lijkt de ligging te stabiliseren. Naast een oostwaartse verplaatsing is het eiland ook zo'n 380 m zeewaarts uitgebouwd. Tussen x-km 217 en 220 vindt een sterke erosie aan de Waddenzijde van de eilandstaart plaats. Door uitbochting van de Eilanderbalg is de kustlijn hier 925m zeewaarts verplaatst. Deze verplaatsing aan de Waddenzijde is veel groter dan de verplaatsing van de kustlijn aan de zeezijde. De breedte van het eiland is hierdoor lokaal afgenomen tot ongeveer 1 km. De uitbochting lijkt zich ook in de meer recente meetdata nog door te zetten.



Figuur 7.7 Visualisatie van de uitbocht van de Eilanderbalg en het invreten in de eilandstaart van Schiermonnikoog aan de hand van de LiDAR data over de periode 1997-2020. De contourlijnen geven de ligging van de NAP (0 m) contour weer. De onderste deelfiguur geeft dwarsdoorsnede 'raai 1' weer.

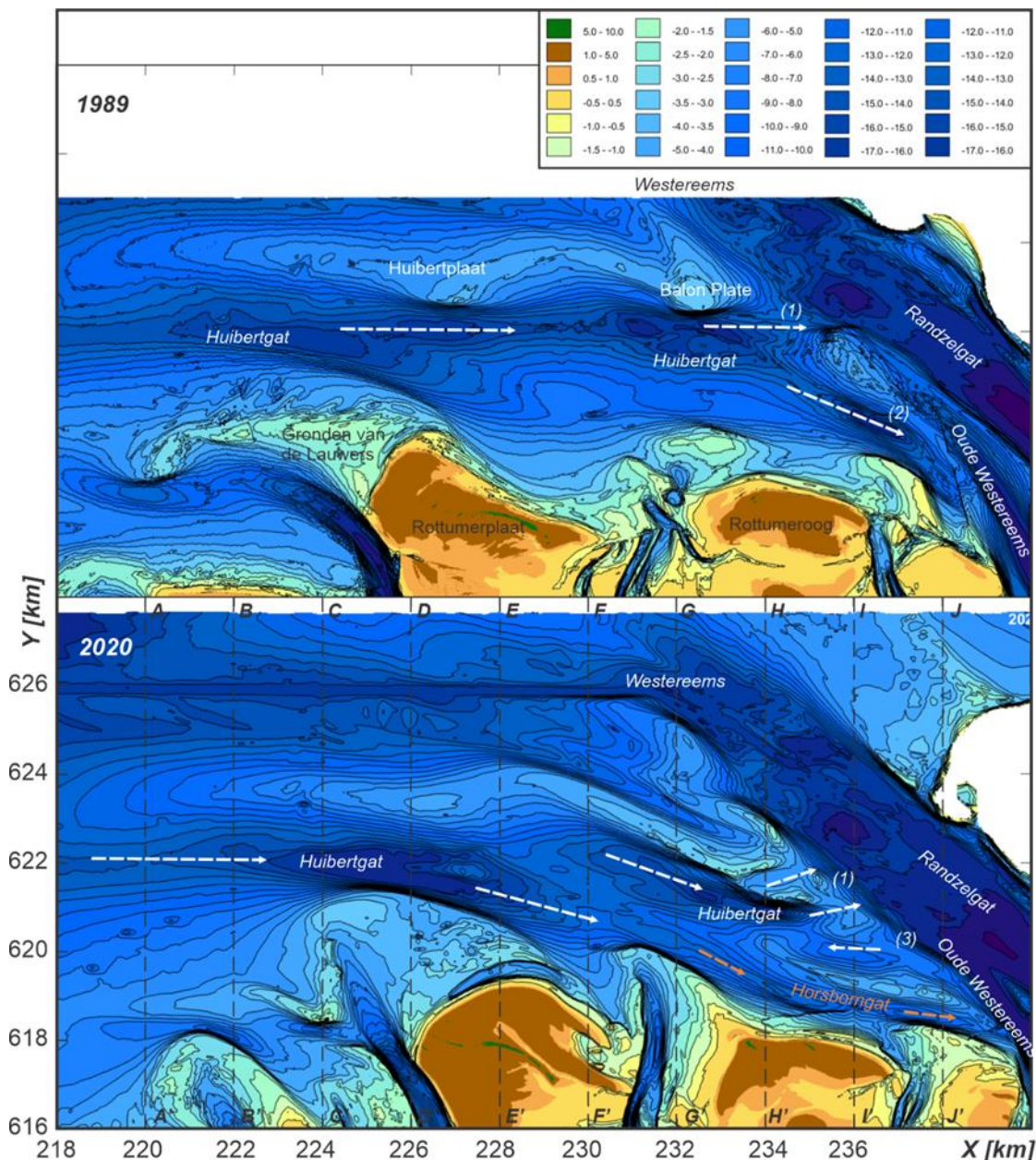
## 8 Kustzone en Eemsmonding

Grootschalig zijn de morfologische veranderingen in de Eemsmonding beperkt (Figuur 8.1). De geul Randzelgat - Westereems strekt zich van het Eems estuarium langs het eiland Borkum in noordwestelijke richting uit. Naast een noordwestelijke uitstroom van de Westereems is er ook een langgerekte (vaar)geul met west-oost richting aanwezig. Het bankencomplex van Huibertplaat en Balon Plate (Ballon Plaat) vormt de scheiding tussen de Westereems en het Huibertgat. In de 2020 bodem is nog een derde geultje zichtbaar, het Horsborngat. Deze geul heeft zich direct langs de kust van Rottumeroog gevormd.

De diepe geulen blijven goed behouden, maar het Huibertgat vertoont wel veranderingen in ligging en oriëntatie. In de 1989 bodem is het Huibertgat nog een doorgaande geul met west-oost oriëntatie tussen de Rottums en het Horsbornzand. Er zijn dan twee uitstroomgeulen, met oostelijke en zuidoostelijke oriëntatie, richting de Westereems (Figuur 8.1, zie 1 en 2). De zuidoostelijke uitstroomgeul (2) wordt op de oude zeekaarten ook Horsborngat genoemd, maar is niet dezelfde geul als het huidige Horsborngat. Tussen de twee uitstroomgeulen bevindt zich een kleine bank (de Horsbornplaat). In 2020 is het grootschalige beeld nog gelijk. Er ligt nog steeds een grote geul ingeklemd tussen de Rottums en de Huibertplaat/Ballonplaat, maar deze geul is wel veranderd in oriëntatie en gedrag. Westelijk van de buitendelta van de Lauwers zijn de verschillen nog beperkt. Hier behoudt het Huibertgat een west-oost oriëntatie. Ter hoogte van Rottumerplaat is er dan een duidelijk verschil zichtbaar. Het diepe deel van Huibertgat is in omvang toegenomen en heeft een meer zuidoostelijke oriëntatie gekregen. Ten oosten hiervan ontstaat dan een drempel die het diepe geuldeel van Huibertgat in een oostelijk en westelijk deel verdeelt. Alhoewel oorzaak en gevolg vanuit de morfologische verandering niet direct aantoonbaar is, lijkt het waarschijnlijk dat de rotatie van de Gronden van de Lauwers (van west naar oost) een rol speelt in deze ontwikkelingen. Deze rotatie is in gang gezet door de rotatie van de Lauwers onder invloed van het oostelijk verplaatsen van de Eilanderbalg. De uitbouw van de Gronden van de Lauwers zorgt ervoor dat het voorliggende Huibertgat iets zuidelijk roteert. Het diepe geuldeel bouwt langs de Gronden van de Lauwers uit. Het is waarschijnlijk dat een deel van het debiet door het Schuitengat nu direct langs de Rottums wordt gestuurd. De getijgedreven stromingen en transporten direct langs de Rottums zullen toenemen. Dit lijkt ook de vorming van het Horsborngat te bevorderen.

De vorming van het huidige Horsborngat is eerst zichtbaar in de 1995 bodem en in 2001-2008 vormt dan een doorgaande geul. Deze geul blijft dan zichtbaar in de 2014 en 2020 bodemopnamen. Het oude Horsborngat neemt dan snel in diepte af en is dan in de 2001 bodem vrijwel verdwenen. Tussen 2001 en 2020 ontstaat ook een ondiep drempelgebied langs de westzijde van de Westereems/Randzelgat. Waarschijnlijk speelt de toegenomen sedimenttoevoer door uitschuring van Horsborngat hierbij een rol. Deze geul zorgt ervoor dat zand snel kustlangs kan worden afgevoerd richting de Westereems, dat zich vervolgens afzet in dit drempelgebied.





Figuur 8.1 Een overzicht van geulen en platen in de Eemsmonding op basis van de 1989 en 2020 bodem. De overige bodemkaarten worden getoond in Appendix C-1.

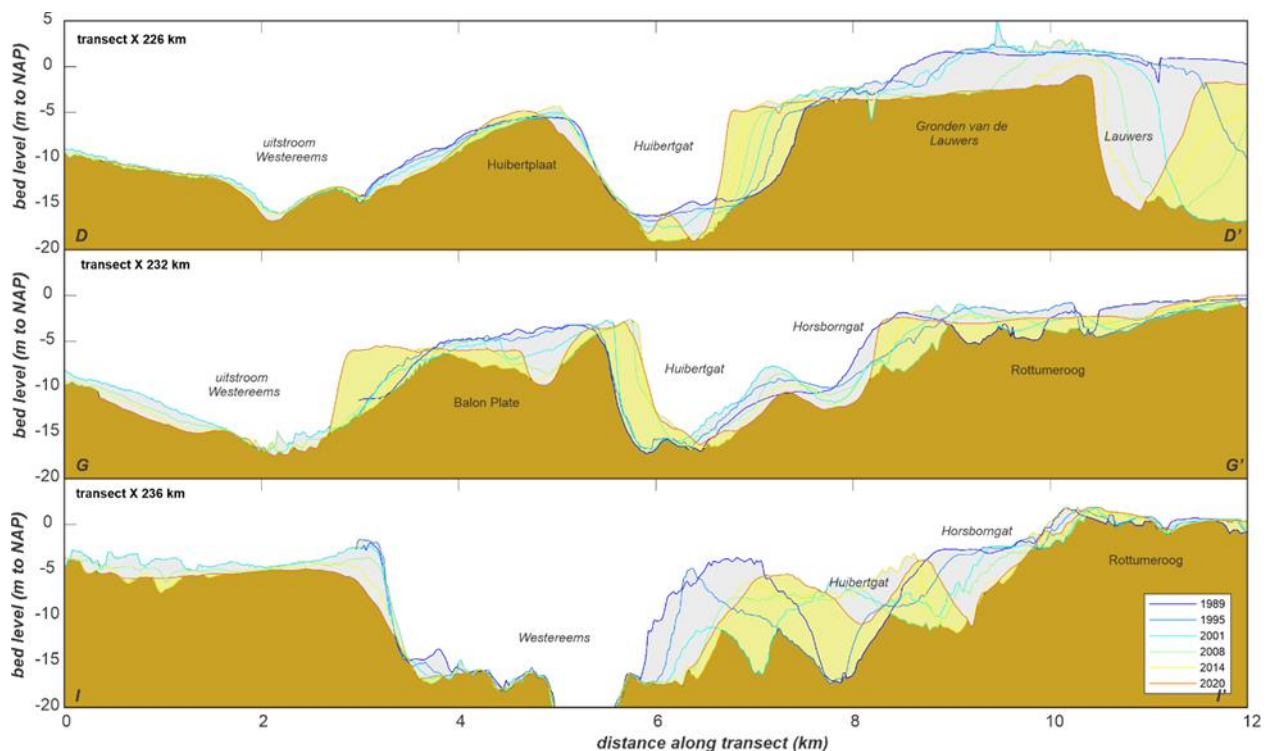
Tussen 1989 en 2020 treden er ook grote veranderingen op in de geulen van Randzelgat en Oude Westereems. In de 1989 bodem zijn deze twee geulen nog zichtbaar als aparte geulen gescheiden door een langgerekte drempel. Deze drempel trekt zich in zuidelijke richting terug waardoor er noordelijk van km 618 een enkele brede geul ontstaat.

De dwarsprofielen weergegeven in Figuur 8.2 geven deze veranderingen van de kustzone in meer detail weer. Dwarsprofiel D-D' (X-226 km) geeft de ontwikkeling van het westelijke deel van het Huibertgat weer. In dit dwarsprofiel blijft het diepe deel van de uitstroom van de Westereems in positie. De zuidelijke geulwand verplaatst zich iets landwaarts. Hier wordt het diepere deel van de naastliggende Huibertplaat geërodeerd. Het ondiepe deel van de Huibertplaat (boven de -10 m NAP) neemt in hoogte toe en blijft vrijwel stabiel in positie liggen. Aan de landwaartse zijde verplaatst dit deel zich noordelijk (erodeert). Het Huibertgat neemt sterk in breedte af en neemt t.o.v. de 1989 bodem in diepte toe. Er ontstaan twee

diepere geulen gescheiden door een kleine drempel. De afname van de geulbreedte komt door de sterke zeewaartse uitbouw van de Gronden van de Lauwers. In 1989 doorsneed dit profiel nog Rottumerplaat, maar het hoge deel van het eiland is oostelijk verplaatst. In de huidige bodem doorsnijdt het profiel dan de buitendelta (de Gronden van de Lauwers) die zich hier heeft gevormd.

Raai G-G' (X-232 km) geeft een doorsnede van de geulontwikkeling net ten oosten van Schild. In dit profiel is een sterke zeewaartse en landwaartse uitbouw van de Horsborzand/Balon Plate te zien. De twee uitbouwende delen van de bank worden gescheiden door een ondiepe vloodschaar. Deze is ook in het bovenaanzicht (Figuur 8.1, 2020) zichtbaar. De vloodschaar was ook in de 1989 aanwezig alleen nog beperkt in omvang. Rond 2008 bereikt de schaar een maximale breedte. Sindsdien is de geulbreedte afgenomen terwijl de lengte van de schaar sterk toeneemt. In het Huibertgat is de ontwikkeling van het Horsborngat goed te onderscheiden. Het Horsborngat neemt in diepte toe. De landwaartse geulwand wordt hierbij steeds steiler door uitbouw van Rottumeroog.

Raai I-I' (X-236 km, onderste deelfiguur van Figuur 8.2) geeft een beeld van de overgang van de kustzone naar de Westereems / Randzelgat. In deze doorsnede is in 1989 het oude Horsborngat (km 7,8) als een enkele diepe geul (-16 m NAP) met aan weerszijden hoge banken te zien. Deze banken eroderen snel maar de vorming van nieuwe banken en de twee kleinere uitstroombanken van het Huibertgat en Horsborngat zijn in 2020 zichtbaar. Ook de erosie van Rottumeroog door vorming van het Horsborngat is in dit profiel duidelijk aanwezig.



*Figuur 8.2 De ontwikkeling van geselecteerde dwarsprofielen in de kustzone van de Rottums en Eemsmonding. Donkerbruin geeft aan waar altijd sediment aanwezig is geweest (begrensd door de minimale bodemligging in alle jaren), geel geeft de meest recente bodemligging weer en grijs de envelop van bodemverandering.*

## 9 Relatie morfologie en gebruiksfuncties

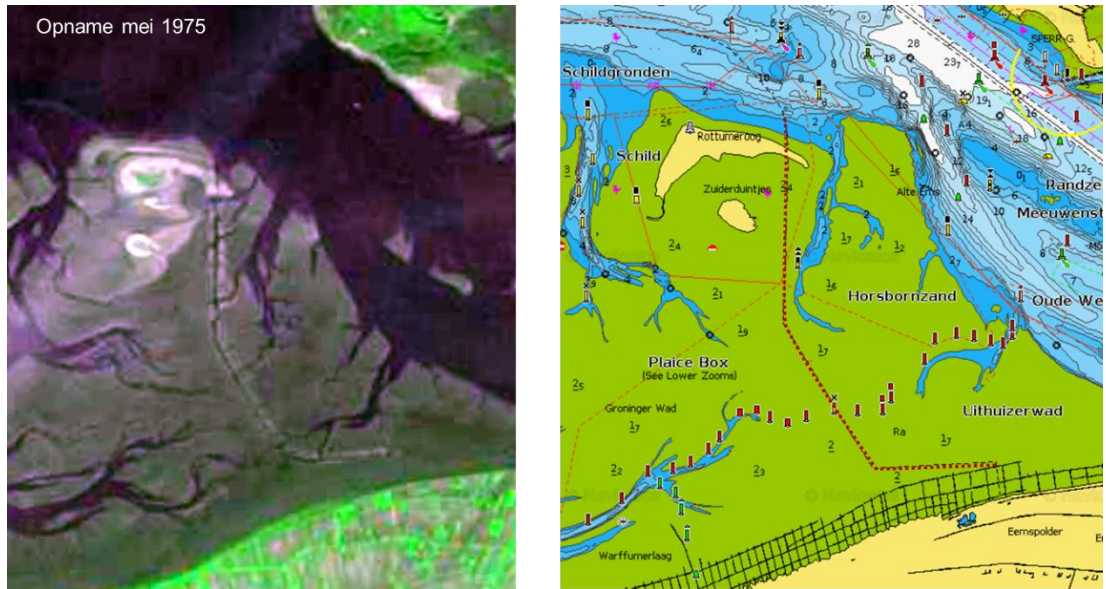
### 9.1 Inleiding

In vergelijking met de andere kombergingsgebieden zijn de kombergingsgebieden van Lauwers (tegenwoordig samen met de Eilanderbalg) en Schild in termen van de gebruiksfuncties buitenbeentjes. Rottumerplaat en Rottumeroog zijn geen bewoonde eilanden en er is dan ook geen veerverbinding naar en van deze eilanden. Ook havens ontbreken op deze eilanden. De enige haven in het gebied is Noordpolderzijk. Deze haven heeft tegenwoordig alleen een recreatieve functie. Daarmee is de scheepvaart in dit gebied beperkt en wordt er weinig gebaggerd. Kabels en leidingen zijn beperkt aanwezig. Één gasleiding doorsnijdt het gebied. Wel lopen er kabeltracés zeewaarts en oostelijk in de Eemsmonding en Eems geulen. Recreatief gebruik van het gebied is beperkt vanwege de beperkte toegankelijkheid. De belangrijkste functie van het gebied is daarmee de natuurfunctie. Dit komt mede tot uitdrukking in toegangsbeperkingen op en rond de Rottums en voor beperkingen aan de garnalenvisserij in een groot deel van het studiegebied. Een overzicht van de gebruiksfuncties in de Waddenzee is te vinden in het Natura 2000 beheerplan van de Waddenzee, inclusief de bijbehorende kaartenbijlages (Rijkswaterstaat, 2016). Hieronder wordt nader ingegaan op een aantal gebruiksfuncties en hun relatie met de morfologie.

### 9.2 Leiding en kabels

Op dit moment ligt er één gasleiding dwars door het gebied. Deze leiding loopt onder de oostzijde van Rottumeroog door en gaat dan via het wantijgebied tussen Schild aan de westzijde en het Sparregat oostzijde naar het zuiden, om na een flauwe knik, gevolgd door een scherpe knik naar de dijk te lopen. Deze leiding is in 1975 aangelegd, door een geul over het wad te baggeren. Deze geul is zichtbaar in de satellietopname in Figuur 9.1. Na aanleg van de leiding is de geul actief opgevuld met zand, omdat het proces van natuurlijk opvulling niet of niet snel genoeg verliep (bron: <https://wadgidsenweb.nl/nieuws/wadlopen-nieuws/845-gasleiding-ngt.html>). Zo nu en dan komt door morfologische veranderingen in de ligging van de geulen een stuk van de gasleiding bloot te liggen, waarna deze opnieuw wordt ingegraven.

Naast deze gasleiding liggen er aan de oostzijde van het studiegebied, onder het Horsbornzand een aantal leidingen, die verder doorlopen aan de zuidzijde van het Horsborngat. De morfologische veranderingen in deze gebieden zijn van directe invloed op de begraafdiepte en stabiliteit van deze leidingen.



Figuur 9.1 Satellietopname (links) met de geul die is gebaggerd voor de aanleg van de gasleiding (Bron USGS). Rechts de nautische kaart met rood gestippeld het tracé van de gasleiding (born Navionics-website).

Vanwege de energietransitie en toenemende vraag naar transportcapaciteit voor elektriciteit van offshore windparken naar het vasteland, tussen het vasteland en de Waddeneilanden en tussen de nationale elektriciteitsnetwerken wordt in de Waddenzee in toenemende mate gezocht naar tracés voor elektriciteitskabels. Vanwege de belangrijke rol die de Eemshaven in het elektriciteitsnetwerk speelt, lopen veel van de bestaande en toekomstige netwerkverbindingen naar de Eemshaven. Deze leidingen liggen aan de oostzijde van het Groninger wad. De kombergingsgebieden Lauwers/Eilanderbalg en Schild en het wantijgebied tussen Eilanderbalg en Zoutkamperlaag zijn in beeld voor een deel van deze nieuwe verbindingen. Hiervoor lopen verschillende andere (studie-)trajecten, waarin ook de raakvlakken met de morfologie worden beschouwd (RHDHV, 2021; Van Breukelen et al, 2021).

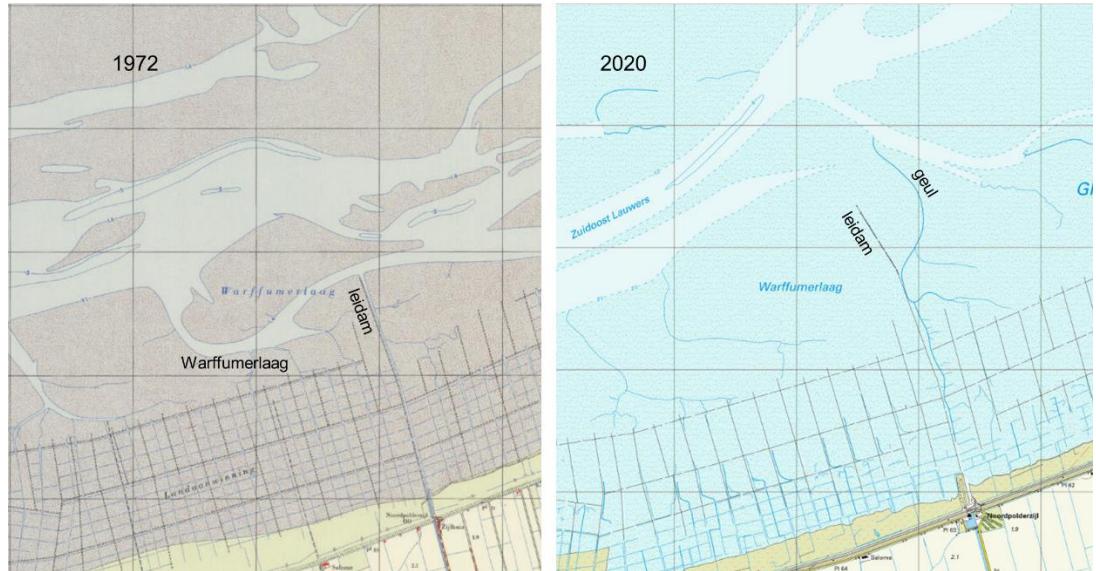
### 9.3 Toegang Noordpolderzijl

Het haventje van Noordpolderzijl is het enige haventje in het studiegebied. Het aantal schepen dat het haventje aandoet is (zeer) beperkt en dat heeft enerzijds te maken met de bereikbaarheid van het kombergingsgebied van de Lauwers en anderzijds met de bereikbaarheid van dit haventje. Het kombergingsgebied van de Lauwers is alleen bereikbaar door het oversteken van wantijen, of vanaf de Noordzee via het zeegat. En eenmaal daar zijn er geen alternatieve havens. Dat beperkt het aanbod tot ervaren wadvaarders. De laatste drie kilometer naar het haventje gaat door een smalle en ondiepe geul. Van jaar op jaar varieert de diepte en de exacte locatie van deze geul. De diepte is medeafhankelijk van wanneer er is gebaggerd. In het algemeen is de haven alleen bereikbaar tijdens hoogwater voor schepen die niet al te diep steken.

De morfologische ontwikkelingen in de omgeving en van de vaargeul zijn bepalende factoren voor de geul. De geul ligt in een gebied waar sedimentatie heeft plaatsgevonden op de wadplaten en in de kwelders, zodat het kombergingsvolume van de geul is afgenomen. Het kombergingsvolume is de bepalende factor voor de omvang van geulen, zodat ook de eigenlijke omvang van de geul (zonder baggeren) is afgenomen. De grote en diepe geul Warffumerlaag, die vroeger aftakte van de Zuidoost Lauwers tot relatief dicht bij de vastelandskust, is verdwenen (zie Figuur 9.2). De afstand die door de verbindingegeul tussen

haven en de natuurlijke geul overbrugt dient te worden is daardoor toegenomen. En deze verbindingsgeul verplaatst zich en meandert, in plaats van de locatie langs de verlengde rijshouten dam vast te houden zoals beoogd. Door deze combinatie van factoren is de verbindingsgeul minder diep en langer dan vroeger.

Het baggeren van de toegangsgedul naar Noordpolderzijl is lastig, omdat de beperkte diepte van de geul betekent dat niet alle baggertechnieken kunnen worden ingezet. In praktijk is alleen agitatiebaggeren en ploegen uitvoerbaar. Voor het ondersteunen van het baggerproces wordt al enige jaren een verkenning uitgevoerd naar het realiseren van een spoelmeer (Heldens & Lankester, 2016).



Figuur 9.2 Situatie bij Noordpolderzijl volgens de topografische kaart in 1972 (links) en in 2020 (rechts) (bron: Topotijdreis.nl).

## 9.4 Vaargeul Eemshaven-Noordzee

De vaargeul naar de Eemshaven loopt via de Westereems, ruim ten noorden en oosten van het studiegebied. De Eemshaven is aangelegd in het begin van de jaren '70, daarvoor was sprake van een dijk met voorliggende wadplaat, zoals nu nog steeds wordt aangetroffen ten westen van de Eemshaven. In 2016 is gestart met het verruimen van de vaarweg naar de Eemshaven. Ook de scheepvaart naar de andere havens aan de Eems (Delfzijl en Emden) en aan de rivier de Eems maken gebruik van deze vaarweg.

Ondanks de grote afstand tussen de vaargeul en het studiegebied wordt kort stilgestaan bij het baggeronderhoud dat in deze vaargeul wordt uitgevoerd en de verspreiding van de baggerspecie die nabij het studiegebied in het Huibertgat plaatsvindt. Voor een beschouwing van de baggerwerkzaamheden in het gehele Eems-estuarium wordt verwezen naar Postma et al. (2020). Hier wordt gekeken naar de verspreidingshoeveelheden op verspreidingslocatie P3 in het Huibertgat, ten noorden van Rottumeroog. Op deze locatie is in de periode 2014-2018 gemiddeld 755.000 m<sup>3</sup> baggerspecie per jaar verspreid. In de periode 2019-voorjaar 2021 is gemiddeld 177.000 m<sup>3</sup> per jaar verspreid op locatie P3. Deze verspreidingshoeveelheden zijn niet heel omvangrijk ten opzichte van de sedimentatie en erosie die in deze omgeving plaatsvinden. Het is wel een gestage netto aanvoer van sediment naar het Huibertgat.



Figuur 9.3 Ligging van de baggervakken in het Huibertgat en de verspreidingslocaties P3 en P0 (uit Postma, 2020).

## 9.5 Zoetwateraanvoer

In de huidige situatie is langs de vastelandskust van Groningen één locatie waar zoet water de Waddenzee bereikt. Bij het Noordpolderzijl ligt een gemaal, dat zoetwater vanuit de achterliggende Noordpolder en Lauwerpolder naar de Waddenzee kan pompen. Voor 1982 was hier geen gemaal aanwezig, maar een schutsluis (ook wel “zijl” genoemd, dit verklaart de naam Noordpolderzijl). Het gemaal is voorzien van een installatie om vispassage mogelijk te maken. Vissoorten die van zout naar zoet en/of omgekeerd trekken, zoals paling en driedoornige stekelbaars, maken van de passage gebruik (Huisman, 2017).

In het niet zo verre verleden werd ook (zoet)afvalwater van de suikerbietenindustrie geloosd op de Waddenzee. Hiervoor is in de jaren '60 een persleiding van Hoogkerk naar de Waddenzee aangelegd. Deze persleiding mondt ongeveer drie kilometer ten westen van Noordpolderzijl uit op een wadplaat, in de buitenste bezinkvelden van de daar aanwezige kwelderwerken (Figuur 9.4). Essink (2005) geeft een helder overzicht van de reden voor de aanleg van deze persleiding, de maatschappelijk onrust en de monitoring van de gevolgen. Het afvalwater was zeer rijk aan organisch materiaal en (daardoor) zuurstofloos. De gevolgen van het lozen van dit water voor de wadplaten zijn uitgebreid gemonitord en hierover is in detail gerapporteerd. De gevolgen omvatten een toename van het organische stof gehalte en de slibpercentages van het sediment, sterfte van de aanwezige bodemfauna en een verandering van de samenstelling van de bodemfauna in een gebied van 15-20 ha. Al snel na ingebruikname verbeterde de kwaliteit van het geloosde water, zodat de gevolgen voor de Waddenzee afnamen. Het enige bedrijf dat nu nog gebruik maakt van de leiding is een zuivelfabriek in Bedum, dat gezuiverd afvalwater op de Waddenzee loost.



Figuur 9.4 Luchtfoto van de uitstroomopening van de persleiding Hoogkerk-Waddenzee in 2011 (bron: [www.topotijdreis.nl](http://www.topotijdreis.nl)).

## 9.6 Beheer Rottumeroog en Rottumerplaat

De beschrijving van het beheer is ontleend aan Van Rooijen & Oost (2014), Coumou & Cleveringa (2020) en de brochure 'De waarde van de natuurlijke Rottums' (Bergfield, 2019).

Tot de jaren '90 werden Rottumerplaat en Rottumeroog actief onderhouden, voornamelijk door het plaatsen van rijshoutschermen, het planten van helmgras en het plaatsen/onderhouden van betonnen en stenen kustverdediging op een aantal locaties. Bij de introductie van het dynamisch kustbeheer begin jaren '90 is voor de Rottums geen basiskustlijn en waterkering gedefinieerd en werd geen onderhoud meer gepleegd aan Rottumerplaat. Op Rottumeroog is tot 2002 nog beperkt onderhoud verricht in de vorm van het planten van helm en rijshout. De aanwezige bestorting en gobimatten zijn niet verwijderd. Zuiderduintjes is nooit onderhouden.

De beëindiging van het onderhoud heeft bij de omgeving vooral in de eerste jaren weerstand opgeroepen, onder andere bij de stichting Vrienden van Rottumeroog en Rottumerplaat en bij de (de voorganger van) gemeente Hoogeland. Men vreesde dat de eilanden zouden verdwijnen en dat daarmee de cultuurhistorische waarde verloren zou gaan. Ook werd gevreesd voor de kustveiligheid van het achterland. Maar de verwachtingen dat de eilanden zouden verdwijnen zijn tot op heden niet uitgekomen. Uiteindelijk is een goede samenwerking ontstaan met Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat met de zorg voor de Rottums als verbindende factor.

Rijkswaterstaat is de eigenaar van de Rottums en van de bebouwing op de eilanden. Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en de Waddenuit van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) werken nauw samen aan het beheer van de Rottums. Rijkswaterstaat is onder meer verantwoordelijk voor toezicht en handhaving, fysiek beheer, incidentenmanagement en ecologische karteringen van flora op de eilanden. De ecologie op de Rottums wordt intensief gemonitord. De vogelwachters van Staatsbosbeheer die van begin april tot eind juli op de Rottums aanwezig zijn monitoren hoofdzakelijk de aanwezige broed- en trekvogels, maar ook zeehonden, konijnen, insecten en flora.

## 10 Referenties

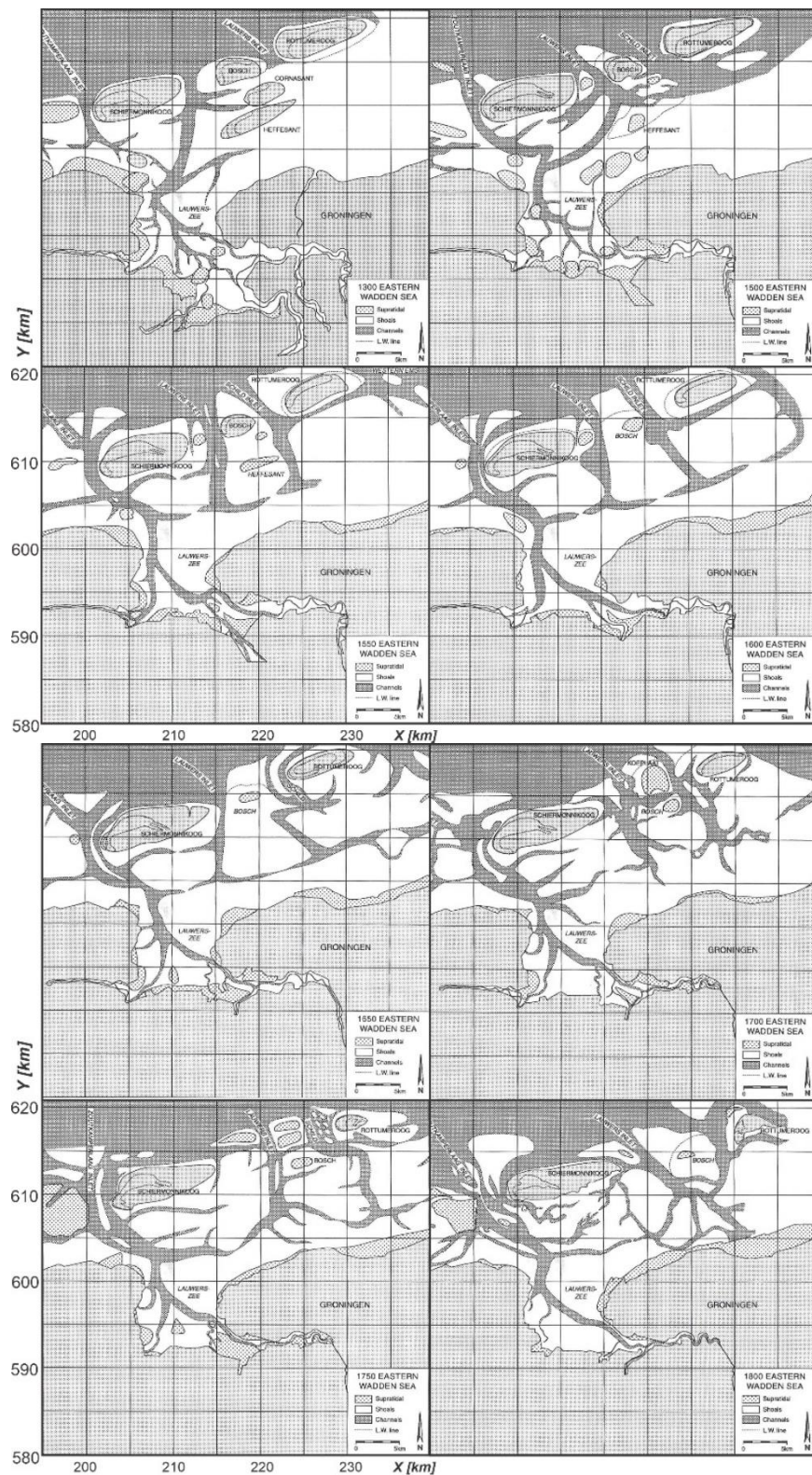
- Arcadis, 2013. Hydromorfologie Eems-Dollard Estuarium. Achtergrondstudie t.b.v. OTB MER Vaarweg Eemshaven. Rapport Arcadis, 077141772:D – Definitief, 168p.
- Baart, F., G. Rongen, M. Hijma, H. Kooi, R. de Winter & R. Nicolai, 2019. Zeespiegelmonitor 2018; De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Deltares. Rapport met kenmerk 11202193-000-ZKS-0004.
- Bergfield, A. 2019. 'De waarde van de natuurlijke Rottums' uit 2019.
- Brilhuis, R. en Bossinade, J.H., 1989. De morfologische ontwikkelingen van de eilanden Rottumeroog en -plaat mede in relatie tot het gevoerde beheer. Nota GRAN 1989-2013. Rijkswaterstaat directie Groningen, afdeling Advies en Onderzoek, Groningen, 31.p
- Cleveringa, J., 2008, Ontwikkeling sedimentvolume Eems-Dollard en het Groningerwad - Overzicht van de beschikbare kennis en gegevens, Alkyon, rapport A2269R1r3.
- Colina Alonso, A. 2020. Evolutie van het bodemslib in de Waddenzee; Data analyse. Deltares rapport met kenmerk 11205229-001-ZKS-0003.
- Coumou, L. & J. Cleveringa, 2020. Duindynamiek Waddeneilanden; Inventarisatie van voorbeelden. Programma naar een Rijke Waddenzee. Rapport.
- De Kleef, A.W., 1991. Inventarisatie meetgegevens Waddenzee, Rapport GEOPRO 1991.04 (IRO). Notitie AOFM-91 .10.010 (Rijkswaterstaat, DGW), Geografisch Instituut, Vakgroep Fysische Geografie, Rijksuniversiteit Utrecht.
- De Vos, D., 2010. Determination and visualization of the expected surface subsidence due to onshore gas production in the Netherlands. Internship report, TNO.
- Dijkema, K., A. Nicolai, J. de Vlas, C. Smit, H. Jongerius, H. Nauta, 2001, Van landaanwinning naar kwelderwerken, Rijkswaterstaat & Alterra rapport.
- Dillingh, D, 2013a. Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren. Rapport Deltares 1207509-000-ZKS-0010, Delft, 79p.
- Dillingh, D, 2013b .Veranderingen in gemiddelde zeeniveaus in de Nederlandse kustwateren. Rapport Deltares 1206182-000-ZKS-0003, Delft, 86p.
- Elias, E.P.L., Colina Alonso, A. en van Maren, B, 2021. Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Rapport 11203742-000, Deltares, Delft, 146 p.
- Elschot, K., Puijenbroek, M., Legendijk, G., van der Wal, J-T., & Sonneveld, C., 2020. Lange-termijnontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018). (WOt-technical report; No. 182), (Wageningen Marine Research rapport; No. C023/20). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Essink, K. 2005. Bodemfauna en beleid. Een overzicht van 35 jaar bodemfauna onderzoek en monitoring in Waddenzee en Noordzee. Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-2005.028
- Gerritsen, F., 1952. Historisch hydrografisch onderzoek Eems. Report. pp. 28. Hoorn, Rijkswaterstaat.
- Heldens, R. & J. Lankester, 2016. Noordpolderzijl; Verkenning duurzame bereikbaarheid haven met kansen voor de regio. Rapport Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Heldens, R. & J. Lankester, 2016. Noordpolderzijl; Verkenning duurzame bereikbaarheid haven met kansen voor de regio. Rapport Programma naar een Rijke Waddenzee.



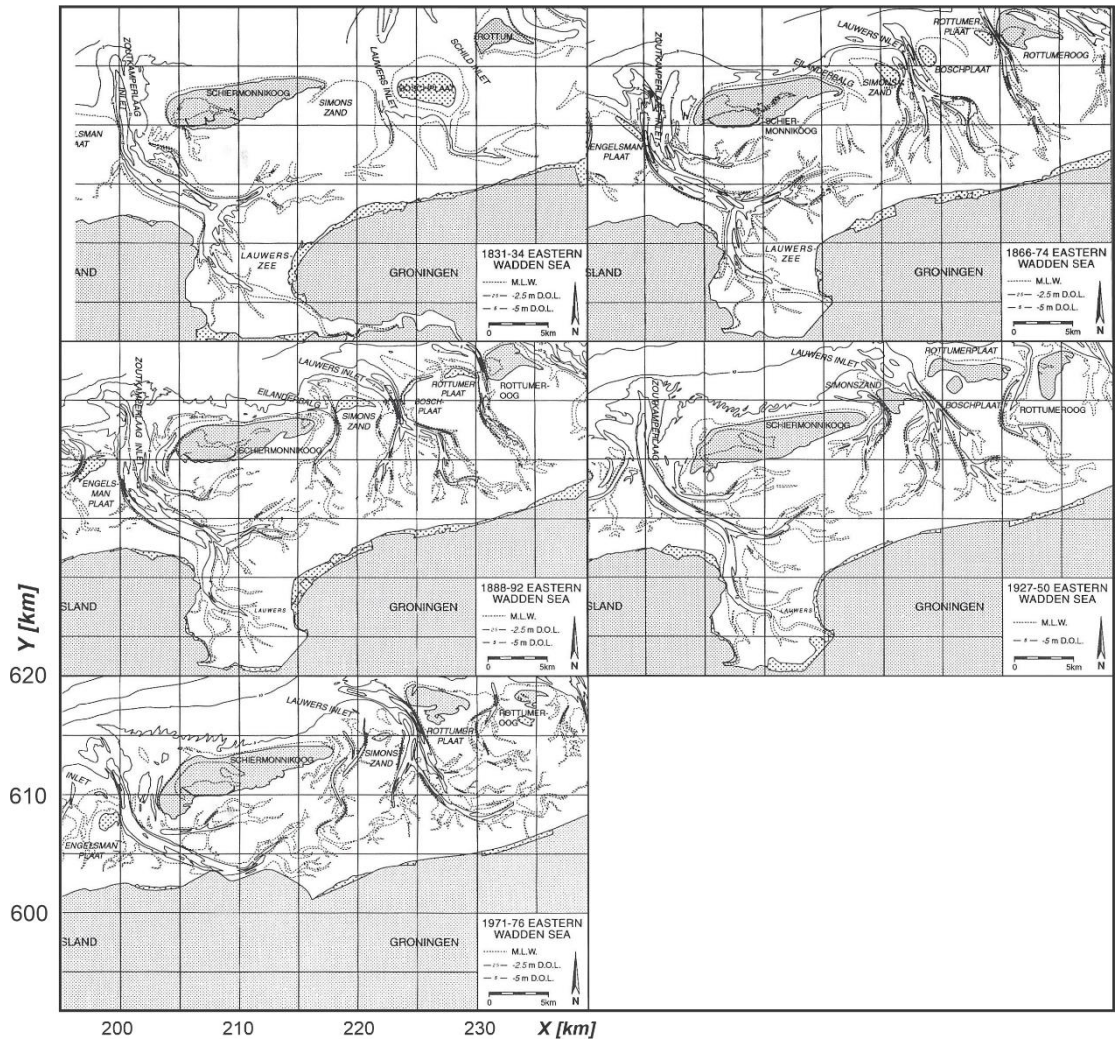
- Huisman, J.B.J., 2017. Vissen zwemmen heen en weer; Werking vispassages en bepalen vismigratieroutes - Ruim Baan voor Vissen 2014 – 2016. Rapport Van Hall Larenstein.
- Huizing, J.J., 1993. De dynamiek van het waddengebied bij Rottumeroog: een inventariserend onderzoek naar mogelijke beheersmaatregelen tot verlenging van de levensduur van het eiland. Nota GRAN 1992-2002, Rijkswaterstaat Directie Noord Nederland, 56 p.
- Jager, T.D. (2006). Vegetatiekartering Schiermonnikoog, 2004. Rijkswaterstaat - AGI, Delft. Rapportnummer: AGI-2006-GSMH-015.
- Kers, A.S., Van Wijnen, H.J. & G. Walrecht, 1998. Kleidikte, opslibbing en vegetatie Oosterkwelder Schiermonnikoog. Laboratorium voor Plantenoecologie, RU Groningen, 36 p. + 14 bijlagen.
- Meijer, J., G. Vriens & E.J. Lammerts, 2016. Natura 2000-beheerplan Schiermonnikoog (6). Status Definitief beheerplan. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en Staatsbosbeheer.
- NAM, 2021. Reservoir Pressure and Subsidence Groningen Field update for Production Profile GTS - raming 2021. Appendix A bij *Operationele Strategie voor het Gasjaar 2021-2022*.
- Oost, A.P., 1995. Dynamics and Sedimentary Development of the Dutch Wadden Sea with Emphasis on the Frisian Inlet. A Study of Barrier Islands, Ebb-Tidal Deltas, Inlets and Drainage Basins. *Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen 126*, Utrecht University (Utrecht): 454 pp.
- Oost, A. en Cleveringa, J., 2017. Morfologie Kombergingsgebied Borndiep. KPP 2017 BO03 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Rapport 1200521-000, Deltares, Delft, 138 p.
- Oost, A, Cleveringa, J., Taal, M., 2019. Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie. Beheerbibliotheek Waddenzee, versie 2019. Rapport 11203669-000-ZKS-0006, Deltares, Delft, 104 p.
- Oost, A, Cleveringa, J., Taal, M., 2020. Kombergingsrapport Friesche Zeegat, Pinkegat en Zoutkamperlaag. Rapport 11205229-001-ZKS-0002, Deltares, Delft, 131 p.
- Postma, R. (redactie) & W. Iedema, C. Schmidt, H. Mulder (Rijkswaterstaat), K. van Es, M. Onwezen, A. Brenninkmeijer, F. Haarman. 2020. ED2050 Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050; De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2019. Brochure Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050 (ED2050).
- RHDHV 2021. Rapportage Onderzoek Innovatie Doorkruising Waddengebied. Royal Haskoning DHV, Rapport T&PBH9744R001F01 , 144 p.
- Rijkswaterstaat, 2016. Natura 2000-beheerplan Waddenzee; Periode 2016-2022.
- Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer (2019). De waarde van de natuurlijke Rottums, Brochure Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer, 17 pag.
- RIKZ, 1998. Sedimentatlas Waddenzee (CD-Rom). Rijksinstituut voor Kust en Zee
- Roeleveld, W. 1974. The Groningen Coastal Area: A study in Holocene geology and lowland physical geography. Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek Vol 24.
- de Smet, L.A.H., 1964. De vorming van de kust van Groningen in verband met de geologisch-bodemkundige opbouw', in: Groningse Volksalmanak, p.157-166

- Van Breukelen, A.T.W., van Druten, E., de Wit, L. 2021. Verkenning Aanlanding Windenergie op Zee 2030. Effectanalyse extra windenergie op zee voor 2030. Rapport 124603, Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V., 379 p..
- Van Kleef, A.W. Inventarisatie meetgegevens Waddenzee. Rapport GEOPRO 1991.o4 (IRO). Geografisch Instituut, Vakgroep Fysische Geografie, Universiteit Utrecht, 208 p.
- Van Rooijen, A.A. & A.P. Oost, 2014. Memo morfologische veranderingen Rottumeroog en Rottumerplaat; Voor de periode 1983-2014. Notitie Deltares met kenmerk 1209381-008.
- Van Veen, J. 1950. De Fivel en hare verzanding; Bewerkt uit nagelaten aantekeningen van P.M. Bos. Brill, Leiden, 1930.
- Vos, P.C., Knol, E., 2015. Holocene landscape reconstruction of the Wadden Sea area between Marsdiep and Weser. Explanation of the coastal evolution and visualization of landscape development of the northern Netherlands and Niedersachsen in five palaeogeographical maps from 500 BC to present. Neth. J. Geosci. 94-2, 157–183.

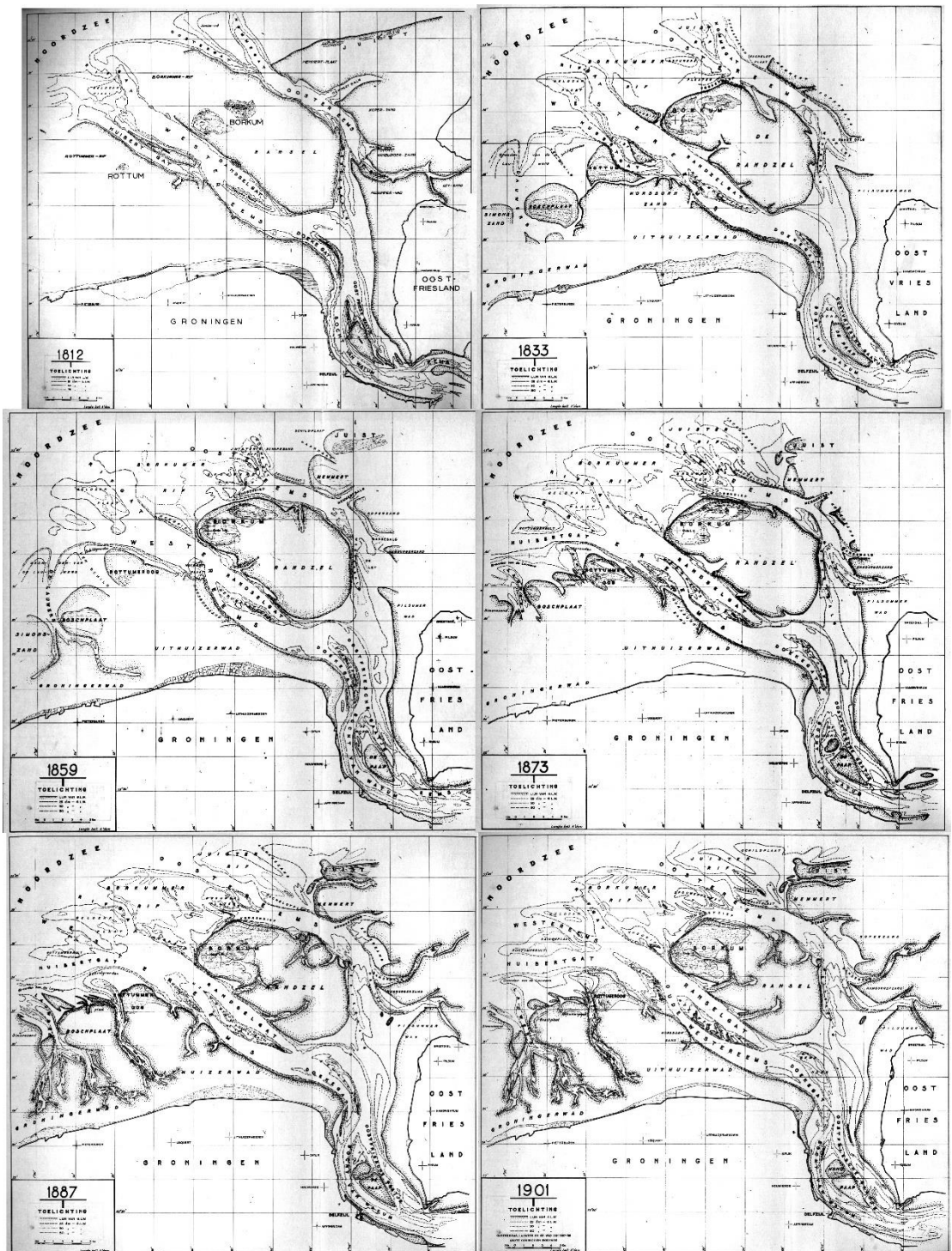
# A Historische reconstructies



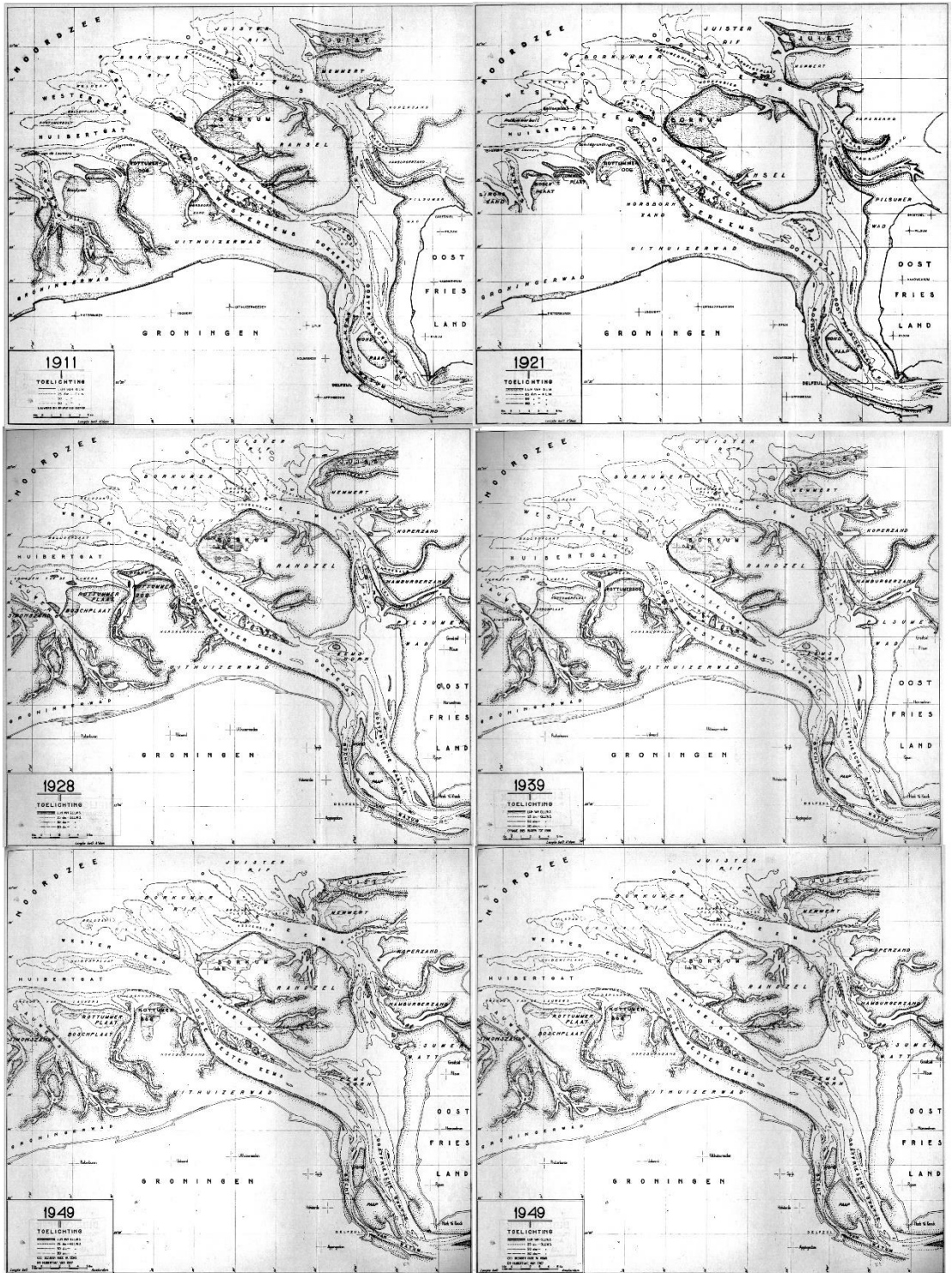
Figur A- 1: Reconstructies van de oostelijke Waddenzee tussen 1300 en 1800. Bron: Oost (1995).



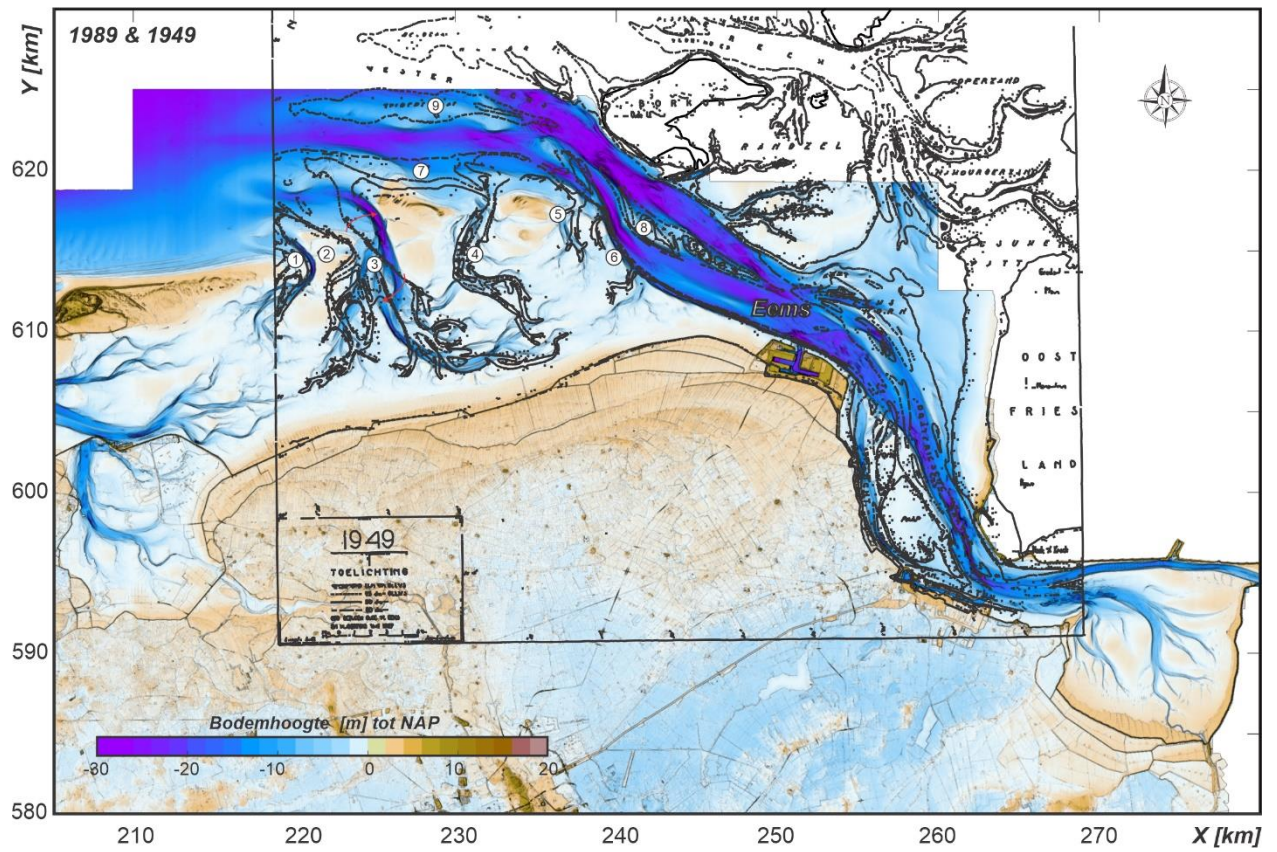
Figuur A-2: Reconstructies van de oostelijke Waddenzee tussen 1831 en 1976. Bron: Oost (1995).



Figuur A- 3: Hydrografische kaarten over de periode 1812 – 1901

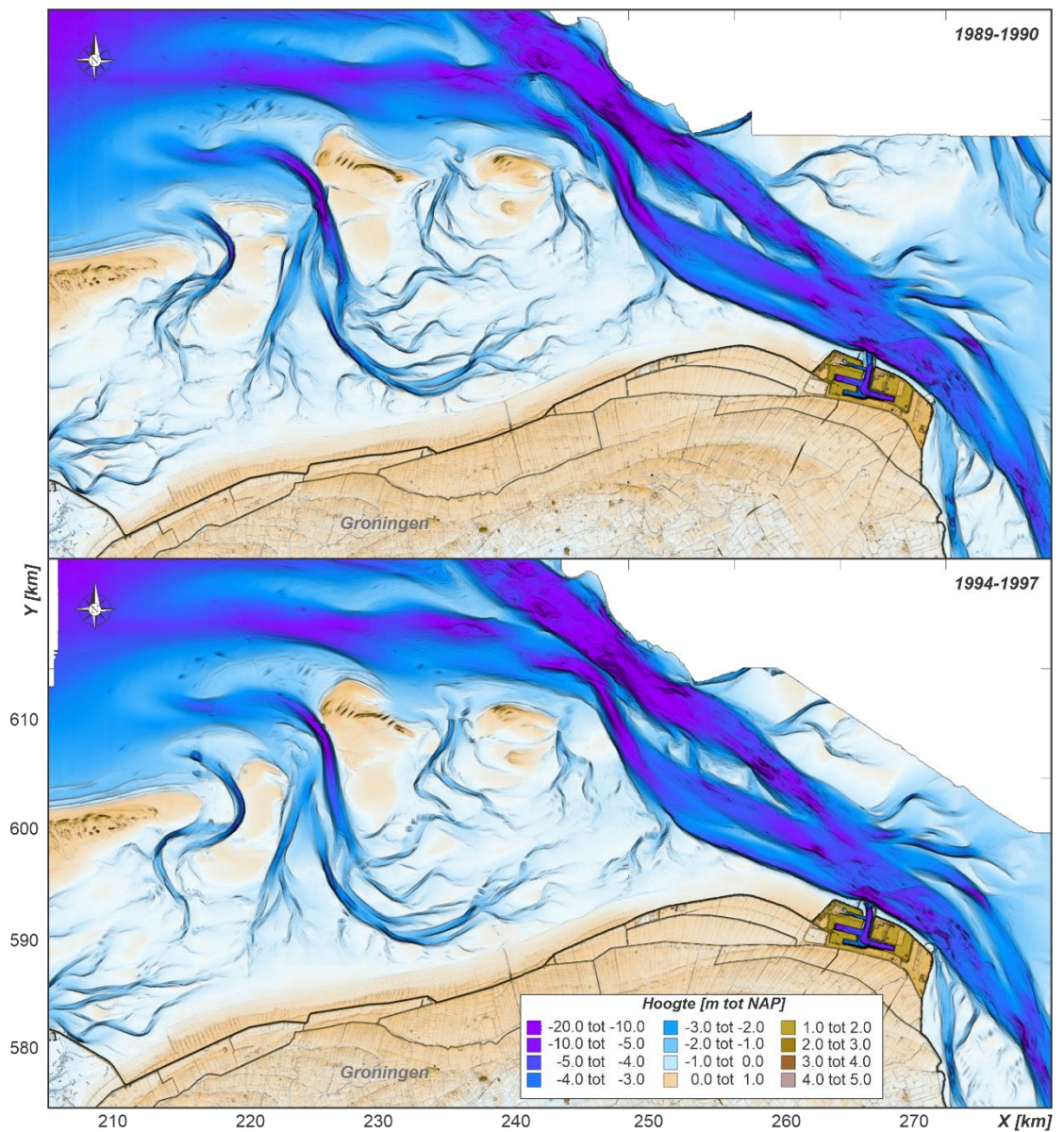


Figuur A- 4: Hydrografische kaarten over de periode 1911 – 1949



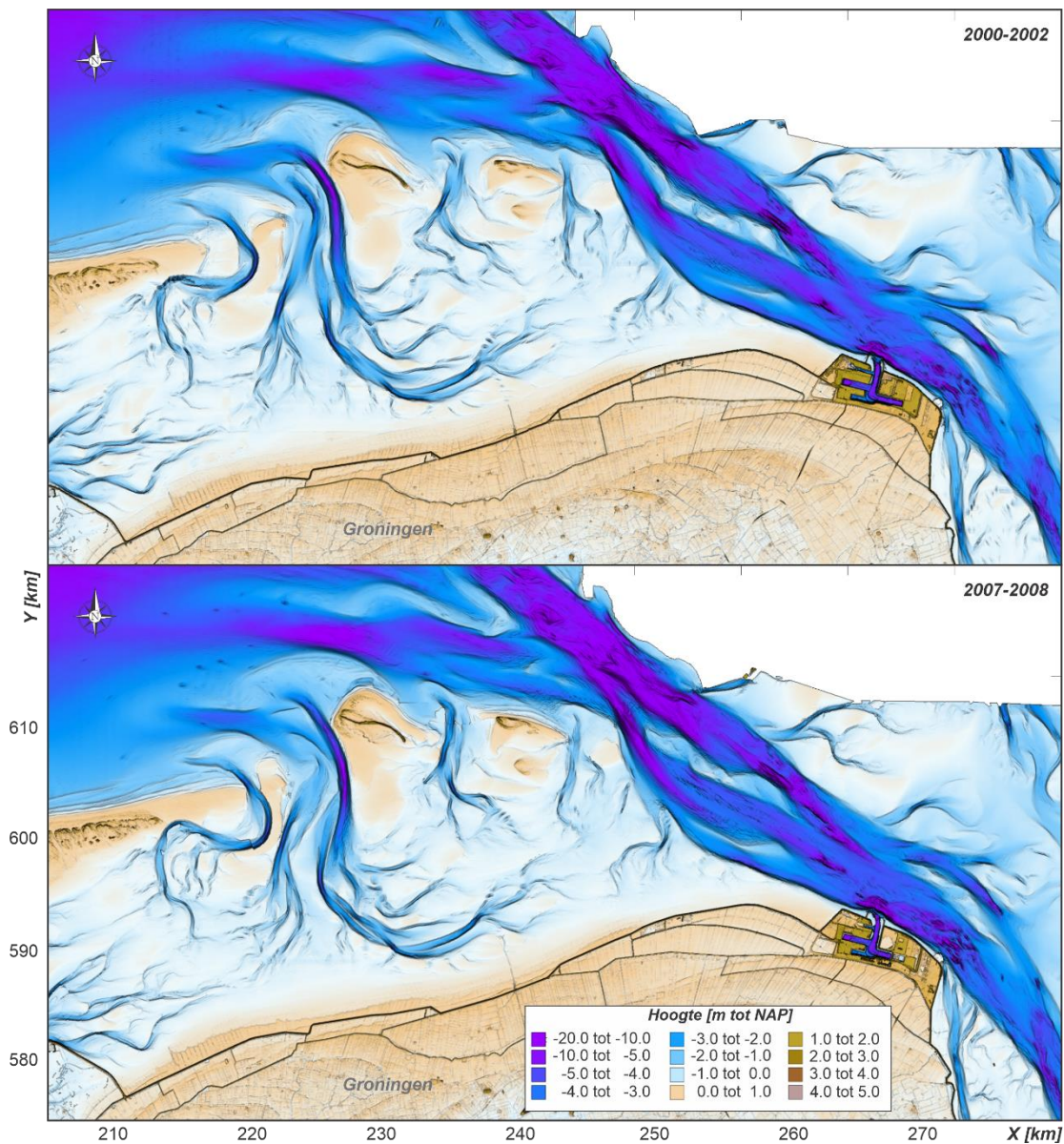
Figuur A- 5: Een projectie van de 1949 bodemkaart (onder) op de 1989 Vakkling.

## B Kaarten

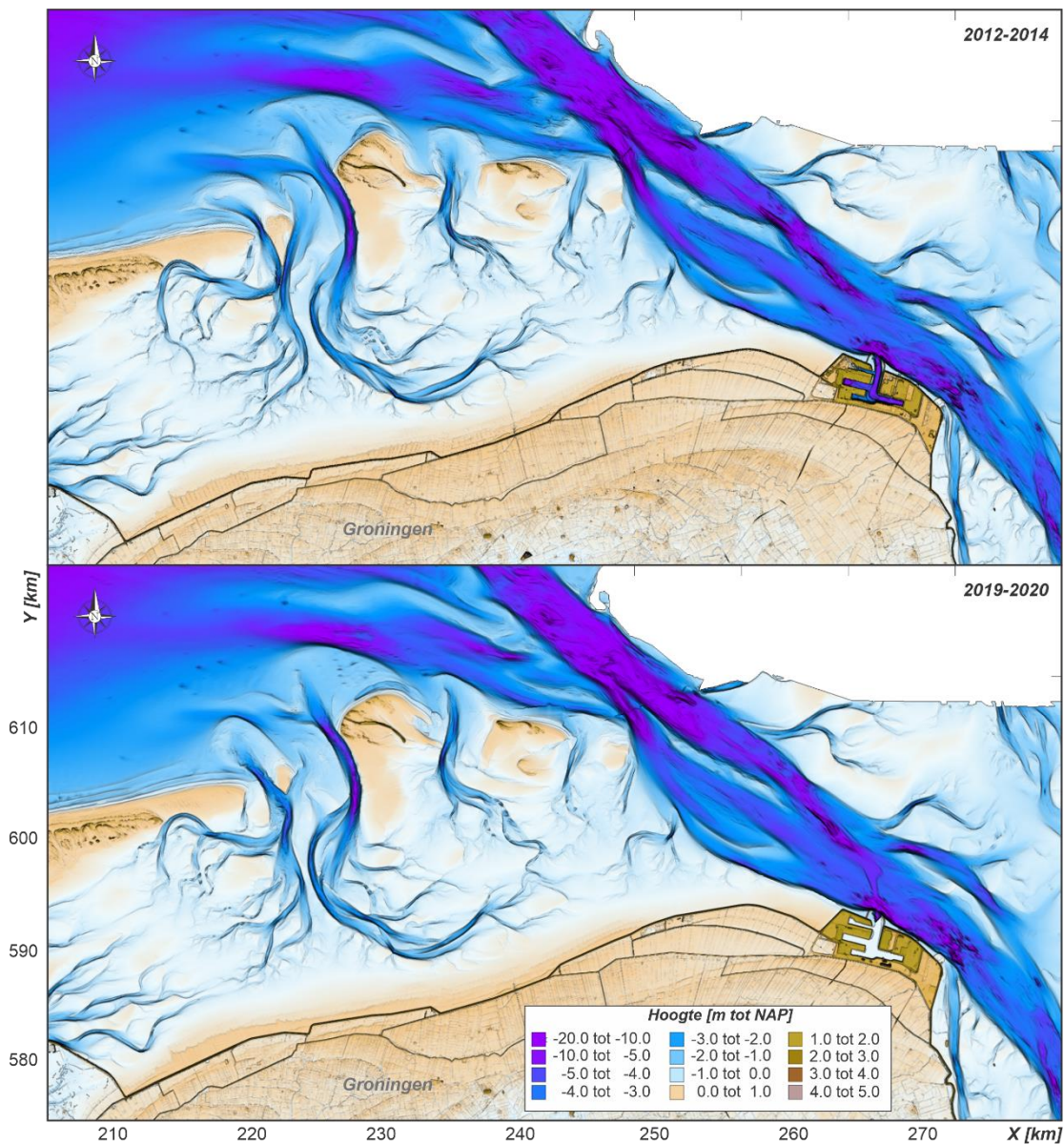


Figuur B- 1: Bodemhoogtekaarten voor de periode 1989-1990 (boven) en 1994-1997 (onder).



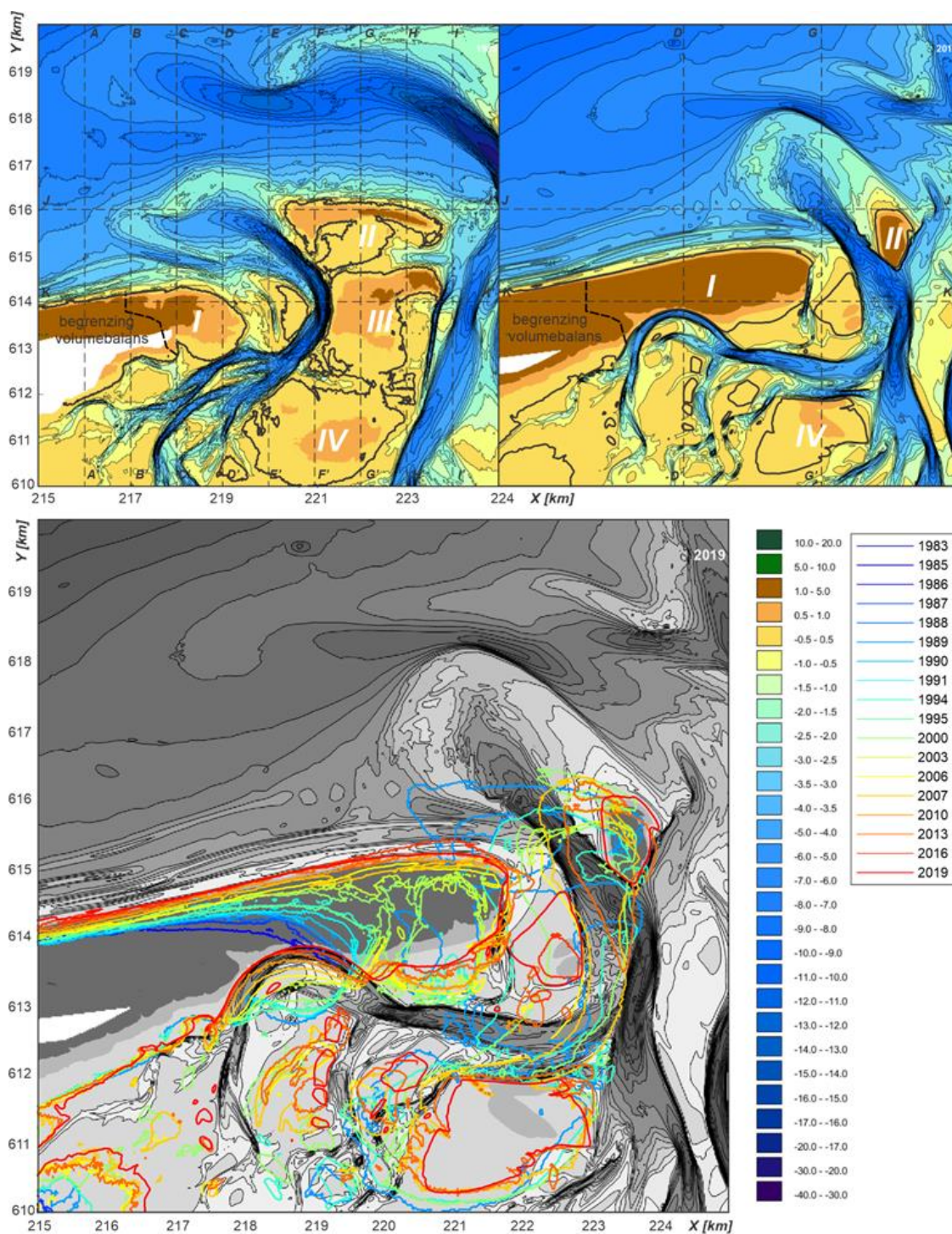


Figuur B- 2: Bodemhoogtekaarten voor de periode 2000-2002 (boven) en 2007-2008 (onder).

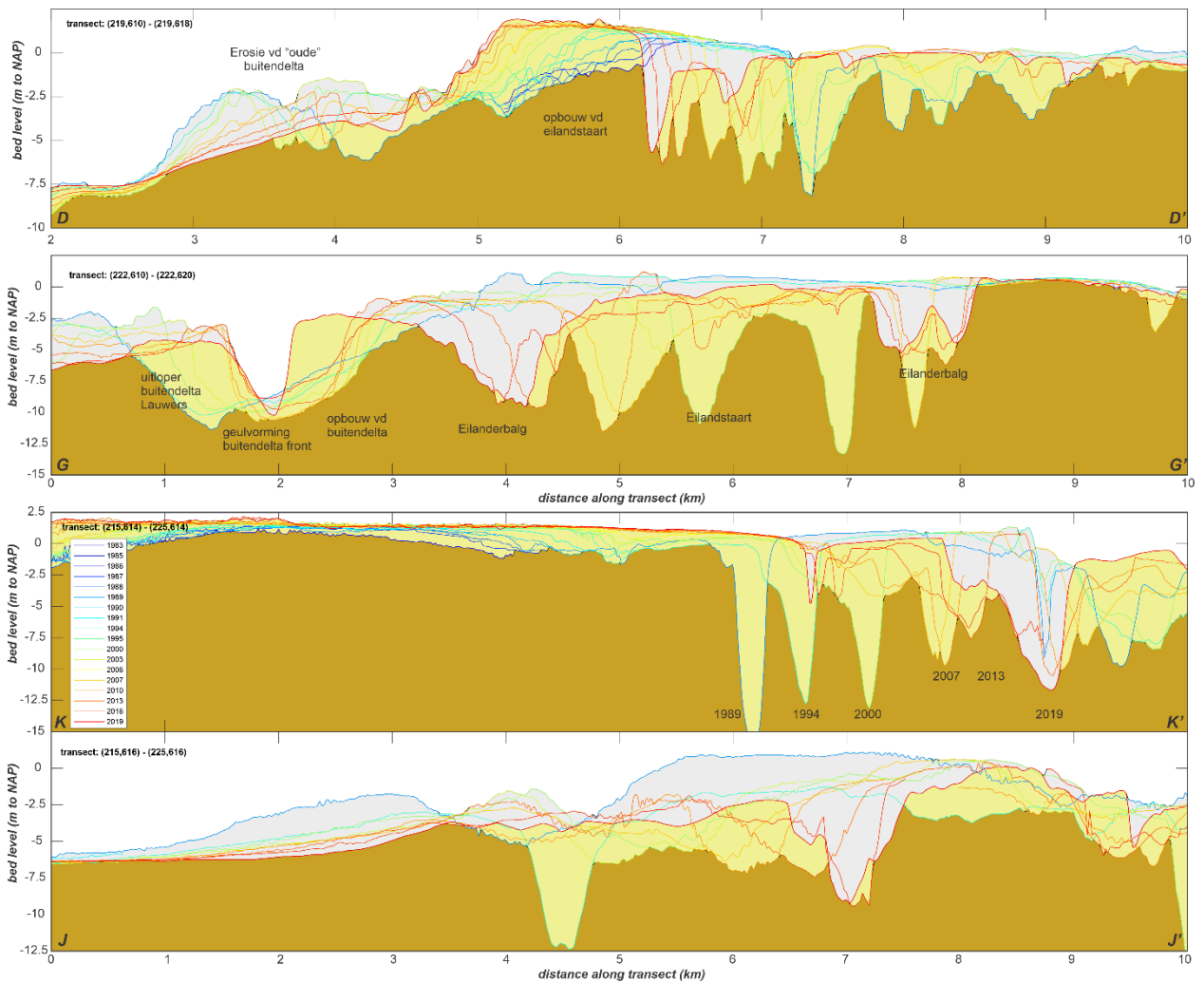


Figuur B- 3: Bodemhoogtekaarten voor de periode 2012-2014 (boven) en 2019-2020 (onder).

## C Detailkaarten zeegaten en Rottums

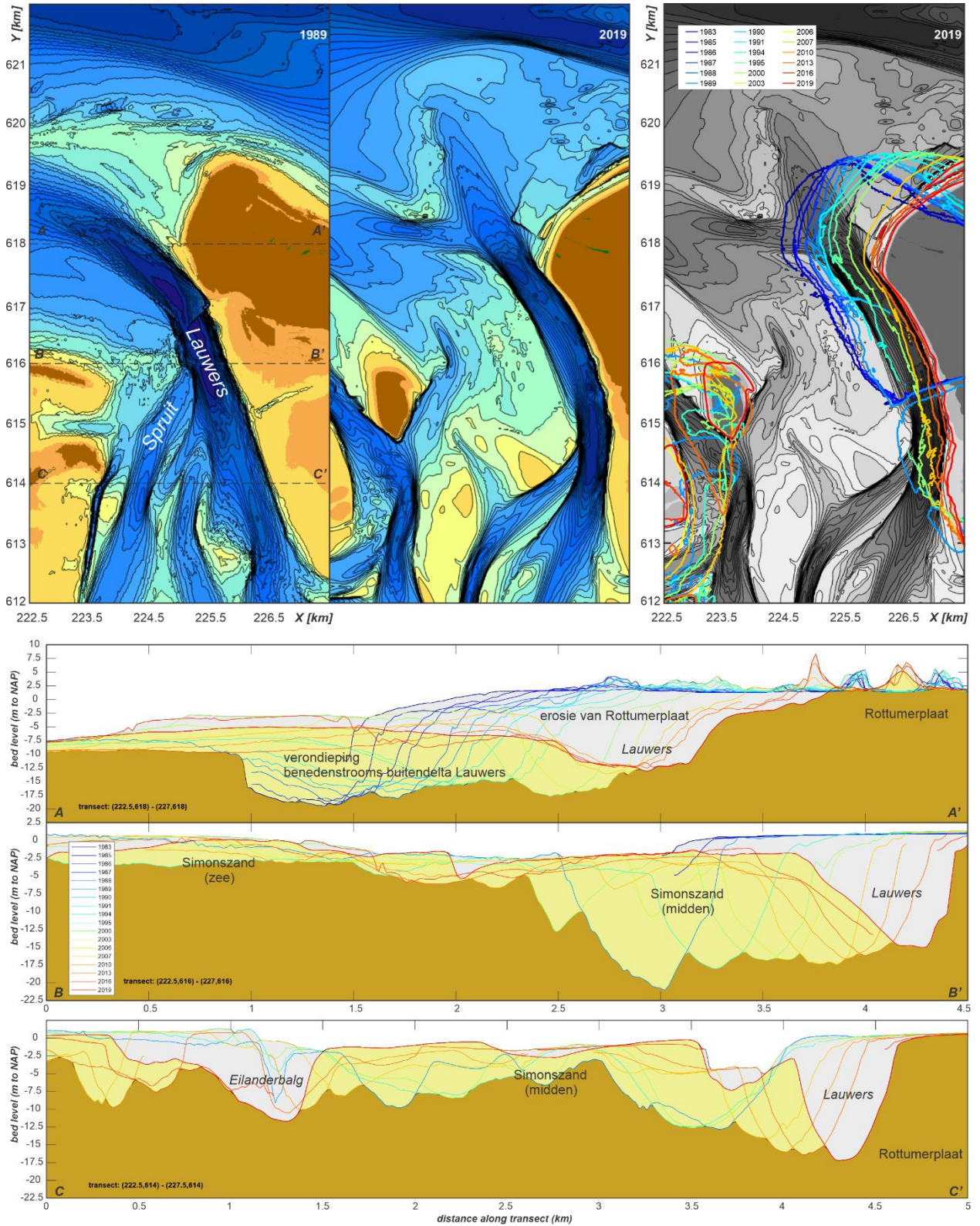


Figuur C- 1: Een detailoverzicht van de hoogteligging van de eilandstaart van Schiermonnikoog in 1985 en 2019 en (onder) de verplaatsing van de 0m NAP contourlijnen. De polygonen I-IV geven de begrenzingen van de volumebalans aan.

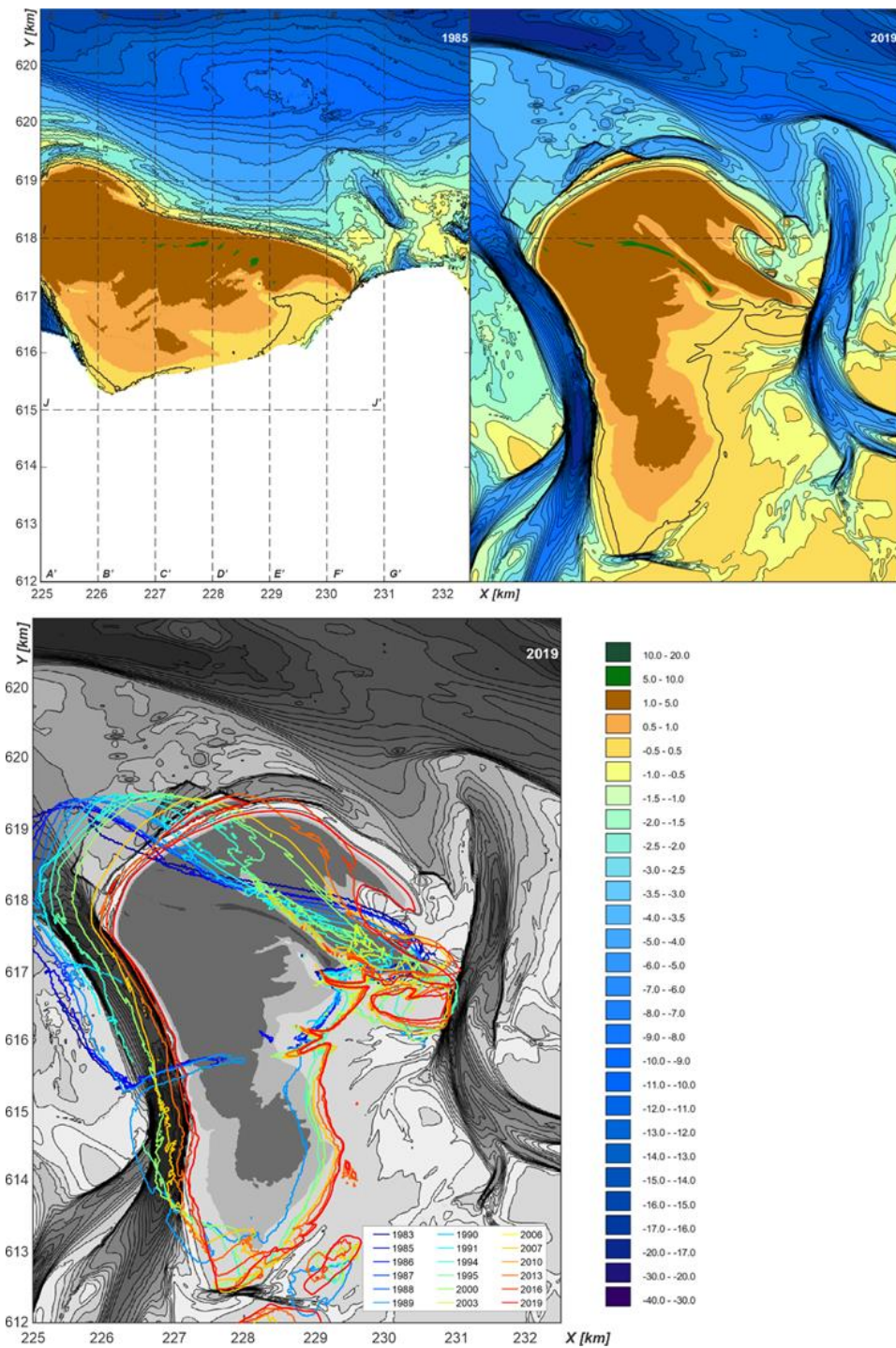


Figuur C-2: Ontwikkeling van dwarsprofielen D-D' en G-G' en langsprofielen K-K' en J-J'. Zie Figuur 7.5 voor de ligging van de raaien. In Appendix C.1.2 worden aanvullende langs- en dwarsprofielen getoond.

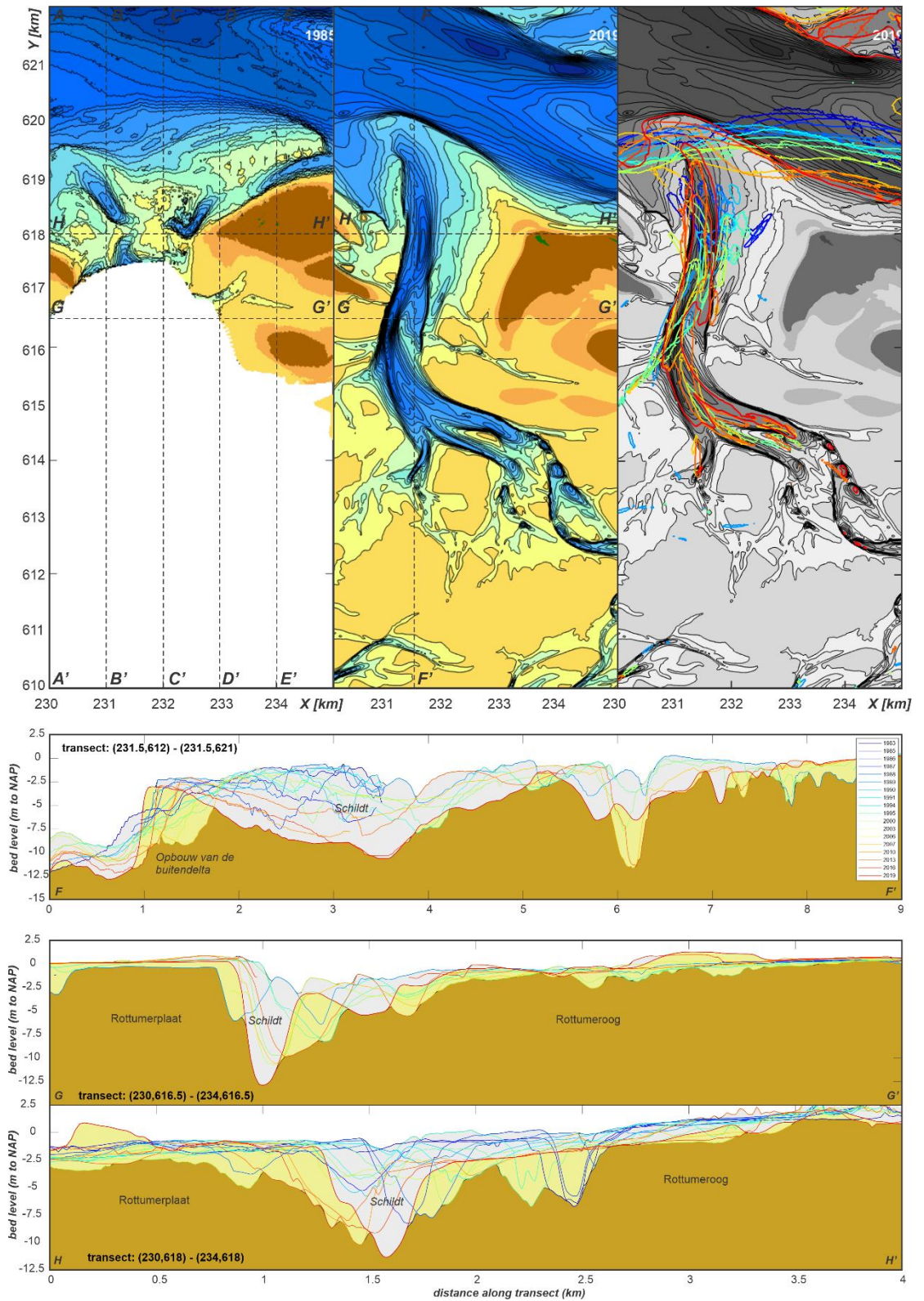
Let op dat de minimum bodemligging hier misleidend kan zijn. De sprongen in geulligging (raai K-K') zijn het resultaat van het interval tussen de metingen (niet alle metingen zijn hier dekkend). In werkelijkheid is de geulverplaatsing een continu proces en zou het gehele vak tussen 1989 en 2019 licht geel gekleurd moeten zijn.



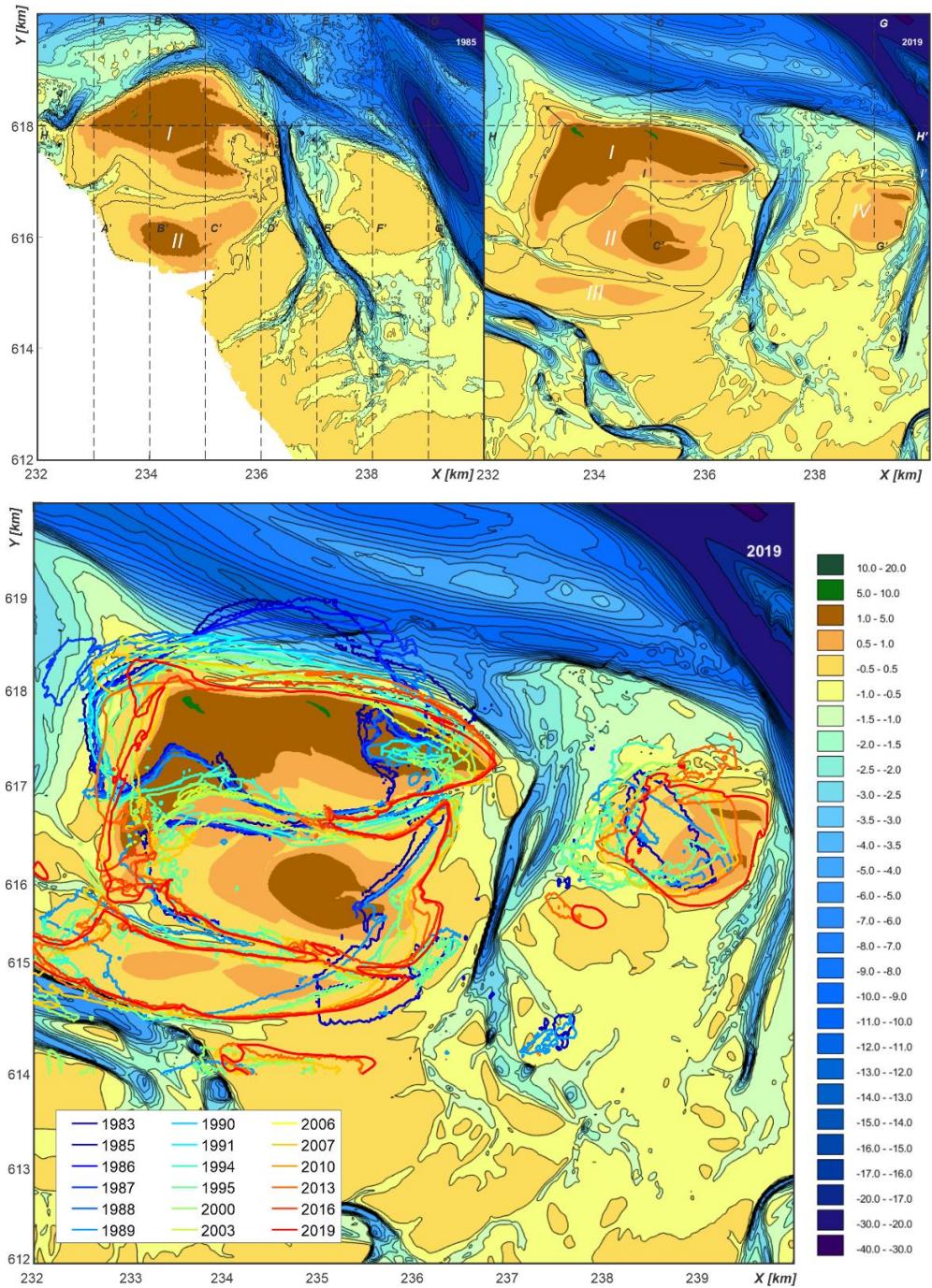
Figuur C- 3: (boven): Een detailoverzicht van de hoogteligging van de Lauwers in 1985 en 2019 en de verplaatsing van de 0m contourlijn. Onder: bodemontwikkeling in geselecteerde langsdorsneden.



Figuur C- 4: (boven): Een detailoverzicht van de hoogteligging van Rottumerog in 1985 en 2019. Onder: verplaatsing van de 0 m contourlijn. Zie Appendix C.4 voor aanvullende bodemkaarten.



Figuur C- 5: Een detailoverzicht van de hoogteligging van Schild in 1985 en 2019.



Figuur C- 6: (boven): Ontwikkeling van Rottumerog tussen 1985 en 2019. Onder: verplaatsing van de 0 m contour over de periode 1983-2019. Volumes en oppervlakten zijn bepaald voor polygoenen I – IV.



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)