



Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost

W.D. Eysink

Addendum bij rapport H841 dd maart 2000

WL | delft hydraulics



Inhoudsopgave

Lijst van tabellen	3
Lijst van figuren	4
1. Inleiding	5
1.1. Algemeen	5
1.2. Opdracht	5
2. Bodemdaling	6
3. Overige relevante abiotische factoren	9
3.1. Algemeen	9
3.2. Waterstanden	9
3.3. Neerslag en verdamping	13
3.4. Grondwaterstanden	14
3.5. Grondwaterkwaliteit	15
3.6. Conclusies abiotische factoren	15
4. Effecten bodemdaling op de morfologie	17
4.1. Algemeen	17
4.2. Noordzeekust	17
4.3. Friesche Zeegat en De Hon	21
4.4. Waddenzee	27
4.5. Kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon	31
4.6. Kwelderrand Oerd/Oerderduinen	35
4.7. Duingebieden	35
4.8. Stormvloedgeulen op Ameland-Oost	35
4.9. Conclusies Morfologie	37
5. Effecten op economisch gebruik	39
5.1. Kwelder Nieuwlandsrijd	39
5.2. Polder Buurdergrie (Zwartwoude)	39
5.3. Drinkwaterwinning Buurderduinen	40
Referenties	42
Bijlage A Neerslag en verdamping Ameland 1999-2003	43
Bijlage B Bathymetrie Friesche Zeegat 1927-2000	46
Bijlage C Bathymetrie rond oostpunt Ameland 1988-2003	48



Lijst van tabellen

- 3.1 Hoogwateroverschrijdingsgegevens Nes.
- 3.2 Neerslag en verdamping van 2002 en 2003 op Ameland (bron KNMI).

- 4.1 Kustsuppleties Noordzeekust Ameland tussen kmr 7 en kmr 20.
- 4.2 Geografische coördinaten (WGS84), inrichtingsdatum en hoogteligging van sedimentatie/erosie-meetlocaties onder Ameland-Oost.
- 4.3 Waargenomen veranderingen van de plaathoogte op het Pinkewad onder Ameland-Oost.
- 4.4 Opslibbingswaarnemingen op de kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon.

- 5.1 Verschil in gewasopbrengst bij een bodemdaling van 10 cm.
- 5.2 Kans dat de waterstand in de dijksloot bij Zwartwoude een bepaald peil overschrijdt.



Lijst van figuren

- 2.1 Bodemdalingscontouren gebaseerd op meting van februari 2003
- 2.2 Doorsnede bodemdalingschotel van Nes via NAM-locatie naar oostpunt Ameland
- 2.3 Geschatte afwijking in de gemeten bodemdaling op de NAM-locatie
- 2.4 Verloop van de maximum bodemdaling op Ameland-Oost
- 2.5 Voorspelde bodemdaling in 2020 van december 2003

- 3.1 Verloop gemiddeld hoogwater, gemiddeld zeeniveau en gemiddeld laagwater Nes
- 3.2 Verloop gemiddeld tijverschil Nes
- 3.3 Verloop gemiddeld zeeniveau in Den Helder en West-Terschelling
- 3.4 Invloed afsluiting Zuiderzee op gemiddeld hoogwater in Den Helder en West-Terschelling
- 3.5 Verloop jaarlijkse neerslag en verdamping op Ameland
- 3.6 Raaien voor opslibbings- en vegetatieonderzoek

- 4.1 Totale effectieve volume van de kustsuppleties op het Noordzeestrand van Ameland
- 4.2 Waargenomen en berekende kustlijnveranderingen van het Noordzeestrand van Ameland na 1980
- 4.3 Berekende en waargenomen kustontwikkeling t.p.v. kmr 16, kmr 20, kmr 23 en kmr 25
- 4.4 West-oost-migratie van de oostpunt van Ameland
- 4.5 Ontwikkelingen in het zeegat Holwerderbalg/Pinkegat in de periode 1994 – 2003
- 4.6 Sedimentatiemeetpunten op de platen van het Pinkewad
- 4.7 Waargenomen sedimentatie/erosie op het Pinkewad door Natuurcentrum Ameland (voorbeelden)
- 4.8 Opslibbingsgegevens van de kwelder op De Hon
- 4.9 Opslibbingsgegevens van de kwelder Nieuwlandsrijd



1. Inleiding

1.1. Algemeen

De gaswinning op Ameland-Oost is gestart in 1986. In opdracht van de NAM is in dat jaar door WL | Delft Hydraulics in samenwerking met Alterra (toen RIN) een voorspelling gemaakt van de mogelijke effecten van de bodemdaling (Eysink et al, 1987), waarna eind 1988 is begonnen met de monitoring. De eerste twee rapportages van de monitoring zijn gebaseerd op gegevens tot 1994 respectievelijk 1999 en beschrijven de effecten over een periode van 8 jaar respectievelijk 13 jaar na het begin van de gaswinning. Deze bevindingen zijn uitgebreid beschreven in de rapporten van het door WL | Delft Hydraulics en Alterra (toen IBN) gezamenlijk uitgevoerde onderzoek (Eysink et al., 1995 en 2000). De huidige rapportage is de derde sinds het begin van de monitoring van de effecten van de bodemdaling door de gaswinning op Ameland-Oost en is een aanvulling op de uitgebreide rapportage van maart 2000. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar dat evaluatierapport.

Inmiddels zijn er nog enkele andere instituten bij het onderzoek betrokken. Uit praktische overwegingen heeft de Begeleidingscommissie daarom besloten dat ieder instituut afzonderlijk rapporteert over de onderwerpen waar het verantwoordelijk voor is.

Deze rapportage is zo opgezet dat de hoofdstukken corresponderen met die in de vorige, uitgebreide verslagen. Dit is gedaan om het de lezer makkelijk te maken bij het terugzoeken van basisinformatie, die niet meer in dit verslag is vermeld.

1.2. Opdracht

De offerte voor het onderhavige onderzoek is gedaan in brief MCI0085/H4413 d.d. 20 februari 2004. De opdracht is verstrekt door de NAM in Purchase Order 4500276440 van 15 juli 2004.

De deelrapportage van WL | Delft Hydraulics betreft:

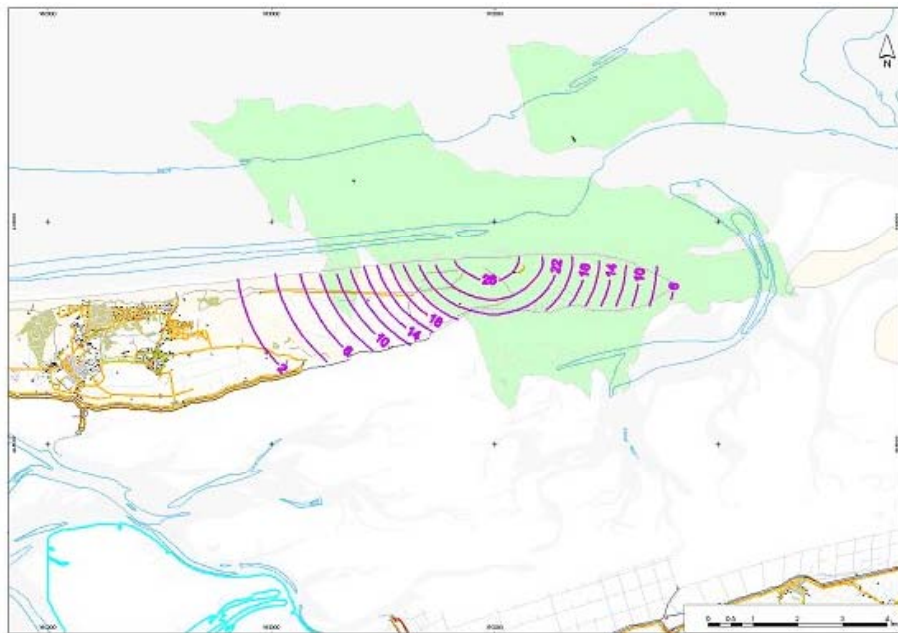
1. Aanvulling Hoofdstuk 3 – Overige relevante abiotische factoren:
 - a) Waterstandgegevens inzake zeespiegelrijzing en stormvloeden bij Ameland,
 - b) Neerslag- en verdampingsgegevens van Ameland,
 - c) Gemeten grondwaterstanden op Ameland-Oost.
2. Aanvulling Hoofdstuk 4-Effecten bodemdaling op de morfologie:
 - a) Gedrag van de Noordzeekust van Ameland onder invloed van natuur, bodemdaling en strandsuppletie,
 - b) Veranderingen in het Friesche Zeegat en De Hon,
 - c) Veranderingen in de vloedkom van het Pinkegat en seizoensfluctuaties op de platen,
 - d) veranderingen op de kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon,
 - e) veranderingen in de duingebieden,
 - f) veranderingen in de drempelhoogten in de stormvloedopeningen in de duinenrij op De Hon.
3. Aanvulling Paragraaf 5.2-Economische schade Polder Buurdergrie.

In deze studie zijn de resultaten van de laatste rapportage aangevuld met alle gegevens die sindsdien beschikbaar zijn gekomen. De studie is uitgevoerd door ir. W.D. Eysink.

2. Bodemdaling

Na de nulmeting van de punten van een uitgebreid meetnet op Ameland-Oost in maart 1986 zijn, in opdracht van de NAM, jaarlijks nauwkeurigheidswaterpassingen op Ameland-Oost uitgevoerd tot en met februari 1999. Toen is besloten om de nauwkeurigheidswaterpassing niet meer elk jaar uittevoeren, omdat op basis van de beschikbare gegevens via extrapolatie een nauwkeurige voorspelling te maken is van de verdere zakking over een korte periode van één of twee jaar. De laatste nauwkeurigheidswaterpassingen zijn uitgevoerd in februari 2001 en februari 2003. **Figuur 2.1** laat de bodemdalingsschotel zien gebaseerd op een analyse van de metingen door de NAM.

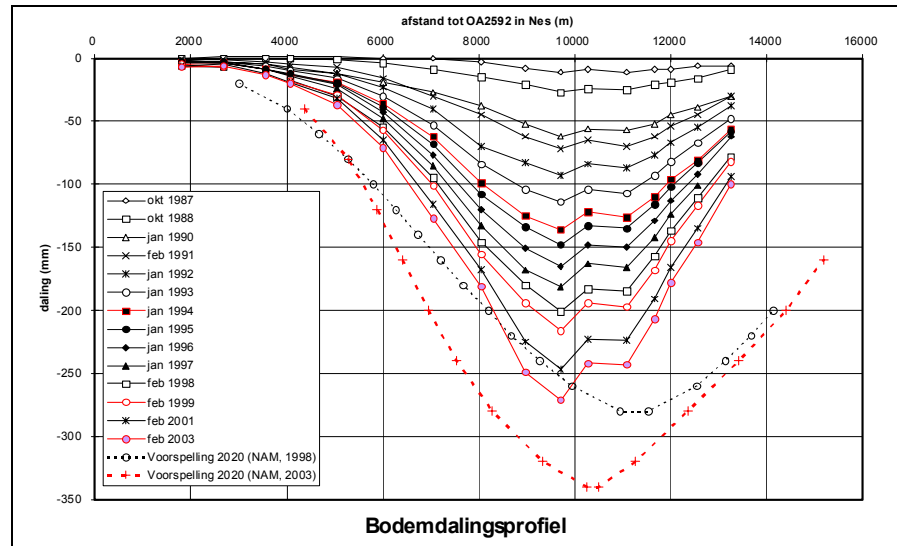
*Figuur 2.1
Bodemdalingscontou-
ren gebaseerd op
meting van februari
2003*



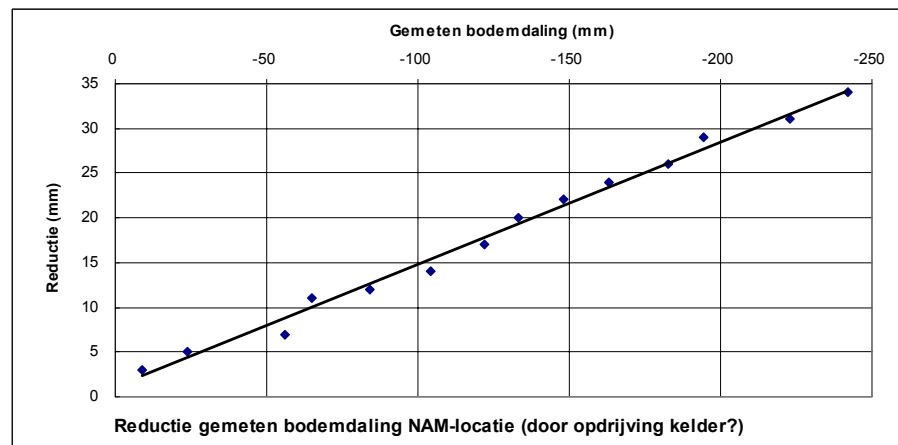
In **figuur 2.2** wordt een langsdoorsnede van de gemeten ontwikkeling van de bodemdaling gegeven die loopt van Buuren-west tot de oostpunt van Ameland. Uit deze figuur blijkt dat de bodemdaling bij NAM-locatie in toenemende mate achter blijft. Op eenvoudige wijze kan de meest waarschijnlijke zakking op deze locatie worden geschat door een logisch zakkingsprofiel te schetsen. Indien de hieruit volgende afwijking wordt uitgezet tegen de gemeten zakking, dan blijkt dat de benodigde correctie lineair toeneemt met de gemeten zakking (**figuur 2.3**). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het gebouw met het betreffende meetpunt, dat diep in de bodem is ingegraven, de neiging heeft te willen opdrijven bij het dieper zakken in het grondwater. Het opdrijven wordt kennelijk tegengehouden door een constructie die zich als een veer gedraagt.



Figuur 2.2
Doorsnede
bodemdalingschotel
van Nes via NAM-
locatie naar oostpunt
Ameland

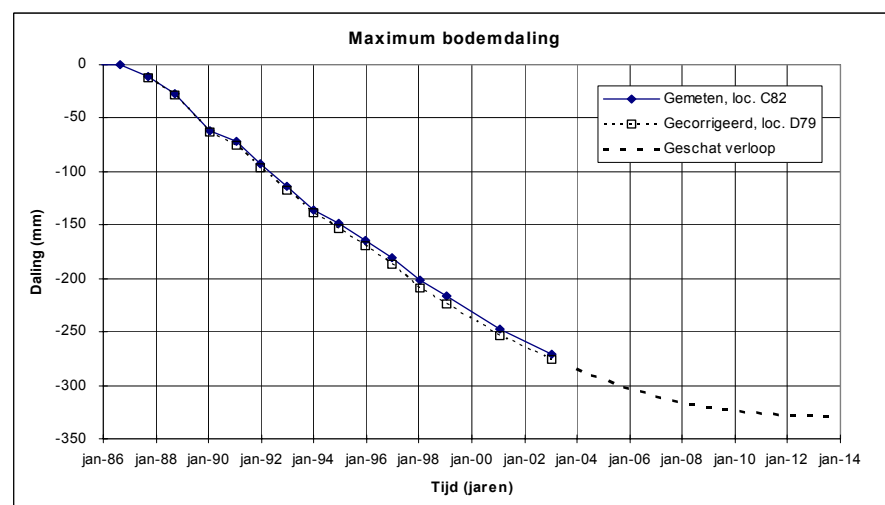


Figuur 2.3
Geschatte afwijking in
de gemeten
bodemdaling op de
NAM-locatie



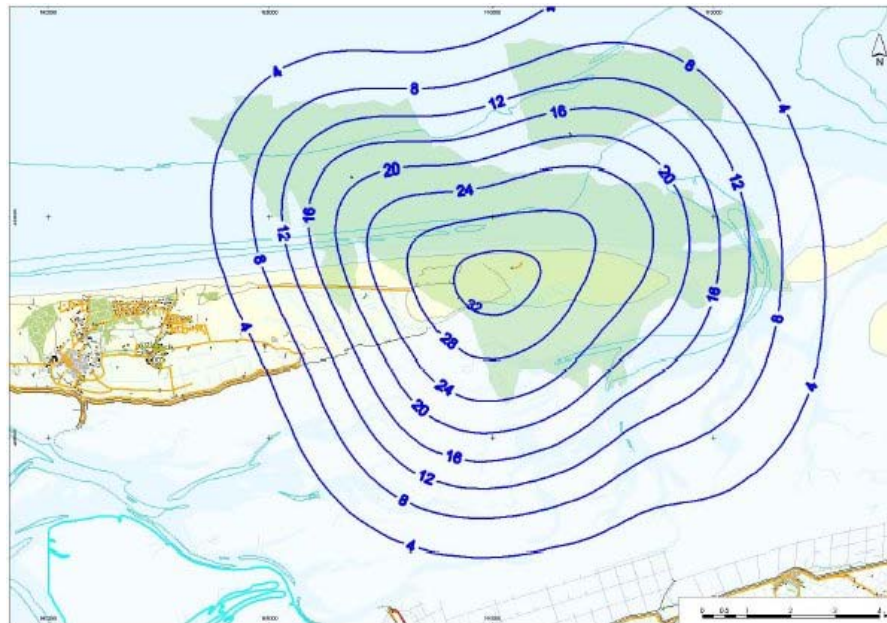
Het verloop van de maximum bodemdaling in de tijd is weergegeven in [figuur 2.4](#). Uit deze figuur blijkt dat jaarlijkse zakking sinds januari 1994 is gaan afnemen. Het zakkingverloop is schetsmatig doorgetrokken in de komende jaren. Hieruit volgt de verwachting dat rekening moet worden gehouden met een verdere daling tot 2010 – 2012. De maximum daling zou kunnen oplopen tot circa 33 cm.

Figuur 2.4
Verloop van de
maximum bodemdaling
op Ameland-Oost



Uit [figuur 2.2](#) blijkt dat de werkelijke bodemdaling in een beperkter gebied optreedt dan voorspeld in de voorspelling van 1998. Ook blijkt, rekening houdend met de gecorrigeerde maximum bodemdaling, dat in 2003 reeds de toen verwachte meest waarschijnlijke maximum bodemdaling van 28 cm werd bereikt. Geschat wordt dat deze nog verder zal oplopen tot circa 33 cm rond de periode 2012 tot 2014. Hiermee zou de maximum bodemdaling binnen de aangegeven marge van 22 tot 34 cm blijven en goed overeenkomen met de meest recente voorspelling van de NAM van december 2003 ([figuur 2.5](#)).

*Figuur 2.5
Voorspelde
bodemdaling in 2020
van december 2003*



Voor het onderhavige onderzoek zijn op verzoek van WL | Delft Hydraulics op basis van deze metingen door de NAM betrouwbare voorspellingen gemaakt van de bodemdalingsschotel in januari 2004 en januari 2005. Deze informatie is als uitgangspunt gebruikt voor de beoordeling van de effecten van de bodemdaling in het jaar 2004.

Voor meer informatie betreffende de te verwachten bodemdaling in de komende jaren wordt verwezen naar onderdeel bodemdaling.



3. Overige relevante abiotische factoren

3.1. Algemeen

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

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

Daarom zijn ook gegevens van deze grootheden verzameld en bewerkt. Deze gegevens en resultaten worden in de volgende paragrafen behandeld.

3.2. Waterstanden

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

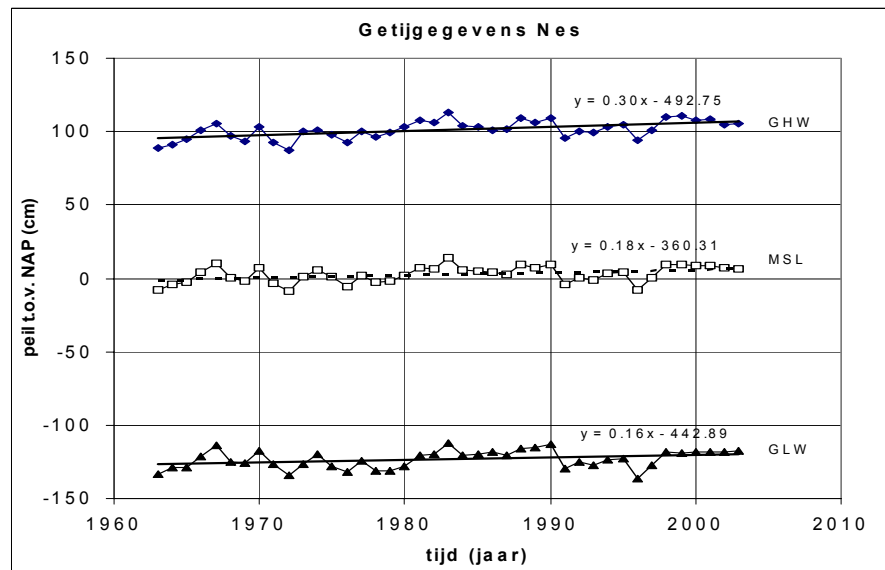
- astronomisch getij,
- op- en afwaaiing door wind,
- langetermijnveranderingen in het gemiddeld zeeniveau door klimaatsverandering.

Uit de bestudering van verschillende getijstations in de Waddenzee is gebleken dat het station Nes bij de pier voor de veerboot het meest representatief is voor de kwelders Nieuwlandsrijd en in iets mindere mate voor De Hon op Ameland-Oost (zie Eysink et al, 1995, 2000). De kwelder op De Hon en de lage duinvalleien ten westen van de NAM-locatie worden tijdens een storm overstroomd door zeewater via de stormvloedgeulen door de duinen ten oosten van de NAM-locatie en via de lage kant aan de Waddenzeezijde. Het water via de stormvloedgeulen dringt als gevolg van waterstandsverhoging aan de Noordzezijde door opwaaiing en/of door golfopzet rond het verhoogde hoogwater binnen. De capaciteit van de smalle stormvloedgeulen met een relatief hoge drempel is echter beperkt. Verwacht wordt dat het meeste water iets later via de wadzijde binnenstroomt nadat het hoogwater om de oostpunt is getrokken. Het niveau van het hoogwater zal bij De Hon nog niet zover zijn opgeslingerd en gemiddeld iets lager zijn dan bij het Nieuwlandsrijd (orde 0,05 – 0,1 m). Door verschil in opwaaiing kan dit verschil onder stormomstandigheden nog wat groter of iets kleiner zijn. Al met al geeft ook hier het station Nes een redelijke indicatie voor de kans op overfloeding van De Hon.

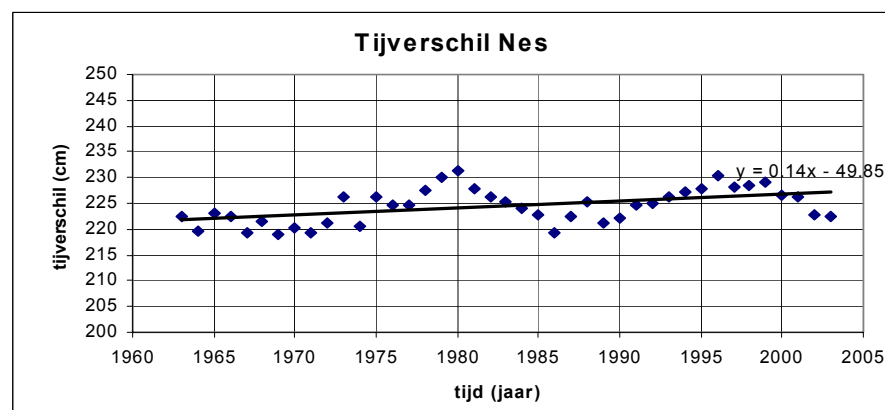
Dit station wordt gebruikt voor het verzamelen van de jaarlijkse waarden van gemiddeld hoogwater (GHW), gemiddeld zeeniveau (MSL), halftij i.e. $(GHW + GLW)/2$, gemiddeld laagwater (GLW) en de hoogwateroverschrijdingsfrequentie. Het blijkt dat het jaargemiddelde halftij lager ligt dan het jaargemiddelde MSL. Het verschil is vrijwel constant (± 1 à 2 cm), maar per station verschillend. Via die relatie zijn de waarden voor MSL herleid voor die jaren waarin geen MSL was bepaald. Met name fluctuaties in het jaarlijkse GHW en in het aantal extreme hoogwaters, waarbij de kwelders en de lage duinvalleien overstroomd, zijn van belang voor het verklaren van de ontwikkelingen in de vegetatie in deze gebieden. Daarom is het verloop van

GHW, MSL en GLW van het station Nes vanaf het begin van de waarnemingen in 1963 gegeven in [figuur 3.1](#) en zijn de jaarlijkse hoogwateroverschrijdingsgegevens samengevat in [tabel 3.1](#).

Figuur 3.1
Voorspelde
bodemdaling in 2020
van december 2003



Figuur 3.2
Verloop gemiddeld
tijverschil Nes



Het tijverschil in Nes schommelt tussen circa 2,20 m en 2,30 m ([figuur 3.2](#)) en toont duidelijk het effect van de astronomische getijcomponent met een cyclus van 18,6 jaar en een amplitude in de orde van 5 cm. Het gemiddelde tijverschil over de hele periode is 224,5 cm en lijkt iets te zijn toegenomen in de beschouwde periode. Volgens de lineaire trendlijn bedraagt de gemiddelde toename circa 1,4 mm per jaar. Deze trend is echter niet betrouwbaar, omdat de totale periode niet samenvalt met een geheel aantal cycli van 18,6 jaar en bovendien slechts twee cycli omvat. Dat is gezien de invloed van andere, willekeurige verstoringen weinig. Het is zeker mogelijk dat het gemiddeld tijverschil niet is veranderd.

In de voorgaande rapportage zijn de overschrijdingsgegevens van 1981-1998 gepresenteerd samen met langjarig gemiddelde overschrijdingen. In dit verslag zijn deze gegevens aangevuld tot 2005. [Tabel 3.1](#) laat zien dat het aantal extreme stormvloed in de periode 1999-2004 gering is geweest. Het niveau van NAP+2,5 m werd in Nes in 1999 viermaal overschreden, en het niveau NAP+3,0 m niet eenmaal. In 2000 werd NAP+2,5 m slechts eenmaal overschreden, maar toen werd wel een waterstand bereikt van NAP + 3,0 à 3,1 m. In de andere jaren in die periode werd een peil van NAP+2,7 m nooit overschreden. Dit soort stormvloedpeilen kunnen leiden tot het onderlopen van lage duinvallen.

Het niveau van NAP+2,0 m werd in deze periode, behalve in 1999, beneden het gemiddelde aantal overschreden. Dit geldt ook voor het niveau van



NAP+1,5 m, waarbij de lagere delen van de kwelders onderlopen. Procentueel is het verschil hier echter beduidend kleiner dan op het niveau van NAP+2,0 m. Het betekent dat de kwelders iets minder frequent werden overstromd en dat gemiddeld het overstromde oppervlak en de waterdiepte per overstroming kleiner waren dan gemiddeld. Hierdoor kan de jaarlijkse opslibbing op de kwelders in deze periode lager zijn geweest dan gemiddeld.

Tabel 3.1
Hoogwateroverschrijdingsgegevens Nes

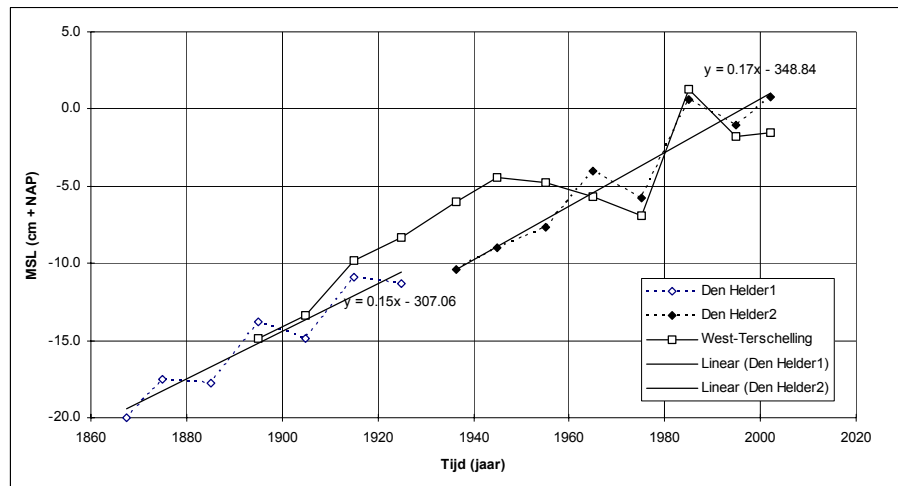
Niveau (m + NAP)	Aantal HW-overschrijdingen per jaar																											
	1941-1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	1981-2003 Gem.			
	Gem.	1)																										
3.5			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0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

Gegevens van RWS-DGW

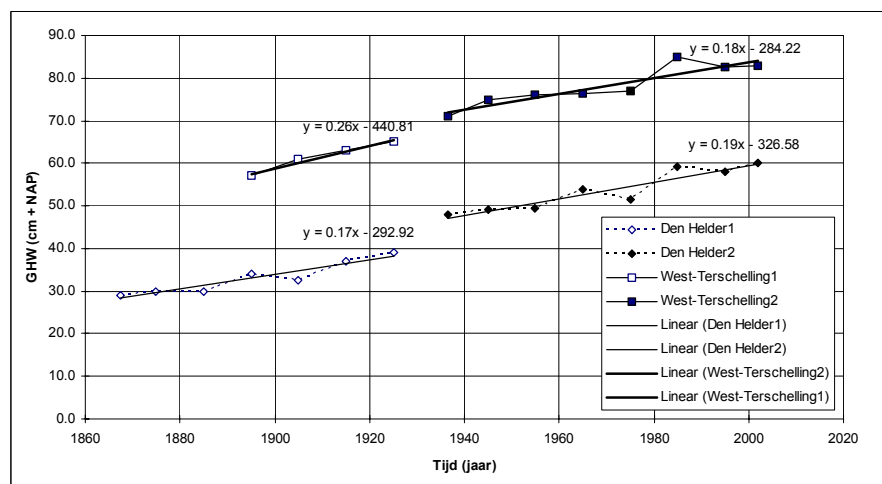
1) Gecorrigeerd voor zeespiegelrijzing van 1960 tot 1990

Het getijstation Den Helder (marinehaven) heeft een lange waarnemingsperiode (vanaf 1865) en is het minst gestoord door ontwikkelingen in de Waddenzee (o.a. afsluiting van de Zuiderzee en de daarop volgende morfologische aanpassingen). Dit station wordt daarom het meest representatief geacht voor het beoordelen van langetermijnverandering in de zeespiegelrijzing. Andere stations met een lange waarnemingsperiode zijn West-Terschelling (sinds 1887) en Delfzijl (sinds 1871). Het laatste station gaf zeer betrouwbare resultaten voor de beoordeling van de langetermijntrend in de zeespiegelstijging tot circa 1965, waarna de meetreeks werd verstoord door verdieping van de vaargeul en het verplaatsen van de haveningang (zie [figuur 3.8](#) in Eysink et al, 2000). Hieruit bleek dat in elk geval tot 1965 het niveau van zowel GHW als GLW met 16 cm per eeuw toenam zonder een teken van een toename in de zeespiegelstijging. In [figuur 3.3](#) is het verloop van MSL te Den Helder gegeven.

Figuur 3.3
Verloop gemiddeld
zeeniveau in Den
Helder en West-
Terschelling



Figuur 3.4
Invloed afsluiting
Zuiderzee op
gemiddeld hoogwater
in Den Helder en West-
Terschelling



Omdat de afsluiting van de Zuiderzee (1928-1932; definitieve sluiting in mei 1932) duidelijk invloed had op het getij (zie [figuur 3.4](#) en ook [figuur 3.9](#) uit Eysink et al, 2000), is onderscheid gemaakt in de periode tot 1930 en na 1932. In principe zijn de tienjarig gemiddelde waarden gebruikt aangevuld met de gemiddelde waarden van kortere periodes aan begin en eind van de waarnemingsreeks en voor en na de afsluiting van de Zuiderzee. Het gemiddelde getijverschil is door de afsluiting direct toegenomen en is daarna door morfologische aanpassingen binnen de vloedkom van het Marsdiep geleidelijk nog iets verder toegenomen. De laatste decennia lijkt het getijverschil in Den Helder rond een constante waarde te fluctueren van circa 1,4 m. Ook in het verloop van MSL in Den Helder lijkt een discontinuïteit te zitten als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee ([figuur 3.3](#)). Deze invloed is klein tot verwaarloosbaar in de gegevens van West-Terschelling, die als ondersteuning ook zijn gegeven. Deze meetreeks vertoont echter vanaf de vijftiger jaren een vreemd gedrag, vermoedelijk door lokale geulontwikkelingen. In alle gevallen liggen de waarden voor zeespiegelstijging in de orde van 15 tot 20 cm per eeuw, wat goed overeenkomt met de gegevens van Delfzijl tot 1965. Uit de gegevens van Den Helder zou een lichte toename van de zeespiegelstijging kunnen worden afgeleid na de afsluiting van de Zuiderzee. In de gegevens van vóór 1900 zit echter een onnauwkeurigheid, omdat ze óf alleen zijn bepaald uit de gegevens van dagtijden of zijn afgeleid van halftij. Het MSL-verloop bij West-Terschelling ondersteunt een dergelijke conclusie in elk geval niet. *In het algemeen lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de effecten van bodemdaling door gaswinning tot nu toe (nog) niet worden versterkt door versnelde zeespiegelstijging.*

3.3. Neerslag en verdamping

In de voorgaande rapportage zijn de gegevens van 1984-1998 gepresenteerd. In deze rapportage worden de gegevens van 1999-2003 gepresenteerd als aanvulling van het totale gegevensbestand ([bijlage A](#)). De verzamelde gegevens van de neerslag in Nes op Ameland en de verdampingscijfers voor Ameland volgens de methode Makkink voor de jaren 2002 en 2003 (voorbeeld) zijn gegeven in [tabel 3.2](#). De gegevens tonen decadecijfers, maandcijfers en jaartotalen.

Neerslag

De gemiddelde neerslag in Nes in de periode 1984-2003 bedroeg 880,8 mm/jaar en was daarmee 86,9 mm hoger dan het langetermijngemiddelde van 1951-1980. Het is ook met ruim 20 mm toegenomen ten opzichte van het gemiddelde over de periode 1984-1998. Dit wordt veroorzaakt doordat de jaren 1999-2002 nat waren met 2000 en 2001 als twee extreem natte jaren. Deze jaren waren zelfs natter dan 1993-1994 toen er sterfte van meidoorn- en vlierstruweel in een duinvallei optrad. Het jaar 2003 was met 751,5 mm neerslag een vrij droog jaar ([figuur 3.5](#)).

Verdamping

De door het KNMI verstrekte verdampingscijfers voor Ameland over de periode 1999-2003 betreft allemaal gewasverdampingscijfers volgens Makkink voor de locatie Lauwersoog. De locatie is representatief voor de verdamping op Ameland. De gemiddelde verdamping over de periode 1984-2003 bedroeg 571,4 mm, wat slechts iets lager is dan het gemiddelde van 579,0 mm in Den Helder over de periode 1965-1985. De verdamping op Ameland in de periode 1999-2002 week niet veel af van de gemiddelde verdamping. Alleen in het vrij droge jaar 2003 was ook de verdamping met een waarde van 639,6 mm relatief extreem. Het neerslagoverschot in dat jaar benaderde het geringe neerslagoverschot van de droge jaren 1989, 1991, 1996 en 1997 ([figuur 3.5](#)).



Nes (Ameland) Neerslagsommen in mm

Tabel 3.2
Neerslag en
verdamping van 2002
en 2003 op Ameland
(bron KNMI)

2002	decade	decade	decade	maand
	1	2	3	
4.3	22.4	45.2	71.9	
21.0	30.2	65.9	117.1	
14.6	15.2	2.2	32.0	
0.0	5.8	41.7	47.5	
18.9	2.8	17.0	38.7	
22.3	11.4	26.5	60.2	
79.1	20.1	20.9	120.1	
46.3	3.0	28.2	77.5	
38.0	7.2	14.8	60.0	
24.8	24.6	68.7	118.1	
64.3	14.7	27.9	106.9	
7.8	3.8	79.6	91.2	
			941.2	

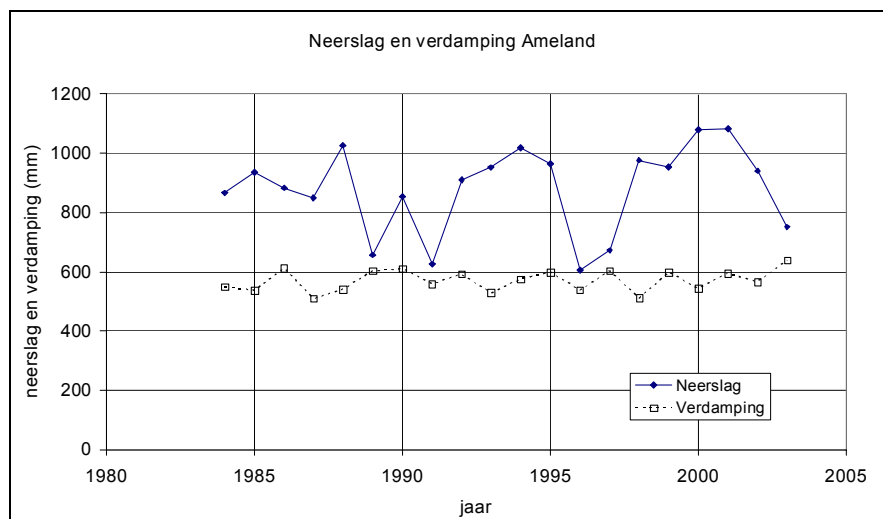
2003	decade	decade	decade	maand
	1	2	3	
27.3	9.9	26.8	64.0	
23.7	0.0	0.0	23.7	
26.7	0.6	0.0	27.3	
23.8	1.6	12.7	38.1	
21.2	52.4	30.2	103.8	
16.8	16.6	5.0	38.4	
70.7	19.7	29.9	120.3	
0.2	1.6	29.5	31.3	
24.1	3.0	32.2	59.3	
61.0	1.7	46.9	109.6	
14.0	6.6	36.7	57.3	
8.2	35.0	35.2	78.4	
			751.5	

Lauwersoog (tenzij anders vermeld) Verdamping in mm (Makkink)

2002	decade	decade	decade	maand
	1	2	3	
2.3	2.2	3.6	8.1	
4.1	8.1	5.9	18.1	
10.8	9.1	20.3	40.2	
23.2	16.0	20.4	59.6	
18.3	26.8	30.0	75.1	
30.6	28.1	32.8	91.5	
21.1	33.8	37.4	92.3	
25.6	34.1	24.7	84.4	
24.6	17.9	15.3	57.8	
12.7	7.5	6.5	26.7	
3.6	3.2	2.2	9.0	
2.0	1.3	1.0	4.3	
			567.1	

2003	decade	decade	decade	maand
	1	2	3	
1.8	1.9	3.6	7.3	
3.2	5.4	8.1	16.7	
7.6	12.2	22.5	42.3	
17.5	27.6	23.3	68.4	
24.9	24.7	35.0	84.6	
36.5	38.8	32.7	108.0	
27.5	41.0	36.7	105.2	
39.8	33.4	24.2	97.4	
19.8	23.5	17.9	61.2	
11.5	11.6	8.3	31.4	
5.7	2.8	2.3	10.8	
2.6	1.8	1.9	6.3	
			639.6	

Figuur 3.5
Verloop jaarlijkse
neerslag en
verdamping op
Ameland

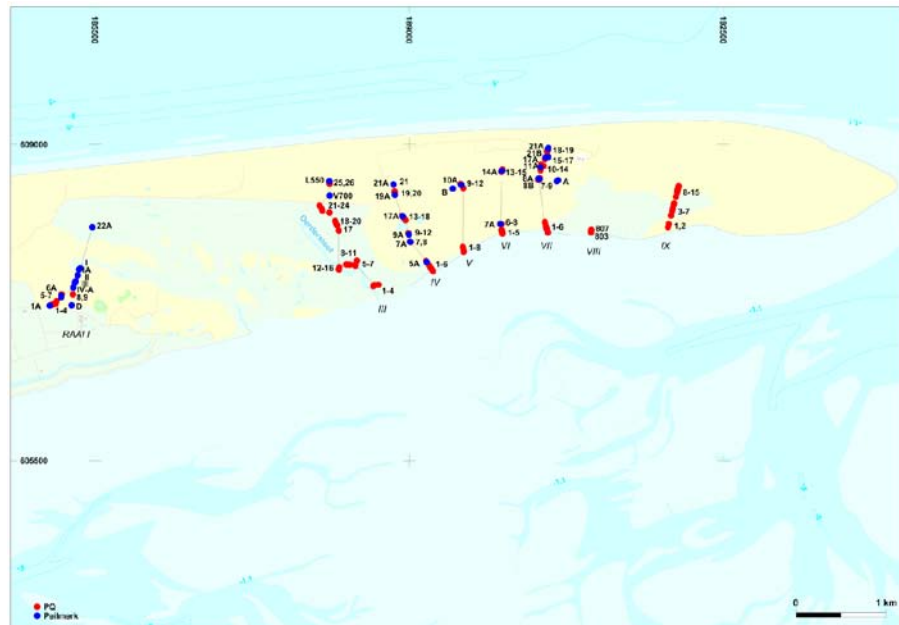


3.4. Grondwaterstanden

In het voorgaande rapport is uitgebreid ingegaan op de grondwatermetingen in de Kooi duinen, het Oerd en de Oerderduinen op Ameland-Oost. Duidelijk blijkt daaruit dat de grondwaterspiegel fluctueert met het seizoen. De grondwaterspiegel is in de zomer 0,75 tot 1 m lager dan in de winter. Dit wordt ondermeer veroorzaakt door de seizoensvariatie in de neerslag en in

de gemiddelde zeespiegel en op sommige plaatsen door penetratie van zeewater door overvloeden in de winterperiode. In duinvalleien met een drempel of in een duinpan kan het grondwater in de winter of het vroege voorjaar boven het maaiveld komen te staan. Op relatief hoge duinkammen blijft het grondwater altijd onder het maaiveld. De grondwateraflezingen in de peilbuizen over de periode 1999 -2003 zijn toegevoegd aan het gegevensbestand en doorgegeven aan Alterra.

*Figuur 3.6
Raaien voor
opslibbings- en
vegetatieonderzoek*



3.5. Grondwaterkwaliteit

De grondwaterkwaliteit is steeds onderzocht door Alterra. Hiervoor wordt verwezen naar het Addendum van Alterra.

3.6. Conclusies abiotische factoren

De conclusies uit het vorige rapport blijven ongewijzigd.

In het algemeen lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de effecten van bodemdaling door gaswinning tot nu toe (nog) niet worden versterkt door versnelde zeespiegelstijging.

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

Neerslag- en verdampingscijfers zijn belangrijk voor de interpretatie van veranderingen in de vegetatie. Voor Ameland zijn de neerslaggegevens van het station Nes bij het KNMI opgevraagd. Verdampingscijfers worden niet voor Nes bepaald; die zijn daarom opgevraagd voor het dichtstbij gelegen station waarvoor ze wel werden bepaald.



Er is inmiddels veel informatie en inzicht verkregen in het gedrag van het grondwaterpeil op Ameland-Oost. Dit geeft een goede basis voor de interpretatie van waargenomen veranderingen in de duin- en kweldervegetatie op het eiland.

De grondwaterspiegel vertoont grote fluctuaties over het jaar (orde 0,5 tot 1 m) als gevolg van seizoensvariaties in de regenval/verdamping en de gemiddelde zeespiegel. Hoge waarden worden bereikt in de winter en lage in de zomer. Tijdens een extreem nat jaar kunnen lage, gesloten duinvalleitjes hierdoor onder water komen te staan. Door bodemdaling komt de grondwaterspiegel, zoals verwacht, dichterbij het maaiveld te liggen en kan bovengenoemd verschijnsel iets vaker optreden.

Ook ten aanzien van de kwaliteit van het grondwater is in 1990/91 een goed beeld verkregen. Extra opnamen van de grondwaterkwaliteit zijn uitgevoerd om te kunnen nagaan of er eventueel verschuivingen optreden als gevolg van veranderingen in het milieu. Voor meer informatie wordt verwezen naar het Addendum van Alterra.

Indien wordt besloten om de monitoring voort te zetten, dan wordt aanbevolen ook de verzameling van bovengenoemde gegevens voort te zetten.

4. Effecten bodemdaling op de morfologie

4.1. Algemeen

In het prognoserapport naar de effecten van de bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost (WL/RIN, 1987) zijn uiteindelijk de volgende effecten bestudeerd, die een meer of minder nadelige invloed kunnen hebben:

- a. Teruggang van de Noordzeekust, die in eerste instantie bestaat uit een locale teruggang, welke op zijn beurt uiteindelijk leidt tot een meer algemene, extra teruggang van deze kust door opvulling van de "deuk" in de kust.
- b. Algemene, extra teruggang van de Noordzeekust als leverancier van sediment voor het opvullen van de "kuil" in de bodem van de Noordzee en de Waddenzee.
- c. Eventuele tijdelijke verlaging van het doorgaande kusttransport naar Schiermonnikoog, waardoor de waterdiepten in de geulen in het zeegat en daarmee in de vaarweg naar Lauwersoog worden beïnvloed, alsook de kustontwikkeling van Schiermonnikoog.
- d. Verlaging van een deel van de Wadden met mogelijke gevolgen voor het biotische milieu en de garnalenvangst in dit gebied.
- e. Verlaging van de kwelders op oostelijk Ameland, waardoor een verhoging van de overstromingsfrequentie wordt verwacht met mogelijk gevolgen voor de ecologie en schade voor de gebruikers van de kwelder Nieuwlandsrijd.
- f. Verlaging van de duingebieden en de oostpunt De Hon van Ameland met als gevolg een relatieve stijging van de grondwaterstand, waardoor ecologische veranderingen in deze natuurgebieden mogelijk zijn.
- g. Verlaging van de polder Buurdergrie ten oosten van Buren, waardoor de afwatering van het toch al lage oostelijk deel van deze polder nog moeilijker wordt. Bovendien is het mogelijk dat dit deel van de polder nu last krijgt van overstroming door opwaaiing tijdens noordwester en wester stormen, hetgeen nu minder of niet het geval is. Tevens treedt enige verlaging van de zeeweringen op.
- h. Nadelige beïnvloeding van het zoete grondwater in de Buurderduinen door de (extra) erosie van de Noordzeekust, waardoor op wat langere termijn de kwaliteit van het daar gewonnen drinkwater in gevaar kan komen (aanzuigen zouter water door omhoog komen van de zoutgrens).

De effecten a t/m d worden in belangrijke mate bepaald door morfologische processen.

De effecten e t/m h spelen zich af op Ameland-Oost en worden in belangrijke mate bepaald door beïnvloeding van de waterhuishouding van verschillende gebieden door de bodemdaling.

Al deze effecten zijn uitvoerig behandeld in Eysink et al (1987) en Boer en Eysink (1993). In de volgende paragrafen worden met name de waargenomen morfologische veranderingen behandeld in de verschillende karakteristieke delen van het gebied. Hierbij is in principe dezelfde indeling gebruikt als in de voorgaande studies om vergelijking makkelijk te maken.

4.2. Noordzeekust

In 1987 is met behulp van een kustlijnmodel een voorspelling gemaakt van het gedrag van de Noordzeekust tussen kmr 7 en kmr 25 (Eysink et al, 1987). De voorspelling geeft de berekende verandering in de positie van de gemiddeld hoogwaterlijn (GHW-lijn) ten opzichte van die in het jaar 1980. De

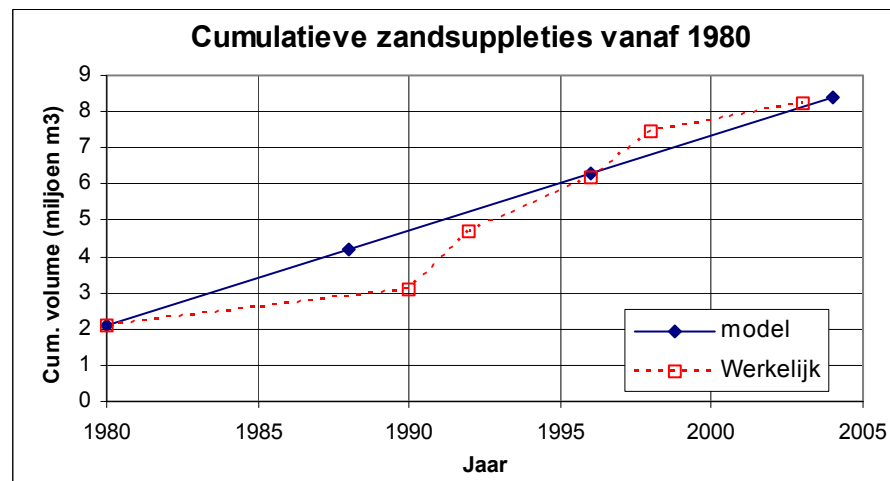
berekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie met en zonder bodemdaling. In beide gevallen is om de acht jaar een strandsuppletie van 2,1 miljoen m³ tussen km 10 en km 17 toegepast beginnend in 1980.

Sinds 1990 is als rijksbeleid vastgesteld dat de kustligging van 1990 zal worden gehandhaafd. Bij de Noordzeekust van Ameland wordt de kustligging tot kmr. 23 via kustsuppleties onderhouden. Tot 1998 werden de suppleties aangebracht in de zeereep en op het strand. Vanaf 1998 zijn de kustsuppleties uitgevoerd als vooroeversuppleties, waarbij rekening wordt gehouden dat slechts 50 % van het aangebrachte zandvolume effectief bijdraagt aan de verbetering van de ligging van de kustlijn. Sinds 1980 zijn zes kustsuppleties op het Noordzeesrand van Ameland uitgevoerd (tabel 4.1).

Tabel 4.1
Kustsuppleties
Noordzeekust Ameland
tussen kmr 7 en kmr 20

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

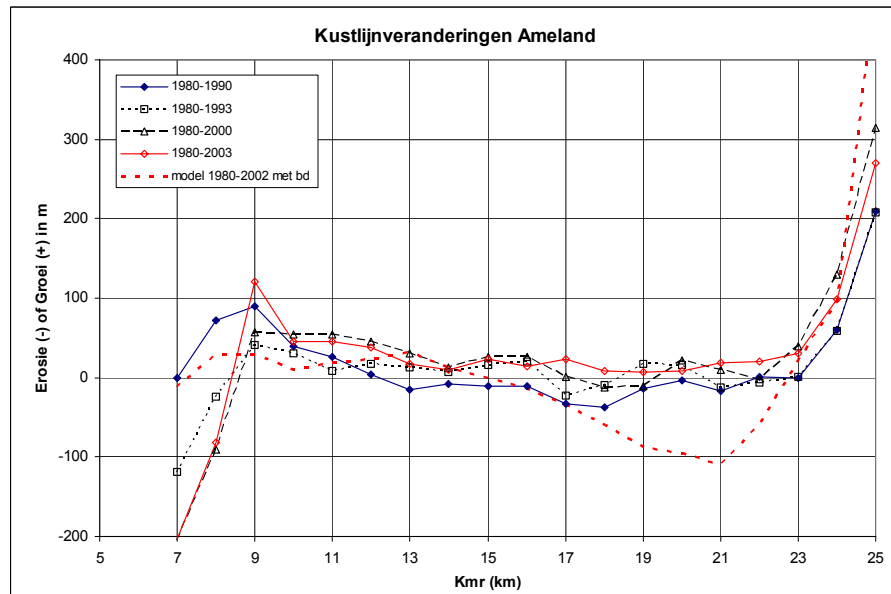
Figuur 4.1



Hoewel de werkelijke kustsuppleties in tijd en plaats afwaken van de theoretische kustsuppletie in het kustlijnmodel, komt het geaccumuleerde, effectieve volume van de suppleties goed overeen met dat in het model (figuur. 4.1).

Uit de resultaten van het monitoren van de werkelijke kustveranderingen van de Noordzeekust van Ameland vanaf 1980 blijkt dat in 2003 de kust tussen kmr 9 en kmr 25 overal zeewaarts ligt van de kustlijn in 1990. Tussentijds is de kustlijn lokaal wel eens tot iets voorbij de kustlijn van 1990 geërodeerd. In het algemeen kan echter worden gesteld dat de kustlijn van 1990 tussen kmr 9 en kmr 23 goed wordt gehandhaafd. Dit gebeurt zonder extra kustsuppletie, ondanks het voorspelde effect van de bodemdaling door gaswinning tussen kmr 16 en kmr 23 (figuur 4.2).

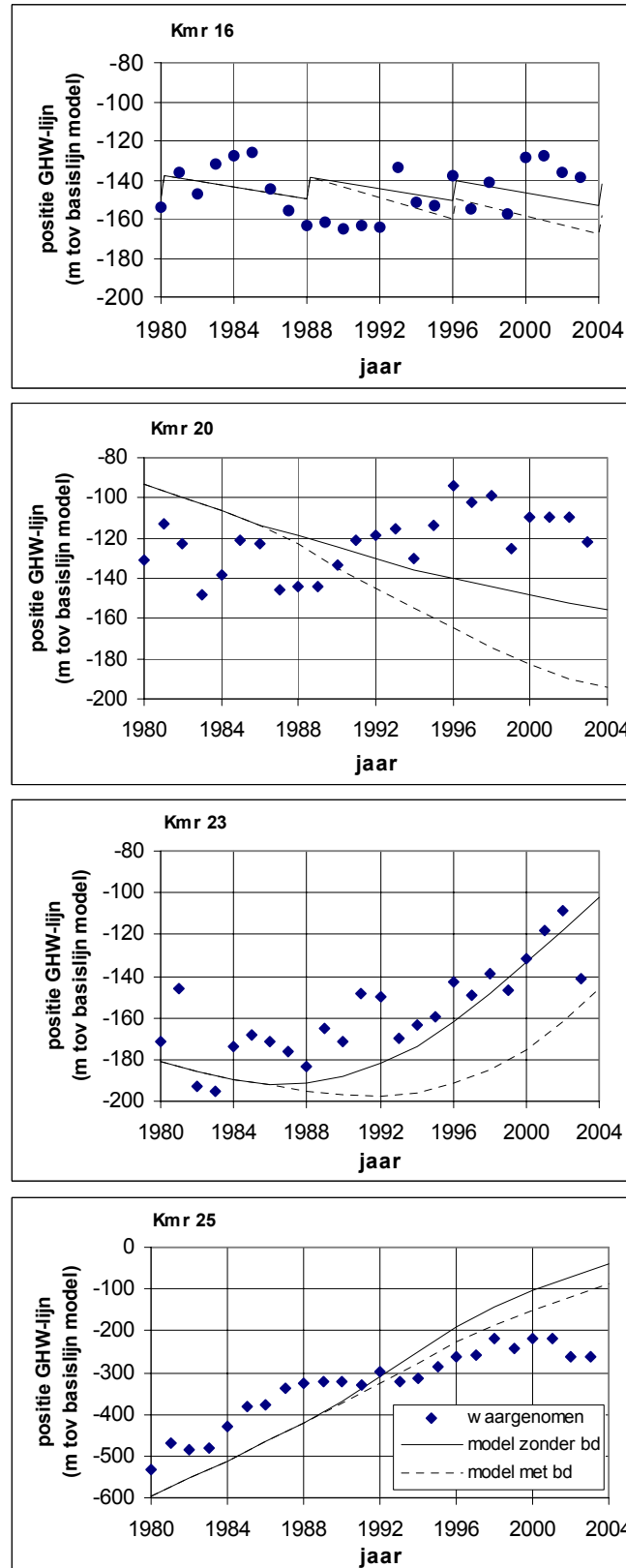
Figuur 4.2
 Waargenomen en
 berekende kustlijn-
 veranderingen van het
 Noordzeestrand van
 Ameland na 1980



Het ziet er naar uit dat de voorspelling van het natuurlijk kustgedrag rond kmr 19 – 22 te veel erosie heeft aangegeven, omdat de invloed van het zeegat en de buitendelta op de kustlijn niet geheel juist konden worden ingeschat. Het grillige verloop van de kustlijnveranderingen tussen kmr 7 en kmr 9 wordt veroorzaakt door het wandelen en met de kust verhelen van platen vanaf het Bornrif. Dit ingewikkelde en discontinue proces kan niet goed in een kustlijnmodel worden gereproduceerd en is ook niet zo relevant voor het gedrag van de rest van de kust. De groeifase van de Noordzeekust van De Hon (kmr 23 – 25) werd tot 2003 wel vrij goed weergegeven, zij het dat de werkelijke groei bij kmr 25 minder was dan voorspeld. In het model loopt de groei nog door tot 2010; in de werkelijkheid lijkt de erosiefase van De Hon te zijn begonnen.

In [figuur 4.3](#) zijn de berekende en de waargenomen kustontwikkeling ter plaatse van de kilometerraaien 16, 20, 23 en 25 rond de NAM-locatie gegeven.

Figuur 4.3
 Berekende en
 waargenomen
 kustontwikkeling t.p.v.
 kmr 16, kmr 20, kmr 23
 en kmr 25



Duidelijk is te zien dat de positie van de GHW-lijn in werkelijkheid een aanzienlijke jaarlijkse fluctuatie vertoont rond een trendlijn. In kmr 16 kan duidelijk het effect op de GHW-lijn worden herkend van de strandsuppleties in 1980 en 1992. Het effect van de vooroeversuppletie in 1998 is met een vertraging van twee jaar in de kustlijnontwikkeling terug te vinden. Deze ontwikkeling vertoont een stabiel karakter en komt eerder overeen met de berekende ontwikkeling zonder bodemdaling.

De ontwikkeling van de kustlijn in kmr 20 vertoont in grote lijn een teruggang die overeenkomt met de berekende teruggang zonder bodemdaling, behalve in de periode 1989 tot 1996. Toen is er een groei opgetreden van circa 40 m in plaats van erosie van circa 20 m. Voor een deel kan dit direct worden toegeschreven aan de strandsuppletie in 1992 (tot aan kmr 20) en voor een deel indirect aan de suppletie van de zeereep in 1990. Een dergelijk effect van de bovendriftse suppleties in het model is niet terug te vinden in de berekende kustlijnontwikkeling.

De waargenomen kustlijnontwikkeling bij kmr 23 verloopt met forse fluctuaties rond een trendlijn. Als de situatie zonder bodemdaling (1980 – 1986) als referentie wordt genomen, dan ligt de trendlijn van de waargenomen ontwikkeling circa 20m te hoog. Bij verschuiving komt de waargenomen ontwikkeling na 1986 tussen de berekende kustontwikkeling met en zonder bodemdaling te liggen, maar met een minder sterke groei dan berekend. De laatste waarneming van 2003 vertoont een aanzienlijke teruggang. Het is mogelijk dat dit wordt veroorzaakt door een jaarlijkse fluctuatie, maar het kan ook een indicatie zijn van de omslag van groei naar erosie.

De kustlijnontwikkeling in kmr 25 vertoont een algemene trend van groei die overeenkomt met de berekende trend. Alleen in de periode 1988 tot 1994 stagneerde de zeewaartse groei in werkelijkheid. In die periode stagneerde ook de groei van De Hon naar het oosten. De oorzaak hiervan moet vermoedelijk worden gezocht in geulontwikkelingen in het zeegat rond de oostpunt van Ameland. In de periode van 1994 tot 1998 herstelde de groei zich weer om daarna weer te stoppen. Sinds het jaar 2000 lijkt de groei te zijn omgeslagen in erosie.

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

4.3. Friesche Zeegat en De Hon

Het Friesche Zeegat is morfologisch een zeer dynamisch gebied, zoals ondermeer uit de [figuren 4.11 t/m 4.14](#) uit de vorige rapportage blijkt. In het Jaarboek Waddenzee van 2002 (RIKZ, 2003) wordt de morfologische ontwikkeling van het Friesche Zeegat in beeld gebracht in Kaart 3.4 door alle lodingskaarten van 1927 t/m 2000 te presenteren (contourlijnen GHW allemaal gelijk). Ook hieruit blijkt de sterke dynamiek in het geulgedrag in het zeegat en de vloedkom. Detailkaartjes van de geulen in het Friesche Zeegat zijn gegeven in [bijlage B](#).

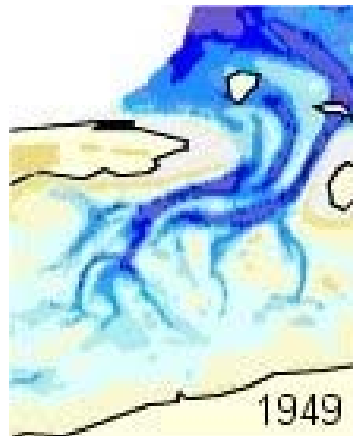
Uit bestudering van deze kaarten in samenhang met het groeien en eroderen van de oostpunt van Ameland ([figuur 4.15](#) uit Eysink et al, 2000) blijkt dat het gedrag van De Hon in sterke mate wordt bepaald door het geulgedrag in de vloedkom van het Pinkegat en in het zeegat. Rond 1910 was De Hon niet meer dan circa 1 km lang vanaf de Oerderduinen. Daarna voltrok zich, mogelijk mede door de aanleg van de Kooioerdstuifdijk in de periode 1880-1893, een sterke groei naar het oosten. De peilkaart uit 1927 toont dat de hoofdgeulen op het wad min of meer van west naar oost lopen en pas op grote afstand van De Hon naar het noorden afbuigen. De afstroming van het water naar zee vormt hierdoor een minimale hinder voor de groei van De Hon. Ook zijn er geen vloedscharen aan de Noordzeezijde van De Hon, waardoor ook de vloedstroom geen aanval op De Hon doet. De omstandigheden voor groei zijn dus optimaal.

Pinkegat 1927



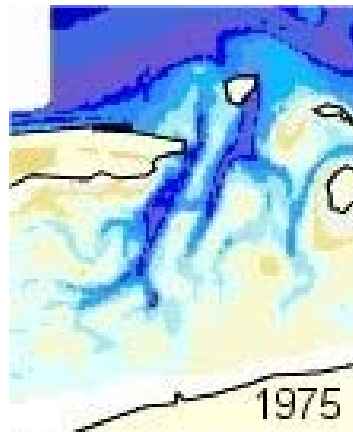
Rond 1940 - 1950 had De Hon een maximale uitbreiding naar het oosten. De peilkaart uit 1949 laat zien dat de hoofdgeul op het wad zich in tweeën heeft gesplitst en dat de noordelijke tak dicht onder Ameland is komen te liggen. Ook is de geul iets meer linksom gedraaid. Daarnaast is de grote geul Pinkegat opgesplitst in drie geulen, waarvan de meest westelijke dicht bij De Hon is komen te liggen. Met deze geulontwikkeling is de aanval op De Hon ingezet.

Pinkegat 1949



In 1958 is de noordelijke geul in de Waddenzee nog verder linksom gedraaid en heeft zich een nog westelijker liggende geul in het zeegat ontwikkeld. Door deze geulontwikkelingen nam De Hon vervolgens tot 1975 - 1980 weer af tot een minimum. In 1975 lag de Holwerderbalg maximaal linksom gedraaid.

Pinkegat 1975



In 1979 was de Holwerderbalg al weer een stuk teruggedraaid, maar had zich aan de noordzijde van De Hon een vloedsgaar ontwikkeld die de groei van De Hon nog tegenhield. In die fase had De Hon een lengte van circa 3 km.

Pinkegat 1979



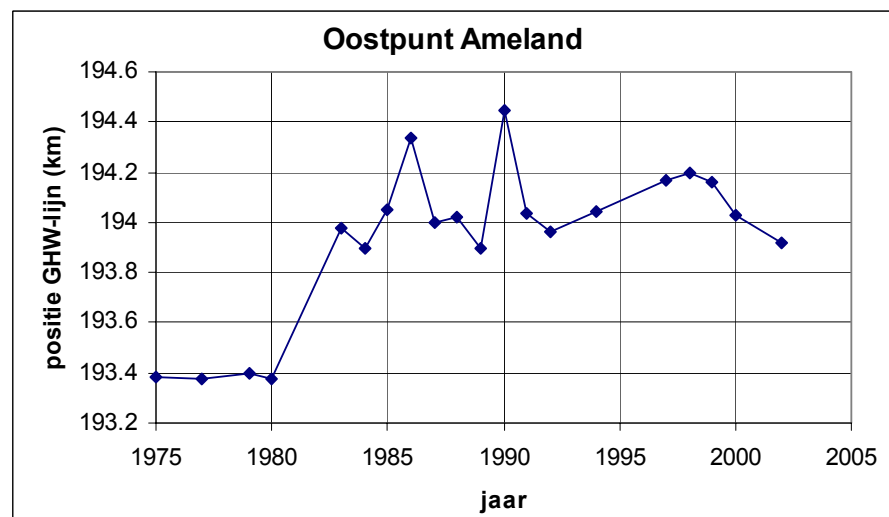
In 1982 was de omvang van de vloedsgaar afgenomen en werden de condities langzamerhand weer gunstig voor groei van de oostpunt van Ameland.

Pinkegat 1982



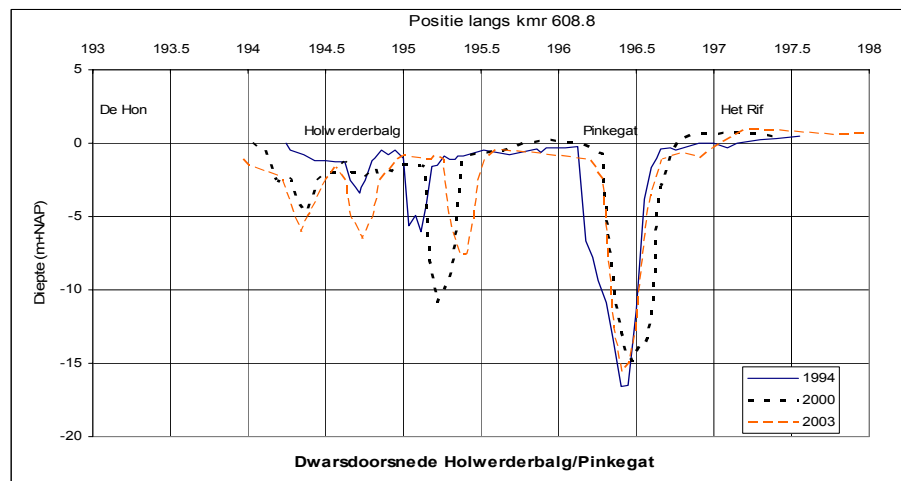
Vanaf ongeveer 1985 stagneerde de groei ([figuur 4.4](#)) door de ontwikkeling van een secundaire geul net ten oosten van De Hon ([bijlage C](#)).

Figuur 4.4
West-oost-migratie van
de oostpunt van
Ameland (toename =
groei)



Gebaseerd op een geïdealiseerd cyclisch geulgedrag in het Friesche Zeegat met een periode van 70 à 75 jaar werd vanaf 1980 een groei van De Hon in noordelijke en oostelijke richting verwacht tot 2010. Verwacht werd een groei van meer dan 2 km (zelfde positie als in 1940) en mogelijk zelfs 4 km verminderd met een reductie van circa 375 m als gevolg van zandverlies door de bodemdaling in de Waddenzee (Eysink et al, 1987). De werkelijke groei sinds 1980 was tot nu toe slechts in de orde van 0,6 à 1 km en het ziet er naar uit dat de erosiefase van de oostpunt van De Hon rond 2000 al is begonnen. De ontwikkeling is ingezet door de geulontwikkelingen aan de wadzijde van het zeegat. Momenteel is de aanval op de oostpunt van Ameland in volle gang, zoals vooral blijkt uit de geulontwikkeling in het zeegat ([bijlage C](#) en [figuur 4.5](#)). Deze laatste toont een forse verschuiving van de laagwaterlijn naar het westen.

Figuur 4.5
Ontwikkelingen in het
zeegat Holwerderbalg/
Pinkegat in de periode
1994 - 2003



In 1987 was de Holwerderbalg aansluitend op het Pinkegat bijna van west naar oost georiënteerd en stroomde het meeste water via het diepe Pinkegat af naar zee.

Pinkegat 1987



Van 1987 tot 1994 ontwikkelen de vertakkingen van de Holwerderbalg op het wad zich zodanig dat steeds meer water via de secundaire geul tussen Pinkegat en De Hon gaat afstromen naar zee.

Pinkegat 1994



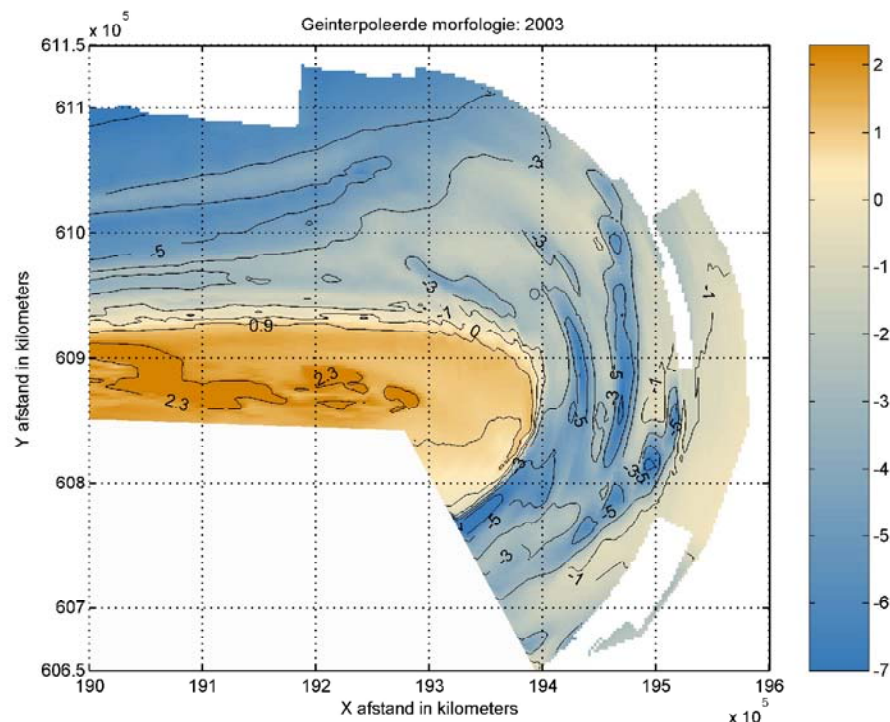
Het Pinkegat migreerde tot circa 2000 steeds verder naar het oosten. Vanaf 1994 tot 2003 nam het Pinkegat langzaam in omvang af, terwijl de Holwerderbalg zich steeds verder gaat ontwikkelen. In 2000 is het Pinkegat sinds 1994 nog circa 140 m verder naar het oosten verschoven en nog wat in omvang afgenomen (zie [figuur 4.5](#)). De zeewaartse kant is verder naar het oosten gedraaid en wijst dan recht naar het noorden. In 2003 is de positie van het Pinkegat ter hoogte van kmr 608,8 niet verder naar het oosten gemigreerd, maar is de geul wel in grootte afgenomen. De secundaire geul (Holwerderbalg) heeft zich in de periode 1994-2003 sterk ontwikkeld tot een brede en lokaal diepe geul ([figuur 4.5](#) en [bijlage C](#)). De hoofdgeul is in die periode duidelijk naar het oosten verschoven en eerst in grootte gegroeid en daarna weer afgenomen. Tegelijkertijd is eerst tot 2000 ook de secundaire geul in de Holwerderbalg toegenomen en naar het westen verplaatst.

Pinkegat 2000



In 2003 was het nieuwe zeegat verder verbreed en had drie geulen. Ook uit de aantakking van de wadgeulen blijkt dat er meer water door de westelijke geul stroomt; het water van de Holwerderbalg stroomt nu vrijwel volledig via deze geul naar buiten.

Pinkegat 2003



De diepe tak, die tegen de plaat aan de zuidoost zijde van De Hon ligt, is tussen 1994 en 2003 verder linksom geroteerd door het oostwaarts migreren van de waddegeul en het westwaarts verplaatsen van het deel in het zeegat ([bijlage C](#)). Als gevolg hiervan was de GLW-lijn van De Hon in het zeegat in 2000 circa 300 m naar het westen verschoven en in 2003 nog eens circa 150 m ([figuur 4.5](#)). De GLW-lijn van De Hon is tot 2000 aan de Noordzeekant westelijk van kmp. 193,5 (kmp. 25,6) niet noemenswaardig veranderd. In de periode 2000-2003 vond daar echter ook erosie plaats tussen kmp. 191,2 en 193,2 (kmp. 23,5-25,5). De maximum regressie van de GLW-lijn lag rond kmp. 25 en bedroeg circa 70 m.

Met de rotatie van de noordwestelijke hoofdtak van de Holwerderbalg in de Waddenzee zijn ook de kleinere geulen op het wad onder De Hon tussen 1994 en 2000 naar het oosten gemigreerd en zijn bovendien in omvang afgenomen. De NAP-lijn onder De Hon is in die periode gemiddeld tussen de 50 en 100 m naar het noorden verschoven. Van het gedrag van de NAP-lijn na 2000 is niets bekend.

Na 1998 is door de Begeleidingscommissie besloten dat er geen waterpassing van de kwelder op De Hon meer nodig was. Omdat de zuidkant van De Hon ook niet in een routineprogramma van RWS is opgenomen, ontbreken hierdoor recente meetgegevens over het gedrag van de GHW-lijn van de kwelder. De enige beschikbare informatie bestond uit visuele waarnemingen van de heer Dijkema van Alterra (2004). De afgelopen jaren was hem aan de oostzijde van de Oerderduinen, ter hoogte van raai VIII, kliferosie opgevallen. Nog iets oostelijker, halverwege raai VIII en IX, gaat deze erosie vrij abrupt over in een stabiel deel van De Hon. Daar ligt een brede pionierzone en een zich al vanaf 1986 prachtig ontwikkelende kwelder met nieuwe kreken, oeverwallen en kommen.

Indien de ontwikkeling van de oostpunt van Ameland zich inderdaad cyclisch gedraagt, zoals bij de voorspelling in 1987 is aangenomen, dan zou vanaf omstreeks 2010 de groei van de oostpunt van Ameland kunnen omslaan in afslag. Het ziet er echter naar uit dat dit proces al is begonnen.

Uit het onderzoek is gebleken dat groei en erosie van De Hon voornamelijk wordt gedictieerd door het geulgedrag in en rond het zeegat. De sturende parameter lijkt de ontwikkeling van de Holwerderbalg in de vloedkom te zijn. Die wordt hoofdzakelijk bepaald door meanderprocessen (erosie in buitenbocht en sedimentatie in binnenbocht) die worden gestuurd door spiraalstroming in een geulbocht. Daar het effect van bodemdaling op de stroomsnelheden in een geul marginaal of zelfs verwaarloosbaar is, zal het geulgedrag niet merkbaar door het geleidelijk verlopende bodemdalingsproces zijn beïnvloed. De bodemdaling zal daarom redelijkerwijs ook geen merkbare invloed hebben gehad op de groei van De Hon. De groei en erosie wordt door een complex proces gestuurd, waardoor er kennelijk geen harde periode voor deze cyclus bestaat.

Het verwachte erosieproces van De Hon in de komende jaren zal dan ook niet of nauwelijks door de nog komende extra bodemdaling worden beïnvloed, ook al omdat het grootste deel van de bodemdaling door gaswinning al heeft plaatsgevonden in de groeifase van de oostpunt van Ameland.

4.4. Waddenzee

Compensatie bodemdaling door sedimentatie

In het vorige rapport is aangetoond dat het onmogelijk is om compensatie van de bodemdalingsschotel in de Waddenzee door sedimentatie aan te tonen. Lokaal lukt dit zeker niet door de grote variaties in bodemniveau als gevolg van de grote dynamiek in het waddensysteem (zie plaatjes van het Pinkegat). Ook als op een hoger integratieniveau wordt gekeken (volumina), dan blijkt dat de onnauwkeurigheid van het loden (orde 0,1 m) in het totale volume van de vloedkom zo groot is, dat de fout in het verschilvolume van dezelfde orde van grootte is als het bodemdalingsvolume ([figuur 4.18](#) in Eysink et al, 2000). Hierdoor is het onmogelijk om via peilkaarten een betrouwbare schatting te maken van de verwachte compensatie door sedimentatie; de bodemdaling is hiervoor veel te gering. Deze conclusie wordt indirect ondersteund door gegevens van de vloedkom van het Pinkegat in Tabel B.1.4.1 in RIKZ (2004). Daaruit blijkt dat het totale volume van de vloedkom tussen 1987 en 1999 met 212.257 m³ zou zijn afgenomen, ondanks de bodemdaling in die periode die een verruiming van 2 à 2,5 miljoen m³ heeft gegeven. Dit suggereert een overcompensatie van de bodemdaling, wat onlogisch is. De volumevermindering komt overeen met een gemiddelde verondieping van de vloedkom van slechts 4 mm, hetgeen ver binnen de onbetrouwbaarheidsmarge van het loden ligt.

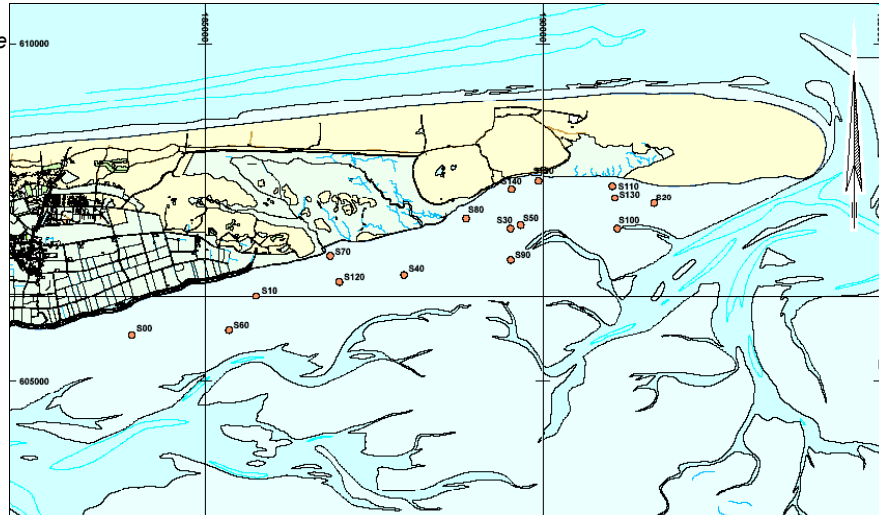
Het belangrijkste waddengebied dat door bodemdaling zal verlagen ligt op het Pinkewad direct onder de Hon, de Oerderduinen en het Nieuwlandsrijd. Omdat de platen minder dynamisch zijn dan de geulen en plaatranden, hebben de meetdienst van RWS en de NAM samen geprobeerd om hoogteveranderingen van deze platen via waterpassen en GPS-metingen te meten. Op deze wijze werd gepoogd een betrouwbaar verloop van de plaathoogte te meten. Vergelijking van dit verloop met de uit de nauwkeurigheidswaterpassingen op het eiland herleide bodemdaling zou dan een indruk van de compensatie door sedimentatie kunnen geven. In de praktijk bleek de nauwkeurigheid van de metingen echter in de orde van 1 tot 2 cm te liggen. Dit is evenveel of meer dan de jaarlijkse daling in het gebied. Ook deze methode bleek dus niet bruikbaar om compensatie door sedimentatie aan te tonen.

Fluctuaties in de hoogte van de Wadplaten

In augustus 2000 is het Natuurcentrum Ameland gestart met het meten van veranderingen in het plaatniveau van het Pinkewad onder Ameland-Oost door sedimentatie of erosie (Kersten, 2003). Daartoe zijn initieel vijf meetpunten op de wadplaten aangebracht in het gebied dat door de bodemdaling wordt beïnvloed. Eén van deze punten (S00) was min of meer

bedoeld als referentiepunt voor het ongestoorde wad en is ter hoogte van het uitwateringssluisje van de polder Buurdergrie aangebracht, waar de uiteindelijk verwachte bodemdaling door gaswinning minder dan 2 cm zal bedragen. De andere punten lagen ten zuiden van de Kooigrie/Kooiduinen, het Nieuwlandsrijd, het Oerd en de Hon. Alle punten lagen op een afstand van circa 1 km uit de kust. Later is het meetnet in dit gebied in stappen uitgebreid tot 14 punten ([figuur 4.6](#)).

*Figuur 4.6
Sedimentatiemeetpunten
op de platen van het
Pinkewad*



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

In 2001 is besloten om op circa 10 m afstand ten noorden van de meetlocaties een duplolocatie in te richten om de kans op hiaten in een meetreeks door verlies van meetpunten tengevolge van menselijke activiteiten (visserij, vandalisme) of natuurlijke oorzaken (storm, ijsgang) te verkleinen. Later is het meetnet nog verder uitgebreid. De meetlocaties zijn weergegeven in [figuur 4.6](#) en de gegevens van alle meetlocaties staan in [tabel 4.2](#).

Tabel 4.2
Geografische
coördinaten (WGS84),
inrichtingsdatum en
hoogteligging van
sedimentatie/erosie-
meetlocaties onder
Ameland-Oost.

Meetpunt	Datum van aanleg	53° Noord minuten	5° Oost minuten	Initiele hoogte (m + NAP)
S00	8-8-2000	26.197	49.336	-0.37
S10	8-8-2000	26.505	50.998	-0.01
S20	11-8-2000	27.218	56.329	+0.14
S30	11-8-2000	27.026	54.404	-0.07
S40	11-8-2000	26.665	52.978	-0.30
S50	6-3-2001	27.051	54.543	+0.04
S60	27-3-2002	26.233	50.635	-0.32
S70	27-3-2002	26.820	51.996	+0.08
S80	27-3-2002	27.108	53.813	+0.10
S90	27-3-2002	26.778	54.408	-0.75
S100	27-3-2002	27.018	55.831	-0.79
S110	27-3-2002	27.360	55.771	+0.30
S120	20-3-2003	26.613	52.115	-0.03
S130	20-3-2003	27.262	55.805	+0.04
S140	1-3-2004	27.410	54.455	+0.36
S150	1-3-2004	27.475	54.814	+0.24

De resultaten van de metingen op de locaties S00 t/m S130 (voldoend lange meetreeks) zijn geanalyseerd en besproken in Kersten (2003). De resultaten van alle metingen zijn besproken in het Addendum van het Natuurcentrum Ameland. De resultaten vormen een interessante aanvulling op de overige morfologische gegevens. Hier zijn de belangrijkste resultaten van dat onderzoek gepresenteerd en besproken.

Uit de metingen blijkt in het algemeen dat de platen op het Pinkewad in hoogte willen toenemen met af en toe een terugval door erosie (figuur 4.7 punten S00 en S130). De gemiddelde toename in de plaathoogte ligt in de orde van 0,5 tot 2 cm/jaar in de punten met een meetreeks van meer dan twee jaar. In de punten met een meetreeks korter dan twee jaar (punten S120-S150) worden waarden gevonden variërend van 3 cm/jaar tot 7 cm/jaar (tabel 4.3). Deze groei door sedimentatie lijkt tamelijk gelijkmatig te gebeuren. De grootste toename door sedimentatie vond plaats in de punten onder het Oerd en Nieuwlandsrijd. In de winter van 2001/2002 werd in alle bemonsterde punten een terugval in de sedimentatie waargenomen. In punt S10 onder het Oerd (terugval ca. 4,5 cm) werd dit in november 2001 veroorzaakt door kokkelvisserij, waarna snel herstel van de erosie plaatsvond. In punt S40 onder Nieuwlandsrijd werd eenzelfde beeld gevonden (terugval ca. 4 cm) dat vermoedelijk ook door kokkelvisserij is veroorzaakt. In de andere punten was de tijdelijke teruggang veel minder (orde 1,5 cm) en werd mogelijk veroorzaakt door stormen. Dit kan wijzen op een seizoeninvloed op de sedimentatie op de platen.

De punten S90 en S100 vertonen een afwijkend gedrag (figuur 4.7). In beide punten trad rond november 2002 een trendbreuk op, waarbij sedimentatie veranderde in erosie (S90) of omgekeerd (S100). De oorzaak hiervan is naar alle waarschijnlijkheid de invloed van een geultje dat naar of van het meetpunt af migreert.



Tabel 4.3
Waargenomen
veranderingen van de
plaathoogte op het
Pinkewad onder
Ameland-Oost

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

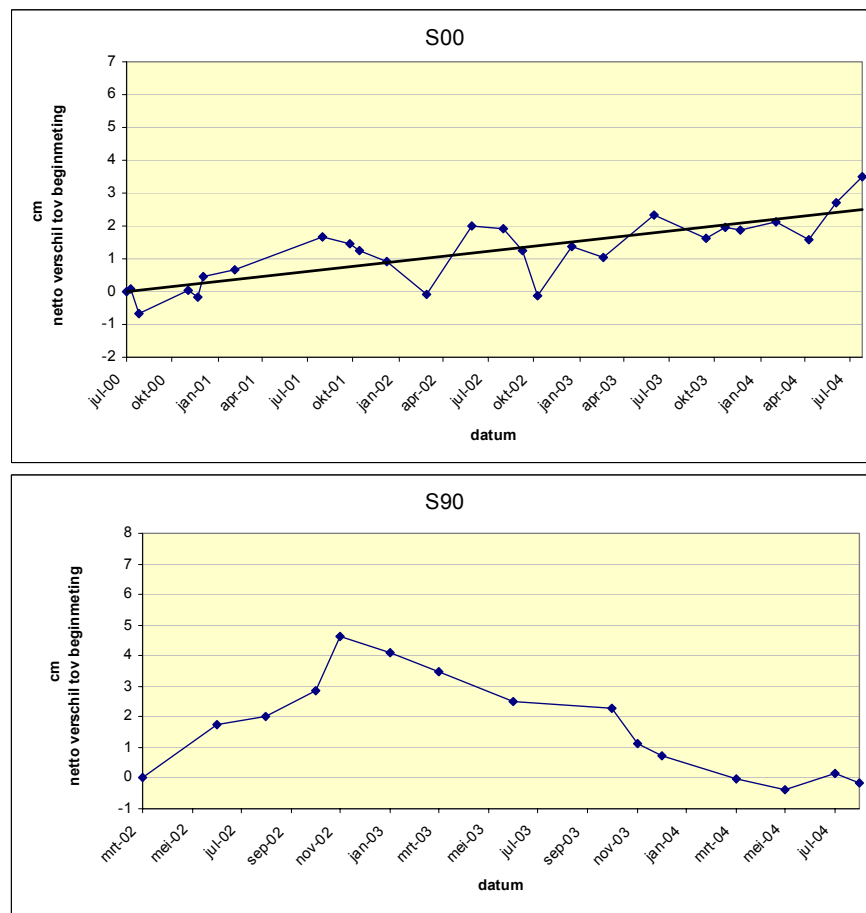
De punten S90 en S100 liggen vlak bij een geul; de erosie is veroorzaakt in de fase dat de geul het meetpunt naderde en de sedimentatie vond plaats bij stabiele of zich verwijderende geul.

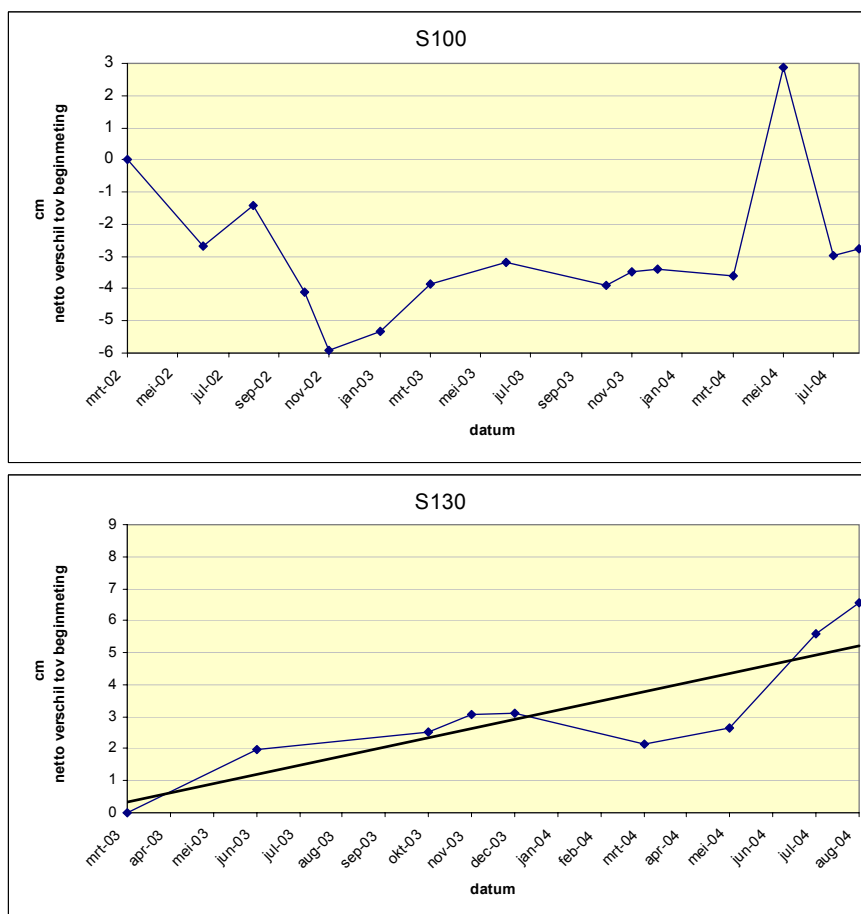
A: gemiddelde hoogteverandering berekend uit de waargenomen hoogteverandering aan het eind van de waarnemingsperiode gedeeld door de lengte van de periode.

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

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

Figuur 4.7
Waargenomen
sedimentatie/erosie op
het Pinkewad door
Natuurcentrum
Ameland (voorbeelden)





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

4.5. Kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon

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

De bodemdaling op Nieuwlandsrijd zal niet leiden tot een afname van het kwelderareaal, omdat de kwelderrand is gefixeerd met een oeververdediging. De belangrijkste invloed is een toename van de frequentie en omvang van overstroming door stormvloed. Voor een deel wordt dit weer gecompenseerd door extra slibafzetting als gevolg van de extra overstromingen.



Dit verschijnsel geldt ook voor de natuurlijke kwelder op De Hon, waar in februari 2004 de bodemdaling door gaswinning varieerde van 29 cm bij de NAM-locatie in het westen tot circa 10 cm op de oostpunt. Dit is ruim 100 respectievelijk 50 procent van de oorspronkelijk (1985) voorspelde bodemdaling.

Hier geldt bovendien dat de bodemdaling tot een afname van de kwelder kan leiden door noordwaartse verschuiving van de GHW-lijn aan de wadkant.

Het resulterend effect van de bodemdaling door gaswinning op de topografie van de kwelders kan dus alleen bepaald worden als ook iets bekend is van de compensatie door aanslibbing. Om hier iets over te weten te komen is in oktober 1988 bij negen geselecteerde pq's op circa 20 cm onder het maaiveld een roestvrij stalen plaat ingegraven. Sindsdien wordt op deze locaties elk jaar met behulp van een prikker het niveau van het maaiveld ten opzichte van deze plaat bepaald ([tabel 4.4](#) en [figuur 3.6](#)). Dit gebeurt door eerst met de prikker de randen van de plaat op te zoeken en vervolgens in het midden van de plaat te meten. In principe geldt de eerste aflezing als basis voor het bepalen van de opslibbing. Door zetting in de uitgegraven grond boven de plaat kan de gemeten opslibbing over het eerste jaar minder betrouwbaar zijn. Dit werd veelal ook bevestigd door de geringere dekking die een jaar later werd gemeten.

Tabel 4.4

Opslibbingswaarnemingen op de kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon

Raai - pq	III-1	III-4	III-7	III-17	III-21	III-23	IX-4	IX-6	IX-8
Maaiveld niveau 1988 (m+NAP)	1.45	1.18	1.45	1.47	1.54	1.82	1.25	1.27	1.35
Maaiveld niveau boven plaat (mm)									
19 okt 1988	195	205	205	238	195	230	190	188	195
18 sept 1989	195	181	209	226	187	222	175	197	195
10 okt 1990	190	195	205	225	190	210	210	208	205
18 sept 1991	184	184	193	202	184	215	218	210	204
14 okt 1992	190	207	201	198	188	215	235	230	205
02 sept 1993	195	200	207	203	200	215	256	242	215
07 sept 1994	220	215	215	177	200	220	265	270	220
13 okt 1995	245	230	220	160	213	210	298	287	227
10 sept 1996	245	225	230	155	215	215	310	295	228
26 sept 1997	248	237	225	155	212	229	318	312	235
16 sept 1998	262	244	240	150	210	227	321	330	232
02 sept 1999	272	258	243	165	205	200	345	328	237
05 okt 2000	292	253	266	145	215	225	343	355	250
05 okt 2001	298	262	267	157	208	210	397	355	250
01 okt 2002	305	267	277	143	217	213	377	368	247
25 sept 2003	327	280	278	123	212	230	410	375	248
01 okt 2004	337	287	287	137	212	218	398	383	252

- Erosie bij plaat IX-4 door naderen van meanderende kwelderkreek in 1989;
- Koeiensporen gemeld bij plaat III-1 en III-7 bij opname in 1990 en bij plaat III-17 in 1992;
- Begroeiing rond pq-paal III-17 sinds 1994 vertrappt, waardoor erosie plaatsvindt in plaats van opslibbing;
- Bodem bij plaat III-17 was in oktober 2001 slikkig (tamelijk verse afzetting), stond in oktober 2002 1 cm en in september 2003 9,5 cm onder water.

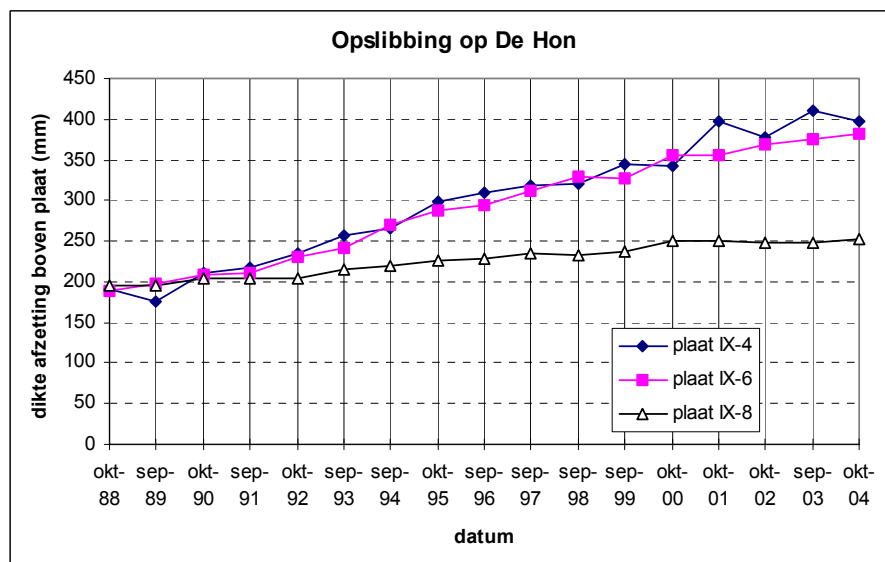
212 = geschatte waarde

Op De Hon verloopt de opslibbing op de drie geselecteerde locaties vanaf 1989 vrij regelmatig ([figuur 4.8](#)), doch op Nieuwlandsrijd is dit in veel mindere mate het geval door het aantrappen van de grond door grazende koeien of lokale erosie door een beschadigde grasmatt. Hierdoor is punt 17 volledig onbetrouwbaar als representatieve opslibbingslocatie ([zie foto](#)) en is in de overige punten het beeld tot september 1991 verstoord ([figuur 4.9](#)).

Beschadigde grasmat
bij PQ III-17



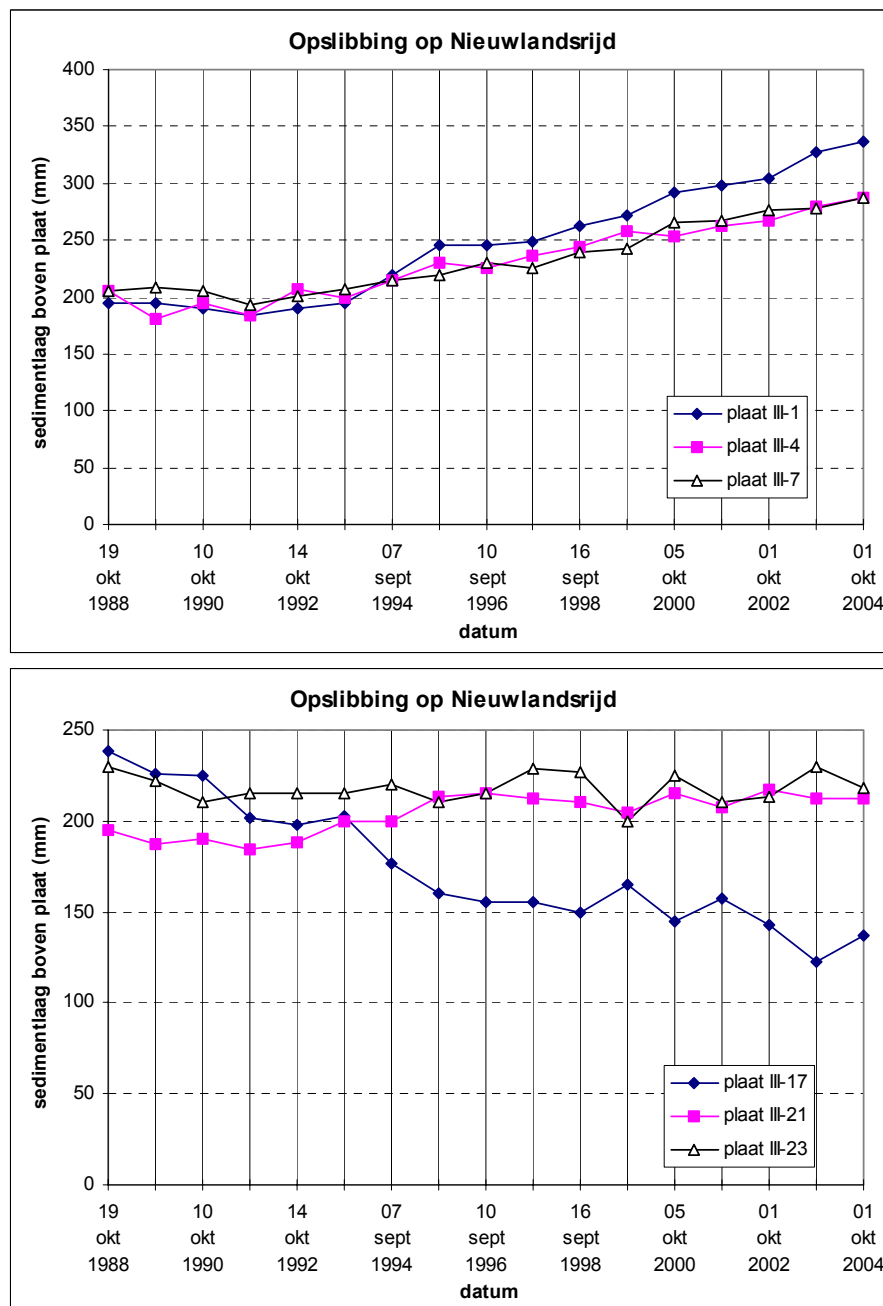
Figuur 4.8
Opslibbingsgegevens
van de kwelder op De
Hon



De punten op De Hon liggen op toenemende afstand van de Waddenzee en op toenemende terreinhoogte. De punten IX-4 en IX-6 liggen vrij dicht bij elkaar op de lage kwelder en hebben ongeveer dezelfde terreinhoogte. Het sedimentatieverloop in deze punten ligt daarom ook dicht bij elkaar met in oktober 2004 een totale opslibbing van 208 mm respectievelijk 195 mm. In 2001 vertoont het sedimentatieverloop in punt IX-4 een sprong, terwijl het verloop in punt IX-6 regelmatig blijft (figuur 4.8). De sedimentatie in het verder van de Waddenzee en hoger gelegen punt IX-8 is duidelijk minder dan in de andere twee punten en stagneert sinds oktober 2000. De totale opslibbing in dat punt bedroeg in september 2004 57 mm. In het lager gelegen punt IX-6 stagneert de sedimentatie in de periode van oktober 2000 tot oktober 2004 niet, maar de sedimentatiesnelheid is wel lager dan in de voorgaande periode. Vermoedelijk speelt hier de lage frequentie van hoge stormvloed in deze periode een rol. In het algemeen blijkt dat de bodemdaling op de kwelder op De Hon wordt gecompenseerd door opslibbing. Op de lage delen van de kwelder vlak bij de Waddenzee is de compensatie gelijk of zelfs iets groter dan de bodemdaling door gaswinning. Hierdoor veroorzaakt de bodemdaling door gaswinning geen regressie van de kwelderrand. In de richting van de hogere delen van de kwelder en verder van de Waddenzee verwijderd neemt de compensatie door opslibbing af, doordat de inundatiefrequentie en -diepte afneemt met het kwelderniveau,

en het slibgehalte in het water door uitzakking afneemt met de afstand tot de zee.

Figuur 4.9
Opslibbingsgegevens
van de kwelder
Nieuwlandsrijd



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

bodemdaling op. Dit neemt af met de afstand tot de Waddenzee en tot de hoofdkreken en met het toenemen van het kwelderniveau.

In een later stadium van de monitoring is Alterra begonnen met het meten van de sedimentatie/erosie op alle PQ's op de kwelders met behulp van de SEB-methode. Dit is gedaan om op elke locatie voor het vegetatieonderzoek betrouwbare sedimentatiegegevens te hebben voor een goede interpretatie van gevonden wijzigingen in de vegetatie. Voor resultaten, die het hiervoor beschreven beeld bevestigen, wordt verwezen naar het addendum van Alterra.

4.6. Kwelderrand Oerd/Oerderduinen

Zie aanvullende rapportage Alterra.

De indruk bestaat dat de erosie van de kwelderrand bij de Oerderduinen wordt veroorzaakt doordat een ondiepe priel die vlak onder de kust loopt. Deze priel dient vermoedelijk als afvoergeultje van water dat uit de Oordersloot stroomt tegen laagwater. Momenteel ligt het wantij van Ameland nog net ten westen van de Oordersloot. Als het wantij nog verder naar het oosten schuift en het de mond van de Oordersloot passeert, zal de Oordersloot niet meer via de Holwerderbalg afwateren, maar via het Borndiep. Verwacht wordt dat dan de oorzaak van de kwelderranderosie bij de Oerderduinen is verdwenen en de erosie zal stoppen. Als het wantij niet verder naar het oosten schijft, blijft het probleem bestaan.

4.7. Duingebieden

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

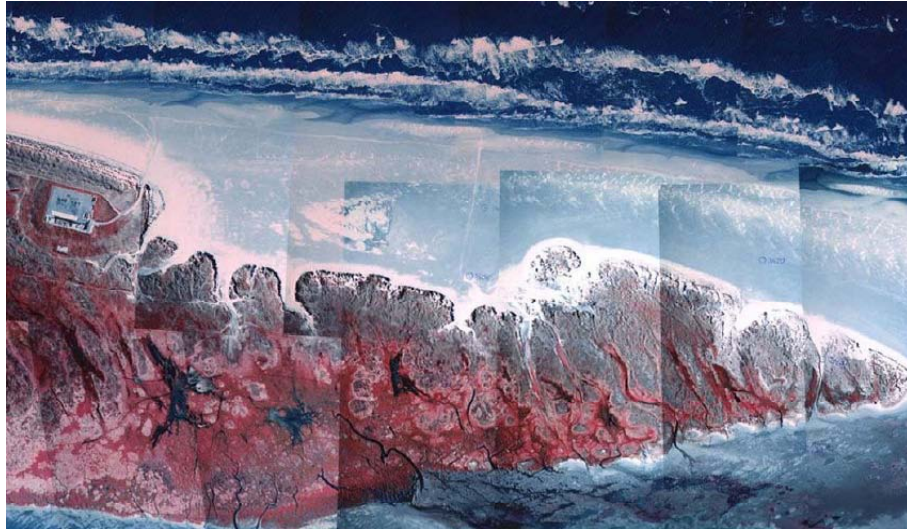
- De zeereep en de jonge duintjes op De Hon zijn relatief zeer dynamisch en de effecten van bodemdaling zijn hier volledig ondergeschikt aan de natuurlijke dynamiek.
- Het vegetatieonderzoek in de duinen is voornamelijk uitgevoerd in de oudere, inactieve duinen met een sterke begroeiing. Hier vindt nauwelijks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

Het zeeniveau stijgt geleidelijk iets ten gevolge van de relatieve zeespiegelstijging (ca. 2 mm/jaar) en de grondwaterstand zal gemiddeld niet dalen. Hierdoor zal de overvloedingsfrequentie en –duur van lage, open duinvalleien toenemen en zullen lage, gesloten duinvalleien natter worden. Deze aspecten zijn nader behandeld door Alterra en het Natuurcentrum Ameland.

4.8. Stormvloedgeulen op Ameland-Oost

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

Stormvloedgeulen ten oosten van de NAM-locatie bij kmr 23



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

Stormvloedgeul iets verder naar het oosten nabij het Baken



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

4.9. Conclusies Morfologie

Noordzeekust

Uit de ontwikkeling van de kustlijn van de Noordzeekust van Ameland sinds 1980 blijkt dat de conclusie is gerechtvaardigd dat de bodemdaling door gaswinning geen merkbare negatieve invloed op de ontwikkeling van de Noordzeekust heeft gehad. Dit werd mede veroorzaakt door het overheidsbeleid tot handhaving van de 1990-kustlijn. De toegepaste gemiddelde (effectieve) kustsuppletie per jaar voor deze handhaving was niet meer dan oorspronkelijk in 1980 was voorzien voor de handhaving van de kust zonder bodemdaling.

Friesche Zeegat en De Hon

Indien de ontwikkeling van de oostpunt van Ameland zich inderdaad cyclisch gedraagt, zoals bij de voorspelling in Eysink et al (1987) is aangenomen, dan zou vanaf circa 2010 de groei van de oostpunt van Ameland kunnen omslaan in afslag. Het ziet er echter naar uit dat dit proces, dat voornamelijk wordt gedicteerd door het geulgedrag in en rond het zeegat, al is begonnen. Daar het effect van bodemdaling op de stroomsnelheden in een geul marginaal of zelfs verwaarloosbaar is, zal het geulgedrag niet merkbaar door het geleidelijk verlopende bodemdalingsproces zijn beïnvloed. De bodemdaling zal daarom redelijkerwijs ook geen merkbare invloed hebben gehad op de groei van De Hon. De groei en erosie wordt door een complex proces gestuurd, waardoor er kennelijk geen harde periode voor deze cyclus bestaat.

Het erosieproces zal niet of nauwelijks door de nog komende extra bodemdaling worden beïnvloed, omdat het grootste deel van de bodemdaling door gaswinning al heeft plaatsgevonden in de groeifase van de oostpunt van Ameland.

Tot 2003 heeft dit erosieproces nog geen grote invloed gehad op het gebied van De Hon boven gemiddeld hoogwater (GHW). Verwacht wordt echter dat in de komende jaren de trend, die zich in 1998-2000 heeft ingezet, zal doorzetten en dat De Hon aan de oostzijde ook boven GHW zal gaan eroderen.

Waddenzee

Het bleek niet mogelijk om via peilkaarten een betrouwbare schatting te maken van de verwachte compensatie door sedimentatie; de bodemdaling is hiervoor veel te gering. Ook de betrouwbaarheid van waterpassing op de platen van het Pinkewad bleek niet voldoende nauwkeurig om een betrouwbare uitspraak te doen over mogelijke compensatie van de bodemdaling door sedimentatie.

Via de meetmethode met in de plaatbodem verankerde meetpunten van het Natuurcentrum Ameland (vergelijkbaar met het principe van de ingegraven opslibbingsplaten op de kwelders) bleek het wel mogelijk goede informatie over het sedimentatie/erosiegedrag van de platen op het Pinkewad te krijgen. De waarnemen tonen een afwisselend beeld van sedimentatie en erosie onder invloed van de seizoenen, geulgedrag en kokkelvisserij. Over een langere periode gemeten blijkt er toch een duidelijke tendens van sedimentatie op te treden, waarvan de gemiddelde snelheid veelal groter is dan die van de bodemdaling. Alleen in een klein gebied met sterke bodemdaling vlak onder de Oerderduinen en De Hon zal gemiddeld geen volledige compensatie zijn opgetreden.

Er kan dus worden geconcludeerd dat het effect van bodemdaling op de platen van het Pinkewad in elk geval grotendeels, maar veelal volledig wordt gecompenseerd door sedimentatie en dat de platen in het algemeen zelfs in hoogte toenemen. Deze sedimentatie past bij de natuurlijke groei van de Hon en de migratie van het wantij, die al sinds ongeveer 1980 plaatsvinden.



In dat beeld moet de huidige sedimentatie worden gezien als een natuurlijk proces dat op plaatsen met bodemdaling door gaswinning enigszins zal zijn versterkt. Dit geeft enige compensatie voor het relatieve hoogteverlies door de bodemdaling. Op termijn zal door de extra sedimentatie de bodemdaling door gaswinning overal volledig worden gecompenseerd.

Kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon

De bodemdaling wordt met name op de lage kwelders in belangrijke mate gecompenseerd door slibafzetting tijdens overfloeding door opwaaiing bij zware stormen. De opslibbing neemt af met de afstand tot de Waddenzee en tot de hoofdkreken en met het toenemen van het kwelderniveau. De opslibbing in het ver van zee en hoog gelegen punt III-23 op Nieuwlandsrijd is nihil. Door vertrapping van de grasmat door koeien bij punt III-17 blijken de metingen daar niet representatief te zijn voor de werkelijke opslibbing rond dat punt.

In een later stadium van de monitoring is Alterra begonnen met het meten van de sedimentatie/erosie op alle PQ's op de kwelders met behulp van de SEB-methode. Dit is gedaan om op elke locatie voor het vegetatieonderzoek betrouwbare sedimentatiegegevens te hebben voor een goede interpretatie van gevonden wijzigingen in de vegetatie. Voor resultaten, die het hiervoor beschreven beeld bevestigen, wordt verwezen naar het addendum van Alterra.

Kwelderrand Oerd/Oerderduinen

De indruk bestaat dat de erosie van de kwelderrand bij de Oerderduinen wordt veroorzaakt doordat een ondiepe priel die vlak onder de kust loopt. Deze priel dient vermoedelijk als afvoergeultje van water dat uit de Oordersloot stroomt tegen laagwater. Momenteel ligt het wantij van Ameland nog net ten westen van de Oordersloot. Het wantij schuift echter nog steeds verder naar het oosten. Zodra het de mond van de Oordersloot is gepasseerd, zal de Oordersloot niet meer via de Holwerderbalg afwateren, maar via het Borndiep. Verwacht wordt dat dan de oorzaak van de kwelderranderosie bij de Oerderduinen is verdwenen en de erosie zal stoppen.

Duingebieden

De conclusies uit het vorige rapport blijven onverminderd van kracht, i.e.:

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

Het zeeniveau stijgt geleidelijk iets ten gevolge van de relatieve zeespiegelstijging (ca. 2 mm/jaar) en de grondwaterstand zal gemiddeld niet dalen. Hierdoor zal de overloedingsfrequentie en –duur van lage, open duinvalleien toenemen en zullen lage, gesloten duinvalleien natter worden.

Stormvloedgeulen

Er is tot nu toe, nu de bodemdaling haar verwachte maximum dicht is genaderd, nog steeds geen teken te zien van enige uitschuring van de stormvloedgeulen op De Hon die tot een toename van deze geulen heeft geleid. Ook in de toekomst wordt dit niet verwacht.

5. Effecten op economisch gebruik

5.1. Kwelder Nieuwlandsrijd

Lopende het monitoringsonderzoek heeft de NAM in 1998 de verwachte economische schade van De Vennoot op Nieuwlandsrijd afgeruild, middels forse ondersteuning van de vernieuwing van de kwelderrand. Om die reden is verder onderzoek naar dit aspect gestopt.

5.2. Polder Buurdergrie (Zwartwoude)

Zoals beschreven in de voorgaande rapportage (Eysink et al, 2000) kan door de bodemdaling de grondwaterspiegel in het oosten van de polder Buurdergrie, in het gebied Zwartwoude, dicht bij het maaiveld komen te liggen, waardoor de grasopbrengst van de weilanden minder kan worden. Tevens kan dit leiden tot een frequentere inundatie van deze weilanden door opwaaing in de dijksloot tijdens stormen uit het westen.

Gebaseerd op de bevindingen van De Boer en Eysink (1993) voor een bodemdaling van 10 cm kunnen de effecten voor 2004 op basis van de werkelijke bodemdaling via lineaire interpolatie worden geschat. De resultaten zijn gegeven in [tabel 5.1](#).

Tabel 5.1
Verskil in
gewasopbrengst bij een
bodemdaling van 10
cm

Maaiveld (m + NAP)	Schade (%) door wateroverlast		Schade (%) door droogte	
	zavel	klei	zavel	klei
van 1,60 naar 1,50	0,0	0,0	-1,2	-1,1
van 1,50 naar 1,40	1,5	1,6	-0,5	-1,0
van 1,40 naar 1,30	1,4	1,6	-0,9	-2,0
van 1,30 naar 1,20	2,4	2,6	-0,7	-2,0
van 1,20 naar 1,10	7,2	8,5	-0,3	-0,6

Uit de tabel blijkt duidelijk dat in het algemeen de verhoging van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld in natte tijden leidt tot een afname van de grasopbrengst en in droge tijden tot een toename.

Uit registraties van het verloop van de waterstand in de dijksloot bij Zwartwoude in de periode 1986-1989 zijn de kansen van overschrijding van een bepaald peil in de dijksloot bepaald (De Boer en Eysink, 1993). Het bleek dat een peil boven NAP + 1,10 m slechts zeer zelden buiten het winterseizoen wordt overschreden en een peil van NAP + 1,20 m helemaal niet. Hoge waterstanden in de dijksloot treden hoofdzakelijk in het winterseizoen (november – maart) op. Uit de metingen zijn de volgende overschrijdingsfrequenties bepaald:

Tabel 5.2
Kans dat de waterstand
in de dijksloot bij
Zwartwoude een
bepaald peil
overschrijdt.

Peil (m + NAP)	Kans van overschrijding (dagen/jaar)	
	april - oktober	november - maart
1.10	0,006	7,1
1.15	0,0004	4,5
1.20	-	2,8
1.25	-	1,6
1.30	-	0,94
1.35	-	0,53
1.40	-	0,29

De werkelijke bodemdaling in de polder Buurdergrie varieerde in 2004 van circa 1 cm bij Buren tot maximaal 3 tot 3,5 cm in de uiterste oostpunt van de polder. Voor het gebied Zwartwoude lag de bodemdaling in 2004 tussen 2 en 3,5 cm. Het uitwateringssluisje ondervindt dezelfde zakking als Buuren,

waardoor de gemiddelde waterstand in de dijksloot in 2004 rond 1 cm met de bodemdaling is meegezakt. Het effect van de bodemdaling op de relatieve stijging van het grondwater in Zwartwoude in 2004 ligt daardoor tussen 1 en 2,5 cm. Hierdoor bleef het effect van de bodemdaling op de grasopbrengst in 2004 op de hogere delen van het gebied (1,40 m en hoger boven NAP in 1986) nog ruim binnen een procent (geen merkbare invloed). In natte tijden is er theoretisch een klein verlies aan grasopbrengst en in droge tijden is er theoretisch een kleine meeropbrengst. Voor een smalle strook laag gebied langs de Dijksloot met een oorspronkelijk niveau van 1,3 m boven NAP in 1986 was er in 2004 een theoretische schade van 0,25 tot 0,65 % in natte periodes en een extra opbrengst van 0,1 tot 0,5 % in droge periodes. Ook deze invloed ligt binnen 1 % en zal in zijn totaliteit niet merkbaar zijn geweest.

De kans op inundatie van lage delen van Zwartwoude in de winter is in 2004 in absolute zin nog maar weinig toegenomen. De kans van overschrijding van een niveau van NAP + 1,30 m (oorspronkelijk) is in Zwartwoude gemiddeld toegenomen van circa 1 dag per winterperiode tot circa 1,25 dag per winterperiode in 2004. Op een niveau van NAP + 1,35 m zijn deze getallen nog een factor 2 lager en op een oorspronkelijk polderniveau van NAP + 1,40 m zijn ze een factor 3 lager. De mate van inundatie van de lage weilanden zal in het algemeen gering zijn en slechts incidenteel meer dan 5 of 10 cm bedragen tijdens extreme stormen uit het westen met veel regenval. De inundatiediepte was door de bodemdaling maximaal 1 cm (westzijde van Zwartwoude) tot 2,5 cm (oostzijde) groter dan zonder bodemdaling.

5.3. Drinkwaterwinning Buurderduinen

In de laatste rapportage (Eysink et al, 2000) is geconcludeerd dat de bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost niet zal leiden tot problemen bij de drinkwaterwinning in de Buurderduinen. Om deze reden is ook naar dat aspect geen verder onderzoek meer uitgevoerd.

Nieuwlandsrijd

Lopende het monitoringsonderzoek heeft de NAM in 1998 de verwachte economische schade van De Vennoot op Nieuwlandsrijd afgeruild, middels forse ondersteuning van de vernieuwing van de kwelderrand. Om die reden is verder onderzoek naar dit aspect gestopt.

Buurdergrie (Zwartwoude)

De eventuele economische schade als gevolg van bodemdaling door gaswinning in de polder Buurdergrie, met name in het lage deel in Zwartwoude in het oostelijk deel van de polder, is zeer gering. De effecten op de grasopbrengst op de hogere delen van de polder (hoger dan 1,4 m boven NAP in 1986) zijn zowel in natteperiodes (schade) als in droge periode (meeropbrengst) kleiner dan 0,5 %. De invloed zal in zijn totaliteit niet merkbaar zijn geweest. In de lagere delen van de polder (slechts een gering deel van de polder) zal de schade in natte periodes lokaal kunnen oplopen tot maximaal 0,65 % en de meeropbrengst in droge periodes tot rond de 0,5 %. Ook de invloed in dit gebied zal in zijn totaliteit niet merkbaar zijn geweest.

De inundatiediepte op de lage weilanden in Zwartwoude was in 2004 door de bodemdaling maximaal 1 cm (westzijde) tot 2,5 cm (oostzijde) groter dan zonder bodemdaling. De kans van overschrijding van een niveau van NAP + 1,30 m (oorspronkelijk) is in Zwartwoude gemiddeld toegenomen van circa 1 dag per winterperiode tot circa 1,25 dag per winterperiode in 2004. Op een niveau van NAP + 1,35 m zijn deze getallen nog een factor 2 lager en op een oorspronkelijk polderniveau van NAP + 1,40 m zijn ze een factor 3 lager.

**Drinkwaterwinning Buurderduinen**

In de laatste rapportage (Eysink et al, 2000) is geconcludeerd dat de bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost niet zal leiden tot problemen bij de drinkwaterwinning in de Buurderduinen. Om deze reden is ook naar dat aspect geen verder onderzoek meer uitgevoerd.



Referenties

Boer, S. en W.D. Eysink, (1993). Bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost, Effecten op overstromingsfrequentie en grasopbrengsten voor polder Buurdergrie, WL, rapport H114, februari 1993.

Dijkema, K.S., (2004). Mededelingen per email d.d. 7 oktober 2004.

Eysink, W.D., R. Reinalda, J. Kollen en medewerkers RIN, (1987). Gaswinning op Ameland-Oost, Effecten van de bodemdaling, WL | Delft Hydraulics / RIN, rapport H114, april 1987.

Eysink, W.D., N. Dankers, K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, C.J. Smit, en J. de Vlas, (1995). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost, Eerste evaluatie na 8 jaar gaswinning, WL / DLO-IBN, Interimrapport H841, januari 1995.

Eysink, W.D., 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, (2000). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost, Eerste evaluatie na 13 jaar gaswinning, WL | Delft Hydraulics / Alterra, Rapport H841, maart 2000.

Kersten, M., (2003). Effecten van sedimentatie en erosie op de hoogteligging van het wad onder Oost-Ameland, Tussentijdse rapportage tot en met maart 2003, Natuurcentrum Ameland, juni 2003.

RIKZ, (2003). Jaarboek Waddenzee 2002, Kennis gebundeld door overheden, Publicatie RWS directie Noord, Werkgroep Kennisbeheer Waddenzee, Leeuwarden, november 2003.

RIKZ, (2004). Bodemdalingstudie Waddenzee 2004. Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd, Directoraat-Generaal RWS, Rapport RIKZ/2004.025, 14 juni 2004.



Bijlage A Neerslag en verdamping Ameland 1999-2003

Neerslag en
verdamping Ameland
1999-2001 en langjarig
gemiddelde.

Nes (Ameland)

Neerslagsommen in millimeters

periode	1951-1980			
	decade 1	decade 2	decade 3	maand
jan	22.7	20.7	21.2	64.6
feb	17.1	16.4	10.4	43.9
mrt	10.4	15.3	18.5	44.2
apr	17.7	15.8	13.0	46.5
mei	14.6	17.1	14.7	46.4
jun	17.1	18.1	22.3	57.5
jul	22.4	27.9	30.6	80.9
aug	25.6	26.4	32.1	84.1
sep	23.4	26.2	23.2	72.8
okt	27.5	23.6	28.9	80.0
nov	33.3	29.9	26.9	90.1
dec	29.8	27.5	25.6	82.9
totaal				793.9

1999			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
29.6	32.0	13.5	75.1
24.8	21.4	15.7	61.9
30.2	20.3	24.9	75.4
17.9	19.0	7.8	44.7
17.4	4.3	14.0	35.7
55.7	0.3	29.1	85.1
30.5	1.2	9.9	41.6
17.9	70.9	13.7	102.5
0.3	21.2	46.6	68.1
68.2	0.0	12.1	80.3
14.4	38.3	34.8	87.5
79.3	68.7	48.0	196.0
			953.9

2000			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
23.4	1.2	29.8	54.4
22.6	35.7	8.7	67.0
49.5	11.2	7.6	68.3
8.8	20.9	8.8	38.5
4.3	35.1	63.5	102.9
15.1	4.6	18.9	38.6
57.7	19.6	1.2	78.5
14.3	10.2	106.8	131.3
30.5	17.2	71.9	119.6
30.2	58.8	74.4	163.4
51.7	26.8	29.1	107.6
23.5	66.7	18.9	109.1
			1079.2

2001			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
34.5	5.5	20.3	60.3
53.5	6.0	9.9	69.4
19.1	34.1	11.6	64.8
23.5	44.3	9.9	77.7
14.1	40.1	16.2	70.4
19.6	23.9	0.5	44.0
0.0	47.0	4.2	51.2
83.7	34.8	19.0	137.5
57.6	69.7	45.1	172.4
45.2	17.1	26.3	88.6
60.9	21.1	38.5	120.5
50.0	5.7	70.1	125.8
			1082.6



Neerslag en
verdamping Ameland
1999-2001 en langjarig
gemiddelde.

Lauwersoog (tenzij anders vermeld)

Verdamping in millimeters (Makkink)

periode	1965-1985 Den Helder			maand
	decade 1	decade 2	decade 3	
jan	2.0	3.0	3.0	8.0
feb	5.0	5.0	6.0	16.0
mrt	9.0	11.0	15.0	35.0
apr	15.0	20.0	22.0	57.0
mei	24.0	30.0	32.0	86.0
jun	33.0	33.0	32.0	98.0
jul	34.0	31.0	32.0	97.0
aug	29.0	28.0	27.0	84.0
sep	21.0	17.0	14.0	52.0
okt	11.0	9.0	8.0	28.0
nov	5.0	4.0	3.0	12.0
dec	2.0	2.0	2.0	6.0
totaal				579.0

2000				maand
decade 1	decade 2	decade 3		
2.3	2.2	3.6		8.1
4.1	6.0	7.7		17.8
7.7	8.7	10.7		27.1
18.1	18.3	20.5		56.9
25.6	35.4	32.5		93.5
29.9	38.3	24.1		92.3
22.4	23.9	28.9		75.2
29.0	29.1	29.8		87.9
16.8	14.1	15.1		46.0
10.5	8.1	5.3		23.9
4.4	2.9	2.5		9.8
2.5	2.3	2.4		7.2
				545.7

1999				maand
decade 1	decade 2	decade 3		
1.8	2.6	4.0		8.4
4.0	5.7	5.2		14.9
4.9	10.2	15.5		30.6
13.0	21.7	24.4		59.1
25.3	29.1	33.8		88.2
28.2	39.3	36.3		103.8
32.9	38.8	39.4		111.1
31.2	21.7	26.9		79.8
25.6	18.0	13.1		56.7
9.0	11.9	7.4		28.3
5.9	4.0	1.7		11.6
2.7	1.5	2.3		6.5
				599.0

2001				maand
decade 1	decade 2	decade 3		
2.1	2.5	2.8		7.4
3.9	5.1	7.2		16.2
8.0	9.8	9.5		27.3
16.1	16.9	24.2		57.2
32.1	32.3	39.5		103.9
28.1	32.9	37.0		98.0
38.6	29.0	42.9		110.5
26.9	24.9	32.5		84.3
16.8	11.9	13.9		42.6
11.9	11.8	6.9		30.6
4.4	3.2	2.5		10.1
2.6	2.4	2.0		7.0
				595.1



Neerslag en verdamping Ameland 2002-2003 en langjarig gemiddelde

Nes (Ameland)

Neerslagsommen in millimeters

periode	1951-1980			
	decade 1	decade 2	decade 3	maand
jan	22.7	20.7	21.2	64.6
feb	17.1	16.4	10.4	43.9
mrt	10.4	15.3	18.5	44.2
apr	17.7	15.8	13.0	46.5
mei	14.6	17.1	14.7	46.4
jun	17.1	18.1	22.3	57.5
jul	22.4	27.9	30.6	80.9
aug	25.6	26.4	32.1	84.1
sep	23.4	26.2	23.2	72.8
okt	27.5	23.6	28.9	80.0
nov	33.3	29.9	26.9	90.1
dec	29.8	27.5	25.6	82.9
totaal				793.9

2002			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
4.3	22.4	45.2	71.9
21.0	30.2	65.9	117.1
14.6	15.2	2.2	32.0
0.0	5.8	41.7	47.5
18.9	2.8	17.0	38.7
22.3	11.4	26.5	60.2
79.1	20.1	20.9	120.1
46.3	3.0	28.2	77.5
38.0	7.2	14.8	60.0
24.8	24.6	68.7	118.1
64.3	14.7	27.9	106.9
7.8	3.8	79.6	91.2
			941.2

2003			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
27.3	9.9	26.8	64.0
23.7	0.0	0.0	23.7
26.7	0.6	0.0	27.3
23.8	1.6	12.7	38.1
21.2	52.4	30.2	103.8
16.8	16.6	5.0	38.4
70.7	19.7	29.9	120.3
0.2	1.6	29.5	31.3
24.1	3.0	32.2	59.3
61.0	1.7	46.9	109.6
14.0	6.6	36.7	57.3
8.2	35.0	35.2	78.4
			751.5

Lauwersoog (tenzij anders vermeld)

Verdamping in millimeters (Makkink)

periode	1965-1985 Den Helder			
	decade 1	decade 2	decade 3	maand
jan	2.0	3.0	3.0	8.0
feb	5.0	5.0	6.0	16.0
mrt	9.0	11.0	15.0	35.0
apr	15.0	20.0	22.0	57.0
mei	24.0	30.0	32.0	86.0
jun	33.0	33.0	32.0	98.0
jul	34.0	31.0	32.0	97.0
aug	29.0	28.0	27.0	84.0
sep	21.0	17.0	14.0	52.0
okt	11.0	9.0	8.0	28.0
nov	5.0	4.0	3.0	12.0
dec	2.0	2.0	2.0	6.0
totaal				579.0

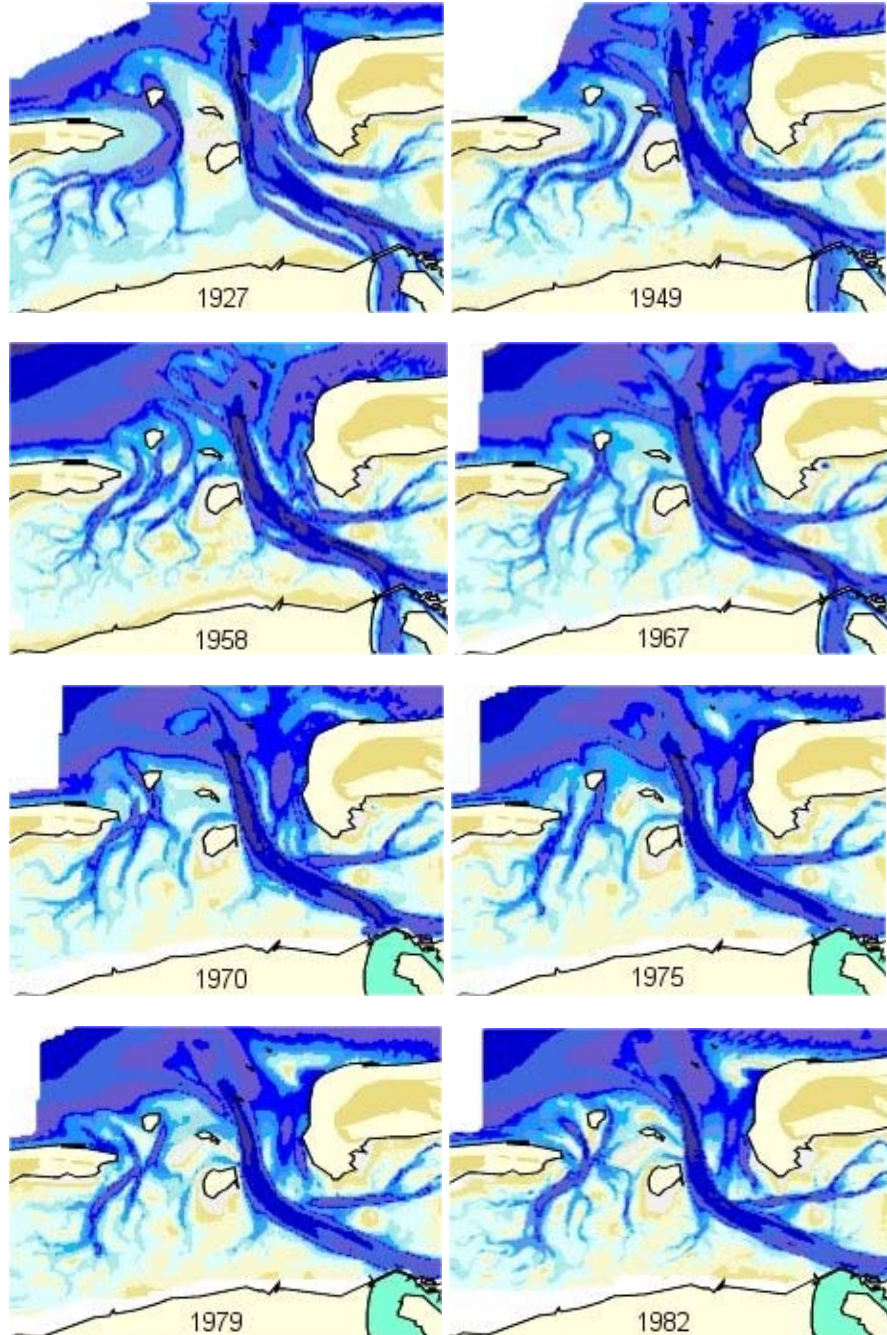
2002			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
2.3	2.2	3.6	8.1
4.1	8.1	5.9	18.1
10.8	9.1	20.3	40.2
23.2	16.0	20.4	59.6
18.3	26.8	30.0	75.1
30.6	28.1	32.8	91.5
21.1	33.8	37.4	92.3
25.6	34.1	24.7	84.4
24.6	17.9	15.3	57.8
12.7	7.5	6.5	26.7
3.6	3.2	2.2	9.0
2.0	1.3	1.0	4.3
			567.1

2003			
decade 1	decade 2	decade 3	maand
1.8	1.9	3.6	7.3
3.2	5.4	8.1	16.7
7.6	12.2	22.5	42.3
17.5	27.6	23.3	68.4
24.9	24.7	35.0	84.6
36.5	38.8	32.7	108.0
27.5	41.0	36.7	105.2
39.8	33.4	24.2	97.4
19.8	23.5	17.9	61.2
11.5	11.6	8.3	31.4
5.7	2.8	2.3	10.8
2.6	1.8	1.9	6.3
			639.6

Bijlage B Bathymetrie Friesche Zeegat 1927-2000

gebaseerd op vaklodingen door RWS

Geulontwikkelingen in het Friesche Zeegat (contouren hoogwaterlijn zijn ongewijzigd)

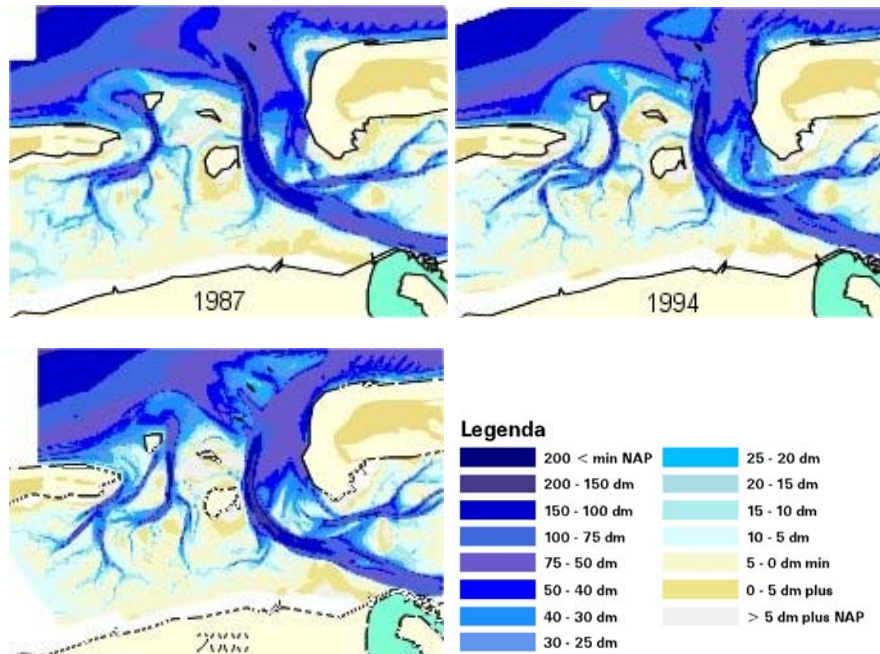


Legenda

200 < min NAP	25 - 20 dm
200 - 150 dm	20 - 15 dm
150 - 100 dm	15 - 10 dm
100 - 75 dm	10 - 5 dm
75 - 50 dm	5 - 0 dm min
50 - 40 dm	0 - 5 dm plus
40 - 30 dm	> 5 dm plus NAP
30 - 25 dm	



Geulontwikkelingen in
het Friesche Zeegat
(contouren
hoogwaterlijn zijn
ongewijzigd)





Bijlage C Bathymetrie rond oostpunt Ameland 1988-2003

gebaseerd op jaarlijkse kustmetingen door RWS (JARKUS)

