



Verslag van een studie uitgevoerd onder toezicht van:
Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland

Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost Evaluatie na 13 jaar gaswinning

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

**Opdrachtgever:
Nederlandse Aardolie Maatschappij
B.V.,
Assen**



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

Ontwerp, lay-out

M. de Bruin, W.F. 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: 90-76690-05-7

Oplage: 250 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



Een woord van dank

Het monitoringsonderzoek naar de effecten van bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost omvat een groot gebied en vele aspecten. Het verzamelen van de vele gegevens, vooral in het veld, was daarom alleen mogelijk dank zij de welwillende medewerking van mensen van verschillende instanties en de enthousiaste inzet van alle medewerkers. Via deze weg willen wij gaarne onze dank betuigen aan de betrokken medewerkers van (in willekeurige volgorde):

- De Vennoot,
- Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland en haar mensen op Ameland,
- Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat,
- It Fryske Gea en haar opzichters op Ameland,
- Nuon Water (voorheen Waterleidingbedrijf Friesland),
- Ministerie van LNV-Directie Noord en haar mensen op Ameland, en
- De NAM en haar medewerkers op NAM-locatie op Ameland-Oost, alsmede de landmeetploeg.

Zonder de bereidwillige medewerking en/of het beschikbaar stellen van gegevens zou dit monitoringsonderzoek niet in deze omvang mogelijk zijn geweest. Tenslotte willen wij hierbij ook onze waardering en dank betuigen voor de leden van de Begeleidingscommissie voor dit onderzoek. Zij hebben het onderzoek kritisch gevolgd, doch zijn hierbij steeds positief en opbouwend te werk gegaan. Op deze wijze was het mogelijk om gezamenlijk tot een optimaal resultaat te komen. Wij vertrouwen dat dit rapport voor iedere belanghebbende een goed beeld verschaft van de veranderingen die in het gebied gaande zijn en van de invloed die de bodemdaling door gaswinning hierop heeft.

Mede namens alle betrokken onderzoekers,

Ir. W.D. Eysink

Ameland, 30 maart 2000.



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 natuurbeheerders 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 is het 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



Inhoud

Hoofdstuk 1	Inleiding	Appendix 1	Methode Makkink Berekeningsmethode voor potentiële evapotranspiratie
Hoofdstuk 2	Bodemdaling	Appendix 2	Grafieken aantallen trekvogels in de periode 1984-1999
Hoofdstuk 3	Overige relevante abiotische factoren	Appendix 3	SALT97 een classificatieprogramma voor kweldervegetaties
Hoofdstuk 4	Effecten bodemdaling op de morfologie	Appendix 4	Vertaalsleutels van de vegetatiekarteringen van de Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst naar de zoneringskaarten in hoofdstuk 5.3.6.
Hoofdstuk 5	Effecten bodemdaling op de ecologie	Appendix 5	Statistische verwerking van de gegevens m.b.t. duinvegetatie
Hoofdstuk 6	Effecten op economisch gebruik	Appendix 6	Overstromingsrisico duinvalleien Ameland-Oost
Hoofdstuk 7	Referenties	Appendix 7	Posities permanente proefvlakken (PQ's)



1 Inleiding

1.1 Doel van het onderzoek

In het eerste jaar na het begin van de gaswinning op Ameland-Oost is in januari 1986 in opdracht van de NAM een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de bodemdaling als gevolg van deze gaswinning. Dit onderzoek is uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) in samenwerking met het voormalige Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN, daarna IBN en sinds 1 januari 2000 Alterra) en vastgelegd in de volgende milieu-effectrapporten WL-rapporten H114 d.d. april 1987 (Eysink et al, 1987) en februari 1993 (Boer en Eysink, 1993) en in het RIN-rapport 87/14 d.d. 1987 (Dankers et al., 1987). Dit onderzoek is uitgevoerd onder toezicht van een begeleidingscommissie waarin vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat-Friesland, Provinciale Waterstaat-Friesland, Staatsoezicht op de Mijnen, Gemeente Ameland, Natuur, Milieu en Faunabeheer (NMF) en van de NAM zitting hadden. Het onderzoek had als doel het inventariseren en bestuderen van alle mogelijke effecten van de door de NAM voorspelde bodemdaling en het aangeven van mogelijke mitigerende maatregelen. Uiteindelijk heeft dit geleid tot prognoses en verwachtingen van een aantal aspecten, zoals kustontwikkeling, vegetatieveranderingen in kwelders en duinen, en schadeverwachting voor het agrarisch gebruik.

In het door WL en Alterra (voorheen RIN geheten) in 1987 afgeronde voorspellende onderzoek naar de mogelijke effecten van de bodemdaling door de gaswinning op Ameland-Oost is een aantal probleemgebieden naar voren gekomen waar mogelijk nadelige gevolgen aan het licht kunnen treden. Dit kan variëren van situaties waar de gevolgen leiden tot onherstelbare veranderingen, tot situaties waar de gevolgen uitgedrukt kunnen worden in economische schade. In een aantal gevallen is het echter mogelijk om via beheersmaatregelen de schade te herstellen of te beperken. De voorspelde effecten en schade zijn gebaseerd op een door de NAM in 1985 gemaakte voorspelling van de te verwachten bodemdaling.

Teneinde de werkelijke omvang van de effecten in de tijd vast te leggen en om, indien nodig, tijdig maatregelen te kunnen treffen om ongewenste situaties te voorkomen, werd een goed monitoring programma noodzakelijk geacht. Dit diende de benodigde gegevens te leveren om vervolgens de werkelijke ontwikkelingen en nadelige effecten te kunnen vaststellen. Dit monitoringsonderzoek is gestart in het najaar van 1988.

Het monitoringsonderzoek werd ook nu weer begeleid door een begeleidingscommissie, waarin ditmaal zijn vertegenwoordigd LNV-Directie Noord (leverde de voorzitter), NAM (secretariaat), RWS-Directie Noord-Nederland, Gemeente Ameland en It Fryske Gea. Provincie Fryslân (afd. Water & Milieu) laat zich vertegenwoordigen door RWS-Directie Noord-Nederland.

1.2 Opdracht

Op verzoek van de NAM (brief TM d.d. 8 oktober 1987) hebben WL en Alterra gezamenlijk een aanbieding voor het monitoren van de effecten van de bodemdaling op Ameland-Oost, als gevolg van gaswinning, gedaan. Na bespreking van deze offerte in de daartoe ingestelde begeleidingscommissie, is deze na enige wijzigingen (offerte H841 d.d. april 1988) gehonoreerd, waarbij werd afgesproken dat It Fryske Gea een deel van de gegevensverzameling zou verzorgen. Daarnaast zouden ook NAM, Rijkswaterstaat en het ministerie van LNV hun gegevens beschikbaar stellen. Het onderzoek is daarna onmiddellijk in 1988 van start gegaan. De eerste fase van het onderzoek had een looptijd tot het jaar 2000. Gedurende deze periode werd per jaar opdracht verstrekt voor de geplande activiteiten na goedkeuring van de hiertoe ingediende begroting.

WL heeft de algehele leiding van het onderzoek en voert dit uit in samenwerking met Alterra. De resultaten van het onderzoek worden gerapporteerd aan de begeleidingscommissie.

De activiteiten van het monitoringsonderzoek omvatten onder meer:

- Coördinatie van diverse activiteiten;
- Verzamelen van relevante gegevens die routinematig door andere



- instanties worden verzameld;
- Verzamelen van noodzakelijke, aanvullende gegevens via metingen, zoals
 - meten grondwaterstanden,
 - meten grondwaterkwaliteit (incidenteel),
 - meten opslibbingsnelheden op kwelders (jaarlijks),
 - meten bodemdaling via waterpassingen (jaarlijks).
 - Vegetatieopnamen in permanente proefvlakken in de duinen en op de kwelders (elke 3 resp. 2 jaar);
 - Bestuderen van de verzamelde gegevens en
 - Rapportage van de bevindingen en aanbevelingen.

Een belangrijke basis voor het monitoringsonderzoek is de luchtkartering van de vegetatie, die wordt uitgevoerd door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat. De karterings-vluchten van 1988, 1993 en 1997 zijn volgens plan uitgevoerd, zodat ook de verslaggeving volgens het gestelde tijdschema kon worden gerealiseerd.

Jaarlijks werden door WL alle in Tabel 1.1 genoemde gegevens verzameld, die in dat jaar beschikbaar zijn gekomen. Het meerjaren-overzicht wordt gegeven in Tabel 1.2. Op een jaarlijkse bijeenkomst van de begeleidingscommissie werd een beknopt voortgangsverslag met een overzicht van de uitgevoerde activiteiten en de verzamelde gegevens overhandigd en toegelicht. Tevens werden eventuele problemen bij de uitvoering van het onderzoek en maatregelen om de problemen op te lossen, besproken. Zo is lopende het onderzoek in overleg met de begeleidingscommissie extra onderzoek ingelast naar de oorzaak van plotseling optredende struweelsterfte van meidoorns en duindoorns op Ameland-Oost, die in 1994 respectievelijk 1995 werd geconstateerd. Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra in 1996 en volgende jaren. Tevens werd een onderzoek uitgevoerd naar kustafslag van de kwelderrand ten zuiden van de Oerderduinen. Dit onderzoek en de resultaten ervan zijn ook in dit verslag in beknopte vorm beschreven.

Naast de jaarlijkse voortgangsrapportage waren er twee uitgebreide rappor-

tages voorzien, i.e. een interim-rapportage halverwege het monitoringsonderzoek in 1994 en een eindrapportage in 2000 na de afronding van de eerste monitoringsfase. Op dat moment zou worden bepaald of een tweede monitoringsperiode zinvol zou, en zo ja, in welke vorm. Het interim-rapport is in januari 1995 uitgebracht en het hier gepresenteerde verslag is het eindrapport van de eerste monitoringsfase.

Het onderzoek naar de hydrologische, morfologische en economische aspecten is uitgevoerd door:

- *ir. W.D. Eysink* van het WL.

Het onderzoek naar de grondwaterkwaliteit is uitgevoerd door

- *drs. J. Wiertz* (tegenwoordig RIVM) en *ir. E.P.A.G. Schouwenberg* van Alterra.

Het onderzoek naar de ecologische effecten van de bodemdaling is uitgevoerd door:

- *drs. K.S. Dijkema* (kwelders), *dr. H.F. van Dobben* en *ing. P.A. Slim* (duinen) van Alterra.

Het effect op de vogelstand is onderzocht door:

- *dr. J. de Vlas*, samen met *drs. C.J. Smit* van Alterra.

Het aanvullende onderzoek naar het gedrag van de kwelderrand langs Het Oerd en de Oerderduinen is uitgevoerd door:

- *dr. ir. M.E. Sanders* en *ing. P.A. Slim* van Alterra.

Het onderzoek naar het overstromingsrisico van duinvalleien (Appendix 6) is uitgevoerd door *mw. D. Schouten* van Rijksuniversiteit Utrecht en opgenomen onder verantwoording van Alterra.

De eindredactie van het verslag werd gevoerd door *ir. W.D. Eysink*.



Tabel 1.1 Monitoringsprogramma

Meting	Interval	Instantie	Doel
1. <u>Waterstanden</u> Nes, Holwerd en Schiermonnikoog	continue	RWS-Friesland	Bepalen van ontwikkelingen in GHW, MSL, GLW en de HW-overschrijdingsfrequenties (randvoorwaarden voor ecologische aspecten en drinkwaterwinning).
2. <u>Hydrologie</u> Regenval Nes Grondwaterpeilbuizen - Kooiuiduin (RWS) - duingebied (WL/IBN) Aanbrengen/kontroleren peilbuizen	maand maand maand 1 jaar	KNMI Fryske Gea Fryske Gea WL	Randvoorwaarden voor ecologische aspecten en drinkwaterwinning. Incidenteel wordt naast waterstand ook waterkwaliteit bepaald. WL zal extra buizen plaatsen en jaarlijks de peilbuizen kontroleren en, zonodig, herstellen.
3. <u>Bodemdaling (absoluut)</u> Meetpalen (NAM/RWS) waterpassen + Ondergrondse merken in de Waddenzee	1 à 5 jaar 5 jaar	NAM RWS-MD	Vaststellen van de werkelijke bodemdaling door de gaswinning.
4. <u>Luchtkartering</u> Hoogtemetingen + kustlijn Vegetatieopnamen Waterpassen kwelders	5 jaar 5 jaar 5 jaar	RWS-MD RWS-MD NAM	Bepalen van de kustlijn- en morfologische ontwikkeling van Ameland-oost. Bepalen van de veranderingen in de vegetatie op Ameland-oost. Verzamelen aanvullende hoogtegegevens in de vlakke kwelderdelen.
5. <u>Strandraaimetingen</u> Opname LW-lijn, BW-lijn en duinvoet Strandprofielmetingen (droge deel via jaarlijkse luchtopnamen)	1 jaar 1 jaar	RWS RWS	Vastleggen van de ontwikkelingen van de Noordzeekust van Ameland.
6. <u>Lodingen</u> Noordzee en zeegaten Waddenzee	5 jaar 5 jaar	RWS RWS	Bepalen bathymetrie en het volgen van de "kuil" op zee. Bepalen bathymetrie en het volgen van het verlagen van de platen en het verruimen van de geulen in de vloedkom van Holwerderbalg/Pinkegat.
7. <u>WL/IBN-raaien</u> Waterpassing en inmeten meetpunten en peilbuizen PQ-vegetatieopnamen Bepalen opslibingssnelheden	2 à 3 jaar 2 a 3 jaar 1 jaar	NAM IBN WL	Volgen van de resulterende maaiveldverlaging op de kwelders en in de duingebieden (raaien IV-VII gedetailleerd i.v.m. kwelderrand bij Oerderduinen). Volgen van de veranderingen in de kwelder- en duinvegetaties op Ameland-oost. Tijdens het servicen van de peilbuizen zal WL op een aantal plaatsen de opslibingssnelheden op de kwelders bepalen t.o.v. een verborgen merkplaat.
8. <u>Metingen Waterleidingsbedrijf</u> Onttrekkingshoeveelheden Zoutgehalte Grondwaterstanden en zoutgrens	maand maand maand	WLB-Friesland WLB-Friesland WLB-Friesland	Randvoorwaarden voor het vaststellen van kwaliteitsvermindering van het drinkwater en de mogelijke oorzaken hiervan (b.v. bodemdaling, droge zomer of verhoogde onttrekking).
9. <u>Waterstanden in polder Buurdergrie</u> Dijksloot	continue tot 1990	WL	Vaststellen van mogelijke economische schade in de polder Buurdergrie (dit deel van het onderzoek loopt nog en wordt beëindigd na 3 jaar gegevensverzameling in de dijksloot).
10. <u>Stormvloedgeulen op De Hon</u> Visuele inspectie	½ à 1 jaar	Fryske Gea	Bewaken van doorbraakgevaar op De Hon.
11. <u>Vogelstand</u> Telling op Nieuwlandsrijd Telling op De Hon	maand maand	NMF Fryske Gea	Bijhouden vogelstand; eventueel korreleren met bodemdaling, met name de zakking van de platen in de Waddenzee.

Tabel 1.2 Tijdschema van het onderzoek (indeling per onderwerp)

Tijd	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<u>Gegevensverzameling, WL</u>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
- Waterstanden Nes, Schiermonnikoog, Holward en tijdelijke peilschalen												
- Regenval en verdamping Nes												
- Grondwaterstanden en -kwaliteit												
- Bodemdaling												
- Kustkaarten												
- Strandrooigegevens												
- Waterpassing												
- Peilkaarten Waddenzee en Noordzee												
- Drinkwatergegevens Zuiderduinen (tot 1994)												
- Waterstanden dijsloot (tot 1990, p.m.)												
- Stormvloedgeulen op De Han, Fryske Gea												
- Vogelstand												
<u>Grondwaterstanden</u>												
- Plaatsen en onderhoud peilbuizen, WL	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
- Meten waterstanden, Fryske Gea												
- Bepalen grondwaterkwaliteit, IBN												
<u>Opslibbing kwelders, WL</u>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<u>Luchtkartering, RWS-MD</u>												
- Vegetatievucht	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
- Uitwerking										3)		
<u>Waterpassing, NAM</u>												
- Kwelders,												
- PQ's en peilbuizen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
- Nauwkeurigheidswaterpassing												
<u>Vegetatieopnamen, IBN</u>												
- Kwelders												
- Duinen												
- Opzetten gegevensbestand												
- Verwerking en rapportage			1)									
<u>Rapportage, WL en IBN</u>												
- Kwelders												
- Duinen												
- Opzetten gegevensbestand												
- Verwerking en rapportage							2)					2)
<u>Besprekingen</u>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) geheel of gedeeltelijk doorgeschoven naar 1990 2) uitgebreide rapportages 3) allen kwelders



1.3 Samenvatting en conclusies

In het kader van het monitoringsprogramma zijn sinds 1988 regelmatig gegevens verzameld, die inzicht zouden kunnen geven in de opgetreden bodemdaling door de gaswinning op Ameland-Oost en in de gevolgen hiervan. Deze gegevens betreffen de nauwkeurigheidswaterpassingen voor het bepalen van de werkelijke bodemdaling ten opzichte van de voorspelde (Hfdst. 2), gegevens die van belang zijn voor de vegetatie op de kwelders en in de duinen (Hfdst. 3), gegevens die veranderingen in de topografie en de bathymetrie aangeven (Hfdst. 4) en informatie die veranderingen in de vogelstand en de vegetatie aangeven of kunnen verklaren (Hfdst. 5). Tenslotte zijn ook gegevens verzameld, 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 (Hfdst. 6).

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. 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 (NAM, 1998). 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% 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.

B - Abiotische factoren

Waterstanden

De waterstandgegevens van het getijstation Nes, met name de gegevens van hoogwater, zijn representatief voor de waterstanden bij de kwelders Nieuwlandsrijd 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 broeikas-effect. 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 stormvloed (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 extreme stormvloed 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 stormvloed.

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 grondwater-spiegel 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.

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 op de kust ten westen van de NAM-locatie (km 23). Ten oosten van de NAM-locatie is sprake van vrije natuurlijke dynamiek. 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 is ontwikkeld. De kust ten oosten van de NAM-locatie vertoont een sterke zeewaartse groei, ten westen daarvan vertoont de kust een structurele teruggang die door zandsuppleties wordt gecompenseerd.

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. 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 na-tuurlijke ontwikkelingen in de geul Holwerderbalg die tegen de wijzers van de klok in, in de richting van Ameland is gedraaid.

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, 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.

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. 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 oor-

spronkelijk (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 zuid-westen 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 permanente verlaging van het duinlandschap.

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.

De aantalsontwikkelingen 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 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.

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 krekensysteem en de afstand tot een kreek. Het aantal overvloedingen is gerelateerd aan de hoogteligging van het maaiveld en aan het jaargemiddelde niveau van het gemiddelde hoogwater (GHW).

Op de laagste zones van de kwelder en de delen die het dichtst bij de Waddenzee of de krekensystemen 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.

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 kwelderzone-ring 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 opslibbingsbalans 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 vegetatie-veranderingen 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.

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. 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, de 'natuurbehoudswaarde'.

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. 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 vloedden 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 dungebieden van Ameland-Oost. In 1994 is plotselinge sterfte gesignaleerd van eenstijlige meidoorn en gewone vlier in enkele kleine, geheel met duinen 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.

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.

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 overstromde 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.

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 naijling in de reactie van de vegetatie wordt aanbevolen om de monitoring van de effecten van bodemdaling nog voort te zetten.