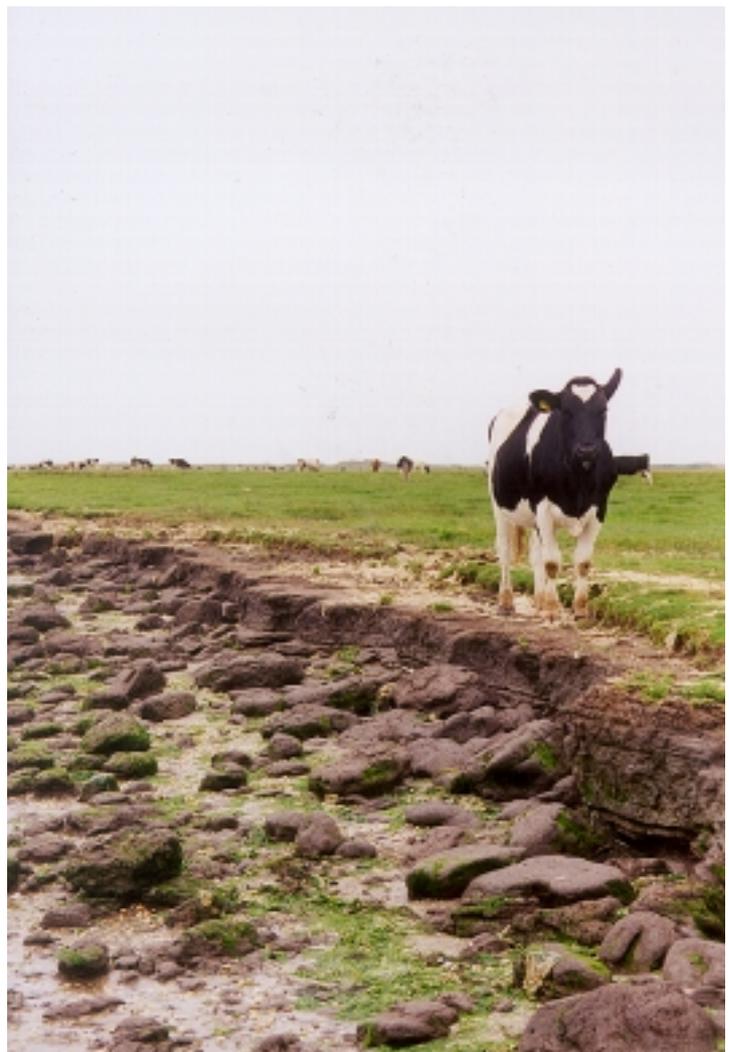


Monitoring kwelderrand Oerderduinen

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

M.E. Sanders & P.A. Slim



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

M.E. Sanders & P.A. Slim

Alterra-rapport 007

In opdracht van de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

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*; Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 007. 50 blz.; 14 fig.; 4 tab.; 12 ref.

De vegetatie van de kuststrook ten zuiden van de Oerderduinen heeft een grote soortenrijkdom en is door zoet-zoutgradiënten in haar soortensamenstelling uniek. Kustafslag bedreigt de vegetatie van deze smalle kuststrook. Aanwas en afslag van de kust werd voor de laatste halve eeuw gekwantificeerd door luchtfoto-interpretatie van de kustlijn. Kustafslag begon ruim voor de aanvang van de gaswinning in 1986. In het algemeen is na 1986 geen versnelde afslag aangetoond. De gevolgen voor de vegetatie werden vastgesteld met vegetatie-opnamen van permanente proefvlakken (pq's). De vegetatie van de pq's aan de wadkant is afgeslagen en in de aanliggende pq's zijn meer zoutindicerende plantensoorten aangetroffen. De oorzaak van de kustafslag lijkt in overeenstemming met de natuurlijke dynamiek van de kust.

Trefwoorden: monitoring, remote sensing, vegetatie, bodemdaling, gaswinning, Ameland

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 30,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 007. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 477770; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@alterra-wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding en kader	9
1.1.1	Gaswinning Ameland en bodemdaling	10
1.1.2	Onderzoek monitoring effecten bodemdaling	11
1.2	Doel	11
1.3	De kwelderrand Oerderduinen	12
1.3.1	Morfologie	12
1.3.2	Vegetatie	15
2	Methode	19
2.1	Luchtfoto-interpretatie	19
2.1.1	Luchtfoto's	19
2.1.2	Scannen en geometrisch corrigeren	17
2.1.3	Controle geometrie	17
2.1.4	Interpretatie kustlijn op fotoreeks en GIS-analyse	18
2.2	Vegetatiemonitoring	18
2.2.1	Verzamelen veldgegevens	18
2.2.2	Analyse van vegetatieveranderingen in pq's	19
3	Resultaten	21
3.1	Morfologie kwelderrand	21
3.1.1	Geometrische correctie	21
3.1.2	Interpretatie kustlijn - vegetatiegrens	22
3.1.3	Analyse in GIS	22
3.2	Vegetatieverandering in pq's	25
4	Discussie	28
4.1	Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid	28
4.1.1	Nauwkeurigheid geometrische correctie	28
4.1.2	Luchtfoto-interpretatie	28
4.1.3	Plaatsbepaling pq's	28
4.1.4	Herkenning plantensoorten	29
4.2	Resultaten	29
4.3	Analyse oorzaken kustafslag	30
4.4	Mitigerende maatregelen	32
5	Conclusies en aanbevelingen	32
	Literatuurlijst	34

Bijlagen

1.	Luchtfoto's met kustlijninterpretatie	41
2.	Clusteranalyse vegetatie-opnamen	45
3.	Overzicht van alle waargenomen plantensoorten en frequenties in 23 pq's	47
4.	Rijksdriehoekcoördinaten van de pq's	49

Woord vooraf

Een beknopte versie van dit rapport 'Monitoring kwelderrand Oerderduinen' is opgenomen als paragraaf 5.4 in het rapport 'Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 13 jaar gaswinning' (Eysink et al. 2000). Omdat er bij zo een allesomvattend rapport minder ruimte is voor achtergrondinformatie, is besloten over het gedrag van de kwelderrand een afzonderlijk rapport uit te brengen. Onderhavig rapport is bijgevoegd op de bij de evaluatie behorende CD.

Wij willen bij deze Ruut Wegman bedanken voor het verwerken van de luchtfoto's tot presenteerbare kaarten, de landmeetploeg van de NAM voor het inmeten en opzoeken van de proefvlakken en controlepunten, It Fryske Gea voor haar gastvrijheid, behulpzaamheid en aanwijzingen in het veld en Kees Dijkema voor zijn advies en opmerkingen. De Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland danken wij voor haar instemming met dit rapport en voor haar positieve reacties.

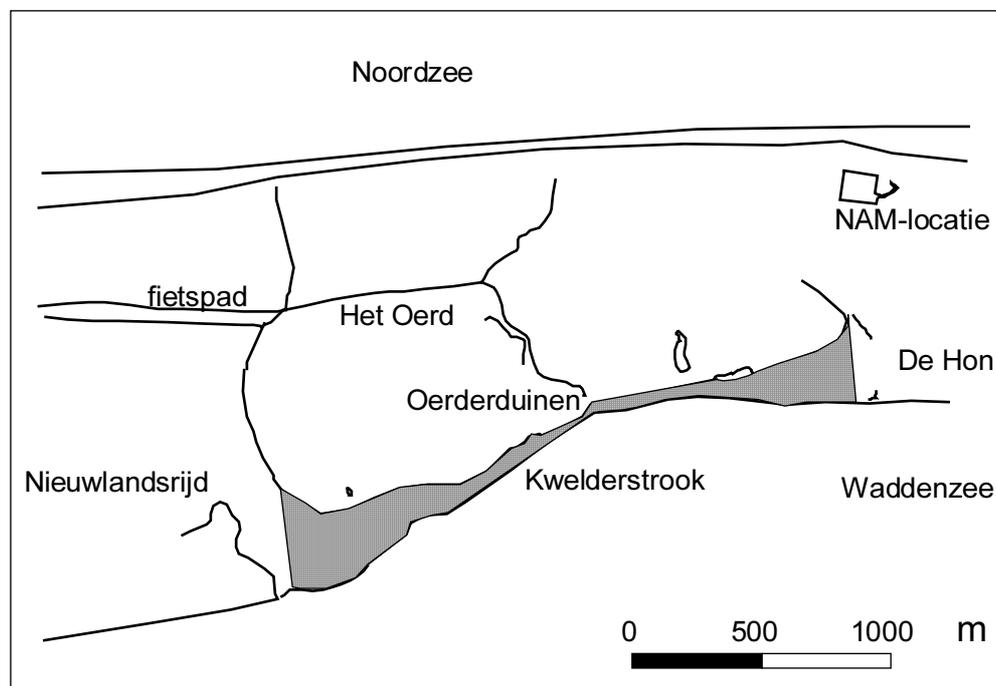
Samenvatting

De vegetatie van de kuststrook ten zuiden van de Oerderduinen heeft een grote soortenrijkdom en is door zoet-zoutgradiënten in haar soortensamenstelling uniek. Kustafslag bedreigt de vegetatie van deze smalle kuststrook. Aanwas en afslag van de kust werd voor de laatste halve eeuw gekwantificeerd door luchtfoto-interpretatie van de kustlijn. Aanwas van de kust vond plaats tot ongeveer 1979. Daarna was er vooral afslag. Kustafslag begon dus ruim voor de aanvang van de gaswinning in 1986. In het algemeen is na 1986 geen versnelde afslag aangetoond hoewel op enkele plekken sterke erosie plaatsvond. De snelheid van afslag kon oplopen tot ruim 3 meter per jaar. De gevolgen voor de vegetatie werden vastgesteld door vegetatie-opnamen van permanente proefvlakken (pq's) van 1986 met die van 1999 te vergelijken. De vegetatie van de pq's aan de wadkant is tussen 1986 en 1999 afgeslagen en in de aanliggende pq's zijn meer zoutindicerende plantensoorten aangetroffen. De oorzaak van de kustafslag lijkt in overeenstemming met de natuurlijke dynamiek van de kust. In de eerste 10 jaar gaswinning werd alleen lokaal versnelde kustafslag vastgesteld. Het volgen van de dynamiek van de kustlijn en de vegetatie in de toekomst blijft daarmee van belang.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en kader

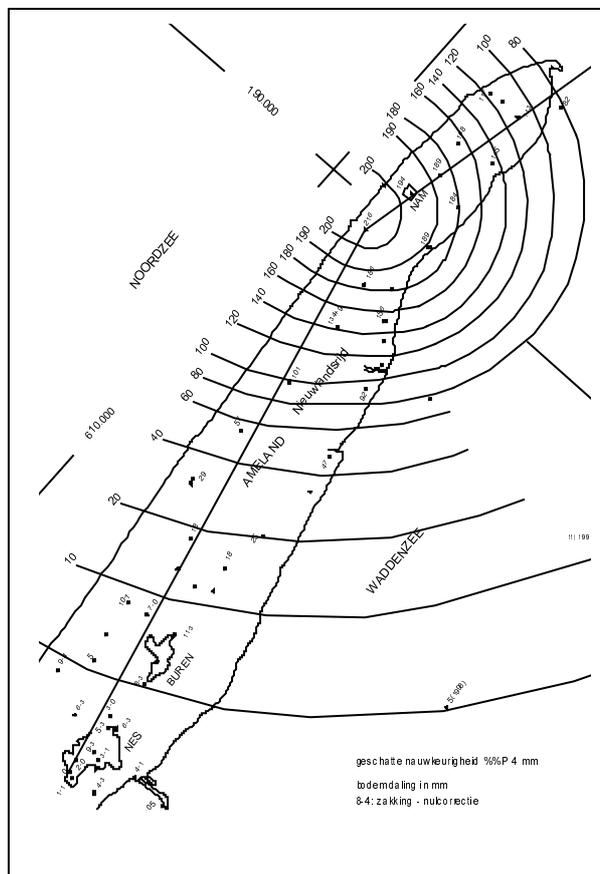
In 1986 is de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) begonnen met de winning van aardgas op Ameland. Tegelijkertijd is een uitgebreid en langjarig onderzoek opgezet naar de effecten van de gaswinning: 'Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost'. Monitoring van veranderingen in de soortensamenstelling en kustmorfologie van de smalle kwelderzone ten zuiden van de Oerderduinen was oorspronkelijk geen onderdeel van het onderzoekprogramma. Bij beheerders van It Fryske Gea en bij andere lokaal bekende personen, bestond de overtuiging dat er sprake is van aanzienlijke kustafslag over een lengte van 2 km van de smalle kwelderzone en duinvoet ten zuiden van de Oerderduinen, dus tussen Nieuwlandsrijd en De Hon (Fig. 1). Deze kustafslag zou mogelijk veroorzaakt of versneld worden door bodemdaling als gevolg van gaswinning. De soortensamenstelling van de kuststrook is door zoet-zoutgradiënten zeer divers en uniek. Kustafslag kan betekenen dat waardevolle vegetaties verloren gaan of dat hun areaal afneemt. Onderzoek naar het gedrag van de kwelderrand en de veranderingen in de vegetatie van de kwelderstrook is daarom naderhand toch uitgevoerd als een integraal onderdeel van de monitoring van de bodemdalingseffecten op Ameland-Oost.



Figuur 1. Locatie kwelderstrook en kwelderrand Oerderduinen

1.1.1 Gaswinning Ameland en bodemdaling

De gaswinning op Ameland veroorzaakt een schotelvormige bodemdaling (Fig. 2). De door de NAM voorspelde einddaling van het middelpunt nabij de NAM-locatie, is ca. 28 cm in 2020 (Eysink et al. 2000). De kwelderrand Oerderduinen ligt in zijn geheel binnen deze dalingschotel. In februari 1987 is de NAM begonnen met jaarlijkse hoogtemetingen. Op grond van deze hoogtemetingen is de daling vlakdekkend geschat met behulp van een regressiemodel (Houtenbos 1998, 1999). Het model berekent dat in december 1987, 2 jaar na het begin van de gaswinning het meest westelijke deel van de kwelderrand 10 mm is gedaald en het oostelijke deel 13 mm. In 1996, het laatst bruikbare luchtfoto-opnamejaar, bedroeg de daling in het meest westelijke deel 102 mm en in het oostelijk deel tot 138 mm. Vanaf het begin van de gaswinning staat de kwelderrand dus onder invloed van de bodemdaling.



Figuur 2. Bodemdaling door gaswinning situatie 1999 (naar: Eysink et al. 2000)

1.1.2 Onderzoek monitoring effecten bodemdaling

De monitoring van effecten op bodemdaling omvat morfologische, hydrologische, economische en ecologische aspecten en is uitgevoerd door WL|Delft Hydraulics (voorheen Waterloopkundig Laboratorium) en Alterra (voorheen RIN, IBN-DLO). Het doel van het onderzoek was de effecten van de door de NAM voorspelde bodemdaling te monitoren om, indien nodig, tijdig maatregelen te kunnen treffen om ongewenste situaties te voorkomen. De voorspelling uit 1987 (Anonymus 1987, Dankers et al. 1987) kan daarmee worden geëvalueerd. Na dertien jaar gaswinning is deze evaluatie gerapporteerd (Eysink et al. 2000) en de resultaten van het onderzoek naar de morfologie en de vegetatie worden hier kort besproken. De bestudeerde morfologie omvat het gedrag van de Noordzeekust, migratie van geulen, de Waddenzee en sedimentatie op de kwelders. In het algemeen waren de waargenomen veranderingen door de hoge dynamiek van het waddengebied moeilijk te relateren aan de opgetreden bodemdaling. De ecologische aspecten betroffen, naast vogeltellingen, vooral de kwelder- en duinvegetatie. De vegetatie-ontwikkelingen zijn bestudeerd aan de hand van een groot aantal permanente proefvlakken (pq's). Op de kwelder kon van slechts één van de 51 pq's worden aangetoond dat de regressie in de vegetatie-ontwikkeling voor rekening kwam van de bodemdaling. De waargenomen vegetatie-ontwikkelingen in de duinen (65 pq's) vielen samen met veranderingen in overvloedingsfrequentie en grondwaterstand waardoor zij voor een klein deel veroorzaakt zijn door bodemdaling. In aanvulling op dit hoofdproject is de dynamiek onderzocht van het morfologisch gedrag van de kwelderrand en de vegetatieveranderingen van de smalle strook aan de duinvoet van de Oerderduinen.

1.2 Doel

Dit onderzoek heeft tot doel de onzekerheid weg te nemen of er versnelde afslag van de kuststrook is opgetreden, en indien dit het geval is, zo mogelijk de oorzaak daarvan vast te stellen.

De vragen die daarbij aan de orde komen, zijn:

1. Vindt er over een langere periode (vanaf ca. 1950 tot heden) kustafslag plaats en, zo ja, in welke mate?
2. Is er na het begin van de daling van de bodem 1987/1988 sprake van versnelde kustafslag?
3. Wat zijn de gevolgen voor de vegetatie?
4. Wat zijn de meest waarschijnlijke oorzaken?

Gegevens over een langere periode kunnen aangeven of er sprake is van veranderingen in snelheid van afslag en met welke gebeurtenissen de veranderingen in afslag mogelijk samenhangen. Luchtfotografie biedt mogelijkheden de kustafslag vlakdekkend te kwantificeren en de mate en snelheid van afslag voor de afgelopen halve eeuw vast te stellen. De gevolgen voor de soortensamenstelling van de vegetatie moeten in het veld worden vastgesteld omdat luchtfoto's hiervoor te weinig gedetailleerde informatie bevatten. Het vaststellen van de oorzaken van afslag is een groot onderzoek op zich en valt buiten de doelstelling van dit project.

Er is wel aandacht besteed aan een vergelijking van bijvoorbeeld omslagmoment van aanwas naar afslag met gebeurtenissen zoals het begin van de gaswinning.

1.3 De kwelderrand Oerderduinen

De kwelderrand ten zuiden van de Oerderduinen is de grens tussen het wad en de vegetatie van het eiland van ca. 2100 m lang tussen de stenen oeververdediging van het Nieuwlandsrijd en de kwelder van De Hon, met aanliggend een strook kweldervegetatie tussen de Oerderduinen en de kwelderrand (Fig.1). Deze strook is 10 tot 300 m breed. De westelijke helft van de kwelderrand loopt van zuid-west naar noord-oost en de oostelijke helft ligt west-oost. Hieronder wordt de morfologie van de kwelderrand en de vegetatie van de aanliggende strook beschreven.

1.3.1 Morfologie

Zolang kwelders aangroeien, is er een geleidelijke overgang in hoogte van wad en pionierzone naar kwelder (Eysink et al. 2000). De hoge opslibbing in de overjarige kweldervegetatie zorgt voor een gelaagde kleiige bodem. Bij afslag van het kwelderareaal ontstaat een kwelderrand, dat wil zeggen op de vegetatiegrens is een klifje aanwezig. Stabiele kwelders bestaan niet en natuurlijke morfologische processen bepalen wat de opslibbingsbalans op de kwelder en pionierzone is. De natuurlijke processen mogen hier ongestoord hun gang gaan waardoor het gebied gevoelig is voor zeespiegelstijging en bodemdaling (Eysink et al. 2000).

De kwelderrand wordt beschreven van west naar oost en is in 5 deelgebieden met verschillende morfologie opgedeeld (Fig 8). In het eerste deel van ca. 400 m lengte is de kwelderrand een klifje tot 50 cm hoog (Fig. 3 en 4). Het tweede deel van ca. 500 m heeft een laag randje in dichte rietvegetatie en in een dichte vegetatie van zeebies (heen). De daarop volgende ca. 200 m (deel 3) is het knikpunt van de kustlijn; tot deel 3 loopt de kustlijn in noord-oostelijke en na deel 3 in oostelijke richting. De strook is hier op zijn smalst. Onbegroeid duinzand ligt op enkele meters afstand van het onbegroeide wadzand met graduele overgangen kweldervegetatie en zeekraal in lage bedekking ertussen (Fig. 5). Deel 4 is ca. 500 m en bestaat soms uit lage, getrapte klifjes of uit een scherpe vegetatiegrens op een iets hoger gelegen zandwal van het wad (Fig. 6). De laatste 500 m naar De Hon (deel 5) heeft weer een klifje. De morfologie van de kustlijn is dus erg variabel. Soms is het een scherpe grens van een klifje en/of van de vegetatie, soms zijn het graduele overgangen in de vegetatie van zeekraal op het wad naar een dichte zeebiesvegetatie op het eiland.



Figuur 3. Kwelderrand door kustafslag; westelijk deel kuststrook



Figuur 4. Kwelderrand door kustafslag; westelijk deel kuststrook



Figuur 5. Graduele overgang vegetatie naar wad. Links Engels slijkgras (Spartina townsendii) en rechts langjarige zeekraal (Salicornia procumbens)



Figuur 6. Scherpe vegetatiegrens en wad; oostelijk deel kuststrook

1.3.2 Vegetatie

De flora en vegetatie van de smalle kuststrook is zeer bijzonder omdat op korte afstand de hoogte gradueel stijgt van het wad via de kwelder naar het duin, waardoor milieugradiënten voorkomen van nat en zout (wad) tot droog en zoet (duin). Lokaal wordt de zoet-zoutgradiënt versterkt door het drangwater uit het grote achterliggende duinmassief van de Oerderduinen.

Een tweede belangrijke ecologische factor van invloed op de soortensamenstelling is het begrazingsbeheer. De begrazing van de vegetatie is niet voor de gehele kwelder strook gelijk. Verschillen in begrazing versterken de grote soortenrijkdom van de plantenwereld. Er is begrazing door landbouwhuisdieren in het westen ('De Vennoot'), gescheiden door een hek van een deel zonder grote grazers in het oosten (It Fryske Gea). Ongelijkmatige begrazing door kleinere grazers als konijnen, vogels en muizen vindt plaats over de gehele lengte van de kuststrook en vergroot op kleinere schaal de diversiteit aan plantensoorten.

Behalve geheel zoet en geheel zout indicerende vegetaties komen binnen enkele tientallen meters afstand vegetaties voor uit overgangsmilieu's met door elkaar enerzijds ('zoete') blauwgraslandachtige soorten als tandjesgras (*Danthonia decumbens*), blauwe zegge (*Carex panicea*), kale jonker (*Cirsium palustre*) en veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), en anderzijds zoutplanten als schorrenzoutgras (*Triglochin maritima*) en zilte rus (*Juncus gerardi*). In het databestand van De Vegetatie van Nederland (310.000 vegetatie-opnamen) komt een dergelijke combinatie niet voor. Laaggelegen treft men veelvuldig de Rode Lijst-soort rode bies (*Scirpus rufus*) aan. Bovenin de gradiënt, aan de duinvoet tot waar ook het veek ('opdrijfseel') reikt, komen de Rode Lijst-soorten fijn goudscherm (*Bupleurum tenuissimum*) en sierlijke vetmuur (*Sagina nodosa*) spaarzaam voor. Het is dus van belang de bedreigingen van de vegetatie, in deze studie vooral kustafslag, te kwantificeren en de gevolgen voor de vegetatie vast te stellen.

2 Methode

Twee verschillende benaderingen van gegevensinwinning zijn toegepast; een luchtfoto-interpretatie en het opnemen van de vegetatie in het veld. De luchtfoto-interpretatie is vooral gericht op lokalisatie van de kustlijn, de grens tussen wad en land, over een periode van een halve eeuw. Het veldwerk richt zich op het bestuderen van veranderingen in de soortensamenstelling van de vegetatie in pq's (1986 - 1999) om de gevolgen van bodemdaling en kustafslag te kunnen vaststellen.

Er is veel aandacht besteed aan de geometrie van de luchtfoto's, de herkenning van de kwelderrand, het lokaliseren van pq's en de determinatie van plantensoorten, die de basis vormen van de analyse. Het is namelijk onmogelijk betrouwbare conclusies te trekken uit de resultaten wanneer vegetatie-opnamen, luchtfoto-interpretaties of kaarten ruimtelijk ten opzichte van elkaar verschoven en/of inhoudelijk niet op elkaar zijn afgestemd.

2.1 Luchtfoto-interpretatie

2.1.1 Luchtfoto's

Luchtfoto's bevatten informatie over vegetatiebedekking, vegetatiestructuur en informatie over hoogteverschillen wanneer de opeenvolgende foto's elkaar ca. 60% overlappen. De informatie die uit luchtfoto's kan worden verkregen is vooral afhankelijk van het filmtypen (zwart/wit, kleur, of false colour opnamen), het opnametijdstip en de schaal. Een beschrijving van de gebruikte foto's is daarom van belang. In Tabel 1 staan de beschikbare typen luchtfoto's met nummer, schaal en opnamedatum voor zover bekend, genoemd.

Indicatief voor het effect van bodemdaling door gaswinning op kustafslag is een verandering in de snelheid van afslag, een trendbreuk, op het moment dat er met gaswinning is begonnen (1986). Voor het bestuderen van een trendbreuk, een verandering in een langdurig proces, is het gebruik van luchtfoto's van de Topografische Dienst te Emmen noodzakelijk om een voldoende lange tijdreeks te verkrijgen. De Topografische Dienst heeft luchtfoto's van Ameland-Oost vanaf WO II tot 1996. Recentere foto's dan 1996 waren nog niet beschikbaar. De schaal (1:18 000) en de spectrale resolutie (grijswaarden) van de panchromatische luchtfoto's zijn echter minder geschikt voor het in kaart brengen van de vegetatie en het kwelderrandje, dan de beschikbare false colour (FC) luchtfoto's. De vegetatie op de FC-luchtfoto's kleurt rood, door een hoge reflectie van zonlicht in het nabij infrarode deel van het spectrum, waardoor vegetatie eenvoudig is te onderscheiden van zand (wit), vochtig zand (blauw) en water (zwart). De verschillen in grijswaarden op de panchromatische foto's worden veroorzaakt door verschillen in vegetatie en vochtigheid waardoor vegetatie niet overal even eenduidig van vochtig zand kan worden onderscheiden. De grens tussen de vegetatie en het wad komt daarom veel beter tot uiting in de kleurverschillen van FC-luchtfoto's dan in grijswaarden van de panchromatische

foto's. FC-luchtfoto's zijn echter alleen van de laatste jaren beschikbaar waardoor zij ongeschikt zijn voor het bestuderen van langjarige processen. De FC-foto's dienen daarom ter ondersteuning van de kustlijninterpretatie met de panchromatische foto's.

Tabel 1. Meta-informatie beschikbare luchtfoto's

Datum	Herkomst	Type	Schaal	Fotonummers, kaart 2-west
1949	Top. Dienst	Panchromatisch	1:20 000	Run II, 31
1959	Top. Dienst	Panchromatisch	1:20 000	Run E, 162
	Top. Dienst	Panchromatisch	1:18 000	Run G, 10
1969				
1/10/1979	Top. Dienst	Panchromatisch	1:18 000	H08
13/5/1984	KLM aerocarto	Panchromatisch	1: 5 000	5863 t/m 5867
6/4/1986	Top. Dienst	Panchromatisch	1:18 000	G08
25/4/1992	Top. Dienst	Panchromatisch	1:18 000	G07
7/8/1993	MD-RWS	False Colour	1: 5 000	36, 110 t/m 114 (even)
13/4/1996	Top. Dienst	Panchromatisch	1:18 000	H07
7/7/1997	MD-RWS	False Colour	1: 5 000	8132 t/m 8136 (even)

2.1.2 Scannen en geometrisch corrigeren

De panchromatische luchtfoto's van de Topografische Dienst zijn eerst gescand met 750 dots per inch (ca. 60 cm in het terrein). De gescande foto's zijn geometrisch gecorrigeerd naar het Rijksdriehoekstelsel aan de hand van paspunten (herkenbare punten op de foto's waarvan x- en y-coördinaten bekend zijn zoals de baak, en hoeken van de NAM-locatie), met GPS in het veld gemeten punten (middelpunt van wegkruisingen) en overdrachtpunten. Deze overdrachtpunten, zoals greppel- en kreekkruisingen, zijn afgeleid van geometrisch gecorrigeerde foto's van 1984 (1:5000). Deze foto's konden nauwkeurig worden gecorrigeerd omdat strandpalen met bekende x- en y-coördinaten op de foto herkenbaar aanwezig waren. De opvolgende foto's in de tijdreeks zijn naar elkaar gecorrigeerd, met zoveel mogelijk overdrachtpunten van al gecorrigeerde foto's, om de geometrische afwijkingen zo klein mogelijk te houden.

2.1.3 Controle geometrie

De nauwkeurigheid van de geometrische correctie is van essentieel belang om daadwerkelijk kustafslag aan te kunnen tonen. De geometrische afwijking tussen twee opeenvolgende foto's moet veel kleiner zijn dan de opgetreden afslag of aanwas om deze afslag of aanwas voldoende betrouwbaar te kunnen aantonen. Om te controleren of de geometrisch gecorrigeerde luchtfoto's voldoende nauwkeurig waren, zijn enige objecten met scherpe grenzen, zoals fietspaden en drinkpoelen, verdeeld over het hele terrein geïnterpreteerd van de 1996-luchtfoto's. Het kaartje met deze controlelijnen werd geprojecteerd op de gecorrigeerde luchtfoto's van de verschillende jaren. De geometrische correctie werd als niet nauwkeurig genoeg beschouwd wanneer de objecten van het kaartje niet passen op die in de foto.

Een tweede onafhankelijke controle vond plaats met de lokatie van de aan de wadkant gelegen pq's in de raaien IV, V, VI en VII. Deze lokatie is tot op enkele decimeters nauwkeurig bekend. De vegetatie-opnamen van de pq's geven informatie over de lokatie; is het vegetatie of wad (kale bodem) in 1986 en 1999.

2.1.4 Interpretatie kustlijn op fotoreeks en GIS-analyse

De grens van de vegetatie, veelal samenhangend met de kwelderrand, werd op het beeldscherm visueel geïnterpreteerd. Beeldscherminterpretatie heeft als voordeel dat er naar behoefte vergroot kan worden en dat de kustlijn direct op het computerscherm kan worden gedigitaliseerd. Beeldscherminterpretatie heeft hierdoor een hogere geometrische nauwkeurigheid dan stereoscopische interpretatie van de foto's.

De op het scherm gedigitaliseerde luchtfoto-interpretaties zijn opgeslagen in een Geografisch Informatiesysteem (GIS). GIS is bij uitstek de techniek om statische gegevens als oppervlakte en omtrek maar ook ruimtelijke en temporele veranderingen zoals verplaatsing te analyseren. De kustlijnkarten van twee opeenvolgende jaren zijn met elkaar gecombineerd waarna de oppervlakte verschillen werden berekend voor de 5 verschillende deelgebieden en de kuststrook in zijn geheel (Par. 1.3.1).

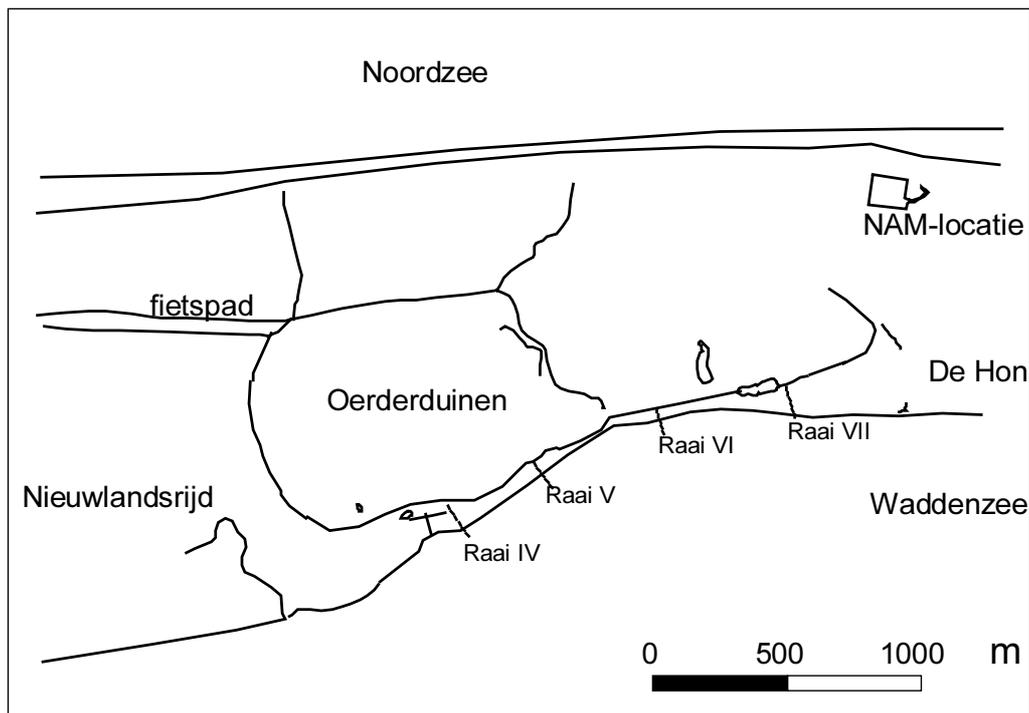
2.2 Vegetatiemonitoring

2.2.1 Verzamelen veldgegevens

Op de plaats waar mogelijk kustafslag kon plaatsvinden, was de vegetatie van een aantal proefvlakken of permanente quadraten (pq's) ten behoeve van het voorspellend onderzoek in 1986 opgenomen (Dankers et al. 1987, Anonymus 1987). In 1986 zijn de middelpunten van de pq's voorafgaand aan het opnemen van de vegetatie met genummerde piketten gemarkeerd. De locatiekeuze vond plaats op grond van voorafgaande uitgebreide bestudering van bestaande vegetatiekaarten en van expertkennis. Daarmee zijn alle aanwezige vegetatietypen representatief bemonsterd. Deze pq's zijn gelegen in raaien (transecten) loodrecht op de waddenkust. De pq's meten $2 \times 2 \text{ m}^2$ en zijn noord-zuid gericht. De in de pq's voorkomende plantensoorten met bijbehorende bedekking (opnameschaal van de 4^e bosstatistiek, Dirkse 1987) zijn genoteerd. Tevens zijn sporen van begrazing, bodemtypen, hoogte van de vegetatie enz. vastgelegd. In deel 1, 2, 4 en 5 van de kuststrook (Par. 1.3.1) liggen (delen van) respectievelijk de raaien IV, V, VI en VII (Fig. 7). Elk van de 4 raaien ligt langs de hoogtetradiënt loodrecht op de kust, waarbij het laagst gelegen proefvlak (pq 01) vanaf de Waddenzee (ca. 0,70 m +NAP) net in de eerste vegetatie was gelegd, en het hoogstgelegen proefvlak (pq 05 of 06) op de duinvoet (ca. 3,70 m +NAP). De pq's zijn verspreid over de breedte van de kwelderrand (ca. 50–150 m) en regelmatig over de lengte ervan (ca. 2 km). De exacte coördinaten van de pq's zijn te vinden in Bijlage 4. De volgende pq's zijn bestudeerd: raai IV pq-nummers 01 t/m 06, raai V pq's 01 t/m 06, raai VI pq's 01 t/m 05, en raai VII pq's 01 t/m 06. Deze behoren slechts ten dele tot de in het standaardmonitoringprogramma bestudeerde proefvlakken.

Door nu deze pq's opnieuw op te nemen worden de resultaten van de luchtfoto-interpretatie geverifieerd en kan de kwantitatieve en kwalitatieve betekenis van kustafslag en bodemdaling voor de vegetatie worden vastgesteld. Vanwege de locatie van deze 23 pq's was het van groot belang voor dit onderzoek deze nu na 13 jaar weer op te nemen. De plaats van de pq's kon nauwkeurig met behulp van Global

Positioning System (GPS) worden opgespoord waarna de vegetatie volgens de methode gebruikt in 1986 werd onderzocht. Data-opslag en -verwerking vond plaats met het dataverwerkingsprogramma TURBOVEG (Hennekens 1995). Hierbij wordt voor de nomenclatuur het Botanisch Basisregister (Anonymus 1992) gebruikt en impliciet voor de hogere planten de nomenclatuur van Van der Meijden et al. (1990) gevolgd. De vegetatie-opnamen zijn beide jaren gemaakt door P.A. Slim. Tijdens de opname van de vegetatie zijn in beide jaren van alle pq's foto's gemaakt.



Figuur 7. De raaien waarop de pq's gelegen zijn

2.2.2 Analyse van vegetatieveranderingen in pq's

De vegetatie van de 23 pq's was in augustus/september 1986 opgenomen en in augustus 1999 herhaald. De datasets uit 1986 en 1999 zijn met elkaar vergeleken. De datasets van 1986 en 1999 zijn daartoe samengevoegd en bewerkt met het clusterprogramma TWINSPAN (Hill 1979). TWINSPAN clustert op gestandaardiseerde wijze de 46 vegetatie-opnamen van de 23 pq's (1986 en 1999). TWINSPAN werd gedraaid met de standaardinstellingen. Opnamen die qua soortensamenstelling op elkaar lijken, komen in hetzelfde cluster terecht. Ook de plantensoorten worden gegroepeerd. Wanneer de vegetatie in een pq dus niet of weinig is veranderd, zal de betreffende opname van 1986 en 1999 in hetzelfde cluster komen. Indien nu bij de 1999-opname een pq ten opzichte van de

bijbehorende 1986-opname in een ander cluster terecht komt, is dit opgevat als een vegetatieverandering.

3 Resultaten

De luchtfoto-interpretatie van de morfologie van de kwelderrand tussen 1949 en 1996 en de analyse van de vegetatieveranderingen in pq's tussen 1986 en 1999 worden in dit hoofdstuk beschreven. De betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van de resultaten worden bediscussieerd in hoofdstuk 4.

3.1 Morfologie kwelderrand

3.1.1 Geometrische correctie

De gescande luchtfoto's zijn geometrisch naar elkaar gecorrigeerd omdat de foto's onderling vergeleken werden om de afslag of aanwas tussen de verschillende jaren vast te stellen. De geometrische afwijking van de gecorrigeerde panchromatische luchtfoto's staat in Tabel 2. De Root Mean Square error (RMS) is de ruimtelijke afwijking van de gecorrigeerde foto's door onontkoombare onnauwkeurigheden in het aanwijzen van paspunten op een gescande foto. De uitkomsten moeten als volgt worden geïnterpreteerd: kustafslag of aanwas van minder dan 3 m per 10 jaar (0,3 m per jaar) is met deze foto's niet met zekerheid aan te tonen.

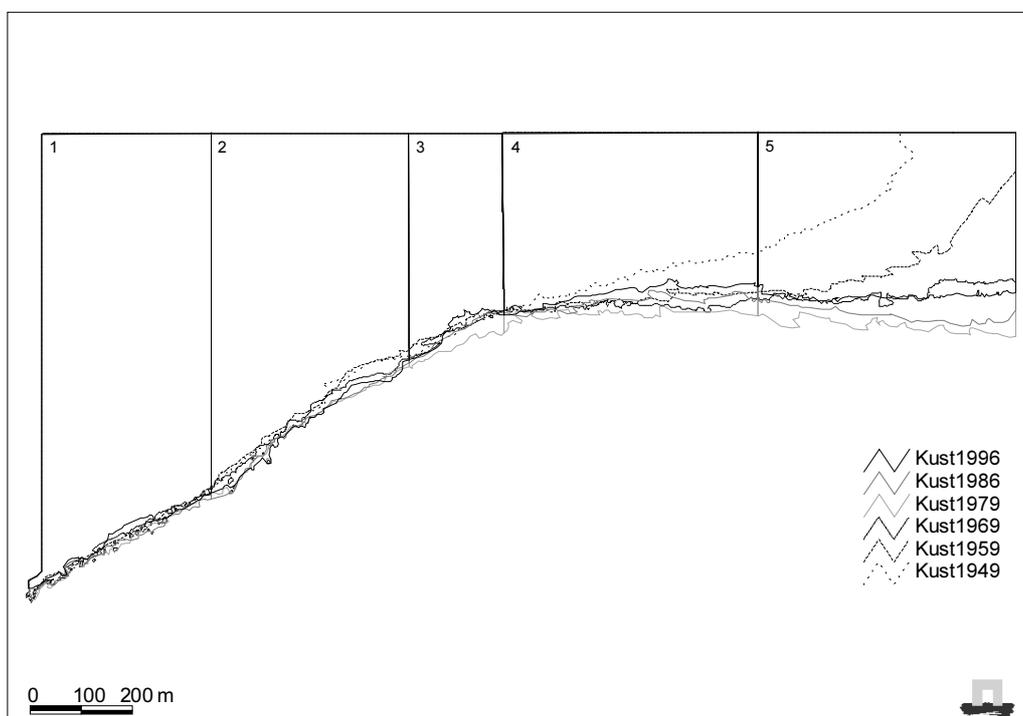
Tabel 2. Root Mean Square error van de geometrische correcties

Jaar	RMS y (m)	RMS x (m)	RMS totaal (m)
1949	1,4	1,1	1,7
1959	2,6	2,2	3,4
1969	2,3	1,9	2,9
1979	2,6	1,3	2,9
1986	0,9	0,7	1,1
1992	3,0	3,2	4,3
1996	2,7	1,6	3,2

De RMS error van de 1992-foto's is veel groter dan die van de overige foto's. Besloten is dat de onnauwkeurigheid te groot is voor deze luchtfoto-interpretatie waardoor 1992 niet in de analyse werd meegenomen. In paragraaf 4.1.1 wordt dit besluit beargumenteerd.

3.1.2 Interpretatie kustlijn - vegetatiegrens

De luchtfoto-interpretatie resulteerde in kaarten van de kustlijn (Fig. 8). Een presentatie van de kustlijnkaarten met de betreffende luchtfoto als ondergrond (Bijlage 1) maakt de geïnterpreteerde lokatie van de kustlijn inzichtelijk. Als kustlijn is de grens van de vegetatie en het wadzand aangehouden. Figuur 8 laat zien dat er grote verschillen in aangroei en afslag tussen de 5 deelgebieden zijn. De dynamiek in het oostelijk deel is veel groter dan in het westelijk deel. De figuur illustreert daarmee dat opdeling in deelgebieden noodzakelijk was om de invloed van deel 5 op de resultaten van de andere kustdelen te elimineren. De kuststrook lijkt aan te groeien tot 1979 en daarna trad afslag op. In Paragraaf 3.1.3 wordt deze aangroei en afslag gekwantificeerd.



Figuur 8. Gedrag kwelderrand Oerderduinen 1949 - 1996

3.1.3 Analyse in GIS

In het GIS is per deel de kustlijn van een luchtfotojaar gecombineerd met de interpretatie van het tijdstip ervoor, en zijn verschillen in oppervlakte berekend. Deze verschillen in oppervlakten (in m^2), de afslag of aanwas, zijn per deel bij elkaar opgeteld om de netto aanwas of afslag per deel en per periode te berekenen (Tabel 3, Fig. 9). Vanwege de onnauwkeurigheid in de geometrische correcties hoeft de afslag of aanwas niet significant te zijn. Het verschil per deel moet groter zijn dan 3 m (afwijking door de geometrische correctie, Par. 3.1.1) maal de lengte van het betreffende deel. Een afslag of aanwas kleiner dan de onnauwkeurigheid is in

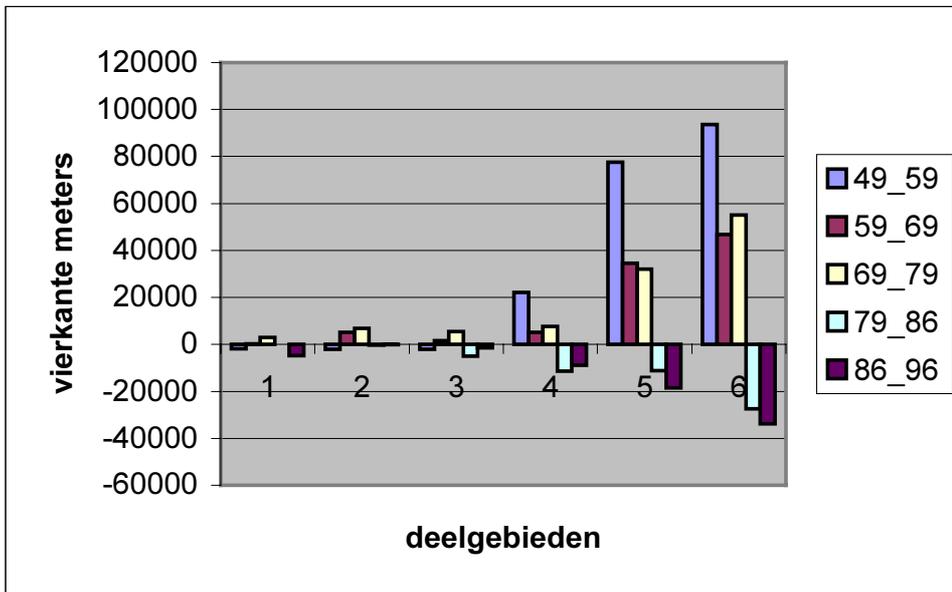
Tabel 3 met een '0' aangegeven, aangetoonde afslag met een '-' en aangetoonde aanwas met een '+'. Na 1959 laten alle vijf de delen van de kuststrook een zelfde trend zien: er ligt een omslagpunt van aanwas naar afslag rond 1979. Bij 1959 ligt een omslagpunt voor de drie westelijke delen, de oostelijke blijven aangroeien. De dynamiek neemt duidelijk toe van west naar oost. In Tabel 4 en in Figuur 10 is de gemiddelde snelheid van afslag en aanwas gepresenteerd. De gemiddelde snelheid (in meter per jaar) is de netto afslag of aanwas per deel gedeeld door de lengte van het deel en door het aantal jaren van de periode. Alleen de snelheden meer dan 0,3 m per jaar zijn aangetoond. Snelheden kleiner dan 0,3 m per jaar vallen binnen de onnauwkeurigheden van de methode. Opvallend is dat in de periode voorafgaand aan 1979 er eerst een toename van de aanwassnelheid is voor dat er afslag plaatsvindt. Na 1986 vindt geen versnelde afslag plaats maar juist een afname in gemiddelde snelheid in deel 3 en 4. In deel 5 en 1 is er wel sprake van een snelheidstoename.

Tabel 3. Netto afslag en aanwas kuststrook

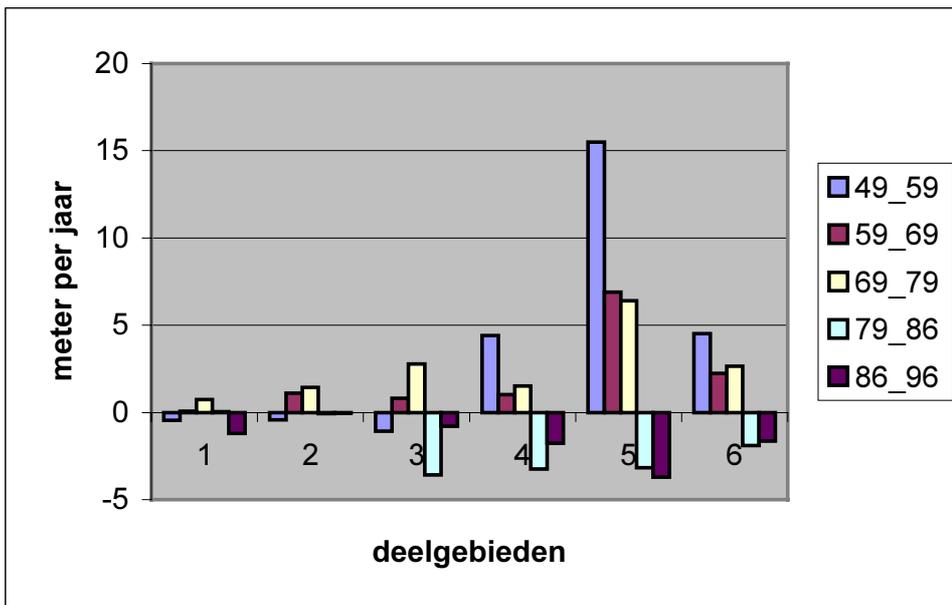
	Kuststrook		Netto oppervlakteverschil tussen jaren (m ²)									
	Deel	Lengte (m)	'49-'59		'59-'69		'69-'79		'79-'86		'86-'96	
Netto	1	400	-1807	-	232	0	2951	+	119	0	-4821	-
	2	475	-2039	-	5170	+	6889	+	-238	0	-124	0
	3	200	-2151	-	1617	+	5552	+	-4994	-	-1564	-
	4	500	22.083	+	5163	+	7637	+	-11.303	-	-8795	-
	5	500	77.549	+	34.498	+	32.018	+	-11.087	-	-18.555	-
Totaal	6	2075	93.635	+	36.459	+	53.858	+	-27.713	-	-30.861	-

Tabel 4. Gemiddelde snelheid van afslag en aanwas kuststrook

	Kuststrook Deel	Gemiddelde snelheid (meter per jaar)				
		'49-'59	'59-'69	'69-'79	'79-'86	'86-'96
Netto	1	-0,45	0,06	0,74	0,04	-1,21
	2	-0,43	1,09	1,45	-0,07	-0,03
	3	-1,07	0,81	2,78	-3,57	-0,78
	4	4,41	1,03	1,53	-3,23	-1,76
	5	15,51	6,90	6,40	-3,17	-3,71
Totaal	6	4,51	1,76	2,60	-1,91	-1,49



Figuur 9. Netto aanwas en afslag per deelgebied (deel 6 is de totale kuststrook)



Figuur 10. Gemiddelde snelheid van afslag en aanwas per deelgebied (deel 6 is de totale kuststrook)

3.2 Vegetatieverandering in pq's

De vegetatieveranderingen zijn geanalyseerd door clusteranalyse met TWINSPAN. De resulterende tabel is te vinden in Bijlage 2. De clusters kennen een hiërarchie die niet verder is aangeduid; wel is de hoofdscheiding in de tabel met een dubbele lijn gemarkeerd. Van de 23 pq's blijken van minder dan de helft (10) de opnamen uit 1986 en uit 1999 door TWINSPAN in verschillende clusters zijn ingedeeld. De pq-nummers daarvan zijn in de kopgegevens van de tabel vet weergegeven. Omdat de vegetatie pal aan de kustlijn is gesitueerd, is de zoet-zoutgradiënt de ecologische 'sleutelfactor' die dominant is over alle andere factoren. Uit de tabel blijkt dat boven links de glycofyten ('zoete' plantensoorten) zijn ingedeeld, en onderin rechts de halofyten ('zoute' plantensoorten). De scheiding ligt ongeveer bij de witregel boven *Juncus gerardi* (zilte rus). Op grond van de soortensamenstelling is de volgorde van de clusters op te vatten als een gradiënt van het wad (rechts) naar de duinvoet (links). Dit ruimtelijke beeld weerspiegelt ook in grote lijnen de ontwikkeling die de vegetatie van zout naar zoet heeft doorgemaakt. Indien nu bij de 1999-opname een pq ten opzichte van de bijbehorende 1986-opname 'naar rechts gaat', is dit opgevat als een terugval naar een eerder stadium van de vegetatie-ontwikkeling (regressie). Een verandering van een pq 'naar links' is beschouwd als een overgang naar een volgend stadium van de vegetatie-ontwikkeling (successie). De vegetatie in de pq's V 03 en VI 03 heeft in de afgelopen 13 jaar een successie doorgemaakt, en de vegetatie in de pq's IV 01, 02, V 01, VI 01, VII 01, 03, 05 en 06 een regressie (zie als voorbeeld Fig. 13 en 14). Een ander voorbeeld is pq IV 02 alwaar een vegetatie met een dominantie van fioringras (*Agrostis stolonifera*) veranderde in een vegetatie met een dominantie van gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*). Daar verdwenen de volgende 'zoete' plantensoorten en soorten van overgangsmilieu's: dunstaart (*Parapholis strigosa*), witte klaver (*Trifolium repens*), zilverschoon (*Potentilla anserina*), vertakte leeuwetand (*Leontodon autumnalis*), grote weegbree (*Plantago major*), zilte greppelrus (*Juncus ambiguus*), en late ogentroost (*Odontites vernus*). Daarentegen verschenen de zoute soorten gewoon kweldergras, kortarige zeekraal (*Salicornia europaea*), gerande schijnspurrie (*Spergularia maritima*), zilte schijnspurrie (*S. salina*), zeebies en schorrekruid (*Suaeda maritima*). De regressie van de vegetatie tussen 1986 en 1999 (in ca. 1/3 van de pq's) lijkt vooral door de 'normale' bodemdaling te zijn veroorzaakt (Eysink et al. 2000).

Vlak langs de oever is vooral de afslag van de kwelderrand (pq's IV 01, VI 01 en VII 01) oorzaak van de grote veranderingen in de vegetatie (zie als voorbeeld Fig. 11 en 12). Hier is de oorspronkelijke vegetatie volledig weggeslagen. In pq V 03 is de vegetatie van zeebies (*Scirpus maritimus*), hoger en dichter geworden. Daarmee gepaard gaand heeft opslibbing de bodemdaling op deze plek volledig gecompenseerd (Eysink et al. 2000). Bij pq V 06, gelegen op de duinvoet in een vegetatie van helm (*Ammophila arenaria*), is ook sprake geweest van erosie. Hier is een deel van de duinvoet afgeslagen. De soortensamenstelling is daardoor niet wezenlijk veranderd. Lokaal komen op de grens van kwelder en wad zones voor met riet (*Phragmites australis*) en zeebiesvelden. Dit is vooral het geval ter hoogte van raai V, alwaar deze bescherming bieden tegen kustafslag. Riet en zelfs zeebies verdragen geen zeewater maar komen wel voor onder brakke omstandigheden. Zij hebben hun bestaan mogelijk te danken aan het zoete drangwater uit de Oerderduinen.

Door de verschillende milieu-omstandigheden die op korte afstand van elkaar voorkomen, zijn er veel verschillende plantensoorten aanwezig. Het totale aantal plantensoorten bedraagt 124; daarvan zijn er 108 hogere planten en 16 lagere planten zoals mossen (bijlage 3). De spreiding is ook groot: op het wad zijn pq's gelegen met onder deze extreme omstandigheden nog slechts wat groenwier, maar op de overgang van kwelder en duin (de duinvoet) waar de invloed van de zee gering is, zijn de pq's het soortenrijkst en komen meer dan 30 soorten voor per pq van 4 m². De Rode Lijst-soorten geelhartje (*Linum catharticum*), armbloemige waterbies (*Eleocharis quinqueflora*), fraai duizendguldenkruid (*Centaureum pulchellum*), late ogentroost (*Odontites vernus* subsp. *serotinus*), Engels lepelblad (*Cochlearia officinalis* subsp. *anglica*) en zeealsem (*Artemisia maritima*) zijn in 1999 niet meer in de proefvlakken aangetroffen.

Uit Bijlage 3 blijkt dat ondanks bodemdaling en afnemend areaal (afslag) de verschillen in frequentie van plantensoorten tussen 1986 en 1999 over het geheel genomen minder groot zijn dan een beschouwing per pq doet vermoeden. Dit komt doordat de vegetatiezones in de richting van de duinvoet zijn opgeschoven. Halverwege de hoogtegradiënt (VI 03) schoof b.v. de zone met zeebies en akkerdistel (*Cirsium arvense*) 5-8 m en bovenin de hoogtegradiënt (VI 05) de gordel met zilte zegge (*Carex distans*) bij de duinvoet ca. 1 m landinwaarts. Als door voortgaande bodemdaling en kustafslag de verschillende vegetatiezones langs de smalle hoogtegradiënt naar boven opschuiven, zouden ze zich tenslotte kunnen 'stuklopen' tegen de duinvoet, waar dan geen plaats meer voor hen is.

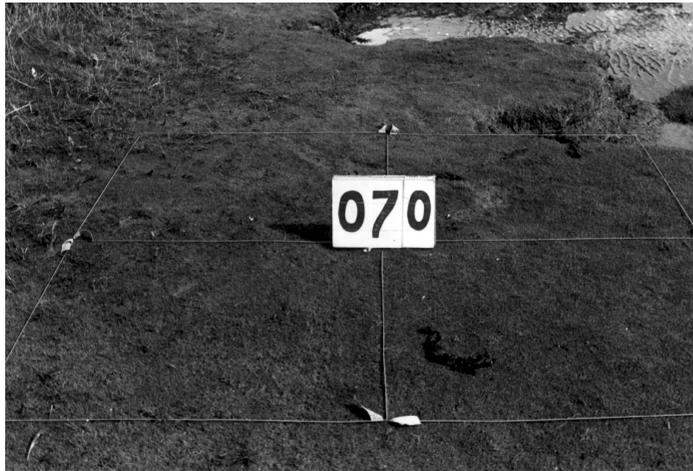
Onderschriften behorende bij de foto's op de volgende bladzijde

Figuur 11. Vegetatie 1986 (8 sept) van Raai VI pq 01. Vegetatie met een dominantie van gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*) en verder met o.a. melkkruid (*Glaux maritima*), gerande schijnspurrie (*Spergularia maritima*), zilte schijnspurrie (*S. salina*), rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en schorrekruid (*Suaeda maritima*); net op de rand van de kwelder.

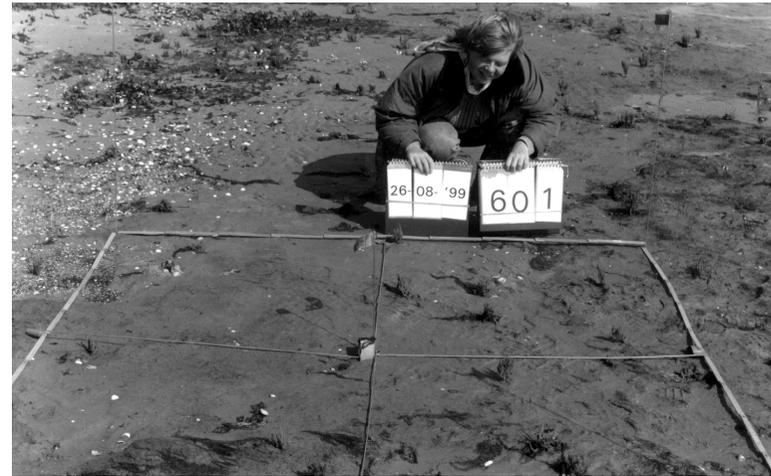
Figuur 12. Vegetatie 1999 (26 aug) van Raai VI pq 01. De kwelder is afgeslagen en is wad geworden. Groenwieren en schaars voorkomende kortarige zeekraal (*Salicornia europaea*) en langarige zeekraal (*S. procumbens*) bepalen nu het aspect.

Figuur 13. Vegetatie 1986 (9 sept) van Raai VII pq 03. Vegetatie met een dominantie van rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en zilte rus (*Juncus gerardi*) en verder met o.a. spiesmelde (*Atriplex prostrata*), fiongras (*Agrostis stolonifera*), zeeweegbree (*Plantago maritima*) en melkkruid (*Glaux maritima*).

Figuur 14. Vegetatie 1999 (24 aug) van Raai VII pq 03. Er heeft regressie van de vegetatie plaatsgevonden: nu domineren schorrekruid (*Suaeda maritima*) en gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*), vergezeld van spiesmelde (*Atriplex prostrata*), melkkruid (*Glaux maritima*) en kortarige zeekraal (*Salicornia europaea*).



Figuur 11



Figuur 12



Figuur 13



Figuur 14

4 Discussie

4.1 Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid

De nauwkeurigheid van de geometrische correctie en de betrouwbaarheid van de interpretatie bepalen in hoge mate de conclusies die uit de resultaten kunnen worden getrokken betreffende het gedrag van de kustlijn. De nauwkeurigheid in het bepalen van de pq-locatie en de herkenning van plantensoorten zijn van belang voor de conclusies betreffende de vegetatieveranderingen.

4.1.1 Nauwkeurigheid geometrische correctie

Enige objecten met scherpe grenzen verdeeld over het hele terrein zoals de fietspaden, de NAM-locatie en de drinkpoelen zijn geïnterpreteerd van de 1996 luchtfoto's om de nauwkeurigheid van de geometrische correcties te presenteren. Het kaartje met deze controlelijnen werd geprojecteerd op de luchtfoto's van de verschillende jaren (Bijlage 1). De geometrische correctie is onnauwkeurig wanneer de controlelijnen van het kaartje niet passen op de objecten van de foto. Op de foto's van 1992 na, pasten de controlelijnen goed op de luchtfoto's. De afwijking van de 1992-luchtfoto's wordt te groot geacht waardoor ze niet zijn gebruikt om de kustlijn te interpreteren.

De locatie van de pq's is ook op de luchtfotokaartjes geplot. In 1999 liggen alle eerste pq's op het wad, en de tweede pq's in de vegetatie. In 1986 liggen de eerste pq's van raai IV, VI en VII in de vegetatie en de eerste pq van raai V op het wad. Dit komt overeen met de analyse van vegetatieveranderingen in de pq's. De pq's op het wad bevatten zeekraal (*Salicornia* sp.) met lage bedekking en de pq's in de vegetatie hebben een vegetatiebedekking van 100%. De controleobjecten en de ligging van de pq's wezen uit dat de geometrische correctie van de foto's met uitzondering van 1992, nauwkeurig genoeg waren om de kustafslag te kwantificeren.

4.1.2 Luchtfoto-interpretatie

Als kustlijn is de grens van de vegetatie en het wad/zand aangehouden. Een enkele keer was deze grens niet eenduidig omdat de grijswaardenverschillen niet overal duidelijk waren en omdat de vegetatie op enkele plekken ook gradueel over kan gaan in wad door onder andere zeekraalvegetatie (Fig. 5). Ondersteund door veldkennis, kennis van remote-sensing, en de FC-luchtfoto's is zo goed mogelijk een grens getrokken waar de vlakdekkende vegetatie van het eiland begint. Kwantificering van de betrouwbaarheid van de interpretatie was niet mogelijk. Kartering van de grens met een nauwkeurig GPS in het veld zou in het zelfde jaar als de luchtfoto-opname moeten plaatsvinden. De betrouwbaarheid van de interpretatie is inzichtelijk gemaakt door de kustlijnkarten op de foto's te projecteren zodat iedereen kan achterhalen hoe de interpretatie heeft plaatsgevonden (Bijlage 1).

4.1.3 Plaatsbepaling pq's

In 1986 zijn van de met piketten gemarkeerde middelpunten van alle pq's door Rijkswaterstaat, Dienstkring Waddeneilanden, Kantoor Ameland, met optische middelen de x-, y- en z-coördinaat (plaats en hoogte) bepaald. Voor het monitoringprogramma dat in 1989 aanving, zijn bij in dit programma opgenomen pq's, dus niet bij alle pq's, extra markeringen aangebracht (raai IV en VII). Naast de piket uit 1986 werd een ijzeren buis diep in de grond geslagen, alsmede 1 m buiten de pq aan de westkant een noord- en een zuidpaal van hergebruikt plastic aangebracht. In 1988 zijn door de NAM x-, y- en z-coördinaten van raai IV en VII nauwkeurig bepaald.

In 1999 konden zodoende de in het monitoringprogramma opgenomen proefvlakken raai IV pq's 01 t/m 06 en raai VII pq's 01 t/m 06 gemakkelijk worden teruggevonden. De niet in het

monitoringprogramma opgenomen proefvlakken raai V pq's 01 t/m 06 en raai VI pq's 01 t/m 05, moesten dus opnieuw worden gelokaliseerd. Deze plaatsbepaling is uitgevoerd door de NAM m.b.v. de coördinaten uit 1986 en een Global Positioning System (GPS). De oorspronkelijke piketten uit 1986 van raai V pq's 02, 03 en 04 werden op deze wijze teruggevonden. De met GPS teruggevonden lokatie van de x- en y-coördinaten uit 1986 lag 80 cm westelijk van de teruggevonden piketten. Deze correctie is daarna toegepast bij de opnieuw uitgezette piketten van raai V pq's 01, 05 en 06, alsmede bij raai VI pq's 01 t/m 05. De nieuw aangelegde pq's zijn nu weer met genummerde piketten en met een extra ijzeren buis als verklikker, gemarkeerd. Tenslotte zijn van raai V en VI door de NAM opnieuw nauwkeurig de x-, y- en z-coördinaten bepaald. De pq's van raai IV en VII liggen daarmee in 1999 op precies dezelfde plek als in 1986. Door het terugvinden van pikettes uit 1986 werd aangenomen dat de pq's van raai V en VI ook op dezelfde plek lagen. Veranderingen in vegetatie zijn dus niet veroorzaakt door afwijkingen in de opnamelokatie.

4.1.4 Herkenning plantensoorten

In 1986 en in 1999 zijn de pq's opgenomen door dezelfde persoon, in het zelfde jaargetijde en met de zelfde methode, wat de kwaliteit en vergelijkbaarheid van de opnamen bevordert. Er kwamen geen indeterminaten voor. Exemplaren van moeilijk determineerbare soorten hogere planten zijn verzameld en zijn voor controle op Alterra beschikbaar. Mossen en korstmossen zijn in alle gevallen verzameld en bewaard. De in de hoger gelegen vegetaties schaars voorkomende mossen zijn door Dr. G.M. Dirkse, en de korstmossen door Dr. H.F. van Dobben nagedetermineerd. Geen taxon is bij de bewerking van de data weggelaten.

Hoewel niet altijd gebruikelijk, zijn bij ons onderzoek wel de beide soorten zeekraal *Salicornia procumbens* en *S. europaea* onderscheiden. Deze onderscheiden soorten zijn belangrijk om hun specifieke ecologische indicatiewaarde: langarige zeekraal (*S. procumbens*) algemeen voorkomend op kaal slik en in slijkgras-kweldergrasvegetaties, voornamelijk beneden de gemiddeld-hoogwaterlijn (GHW), en kortarige (*S. europaea*) voornamelijk boven GHW groeiend (Van der Meijden et al. 1990). De in de laaggelegen vegetaties van het wad voorkomende algen van de geslachten zeesla (*Ulva*), darmwier (*Enteromorpha*) en nopjeswier (*Vaucheria*) zijn gemakshalve als 'groenwieren' genoteerd.

Opgemerkt moet worden dat waterbies-(onder)soorten niet altijd even goed zijn te onderscheiden in vegetatieve toestand. Van gewone waterbies (*E. palustris* subsp. *palustris*) en slanke waterbies (*E. p.* subsp. *uniglumis*) is altijd wel een exemplaar in de pq's aangetroffen met onderst(e) kafje(s) waardoor een onderscheid tussen de ondersoorten mogelijk was. In 1986 zijn nog gevonden veelstengelige waterbies (*E. multicaulis*) en armbloemige waterbies (*E. quinqueflora*). Deze laatste soorten zijn in 1999 niet gezien. Dit kan veroorzaakt zijn doordat een deel van de kwelderrand door rundvee wordt begraasd, en daardoor beide soorten in vegetatieve toestand niet zijn herkend. Zandpaardebloem (*Taraxacum laevigatum*) is in 1986 niet onderscheiden naast gewone paardebloem (*T. sectio Vulgaria*). Van *Plantago major* is in 1986 subsp. *pleiosperma* (getande weegbree) en in 1999 subsp. *major* (grote weegbree) gevonden; mogelijk is beide keren hetzelfde taxon bedoeld. Moerasrolklaver (*Lotus uliginosus*) en Gewone rolklaver (*L. corniculatus*) komen beide in de bestudeerde vegetaties voor en zijn niet altijd even gemakkelijk van elkaar te onderscheiden; niet alle opgegeven kenmerken zijn even duidelijk aanwezig. Mogelijk was er in 1999 in raai VI pq 04 sprake van de bastaard van kweek en strandkweek (*Elymus repens* x *athericus*). Zeebies (heen) is hier *Scirpus maritimus* var. *compactus* genoemd omdat het hier de variëteit met compacte bloeiwijzen van brakke omstandigheden betreft.

4.2 Resultaten

De vastgestelde snelheid van afslag en aanwas is een gemiddelde over een periode van 10 jaar. Tot 1979 zijn er in de tussenliggende jaren geen luchtfoto's beschikbaar; na 1979 echter wel. Naast de in dit project gebruikte foto's heeft de Topografische Dienst luchtfoto's van 1980, 1981, 1983, 1989, 1990 en 1995. Het gebruik van deze foto's is echter beperkt vanwege de geometrische nauwkeurigheid van de gecorrigeerde luchtfoto's (3 m). Over 10 jaar gezien kan daarmee een afslag c.q. aanwas van meer

dan 0,3 m per jaar worden aangetoond. Om een werkelijke afslag van ca. 1 m per jaar aan te kunnen tonen moet er dus minimaal 4 jaar tussen de opeenvolgende luchtfoto's zitten. Dit betekent dat alleen 1990 nog gebruikt zou kunnen worden voor het vaststellen van veranderingen. Gezien de vastgestelde bodemdaling is het echter zinvoller om luchtfoto's vanaf 2000 te gebruiken.

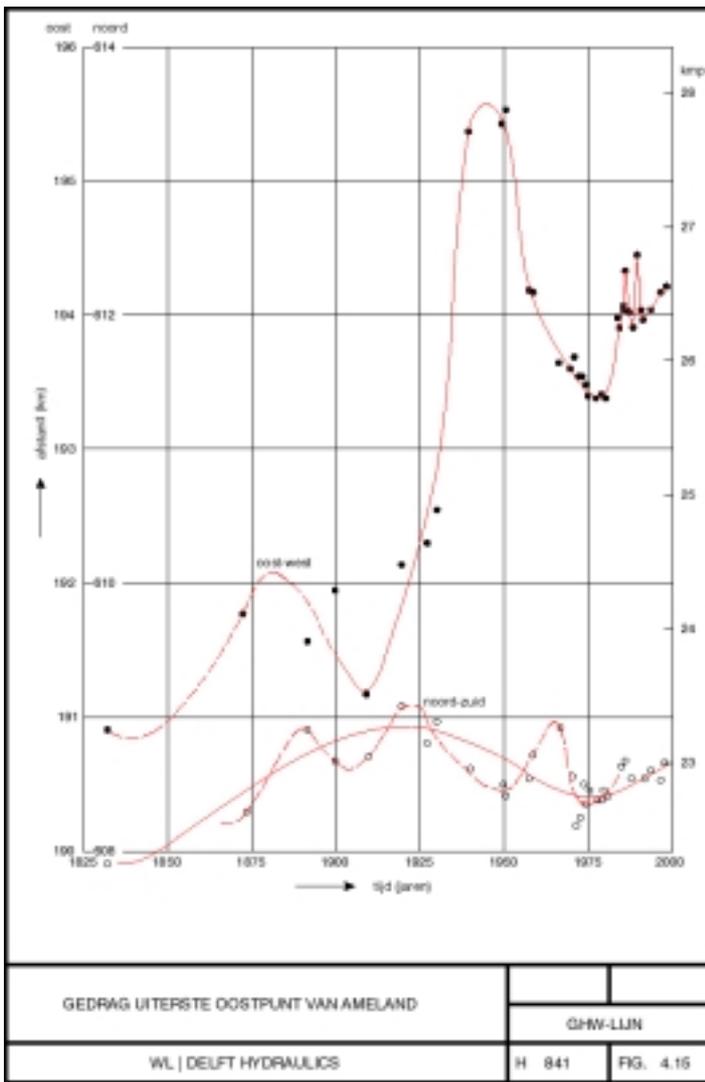
Het omslagmoment van netto aanwas naar afslag werd vastgesteld rond 1979. In theorie kan dit moment overal tussen 1970 en 1985 liggen. Deze uitersten zijn echter niet aannemelijk omdat er dan onwaarschijnlijk grote afslag en aanwas zou hebben plaatsgevonden. De Topografische Dienst beschikt over luchtfoto's van 1983 die de periode waarin omslag heeft plaatsgevonden zou kunnen beperken. Zij kunnen evenwel niet worden gebruikt voor het vaststellen van de snelheid omdat zij maar 3 jaar voorafgaand aan de foto's van 1986 zijn gemaakt.

De aangetoonde afslag en aanwas is een gemiddelde over de kuststrook. Plaatsgewijze afslag en aanwas kunnen elkaar dus compenseren. Deze compensatie is gedeeltelijk ondervangen door een analyse van veranderingen in 5 verschillende delen van de kust. Plaatselijk kan de snelheid van aanwas of afslag dus groter zijn dan van het betreffende deel is vastgesteld.

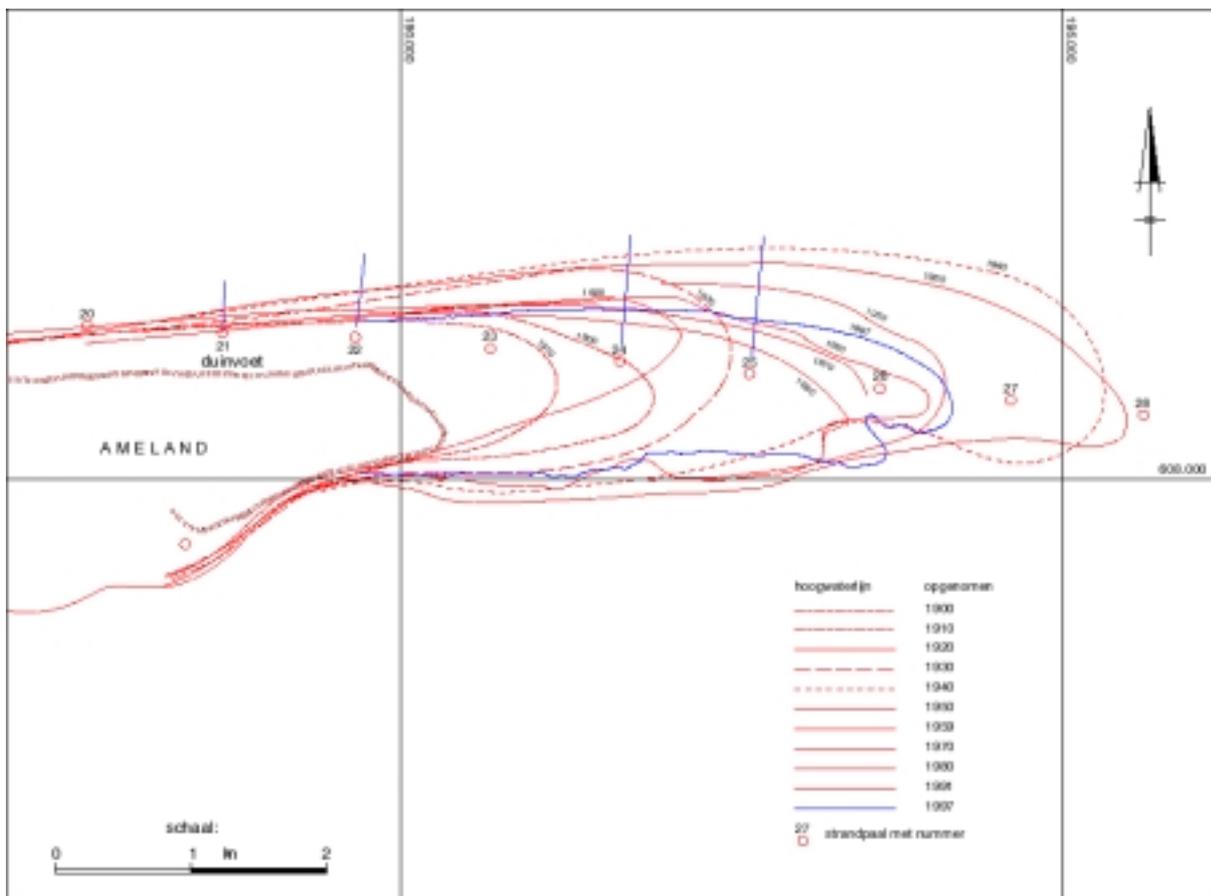
4.3 Analyse oorzaken kustafslag

Kustafslag vindt plaats vanaf een moment ruim voor aanvang van de gaswinning in 1986. De Honkende in de afgelopen eeuw een grote mate van bewegelijkheid (Fig. 15 en 16); het 'kwispelen van de staart van Ameland' genoemd. Het laatste omslagpunt van aanwas naar afslag rond 1979, valt samen met een omslagpunt van de verplaatsing van De Hon afgebeeld in figuur 15. De periodiciteit van aanwas en afslag kan tevens samenhangen met het migreren van enkele geulen in het gebied (Eysink et al. 2000). De mogelijke invloed van bodemdaling werd daarbij niet uitgesloten.

Klifvorming is op zichzelf geen onnatuurlijk proces. Op Terschelling vindt bijvoorbeeld ook afslag van de kwelders plaats (Ehlers 1988). In de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (Oost et al. 1998, Eysink et al. 2000) wordt nader ingegaan op de vorming van kwelderklifjes.



Figuur 15. Gedrag van de uiterste oostpunt van Ameland; verplaatsing van de gemiddelde hoogwaterlijn in oost-westelijke richting en in noord-zuidelijke richting (naar: Eysink et al. 2000).



Figuur 16. Ontwikkeling van de oostpunt van Ameland tussen 1900 en 1997; ook wel het 'kwispelen van de staart van Ameland' genoemd (naar: Eysink et al. 2000).

4.4 Mitigerende maatregelen

Door kustafslag wordt de kwelderrand steeds smaller. De beweidingsdruk neemt hierdoor mogelijk toe, en de ruimte voor doorgang ('kwelderpad') wordt misschien beperkt. Ook de vegetatie komt tenslotte door afslag mogelijk onder druk te staan (Par. 3.2). Dit zou de vraag op kunnen roepen naar mitigerende maatregelen die de kustafslag zouden kunnen tegengaan. Hierbij valt te denken aan een oeververdediging in de vorm van bijvoorbeeld een stenen beschoeiing of een rijzendam. Voor dit deel van Ameland en ook elders in het waddengebied, is het echter staand beleid om bij dergelijke natuurgebieden niet in te grijpen in de natuurlijke ontwikkeling. Mitigerende maatregelen zijn daarom nu niet aan de orde.

5 Conclusies en aanbevelingen

Er vindt overeenkomstig de indruk van It Fryske Gea afslag plaats van de kuststrook tussen Nieuwlandsrijd en De Hon. Deze afslag bedraagt over een lengte van 2 km ca. 3,1 ha over de laatste 10 jaar (1986-1996). In de 7 jaar daarvoor (1979-1986) is de afslag 2,8 ha. In de periode 1959-1979 vond er aanwas plaats en wel van 9,1 ha. Afslag vond dus reeds plaats voor de aanvang van de gaswinning in 1986. De gemiddelde snelheid van afslag is in het meest westelijke (deel 1) en het meest oostelijke deel (deel 5) toegenomen na 1986, in tegenstelling tot de delen 3 en 4 (midden) waar de gemiddelde snelheid juist is afgenomen. Over de gehele kuststrook gezien neemt de gemiddelde snelheid van afslag af van 1,91 m/jaar naar 1,49 m/jaar na 1986. De situatie na 1996 kon niet worden beoordeeld wegens afwezigheid van adequate luchtfoto's.

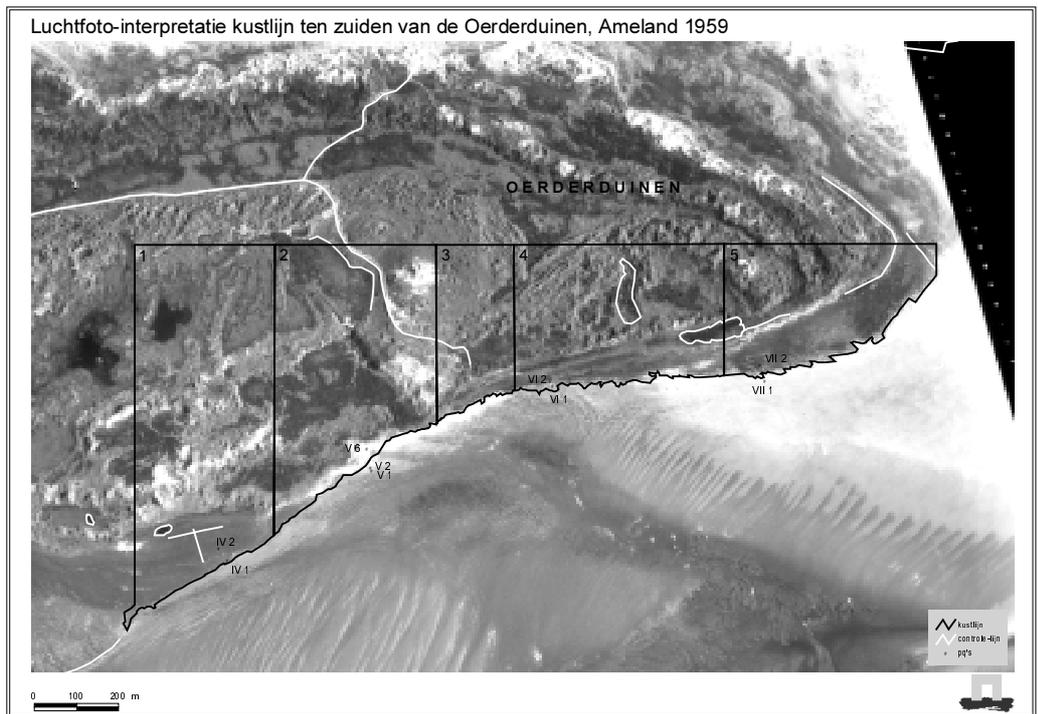
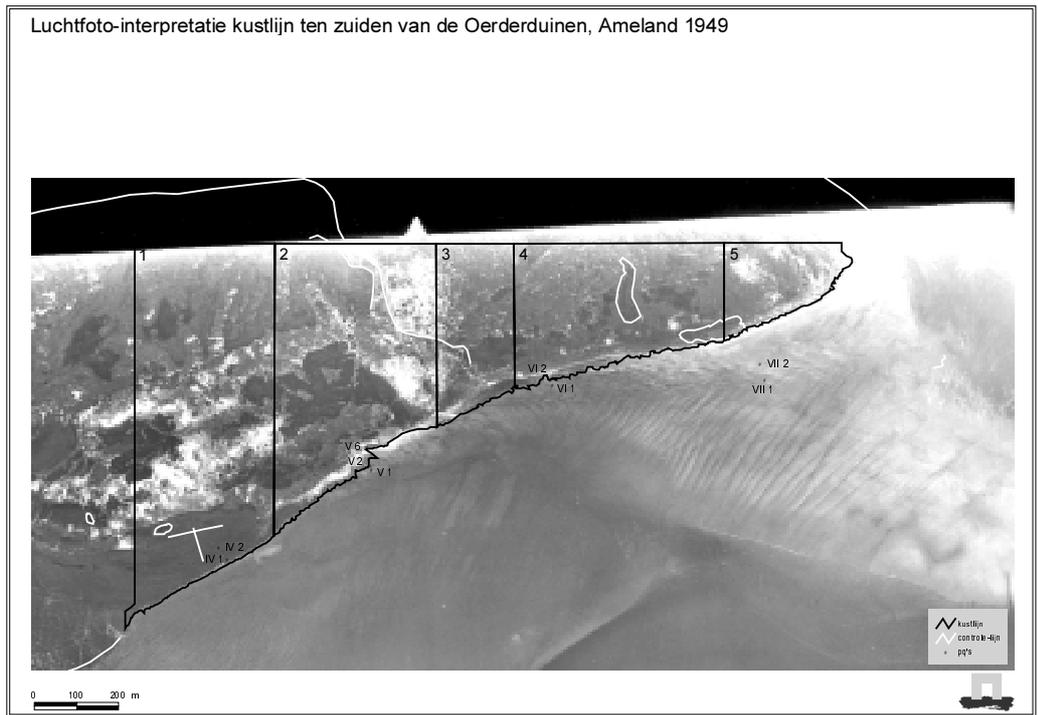
Een direct gevolg van kustafslag is dat de vegetatie van de eerste pq's gelegen aan de wadkant is weggeslagen. Kweldergrasvegetatie is wad geworden. Verder is de algemene indruk van de vegetatieveranderingen dat de vegetatie zouter en natter is geworden.

Concluderend kan worden gesteld dat het optreden van kustafslag niet door gaswinning lijkt te zijn veroorzaakt of te zijn versneld. Afslag vindt voor aanvang van de winning in 1986 plaats, en de snelheid van afslag neemt na 1986 gemiddeld over de hele kuststrook niet toe. Het lijkt een natuurlijk proces dat in lijn is met de bevindingen van het WL en Alterra over de dynamiek van het oostelijk deel van Ameland (Eysink et al. 2000). De conclusies gelden echter tot en met 1996, het eerste decennium na gaswinning. Aanbevolen wordt ook mogelijke veranderingen in snelheid na 1996 vast te stellen wanneer de benodigde luchtfoto's beschikbaar komen. Tevens zou meer onderzoek gedaan kunnen worden naar de relatie van kustafslag met aan- en afslibbing van het voorliggende wad en de dynamiek van De Hon.

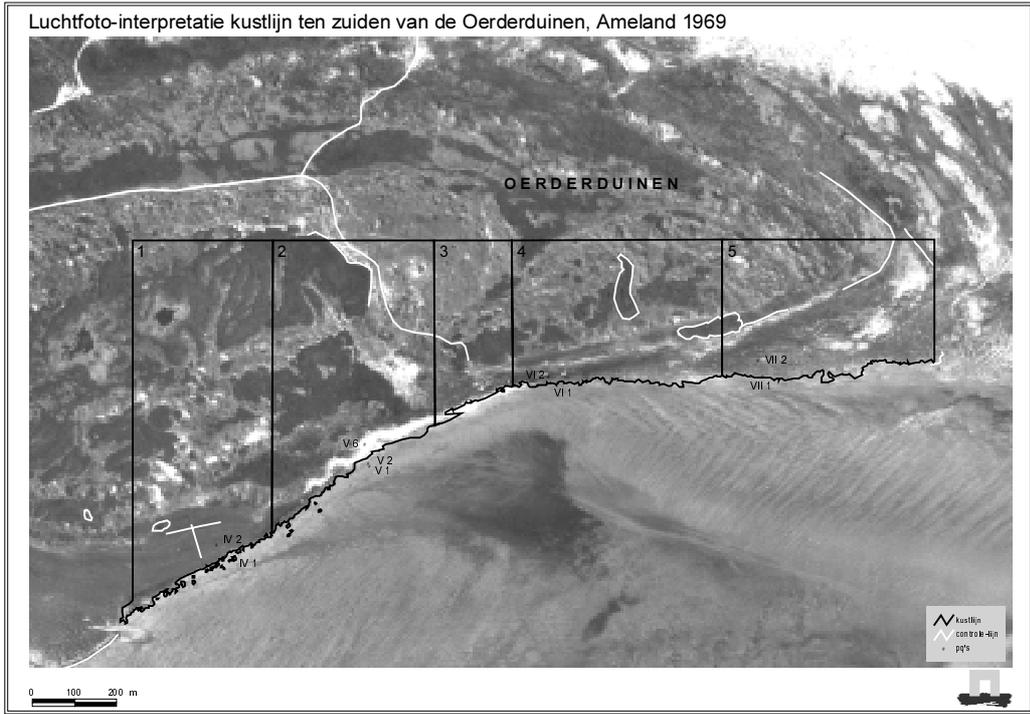
Literatuurlijst

- Anonymus, 1987. Gaswinning op Ameland-oost; effecten van de bodemdaling. Waterloopkundig Laboratorium, Delft. 57 p. + 4 bijl.
- Anonymus, 1992. Botanisch Basisregister 1991. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg. 79 p.
- Dankers, N., K.S. Dijkema, G. Londo & P.A. Slim, 1987. De ecologische effecten van bodemdaling op Ameland. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 90 p.
- Dirkse, G.M., 1987. De natuur van het Nederlandse bos; resultaten van de overige statistieken bosterrein (natuurwetenschappelijke gegevens) van de Vierde Bosstatistiek. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 217 p.
- Ehlers, J., 1988. Morphologische Veränderungen auf der Wattseite der Barriere-Inseln des Wattenmeeres. Die Küste 47: 3-30.
- Eysink, W.D., K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, P.A. Slim, C.J. Smit, J. de Vlas, M.E. Sanders, J. Wiertz & E.P.A.G. Schouwenberg, 2000. Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-oost; Evaluatie na 13 jaar gaswinning. NAM, Assen. In druk.
- Hennekens, S.M., 1995. TURBO(VEG); programmatuur voor invoer, verwerking en presentatie van vegetatiekundige gegevens. IBN-DLO/Giesen & Geurts, Wageningen. 71 p. + bijl.
- Hill, M.O., 1979. TWINSPAN -- A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca. 90 p.
- Houtenbos, A.P.E.M., 1998. Bodemdaling Ameland; 1986-1998. NAM-rapport: 199803000426. NAM, Assen. 8 p. + 4 bijl.
- Houtenbos, A.P.E.M., 1999. Bodemdaling Ameland; 1986-1999. NAM-rapport 199905000273. NAM, Assen. 10 p. + 6 bijl.
- Meijden, R. van der, E.J. Weeda, W.J. Holverda & P.H. Hovenkamp, 1990. Heukels' Flora van Nederland. Wolters, Groningen. 662 p.
- Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh, 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. NAM, Assen. 372 p.

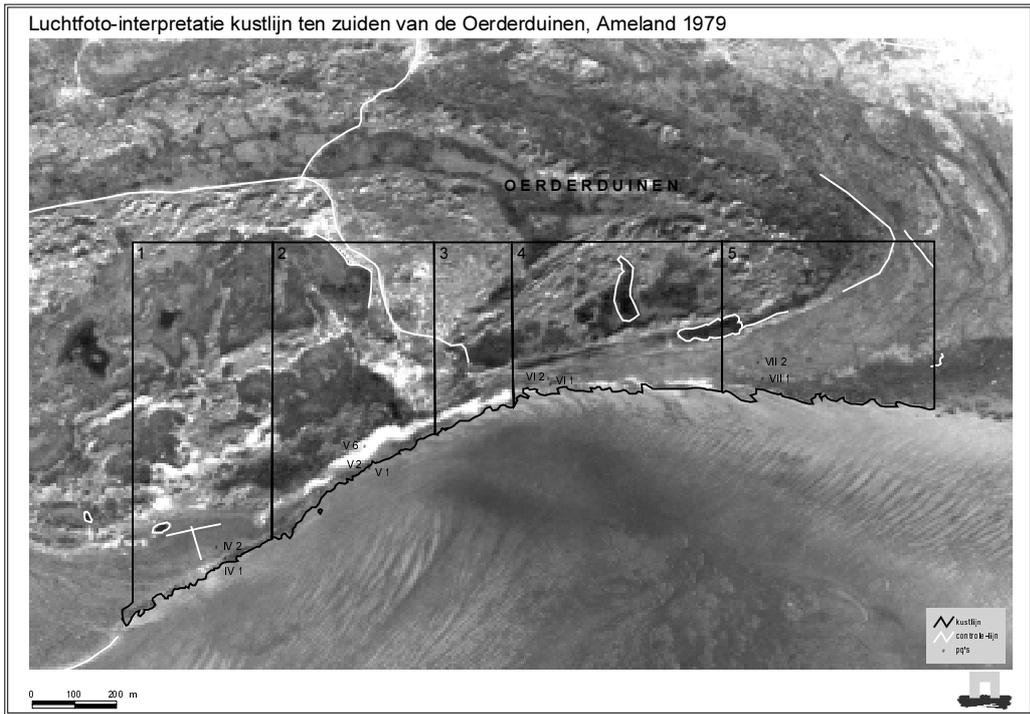
Bijlage 1. Luchtfoto's met kustlijninterpretatie



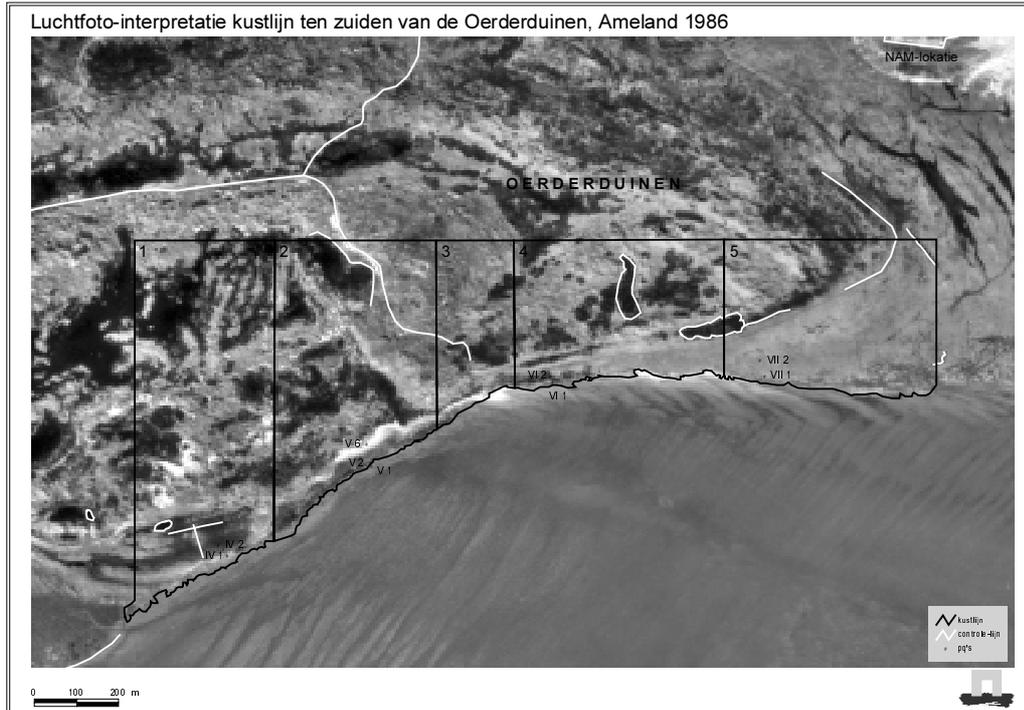
Luchtfoto-interpretatie kustlijn ten zuiden van de Oerderduinen, Ameland 1969



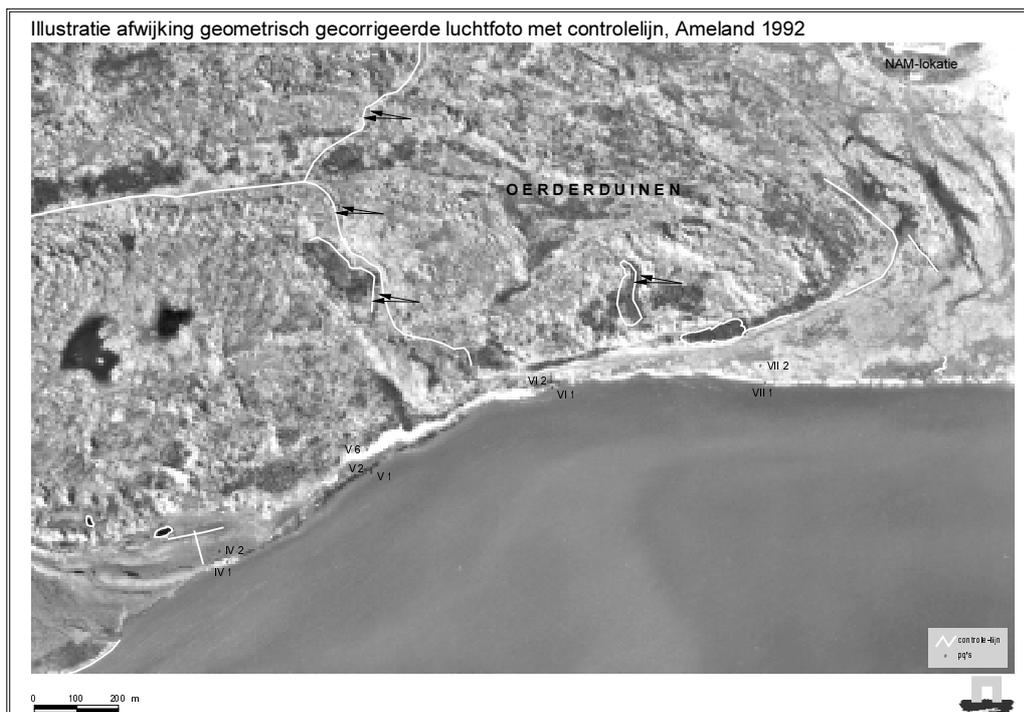
Luchtfoto-interpretatie kustlijn ten zuiden van de Oerderduinen, Ameland 1979



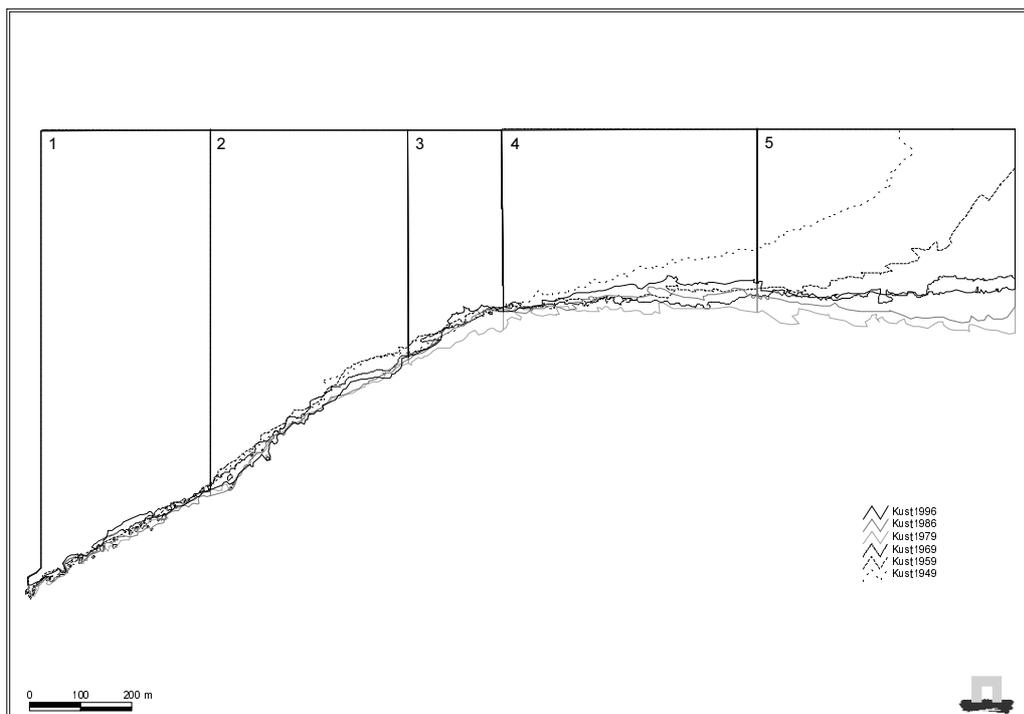
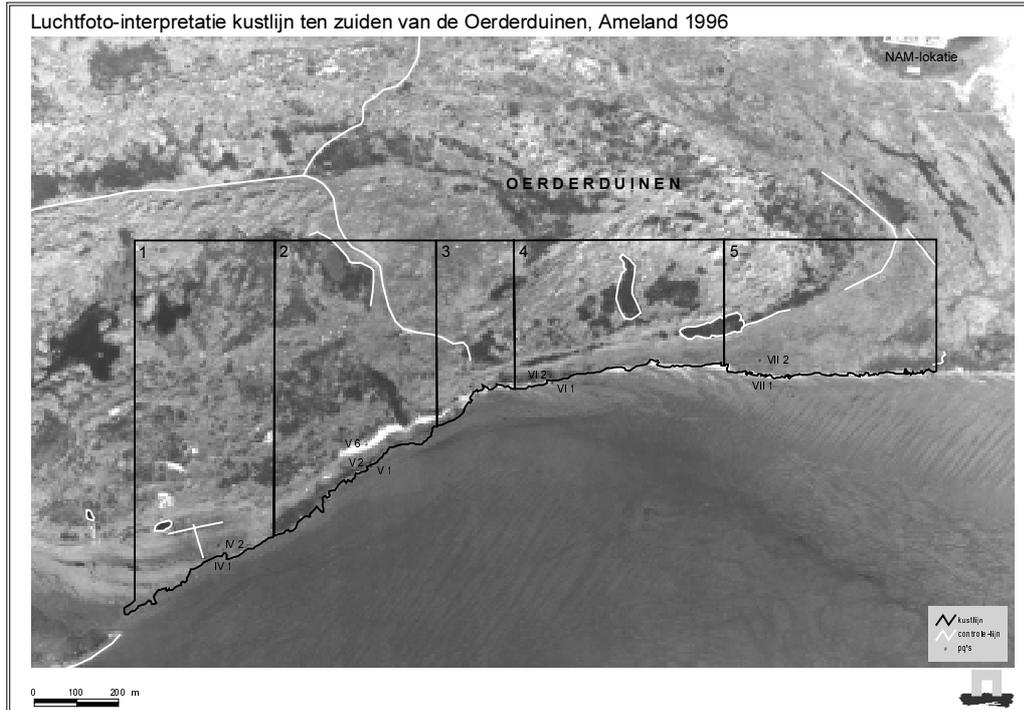
Luchtfoto-interpretatie kustlijn ten zuiden van de Oerderduinen, Ameland 1986



Illustratie afwijking geometrisch gecorrigeerde luchtfoto met controlelijn, Ameland 1992



Luchtfoto-interpretatie kustlijn ten zuiden van de Oerderduinen, Ameland 1996



Bijlage 2. Clusteranalyse vegetatie-opnamen

* Raainummers in tabel moeten als Romeinse cijfers worden gelezen.

** De vegetatie van de vette pq-nummers, tevens versprongen, is in de loop van de tijd veranderd.

Jaar	11	1	111	11	11	11111111	111	11	1111	1	11	111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
Maand	99	9	999	99	99	99999999	999	99	9999	9	99	999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
Dag	89	8	899	89	89	88889999	899	88	8999	8	89	899	8899	8889	818	9999	9999	9999
	69	6	699	69	69	66669999	699	66	6999	6	69	699	6699	6669	616	9999	9999	9999
	98	9	988	88	98	89998888	888	99	9888	9	98	988	9988	8998	818	8888	8888	8888
	12	0	022	22	12	21112222	322	00	0222	0	02	022	0022	2012	312	2222	2222	2222
	05	9	964	36	05	3000556	056	99	8677	8	87	944	8944	3906	013	5664	5664	5664
Raainummer*	44	7	667	55	44	5444445	545	77	6566	6	66	777	6777	5745	515	4567	4567	4567
Pq-nummer**	00	0	00	00	00	000000	00	0	0	0	00	00	0	0	0	0	0	0
	66	0	550	66	55	5034345	404	00	2020	0	44	220	0404	2002	0	0	0000	0000
Z-coördinaat	33	2	221	32	22	1112121	111	11	1111	1	11	111	1111	1111	110	0000	0000	0000
	64	1	329	05	54	8782718	665	56	2124	6	87	645	4433	0020	118	8796	8796	8796
	97	1	856	81	98	9262405	122	55	4732	0	81	098	5059	5672	517	4399	4399	4399
aantal soorten	23	1	232	1	22	1112111	211	1	1	1	1	1	11	1	1	1	1	1
	41	6	421	15	98	4491879	233	98	0254	0	59	254	2168	5945	212	1331	1331	1331
Cirsium arvense	.2	.	33	32	..	.....3	...	..	...	5	52	...	...	...	...	...	...	Akkerdistel
Urtica dioica	..	.	21	..	..	.....	...	..	...	1	1	...	...	...	...	...	...	Grote brandnetel
Ammophila arenaria	33	2	322	72	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Helm
Arenaria serpyll ssp serpyll	..	1	..	1	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewone zandmuur
Cardamine hirsuta	11	1	..	1	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Kleine veldkers
Carex arenaria	24	3	323	21	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zandzegge
Galium mollugo	43	2	..	2	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Glad walstro
Senecio sylvaticus	1	1	11	1	..	.....	...	..	...	1	..	...	...	...	...	...	...	Boskruiskruid
Senecio jacobaea ssp dunens	2	..	11	1	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Duinkruiskruid
Sonchus arvensis var mariti	..	3	..	21	..	.....	...	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zeemelkdistel
Plantago coronopus	2	2	22	..	..	.....2	2	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Hertshoornweegbree
Pottia heimii	..	..	11	..	..	.....	1	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zilt kleimos
Bupleurum tenuissimum	..	..	11	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Fijn goudscherm
Cerastium fontanum ssp vul	12	1	233	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewone hoornbloem
Galium aparine	..	..	2	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Kleefkruid
Leontodon saxatilis	1	2	1	1	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Kleine leeuwetand
Linaria vulgaris	..	..	1	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Vlasbekje
Linum catharticum	..	..	3	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Geelhartje
Poa pratensis	43	1	533	..	3	..2312	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Veldbeemdgras
Rumex crispus	..	..	12	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Krulzuring
Vicia lathyroides	1	1	11	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Lathyruswikke
Lotus corniculatus s.l.	..	..	4	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gew. en Smalle rolklaver
Cerastium semidecandrum	..	1	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zandhoornbloem
Cochlearia danica	..	1	1	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Deens lepelblad
Sedum acre	..	3	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Muurpeper
Tortula ruralis	..	6	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gr muur- en duinsterretje
Polygonum aviculare	..	..	21	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Varkensgras
Sagina maritima	..	..	1	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zeevetmuur
Sagina nodosa	..	..	2	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Sierlijke vetmuur
Rosa canina	..	..	1	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Hondsroos
Bryum species	..	..	11	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Knikmos (G)
Stellaria media	..	..	1	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Vogelmuur
Cladonia species	..	..	1	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Rendiermos (G)
Rubus caesius	22	..	..	..	..	.....1	1	..	...	1	..	...	...	...	...	...	...	Dauwbraam
Rhytidadelphus squarrosus	65	3	1	..	1	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewoon haakmos
Elymus repens	11	1	1	..	..	.....	3	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Kweek
Holcus lanatus	23	1	..	..	33	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gestreepte witbol
Agrostis capillaris	76	1	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewoon struisgras
Bellis perennis	1	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Madeliefje
Festuca ovina	23	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Schapegras
Galium verum	23	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Geel walstro
Hypochaeris radicata	34	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewoon biggekruid
Luzula campestris	33	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewone veldbies
Plantago lanceolata	34	1	2	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Smalle weegbree
Rumex acetosella	22	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Schapezuring
Taraxacum S. Vulgaria	21	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewone paardebloem
Hieracium umbellatum	2	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Schermhavikskruid
Taraxacum laevigatum	1	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zandpaardebloem
Bromus hordeaceus	1	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zachte dravik s.l.
Brachythecium albicans	1	..	..	..	..	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Bleek dikkopmos
Elymus athericus	2	2	437	11	..	.....1	15	3	31	5	76	888	..	..	..	..	..	Strandkweek
Festuca rubra ssp commuta	36	6	435	1	44	447375	67	77	..	..	47	55	23	1	3	1	1	Rood zwenkgras s.s.
Eurhynchium praelongum	..	..	215	..	..	.....2	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Fijn snavelmos
Trifolium repens	13	2	222	..	1	142212	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Witte klaver
Poa trivialis	..	..	31	..	..	.....621	..	..	...	1	..	...	...	...	...	...	...	Ruw beemdgras
Lolium perenne	1	..	..	..	..	.....2	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Engels raai gras
Plantago major ssp major	..	..	2	..	..	.....4	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Grote weegbree s.s.
Agrostis stolonifera	..	1	574	..	3	6865855	455	34	2	1	23	..	..	..	..	..	..	Fioringras
Carex distans	..	..	3	..	..	.....22	32	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Zilte zegge
Calliergonella cuspidata	..	..	1	..	31	.....1	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewoon puntmos
Anthoxanthum odoratum	2	..	..	..	35	.....	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Gewoon reukgras
Cynosurus cristatus	2	..	..	..	33	.....1	..	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Kamgras
Eleocharis quinqueflora	..	..	..	..	3	.....	1	..	...	..	..	...	...	...	...	...	...	Armbloemige waterbies

hoogte in m + NAP

Bijlage 3. Overzicht van alle waargenomen plantensoorten en frequenties in 23 pq's van raai IV t/m VII (1986 & 1999), in de kuststrook Het Oerd en de Oerderduinen.

Wetenschappelijke naam	Aantal aantal vondsten in: 1986	Aantal 1999	Nederlandse naam
<i>Ammophila arenaria</i>	4	4	Helm
<i>Agrostis capillaris</i>	1	1	Gewoon struisgras
<i>Agrostis stolonifera</i>	12	10	Fioringras
<i>Amblystegium varium</i>	2	0	Oever-pluisdraadmos
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	1	2	Gewoon reukgras
<i>Arenaria serpyllifolia</i> ssp. <i>serpyllifolia</i>	2	0	Gewone zandmuur
<i>Artemisia maritima</i>	1	0	Zeealsem
<i>Aster tripolium</i>	7	1	Zulte
<i>Atriplex portulacoides</i>	2	2	Gewone zoutmelde
<i>Atriplex prostrata</i> var. <i>prostrata</i>	10	9	Var. <i>prostrata</i> v. Spijmelde
<i>Bellis perennis</i>	1	0	Madeliefje
<i>Brachythecium albicans</i>	0	1	Bleek dikkopmos
<i>Brachythecium mildeanum</i>	1	1	Kwelmoeras-dikkopmos
<i>Bromus hordeaceus</i>	0	1	Zachte dravik s.l.
<i>Bryum species</i>	0	2	Knikmos (G)
<i>Bupleurum tenuissimum</i>	1	1	Fijn goudscherm
<i>Calliergonella cuspidata</i>	2	2	Gewoon puntmos
<i>Campylium polygamum</i>	0	1	Gewoon goudmos
<i>Cardamine hirsuta</i>	2	1	Kleine veldkers
<i>Cardamine pratensis</i>	1	1	Pinksterbloem
<i>Carex arenaria</i>	4	4	Zandzegge
<i>Carex distans</i>	3	4	Zilte zegge
<i>Carex nigra</i>	3	3	Zwarte zegge
<i>Carex panicea</i>	1	1	Blauwe zegge
<i>Centaurium pulchellum</i>	1	0	Fraai duizendguldenkruid
<i>Cerastium fontanum</i> ssp. <i>vulgare</i>	3	3	Gewone hoornbloem
<i>Cerastium semidecandrum</i>	1	0	Zandhoornbloem
<i>Cirsium arvense</i>	4	5	Akkerdistel
<i>Cirsium palustre</i>	0	1	Kale jonker
<i>Cirsium vulgare</i>	1	0	Speerdistel
<i>Cladonia species</i>	0	1	Rendiermos (G)
<i>Cochlearia danica</i>	1	1	Deens lepelblad
<i>Cochlearia officinalis</i> ssp. <i>anglica</i>	2	0	Engels lepelblad
<i>Cynosurus cristatus</i>	1	3	Kamgras
<i>Danthonia decumbens</i>	0	1	Tandjesgras
<i>Drepanocladus aduncus</i>	2	0	Gewoon sikkelmos
<i>Eleocharis multicaulis</i>	1	0	Veelstengelige waterbies
<i>Eleocharis palustris</i> ssp. <i>palustris</i>	1	1	Gewone waterbies
<i>Eleocharis palustris</i> ssp. <i>uniglumis</i>	3	4	Slanke waterbies
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	2	0	Armbloemige waterbies
<i>Elymus athericus</i>	9	9	Strandkweek
<i>Elymus repens</i>	2	2	Kweek
<i>Eriophorum angustifolium</i>	0	1	Veenpluis
<i>Eurhynchium praelongum</i>	3	4	Fijn snavelmos
<i>Festuca ovina</i>	1	1	Schapegras
<i>Festuca rubra</i> ssp. <i>commutata</i>	14	11	Rood zwenkgras s.s.
<i>Galium aparine</i>	1	0	Kleefkruid
<i>Galium mollugo</i>	3	1	Glad walstro
<i>Galium palustre</i>	1	1	Moeraswalstro
<i>Galium verum</i>	1	1	Geel walstro
<i>Glaux maritima</i>	12	7	Melkkruid
Groenwieren	2	4	Groenwieren
<i>Hieracium umbellatum</i>	0	1	Schermhavikskruid
<i>Holcus lanatus</i>	3	2	Gestreepte witbol
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	1	1	Gewone waternavel
<i>Hypochaeris radicata</i>	1	1	Gewoon biggekruid
<i>Juncus ambiguus</i>	3	1	Zilte greppelrus
<i>Juncus articulatus</i>	5	3	Zomprus
<i>Juncus gerardi</i>	11	11	Zilte rus
<i>Juncus maritimus</i>	1	1	Zeerus
<i>Leontodon autumnalis</i>	4	4	Vertakte leeuwetand
<i>Leontodon saxatilis</i>	4	1	Kleine leeuwetand
<i>Limonium vulgare</i>	3	0	Lamsoor
<i>Linaria vulgaris</i>	1	0	Vlasbekje
<i>Linum catharticum</i>	1	0	Geelhartje
<i>Lolium perenne</i>	0	2	Engels raigras
<i>Lophocolea bidentata</i>	1	0	Gewoon kantmos
<i>Lotus corniculatus</i> s.l.	1	0	Gewone en Smalle rolklaver
<i>Lotus uliginosus</i>	1	1	Moerasrolklaver

<i>Luzula campestris</i>	1	1	Gewone veldbies
<i>Matricaria maritima</i>	2	0	Reukeloze kamille
<i>Mentha aquatica</i>	1	1	Watermunt
<i>Odontites vernus</i> ssp. <i>serotinus</i>	2	0	Late ogentroost
<i>Parapholis strigosa</i>	4	3	Dunstaart
<i>Pellia species</i>	1	0	Pellia (G)
<i>Phragmites australis</i>	1	2	Riet
<i>Plantago coronopus</i>	4	2	Hertshoornweegbree
<i>Plantago lanceolata</i>	1	2	Smalle weegbree
<i>Plantago major</i> ssp. <i>major</i>	0	2	Grote weegbree s.s.
<i>Plantago major</i> ssp. <i>pleiosperma</i>	3	0	Getande weegbree
<i>Plantago maritima</i>	8	4	Zeeweegbree
<i>Poa annua</i>	1	1	Straatgras
<i>Poa pratensis</i>	5	6	Veldbeemdgras
<i>Poa trivialis</i>	4	2	Ruw beemdgras
<i>Polygonum aviculare</i> *	0	2	Varkensgras
<i>Potentilla anserina</i>	7	5	Zilverschoon
<i>Pottia heimii</i>	1	2	Zilt kleimos
<i>Puccinellia distans</i> ssp. <i>distans</i>	1	0	Stomp kweldergras s.s.
<i>Puccinellia maritima</i>	10	5	Gewoon kweldergras
<i>Ranunculus acris</i>	1	0	Scherpe boterbloem
<i>Ranunculus flammula</i>	1	1	Egelboterbloem
<i>Rhynchospora squarrosa</i>	3	2	Gewoon haakmos
<i>Riccardia chamedryfolia</i>	1	0	Gewoon moerasvorkje
<i>Rosa canina</i>	0	1	Hondsroos
<i>Rubus caesius</i>	4	1	Dauwbraam
<i>Rumex acetosella</i> *	1	1	Schapezuring
<i>Rumex crispus</i>	1	1	Krulzuring
<i>Sagina maritima</i>	0	1	Zeevetmuur
<i>Sagina nodosa</i>	0	1	Sierlijke vetmuur
<i>Salicornia europaea</i>	7	8	Kortarige zeekraal
<i>Salicornia procumbens</i>	1	2	Langarige zeekraal
<i>Salix repens</i>	1	0	Kruipwilg
<i>Scirpus maritimus</i> var. <i>compactus</i>	6	7	Var. <i>compactus</i> v. Heen
<i>Scirpus rufus</i>	2	2	Rode bies
<i>Sedum acre</i>	1	0	Muurpeper
<i>Senecio jacobaea</i> ssp. <i>dunensis</i>	1	3	Duinkruiskruid
<i>Senecio sylvaticus</i>	5	1	Boskruiskruid
<i>Sonchus arvensis</i> var. <i>maritimus</i>	1	2	Zeemelkdistel
<i>Spartina townsendii</i>	5	2	Engels slijkgras
<i>Spergularia maritima</i>	3	5	Gerande schijnspurrie
<i>Spergularia salina</i>	4	1	Zilte schijnspurrie
<i>Stellaria media</i>	0	1	Vogelmuur
<i>Suaeda maritima</i>	6	5	Schorrekruid
<i>Taraxacum laevigatum</i>	0	1	Zandpaardebloem
<i>Taraxacum sectio Vulgaria</i> (T.vul.s.s+ham)		1	1 Gewone paardebloem
<i>Tortula ruralis</i>	1	0	Groot muur- en duinsterretje
<i>Trifolium fragiferum</i>	4	5	Aardbeiklaver
<i>Trifolium pratense</i>	0	1	Rode klaver
<i>Trifolium repens</i>	6	6	Witte klaver
<i>Triglochin maritima</i>	9	4	Schorrezoutgras
<i>Triglochin palustris</i>	1	1	Moeraszoutgras
<i>Urtica dioica</i>	3	1	Grote brandnetel
<i>Vicia lathyroides</i>	1	2	Lathyruswikke
<i>Viola canina</i>	1	0	Hondsviooltje

Bijlage 4. Rijksdriehoekcoördinaten van de pq's.

RAAI IV (gemeten in 1988)

PQ	X	Y
01	188813.40	607594.17
02	188794.96	607620.82
03	188787.59	607631.53
04	188771.29	607655.17
05	188748.09	607688.79
06	188735.81	607706.64

RAAI V (gemeten in 1999)

PQ	X	Y
01	189155.85	607808.56
02	189154.70	607815.72
03	189153.14	607823.65
04	189150.52	607837.53
05	189148.17	607849.79
06	189144.92	607862.72

RAAI VI (gemeten in 1999)

PQ	X	Y
01	189585.82	608010.71
02	189583.15	608024.51
03	189581.38	608032.60
04	189578.95	608042.45
05	189577.40	608050.64

RAAI VII (gemeten in 1988)

PQ	X	Y
01	190091.53	608023.44
02	190080.08	608063.42
03	190075.71	608078.72
04	190072.03	608091.75
05	190062.47	608126.08
06	190058.89	608138.32