



Veranderingen in morfologie kwelderrand en kwelderdrainage op Oost-Ameland in relatie tot bodemdaling

Monitoring van kustafslag en vegetatie van de kwelderrand onder het Oerderduin en van het drainagesysteem van Neerlands Reid

A.T. Kuiters & R.M.A. Wegman



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Veranderingen in morfologie kwelderrand en kwelderdrainage op Oost-Ameland in relatie tot bodemdaling

Monitoring van kustafslag en vegetatie van de kwelderrand onder het Oerderduin en van het drainagesysteem van Neerlands Reid

A.T. Kuiters & R.M.A. Wegman

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, december 2021

Gereviewd door:
Dr. Nils van Rooijen, onderzoeker (WENR)

Akkoord voor publicatie:
Dr. Nina Smits, teamleider van Vegetatie-, Bos- en Landschapsecologie

Rapport 3136
ISSN 1566-7197

Kuiters, A.T. & R.M.A. Wegman, 2021. *Veranderingen in morfologie kwelderrand en kwelderdrainage op Oost-Ameland in relatie tot bodemdaling; Monitoring van kustafslag en vegetatie van de kwelderrand onder het Oerderduin en van het drainagesysteem van Neerlands Reid*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3136. 44 blz.; 20 fig.; 1 tab.; 12 ref.

Dit rapport vormt een van de achtergrondrapporten bij de integrale analyse van de morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning op Oost-Ameland die is uitgevoerd door Deltares/Arcadis. Aan de hand van luchtfoto's is de kustafslag van een smalle kwelderstrook onder de Oerderduinen vanaf 1949 in beeld gebracht en zijn vanaf 1986 veranderingen in de vegetatie gemonitord. Op basis van dezelfde luchtfoto's is tevens gekeken naar de ontwikkeling van het drainagesysteem van kreken en prielen van het Neerlands Reid, dat binnen de bodemdalingsschotel ligt. In beide onderdelen is gekeken of er relaties zijn met de bodemdaling die is gaan optreden na start van de gaswinning op Oost-Ameland in 1986.

Trefwoorden: kustdynamiek, kwelders, wadplaten, erosie, sedimentatie, bodemdaling

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/560331> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2021 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3136 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Loek Kuiters

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Samenvatting	9
1	Inleiding	11
2	Morfologie en vegetatie kwelderrand	13
	2.1 Inleiding	13
	2.2 Vraagstelling	14
	2.3 Klifvorming en afkalving als natuurlijk proces	14
	2.4 Methode van luchtfoto-interpretatie	15
	2.5 Vegetatiemonitoring	16
	2.6 Resultaten	17
	2.6.1 Morfologie	17
	2.6.2 Vegetatie	21
	2.7 Conclusies en discussie	24
	2.7.1 Kustafslag	24
	2.7.2 Vegetatie	25
3	Veranderingen drainagesysteem Neerlands Reid	28
	3.1 Inleiding	28
	3.2 Vraagstelling	30
	3.3 Methode van luchtfoto-interpretatie	30
	3.4 Resultaten	31
	3.5 Conclusies en discussie	36
	Literatuur	37
	Bijlage 1 Kustlijnkaarten op basis van luchtfoto's	38
	Bijlage 2 Soortenlijst kwelderrand 1986-2020	41
	Bijlage 3 Oppervlakten van kreken en prielen in de afzonderlijke meetjaren (luchtfoto's)	43

Verantwoording

Rapport: 3136

Projectnummer: 5200046106

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker

naam: Dr. N.M. van Rooijen

datum: 05/12/2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. Ir. N.A.C. Smits

datum: 09/12/2021

Woord vooraf

Vanaf het begin van de gaswinning op Oost-Ameland in 1986 is gestart met een uitgebreid en langjarig monitoringsprogramma om de effecten van bodemdaling door de gaswinning op kustmorfologie en natuurwaarden te kunnen vaststellen. Vragen zijn er onder meer wat betreft de mogelijke effecten van bodemdaling op de kustafslag onder het Oerderduin en op de drainage van Neerlands Reid, een kwelder die al meer dan een eeuw in gebruik is als weidegrond door boeren van De Vennoot uit Buren. In het onderhavige rapport komen beide onderzoeksvragen aan de orde. Het rapport vormt een van de achtergrondrapporten van de *Integrale analyse morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning Ameland-Oost* die in 2020 is uitgevoerd door Deltares in samenwerking met Arcadis, in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.

Samenvatting

In dit rapport worden twee deelaspecten beschreven die onderdeel uitmaken van een integrale analyse van de morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning op Oost-Ameland, zoals recentelijk uitgevoerd door Deltares/Arcadis. Onderdeel A beschrijft de veranderingen in morfologie en vegetatie van de smalle kwelderstrook ter hoogte van het Oerd. Onderdeel B betreft mogelijke veranderingen in het drainagesysteem van de kwelder Neerlands Reid in relatie tot bodemdaling. Voor beide onderdelen is gebruikgemaakt van luchtfoto's uit de periode 1949-2019. Dit maakt het mogelijk om langjarige trends op te sporen in morfologische veranderingen in relatie tot kustdynamiek in zowel de periode vóór 1986 (dus voor de start van de gaswinning) als daarna.

Morfologie en vegetatie van de kwelderrand onder het Oerderduin

Over een periode van zeventig jaar wisselde een periode met aanwas (1949-1981) af met een periode van kustafslag (1981-1990), die in de periode daarna (1990-2019) vervolgens weer afvlakt. Het is niet waarschijnlijk dat de bodemdaling veel effect heeft gehad op de dynamiek van aangroei en afslag van de kustlijn. Het omslagpunt van een periode met aanwas naar een periode van afslag vond plaats tussen 1981 en 1986, dus al vóór de start van de gaswinning in 1986. Na 1986 vond geen versnelde afslag plaats, maar juist een afname in de gemiddelde afslagsnelheid (Sanders & Slim, 2000). Er is geen sprake van een monotone trend vanaf de start van de bodemdaling, wat men zou verwachten als de bodemdaling de dominante factor zou zijn. Uit analyse van de gegevens blijkt dat de dynamiek van de kustlijn in vrijwel alle deelgebieden samenviel met perioden van groei en krimp van de eilandstaart.

Vanaf 1999 is aan de hand van een serie PQ's ook gekeken naar de vegetatieveranderingen in de kwelderstrook. De belangrijkste conclusie is dat de vegetatie in de afgelopen decennia soortenarmer is geworden. In de onbeweide delen is de afname het sterkst bij een dominantie van enkele hoog opgroeiende soorten (Zeekweek, Heen). In de beweide delen is geen sprake van dominantie van enkele productieve soorten, maar ook daar zijn diverse soorten verdwenen. Verder heeft kustafslag een deel van de kwelder doen verdwijnen en is veranderd in grotendeels onbegroeide wadplaat. Overall is als gevolg van kustafslag de vegetatie op veel plaatsen zouter geworden en is de zonering van zilte kwelder naar meer zoete duinvegetatie wat opgeschoven richting duinvoet.

Veranderingen drainagesysteem Neerlands Reid

Tussen 1949 en 2019 heeft het krekensysteem van het Neerlands Reid zich uitgebreid. Dat betreft vooral het hoofdkrekensysteem van de Oerdsloot, maar ook de kleinere kreken aan zowel de west- als de oostzijde daarvan. Het krekensysteem van de Zinkesloot is nog het minst veranderd en lijkt zelfs iets kleiner te zijn geworden. De grootste veranderingen hebben zich voorgedaan aan de noordoost kant van het Neerlands Reid. Daar heeft het krekensysteem zich sterk uitgebreid. Een mogelijke verklaring is dat dit deel van de kwelder natter is geworden en meer water moet worden afgevoerd door de kreken. Het is ook het deel van de kwelder met de grootste bodemdaling en de minste opslibbing.

De omvang van kwelderkreken is gekoppeld aan de hoeveelheid water die erdoorheen stroomt. De zogenaamde terugschrijdende erosie (*headwards erosion*), die vooral na 1990 heeft doorgezet, wijst erop dat via het krekensysteem meer water moet worden afgevoerd. Of er ook een toename is van slecht gedraineerde kommen, waar langdurig water staat waardoor de vegetatie op den duur kan verdwijnen, valt op basis van luchtfoto's moeilijk te zeggen, aangezien de kwaliteit van de luchtfoto's daarvoor tussen de jaren te sterk verschilt. Het weer verwijderen van de tijdelijke steenbestorting en betonplaten in de monding van de Oerdsloot en de Zinkesloot eind jaren negentig kan ook zijn weerslag hebben gehad op het drainagesysteem. Het water kon daardoor na overstroming sneller worden afgevoerd door de kreken, wat als gevolg van een hogere stroomsnelheid mogelijk ook tot meer erosie heeft geleid, waardoor de kreken zich hebben verdiept. Op basis van luchtfoto's konden we dat echter niet vaststellen.

1 Inleiding

Vanaf 1986 wordt door de NAM (Nederlandse Aardolie Maatschappij) aardgas gewonnen op Oost-Ameland. Al direct vanaf het begin is op initiatief van It Fryske Gea een uitgebreid monitoringsprogramma opgezet om de effecten van bodemdaling als gevolg van de gaswinning op kustmorfologie en natuurwaarden te kunnen vaststellen. Het monitoringsonderzoek, dat wordt uitgevoerd door een samenwerkingsverband van diverse kennisinstellingen, wordt iedere zes jaar geëvalueerd door een onafhankelijke reviewcommissie. De zesjaarlijkse integrale rapportages en de auditrapporten zijn openbaar en kunnen worden geraadpleegd op www.waddenacademie.nl.¹

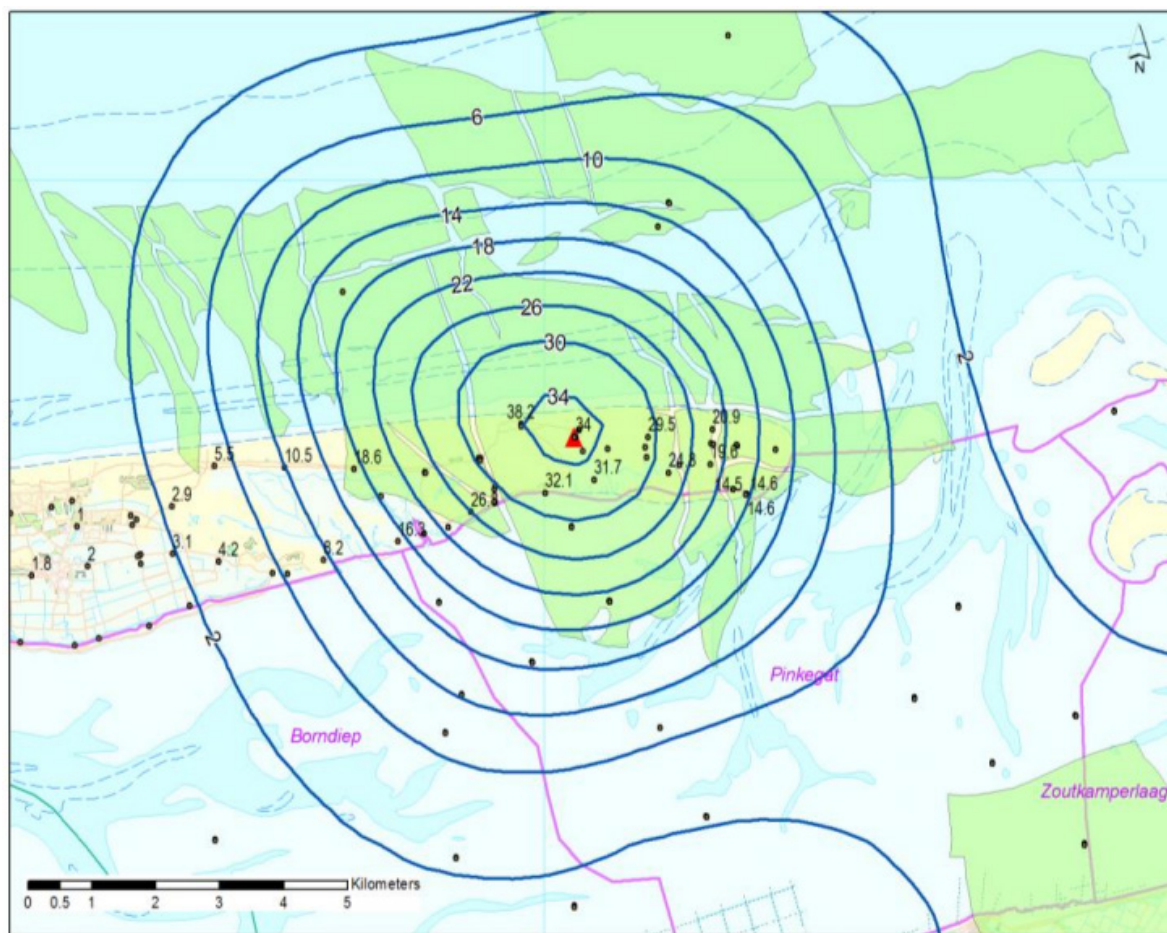
De laatste auditrapportage is van 2017. Een van de aanbevelingen was om een integrale analyse uit te voeren van de morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning op Oost-Ameland. In de loop der jaren is al veel onderzoek uitgevoerd naar allerlei morfologische en geohydrologische processen in relatie tot bodemdaling, maar dit was nog niet eerder samengebracht in een integrale analyse. Een dergelijke analyse is in 2020 uitgevoerd door Deltares/Arcadis, waarvan de resultaten zijn gepubliceerd in een apart rapport (Van der Lugt et al., 2020).

In onderhavige studie zijn twee deelaspecten bekeken die onderdeel uitmaken van de integrale analyse en apart worden beschreven in dit achtergrondrapport.

Onderdeel A: Een van de aspecten betreft de veranderingen in morfologie en vegetatie van de kwelderrand ter hoogte van het Oerd. Dit gebied ligt in de bodemdalingsschotel (Fig. 1). Monitoring van kustafslag van de kwelderrand onder de Oerderduinen vormt al sinds 1999 onderdeel van het monitoringsprogramma. Daarbij wordt nagegaan of er een relatie is tussen kustafslag van de kwelderrand en bodemdaling. Dit gebeurt aan de hand van luchtfoto's. De kwelderstrook onder het Oerd heeft bijzondere natuurwaarden vanwege overgangen tussen droge duinvegetaties aan de duinvoet naar natte en zilte vegetaties richting de wadrand. Daarom maakt monitoring van de vegetatie ook onderdeel uit van het onderzoek. Dit monitoringsonderzoek is geactualiseerd en uitgebreid met nieuwe data (hoofdstuk 2).

Onderdeel B: Een ander aspect betreft mogelijke veranderingen in het drainagesysteem van de kwelder Neerlands Reid in relatie tot bodemdaling. Dit kweldersysteem is ontstaan uit een strandvlakte na aanleg van de Kooioerdstuifdijk rond 1880-1890 en is altijd als beweidingsgrond in gebruik geweest door De Vennoot. De kwelder ligt in zijn geheel binnen de bodemdalingsschotel, waarbij de bodemdaling aan de zuidwestkant inmiddels 5-6 cm bedraagt en aan de noordoostkant ca. 28 cm (situatie 2020). Meerdere keren per jaar, bij springtij en stormvloed, komt de kwelder deels of geheel onder water te staan, waarbij zand en slib worden afgezet. Om als beweidingsgrond gebruikt te kunnen blijven worden, is het van belang dat het water goed wordt afgevoerd. Er is in de loop der tijd een uitgebreid netwerk ontstaan van kreken die belangrijk zijn bij het afwateren. In dit onderdeel is aan de hand van dezelfde luchtfoto's als gebruikt bij onderdeel A nagegaan of het drainagesysteem van Neerlands Reid de afgelopen decennia is veranderd (hoofdstuk 3).

¹ Voor de 2017 rapportage wordt verwezen naar www.waddenacademie.nl/themas/geowetenschap/audit-monitoring-bodemdaling-ameland.

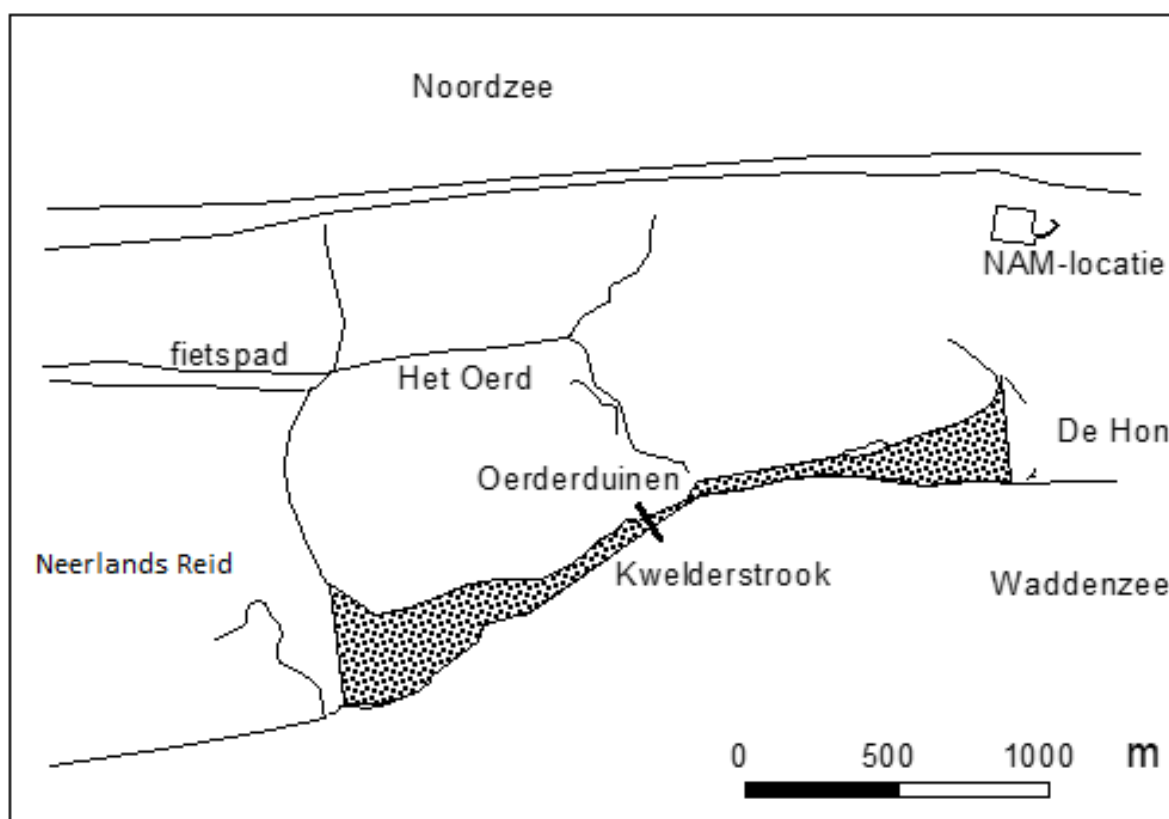


Figuur 1 Ligging van bodemdalingsschotel op Oost-Ameland. De blauwe lijnen geven de gemodelleerde bodemdaling weer in 2017 in cm's sinds de start van de gaswinning. In groen de ligging van de gasvelden.

2 Morfologie en vegetatie kwelderrand

2.1 Inleiding

Tussen het Neerlands Reid en De Hon bevindt zich aan de voet van het Oerderduinmassief een smalle kwelderzone met een zoet-zout overgang tussen duinvoet en wadrand. Deze kwelderzone vormt een ca. 2100 m lange overgang tussen het duincomplex en de wadplaten en reikt van de stenen oeververdediging van het Neerlands Reid aan de westkant tot de kwelder De Hon aan de oostkant. De breedte varieert van ca. 20 tot 300 m (Fig. 2).



Figuur 2 Locatie van de kwelderstrook onder de Oerderduinen op Oost-Ameland. Het zwarte verticale streepje geeft de scheiding aan tussen het beweide deel (links) en het onbeweide deel (rechts).

Al sinds geruime tijd vindt hier kustafslag plaats. De smalle kwelderzone onder het Oerderduin ligt binnen de bodemdalingsschotel. Sinds de start van de gaswinning in 1986 bedraagt de diepe daling in het meest westelijke deel ca. 27 cm en in het oostelijke deel ca. 36 cm (bodemdalingsmodel NAM; AMELAND_GRIDS_2020; Fig. 1). Eind jaren negentig van de vorige eeuw bestond de indruk bij beheerders van It Fryske Gea en bij eilandbewoners dat deze kustafslag toenam als gevolg van de bodemdaling door gaswinning. In deze kuststrook kwamen ook bijzondere vegetaties voor, samenhangend met de aanwezige droog-nat en zoet-zoutgradiënten tussen duinvoet en kwelderrand (Sanders & Slim, 2000; Slim et al., 2011). Het westelijke deel wordt al meer dan een eeuw beweid met runderen van De Vennoot, een boerencoöperatie uit Buren; het oostelijke deel wordt niet beweid.

2.2 Vraagstelling

Om na te gaan of er een relatie bestaat tussen kustafslag en bodemdaling als gevolg van gaswinning, werd in 1999 besloten de aanwas en afslag van de kust onder het Oerderduin te monitoren aan de hand van luchtfoto's (ca. iedere 10 jaar). Dit biedt de mogelijkheid om de kustdynamiek vlakdekkend te kwantificeren en de mate en snelheid van afslag en aanwas vast te stellen. Dit onderzoek maakt daarom sinds 1999 onderdeel uit van het Monitoringsplan Ameland Bodemdaling (Sanders & Slim, 2000; Slim et al., 2011). Concreet zijn de volgende vragen aan de orde:

- Hoe verloopt de kustafslag in de tijd?
- Is er een relatie tussen kustafslag van de kwelderstrook onder het Oerderduin en bodemdaling?
- Wat zijn de effecten op de vegetatie?

2.3 Klifvorming en afkalving als natuurlijk proces

Kwelders slibben van nature op als gevolg van overstroming waarbij slib wordt afgezet. Vanaf een bepaalde hoogte ontstaat een steile kwelderrand in de vorm van een klifje dat gevoelig wordt voor afkalving (Fig. 3). Op deze manier wordt een kwelder aan de zeezijde op natuurlijke wijze geleidelijk opgerold. Ingeval er sprake is van een duincomplex, zoals onder het Oerderduin, is er geen ruimte voor laterale uitbreiding en wordt de kwelder steeds smaller. Wanneer de omstandigheden voor kweldervorming gunstig worden, groeit de kwelder weer richting de wadplaten. Stabiele kwelders bestaan niet en uiteindelijk bepalen natuurlijke morfologische processen de balans tussen opslibbing en afkalving (Van de Koppel et al., 2005).

Of er sprake is van zeewaartse uitbreiding van de kwelder of afkalving van de kwelderrand, is afhankelijk van de condities op voorliggende wadplaten, met name de hoogte van de voorliggende wadplaten, de ligging ten opzichte van het wantij, de golfwerking op de kwelderrand en de mogelijkheden voor groei van pioniervegetatie die sedimentatie kan bevorderen. Deze factoren zijn aan elkaar gekoppeld, waarbij de hoogte van de golven in belangrijke mate wordt bepaald door de hoogte van de voorliggende wadplaat. De oriëntatie van de kust werkt door in de blootstelling van de kwelderrand aan golfwerking (Van der Lugt et al., 2020).



Figuur 3 Steile kwelderrand onder het Oerd, ontstaan door afkalving (foto: augustus 2020).

2.4 Methode van luchtfoto-interpretatie

Vanwege verschillen in morfologie, maar ook in de oriëntatie van de kustlijn – met name de expositie ten opzichte van de golfwerking –, kan de mate van aanwas en afslag binnen de kuststrook van plek tot plek sterk verschillen. Daarom is de kuststrook in dit onderzoek opgedeeld in deelgebieden. Het eerste en tweede deelgebied hebben een lengte van respectievelijk 400 en 500 m. Het daaropvolgende deelgebied 3 (200 m) vormt het knikpunt van de kustlijn. Daar verandert de richting van noordoost naar oost. De strook is hier op zijn smalst. Deelgebied 4 is ca. 500 m lang, evenals deelgebied 5 (Fig. 5). Aangezien bij eerdere analyses een van de belangrijkste conclusies was dat aangroei en afslag in sterke mate verband houden met de groei van de eilandstaart, is de te analyseren zone uitgebreid richting de eilandpunt. Tussen 1949 en 1990 is de eilandstaart sterk gegroeid, waarbij De Hon is ontstaan. De oostpunt van het eiland is daarbij ruim 2,5 km oostwaarts opgeschoven. Daarom zijn in de analyse nog vier deelgebieden kuststrook onder De Hon toegevoegd, met lengtes variërend van 510-775 m.

De methode van luchtfoto-interpretatie staat in detail beschreven in Sanders & Slim (2000). De analyse van luchtfoto's is gericht op de lokalisatie van de kustlijn, de grens tussen wad en kwelder. Deze is in de tijd gevolgd vanaf 1949 (en iedere ca. 10 jaar herhaald) om zo een beeld te krijgen van de natuurlijke dynamiek. Een eventueel effect van bodemdaling sinds de start van de gaswinning in 1986 zou zichtbaar kunnen worden in een trendbreuk in de snelheid van afslag. Er is gebruikgemaakt van luchtfoto's van de Topografische Dienst. Het betreft zwart-witluchtfoto's (schaal 1:18.000) gedurende de gehele waarnemingsperiode en tevens false-colour (infrarood) luchtfoto's (schaal 1:5.000) vanaf het moment dat deze van het gebied beschikbaar waren (1993). Met dit laatste type luchtfoto's is het veel eenvoudiger om de grens tussen kweldervegetatie en onbegroeid wad te onderscheiden.

De nauwkeurigheid van de geometrische correctie is van essentieel belang om daadwerkelijk kustafslag te kunnen bepalen. De geometrische afwijking tussen twee opeenvolgende foto's moet veel kleiner zijn dan de opgetreden afslag of aanwas om deze voldoende betrouwbaar te kunnen vaststellen. In Sanders & Slim (2000) is de nauwkeurigheid van de geometrische correcties van de fotoreeksen berekend (root mean square error). De in deze studie vastgestelde nauwkeurigheid betekent dat een kustafslag of aanwas van <30 cm per jaar met luchtfoto's niet met zekerheid is vast te stellen.

In 2020 zijn er voor de jaren 1949, 1959, 1969, 1981, 1990, 2000 en 2009 nieuwe orthofoto-mozaïeken aangeschaft bij Dotkadata. Dit zijn geometrisch gecorrigeerde fotomozaïeken, waarbij ook voor de schommelingen van het vliegtuig en de bolling van de aarde is gecorrigeerd. De orthofoto-mozaïeken hebben een resolutie van 45 cm (één pixel is 45 cm in het veld). De orthofotomozaïek van 2019 is gedownload van het Nationaal Georegister en heeft een resolutie van 25 cm. De fotomozaïeken van 2009 en 2019 zijn in kleur (RGB), de voorgaande jaren zijn zwart-wit. De fotomozaïeken zijn met de best beschikbare technieken gegeorefereerd en we nemen aan dat de geometrische nauwkeurigheid minimaal gelijk is aan de foto's gegeorefereerd door Sanders & Slim (2000). Ook bij deze foto's hanteren we daarom de regel dat aanwas en afslag pas bij minimaal 30 cm per jaar met zekerheid kan worden vastgesteld.

Als kustlijn is de grens van kweldervegetatie en wadzand aangehouden. De morfologie van de kustlijn is tamelijk variabel. Soms bestaat deze uit een scherpe grens van een klifje en/of van de kweldervegetatie, soms zijn het graduele overgangen in de vegetatie van zeekraal op het wad naar een dichte zeerus begroeiing op de kwelder. Zo bestaat deelgebied 4 uit lage, getrapte klifjes of uit een scherpe vegetatiegrens op een iets hoger gelegen zandwal van het wad. Bij deelgebied 3 ligt onbegroeid duinzand op enkele meters afstand van het onbegroeide wadzand met graduele overgangen met kweldervegetatie en zeekraal in lage bedekking ertussen. Niet altijd is de grens eenduidig op de foto's te interpreteren vanwege de graduele overgangen van kweldervegetatie naar wadzand, maar soms ook vanwege de lastig te interpreteren grijstinten in foto's van vroegere jaren in vergelijking met de recentere *false colour*-foto's, waar vegetatie rood kleurt. Vaststellen van de betrouwbaarheid van de interpretatie is in principe alleen mogelijk met *ground truthing*, door deze in hetzelfde jaar van de betreffende foto in het terrein te controleren (wat met terugwerkende kracht niet kan). De kustlijnkarten zijn op de foto's geprojecteerd, zodat zichtbaar is hoe de interpretatie heeft plaatsgevonden (zie Bijlage 5.1).

De grens van de vegetatie is op het beeldscherm visueel geïnterpreteerd in ArcGIS. De kustlijninterpretaties van de jaren 1949, 1959, 1969, 1981 (Sanders & Slim 2000) zijn in 2020 aangevuld met de interpretatie van de kustlijn onder De Hon. Voor deelgebieden 1 t/m 5 zijn ook de eerdere luchtfoto-interpretaties van 1986 meegenomen, zodat een eventuele verandering op moment van de start van gaswinning (en bodemdaling) kon worden vastgesteld. De kustlijn ten zuiden van de Oerderduinen en van De Hon zijn vanaf 1990 in zijn geheel opnieuw op de orthofotomozaïeken geïnterpreteerd. Vervolgens zijn de kustlijnkarten van twee opeenvolgende meetjaren met elkaar vergeleken, waarna de oppervlakteverschillen zijn berekend voor de verschillende deelgebieden en de kuststrook als geheel. Uit een vergelijking tussen de opnamejaren volgt de netto aanwas of afslag in de betreffende periode.

2.5 Vegetatiemonitoring

In de kuststrook liggen sinds 1986 23 permanente kwadraten langs een viertal raaien die loodrecht op de wadrand zijn gesitueerd (Fig. 4). Ze liggen in de deelgebieden 1 t/m 5. De vegetatie van de PQ's is eerder opgenomen in 1986, 1999, 2004 en 2010 en herhaald in 2020. De PQ's zijn gemarkeerd met piketten en in alle meetjaren is de z-coördinaat van alle PQ's opgemeten. In de eerste meetjaren gebeurde dat met waterpassing, in latere jaren met RTK-DGPS. Bij de vegetatieopnames is de 9-delige schaal van de 4^e Bosstatistiek gebruikt. Verdere details zijn terug te lezen in Sanders & Slim (2000). Van alle PQ's zijn in 2020 ook opnieuw foto's gemaakt.

Resultaten van de opnamejaren 1986, 1999, 2004 en 2010 zijn reeds eerder gerapporteerd door Slim et al. (2011). Hieronder beschrijven we de resultaten van 2020 en vergelijken deze met die van 2010.

De vegetatiedata zijn geanalyseerd met een multivariate techniek (DCA), gebruikmakend van het softwareprogramma CANOCO, waarbij zowel opnamen als soorten langs verschillende ecologisch te duiden assen worden gegroepeerd (Ter Braak & Šmilauer, 2002). Dat zijn doorgaans assen die milieugradiënten vertegenwoordigen zoals droog-nat, zoet-zout en voedselarm-voedselrijk.



Figuur 4 Ligging van de 23 PQ's in vier transecten in de kwelderstrook onder het Oerd.

2.6 Resultaten

2.6.1 Morfologie

De resultaten van de veranderingen in de kustlijn per deelgebied staan in Figuur 5 en 6 en Tabel 1. Voor de kustlijnkaarten wordt verwezen naar Bijlage 1.

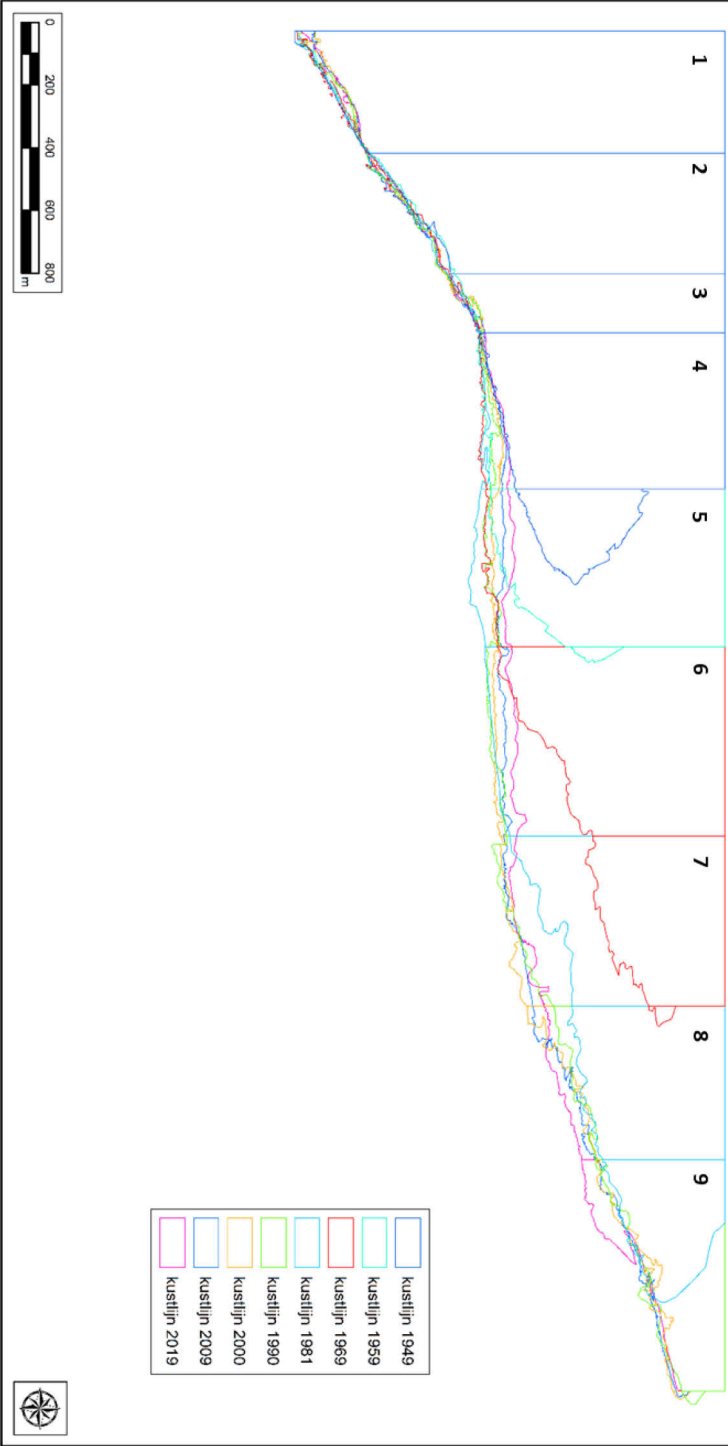
Tussen 1949 en 1981 vond in alle deelgebieden netto aanwas plaats. Dit is ook ongeveer de periode dat de eilandstaart zich sterk oostwaarts uitbreidde (rode lijn in de deelfiguren). Vooral tussen 1959 en 1981 groeide de eilandstaart snel, met gemiddeld ruim 90 m per jaar. De veranderingen in deelgebied 1 lijken nog redelijk autonoom, maar vanaf deelgebied 2 lijkt er een sterke correlatie met de groei van de eilandstaart, waarbij hoe verder oostwaarts, hoe groter de aanwas (deelgebied 2 t/m 6). Tussen 1981 en 1986 vond een omslag plaats en veranderde in vrijwel alle deelgebieden (met uitzondering van deelgebied 7) een netto aanwas van de kustlijn in een netto afslag. Deze bedroeg in die periode soms zo'n 5-8 m per jaar (deelgebieden 4, 5, 6). Vanaf omstreeks 1990 kromp de eilandstaart weer heel geleidelijk, met in totaal ruim 40 m in de periode 1990-2019 (1,45 m per jaar). In deze min of meer stabiele periode (1990-2019), waarin de vorm van het eiland weinig veranderde, vond zowel geringe afslag (deelgebied 1, 4, 5, 6 en 7) als geringe aanwas (deelgebied 3, 8 en 9) plaats (Fig. 6).

Ten opzichte van 1986 was in 2019 in de meeste deelgebieden (met uitzondering van deelgebied 3, 7 en 8) sprake van netto kustafslag, die het grootst was in deelgebied 4, 5 en 6 en varieerde van 46 tot meer dan 100 m (Tabel 1). De transecten IV, V, VI en VII met PQ's waar de vegetatie wordt gemonitord, lagen respectievelijk in deelgebieden 1, 2, 4 en 5. Een deel van de PQ's kwam als gevolg van deze kustafslag in de loop van de tijd op een wadplaat te liggen (zie volgende paragraaf).

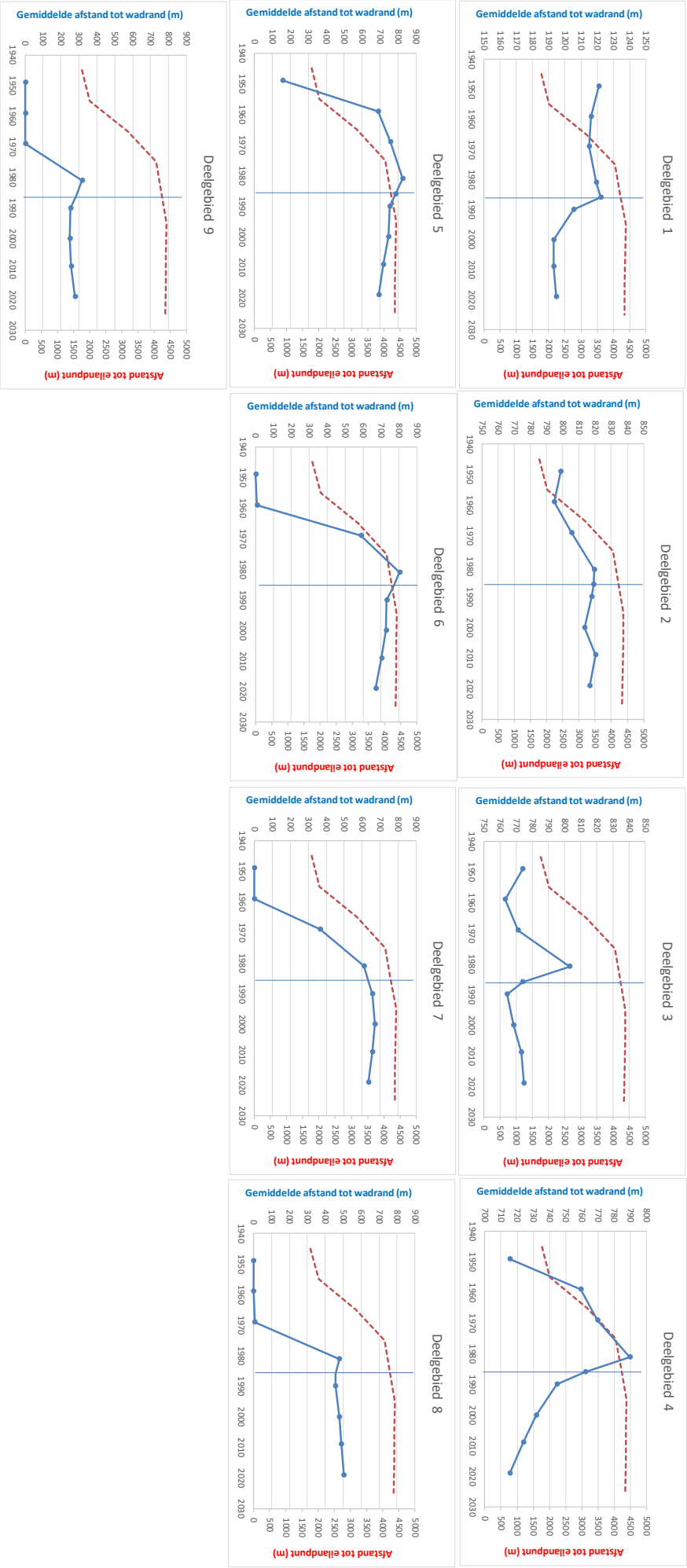
Tabel 1 Gemiddelde afslag (-) en aanwas (+) van de kuststrook in meters per jaar onder het Oerderduin (deelgebied 1-5) en onder De Hon (deelgebied 6-9). Netto aanwas is in zwart en netto afslag is in rood weergegeven. In grijs veranderingen die vallen binnen de foutenmarge bij de luchtfoto-interpretatie.

Kuststrook Deelgebied	Gemiddelde aanwas/afslag (m per jaar)							Totaal (m)
	'49-'59	'59-'69	'69-'81	'81-'90	'90-'00	'00-'09	'09-'19	
1	-0.5	0.1	0.3	-1.5	-1.3	-0.0	0.1	-28
2	-0.4	1.1	1.2	-0.2	-0.4	0.7	-0.4	-2
3	-1.1	0.8	2.7	-4.3	0.4	0.5	0.2	1
4	4.4	1.0	1.6	-5.0	-1.3	-0.9	-0.8	-46
5	53.1	6.9	5.8	-8.1	-0.9	-2.9	-2.6	-106
6	0.8	57.7	18.2	-8.0	-0.4	-3.0	-3.3	-99
7		36.6	20.5	5.0	1.5	-1.4	-2.2	2
8		0.6	39.5	-2.6	2.1	1.2	1.7	48
9			26.5	-7.3	-0.3	0.9	2.0	-9

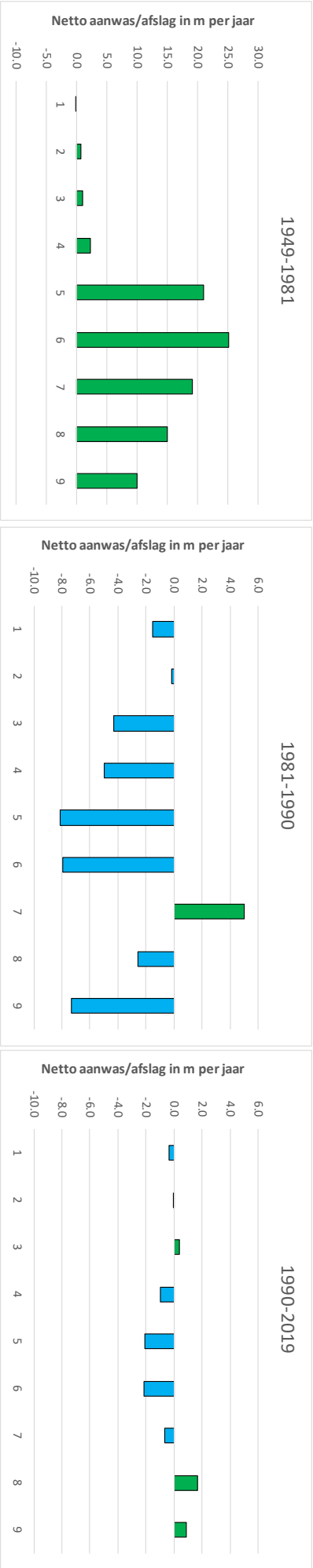
Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 1949-2019



Figuur 5 Veranderingen van de kustlijn onder de Oerderduinen en De Hon in de periode 1949-2019 vastgesteld op basis van luchtfoto's. Bij de analyse is de kuststrook gesegmenteerd in negen deelgebieden. De belijning aan de bovenzijde is een denkbeeldige lijn ten opzichte waarvan de afstand tot de wadrand is bepaald. Daardoor kan het oppervlak per deelgebied tussen de meetjaren onderling worden vergeleken en op basis daarvan de gemiddelde afstand tot de wadrand. Voor de ligging van de deelgebieden ten opzichte van de oostelijke eilandpunt wordt verwezen naar de kustlijnskaarten en luchtfoto's in Bijlage 1.



Figuur 6 Gemiddelde afstand tot de wadrand (m) in de negen deelgebieden in de periode 1949-2019, vastgesteld op basis van false colour- en true colour- luchtfoto's. Voor deelgebieden 1 t/m 5 zijn ook de eerdere luchtfoto-interpretaties van 1986 meegenomen. De gestippelde rode lijn geeft de lengte van de eilandstaart weer (in meters vanaf de westzijde van deelgebied 1), de verticale lijn maakt de start van de gaswinning in 1986.



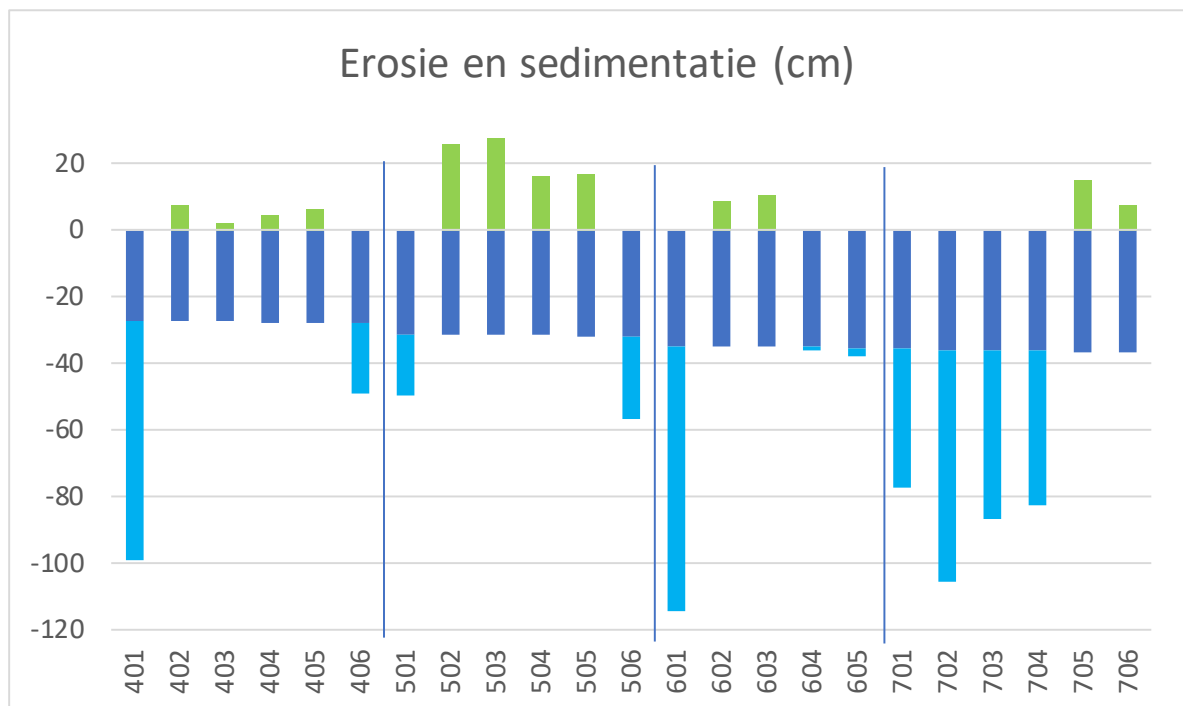
Figuur 7 Gemiddelde snelheid van aanwas en afslag (in m per jaar) in de negen deelgebieden in afzonderlijke perioden.

Erosie, sedimentatie en bodemdaling

Uit metingen van de z-coördinaat van de PQ's komt naar voren dat alle PQ's in de kwelderstrook in de periode 1986-2020 zijn gedaald (Fig. 8). Afhankelijk van de locatie van de PQ's bedraagt deze daling 4 tot 114 cm. Daarvoor zijn verschillende processen verantwoordelijk, t.w. kustafslag, erosie, opslibbing en bodemdaling:

- Door kustafslag is een deel van de PQ's op het wad terechtgekomen (Fig. 12). Zo lag bij de start van het onderzoek in 1986 slechts één PQ op het wad (PQ 501). In de jaren daarna nam dat toe van vier in de periode 1999-2004, naar vijf in 2010 tot zeven in 2020. Vooral bij transect 7 ligt een groot deel van de PQ's inmiddels op een (onbegroeide) wadplaat.
- De wadplaten zelf vertonen ook erosie, waardoor de bodem daar harder daalt dan wordt verklaard uit alleen diepe daling door gaswinning. Dat de wadplaten onder het Oerderduin de afgelopen decennia netto zijn gedaald, blijkt ook uit de spijkermetingen (Krol, 2017).
- Uit de gegevens blijkt dat kweldervegetaties voorkomen op een hoogte van $>0,99$ cm +NAP.
- PQ's die dicht tegen de kwelderrand zijn gelegen (met laag nummer), vertonen relatief weinig bodemdaling, doordat dit (groten)deels wordt gecompenseerd door opslibbing (Fig. 7). Naarmate een PQ verder van de kwelderrand ligt (hoog nummer), is dit effect kleiner en neemt de netto bodemdaling toe.
- Bij PQ's die dicht bij de duinvoet zijn gelegen op een zodanige hoogte dat ze niet of nauwelijks worden overstroomd door zeewater ($>2,50$ - $3,00$ m +NAP) is er relatief veel bodemdaling. Deze bedraagt 49-57 cm (PQ 406, 506), wat neerkomt op 14-17 mm jaar. De bodem is daar nog wat harder gedaald dan voorspeld door het bodemdalingsmodel (AMELAND_GRIDS_2020), kennelijk doordat ook daar erosie is opgetreden, waarschijnlijk als gevolg van incidentele hoogwaters (bij stormvloed).

Welke gevolgen heeft dit voor de vegetatie in deze kwelderstrook?



Figuur 8 Sedimentatie (groen), erosie (lichtblauw) en diepe daling (donkerblauw) van de PQ's langs de vier transecten in de periode 1986-2020. Erosie of sedimentatie is berekend uit het verschil tussen diepe daling (bodemdalingsmodel) en de actuele hoogte.

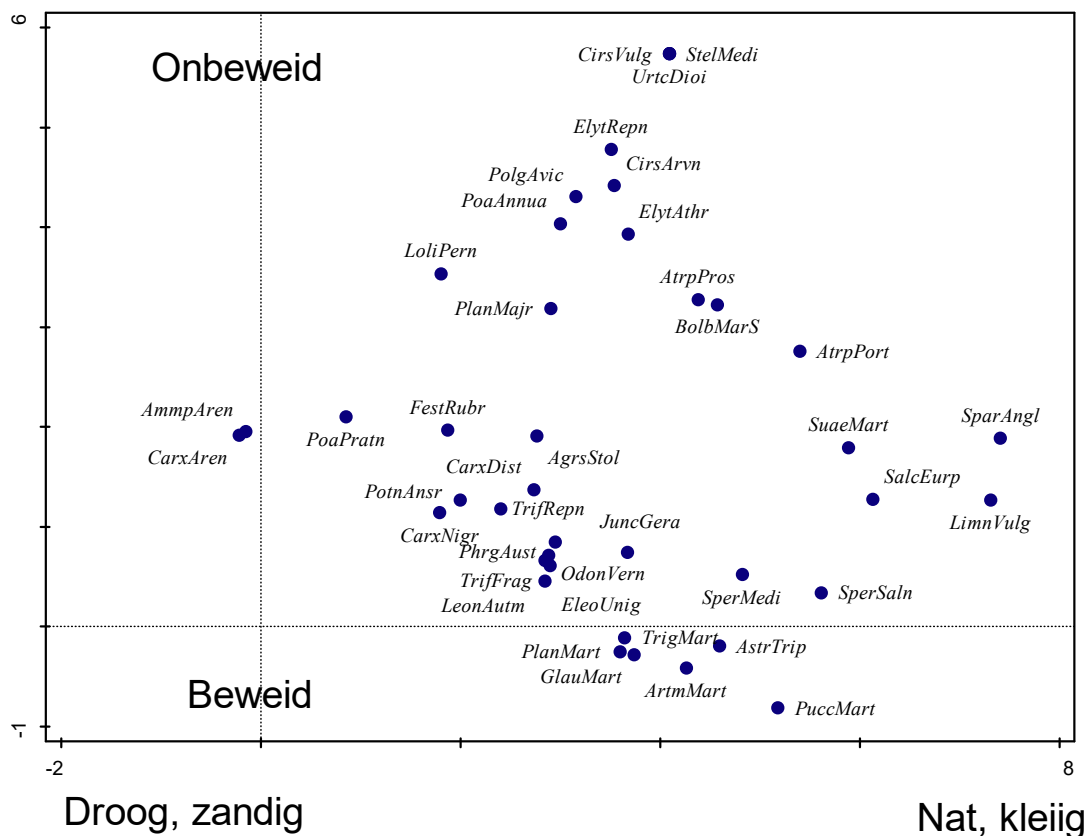
Vegetatie

De veranderingen in de vegetatie in de kwelderstrook onder het Oerderduin tussen 1986 en 2010 zijn reeds beschreven door Slim et al. (2011). Hier beschrijven we de veranderingen in de periode 2010-2020.

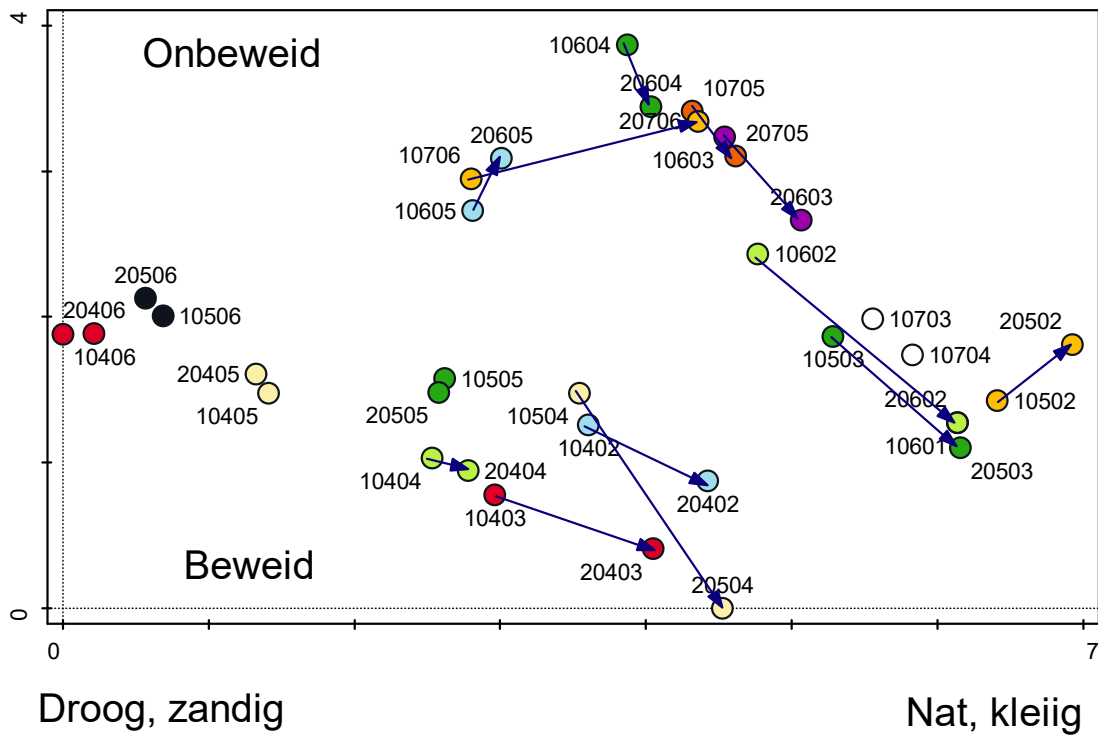
De soortenplot van de multivariate analyse (CANOCO) wordt weergegeven in Fig. 9. De eerste as (horizontaal) vertegenwoordigt een gradiënt van droog, zandig en zoet (links) naar nat, kleiig en zout (rechts). Ook is een beweidingsgradiënt zichtbaar, van boven en rechts midden (onbeweid), naar links midden en onder (beweid). Bij onbeweid en dicht bij de duinvoet domineren hoog opgaande grassen en ruigtekruiden als Grote brandnetel (*Urtica dioica*), Akkerdistel (*Cirsium arvensis*), Speedistel (*Cirsium vulgare*), Kweek (*Elytrigia repens*), terwijl dicht bij de duinvoet op de begraasde delen Helm (*Ammophila arenaria*) en Zandzegge (*Carex arenaria*) domineren.

De veranderingen tussen 2010 en 2020 zijn zichtbaar gemaakt in Figuur 9. De PQ's die dicht bij de duinvoet lagen, zijn het meest stabiel, met een min of meer constante soortensamenstelling. Dit geldt vooral voor de beweidde PQ's (405, 406, 506). Bij de lageregelegen PQ's zien we vooral veranderingen naar meer zout en meer pioniervegetaties (linksonder).

We kunnen concluderen dat een deel van de PQ's natter en zouter is geworden, doordat ze vaker worden overstroomd met zeewater. Een ander deel van de PQ's is veranderd in (onbegroeide wadplaat) als gevolg van erosie en kustafslag. We vinden nu natte en zoute vegetaties op plekken die in 1986 nog relatief droog en zoet waren (PQ's 504 en 602).



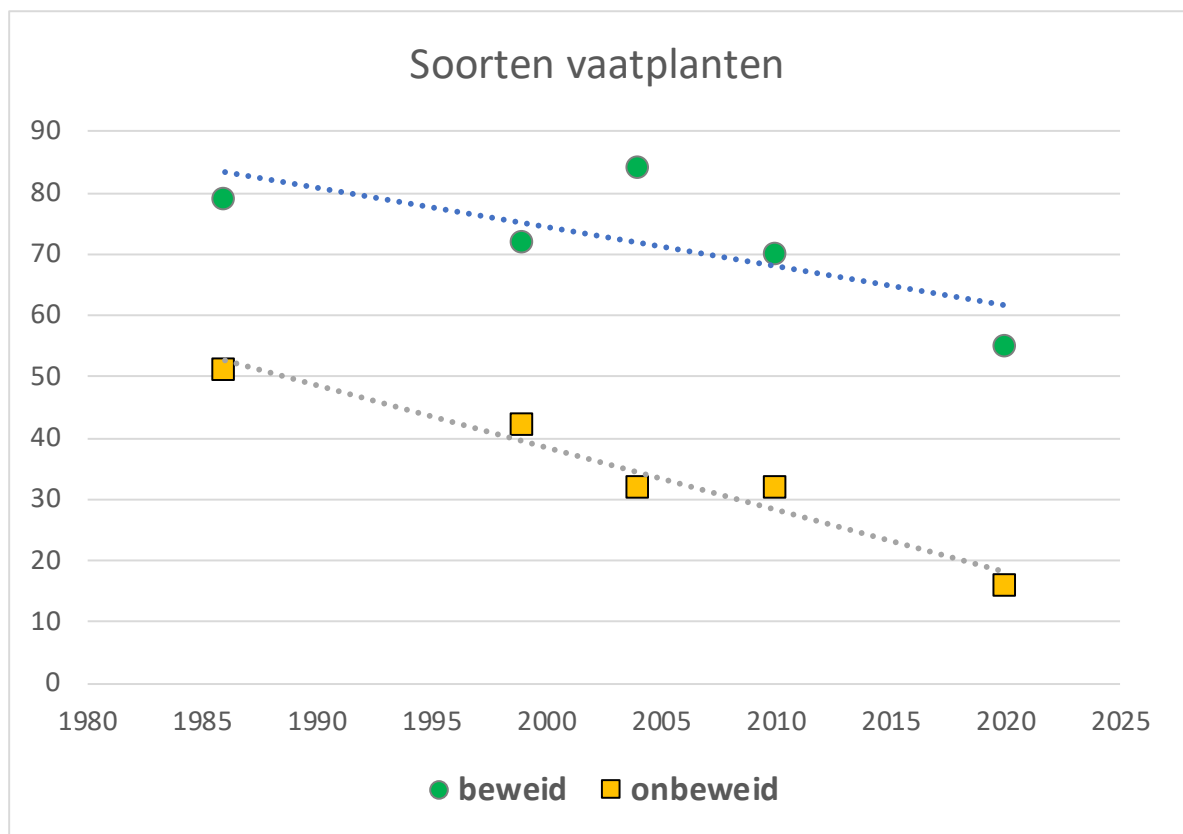
Figuur 9 Soortenplot van de multivariate analyse van alle vegetatieopnamen van 2010 en 2020. Voor de leesbaarheid zijn alleen de 40 meest voorkomende soorten afgebeeld.



Figuur 10 DCA-diagram (CANOCO) van de PQ's van 2010 en 2020 op basis van de soortensamenstelling; PQ-codes beginnend met 10 of met 20 zijn van respectievelijk 2010 en 2020. De kleuren zijn willekeurig gekozen om dezelfde PQ's makkelijk te herkennen.

Wat betreft de soortenaantallen kunnen we concluderen dat de hoogste aantallen steeds worden aangetroffen in het beweide deel van de kwelderstrook (Fig. 11). Om de trend duidelijk te laten zien, zijn ook de data van 1986-2004 weergegeven. Na 2010 namen de aantallen af.

In het onbeweide deel van de kwelderstrook was het aantal bij de start van het onderzoek in 1986 al significant lager en vertoont sindsdien ook een gestage afname in de tijd. Het betreft zowel soorten van droog duingrasland als van de kwelder die verdwijnen, zowel in de beweide als onbeweide delen. De soortenlijst van alle opnamejaren staat in Bijlage 2.



Figuur 11 Totaalaantal soorten vaatplanten aangetroffen in de beweide en onbeweide PQ's in de kwelderstrook onder het Oerderduin in de periode 1986-2020.

2.7 Conclusies en discussie

2.7.1 Kustafslag

Over een periode van 70 jaar (1949-2019) wisselde een periode met aanwas (1949-1981) af met een periode van afslag (1981-1990), die in de periode daarna (1990-2019) weer afvlakte. Het is niet waarschijnlijk dat de bodemdaling veel effect heeft gehad op de dynamiek van aangroei en afslag van de kustlijn. Het omslagpunt van een periode met aanwas naar een periode van afslag vond plaats tussen 1981 en 1986, dus reeds vóór de start van de gaswinning in 1986. Na 1986 vond geen versnelde afslag plaats, maar juist een afname in de gemiddelde afslagsnelheid (Sanders & Slim, 2000). Er is geen sprake van een monotone trend vanaf de start van de bodemdaling, wat men zou verwachten als de bodemdaling de dominante factor zou zijn. Uit analyse van de gegevens blijkt dat de dynamiek van de kustlijn in vrijwel alle deelgebieden samenviel met perioden van groei en krimp van de eilandstaart (Fig. 5).

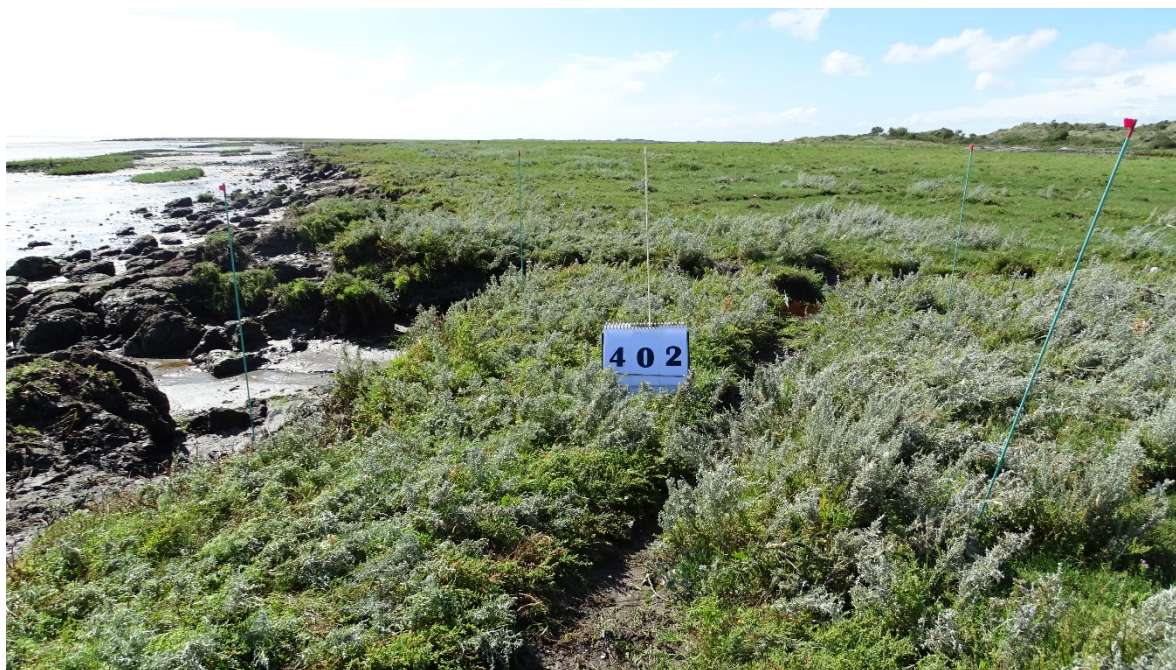
De trend in aanwas en afslag verschilde tussen de verschillende deelgebieden als gevolg van lokale verschillen in dynamiek van de kustmorfologie. De kwelderstrook is in deelgebied 3 op z'n smalst en door de afslag reikte de kwelderrand rond 1990 bijna tot aan de duinvoet. Inmiddels is in dit deel weer sprake van enige aangroei en bedraagt de afstand van kwelderrand tot duinvoet weer >20 m. Tussen 1986 en 2019 veranderde daar netto weinig (Tabel 1). De grootste dynamiek trad op in de meest oostwaarts gelegen deelgebieden (4 t/m 9). Dit had te maken met het feit dat in dit deel de groei van de eilandstaart in het begin in de meetperiode vanaf 1949 in volle gang was en past in het patroon dat ook bekend is van andere Waddeneilanden (De Groot et al., 2015). Als we alleen deelgebieden 1 t/m 4 in beschouwing nemen (de overige deelgebieden staan sterk onder invloed van eilandstaartvorming), dan nam de gemiddelde snelheid van afslag af van 3,6 m per jaar in de periode 1981-1990 naar 0,6 m per jaar in de periode 2009-2019.

Sinds 2000 wordt de sedimentatie op de wadplaten onder het Oerd gemeten aan de hand van zogenaamde spijkermetingen. Uit deze metingen is gebleken dat in de periode 2000-2019 de voorliggende wadplaat onder het Oerd lager is komen te liggen (Krol, 2020). Dit heeft mogelijk gevolgen gehad in de zin van een toenemende golfwerking op de kwelderrand. Alleen in deelgebieden 4 t/m 7 heeft dat in deze periode daadwerkelijk geleid tot netto erosie (Tabel 1). Dit wijst erop dat ook andere factoren een belangrijke rol spelen, met name de aanvoer van sediment via de oostpunt van het eiland. Over de periode vóór 2000 zijn geen data beschikbaar over de sedimentatie van de wadplaten onder de kwelderrand.

Erosie van de voorliggende wadplaat kan ook een effect hebben op de vestigingskansen van pionierplanten. Vestiging is afhankelijk van de 'window of opportunity' (Balke et al., 2014), waarbij tijdens de ontkieming van pionierplanten de juiste condities heersen, zodat ze deze fase overleven en zich succesvol kunnen vestigen. Voorwaarde daarbij is wel dat er voldoende zaadbronnen aanwezig zijn (Regteren et al., 2019). Maaiveldverval van de voorliggende wadplaten kan de kans op vestiging van pionierplanten hebben verkleind, waardoor minder sedimentatie is opgetreden en daarmee ook de kans op zeewaartse uitbreiding van de kwelder is verkleind.

2.7.2 Vegetatie

De belangrijkste conclusie is dat de vegetatie in de kwelderstrook onder het Oerderduin in de afgelopen decennia soortenarmer is geworden, van 93 soorten vaatplanten in 1986 naar 63 soorten in 2020 (Bijlage 2). In de onbeweide delen is de afname het sterkst bij een dominantie van enkele hoog opgroeiende soorten (Zeekweek, Heen; Fig. 15). In de beweide delen is geen sprake van dominantie van enkele productieve soorten (Fig. 14), maar ook daar zijn diverse soorten verdwenen. Verder heeft kustafslag een deel van de kwelder doen verdwijnen en is veranderd in grotendeels onbegroeide wadplaat (Fig. 13). Overall is als gevolg van kustafslag de vegetatie op enkele plaatsen zouter geworden en is de zonering van zilte kwelder naar meer zoete duinvegetatie wat opgeschoven richting duinvoet.



Figuur 12 PQ402 op het beweide deel van de kwelderstrook. Door kustafslag ligt deze PQ nu op de rand van de kwelder.



Figuur 13 PQ601 die als gevolg van kustafslag is veranderd van kwelder naar wadplaat.



Figuur 14 PQ404 in het beweide deel met een soortenrijke kweldervegetatie (16 soorten).



Figuur 15 PQ705 op het onbeweide deel met een dominantie van Zeekweek (5 soorten).

3 Veranderingen drainagesysteem Neerlands Reid

3.1 Inleiding

Na aanleg van de Kooioerdstuifdijk rond 1880-1890 is uit een strandvlakte met lage duintjes het Neerlands Reid ontstaan. Deze kwelder is vanaf begin 1900 in gebruik als weidegrond van boeren uit Buren (De Vennoot) (Fig. 16). Bij de kwelderrand is in 1998-1999 oeververdediging aangebracht met stortstenen tot even voorbij de Oerdsloot om verdere afkalving als gevolg van kliferosie tegen te gaan (Fig. 17). Deze rand is 8 m breed, 1800 m lang en is 5-15 m voor de wadrand aangelegd (Van Loon-Steensma & Slim, 2013). De tussenliggende ruimte is sindsdien weer dichtgeslibd en begroeid geraakt met kweldervegetatie. De mondingen van de Oerdsloot en Zinkesloot zijn begin jaren tachtig van de vorige eeuw deels afgedamd met stortstenen en betonplaten, maar die zijn eind jaren negentig weer verwijderd, zodat zeewater met sediment weer vrijelijk kon in- en uitstromen (D. Molenaar pers. meded.). De Zinkesloot is halverwege grotendeels afgedamd om voor het vee vrijelijk passeerbaar te zijn. Doordat er een drietal drainagebuizen ligt, kan deze kreek dit deel van de kwelder toch draineren, al biedt de dam wel enige weerstand bij de afwatering (Fig. 18).



Figuur 16 Neerlands Reid al ruim 100 jaar in gebruik als weidegrond voor vee van boeren uit Buren.

Het krekensysteem in een kwelder zorgt voor de afvoer van water na hoogwater en is in de tijd aan veranderingen onderhevig. Bij hoogwater lopen de krekten vol met water, bij laagwater voeren ze het water weer af. Bij stormvloed loopt de hele kwelder onder zeewater en wordt slib afgezet. Het meeste (grove) slib wordt afgezet dicht bij de wadrand en op de oeverwallen van de krekten. Naarmate de afstand tot de wadrand of oeverwallen groter is, wordt er minder en ook fijner slib afgezet. Deze natuurlijke ontwikkeling van de kwelder leidt ertoe dat de kwelder aan de wadkant hoger wordt en op

grotere afstand van de kwelderrand, waar veel minder slib wordt afgezet, minder snel ophooft. De sedimentatiesnelheid is een functie van hoogteligging en van afstand tot de wadrand en afstand tot de kreek (Elschot et al., 2017; De Vlas, 2020). Door het steeds verder ophogen van de kwelderrand ontstaan stijlkantjes, zogenaamde klifjes, die eroderen. Kliferosie is een natuurlijk proces bij kwelders (paragraaf 2.3).

Bodemdaling heeft ertoe geleid dat de sedimentatiesnelheid is toegenomen, waarbij aan de wadzijde de bodemdaling volledig wordt gecompenseerd (Elschot et al., 2017). Hoger op de kwelder echter, op grotere afstand van de wadrand, is dit veel minder het geval en houdt de sedimentatie de bodemdaling niet volledig bij. Het gevolg hiervan is dat water minder snel wordt afgevoerd en de kans bestaat dat er slecht gedraineerde kommen ontstaan, waar de vegetatie op den duur teruggaat in successie met meer pioniervegetaties of zelfs, bij langdurige plas-drassituaties, verdwijnt. Dit laatste is tot nu toe nog niet waargenomen.



Figuur 17 Monding van de Oerdsloot. Duidelijk zichtbaar de oeververdediging met stortstenen aan linker- en rechterzijde van de monding (foto 2004).



Figuur 18 Zinkesloot vlak bij de plaats met de afdamming. Hier zijn nog restanten zichtbaar van een brug die hier ooit heeft gelegen (foto: augustus 2020).

3.2 Vraagstelling

Neerlands Reid ligt in zijn geheel binnen de bodemdalingsschotel. In 2020 bedroeg de bodemdaling (diepe daling) ca. 6 cm aan de zuidwestkant en 23-25 cm aan de noordoostkant. De vraag die we in dit onderdeel proberen te beantwoorden, is of de bodemdaling die vanaf 1986 plaatsvindt van invloed is op het drainagesysteem van kreken en prielen. De verwachting is dat als gevolg van bodemdaling delen van de kwelder waar de bodemdaling niet geheel wordt gecompenseerd door sedimentatie van slib, zijn vernat en er meer water moet worden afgevoerd. Dit heeft mogelijkwerwijze geleid tot een uitbreiding van het systeem van kreken en prielen.

3.3 Methode van luchtfoto-interpretatie

Veranderingen in het patroon, mate van insnijding en het totale areaal van de belangrijkste kreken en prielen op Neerlands Reid zijn gereconstrueerd aan de hand van dezelfde serie luchtfoto's als gebruikt bij het onderdeel 'morfologie kwelderrand' en bestrijkt een periode van zeventig jaar (1949-2019), waarbij een achttal foto's, gemaakt met tussenpozen van ca. tien jaar, is geanalyseerd. De belangrijkste kreken en prielen zijn handmatig gedigitaliseerd en op basis van veranderingen in de ruimtelijke patronen is een beeldverhaal gereconstrueerd. Daarmee zijn de belangrijkste veranderingen in het drainagepatroon van Neerlands Reid in de tijd visueel in beeld gebracht.

3.4 Resultaten

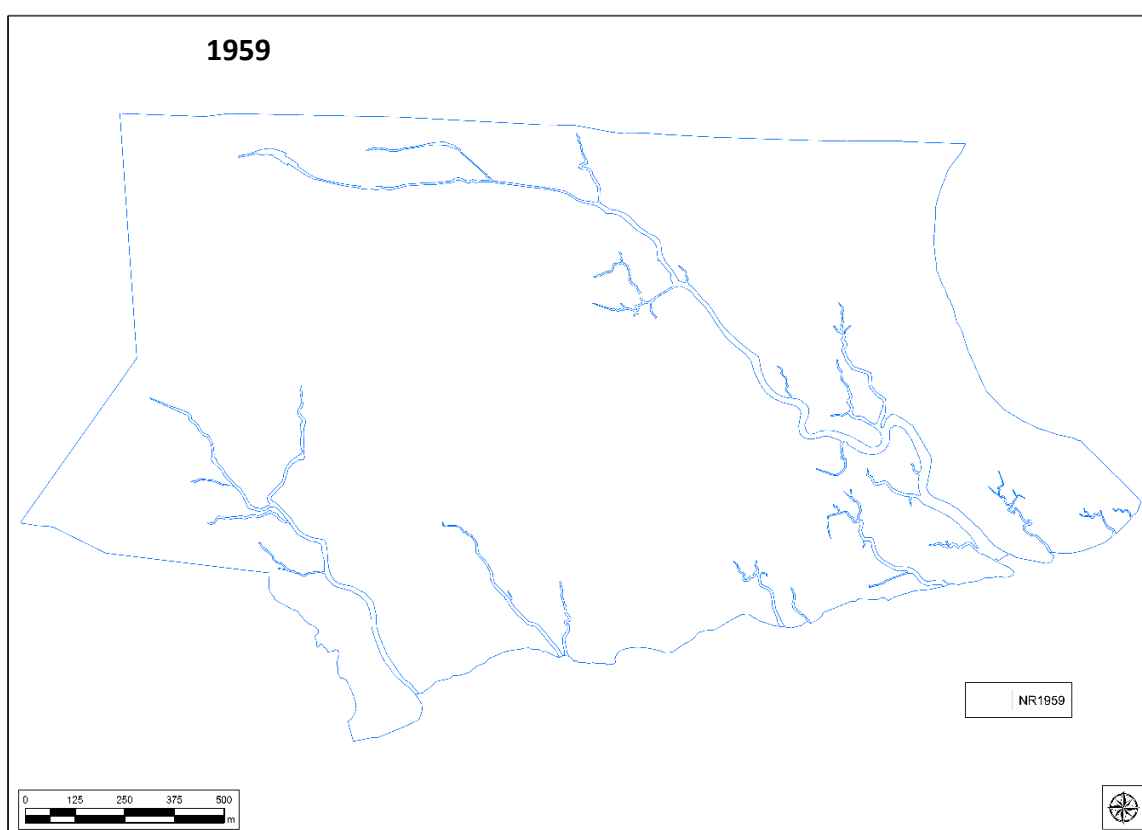
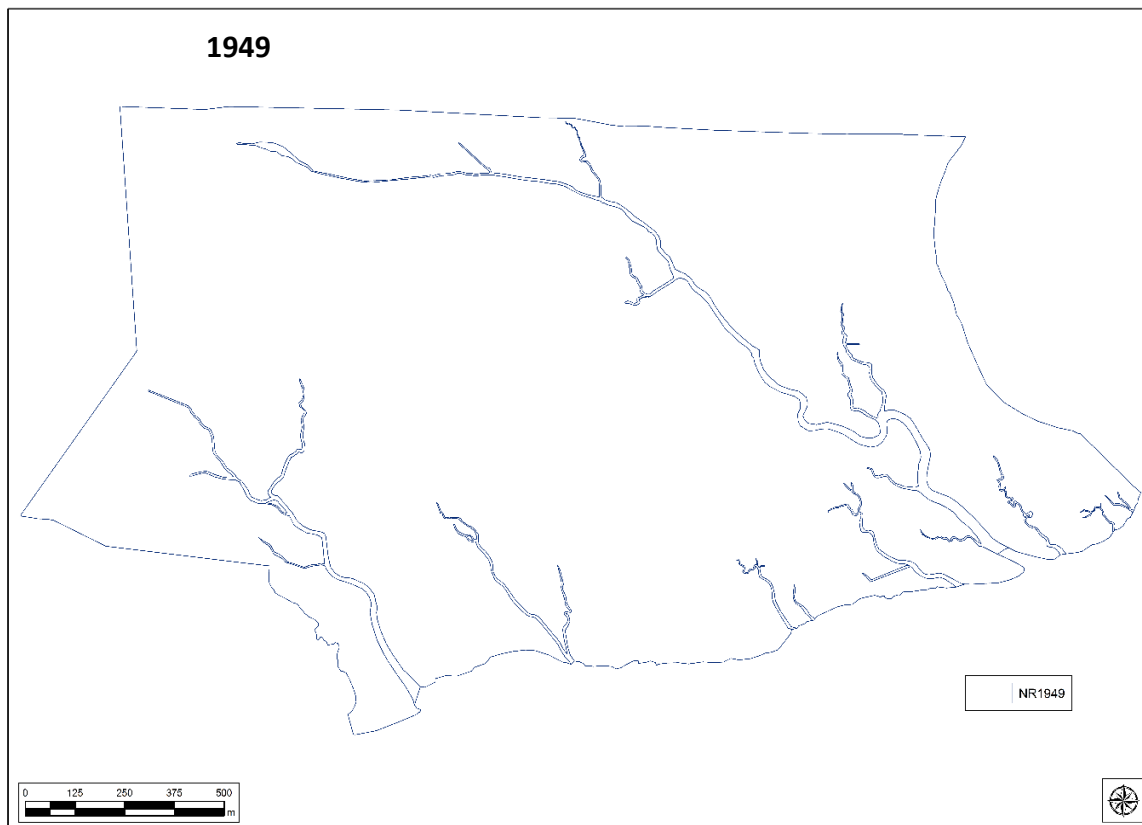
Het Neerlands Reid wordt al sinds jaar en dag gedraineerd door twee hoofdkreken, de Zinkesloot aan de westkant en de Oerdsloot aan de oostkant. Tussen deze hoofdkreken zijn er nog drie kleine, betrekkelijk korte kreekssystemen aanwezig bij de Reidsplas en de Reidsdûnlaagtes, die rechtstreeks afwateren naar het wad. Deze kreekjes zijn korter met minder vertakkingen.

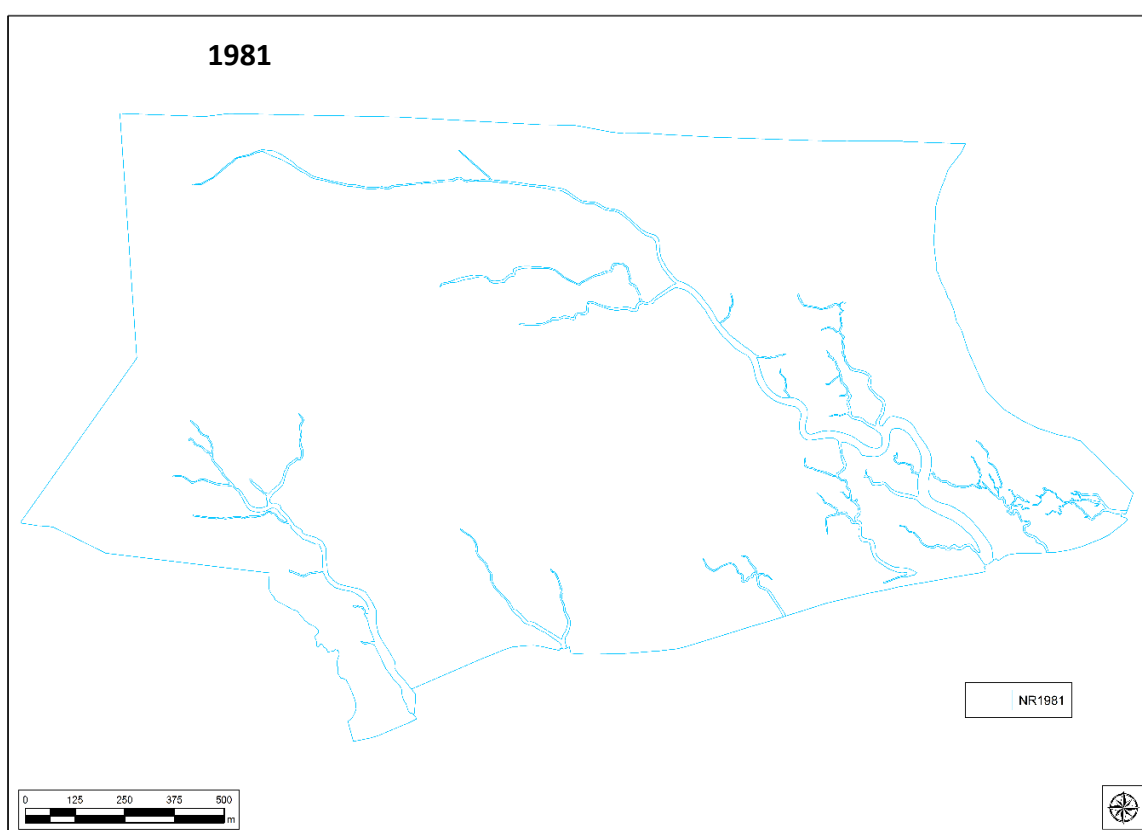
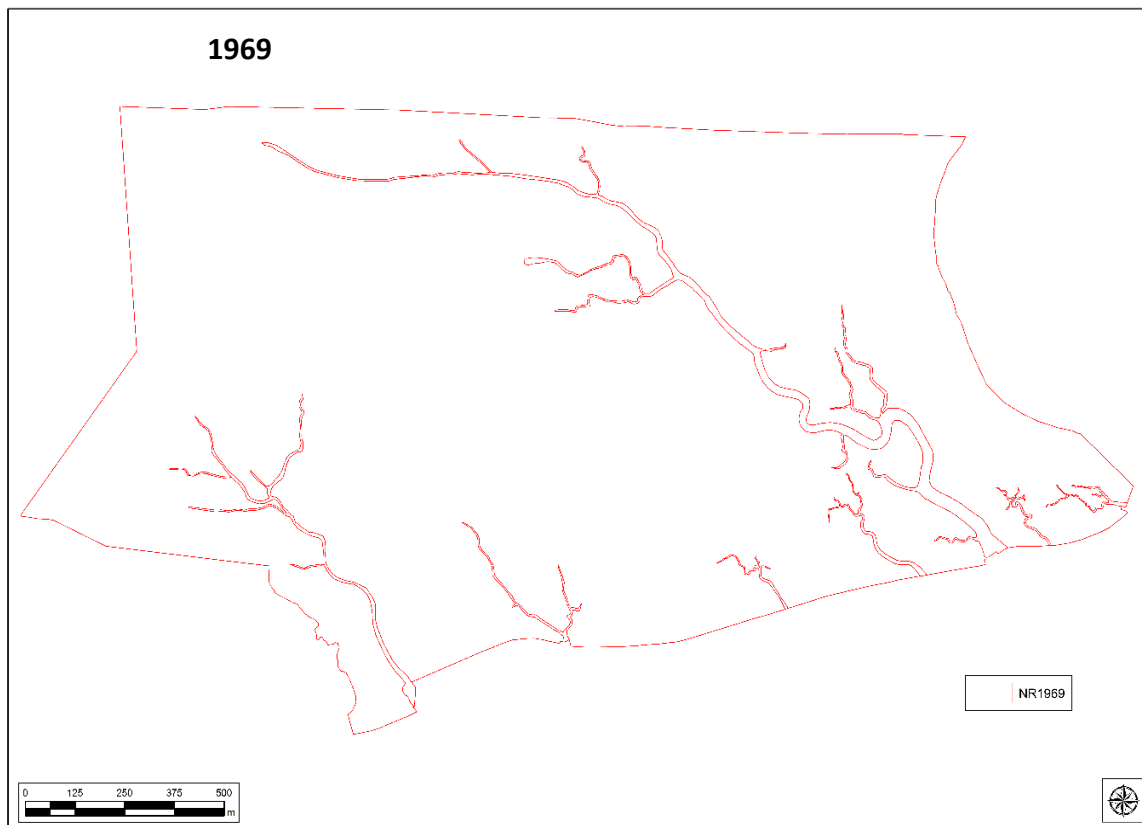
De kaarten, gemaakt op basis van luchtfoto's, laten de veranderingen zien in de tijd. Deze staan als sequentie weergegeven in Figuur 19 en in een gecombineerde kaart in Figuur 20. Voor berekende oppervlakten van kreken en prielen wordt verwezen naar Bijlage 3.

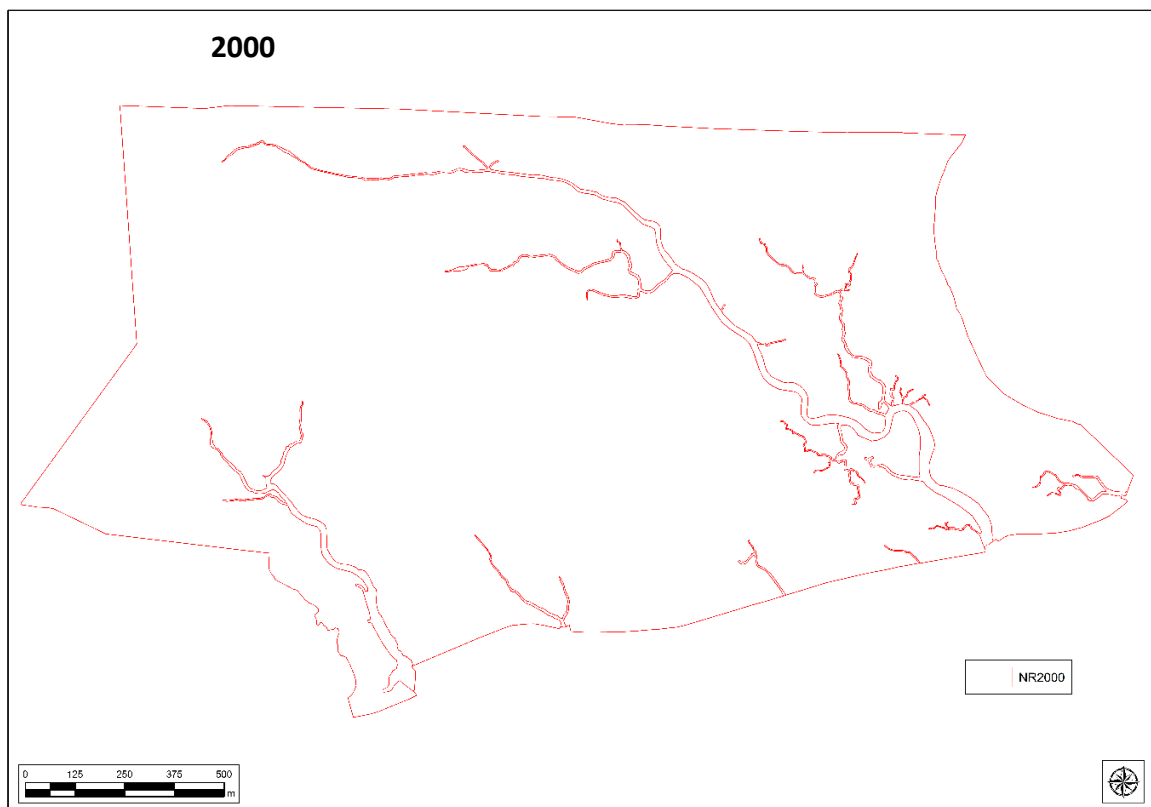
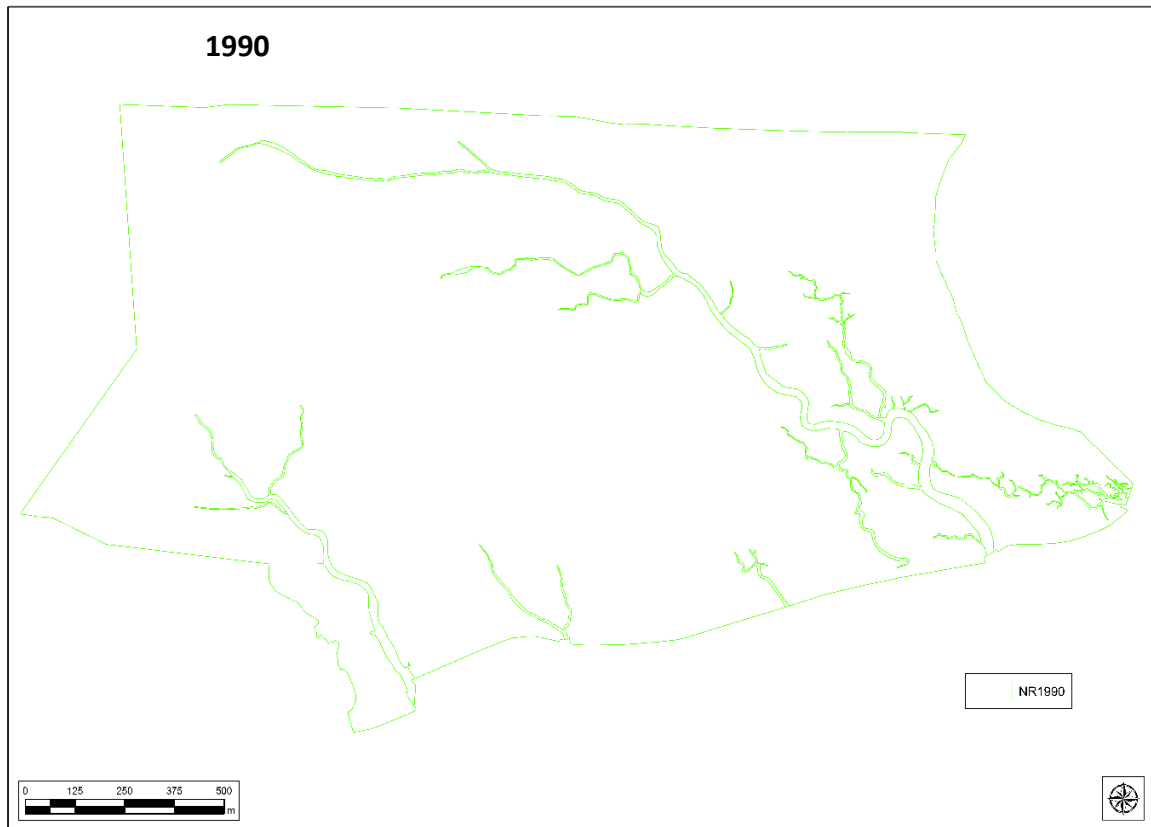
Goed te zien is dat aan de loop van de hoofd drainagesystemen weinig is veranderd gedurende de laatste zeventig jaar. Wel is het aantal vertakkingen toegenomen en zijn er kleine verschuivingen te zien in de ligging van buiten- en binnenbochten, die respectievelijk wat uitschuren en sedimenteren door afzet van slib. Uitbreiding van het krekensysteem heeft plaatsgevonden doordat kleine kreken zich achterwaarts hebben ingesneden, een proces dat wordt aangeduid als terugschrijdende erosie (*headward erosion*; Van der Lugt et al. (2020)).

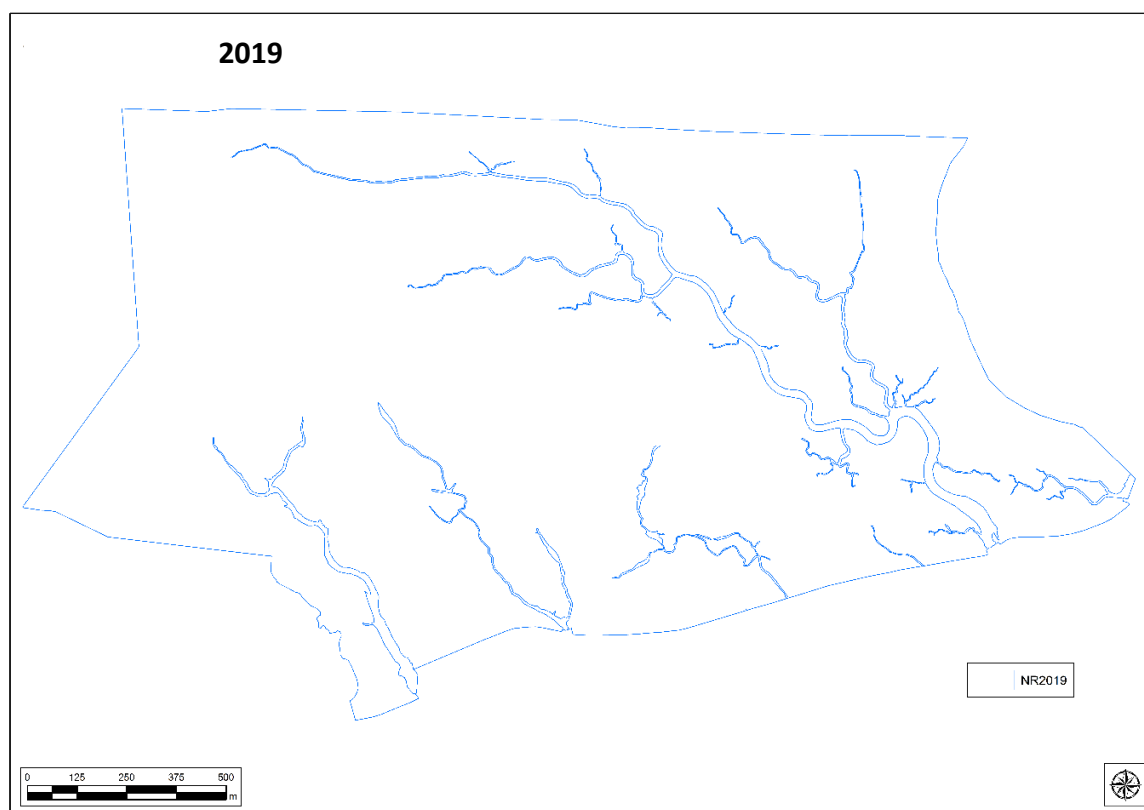
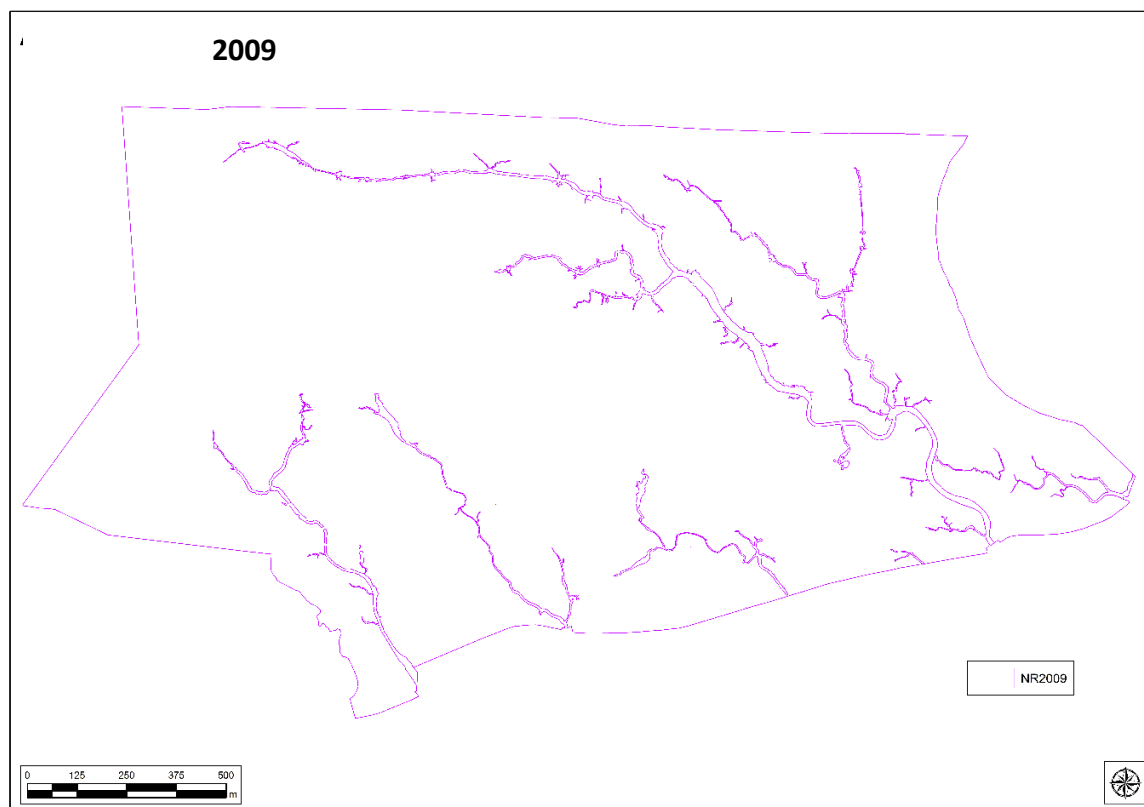
Hieronder staan puntsgewijze de belangrijkste ontwikkelingen samengevat:

- Tussen 1949 en 1998 is de kwelderrand wat afgekalfd als gevolg van kliferosie. Daardoor is het totale kwelderareaal van Neerlands Reid in die periode met 2,8% afgenomen. Vanaf 1998/1999 heeft oeververdediging in de vorm van stortstenen verdere afslag voorkomen.
- Ca. 2,5-3,0% van het kwelderoppervlak wordt ingenomen door kreken en prielen.
- Het hoofdkreeksysteem Oerdsloot is zich in de loop van de tijd meer gaan vertakken, vooral aan de oostzijde, een proces dat al na 1969 begint, maar vanaf 1990 echt doorzet.
- Het kreekstelsel van de Zinkesloot is weinig veranderd, maar is vanaf 1969 geleidelijk wel wat korter geworden.
- Tussen 2000 en 2009 breiden de kleine kreekssystemen bij Reidsplas en Reidsdûn tussen Zinkesloot en Oerdsloot zich uit, een proces dat zich ook de jaren daarna voortzet.
- Het kleine kreekstelsel direct aan de westkant van de Oerdsloot maakt omstreeks 1981 contact met het krekensysteem van de Oerdsloot en lijkt tot 2000 de eigen verbinding met de wadrand te hebben verloren, om vanaf dan weer zelfstandig af te wateren.
- Het kleine kreekstelsel aan de oostkant van de Oerdsloot, dat uitmondt direct naast het einde van de oeververdediging, breidt zich tussen 1969 en 1981 sterk uit en maakt contact met de Oerdsloot. Tussen 1990 en 2000 raakt deze verbinding weer verbroken.
- Vooral na 1990 lijkt het drainagesysteem zich verder te hebben uitgebreid en is het totale areaal aan kreken en prielen toegenomen. Het gaat vooral om uitbreiding van het krekensysteem aan de noordoostzijde.

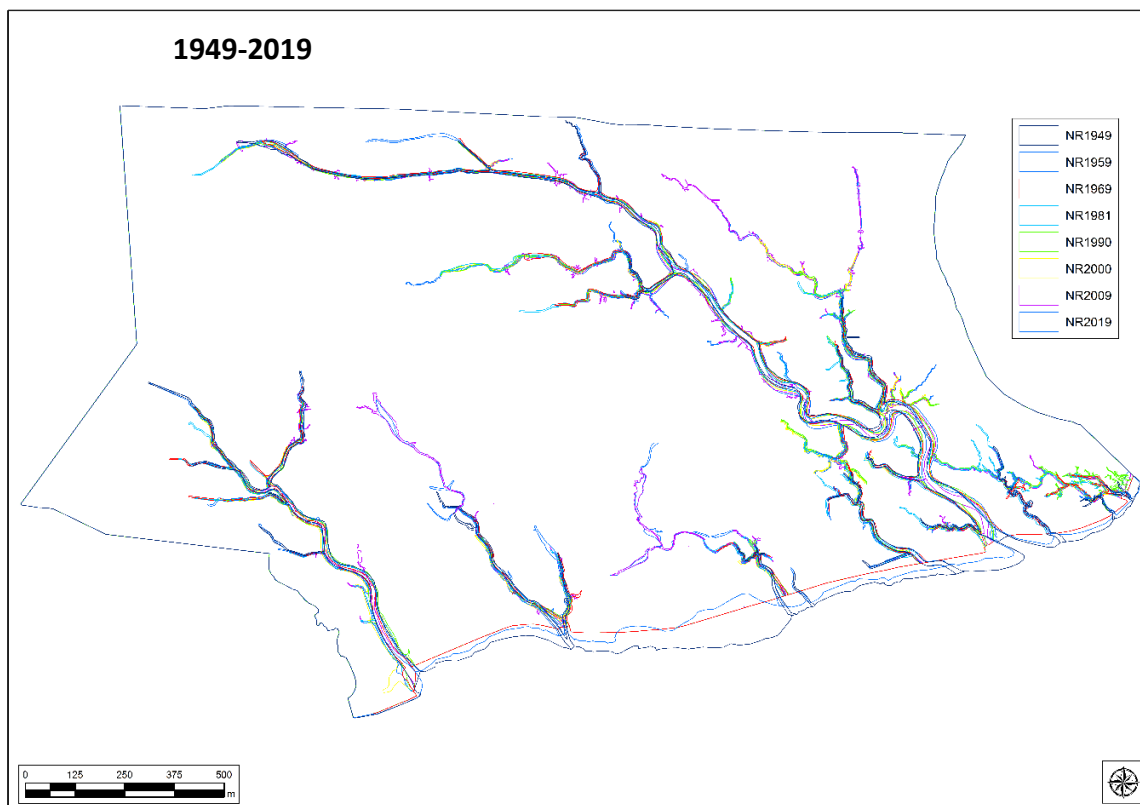








Figuur 19 Veranderingen in het drainagesysteem met krekens en prielen op Neerlands Reid in de periode 1949-2019 op basis van luchtfoto's.



Figuur 20 Gecombineerde kaart met de veranderingen in het drainagesysteem van Neerlands Reid in de periode 1949-2019.

3.5 Conclusies en discussie

Niet alle luchtfoto's waren van dezelfde kwaliteit, waardoor rekening moet worden gehouden met een bepaalde foutenmarge bij het digitaliseren van de kreekssystemen. Bovendien kan de breedte van de hoofdkreken op de luchtfoto's zijn beïnvloed door de waterstanden in de kreken op het moment dat de luchtfoto is gemaakt. Kwantificeren van trends in arealen van afzonderlijke drainagesystemen in de tijd is daarom niet goed mogelijk. De veranderingen zijn daarom vooral in kwalitatieve zin beschreven.

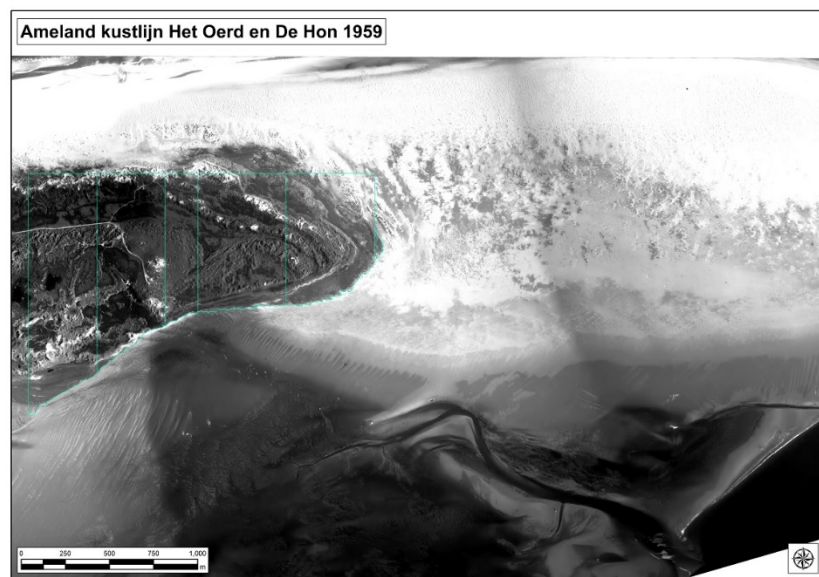
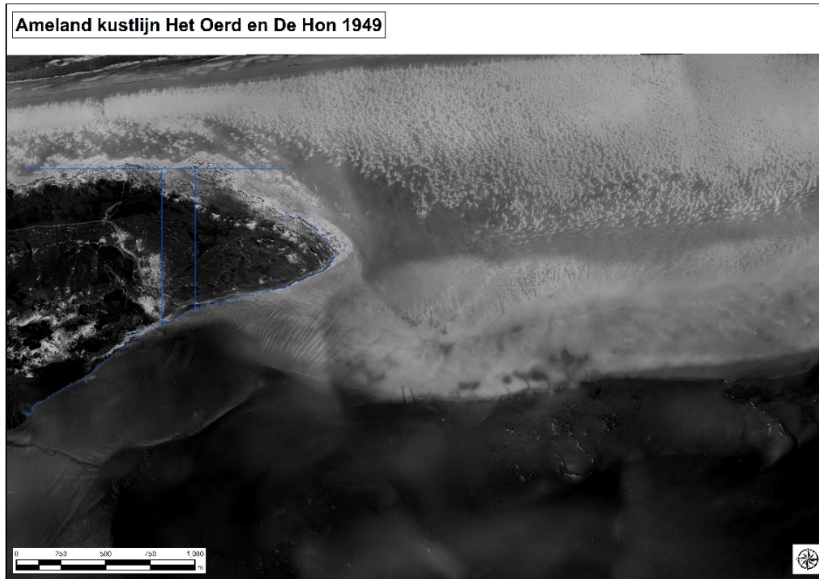
Tussen 1949 en 2019 heeft het krekensysteem van het Neerlands Reid zich uitgebreid. Dat betreft vooral het hoofdkrekensysteem van de Oerdsloot, maar ook de kleinere kreken aan zowel de west- als de oostzijde daarvan. Het krekensysteem van de Zinkesloot is het minst veranderd en lijkt zelfs iets kleiner te zijn geworden. De grootste veranderingen hebben zich voorgedaan aan de noordoost kant van het Neerlands Reid. Daar heeft het krekensysteem zich sterk uitgebreid. Een mogelijke verklaring is dat dit deel van de kwelder natter is geworden en er meer water moet worden afgevoerd door de kreken (zie ook Elschot et al., 2017; p. 239). Het is ook het deel van de kwelder met de grootste bodemdaling (2019: ca. 26 cm) en de minste opslibbing (deelgebieden 4 en 7 in De Vlas (2020)).

De omvang van kwelderkreken is gekoppeld aan de hoeveelheid water die erdoorheen stroomt. De zogenaamde terugschrijdende erosie (*headward erosion*), die vooral na 1990 heeft doorgezet, wijst erop dat via het krekensysteem meer water moet worden afgevoerd. Of er ook een toename is van slecht gedraineerde kommen, waar langdurig water staat waardoor de vegetatie op den duur kan verdwijnen, valt op basis van luchtfoto's moeilijk te zeggen, aangezien de kwaliteit van de luchtfoto's daarvoor tussen de jaren sterk verschilt. Het weer verwijderen van de tijdelijke steenbestorting en betonplaten in de monding van de Oerdsloot eind jaren negentig kan ook zijn weerslag hebben gehad op het drainagesysteem. Het water kon daardoor na overstroming sneller worden afgevoerd door de kreken, wat als gevolg van een hogere stroomsnelheid mogelijk ook tot meer erosie heeft geleid, waardoor de kreken zich hebben verdiept. Op basis van luchtfoto's konden we dat echter niet vaststellen.

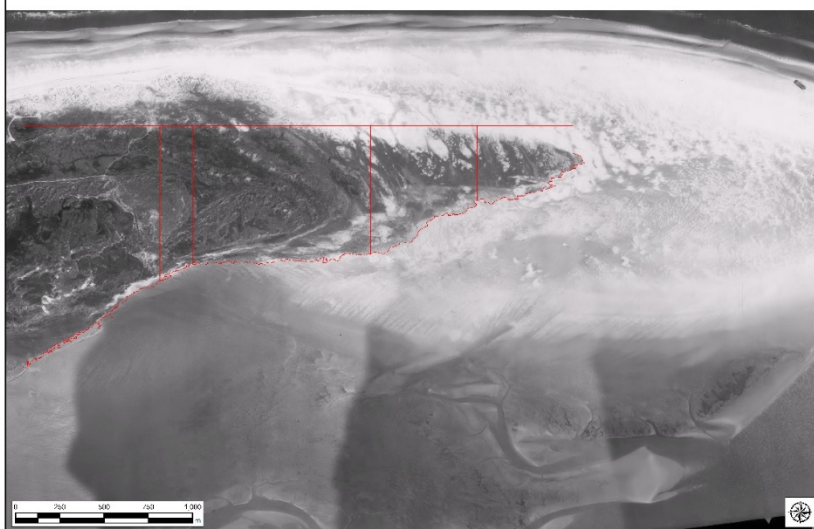
Literatuur

- Balke, T., P.M.J. Herman & T.J. Bouma (2014). Critical transitions in disturbance-driven ecosystems: identifying windows of opportunity for recovery. *Journal of Ecology* 102: 700–708.
- De Groot, A.V., A.P. Oost, R.M. Veeneklaas, E.J. Lammerts, W.E. van Duin, B.K. van Wesenbeeck, E.M. Dijkman & E.C. Koppenaal, (2015). Ontwikkeling van eilandstaarten: geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie. Rapport 2015/OBN198-DK. VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren. 109 p.
- De Vlas, J. (2020). Hoogteligging en snelheid van opslibbing op het Neerlands Reid. Interne notitie, versie 28 februari 2020. 11 p.
- Elschot, K., A. de Groot, K. Dijkema, C. Sonneveld, J.T. van der Wal, P. de Vries, B. Brinkman, W. van Duin, W. Molenaar, J. Krol, L. Kuiters, D. de Vries, R. Wegman, P. Slim, E. Koppenaal & J. de Vlas. 2017. 4. Ontwikkeling kwelder Ameland-Oost. In: In: J. de Vlas (ed.). Monitoring effecten van bodemdaling op Oost-Ameland: evaluatie na 30 jaar gaswinning; september 2017; pp. 185-328.
- Krol, J. (2020) Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog. Rapport Natuur Centrum Ameland.
- Regteren, M., I. Colosimo, P. Vries, M.E.B. van Puijenbroek, V.S. Freij, M.J. Baptist & K. Elschot (2019). Limited seed retention during winter inhibits vegetation establishment in spring, affecting lateral marsh expansion capacity. *Ecology and Evolution* 9:13294–13308.
- Sanders, M.E. & P.A. Slim (2000). Monitoring kwelderrand Oerderduinen; een onderzoek naar de effecten van bodemdaling door gaswinning op de morfologie en vegetatie van de kuststrook ten zuiden van de Oerderduinen op Ameland-Oost. Alterra-rapport 007, Alterra Wageningen UR. 49 p.
- Slim, P.A., R.M.A. Wegman, M.E. Sanders, H.P.J. Huiskes & H.F. van Dobben (2011). Monitoring kwelderrand Oerderduinen. In: Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Deel 1: pp. 125-175.
- Ter Braak, C.J.F. & P. Šmilauer (2002). CANOCO reference manual and CANODRAW for Windows users' guide: software for canonical community ordination. Microcomputer Power, Ithaca. 500 p.
- Van de Koppel, J., D. van der Wal, J.P. Bakker & P.M.J. Herman (2005). Self-organization and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. *The American Naturalist* 165 (1): E1-E12.
- Van der Lugt, M., J. Cleveringa & Z.B. Wang (2020). Integrale analyse morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning Ameland-Oost. Rapport Deltares (in voorb.).
- Van Loon-Steensma, J.M. & Slim, P.A. (2013). The impact of erosion protection by Stone Dams on Salt-Marsh vegetation on Two Wadden Sea Barrier Islands. *Journal of Coastal Research* 29: 783-796.

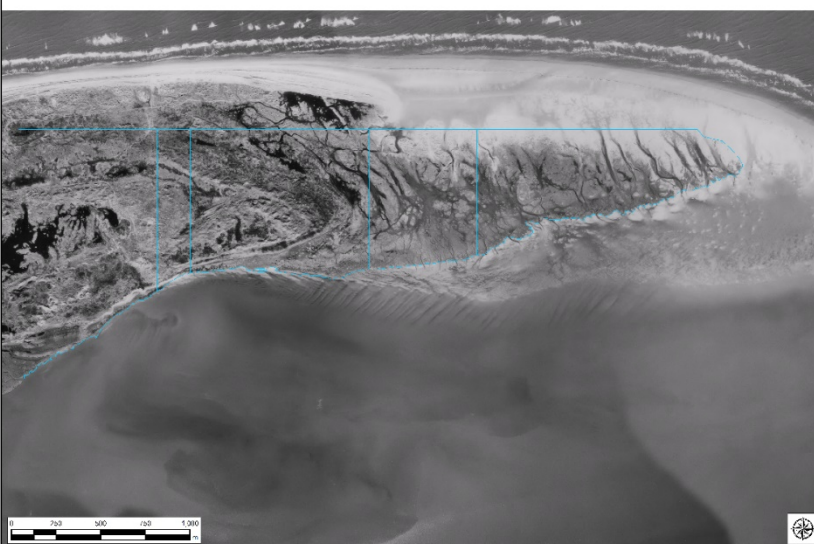
Bijlage 1 Kustlijnkaarten op basis van luchtfoto's



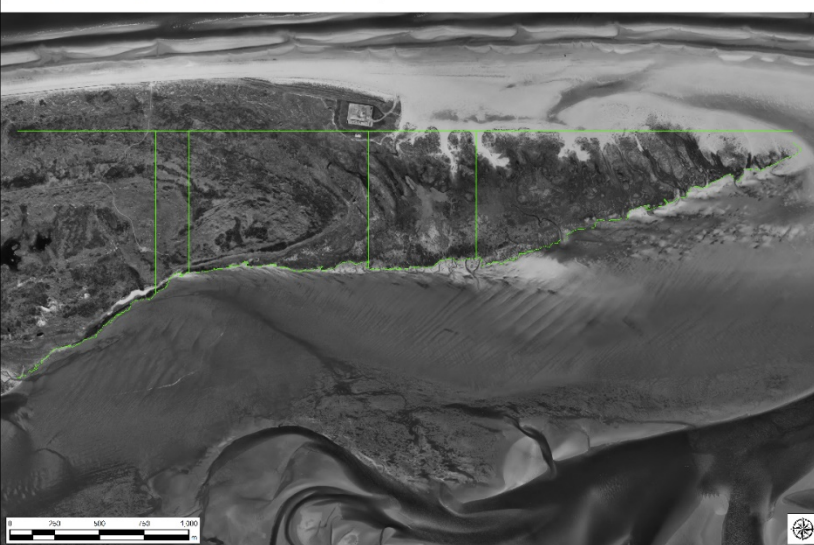
Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 1969



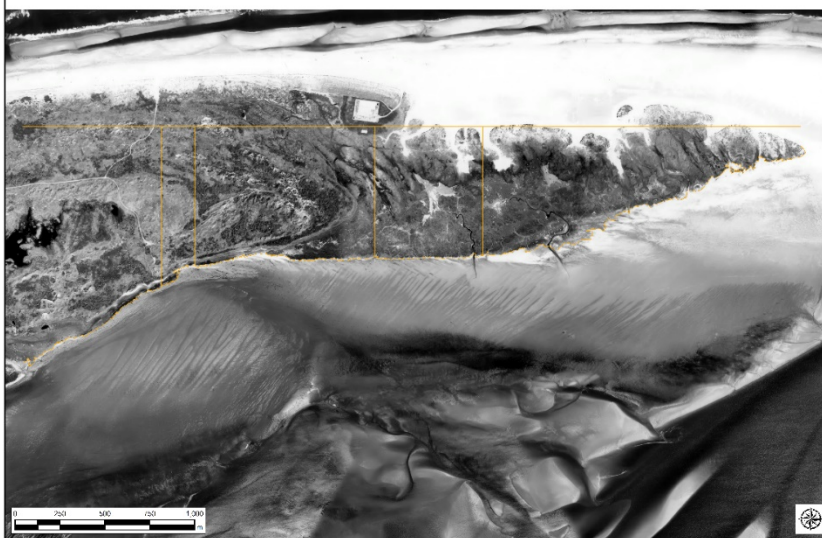
Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 1981



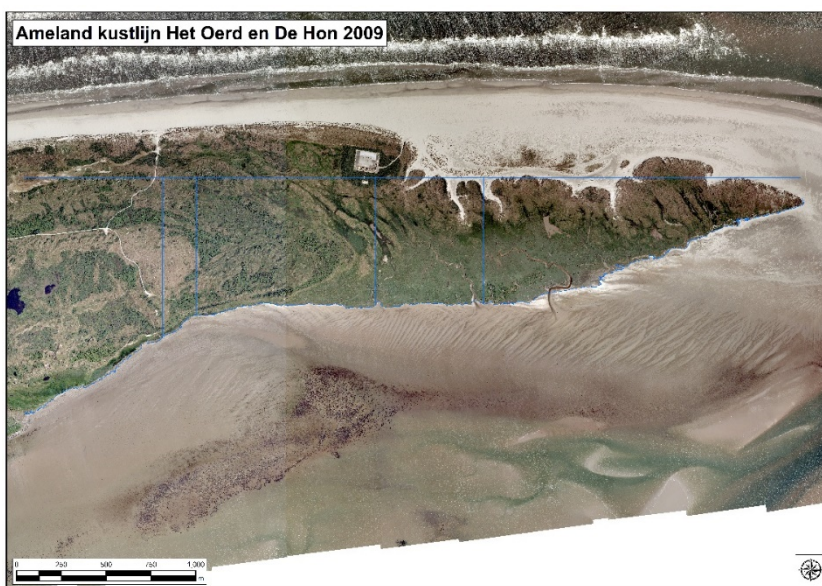
Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 1990



Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 2000



Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 2009



Ameland kustlijn Het Oerd en De Hon 2019



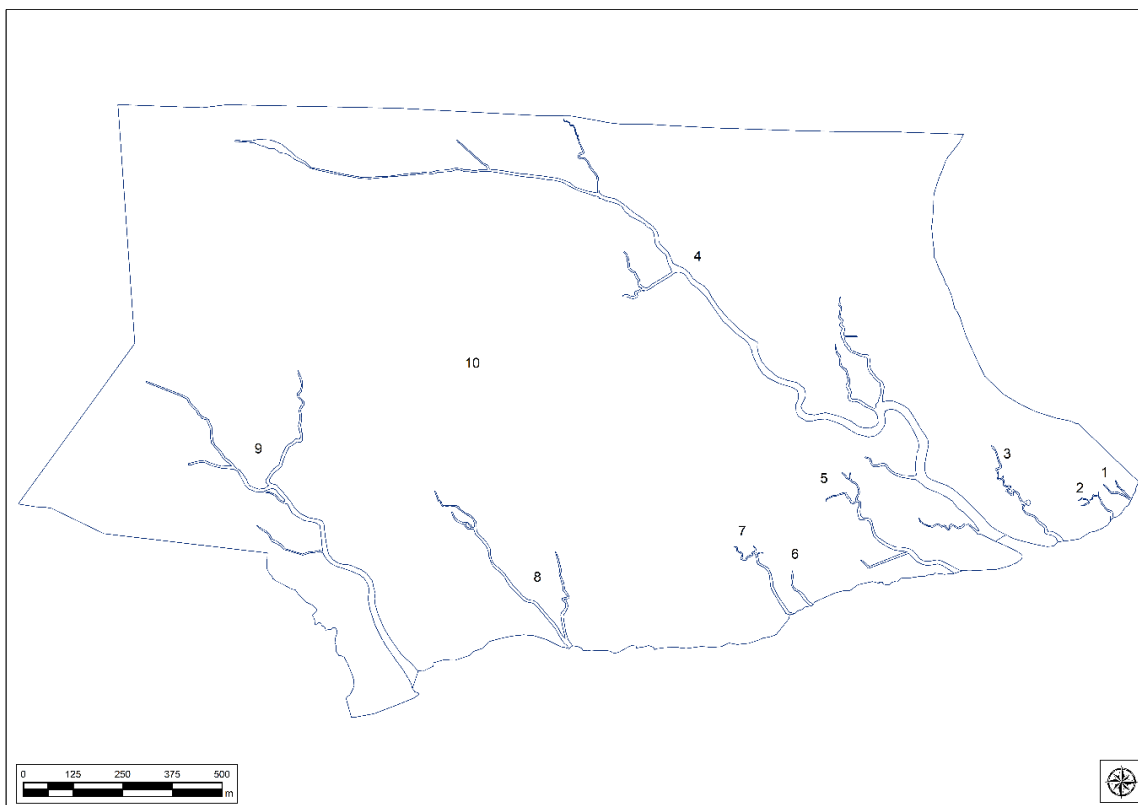
Bijlage 2 Soortenlijst kwelderrand 1986-2020

(getallen geven het aantal PQ's weer waar de soort is waargenomen)

Plantensoort	1986	1999	2004	2010	2020	Nederlandse naam
<i>Festuca rubra</i>	14	11	11	11	7	Rood zwenkgras s.s.
<i>Glaux maritima</i>	12	7	9	7	5	Melkkruid
<i>Agrostis stolonifera</i>	12	1	8	9	6	Fioringras
<i>Juncus gerardii</i>	11	11	9	9	5	Zilte rus
<i>Elytrigia atherica</i>	9	9	7	8	8	Strandkweek
<i>Triglochin maritima</i>	9	4	5	4	2	Schorrenzoutgras
<i>Plantago maritima</i>	8	4	4	5	5	Zeeweegbree
<i>Salicornia europaea</i>	7	8	7	6	9	Kortarige zeekraal
<i>Potentilla anserina</i>	7	5	5	6	5	Zilverschoon
<i>Aster tripolium</i>	7	1	1	3	4	Zulte
<i>Bolboschoenus maritimus s. compactus</i>	6	7	6	6	3	Heen
<i>Trifolium repens</i>	6	6	6	4	4	Witte klaver
<i>Suaeda maritima</i>	6	5	1	7	9	Klein schorrenkruid
<i>Poa pratensis</i>	5	6	6	5	6	Veldbeemdgras
<i>Juncus articulatus</i>	5	3	3	3		Zomprus
<i>Spartina anglica</i>	5	2	2	4	2	Engels slijkgras
<i>Senecio sylvaticus</i>	5	1	1		1	Boskruiskruid
<i>Trifolium fragiferum</i>	4	5	6	4	3	Aardbeiklaver
<i>Cirsium arvense</i>	4	5	5	3		Akkerdistel
<i>Leontodon autumnalis</i>	4	4	4	4	3	Vertakte leeuwentand
<i>Ammophila arenaria</i>	4	4	4	2	2	Helm
<i>Carex arenaria</i>	4	4	4	2	2	Zandzegge
<i>Parapholis strigosa</i>	4	3	2			Dunstaart
<i>Plantago coronopus</i>	4	2	2	1		Hertshoornweegbree
<i>Poa trivialis</i>	4	2	1	1		Ruw beemdgras
<i>Spergularia marina</i>	4	1	2	2	2	Zilte schijnspurrie
<i>Rubus caesius</i>	4	1	2	3	1	Dauwbraam
<i>Leontodon saxatilis</i>	4	1	1	1	2	Kleine leeuwentand
<i>Spergularia media s. angustata</i>	3	5	5	3	1	Gerande schijnspurrie
<i>Carex distans</i>	3	4	4	4	2	Zilte zegge
<i>Eleocharis uniglumis</i>	3	4	4	5	1	Slanke waterbies
<i>Cerastium fontanum s. vulgare</i>	3	3	5	1	2	Gewone hoornbloem
<i>Carex nigra</i>	3	3	4	4	3	Zwarte zegge
<i>Holcus lanatus</i>	3	2	3	2	3	Gestreepte witbol
<i>Plantago major</i>	3	2	2	2	2	Grote weegbree
<i>Galium mollugo</i>	3	1	2	1	2	Glad walstro
<i>Juncus ambiguus</i>	3	1	1			Zilte greppelrus
<i>Urtica dioica</i>	3	1		1		Grote brandnetel
<i>Limonium vulgare</i>	3		1		1	Lamsoor
<i>Atriplex portulacoides</i>	2	2	3	8	5	Gewone zoutmelde
<i>Elytrigia repens</i>	2	2	1	2	1	Kweek
<i>Blysmus rufus</i>	2	2				Rode bies
<i>Cardamine hirsuta</i>	2	1	1	1		Kleine veldkers
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	2		2	1		Armbloemige waterbies
<i>Odontites vernus s. serotinus</i>	2			3	2	Rode ogentroost
<i>Tripleurospermum maritimum</i>	2				1	Reukeloze kamille
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	2					Gewone zandmuur
<i>Cochlearia officinalis s. anglica</i>	2					Engels lepelblad
<i>Atriplex prostrata v. prostrata</i>	1	9	13	11	7	Spiesmelde (var. prostrata)
<i>Puccinellia maritima</i>	1	5	4	3	4	Gewoon kweldergras
<i>Cynosurus cristatus</i>	1	3	2	2	2	Kamgras
<i>Jacobaea vulgaris</i>	1	3				Jakobskruiskruid
<i>Sonchus arvensis v. maritimus</i>	1	2	3	1		Zeemelkdistel
<i>Phragmites australis</i>	1	2	2	3	4	Riet
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	1	2	2	2		Gewoon reukgras
<i>Salicornia procumbens</i>	1	2	2			Langarige zeekraal

Plantensoort	1986	1999	2004	2010	2020	Nederlandse naam
<i>Plantago lanceolata</i>	1	2	1	2	2	Smalle weegbree
<i>Vicia lathyroides</i>	1	2				Lathyruswikke
<i>Rumex crispus</i>	1	1	2	1		Krulzuring
<i>Triglochin palustris</i>	1	1	2			Moeraszoutgras
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	1	1	1	1	2	Gewone waternavel
<i>Hypochaeris radicata</i>	1	1	1	2	2	Gewoon biggenkruid
<i>Rumex acetosella</i>	1	1	1	1	2	Schapenzuring
<i>Agrostis capillaris</i>	1	1	1	1	1	Gewoon struisgras
<i>Carex panicea</i>	1	1	1	1	1	Blauwe zegge
<i>Galium verum</i>	1	1	1	1	1	Geel walstro
<i>Lotus pedunculatus</i>	1	1	1	1	1	Moerasrolklaver
<i>Luzula campestris</i>	1	1	1	1	1	Gewone veldbies
<i>Mentha aquatica</i>	1	1	1	1	1	Watermunt
<i>Cochlearia danica</i>	1	1	1			Deens lepelblad
<i>Eleocharis palustris</i>	1	1	1			Gewone waterbies
<i>Festuca filiformis</i>	1	1	1	1		Fijn schapengras
<i>Galium palustre</i>	1	1	1	1		Moeraswalstro
<i>Poa annua</i>	1	1	1	1		Straatgras
<i>Ranunculus flammula</i>	1	1	1			Egelboterbloem
<i>Taraxacum sectie Ruderalia</i>	1	1	1			Gewone paardenbloem
<i>Bupleurum tenuissimum</i>	1	1				Fijn goudscherm
<i>Cardamine pratensis</i>	1	1		1		Pinksterbloem
<i>Juncus maritimus</i>	1	1				Zeerus
<i>Linaria vulgaris</i>	1		1	1	1	Vlasbekje
<i>Lotus corniculatus s.s.</i>	1		1		1	Gewone rolklaver
<i>Bellis perennis</i>	1		1			Madeliefje
<i>Cirsium vulgare</i>	1		1	1		Speerdistel
<i>Ranunculus acris</i>	1		1			Scherpe boterbloem
<i>Sedum acre</i>	1		1			Muurpeper
<i>Centaureum pulchellum</i>	1					Fraai duizendguldenkruid
<i>Cerastium semidecandrum</i>	1					Zandhoornbloem
<i>Eleocharis multicaulis</i>	1					Veelstengelige waterbies
<i>Galium aparine</i>	1					Kleefkruid
<i>Linum catharticum</i>	1					Geelhartje
<i>Puccinellia distans s. distans</i>	1					Stomp kweldergras s.s.
<i>Salix repens</i>	1					Kruipwilg
<i>Viola canina</i>	1					Hondsvioltje
<i>Lolium perenne</i>		2	3	3	4	Engels raagras
<i>Polygonum aviculare</i>		2	1	1	1	Gewoon varkensgras
<i>Cirsium palustre</i>		1	1	1	1	Kale jonker
<i>Danthonia decumbens</i>		1	1	1	1	Tandjesgras
<i>Trifolium pratense</i>		1	1	1	1	Rode klaver
<i>Eriophorum angustifolium</i>		1	1	1		Veenpluis
<i>Hieracium umbellatum</i>		1	1	1		Schermhavikskruid
<i>Sagina nodosa</i>		1	1			Sierlijke vetmuur
<i>Stellaria media</i>		1	1	1		Vogelmuur
<i>Bromus hordeaceus</i>		1				Zachte dravik s.l.
<i>Rosa canina s.l.</i>		1		1		Hondsroos
<i>Sagina maritima</i>		1				Zeevetmuur
<i>Taraxacum sectie Erythrosperma</i>		1	1			Zandpaardenbloem
<i>Achillea millefolium</i>			1	1	1	Gewoon duizendblad
<i>Calamagrostis epigejos</i>			1		1	Duinriet
<i>Juncus conglomeratus</i>			1	1	1	Biezenknoppen
<i>Erodium cicutarium s. dunense</i>			1			Duinreigersbek
<i>Hippophae rhamnoides</i>			1			Duindoorn
<i>Myosotis ramosissima</i>			1			Ruw vergeet-mij-nietje
<i>Prunella vulgaris</i>			1			Gewone brunel
<i>Veronica officinalis</i>			1			Mannetjesereprijs
<i>Vicia sativa</i>			1	1		Smalle wikke s.s.
<i>Artemisia maritima</i>				1	2	Zeealsem
<i>Calammophila baltica (x) species</i>					1	Noordse helm
<i>Eleocharis species</i>					1	Waterbies (G)
<i>Galeopsis bifida</i>				1		Gespleten hennepnetel
<i>Taraxacum species</i>				2		Paardenbloem (G)
	93	86	93	78	63	

Bijlage 3 Oppervlakten van krekens en prielen in de afzonderlijke meetjaren (luchtfoto's)



Kreeksysteem	1949	1959	1969	1981	1990	2000	2009	2019
1	411	85	1,545	2,141	52,740	2,126	2,724	3,301
2	439	455						
3	1,836	1,427	1,270	53,227	0	0	0	0
4	39,700	46,124	48,592		1, 2, 4, en 5 samen	48,709	44,709	51,578
5	4,224	4,088	2,886			279	361	407
6	493	461	0	0	0	0	0	0
7	1,447	1,625	1,306	1,605	1,460	914	4,633	5,079
8	4,670	4,043	2,831	3,221	2,431	1,990	5,568	6,682
9	15,349	14,510	11,410	16,254	15,150	19,185	14,332	15,252
Krekens totaal	68,571	72,817	69,839	76,448	71,780	73,203	72,327	82,298
Droog areaal 10	2,755,785	2,692,780	2,674,570	2,667,964	2,672,628	2,671,200	2,677,150	2,657,640
Totaal	2,824,356	2,765,597	2,744,409	2,744,412	2,744,409	2,744,403	2,749,477	2,739,938

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3136
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 3136
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

