

Kombergingsrapport Friesche Zeegat

Pinkegat en Zoutkamperlaag

Titel

Kombergingsrapport Friesche Zeegat

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving,
UTRECHT

Kenmerk

11203683-001-ZKS-0003

Pagina's

76

Trefwoorden

Waddenzee, morfologie, Friesche Zeegat, Pinkegat, Zoutkamperlaag, kombergingsgebied rapportage, beheerbibliotheek.

Samenvatting

Dit rapport geeft een overzicht van de actuele kennis van de morfologie van de3 kombergingsgebieden van het Friesche Zeegat, te weten Pinkegat en Zoutkamperlaag, en een overzicht van de beheer- en beleidsvraagstukken, en is onderdeel van de 'beheerbibliotheek' van de kombergingsgebieden van de Waddenzee.

Referenties

KPP 2019 BO02 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	sep. 2019	Oost, A. P. & Cleveringa, J.		Taal, M.			

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1	Inleiding	8
1.1	Kennisbasis morfologie Waddenzee	8
1.2	Doelen kombergingsrapport / beheerbibliotheek	8
1.3	Benaming	9
1.4	Leeswijzer	9
2	Grootschalige kenmerken en ontwikkelingen	11
2.1	Friesche Zeegat is een samengesteld zeegat	11
2.2	Grootschalige fysische kenmerken van het kombergingsgebied Pinkegat	12
2.2.1	Ontwikkelingsgeschiedenis	12
2.2.2	Cyclisch gedrag	13
2.3	Grootschalige kenmerken van het kombergingsgebied Zoutkamperlaag	15
2.3.1	Ontwikkelingsgeschiedenis	15
2.3.2	Cyclisch gedrag tot 1969	16
2.3.3	Evolutie na 1969	17
2.4	Verschillen Pinkegat en Zoutkamperlaag: vorm en oriëntatie	19
2.5	Relatieve en absolute omvang van de wadplaten	19
2.6	Ontwikkelingen in de sedimentbalans	20
3	Hydrodynamica	23
3.1	Zeespiegelkarakteristieken	23
3.2	Getij	23
3.3	Golven en stormvloedstanden	26
3.4	Aanvoer van zoetwater	26
4	Getijdegeulen	29
4.1	Geulomvang	29
4.2	Zeegaten, de grote en diepe geulen tussen de eilanden	32
4.3	Geulbochten en stabiele geulen	33
4.4	Eb- en vloedscharen	35
4.5	Geulontwikkeling bij een dijk: Vierhuizergat en Oort	36
4.6	De recht-doorgaande geulen van het Pinkegat	39
4.7	Overname geulen	40
5	Inter- en supragetijde wadplaten	43
5.1	Kenmerken, gebruiksfuncties en belangrijkste gebieden	43
5.2	Het Pinkewad	43
5.3	Het Friesche Wad	45
5.4	Het Wierumerwad	46
5.5	Het Rif en Engelsmanplaat	47
5.6	Oude Wal-Rif-Reede	48
5.7	Roode Hoofd-Brakzand	49
5.8	Lutjewad en wantij Zoutkamperlaag-Lauwers	51
6	Kwelders	56

6.1	Inleiding	56
6.2	Kwelders van het Pinkegat	57
6.2.1	Eilandkwelders Ameland – De Hon en Neerlands Reid	57
6.2.2	Kwelders vasteland	61
6.3	Kwelders van Zoutkamperlaag	63
6.3.1	Kwelders en groene stranden Zoutkamperlaag, Schiermonnikoog	63
6.3.2	Kwelders Zoutkamperlaag, vasteland	68
7	Relatie morfologie en gebruiksfuncties	71
7.1	Inleiding	71
7.2	Veiligheid tegen overstromingen	71
7.2.1	Beleid en beheer	71
7.2.2	De rol van morfologische veranderingen op de waterveiligheid	72
7.3	Bereikbaarheid: vaarwegen en havens	73
7.4	Natuur	75
7.5	Gaswinning	76
7.6	Overige gebruiksfuncties	76
8	Referenties	79
	Bijlage A: Kaarten	1

Samenvattende beschouwing

Volgt nog

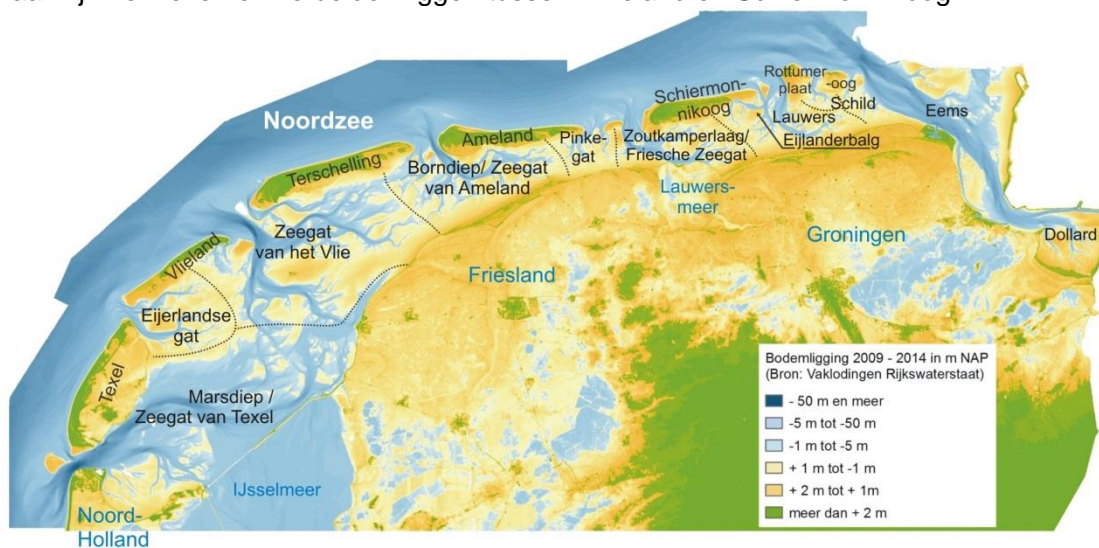
1 Inleiding

1.1 Kennisbasis morfologie Waddenzee

Rijkswaterstaat wil de morfologische kennisbasis voor het beleid en beheer op orde brengen en onderhouden. Hiervoor is een onderzoekssamenwerking met Deltares ontwikkeld via het zogenaamde Kennisprogramma voor Primaire Processen. In het onderzoeksprogramma 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 kombergingsrapport / beheerbibliotheek

Voorliggend rapport is het derde 'kombergingsrapport' van de Nederlandse Waddenzee en behandelt de kombergingsgebieden van het Friesche Zeegat: Pinkegat en Zoutkamperlaag. Deze worden samen beschreven omdat de morfologische ontwikkelingen ervan zeer met elkaar zijn verweven en ze beiden liggen tussen Ameland en Schiermonnikoog.



Figuur 1-1 De Waddenzee en haar kombergingsgebieden.

Een kombergingsrapport heeft twee functies:

- Het verzamelt de kennis van de morfologie 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.
- Het is een inleiding en naslagwerk voor de beheerders van de Waddenzee. Het sluit daarin aan bij het maken en onderhouden van beheerbibliotheken¹.

Het doel is om voor alle kombergingsgebieden (Figuur 1-1 laat ze allen zien) van de Waddenzee dergelijke rapporten te maken en deze periodiek bij te werken om voldoende up-

¹ 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 beheerders. Het rapport is ook bruikbaar voor beleidsmakers, wetenschappers, gebruikers en andere geïnteresseerden.

to-date kennis en informatie te leveren. Een mogelijke frequentie is zes jaar, gelijk aan het tempo van beschikbaar komen van vaklodgingen. Bij het beschikbaar komen van doorslaggevende nieuwe inzichten kan van deze frequentie worden afgeweken.

1.3 Benaming

Er zijn voor zowel het Pinkegat als de Zoutkamperlaag verschillende benamingen in omloop. Het Pinkegat wordt ook wel aangegeven met de naam Holwerderbalg, maar dit wordt meer en meer gebruikt voor de geulen binnengaats. De Zoutkamperlaag wordt soms ook Friesche Zeegat genoemd. Uit de beschikbare hydrografische kaarten van de Marine uit de 19^e eeuw blijkt dat dit de overkoepelende naam was voor Pinkegat en Zoutkamperlaag samen. Het Friesche Zeegat ligt tussen de eilanden Ameland en Schiermonnikoog en was de ingang naar de havens in Dokkum en Groningen. Een enkele keer wordt de naam Scholbalg nog wel eens gebruikt voor de Zoutkamperlaag. Deze naam gaat terug op de middeleeuwse situatie waarin de Zoutkamperlaag hoogstwaarschijnlijk nog geen connectie had met de Lauwerszee en doodliep in het Waddengebied.

Om verwarring te voorkomen spreekt dit rapport steeds over 'kombergingsgebied Pinkegat' en 'kombergingsgebied Zoutkamperlaag'. Voor de hoofdgeulen zal kortweg Pinkegat en Zoutkamperlaag worden gebruikt. Alleen wanneer specifiek de opening / geul tussen twee eilandkoppen wordt bedoeld spreekt dit rapport van het 'zeegat' (van het Pinkegat of de Zoutkamperlaag).

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als een naslagwerk opgezet. Na een hoofdstuk over de grootschalige ontwikkelingen (hoofdstuk 2) en de hydrodynamica (hoofdstuk 3) volgen nog drie inhoudelijke hoofdstukken, elk gewijd aan een van de belangrijkste morfologische eenheden op mesoschaal:

- Getijdegeulen, vertakkend van groot (bij het zeegat) naar klein (hoofdstuk 4);
- Intergetijdeplaten, ook wel wadplaten (hoofdstuk 5);
- Kwelders, bij het vasteland en onder de eilanden (hoofdstuk 6);

Hoofdstuk 7 bevat vervolgens de synthese naar gebruiksfuncties en zoomt in op locaties waar de mesoschaal morfologie het gebruik beïnvloedt en er belangrijke beheervragen zijn.

2 Grootschalige kenmerken en ontwikkelingen

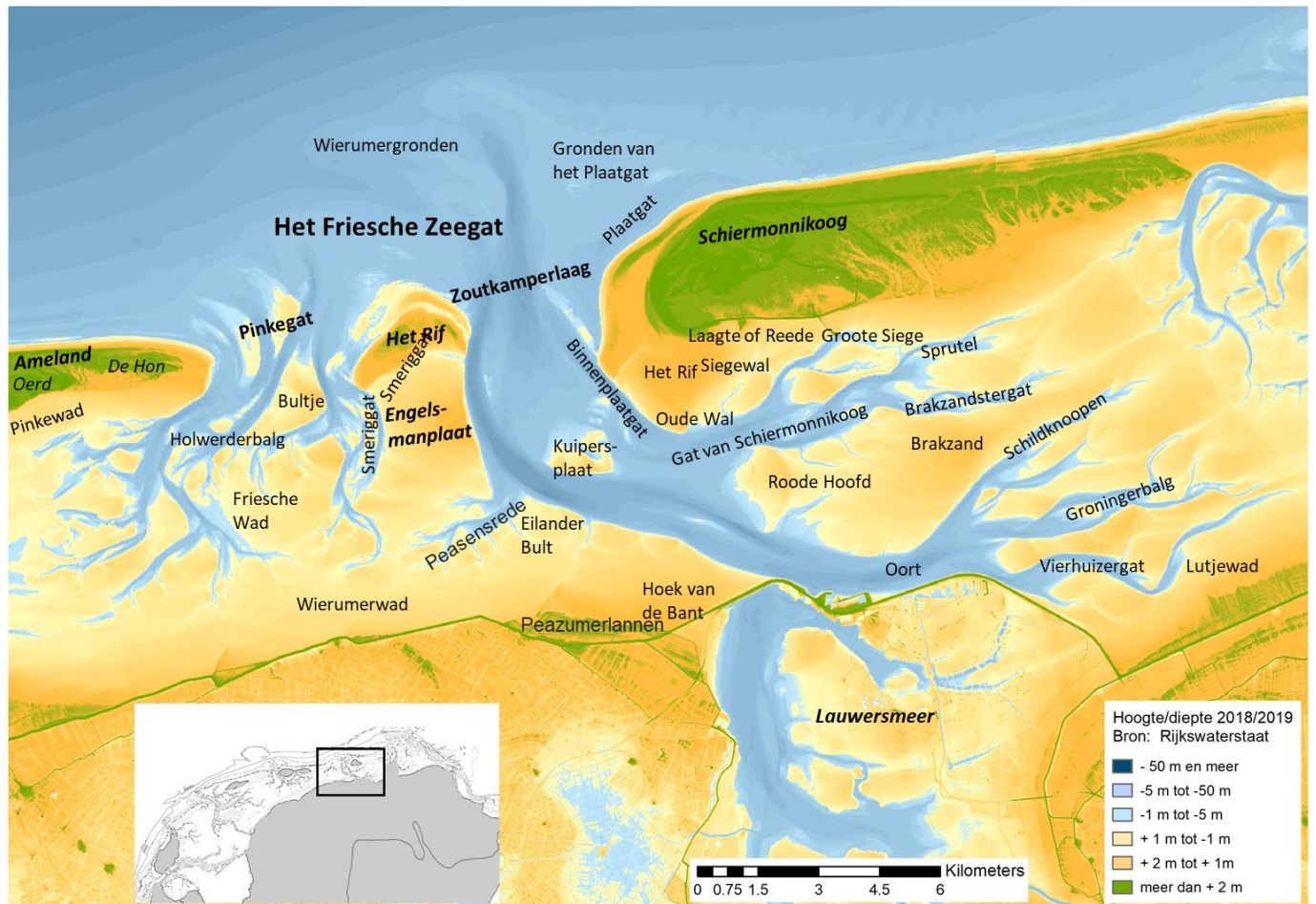
2.1 Friesche Zeegat is een samengesteld zeegat

Tussen Ameland en Schiermonnikoog ligt niet één, maar twee zeegaten (Figuur 2-1): het Pinkegat aan de westzijde en de grotere Zoutkamperlaag aan de oostzijde². Deze twee zeegaten worden gescheiden door de zandplaten van Engelsmanplaat-Rif. Uit een vergelijkend onderzoek bleek dat een dergelijke configuratie van twee zeegaten tussen twee Waddeneilanden in de trilaterale Waddenzee veel vaker optreedt, maar hier erg expliciet is (Oost et al., 2017). Doordat het getij zich van west naar oost verplaatst langs de West-Friese en Oost-Friese kust zal het getij komend van het zeegat westelijk van een eiland verder het wad op kunnen doordringen dan langs de oostzijde. Daardoor zijn kombergingsgebieden aan de westzijde kleiner. Dat is ook zo bij het Pinkegat (getijdeprisma gebaseerd op bathymetrie ca. $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) en Zoutkamperlaag (getijdeprisma gebaseerd op bathymetrie ca. $193 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Omdat golf- en getijgedreven stroming beiden naar het oosten gericht, wordt veel sediment van de Amelander kust aangevoerd en ondervindt het Pinkegat daarvan relatief veel invloed. Hierdoor verplaatsen de geulen van de buitendelta van het Pinkegat zich relatief snel naar het oosten.

Het samengestelde karakter waarbij het Friesche Zeegat bestaat uit de twee aparte zeegaten Pinkegat en Zoutkamperlaag bestaat al zeker sinds de 16^e eeuw (Oost, 1995). Dit wordt mede veroorzaakt door de aanwezigheid van een vroeg-holocene kleikern onder het inter- tot supragetijde Engelsmansplaatgebied (Sha, 1990) welke beide zeegaten tot nog toe grotendeels gescheiden heeft gehouden. Het is mogelijk dat eerder (vermoedelijk 15^e eeuw) er nog sprake was van een enkel zeegat Scholbalg geheten (Oost, 1995).

De westzijde van de Engelsmansplaat heeft zich in de afgelopen 180 jaar ca. 5 kilometer oostwaarts verlegd ten gevolge van erosie door geulen van het Pinkegat (Oost, 1995), maar morfologisch lijken de twee zeegatsystemen betrekkelijk onafhankelijk te ontwikkelen.

Er blijkt wel sprake te zijn van netto stromingen tussen beide systemen (hoofdstuk 4). Recente modelberekeningen laten zien dat er bij goed weer een reststroming van water optreedt over het wantij richting Pinkegat. Bij stormen uit het noordwesten tot westen is dat omgekeerd (Vermaas & Elias, 2019). Zie voor meer informatie paragraaf 3.3.



Figuur 2-1 Namen van het Friesche Zeegat (bodem 2018/19).

2.2 Grootschalige fysische kenmerken van het kombergingsgebied Pinkegat

Het kombergingsgebied van het Pinkegat (Figuur 2-1) is een klein getijdebekken. Het zeegat ervan bestaat afwisselend uit één hoofdgeul en 2 tot 4 hoofdgeulen. Het kombergingsgebied wordt begrensd door Ameland, het wantij met het Zeegat van Ameland aan de westzijde, het vasteland van Friesland en de Engelsmanplaat en het wantij met de Zoutkamperlaag.

2.2.1 Ontwikkelingsgeschiedenis

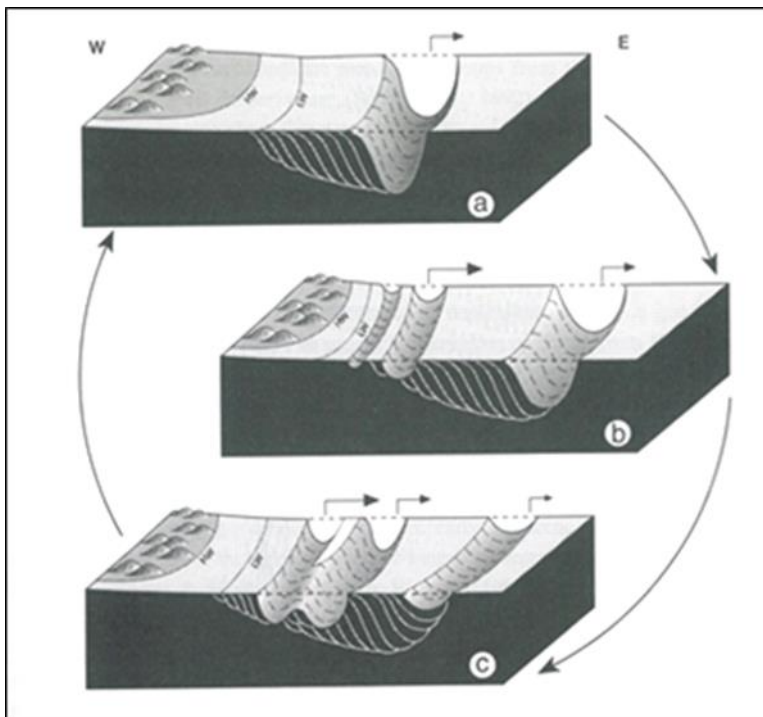
Het Pinkegat is waarschijnlijk ontstaan ergens tussen 1480 en 1550 (Oost, 1995). Na 1800 vond een verschuiving naar het oosten van het wantij van Ameland plaats over ongeveer 2,8 km³. Als gevolg hiervan verschoof ook het Pinkegat systeem naar het oosten. In de periode 1923-1950 verschoof het wantij onder Ameland nog 1,6 km oostwaarts. Dit is waarschijnlijk de belangrijkste reden voor de erosie van 22*10⁶ m³ in het Zeegat van Ameland en de sedimentatie van 24,5*10⁶ m³ in de periode 1927-1949 in het Pinkegat (Oost, 1995).

³ Hoofdzakelijk toe te schrijven aan de sterke oostwaartse verschuiving van de hals van het Zeegat van Ameland.

2.2.2 Cyclisch gedrag

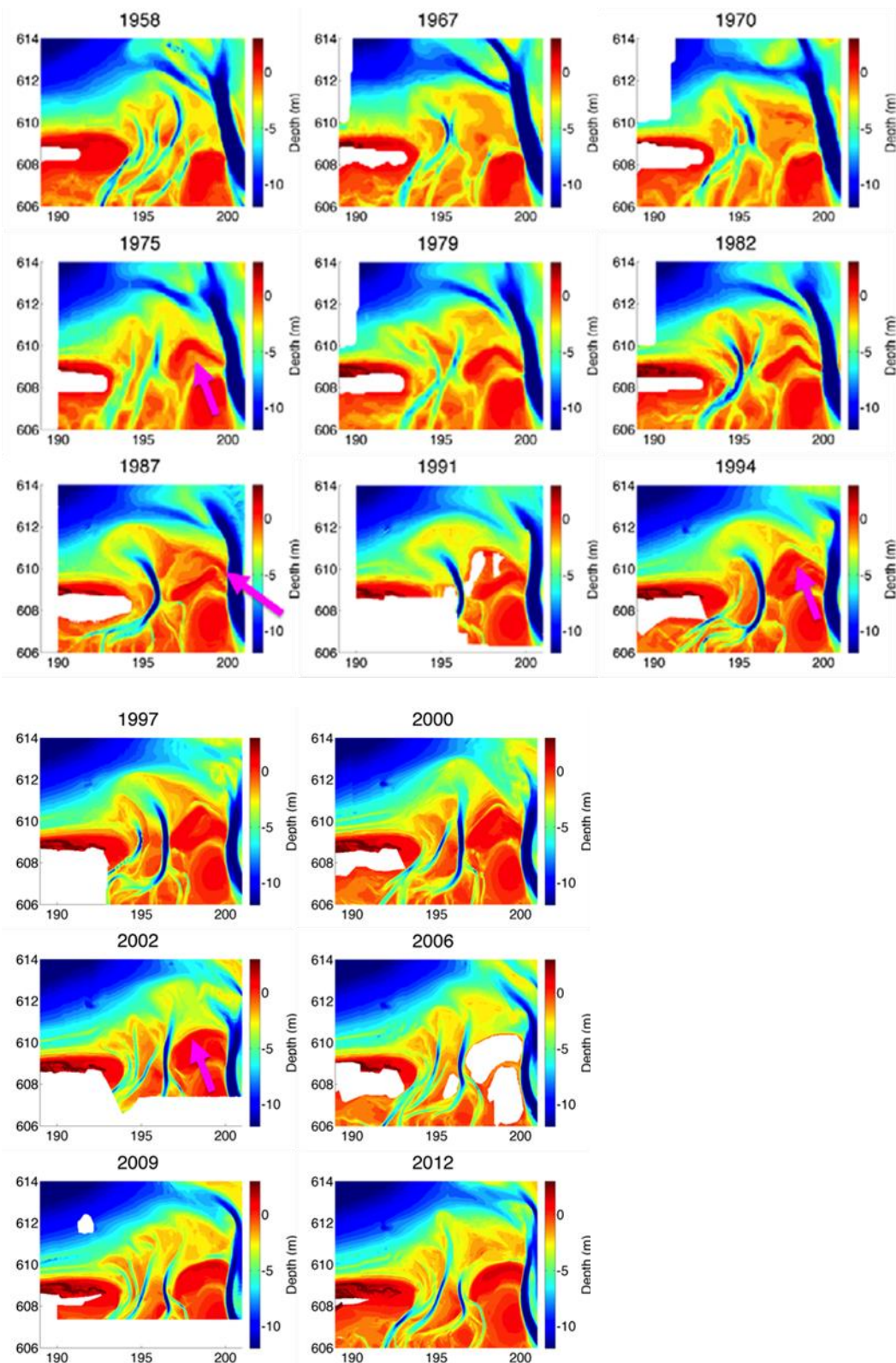
Kaarten en beschrijvingen suggereren dat de ontwikkeling van het zeegat Pinkegat cyclisch verloopt, van een enkele hoofdgeul naar een situatie met meerdere hoofdgeulen, en weer terug, sinds tenminste 1600. Uit gegevens over de periode 1832-1991 is het duidelijk dat de cyclus een periode bestrijkt van (meestal) circa 20 jaar tot, maximaal, circa 50 jaar (Oost, 1995). Sinds 1987 is een 'enkelvoudige geul situatie' niet meer opgetreden.

Wanneer de positie van de enkelvoudige hoofdgeul hydraulisch minder efficiënt wordt, omdat deze te ver oostelijk wordt verplaatst, ontwikkelen meer naar het westen nieuwe hoofdgeulen (zie conceptueel model in Figuur 2-2). Deze nieuwe, kleine hoofdgeulen kunnen, onder invloed van de zanddruk vanaf Ameland, zeer snel oostwaarts migreren (met meerdere honderden meters per jaar). Daarbij nemen ze in grootte toe en nemen in toenemende mate de drainage van het kombergingsgebied over van de voormalige hoofdgeul. Als gevolg daarvan wordt de oostelijke hoofdgeul kleiner en migreert langzamer oostwaarts en wordt of uiteindelijk verlaten of ingehaald door de uit het westen migrerende hoofdgeulen. Door fusie van hoofdgeulen en het opvullen van andere ontstaat uiteindelijk opnieuw een situatie met een enkele hoofdgeul met grote dimensies. Het proces wordt gedreven door de aanvoer van sediment langs Ameland, de getijdekrachten, en door het lokale golfklimaat. De sterke migratie van de geulen wordt ook veroorzaakt door de sterke kromming van het zeegat, waardoor een sterke buitenbochtverplaatsing optreedt. De kromming ontstaat omdat het kombergingsgebied vooral zuidelijk tot zuidoostelijk ligt van Ameland. De erosie in de buitenste bocht versterkt de sterke laterale migratie van de geulen.

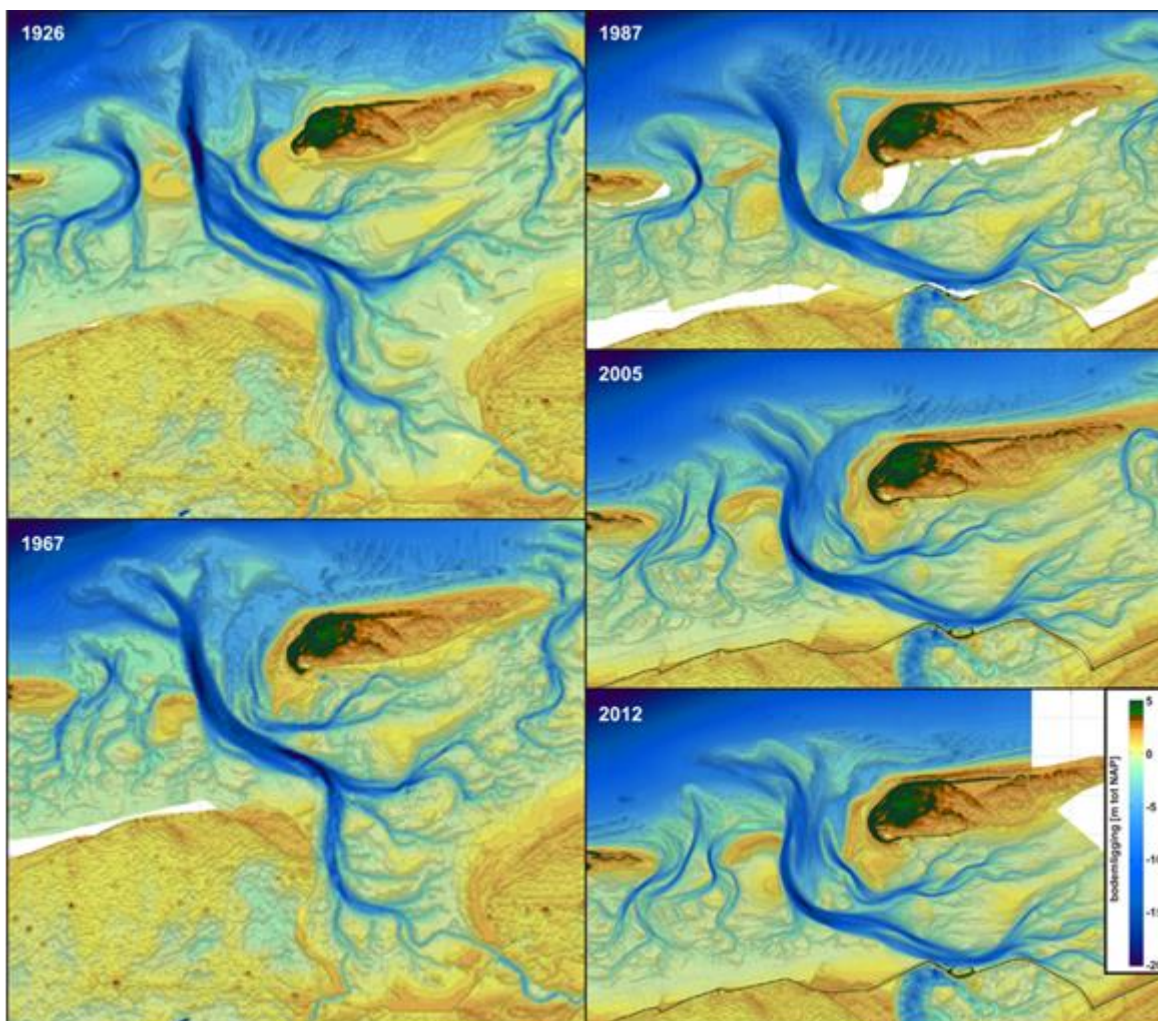


Figuur 2-2 Conceptueel model van de cyclische ontwikkeling van het Pinkegat (Oost, 1995).

Door het cyclische gedrag van het zeegat verschuiven de belangrijkste geulen binnen het kombergingsgebied ook voortdurend van positie (Figuur 2-3). Hierdoor wordt een groot deel van het kombergingsgebied "omgeploegd". Zie ook paragraaf 2.5..



Figuur 2-3 Ontwikkeling van de hoofdgeulen van het Pinkegat op basis van lodingen (Ridderinkhof, 2016).



Figuur 2-5 De grootschalige ontwikkeling van de Zoutkamperlaag gebaseerd op lodingen Vasteland en eilanden gevuld met AHN-1 (1996-2003)

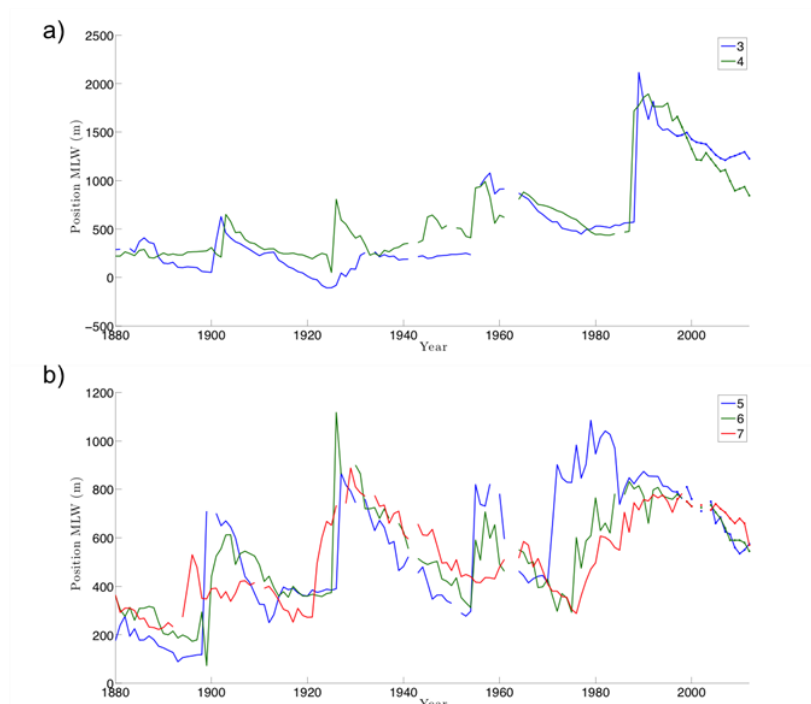
De overname van de drainage van de Lauwerszee door de Zoutkamperlaag betekende ten eerste (Oost, 1995; Figuur 2-5) dat de dimensies van het systeem toenamen, vooral de geulen en de buitendelta. Het sediment dat geërodeerd werd uit de kombergingsgeulen en de buitendeltageulen zal vermoedelijk afgezet zijn op de buitendeltalob. Uit beschrijvingen en gedetailleerde kaarten blijkt duidelijk dat tot en met de 18e eeuw grote sub- tot supra-getijde platen aanwezig waren op de buitendelta. De geleidelijke afname van het getijprisma leidde tot afname van het sedimentvolume van de buitendelta tot en met de 20^e eeuw. In de periode 1927-1965 trad een erosie op van circa $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

De westkant van Schiermonnikoog erodeerde na 1550 door migrerende buitendeltageulen en door geulen in het kombergingsgebied. Aan de oostzijde van Schiermonnikoog trad aangroei op door aanlanding van zandplaten. De afname van de grootte van de Lauwerszee leidde tot een geleidelijke verschuiving van het zwaartepunt van het getijdesysteem, dat in toenemende mate zuidelijk van Schiermonnikoog kwam te liggen.

2.3.2 Cyclisch gedrag tot 1969

De geomorfologische ontwikkelingen van het Zoutkamperlaag zeegat zijn (in ieder geval tot de afsluiting van de Lauwerszee) cyclisch van aard (Figuur 2-5 & Figuur 2-6). Van tijd tot tijd

worden nieuwe vloedgeulen gevormd aan de westkant van de buitendelta. Deze geulen migreren naar het noorden, waarbij ze van vloedge domineerd veranderen in ebgedomineerd. Ze krijgen een noord-zuid oriëntatie, ten gevolge van de inertia van de ebstroom. Oostelijk van de hoofdgeul zorgen migrerende zandige platen voor oostwaartse verplaatsing van de daar aanwezige geulen. De migrerende platen landden sinds de 20^e eeuw op de noordwestelijke kust van Schiermonnikoog, ongeveer elke kwart eeuw (Figuur 2-6; Oost, 1995; Ridderinkhof, 2016).



Figuur 2-6 Positie van de gemiddelde laagwaterlijn bij KM palen 3 tot 7 op noordwest Schiermonnikoog sinds 1880 door het regelmatig aanlanden van platen uit de buitendelta. NB de schaal van de Y-as verschilt voor het bovenste deelfiguur en het onderste (Ridderinkhof, 2016).

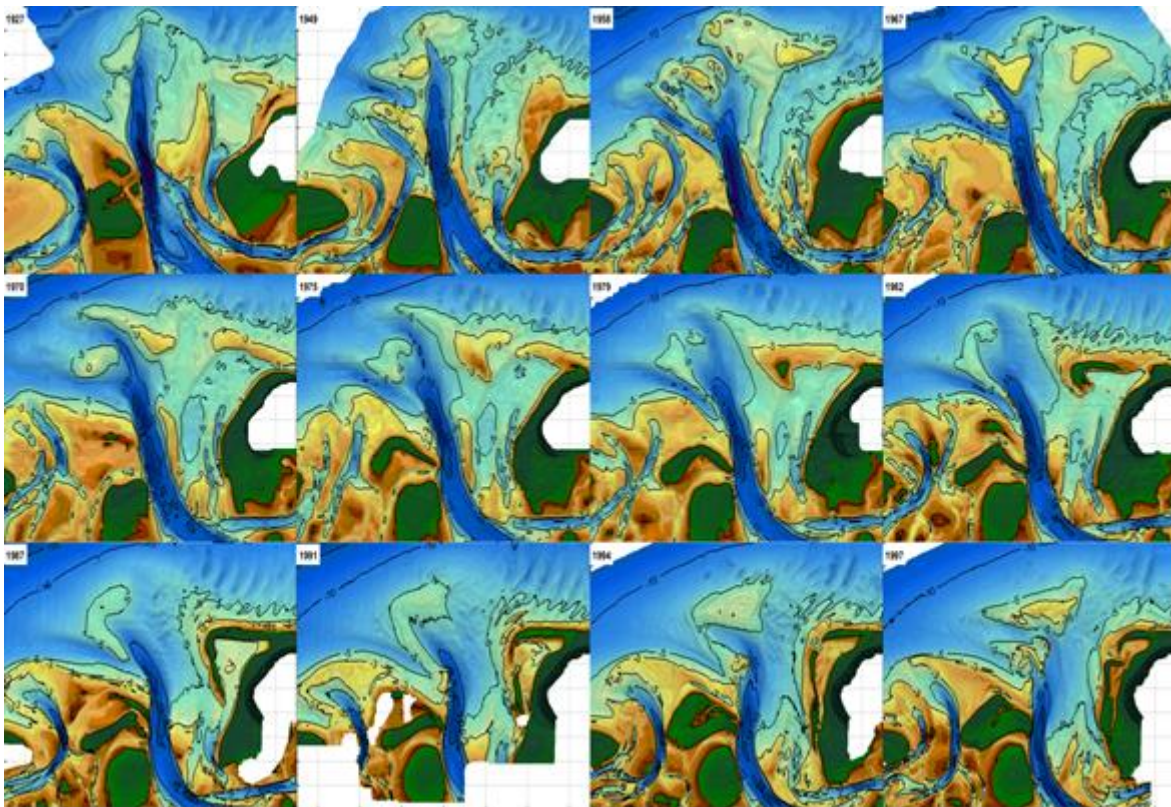
De cyclische ontwikkelingen in het kombergingsgebied (tot de sluiting van de Lauwerszee in 1969) worden tot grote hoogte gecontroleerd door de ontwikkelingen op de buitendelta. Gedurende korte perioden is er een hoofdgeul aanwezig in het kombergingsgebied. De geul is verdeeld in een vloedpad aan de westzijde en een eb-en vloed-pad aan de oostzijde. Vervolgens wordt de oostelijke zijde belangrijker voor de drainage van het kombergingsgebied. Tussen de beide paden ontwikkelt een langgerekte plaat, waarna de westzijde verlaten raakt en opvult. Zo ontstaat er opnieuw een enkelvoudige geul. Het stoppen van de cyclische ontwikkelingen in het kombergingsgebied met het afsluiten van de Lauwerszee suggereert dat deze een cruciale rol speelde in de ontwikkelingen (Oost, 1995).

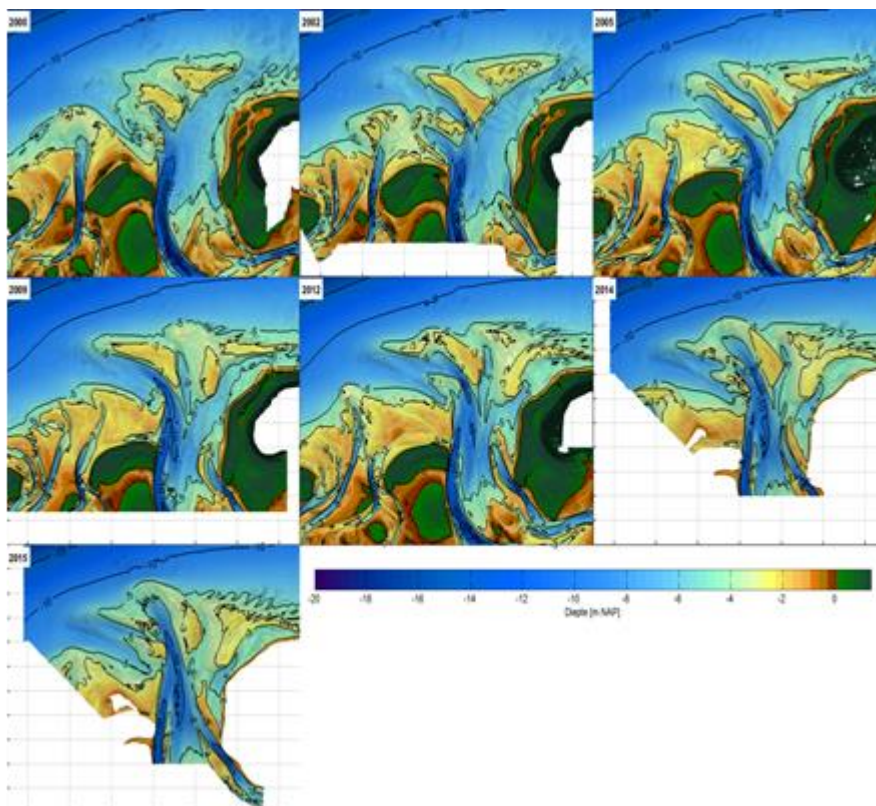
2.3.3 Evolutie na 1969

De ontwikkelingen sinds 1969 in het gehele kombergingsgebied van het Friesche zeegat zijn in belangrijke mate bepaald door de afsluiting van de Lauwerszee. In Oost (2014) is een beschrijving opgenomen van de verschillende stadia waarin de afsluiting heeft plaatsgevonden. Voor een uitgebreide beschrijving van de morfologische ontwikkelingen na deze afsluiting wordt verwezen naar Oost en de Haas (1992 & 1993) Oost (1995a & 1995b) en Biegel en Hoekstra (1995). Door de afsluiting nam het getijdeprisma af van ca. $300 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ tot $193 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De grote afname van het getijdeprisma resulteerde in een sterke vertraging van de stromingen door de hoofdgeul, waardoor deze begon op te vullen. De initieel te wijde hoofdgeul maakte het

mogelijk dat de vloed vrij snel door kon stromen naar het wantij zuidelijk van Schiermonnikoog die, als gevolg daarvan, verschoof naar het oosten. In reactie op de lagere stroomsnelheden begon de hoofdgeul op te vullen: met slib in de buurt van de dam; een mengsel van slib (zomer half jaar) en zand (winter half jaar) halverwege en zand in de buurt van het zeegat (Oost, 1995). De sedimentatie ($44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in de periode 1966-1987) is onderdeel van de evolutie van de geul naar een nieuw evenwicht tussen erosie/sedimentatie en stroomsnelheden. Hierbij zorgt de toegenomen wrijving er ook voor dat de vloed minder 'snel kon lopen' naar het wantij, wat vervolgens deels weer terugschoof in westelijke richting.

Na de sluiting van de Lauwerszee veranderde de oriëntatie van het zeegat zelf van WNW-OZO naar ONO-WZW in 2002, om daarna terug te veranderen naar de oude oriëntatie (Figuur 2-7). De afname van het getijdeprisma van de Zoutkamperlaag deden de grootte en vorm van de oorspronkelijke buitendelta aanpassen. Circa $37 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sediment van de buitendelta werd afgevoerd in de periode 1965-2007, naar het kombergingsgebied en naar de kust van Schiermonnikoog (Figuur 2-6; Oost, 1995; Wang & Oost, 2010). De erosie van de buitendelta vond vooral plaats op diepten van NAP-10m in. Mogelijk worden veranderingen op dieper water nog steeds voortgezet als reactie op de sluiting van de Lauwerszee, want de processen zijn langzamer door de zwakkere invloed van golven op die diepte (Oost et al., 2015). Vanaf 2000 lijken de veranderingen in het kombergingsgebied in reactie op de afsluiting van de Lauwerszee grotendeels te zijn beëindigd.





Figuur 2-7 Overzicht van de ontwikkeling van de buitendelta in de periode 1927-2015 (Oost et al., 2015).

2.4 Verschillen Pinkegat en Zoutkamperlaag: vorm en oriëntatie

De belangrijke verschillen tussen de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag zijn de dimensies en de oriëntatie, welke onderling samenhangen (zie paragraaf 2.1). Door deze verschillen wordt de migratie van de buitendeltageulen bij het Pinkegat relatief sterker beïnvloed door golfwerking dan de geulen van de Zoutkamperlaag. Dit leidt vervolgens tot een veel sterkere geuldynamiek in het kombergingsgebied van het Pinkegat. In de Zoutkamperlaag zijn de posities van de geulen vrij stabiel. Onder het Brakzand (Figuur 2-1) is op ca. NAP -5m nog veen aanwezig, wat impliceert dat dit gebied nog nooit door geulen is omgewerkt sinds het ontstaan van de Zoutkamperlaag.

2.5 Relatieve en absolute omvang van de wadplaten

De kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag hebben vergelijkbare plaat-geul verhoudingen, zie Tabel 2-1. Beide gebieden bestaan voor ca. 2/3 uit plaatareaal. De intensievere verplaatsing van de geulen van het Pinkegat leidt ertoe dat de platen daar vaak vrij jong zijn. Dit betekent tevens dat vorming van het plaatareaal een dynamisch en vrij snel verlopend proces moet zijn.

Doordat er in het Pinkegat af en toe sprake is van een enkele en dan weer van meerdere zeegaten met hun hoofdgeulen in het kombergingsgebied, treden er wel veranderingen op in het areaal getijdeplaten. Inderdaad, in de jaren 1971 en 1987, wanneer een (nabije) enkele inlaat fase bestaat, is het areaal ongeveer 5 km² groter dan in de jaren 1978 en 1981 toen meerdere zeegaten aanwezig waren.

Tabel 2-1 Arealen wadplaten en geulen in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag, (situatie 1982; Louters & Gerritsen, 1994)

	Pinkegat		Zoutkamperlaag	
	km ²	%	km ²	%
Wadplaten	42 km ²	65%	48 km ²	63%
Geulen (= oppervlak bij GLW)	23 km ²	35%	48 km ²	37%
Totaal (= oppervlak bij GHW)	65 km ²		130 km ²	

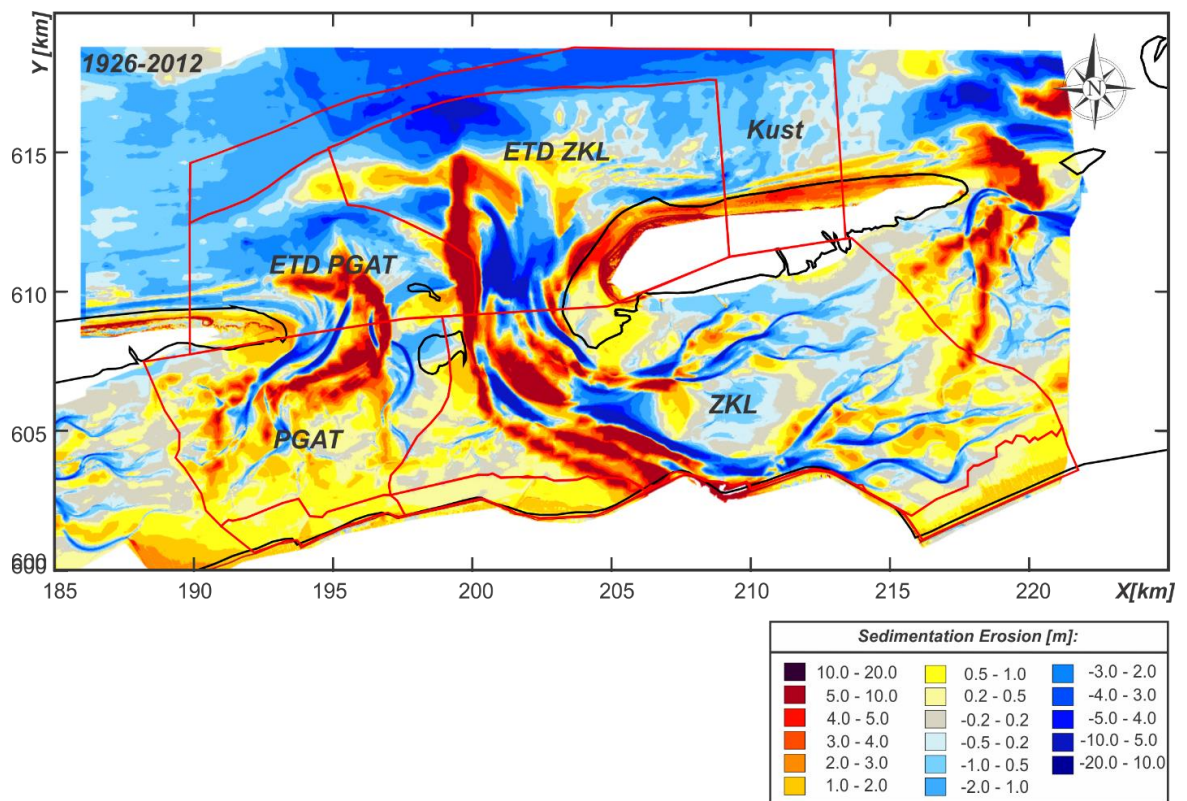
2.6 Ontwikkelingen in de sedimentbalans

De sedimentatie en erosie over de periode 1926-2012 voor het Friesche Zeegat zijn weergegeven in Figuur 2-8.

De sedimentatie in het kombergingsgebied van het Pinkegat was ca. $38 \cdot 10^6$ m³ in de periode 1927-1967, en ca. $11 \cdot 10^6$ m³ in de periode 1967-1987 (Oost, 1995). In de periode 1989-2015 was er sprake van verlaging van het gebied (Elias, 2019). Een trendbreuk wordt echter al in 1975 ingezet, zodat dit niet de enige factor kan zijn. De reden ervoor is nog niet onderzocht. Hierdoor valt de lange termijn trend lager uit dan wat op grond van de ontwikkeling tot 1987 mocht worden verwacht (Tabel 2-2). Gemiddeld over de hele periode 1926-2015 is de sedimentatie ca. 6,8 mm/jaar (inclusief baggeren, storten en bodemdaling), wat veel meer is dan de gemiddelde zeespiegelstijging (1,9 mm/jr.). Het grootste deel van de 6,8 mm/jaar is veroorzaakt door de oostwaartse verschuiving van de waterscheiding onder Ameland in de beginperiode 1927-1949 (Oost, 1995).

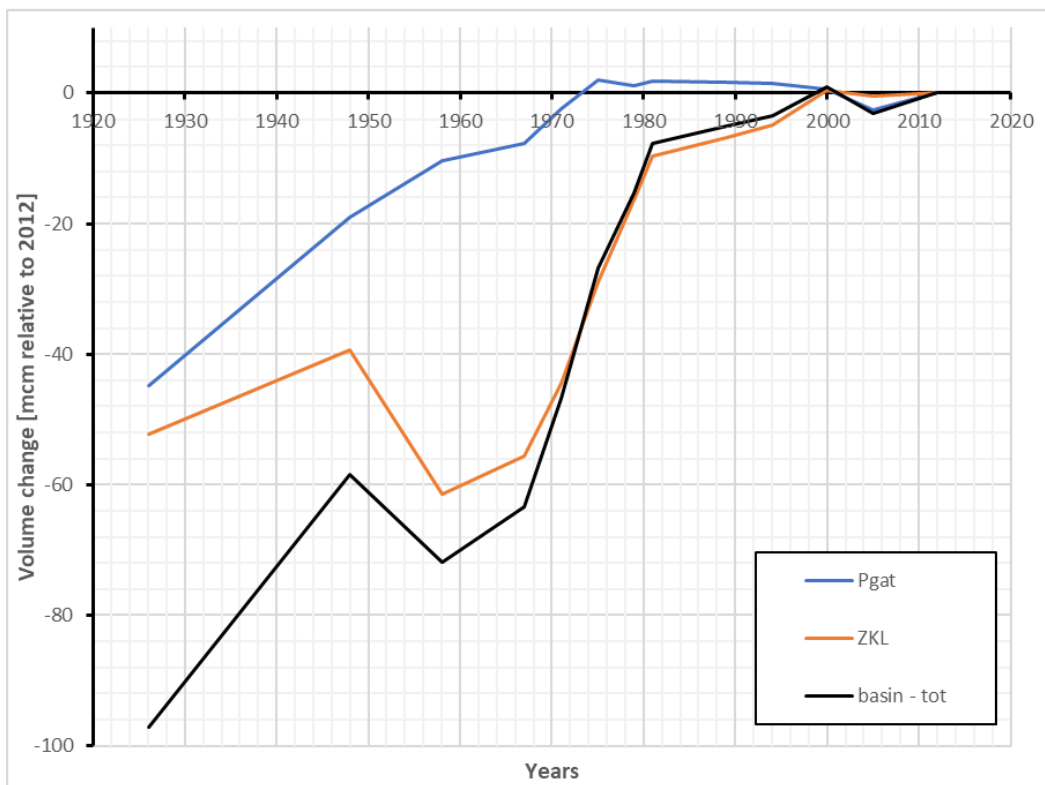
Tabel 2-2 Trends in sedimentatie voor twee perioden (Elias, 2019)

	Trends (Mm ³ /jaar)	
	1926/2015	1989/2015
Pinkegat	0,46	-0,28
Zoutkamperlaag	1,37	0,21



Figuur 2-8 overzicht van de sedimentatie en erosie in het Friesche Zeegat voor de periode 1926-2012 (Elias, 2019).

Voor het Zoutkamperlaag systeem verliep de sedimentatie niet geleidelijk. Na sterke schommelingen in de periode voor de afsluiting van de Lauwerszee, die deels mogelijk samenhangen met de veranderingen tijdens de aanleg van de werken, vond er na de afsluiting een versnelde sedimentatie plaats totdat er weer een nieuw dynamisch evenwicht bereikt was rond 2000 (Figuur 2-9). Dit is met name het in 2.3.3 beschreven opvullen van de hoofdgeul, dat geleidelijk ten einde komt.



Figuur 2-9 cumulatief sedimentvolume Pinkegat, Zoutkamperlaag en Friesche Zeegat als gemeten t.o.v. NAP sinds 1927 (Elias, 2018).

3 Hydrodynamica

De hydrodynamica van de twee kombergingsgebieden wordt bepaald door zeespiegelkarakteristieken, getij, golfkarakteristieken, stormvloedfrequenties en zoetwateruitstroom. Deze zijn in dit hoofdstuk bij elkaar gebracht en worden kort besproken.

3.1 Zeespiegelkarakteristieken

De waterstanden zijn niet in het gehele gebied hetzelfde, gemiddelde zeespiegel, hoogwater en laagwater vormen een hellend vlak. In Tabel 3-1 wordt een overzicht gegeven van de 2011 slotgemiddelden voor zeespiegel, hoogwater en laagwater (voor meer informatie zie getij).

Tabel 3-1 Overzicht van de slotgemiddelde waterstanden 2011 (Dillingh, 2013a) en de gemiddelde stijgingen (Dillingh, 2013b).

Station	Periode	Gemiddeld Zeeniveau		Gemiddeld Hoogwater		Gemiddeld Laagwater	
		Niveau (cm NAP)	Stijg-snelheid (cm/eeuw)	Niveau (cm NAP)	Stijg-snelheid (cm/eeuw)	Niveau (cm NAP)	Stijg-snelheid (cm/eeuw)
Wierumergronden		+1		+93		-108	
Schiermonnikoog	1971-2010	+5	30	+105	24	-123	28
Nes, Ameland	1971-2010	+8	25	+106	23	-116	27
Lauwersoog	1971-2010	+4	27	+106	27	-126	14

3.2 Getij

Het getij bestaat niet alleen uit GZN, GHW, GLW maar ook spring en doortij niveaus en getijverschillen (Tabel 3-2; Dillingh, 2013a). Andere parameters zijn de duur van de rijzing en daling die de getijasymmetrie bepalen. Daarnaast zijn van belang het tijdsverschil tussen HW en LW in de keel van het zeegat en op de wantijen (Tabel 3-3). Tenslotte zijn er nog afgeleide grootheden van het getij, te weten het getijprisma en natte oppervlak (Tabel 3-4). Het getijprisma P_{bat} is berekend uit de bathymetrie van het kombergingsgebied in combinatie met de getijdeslag. Dit leidt tot een overschatting van ca. 10% t.o.v. getijprisma-metingen ten gevolge van traagheid van het getijwater.

Tabel 3-2 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).

	Wierumergronden	Schiermonnikoog	Nes, Ameland	Lauwersoog
Duur daling	05:26	05:26	06:10	06:10
Duur stijging	05:59	05:59	06:15	06:15
Gemiddeld Zeeniveau	1	5	8	4
Gemiddeld Laagwater	-108	-123	-116	-126
Gemiddeld Hoogwater	93	105	106	106
Gemiddeld Tijverschil	201	227	222	232
Gemiddeld Springtij Laagwater	-123	-138	-133	-142
Gemiddeld Springtij Hoogwater	105	118	119	119
Gemiddeld Springtij Tijverschil	228	256	252	261
Gemiddeld Doodtij Laagwater	-88	-100	-94	-102
Gemiddeld Doodtij Hoogwater	73	86	88	87
Gemiddeld Doodtij Tijverschil	161	186	182	189

Tabel 3-3 Tijdsverschil in minuten voor hoogwater en laagwater t.o.v. keel Pinkegat voor 2015 (gebaseerd op getij.rws.nl)

	Hoogwater			Laagwater			
	Keel	Wantij Ameland	Wantij Engelsmanplaat	Keel	Wantij Ameland	Wantij Engelsmanplaat	Wantij Schiermonnikoog
Pinkegat	0	40	40	0	30	40	
Zoutkamperlaag	20		40	100	10	40	60

Tabel 3-4 Getijdegrootheden natte oppervlakte en getijdeprisma⁵

Gebied	Dimensies	Jaar	Bron bijzonderheden
"Natte" oppervlakte (A_{GHW}), Pinkegat	$65 \cdot 10^6 \text{ m}^2$	Ca. 1982	Louters & Gerritse, 1996
Getijdeprisma, Pinkegat	$100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Ca. 1982	Louters & Gerritse, 1996
Vloedvolume Pinkegat voor maart zonder wind	$93 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Situatie 2017 (modelberekening)	P_{bat} Vermaas & Elias, 2019
Ebvolume Pinkegat voor maart zonder wind	$98 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Idem	Vermaas & Elias, 2019
"Natte" oppervlakte (A_{GHW}), Zoutkamperlaag	$130 \cdot 10^6 \text{ m}^2$	1982	Biegel, 1992 Louters & Gerritse, 1996
Getijdeprisma (10^6 m^3), Zoutkamperlaag	$193 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	1981	Louters & Gerritse, 1996 P_{bat}
Vloedvolume ZKL voor maart zonder wind	$205 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Situatie 2017 (modelberekening)	Vermaas & Elias, 2019
Ebvolume ZKL voor maart zonder wind	$200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Idem	Vermaas & Elias, 2019

De stroming in het gebied is sterk afhankelijk van de wind. Gemiddeld over heel 2017 genomen is de wind uit het westen dominant, wat een netto debiet naar het oosten veroorzaakt. (Vermaas & Elias, 2019). Er zijn over het jaar periodes, zoals in maart, mei en juli, met relatief lage windsnelheden en een bovengemiddeld sterke wind uit het oosten waarin er weinig stroming is over de wantijen. In de 4 maanden na september treedt 2/3^e van het netto oostwaartse debiet over het Amelandert wantij op. Deze sterke stroming wordt veroorzaakt door de grotere windsnelheden in herfst en winter die een veel sterkere westelijke component hebben.

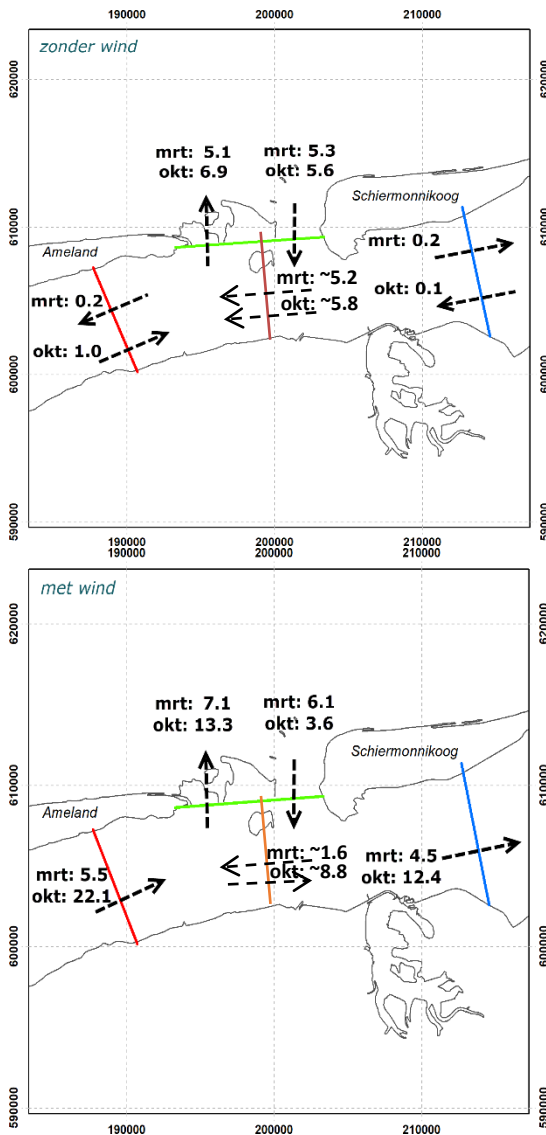
Om de invloed van wind nog wat duidelijker te maken is op grond van een model berekend wat de netto debieten tijdens 1 getij met en zonder wind (Figuur 3-1; Vermaas & Elias, 2019). In de berekening met wind is er een groot verschil te zien tussen de debieten in maart en oktober, door de verschillen in windsnelheden. In maart is het netto debiet door de Zoutkamperlaag naar het kombergingsgebied. Dit is groter dan de uitstroom in oostelijke richting over het wantij onder Schiermonnikoog. Dit overschot stroomt over het wantij van Engelsmanplaat/Rif in westelijke richting. Daar draagt het bij aan de netto uitstroom door het Pinkegat. In oktober is de westelijke stroming over de wantijen veel groter en stroomt het ook over het wantij van Engelsmanplaat/Rif in oostelijke richting. Een belangrijk deel van al dit water stroomt uit via het Pinkegat en de netto aanstroom door de Zoutkamperlaag is kleiner dan in maart (Vermaas & Elias, 2019).

Voor de berekening met alleen getij en zonder wind is nog steeds een verschil te zien tussen de maanden maart en oktober. Dit verschil kan veroorzaakt worden door: 1) het feit dat het in maart 3x springtij en 2x doortij is, terwijl het in oktober 2x springtij en 3x doortij is, en 2) dat naast getij ook setup is meegenomen, welke zal verschillen voor maart en oktober. Het transport over de wantijen is veel kleiner voor de situatie zonder wind. De netto import door de Zoutkamperlaag en de export door het Pinkegat zijn vergelijkbaar. Het water loopt dus over het wantij van de Engelmanplaat/Rif in westelijke richting. Dit verschil wordt veroorzaakt door de snellere propagatie van het getij door de Zoutkamperlaag. Weliswaar is het hoogwater iets eerder bij het Pinkegat aanwezig, maar het dringt daarna via de Zoutkamperlaag veel sneller naar binnen.

De berekende netto debieten zijn slechts een paar procent van de bruto in- en uitstroom. In maart is door het Pinkegat de instroom ca. 93 miljoen m^3 per getij en de uitstroom ca. 98 miljoen m^3 per getij, door de Zoutkamperlaag is de instroom ca. 205 miljoen m^3 per getij en de uitstroom ca. 200 miljoen m^3 per getij (Tabel 3-4; Vermaas & Elias, 2019). De reststromen maken duidelijk

⁵ Het getijprisma is berekend uit de bathymetrie van het kombergingsgebied in combinatie met de getijdeslag. Dit leidt tot een overschatting van ca. 10% t.o.v. getijprisma-metingen ten gevolge van traagheid van het getijwater.

dat er een tendens is om de wantijen verder naar het oosten te verplaatsen, met name bij sterke westenwinden. Daarnaast is duidelijk dat onder vrijwel alle omstandigheden het Pinkegat een netto aanvoer van water kent over één of meerdere wantijen en daarmee mogelijk ook netto sediment ontvangt.



Figuur 3-1 Getijgemiddelde netto debiet (in miljoen m^3 per getij) over het wantij bij Ameland, het Pinkegat, de Zoutkamperlaag en het wantij bij Schiermonnikoog, gebaseerd op het gedetailleerde model inclusief wind (boven) en zonder wind (onder) (naar Vermaas & Elias, 2019). Op grond van deze debieten zijn ook debieten berekend over het wantij van Engelsmanplaat (oranje lijn). De balans is niet geheel sluitend als gevolg van afrondingen.

3.3 Golven en stormvloedstanden

Golfkarakteristieken worden gegeven voor station Wierumergronden voor de periode 1990-2012 (Tabel 3-5). Tevens worden gegeven de afgeleide waarden van de stormvloedhoogten voor diverse herhalings tijden.

Tabel 3-5 Golf en stormvloedkarakteristieken.

Parameter	Observatie	Jaar	Bron
Significante golfhoogte Hs buitengaats	118 cm	1990 – 2012	Wierumergronden, Ridderinkhof, 2016
Gemiddelde piekperiode Tp (s) buitengaats	5,77 sec	1990 – 2012	Wierumergronden, Ridderinkhof, 2016
Stormvloedhoogte			
1:100 jaar	350 cm	2011	Wierumergronden, Dillingh, 2013a
1:200 jaar	370 cm	2011	Idem
1:500 jaar	390 cm	2011	idem

3.4 Aanvoer van zoetwater

Er zijn slechts op twee plekken lozingspunten van zoetwater op de Waddenzee. Het betreft het (relatief kleine) lozingspunt van de polder op Schiermonnikoog iets oostelijk van de veerdam en de R.J. Cleveringsluizen in de Lauwersmeerdijk (een harde zoet-zoutgrens). Het hier gespuide water stroomt vooral af via de Zoutkamperlaag. De spuicapaciteit van de sluisen is circa 1900 m³/s (Mollema, 2015; Termes & Eysink, 2005). Per tij wordt er gemiddeld 4 miljoen m³ water geloosd, maar onder uitzonderlijke omstandigheden kan dit oplopen tot meer dan 10 miljoen m³ (5% van het getijprisma in volume; Hoorn et al., 2014). Bij hoge spuidebieten treden korte scherpe stoten van zoetwater op in de Waddenzee.

De uitstroom van zoetwater brengt stromingen op gang, in het bijzonder de estuariene circulatie. Het zoete water is lichter en stroomt over het zoute water van de Waddenzee heen. Dit is zichtbaar in Figuur 3-2. Tijdens het spuien breidt de spuistroom zich geleidelijk over een steeds groter oppervlak uit, waarbij de grootste concentratie van het zoete water eerst in noordelijke en daarna in noordwestelijke richting optreedt. Iets voor de laagwater-kentering bereikt de spuistroom de dijk westelijk van de uitwateringssluizen (Reenders, 1983). De satellietopname toont alleen de uitstroming aan het oppervlakte. Aan de bodem wordt deze uitstroming gecompenseerd door een stroming de andere kant op. Estuariene circulatie treedt daardoor regelmatig op tijdens het spuien via de spuisluisen in de Lauwersmeerdijk.

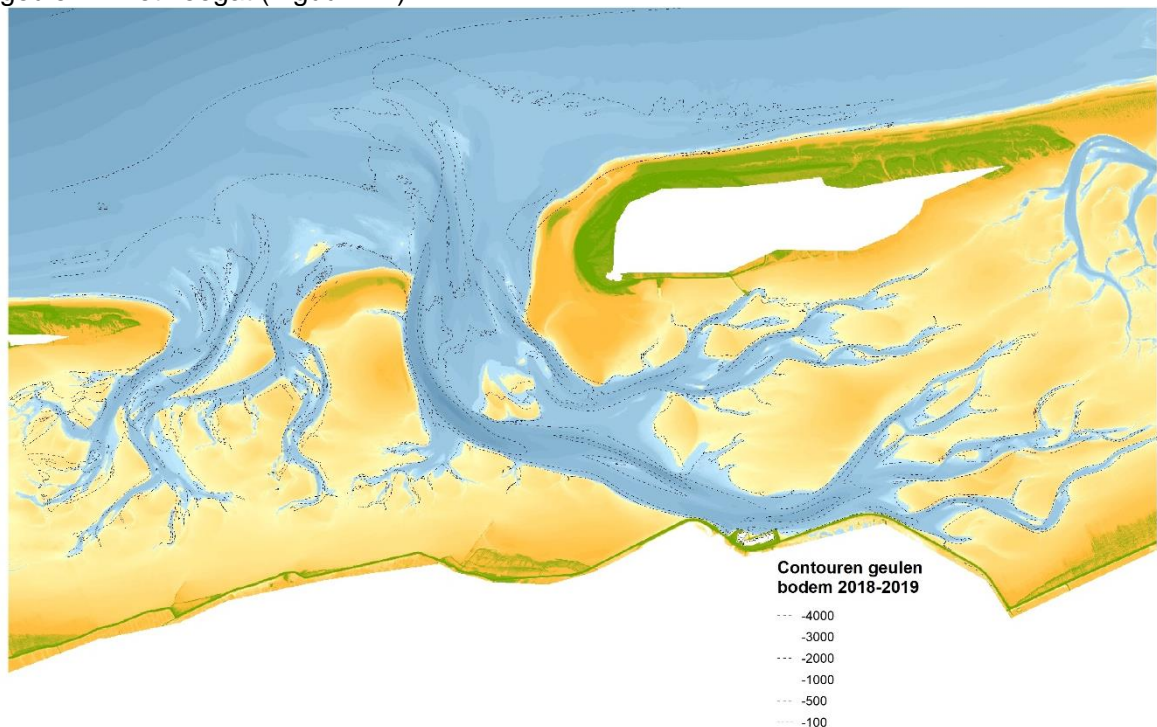


Figuur 3-2 Satellietopname van de uitstroom van zoetwater via de Clevering(a)-sluizen vanuit het Lauwersmeer naar het de Zoutkamperlaag (opname 15 februari 2019).

4 Getijdegeulen

4.1 Geulomvang

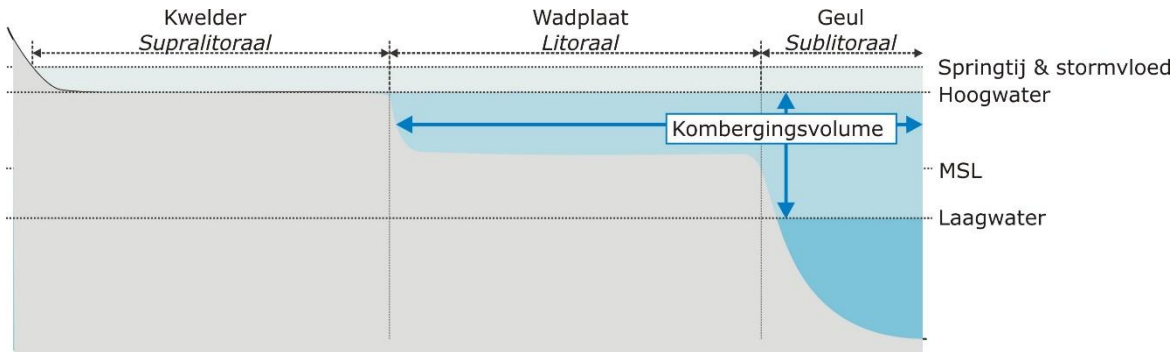
Waar zeer veel getijdewater heen en weer stroomt en de stroming hoge snelheden bereikt schuurt de bodem uit en vormen zich geulen. Deze getijdegeulen voeren niet alleen water aan, maar ook sediment en nutriënten. De geulen vertakken zich op vrij regelmatige wijze. Elke zijtak en 'zij-zijtak' voorziet een steeds kleiner deel van het gebied van water. Samen vormen de takken en de hoofdgeul een netwerk dat in de Waddenzee wel iets lijkt op een appelboom (Van Veen, 1950) als ervan bovenaf op wordt gekeken: het geulensysteem. Dit geldt voor het kombergingsgebied van de Zoutkamperlaag veel duidelijker dan voor het kombergingsgebied van het Pinkegat. Het Pinkegat heeft de vorm van een vertakkend 'struikje', met meerdere geulen in het zeegat (Figuur 4-1).



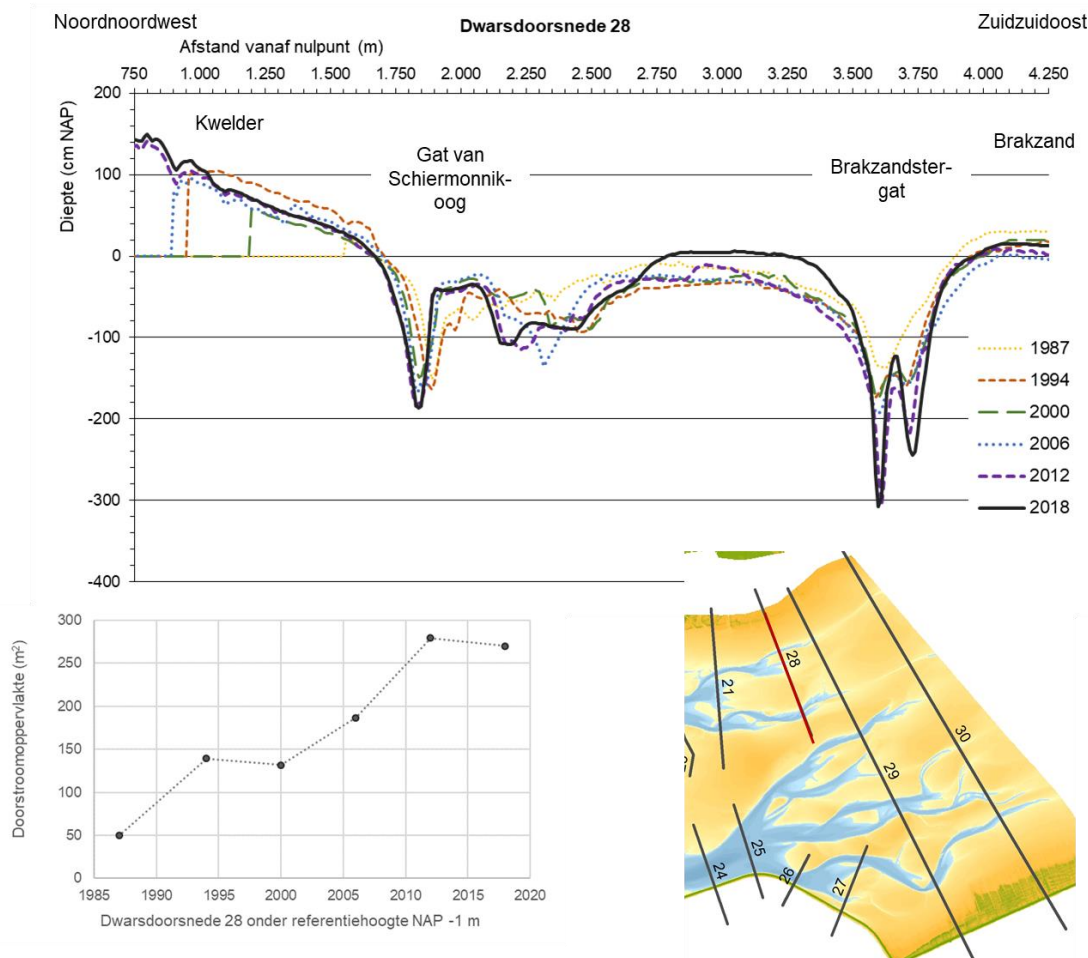
Figuur 4-1 Contouren van de geulen in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag in 2018 (contouren in cm NAP).

De omvang van getijdegeulen staat in verhouding tot de hoeveelheid water die met vloed via de geul naar binnen stroomt en met eb weer naar buiten. De hoeveelheid getijdewater die door een geul stroomt wordt ruwweg bepaald door het kombergingsvolume ervan (Figuur 4-2). Het kombergingsvolume wordt berekend uit de oppervlakte van het kombergingsgebied, vermenigvuldigd met het getijverschil, minus de oppervlakte van de droogvallende platen, vermenigvuldigd met de gemiddelde hoogteligging van de platen⁶. Minder getijdewater betekent dat de natte doorsnede van de geul ook minder groot hoeft te zijn (voorbeeld in Figuur 4-3 en 4-4). Dat betekent dat veranderingen in het lokale getijdeprisma (bijvoorbeeld door verplaatsing van het wantij, concurrentie met andere geulen, sedimentatie en erosie op platen, veranderingen in areaal kwelders) morfologische veranderingen in de geulen tot gevolg hebben. Afhankelijk van de lokale condities kan sedimentatie in de geul plaatsvinden met zand, slib of een mengsel van de twee.

⁶ Helemaal correct is dat niet omdat nu eenmaal het water nog afstroomt tijdens eb terwijl de vloed alweer naar binnen komt: daardoor is het werkelijke volume dat heen en weer stroomt door een zeegat ongeveer 0,9* het hierboven gegeven volume op basis van morfologie (Van Veen, 1950).



Figuur 4-2 Hoogte van geul, wadplaat en kwelder ten opzichte van het niveau van laag- en hoogwater en het kombergingsvolume (uit LTV V&T Consortium Deltares-IMDC-Svašek-Arcadis, 2013).

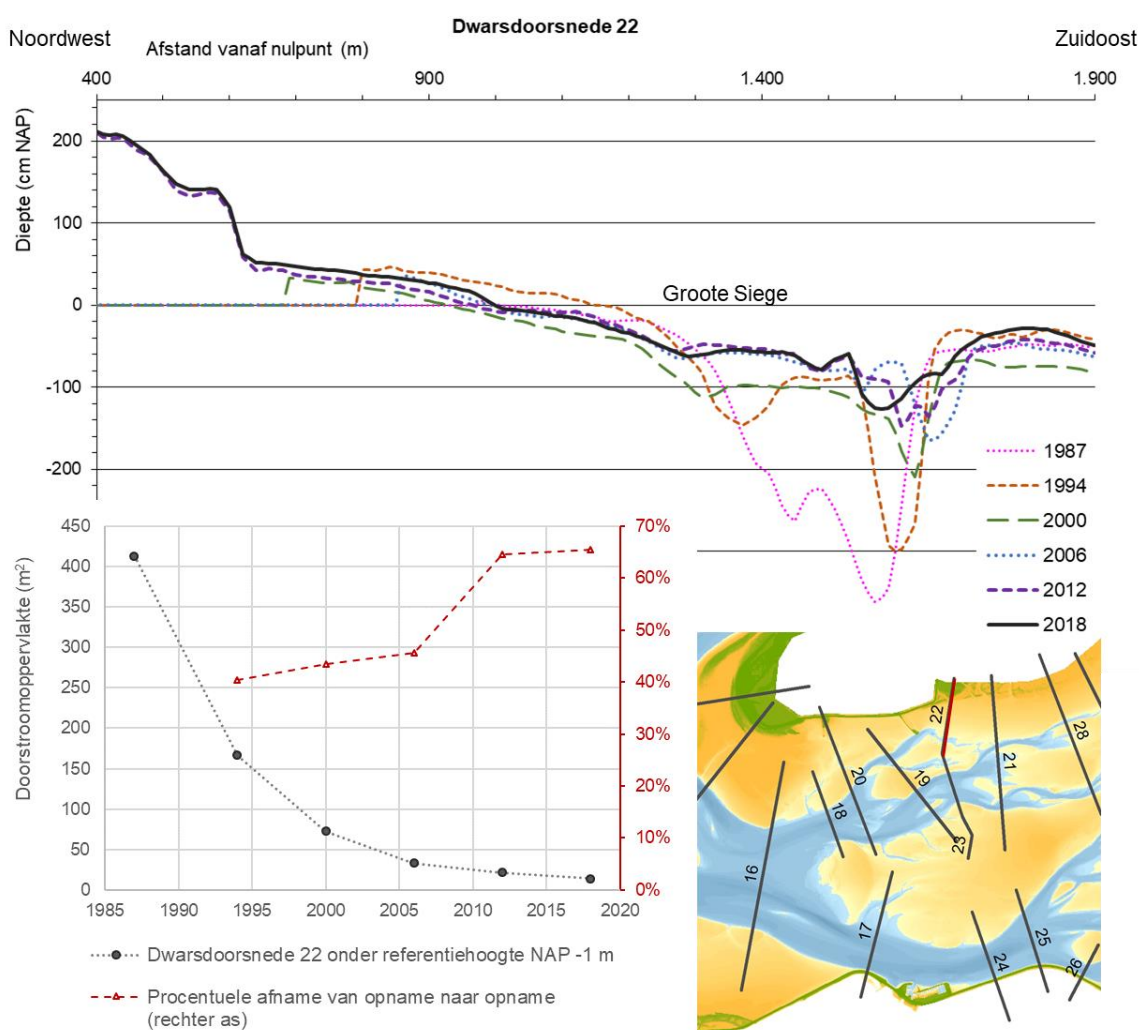


Figuur 4-3 Voorbeeld van de toename van de geulomvang van de geultjes Gat van Schiermonnikoog en Brakzandstergat ten zuiden van Schiermonnikoog.

Er kan ook toename van de omvang van geulen zijn. Dit illustreert Figuur 4-3. De dwarsdoorsnede, met daarbij een grafiek van de doorstroomoppervlakte, toont de toename van de omvang van twee geulen. De doorstroomoppervlakte ervan nam in de periode 1987 tot 2018 toe. Deze toename lijkt niet gelijkmatig te zijn. Er zijn twee perioden, van 1994 tot 2000 en van 2013 tot 2019, met een kleine afname. De oorzaak van de toename ligt waarschijnlijk in

veranderingen in de ligging van het wantij ten zuiden van Schiermonnikoog. Doordat het wantij naar het oosten is opgeschoven, is het kombergingsgebied en daarmee het kombergingsvolume van de geulen groter geworden.

Figuur 4-4 toont de afname van de omvang de geul Grootte Siege. Deze geul ligt ten zuiden van Schiermonnikoog, net als de geultjes Gat van Schiermonnikoog en Brakzandstergat. Ten opzichte van deze geulen ligt de Grootte Siege westelijker. Grootte Siege is de geul die langs de veerdam bij Schiermonnikoog loopt en die wordt gebruikt voor de veerverbinding. De getoonde dwarsdoorsnede ligt ten oosten van de veerdam en wordt niet gebruikt door de veerboot. Dit deel van de geul wordt niet onderhouden door baggeren en de ontwikkeling in Figuur 4-4 kan worden beschouwd als de autonome ontwikkeling. Zichtbaar is dat de geul sinds de eerste opname in 1987 veel minder diep en breed is geworden. De doorstroomoppervlakte is afgenomen van meer dan 400 m² tot minder dan 50 m². De grafiek van de afname laat zien dat in eerste instantie een grote afname heeft plaatsgevonden en dat deze daarna steeds kleiner wordt. Maar wanneer naar de procentuele afname van vakloding naar vakloding wordt gekeken, blijkt dat naar verhouding de afname alleen maar groter is geworden van 40% naar meer dan 60%.

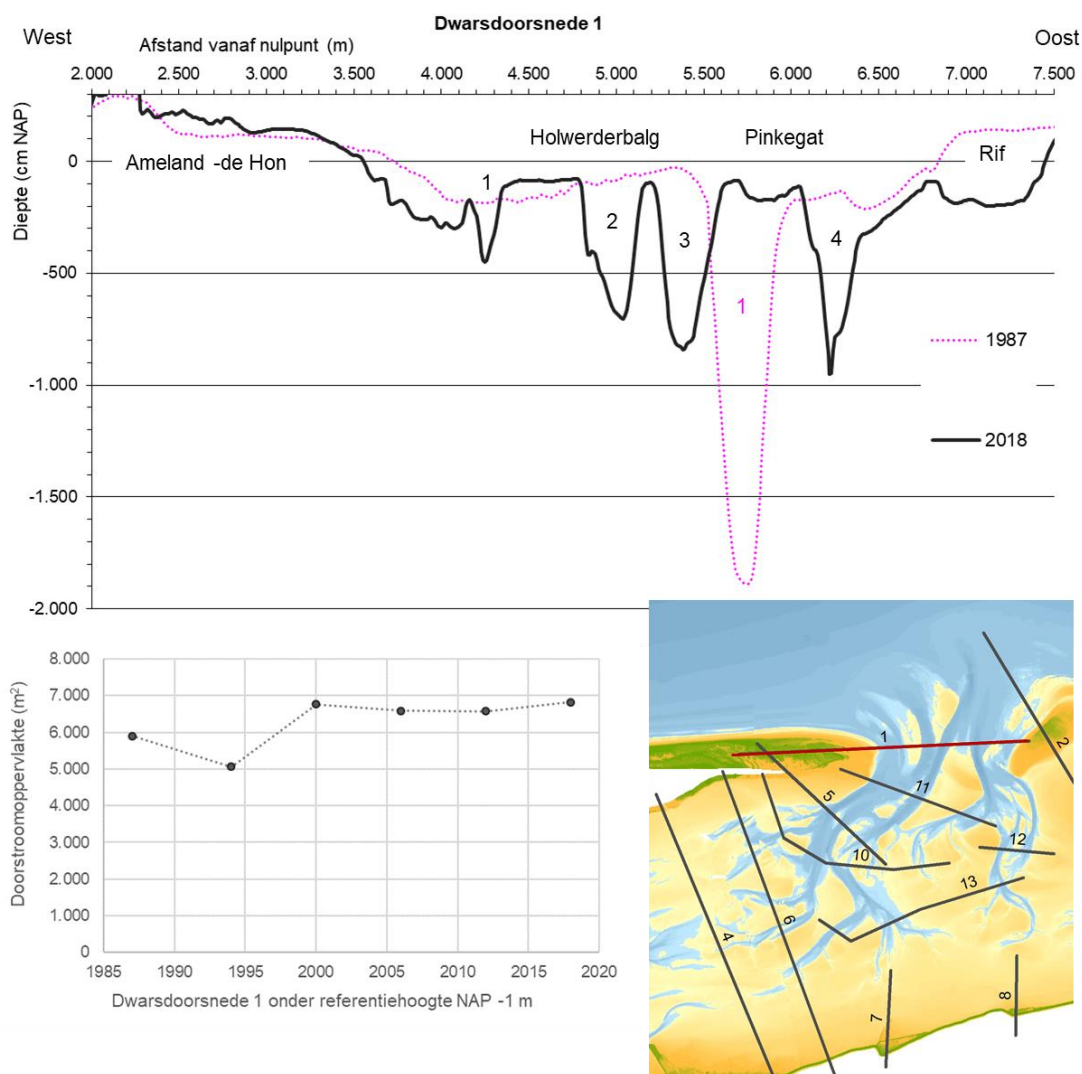


Figuur 4-4 Voorbeeld van de afname van de geulomvang van de geul Grootte Siege ten zuiden van Schiermonnikoog, iets ten oosten van de veerdam.

Binnen de geulen zijn nog allerlei morfologische verschijnselen aanwezig (bochten, eb- en vloedscharen, parallelle geulen, etc.), die ook in dit hoofdstuk worden besproken.

4.2 Zeegaten, de grote en diepe geulen tussen de eilanden

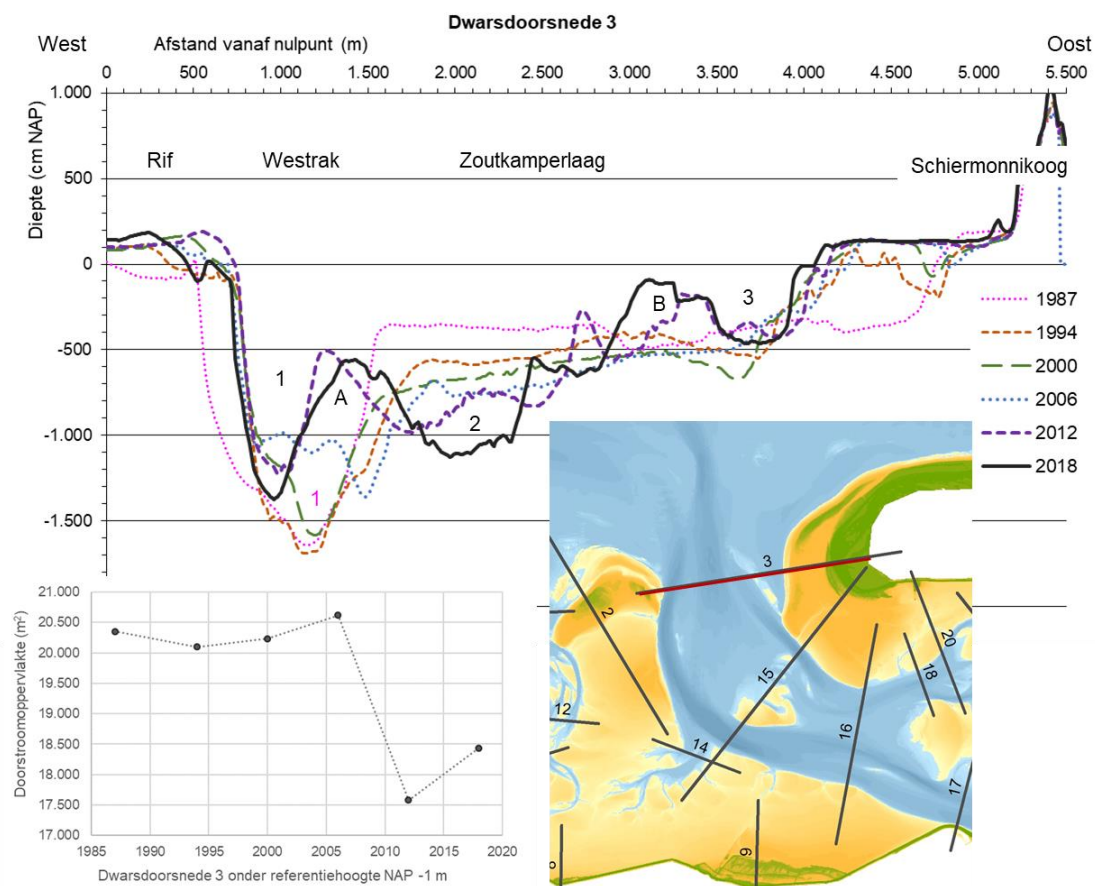
Dwarsdoorsneden door de zeegaten van het Pinkegat en van de Zoutkamperlaag staan in Figuur 4-5 en Figuur 4-6. Beide dwarsdoorsneden lopen door het diepste deel van het zeegat. Het Pinkegat is een zeer dynamisch zeegat (zie paragraaf 2.2). In sommige jaren is sprake van één geul, in andere jaren van meerdere geulen. Dit is goed zichtbaar in Figuur 4-5, waarbij in de dwarsdoorsnede van 1987 sprake is van één relatief diepe geul en in de meest recente opname sprake is van vier veel ondiepere geulen. In de grafiek met de doorstroomoppervlakte in Figuur 4-5 is te zien dat de omvang van de doorstroomoppervlakte van het zeegat voor de situatie met één geul in 1989 iets kleiner is dan de situatie in 2018 met vier geulen. Van grotere veranderingen in de omvang van het zeegat is geen sprake.



Figuur 4-5 Dwarsdoorsnede van het Zeegat Pinkegat (boven), met een grafiek van de doorstroomoppervlakte (linksonder) en de locatie van de dwarsdoorsnede (rechtsonder).

De dwarsdoorsnede door het zeegat Zoutkamperlaag (Figuur 4-6) toont dat in 1987 sprake is van één geul tot NAP -16m (gemarkeerd met de rode nummer 1). In de periode na 1987 wordt het gebied ten oosten van deze geul steeds dieper. Uiteindelijk ontstaat een tweede geul (gemarkeerd met de zwarte 2) in het zeegat ten oosten van de oorspronkelijke geul (nummer

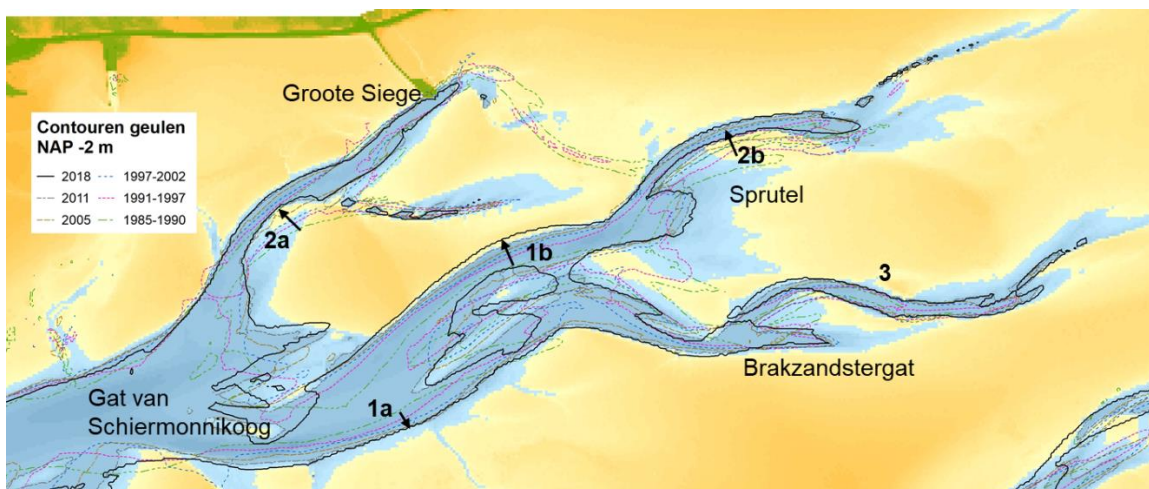
1, nu zwart). Tijdens het ontstaan van de tweede geul wordt ook een ondiepte gevormd tussen geulen 1 en 2 (gemarkeerd met de zwarte A). Ook dichtbij Schiermonnikoog is een geul ontstaan (gemarkeerd met de zwarte 3), ook met het ontstaan van een ondiepte (gemarkeerd met de zwarte B). De maximale diepte van de geul is ondertussen afgenomen tot ca NAP - 14m. In de grafiek van de doorstroomoppervlakte is zichtbaar dat aanvankelijk weinig is veranderd, maar dat na 2006 een sterke afname heeft plaatsgevonden.



Figuur 4-6 Dwarsdoorsnede van het Zeegat van de Zoutkamperlaag (boven), met een grafiek van de doorstroomoppervlakte (linksonder) en de locatie van de dwarsdoorsnede (rechtsonder).

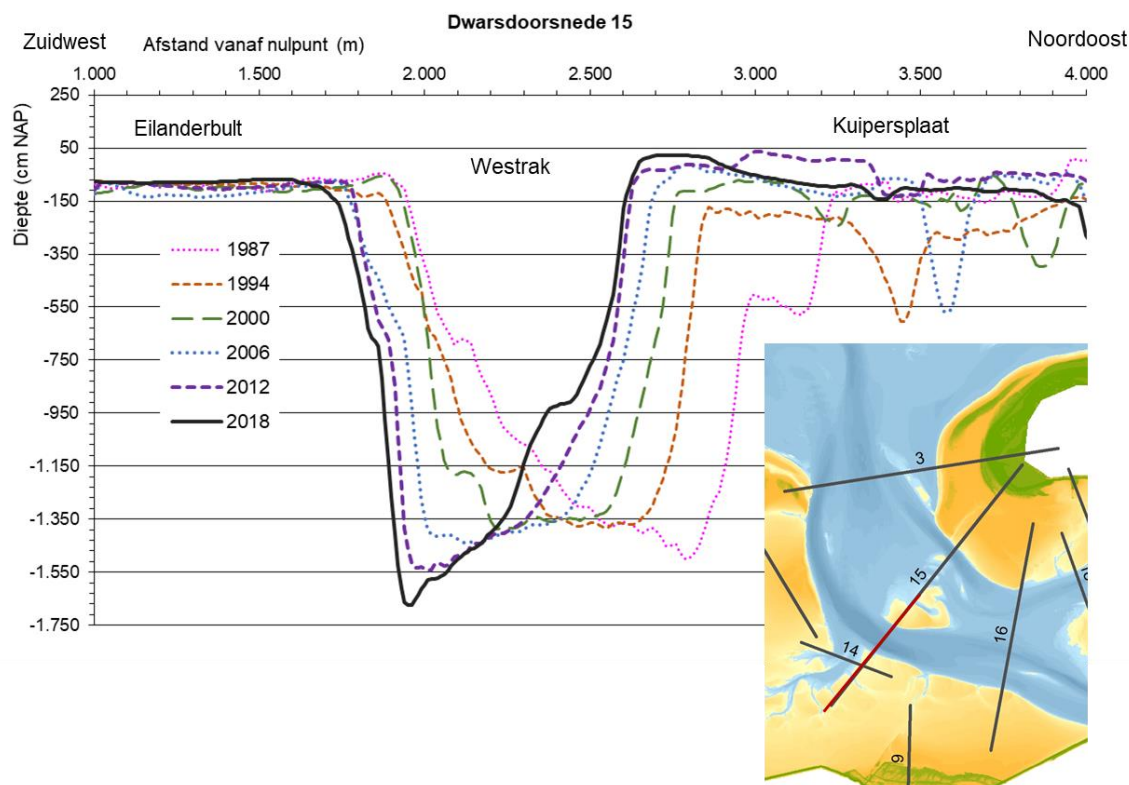
4.3 Geulbochten en stabiele geulen

De geulen in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag hebben vrijwel allemaal en altijd bochten, die we in analogie met de bochten in rivieren ook wel meanders noemen. Een deel van deze geulbochten verplaatst naar buiten, op een vergelijkbare wijze als bochten in rivieren dat doen. Helemaal vanzelfsprekend is dat niet, omdat in tegenstelling tot in een rivier sprake is van twee dominante stroomrichtingen (vloed en eb), waardoor het zandtransport in een getijdegeul anders plaatsvindt dan in een rivier. Dit is ook de reden voor het optreden van de typische eb- en vloedscharen in de getijdegeulen, waarover meer in de volgende paragraaf. In Figuur 4-7 zijn drie geulen weergegeven ten zuiden van Schiermonnikoog, met de NAP -2 m dieptelijn van de opeenvolgende vaklodingen. Bij 1a en 1b is te zien hoe de beide buitenbochten van het Gat van Schiermonnikoog naar buiten bewegen. Omdat deze buitenbochten deels naast elkaar liggen (en niet in elkaars verlengde) is het gevolg van deze verandering dat deze geul hier breder is geworden. Bij 2a en 2b is sprake van geulbochten waarbij de buitenbocht en de binnenbocht van de geul met ongeveer dezelfde snelheid verplaatsen, zodat de gehele geul verplaatst. Ten slotte is bij 3 nog een geul gemarkeerd die, ondanks de aanwezige bocht in de geul, vrijwel niet verplaatst.



Figuur 4-7 Hoogtekaart van de situatie 2012: het meanderende patroon van alle geulen en hun vertakkingen komt duidelijk tot uitdrukking.

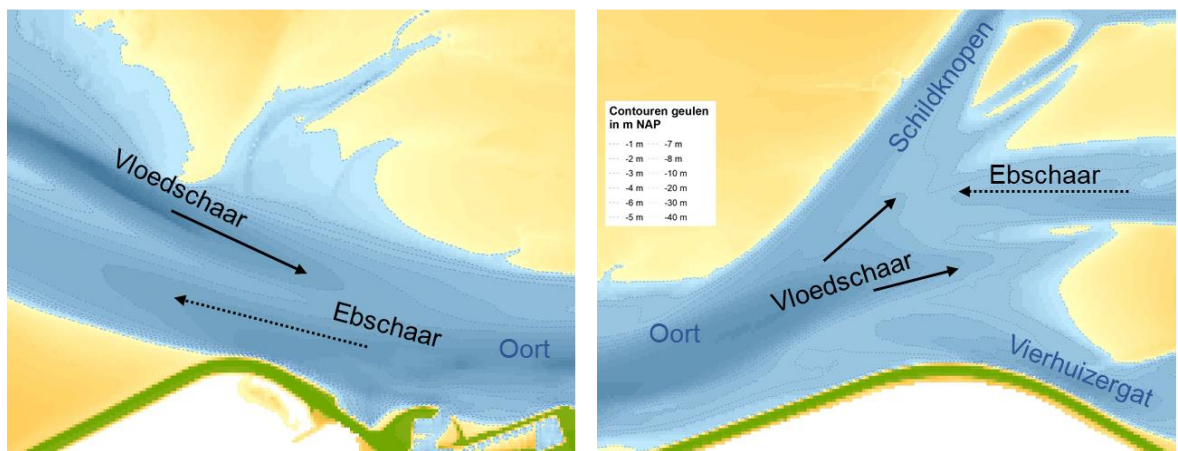
Figuur 4-8 laat zien hoe de verplaatsing van een geulbocht zich in een dwarsdoorsnede manifesteert. Deze dwarsdoorsnede ligt in de buitenbocht van het Westrak (de westelijk geul van de Zoutkamperlaag). Zichtbaar is dat de beide geulwanden verplaatsen naar het zuidwesten. Omdat de verplaatsing van de binnenbocht groter was dan die van de buitenbocht, is de geul niet alleen verplaatst, maar is deze ook smaller geworden. Daarbij is de geul aan de noordoostzijde verondiept, terwijl deze aan de zuidwest is verdiept.



Figuur 4-8 Dwarsdoorsnedes door de geul Westrak in de Zoutkamperlaag (locatie in inzet).

4.4 Eb- en vloedscharen

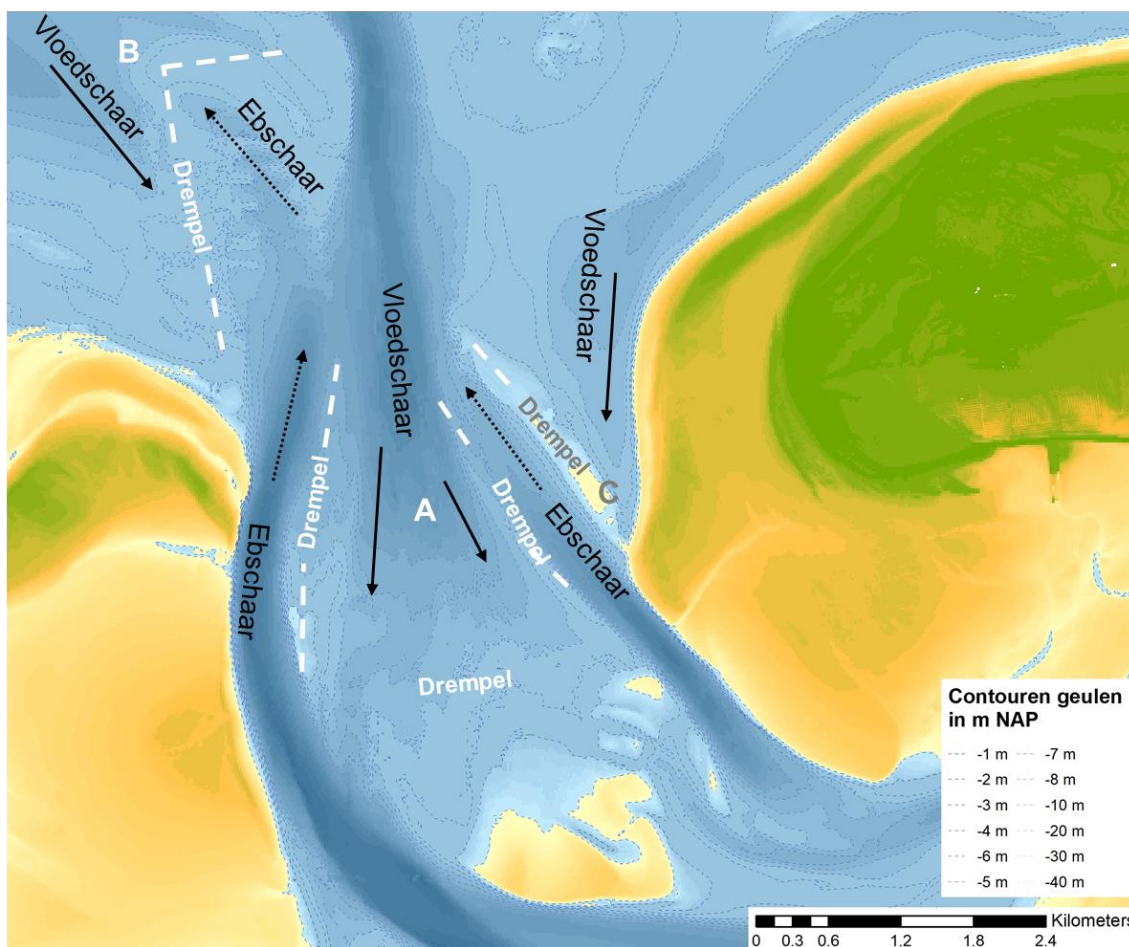
Van Veen (1950) heeft deze kenmerkende geulpatronen in getijdebieden beschreven. Eb- en vloedscharen zijn geulen die eruitzien alsof ze 'uit de bocht' geschoten zijn en die eindigen in een ondiepte of drempel (Figuur 4-9). Een vloedschaar is georiënteerd in de richting van de vloedstroom, van het zeegat naar het kombergingsgebied. Een ebschaar heeft de omgekeerde oriëntatie. De aanwezigheid van de drempel aan het einde van schaar betekent dat er geen directe aansluiting op de rest van de geul mogelijk is. Het resultaat daarvan is dat geulen opsplitsen. Dit resulteert in het door Van Veen beschreven systeem van elkaar vermijdende eb- en vloedscharen. Eb- en vloedscharen komen voor in verschillende karakteristieke vormen, die zijn getoond in Figuur 4-9. Deze patronen kunnen worden herkend in de opeenvolgende kaarten met de bodemligging uit het aandachtsgebied.



Figuur 4-9 Eb- en vloedschaar configuraties volgens de classificatie van (Van Veen, 1950). Links: 'flankaanval'; rechts: 'vorkvorming'.

Subgetijde eb- en vloedscharen zijn onder meer zichtbaar in de hoofdgeul van de Zoutkamperlaag. Aan de noordzijde "schieten" de buitendeltageulen uit de bocht wat leidt tot eb- en vloedschaarvorming. In het gedeelte tussen Engelsmanplaat en de Lauwersmeerdijk leidt het uitbochten van de geulen naar het oosten tot ontwikkeling van scharen (Figuur 4-10).

Ook de intergetijdegebieden kunnen worden beïnvloed door eb- en vloedschaarvorming. Zo ontwikkelt het Gat van Schiermonnikoog-Brakzandstergat van 1 geulstelsel naar twee aparte geulstelsels door vloedschaarontwikkeling wat ten koste gaat van het plaatareaal. Ook in de zeegaten en op de buitendelta is sprake van eb- en vloedscharen, zoals zichtbaar is in Figuur 4-10.



Figuur 4-10 Diepteligging van de situatie 2018/19 rond het Zeegat van de Zoutkamperlaag met de diverse vloed- en ebscharen en de drempelgebieden in de hoofdgeulen (A) en de nevengeulen (B en C).

4.5 Geulontwikkeling bij een dijk: Vierhuizergat en Oort

Bij de Lauwersmeerdijk lopen (tegenwoordig) twee geulen direct aan de teen van de dijk, namelijk Zoutkamperlaag-Oort en het Vierhuizergat. De Zoutkamperlaag ligt sinds de aanleg van de Lauwersmeerdijk al min of meer op dezelfde locatie, feitelijk omdat de oorspronkelijk Zoutkamperlaag is afgedamd. In Oost (2014) is een beschrijving opgenomen van de verschillende stadia waarin de afsluiting heeft plaatsgevonden. In Figuur 4-11 is een luchtfoto opgenomen van de situatie kort na de afsluiting. In deze luchtfoto zijn de patronen van de geulen herkenbaar aan beide zijden van de Lauwersmeerdijk. De Lauwersmeerdijk is ten oosten van Lauwersoog voornamelijk op wadplaten aangelegd. Bij 1 is met een pijl aangegeven waar een zijtak van het Vierhuizergat lag die naar het zuiden gericht was. Hier is de Lauwersmeerdijk over de voormalige geul heen aangelegd. Voor de aanleg van de dam is zand gewonnen, zowel aan de zuidzijde van wat tegenwoordig de geul Oort is, als in de omgeving van het huidige Vierhuizergat (Postma & Reenders, 1986).



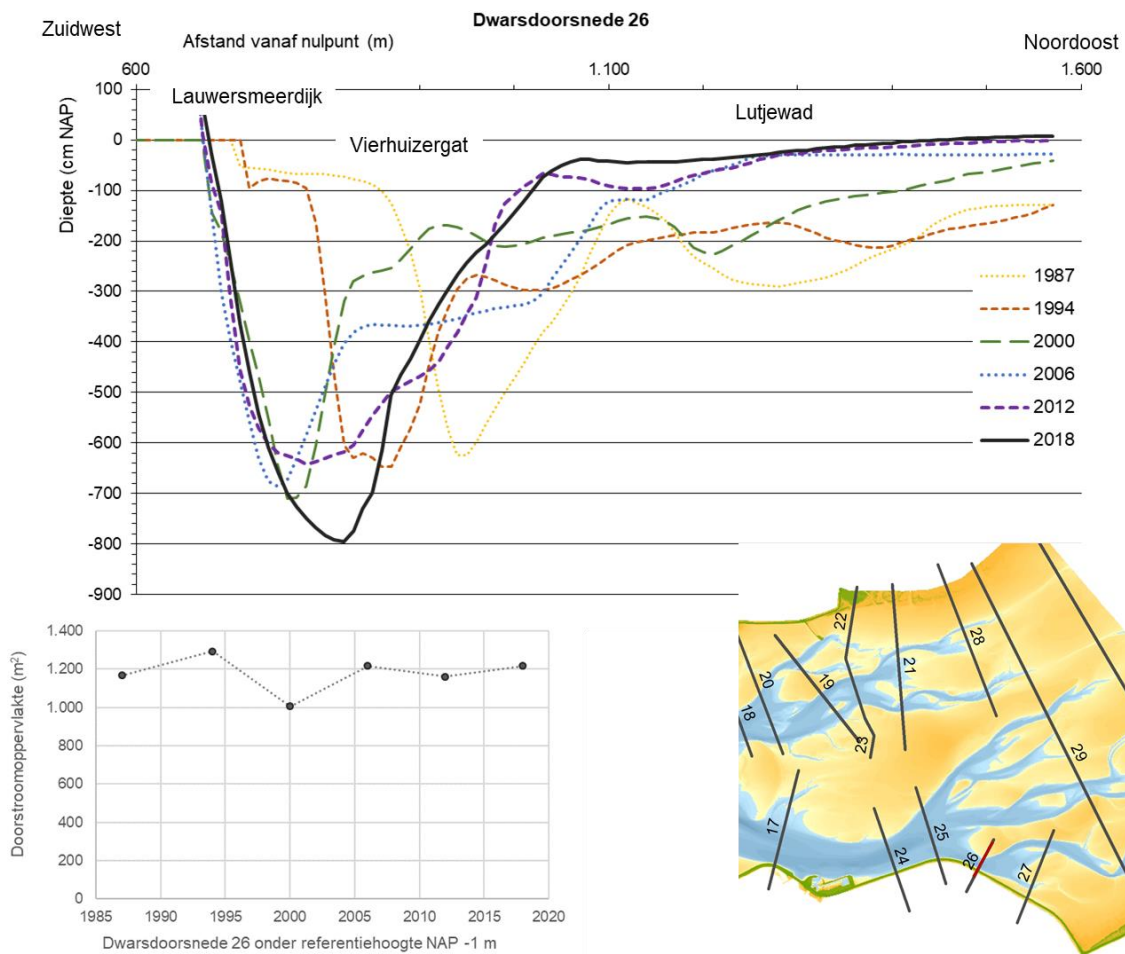
Figuur 4-11 Luchtfoto opname 8 juni 1969 (detail van luchtfoto mozaïek in de hal van de Zonneveld-vleugel van de Universiteit Utrecht).

Na de aanleg van de Lauwersmeerdam is de zandplaat die bij Oort en het Vierhuizergat tussen de dijk en de geul lag, geleidelijk geërodeerd. Het gevolg van deze erosie van de wadplaat is dat de geulen geleidelijk tegen de dijk aan zijn 'gekropen'. In de dwarsdoorsnede in Figuur 4-12 is deze ontwikkeling duidelijk zichtbaar. De geulwanden aan beide zijden zijn van 1987 tot 2000 opgeschoven naar het zuidwesten. Na 2000 is de geulwand aan de zuidwestzijde niet verder opgeschoven. Deze geulwand is later gestabiliseerd met stortsteen. Deze stabilisatie is uitgevoerd om de sterkte van de dijk te garanderen. Na de stabilisatie van de zuidwestelijke zijde is de andere zijde verder naar het zuidwesten verplaatst, zodat de geul smaller werd. Daarbij is de geul dieper geworden. De doorstroomoppervlakte is steeds ongeveer hetzelfde gebleven.

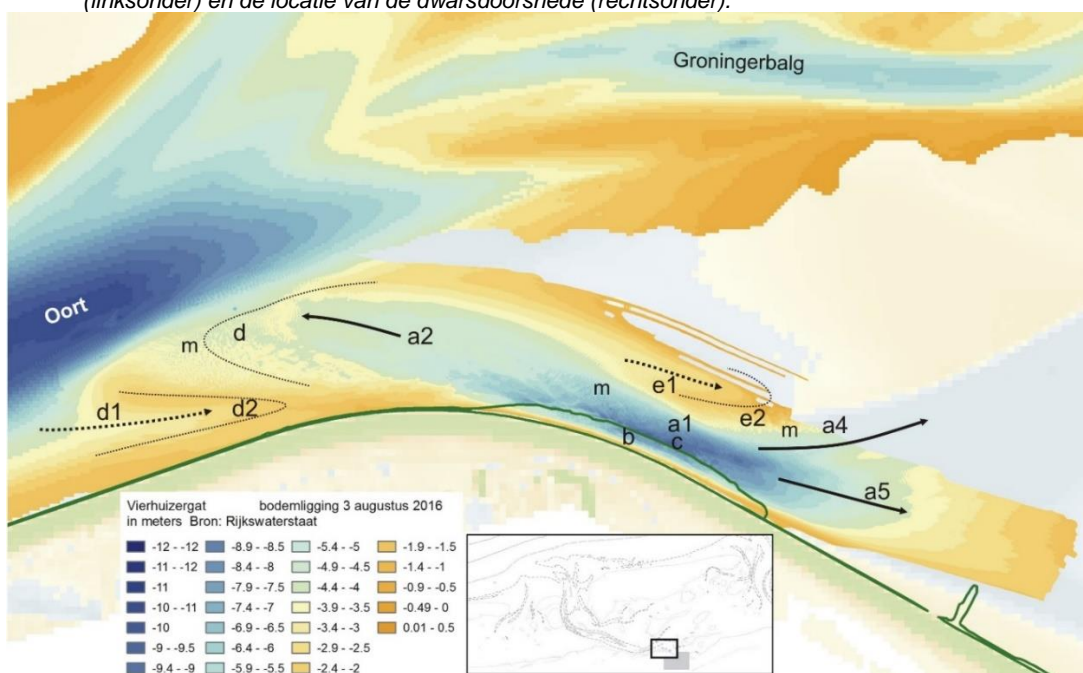
De ontwikkelingen van het Vierhuizergat zijn in veel detail geanalyseerd, vanwege de stabiliteit van de dijk. Hierbij zijn verschillende oplossingsrichtingen onderzocht om de destabiliserende ontwikkelingen van het Vierhuizergat tegen te gaan (Arcadis, 2017 en Ouwerkerk, 2019).

Uit de analyses van de ligging en ontwikkelingen van het Vierhuizergat is ook gebleken dat de aanwezigheid van het Vierhuizergat ook de ligging van de geul bij de dijk beïnvloedt. De aanwezigheid van het ebschild van de het Vierhuizergat 'duwt' Oort als het ware een beetje uit de dijk. Figuur 4-13 toont een gedetailleerde opname van de bodemligging van het Vierhuizergat en van Oort. Het Vierhuizergat bestaat bij de bestorting uit een diep centraal deel (a1), met aan beide zijde verondiepingen. Het sinds 2012 bestorte gedeelte van geul ligt binnen de groene contour bij b. Bij de teen van de bestorting wordt het diepste gedeelte van de geul gevonden (c). Aan de noordwestzijde ligt een ebschild (a2). Het ebschild (d) aan de westzijde van de geul vormt de overgang naar de getijdegeul Oort. Ten zuidwesten van deze drempel ligt bij d1 een kleine aftakking van Oort die snel verondiept en een vloedschild (d2) heeft. Dit is een vloedschaar.

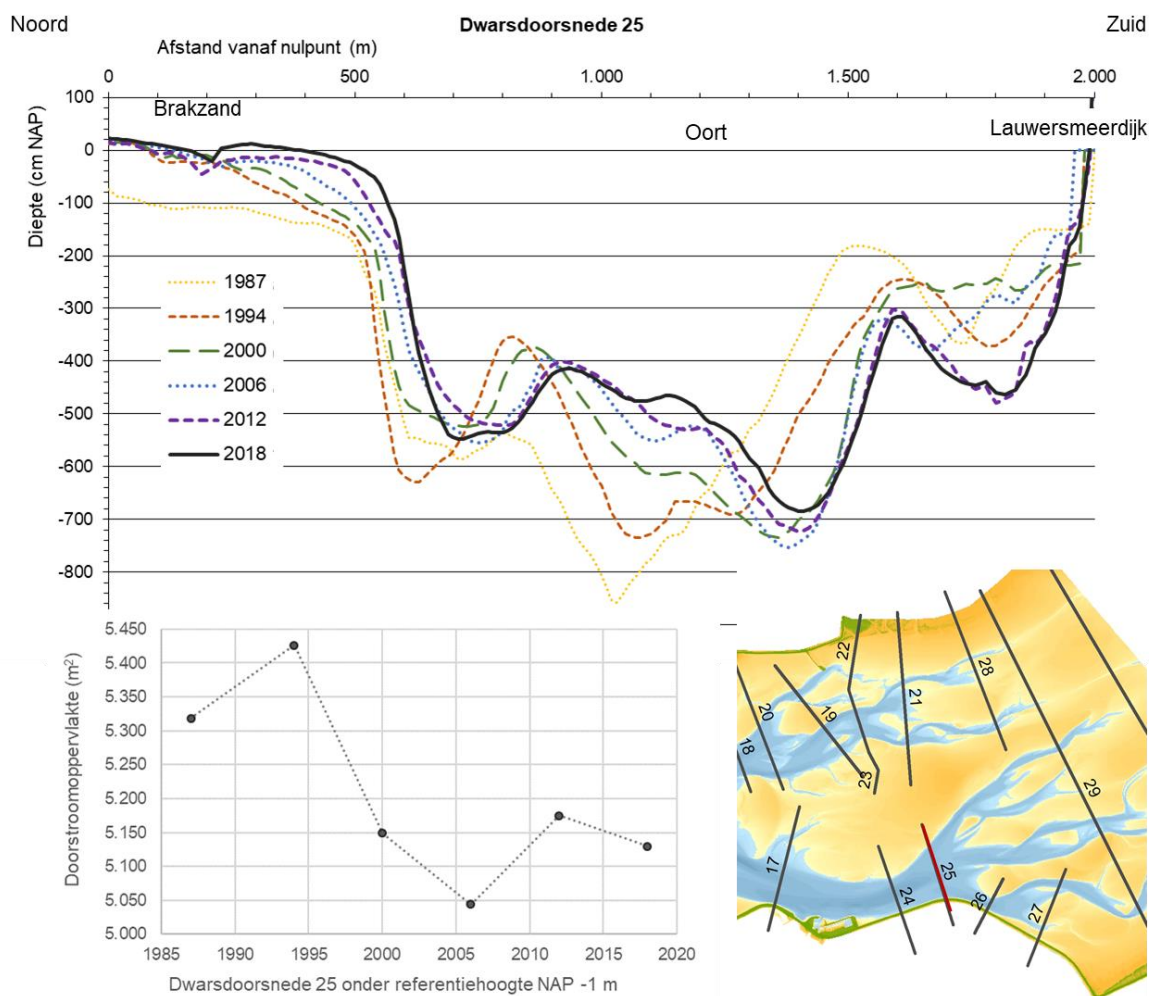
Ondanks de aanwezigheid van het ebschild van het Vierhuizergat, is Oort direct bij de Lauwersmeerdijk de afgelopen jaren wel dieper geworden, zoals zichtbaar is in Figuur 4-14.



Figuur 4-12 Dwarsdoorsnede van het Vierhuizergat (boven), met een grafiek van de doorstroomoppervlakte (linksonder) en de locatie van de dwarsdoorsnede (rechtsonder).



Figuur 4-13 Detailkaart Vierhuizergat (op basis multibeam-opnamen van Rijkswaterstaat, uit Arcadis, 2017).

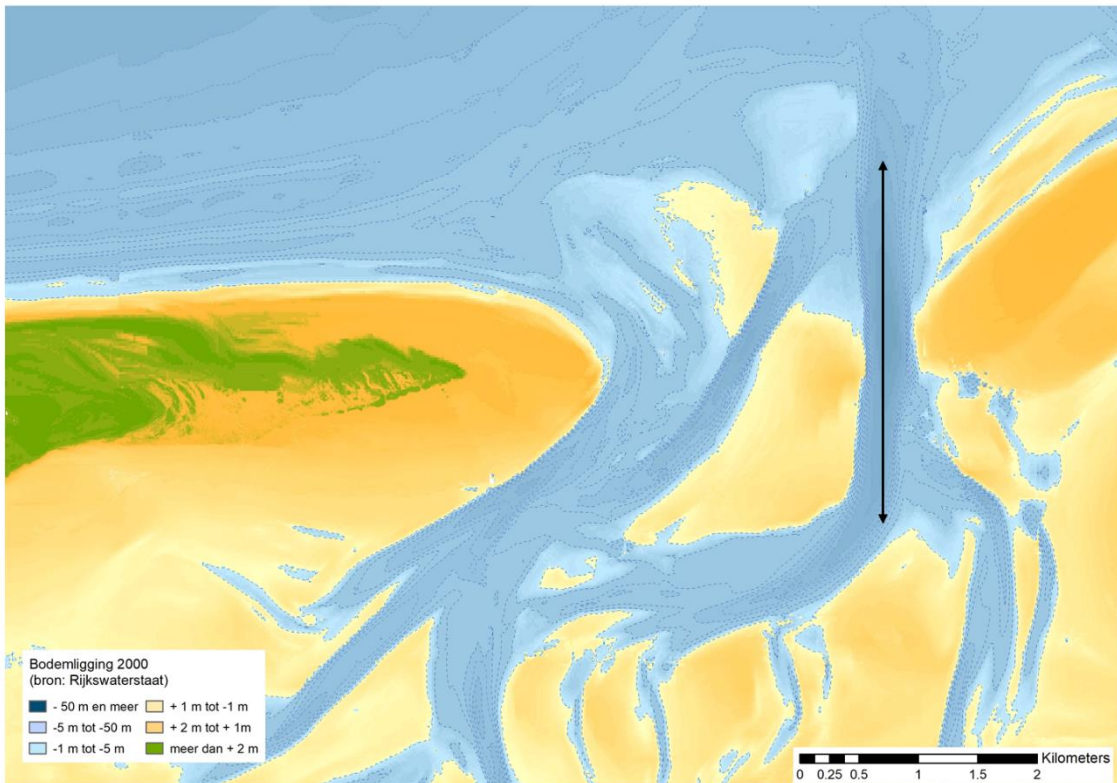


Figuur 4-14 Dwarsdoorsnede van Oort (boven), met een grafiek van de doorstroomoppervlakte (linksonder) en de locatie van de dwarsdoorsnede (rechtsonder).

4.6 De recht-doorgaande geulen van het Pinkegat

Vanuit het Pinkegat zeegat worden van tijd tot tijd nieuwe geulen westelijk van de hoofdgeul gevormd (zie 2.2.2). Deze geulen hebben de neiging om initieel een erg recht verloop te hebben. Dit is een vrij onbekend soort geulen. Het heeft er de schijn van dat ze ontstaan tijdens doorbraken over de oostpunt van Ameland. Pas in een later stadium gaan deze meanderen. Door de veelal NO-ZW oriëntatie van deze geulen kan de zuidzijde van de Hon (zie 6.2.1) worden aangetast.

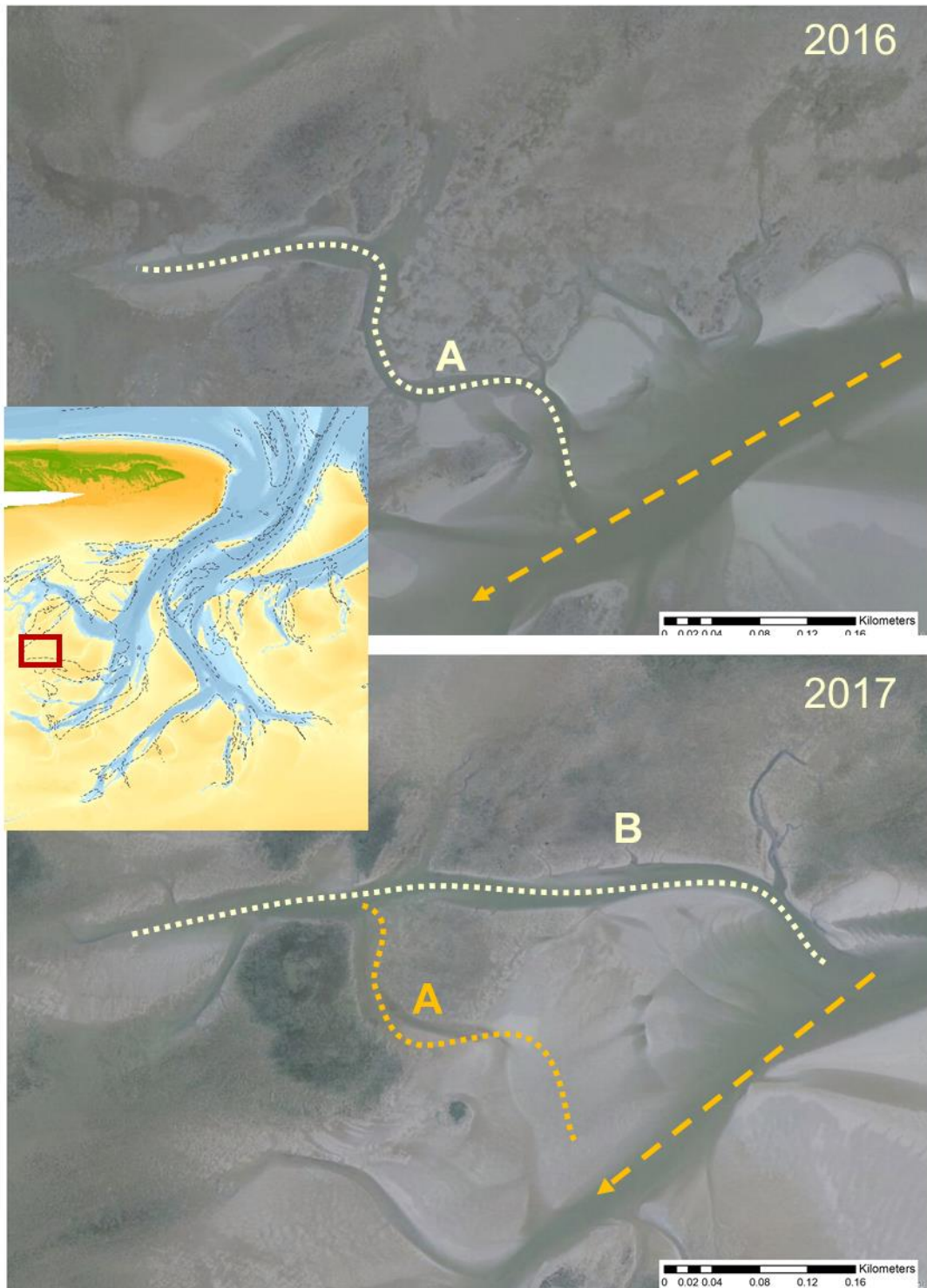
Een enkele keer ontstaat er ook oostelijker een rechte geul. Ook hiervan is de oorsprong niet duidelijk (Figuur 4-15). Het zou kunnen dat de rechte loop mede bepaald wordt door de aanwezigheid van harde lagen in de ondergrond.



Figuur 4-15 Rechte geul (met pijl) in de lodingen van 2000 aan de oostkant van het Pinkegat.

4.7 Overname geulen

Bij sommige geulen wordt de rol van de ene geul overgenomen door andere geul die tot ontwikkeling is gekomen. In Figuur 4-16 is dit zichtbaar bij twee geultjes op het wad ten zuiden van Ameland. In 2016 is het geultje A de actieve geul. In 2017 is geultje B tot ontwikkeling gekomen en die geul heeft de functie van geultje A geheel overgenomen. Geultje A is grotendeel verdwenen, er is alleen nog een restant van zichtbaar. Dit soort ontwikkelingen doet zich ook op grotere ruimteschalen voor, maar omdat op die schaal ook allerlei andere ontwikkelingen plaatsvinden, is het veel minder duidelijk weer te geven dan op deze kleine schaal.



Figuur 4-16 Voorbeeld van de overname van de functie van een geultje (A) door een ander geultje (B), waardoor de functie van A vervalt. De gestreepte pijl markeert de iets grotere geul waar de geultjes A en B van aftakken.

5 Inter- en supragetijde wadplaten

5.1 Kenmerken, gebruiksfuncties en belangrijkste gebieden

Intergetijde wadplaten zijn de gebieden met een hoogte tussen laag- en hoogwater. Door hun hoogteligging vallen de wadplaten tijdens laagwater vrijwel geheel droog. Alleen op de diepere delen van de wadplaten, die niet direct afwateren op de geulen, kan een laagje water blijven staan tijdens laagwater. De supragetijde wadplaten lopen alleen dan onder als het waterniveau hoger wordt dan hoogwater.

Voor de beschrijving van de wadplaten is een onderscheid naar verschillende gebieden zinvol (Figuur 5-1)

- A. Het Pinkewad (paragraaf 5.2);
- B. Het Friesche Wad (paragraaf 5.3);
- C. Het Wierumerwad (paragraaf 5.4);
- D. Supragetijde Rif (paragraaf 0)
- E. Inter- tot supragetijde Engelsmanplaat (paragraaf 0)
- F. Inter tot supragetijde Oude Wal-Rif-Reede (paragraaf 5.6)
- G. Roode Hoofd-Brakzand (paragraaf 5.7)
- H. Lutjewad (paragraaf 5.8).

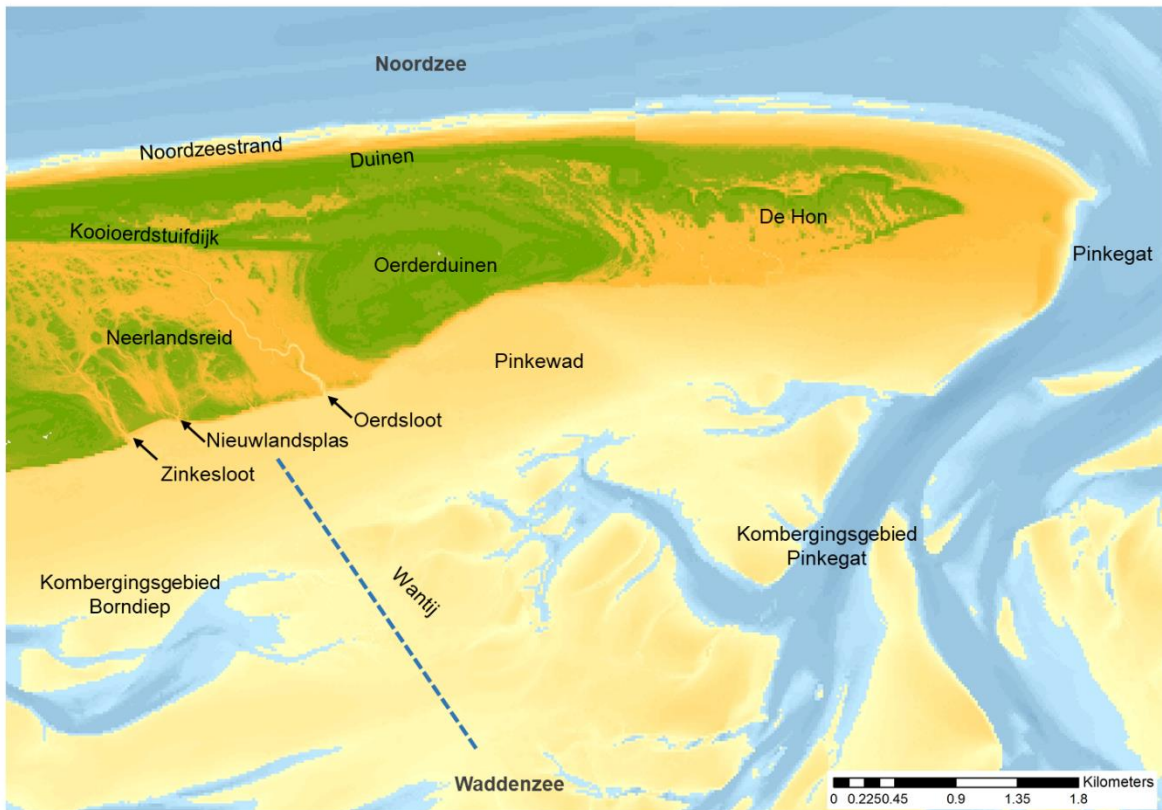
5.2 Het Pinkewad

Het Pinkewad ligt ten zuiden van de oostpunt van Ameland. Hier ligt ze voor de eilandkwelders Neerlandsreid en Hon en voor de Oerderduinen. De overgang van deze kwelders naar het Pinkewad is bij het Neerlandsreid vastgelegd met stortsteen. Bij de Hon is sprake van een natuurlijk kwelderklif, dat over een belangrijk deel geleidelijk landwaarts verplaatst. In het volgende hoofdstuk over de kwelders staat meer informatie over deze kwelders.

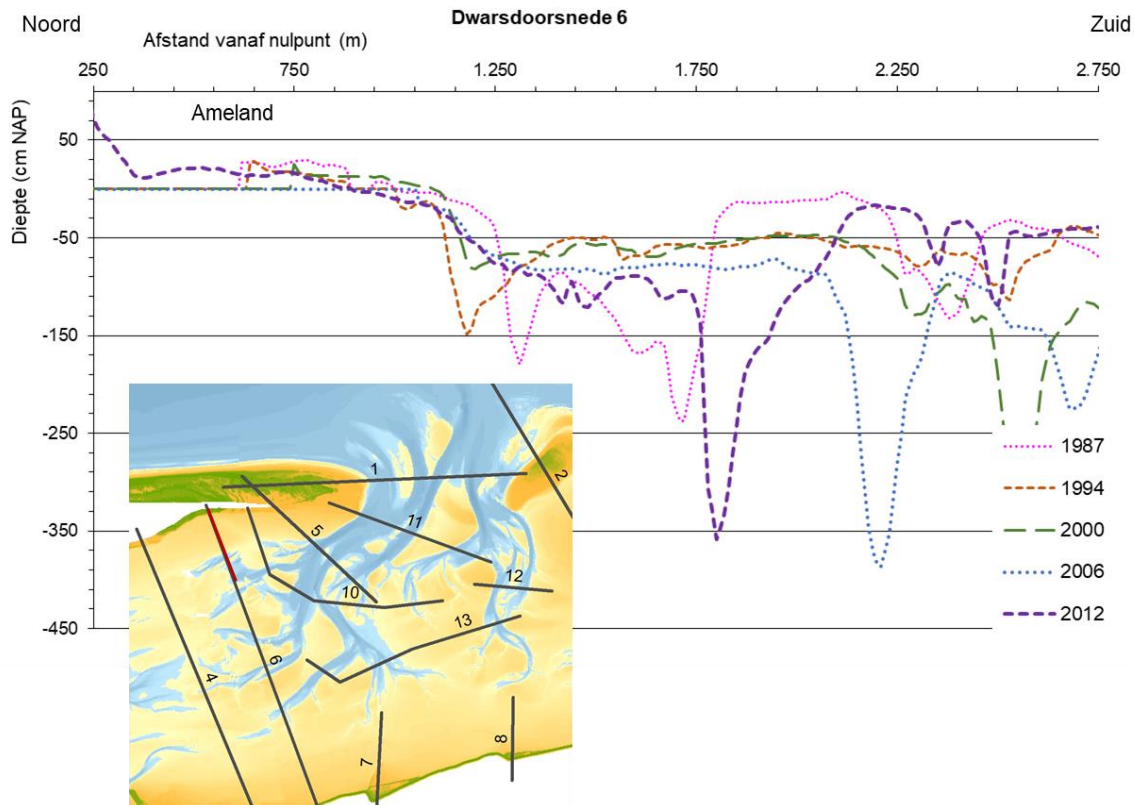
Het Pinkewad is het hoogst in de zone direct ten zuiden van de kwelders en loopt dan geleidelijk af naar de geulen in de Waddenzee. Het naar lagere delen aflopen is duidelijk zichtbaar in de dwarsdoorsnede in Figuur 5-2. In deze zone zijn geen geulen, maar wel geulverbindingen tussen kwelderkreken van de eilandkwelders naar de geulen in de Waddenzee. Aan de oostzijde van het gebied zijn langgerekte bodemvormen aanwezig, met een golfenlengte van 30 tot 50 m en een hoogte van een decimeter. Dit type bodemvormen is door Van Straaten beschreven (1950). Zuidelijker op het Pinkewad is sprake van veel variatie in de hoogte van het wad, dat hier doorsneden wordt door veel geulen.

De ligging van de geulen in het zuidelijk deel van het Pinkewad, welke vertakkingen zijn van het Pinkegat, is zeer variabel. Deze grote variatie in de ligging van de geulen ten zuidwesten van het zeegat is ook geobserveerd in de andere kombergingsgebieden in de Waddenzee.

De monitoring van de hoogte van de wadbodem (met LiDAR, zie Van der Lugt et al., 2019) en van de erosie-sedimentatie (met spijkermetingen, zie Krol et al., 2019) van het Pinkewad heeft laten zien dat er een zone (of band) voor de kwelders ligt die structurele verlagings heeft ondergaan. Daar is minder sedimentatie opgetreden dan nodig is voor het bijhouden van de bodemdaling die door gaswinning sinds 1987 is opgetreden. Iets verder zuidelijker is de hoogte van de wadbodem heel variabel, voornamelijk vanwege de grote dynamiek van de geulen



Figuur 5-1 Detailkaart van het Pinkewad (opname 2012).

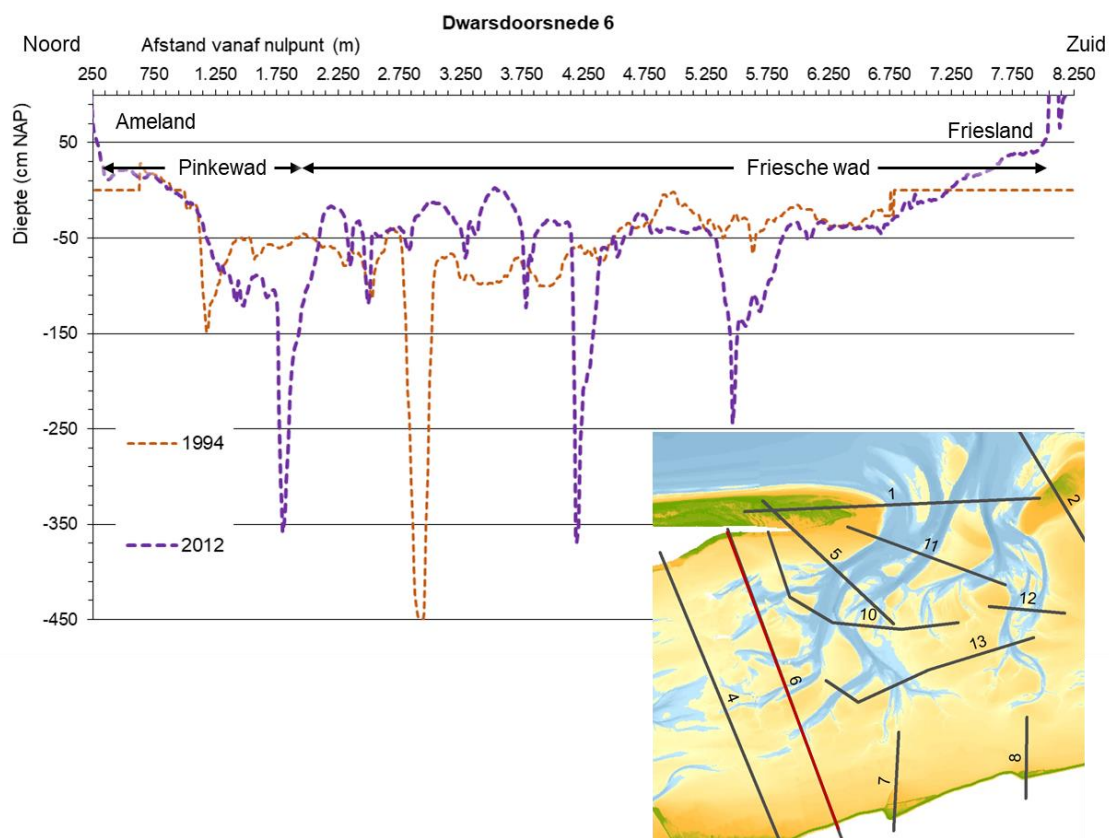


Figuur 5-2 Dwarsdoorsnede van het Pinkewad ten zuiden van de oostpunt van Ameland (locatie in inzet).

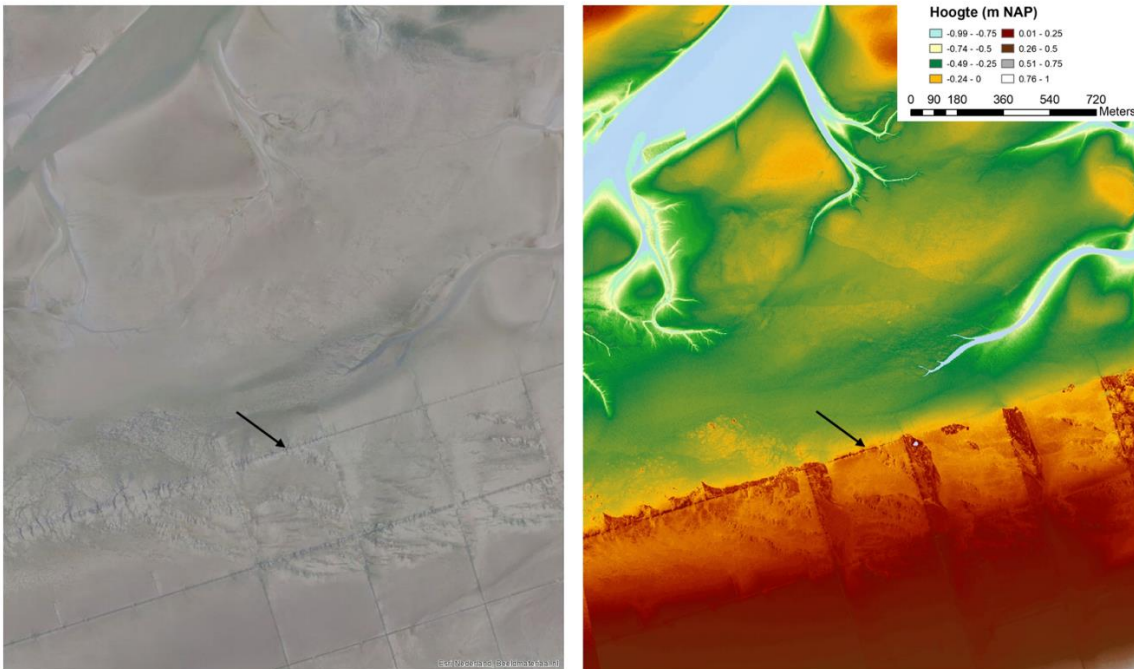
5.3 Het Friesche Wad

Het Friesche wad is het gebied ten noorden van de Waddenzeedijk. Het begint bij het wantij en loopt tot het kwelderfragment bij Wierum, waar het overgaat in het Wierumerwad. Het hele gebied vanaf de waddenzeedijk tot het Pinkewad wordt beschouwd als het Friesche Wad. In de dwarsdoorsnedes in Figuur 5-3 is duidelijk gemaakt hoe deze onderverdeling er uit ziet. De dwarsdoorsnedes van de vaklodingen 2012 laten zien dat vanaf de Friese vastelandskust de wadbodem geleidelijk dieper wordt. Dit is vergelijkbaar met de hoogte-afname bij het Pinkewad, vanaf de kust van Ameland. Tussen de dieper wordende noord- en zuidoever liggen verschillende wadplaten, die worden begrensd door geulen bij. Zowel de positie van de geulen, als de hoogte ervan verschilt in de getoonde vaklodingen van 1994 en 2012.

Naast de sterke fragmentatie van de droogvallende wadplaten en de grote dynamiek van de geulen en platen is een kenmerkend onderdeel van de het Friesche wad de aanwezigheid van restanten van kwelderwerken. In Figuur 5-4 is zichtbaar dat niet alleen restanten van de rijshouten dammen aanwezig zijn, maar dat ook het hoogtepatroon de rechthoekige vorm van de kwelderwerken vertoont. Het onderhoud aan deze kwelderwerken is in de jaren '60 gestaakt.



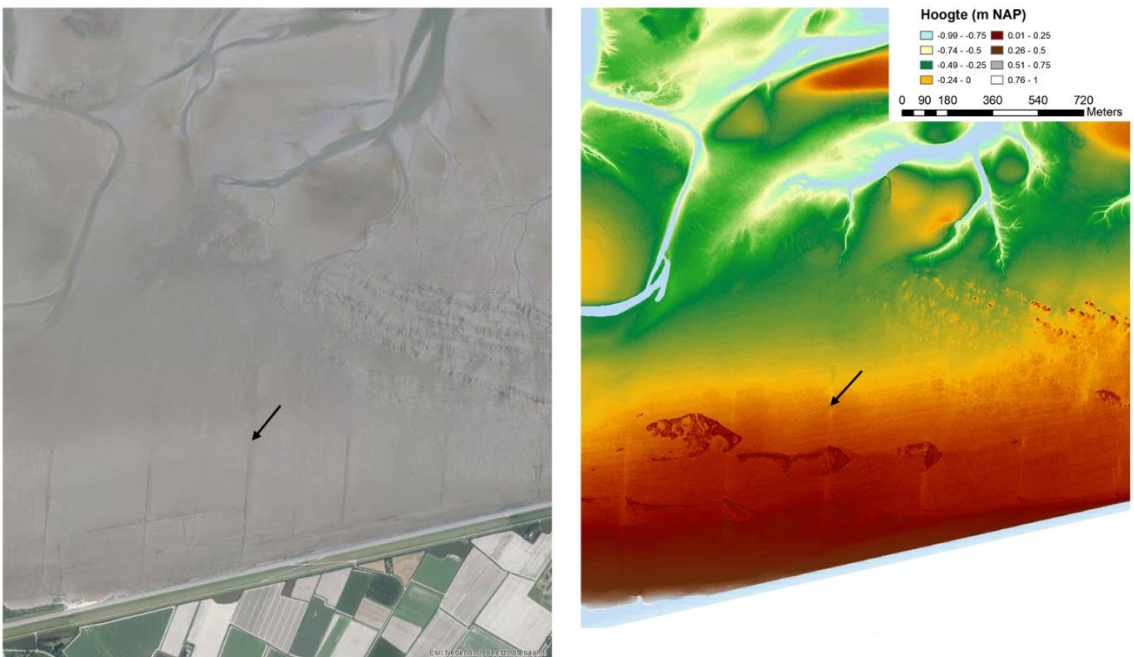
Figuur 5-3 Dwarsdoorsnedes van het gehele wad tussen Ameland en de Friese vastelandskust, met het Pinkewad en het Friesche wad (locatie in inzet).



Figuur 5-4 Luchtfoto (2017, bron PDOK - Beeldmateriaal) en LiDAR-Hoogtemeting (2018, bron Rijkswaterstaat) van het Friesche wad. De pijl markeert een van de restanten van de kwelderwerken, die het rechthoekige patroon onderin de foto vormen.

5.4 Het Wierumerwad

Het Wierumerwad ligt ten oosten van het Friesche wad ten noorden van de Friese vastelandskust. Het Wierumerwad is in veel opzichten de voorzetting van het Friese wad. De hoogte ervan loopt geleidelijk af vanaf de zeedijk naar de geulen in de Waddenzee.



Figuur 5-5 Luchtfoto (2017, bron PDOK - Beeldmateriaal) en LiDAR-Hoogtemeting (2018, bron Rijkswaterstaat) van het Wierumerwad. De pijl markeert een van de restanten van de kwelderwerken, die de rechte lijnen onderin de foto vormen.

Bij het Wierumerwad zijn ook landaanwinningswerken uitgevoerd, waarvan de restanten in luchtfoto's zichtbaar zijn (Figuur 5-5). In de gedetailleerde hoogtekaart is het patroon van de landaanwinningswerken minder duidelijk dan bij het Friesche wad. Verassend genoeg is bij de restanten van de rijshoutendammen het wad hier lager, in tegenstelling tot de situatie bij het Friesche wad (Figuur 5-4).

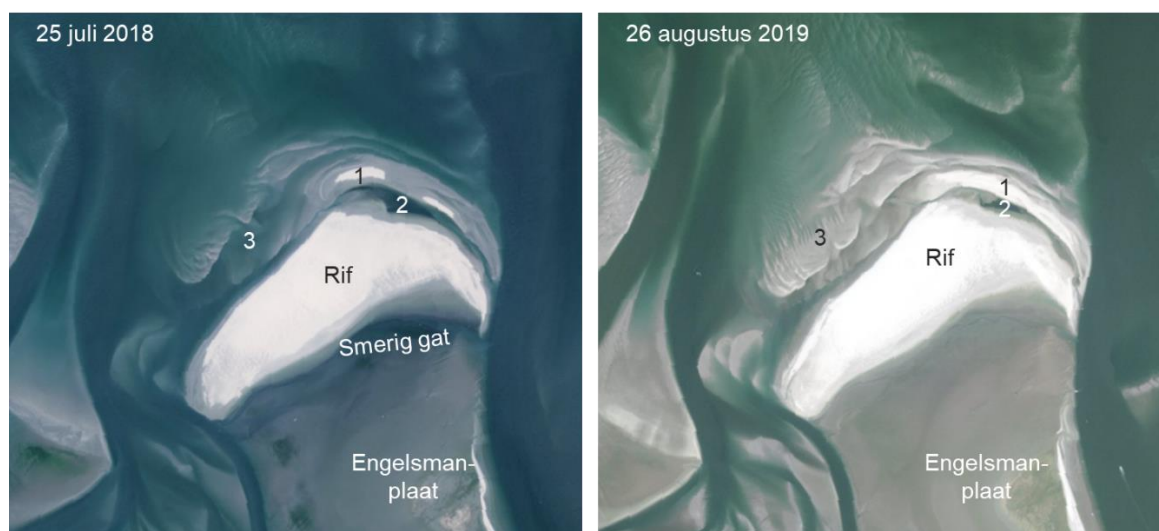
5.5 Het Rif en Engelsmanplaat

Het Rif en Engelsmanplaat zijn bijzondere platen, omdat ze een belangrijk onderdeel vormen van het wad tussen het Pinkegat en de Zoutkamperlaag. Onderling verschillen deze platen sterk in eigenschappen en ook in dynamiek.

Het Rif ligt aan de Noordzeezijde en is een relatief hoge plaat. De positie aan de rand van de buitendelta's van Pinkegat en Zoutkamperlaag betekent dat het Rif een grotere golfaanval kent dan de wadplaten die een meer beschutte ligging in het kombergingsgebied hebben. De relatief zware golfaanval is waarschijnlijk ook de reden dat deze plaat zo hoog is: de golven werpen een zandbank op aan de Noordzeezijde. In de dwarsdoorsnede is deze zandbank zichtbaar als de hoge rug aan de noordwestzijde.

De plaat is dermate hoog dat delen ervan niet ieder getij worden overspoeld door water, waardoor naast de golven en de stroming ook de wind een rol speelt bij de morfodynamische veranderingen. De dwarsdoorsnede door Rif laat zien dat het hoge deel ervan geleidelijk naar het zuidoosten opschuift, waarschijnlijk als gevolg van de golfaanval vanaf de Noordzee. De kaarten van de bodemligging en opeenvolgende satellietbeelden en luchtfoto's laten zien dat frequent kleine zandbanken vanaf de buitendelta van het Pinkegat naar het Rif verplaatsen en uiteindelijk met het Rif verhelen. Figuur 5-6 toont twee satellietbeelden, uit 2018 en 2019 met daarin het Rif, een zandbank aan de noordoostzijde die relatief hoog is (1), het restant van het diepere water tussen Rif en de zandbank (2) en de dieper liggende zandbanken aan de noordwestzijde (3). De zandbank (1) schuift geleidelijk naar Rif, waardoor het restant van het diepere water (2) steeds kleiner wordt. De dieper liggende zandbanken aan de noordwestzijde (3) lijken ook naar Rif te schuiven. Door het opschuiven en verhelen van deze zandbanken met Rif, groeit deze hoge zandplaat aan de Noordzeezijde aan. Onder invloed van de golven is de hoogte van Rif in de loop van de tijd ook steeds toegenomen, zoals duidelijk zichtbaar is in de in de tijd opeenvolgende dwarsdoorsnedes in Figuur 5-7.

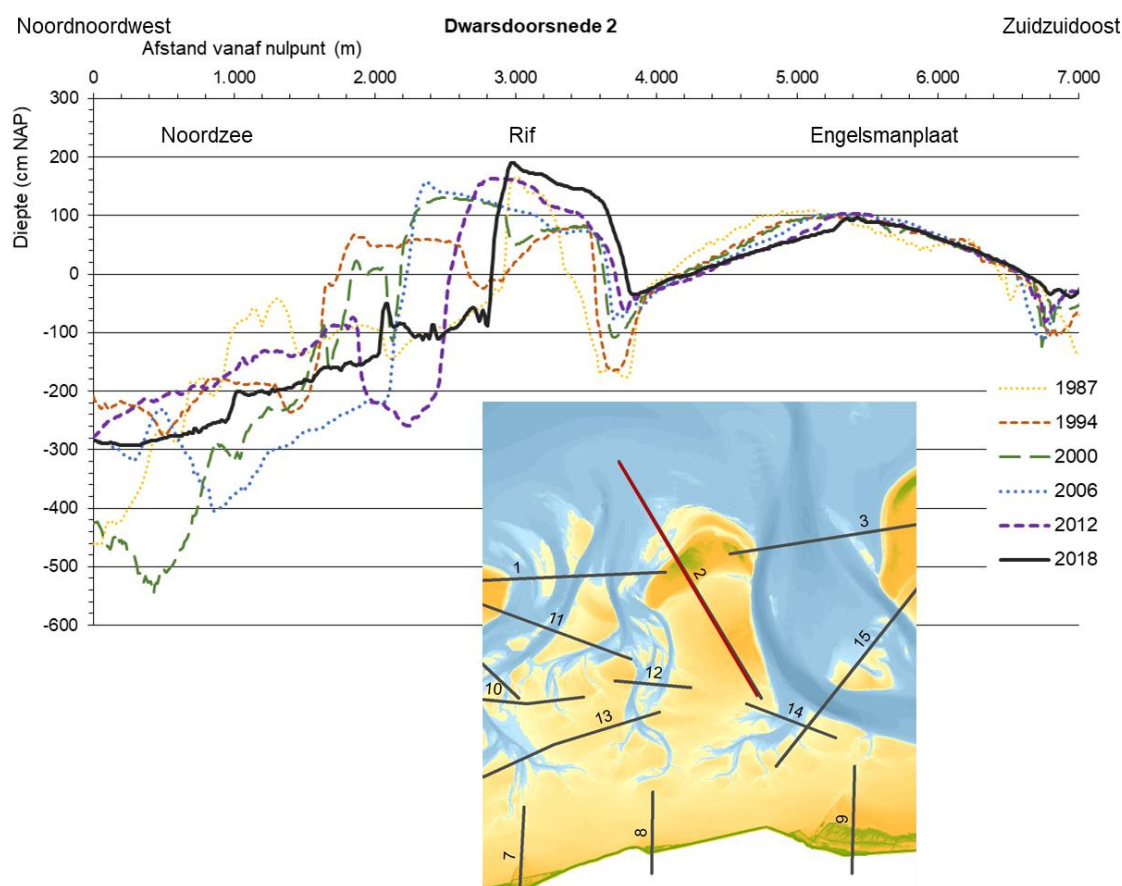
Het Rif lijkt, wat betreft vorm hoogte en dynamiek op andere hoge zandplaten nabij een zeegat, zoals Richel in het Vlie en de Zeehondenplaat bij het Borndiep.



Figuur 5-6 Satellietbeelden (tijverschillen mogelijk) van het Rif uit 2018 (links) en 2019 (rechts)..

De Engelsmanplaat is een grote aaneengesloten wadplaat, die een bol hoogteprofiel heeft (zie Figuur 5-7). De Engelsmanplaat is in de loop van de jaren kleiner en lager geworden, mede door de erosie aan de oostzijde, waar de geul Zoutkamperlaag naar het westen is verschoven.

Tussen Het Rif en Engelsmanplaat ligt het restant van de geul Smeriggat. Deze geul is een verlaten geul (abandoned channel) die voor een belangrijk deel is opgevuld met slib. In de meest recente dwarsdoorsnede van 2018 is alleen een verdieping van de droogvallende plaat tussen Rif en de Engelsmanplaat getuige van de oorspronkelijke aanwezigheid van het Smeriggat.



Figuur 5-7 Dwarsdoorsnedes door het Rif en de Engelsmanplaat (locatie in inzet).

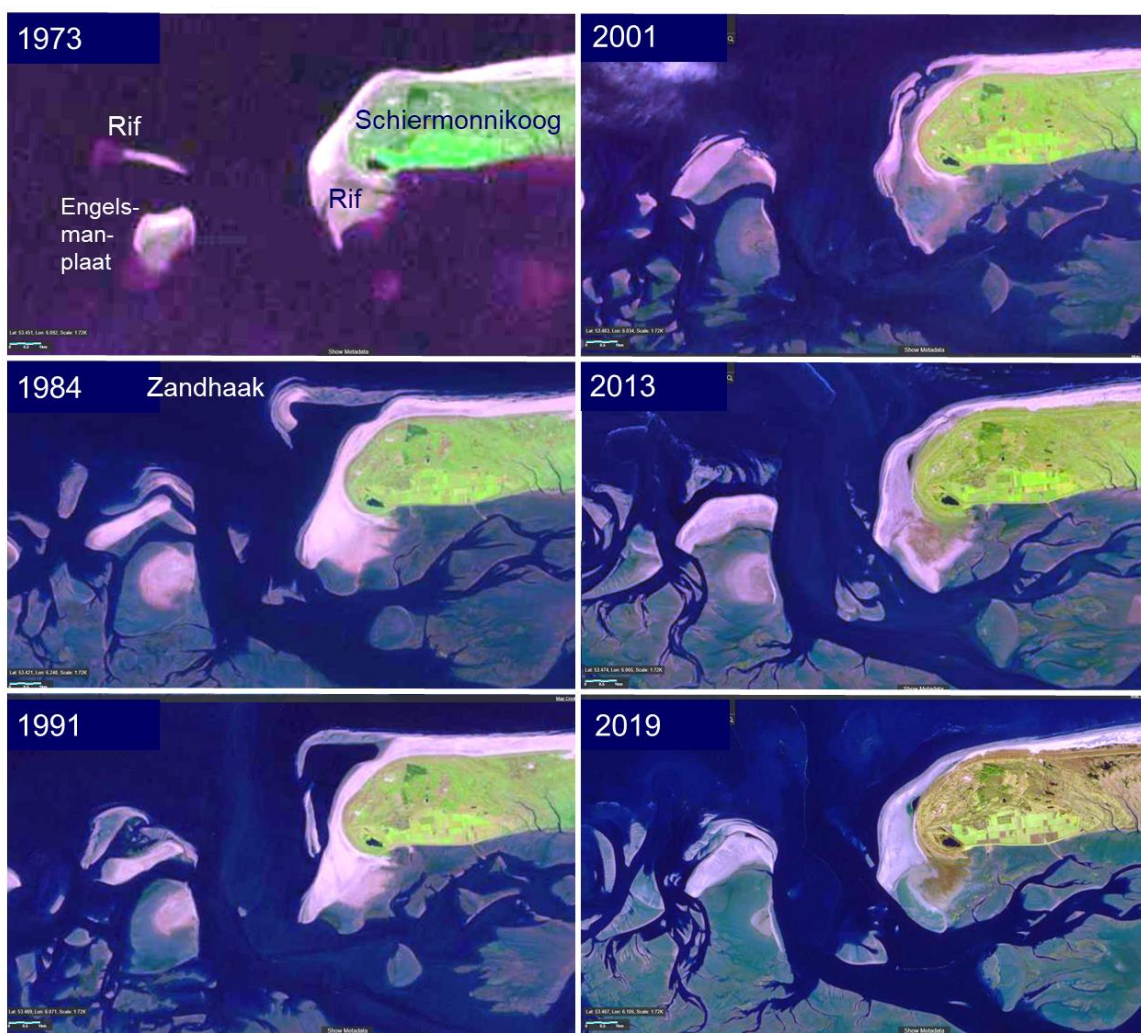
5.6 Oude Wal-Rif-Reede

Ten zuiden van de westkop van Schiermonnikoog ligt een uitgestrekte en relatief hoge zandige plaat, die, net als de zandplaat tussen Pinkegat en Zoutkamperlaag, wordt aangeduid met 'Het Rif'. De zuidelijke punt hiervan wordt aangeduid met 'Oude wal'. Aan de oostzijde gaat deze zandplaat over in de wadplaten ten zuiden van Schiermonnikoog, die wordt aangeduid met de namen Siegewal en overgaat in 'Laagte' of 'Reede'. Van oudsher is 'Reede' de naam voor een plek waar schepen kunnen liggen en deze naam wijst daarmee op een oorsprong als sublitoraal of geul, zoals zichtbaar is in de eerste topografische kaart van het eiland (1822: www.topotijdreis.nl). In deze wadplaat ten zuiden van Schiermonnikoog ligt de jachthaven.

De Oude wal en het Rif hebben hun huidige vorm gekregen na de afsluiting van de Lauwerszee, waarbij een groot volume aan zand is vrijgekomen op de buitendelta. Een deel van het vrijgekomen zand is van de buitendelta op de noordwestkust van Schiermonnikoog

terechtgekomen. Een deel van het zand van de zandhaak is naar het zuiden getransporteerd en heeft daar de grote en hoge zandplaat verder uitgebreid. Ook vóór de afsluiting van het Lauwersmeer was het Rif al aanwezig. In de serie opeenvolgende satellietbeelden in Figuur 5-8 is de ontwikkeling van het Rif zichtbaar. In deze beelden is duidelijk dat de zandplaat vanaf de eerste opname in 1973 tot en met de opname van 1991 uitbreidt naar het zuidwesten. In de opname van 2001 is deze uitbreiding naar het zuidwesten verdwenen, maar is wel zichtbaar dat aan de westkop aanhechting van zand van de zandhaak plaatsvindt.

Het wad ten zuiden van Schiermonnikoog is een meer 'normale' wadplaat, die daar al langer aanwezig is.

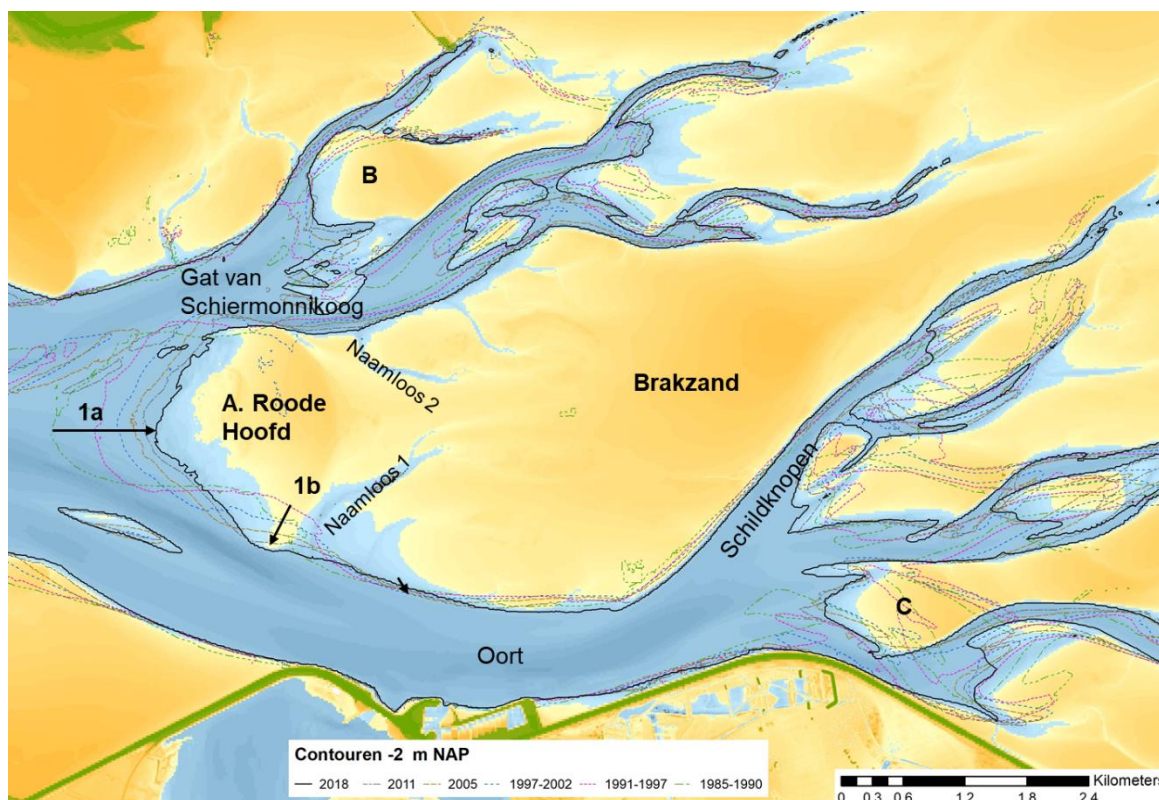


Figuur 5-8 Satellietbeelden (tijverschillen mogelijk) van het zeegat Zoutkamperlaag, met de verschillende zandplaten in de periode 1973-2019 (bron <https://landlook.usgs.gov/viewer.html>).

5.7 Roode Hoofd-Brakzand

Het Rode hoofd is de diamant of ruitvormige zandplaat die wordt begrensd door de geulen Gat van Schiermonnikoog aan de noordwestzijde en de geul Zoutkamperlaag-Oort aan de zuidwestzijde (Figuur 5-9). Vanuit beide geulen steken twee naamloze geultjes naar het zuidoosten en noordoosten, die het Rode Hoofd aan de achterzijde begrenzen. De hoogte van het Rode Hoofd neemt geleidelijk toe van het westen naar het oosten. Het hoogste deel van de plaat heeft de vorm van een halve maan. In het gebied zijn er nog twee platen met een vergelijkbare ligging en vorm, die zijn gemarkeerd met B en C in Figuur 5-9.

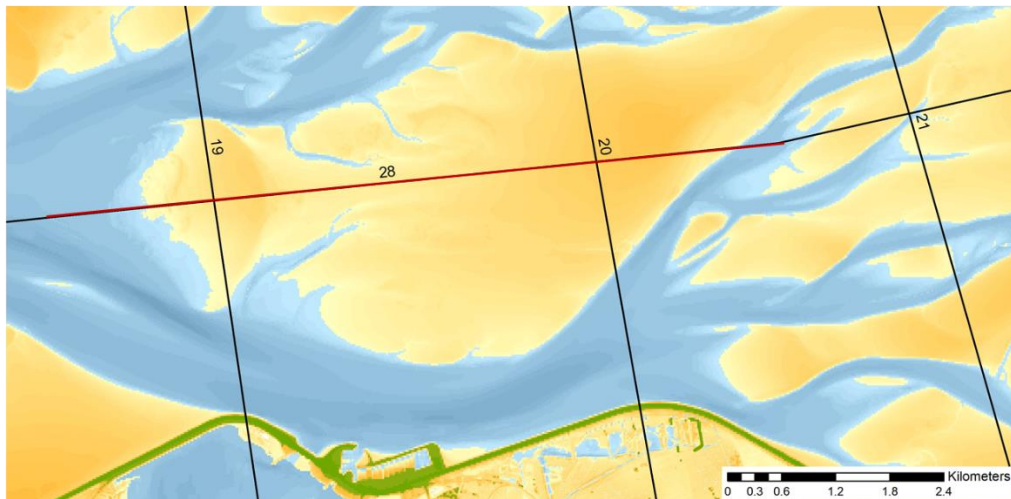
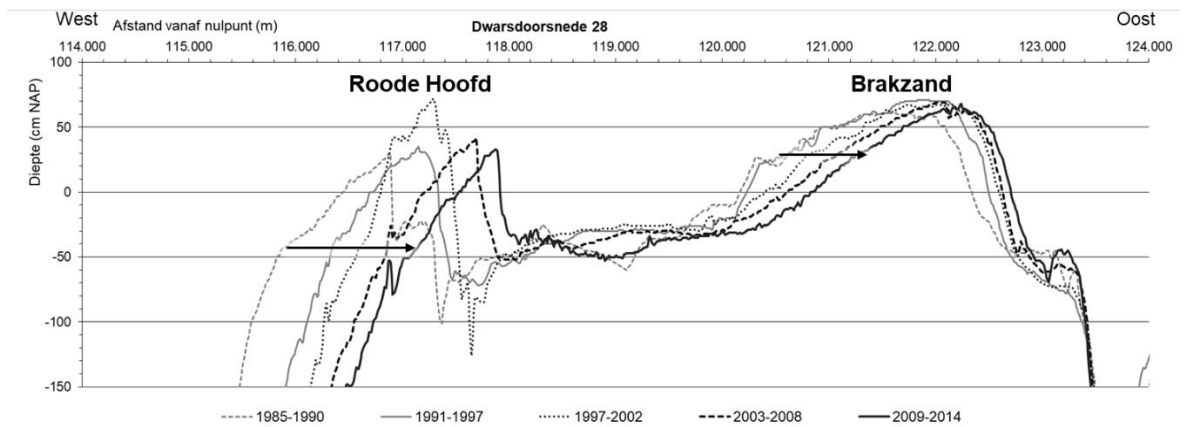
Het Roode Hoofd wordt niet volledig omringd door geulen, aan de oostzijde gaat deze wadplaat over in het Brakzand. Het Brakzand is een grote wadplaat, die aan de noordzijde wordt begrensd door het Brakzandstergat en aan de zuidzijde door de Schildknopen. Het Brakzand is samen met de Engelsmanplaat een van grootste aaneengesloten wadplaten in het Friesche zeegat. De plaat heeft een bol reliëf.



Figuur 5-9 Kaart van de wadplaten Roode Hoofd en Brakzand, met e NAP -2 waterlijn van de opeenvolgende vaklodingen.

De westelijke begrenzing van het Roode Hoofd is de afgelopen jaren naar het oosten geschoven, zoals zichtbaar is bij pijl 1a in Figuur 5-9. De kenmerkende vorm van deze plaat is daarbij geleidelijk ontstaan, mede doordat aan de zuidwestzijde uitbouw van de plaat heeft plaatsgevonden (pijl 1b in Figuur 5-9). Deze veranderingen lijken niet het gevolg van het verplaatsen van de grote geulen die deze plaat begrenzen. Mogelijk speelt de blootstelling aan golven een rol. De golfaanval op de westzijde van het Roode Hoofd kan in vergelijking met andere wadplaten in de Zoutkamperlaag groot zijn, door de relatief grote strijklengte van de wind over het water ten westen van deze plaat. De begrenzing van het Brakzand is in de periode 1987-2019 zeer stabiel geweest.

Naast de veranderingen in de vorm van het Roode hoofd zijn er ook nog veranderingen op de plaat. In Figuur 5-10 is zichtbaar dat de hoge delen van het Roode hoofd naar het oosten zijn geschoven. Het hoogste deel van het Roode Hoofd ligt tegenwoordig een kilometer oostelijker dan in 1987. Ook het Brakzand is naar het oosten geschoven, met enkele honderden meters.

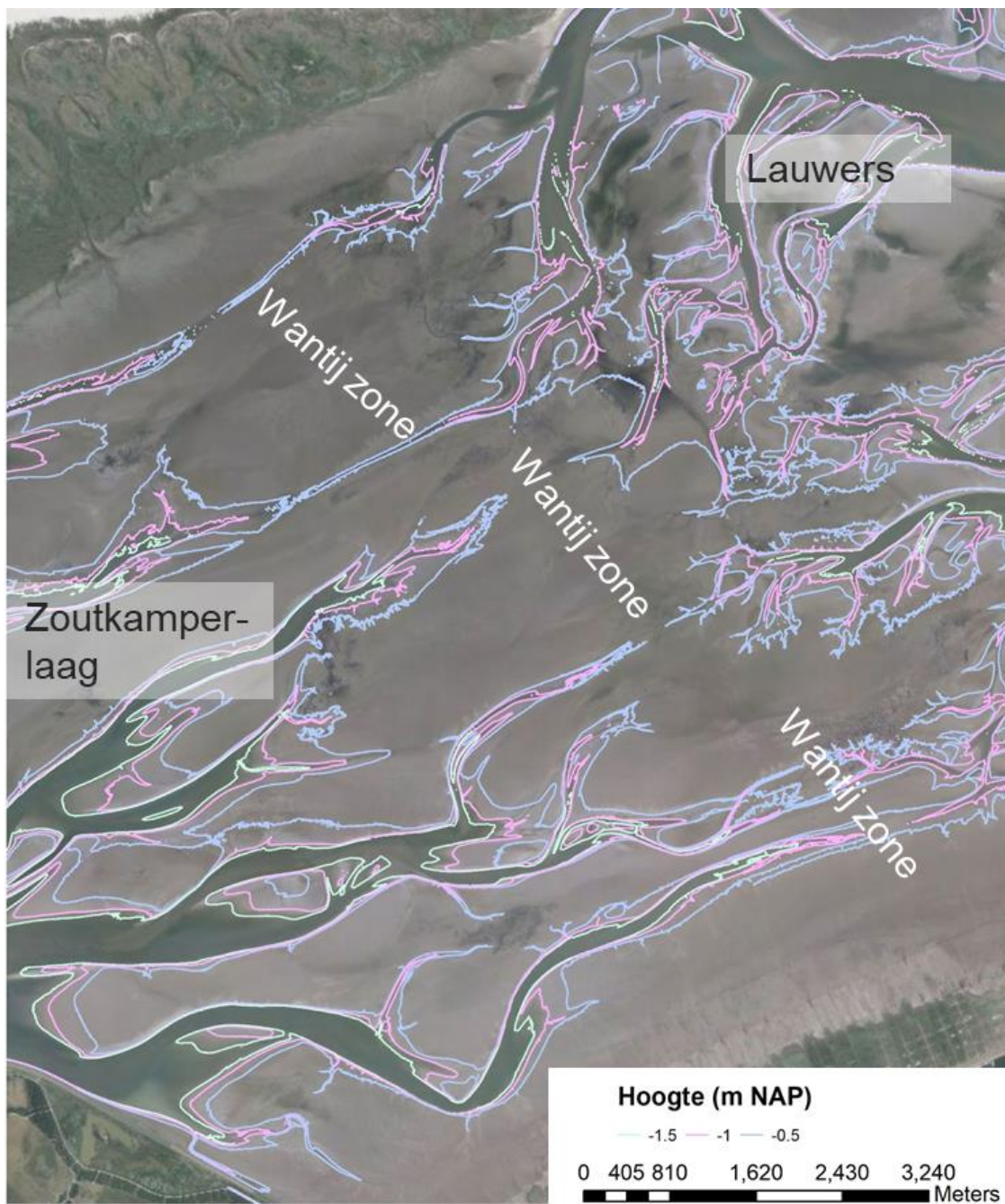


Figuur 5-10 Dwarsdoorsneden door de platen Roode Hoofd en Brakzand.

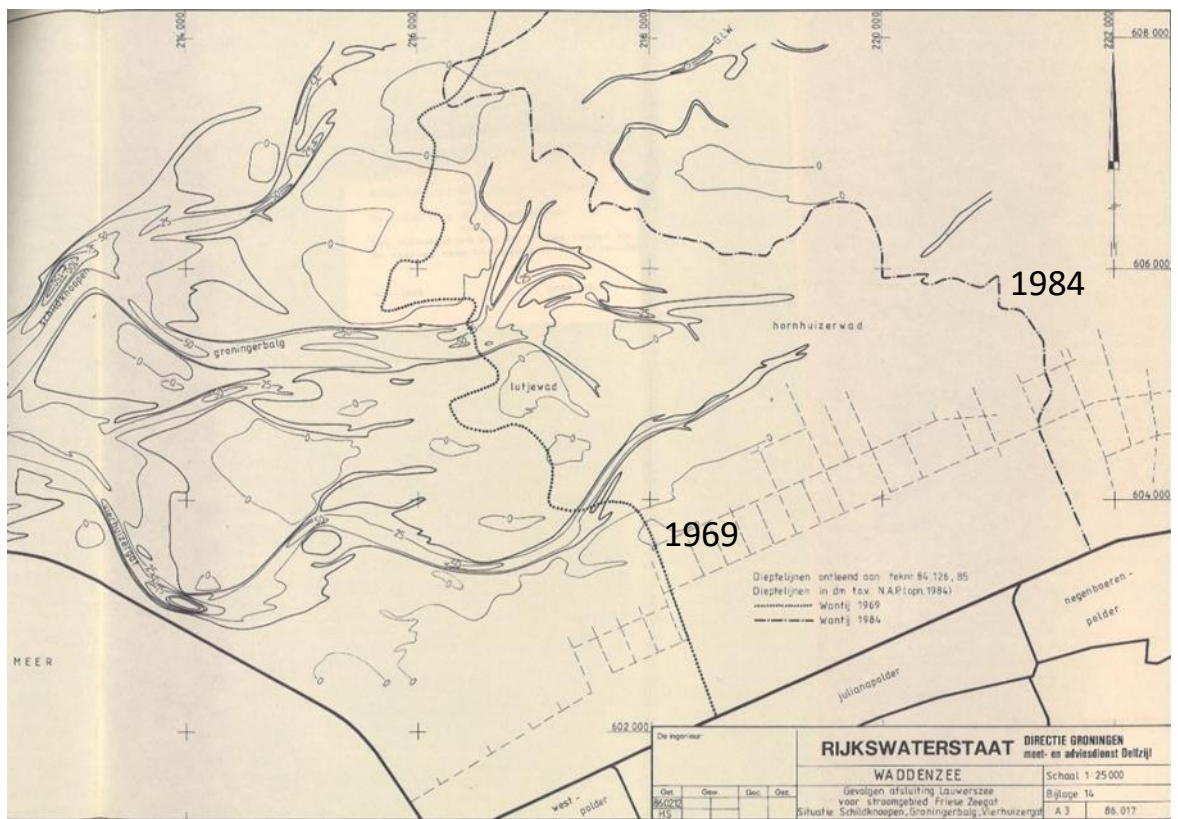
5.8 Lutjewad en wantij Zoutkamperlaag-Lauwers

Het Lutjewad is het wad bij de Groningse vastelandskust, voor de vastelandskwelders. Het is het hoogst direct voor de kwelders en loopt geleidelijk af naar de geul die het dichtst bij het vasteland ligt: het Vierhuizergat. Ten noorden van het Vierhuizergat liggen wadplaten, die doorsneden worden door de uitlopers van de geulen van de Zoutkamperlaag. Opvallend aan deze geulen is dat deze vrijwel recht naar het oostnoordoosten lopen en tot aan het wantij te volgen zijn als verdiepingen in het wad (Figuur 5-11).

De positie van de zuidelijke helft van het wantij is in de periode na de aanleg van de Lauwersmeerdijk sterk veranderd en ligt tegenwoordig enkele kilometers verder naar het oosten (Figuur 5-12).



Figuur 5-11 De Oost-Noordoost lopende geulen op het wantij van onder Schiermonnikoog.



Figuur 5-12 Ligging van het wantj na (1984: - - - - -) en voor (1969: - - - - -) de afsluiting van de Lauwerszee (uit Postma & Reenders, 1986).

6 Kwelders

6.1 Inleiding

Kwelders zijn gebieden die begroeid zijn met kruiden, grassen of lage struiken en die regelmatig (gemiddeld 5 keer per jaar of vaker) worden overstroomd door zout of brak water (Adam, 1990). Ze strekken zich uit van het bovenste gedeelte van het intergetijdengebied tot waar stormvloedreiken. In het Waddengebied zijn drie soorten kwelders aanwezig:

- A. Vastelandskwelders, voornamelijk kwelders die ontstaan zijn door de kwelderwerken.
- B. Eilandkwelders aan de Waddenzeezijde, vrij natuurlijke kwelders die zich vormen in de luwte van de duinen. De meeste ervan zijn ingedijkt en omgezet in polders.
- C. Eilandkwelders aan de Noordzeezijde. Ze vallen buiten het bestek van dit rapport.

In Figuur 6-1 zijn in een schematische dwarsdoorsnede de verschillende onderdelen van de kwelder benoemd, waarbij ook de relatie met de waterstanden is aangeduid.

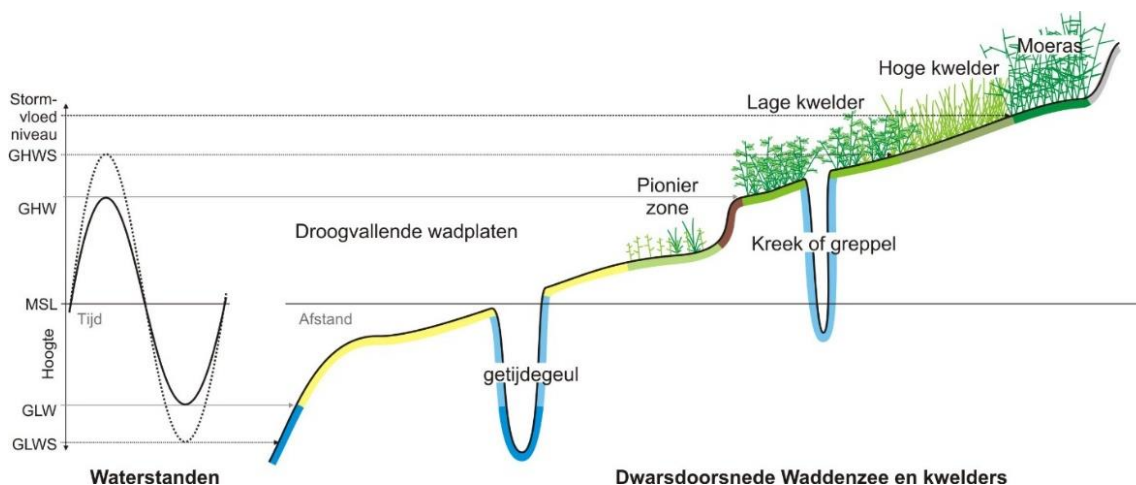
Pionierzone: De pionierzone, of pionierkwelder wordt gevormd door de hoogste delen van het wad, die vrijwel ieder hoogwater onder water staan. Hier vestigen zich typische soorten zoals zeekraal (*Salicornia*) en slijkgras (*Spartina*).

Lage kwelder: De lage kwelder ligt boven gemiddeld laagwater en onder het niveau van het gemiddeld hoogwater bij springtij. Hier groeien plantensoorten zoals kweldergras (*Puccinellia*) en Zoutmelde (*Halimione*).

Meestal is tussen de pionierzone en de lage kwelder sprake van snelle overgang in hoogte: de kwelderrand. Die is in sommige gevallen erosief en vormt dan een kwelderklif.

Hoge kwelder: De hoge kwelder overstroomt enkele malen per jaar. Hier groeien planten zoals russen (*Juncus*).

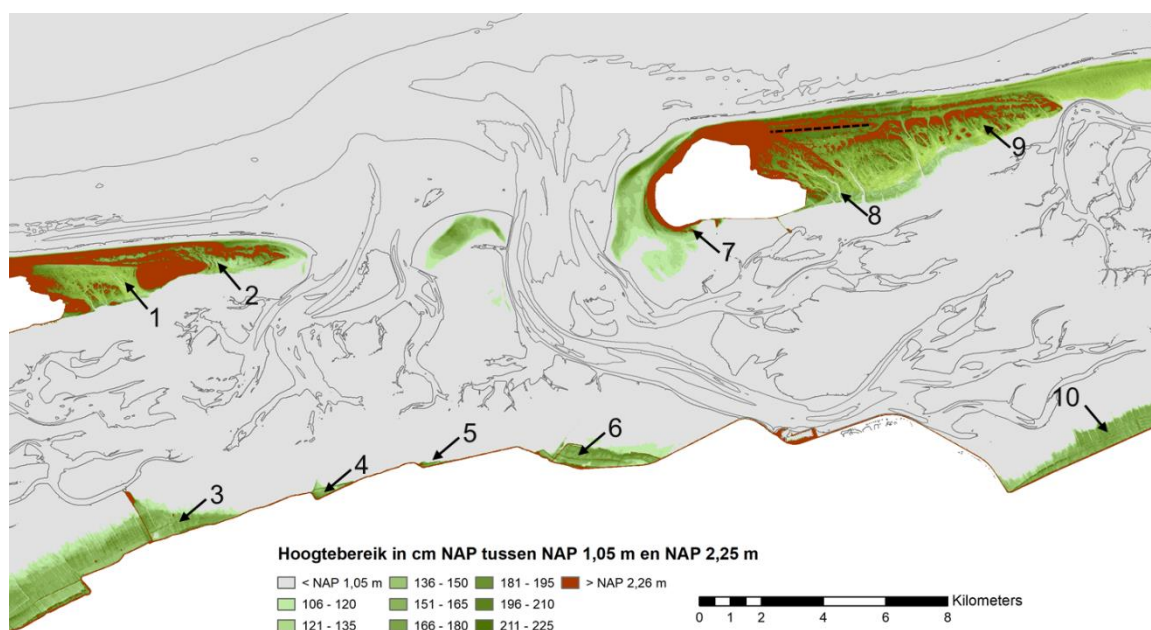
Kreken of greppels: Dit zijn de geultjes die water aan- en afvoeren. Als ze een natuurlijke hebben zijn het kreken, maar in kwelders die zijn ontstaan onder invloed van menselijke ingrepen zijn dit vaak gegraven greppels.



Figuur 6-1 Schematische dwarsdoorsnede van een kwelder met voorliggende wadplaat en de verschillende morfologische eenheden.

De bovenstaande indeling is gebaseerd op de hoogteligging. Vanwege de ecologische waarden van de kwelders bestaan verschillende indelingen die zijn gebaseerd op de kenmerkende vegetatie. Rijkswaterstaat gebruikt voor de kartering van de kwelders de indelingen Salt97 (1989 t/m 2007, de Jong et al.) en Salt08 (vanaf 2008, Reitsma, 2012). Voor de ecotopenkaart wordt de classificatie uit het ZES (Zoute Ecotopen Stelsel) gehanteerd

(Bouma et al, 2005). De indeling van de habitatkaarten, die gebruikt worden in de Natura 2000 systematiek volgt de profielbeschrijvingen van habitattypen (Ministerie van EZ, 2012). Voor het omzetten van de ene naar de andere classificatie zijn vertaaltabelen beschikbaar. De kweldervegetatiekaart kan met een vertaaltabel worden omgezet naar een vegetatiezoneringskaart, een vegetatiestructuurkaart, een Habitattypenkaart en een KRW-zoneringskaart. De locaties van de kwelders in de kombergingsgebieden van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag zijn aangeduid in Figuur 6-2. Onder de figuur zijn de namen van de betreffende kwelders aangegeven.



Figuur 6-2 Kaart met de kwelders rond de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag.

Pinkegat

1. Neerlands Reid
2. De Hon
3. Kwelders oostelijk van de veerdam Holwerd
4. It Skoar
5. De Kromme Horne
6. De Peazemerlannen

Zoutkamperlaag

7. Rif
8. Binnenkwelder-Oosterkwelder
9. Kwelder Oostpunt
10. Groningerkwelders

De beschrijving van deze kwelders staat in de volgende paragrafen.

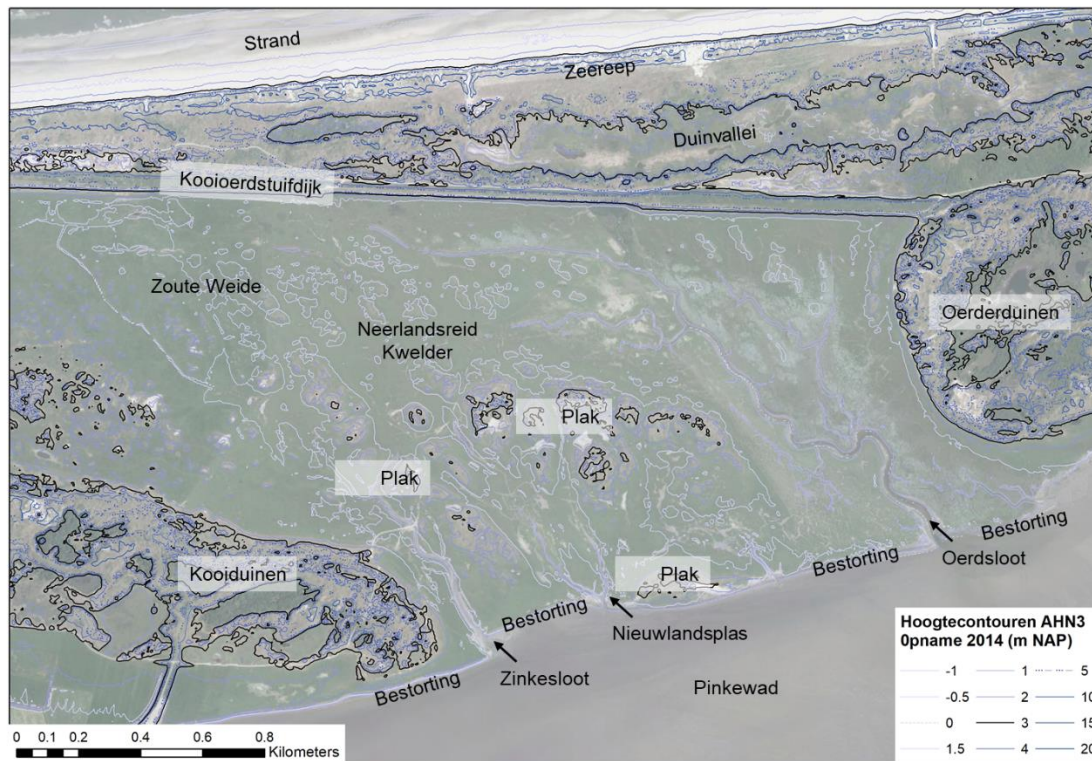
6.2 Kwelders van het Pinkegat

6.2.1 Eilandkwelders Ameland – De Hon en Neerlands Reid

Neerlands Reid

De kwelders op het Neerlands Reid op Ameland zijn voor een belangrijk deel ontstaan na de stuifdijkaanleg op Ameland (Figuur 6-3). De Hon is spontaan gevormd op de dynamische oostpunt van het eiland. De kwelder van het Neerlands Reid (ook wel: Nieuwlands Reid) wordt

begrensd door de Kooiduinen aan de westzijde, de Oerderduinen aan de oostzijde en de Kooi-Oerderstuifdijk aan de Noordzijde. Tussen Buren en Oerdduinen werden verschillende stuifdijken aangelegd in de periode 1839-1880, die veelal mislukten. Pas in de periode 1882-1888 slaagde men erin een West-Oost lopende stuifdijk aan te leggen (Kooi-Oerderstuifdijk) die de Kooiduinen met het Oerd verbond. In de periode 1960-1970 werd oostwaarts van de bestaande stuifdijk een nieuwe aangelegd van paal 20,6 naar paal 23. Tussen paal 18-21 werden in 2011 kerven aangelegd in de zeereep.

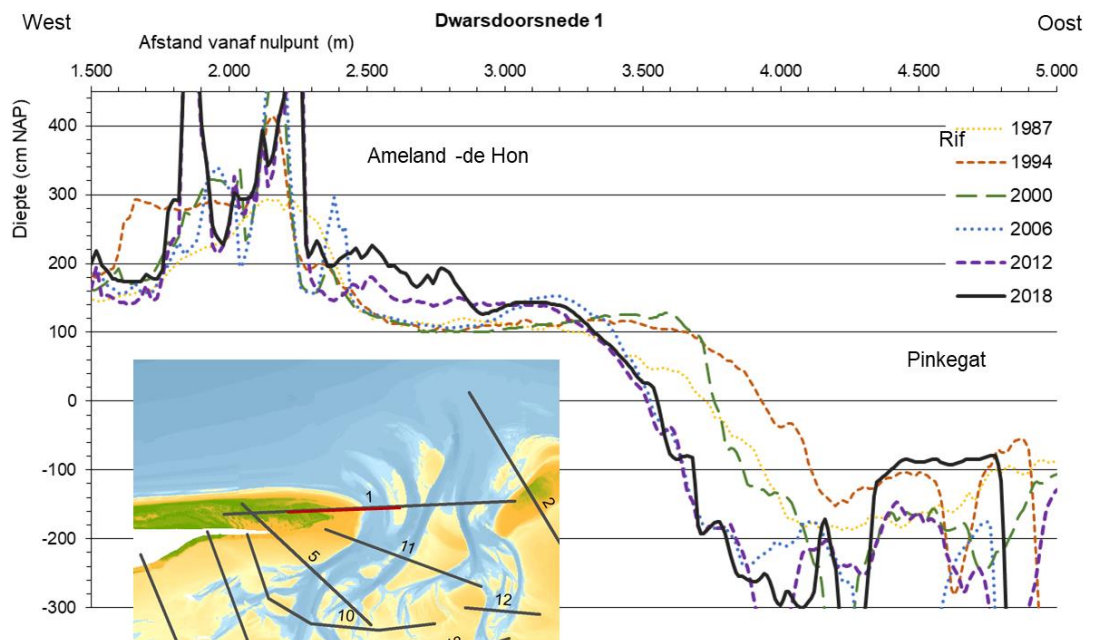


Figuur 6-3 Luchtfoto (2018) van Neerlandsreid, met de hoogtecontouren op basis van de AHN3-MiDAR hoogtemetingen en de verschillende morfologische eenheden.

Op de zo afgesloten strandvlakte lagen toen al duintjes uit de periode 1800-1880 (Bakker et al., 1979). Deze duintjes vormen hoogtes in de tegenwoordige kwelder, die worden aangeduid met 'plak'. In de luwte van de stuifdijk kon de kwelder van Neerlands Reid zich ontwikkelen (Ehlers, 1988). In een periode van ongeveer 125 jaar na de aanleg van de stuifdijk werd een sedimentlaag van circa 50 cm dikte afgezet, op die plaatsen waar zand werd afgezet. Waar minder zand werd afgezet is de dikte van de afzettingsslaag tot de helft kleiner (Mantel et al., 2016). De kwelders worden begraasd. De kwelder en een deel van de aangrenzende duinen is eigendom van de 'Maatschappij tot Exploitatie van Onroerende Goederen op het Oosteinde, Oerd en Neerlands Reid B.V.', kortweg de 'Vennoot' genoemd. Kliferosie wordt vanaf het westen tot iets voorbij de Oerdsloot tegengegaan door een steenglooiing (NAM, 2017).

De Hon

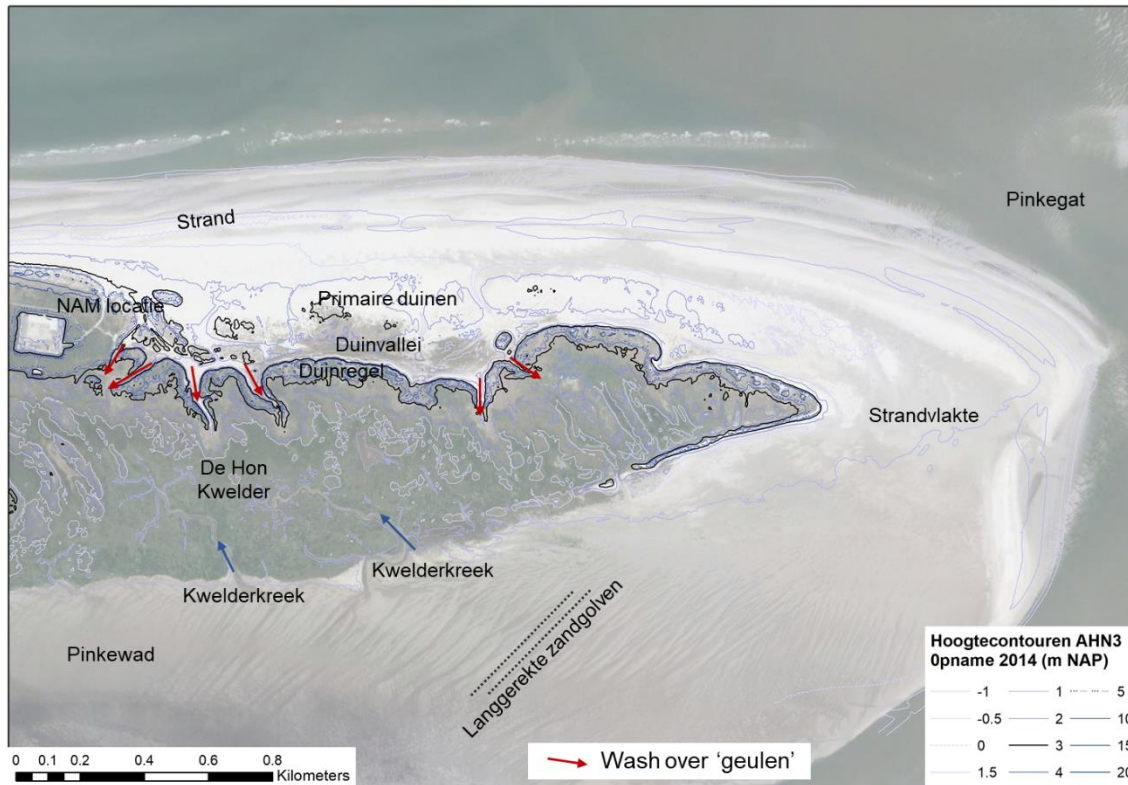
Ten oosten van de Oerderduinen ligt de Hon. De Hon vormt de zuidoostpunt van Ameland. In het bijzonder na de 19^e eeuw groeide de oostpunt van Ameland opnieuw aan, in de periode 1927-1998 schoof de gemiddeld hoogwaterlijn netto 2,3 km oostwaarts. Zonder menselijke ingrepen heeft grootschalige duin- en kweldervorming plaatsgevonden op de Hon. De gaten in de spontane duinaangroei noordelijk ervan werden in de 20^e eeuw gedicht.



Figuur 6-4 Dwarsdoorsnedes van de oostpunt van de Ameland, op basis van de vaklodingen (locatie in inzet).

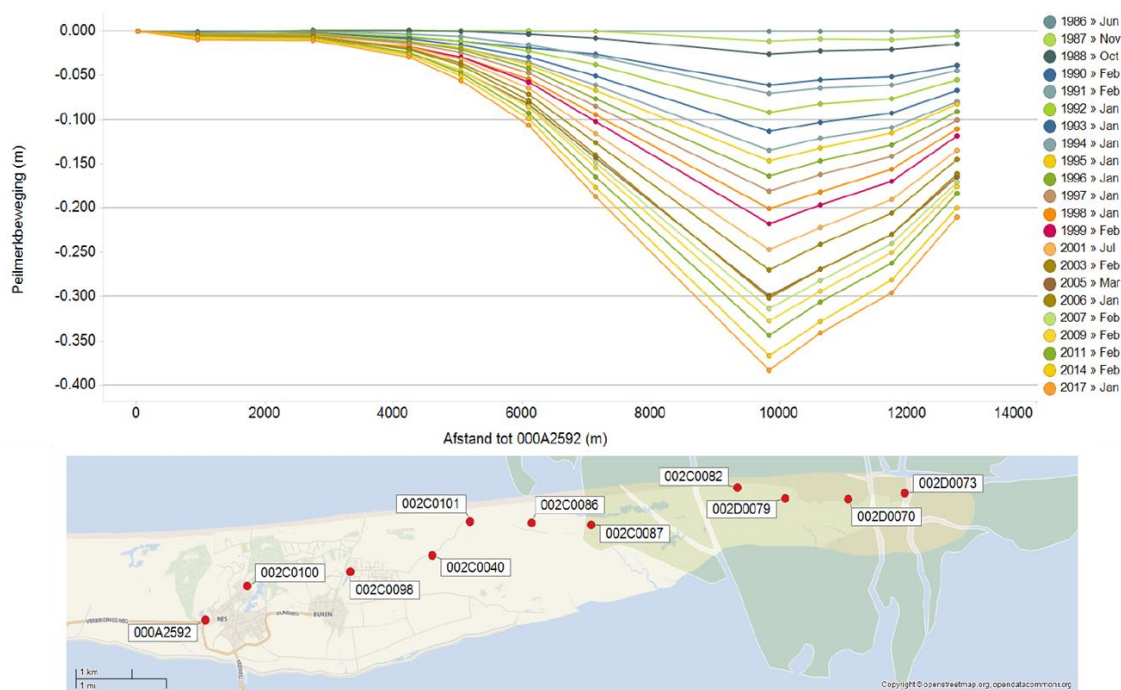
In 1962 was de Hon een kale zandplaat, maar langs de noordzijde vormden zich jonge duintjes (Schroevers & Van Leeuwen, 1962). Daarachter ontwikkelde zich de kwelder. Voor de kwelder van De Hon zal de stuifdijk een heel beperkte invloed hebben gehad op de vorming (De Groot et al., 2015). Het was voornamelijk de aangroei, ophoging en natuurlijke duinvorming die de kwelderontwikkeling bepaald. Aan de zuidwestzijde van De Hon vindt kliferosie plaats; aan de zuidoostzijde aangroei. Vanaf 1986 zijn er delen die in 25 jaar tijd de successie van pionierzone, via Gewoon kweldergras en Gewone zoutmelde naar Zeekweek hebben doorgemaakt. De hoogte-ontwikkeling die de Hon heeft doorgemaakt is zichtbaar in de dwarsdoorsnedes in Figuur 6-4, waarbij het gebied direct ten oosten van de hogere duinen een toename van de hoogte heeft laten zien van rond + 1,0 meter boven NAP in 2006 tot rond +2,0 m boven NAP in 2018. De ruimtelijke variatie in de hoogtetoename is overigens groot, omdat niet alleen sprake is van een kwelder, maar ook van washovers, pionierduinen en een strandvlakte (Figuur 6-5), waarbij door de verschillende sedimentatie (en erosie[processen]) sprake is van verschillende sedimentatiesnelheden. De kleilaag die is gevormd door de sedimentatie op de kwelder van De Hon is aanzienlijk dunner dan op het Neerlands Reid (NAM, 2017). De Hon en een deel van het Oerd wordt sinds 1938 door It Fryske Gea beheerd.

In Figuur 6-4 is ook zichtbaar dat de groei van het eiland is gestopt. Beschouwd op een hoogte van NAP -100 cm is het in de opname van 1994 meer dan 500 meter langer dan in de opname van 2006.



Figuur 6-5 Luchtfoto (2018) van de Hon, met de hoogtecontouren op basis van de AHN3-MiDAR hoogtemetingen en de verschillende morfologische eenheden.

De kwelder van het Neerlands Reid en de kweldervorming op de Hon is sinds 1986 onder invloed gekomen van de bodemdaling als gevolg van de gaswinning op Oost-Ameland. De omvang van de bodemdaling op basis van metingen aan peilmerken in de ondergrond is weergegeven in Figuur 6-6. De bodemdaling als gevolg van gaswinning duurt voort tot op heden. Vanwege de bodemdaling vindt een intensieve en uitgebreide monitoring plaats van de kwelders. Iedere zes jaar wordt hierover uitgebreid gerapporteerd (de rapportages zijn te vinden via de website <https://www.waddenzee.nl/themas/bodemdaling-ameland/>)



Figuur 6-6 Dwarsdoorsnede door de ondergrondse peilmerken aan de oostzijde van Ameland, die de mate van bodemdaling weergegeven in de periode 1986-2017 (NAM, 2017).

6.2.2 Kwelders vasteland

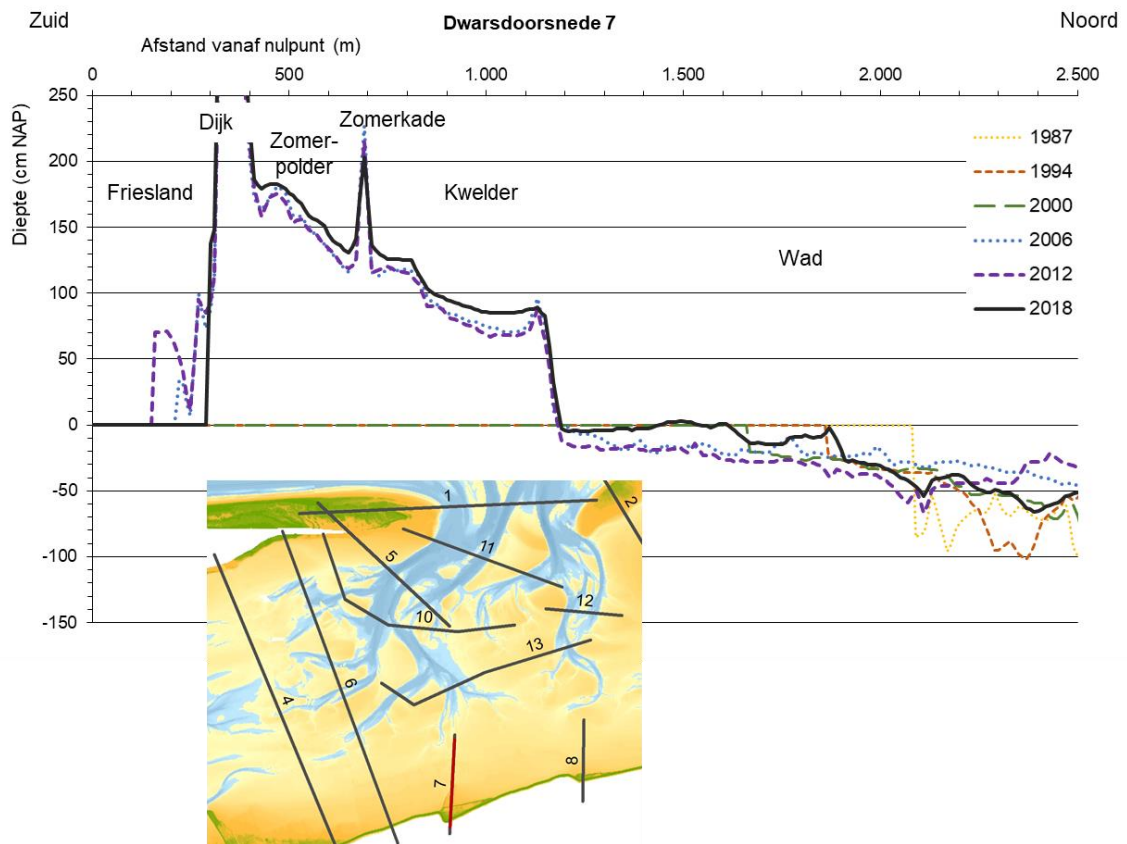
In het voorgaande hoofdstuk is bij het Friesche wad de aanwezigheid van de restanten van de kwelderwerken bij de vastelandskust beschreven (zie ook Figuur 5-4 en Figuur 5-5). Landaanwinning was hier eigenlijk nooit succesvol en pogingen ertoe zijn gestaakt in de jaren '60 (voordat landaanwinning werd veranderd in kwelderwerken). Zeewaarts van de Waddenzee bij de Friese vastelandskust zijn van west naar oost aanwezig:

De kwelderuitlopers oostelijk van de veerdam Holwerd.

Deze kwelder is mede door de kwelderwerken in de luwte ten oosten van de veerdam ontstaan. De vorm van de zeewaartse begrenzing van deze kwelder, die bij de dam vrijwel tot aan het zeewaartse einde van de dam komt en die verder naar het oosten steeds smaller wordt, wijst op het belang van de dam voor de vorming en stabiliteit van deze kwelder. Het is niet duidelijk welke fysische processen precies verantwoordelijk zijn voor de vorm van de kwelders en het ontbreken van brede vastelandskwelders verder naar het oosten. Naast de invloed van de veerdam kan ook de nabijheid van het zeegat Pinkegat een rol spelen in de afwezigheid van de kwelders verder naar het oosten. Op de kwelders is recent door Staatsbosbeheer (de beheerder van dit deel van de vastlandskwelders) een vogelkijkscherm en een broedeiland aangelegd.

It Skoar

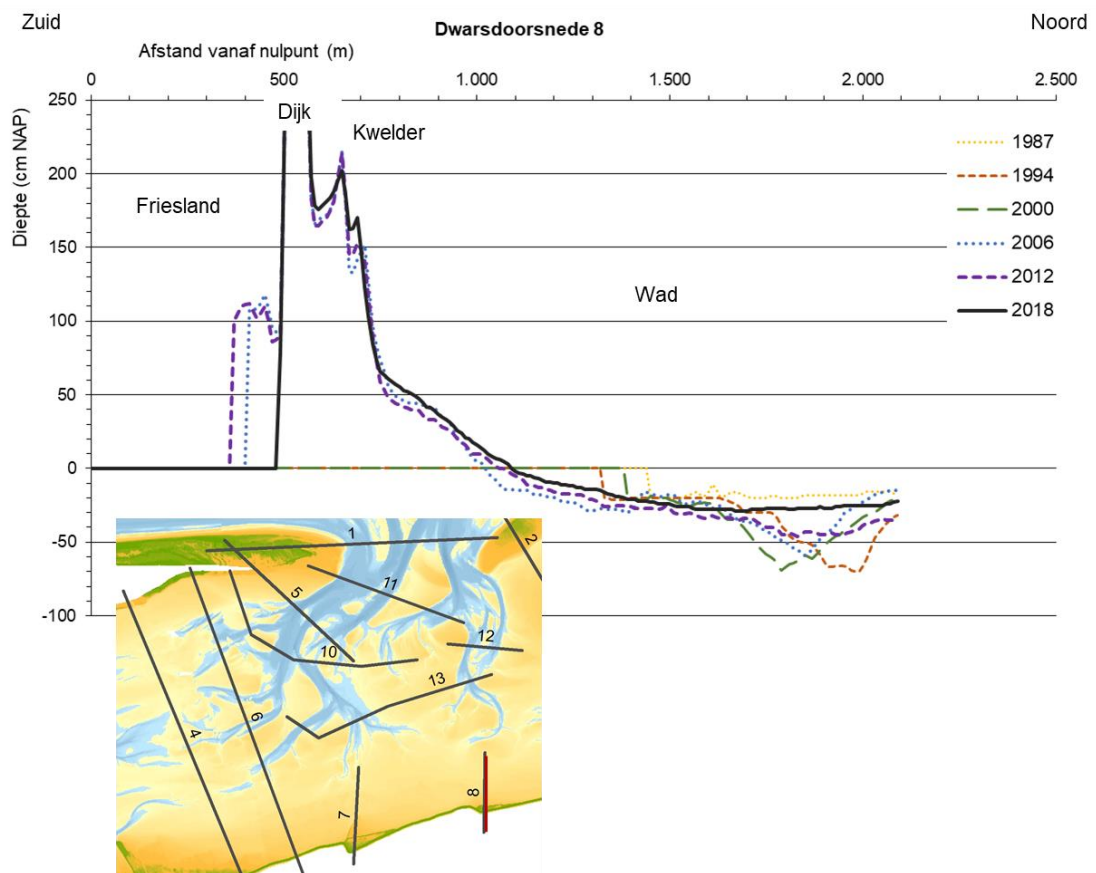
Dit is een kweldertje noordoostelijk van Ternaard liggend in de luwte van de hoek in de zeedijk en een zomerdijk (Figuur 6-7). Op de kwelder graast jongvee in de zomer.



Figuur 6-7 Schematische dwarsdoorsnede van It Skoar met voorliggende wadplaat.

De Kromme Horne

Dit kwelderfragment ten oosten van Wierum ligt in de luwte van de hoek in de zeedijk en was zeker in 1830 al aanwezig (Figuur 6-8). Daarmee is het een vrij oude kwelder. Het wordt gekenmerkt door een onregelmatig oppervlakte van hoge kwelder met daartussen erosiegaten waarin schelpen en zand overheersen. De kwelder wordt begraasd door schapen. Er is een plan aangenomen om een houten pier “Kromme Horne” van 330 meter lengte aan te leggen naast de bestaande dam die daarmee beschermd zal worden. De bedoeling is om later deze dam tot 550 meter te verlengen.



Figuur 6-8 Schematische dwarsdoorsnede van de Kromme Horne met voorliggende wadplaat.

De Peazemerlannen

De Peazummerlannen is een 100 ha groot kweldergebied, in beheer bij het Fryske Gea. De kwelder is ontstaan uit een polder van 40 jaar oud, na een dijkbreuk in 1973. Binnen de Peazummerlannen zijn nog verschillende zomerkades en greppels met de restanten van klepduikers aanwezig. Een groot deel van Peazummerlannen wordt begraasd. Maatregelen om de natuurwaarde van de Peazummerlannen te vergroten, onder andere door het aanleggen van een broedeilandje, zijn in voorbereiding.

6.3 Kwelders van Zoutkamperlaag

6.3.1 Kwelders en groene stranden Zoutkamperlaag, Schiermonnikoog

Groene stranden

Op Schiermonnikoog zuidelijk van de Westerplas ligt op het Rif een groen strand van iets meer dan een vierkante kilometer groot (aangeduid met Groen strand zuid in Figuur 6-9). Deze is ontstaan op een zandplaat die na de afsluiting van de Lauwersmeer in 1969 hoger is geworden door zandaanvoer vanaf de buitendelta (deels via de grote Spit die tussen 1970 en 1987 zich had gevormd op de NW kant van Schiermonnikoog – zie Figuur 5-8). Ook ten zuidwesten van de Westerplas, aan de noordwestzijde van eilandkop van Schiermonnikoog en aan de noordzijde van het eiland zijn Groene stranden aanwezig.

Een groen strand is een overgangshabitat waar zich soorten van zoute tot brakke/zoete kwelder- en duin vegetaties vestigen. Vaak zijn er ook microbiële matten aanwezig (Stal et al., 1985). Het groene strand op het Rif kenmerkt zich ook door veel microbiële matten en het gebrek aan embryoduin (Severin & Stal, 2008).



Figuur 6-9 Overzichtsluchtfoto (2018) van de westzijde van Schiermonnikoog

In een volgende fase kan zich geleidelijk een mozaïek van kweldermilieus, al of niet afgesnoerde primaire duinvalleien, sluffers, washoversystemen, embryoduintjes en/of witte duinen ontwikkelen (Bakker et al., 2005; Kers & Koppejan, 2005; Petersen et al., 2013). Anderzijds kan het groene strand ook vrij snel weer verdwijnen en terugkeren in de staat van een onbegroeide strandvlakte of strand.

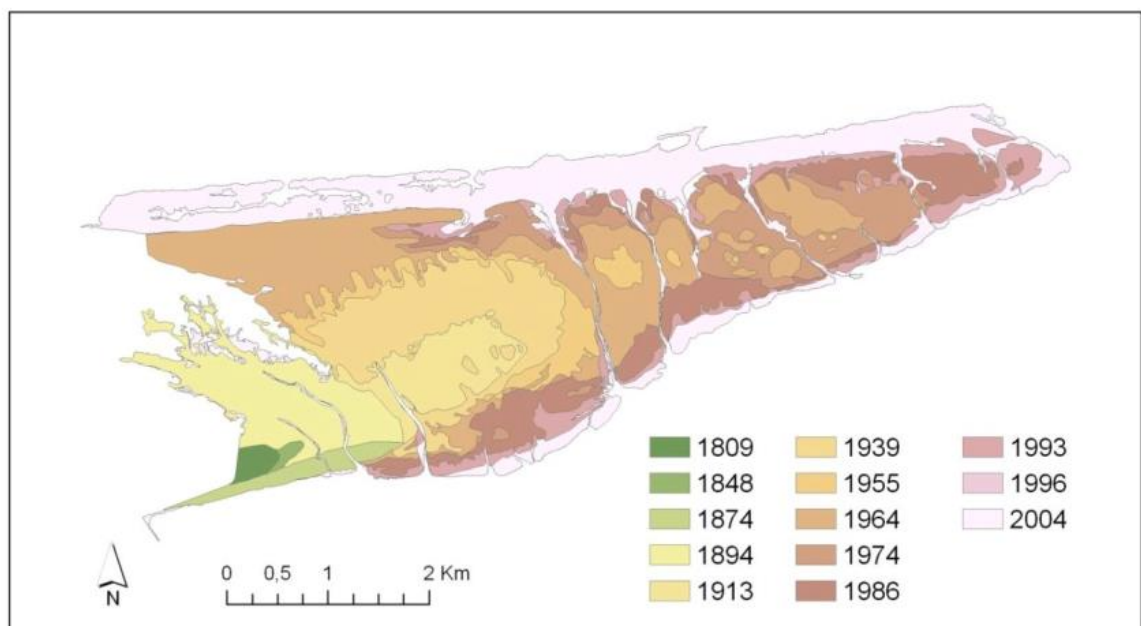
Binnenkwelder en Oosterkwelder

De Binnenkwelder en de Oosterkwelder liggen ingeklemd tussen de Kooiduinen aan de zuidwestzijde en de Kobbeduinen aan de noordoostzijde. De kwelder gaat naar het noordwesten geleidelijk over in het duingebied (Figuur 6-10).



Figuur 6-10 Overzichtsluchtfoto (2018) van de oostzijde van Schiermonnikoog

De beide kwelders zijn grotendeels na 1945 ontstaan. Kobbeduinen zijn in hun huidige vorm ontstaan tussen 1858 en 1891. In 1945 werden bij het verbreden van de zeereep de inbochtigen en doorbraakgaten rechtgetrokken respectievelijk afgesloten vanuit het westen tot en met de Kobbeduinen. Westelijk van de Kobbeduinen vormden zich in de luwte ervan de zogeheten Binnenkwelder en Oosterkwelder. Een deel is zelfs nog ouder en is op kaarten van 1809 en 1848 al te zien (Figuur 6-11). De naam Oosterkwelder is afgeleid van de tijd dat dit nog het oosteinde van het eiland was; later is deze naam abusievelijk ook wel gebruikt voor het gebied oostelijk van de Kobbeduinen. De kwelders werden tot 1959 begraaasd door runderen. Daarna werd alleen in de zomer vlak bij de dijk nog beweide. Vervolgens is dit weer oostwaarts uitgebreid (zie Kwelder Oostpunt).



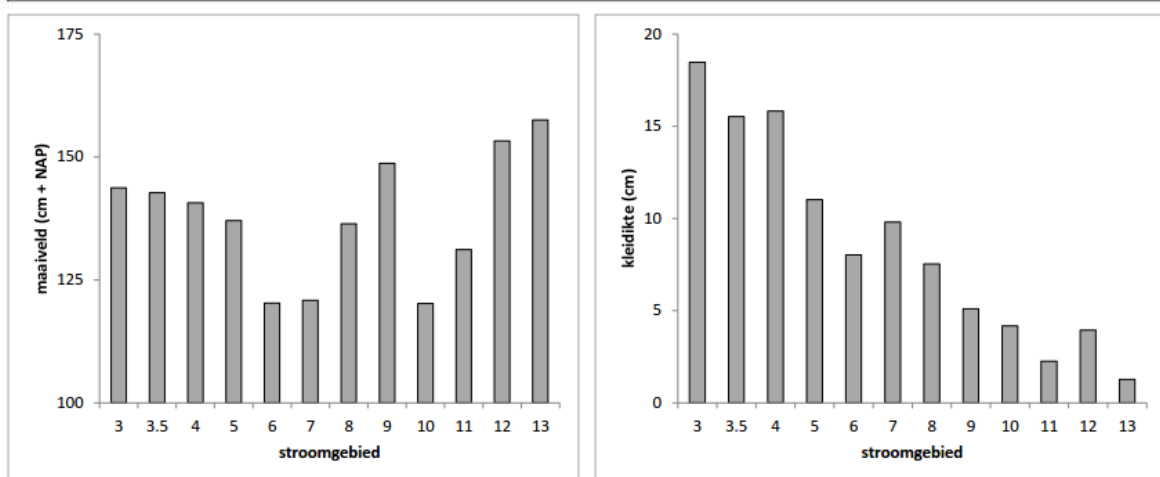
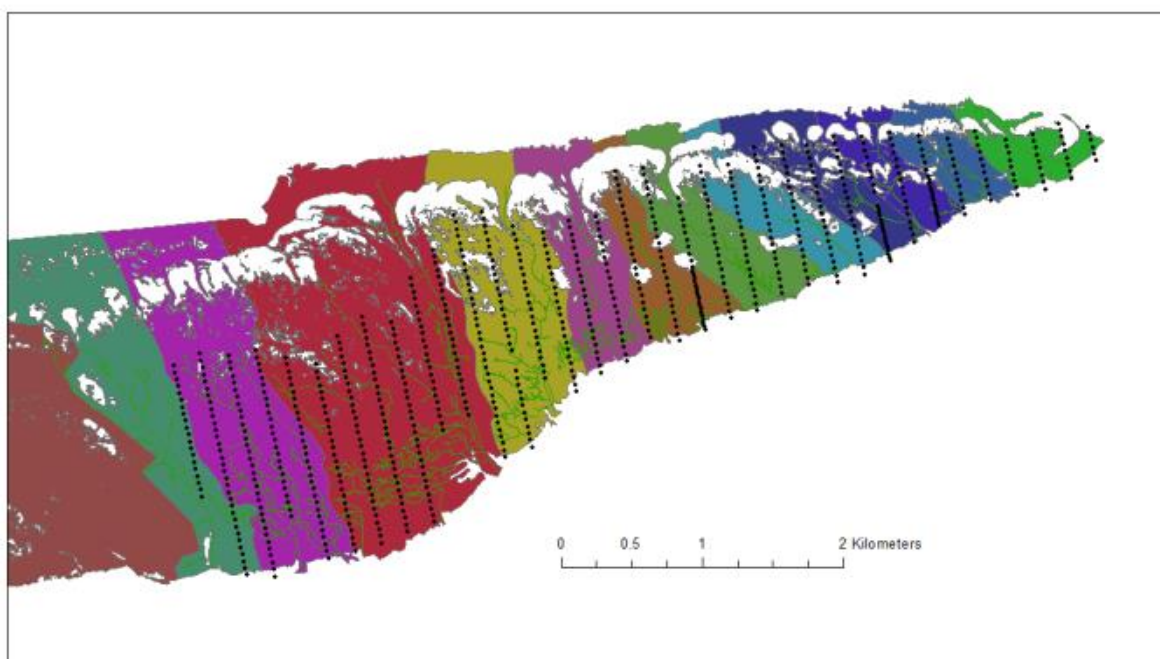
Figuur 6-11 Leeftijden van de kwelders en duinen van de eilandstaart van Schiermonnikoog (Kers et al., 1998; Jager, 2006).

Kwelder Oostpunt

Vanaf 1950 werden stuifdijken aangelegd ten oosten van de Kobbeduinen. Deze pogingen mislukten grotendeels. In 1959 werd tussen paal 7 en 13 een stuifdijk aangelegd met een oost-west oriëntatie over het strand. Deze stuifdijk boog af ter hoogte van paal 14 en werd doorgetrokken, naar net voorbij het Willemsduin. Deze stuifdijk werd herhaaldelijk aangetast en met wisselend succes weer gerepareerd. Uiteindelijk werd in de jaren '80 het onderhoud van de stuifdijk voorbij paal 10,4 gestaakt. Toen waren oostelijk ervan grote openingen aanwezig. Wel werd er in 1989 nog een drempel in stand gehouden, ter hoogte van Paal 11, tussen de resten van de aanwezige duinen. Vanaf 1990 geldt het beleid van dynamisch kustbeheer en is onderhoud aan de zeereep tussen paal 7 en 10,4 ook stopgezet (De Groot et al, 2015). De natuur mag zich vrij ontwikkelen. Na 1972 werd de kwelderbeweiding uitgebreid tot de 2^e Slenk en noordelijk van het fietspad van de Oosterkwelder, om na 1987 zelfs uitgebreid te worden tot de 3^e Slenk.

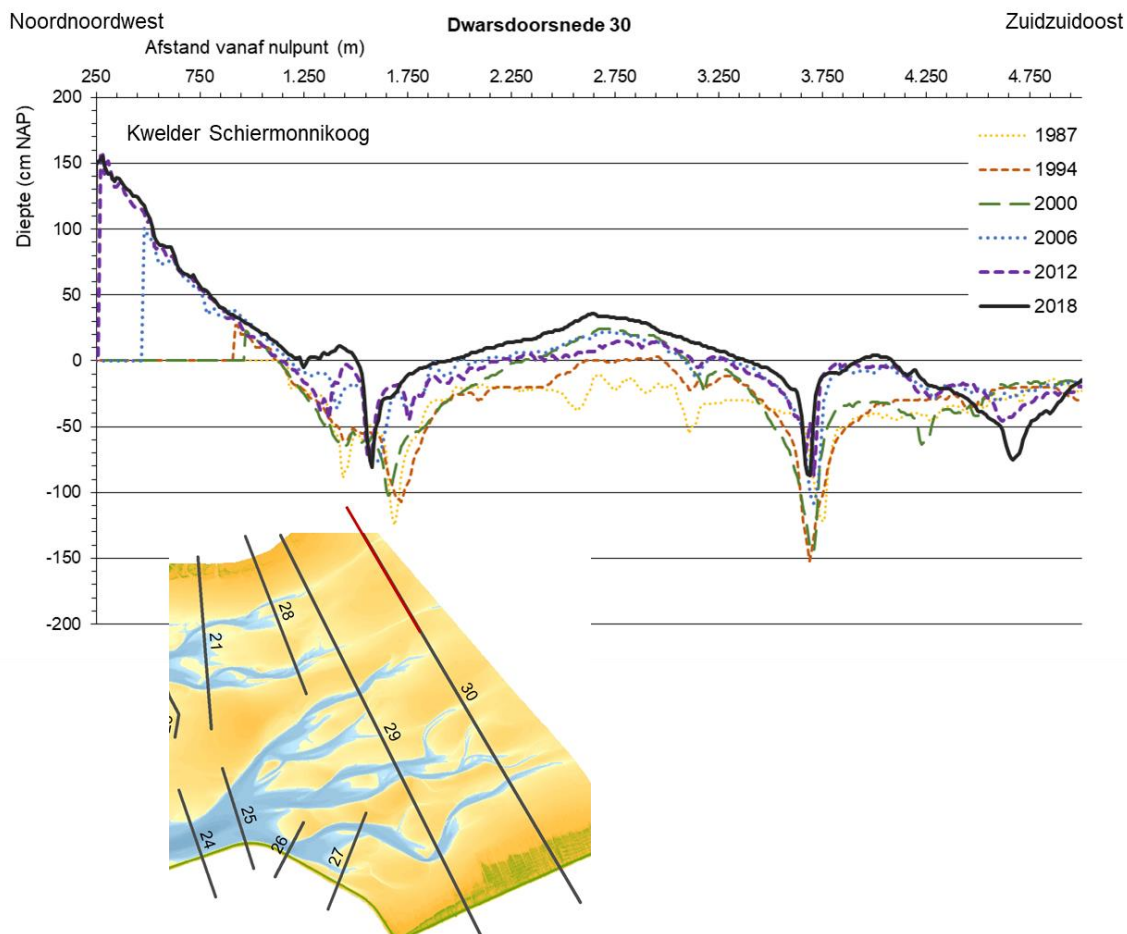
In de luwte van de duinenrijen ontwikkelde zich een kwelder die met de ophoging en aangroei van het eiland zich geleidelijk naar het oosten en zuiden wist uit te bouwen (Figuur 6-11). De kleidikte neemt daardoor geleidelijk af in oostwaartse richting van 18 cm naar 1-2 cm; de gemiddelde oorspronkelijke hoogteligging lijkt minder belangrijk. (Figuur 6-12). De hoofdkreken zijn noord-zuid georiënteerd, waarmee er dus stukken van de kwelder gerelateerd zijn aan een specifieke kreek en er gerichte sedimentatiemetingen mogelijk zijn (Figuur 6-12). Het grootste deel van de hoofdkreken is via washovers die alleen tijdens stormvloed actief worden, ook verbonden met de Noordzeezijde. De afstand tussen kreekmondingen aan de Waddenzeezijde is gemiddeld iets meer dan een kilometer (De Groot et al, 2015).

Op oudere kwelders, die zeewaarts zijn gegroeid, is het mogelijk dat het sediment niet de delen kan bereiken die het verst van de kwelderrand en krekken liggen. Deze blijven achter qua ophoging. Dit wordt wel het 'badkuipeffect' genoemd, omdat deze delen daardoor kunnen vernatten (zie ook Van Wesenbeeck et al., 2014). Op Schiermonnikoog liggen juist deze delen vrij hoog ten opzichte van het getij. De drainage is dan bepalend of het badkuipeffect zich voordoet. Dicht bij de oostkant van de Kobbeduinen is er wel sprake van vrij natte condities, omdat een deel van het gebied is ingesloten tussen oudere lage duintjes in het zuiden en de stuifdijk in het noorden. Rietgroei is daar een belangrijke component van de vegetatie.



Figuur 6-12 Meetraaien in de verschillende stroomgebieden van de kwelderkreken (aangegeven met verschillende kleuren) op Schiermonnikoog en metingen van gemiddelde maaiveldhoogte (rechtsonder) en kleidikte (linksonder) uit De Groot et al. (2015).

Het aandeel van het areaal pionierzone op Schiermonnikoog is min of meer constant in de tijd, door aangroei in oostelijke en zuidelijke richting, waarbij steeds nieuwe laaggelegen bodem gekoloniseerd wordt. Deze aangroei met nieuwe pioniervegetatie heeft tot nu toe de arealen die verdergaan in successie meer dan kunnen compenseren, zodat het nastreven van een brede range aan kweldervegetatie verzekerd blijft (De Groot et al., 2004). Mogelijk heeft de relatief uitgebreide ontwikkeling van pioniervegetatie bij deze eilandkwelder, in vergelijking met de beperkte hoeveelheid bij Terschelling en Ameland, te maken met de ontwikkeling van de wadplaten voor deze kwelders. Als ze eenmaal voldoende hoog zijn kan de pioniersvegetatie zich erop vestigen. Zeewaarts van de Oosterkwelder is de hoogte van de wadplaten in de periode van 1987 tot 2018 toegenomen, zoals zichtbaar is in de dwarsdoorsneden in Figuur 6-13. Bij de twee andere genoemde Waddeneilanden is geen sprake van toename van de wadplaat hoogte voor de kwelders van de eilandstaarten.

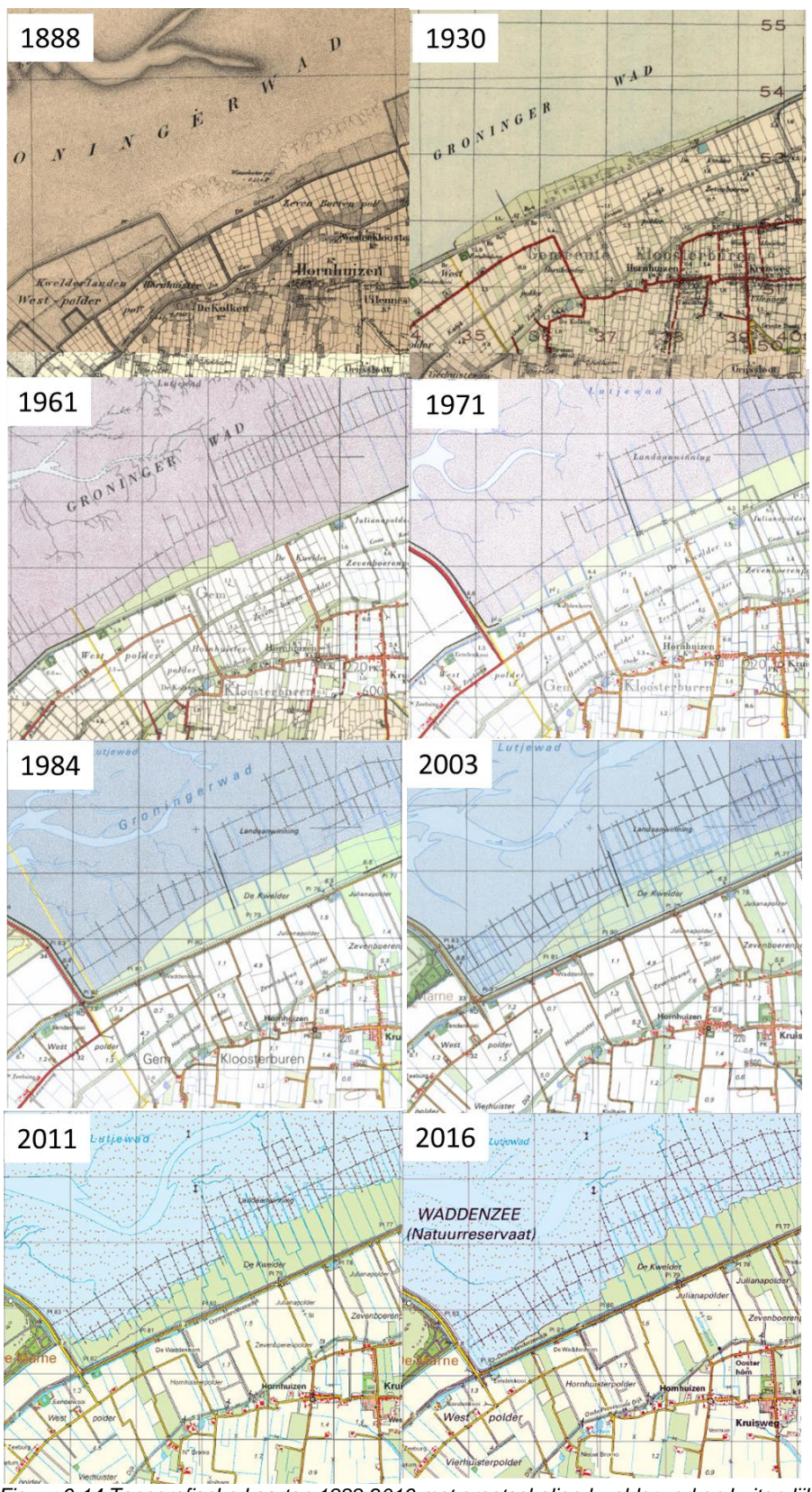


Figuur 6-13 Dwarsdoorsnede van de Oosterkwelder met voorliggende wadplaat, nabij de wantij-zone tussen Zoutkamperlaag en het oostelijk gelegen kombergingsgebied van de Lauwers.

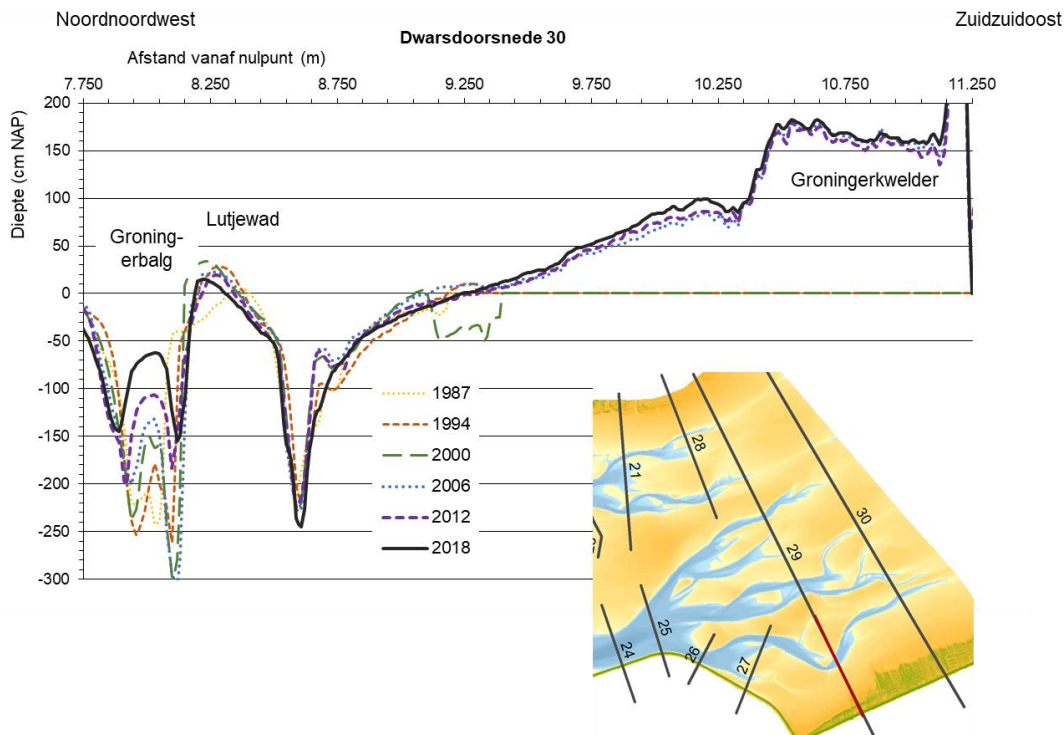
6.3.2 Kwelders Zoutkamperlaag, vasteland

Aan het vasteland van Groningen waren al lang kwelders aanwezig. Bij het uitruimen van de Lauwerszee zal vermoedelijk ook aan de noordoostzijde landverlies opgetreden (Oost, 1995), met langzame aanwas en inpolderingen met name vanaf de vroege 19^e eeuw. In Figuur 6-14 is te zien hoe tot 1930 nieuwe polders tot stand kwamen op de hoge kwelders. Daarna was er wel sprake van uitbreiding van de kwelders, bevorderd door uitgebreide kwelderwerken, voornamelijk na de 2^e Wereldoorlog. De ophoging van de kwelders gaat nog door, zij het relatief langzaam (Figuur 6-15). De gemiddelde sedimentatiesnelheden van de westelijke Groninger kwelders ligt momenteel onder 1 cm per jaar (Figuur 6-16).

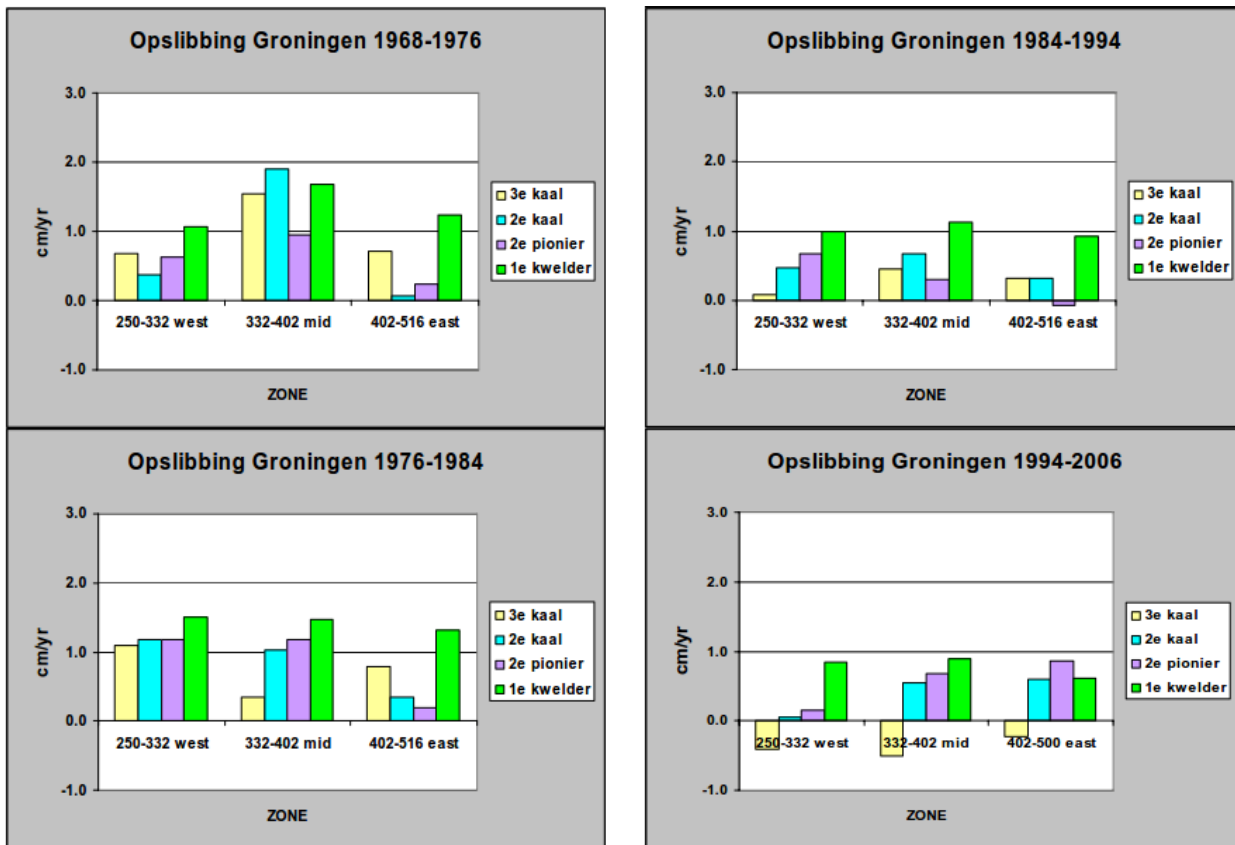
Figuur 6-16 geeft een overzicht van de bruto opslibbing in de kwelderwerken. Naarmate de kwelders hoger worden treden overstromingen minder vaak op en verloopt de opslibbing langzamer. De pionierzone is door kwelderwerken kunstmatig beschermd tegen golven en stroming en dat draagt eraan bij dat de opslibbing in de pionierzone van Groningen-west terug liep na 1984. RWS ging dit tegen door vakverkleining en herstel van de aansluiting van dammen aan de kwelder. In de verlaten buitenste bezinkvelden is de opslibbing afgenomen. Het maaiveld verlaagt netto over de periode 1994-2006 en volgt de hoogteligging van de aangrenzende wadplaten (Dijkema et al. 2001; Hoeksema et al. 2004). De uiteindelijke hoogteontwikkeling zal in evenwicht zijn met de aangrenzende wadplaten (Dijkema et al, 2007).



Figuur 6-14 Topografische kaarten 1888-2016 met grootschalige kwelderwerken buitendijks.



Figuur 6-15 Dwarsdoorsnede van de Groninger kwelder met voorliggende wadplaat.



Figuur 6-16 Gemiddelde opslibbing over 4 perioden voor kale bezinkvelden, de pionierszone en de 1^e kwelder. West zijn de Groninger kwelders van de Zoutkamperlaag (Dijkema et al, 2007).

7 Relatie morfologie en gebruiksfuncties

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de beleid- en beheervraagstukken per gebruiksfunctie (veiligheid, bereikbaarheid, natuur en overig) besproken. De gebruiksfuncties zijn getoond in Figuur 7-1. Beheerders zijn Rijkswaterstaat, het Ministerie van LNV, waterschappen (Wetterskip Fryslân en Noordpolderzijlvest), Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Fryske Gea, de gemeentes en het havenbedrijf.



Figuur 7-1 Overzichtskartaal met gebruiksfuncties (bron: WaLTer-website).

7.2 Veiligheid tegen overstromingen

7.2.1 Beleid en beheer

Langs de Waddenzee liggen primaire waterkeringen die de bewoonde Waddeneilanden, het vasteland en het Lauwersmeer beschermen tegen overstromingen.

Het Nederlandse beleid voor veiligheid tegen overstromingen is vastgelegd in de Waterwet het Nationale waterplan 2016-2021 (Ministeries van I&M & EZ, 2015). Bij de toetsing van de keringen aan de normen worden karakteristieke maatgevende condities gehanteerd die ze moeten kunnen weerstaan. In de maatgevende condities verschillen Waddenzee en Noordzee sterk. De Waddenzee is veel ondieper en de daarin optredende golven zijn kleiner. Ook de aanwezigheid van voorlanden (het gebied voor de dijk, dat bestaat uit kwelder, wadplaat of geul) bepaalt de golfopzet en/of maatgevende waterstanden

De wettelijk vastgelegde cyclus van het toetsen van de waterkeringen vindt iedere twaalf jaar plaats. Tekortkomingen bij de toetsing kunnen leiden tot het versterken van (onderdelen) van de waterkering⁷. Nieuwe inzichten en (morfologische) ontwikkelingen worden meegenomen bij

⁷ Bijvoorbeeld:

zowel de toetsing, het wettelijk instrumentarium ervoor en de metingen die bij de toetsing horen. De dijkversterkingen Koehoal-Lauwersmeer en Lauwersmeerdijk volgden op het afkeuren van de waterkering tijdens de voorgaande toetsronde. Daarnaast heeft Wetterskip Fryslân in de periode 2015-2018 de bekleding van de Waddenzeedijk op Ameland over een lengte van 16,5 kilometer versterkt en de dijk met gemiddeld 35 centimeter verhoogd. De dijk voldoet weer aan de wettelijke veiligheidseisen voor de komende 50 jaar.

7.2.2 De rol van morfologische veranderingen op de waterveiligheid

Morfologische veranderingen kunnen van invloed zijn op de waterveiligheid:

1) belastingen op de waterkeringen verandert daar waar de voorlanden (het gebied voor de dijk, dat bestaat uit kwelder, wadplaat of geul) veranderen en daarmee de golfopzet en/of maatgevende waterstanden. Morfologische veranderingen kunnen de maatgevende condities veranderen via de invloed op de golfaanval. Zwaardere golven vereisen een steviger bekleding. Bij de dijken rondom de Waddenzee wordt de golfaanval vooral bepaald door de waterdiepte in het gebied vóór de dijk: het voorland. Hoe hoger en uitgestrekter het is, des te lager de golven. De aandacht voor de rol van het voorland voor de waterkering is de afgelopen jaren toegenomen. Tegenwoordig wordt bij dijkversterkingsprojecten nadrukkelijk gekeken naar de mogelijkheden om door beheer van en ingrepen in het voorland de versterking van de eigenlijke dijk te beperken. Dit speelt onder andere bij de nu lopende dijkversterking van Koehoal tot de Lauwersmeer en daarmee bij het kombergingsgebied Pinkegat en bij de lopende dijkversterking Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat bij het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. Kweldererosie treedt in het Friesche Zeegat vooral op sinds het niet langer onderhouden van de buitenste kwelderwerken. Voor zover bekend zijn de resterende kwelders echter nog breed en hoog genoeg om de golfaanval afdoende te dempen.

2) de sterkte van de kering wordt beïnvloed. De sterkte van de kering kan worden beïnvloed door veranderingen in de ligging en de diepte van geulen en de steilheid van de geulwand. Een geul vlak bij een waterkering kan deze instabiel maken. Er zijn regels over de maximale helling die de onderwateroever mag bereiken. Om te voorkomen dat dit criterium wordt bereikt, wordt de geulwand bestort (met stortsteen of staalslakken). Waar een bestorting ligt wordt door de beheerder steeds gecontroleerd of deze nog voldoet, of dat onderhoud (aanvullingen) nodig zijn. Dit is onder meer gebeurd bij de westelijke Lauwersmeerdijk in de 90er jaren en in de periode 2010-2015 voor de oostelijke Lauwersmeerdijk bij het Vierhuizergat. De ontwikkelingen bij het Vierhuizergat, iets oostelijk van de Lauwersmeerdijk, zijn beschreven in paragraaf 4.5. Bij onderzoek binnen POV⁸ Waddenzeedijken voor het Vierhuizergat, is bekeken of een geulwandsuppletie, met zand dat is gewonnen in de geul, dan wel het geheel verleggen van de geul alternatieven waren voor een vervolgbestorting. Het onderzoek wees voor het Vierhuizergat uit dat bestortingen de aangewezen maatregel waren, zie Ouwerkerk et al. (2019) voor de samenvatting van de resultaten. Het meenemen van zandige alternatieven bij het aanpakken van geulinstabiliteit bij geulen blijft voor andere locaties wel een te bekijken optie. Hiervoor is in het kader van de POV Waddenzeedijken een handreiking opgesteld: "Handreiking Geulmanagement; Wat te doen als een geul naar de dijk kruipt..." (Sas, 2019).

3) Bij (grotere) spuisluizen, zoals de Clevering-sluizen in de Lauwersmeerdijk, is een onderzeese bestorting aanwezig om erosie ten gevolge van het uitstromende water te voorkomen.

⁸ Binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) zijn er verkenningen die individuele versterkingsprojecten overstijgen (POV's). Er is er ook een voor de Waddenzeedijken, zie <https://pov-waddenzeedijken.nl/>.

7.3 Bereikbaarheid: vaarwegen en havens

In het kombergingsgebied Zoutkamperlaag liggen de haven van Lauwersoog en de veerhaven en de jachthaven van Schiermonnikoog. De haven van Lauwersoog is het grootst, met een stelsel van dammen om luwte verschaffen. De haven is vooral van belang voor visserij en is via de Zoutkamperlaag verbonden met de Noordzee. De veerverbinding vanaf Lauwersoog (Wagenborgen Passagiersdiensten) is uiteraard zeer belangrijk voor Schiermonnikoog.

Er lopen verschillende gemarkeerde vaargeulen die de havens en de zeegaten verbinden. Het kombergingsgebied van de Zoutkamperlaag wordt gebruikt door zowel beroepsvaart (veerboot, visserij, vrachtvaart, waaronder zand- en schelpenwinners) als recreatievaart. Een deel is vanwege diepgang gebonden aan de betonde vaargeulen. Alle havens en een aantal van de vaargeulen worden onderhouden (baggeren). Gebaggerd materiaal moet weer verspreid worden in de Waddenzee. De verspreidingslocatiekeuze daarvoor is mede gebaseerd op morfologische ontwikkelingen.

In het kombergingsgebied Pinkegat liggen geen havens. Het kombergingsgebied van het Pinkegat wordt vrijwel uitsluitend gebruikt door recreatievaart, met af en toe een onderzoeksvaartuig en een visserijvaartuig.

Beleid

In de Scheepvaartverkeerswet zijn dieptes van vaarwegen gespecificeerd, de situatie van 2006 is maatgevend. Ook geeft het SVW specifieke aanwijzingen voor baggerwerken:

- Ze zijn beperkt in omvang,
- Volgen de natuurlijke morfologische ontwikkelingen en
- Vinden uitsluitend plaats indien de bereikbaarheid van de havens, de Waddeneilanden of de verkeersveiligheid in het geding zijn.

Beheer

Het beheer voor toegankelijkheid omvat toezicht, monitoring, het aanbrengen, verleggen en onderhouden van betonning, baggeren en verspreiden, inrichting en onderhoud van veerhavens, scheepvaartbegeleiding en ook het onderhoud van havendammen.

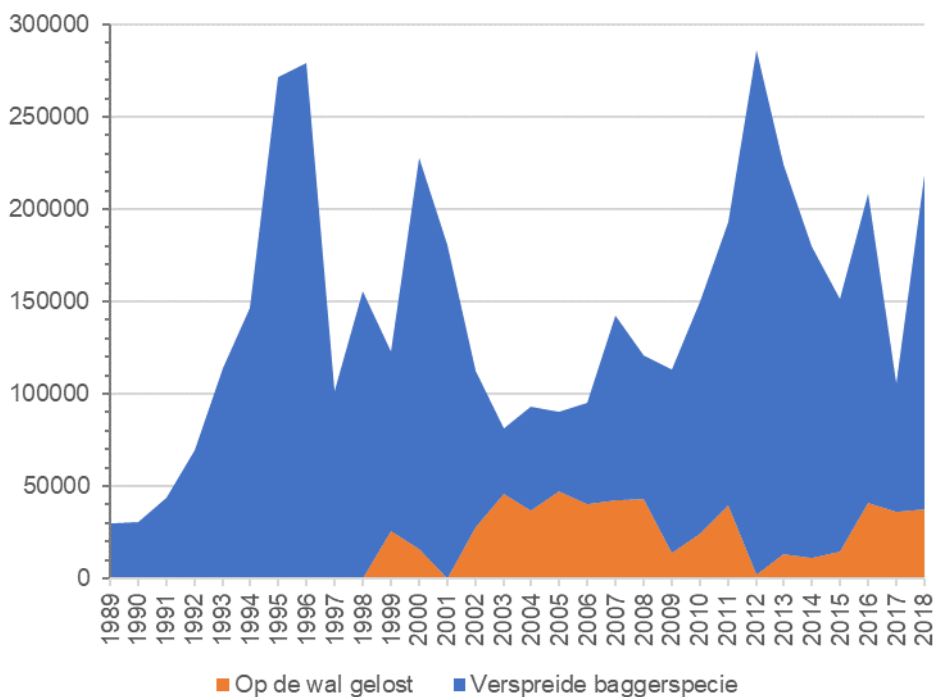
Het beheer van de havens ligt bij de gemeente (recreatiehaven Schiermonnikoog), het havenbedrijf (industriehaven Lauwersoog) en Rijkswaterstaat (veerhavens Lauwersoog en Schiermonnikoog). De recreatiehaven Lauwersoog ligt binnendijks.

Tabel 7-1 geeft een overzicht van het gemiddeld jaarlijks onderhoud van havens en vaarwegen, over de perioden 2013-2017 of 2013-2015. Figuur 7-2 geeft in een grafiek de gebaggerde volumes in opdracht van Rijkswaterstaat. Een klein deel van de gebaggerde specie, dat vrijkomt bij het onderhoudsbaggerwerk van de geulen wordt sinds 1998 aan de wal gelost.

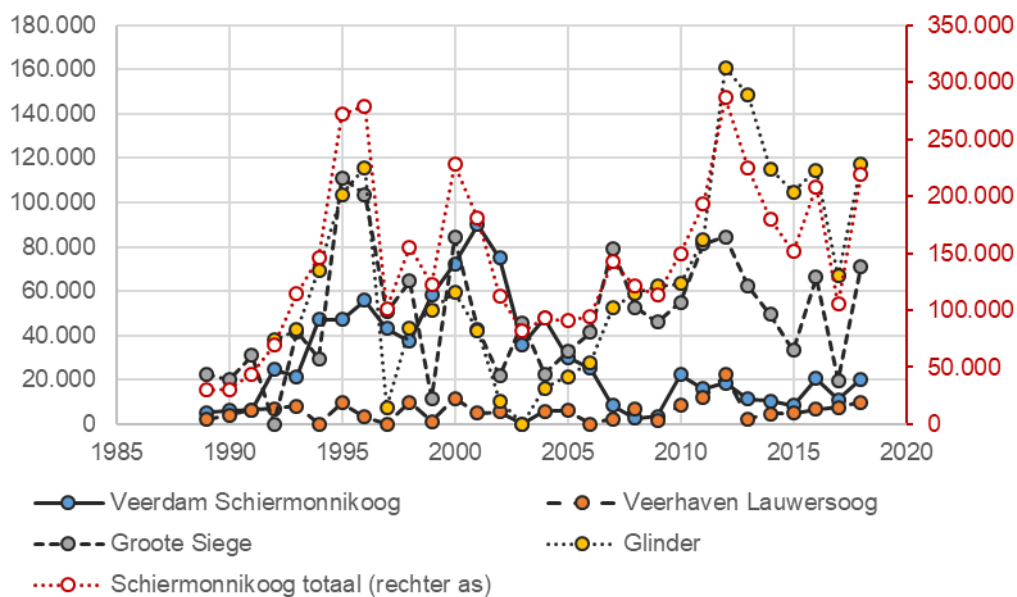
Er zijn grote fluctuaties te zien in de gebaggerde volumes. Figuur 7-3 laat per baggergebied zien hoeveel baggerspecie is gebaggerd. Uit deze grafiek is af te leiden dat de grote variaties in de baggervolumes met name optreden in de baggergebieden Glinder en Grote Siege. In geen van de gebaggerde gebieden vindt een trendmatige toe- of afname van de baggervolumes plaats. Ook in de Siege, waarvan het niet gebaggerde deel sterk in omvang is afgenomen (Figuur 4-4), is geen sprake van een trendmatige toename van het baggervolume.

Tabel 7-1 Overzicht baggervolumes in en nabij de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. Bronnen: Wadden in beeld, 2016 en Natura 2000 beheerplan Waddenzee.

Kombergingsgebied Zoutkamperlaag	Hoeveelheid (10 ³ m ³) gemiddeld per jaar	Periode & Bron
Havens		
Lauwersoog	190	WiB2016
Veerhaven Lauwersoog	Gemiddeld: 9 Maximaal: 23 Periode 2011-2015	Bijlage A van PB baggeren en verspreiden Waddenzee (zie Natura 2000 beheerplan Waddenzee)
Veerdam/veerhaven Schiermonnikoog	10	WiB2016
Recreatiehaven Schiermonnikoog	10	Bijlage B van PB baggeren en verspreiden Waddenzee (zie Natura 2000 beheerplan Waddenzee)
Subtotaal	229	
Vaargeulen		
Vaargeul naar Schier	170	2011-2015 WiB2016
Totaal	399	



Figuur 7-2 Grafiek met de totale gebaggerde volumes per jaar in opdracht van Rijkswaterstaat in het kombergingsgebied Zoutkamperlaag, waarbij is aangegeven welk deel van de gebaggerde is verspreid in het kombergingsgebied (blauw) en welke deel aan land is gebracht (oranje) (gegevens Rijkswaterstaat).



Figuur 7-3 Grafiek met de gebaggerde volumes per jaar in opdracht van Rijkswaterstaat voor de verschillende deelgebieden in het kombergingsgebied Zoutkamperlaag (gegevens Rijkswaterstaat).

7.4 Natuur

De Waddenzee is één Natura 2000-gebied, dat ook de vastelandskwelders omvat. Ook maakt het deel uit van het trilaterale Werelderfgoedgebied Waddenzee, zowel erkend op basis van de waarden van de bijzondere geomorfologie als van de levende natuur. Belangrijke ecologische functies zijn 'rust en foerageergebied voor zeehonden', 'foerageer- en rustgebied voor vogels', 'paaigebied voor vissen', 'ontwikkelingsgebied voor kwelders' en 'groeigebied voor ongewervelde dieren'. Al deze functies zijn afhankelijk van de hydromorfodynamische ontwikkelingen, want die hebben effect op de arealen en hun kwaliteit. De droogvallende platen en de geulen zijn qua omvang het grootst. Kwelders omvatten slechts een beperkt areaal.

Beleid

De Europese richtlijnen zijn de belangrijkste kaders, in Nederland geïmplementeerd via de Wet Natuurbescherming. De (instandhoudings) doelstellingen voor het Natura 2000-gebied zijn geformuleerd op de schaal van het gehele Natura 2000-gebied (Ministerie van LNV, 2008). De morfodynamiek van de Waddenzee is daarin een zogenaamd 'kwaliteitslement'. Veel morfologische ontwikkelingen hebben effect op de arealen van de verschillende beschermde habitattypen, bijvoorbeeld doordat permanent onderstaande zandplaten (Habitatype H110) verandert in wadplaten (Habitatype H140). Er zijn geen specifieke doelstellingen voor een enkel kombergingsgebied. Bij het opstellen van de Natuurdoelstellingen is onderkend dat autonome veranderingen plaatsvinden in de arealen van de verschillende habitattypen. De Kaderrichtlijn Water (KRW) heeft ook relatie met de morfologie. Ze kent ook doelstellingen voor abiotische aspecten, in het bijzonder eilandkwelders en de aanwezigheid van zeegras.

Beheer

Voor Natura 2000-gebieden zijn er beheerplannen. Deze beschrijven ook de relaties tussen andere activiteiten en de natuur. Ook vanuit het kader van de Waterwet zijn er beheerplannen. Het Beheerplan Rijks Wateren (BPRW, Rijkswaterstaat, 2015) omvat maatregelen met betrekking tot de waterkwaliteit (slib) en de kwelders, om aan doelstellingen in KRW te voldoen. Ook voor de Waddeneilanden en de vastelandskwelders bestaan beheerplannen.

7.5 Gaswinning

In de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag speelt gaswinning, vanuit velden rondom Ameland (gaswinning Ameland) en velden nabij de vastelandskust (gaswinning Moddergat, Lauwers, Vierhuizen oftewel MLV, ook wel bekend als gaswinning Waddenzee). De bodemdaling door gaswinning wordt vooral veroorzaakt door het Amelanderveld. De bodemdaling op Ameland bedraagt 2,3 Mm³ en in het kombergingsgebied 8,6 Mm³ waarvan 2,1 Mm³ in de Zoutkamperlaag. De bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee wordt door sedimentatie aangevuld, door herverdeling van zand en slib in de Waddenzee. Het gevolg is dat er geen gevolgen zijn die aan het wadoppervlak in de morfologie zichtbaar zijn. Wel is de bodemdaling zichtbaar in de metingen van de sedimentatie (Krol et al., 2019). De vereffening vindt plaats door herverdeling van zand en slib in de Waddenzee en door de aanvoer van zand uit de kustzone. In sedimentbalansen van de aangrenzende buitendelta's en kust vormt de bodemdaling door de gaswinning een 'verliespost' voor sediment.

Delen van de eilandkwelders van Ameland zijn door de gaswinning Ameland verlaagd omdat opslibbing minder groot was dan de opgetreden bodemdaling (NAM, 2017). In delen van de kwelder heeft regressie (een verjonging) van de vegetatie plaatsgevonden (NAM, 2017).

Beleid rond de diepe delfstoffenwinning is vastgelegd in de Structuurvisie derde nota Waddenzee (SVW, Ministerie van VROM, 2007a en b). Het huidige beleid staat het plaatsen van boor- en productieplatformen in de Waddenzee niet meer toe. Schuin vanaf het vasteland of vanaf de eilanden boren naar gas en zout onder de Waddenzee is nog wel toegestaan, maar het te winnen volume gas is begrensd, doordat de cumulatieve bodemdaling per kombergingsgebied niet groter mag worden dan de beschikbare 'gebruiksruimte'.

7.6 Overige gebruiksfuncties

Dit wordt beperkt tot functies die een duidelijke relatie hebben met de morfologie.

Recreatie: De routes van de vastelandskust naar Ameland, de Engelsmanplaat en Schiermonnikoog zijn routes voor het wadlopen. Deze routes liggen over de wantijzones en worden regelmatig aangepast vanwege veranderingen in de ligging van de geulen en veranderingen in de dikte van sliedagen nabij de kust.

Visserij: De visserij heeft geen directe relatie met de morfologie. De morfologie van de buitendelta van de Zoutkamperlaag is wel van belang voor de benutting van de haven en havenfaciliteiten van Lauwersoog door vissers. Op de buitendelta was gedurende enige jaren een drempel in de belangrijkste toegangsheuvel aanwezig, waardoor veel vissersschepen uitweken naar de havens van Harlingen en Urk en de Eemshaven. De drempel is in 2018 gebaggerd (pilot project). De ontwikkeling van de drempel wordt intensief gemonitord. Binnen het kombergingsgebied leveren de morfologische veranderingen, voor zover bekend, geen beperkingen op voor de visserij.

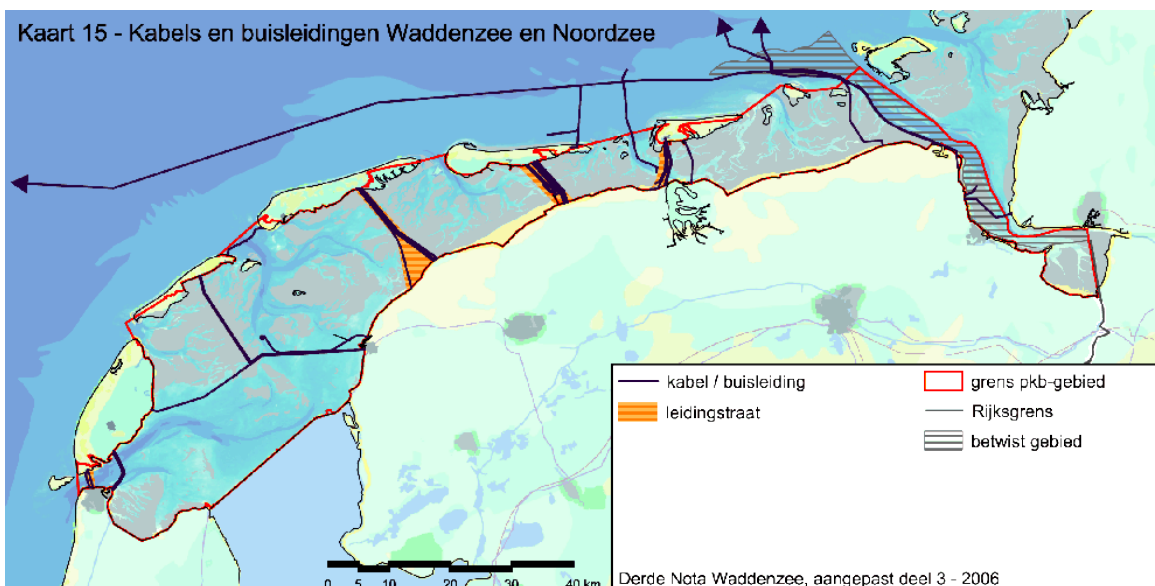
Zand- en schelpenwinning: Zand dat in de Waddenzee wordt gewonnen, wordt voornamelijk toegepast als ophoogzand, bijvoorbeeld in de wegenbouw en in het verleden ook voor de versterking van dijken. In de Waddenzee is de zandwinning gekoppeld aan het onderhoud van de vaargeulen, zoals is vastgelegd in de Beleidsregels ontgroningen in Rijkswateren: "landwaarts van de doorgaande NAP -20 meter dieptelijn in de Noordzee kan alleen vergunning worden verleend voor: a. de zandwinning uit de vaargeulen...". Zandwinning uit putten, buiten en binnen de vaargeulen, zonder onderhoudsdoelstelling, is sinds 1998 niet meer toegestaan. Het volume zand dat mag worden gewonnen was maximaal 500.000, maar wordt afgebouwd, volgens het schema in Tabel 7-2. De reden voor de afbouw ligt in de gevolgen ervan voor de sedimentbalans van de Waddenzee en de kustzone. Figuur 7-2 toont de volumes aan zand die sinds 1998 worden gewonnen als onderdeel van het baggerbeheer van de vaargeulen.

Tabel 7-2 Beschikbare volume voor zandwinning in de Waddenzee in de periode 2012-2022 (Rijkswaterstaat).

Jaar	Zandwinqutum (m ³)
2012	500.000
2013	500.000
2014	500.000
2015	500.000
2016	500.000
2017	500.000
2018	400.000
2019	300.000
2020	200.000
2021	100.000
2022	0

Er worden schelpen gewonnen in de diepere geulen van de kombergingsgebieden Pinkegat, Zoutkamperlaag en Friese Zeegat, beneden de NAP -5 diepte. Op basis van de jaarlijkse schelpenproductie is het totale jaarlijkse quotum is de vigerende vergunning (Ministerie van I&M, 2016) bepaald op 80.000 m³ per jaar in de Waddenzee. In totaal mag in de kombergingsgebieden, de buitendelta's en de Noordzeekust 160.000 m³ aan schelpen per jaar worden gewonnen. De winning mag alleen plaatsvinden in de geulen dieper dan NAP -5 m.

Kabels en leidingen: Onder de wadbodem lopen verschillende kabels en leidingen die de Waddeneilanden met het vasteland verbinden (Figuur 7-4). Daarnaast zijn er leidingen en buizen die het vasteland verbinden met gebieden buitengaats. Dit betreft voor het Friese Zeegat buizen voor gastransport (Figuur 7-4).



Figuur 7-4 Leidingstraten en kabels en buisleidingen in de Waddenzee (Derde Nota Waddenzee, 2006).

In de Verkenning “aanlanding netten op zee 2030” zijn de routes verkend van de windkavels (<https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/hoogspanning/verkenning-aanlanding-netten-op-zee-2030>). (Arcadis & Pondera, 2018a). Een van de verkende routes loopt over de wantijzone tussen het Pinkegat en de Zoutkamperlaag, via Rif en Engelsmanplaat. De reden voor het opnemen van deze route is de mogelijkheid om aan te sluiten op het elektriciteitsnetwerk bij Bergum. In het m.e.r. traject dat

is opgestart om de milieueffecten van de verschillende alternatieven en varianten te onderzoeken voor de verbinding van het gebied ten noorden van de Waddeneilanden zijn nog twee alternatieven toegevoegd (Witteveen en Bos, 2019), waarvan er een dwars door het Pinkegat loopt.

Herstel verbinding Lauwersmeergebied

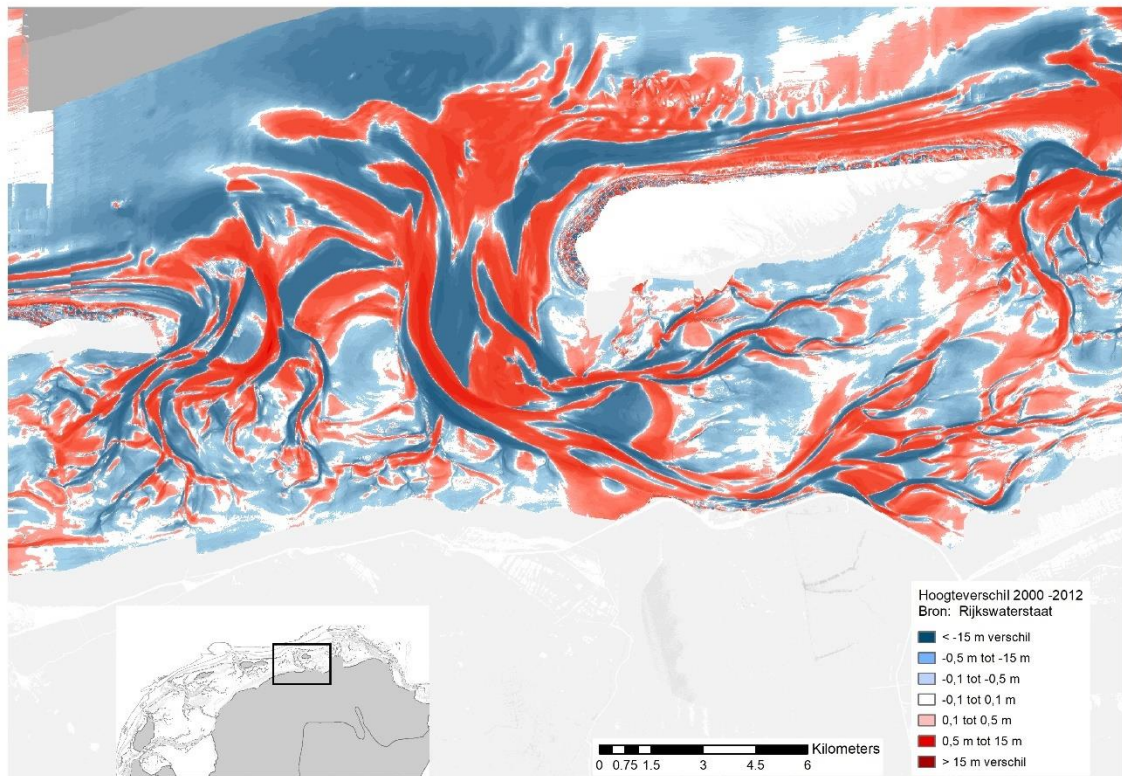
De mogelijkheden voor het verbinden van het Lauwersmeergebied met de Waddenzee worden met enige regelmaat beschouwd. Tijdens de bijeenkomst in 2019 over het 50-jarige bestaan van de Lauwersmeer is een manifest overhandigd waarin hiervoor mogelijkheden worden verkend (Keizer et al., 2019). Het herstel van een beperkt getij in het Lauwersmeergebied, in combinatie met het opwekken van energie in een getijdecentrale is onderdeel van de verkenning. Een dergelijke ontwikkeling zal beperkte gevolgen hebben voor de Zoutkamperlaag, door de kleine toename van het getijprisma van het kombergingsgebied. Ook de aanvoer van zoetwater zal dan anders plaatsvinden.

8 Referenties

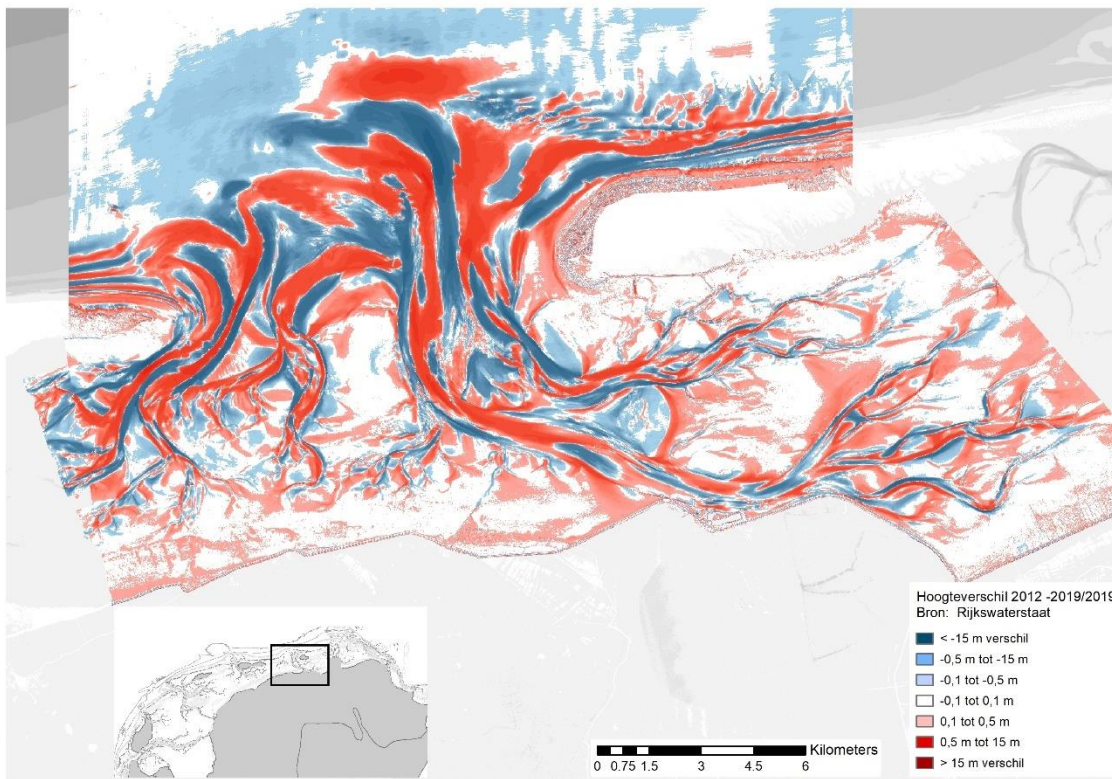
- Arcadis & Pondera, 2018a. Samenvatting Afwegingsnotitie; Verkenning aanlanding netten op zee 2030.
- Arcadis & Pondera, 2018b. Afwegingsnotitie; Verkenning aanlanding netten op zee 2030.
- Arcadis, 2017. Verkenning geulmanagement Varianten Vierhuizergat; POV Waddenzeedijken m.m.v. Rijkswaterstaat en Programma naar een Rijke Waddenzee. Arcadis rapport referentie 079148812 0.5Ra
- Biegel, E. & P. Hoekstra, 1995: Morphological response characteristics of the Zoutkamperlaag Inlet, Friesian Inlet, The Netherlands to a sudden basin area reduction. International Association of Sedimentologists. Special Publication 24: 85-99.
- Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013. Samenhang ontwikkelingen tijd- en ruimteschalen. LTV V&T-rapport K-17.
- Dijkema, K.S., A. Nicolai, J. de Vlas, C.J. Smit, H. Jongerius & H. Nauta 2001. Van landaanwinning naar kwelderwerken. Leeuwarden, Rijkswaterstaat dir Noord-Nederland en Texel, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, 68 p.
- Dijkema, K.S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman & P.W. van Leeuwen, 2007. Monitoring van kwelders in de Waddenzee Alterra-rapport 1574 / IMARES-rapport C104/07, WOT IN serie nr. 5. 63 pp.
- Hoeksema, H.J., H.P.J. Mulder, M.C. Rommel, J.G. de Ronde & J. de Vlas 2004. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004, Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd, Rapport RIKZ 2004-025.
- Kater, B.J., J. Cleveringa L. Perk & M. Poortinga, 2008. Haalbaarheidstudie vaarweg Ameland; Fase 1: selectie van kansrijke alternatieven. Alkyon-rapport A2066R1r3.
- Keizer, A., A. Rispens, J. Rispens, J. Bos, & H. Postma. 2019 Referentie Manifest Lauwerskust; Een toekomstvisie op Lauwerskust voor 2050 en verder
- Krol, J., 2019. Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog; Rapport 2018. Rapport NatuurCentrum Ameland.
- Meijer, K.H.R., 2013. Evaluatie dijkversterking Vierhuizergat. Nota Waterschap Noorderzijlvest.
- NAM, 2017. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost: evaluatie na 30 jaar gaswinning. Rapport.
- Oost, A.P. & de Haas, H., 1992, Het Friesche Zeegat, Morfologisch-Sedimentologische veranderingen in de periode 1970-1987, een getijde inlet systeem uit evenwicht, deel 1, rapport in het kader van Kustgenese Werkgroep 1. & deel 2 Figuren.
- Oost, A.P. & de Haas, H., 1993, Het Friesche Zeegat, Morfologisch-Sedimentologische veranderingen in de periode 1927-1970, cyclische veranderingen in een tidal-inlet systeem, deel 1, rapport in het kader van Kustgenese Werkgroep 1 & deel 2, figuren. Oost en de Haas (1992 & 1993)
- Oost, A.P. 1995. Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet; a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas and drainage basins. PhD-Thesis, Utrecht, Geologica Ultraiectina, 126, 518 pp.
- Oost, A.P. 2014. Quick scan Vierhuizergat; Morfodynamiek van een geul onder de dijk. Deltares rapport 08935-000-ZKS-0003.

- Oost, A.P., 1995b. Sedimentological implications of morphodynamic changes in the ebb-tidal delta, the inlet and the drainage basin of the Zoutkamperlaag tidal inlet (Dutch Wadden Sea), induced by a sudden decrease in the tidal prism, in: Flemming, B.W. et al. (Ed.) Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments. Special Publication of the International Association of Sedimentologists, 24: pp. 101-119.
- Ouwerkerk, 2019. POV Waddenzeedijken; Onderzoek geulmanagement, fase B2. Rapport HKV Lijn in Water referentie PR3744.10.
- Ouwerkerk, S., V. Vuik, R. Zijlstra & K. de Jong, 2019. Geulenbeheer in de Waddenzee. Land+Water, 11 november.
- Poortman, S. 2010. Morfologische ontwikkelingen vooroever Lauwerszeedijk; Geuldynamiek Vierhuizergat en de effecten van de afsluiting van de Lauwerszee. Stageverslag Waterschap Noorderzijlvest en Alkyon.
- Postma, J.T. & R. Reenders, 1986. Morfologische en hydraulische gevolgen van de afsluiting van de Luawerszee voor het stroomgebied van het friesche Zeegat en de vaarweg naar Lauwersoog in het bijzonder. Rijkswaterstaat Meet- en Adviesdienst Delfzijl Nota 84.21.
- Sas, H. 2019. Handreiking Geulmanagement; Wat te doen als een geul naar de dijk kruipt...; Projectnummer OW.11503/1H
- Schrijvershof, R.A. & J. Vroom, 2016. Analyse LiDAR data voor het Friesche Zeegat (2010-2015); Monitoring effect bodemdaling door gaswinning. Deltares rapport, 1221249-000-ZKS-0004.
- Van Duin, W. E., H. Jongerius, A. Nicolai, J.J. Jongsma, A. Hendriks & C. Sonneveld, 2016. Friese en Groninger kwelderwerken: monitoring en beheer 1960-2014. WOt/Imares-rapport C042/16.
- Van der Lugt, M., M. Visser & H. van den Boogaard, 2019. Analyse LiDAR data voor het Friesche Zeegat (2010-2018); Monitoring effect bodemdaling door gaswinning. Deltares rapport kenmerk 11203620-002-ZKS-0003.
- Van Straaten, L.M.J.U. 1950. Giant ripples in tidal channels, Waddensymposium, Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardijkskundig Genootschap, pag 76-81.
- Witteveen en Bos, 2019, Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden; Concept Notitie Reikwijdte en Detailniveau.

Bijlage A: Kaarten



Figuur A-7 Verschilkaart 2000-2012: de erosie in de buitenbochten van de meanders treedt vrijwel overal op in het gebied. Sedimentatie is aangegeven in rood en erosie in blauw.



Figuur A-2 Verschilkaart 2012-2018/19: de erosie in de buitenbochten van de meanders treedt vrijwel overal op in het gebied. Sedimentatie is aangegeven in rood en erosie in blauw.