Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost

Evaluatie na 18 jaar gaswinning

Mei 2005

Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland

Op basis van bijdragen en deelrapporten van:

WL I Delft Hydraulics
ALTERRA
Natuurcentrum Ameland

Voorwoord

17 jaar geleden begon het monitoringsonderzoek naar de effecten van de bodemdaling bij Ameland. Wanneer we dit onderzoek als een leven beschouwen, dan bevindt dit leven zich nu in zijn (of haar) midlife. In de eerste jaren na 1987, toen het onderzoek begon, lag er een zee van tijd in het verschiet. De eerste interessante gebeurtenissen dienden zich aan, het was een tijd vol verwachting. Na acht jaar ontwikkelde zich een beeld van wat de monitoring op zou kunnen leveren, en een eerste tussenrapport verscheen. Zo nu en dan waren er koerscorrecties, en interessante ontwikkelingen zorgden er voor dat er geen sleur ontstond. Een eerste serieuze balans is opgemaakt in het jaar 2000, toen na 12 jaar onderzoek een samenvattend rapport verscheen. Dat rapport werd in hetzelfde jaar door onafhankelijke deskundigen beoordeeld tijdens een symposium dat werd georganiseerd door de Rijksuniversiteit Groningen. Er was waardering voor al het werk dat was verricht, maar er was ook kritiek. Daarom werden er diverse aanvullingen en wijzigingen doorgevoerd. Nu, 5 jaar later, in de midlife periode, tekenen de nieuwe resultaten zich af. In de wetenschap dat de bodemdaling rond 2020 waarschijnlijk beëindigd zal zijn is dit een goed moment om nogmaals een balans op te maken en om na te denken wat er wat er nog moet gebeuren in de resterende tijd.

Misschien denken enkele lezers nu dat de interessante periode voor het onderzoek dus wel voorbij zal zijn. Niets is minder waar! In de afgelopen jaren zijn er nieuwe waarnemingen gedaan, met name op het gebied van opslibbing op de wadplaten bij Ameland, en op het gebied van waterstands- en vegetatieontwikkelingen in de natte duinvalleien. Daar gebeurt van alles, en er zijn nieuwe technieken beschikbaar gekomen waardoor andere en betere gegevens kunnen worden verkregen! Bovendien wordt er nog steeds met spanning gekeken naar de plantengroei op de kwelders. Daar veranderde tot nu toe niet zo veel, maar blijft dat zo wanneer de bodem nog verder daalt? De komende 15 jaar zal dus een tijd van oogsten zijn, van kennis en inzichten die wellicht ook elders van pas kunnen komen.

Dat brengt mij op mijn laatste punten. Ten eerste kan geconstateerd worden dat de resultaten van dit onderzoek een rol hebben gespeeld in de politieke discussie over het al dan niet winnen van gas onder de Waddenzee. Daardoor heeft het onderzoek een grotere maatschappelijke betekenis gekregen dan alleen als grondslag voor lokale natuurcompensatie. Ten tweede geven de resultaten nu al enig inzicht in de mogelijke effecten van de zeespiegelstijging die ons waarschijnlijk te wachten staat. Het is zowel voor de betrokken onderzoekers als voor de leden van de begeleidingscommissie aangenaam om te kunnen constateren dat hier nuttig werk is verricht. Het laatste, en toch wel belangrijkste punt van dit voorwoord is de constatering dat begeleidingscommissie van oordeel is dat dit onderzoek en de rapportage daarover adequaat zijn uitgevoerd. De onderzoekers hebben de tijd en de vrijheid gekregen om zich goed van hun taak te kwijten, al hun conclusies zijn in deze samenvatting en in de achtergrondsrapporten terug te vinden en hun bevindingen zijn in overeenstemming zijn met hetgeen door de leden van de commissie tijdens veldbezoeken op Ameland is waargenomen.

Het is dan ook met grote tevredenheid dat ik dit rapport aan u voorleg.

Dr. J. de Vlas

Inleiding

Inleiding

De gaswinning op Ameland-Oost is begonnen in 1986. In dat zelfde jaar werd in opdracht van de NAM door WL|Delft Hydraulics in samenwerking met Alterra (toen RIN) een voorspelling gemaakt van de mogelijke effecten van de bodemdaling, waarna eind 1988 is begonnen met de monitoring. De eerste twee rapportages zijn gebaseerd op gegevens tot 1994 respectievelijk 1999 en beschrijven de effecten over een periode van 8 jaar respectievelijk 13 jaar na het begin van de gaswinning. Deze derde rapportage is gebaseerd op gegevens tot 2003/2004. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar het evaluatierapport van maart 2000 en het nieuwe monitoringsprogramma 2000-2010 die op de bijgevoegde CD aanwezig zijn.

De bodemdaling vond plaats in de vorm van een grote schotel met een doorsnede van ongeveer 15 km, en werd meetbaar vanaf 1987. In de periode daarna, ongeveer tot het jaar 2000, daalde de bodem in het centrum van de schotel met ongeveer 1,8 cm per jaar. Daarna begon de dalingssnelheid wat af te nemen, door de daling van de druk in het veld, tot circa 1,2 cm per jaar. In 2003 bedroeg de bodemdaling in het centrum van de bodemdalingschotel 27 cm. Verwacht wordt dat de bodemdaling steeds verder af zal nemen totdat hij rond het jaar 2020 geheel beëindigd zal zijn.

In 2000 zijn de resultaten gepresenteerd in een openbaar debat. Sindsdien zijn verschillende verbeteringen doorgevoerd. De highlights van de afgelopen 5 jaar zijn de publicatie van het onderzoeksprogramma 2000-2010, het vogelonderzoek, de uitgebreide metingen op de wadplaten en de nieuw ontwikkelde techniek van spijkermetingen. Daarnaast heeft het nieuwe programma voor de natte duinvalleien veel aandacht gekregen met verrassend resultaat. De nieuwe prognose van NAM is in de Commissie besproken en naar aanleiding daarvan is een nieuwe inschatting gemaakt van de mogelijke gevolgen voor de kwelder. De belangrijkste verbeteringen/wijzigen in het programma betreffen:

Commissie en onderzoekteam

Op basis van het commentaar van Dr. Salomons is de samenstelling van commissie en van het onderzoekteam verbreed. Het doel daarvan was een verbetering van de (lokaal) sociale verankering. De commissie is uitgebreid met 2 leden die de provincie Fryslân vertegenwoordigen. Dit leverde tevens expertise in de Commissie betreffende grondwater, hetgeen belangrijk is in verband met de ontwikkeling van de duinvalleien. Het onderzoekteam werd uitgebreid met 3 onderzoekers van en via het Natuurcentrum Ameland. Dit betrof dr. Kersten, een deskundige op het gebied van wadvogels, drs. W. Molenaar die de begrazingsgevens verzamelde en drs. J. Krol, contactpersoon en coördinator van het Natuurcentrum en verantwoordelijk voor het onderzoek naar de overstroming van de valleien. Dit leidde tot nieuwe ideeën, technieken en inzichten.

De Commissie bestaat thans uit vertegenwoordigers van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), Rijkswaterstaat (RWS), het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV), de natuurorganisatie It Fryske Gea, de Provincie Fryslan, de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) en de Gemeente Ameland en hebben naast hun vertegenwoordigingstaak ook specifieke deskundigheid. De onderzoekers zijn afkomstig van het WL|Delft Hydraulics, Alterra, Researchinstituut voor de Groene Ruimte, en het Natuurcentrum Ameland.

Prognose, meting bodemdaling en morfologie

Op basis van het commentaar van prof. Augustinus is een nieuwe techniek ontwikkeld om op de wadplaten lokaal en in de tijd erosie en sedimentatie te meten en zijn vlakdekkende metingen uitgevoerd. Zijn commentaar had met name betrekking op de onnauwkeurigheid van de routinelodingen.
Vlakdekkende metingen zijn enkele jaren achter elkaar jaarlijks uitgevoerd middels RTK-GPS. De metingen tonen een patroon van verandering, maar zijn uiterst arbeidsintensief en kunnen maar eens per jaar worden uitgevoerd. De nauwkeurigheid ligt in de orde van centimeters.
De “spijkermetingen” zijn een nieuwe techniek en stellen in staat om op reguliere basis (per 2-3 maanden) de verandering in de hoogteligging van het oppervlak te meten t.o.v. een ingegraven anker. De meetuitkomsten geven een geheel nieuw beeld van de variabiliteit van het plaatoppervlak waarbij de bodemdaling geheel gecompenseerd lijkt te worden vergeleken met meetpunten buiten de schotel (onder Ameland en boven Paezumerlannen).

In 1991 en 1998 zijn nieuwe prognoses voor de bodemdaling beschikbaar gekomen. De voorspelling van de effecten van bodemdaling zijn gebaseerd op prognoseberekeningen van de bodemdaling op basis van kennis van het reservoir, de te verwachten drukdaling en de opbouw van bovenliggende gesteenten. In 2004 is door NAM een nieuwe prognose gemaakt en gepubliceerd in het winningsplan Ameland. De bodemdaling in het centrum zal ca. 34 cm bedragen, bij een volume dat overeenkomt met de oorspronkelijke schatting. Prognoses en de landmeetkundige metingen stonden in 2000 evenwel niet ter discussie.

Tot ongeveer 2000 is de oostpunt van Ameland aangegroeid. Op basis van nieuwe kaartbeelden kan worden aangenomen dat die groei nu ten einde is. De ontwikkeling van geulen heeft de groei gekeerd.
De afslag van de kwelderrand leeft sterk onder de eilanders, maar fotoanalyses tonen geen trendbreuk die aan bodemdaling kan worden toegeschreven, ook dit lijkt een autonome ontwikkeling.

Erosie van een kwelderplasje is elders gekeerd. Bij de aanleg van de locatie raakte een kreek geblokkeerd. Een veel grotere kwelderplas iets westelijk daarvan is op natuurlijke wijze naar een bestaande kreek doorgebroken en is ontwaterd met een nieuwe vegetatiesuccessie tot gevolg.

Uitkomsten van het wadplaatonderzoek zijn tussentijds besproken met prof. Augustinus.

Kwelders en begrazing

Commentaar van dr. J. Bakker had met name betrekking op het ontbreken in de analyse van begrazingsgegevens. De begrazingsgegevens zijn met terugwerkende kracht verzameld voor zover beschikbaar en vormen thans onderdeel van het standaard gegevenspakket. De tijdelijk afgenomen begrazingsintensiteit wordt gedacht oorzaak te zijn van de toename van Zeealsem (*Artemisia maritima)*.

De bodemdaling wordt aan de kwelderrand volledig gecompenseerd, maar loopt achter in de midden en de hoge kwelder. De kweldermetingen zijn voortgezet met een verhoogde frequentie van 2x per jaar om beter vinger aan de pols te kunnen houden (een soort van opereren met hand aan de kraan).

Lage duinvalleien

Commentaar van prof. J. van Andel richtte zich met name op het belang dat aan natuurdoeltypen werd toegekend. Hierbij wordt opgemerkt dat deze relatie betrekking heeft op het studieverslag van mevr. Schouten die gehouden was aan de instructies van haar universitair docent uit Utrecht. De lage duinvalleien maakten geen deel uit van het oorspronkelijk monitoringsprogramma. Sterfte van duindoorn die – in vergelijkend onderzoek – ook op Schiermonnikoog en Terschelling werd geconstateerd wees op verdrinking door stormvloeden. Berekeningen van Schouten wezen uit dat de overvloedingsfrequentie van de lage duinvalleien sterk zou toenemen. Op basis hiervan werd een separaat programma ontwikkeld.

Onderzoekers van Alterra hebben zich daarbij gericht op nieuwe technieken om vegetatie ontwikkeling te bepalen. Onderzoekers van het Natuurcentrum hebben zich gericht op het beschrijven van de overvloedingen. Hieruit is gebleken dat niet de overvloedingsfrequentie, maar juist de hoogteligging van het grondwater bepalend is voor de vegetatieontwikkeling. Door de bodemdaling is de ligging van de valleien thans zodanig dat ze langere tijd (maanden in plaats van dagen) onder water blijven staan. Dit zal de duindoorn beperken.

Vogels

Het commentaar van prof. R. Drent was tweeërlei. Enerzijds was zijn mening dat onvoldoende was aangetoond dat de telgegevens ook daadwerkelijk betrekking hadden op vogels die afhankelijk waren van het bodemdalingsgebied, anderzijds luidde zijn commentaar dat het wetenschappelijk onderzoek zich niet had mogen beperken tot de effecten van bodemdaling alleen. Ten aanzien van het laatste punt heeft de commissie vastgesteld dat onderzoek naar effecten die geen relatie hebben met bodemdaling - en die ook geen invloed hebben op de effecten van bodemdaling - buiten haar taak valt. Aan dit commentaar kon dus geen gevolg worden gegeven.
Om de vraag op te lossen welke soorten foerageren binnen de bodemdalingcontour is specifiek onderzoek uitgevoerd. De getijdetrek is nauwkeurig gevolgd en ook het foerageergedrag en de plaatsen waar dit gebeurt. Tevens is onderzocht hoe tellingen verbeterd kunnen worden en of de piek in aanwezigheid anders is voor het oosten dan voor het westen van Ameland.

Uitkomsten van het vogelonderzoek zijn tussentijds besproken met Dr. J. Tinbergen.

Bodemdaling

Op basis van bijdragen van

Dirk Doornhof

Joop Marquenie

Simon Schoustra

Wim Eysink

Bodemdaling

De bodemdaling is het gevolg van gaswinning uit zandsteenlagen die liggen op een diepte tussen de 3300 en 3600 meter. Het gas wordt gewonnen via verschillende installaties in zee en op land. Het zogenaamde moederplatform heet Ameland Westgat (AWG). Hier wordt het gas transportklaar gemaakt (gedroogd en gecomprimeerd). Aanvankelijk stond het gas onder een druk van ongeveer 600 Bar. Daar is inmiddels nog maar 100 Bar van over. Wanneer de druk verder terug loopt moet het gas gecomprimeerd moet worden tot een druk die hoger is dan die in de transportleiding (> 80 Bar). De daarvoor benodigde compressoren staan op AWG. Het platform is continu bemand en alle benodigde energie wordt ter plekke opgewekt. Met het gas komt ook wat water omhoog. Dat ‘productiewater’ wordt in principe teruggevoerd in de ondergrond. Bij storingen of onderhoud wordt dit water van olie ontdaan tot beneden de wettelijke norm van 40 mg/l en geloosd op zee. Het Amelandveld is zo groot dat niet het gehele veld via AWG of de landlocatie aangeboord en gewonnen kan worden. Er zijn daarom 2 hulpinstallaties van waar putten zijn geboord: de landlocatie Ameland-Oost (AME/1) en een offshore satelliet (AME/2).

Overzicht van de verschillende gasvelden onder Ameland, geboorde putten en installaties. De monitoring.

Het gas wordt na behandeling en compressie afgevoerd via de “Noord-Gas Transportleiding” (NGT) naar Uithuizermeden. Enigszins naar het westen staat een derde structuur in zee, de zogenaamde monopile N07-FA (zie kaartje). Het plan is om de monopile N7 in de toekomst via een pijpleiding met AWG te verbinden.

De productie van het Amelander gas is begonnen in 1986. De verwachte einddatum van de productie is 2020.

Er is reeds veel gas gewonnen op Ameland. De druk is daardoor afgenomen van ruim 600 Bar tot minder dan 100 Bar. Ook de stroomsnelheid van het gas is hierdoor sterk verminderd. De huidige verwachting van de hoeveelheid alsnog te produceren gas is in de hierna volgende grafiek weergegeven.

De voorspelde gasproductie van de velden Ameland –Oost en Ameland-Westgat voor de periode 2004 tot 2020.

De totale gasproductie kan ruwweg worden onderverdeeld in een bijdrage van 70% uit het Ameland-Oost deel van het veld en 30% uit het Ameland-West deel. Momenteel wordt uit het Ameland-Noord deel nog niet geproduceerd. Deze productie uit 'Noord' zal geen invloed hebben op de bodemdaling op Ameland zelf. De uiteindelijk, totaal te verwachten bodemdaling door gaswinning (na beëindiging van de winning in 2020) uit de in het winningsplan beschreven gasvelden bedraagt circa 34 cm in het centrum van de bodemdalingkom, berekend vanaf het begin van de gaswinning. De onzekerheid van de berekening is bepaald op +/- 3 cm. Eventuele ontwikkeling van nieuwe gasvelden (bijvoorbeeld N7) in de buurt van Ameland-Oost en Westgat en/of aanvullende productie door nieuwe putten en/of toepassen van compressie op bestaande velden die behoren tot Ameland-Oost (AME/1) en Ameland Westgat (AWG) zijn niet meegenomen in de huidige prognose en kunnen leiden tot een ander beeld. Ook de mogelijk toekomstige ontwikkeling van de gasvelden die ten zuiden en zuidoosten van Ameland onder de Waddenzee liggen (Paesens, Nes en Lauwersoog) is niet meegenomen.

De schatting van 34 cm (maximaal 37 cm) is echter reeds meer dan de oorspronkelijke schatting van de bodemdaling in 1985, die 26 cm bedroeg +/- 6 cm. De bandbreedten van beide berekeningen overlappen deels. De schattingen betreffende de omvang en diepte van de bodemdalingschotel zijn enkele malen bijgesteld. Daarbij is de daling op het diepste punt, die aanvankelijk was geraamd op 21 à 31 cm, uiteindelijk naar boven bijgesteld in 31 à 37 cm. De zandhonger die in de Waddenzee zal ontstaan is daarentegen naar beneden bijgesteld, van 22,5 naar 14 miljoen m^3. De kuil wordt dus dieper, maar qua inhoud ongeveer 38% kleiner.

Prognose	Diepte in cm	Omvang ($10^6 m^3$)	Bijdrage zandhonger ($10^6 m^3$)
1985	21-31 (26)	28	22,5
1991	14-22 (18)	18	14,5
1998	28-32 (28)	14-18	10
2003	31-37 (34)	22	14

Schatting van de bijdrage van de uiteindelijke bodemdaling aan de zandhonger.

Omdat de voorspelling van de effecten, op basis waarvan de Commissie haar werk heeft aangevangen, gebaseerd was op 26 cm bodemdaling, heeft de Commissie verzocht voor de extra bodemdaling een aanvullende voorspelling te maken van de mogelijke effecten op de kwelder. Hiervoor was het van belang onderscheid te maken tussen de periode tot 2010 en na 2010 tot 2020. Het gaat hierbij met name om de eindwaarde en om de afname van bodemdalingsnelheid op de kwelders. Daarnaast gaat het om de totale omvang van de bodemdaling op het wad en in de kustzone.

*Bodemdalingprognose voor **2010** voor beide delen van het gasveld (aangegeven in groen). Voor de daling in het gebied is geen effect van aanslibbing meegenomen. De bodemdalingsnelheid in het centrum bedraagt gemiddeld ca. 0.7 cm per jaar voor de periode 2003-2010. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm.*

*Bodemdalingprognose voor **2020** voor beide delen van het gasveld (in groen). Voor de daling in het gebied geen effect van aanslibbing meegenomen. De resterende bodemdalingsnelheid in het centrum na 2010 bedraagt gemiddeld 0.4 cm per jaar. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm.*

Voor de verfijning van de monitoring gedurende de komende jaren is het voorts van belang zo goed mogelijk te weten welke bodemdaling nog zal volgen en of de vorm van de bodemdalingschotel zal veranderen. Om die reden is in onderstaande figuren de nog te verwachten bodemdaling weergegeven tussen 2003 en 2020 en is daarbij onderscheid gemaakt tussen de velden Ameland-Oost en Ameland-Westgat. Door de gevolgde werkwijze ontstaat een transparant beeld van zowel het geheel van de daling als van de verschillende onderdelen.

Opvallend van deze analyse is dat de verdere verdieping van de schotel een zeer geleidelijk en vlak patroon zal volgen met een relatief groot en vlak gebied met een daling van 8-10 cm. Nieuwe boringen en ontwikkelingen op Ameland-Westgat hebben geen directe gevolgen voor de kwelders op Ameland of de wadplaten, maar zijn uiteraard wel onderdeel van de totale zandbalans.

Verwachtte bodemdaling (2003-2020) voor het voorkomen Ameland-Oost. De nog te verwachten bodemdaling bedraagt circa 10 cm in het diepste punt.

Verwachtte bodemdaling (2003-2020) voor het voorkomen Ameland-Westgat. De nog te verwachten bodemdaling bedraagt circa 8 cm in het diepste punt.

Monitoring van de bodemdaling

Na de nulmeting van de punten van een uitgebreid meetnet op Ameland-Oost in maart 1986 zijn, in opdracht van de NAM, jaarlijks nauwkeurigheidswaterpassingen op Ameland-Oost uitgevoerd tot en met februari 1999. Toen is besloten om de nauwkeurigheidswaterbassin niet meer elk jaar uit te voeren, omdat op basis van de beschikbare gegevens via extrapolatie een nauwkeurige voorspelling te maken is van de verdere daling over een korte periode van één of twee jaar. De laatste nauwkeurigheidswaterpassingen zijn uitgevoerd in februari 2001 en februari 2003.

Bodemdalingcontouren gebaseerd op de meting van februari 2003.

De metingen kunnen ook worden weergegeven in de vorm van een langsdoorsnede die loopt van Nes tot de oostpunt van Ameland. Hieruit blijkt dat de NAM-locatie (het meetpunt in het gebouwtje) waarschijnlijk ten onrechte minder lijkt te dalen dan de meest nabij gelegen meetpunten. Op eenvoudige wijze kan de meest waarschijnlijke daling op deze locatie worden geschat door een logisch dalingsprofiel te schetsen.

Doorsnede bodemdalingschotel van Nes via NAM-locatie naar oostpunt Ameland.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de werkelijke bodemdaling in een iets beperkter gebied optreedt dan voorspeld in 1998. Ook blijkt, rekening houdend met de gecorrigeerde maximum bodemdaling, dat in 2003 reeds de in 1998 verwachte meest waarschijnlijke maximum bodemdaling van 28 cm werd bereikt.

Het verloop van de bodemdaling in het diepste punt van de schotel in de tijd is eveneens weergegeven (zie onder). Uit deze figuur blijkt dat jaarlijkse daling sinds januari 1994 is gaan afnemen. Het dalingsverloop is schetsmatig doorgetrokken in de komende jaren. Hieruit volgt de verwachting dat rekening moet worden gehouden met een verdere daling tot circa 33 cm in 2010 – 2012. Daarna wordt nog maar een zeer geringe dalingssnelheid verwacht. De uiteindelijke daling, die oorspronkelijk was bepaald op 26 cm, zou volgens de laatste prognose kunnen oplopen tot circa 34 cm (maximaal 37 cm) in 2020.

Verloop van de bodemdaling op Ameland-Oost.

Deze gegevens vormen een belangrijk uitgangspunt voor de overige aspecten van deze studie.

Morfologie

Op basis van bijdragen van

Wim Eysink

Johan Krol

Marcel Kersten

Pieter Slim

Marlies Sanders

Ruut Wegman

Waterstanden, regen en verdamping

Naast de bodemdaling spelen nog een aantal abiotische factoren een rol in de morfologische en/of ecologische ontwikkelingen in en rond de Waddenzee. Dit zijn onder andere:

- waterstanden,
- regenval en verdamping,
- grondwaterstand in de duinen, en
- grondwaterkwaliteit in de duinen.

Daarom zijn ook gegevens van deze grootheden verzameld en bewerkt.

Waterstanden

Waterstanden en waterstandsvariaties spelen een belangrijke rol in de morfologie en de ecologie in en om de Waddenzee. In de vorige rapportage is een uitgebreid overzicht gegeven van de oorzaken van de waterstandsvariatie, i.e.:

- astronomisch getij,
- op- en afwaaiing door wind,
- langetermijnveranderingen in het gemiddeld zeeniveau door klimaatsverandering.

Uit de bestudering van verschillende getijstations in de Waddenzee is gebleken dat het station Nes bij de pier voor de veerboot het meest representatief is voor de kwelders Nieuwlandsrijd en in iets mindere mate voor De Hon op Ameland-Oost (zie Eysink et al, 1995, 2000). De kwelder op De Hon en de lage duinvalleien ten westen van de NAM-locatie worden tijdens een storm vanuit twee richtingen overstroomd, namelijk door zeewater via de stormvloedgeulen door de duinen ten oosten van de NAM-locatie en via de lage kant aan de Waddenzeezijde. Voor deze locaties geeft het station Wierumergronden goede uitkomsten.

Het water via de stormvloedgeulen dringt als gevolg van waterstandsverhoging aan de Noordzeezijde door opwaaiing en/of door golfopzet rond het verhoogde hoogwater binnen. De capaciteit van de smalle stormvloedgeulen met een relatief hoge drempel is echter beperkt. Verwacht wordt dat het meeste water iets later via de wadzijde binnenstroomt nadat het hoogwater om de oostpunt is getrokken. Het niveau van het hoogwater zal bij De Hon nog niet zover zijn opgeslingerd en gemiddeld iets lager zijn dan bij het Nieuwlandsrijd (orde 0,05 – 0,1 m). Door verschil in opwaaiing kan dit verschil onder stormomstandigheden nog wat groter of iets kleiner zijn. Al met al geeft ook hier het station Nes een redelijke indicatie voor de kans op overvloeding van De Hon.

Met name fluctuaties in het jaarlijkse GHW en in het aantal extreme hoogwaters, waarbij de kwelders en de lage duinvalleien overstromen, zijn van belang voor het verklaren van de ontwikkelingen in de vegetatie in deze gebieden. Daarom is het verloop van GHW, MSL en GLW van het station Nes vanaf het begin van de waarnemingen in 1963 gegeven in onderstaande figuur en zijn de jaarlijkse hoogwateroverschrijdingsgegevens samengevat in de hoogwateroverschrijdingstabel.

Verloop gemiddeld hoogwater, gemiddeld zeeniveau en gemiddeld laagwater (meetstation Nes).

Het tijverschil in Nes schommelt tussen circa 2,20 m en 2,30 m en toont duidelijk het effect van de astronomische getijcomponent met een cyclus van 18,6 jaar en een amplitude in de orde van 5 cm. Het gemiddelde tijverschil over de hele periode is 224,5 cm en lijkt iets te zijn toegenomen in de beschouwde periode. Volgens de lineaire trendlijn bedraagt de gemiddelde toename circa 1,4 mm per jaar. Deze trend is echter niet betrouwbaar, omdat de totale periode niet samenvalt met een geheel aantal cycli van 18,6 jaar en bovendien slechts twee cycli omvat. Dat is gezien de invloed van andere, willekeurige verstoringen weinig. Het is zeker mogelijk dat het gemiddeld tijverschil niet is veranderd.

In de voorgaande rapportage zijn de overschrijdingsgegevens van 1981-1998 gepresenteerd samen met langjarig gemiddelde overschrijdingen. In dit verslag zijn deze gegevens aangevuld tot 2005. Onderstaande tabel laat zien dat het aantal extreme stormvloeden in de periode 1999-2004 gering is geweest. Het niveau van NAP+2,5 m werd in Nes in 1999 viermaal overschreden, en het niveau NAP+3,0 m niet eenmaal. In 2000 werd NAP+2,5 m slechts eenmaal overschreden, maar toen werd wel een waterstand bereikt van NAP + 3,0 à 3,1 m. In de andere jaren in die periode werd een peil van NAP+2,7 m nooit overschreden. Dit soort stormvloedpeilen kunnen leiden tot het onderlopen van lage duinvalleien.

Het niveau van NAP+2,0 m werd in deze periode, behalve in 1999, beneden het gemiddelde aantal overschreden. Dit geldt ook voor het niveau van NAP+1,5 m, waarbij de lagere delen van de kwelders onderlopen. Procentueel is het verschil hier echter beduidend kleiner dan op het niveau van NAP+2,0 m. Het betekent dat de kwelders iets minder frequent werden overstroomd en dat gemiddeld het overstroomde oppervlak en de waterdiepte per overstroming kleiner waren dan gemiddeld. Hierdoor kan de jaarlijkse opslibbing op de kwelders in deze periode lager zijn geweest dan gemiddeld.

Niveau	Aantal HW-overschrijdingen per jaar																									
(m + NAP)	1941-1980		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	1981-2003
	Gem.	1)																								Gem.
3.5			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
3.4			0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
3.3			0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09
3.2			0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17
3.1			1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26
3	0.2	0.25	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.52
2.9	0.3	0.35	2	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	3	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.65
2.8	0.4	0.50	2	1	1	1	0	0	0	0	1	3	1	0	4	3	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0.91
2.7	0.6	0.75	2	1	2	2	0	1	0	0	1	4	1	0	4	3	1	0	0	0	2	1	0	0	0	1.1
2.6	0.9	1.1	3	1	4	2	0	1	1	1	1	5	1	0	4	4	1	1	0	1	2	1	0	1	1	1.6
2.5	1.3	1.6	4	2	4	3	2	1	1	1	1	10	3	0	5	4	2	1	0	1	4	1	1	2	1	2.3
2.4	1.9	2.2	5	5	4	6	3	1	1	3	2	12	3	0	9	4	4	1	0	3	6	2	1	2	2	3.4
2.3	2.7	3.2	9	7	4	10	3	1	2	4	2	13	5	2	10	5	6	1	1	5	7	4	2	3	2	4.7
2.2	3.7	4.4	9	9	6	14	4	3	3	5	2	17	6	3	12	5	8	4	1	6	12	7	2	4	3	6.3
2.1	5.2	6.1	14	12	7	15	5	3	4	7	4	19	8	3	15	7	10	4	3	11	14	8	2	5	6	8.1
2	7.2	8.3	19	15	16	19	7	12	7	12	5	29	13	8	17	10	17	4	3	14	14	11	5	6	11	11.9
1.9	10.0	12.0	25	15	26	22	9	18	7	23	7	34	17	12	21	14	19	4	6	20	18	15	8	11	13	15.8
1.8	14.3	17.0	34	22	31	29	15	27	11	31	12	43	21	17	28	16	22	6	12	28	25	21	18	17	16	21.8
1.7	20.5	25.0	43	34	46	33	20	36	19	41	23	56	29	19	34	28	31	13	19	36	33	23	24	26	29	30.2
1.6	30.5	36.0	53	45	70	50	32	45	35	74	35	63	36	30	43	38	44	25	35	58	50	36	39	42	38	44.2
1.5	44.0	52.0	74	65	99	65	47	57	53	92	63	90	49	45	55	53	60	32	50	76	69	50	58	58	55	61.5
1.4	65.0	78.0	99	93	136	87	71	89	76	127	97	119	63	75	76	86	95	49	65	114	105	81	89	84	75	89.2
1.3	95.0	116.0	133	134	184	119	103	134	122	175	143	151	90	99	103	129	142	82	91	153	148	124	152	124	125	128.7
1.2	141.0	172.0	187	200	256	179	166	191	182	235	208	216	135	162	147	194	194	124	153	234	227	199	229	184	195	191.2
1.1	212.0	259.0	280	280	348	267	249	265	274	319	294	295	193	237	200	275	267	191	234	311	321	303	307	290	280	273.0
1	321.0	350.0	385	377	441	365	363	344	365	407	396	375	273	372	294	361	363	289	347	407	417	416	409	407	386	372.1
0.9	400.0	455.0	487	473	521	445	469	431	452	496	474	468	352	432	393	440	450	402	451	511	516	521	509	485	477	463.3
0.8	495.0	530.0	565	559	589	515	545	499	530	571	559	551	462	529	499	531	547	501	536	582	591	603	593	565	543	546.3
0.7	565.0	600.0	624	605	634	587	617	567	592	624	625	610	551	587	583	608	613	563	599	635	645	642	643	616	614	608.0
0.6	622.0	640.0	666	652	664	641	660	610	635	658	664	650	622	639	626	649	651	615	656	670	674	671	681	643	660	650.3
0.5	660.0	670.0	687	682	678	668	681	657	666	670	682	677	652	668	668	669	671	644	675	687	690	688	693	661	687	674.0
0.4	681.0	686.0	694	697	692	683	691	673	681	683	694	689	674	690	679	684	683	660	687	698	694	700	698	684	699	687.3
0.3	691.0	694.0	696	702	699	695	696	687	686	700	699	697	689	700	687	693	693	674	694	703	698	703	703	692	703	695.2
0.2	698.0	700.0	699	705	702	702	701	697	693	703	703	702	696	704	694	699	698	687	696	704	701	704	705	700	704	700.0
0.1	701.0	702.5	701	705	703	705	703	701	698	704	705	703	697	705	699	701	701	697	701	704	702	705	705	702	705	702.3
0	703.0	704.0	703	706	704	706	704	703	699	705	705	704	699	705	702	702	704	701	702	705	704	706	706	703	706	703.7
Aantal HW's / jaar	705.8		705	706	705	707	705	706	705	707	706	705	705	707	706	705	706	707	706	706	705	707	706	705	706	705.8

Gegevens van RWS-DGW

1) Gecorrigeerd voor zeespiegelrijzing van 1960 tot 1990

Hoogwateroverschrijdings-gegevens Nes (in blauw het hoogst bereikte waterniveau).

Uit de getijgegevens van Nes kan worden afgeleid dat het gemiddelde zeeniveau bij Ameland sinds 1963 geleidelijk is gestegen, en wel met ongeveer 1,5 mm per jaar. Dat komt overeen met andere meetreeksen. Het getijstation Den Helder (marinehaven) heeft een lange waarnemingsperiode (vanaf 1865) en is het minst gestoord door ontwikkelingen in de Waddenzee. Dit station wordt daarom het meest representatief geacht voor het beoordelen van lange termijnverandering in de zeespiegelrijzing, zij het dat er mogelijk een invloed is geweest van de afsluiting van de Zuiderzee. Vandaar dat onderscheid is gemaakt tussen de periode 1865 1930 en 1935 – heden. Het station Terschelling vertoont dezelfde trends als het station Den Helder, zij het dat de meetreeks van Terschelling is echter mogelijk beïnvloed door geulontwikkelingen.

Uit de gegevens van de getijstations rond de Waddenzee blijkt tot nog toe géén versnelling van de zeespiegelstijging sinds de afgelopen decennia. *De effecten van bodemdaling door gaswinning moeten dus beoordeeld worden tegen de heersende autonome zeespiegelstijging.*

Verloop gemiddeld zeeniveau in Den Helder en West-Terschelling.

Neerslag en verdamping

De gemiddelde neerslag in Nes in de periode 1984-2003 bedroeg 880,8 mm/jaar en was daarmee 86,9 mm hoger dan het langetermijngemiddelde van 1951-1980. Het is ook met ruim 20 mm toegenomen ten opzichte van het gemiddelde over de periode 1984-1998. Dit wordt veroorzaakt doordat de jaren 1999-2002 nat waren met 2000 en 2001 als twee extreem natte jaren. Deze jaren waren zelfs natter dan 1993-1994 toen er sterfte van meidoorn- en vlierstruweel in een duinvallei optrad. Het jaar 2003 was met 751,5 mm neerslag een vrij droog jaar. De door het KNMI verstrekte verdampingscijfers voor Ameland over de periode 1999-2003 betreffen allemaal gewasverdampingcijfers volgens Makkink voor de locatie Lauwersoog. De locatie is representatief voor de verdamping op Ameland. De gemiddelde verdamping over de periode 1984-2003 bedroeg 571,4 mm, wat slechts iets lager is dan het gemiddelde van 579,0 mm in Den Helder over de periode 1965-1985. De verdamping op Ameland in de periode 1999-2002 week niet veel af van de gemiddelde verdamping. Alleen in het vrij droge jaar 2003 was ook de verdamping met een waarde van 639,6 mm relatief extreem. Het neerslagoverschot in dat jaar was bijna even klein als het geringe neerslagoverschot van de droge jaren 1989, 1991, 1996 en 1997.

Verloop jaarlijkse neerslag en verdamping op Ameland.

Grondwaterstanden

In het voorgaande rapport is uitgebreid ingegaan op de grondwatermetingen in de Kooiduinen, Het Oerd en de Oerderduinen op Ameland-Oost. Duidelijk blijkt daaruit dat de grondwaterspiegel fluctueert met het seizoen. De grondwaterspiegel is in de zomer 75 tot 1.00 cm lager dan in de winter. Dit wordt onder meer veroorzaakt door de seizoensvariatie in de neerslag en in de gemiddelde zeespiegel. Op sommige plaatsen speelt penetratie van zeewater door overvloedingen in de winterperiode een rol. In duinvalleien met een drempel of in een duinpan kan het grondwater in de winter of het vroege voorjaar het maaiveld aansnijden, waardoor plasvorming ontstaat. Ter plaatse van hoge duinkammen treedt dit uiteraard niet op.

Standaardraaien voor PQ-opnames.

Conform het advies in het rapport van april 2000 zijn extra opnamen van de grondwaterkwaliteit uitgevoerd om te kunnen nagaan of er eventueel verschuivingen op zijn getreden als gevolg van veranderingen in het milieu. Ten opzichte van de eerdere waarnemingen, gedaan in 1990/91, bleek dat niet het geval (zie duinvalleien).

Conclusies abiotische factoren

In het algemeen lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat nog geen versnelling van de zeespiegelstijging meetbaar is. De effecten van bodemdaling door gaswinning tot nu toe worden dus nog niet versterkt.

De waterstandsgegevens van het getijstation Nes, met name de gegevens van hoogwater, zijn representatief voor de waterstanden bij de kwelders Nieuwlandsrijd en ook De Hon. Met name het gedrag van het gemiddeld hoogwater ten opzichte van het kwelderniveau en het niveau van lage duinvalleien is belangrijk. Het aantal extreme stormvloeden in de periode 1999-2004 is gering geweest. In 1999 en 2000 werd het peil van 2,90 m boven NAP slechts eenmaal overschreden en in de jaren na 2000 bleef de hoogste stormvloed onder 2,70 m boven NAP. Door bodemdaling is de kans op overspoeling van kwelders en lage duinvalleien, die in open verbinding met de Waddenzee staan, echter wel toegenomen.

Neerslag- en verdampingscijfers zijn belangrijk voor de interpretatie van veranderingen in de vegetatie. Voor Ameland worden de neerslag-gegevens van het station Nes bij het KNMI opgevraagd. Verdampingscijfers worden niet voor Nes bepaald; die worden daarom opgevraagd voor het dichtst bij gelegen station waarvoor ze wel werden bepaald. Er is inmiddels veel informatie en inzicht verkregen in het gedrag van het grondwaterpeil op Ameland-Oost. Dit geeft een goede basis voor de interpretatie van waargenomen veranderingen in de duin- en kweldervegetatie op het eiland. De grondwaterspiegel vertoont grote fluctuaties over het jaar (orde 0,5 tot 1 m) als gevolg van seizoensvariaties in de regenval/verdamping en de gemiddelde zeespiegel. Hoge waarden worden bereikt in de winter en lage in de zomer. Tijdens een extreem nat jaar kunnen lage, gesloten duinvalleitjes hierdoor onder water komen te staan. Door bodemdaling komt de grondwaterspiegel, zoals verwacht, dichter bij het maaiveld te liggen en kan bovengenoemd verschijnsel iets vaker optreden.

De kwaliteit van het grondwater is gelijk gebleven in sinds 1990.

Effecten bodemdaling op de morfologie

Noordzeekust

In 1987 is met behulp van een kustlijnmodel een voorspelling gemaakt van het gedrag van de Noordzeekust tussen km-raai 7 en km-raai 25. De voorspelling geeft de berekende verandering in de positie van de gemiddeld hoogwaterlijn (GHW-lijn) ten opzichte van die in het jaar 1980. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie met en zonder bodemdaling. In beide gevallen is om de acht jaar een strandsuppletie van 2,1 miljoen m^3 tussen km 10 en km 17 toegepast beginnend in 1980.

Sinds 1990 is als rijksbeleid vastgesteld dat de kustligging van 1990 zal worden gehandhaafd. Bij de Noordzeekust van Ameland wordt de kustligging tot km-raai. 23 via kustsuppleties onderhouden. Tot 1998 werden de suppleties aangebracht in de zeereep en op het strand. Vanaf 1998 zijn de kustsuppleties uitgevoerd als vooroeversuppleties, waarbij rekening wordt gehouden dat slechts 50% van het aangebrachte zandvolume effectief bijdraagt aan de verbetering van de ligging van de kustlijn. Sinds 1980 zijn zes kustsuppleties op het Noordzeestrand van Ameland uitgevoerd.

Jaar	Volume (10^6 m^3)	Cum. effectief vol.(10^6 m^3)	Plaats (km-raai)	Opmerkingen
1980	2,1	2,1	10 – 17	zeereep/strand
1990	1,0	3,1	12 – 17	zeereep
1992	1,6	4,7	12 – 20	strand: herstel basiskustlijn
1996	1,5	6,2	7 – 11	strand: handhaven basiskustlijn
1998	2,5	7,45	11 – 18	vooroever NAP – 6 m (50 % effectief)
2003	1,5	8,2	10 – 14	vooroever NAP – 6 m (50 % effectief)

Kustsuppleties Noordzeekust Ameland tussen km-raai 7 en km-raai 20.

Totale effectieve volume van de kustsuppleties op het Noordzeestrand van Ameland.

Hoewel de werkelijke kustsuppleties in tijd en plaats afweken van de theoretische kustsuppletie in het kustlijnmodel, komt het geaccumuleerde, effectieve volume van de suppleties goed overeen met dat in het model. Uit de resultaten van het monitoren van de werkelijke kustveranderingen van de Noordzeekust van Ameland vanaf 1980 blijkt verder dat in 2003 de kust tussen km-raai 9 en km-raai 25 overal zeewaarts ligt van de kustlijn in 1990. Tussentijds is de kustlijn lokaal wel eens tot iets voorbij de kustlijn van 1990 geërodeerd. Het voorspelde effect van de bodemdaling door gaswinning tussen km-raai 16 en km-raai 23, namelijk een terugschrijdende kust tussen paal 17 en 23, trad niet op; de kustlijn van 1990 tussen km-raai 9 en km-raai 23 bleef ondanks de bodemdaling op zijn plaats.

Waargenomen en berekende kustlijnveranderingen van het Noordzeestrand van Ameland na 1980.

De conclusie is gerechtvaardigd dat de bodemdaling door gaswinning geen merkbare negatieve invloed op de ontwikkeling van de Noordzeekust heeft gehad. Dit werd mede veroorzaakt door het overheidsbeleid tot handhaving van de 1990-kustlijn en in kader daarvan uitgevoerde zandsuppleties.

Friesche Zeegat en De Hon

Uit bestudering van de beschikbare lodingskaarten van het Friesche Zeegat in samenhang met het groeien en eroderen van de oostpunt van Ameland blijkt dat het gedrag van De Hon in sterke mate wordt bepaald door het geulgedrag in de vloedkom van het Pinkegat en in het zeegat. Rond 1910 was De Hon niet meer dan circa 1 km lang vanaf de Oerderduinen. Daarna voltrok zich, mogelijk mede door de aanleg van de Kooi-Oerdstuifdijk in de periode 1880-1893, een sterke groei naar het oosten. De peilkaart uit 1927 toont dat de hoofdgeulen op het wad min of meer van west naar oost lopen en pas op grote afstand van De Hon naar het noorden afbuigen. De afstroming van het water naar zee vormt hierdoor een minimale hinder voor de groei van De Hon. Ook zijn er geen vloedscharen aan de Noordzeezijde van De Hon, waardoor ook de vloedstroom geen aanval op De Hon doet. De omstandigheden voor groei zijn dus optimaal. Rond 1940 - 1950 had De Hon een maximale uitbreiding naar het oosten. De peilkaarten uit 1949 en 1975 laten zien dat de hoofdgeul op het wad zich in tweeën heeft gesplitst en dat de noordelijke tak geleidelijk naar het noorden is gedraaid en dichter onder Ameland is komen te liggen. In die periode trad sterke erosie van de oostpunt van Ameland op. Van 1975 tot 1979 draaide de Holwerderbalg weer wat terug naar het oosten, waardoor de aanval op De Hon van binnen uit afnam, maar ontstond ook een nieuwe vloedschaar aan de noordkant van De Hon die groei nog tegenhield. Van 1979 tot 1987 draaide de Holwerderbalg in de Waddenzee steeds verder naar het oosten en werden de omstandigheden voor groei van De Hon weer gunstig (situatie 1987 lijkt op die van 1927). Na 1987 ontwikkelde zich tot 2000 weer een situatie als in 1975. Met deze geulontwikkeling is de aanval op De Hon wederom ingezet.

Pinkegat 1927

Pinkegat 1949

Pinkegat 1975

Pinkegat 1979

Pinkegat 1982

Pinkegat 1987

Pinkegat 1994

Pinkegat 2000

Pinkegat 2003

West-oost-migratie van de oostpunt van Ameland (toename = groei).

Gebaseerd op een geïdealiseerd cyclisch geulgedrag in het Friesche Zeegat met een periode van 70 à 75 jaar werd vanaf 1980 een groei van De Hon in noordelijke en oostelijke richting verwacht tot 2010. Verwacht werd een groei van meer dan 2 km (zelfde positie als in 1940) en mogelijk zelfs 4 km verminderd met een reductie van circa 375 m als gevolg van zandverlies door de bodemdaling in de Waddenzee. De werkelijke groei sinds 1980 was tot nu toe slechts in de orde van 0,6 à 1 km en het ziet er naar uit dat de erosiefase van de oostpunt van De Hon rond 2000 al is begonnen. De ontwikkeling is ingezet door de geulontwikkelingen aan de wadzijde van het zeegat. Momenteel is de aanval op de oostpunt van Ameland in volle gang, zoals vooral blijkt uit de geulontwikkeling in het zeegat. Deze laatste toont een forse verschuiving van de laagwaterlijn naar het westen.

Het is niet uit te sluiten dat de bodemdaling een rol heeft gespeeld bij de mindere groei en de sneller inzettende erosie, maar het is het ook mogelijk dat het geulgedrag dermate autonoom verloopt dat de waargenomen ontwikkeling niet of nauwelijks is beïnvloed door de bodemdaling. Deze laatste mogelijkheid wordt als het meest waarschijnlijk gezien (zie ook het hoofdrapport). Voor wat de toekomst betreft kan worden aangenomen dat het erosieproces van de oostpunt van de Hon, zoals dat vanaf nu zou kunnen gaan optreden, niet of nauwelijks door de nog komende extra bodemdaling kan worden beïnvloed, omdat het grootste deel van de bodemdaling door gaswinning al heeft plaatsgevonden.

Ontwikkelingen in het zeegat Holwerderbalg/Pinkegat in de periode 1994 - 2003.

De afslag van de kwelderrand

Na 1998 is door de Begeleidingscommissie besloten dat er geen waterpassing van de kwelder op De Hon meer nodig was. De zuidkant van De Hon is ook niet in een routineprogramma van RWS opgenomen. De beschikbare informatie bestaat uit visuele waarnemingen en de reguliere luchtfoto's van de Topografische Dienst (Emmen). Deze luchtfoto's worden gebruikt voor het bepalen van de erosiesnelheid van de kwelderrand nabij de Oerderduinen. De afgelopen jaren was namelijk aan de oostzijde van de Oerderduinen, ter hoogte van raai VIII, kliferosie opgevallen. Nog iets oostelijker, halverwege raai VIII en IX, gaat deze erosie vrij abrubt over in een stabiel deel van De Hon. Daar ligt een brede pionierzone en een zich al vanaf 1986 prachtig ontwikkelende kwelder met nieuwe kreken, oeverwallen en kommen.

Het daaraan uitgevoerde onderzoek is uitgebreid naar het westen tot de monding van de Oerdsloot en naar het oosten tot aan het stabiele deel. De resultaten worden in een volgend hoofdstuk behandeld.

Waddenzee

Het belangrijkste waddengebied dat door bodemdaling zal verlagen, ligt op het Pinkewad direct onder de Hon, de Oerderduinen en het Nieuwlandsrijd. In het rapport van 2000 is reeds aangetoond dat het onmogelijk is om de bodemdalingschotel in de Waddenzee aan te tonen op basis van peilkaarten, als gevolg van compensatie van de bodemdaling door extra sedimentatie. Om hierover meer informatie te verkrijgen is het Natuurcentrum Ameland in augustus 2000 gestart met het meten van relatieve veranderingen in het plaatniveau van het Pinkewad onder Ameland-Oost door sedimentatie of erosie.

Sedimentatiemeetpunten op de platen van het Pinkewad.

Daartoe zijn initieel vijf meetpunten op de wadplaten aangebracht in het gebied dat door de bodemdaling wordt beïnvloed. Eén van deze punten (S00) dient als referentiepunt voor het ongestoorde wad en is ter hoogte van het uitwateringssluisje van de polder Buurdergrie aangebracht. Op dit punt zal de uiteindelijk verwachte bodemdaling door gaswinning minder dan 2 cm bedragen. De andere punten liggen ten zuiden van de Kooigrie/Kooiduinen, het Nieuwlandsrijd, het Oerd en de Hon. Alle punten liggen op een afstand van circa 1 km uit de kust. Later is het meetnet in dit gebied in stappen uitgebreid tot 16 punten.

Elke meetlocatie wordt door een paaltje gemarkeerd. Rond dit paaltje worden op een afstand van een meter vier krimpvrije kunststofdraden op een halve meter onder het plaatoppervlak in de bodem verankerd. De draden steken dan circa een halve meter uit de wadbodem met aan het uiteinde een aluminium plaatje. Bij elke meting wordt de afstand van het plaatje tot aan het plaatoppervlak gemeten. Per meetlocatie wordt steeds de gemiddelde verandering van de vier metingen ten opzichte van de beginmeting bepaald. Door op deze wijze regelmatig te meten, kan op betrouwbare wijze de lokale hoogteverandering van de plaat door erosie of sedimentatie worden bepaald. Samen met de bodemdaling door gaswinning geeft dit de werkelijke verandering van de plaathoogte boven NAP.

In 2001 is besloten om op circa 10 m afstand ten noorden van de meetlocaties een duplolocatie in te richten om de kans op hiaten in een meetreeks door verlies van meetpunten tengevolge van menselijke activiteiten (visserij, vandalisme) of natuurlijke oorzaken (storm, ijsgang) te verkleinen. Later is het meetnet nog verder uitgebreid.

Uit de metingen blijkt in het algemeen dat de platen op het Pinkewad in hoogte willen toenemen met af en toe een terugval door erosie (zie punten S00 en S130). De gemiddelde toename in de plaathoogte ligt in de orde van 0,5 tot 2 cm/jaar de punten met een meetreeks van meer dan twee jaar. Op de punten met een meetreeks korter dan twee jaar (punten S120-S150) worden waarden gevonden variërend van 3 cm/jaar tot 7 cm/jaar. Deze groei door sedimentatie lijkt tamelijk gelijkmatig te gebeuren. De grootste toename door sedimentatie vond plaats in de punten onder Het Oerd en Nieuwlandsrijd. In de winter van 2001/2002 werd in alle bemonsterde punten een terugval in de sedimentatie waargenomen. Op punt S10 onder Het Oerd (terugval ca. 4,5 cm) werd dit in november 2001 veroorzaakt door kokkelvisserij, waarna snel herstel van de erosie plaatsvond. Op punt S40 onder Nieuwlandsrijd werd eenzelfde beeld gevonden (terugval ca. 4 cm) dat vermoedelijk ook door kokkelvissers is veroorzaakt. Op de andere punten was de tijdelijke teruggang veel minder (orde 1,5 cm) en werd mogelijk veroorzaakt door stormen. Dit kan wijzen op een seizoeninvloed op de sedimentatie op de platen. Per saldo was er op de meeste plaatsen een behoorlijke sedimentatie, die groter was dan hetgeen nodig was voor de compensatie van de bodemdaling.

De punten S90 en S100 vertonen een afwijkend gedrag. Op beide punten trad rond november 2002 een trendbreuk op, waarbij sedimentatie veranderde in erosie (S90) of omgekeerd (S100). De oorzaak hiervan is naar alle waarschijnlijkheid de invloed van een geultje dat naar of van het meetpunt af migreert.

De gemiddelde sedimentatiesnelheid op de meetpunten op het Pinkewad vergeleken met de snelheid van bodemdaling. De lijn geeft het evenwicht waarbij de plaathoogte niet verandert. Op de meeste plaatsen is de sedimentatie dus hoger dan de bodemdaling.

Meet-punt	Bodem-daling	Sedimentatie (cm/j)		Totaal	Waarnemings-duur	Opmerkingen
	(cm/jaar)	A	B	(cm/jaar)	(maand)	
S00	-0,03	0,86	0,63	0,6 à 0,83	49	
S10	-0,20	1,71	1,39	1,19 à 1,51	48,5	grillig verloop
S20	-1,03	0,63	1,13	-0,4 à 0,1	48,5	
S30	-1,13	1,39	0,88	-0,25 à 0,26	48,5	
S40	-0,64	1,56	0,69	0,05 à 0,92	48,5	
S50	-1,17	1,58	1,84	0,41 à 0,67	41	
S60	-0,12	1,28	0,44	0,32 à 1,16	29	
S70	-0,48	2,52	1,71	1,23 à 2,04	29	
S80	-1,10	1,68	1,76	0,58 à 0,66	29	
S90	-0,95	6,9	6,1	5,15 à 5,95	29	tot nov. 2002
		-2,8	-2,85	-3,75 à -3,8		na nov. 2002
S100	-1,03	-8,85	-7,50	-8,53 à -9,88	29	tot nov. 2002
		0,88	1,60	-0,15 à 0,57		na nov. 2002
S110	-1,27	1,84	0,35	-0,92 à 0,57	29	grillig verloop
S120	-0,40	4,06	2,99	1,59 à 3,66	17	
S130	-1,20	4,64	3,43	2,23 à 3,44	17	
S140	-1,25	3,91	4,11	2,66 à 2,86	5	
S150	-1,3	7,10	6,64	5,34 à 5,8	5	

Waargenomen veranderingen van de plaathoogte op het Pinkewad onder Ameland-Oost

Toelichting bij tabel

De punten S90 en S100 liggen vlak bij een geul; de erosie is veroorzaakt in de fase dat de geul het meetpunt naderde en de sedimentatie vond plaats bij stabiele of zich verwijderende geul.

A: gemiddelde hoogteverandering berekend uit de waargenomen hoogteverandering aan het eind van de waarnemingsperiode gedeeld door de lengte van de periode.

B: trend in de sedimentatie op de plaat gebaseerd op lineaire regressie.

De hoge sedimentatie in de punten S120-S150 wordt vermoedelijk veroorzaakt door de korte meetperiode.

De hulpmiddelen die gebruikt worden bij een zogenaamde spijkermeting. Het draadje is in het sediment verankerd met een grote schroefbout die tot een diepte van circa 60 cm in het sediment wordt gedraaid. Sedimentatie en erosie worden bepaald ten op zichte van dit in de diepte verankerde punt door de lengte van het touwtje boven het sediment te meten.

Waargenomen sedimentatie/erosie op het Pinkewad door Natuurcentrum Ameland (voorbeelden).

In het algemeen is de gemiddelde sedimentatie groter dan de bodemdalingsnelheid door gaswinning. Alleen in een klein gebied met sterke bodemdaling vlak onder de Oerderduinen en De Hon zal gemiddeld geen volledige compensatie zijn opgetreden. Er kan dus worden geconcludeerd dat het effect van bodemdaling op de platen van het Pinkegat in elk geval grotendeels, maar veelal volledig wordt gecompenseerd door sedimentatie en dat de platen in het algemeen zelfs in hoogte toenemen. Deze sedimentatie past bij de natuurlijke groei van De Hon en de migratie van het wantij, die al sinds ongeveer 1980 plaatsvinden. In dat beeld moet de huidige sedimentatie worden gezien als een natuurlijk proces dat op plaatsen met bodemdaling door gaswinning enigszins zal zijn versterkt, met als gevolg enige compensatie voor het relatieve hoogteverlies door de bodemdaling. Op termijn zal door de extra sedimentatie de bodemdaling door gaswinning overal volledig worden gecompenseerd.

Kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon

In februari 2004 bedroeg de bodemdaling door gaswinning onder Nieuwlandsrijd (zonder compensatie door opslibbing) circa 19 cm aan de oostzijde van de kwelder aflopend tot circa 4 cm aan de westzijde. Dit is circa 85 respectievelijk 45 procent van de oorspronkelijk (1985) voorspelde bodemdaling.

De belangrijkste invloed van de bodemdaling op het Nieuwlandsrijd is een toename van de frequentie en omvang van overstroming door stormvloeden. Voor een deel wordt dit weer gecompenseerd door extra slibafzetting als gevolg van de extra overstromingen. Dit verschijnsel geldt ook voor de natuurlijke kwelder op De Hon, waar in februari 2004 de bodemdaling door gaswinning varieerde van 29 cm bij de NAM-locatie in het westen tot circa 10 cm op de oostpunt. Dit is ruim 100 respectievelijk 50 procent van de oorspronkelijk (1985) voorspelde bodemdaling.

De kwelderrand van het Nieuwlandsrijd (die voorzien is van een oeverrandbescherming) ligt overal ruim boven het niveau van GHW (Gemiddeld Hoogwater), dus boven het niveau waar door de bodemdaling kwelderverlies zou kunnen optreden. De kwelderrand van de Hon ligt lager, waardoor de bodemdaling daar wel tot een afname van de kwelder kan leiden door noordwaartse verschuiving van de GHW-lijn aan de wadkant. Echter, wanneer de bodemdaling zou worden gecompenseerd door opslibbing hoeft er ook op de Hon geen kwelderverlies op te treden. Het resulterend effect van de bodemdaling door gaswinning op de topografie van de kwelders kan dus alleen bepaald worden als ook iets bekend is van de compensatie door aanslibbing. Om hier iets over te weten te komen is in oktober 1988 bij negen geselecteerde pq's op circa 20 cm onder het maaiveld een roestvrij stalen plaat ingegraven. Sindsdien wordt op deze locaties elk jaar met behulp van een prikker het niveau van het maaiveld ten opzichte van deze plaat bepaald. Dit gebeurt door eerst met de prikker de randen van de plaat op te zoeken en vervolgens in het midden van de plaat te meten. In principe geldt de eerste aflezing als basis voor het bepalen van de opslibbing. Door zetting in de uitgegraven grond boven de plaat kan de gemeten opslibbing over het eerste jaar minder betrouwbaar zijn. Dit werd veelal ook bevestigd door de geringere dekking die een jaar later werd gemeten.

Op De Hon verloopt de opslibbing op de drie geselecteerde locaties vanaf 1989 vrij regelmatig doch op Nieuwlandsrijd is dit in veel mindere mate het geval door het aantrappen van de grond door grazende koeien of locale erosie door een beschadigde grasmat. Hierdoor is punt 17 volledig onbetrouwbaar als representatieve opslibbingslocatie (zie foto) en is in de overige punten het beeld tot september 1991 verstoord.

Beschadigde grasmat bij PQ III-17.

Opslibbingsgegevens van de kwelder op De Hon.

De punten op De Hon liggen op toenemende afstand van de Waddenzee en op toenemende terreinhoogte. De punten IX-4 en IX-6 liggen vrij dicht bij elkaar op de lage kwelder en hebben ongeveer dezelfde terreinhoogte. Het sedimentatieverloop in deze punten ligt daarom ook dicht bij elkaar met in oktober 2004 een totale opslibbing van 208 mm respectievelijk 195 mm. In 2001 vertoont het sedimentatieverloop in punt IX-4 een sprong, terwijl het verloop in punt IX-6 regelmatig blijft. De sedimentatie in het verder van de Waddenzee en hoger gelegen punt IX-8 is duidelijk minder dan in de andere twee punten en stagneert sinds oktober 2000. De totale opslibbing in dat punt bedroeg in september 2004 57 mm. In het lager gelegen punt IX-6 stagneert de sedimentatie in de periode van oktober 2000 tot oktober 2004 niet, maar de sedimentatiesnelheid is wel lager dan in de voorgaande periode. Vermoedelijk speelt hier de lage frequentie van hoge stormvloeden in deze periode een rol. In het algemeen blijkt dat de bodemdaling op de kwelder op De Hon wordt gecompenseerd door opslibbing. Op de lage delen van de kwelder vlak bij de Waddenzee is de compensatie gelijk of zelfs iets groter dan de bodemdaling door gaswinning. Hierdoor veroorzaakt de bodemdaling door gaswinning geen regressie van de kwelderrand. In de richting van de hogere delen van de kwelder en verder van de Waddenzee verwijderd neemt de compensatie door opslibbing af, doordat de inundatiefrequentie en -diepte afneemt met het kwelderniveau. Ook neemt het slibgehalte in het water door uitzakking af met de afstand tot de zee.

Opslibbingsgegevens van de kwelder Nieuwlandsrijd.

Het sediment dat uitzakt bij de meetpunten op Nieuwlandsrijd wordt hoofdzakelijk aangevoerd via de Oerdersloot. De opslibbing op de kwelder blijkt af te nemen met het toenemen van het kwelderniveau en met het toenemen van de afstand tot de mond van een hoofdkreek en de afstand tot de hoofdkreek. Zo blijkt de totale opslibbing sinds september 1991 het grootst op punt III-1 vlak bij de mond van de Oerdersloot (153 mm). De totale opslibbing in het evenhoog gelegen punt III-7 op grotere afstand van de mond langs de Oerdersloot bedroeg 94 mm. De opslibbing in het lager gelegen punt III-4 op enige afstand van de Oerdersloot vlak bij punt III-1 bedroeg 103 mm. De totale opslibbing sinds september 1991 in de ver van de Waddenzee en vlak bij de Kooioerdstuifdijk relatief hoog gelegen punten III-21 en III-23 bedroeg slechts 28 mm respectievelijk 3 mm. Ook hier treedt dus op de lage kwelder door opslibbing een belangrijke compensatie van de bodemdaling op. Dit neemt af met de afstand tot de Waddenzee en tot de hoofdkreken en met het toenemen van het kwelderniveau.

In een later stadium van de monitoring is Alterra begonnen met het meten van de sedimentatie/erosie op alle PQ's op de kwelders met behulp van de SEB-methode. Dit is gedaan om op elke locatie voor het vegetatieonderzoek betrouwbare sedimentatiegegevens te hebben voor een goede

interpretatie van gevonden wijzigingen in de vegetatie. Voor resultaten, die het hiervoor beschreven beeld bevestigen, wordt verwezen naar het addendum van Alterra.

Duingebieden

In de vorige rapportage is een uitgebreide beschrijving gegeven van de duingebieden binnen de invloedssfeer van de bodemdalingschotel door de gaswinning. De conclusies uit het vorige rapport blijven onverminderd van kracht, i.e.:

- De zeereep en de jonge duintjes op De Hon zijn relatief zeer dynamisch en de effecten van bodemdaling zijn hier volledig ondergeschikt aan de natuurlijke dynamiek.
- Het vegetatieonderzoek in de duinen is voornamelijk uitgevoerd in de oudere, inactieve duinen met een sterke begroeiing. Hier vindt nauwelijks zandtransport plaats, zodat de bodemdaling door gaswinning hier vrijwel overeen zal komen met de daling van het maaiveld. De bodemdaling zal in principe dus leiden tot een permanente verlaging van het duinlandschap.

Het zeeniveau stijgt geleidelijk iets ten gevolge van de relatieve zeespiegelstijging (ca. 2 mm/jaar) en ook de kans op winterse neerslag zal gemiddeld eerder toe- dan afnemen. Hierdoor zal de overvloedingsfrequentie en overvloedingsduur van lage, open duinvalleien toenemen en zullen lage, gesloten duinvalleien natter worden.

Stormvloedgeulen op De Hon

Ten oosten van de NAM-locatie is de zeereep lager dan vanaf de NAM-locatie naar het westen. Ook wordt de zeereep aan de noordzijde van De Hon op meerdere plaatsen onderbroken door stormvloedgeulen. Dit zijn ondiepe doorlaten door de duinen met een drempel in de zeereep boven NAP + 2 m. Tijdens hoge stormvloeden stroomt hierdoor rond hoogwater zeewater vanaf de Noordzee naar de Waddenzee.

Stormvloedgeulen ten oosten van de NAM-locatie bij km-raai 23.

Stormvloedgeul iets verder naar het oosten nabij het Baken.

Dit gebeurt slechts een beperkt aantal keren per jaar en de hoeveelheid water die via deze weg naar de kwelder stroomt wordt ingeschat als gering gezien de geringe afmetingen van deze doorgangen en de relatief hoge ligging van de drempels. Tot nu bestaat de indruk dat de verlaging van de drempels en het hoge strand door de bodemdaling volledig wordt gecompenseerd door instuiving van zand. Deze indruk is gebaseerd op de gegevens van het strand en de duinen uit het JARKUS-bestand en op een nauwkeurige vergelijking van de jaarlijkse fotopanorama's genomen op De Hon.

Er is tot nu toe, nu de bodemdaling haar verwachte maximum dicht is genaderd, nog steeds geen teken van enige uitschuring van deze stormvloedgeulen te zien die tot een toename van deze geulen heeft geleid. Ook in de toekomst wordt dit niet verwacht. De kans is groter dat deze stormvloedgeulen door inwaaiing van zand geleidelijk kleiner zullen worden en de zeereep zich, in het kader van een natuurlijk proces, zal gaan sluiten.

Kustafslag kwelderrand

De vegetatie van de kuststrook ten zuiden van Het Oerd en de Oerderduinen wordt gekenmerkt door een grote soortenrijkdom en is door zoet-zoutgradiënten in haar soortensamenstelling uniek. De combinatie van zoutplanten en blauwgraslandplanten maakt dat er hier een groot aantal Rode Lijstsoorten voorkomt. Vooral deze kuststrook is gevoelig voor afslag waardoor de natuurwaarde ervan wordt bedreigd. Om na te gaan of gaswinning en bodemdaling de afslag versnelt is voor de afgelopen 55 jaar aanwas en afslag van de kust gekwantificeerd door luchtfoto-interpretatie van de kustlijn. Uit de foto vergelijking bleek dat tot *ca.* 1979 aanwas van de kust plaatsvond. 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 vastgesteld hoewel op enkele plekken sterke erosie plaatsvond. De snelheid van afslag kan oplopen tot meer dan 3 m per jaar.

Klifrand met afslag aan de westkant van de kuststrook onder Het Oerd, beheerd door 'De Vennoot' (augustus 2004). Foto: R.M.A. Wegman.

De gevolgen voor de vegetatie werden vastgesteld door vegetatieopnamen van permanente proefvlakken (pq's) van 1986 met die van 1999 en 2004 te vergelijken. Er is vooral sprake van teruggang in de vegetatiesuccessie (regressie). De vegetatie van een deel van de pq's aan de wadkant is in deze periode afgeslagen en in de aanliggende pq's zijn minder zoutindicerende plantensoorten aangetroffen. Ook de soortenrijkdom neemt af. Een aantal vegetatiezones schuift landwaarts op en loopt zich ‘stuk’ op de duinvoet met helm waar in ecologisch en fysiek opzicht steeds minder ruimte is.

Conclusie is dat de regressie van de vegetatie tussen 1986 en 2004 (in circa de helft van de pq’s) vooral wordt veroorzaakt door de kustafslag en aanvullend door de bodemdaling door verlaging van het maaiveld en toegenomen overspoeling. Het verloop van de kustafslag lijkt tot nu toe in overeenstemming met de natuurlijke dynamiek van de kust.

Gedrag kwelderrand Oerderduinen 1949 - 2004

Luchtfotointerpretatie kustlijn ten zuiden van de Oerderduinen, Ameland 2004

Kwelders

Op basis van bijdragen van

Kees Dijkema

Willem Molenaar

Han van Dobben

Op de kwelders van Ameland-Oost worden de effecten van bodemdaling door gaswinning vanaf 1986 gevolgd in transecten. Deze raaien zijn per kwelder op het deel met nagenoeg de grootste bodemdaling gesitueerd. Transect III op Nieuwlandsrijd is in 2003 14 cm gedaald (gemiddeld 8 mm/j) en transect IX op De Hon is in 2003 20 cm gezakt (gemiddeld 12 mm/j). Vanwege deze ligging beschrijven de permanente proefvakjes (pq.s) in de transecten de maximale effecten van bodemdaling.

De effectenvoorspelling van 1987 gaat uit van de zonehypothese: daling van de hoogte van het maaiveld is rechtstreeks vertaalbaar naar een verandering in de kweldervegetatie. In 1987 werd een aanzienlijke regressie van de vegetatie voorspeld. **Regressie** betekent dat de vegetatie teruggaat naar de plantensoorten van een lagere of jongere kwelderzone. In het specifieke geval dat veroudering wordt teruggedraaid (b.v. verdwijnen van Strandkweek of herstel van vegetatie met Lamsoor) wordt regressie **verjonging** genoemd. **Successie** betekent dat de vegetatie verder gaat naar de plantensoorten van een hogere of oudere kwelderzone. In het specifieke geval dat monocultures van Zoutmelde, Strandkweek of Kweek ontstaan is successie **veroudering** genoemd.

Opslibbingsbalans gemeten in de periode 1986-2003:

- De monitoring van de hoogteprofielen over de transecten laat een hoge opslibbing dicht bij het wad en op de oeverwallen bij de kreken zien (gem. 9 mm/jaar) en een lage opslibbing verder vanaf het wad, in de kommen en hoger op de kwelder (gem. 2 mm/jaar). Beide waarden zijn voor eilanden normaal. Middenop de kwelder De Hon is de opslibbing veel minder dan de bodemdaling. Ter vergelijking: de opslibbing op vastelandkwelders ligt op ca. 10-20 mm/jaar.
- Ondanks een negatieve opslibbingsbalans zakt het maaiveld dicht bij het wad, op de lagere delen van de kwelder en op de hoge kwelder meestal niet onder de ondergrens van de betreffende vegetatiezone.
- Op de midden kwelder en in de groep verstoorde pq's zakt het maaiveld in ¾ van de pq's wel onder de ondergrens van de betreffende vegetatiezone.
- Op grond van de zonehypothese en van de opslibbingsbalans zijn voor de pq's 9.7 en 9.8 in de centrale kom van De Hon veranderingen van de vegetatie te verwachten.

Voorspelling van effecten tot 2020 op basis van de nieuwe prognose:

Voor de inschatting van de gevolgen van de extra bodemdaling zijn 2 situaties onderscheiden. Scenario 1 gaat uit van geen verdere bodemdaling na 2003 en beschrijft als het ware het herstel tot 2020. Dit komt overeen met een maximum bodemdaling van ca. 26 cm zoals oorspronkelijk voorspeld en bereikt werd in 2003. Scenario 2 beschrijft het mogelijk effect van een voortgang van de bodemdaling volgens de huidige voorspelling van 34 cm in 2020.

scenario 1

scenario 2

Conclusies zonebenadering Scenario 1 periode 2003-2020:

- *De Hon: alle drie door kreekblokkering verstoorde pq's (9.10, 9.11 en 9.12) zakken naar erosiegevoelige zones vanuit hoger gelegen vegetatiezones.*

Conclusies zonebenadering Scenario 2 periode 2003-2020:

- *Nieuwlandsrijd: pq 3.9 is in 2020 naar de pre-lage kwelder gezakt. De pq grenst niet aan het wad of aan een kwelderplas.*
- *De Hon: drie pq.s van de midden kwelder (9.7, 9.8 en 9.9) zakken door een opslibbingstekort naar de pre-lage kwelder. De pq.s liggen middenop De Hon. Pq 9.9 ligt op een kwetsbare locatie nabij een kwelderplas.*
- *Verstoorde pq's: door vernatting of vertrapping verstoorde pq's op Nieuwlandsrijd en De Hon blijken kwetsbaar en zakken allemaal naar een lagere vegetatiezone.*

Scenario-uitkomsten van berekeningen in verband met nog te verwachten bodemdaling en opslibbing op kwelders.

Omdat voor De Hon en voor de oostzijde van het Nieuwlandsrijd een grotere daling wordt verwacht dan in 1987 zijn nieuwe voorspellingen gemaakt van de te verwachten effecten. Uit de scenarioberekeningen blijkt dat in de toekomst de aandacht zich voornamelijk moet richten op de pq's 9.7 - 9.9 die representatief zijn voor de centrale kom van De Hon tussen de kwelderrand met veel opslibbing en de kwelderplasjes zonder opslibbing. Ook de vergelijking van vegetatiekaarten 1988-2003 wijst op die plek in de richting van lage kwelder. De hoogte van het maaiveld is maar weinig boven GHW gelegen, zo'n 15 tot 25 cm. Dat is net boven de ondergrens van de lage kwelder. In deze zone staat veel Zoutmelde, Spiesmelde en periodiek ook Schorrekruid. De vegetatie ziet er vitaal uit. Het gehele bovenste deel van transect IX (de pq's 9.7 – 9.14) heeft een negatieve opslibbingsbalans die in de toekomst groter wordt. Op grond van de (niet solide gebleken) zonehypothese verandert de vegetatie naar die van een lagere kwelderzone. Ten zuiden van de kwelderplasjes veranderen de pq's 9.7 en 9.8 van de midden kwelder bij scenario 1 door het opslibbingstekort naar de pre-lage kwelder. Bij scenario 2 verandert ook pq 9.9 naar de pre-lage kwelder. Deze pq's zijn kwetsbaar voor erosie door de ligging nabij de kwelderplas. De Hon als geheel is niet in gevaar want de plasjes liggen ver van de erosiegevoelige randen (het wad en de Noordzee). De kwelderplas kan zowel vergroten als verbinding maken met een kreek. In het laatste geval zal de plas in snel tempo begroeien met vegetatie van de jonge kwelder, zoals recent in het hart van de bodemdaling op De Hon is gebeurd met een kwelderplas van 2,4 ha. Er is geen aanleiding voor een kweldererosie vanaf de zeekant zoals was voorspeld in 1987.

Samengevat zijn ook in de toekomst de belangrijkste effecten van de bodemdaling op de kweldervegetatie van Ameland een vertraging van successie/veroudering en mogelijk een vergroting van de kwelderplasjes middenop De Hon. Het ontstaan van de plasjes zou als ongewenste regressie kunnen worden gezien omdat het areaal kwelderbegroeiing wordt aangetast. Een andere zienswijze is dat kwelderplasjes een waardevol onderdeel zijn van het kwelderecosysteem. Voorwaarde is wel dat de plasjes niet zodanig grote afmetingen krijgen dat er voortschrijdende erosie van de oevers door golfwerking kan optreden.

Nieuwlandsrijd: samenvatting van de metingen en de voorspelling tot 2020

Voor de kwelder Nieuwlandsrijd in transect III worden op basis van de monitoring tot nu toe en van twee mogelijke bodemdalingscenario's tot 2020 nog steeds geen wezenlijke effecten op de kweldervegetatie verwacht. In 2004 gaat de successie van de vegetatie vrijwel overal autonoom zijn gang, de in 1986 voorspelde veranderingen treden niet op. Wellicht is de vegetatiesuccessie vertraagd door de bodemdaling waardoor de veroudering van de kweldervegetatie langzamer verloopt dan zonder bodemdaling. Gezien de veroudering die op veel kwelders plaatsvindt wordt een vertraagde successie positief beoordeeld.

De Hon: samenvatting van de metingen en de voorspelling tot 2020

Op De Hon is op afstand van het wad in transect IX een plasje ontstaan. Dat plasje is het gevolg van de blokkering van een kreek. De plas is een uitloper van een bestaande plas van 0,6 ha ten westen van transect IX. Van de bodemdalingscenario's tot 2020 wordt direct ten zuiden van deze plas een effect van bodemdaling verwacht: de pq's 9.7 en 9.8 van de midden kwelder veranderen bij scenario 1 naar de pre-lage kwelder. Bij scenario 2 verandert ook pq 9.9 naar de pre-lage kwelder. De kwelderplas kan zowel vergroten als verbinding maken met een kreek. In het laatste geval zal de plas in snel tempo begroeien met vegetatie van de jonge kwelder, zoals recent in het hart van de bodemdaling op De Hon is gebeurd met een kwelderplas van 2,4 ha. Er is geen aanleiding voor kweldererosie vanaf de zeekant zoals was voorspeld in 1987.

Zonering en mineralisatie

Bij normale opslibbing en de daarmee gepaard gaande successie van de vegetatie wordt de kwelder hoger en droger, mineraliseert de organische stof en veroudert de vegetatie. In de Oosterschelde is dit proces versneld door verlaging van de getijstanden. Het omgekeerde lijkt ook het geval te zijn, de mogelijkheid dat bodemdaling indirect veroudering (door b.v. Strandkweek) tegengaat door afremming van de mineralisatie in de bodem. Bodemrijping wordt algemeen als niet reversibel verondersteld, maar de processen op Ameland en in de Oosterschelde wijzen op een grote rol van zowel toenemende als van afnemende bodemaëratie.

Voorbeeld van zonering en inundatiefrequentie.
De kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon kennen een ontwikkeling die vergelijkbaar is met andere eilandkwelders achter stuifdijken (Bakker, 1997). Deze kwelders ontwikkelen zich op een hoge zandplaat met een gradiënt in hoogte vanaf het wad naar geïsoleerd gelegen lage duintjes. Deze gradiënt is in tegenstelling tot vastelandkwelders geen weerspiegeling van de successie, maar al in aanleg van de zandplaat aanwezig. Het zijn "plaatkelders achter kunstmatige stuifdijken" die gekenmerkt worden door een snelle successie (Westhoff et al. 1998). Door het grote verschil in leeftijd hebben de beide kwelders een simpele indeling in kleidikte. Nieuwlandsrijd is oud en heeft een relatief dikke kleilaag. De Hon is jong en heeft een dunne kleilaag. Het kweldersysteem op Ameland-Oost is in drieën in te delen:

- ***Nieuwlandsrijd*** *is gevormd na voltooiing van de stuifdijk tussen de Kooiduinen en Het Oerd in* ***1893****; op de zandplaat lagen al lage duintjes uit de periode 1800-1880. De kleidikte in transect III ligt in 1995 tussen 50-30 cm aan de wadkant en 15-10 cm aan de duinkant.*
- ***De Hon*** *was in* ***1962*** *nog een kale zandplaat; langs de noordzijde vormen zich jonge duintjes. Ook hier is daarna een explosieve ontwikkeling van een kwelder op gang gekomen na aanleg van een stuifdijk. De stuifdijk is niet (meer) gesloten. De kleidikte in transect IX ligt in 1995 tussen 18-19 cm bij een kreek aan de wadzijde tot 7-11 cm onderaan lage duintjes.*
- *Ter plaatse van transect IX ligt aan de* ***wadzijde van De Hon*** *een jonger kweldertje (de pq's 9.1-9.5 in transect IX) dat in de periode* ***1986-2004*** *een vrijwel volledige successie heeft doorlopen van ijle pionierbegroeiing, via Gewoon kweldergras, Gewone zoutmelde naar Strandkweek. De huidige zonering is nog steeds een weerspiegeling van de successie in de afgelopen 20 jaar. In een handboek over kwelders zou het niet mooier kunnen staan. De dikte van de kleilaag loopt in 1995 op van 0 cm in de pionierzone tot 13 cm bij de kreek.*

Veranderingen in overvloedingsfrequentie 1986-2003:

- In de periode 1986-1997 heeft de afname van de jaargemiddelde hoogwaters de mogelijke effecten van bodemdaling op de kweldervegetatie grotendeels gecompenseerd via een stabiele overvloedingsfrequentie.
- In de periode 1997-2003 heeft de toename van jaargemiddelde hoogwaters de mogelijke effecten van bodemdaling op de kweldervegetatie versterkt via een toename van de overvloedingsfrequentie op 60% van de pq's.

Verloop jaargemiddelde hoogwaters (GHW) op meetstation Nes.

Kweldervegetatie gemeten in de periode 1986-2003:

- De helft van de pq's laat autonome successie zien, waarvan 22 % van alle pq's veroudering naar een climax-vegetatie (b.v. Strandkweek) en 28 % van alle pq's successie van de vegetatie naar een hogere kwelderzone (b.v. Zeealsem). 20 % van de pq's verandert niet. Canoco-analyse laat binnen de kwelderzones een significante successie/veroudering zien (verandering op de derde as).
- In twee pq's is bodemdaling de meest waarschijnlijke oorzaak van een verandering: 9.7 en 9.8 (periodieke regressie met éénjarige planten; 5 % van alle pq's). Deze pq's liggen middenop De Hon in de nabijheid van een al decennia bestaande plas. In de buurt van deze plas worden dezelfde éénjarige planten periodiek waargenomen. Dit gebied heeft een lage opslibbing (door de grote afstand tot het wad en tot kreken) en een hoge bodemdaling (nabij het centrum van de daling). De genoemde pq's liggen al vanaf het begin van de bodemdaling op of onder de ondergrens van de midden vegetatiezone.
- In circa 25% van de pq's was sprake van regressie/verjonging van de kweldervegetatie. De grootste oorzaken van regressie en/of verjonging van de kweldervegetatie waren echter niet bodemdaling, maar vernatting (= vermindering aëratie) door blokkering van een kreek of autonome kliferosie en vertrapping door vee (resp. 10 % en 15 % van alle pq's).
- Op grond van een lineair regressiemodel wordt de kwelderzonering van 1986 significant verklaard door de hoogte van het maaiveld. De zonehypothese is echter niet houdbaar als voorspeller voor de effecten van bodemdaling op kweldervegetatie, want:
  1. (Zonering) is alleen te verklaren indien de bodemhoogte gering was gestegen (zonder opslibbing).
  2. (Successie) is grotendeels te verklaren uit de gemeten bodemdaling en opslibbing (de bodemdaling zou eigenlijk 5-10 x zo groot moeten zijn geweest; de opslibbing klopt wel).
  3. (Veroudering) is alleen te verklaren als de bodemhoogte zeer sterk was gestegen (ca. 15 x de huidige daling).

*Een opvallende vorm van geleidelijke successie op Nieuwlandsrijd is de massale toename van **Zeealsem (op Ameland "vlooienkruid" genoemd)**. Vanaf 1986 wordt in de pq's een geleidelijke toename van de hoogte van de planten gemeten. De oorzaak lijkt een geringere beweiding met rundvee en een kortere graasperiode eind 80er en begin 90er jaren (Molenaar, 2005). Vaak is een geringe successie in de soortensamenstelling van de pq's zichtbaar. Dat is als volgt te verklaren. Door de biljartlaken-beweiding van 20 jaar geleden werd de successie naar soorten van de midden kwelder tegengehouden. Bij iets minder beweiding verschijnen direct kiemplantjes van Zeealsem als gevolg van autonome successie. Het daaropvolgende jaar woekeren de wortelstokken van Zeealsem door de hele pq. Circa 25 jaar geleden is dit eveneens waargenomen op zeer intensief beweide vastelandkwelders in Duitsland bij Hilgenriedersiel.*

*Sommige soorten hebben een wisselend bestaan. In de pq's 7 en 8 van raai 9 nemen de **éénjarige planten Schorrekruid en Spiesbladmelde** recent periodiek toe. In 1997 heeft Schorrekruid daar een hoge bedekking, maar is in 1999 weer tot een lage bedekking afgenomen; de kwelder is weer stabiel en divers. In 2002 is Schorrekruid terug als gevolg van een buitengewoon hoge winter-opslibbing op de gehele Hon, in 2003 opgevolgd door Spiesbladmelde. In 2004 komt rond deze PQs éénjarige ruigte van Spiesbladmelde en Schorrekruid voor, een verschijnsel dat in 2004 op alle Waddenzee-kwelders te zien was. Het gaat om éénjarige planten die snelle fluctuaties vertonen als reactie op storing, o.a. als reactie op pas afgezet slib of op het afsterven van planten door strenge vorst (gedocumenteerd op vastelandkwelders). Op De Hon zou toename van de **dikte van de kleilaag** een rol kunnen spelen (het periodiek voorkomen van het éénjarige Schorrekruid duidt op een periodieke extra mineralisatie).*

Vergelijking vegetatiekaarten 1988, 1993, 1997 en 2003:

- Een vlakdekkende vergelijking van vegetatiezones tussen 1988 en 2003 bevestigt de conclusies uit de proefvlakjes (pq's) in transecten:
  1. De vegetatie op Nieuwlandsrijd is niet wezenlijk veranderd.
  2. De Hon laat tegelijkertijd regressie door bodemdaling (10 ha), veroudering naar Strandkweek (20 ha) en successie naar een nieuwe kwelder (5 ha) zien.
- Uit een eerdere kaartvergelijking met andere kwelders blijkt op Ameland-Oost een relatieve afname van Strandkweek. Dit zou een bevestiging kunnen zijn van het vermoeden dat bodemdaling de veroudering naar climax-planten afremt.

Zonering de Hon 1988

Zonering de Hon 2003

Zonering Nieuwlandsrijd 1988

kale zone
pre-pionierzone
pionierzone
lage kwelderzone
kwelderzone met pioniersoorten
midden kwelderzone
middenkwelderzone met kweek
middenkwelderzone met R-soorten
hoge kwelderzone
hoge en brakke kwelderzone en zilte duinvalleien
duinen
water

schaal 1:20.000

ALTERRA
GREEN WORLD RESEARCH

Rijkswaterstaat
Meetkundige Dienst

Zonering Nieuwlandsrijd 2003

Kaartbeeld kwelders Ameland-Oost van 1986 tot heden

Veranderingen in kwelderareaal

Vegetatiekaarten zijn een waardevol hulpmiddel om veranderingen in de kwelder pq's vlakdekkend te toetsen. Op de zoneringskaarten zijn de oppervlaktes van de vegetatiezones voor de verschillende jaren gemeten.

*Op het **Nieuwlandsrijd** is een vast polygoon van de gehele kwelder gebruikt. De zuidelijke grens van de kwelder met het wad ligt grotendeels vast door de steenglooiing en de noordelijke grens ligt vast door het fietspad. De verklaringen voor de waargenomen veranderingen zijn:*

- *De wisseling van het **totale kwelderareaal** kan als gevolg van het gebruikte polygoon uitsluitend op de gekarteerde grens met de duinen slaan.*
- *Door de jaren heen relatief **stabiel** zijn: de pionierzones, lage kwelderzones, midden kwelderzone, Strandkweek, en water.*
- *Opvallend op de kaart van 2003 is de successie middenop Nieuwlandsrijd van midden kwelder naar 47 ha **midden kwelder met (hoge) Rsoorten**. Soortgelijke veranderingen tussen de duinen en de twee hoge kwelderzones bleken in de evaluaties van 1995 en 2000 toe te schrijven aan geringe verschuivingen binnen de complexen van vegetatietypen waaruit onze vegetatiezones bestaan.*
- *Verder zijn opvallend de **kaartvlakken ter weerszijden van de Oerdsloot**: op de vier sets kaarten afwisselend lage + midden kwelder (1988), lage kwelder (1993), vrijwel alle zones (1997) en lage kwelder (2003). Bij de veranderingen in deze kort afgegraasde kwelder spelen verschillen in foto-interpretatie een rol.*
- *Vlakdekkende vergelijking van vegetatiezones tussen 1988 en 2003 bevestigt het beeld van de pq's: de vegetatie op Nieuwlandsrijd is niet wezenlijk veranderd.*

*Op **De Hon** is een vast polygoon van de zes zuidelijke 500x500 meterhokken gebruikt, waardoor het totale kwelderareaal voor ca. 1/3 deel wordt onderschat. Dat is gedaan om eventuele veranderingen in de oppervlakte van de zuidelijke grens van de kwelder met het wad goed in beeld te brengen. Het noordelijk grensgebied van de kwelder met het dynamisch duingebied (evenals bij Nieuwlandsrijd moeilijk te karteren) valt immers buiten dit polygoon.*
De verklaringen voor de waargenomen veranderingen zijn:

- *Het **totale areaal** van alle zones binnen het polygoon is ruim **15 ha gegroeid**.*
- *Een deel van de pionierzone langs het zuidoosten van De Hon is in pre-pionierzone overgegaan.*
- *Opvallend is de **veroudering van ca. 20 ha** midden kwelderzone naar Strandkweek.*
- *Verder valt de **regressie van ca. 10 ha** midden kwelderzone naar lage kwelderzone middenop De Hon op (eveneens verschuivingen binnen complexen van vegetatietypen). Dit komt redelijk overeen met de pq's 9.7 en 9.8 en is te verklaren door bodemdaling en lage opslibbing.*
- *Tenslotte is in het midden van De Hon aan de wadzijde de **successie naar 5 ha nieuwe kwelder** te zien.*
- *De **kwelderplasjes** komen er op de versimpelde zonekaarten niet goed uit. De betreffende kaartvlakken zijn op de oorspronkelijke kaartserie 1988-2003 van RWS-AGI wel herkenbaar. De kleine kwelderplas bij transect IX meet in 2003 0,6 ha en is voor 90 % onbegroeid. De grote kwelderplas Z-ZW van het baken op De Hon meet 2,4 ha en het areaal onbegroeid neemt in 1988, 1997 en 2003 af naar respectievelijk 100 %, 65 % en 10 %.*
- *Vlakdekkende vergelijking van vegetatiezones tussen 1988 en 2003 bevestigt het beeld van de pq's: de vegetatie op De Hon laat tegelijkertijd regressie door bodemdaling, veroudering naar Strandkweek en successie van een nieuwe kwelder zien.*

Statistische analyse van de kwelder pq's Ameland

De resultaten van de monitoring tonen aan dat de vegetatie van de kwelders op Ameland-Oost tussen 1986 en 2003 wel is veranderd, maar deze verandering is slechts voor een klein deel aan bodemdaling toe te schrijven. Weliswaar zijn er significante correlaties tussen vegetatieveranderingen en bodemdaling, maar de grootte van de regressiecoëfficiënten toont aan dat er niet of slechts ten dele sprake kan zijn van een oorzakelijk verband.

Bij de analyse werden de pq's ingedeeld in vier groepen (pionierzone, lage kwelder, middenkwelder en hoge kwelder) en werd de vegetatie geordend langs drie gradiënten ('assen'). De assen zijn te typeren als zonering (as 1), successie (as 2) en veroudering (as 3). De enige variabelen die geen lineaire trend in de tijd hebben zijn de score op de eerste as, en de overvloedingsfrequentie. Beide hebben een minimum in 1993, en een maximum rond 2000. Dat is er waarschijnlijk de oorzaak van dat het effect van zeespiegelregime op de eerste as bijna significant is. Maar de regressiecoëfficiënt heeft het verkeerde teken: de score op de eerste as is laag wanneer de overvloedingsfrequentie laag is, dat wil zeggen het lijkt alsof de vegetatie meer gaat lijken op die van de laaggelegen zones in perioden waarin de overvloedingsfrequentie laag is! Overigens zijn de verschuivingen langs de eerste as door de tijd niet significant, en daarom wordt hier aangenomen dat deze tegenstrijdigheid op toeval berust.

Voorbeeld van een statistische data analyse.

De scores op de tweede as in de hoge kwelderzone hebben -afgezien van een lokaal maximum in 2001- een monotoon dalende trend, die moeilijk te verklaren is. Omdat de tweede as positief gerelateerd is aan beweiding, zou een afnemende beweidingsintensiteit een verklaring kunnen zijn. Echter, de beweidingsintensiteit op het Nieuwlandsrijd is gedurende de monitoring vrijwel constant geweest. Bovendien blijkt de neerwaartse trend op de tweede as zowel op het Nieuwlandsrijd als op De Hon (waar geen begrazing is) voor te komen. Blijkbaar lijkt de vegetatie van de hogere delen van het Nieuwlandsrijd in 2003 veel op die van de hogere delen van de De Hon in 1986. Blijkens de analyse kan bodemdaling deze verandering voor een deel, maar zeker niet volledig, verklaren.

De veranderingen zijn het grootst langs de derde as. Hier is sprake van een sterk stijgende trend in alle zones, die strijdig is met hetgeen verwacht zou worden op grond van bodemdaling. Omdat de derde as weinig relatie heeft met de gemeten abiotische variabelen en sterk gecorreleerd is met de Ellenberg indicator voor de beschikbaarheid van nutriënten, ligt het voor de hand deze verandering te verklaren als ‘successie' of 'veroudering'. De soorten die extreme posities op de derde as innemen geven een indicatie van de verandering die heeft plaatsgevonden: soorten met lage scores zijn afgenomen en die met hoge scores zijn toegenomen. Het blijkt dat: *Poa trivialis, Senecio jacobaea, Cirsium arvense, Polygonum aviculare, Elymus athericus, Lolium perenne* zijn toegenomen; afgenomen zijn onder andere *Cerastium semidecandrum, Sagina maritima, Elymus farctus, Cochlearia danica, Centaurium litorale, Sedum acre*. Kennelijk is de open vegetatie van zandige kopjes afgenomen, en is dicht grazige vegetatie toegenomen.

Zowel de Natuurbehoudswaarde (NBW) als het aantal soorten hebben een monotoon dalende trend (afgezien van lokale maxima in NBW in 1991 en 2000). Evenals in de studie van de duinen (Van Dobben & Slim, dit rapport) is er een aanzienlijk verlies aan soorten opgetreden, gemiddeld ca. 3.5 soort per pq. Echter, zoals reeds eerder opgemerkt hebben de twee indicatoren voor biodiversiteit verschillende relaties met hoogteligging: aantal soorten is positief gerelateerd aan hoogteligging en NBW negatief. Dit maakt dat de afname van het aantal soorten in elk geval ten dele verklaarbaar is uit bodemdaling, maar de afname van de NBW niet. Uit de vergelijking van de 'paden' van de pq's langs de drie DCA assen, en de relatie van de indicatoren voor biodiversiteit met deze assen werd reeds geconcludeerd dat de verandering in de vegetatie die heeft geleid tot afname van aantal soorten en NBW het best overeenkomt met de verandering die wordt gerepresenteerd door de verschuiving langs de derde as. Reeds eerder is geconstateerd dat deze verschuiving niet met bodemdaling kan samenhangen. Dit maakt het onwaarschijnlijk dat afname in NBW en in aantal soorten een direct gevolg is van bodemdaling. Dit met uitzondering van de afname van het aantal soorten in zone 4, die samenvalt met een verschuiving naar lagere waarden langs de tweede as. Deze verandering kan wel uit bodemdaling verklaard worden, hoewel niet volledig omdat de bodemdaling daarvoor te klein is.

Geconcludeerd kan worden dat in het algemeen de biodiversiteit van de kwelders is afgenomen, maar dat deze afname slechts voor een klein deel uit bodemdaling verklaard kan worden. De belangrijkste oorzaak van de afname in biodiversiteit (namelijk, samenvallend met een verschuiving naar hogere waarden op de derde DCA as) kan niet worden vastgesteld op grond van de in dit project verzamelde gegevens. De verschuiving langs de derde as kan gekarakteriseerd worden als successie / veroudering. De oorzaken hiervan zijn waarschijnlijk natuurlijke processen, die mogelijk versneld zijn door atmosferische depositie van stikstof. Ook al omdat vergelijkbare veranderingen worden waargenomen in kwelders elders in Nederland, maar ook in de duinen, is een verband met bodemdaling onwaarschijnlijk. Ook een verband met begrazing is onwaarschijnlijk, omdat de begrazingsdruk over de hele monitoring periode ongeveer constant is geweest.

Plasjes door afgedamde kreek bij pq 9.10-9.12 op De Hon (maart 2004).

Voormalige kwelderplas op De Hon west van raai IX (september 2004).

Monitoring van inundatie van duinvalleien

Op basis van bijdragen van

Johan Krol

Pieter Slim

Gerard Heuvelink

Harold Kuipers

Gerard Dirkse

Han van Dobbe

De waterhuishouding van de duinvalleien in het bodemdalingsgebied

Aanleiding voor het opstarten van dit onderdeel van de monitoring was de in 1994 geconstateerde sterfte van duindoorn in meerdere valleien ten westen van de winninglocatie van de NAM en de later geconstateerde vernatting van de vegetatie in deze valleien. Het mogelijk verklaren van deze duindoornsterfte ten gevolge van verandering in overstromingsfrequentie met zeewater of andere veranderingen in de waterhuishouding in het gebied was een taak in dit onderzoek. Tevens dient dit onderzoek als start van de monitoring van de waterhuishouding in de laagst gelegen valleien binnen de bodemdalingschotel op het Oerd. Overstroming met zeewater, neerslag, waterstand en enkele waterkwaliteitsparameters in de valleien zijn in dit programma opgenomen en in dit rapport uitgewerkt voor de winters 2001op 2002, 2002 op 2003 en 2003 op 2004.

In 13 kleinere valleien tussen strandpaal 21,6 en de NAM-locatie (ter hoogte van strandpaal 22,6) op het Oerd zijn palen geplaatst waar de waterstand boven maaiveld kan worden opgemeten. Op deze locaties zijn in de periode oktober-april wekelijks de waterhoogte en een aantal waterkwaliteitsparameters bepaald.

Bodemdalingmetingen laten zien dat tussen 1987 en 2003 alle valleien gemiddeld meer dan 25 cm zijn gedaald. De valleien liggen in een vrij vlak gebied en de maaiveldhoogtes van de laagste delen variëren slechts tussen 1,35 en 1,57 m +NAP (meting 2001). Tijdens deze onderzoeksperiode blijkt er ophoging van de bodem plaats te vinden door instuiving van strandzand en bodemvorming door de vegetatie. Deze ophoging bedroeg gemiddeld 2,6 cm over de periode 2002-2004.

De in eerdere rapportages voorspelde sterke stijging van de overstromingsfrequentie ten gevolge van bodemdaling is niet opgetreden. Zelfs indien volledig rekening wordt gehouden met de jaarlijkse verandering van drempelhoogtes door bodemdaling blijkt de trend in de overstromingsfrequentie per jaar slechts van 3 naar 4 te verhogen. Er was een stijging van 4 naar 20 jaarlijkse overstromingen voorspeld bij een bodemdaling van 27 cm. Ook het zoutgehalte van het grondwater bleek tussen 1991 en 2004 niet structureel veranderd. Sommige peilbuizen laten over de jaren een lichte stijging zien, andere zelfs een lichte daling. Het grondwater was in 1992 al zilt en dat is nog steeds zo.

Hoogtekaart van de valleien in het onderzoeksgebied met plaats en code van de meetpunten.

De overstromingsfrequentie per jaar van de laagste valleien zoals herleid is uit de waterstanden Wierumergronden voor de periode 1987-2003. Alle overstromingen zijn gecorrigeerd voor bodemdaling tot 27 cm in 2003.

Simulatie maaiveld 1986 in grafiek van waterstanden bij meetpunt NC15 in de winter 2003 op 2004.

Toch blijken deze valleien sinds het optreden van bodemdaling ’s winters veel langer onder water te staan dan vroeger, namelijk 3 – 4 maanden per jaar. Dit is een gecombineerd resultaat van instromend zeewater en neerslag. De grondwaterstanden in het gebied zijn verhoogd door de bodemdaling waardoor, met name na een overstroming met zeewater, het lang duurt voor het maaiveld weer droogvalt. Dit is de belangrijkste in dit onderzoek geconstateerde verandering in het gebied die ook gevolgen gehad heeft en heeft voor de natuur ter plaatse. Bijvoorbeeld de in 1994 geconstateerde duindoornsterfte op de valleibodems. Maar ook de hervestiging van duindoorn op de bovenrand van de valleien kan hiermee worden verklaard.

Het aantal "waterdagen" is bepalend voor de ontwikkeling van vegetatietypen. Bijgaande kaarten zijn ontwikkeld door Alterra in samenwerking met het Natuurcentrum Ameland en dienen als basis voor het vegetatieonderzoek.

Om de ontwikkeling in perspectief te zien moet teruggerekend worden naar de situatie in 1987.

Reconstructie van tijdsduur van inundatie in 1986-1987 door correctie van de in 2003 opgetreden bodemdaling van 27 cm. Duidelijk blijkt nu hoe sterk de inundatietijd is veranderd in verschillende valleien. De wijziging het waterregiem is van fundamenteel belangvoor de verdere vegetatieontwikkeling.

Monitoring en kartering vegetatie duinvalleien

In 1995 is vastgesteld dat in enkele jonge duinvalleien over een grote oppervlakte struweelsterfte optrad van Duindoorn. In 1994 kwam bovendien ook sterfte voor van vlier- en meidoornstruweel in twee geïsoleerde kleine valleitjes in de Oerderduinen. Het is aannemelijk gemaakt dat de duindoornsterfte was veroorzaakt door extreme hoge vloeden vanuit de Waddenzee in de periode 1989-92. De vlier- en meidoornsterfte trad op doordat grondwater ver boven het maaiveld stond in de door neerslag extreem natte periode 1993-94. Om die redenen is geconcludeerd dat in het dynamische gebied van Ameland-Oost het effect op de vegetatie door bodemdaling zeer ondergeschikt was aan de verstoring inherent aan de 'natuurlijke dynamiek' (storm, neerslag).

Bij de tussentijdse evaluatie van het monitoringsonderzoek in 2000 besloot de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, mede naar aanleiding van de audit door de Rijksuniversiteit Groningen, om de duinvalleien intensiever te monitoren. Het gebied met duindoornsterfte was *ca.* 25 ha, maar de uitgebreide monitoring omvat 70 ha. In dit onderzoek worden de vegetatieveranderingen bestudeerd op basis van puntinformatie en op basis van een vlakdekkende kartering.

Vegetatiemonitoring

Voor de vegetatiemonitoring is gebruik gemaakt van een nieuwe, verbeterde methode. Op 70 plaatsen zijn zowel in 2001 als in 2004 vegetatieopnamen gemaakt om de vegetatie(veranderingen) te beschrijven. Deze puntinformatie (proefvlakken of pq's van 4 m^2) in een dichtheid van 1 opname/ha omvat niet alleen de vegetatieopname zelf, maar ook ligging, hoogte, expositie, bodem, vocht, aanwezigheid van konijnen, etc. In 2004 zijn bovendien nog 70 extra meetlocaties toegevoegd (zie Geostatistische kartering). Alle punten zijn op een statistisch verantwoorde wijze zeer nauwkeurig met moderne geodetische middelen uitgezet.

Geautomatiseerde classificatie door clusteranalyse van alle vegetatieopnamen leidde tot een lokale vegetatietypologie die goed past bij het landelijke referentiesysteem. Ten behoeve van de vlakdekkende kartering is de typologie vereenvoudigd tot vier voor de kartering relevante typen waartussen eventuele veranderingen, in relatie tot bodemdaling ecologisch goed te duiden zijn. Bij de clusteranalyse blijken van dezelfde 70 pq's uit 2001 en 2004 er 10 te zijn die in 2004 in een ander vegetatietype terechtkomen en dus veranderd te zijn. Enkele pq's van het ene type veranderden in het andere en omgekeerd. Enkele pq's van de 'Verruigde en verstruweelde duinen' ontwikkelden zich tot 'Grazige duinen', en één pq werd zilter.
Meer geïntegreerde, multivariate analyse van de opnamen van de 70 zelfde pq's uit 2001 en 2004, laat in de soortenplot van de opnamen zien dat de voor kartering onderscheiden typen goed herkenbaar zijn, en ecologische relevantie hebben. De plot met omgevingsvariabelen expliceert deze betekenis; de belangrijkste zijn vocht, Y-coördinaat, zoutgehalte, X-coördinaat en kalkgehalte. De plot met de gemiddelde samplescores per vegetatietype in 2001 en 2004 laat zien dat de verplaatsing in de tijd relatief klein is in vergelijking met de afstand tussen de typen. In de verplaatsing tussen 2001 en 2004 is geen duidelijke trend te onderscheiden. Alleen de 'Verruigde en verstruweelde duinen' verplaatsen zich enigszins tussen 2001 en 2004 in de richting van de 'Natte, zilte valleien'.

Beide geïsoleerde valleitjes met vlier- en meidoornsterfte zijn sinds 1993-94 niet opnieuw geïnundeerd. De vlier loopt hier en daar weer uit en bleek niet overal dood. Verder vindt er nieuwe vestiging van Vlier en Meidoorn plaats. De vegetatie verandert relatief weinig; wel treedt er verruiging op. Conclusie is dat sindsdien op deze schaal geen grote veranderingen optraden.

Ligging van het onderzoekgebied op Ameland-Oost. In het noorden ligt de Noordzee met in het noordoosten de NAM-locatie; de trechtervormige duinvallei is naar de zuidoostzijde open voor hoge vloeden vanuit de Waddenzee.

Type	***Lokale typologie***	***De Vegetatie van Nederland***
A	Kale duinvoet	Agropyro-Honckenyion peploidis
B11, **B12** **B21,** **B22**	Natte, zilte valleien Natte, zilte valleien (droger)	Lolio-Potentillion anserinae Armerion maritimae Saginion maritimae
C1 **C2**	Verruigde en verstruweelde duinen Verruigde en verstruweelde duinen (natter)	Salicion cinereae Berberidion vulgaris e.a. struwelen en ruigten
D	Helmduinen aan de zeekant	Ammophilion arenariae *RG Ammophila arenaria-Carex arenaria-[Ammophiletea/Koelerio-Corynephoretea]* Tortulo-Koelerion Polygalo-Koelerion
E	Grazige duinen	Tortulo-Koelerion Polygalo-Koelerion *RG Calamagrostis epigejos-[Cladonio-Koelerietalia]* Berberidion vulgaris

Lokale vegetatietypologie bepaald met clusteranalyse van alle opnamen uit 2001 en 2004.

Multivariate analyse met soortenplot van de opnamen. De 1e (horizontale) as indiceert de gradiënt van (links) droog, naar (rechts) nat; de 2e (verticale) as indiceert de gradiënt van open duin (boven), naar verruigde en verstruweelde duinen (onder).

Multivariate analyse met plot omgevingsvariabelen. De 1e (horizontale) as toont de gradiënt van (links) droog, hoog en zoet ('vocht', Z0=hoogte in 2001), naar (rechts) laag, nat en zout (X=X-coördinaat die indiceert voor nabije afstand tot instroom vanuit de Waddenzee, Cl^-); de 2e (verticale) as toont de gradiënt van (boven) kalkrijk, korte afstand tot de Noordzee en konijnenbegrazing (Ca^+, Y-coördinaat), naar (beneden) lutumgehalte

Geostatistische vegetatiekartering

Voor het 70 ha grote onderzoekgebied in de duinvalleien op Ameland-Oost zijn vervolgens vlakdekkende vegetatiekaarten gemaakt voor de jaren 2001 en 2004. Deze kaarten zijn verkregen met de geostatistische interpolatietechniek “universal indicator kriging”. Universal indicator kriging is een combinatie van lineaire regressie, waarbij het voorkomen van een vegetatietype wordt voorspeld op basis van hulpinformatie in de vorm van een digitaal hoogtemodel en eruit afgeleide informatie, zoals hellingshoek, expositie en overstromingsfrequentie, en een ruimtelijke interpolatie vanuit op meetlocaties vastgestelde vegetatietypen (70 locaties in 2001 en 140 locaties in 2004). De ruimtelijke interpolatie is gebaseerd op de mate van ruimtelijke correlatie in de vegetatietypen, welke wordt gekwantificeerd met een variogram en geschat op basis van de waarnemingen.

Ten behoeve van de kartering zijn vier vegetatietypen onderscheiden:

- Natte, zilte valleien;
- Verruigde en verstruweelde duinen;
- Helmduinen aan de zeekant en
- Grazige duinen.

Voor beide resulterende vegetatiekaarten geldt dat het type ‘Helmduinen aan de zeekant’ vooral in de noordelijke duinen grenzend aan de zeereep voorkomt, en dat ‘Grazige duinen’ en ‘Verruigde en verstruweelde duinen’ elkaar afwisselen in de rest van het gebied. Het vegetatietype ‘Natte, zilte valleien’ komt vooral voor in de oosthoek van het gebied, daar waar de hoogte relatief gering is en het grondwater regelmatig boven maaiveld staat. Ook kan in dit deel van het gebied het zeewater bij extreme weersomstandigheden het gebied binnendringen. Dit laatste blijkt uit de toepassing van een digitaal hoogtemodel van het gebied. De lage delen, die in verbinding staan met de Waddenzee, liggen duidelijk in het zuidoostelijk deel van het terrein.

Vergelijking van de twee vegetatiekaarten laat zien dat tussen 2001 en 2004 ‘Verruigde en verstruweelde duinen’ geleidelijk plaats maken voor ‘Natte, zilte valleien’. Dit blijkt ook uit de tabel met de arealen van de vier vegetatietypen voor de twee jaren. De toename van het areaal ‘Natte, zilte valleien’ is goed te verklaren uit de geconstateerde vernatting in het gebied, welke kan worden veroorzaakt door toevallige weersinvloeden en de trendmatige bodemdaling. De opgetreden vernatting blijkt overduidelijk uit de kaarten van het aantal dagen per jaar dat locaties in het gebied onder water staan ('waterdagen'). Op deze kaarten is goed te zien dat het regelmatig geïnundeerde gebied in 2004 een veel groter oppervlak bestrijkt dan in 2001.

De bodemdaling in het gebied bedroeg tussen 2001 en 2004 minder dan 3 cm. Conclusie is dat dit te gering lijkt om de vernatting en vegetatieverandering te kunnen verklaren, maar vanwege de complexe en mogelijk vertraagde invloed van bodemdaling op vegetatieontwikkeling is het niet eenvoudig dit met zekerheid vast te stellen. Toekomstige monitoring kan hierover uitsluitsel geven en kan uitwijzen of in het gebied sprake is van een toevallige of structurele vernatting en daarmee samenhangende vegetatieverandering.

Vegetatiekaart van het gebied voor de jaren 2001 en 2004, met daarin aangegeven het vegetatietype op de 70 meetlocaties in 2001 en de 140 meetlocaties in 2004, waar vegetatieopnamen zijn gemaakt

Vegetatietype	***2001***	***2004***
Zilte, natte valleien	13	24
Verruigde en verstruweelde duinen	39	26
Helmduinen aan de zeekant	21	22
Grazige duinen	27	28

Arealen van de vier vegetatietypen voor de jaren 2001 en 2004, uitgedrukt als percentage van het totale oppervlak van het gebied.

Duinen

Op basis van een bijdrage van

Han van Dobben

Pieter Slim

Duinen

Om de effecten van gaswinning op de vegetatie van de hoge kwelders en de duinen op Ameland-Oost vast te stellen zijn voor het begin van de gaswinning 56 permanente kwadraten (pq's) van 2x2 m aangelegd over de gradiënten van laag naar hoog en van geringe naar sterke bodemdaling. In 1989 zijn daar nog 10 extra pq's aan toegevoegd. Daarmee zijn alle vegetatietypen die in 1986 in dit gebied voorkwamen bemonsterd, met uitzondering van de echte kwelders die onderwerp zijn van een aparte studie (Dijkema, Molenaar & van Dobben, dit rapport). De vegetatie van de pq's is opgenomen met intervallen van drie jaar van 1986 tot en met 2001. In de buurt van de pq's zijn grondwaterstandbuizen geplaatst die jaarlijks in het voorjaar zijn opgenomen. In de pq's is eenmalig de bodem bemonsterd en geanalyseerd, en is de bodemdaling met regelmatige intervallen gemeten. Gegevens met betrekking tot neerslag, verdamping en zeespiegelregime zijn verkregen uit waarnemingen op standaard meetstations. Aangenomen is dat het belangrijkste effect van gaswinning bodemdaling is, en dat die bodemdaling op zijn beurt ecologische effecten heeft door stijging van de grondwaterstand en van de overvloedingsfrequentie.

Door het grote aantal opnamen (386) en het grote aantal soorten (276) is een analyse per pq of per soort praktisch niet uitvoerbaar. Daarom is getracht een aantal hoofdrichtingen van variatie ('gradiënten') in de vegetatie vast te stellen, en na te gaan hoe de vegetatie langs deze gradiënten is veranderd. Omdat een belangrijke vraagstelling van het onderzoek is of er een verlies aan biodiversiteit plaatsvindt als gevolg van bodemdaling, is ook voor twee maten voor biodiversiteit de verandering in de loop van de tijd vastgesteld.

Deze maten zijn (1) de 'natuurbehoudswaarde' (een schatting van de kans op het voorkomen van Rode Lijst soorten), en (2) het totaal aantal soorten per pq.

Er blijken drie belangrijke gradiënten in de vegetatie voor te komen: van natte naar droge, van zoete naar zoute, en van voedselarme naar voedselrijke omstandigheden. Van deze gradiënten zijn de eerste twee in het ordinantiediagram weergegeven. Aan de hand van de gradiënten is de vegetatie in zes typen ingedeeld: (1) overgangen van kwelder naar duinen, (2) hoge kwelder, (3) duinplassen en hun oevers, (4) verruigde en dichtgroeiende duinen, (5) duinheide, en (6) kortgrazige duinen. Met name de typen (1) en (3) worden door ecologen hoog gewaardeerd omdat deze tamelijk zeldzaam zijn.

Per type is de verandering in de loop van de tijd vastgesteld. Die blijkt erg klein te zijn in vergelijking met de verschillen tussen de typen. Bovendien is de verandering meer cyclisch dan trendmatig van karakter. Dit wijst er op dat de veranderingen tenminste voor een deel door het weer beïnvloed worden. In het kustmilieu zijn er twee abiotische variabelen die de vegetatie in hoge mate bepalen en die zelf door het weer beïnvloed worden: grondwaterstand en overvloedingsfrequentie. Maar deze twee worden ook door bodemdaling beïnvloed: als de bodem daalt zullen naar verwachting zowel grondwaterstand als overvloedingsfrequentie stijgen. Deze overwegingen hebben tot het volgende denkmodel geleid:

- de veranderingen in de vegetatie zijn een resultante van weersinvloeden en bodemdaling. Beide kunnen werken via grondwaterstand en overvloedingsfrequentie;

- de invloed van het weer op de grondwaterstand kan worden gekarakteriseerd middels de netto neerslag, en de invloed van het weer op de overvloedingsfrequentie per pq middels de overvloedingsfrequentie op een vaste hoogte van 2 m +NAP;
- de gesommeerde invloed van weer en bodemdaling op grondwaterstand en overvloedingsfrequentie (en dus ook op de vegetatie) bevat twee signalen: een oscillerend signaal (weersinvloed) en een monotoon (en hier lineair verondersteld) signaal (bodemdaling).

Middels lineaire regressie is getracht deze twee signalen van elkaar te scheiden. Hierbij dient men zich te realiseren dat in dit model ieder lineair signaal geïnterpreteerd zal worden als een effect van bodemdaling, terwijl mogelijk ook andere abiotische factoren een temporele trend hebben. Daarom is voor de lineaire trend vastgesteld of deze, gezien zijn grootte en richting, inderdaad als een effect van bodemdaling geïnterpreteerd kan worden. Daarbij is het volgende denkmodel gehanteerd:
- als de bodem op een bepaalde plaats met X cm daalt, zal de vegetatie op die plaats gaan lijken op die van een andere plaats die in de uitgangssituatie al X cm lager lag dan op die eerste plaats;
- door deze stelling om te draaien kan de bodemdaling voorspeld worden uit de verandering in de vegetatie;
- door deze 'voorspelde' bodemdaling te vergelijken met de werkelijke bodemdaling kan worden vastgesteld of het lineaire signaal in de vegetatieverandering aan bodemdaling kan worden toegeschreven.

De resultaten van bovenstaande analyse kunnen als volgt worden samengevat:
- de veranderingen van de vegetatie langs de nat-droog en langs de zoet-zout gradiënt kunnen worden toegeschreven aan een combinatie van weersinvloeden en bodemdaling. Beide hadden een kleine, maar statistisch juist significante invloed op de vegetatie;
- de veranderingen van de vegetatie langs de voedselarm-voedselrijk gradiënt, en de veranderingen in biodiversiteit zijn noch aan weersinvloeden, noch aan bodemdaling toe te schrijven.

De biodiversiteit heeft een licht dalende trend; dit geldt zowel voor de natuurbehoudswaarde als voor het aantal soorten. Deze trend is het sterkst in de hoge kwelders, waar tussen 1986 en 2001 een verlies van gemiddeld 6 à 7 soorten per pq optrad. De afname van het aantal soorten heeft echter geen significante relatie met bodemdaling. De afname van de natuurbehoudswaarde heeft wel een significante relatie met bodemdaling, maar dat kan niet de oorzaak zijn omdat bodemdaling juist tot een toename van de natuurbehoudswaarde zou moeten leiden. Dit is te begrijpen als men bedenkt dat bodemdaling leidt tot een hogere overvloedingsfrequentie, en dus tot een meer kwelderachtige vegetatie die juist hoog gewaardeerd wordt.

De veranderingen in de biodiversiteit en die langs de voedselarm-voedselrijk gradiënt blijken opmerkelijk parallel te lopen. Daarom wordt verondersteld dat het verlies aan biodiversiteit dezelfde oorzaak heeft als de verandering langs de voedselarm - voedselrijk gradiënt, namelijk een opschuiven naar de voedselrijke kant. Deze trend tot verruiging treedt ook elders in Nederland in duinen en kwelders op. Omdat in de droge duinen noch grondwater, noch overvloedingsfrequentie een rol spelen, is dit een extra aanwijzing dat bodemdaling niet de oorzaak van de verruiging kan zijn. Voor een goede analyse van de effecten van bodemdaling is het dus noodzakelijk ook de typen die niet direct door daling beïnvloed worden, mee te nemen in de monitoring. Wat dan wel de oorzaak is van de verruiging kan op grond van de gegevens uit dit onderzoek niet bepaald worden. Wellicht is het vooral de natuurlijke successie, die versneld wordt door atmosferische depositie of veranderingen in beheer en afname van de konijnenstand.

Uit de analyse blijkt dat het effect van weer met een zekere tijdsvertraging in de vegetatie tot uiting komt. Dit heeft een 'dempend' effect op de veranderingen: voordat het effect van een droge periode volledig in de vegetatie tot uiting is gekomen, is die periode alweer voorbij. Voor bodemdaling geldt dit wellicht ook, maar omdat het daar om een lineaire verandering gaat, is die tijdsvertraging niet vast te stellen. Als er zo'n vertraging is, is het mogelijk dat na de gaswinning de vegetatie nog enkele jaren op de daling zal blijven reageren. Voortzetting van de monitoring, wellicht met een lagere frequentie, blijft dus noodzakelijk tot na de beëindiging van de gaswinning en bodemdaling.

Verklaring van de afgekorte soortnamen: Agroscan, *Agrostis canina;* Agroscap, *Agrostis capillaris;* Agrossto, *Agrostis stolonifera;* Ammopare, *Ammophila arenaria;* Anthoodo, *Anthoxanthum odoratum;* Apiuminu, *Apium inundatum;* Atripp;R, *Atriplex prostrata* var. *prostrata;* bractrut, *Brachythecium rutabulum;* Calamcan, *Calamagrostis canescens;* Calamepi, *Calamagrostis epigejos;* callgcus, *Calliergonella cuspidata;* Calluvul, *Calluna vulgaris;* Cardmpra, *Cardamine pratensis;* Carexare, *Carex arenaria;* Carexdis, *Carex distans;* Carexnig, *Carex nigra;* Carexpan, *Carex panicea;* Centmpul, *Centaurium pulchellum;* Cerasfon, *Cerastium fontanum;* Ceratsub, *Ceratophyllum submersum;* Chameang, *Chamerion angustifolium;* Cirsiarv, *Cirsium arvense;* Cirsipal, *Cirsium palustre;* cladofur, *Cladonia furcata;* Cynoscri, *Cynosurus cristatus;* Danthdec, *Danthonia decumbens;* dcnumsco, *Dicranum scoparium;* drepaadu, *Drepanocladus aduncus;* Eleocp-P, *Eleocharis palustris* subsp. *palustris;* Eleocp-U, *Eleocharis palustris* subsp. *uniglumis;* Elymuath, *Elymus athericus;* Epiloobs, *Epilobium obscurum;* Epilopal, *Epilobium palustre;* Ericatet, *Erica tetralix;* Eriopang, *Eriophorum angustifolium;* eurhypra, *Eurhynchium praelongum;* Festuovi, *Festuca ovina;* Festurub, *Festuca rubra;* Galiumol, *Galium mollugo;* Galiup-E, *Galium palustre* subsp. *elongatum;* Galiup-P, *Galium palustre* subsp. *palustre;* Galiuv-M, *Galium verum* subsp. *maritimum;* Glauxmar, *Glaux maritima;* Glyceflu, *Glyceria fluitans;* Hieraumb, *Hieracium umbellatum;* Hipporha, *Hippophae rhamnoides;* Holculan, *Holcus lanatus;* Hydrcvul, *Hydrocotyle vulgaris;* hypnucup, *Hypnum cupressiforme;* hypnujut, *Hypnum jutlandicum;* Hypocrad, *Hypochaeris radicata;* Juncuamb, *Juncus ambiguus;* Juncuart, *Juncus articulatus;* Juncua-T, *Juncus alpinoarticulatus* subsp. *atricapillus;* Juncubul, *Juncus bulbosus;* Juncuger, *Juncus gerardi;* Juncumar, *Juncus maritimus;* Lemnamin, *Lemna minor;* Leontsax, *Leontodon saxatilis;* Linumcat, *Linum catharticum;* Littouni, *Littorella uniflora;* Lotusuli, *Lotus uliginosus;* Luzulcam, *Luzula campestris;* Lycopeur, *Lycopus europaeus;* Lythrpor, *Lythrum portula;* Menthaqu, *Mentha aquatica;* Molincae, *Molinia caerulea;* Myosol-C, *Myosotis laxa (*subsp. *cespitosa);* Nardustr, *Nardus stricta;* Odontv-S, *Odontites vernus* subsp. *serotinus;* Phragaus, *Phragmites australis;* Plantcor, *Plantago coronopus;* Plantlan, *Plantago lanceolata;* Plantmar, *Plantago maritima;* Poa pra, *Poa pratensis;* Poa tri, *Poa trivialis;* Polynamp, *Polygonum amphibium;* Potenans, *Potentilla anserina;* Potenere, *Potentilla erecta;* Prunevul, *Prunella vulgaris;* pseucpur, *Pseudoscleropodium purum;* Ranunfla, *Ranunculus flammula;* rhytdsqu, *Rhytidiadelphus squarrosus;* Roripmic, *Rorippa microphylla;* Rubuscae, *Rubus caesius;* Rubusfru, *Rubus fruticosus;* Saginnod, *Sagina nodosa;* Saginpro, *Sagina procumbens;* Salixcin, *Salix cinerea;* Salixrep, *Salix repens;* Scirpl-T, *Scirpus lacustris* subsp. *tabernaemontani;* Scirpmar, *Scirpus maritimus;* Senecj-D, *Senecio jacobaea* subsp. *dunensis;* Senecsyl, *Senecio sylvaticus;* Soncha;M, *Sonchus arvensis* var. *maritimus;* Taraxoff, *Taraxacum officinale s.l.;* Triforep, *Trifolium repens;* Veronoff, *Veronica officinalis;* Veronscu, *Veronica scutellata.*

*Gradiënten in de duinen en de hoge kwelders. Beide figuren moeten (in gelijke schaling, gebruik hiervoor de maataanduidingen langs de randen) over elkaar 'gedacht' worden. De soortensamenstelling van de typen (en de verandering daarvan in de loop van de jaren) wordt dan bij benadering gegeven door de afgekorte soortnamen die in de buurt van elk type liggen. De belangrijkste abiotische gradiënten zijn in de linker figuur ingetekend (de grondwaterstand wordt lager in de richting van de pijl, de overvloedingsfrequentie wordt hoger in de richting van de pijl). In de rechter figuur wordt bij elk type aangegeven of de verplaatsing in de loop van de tijd statistisch significant is (er naast in horizontale richting, er onder in verticale richting; ***, P<0.001; **, P<0.01; *, P<0.05; ns, P>0.05).*

Vogels

Op basis van een bijdrage van

Marcel Kersten

Vogels

Sinds 1972 worden hoogwatertellingen regelmatig uitgevoerd door de wadvogeltelgroep Ameland. De opzet is om de oorspronkelijke aantallen wadvogels voor het begin van de aardgaswinning in 1986 te vergelijken met de huidige aantallen wadvogels in de periode 2000-2004.

Om te kunnen beoordelen of een eventuele verandering van het aantal wadvogels op Ameland-Oost verband houdt met de opgetreden bodemdaling ten gevolge van de aardgaswinning, wordt ook de verandering van het aantal wadvogels op Ameland-West in het onderzoek betrokken. De bodemdalingschotel ligt geheel binnen het voedselgebied van de wadvogelpopulatie op Ameland-Oost en omvat ongeveer 2/3 van dit voedselgebied. Het voedselgebied van de wadvogels op Ameland-West ligt ten westen van de veerdam bij Nes en buiten het bereik van de bodemdaling schotel. De wadvogels van Oost en Ameland-West vormen gescheiden populaties; er is weinig of geen uitwisseling tussen deze populaties.

Het onderzoek beperkt zich tot die vogelsoorten welke voor hun voedselvoorziening geheel of grotendeels afhankelijk zijn van tijdens laagwater droogvallende platen in de Waddenzee. Potentieel ondervinden deze vogelsoorten de meeste hinder van bodemdaling omdat hun oorspronkelijke voedselgebieden tijdens laagwater minder lang toegankelijk zijn. Andere soorten watervogels, met name herbivore ganzen en eenden, die in grote aantallen foerageren in de polders en kwelders op het eiland vallen buiten het bestek van dit onderzoek. Het gaat met name om 14 soorten, te weten: twee soorten eenden (Eidereend en Bergeend) en 12 soorten steltlopers (Scholekster, Bontbekplevier, Zilverplevier, Goudplevier, Steenloper, Wulp, Rosse Grutto, Kluut, Tureluur, Groenpootruiter, Bonte Strandloper en Kanoet).

Op Ameland-Oost treffen we hoogwatervluchtplaatsen aan in drie deelgebieden; te weten de Hon, het Nieuwlandsrijd en de polder ten oosten van Nes. Tengevolge van verstoringen en verschillen in waterstand maken de wadvogels niet altijd gebruik van dezelfde hoogwatervluchtplaats, maar vindt er regelmatig uitwisseling tussen deze deelgebieden plaats. Om te voorkomen dat uitwisseling leidt tot overschatting of onderschatting van het aantal aanwezige vogels, zijn de hoogwatertellingen in de deelgebieden simultaan uitgevoerd.

Op Ameland-West is sprake van vier deelgebieden; de polder ten westen van de veerdam bij Nes tot aan de Balummerbocht, de polder ten westen van de Ballummerbocht, de buitendijkse kwelder bij Hollum en het Groene strand ten noorden van Ballum. Dit laatste deelgebied is recentelijk ontstaan en fungeert pas sinds 1990 als hoogwatervluchtplaats voor wadvogels die op het wad onder Ameland-West hun voedsel zoeken. Ook op Ameland-West zijn de hoogwatertellingen van de verschillende deelgebieden simultaan uitgevoerd, doorgaans 1 dag voor of 1 dag na de corresponderende telling op Ameland-Oost.

De aantalverandering tijdens de winterperiode wordt geanalyseerd op grond van het gemiddelde van alle tellingen in de periode november-januari. Tijdens de doortrekperiodes varieert het aantal aanwezige vogels zo snel dat het gemiddelde geen bruikbare maat oplevert om veranderingen tussen 1972-1986 en 2000-2004 te bepalen. Het maximum aantal waargenomen vogels is in potentie een betere maat, maar heeft het nadeel erg gevoelig te zijn voor incidenten (uitbijters). Als praktische tussenoplossing is ervoor gekozen om voor iedere doortrekperiode het gemiddelde van de drie

hoogste tellingen te bepalen (max. (3)). Hierdoor wordt het effect van uitbijters beperkt. Behalve max. (3) wordt tijdens de doortrekperiodes ook het aantal doorgebrachte vogeldagen berekend; dit is de som van het aantal vogels tussen de eerste en de laatste dag van de doortrekperiode.

Verandering van het aantal overwinterende wadvogels op Ameland-Oost sinds het begin van de gaswinning en de bodemdaling in 1986. Het gemiddeld aantal overwinterende vogels (gem.) en de standaardfout (s.e.) zijn berekend op grond van hoogwatertellingen in de maanden november, december en januari. Voor het begin van de gaswinning (1972-1986) beschikken we over 22 tellingen; in de periode 2000-2004 beschikken we over 12 tellingen.

	1972-1986		2000-2004		verandering
	gem.	s.e.	gem.	s.e.	
Eidereend	159	± 42	1734	± 1008	+ 991%
Bergeend	695	± 161	1107	± 358	+ 59%
Scholekster	13501	± 1008	11377	± 771	– 16%
Bontbekplevier	-	-	-	-	-
Zilverplevier	203	± 31	633	± 275	+ 212%
Goudplevier	195	± 57	1427	± 322	+ 632%
Steenloper	91	± 19	193	± 28	+ 112%
Wulp	3420	± 519	3670	± 474	+ 7%
Rosse Grutto	102	± 26	122	± 48	+ 20%
Kluut	-	-	-	-	-
Tureluur	687	± 79	290	± 88	– 58%
Groenpootruiter	-	-	-	-	-
Bonte Strandloper	2474	± 415	5773	± 956	+ 133%
Kanoet	67	± 34	2395	± 528	+ 3475%

Aantalveranderingen sinds 1972-1986

De toename en afname van de verschillende soorten wadvogels sinds het begin van de aardgaswinning (1972-1986) zijn onderzocht. Het meest in het oog springende resultaat is wel dat, van de meeste soorten, het aantal pleisterende vogels sterk is veranderd gedurende de afgelopen twee decennia. Over een periode van ongeveer 20 jaar is er in bijna de helft van de mogelijke vergelijkingen sprake van een verandering met meer dan een factor twee (halvering dan wel verdubbeling van het aantal).Deze veranderingen hebben zich zowel op Ameland-Oost als op Ameland-West voltrokken en in beide gebieden is er veel vaker sprake van een toename dan van een afname.

Grootte van de verandering van het aantal wadvogels (en het aantal vogeldagen) tijdens de doortrekperiodes en gedurende de winter op Oost en Ameland-West sinds het begin van de aardgaswinning op Ameland-Oost.

verandering	aantal 2000-2004 ten opzichte van aantal 1972-1986	Ameland-Oost	Ameland-West
sterke afname	< – 50%	8	4
afname	–20% - –50%	4	7
gelijk gebleven	–20% - +20%	9	13
toename	+20% - +100%	17	8
sterke toename	> +100%	13	19

Bodemdaling en de aantalsveranderingen op Ameland-Oost

Op Ameland-Oost heeft sinds 1986 bodemdaling plaatsgevonden, op Ameland-West niet. Behalve bodemdaling zijn in de tussenliggende periode ook andere veranderingen opgetreden die op oost en west Ameland verschillend hebben uitgepakt. Zo zijn de mosselbanken, die rond 1990 ten gevolge van de schelpdiervisserij uit de gehele Waddenzee zijn verdwenen, op Ameland-West eerder en beter hersteld dan op Ameland-Oost. Met name op en ten oosten van het Amelander wantij hebben zich tot op de dag van vandaag nog steeds vrijwel geen nieuwe mosselbanken gevestigd. Daardoor ontbreken daar ook nu nog steeds de slibrijke zones rond de mosselbanken die voor diverse vogelsoorten van belang zijn.

Verandering van de wadvogelpopulaties op Oost en Ameland-West sinds het begin van de aardgaswinning in 1986.

soortnaam	seizoen	procentuele verandering		aantalsverandering	
		Ameland-Oost	West-Ameland	Ameland-Oost	Ameland-Oost gecorrigeerd voor verandering op Ameland-West
Eidereend	winter	+ 991%	+ 489%	+ 1575	+ 797
Bergeend	najaar	+ 55%	+ 3%	+ 3143	+ 2971
	winter	+ 59%	– 30%	+ 412	+ 621
Scholekster	winter	– 16%	– 25%	– 2124	+ 1251
Bontbekplevier	voorjaar	– 58%	+ 78%	– 57	– 133
	najaar	+ 29%	+ 83%	+ 59	– 113
Zilverplevier	voorjaar	+ 63%	+ 13%	+ 784	+ 623
	najaar	+ 31%	+ 101%	+ 722	– 1649
	winter	+ 212%	0%	+ 430	+ 430
Goudplevier	voorjaar	+ 741%	+ 602%	+ 8401	+ 1580
	winter	+ 632%	+ 388%	+ 1232	+ 475
Steenloper	voorjaar	– 40%	+ 129%	– 145	– 615
	najaar	–81%	–20%	– 916	– 691
	winter	+ 112%	+ 144%	+ 102	– 29
Wulp	voorjaar	– 26%	+ 8%	– 1528	– 1998
	winter	+ 7%	+ 158%	+ 250	– 5153
Rosse Grutto	voorjaar	+ 76%	+ 131%	+ 3618	–2648
	najaar	+ 7%	+ 88%	+ 273	– 3272
	winter	+ 20%	– 69%	+ 20	+ 90
Kluut	najaar	– 74%	+ 12%	– 436	– 507
Tureluur	voorjaar	– 55%	– 71%	– 459	+ 134
	najaar	+ 15%	– 12%	+ 292	+ 530
	winter	– 58%	– 82%	– 397	+ 166
Groenpootruiter	voorjaar	– 23%	+ 36%	– 38	– 98
	najaar	+ 54%	– 33%	+ 335	+ 541
Bonte Strandloper	voorjaar	+ 86%	+ 2%	+ 6485	+ 6334
	najaar	+ 9%	– 31%	+ 1765	+ 7655
	winter	+ 133%	– 49%	+ 3299	+ 4511
Kanoet	voorjaar	+ 1969%	+ 480%	+ 571	+ 432
	najaar	+ 1718%	+ 546%	+ 16737	+ 11419
	winter	+ 3475%	+ 61%	+ 2328	+ 2297

De gecorrigeerde aantalsveranderingen op Ameland-Oost vormen de beste schattingen van de tegelijkertijd met de bodemdaling opgetreden veranderingen, op de wadvogelpopulaties op Ameland-Oost. De geconstateerde effecten zijn niet eenduidig, maar verschillen per soort. Zij kunnen veroorzaakt zijn door het slibarmer worden van het wad of door het verdwijnen van mosselbanken, al dan niet in samenhang met bodemdaling en worden hieronder besproken.

- Soorten die op Ameland-Oost zowel absoluut als in vergelijking met Ameland-West in aantal zijn afgenomen (Bontbekplevier, Steenloper, Wulp en Kluut). De afname van deze soorten moet worden toegeschreven aan veranderingen die zich alleen op Ameland-Oost hebben voorgedaan. Bontbekplevier en Kluut hebben een voorkeur voor zeer slibrijk wad; Steenloper en Wulp foerageren vaak op en om mosselbanken.
- Soorten die in werkelijkheid zijn toegenomen, maar waarvan het gecorrigeerde aantal is afgenomen (Zilverplevier en Rosse Grutto). Het negatieve effect is dan echter ruimschoots gecompenseerd door positieve veranderingen die zich tegelijkertijd hebben voltrokken.
- Soorten waarbij het onduidelijk is of de populatie is toegenomen dan wel afgenomen (Groenpootruiter). Het aantal Groenpootruiters is tijdens de voorjaarstrek afgenomen en tijdens de najaarstrek toegenomen.
- Soorten die in werkelijkheid zijn afgenomen, maar waarvan het gecorrigeerde aantal is toegenomen (Scholekster en Tureluur). De onweerlegbare afname van deze soorten moet worden toegeschreven aan veranderingen die zich ook elders hebben voorgedaan.
- Soorten die op Ameland-Oost zowel absoluut als in vergelijking met Ameland-West in aantal zijn toegenomen (Eidereend, Bergeend, Goudplevier, Bonte Strandloper en Kanoet). De toename van deze soorten moet worden toegeschreven aan veranderingen die zich alleen op Ameland-Oost hebben voorgedaan. Met uitzondering van de Eidereend mijden deze soorten mosselbanken en zeer slibrijk wad.

In de periode van bodemdaling (1986-heden) zijn veranderingen opgetreden die een negatief effect gehad hebben op vier soorten (Bontbekplevier, Steenloper, Wulp en Kluut) en een positief effect op vijf andere soorten (Eidereend, Bergeend, Goudplevier, Bonte Strandloper en Kanoet). De verandering van de populatiegrootte van bovengenoemde soorten hangt waarschijnlijk vooral samen met veranderingen in de bodemsamenstelling. De soorten die zijn afgenomen hebben een voorkeur voor zeer slibrijk wad of mosselbanken, terwijl vier van de vijf soorten die zijn toegenomen dit type habitat mijden.

Conclusies

Tweederde deel van het voedselgebied van de wadvogels op Ameland-Oost is onderhevig geweest aan bodemdaling sinds het begin van de aardgaswinning in 1986. Het voedselgebied van de wadvogels op Ameland-West ligt buiten de bodemdalingschotel. Zowel op Ameland-Oost als op Ameland-West is de grootte van de wadvogelpopulaties sterk veranderd sinds 1972-1986. In beide gebieden is vaker sprake van een toename dan van een afname.

Op Ameland-Oost zijn Scholekster, Bontbekplevier, Steenloper, Wulp, Kluut en Tureluur in aantal afgenomen, terwijl Eidereend, Bergeend, Zilverplevier, Goudplevier, Rosse Grutto, Bonte Strandloper en Kanoet zijn toegenomen.

Bij sommige soorten trad een vergelijkbare verandering op, op Ameland-West waar geen bodemdaling heeft plaatsgevonden. Na correctie voor de veranderingen op Ameland-West bleek dat tevens in de periode van bodemdaling optredende veranderingen, een negatief effect hebben gehad op vier soorten (Bontbekplevier, Steenloper, Wulp en Kluut) en een positief effect op vijf andere soorten (Eidereend, Bergeend, Goudplevier, Bonte

Strandloper en Kanoet). De verandering van de populatiegrootte op Ameland-Oost van bovengenoemde soorten wordt namelijk niet veroorzaakt door veranderingen in de hoogteligging, maar hangt veeleer samen met veranderingen in de samenstelling van de wadbodem. De soorten die zijn afgenomen hebben een voorkeur voor mosselbanken of zeer slibrijk wad, terwijl vier van de vijf soorten die zijn toegenomen dit type habitat mijden.

Het verdwijnen van de mosselbanken is niet het gevolg van bodemdaling maar heeft zich in de gehele Nederlandse Waddenzee voorgedaan. De uitgestrekte mosselbankcomplexen op het Amelander wantij zijn rond het eind van de 80er jaren vernietigd door de schelpdiervisserij. Met de mosselbanken zijn ook de daarmee geassocieerde slikvelden verdwenen.

Verandering van de populatiegrootte van enkele soorten wadvogels op Ameland-Oost in relatie tot de omvang van de trekbaan-populatie.

soortnaam	Populatiegrootte Oost-Atlantische trekroute[1)]	Gecorrigeerde aantalverandering Ameland-Oost	Fractie van de trekbaan-populatie	
			afname	toename
Eidereend	1 030 000	+ 797		+ 0.00077
Bergeend	300 000	+ 2971		+ 0.00990
Bontbekplevier	210 000	– 133	– 0.00063	
Goudplevier	800 000	+ 1580		+ 0.00198
Steenloper	100 000	– 691	– 0.00691	
Wulp	420 000	– 5153	– 0.01227	
Kluut	73 000	– 507	– 0.00695	
Bonte Strandloper	1 330 000	+ 7655		+ 0.00576
Kanoet	450 000	+ 11419		+ 0.02538
		som	– 0.02676	+ 0.04379

[1)] Wetlands International (2002).

Voorbeeld van een soort die toeneemt en waarvan het aantal lokaal afneemt

Voorbeeld van een soort die afneemt

Voorbeeld van een soort die toeneemt

Commissie
en
Onderzoekers

Over de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland

De eerste formele en betrouwbare prognose van de bodemdaling door gaswinning op Ameland dateert uit 1985. Alle voorspellingen van voor die tijd berusten op ruwe schattingen. Op basis van die eerste formele prognose is een milieueffectrapport opgesteld door het Waterloopkundig Laboratorium en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (thans **WL | delft hydraulics** en **Alterra**). Er werden effecten voorspeld op de morfologie, de wadplaten, de voedselvoorziening van vogels, erosie en regressie van de kwelder, enz.). De installatie was echter reeds gebouwd en vergunning voor productie was verkregen.

De provinciale natuurorganisatie **It Fryske Gea**, zag zich als beheerder van het gebied geconfronteerd met mogelijk ernstige gevolgen en was erg ongelukkig met de situatie. Per brief heeft zij de **Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM)** verzocht haar verantwoordelijkheden te willen nemen en de gevolgen van de gaswinning daadwerkelijk vast te stellen door monitoring.

NAM heeft zich – met oog op de geloofwaardigheid van de opzet en uitkomsten - vervolgens tot de **Ministeries van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV)** en **Verkeer en Waterstaat (VenW)** gewend met verzoek een begeleidingscommissie te formeren. De Commissie diende de onafhankelijkheid te waarborgen en kreeg tot taak om de voortgang te bewaken en toe te zien op volledigheid en kwaliteit. De Commissie werd ingesteld in 1986 en bestaat thans uit de volgende vertegenwoordigers:

Instelling	Leden
Gemeente Ameland	P. IJnsen K. Naaijer
It Fryske Gea	H. de Vries
Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, directie Regionale Zaken Noord	G. Mast
Nederlandse Aardolie Maatschappij	J. Marquenie (secretaris) S. Schoustra (2de secretaris)
Onafhankelijk (RIKZ)	J. de Vlas (voorzitter)
Provincie Fryslân	P. Bot W. Elberhorst
Rijkswaterstaat Noord-Nederland	A. Prakken A. Nicolai

De voorzitter, voorheen werkzaam bij LNV, werkt thans bij het **Rijksinstituut voor Kust en Zee** en neemt deel als onafhankelijk voorzitter. De NAM voert het secretariaat. Beslissingen worden genomen bij meerderheid en waren tot op heden unaniem.

Alle leden brengen hun eigen vakkennis in en hebben daarmee ook een inhoudelijk toegevoegde waarde. De Commissie is onafhankelijk. Die onafhankelijkheid wordt op de volgende wijze gewaarborgd.

- Commissieleden nemen deel op eigen kosten en dragen bij in deskundigheid. Het onderzoek wordt weliswaar betaald door NAM, maar de Commissie stuurt aan en keurt onderzoek goed. Onderzoekers rapporteren aan de Commissie.

- De voortgang wordt bewaakt middels jaarlijkse vergaderingen van Commissie onderling en Commissie met de Onderzoekers. Hierdoor kan flexibel worden geanticipeerd op nieuwe ontwikkelingen. Regelmatig worden veldbezoeken afgelegd door Voorzitter en Secretaris en door de gehele Commissie.

- Iedere 5 jaar wordt openbaar gerapporteerd. In 2000 werd het rapport in het openbaar verdedigd tegenover een forum van bekende wetenschappers. De bijeenkomst werd georganiseerd door de Rijksuniversiteit Groningen (RUG). De RUG heeft toegezegd om in 2005 wederom een technisch wetenschappelijke zitting te zullen organiseren.

De boven omschreven procedure garandeert een belangrijke mate van onafhankelijkheid, openheid en flexibiliteit. Het laat toe dat het meetprogramma op transparante wijze wordt aangepast in afhankelijkheid van nieuwe inzichten.

De Commissie heeft de benodigde autoriteit en vertrouwen en kan besluitvaardig opereren. Tot op heden heeft dit geleid tot een verantwoord en efficiënt gebruik van middelen met een positieve maatschappelijke respons.

Over de wetenschappers die het onderzoek hebben uitgevoerd

Het oorspronkelijk onderzoek is getrokken en vormgegeven door W.D. Eysink (WL), N.M.J.A. Dankers, P.A. Slim en K. Dijkema (Alterra). Er waren in die jaren uiteraard veel meer onderzoekers bij betrokken.

Op dit moment zijn de volgende instellingen en sleutelpersonen betrokken:

Instelling	Onderzoeker	Type gegevens
WL | delft hydraulics	W.D. Eysink (tot 2005) Z. Wang (vanaf 2005)	Morfologie Neerslag Getijdegevens Grondwaterpeil Economische aspecten
Alterra	K.S. Dijkema P.A. Slim M.E. Sanders H.F. van Dobben	Kwelders Duinvalleien, duinen Remote Sensing Duinen, kwelders
Natuurcentrum Ameland	J. Krol M. Kersten W. Molenaar	Duinvalleien, wadmetingen Vogels, wadmetingen Grondwater Begrazingsonderzoek
NAM	D. Doornhof S. Schoustra W. Veldwisch	Prognoses Datamanagement Waterpassingen Neerslag en grondwaterpeil
RWS		Controle waterpassingen Lodingen
It Fryske Gea		Vogeltellingen Peilbuizen
LNV		Vogeltellingen

Naast deze onderzoekers, droegen diverse medewerkers enthousiast en deskundig bij tot de resultaten in dit rapport. Hierbij dienen zeker genoemd te worden de medewerkers op Ameland van NAM op de gaswinlocatie, van It Fryske Gea, Rijkswaterstaat en “De Vennoot”.

Ruimte voor aantekeningen