

Samenvatting
Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost:
evaluatie na 13 jaar gaswinning

Colofon

Auteurs

WL: W.D. Eysink
ALTERRA: K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, P.A. Slim,
C.J. Smit, M.E. Sanders,
E.P.A.G. Schouwenberg en J. Wiertz
RIKZ: J. de Vlas

Foto's

J. de Vlas, J.M. Marquenie, M. Bouts, K.S. Dijkema,
P.A. Slim
KLM Aerocarto
Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat

Topografische kaarten

Topografische Dienst Emmen

Fotobewerking

H. Koning, J. van Kampen, H. Vrijs

Ontwerp, lay-out

M. de Bruin, W. Bosma, A. Leemberg-Stevens

Bijdragen

A. Houtenbos (NAM), D. Schouten (UU),
N. Dankers (ALTERRA)

Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland

J. de Vlas	-	LNV, thans RIKZ, voorzitter
J.M. Marquenie	-	NAM, secretaris
H.J. de Vries	-	It Fryske Gea
G. Mast	-	LNV Directie Noord
A. Prakken	-	RWS Directie Noord-Nederland
A. Nicolai	-	RWS Directie Noord-Nederland
W.F.M. Bakema	-	Gemeente Ameland
K. Naaijer	-	Gemeente Ameland

ISBN: 90-76690-06-5
Oplage: 5000 stuks
30 maart 2000

Extra rapporten zijn alleen verkrijgbaar op CD, inclusief
geïllustreerde samenvatting, onderliggende rapporten en
fotomateriaal. Opvragen bij:

Secretariaat Begeleidingscommissie Monitoring
Bodemdaling Ameland
J.M. Marquenie
Postbus 28000
9400 HH Assen

Voorwoord

Toen het onderzoek naar de effecten van bodemdaling op Ameland begon, in 1988, is afgesproken dat dit tot het jaar 2000 zou duren. Het nieuwe millennium was nog ver weg, en twaalf jaar werd algemeen gezien als een goede termijn. En dat was het ook. Een zo lange periode geeft rust en mogelijkheid voor zorgvuldige planning. Nu dertien jaar na het begin van de gasproductie is er voldoende te melden. Ook is het een goed moment om te bezien of en hoe de waarnemingen moeten worden voortgezet.

Het heeft voor de commissieleden niet echt moeite gekost om deze mijlpaal te halen. Er waren geen grote tegenslagen, en het onderzoek leverde steeds weer interessante gegevens op. De werkbezoeken naar Ameland waren boeiend, en de onderzoekers deden hun werk met enthousiasme. Zorgen over geld en administratie waren er niet, daar zorgde de NAM voor. De discussies over de resultaten en de verwerking daarvan verliepen steeds in een rationele en goede sfeer. De Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland heeft er nauwkeurig op toegezien dat alle bevindingen correct op schrift zijn gesteld. Ik verklaar bij dezen, namens de Commissie, dat dat ook inderdaad is gebeurd.

De onderzoekresultaten zijn van belang voor It Fryske Gea, de natuurbeheerder op Ameland-Oost, de betrokken overheidsinstanties en de inwoners van de gemeente Ameland in verband met het economisch gebruik van duinen en kwelders. Maar vanaf het begin was het duidelijk dat de gegevens van Ameland dienst zouden kunnen doen in een breder kader. Elders in de Waddenzee trad ook bodemdaling op of zou bodemdaling kunnen optreden, en dan zou er tenminste één casus

goed gedocumenteerd zijn. Bovendien zou zeespiegelrijzing ongeveer dezelfde effecten kunnen hebben, en dan zou de kennis in een nog weer breder kader van pas komen. Zowel onderzoekers als commissieleden hebben dan ook geen moment getwijfeld aan de zin van hun werkzaamheden.

Met name vanuit de wereld van de natuur- en milieuorganisaties is veel belangstelling te verwachten. Moet er al gedweild worden bij Ameland, zij het met de gaskraan nog steeds open? Ook de politiek zal wel in spanning zitten, al is de druk er nu even af. Of is die verwachting te naïef, en worden deze prachtige onderzoekresultaten straks een speelbal van reeds ingegraven voor- en tegenstanders die afhankelijk van hun positie commentaar leveren? Hoe dan ook, ik hoop dat het rationele aspect zal overheersen.

Zoals dat wel vaker gaat met mijlpalen, als je er één bereikt hebt, blijkt de weg nog verder te gaan. Ook in dit geval, want de bodemdaling is nog niet ten einde. Nu nog moeilijk zichtbare verschijnselen kunnen misschien duidelijker worden, en niemand weet of er in de laatste jaren nog iets onverwachts zal gebeuren. Daarom ligt het in de bedoeling om de monitoring voort te zetten tot op het moment dat er een redelijke zekerheid bestaat dat de veranderingen ten einde zijn. De Commissie heeft daartoe in overleg met de betrokken onderzoekers een monitoringsvoorstel gemaakt voor de komende jaren.

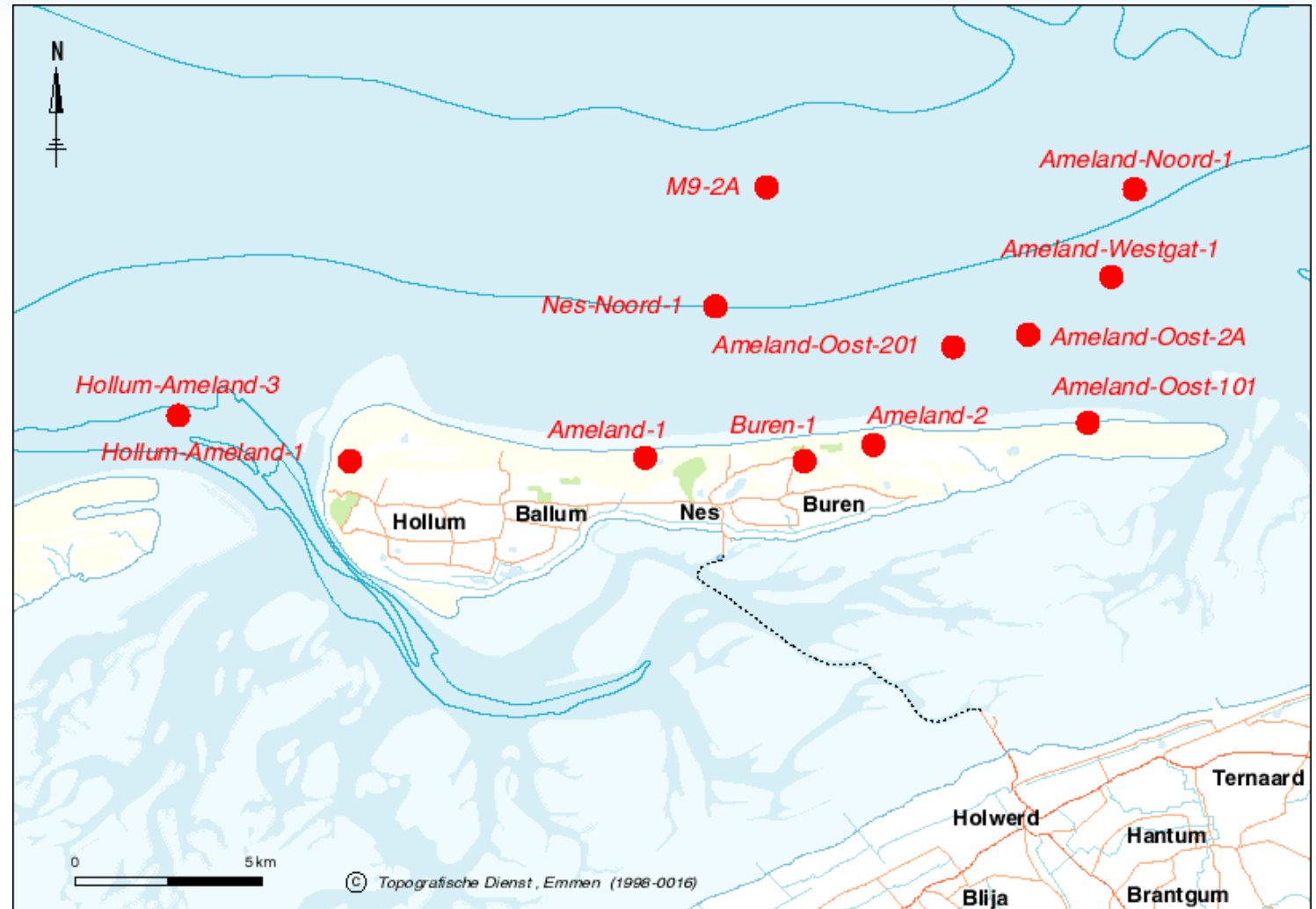
Dr. J. de Vlas



Inleiding

De ontdekking van het Amelandergasveld

Na de ontdekking van het Groningergasveld in 1959 en het besluit een infrastructuur te ontwikkelen voor de winning van dit gas, breidde het onderzoek naar nieuwe velden zich al snel uit over heel noordelijk Nederland. Op Ameland werd gas gevonden in 1962. Er werden in totaal vijf proefboringen uitgevoerd verspreid over het eiland en een even groot aantal in het kustgebied ten noorden van het eiland. Gas werd aangetoond op de meest westelijke punt van het eiland, even ten noorden van Hollum en op De Hon, de meest oostelijke punt. Het gasveld onder het oostelijk gelegen natuurgebied en de aangrenzende Noordzee kustzone bleek het op twee na, grootste van Nederland. De omvang werd geschat op 60 miljard kubieke meter gas. In 1969 werd bij Koninklijk Besluit de concessie Noord-Friesland verleend waar ook Ameland deel van uitmaakt. In 1972 werd een plan ingediend voor de ontwikkeling van dit veld. Het zou echter tot 1986 duren voor de productie kon starten.



Locaties van de putten die op en rond Ameland vóór 1980 werden geboord.

Voor 1972 werd slechts een ruwe schatting gemaakt van de te verwachten bodemdaling op basis van een vergelijking met Groningen. De aandacht ging veel meer uit naar de directe effecten op de natuur. Om die reden werd een milieu-effectrapport opgesteld voor de ecologische inpassing van de locatie en het mogelijk effect van de boringen. Vanwege het gegroeid verzet en de inmiddels aangespannen procedures duurde het uiteindelijk tot 1982 voordat met de aanleg van de locatie Ameland-Oost een begin kon worden gemaakt. De aanleg en het boren van de eerste putten vond plaats volgens de aanwijzingen uit het milieu-effectrapport en het advies van de planologische werkcommissie (PWC).

Bodemdaling

Ook na 1982 bleef de zorg bestaan om een mogelijk verlies van natuurwaarden. De bodemdaling van het Groningenveld had namelijk veel belangstelling getrokken en de vrees bestond dat de bodemdaling van Ameland een vergelijkbare omvang zou krijgen. Om die reden werd in 1985 het voor Groningen ontwikkelde voorspellingsmodel toegepast op het gasveld van Ameland. De voorspelling voor de eindzakking bedroeg nu 26 ± 5 cm in het hart van het veld. Dit zou resulteren in een schotel met een inhoud van ca. 28 miljoen kubieke meter.



De gaswinningslocatie op Ameland-Oost in 1983 direct na de aanleg.



De gaswinningslocatie op Ameland-Oost in 1997. Er zijn op dat moment 6 putten geboord en in bedrijf.

Deze voorspelling was aanleiding tot een onderzoek naar de mogelijke effecten van deze daling. De opdracht tot het opstellen van een milieueffectrapport betreffende de mogelijke effecten van bodemdaling op Ameland-Oost werd gegund aan een tweetal instituten, namelijk het Waterloopkundig Laboratorium en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (thans ALTErrA). Het onderzoeksrapport werd opgesteld onder toezicht van een onafhankelijke commissie. De voorspellingen waren uiteraard met onzekerheden omgeven want er was geen praktische kennis op dit gebied.

Monitoring

It Fryske Gea, de beheerder van het natuurgebied, heeft vervolgens de NAM per brief verzocht deze onzekerheden te verkleinen middels een evaluerend onderzoek. Dit onderzoek ontwikkelde zich tot het meerjarig monitorprogramma waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan. Hiermee werd tevens invulling gegeven aan een maatschappelijke behoefte. Er was namelijk zorg ontstaan om de mogelijke effecten van zeespiegelrijzing en bestudering van de bodemdaling zou kunnen leiden tot een verdieping van de kennis betreffende de wijze waarop kwelders en strandvlakten met laag gelegen valleien hierop reageren.

Ook dit onderzoek stond onder toezicht van een onafhankelijke commissie. De samenstelling van deze commissie is gebaseerd op een combinatie van deskundigheid en vertegenwoordiging van belanghebbende instanties. Het onderzoek is uitgevoerd door dezelfde instituten die ook het milieu-effectrapport hadden opgesteld en is gestart in 1987, een jaar na het begin van de gaswinning.

Samenvatting en conclusies

In het kader van het monitoringsprogramma zijn sinds het najaar van 1988 de volgende gegevens verzameld:

- nauwkeurigheidswaterpassingen voor het bepalen van de werkelijke bodemdaling;
- gegevens die van belang zijn voor de vegetatie op de kwelders en in de duinen;
- gegevens die veranderingen in de topografie en de waterdiepten aangeven;
- informatie die veranderingen in de vogelstand en de vegetatie aangeven of kunnen verklaren;
- gegevens waarmee kan worden nagegaan of de bodemdaling kan leiden tot economische schade op de kwelder Nieuwlandsrijd, in de polder Buurdergrie of bij de drinkwaterwinning in de Buurderduinen

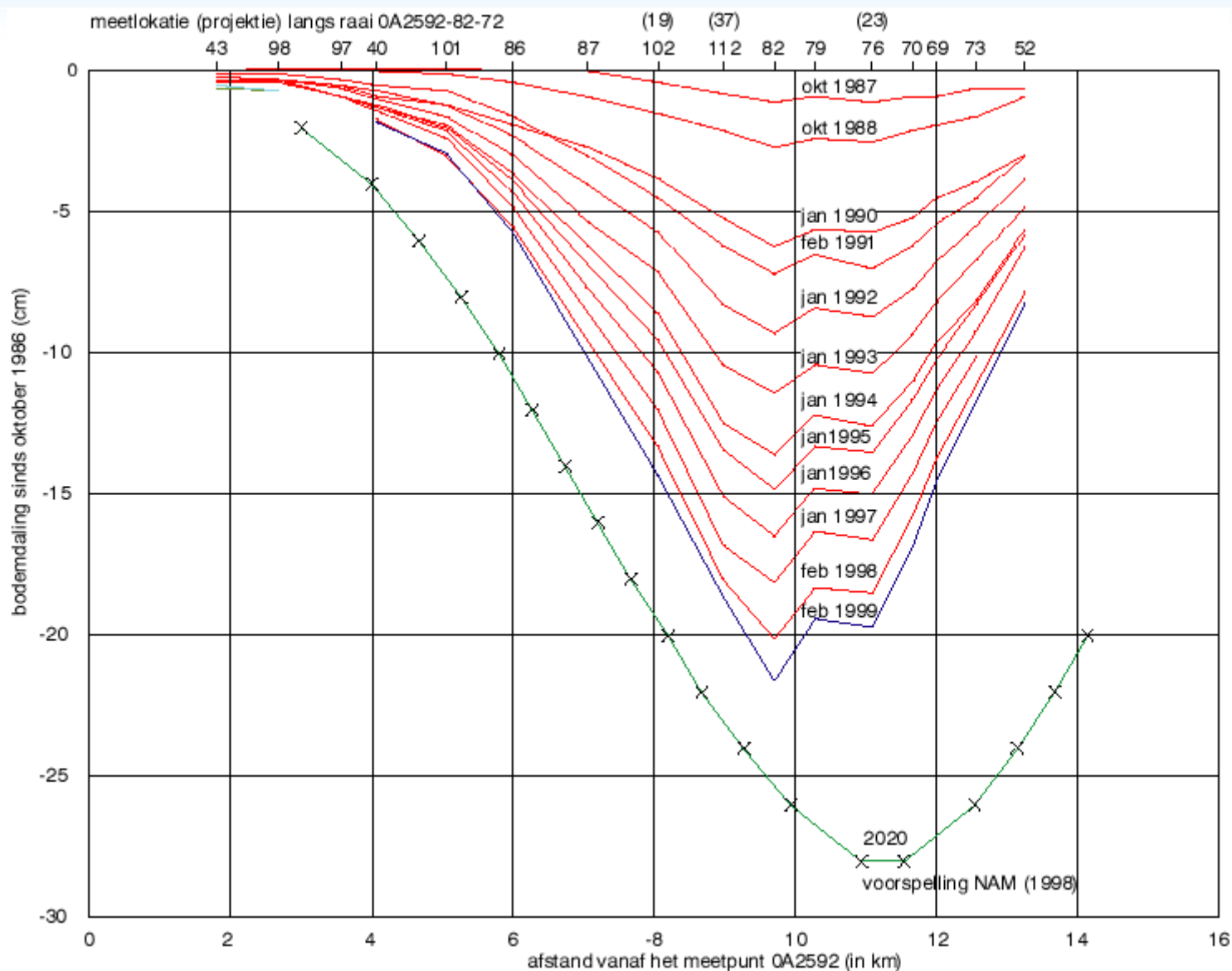
In dit verslag is een evaluatie gegeven van de toestand en de bevindingen na dertien jaar gaswinning op Ameland-Oost.

A - Bodemdaling

In 1985 is er een eerste prognose gemaakt van de verwachte bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost die in het centrum een uiteindelijke daling van 26 cm te zien gaf. In 1991 is deze prognose bijgesteld naar aanleiding van recentere informatie van de reservoir eigenschappen. De uiteindelijke daling in het centrum werd toen op circa 18 cm bepaald.



De beide milieu-effectrapporten uit 1987.



Bodemdalingsprofielen op Ameland-Oost. Weergegeven is de bodemdaling in centimeters in verschillende jaren langs een raai die loopt van west naar oost (in kilometers). Tevens is weergegeven de bodemdaling in 2020 op basis van de prognose van 1998.

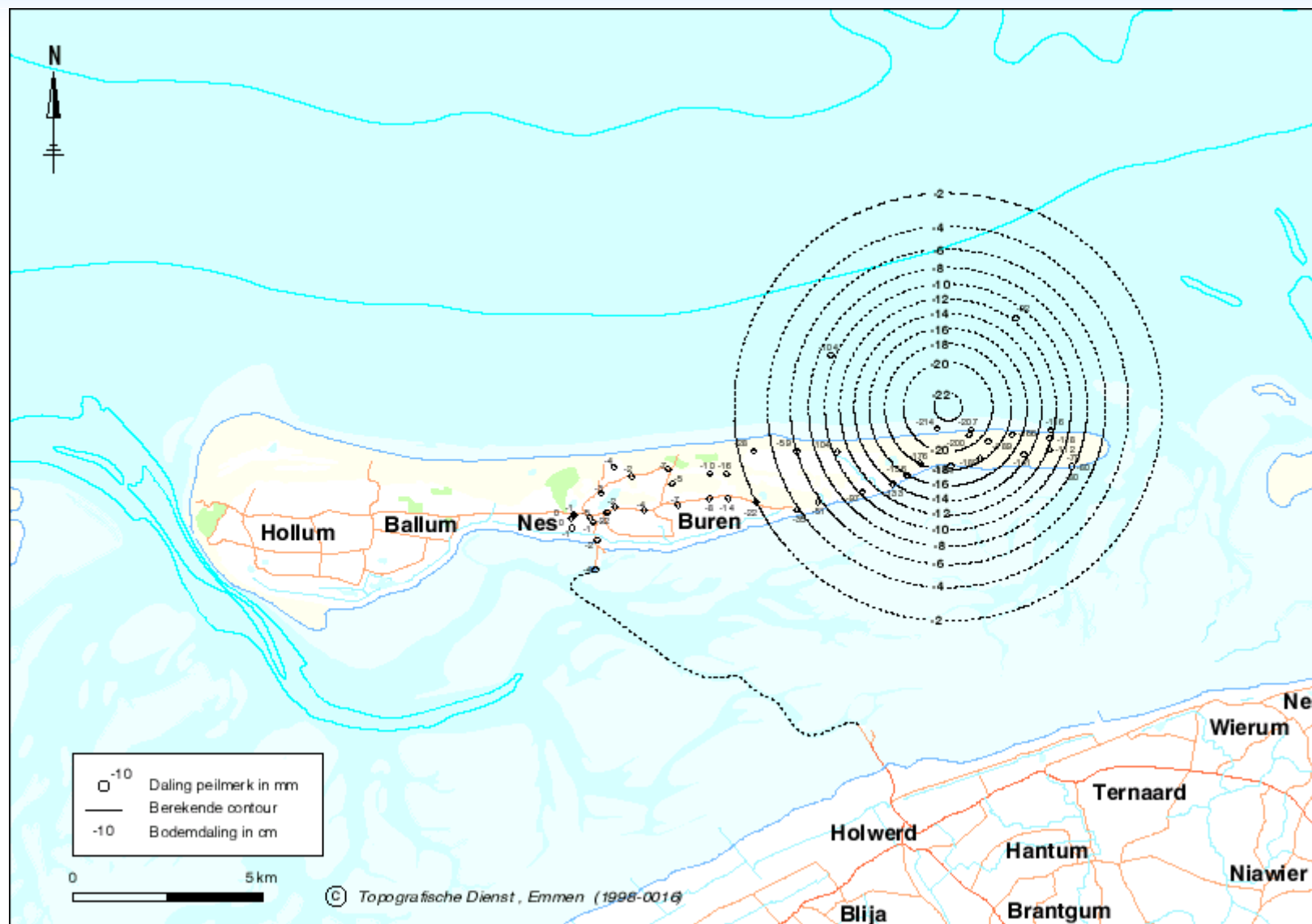
Metingen lieten echter zien dat de snelheid, waarmee de bodem in de buurt van de NAM-locatie daalt, groter was dan voorspeld in 1991. De dalingssnelheid kwam zelfs vrijwel exact overeen met de voorspelling van 1985. In het interim-verslag van januari 1995 werd op basis van een globale theoretische beschouwing en de gegeven vermindering van de gasdruk in het reservoir een verklaring gevonden, die plausibel leek voor de gevonden verschillen. Voor de uiteindelijke daling werd toen toch de voorspelling van 1991 als de beste gezien en er werd verwacht dat de snelheid van bodemdaling in het centrum van de schotel na 1994 drastisch zou afnemen. Dit bleek echter niet het geval, reden waarom de NAM veel inspanning heeft gestoken in het vinden van een verklaring.

Met behulp van de meest recente kennis, verbeterde bodemdalingsmodellen en extra gegevens zijn door de NAM alsook door TNO nieuwe berekeningen gemaakt naar de verwachte bodemdaling. Hieruit bleek dat met het nieuwe model de waargenomen bodemdaling beter wordt gereproduceerd en dat verwacht mag worden dat:

- de einddaling in het hart van de schotel circa 28 cm zal bedragen en dat
- de dalingsschotel in het midden iets dieper en aan de randen iets minder diep zal zijn dan oorspronkelijk voorspeld in 1985. Het totale volume van de bodemdaling zal uiteindelijk beduidend lager zijn dan voorspeld in 1985 zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

Prognose	Maximum daling (cm)	Volume schotel (10^6 m^3)
1985	26 (21-31)	28
1991	18 (14-22)	18
1998	28 (22-34)	14-18

Hiermee komt de verwachte maximum daling in het hart van de schotel uiteindelijk toch dicht in de buurt van de basis voor de effectvoorspellingen uit 1987. In februari 1999 bedroeg de werkelijke bodemdaling op het diepste punt circa 22 cm, i.e. 70 à 75 procent van de nu verwachte einddaling. Het volume van de schotel bedroeg op dat moment $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Meer naar de randen toe blijft de bodemdaling achter bij de voorspelling van 1985.



Bodemdaling Ameland. Situatie in 1999 op basis van metingen. Tevens is aangegeven het netwerk van vaste meetpunten.

B - Abiotische factoren

Waterstanden

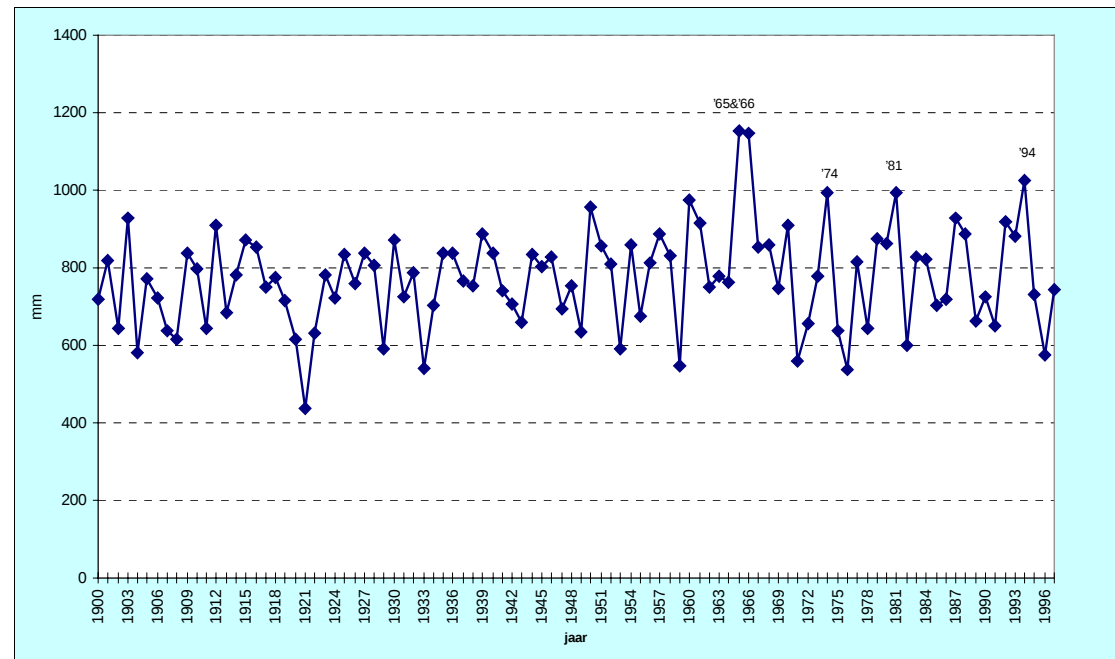
De waterstandgegevens van het getijstation Nes, met name de gegevens van hoogwater, zijn representatief voor de waterstanden bij de kwelders Nieuwlandsdijk en De Hon. Het station Den Helder wordt als het meest representatief gezien voor het beoordelen van veranderingen in de relatieve zeespiegelrijzing. Er zijn geen aanwijzingen dat de zeespiegelrijzing extra is toegenomen als gevolg van het veel besproken broeikaseffect. Sinds het begin van de bodemdaling in 1987 is het zeewater 'gemiddeld' met 2 cm gestegen.

Een peil van NAP + 2,5 m wordt vrijwel jaarlijks één of meermalen overschreden. Ook een peil van NAP + 2,8 m wordt nog met enige regelmaat overschreden. Zeer hoge stormvloeden (hoger dan NAP + 3 m) kwamen in de periode 1981-1998 slechts 11 maal voor. Dit waren de jaren 1981, 1983, 1990, 1993, 1994 en 1995. Met name in de jaren 1990 en 1994 kwamen veel hoge en ook de meest zeer hoge stormvloeden voor, waarvan enkele laat in het winterseizoen (eind februari en begin maart).

Neerslag en verdamping

Neerslag- en verdampingscijfers zijn belangrijk voor de interpretatie van veranderingen in de vegetatie. De neerslaggegevens zijn verzameld voor het station Nes en de (gewas-) verdampingscijfers voor het dichtstbij gelegen station met deze gegevens. In het algemeen was dat het station Lauwersoog.

In de periode 1984-1998 was de periode 1992-1995 een aaneenschakeling van natte jaren met een extreem nat 1994 (1018,3 mm). De natte jaren 1993-1995 vielen bovendien samen met veel en zeer hoge stormvloeden.

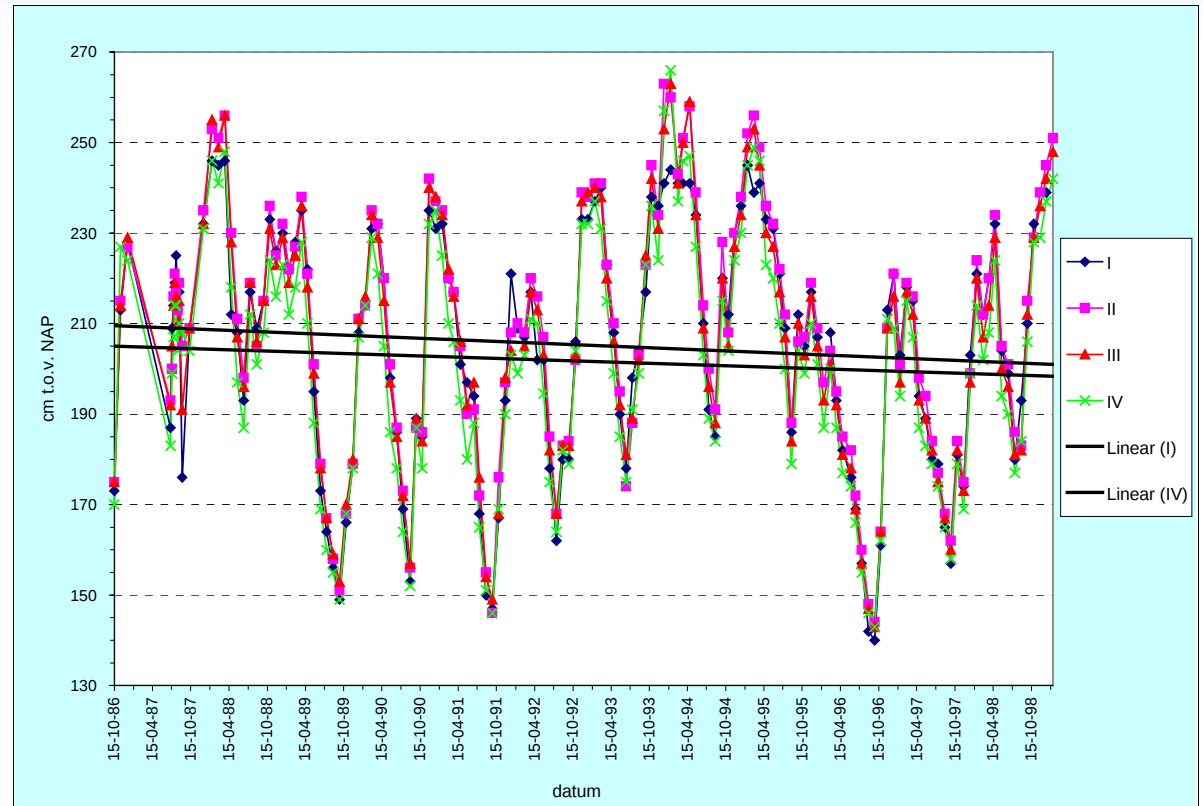


Neerslaggegevens De Bilt vanaf 1900 (naar J.C.A.M. Bervaes, IBN-DLO). Voor het monitoringsprogramma bleek met name de hoge regenval in 1994 van belang. Dit resulteerde ook in een hoge stand van het grondwater (zie volgende figuur).

Grondwaterstanden

Er is inmiddels veel informatie en inzicht verkregen in het gedrag van het grondwaterpeil op Ameland-Oost. De jaarlijkse fluctuaties in de verschillende peilbuizen zijn vergelijkbaar en zijn vrij groot; afhankelijk van de jaarlijkse regenval en fluctuatie in het gemiddeld zeeniveau varieert deze fluctuatie tussen circa 0,5 m en circa 1 m.

De grondwaterspiegel op Ameland-Oost is vrij vlak met flauwe gradiënten van hoger gelegen gebieden naar lagere gebieden. De daling en rijzing van de grondwaterspiegel over het jaar gebeurt overal in min of meer dezelfde mate (evenwijdige verschuiving). Een duidelijke invloed van de bodemdaling op het grondwaterpeil ten opzichte van NAP is niet herkenbaar. Het grondwaterpeil stijgt dus ten opzichte van het maaiveld in gebieden met bodemdaling door gaswinning. Dit effect is blijvend in gebieden zonder compensatie door opslibbing, zoals polders en duinen.

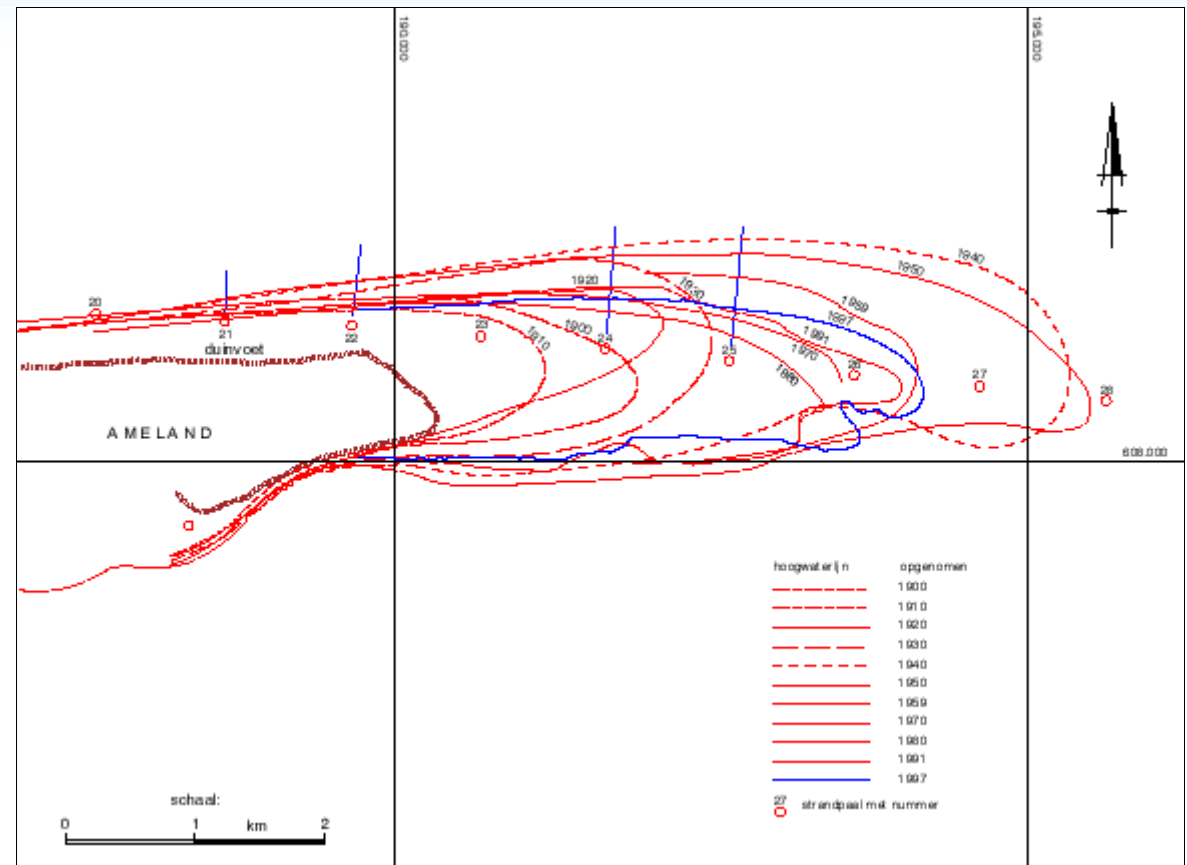


Grondwaterstanden in de Kooiduinen (RWS-bzn I t/m IV) van 1986 tot heden. Deze worden gekenmerkt door grote fluctuaties (0.5-1.0 m). Door de goed doorlatende, zanderige bodem varieert het peil in alle buizen op overeenkomstige wijze.

C - Morfologie

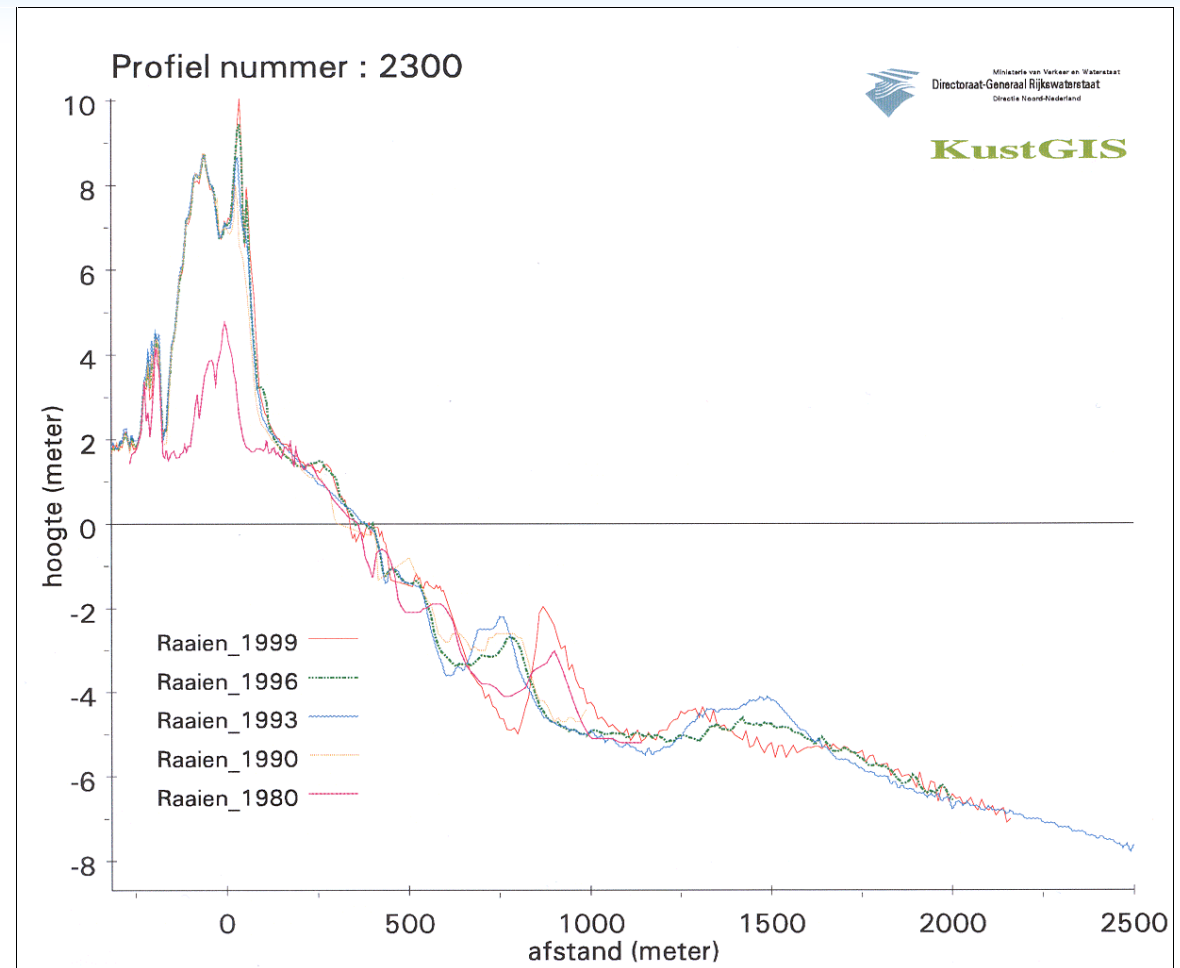
Noordzeekust

Sinds 1990 is het uitgangspunt van Rijkswaterstaat het handhaven van de kustlijn door middel van zandsuppleties. Op Ameland zijn de laatste 10 jaren grote hoeveelheden zand gesuppleerd (5,3 mln m³) op de kust ten westen van de NAM-locatie (km 23). Ten oosten van de NAM-locatie is sprake van vrije natuurlijke dynamiek.



Ontwikkeling van de oostpunt van Ameland (1900-1997). De vorm van de oostpunt varieert sterk onder invloed van het oostwaarts migreren van de zeulen in het zeegat.

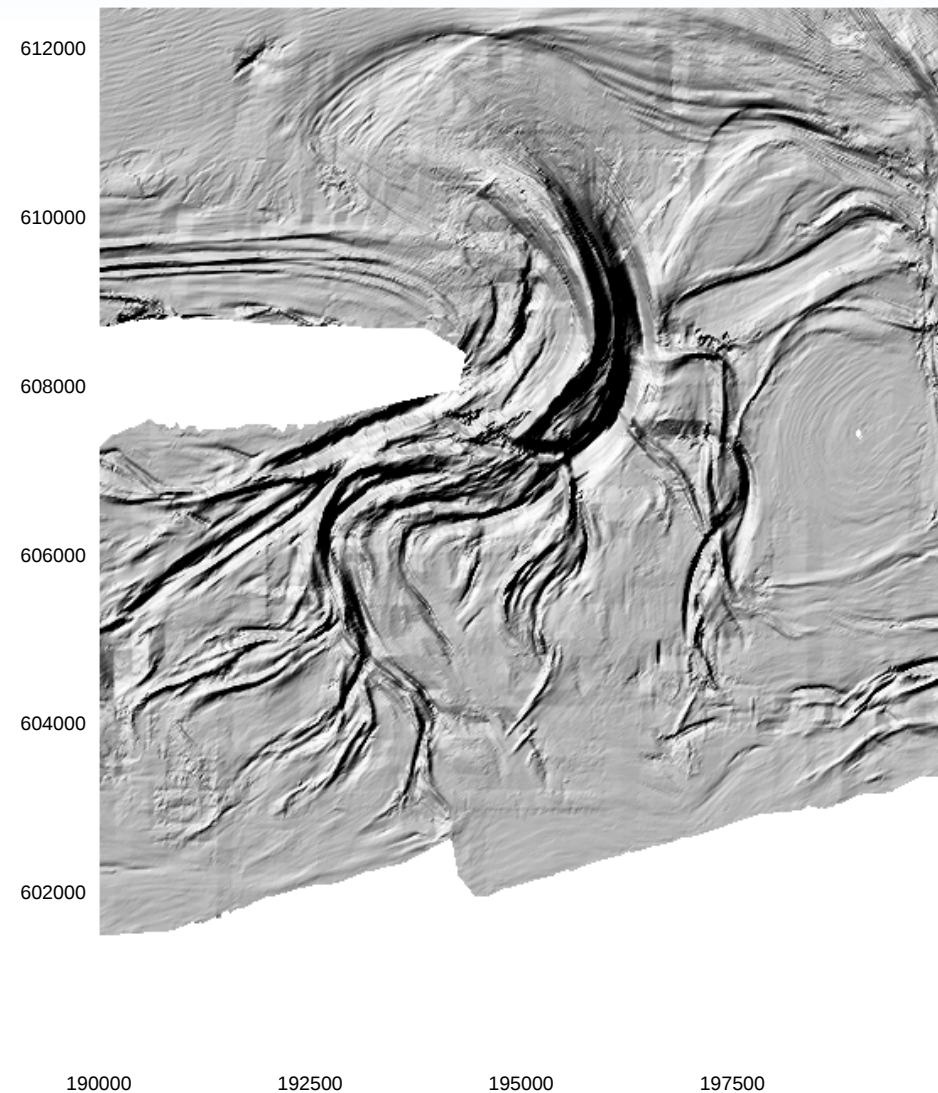
In het WL-model zijn de kustveranderingen, zoals de ligging van de gemiddelde hoogwaterlijn geanalyseerd. De sterke dynamiek in het morfologisch gedrag van de Noordzeekust van Ameland en de kustsuppleties, die afwijken van de in het model aangenomen kustsuppleties (grotere hoeveelheden en op andere tijdstippen), maken het onmogelijk om de invloed van de bodemdaling door gaswinning op het kustgedrag te herkennen, zelfs nu deze voor ongeveer driekwart ontwikkeld is. De kust ten oosten van de NAM-locatie vertoont een sterke zeewaartse groei, ten westen vertoont de kust een structurele teruggang die door zandsuppleties wordt gecompenseerd.



Dwarsdoorsnede van de kust ter hoogte van de NAM-locatie (kilometerpaal 23). Het kunstmatig duin (0 meter) is aangelegd na 1980.

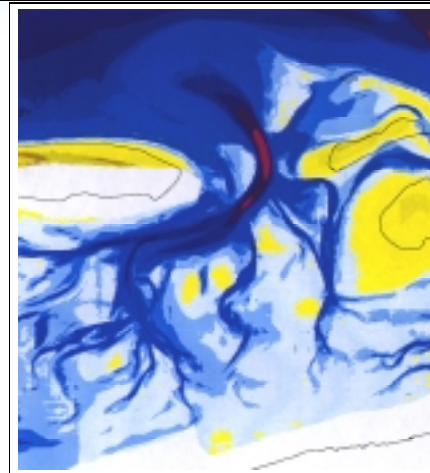
Friesche Zeegat en De Hon

De lengte van De Hon is in de periode 1980-1986 naar het oosten toe toegenomen als gevolg van natuurlijke geulmigratie van De Holwerderbalg en het Pinkegat door erosie van buitenbochten en sedimentatie in de binnenbochten. De aangroei stagneerde in de periode 1986-1991 als gevolg van het ontstaan van een nieuw geultje tussen de Holwerderbalg en De Hon. Sinds 1991 is er weer een gestage aangroei door voortgaande natuurlijke geulmigratie van het nieuwe geultje, de Holwerderbalg en het Pinkegat.

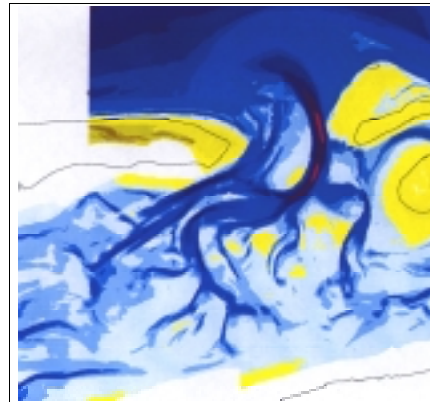


De dynamiek van het Friesche Zeegat en het wad op basis van RWS lodingsgegevens 1987-1994. Hoe donkerder de kleur hoe sterker de diepte is veranderd in deze periode (geulmigratie). De effen grijze delen zijn globaal gelijk gebleven.

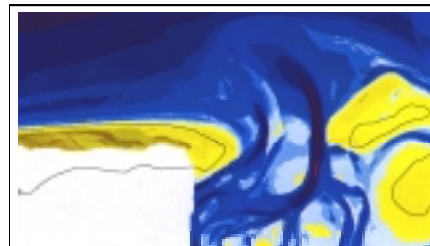
In hoeverre dit proces, met name in de Holwerderbalg en in de secundaire geul in het zeegat, is versneld door de bodemdaling door gaswinning op Ameland is niet te bepalen. In het effectvoorspellingrapport van 1987 is de mogelijkheid genoemd dat de extra zandhonger van de vloedkom van het Pinkegat voor een deel zal worden gecompenseerd door een vertraagde groei van De Hon. In het milieu-effectrapport van 1987 gebaseerd op de bodemdalingsvoorspelling van 1985, werd de totale reductie in de groei naar het oosten ruwweg geschat op 500 m en de vermindering in de aanwas op maximaal 10 m/jaar. De gesignaleerde ontwikkelingen sluiten deze mogelijkheid niet uit. Het (tijdelijk) stagneren van de groei van De Hon naar het oosten kan echter ook heel goed worden verklaard door de natuurlijke ontwikkelingen in de geul Holwerderbalg die tegen de wijzers van de klok in, in de richting van Ameland is gedraaid.



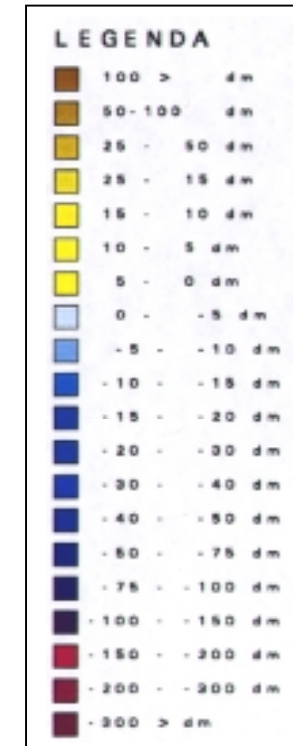
1987



1994



1997



Dieptegegevens RWS/RIKZ

Recente ontwikkelingen van het zeegat en de platen onder De Hon. De geulmigratie in oostelijke richting en het ontstaan van een nieuw geultje in 1994 zijn duidelijk te zien.

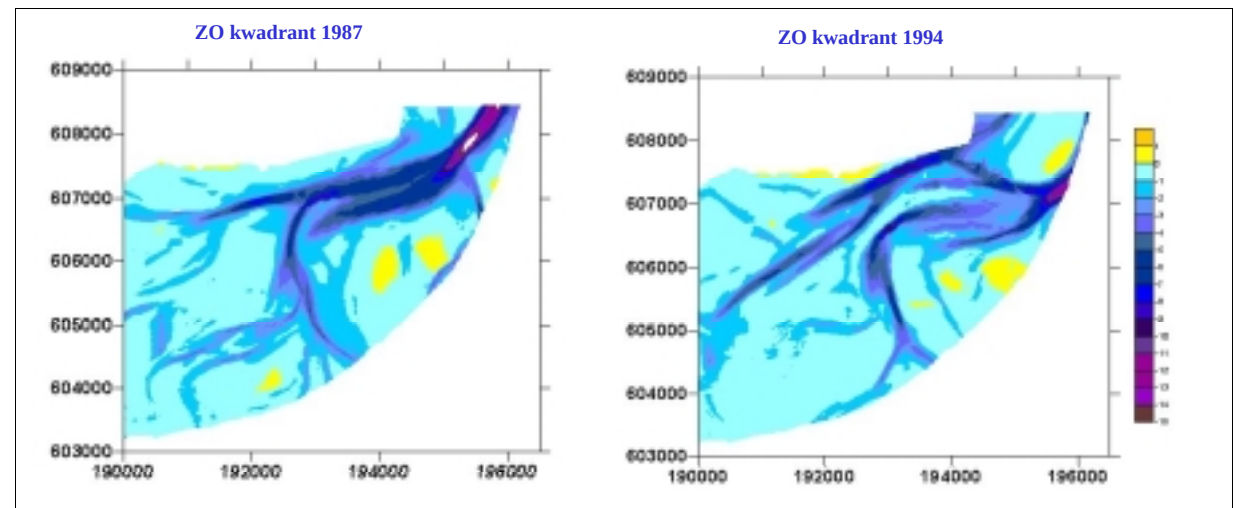
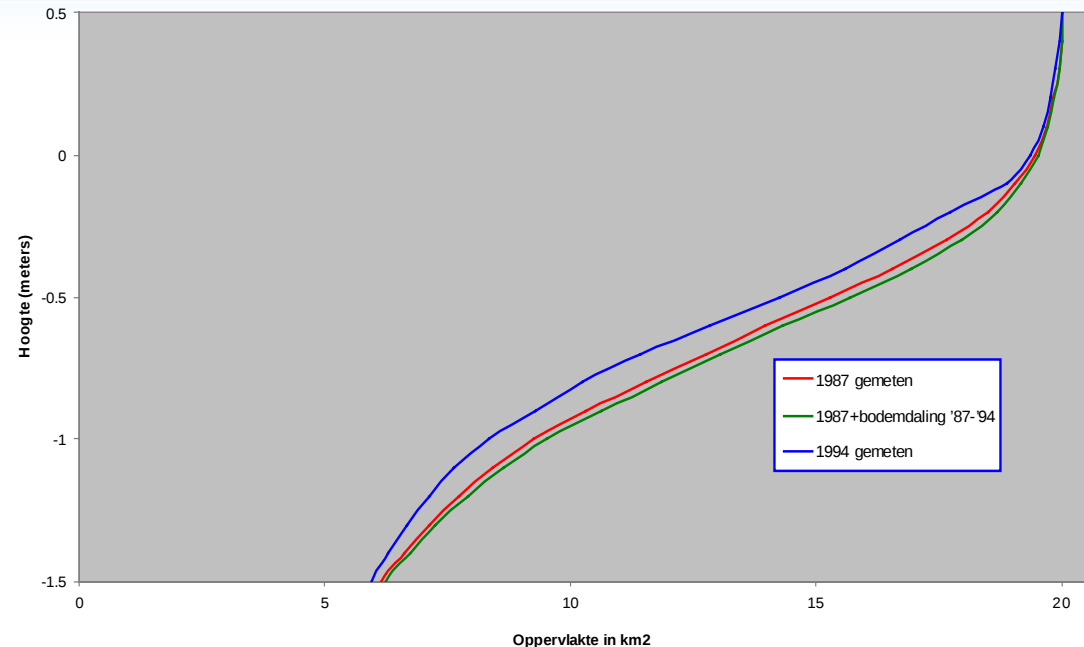
Waddenzee

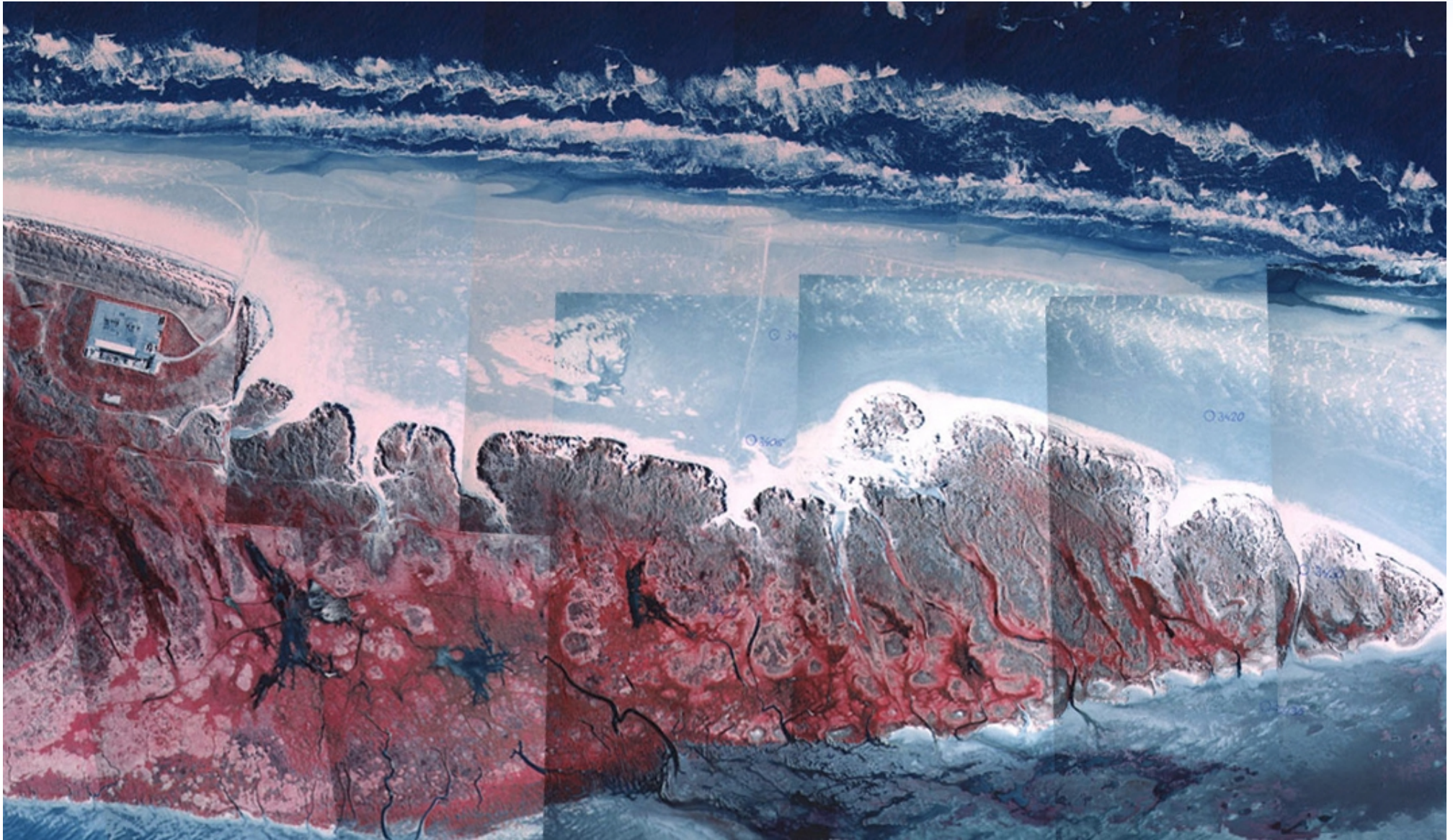
Ook in de Waddenzee maakt de sterke dynamiek in het systeem het onmogelijk om, ook in de toekomst, relatief kleine veranderingen door bodemdaling lokaal te herkennen.

Ook indien naar gemiddelde bodemveranderingen of volumeverandering van de vloedkom wordt gekeken, dan zijn deze veranderingen niet aantoonbaar, omdat ze binnen de onnauwkeurigheid van het peilen liggen. Alleen op de hoge plaat vlak onder De Hon blijkt uit waterpassingen van 1988 en 1998 een daling van de wadbodem in de orde van de bodemdaling. Ook daar is het echter mogelijk dat er wel compensatie optreedt door opslibbing, maar dat dit effect weer teniet wordt gedaan door de natuurlijke geulontwikkelingen (Holwerderbalg) op het wad.

Bevestiging hiervan blijkt onder andere uit de daling van de wadbodem vlak onder de kust bij de Oerderduinen/het Oerd, welke daar circa 3 maal zo groot is als de daar opgetreden bodemdaling door gaswinning. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de ontwikkeling van een ondiep geultje vlak onder de kust in dat gebied.

ZO kwadrant van de Ameland bodemdalingskom. Weergegeven zijn drie situaties. Deze betreffen een weergave van het plaatareaal. Weergegeven is in de bovenste figuur het cumulatief oppervlak boven een bepaalde hoogteligging voor 1987 en 1994 op basis van de door Rijkswaterstaat uitgevoerde lodingen. Ook is weergegeven het berekende plaatareaal in 1994 door de waarden voor de bodemdaling zoals die in 1994 is gemeten in mindering te brengen op de hoogteligging van 1987. Het werkelijk plaatareaal (blauwe lijn in bovenste grafiek) was in 1994 groter dan op deze wijze berekend is, door het dynamisch gedrag van de geulen (zie ook beide kaartjes).

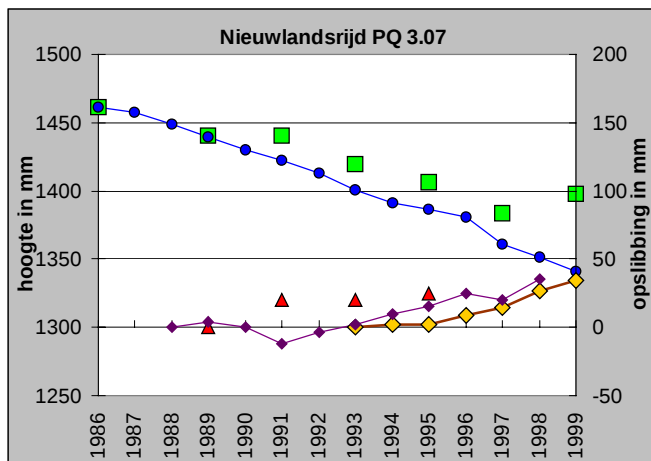
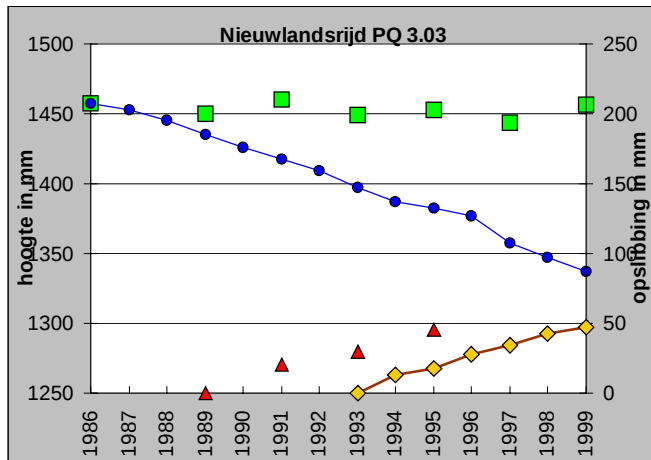




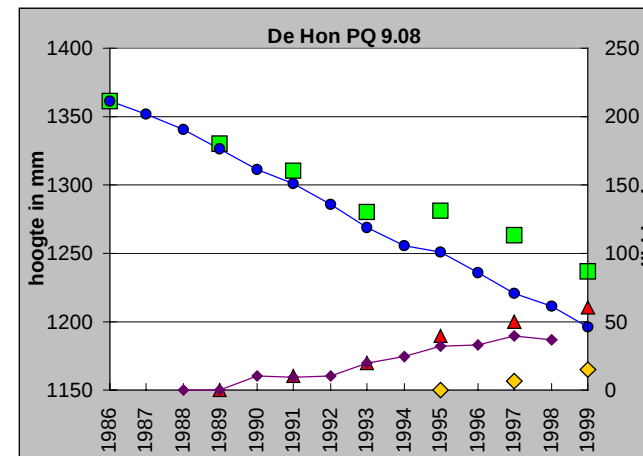
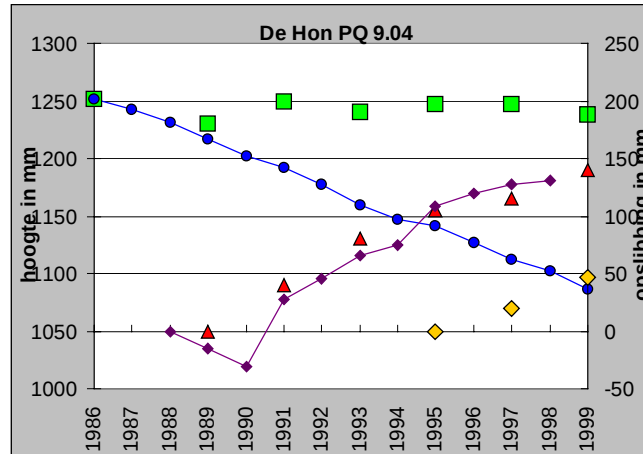
Compilatie van luchtfoto's (1997) van het oostelijk deel van Ameland. Iedere 5 jaar worden er luchtfoto's gemaakt door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat. De fotoseries van 1988, 1993 en 1997 zijn samengevoegd tot een doorlopend geheel (zie CD).

Kwelders

De nauwkeurigheidswaterpassingen op Ameland-Oost geven een goed en nauwkeurig beeld van de bodemdaling door gaswinning. Plaatselijk treedt op de kwelders compensatie in de maaiveldhoogte op door sedimentatie.



■ MAAVELD PQ
 ▲ OPS PAAL
 ◆ OPS SEB
 ◆ OPS PLAAT
 ● MAAVELD ZONDER OPS



Neerlandsrijd

PQ 3.03 ligt in de midden kwelderzone en dicht bij zee. De opslibbing is even groot als de bodemdaling (120 mm). De hoogte van het maaiveld is stabiel. De opslibbingsbalans is in evenwicht. De vegetatiedynamiek vertoont zowel regressie als successie.

PQ 3.07 ligt in de midden kwelderzone en verder van zee. De opslibbing is minder dan de bodemdaling (120 mm). De hoogte van het maaiveld zakt minder snel dan de bodemdaling. De opslibbingsbalans is negatief, net over de grenswaarde van 5 cm. De vegetatiedynamiek vertoont in de beginperiode enige toename van kweldergras en is daarna stabiel.

De Hon

PQ 9.04 ligt in de lage kwelderzone en dicht bij zee. De opslibbing is even groot als de bodemdaling (165 mm). De hoogte van het maaiveld is stabiel. De opslibbingsbalans is in evenwicht. De vegetatie is stabiel en divers en vertoont alle kenmerken van een jonge, zich ontwikkelende kwelder.

PQ 9.08 ligt oorspronkelijk in de midden kwelderzone en ver van zee. De opslibbing is minder dan de bodemdaling (165 mm). De hoogte van het maaiveld zakt. De opslibbingsbalans is negatief, ruim twee maal de grenswaarde van 5 cm. Dit is het enige van de 50 PQ's waar vegetatiedynamiek (regressie naar lage kwelderzone) aan bodemdaling wordt toegeschreven.

In februari 1999 bedroeg de bodemdaling door gaswinning op het Nieuwlandsrijd circa 13 cm aan de oostzijde van de kwelder aflopend tot 3 cm aan de westzijde. Dit is circa 60 respectievelijk 35 procent van de oorspronkelijk (in 1985) voorspelde bodemdaling. De daling van het maaiveld is veelal minder als gevolg van compensatie door opslibbing. Omdat de kwelderrand van Nieuwlandsrijd is gefixeerd met een oeververdediging wordt de kwelder door de bodemdaling niet kleiner.

Op de natuurlijke kwelder op De Hon varieerde de bodemdaling door gaswinning in februari 1999 van circa 22 cm bij de NAM-locatie in het westen tot circa 9 cm op de uiterste oostpunt. Dit is circa 75 respectievelijk 45 procent van de oorspronkelijk (in 1985) voorspelde bodemdaling. Ook hier is door opslibbing de daling van het maaiveld veelal kleiner dan de bodemdaling door gaswinning. Aan de wadzijde is de GHW-lijn sinds 1988, als gevolg van een combinatie van het effect van bodemdaling en (vooral door) erosie van de plaat door natuurlijke geulmigratie van de Holwerderbalg, circa 100 meter naar het noorden opgeschoven. De kwelderrand is deels geërodeerd en deels aangegroeid.

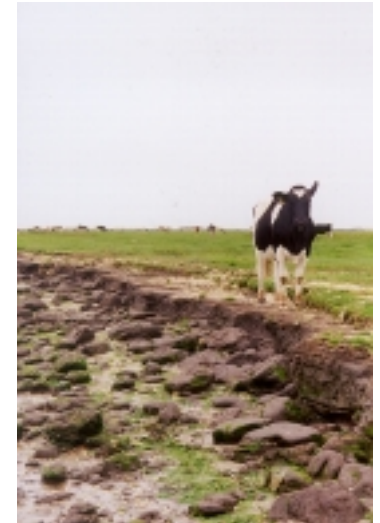
De opslibbing op de kwelders is afhankelijk van het kwelderniveau en (waarschijnlijk) van de afstand tot de Waddenzee of een kwelderkreek. Op de lage kwelders (lager dan NAP +1,25 m) is de bodemdaling in het algemeen meer dan gecompenseerd door opslibbing. Op de hogere kwelder neemt de compensatie geleidelijk met het toenemende niveau en de grotere afstand tot de Waddenzee af tot 0 op een niveau van 2 m boven NAP relatief dicht bij de kust of 1,7 m boven NAP op grotere afstand van de zee. Boven deze niveaus treedt geen opslibbing op. In het algemeen wordt de kwelder dus iets vlakker.

Ten zuidoosten van de NAM-locatie ligt op De Hon een laag gelegen gedeelte met enkele plekken die slecht afwateren. Deze laagte is het gevolg van het zeewater dat bij stormvloed water aan- en afvoert naar en van de lage valleien, die ten westen en ten zuidwesten van de NAM-locatie liggen. Deze laagte wordt versterkt door de relatief snelle bodemdaling in dit gebied.

Duingebieden

De zeereep en de jonge duintjes op De Hon zijn 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 meer permanente verlaging van het duinlandschap.



Kwelderrand ten zuiden van de Oerderduinen (oostzijde Nieuwlandsrijd). Door erosie is een steile afslagrand ontstaan.

Stormvloedgeulen

Uit de beschikbare gegevens en de fotopanorama's vanaf drie locaties op De Hon kan geen reëel gevaar voor een doorbraak van de zee door bodemdaling worden afgeleid. Slechts op één plaats werd een, niet verontrustende ontwikkeling gezien als gevolg van stroming over De Hon tijdens een zware storm.

Polders

Het maaiveld van de weilanden in de polder Buurdergrie zal permanent met de bodemdaling door gaswinning worden verlaagd. In februari 1999 lag de bodemdaling daar tussen 0,7 cm in het westen tot 4 cm in het uiterste oosten.

D - Ecologie

Vogels

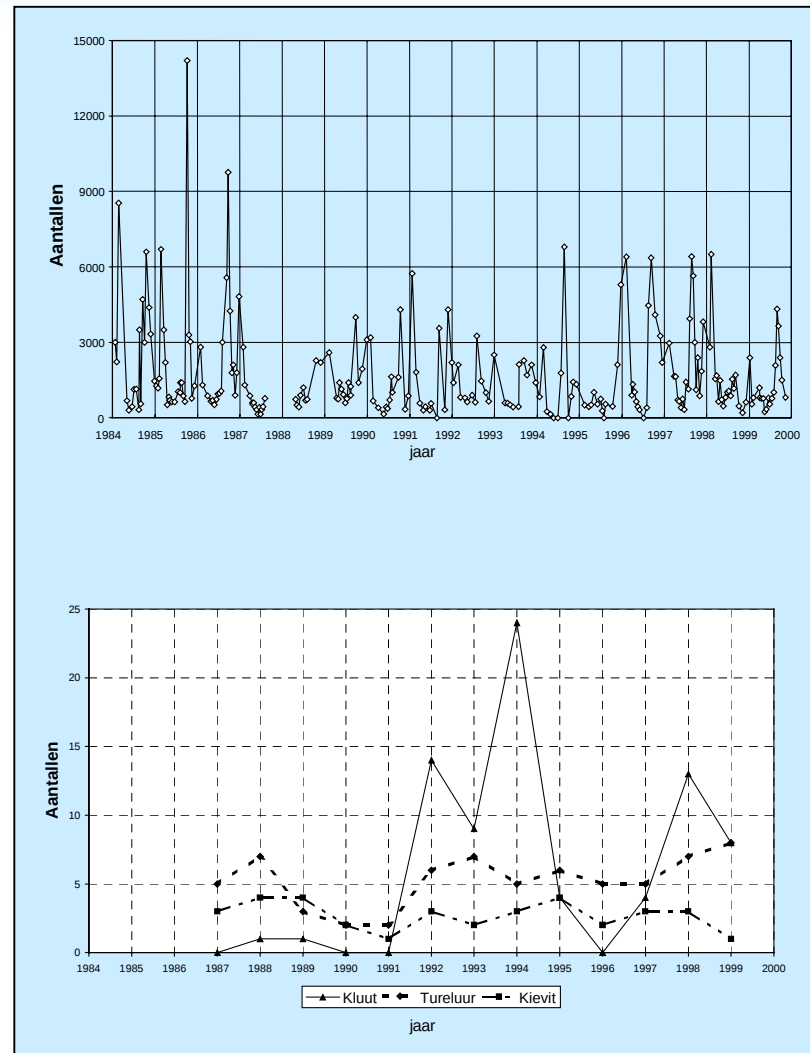
De mogelijke effecten van bodemdaling op Ameland-Oost op de trekvogels zijn onderzocht door vergelijking met de ontwikkelingen in andere gebieden, waar de bodem niet daalt. De vergelijkingsperiode liep van 1 januari 1984 tot het najaar van 1999. Als referentiegebied is de Boschplaat van Terschelling genomen, omdat de Boschplaat een ligging heeft die ongeveer vergelijkbaar is met die van Ameland-Oost. Daarnaast is gekeken naar de algemene populatie-ontwikkelingen in de Waddenzee, de aantallen op de rest van Ameland en de aantallen op de Engelsmanplaat.



Stormvloedgeul ten oosten van de locatie op Ameland-Oost. Aan de horizon is het gaswinplatform Ameland-Westgat (AWG) te zien.

De aantalontwikkelingen op Ameland-Oost kwamen grotendeels overeen met de trends die ook elders waargenomen werden, en waren praktisch identiek aan die op de Boschplaat. Dit gold behalve voor de totale vogelstand ook voor de individuele soorten. Er is tot nu toe dan ook geen enkele aanwijzing dat er veranderingen in de aantallen trekvogels of hun onderlinge verhoudingen zouden hebben plaatsgevonden als gevolg van de bodemdaling. Bij enkele vogelsoorten waren de effecten van het verdwijnen van de mosselbanken rond 1990 en de slechte schelpdierstand in de jaren daarna wel duidelijk merkbaar in de aantallen.

Voor wat betreft de broedvogels is alleen gekeken naar de aantallen broedvogels van de kwelders op De Hon. Dat is het gebied waarvan de bodem het sterkst is gedaald, en waar nestplaatsen ongeschikt zouden kunnen zijn geworden door verandering van vegetatie en/of verlaging van het maaiveld. De aantallen bleken echter ongeveer stabiel. Dat kwam overeen met het feit dat de veranderingen in de vegetatie tot nu toe nog zeer gering zijn geweest.

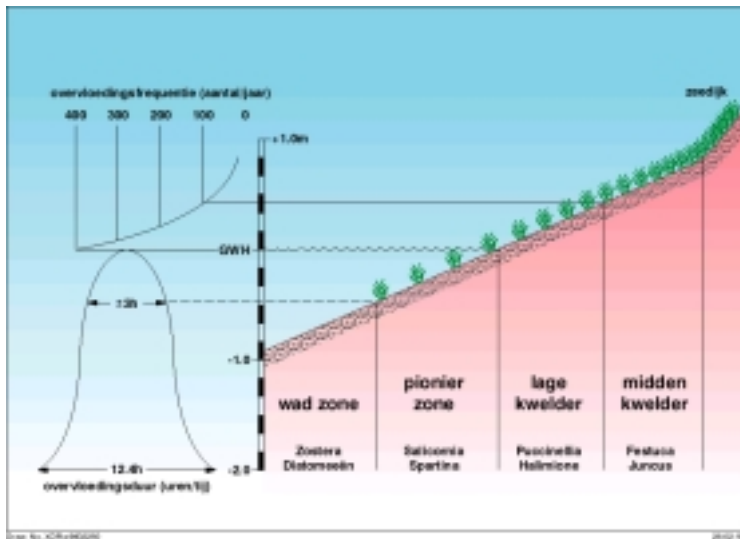


Aantalsontwikkeling (1984-2000) van de Scholekster op De Hon.

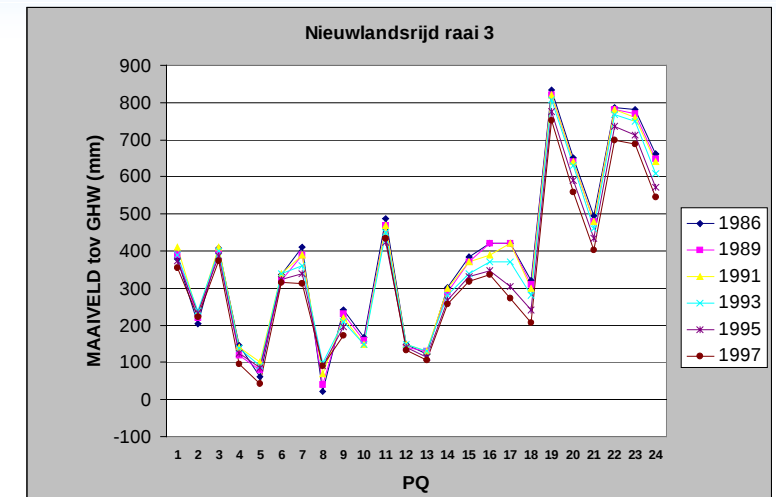
Aantalsontwikkeling (1984-2000) van Kluut, Tureluur en Kievit, broedend op de Hon.

Kweldervegetatie

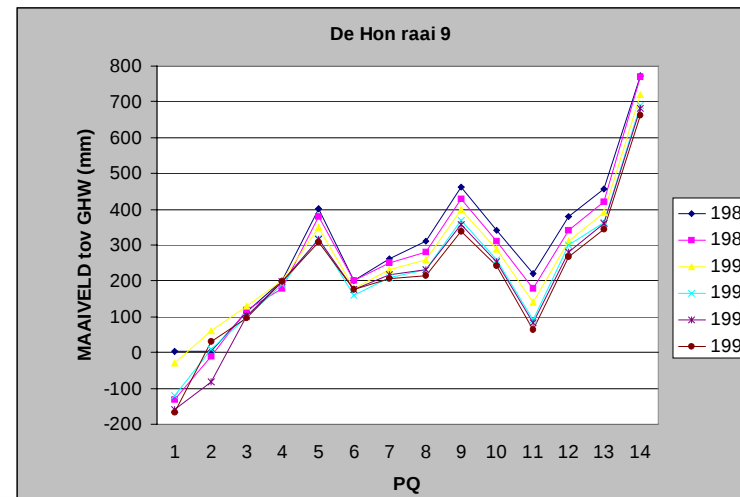
De factoren die bepalend zijn voor het type vegetatie op een kwelder zijn de hoogteligging van het maaiveld, de ontwatering van de bodem en het zoutgehalte van het bodemvocht. De ontwatering is afhankelijk van de morfologische toestand van het kreekstelsel en de afstand tot een kreek. Het aantal overfloeden is gerelateerd aan de hoogteligging van het maaiveld en aan het jaargemiddelde niveau van het gemiddelde hoogwater (GHW).



Zonering van de kwelders in relatie tot overfloedingsduur en -frequentie. De verschillende zones worden gekenmerkt door een verschil in hoogteligging en een daarbij behorende typerende plantengroei.

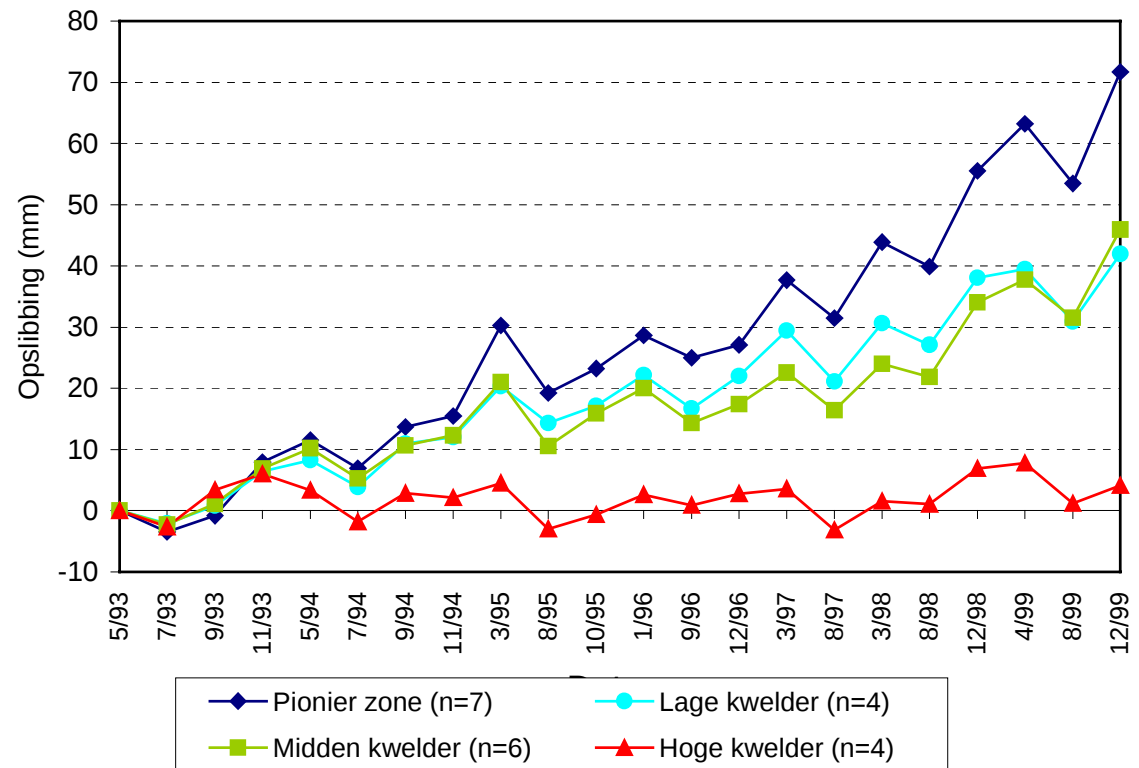


Ontwikkeling van de maaiveldhoogtes op de raaien 3 en 9 gedurende de verschillende jaren 1986-1999. De bodemdaling van ruim 15 cm (raai 9) wordt aan de kwelderrand geheel gecompenseerd door opslibbing. Op enige afstand van de kwelderrand en kreekoevers is de aanvoer van slib minder en ontstaat enige achterstand.



Op de laagste zones van de kwelder en de delen die het dichtst bij de Waddenzee of de kreken zijn gelegen is de opslibbing in evenwicht met de bodemdaling, omdat daar de meeste opslibbing plaatsvindt. Het maaiveld van de midden- en hoge kwelders en de kwelders die ver van het wad zijn gelegen heeft als gevolg van de bodemdaling een achterstand in hoogte opgelopen. De grenswaarde van 5 cm die voor een negatieve opslibbingsbalans is gesteld, wordt hier overschreden. Een negatieve opslibbingsbalans is een potentieel risico op verandering van de vegetatie naar die van de lagere kwelderzone. Omdat de zone met te weinig opslibbing niet aan de wadkant ligt bestaat er geen risico op afname van het kwelderareaal. Na beëindiging van de gasproductie zal herstel van de oorspronkelijke maaiveldhoogte plaatsvinden als gevolg van een dan weer positieve opslibbingsbalans.

Het achterblijven van de opslibbing bij de bodemdaling op een deel van de kwelders heeft nagenoeg geen gevolgen voor de kweldervegetatie gehad. Slechts in één van de 50 proefvakken heeft in de gehele periode 1986-1997 een duidelijke regressie van de vegetatie plaatsgevonden. De oorzaken voor het vrijwel ontbreken van effecten op de vegetatie zijn dat (1) de bodemdaling meestal onvoldoende is om de kritische ondergrens van kwelderzones te bereiken en (2) de jaargemiddelde hoogwaters van 1988 tot 1993 dalen. Ook als het maaiveld wel onder de kritische ondergrens zakt (meestal al in de periode 1986-1993) dan blijven effecten op de vegetatie nagenoeg uit, ook later in de tijd als de jaargemiddelde hoogwaters weer stijgen.



Resultaten van de opslibbingsmetingen (SEB-methode) op Nieuwlandsrijd (raai III) (gemiddelde waarde per zone). In de laaggelegen pionierszone is de aanslibbing het hoogst (1.2 cm/jr). Op hooggelegen delen vindt nauwelijks aanslibbing plaats.

De uitkomsten van de kweldermonitoring op Ameland roepen daarom de vraag op of de huidige theorie over de sterke rol van de maaiveldhoogte in de kwelderzoning houdbaar is. De mate van ontwatering lijkt van even groot belang, binnen zekere marges misschien wel groter! Een duidelijke aanwijzing daarvoor zijn veranderingen in enkele permanente proefvlakken middenop De Hon, veroorzaakt door vernatting na de blokkering van een kreek.

De vegetatie van naastgelegen permanente proefvlakken nabij een goed functionerende kreek is bij dezelfde hoogteligging en dezelfde bodemdaling niet veranderd.

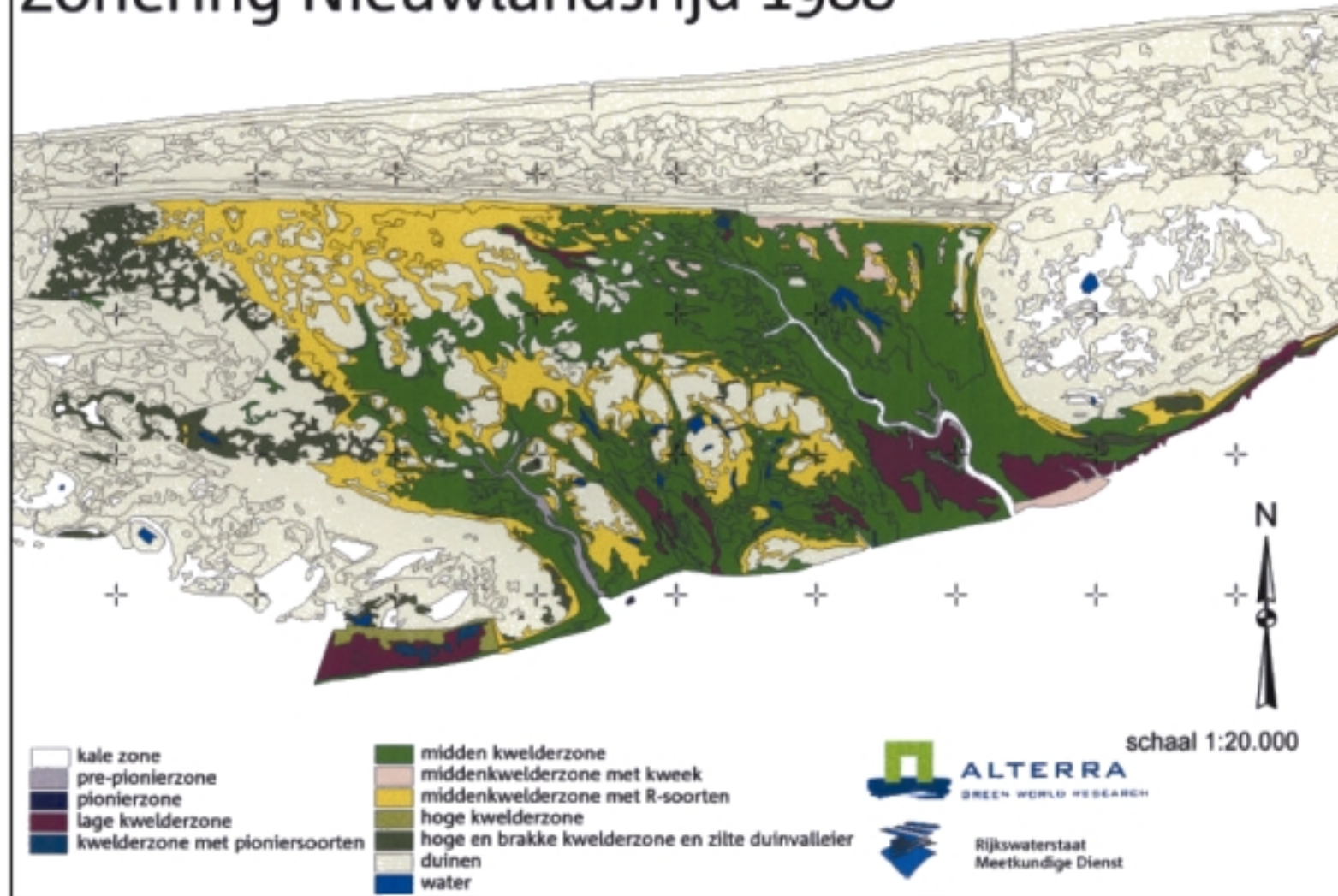
De komende jaren zal in het monitoringprogramma blijken of de grenswaarde van 5 cm voor een negatieve opslibningsbalans niet veel te voorzichtig is gesteld. Het hangt van de combinatie van de verdere bodemdaling, de opslibbing en de toekomstige jaargemiddelde hoogwaters af of en hoe de kweldervegetatie in de nabije toekomst op de maaiveldveranderingen zal reageren.

Ook uit kaarten van de vegetatiezones van 1988, 1993 en 1997 blijkt dat er geen grote veranderingen op de kwelders hebben plaatsgevonden. De meeste veranderingen vinden op het Nieuwlandsrijd plaats met o.a. meer kweldergras in het oosten. Overigens, zonder een eenduidige richting en oorzaak. Bodemdaling heeft ook in de vegetatieveranderingen op De Hon geen grote rol gespeeld; de veranderingen in enkele permanente proefvlakken spelen zich zeer lokaal af. Mogelijk zou zonder bodemdaling op de kwelders van Ameland-Oost meer successie (= verandering van lagere naar hogere kwelderzones) zijn opgetreden. Daarom lijkt bodemdaling de veroudering van kwelders op Ameland te remmen. Dat is een neveneffect van gaswinning.



Aan de plantengroei centraal op de foto (1998) is nog steeds de loop van de ontwateringskreek te herkennen, die in 1985 werd afgesloten door de zandpersleiding.

Zonering Nieuwlandsrijd 1988

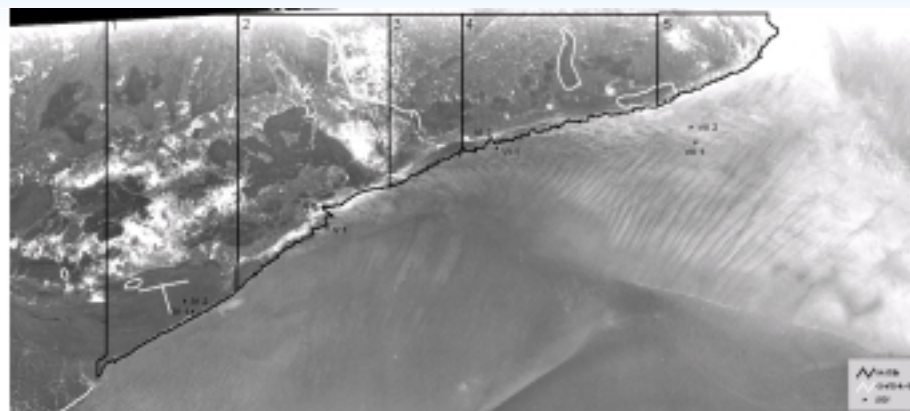


Zoneringskaart (1988) van de vegetatie van De Hon. Deze kaart speelt een belangrijke rol bij de analyse van veranderingen in de plantengroei door de kaarten uit 1993 en 1998 hiermee te vergelijken. De kaarten zijn gebaseerd op een combinatie van luchtfoto's en veldonderzoek.

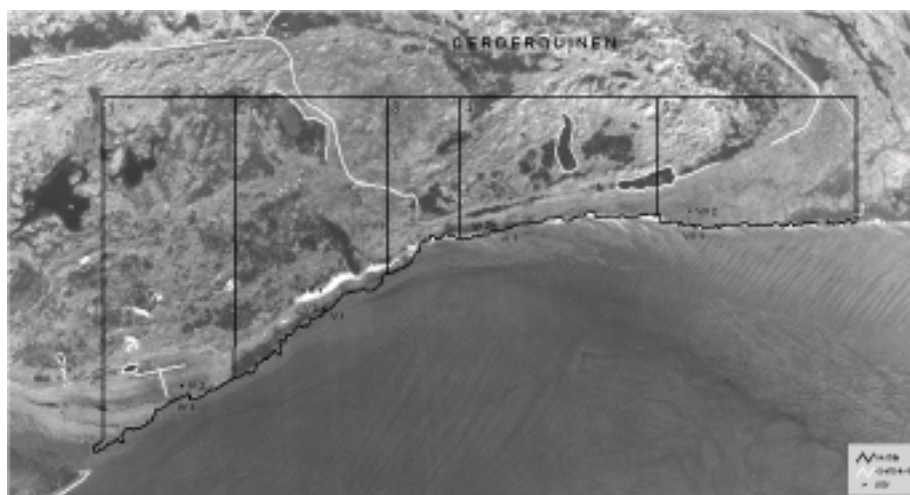
Kwelderrand Oerderduinen

De vegetatie van de kuststrook ten zuiden van Het Oerd en de Oerderduinen wordt gekenmerkt door een grote soortenrijkdom en is door zoet-zout gradiënten in haar soortensamenstelling uniek. Kustafslag bedreigt de vegetatie van deze smalle kuststrook. Aanwas en afslag van de kust werd voor de laatste halve eeuw gekwantificeerd door luchtfoto-interpretatie van de kustlijn. De kust ten zuiden van de Oerderduinen groeit aan tot ongeveer 1979; afslag begint ruim voor de aanvang van de gaswinning in 1986.

Tussen 1979 en 1986 vond afslag plaats. De afslag begon dus al vóór de aanvang van de gaswinning in 1986. Door de analyse van historisch fotomateriaal dat vanaf 1949 beschikbaar was, kon een beeld gevormd worden van de geschiedenis van de kwelderrand.



Luchtfoto uit 1949



Luchtfoto uit 1996

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

Netto afslag en aanwas

- = afslag
+ = aangroei
0 = neutraal

De afslag kan oplopen tot ruim drie meter per jaar. In het algemeen is na 1986 geen versnelde afslag aangetoond, maar enkele afzonderlijke delen van de kust vertonen wel versnelde afslag. De gevolgen voor de vegetatie werden vastgesteld door vegetatieopnamen van 1986 met die van 1999 te vergelijken. De vegetatie aan de wadkant is tussen 1986 en 1999 afgeslagen en in aanliggend terrein zijn meer zoutindicerende plantensoorten aangetroffen. De oorzaak van de kustafslag lijkt in overeenstemming met de natuurlijke dynamiek van de kust. In de eerste 10 jaar gaswinning werd alleen lokaal versnelde kustafslag vastgesteld.

Duinvegetatie

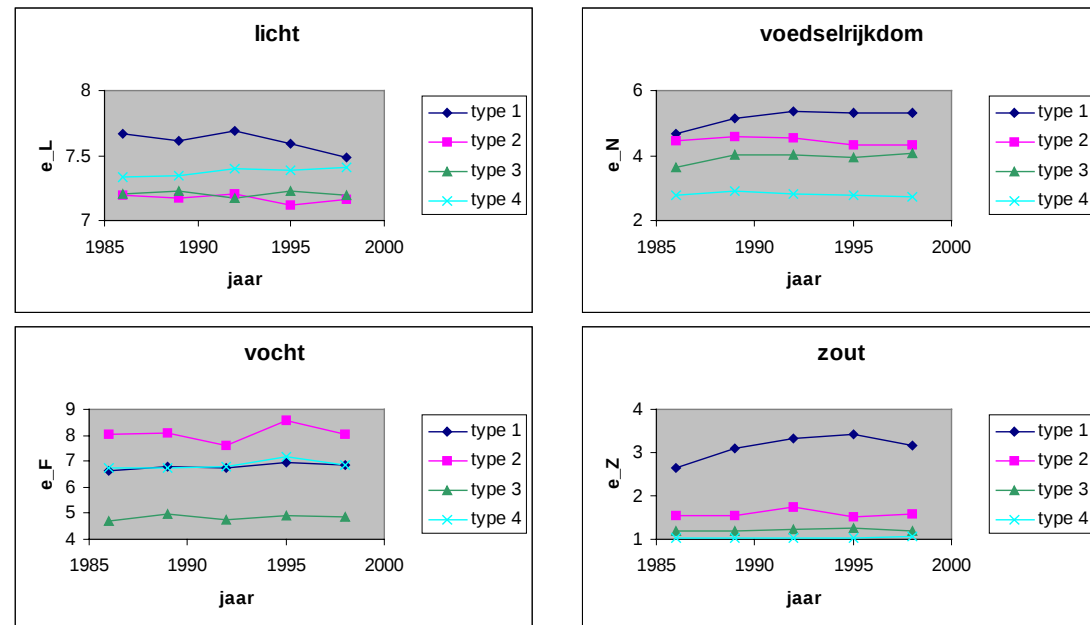
De veranderingen in de duinvegetatie zijn vanaf de aanvang van de gaswinning onderzocht met behulp van 56-66 permanente proefvlakken. In deze proefvlakken (permanente kwadraten) is in 1986, 1989, 1992, 1995 en 1998 de vegetatie beschreven. De permanente proefvlakken liggen in vijf raaien van kwelder naar duin. De laagst gelegen permanente proefvlakken zijn kwelderachtig en worden incidenteel door zeewater overstroomd. De hoogste liggen in de droge duinen.

De verwerking van de gegevens spitst zich toe op de vraag in hoeverre de waargenomen veranderingen in de vegetatie toegeschreven kunnen worden aan bodemdaling. Voor de bepaling van het effect van bodemdaling is uitgegaan van het 'vijf-factor model'. In dit model wordt de vegetatie beschouwd als een resultante van 5 omgevingsvariabelen: grondwaterstand, voedselrijkdom, zuurgraad, zout en beheer. Met behulp van geavanceerde statistiek is de relatie tussen opnamen, soorten en abiotische omstandigheden in beeld gebracht. Er is verder gebruik gemaakt van een indicatiefactor 'natuurbewaardswaarde'.

Vier typen vegetaties zijn onderscheiden:

- 1) zilte duinvalleien;
- 2) natte duinvalleien;
- 3) droge duinen
- 4) vochtige duinheide.

Temporele trends in de gemiddelde ecologische indicatiewaarden van de vegetatie zijn nauwelijks aanwezig. Het bleek slechts sporadisch voor te komen dat een proefvlak in de loop van de tijd van type verandert.



Per vegetatietype is aangegeven het verloop van een statistisch berekende ecologische indicatiewaarde (ongewogen gemiddelde Ellenberg-waarde), voor de vijf opnamejaren. a: licht, b: vocht, c: voedselrijkdom, d: zout (de eenheden voor zout zijn de oorspronkelijke eenheden *3 zodat een vergelijkbare 9-delige schaal ontstaat).

Type 1 vertoont een dalende trend van de indicatiewaarde licht. Dit zou kunnen wijzen op successie waarbij de kweldervegetatie gaandeweg dichter wordt. Bij de vochtindicatie is voor de natte typen het extreem natte jaar 1995 duidelijk te herkennen, en bij de zoutindicatie komen in type 1 de hoge vloedten begin jaren '90 duidelijk tot uiting.

In het algemeen zijn de veranderingen in de vegetatie erg klein geweest. Ook de veranderingen per vegetatietype zijn erg klein in vergelijking met de verschillen tussen de typen. Het blijkt ook dat er geen grote veranderingen in de 'natuurbehoudswaarde' zijn opgetreden. Het meest opvallend is de sterke presentie van water- en moerasplanten in 1995 en een vrij sterke presentie van zoutplanten in 1992. Het is gebleken dat grondwaterstand en overvloedingsfrequentie de meeste variantie in de vegetatie verklaren. Via veranderingen daarin zou bodemdaling dus in principe tot belangrijke effecten op de vegetatie kunnen leiden.

Voor de jaren na 1992 en de permanente proefvlakken met een bodemdaling van meer dan 15 cm in 1998 blijkt het effect van bodemdaling in dezelfde orde van grootte te liggen als het effect van weersinvloeden in de loop van de waarnemingsperiode. Ook is het effect van bodemdaling op de 'natuurbehoudswaarde' verwaarloosbaar klein.

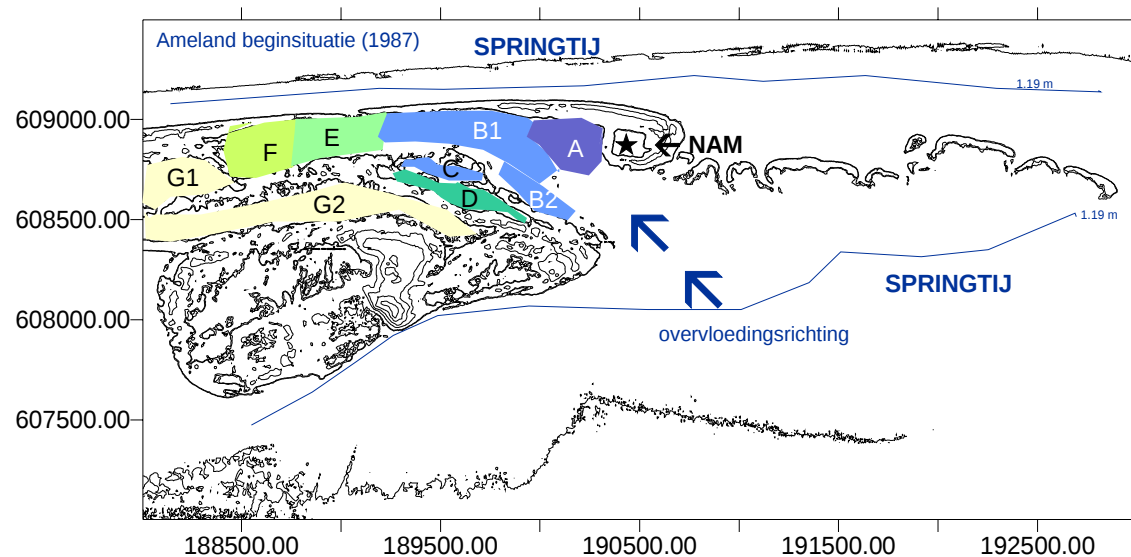
Struweelsterfte

Het standaardmonitoringprogramma is voornamelijk gericht op het gedrag van kruidachtige, lage vegetatie op de kwelders en in de duingebieden van Ameland-Oost. In 1994 is plotselinge sterfte gesignaleerd van eenstijlige meidoorn en gewone vlier in enkele kleine, geheel omsloten valleien in de Oerderduinen. In 1995 is tijdens het reguliere veldwerk in de duinen over een grote oppervlakte vrij massale sterfte van duindoorn geconstateerd in enkele jonge duinvalleien juist ten westen en ten zuiden van de NAM-locatie. De sterfte deed zich voor buiten de geselecteerde permanente proefvlakken. In 1996 is daarom besloten aanvullend onderzoek uit te voeren naar de oorzaak van deze struweelsterfte. Het gebied met duindoornsterfte beslaat op Ameland-Oost een oppervlakte van circa 25 ha. De meidoorn- en vliersterfte is beperkt (circa 0,5 ha).

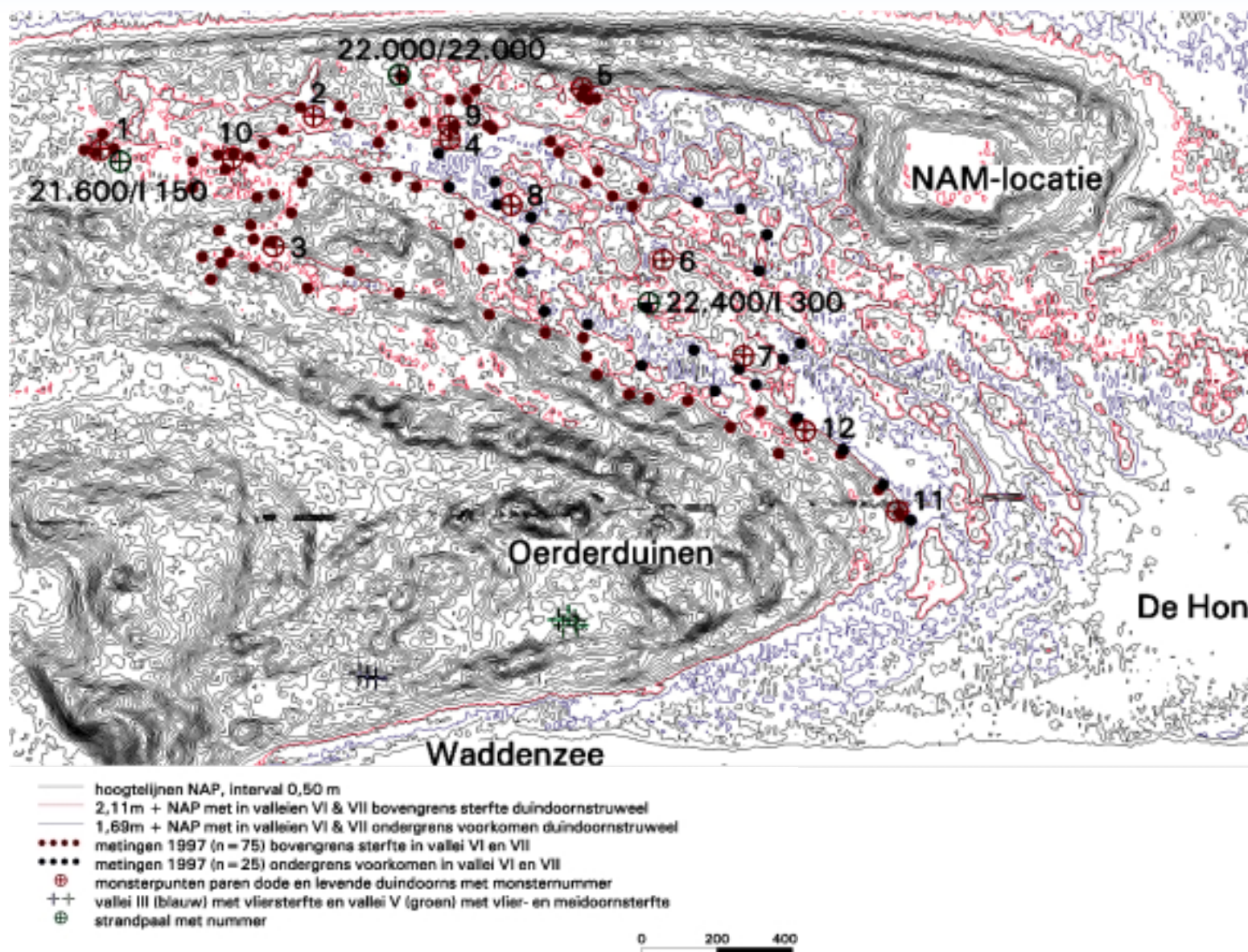
In een vooronderzoek uitgevoerd in 1996 en 1997, zijn zo veel mogelijk alternatieve oorzaken van de struweelsterfte (anders dan extreme weersomstandigheden en bodemdaling) geïnventariseerd en uitgesloten. In het oosten van Schiermonnikoog en Terschelling is, weliswaar in verschillende mate, ook sterfte van duindoorn waargenomen. Deze laatste twee gebieden kennen geen bodemdaling.

In het vervolgonderzoek is in 1998 en 1999 gericht nader ingegaan op het optreden van extreme gebeurtenissen in het weer en de daarmee eventueel gepaard gaande vernatting en/of verzilting als mogelijke oorzaak van de sterfte. Tenslotte is nagegaan in hoeverre de bodemdaling invloed op de geconstateerde sterfte heeft gehad.

h (m+NAP)	h (m+NAP)
1.8	2.7
1.9	2.8
2	2.9
2.2	3
2.3	3.5
2.5	3.6
2.6	3.7



Ameland-Oost voor de aanvang van bodemdaling (situatie 1987) met de verschillende duinvalleien, en de waterhoogten in NAP waarbij deze overstromen.



Plaatsen waar dode duindoorns, vlierstruiken en meidoorns werden gevonden op een kaart met hoogtelijnen. De duindoornsterfte wordt gerelateerd aan extreme hoogwaters in de jaren 1989/90 t/m 1991/92. De sterfte van vlieren en meidoorns treedt op direct na de jaren met zeer veel regenval (1993/1994).

Aannemelijk is gemaakt dat de sterfte van duindoornstruweel is veroorzaakt door extreme hoogwaters (zeewater vanuit de Waddenzee) in de periode 1989/90 t/m 1991/92. Na 1995 zijn in het gebied nieuwe vestigingen geconstateerd. Voor de sterfte van duindoornstruweel konden de effecten van de 'natuurlijke dynamiek' van het systeem (vooral door weerseffecten bepaald) en het additionele effect van de bodemdaling (door gaswinning) van elkaar worden gescheiden. De conclusie is dat in dit zeer dynamische gebied de verstoring door bodemdaling ondergeschikt is aan de verstoring veroorzaakt door de 'natuurlijke dynamiek'. Gerekend naar de oppervlakten bepaald voor 1986 en 1991 kan tot circa 85% van de sterfte aan de 'natuurlijke dynamiek' worden toegeschreven. Het overige komt voor rekening van bodemdaling.

Aannemelijk is gemaakt dat de sterfte van meidoorn- en vlierstruweel is veroorzaakt door de extreem natte periode 1993/94 (regenwater). Het grondwater in de betrokken valleien steeg in die periode tot ver boven het maaiveld. De conclusie is dat, bodemdaling ondergeschikt is aan de verstoring veroorzaakt door de 'natuurlijke dynamiek'. Bodemdaling heeft daardoor in 1993/94 maximaal voor 1/3 aan de totale sterfte bijgedragen.

Overstromingsrisico van duinvalleien

Als primair effect van bodemdaling en zeespiegelrijzing zal de overstromingsfrequentie van voor de zee toegankelijke duinvalleien in de buurt van de NAM-locatie, toenemen. In de loop van de tijd en afhankelijk van de drempelhoogte in de valleien, neemt de overstromingsfrequentie toe. Bij valleien met lage drempels neemt de overstroming toe; van 4 naar 13 maal per jaar; bij valleien met hoge drempels neemt dit toe van 2 tot 3 maal per 100 jaar. De bijdrage hieraan van zeespiegelrijzing is gering.

Toename van overstromingsfrequenties per jaar bij een toekomstige zeespiegelstijging van 25 cm per eeuw en een situatie zonder en met bodemdaling. De hoogte van de drempels is gegeven in m + NAP. Bij bodemdaling is uitgegaan van een constante daling in de tijd.

Vallei	Beginsituatie 1987		Eindprognose zonder bodemdaling	Eindprognose met bodemdaling 28 cm	
Zie fig. 5.38	Hoogte drempel	Overstromingsfrequentie	Overstromingsfrequentie	Hoogte drempel	Overstromingsfrequentie
A	2,2	4	5	1,9	13
B1, 2	2,3	3	3	2	9
C	2,5	2	2	2,3	3
D	2,8	0,5	1	2,6	1
E	2,9	0,3	0,4	2,7	1
F	3	0,2	0,3	2,8	0,5
G1, 2	3,7	0,02	0,02	3,6	0,03

Het overstromingsrisico, gedefinieerd als kans maal oppervlakte potentieel beïnvloed gebied, wordt door bodemdaling zonder zeespiegelstijging 2,5 maal vergroot vergeleken met de beginsituatie in 1987.

Als gevolg van de aanwezigheid van de drempels in de duinvalleien blijft na een extreem hoogwater, zeewater achter in de valleien. Als secundair effect heeft de toename in overstromingsfrequentie van voor de zee toegankelijke duinvalleien tot gevolg dat de bodemcondities die van belang zijn voor de vegetatie, veranderen: langdurige anaërobe situaties in de meest overstroomde valleien, waardoor sterfte van de vegetatie optreedt; vernatting; toename van het zoutgehalte in de bodem; toename van slib in relatie tot de overstromingsfrequentie en vertraging van de ontkalking.

Bovenstaande factoren staan een normale vegetatiesuccessie in de weg. Er vindt eigenlijk een regressie plaats in de richting van meer zoutminnende soorten, vooral in de lage delen van de valleien. Veel van deze zoutminnende plantensoorten hebben evenwel een hoge waardering in termen van zeldzaamheid, mate van achteruitgang en internationale belangrijkheid; ze behoren ook tot de doelsoorten in het systeem van natuurdoeltypen.

Natuurlijke dynamiek

De van nature in het duingebied van Ameland-Oost aanwezige dynamiek maakt integraal deel uit van het ecosysteem ter plaatse. Deze dynamiek is voorwaardenscheppend voor de aanwezige bijzonder grote natuurwaarde. Extremen in de dynamiek (inundatie als gevolg van neerslag of hoge vloed) kunnen, zelfs op tamelijk grote schaal, sterfte van sommige vegetaties veroorzaken.

E - Effecten op economisch gebruik

Nieuwlandsrijd

Als gevolg van de bodemdaling is in 1999 de overspoelingsfrequentie van de kwelder Nieuwlandsrijd in het graasseizoen gemiddeld toegenomen. Hierdoor is er sprake van een “productieverlies” door bodemdaling van de capaciteit van 70.000 hectare-dagen in de ongestoorde situatie. Dit verlies is geschat op circa 2 % in 1994 en circa 3 % in 1998.

De bovenstaande schadepercentages zijn gebaseerd op langjarig-gemiddelde omstandigheden. Gezien de aanmerkelijke schommelingen, die van jaar tot jaar in de overschrijdingsfrequenties van het hoogwater en in de regencijfers kunnen optreden, is het niet uitgesloten dat de verschillen in de jaarlijkse opbrengsten van de kwelder groter zijn dan de schade door de bodemdaling.



Duindoornsterfte op Ameland. De foto geeft een overzicht van vallei B1 (voorgond) een week na stormvloeden in 1998. De duindoorns in deze vallei zijn afgestorven tijdens de stormvloeden in 1989/90 t/m 1991/92.

Polder Buurdergrie (Zwartwoude)

De invloed van bodemdaling op de kans op inundatie bij Zwartwoude tijdens westelijke stormen en op de grasopbrengst is uitgebreid bestudeerd. Dit rapport geeft als basis de effecten van een bodemdaling van 10 cm. De werkelijke bodemdaling in de polder Buurdergrie varieerde in februari 1999 van 0,7 à 0,8 cm bij Buren tot maximaal 4 cm in de uiterste oostpunt van de polder. Voor het gebied Zwartwoude lag de bodemdaling toen tussen 2 en 3,5 cm. Het effect van de bodemdaling op de grasopbrengst blijft hierdoor zelfs op de lage delen van het gebied ruim binnen een procent (geen merkbare invloed). Ook de kans op inundatie verandert nauwelijks.

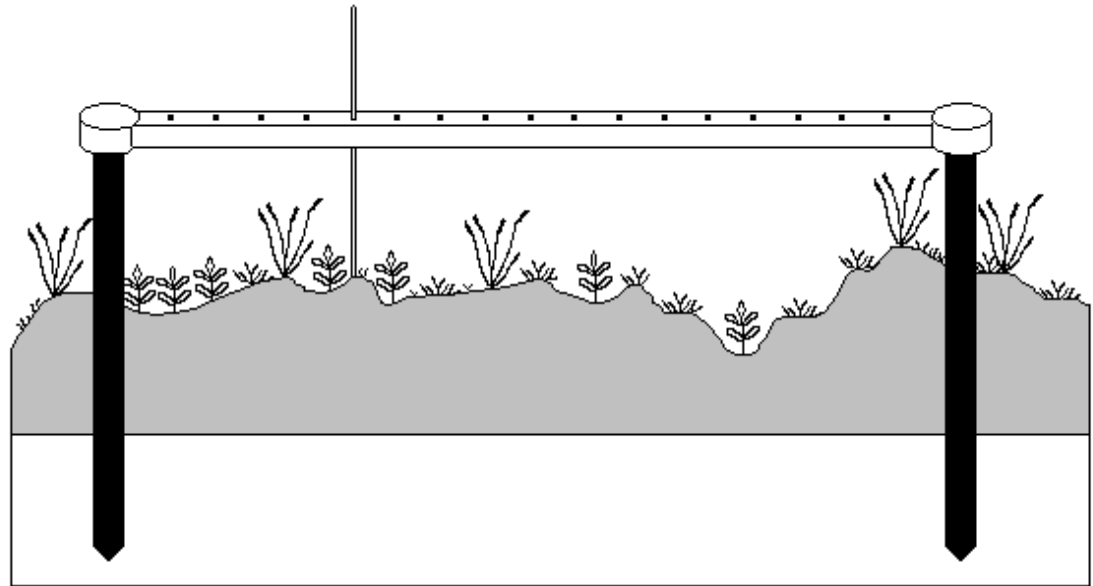
Drinkwaterwinning in Buurderduinen

De beschikbare gegevens geven aan dat in elk geval kustlijnverplaatsingen van 40 à 50 m geen aantoonbare invloed hebben op het chloride gehalte van het gewonnen water uit de Buurderduinen.

Dit, in combinatie met het overheidsbeleid tot handhaving van de kustlijn, leidt tot de conclusie dat het waterbedrijf Nuon Water geen nadelige gevolgen van de bodemdaling door gaswinning zal ondervinden. Dit onderwerp is al na de interim rapportage in 1995 als afgehandeld beschouwd en verdere gegevensverzameling in dit verband is gestaakt.

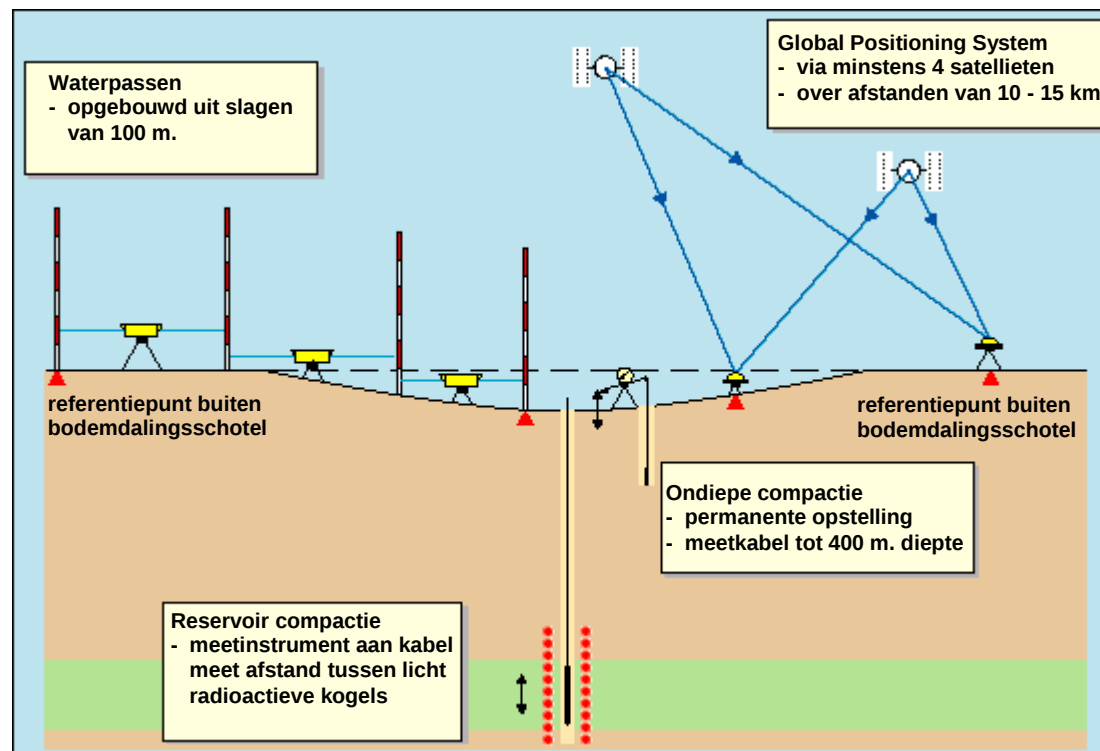
F - Monitoring

In verband met de nog steeds voortgaande bodemdaling op Ameland-Oost en eventuele najling in de reactie van de vegetatie wordt aanbevolen om de monitoring van de effecten van bodemdaling nog voort te zetten.



Voor de monitoring van opslibbing is een apart instrument ontwikkeld: de zogenaamde sediment-erosion bar (SEB). Met deze meting kan zowel opslibbing, als erosie en inklinking worden bepaald van het bodemoppervlak.

Voor de monitoring van de bodemdaling worden verschillende hulpmiddelen gebruikt, waaronder satellieten. De nauwkeurigheid ligt in de orde van enkele millimeters.



Methode	Nauwkeurigheid (2σ)
Optisch	$1,2 \text{ mm} \times \sqrt{\text{afstand in km}}$
Hydrostatisch	$0,4 \text{ mm} + 0,05 \text{ mm} \times \text{afstand in km}$
GPS	$2,0 \text{ mm} + 2,00 \text{ mm} \times \text{afstand in km}$

De wetenschappers die het monitoringsonderzoek hebben uitgevoerd

Wim D. Eysink studeerde civiele techniek aan de Technische Universiteit Delft en heeft sindsdien meer dan 30 jaar ervaring opgebouwd met waterstaatkundige werken, het vakgebied van de hydrodynamica, verziltingsproblematiek en bovenal de estuariene en kustmorfologie. Hij is verbonden aan het WL | DELFT HYDRAULICS als project ingenieur en geeft leiding aan verschillende projecten in binnen- en buitenland.



Han van Dobben studeerde biologie in Utrecht. Sinds 1977 werkzaam als ecooloog bij Alterra en enkele van diens voorgangers: het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Hij is gespecialiseerd op de relatie tussen vegetatie en abiotisch milieu. Promoveerde in 1993 op het onderwerp 'Vegetation as a monitor for deposition of

nitrogen and acidity'. Sinds 1995 is hij senior-onderzoeker. Heeft veel ervaring op vrijwel alle gebieden van de botanische ecologie. Zijn specialismen zijn korstmossen, multivariate statistiek en modelbouw. Werkt sinds 1994 mee aan de monitoring van ecologische effecten van gaswinning op Ameland, speciaal die in de duingebieden.

Pieter A. Slim begon in 1970 in ZW-Nederland met vegetatiekundig onderzoek naar de effecten van de Deltawerken. Trad in 1973 in dienst van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, een van de voorlopers van ALTERRA. Deed in het hele land ecologisch onderzoek



ten behoeve van het natuurbeheer: aan verlaten landbouwgronden, kwelders, graslanden, heide, afgegraven hoogveen, laagveen en bossen, maar ook aan kleine en grote grazers zoals muizen, konijnen, reeën en edelherten.

Voorspelde in 1986 voorafgaand aan de bodemdaling, de effecten op de vegetatie. Zette daarmee het monitoringprogramma op dat in 1989 aanving. Heeft zijn hart verpand aan Ameland.



Marlies Sanders heeft in Wageningen biologie gestudeerd. In 1999 promoveerde zij op het onderwerp 'Remotely sensed hydrological isolation: a key factor predicting plant species distribution in fens'. Hiervoor verrichtte zij veel veldwerk in de laagveenmoerassen van Nationaal park 'De Weerribben'. Zij is gespecialiseerd in de integratie van remote sensing, Geografische InformatieSystemen en ecologie. Zij heeft ruime ervaring in de toepassing van deze technieken t.b.v. het onderzoek naar

bosdynamiek, en t.b.v. vegetatiekartering en monitoring. Op Ameland onderzocht ze de kustafslag van de kwelderrand bij de Oerderduinen

Jaap Wiertz begon in 1977 als ecooloog bij het ingenieursburo DHV te Amersfoort en werkte daar aan de pilots voor Milieu-Effect Rapportage. Hij stapte al spoedig over naar het Rijksinstituut voor Natuurbeheer om wetenschappelijke begeleiding te geven bij het extern betaalde opdrachtsonderzoek.

Dit omvatte o.a. de ontwikkeling van voorspellingsmodellen voor de effecten van grondwater op vegetatie (WAFLO, NTM). Daarnaast was hij ook betrokken bij het onderzoek aan dassen. Vanaf 1992 werkt hij bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu als hoofd van de afd. Effecten, Gebieden en Ruimte, waar model- en meetnetontwikkeling plaatsvindt voor ecologische en planologische vraagstukken. Op Ameland zette hij destijds de monitoring op van de grondwaterkwaliteit.





Eric Schouwenberg studeerde Milieuhygiëne in Wageningen. Sinds 1992 werkzaam bij ALTErra en een van diens voorgangers, het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. Hij is gespecialiseerd in de relatie tussen water, bodem en vegetatie. Hij verrichtte o.a. ecohydrologisch onderzoek naar de basenverzadiging van natte

schraallanden in 'De Weerribben'. De laatste jaren heeft hij zich verder gespecialiseerd in de ontwikkeling van natuurwaarderingsmodellen, o.a. het NatuurTechnisch Model (NTM). Op Ameland werkte hij mee aan de monitoring van de grondwaterkwaliteit.

Cor J. Smit (1948) trad in 1977 in dienst bij de Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek om een bijdrage te leveren aan het bijeenbrengen van vogelgegevens en het redigeren van bijdragen voor enkele delen van Ecology of the Wadden Sea (hoofdredactie W.J. Wolff). Trad in 1981 in dienst bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Heeft zich in die functie met name beziggehouden met de onderzoek naar de effecten van verstoring op wadvogels, populatie-ecologisch onderzoek aan Scholeksters en het uitwerken van gegevens van vogeltellingen uit het (internationale) Waddengebied. Nam in 1981, 1985, 1986, 1995 en 2000 deel aan wetenschappelijke expedities naar Marokko, de Westelijke Sahara en Mauritanië om aldaar de ecologie en de wegtrek van steltlopers naar de Waddenzee te bestuderen. Momenteel met name betrokken bij onderzoek naar de relaties tussen kenmerkende eigenschappen van de bodem in de Waddenzee (o.a. sedimentkarakteristieken), bodemfauna en de ter plekke voedselzoekende wadvogels.



Kees S. Dijkema is marien bioloog en werkt vanaf 1976 achtereenvolgens bij de Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, het Instituut voor Bos en Natuuronderzoek en voor Alterra Wad en Zee te Texel. Hij was eindredacteur van "Salt marshes in Europe" voor de Raad van Europa, medeauteur van "Cumulatie van Ecologische effecten in de Waddenzee" voor VROM, doet beheerexperimenten in de kwelderwerken, analyseert lange termijn gegevensanalyses in kwelders en is vanaf de start betrokken bij de bodemdalingstudie op Ameland. Zeespiegelveranderingen, opslibbing, vegetatiedynamiek en beheermaatregelen staan centraal in zijn onderzoek.



Ruimte voor aantekeningen