

1510-51

Opdrachtgever:

NAM bv

Effecten van bodemdaling door gaswinning op de Peazemerlannen

W.D. Eysink, K.S. Dijkema en W.E. van Duin

Bureaustudie

oktober 2000



ALTERRA

RESEARCH INSTITUUT VOOR DE GROENE RUIMTE

P1510-51

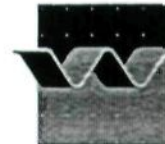
wl | delft hydraulics

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Probleemstelling.....	1
1.2	Opdracht	2
1.3	Samenvatting en conclusies	2
2	Bodemdaling	7
2.1	Algemeen.....	8
2.2	Voorspellingsmethode bodemdaling.....	9
2.3	Verwachte bodemdaling	9
3	Effecten van bodemdaling	10
3.1	Algemeen.....	11
3.2	Effect op de wadplaten en in de Waddenzee	12
3.3	Effect op de Noordzeekust.....	15
3.4	Effect op kwelderrand en -niveau van de Peazemerlannen	16
3.4.1	Algemeen	16
3.4.2	Resultaten monitoring 13 jaar bodemdaling Ameland.....	17
3.4.3	Resultaten 0-meting Peazemerlannen	19
3.4.4	Effect op het kwelderniveau en de kwelderrand van de Peazemerlannen	20
3.5	Effect op de kweldervegetatie van de Peazemerlannen	21
3.5.1	Methode bepaling effecten op vegetatie en successierichting	21
3.5.2	Resultaten Intle Bodemdalingstudie Waddenzee	22
3.5.3	Resultaten monitoring effecten van 13 jaar bodemdaling Ameland	22
3.5.4	Resultaten kweldervegetatie Peazemerlannen	23
3.5.5	Resultaten vegetatie zomerpolder Peazemerlannen	26
3.6	Effect op het bodemleven op het wad en op de vogelstand	27
3.7	Effect op het economisch gebruik van de zomerpolder	28

Tabellenlijst

- 2.3.1 Verwachte eindwaarden van bodemdaling door gaswinning
- 3.4.1 Bodemdaling en opslibbing in de Peazemerlanden en op Nieuwlandsrijd
- 3.4.2 Gemiddelde bruto opslibbing/erosie (mm/jaar) in de Peazemerlanden
- 3.5.1 Gemiddelde bedekkingpercentages van kwelderplanten in de Peazemerlanden gedurende de periode 1995 - 1998
- 3.5.2 Vergelijking van de opslibbing (SEB-methode, mm/j) in de Peazemerlanden (1995 - 2000) en op Nieuwlandsrijd (1993 - 2000)
- 3.7.1 Waterstanden van Lauwersoog
- 3.7.2 Statistische gegevens van HW te Lauwersoog van 1971-1980
- 3.7.3 Geschatte hoeveelheid ingestroomd water in de zomerpolder bij gegeven overschrijding van het HW-peil boven de kruin van de zomerkade
- 3.7.4 Statistische gegevens van LW te Lauwersoog van 1971-1980
- 3.7.5 Effect maximum bodemdaling op aantal overstromingen van de zomerpolder



OPDRACHTGEVER: NAM bv

TITEL: Effecten van bodemdaling door gaswinning op de Peazemerlannen

SAMENVATTING:

De NAM heeft het voornemen om gas te winnen uit de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog, die onder de kuststrook van de Waddenzee liggen tussen de plaatsjes Moddergat en Lauwersoog. Indien het gas uit deze velden wordt gewonnen, dan zal dit aan het oppervlak tot enige bodemdaling leiden in een gebied dat zich uitstrekt van Ternaard in het westen tot iets voorbij Vierhuizen in het oosten en van Ezumazijl in het zuiden tot aan de uiterste zuidwestpunt van Schiermonnikoog in het noorden. De grootste bodemdaling zal optreden in een gebied rond Paesens en het buitendijkse natuurreservaat Peazemerlannen.

Een belangrijk aspect rond de winning van aardgas zijn de effecten van bodemdaling aan het aardoppervlak. NAM heeft WL | Delft Hydraulics en Alterra gevraagd om gezamenlijk onderzoek uit te voeren naar de mogelijke effecten van de voorgenomen gaswinning op het natuurgebied De Peazemerlannen, de aangrenzende Waddenzee en de Noordzeekust rond het Friesche Zeegat.

REFERENTIES: Offerte (brief MCI00371/H3740/WE dd 22 mei 2000)
Opdracht (order YGTC PO-General T & C, Doc. No 4500108480; dd 7 augustus 2000)

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
0	W.D. Eysink et al.	augustus 2000	concept	J.H. de Vroeg	
1	W.D. Eysink et al.	oktober 2000	definitief	J.H. de Vroeg	W.M.K. Tilmans

PROJECTNUMMER: H 3740

TREFWOORDEN: Bodemdaling

INHOUD: TEKST 33 TABELLEN 10 FIGUREN 16 APPENDICES 0

STATUS: VOORLOPIG CONCEPT DEFINITIEF

Figurenlijst

- 1.1 Situatie Peazemerlannen
- 1.2 Foto Peazemerlannen

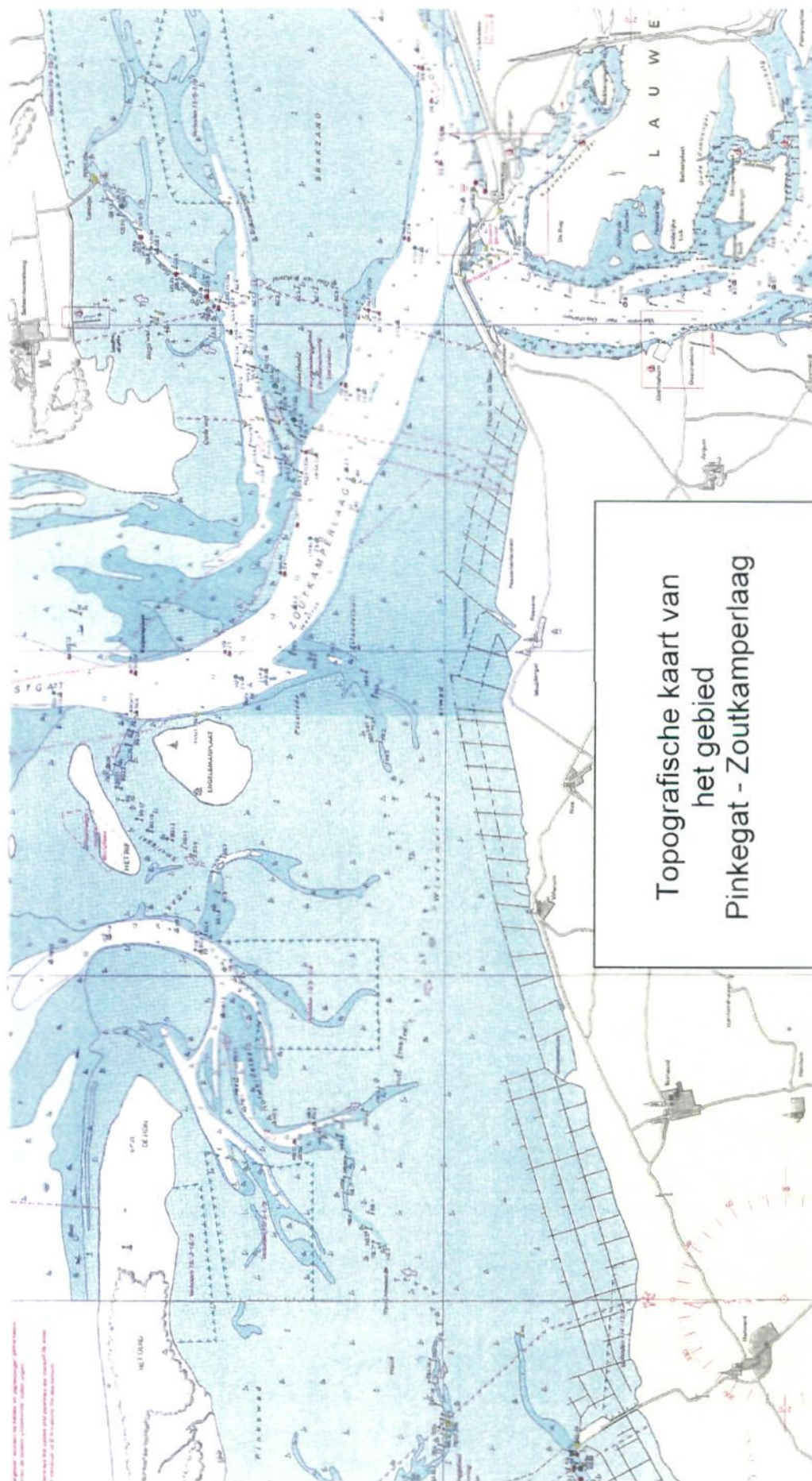
- 2.3.1 Bodemdaling gasveld Nes, Moddergat en Lauwersoog berekend met ExtendedSUBCAL (elastisch): eindsituatie in cm
- 2.3.2 Bodemdaling gasveld Nes, Moddergat en Lauwersoog berekend met 3D GEOMECH (elastisch): eindsituatie in cm
- 2.3.3 Vergelijking dwarsdoorsnede bodemdalingen berekend met ExtendedSUBCAL en 3D GEOMECH
- 2.3.4 Totale bodemdaling van de velden van Ameland, Anjum en Nes-Moddergat-Lauwersoog
- 2.3.5 Bodemdaling Anjumveld

- 3.2.1 Gevolgen bodemdaling op platen en geulvolume in de vloedkom Zoutkamperlaag bij huidige zeespiegelstijging (IBW)

- 3.3.1 Slibgehalte wadbodem in het dalingsgebied

- 3.4.1 Overzicht van de SEB-metingen op het Nieuwlandsrijd, raai3
- 3.4.2 Verloop maaiveldhoogte met en zonder opslibbing op vier PQ's op Nieuwlandsrijd en De Hon (metingen 1986-1999; Alterra)
- 3.4.3 Overzicht van de SEB-metingen in de Peazemerlannen
- 3.4.4 Voorspelling hoogteligging kwelderzones in de Peazemerlannen zonder en met bodemdaling
- 3.4.5 Voorspelling hoogteligging van de zomerpolder in de Peazemerlannen zonder en met bodemdaling

- 3.6.1 Effect zeespiegelstijging of bodemdaling op bodemleven in de Waddenzee
- 3.6.2 Effect zeespiegelstijging of bodemdaling op vogelstand in de Waddenzee



Topografische kaart van
het gebied
Pinkegat - Zoutkamperlaag

I Inleiding

I.1 Probleemstelling

De NAM heeft het voornemen om gas te winnen uit de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog, die onder de kuststrook van de Waddenzee liggen tussen de plaatsjes Moddergat en Lauwersoog. Indien het gas uit deze velden wordt gewonnen, dan zal dit aan het oppervlak tot enige bodemdaling leiden in een gebied dat zich uitstrekt van Ternaard in het westen tot iets voorbij Vierhuizen in het oosten en van Ezumazijl in het zuiden tot aan de uiterste zuidwestpunt van Schiermonnikoog in het noorden. De grootste bodemdaling zal optreden in een gebied rond Paesens en het buitendijkse natuureservaat Peazemerlannen. De overige daling aan de wadzijde zal optreden in een gebied dat zich uitstrekt van de platen ten noorden van Moddergat tot zuidwestelijk van Schiermonnikoog. Centraal ligt de hoofdgeul Zoutkamperlaag, die voorheen ook de verbinding vormde met de voormalige Lauwerszee.

De Peazemerlannen ligt tussen de zeewering en het Wierumerwad in de vloedkom van de Zoutkamperlaag (Figuur 1.1). Het natuurgebied, eigendom van het Waterschap Friesland en in beheer bij It Fryske Gea, kan in drie kenmerkende delen worden opgedeeld, i.e.:

1. De zomerpolder tegen de zeewering. Deze is aan de wadzijde beschermd door een zomerdijk tegen overvloedingen in het graasseizoen. De afwatering vindt plaats via negen klepduikers. De zomerpolder wordt intensief begraasd; voornamelijk door schapen.
2. De huidige kwelder tussen de zomerpolder en het wad. Dit is een voormalige zomerpolder, die via landaanwinningswerken en inpoldering tot stand is gekomen. Na het doorbreken van de buitenste zomerdijk in 1973 zijn de ontwikkelingen hier verder aan de natuur overgelaten en is de huidige kwelder ontstaan. Dit gebied is in het algemeen onbeweid.
3. direct ten westen van de voormalige zomerpolder ligt een buitendijks kweldergebiedje waarvan het hoog gelegen deel langs de zeewering intensief door schapen wordt begraasd en het laag gelegen deel langs de strekdam extensief wordt beweid.

Aan de wadzijde werd in het verleden het gebied beschermd door palenschermen in de lage delen van de voormalige landaanwinningswerken. Deze bestaan al lang niet meer. Momenteel worden alleen nog de resten van de doorgebroken buitenste zomerdijk in stand gehouden ter bescherming van de hoge vooroever van de zeewering.

Een belangrijk aspect rond de winning van aardgas zijn de effecten van bodemdaling aan het aardoppervlak. NAM heeft WL | Delft Hydraulics en Alterra gevraagd om gezamenlijk onderzoek uit te voeren naar de mogelijke effecten van de voorgenomen gaswinning op het natuurgebied De Peazemerlannen, de aangrenzende Waddenzee en de Noordzeekust rond het Friesche Zeegat.

1.2 Opdracht

Naar aanleiding van het verzoek van de NAM heeft WL | Delft Hydraulics mede namens Alterra een offerte uitgebracht voor het gevraagde onderzoek (brief MCI00371/H3740/WE dd 22 mei 2000). De opdracht voor het onderzoek werd formeel door de NAM bevestigd in haar schrijven van 7 augustus 2000 (order YGTC PO-General T & C, Doc. No 4500108480).

Het opgedragen onderzoek omvatte de volgende aanpak:

Het uitgangspunt voor deze studie zal een door NAM aan te geven bodemdalingsprofiel zijn. Via een bureaustudie, gebaseerd op de resultaten van de Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee (IBW) en de Monitoringsstudie van Ameland, zullen de verwachte effecten worden beschreven. De volgende onderwerpen zullen hierbij in beschouwing worden genomen:

1. Beschrijving bodemdaling,
2. Invloed op wadplaten, geulen, waterbeweging en bodemsamenstelling in vloedkom,
3. Invloed op Noordzeekust,
4. Invloed op kwelderrand en kwelderniveau (Alterra),
5. Invloed op kweldervegetatie (Alterra),
6. Invloed op bodemleven en vogelstand (WL, gebaseerd op onderzoek Beukema en Ens voor IBW)
7. Invloed op economisch gebruik kwelder en zomerpolder (WL in overleg met Alterra),

Het onderzoek en de resultaten zullen door WL worden gepresenteerd in een gezamenlijk WL/Alterra-rapport.

Het onderzoek is uitgevoerd door W.D. Eysink van WL | Delft Hydraulics en K.S. Dijkema en W.E. van Duin van Alterra. W.D. Eysink is verantwoordelijk voor de eindredactie van dit verslag.

1.3 Samenvatting en conclusies

Aanpak onderzoek

Dit onderzoek is uitgevoerd als bureaustudie hoofdzakelijk gebaseerd op de resultaten van:

- “Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee” (voorspellende studie) , en
- “Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-oost, evaluatie na 13 jaar gaswinning” (werkelijke situatie)

Beide studies zijn uitgevoerd door gerenommeerde instituten op basis van de meest recente kennis en modellen. Samen besloegen zij alle relevante vakgebieden, die een rol spelen in het betreffende probleem. In beide gevallen werden de studies begeleid door een onafhankelijke begeleidingscommissie en werden de onderzoeksresultaten zelfs getoetst door onafhankelijke deskundigen op de verschillende vakgebieden

In beide studies is de bodemdaling belangrijk groter dan verwacht bij de Peazemerlannen, en op Ameland betreft het bovendien de werkelijke, gemeten situatie, waardoor de betrouwbaarheid van de resultaten van dit onderzoek zeer hoog is.

Bodemdaling

De NAM heeft de bodemdaling voor de nieuwe gaswinning afzonderlijk met twee verschillende modellen berekend en vergeleken. De resultaten van beide modellen komen goed overeen. Vervolgens is met één van de modellen de totale bodemdaling uitgerekend ten gevolge van de gaswinning in de drie nieuwe velden Nes, Moddergat en Lauwersoog en de bestaande velden Ameland en Anjum samen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de bodemdaling van het nieuwe veld nauwelijks invloed heeft op de bodemdaling van het grotere Ameland-veld. De maximum daling in het nieuwe veld blijft circa 8 cm. De bodemdaling van het zuidelijk gelegen Anjum-veld heeft geen significante invloed op de Waddenzee (daling kleiner dan 2 cm).

Het verloop van de bodemdaling van het nieuwe gasveld in de tijd wordt bepaald door het gekozen productiescenario. Op het moment dat deze bodemdaling begint zijn de bodemdalingen van het Ameland- en het Anjum-veld al dicht bij hun eindwaarden. Het is zeer waarschijnlijk dat de daling van het wad boven het Ameland-veld dan al voor een (belangrijk) deel door sedimentatie is gecompenseerd.

Effect op de wadplaten en geulen in de Waddenzee

Bij de voorspelde bodemdaling voor de nieuwe gasvelden zal het verlies aan plaatareaal in de vloedkom van de Zoutkamperlaag geleidelijk oplopen tot (veel) minder dan 0,15 % (i.e. minder dan 0,1 km²). Na 11 tot 16 jaar gaswinning zal weer geleidelijk herstel optreden.

De maximum verlaging van het Wierumerwad zal als gevolg van compensatie door sedimentatie naar verwachting nooit meer bedragen dan tussen de 2 en 2,5 cm langs de plaatrand met een plaatniveau dat overwegend tussen 1 à 1,7 m boven LLWS (Laag Laag Water Spring) ligt, en nooit meer dan circa 4 cm op de hoge plaat tegen de kwelderwerken waar het plaatniveau rond de 2 m boven LLWS ligt. De maximale verlaging van de platen zal op het Wierumerwad dus na 11 à 16 jaar gaswinning niet meer bedragen dan circa 2 % van het plaatniveau boven LLWS, waarna geleidelijk herstel zal optreden. Op de Brakzandplaat en op de platen onder Schiermonnikoog is het effect nog geringer.

De stroomsnelheden in de geulen zullen slechts marginaal veranderen (orde 1 % of minder). Hierdoor en door de marginale verlaging van de platen zullen de hydraulische condities in de geulen en op de platen nauwelijks veranderen en, dientengevolge, zal er ook geen merkbare verandering in de bodemgesteldheid in de Waddenzee optreden.

In het algemeen kan worden gesteld dat de geringe veranderingen in de Waddenzee veel kleiner zullen zijn dan de natuurlijke fluctuaties in het gebied. Uit het monitoringsonderzoek op Ameland is gebleken dat de effecten van bodemdaling op het wad, zelfs bij de grotere bodemdaling daar (19 cm op de wadrand; dalingsvolume onder het wad ca. 3,5 10⁶ m³), niet eenduidig aangetoond konden worden als gevolg van de grote natuurlijke dynamiek in de

wadbodem en deels omdat de veranderingen zo gering zijn dat ze binnen de meetnauwkeurigheid vallen.

Effect op de Noordzeekust

Het is een algemeen aanvaard uitgangspunt dat elke verstoring in de Waddenzee uiteindelijk ook effect zal hebben op de Noordzeekustzone. Ook in de natuurlijke situatie treden "verstoringen" op, zoals zeespiegelstijging en kweldergroei. Beide processen spelen al vele eeuwen een rol in de Waddenzee en de gevolgen voor de Noordzeekust zijn al lang zichtbaar in de vorm van zich landwaarts verplaatsende waddeneilanden. Sinds 1990 wordt de Noordzeekust in Nederland dynamisch gehandhaafd door kustachteruitgang regelmatig te compenseren door strandsuppleties met zand uit de Noordzee.

Bodemdaling door gaswinning heeft een meer lokaal en tijdelijk, maar vergelijkbaar effect als zeespiegelstijging. De bodemdalingsschotel van de nieuwe gasvelden zal uiteindelijk weer worden opgevuld met sediment uit de Noordzee. Verwacht wordt dat het zand hiervoor voor de vloedkom van de Zoutkamperlaag uiteindelijk zal worden geleverd door een geringe verdieping van circa 1 cm van de Noordzeebodem op de vooroever van Ameland. De invloed van deze verdieping op de stranden van Ameland en Schiermonnikoog is gering en zeer indirect en zal niet merkbaar zijn.

Het deel van de bodemdalingsschotel in de vloedkom van het Pinkegat zal het effect van de bodemdaling van het Ameland-veld enigszins versterken (minder dan 4 %). Gezien de ervaringen van het monitoringsonderzoek op Ameland tot nu toe, zal naar verwachting ook dit (in de tijd verschoven effect) door de sterke dynamiek in de actieve kuststrook van de Noordzee niet terug te vinden zijn. Het geringe effect kan alleen op theoretische gronden aannemelijk worden gemaakt. In de praktijk zal het indirect via de reguliere kustsuppleties worden gecompenseerd.

Effect op de rand en het niveau van de kwelder in de Peazemerlannen

De rand van de kwelder in de Peazemerlannen wordt grotendeels gevormd door de restanten van de doorgebroken met asfalt beklede zomerkade. Hierdoor zal de bodemdaling door gaswinning geen invloed hebben op de ligging van de kwelderrand.

Uit de resultaten van opslibbingsmetingen op de Peazemerlannen blijkt dat de opslibbingsbalans nauwelijks door de bodemdaling zal worden beïnvloed. Zowel in de primaire pionierzone achter de stormdoorbraak, de kommen, de lage kwelder als op de oeverwallen blijft de opslibbingsbalans (ruim) positief.

De primaire pionierzone achter de doorbraak in de asfalt zomerkade werd in de bodemdalingstudies van 1993 en 1998 nog als een probleem gezien. Op grond van de recente SEB-metingen is dat niet meer het geval. Monitoring zal moeten uitwijzen hoe deze zone zich in de toekomst ontwikkelt, mede om aantasting van de achterliggende zomerpolder en vervolgens van de dijkvoet te voorkomen. Mitigatie kan, indien toch noodzakelijk, te allen tijde snel en doeltreffend met rijshouten dammen worden uitgevoerd.

Effect op de vegetatie in de Peazemerlannen

Er zijn geen effecten van de voorspelde bodemdaling op de vegetatie van de pionierzone en de kwelderzones te verwachten. De opslibbingsbalans blijft ruimschoots positief. Zelfs bij een drie maal zo hoge bodemdaling zou de positieve opslibbingsbalans nog behouden blijven.

Een vergelijking met de praktijksituatie op Nieuwlandsrijd (Ameland) geeft een duidelijke bevestiging van deze conclusie, omdat daar bij heel veel ongunstiger condities na 13 jaar gaswinning nagenoeg geen effecten op de vegetatie zijn opgetreden.

De tijdelijke verlaging van de opslibbing vertraagt de natuurlijke veroudering van de kweldervegetatie. Dat is positief, maar de bodemdaling is niet langdurig en groot genoeg om dat probleem op te lossen.

Door de bodemdaling zal de zomerpolder min of meer gelijkmatig verlagen. Omdat ook de duikers in de zomerkade met de bodemdaling zullen meezakken en het gebied voldoende hoog ligt, zal de ontwatering van de zomerpolder niet door de bodemdaling als gevolg van gaswinning worden beïnvloed. Eventuele veranderingen in het grondwaterpeil ten opzichte van het maaiveld, en daardoor in de vegetatie, zullen voornamelijk worden veroorzaakt door de natuurlijke inklink, die niet of slechts gedeeltelijk wordt gecompenseerd door opslibbing.

Indien men in het kader van nieuw beleid de zomerpolder zou willen ontpolderen, dan wordt aanbevolen om dit zo snel mogelijk te doen. Verkwelderden van de zomerpolder zal tot een andere, i.e. natuurlijke kwelderbegroeiing en tot herstel van de opslibbing leiden. Deze overgang zal beter verlopen naarmate het niveau van de polder minder gezakt is door inklink en bodemdaling

Effect op het bodemleven op het wad en op de vogelstand

Het verlagen van het wad leidt tot een gering verlies aan plaatareaal en tot een geringe reductie in de droogvaltijd van de platen. Hierdoor neemt voor vogels de mogelijkheid om op het wad te fourageren iets af en zou het voedselaanbod op de platen kunnen verminderen. Dit zou kunnen leiden tot enige afname in de vogelstand.

Op basis van de Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee kan redelijkerwijs worden geconcludeerd dat het effect van de nu verwachte, veel kleinere bodemdaling geen merkbare invloed op de biomassa op de platen zal hebben.

In het kader van de Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee is verder een uitgebreide studie uitgevoerd naar eventuele negatieve effecten van plaatverlaging op de vogelstand in de Waddenzee. Daaruit blijkt dat een verlaging van 5 cm van alle platen een invloed op de vogelaantallen heeft, die in het algemeen minder is dan 5 %. Voor enkele vogelsoorten wordt het iets gunstiger (Tureluur, Groenpootruiter), voor de Wulp maakt het niet veel uit en voor anderen wordt het iets ongunstiger (Bontbekplevier, Rosse Grutto, Zwarte Ruiter, Scholekster en Zilverplevier). Deze voorspelde afnames zijn daarmee in de praktijk waarschijnlijk niet te meten. Dit zal zeker gelden voor de nu voorspelde bodemdaling van de

nieuwe velden, dat zich maar over een deel van de vloedkom uitstrekt en waarin de daling van de zelfde orde of kleiner is dan 5 cm.

Deze conclusie wordt bevestigd door de resultaten van de monitoringsstudie op Ameland, waar de bodemdaling op het Pinkewad onder Ameland na 13 jaar gaswinning al groter is dan de voorspelde bodemdaling in de Waddenzee door het nieuwe gasveld. Ook uit deze studie moest worden geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn dat deze bodemdaling een negatief effect heeft gehad op de vogels, noch op de aantallen vogels die op het wad voedsel zoeken, noch op de broedvogelstand.

Effect op economisch gebruik van de zomerpolder in de Peazemerlannen

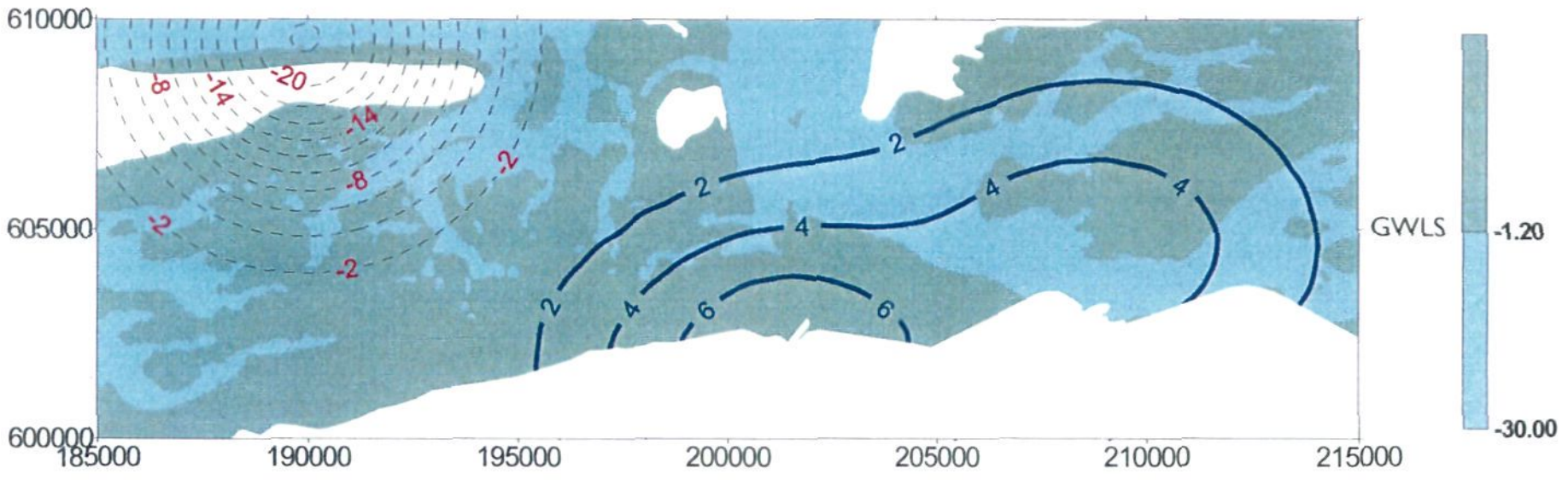
De zomerpolder achter het kweldergebied van de Peazemerlannen is door beheerder It Fryske Gea verpacht aan een boer, die er van half april tot half oktober vee laat grazen. Aan de zeezijde is de polder beschermd door een zomerkade. De verwachte bodemdaling in dit gebied zal uiteindelijk 6 cm bedragen in het oosten oplopend tot 8 cm in het westen. Als gevolg van de bodemdaling zakt niet alleen de polder, maar ook de kruin van de zomerkade.

Eventuele schade in de zomerpolder door de bodemdaling zal beperkt blijven tot een geringe verhoging van de overstromingsfrequentie van de polder. Per overstroming zal de boer het vee tijdig uit de polder moeten halen en kan de polder gedurende een aantal dagen niet voor beweiding worden gebruikt. Door de bodemdaling zal het aantal overstromingen in het graasseizoen, zonder tegenmaatregelen, geleidelijk toenemen van gemiddeld 0,6 naar 0,9 keer per jaar. Behoudens het effect van verdere zeespiegelstijging blijft dit daarna zo. Per overstroming wordt door het Waterschap het drijfvuil van de dijk verwijderd om de conditie van het gras op de dijk goed te houden. Over het hele jaar neemt het aantal overstromingen geleidelijk toe van gemiddeld 4,8 tot 6,0 keer per jaar. Het Waterschap zal hiervoor dus extra kosten moeten maken.

Bovengenoemde nadelige effecten kunnen worden tegengegaan door de zakking van de zomerkade als gevolg van de bodemdaling te compenseren door dijkverhoging.

In het geval wordt gekozen om de zomerpolder te ontpolderen, dan zal een situatie ontstaan waarin de bovengenoemde schade niet meer relevant is. In dat geval zal wel naar de mogelijke aantasting van de dijkvoet en de opruiming van extra feek moeten worden gekeken, want dat zijn zwaarwegende zaken voor het Wetterskip.

Bodemdaling Ameland 1999 en prognose eindzakking nieuwe velden



2 Bodemdaling

2.1 Algemeen

Het aardgas wordt in Noord-Nederland hoofdzakelijk aangetroffen in zandsteenlagen van het Rotliegend op zo'n 3000 m diepte of van het Onderkrijt (Vlielandformatie) op zo'n kleine 2000 m diepte. Deze gesteenten bestaan uit aan elkaar gekitte zandkorrels met plaatselijk klei waartussen zich kleine ruimtes, de poriën, bevinden. In deze poriën bevindt zich het gas (en water) onder hoge druk. Het reservoir bestaat uit min of meer afgesloten blokken waarbinnen de poriën van de gesteentelaag met elkaar in verbinding staan. De blokken zijn gescheiden door breuken. In sommige gevallen zijn deze breuken doorlatend, zodat ook de druk in de aangrenzende blokken kan meedalen. Het reservoir is afgedekt door ondoorlatende lagen als zout en kleisteen, die ervoor zorgen dat het gas niet naar boven kan ontsnappen.

De winning van aardgas veroorzaakt een vermindering van de poriëndruk in de gasvoerende gesteentelaag. Hierdoor moet het deel van het gewicht van de bovenliggende sedimenten, dat eerst door de gasdruk werd gedragen, nu ook via de korrelspanning in de zandsteenlaag naar de diepere ondergrond worden overgebracht. Omdat de zandsteen onder de hoge druk al optimaal is gepakt, zal de hogere korrelspanning (vrijwel) alleen nog kunnen leiden tot elastische vervorming van dit gesteente. De zandsteenlaag zal zich hierdoor als een stijve veer gedragen, waarbij de veerstijfheid wordt bepaald door de elasticiteit van het gesteente en de dikte van de laag. De stijfheid neemt toe met het afnemen van de dikte van de laag. De lokale samendrukking of compactie van de zandsteenlaag kan bij ongewijzigde bovenbelasting worden berekend met de volgende formule, als de afname van de gasdruk, de laagdikte en de elasticiteitscoëfficiënt van de zandsteenlaag bekend zijn:

$$\Delta h = c_m h \Delta p$$

waarin:

- Δh : verticale samendrukking of compactie van het reservoir (m)
- c_m : compactiecoëfficiënt (= 0,5 à 0,8 10^{-5} bar⁻¹ voor Groningen)
- h : laagdikte gasvoerend gesteente (m)
- Δp : afname gasdruk (bar)

Een complicerende factor is dat een deel van het gewicht van de bovenliggende sedimenten via schuifspanningen zijdelings wordt overgedragen naar de aangrenzende ondergrond. Hierdoor wordt de gasvoerende laag iets ontlast en treedt de bodemdaling aan het oppervlak over een groter gebied op en zal gemiddeld ook geringer zijn. Bij een groot gasveld zijn deze randverschijnselen relatief gering en zal de bodemdaling in het midden van het gasveld vrijwel overeenkomen met de compactie volgens bovenstaande formule. Bij een klein gasveld op grote diepte zal de bodemdaling door zijdelingse krachtoverdracht slechts een

fractie van de theoretische compactie zijn, omdat lokaal het verlies aan draagkracht door de gasdrukvermindering niet volledig door de korrelspanning in het gesteente hoeft te worden overgenomen.

In sommige gevallen is het reservoir aan de onderzijde niet gesloten en wordt het gas door het grondwater samengeperst. Bij drukvermindering door gaswinning zal het grondwater omhoog komen. Door de grotere viscositeit van het water zal dit proces met enige vertraging op gang komen, maar het zal er desondanks toe leiden dat een deel van het drukverlies in de gasvoerende laag wordt gecompenseerd. Hierdoor zal de korrelspanning minder toenemen en de bodemdaling geringer zijn.

Een ander aspect is het verloop van de bodemdaling in de tijd. Hierbij speelt ook mee of er plastische vervorming optreedt in de lagen boven de gasvoerende laag, waardoor de verdeling van de bovenbelasting op de gasvoerende laag in de tijd kan veranderen, en hoe groot de gasdoorlatendheid van het gesteente is, op hoeveel plaatsen gas wordt onttrokken en hoeveel.

2.2 Voorspellingsmethode bodemdaling

De velden Nes, Moddergat en Lauwersoog vormen samen slechts een klein gasveld. Alle bovengenoemde grondmechanische aspecten spelen hier een rol, inclusief het omhoog komen van het grondwater onder het gas. Een betrouwbare voorspelling van de bodemdaling kan alleen met een betrouwbaar mathematisch model en goede gegevens worden verkregen. Bij de NAM wordt reeds vele jaren research verricht en veldonderzoek gedaan om tot een zo nauwkeurig mogelijke voorspelling van de bodemdaling door gaswinning te komen (NAM, 1990). Enerzijds is de techniek van het seismologisch onderzoek sterk verbeterd, waardoor de afmetingen en locaties van gasvoerende lagen steeds beter kunnen worden bepaald (drie-dimensionale seismiek), en anderzijds wordt voortdurend steeds meer kennis verzameld van de gesteente-eigenschappen, waardoor de betrouwbaarheid van de mathematische voorspellingsmodellen sinds 1991 belangrijk is toegenomen. Bovendien zijn voor deze velden inmiddels proefboringen uitgevoerd, waardoor de gegevens van deze gasvelden goed bekend zijn, en kon gebruik worden gemaakt van de ervaringen opgedaan bij het monitoringsonderzoek rond de gaswinning op Ameland (NAM, 1998; Schreppers, 1998; Eysink et al., 2000).

2.3 Verwachte bodemdaling

Eerst heeft de NAM de bodemdaling voor de nieuwe gaswinning afzonderlijk met beide modellen berekend en vergeleken. De resultaten van beide modellen tonen een geringe bodemdaling, mede als gevolg van het actieve grondwater onder het gasveld, en komen goed overeen (Figuren 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.3). Vervolgens is met een van de modellen de totale bodemdaling uitgerekend ten gevolge van de gaswinning in het nieuwe veld en de bestaande velden Ameland en Anjum samen (totale eindzakking exclusief compensatie door sedimentatie in de buitendijkse gebieden, Figuur 2.3.4). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de bodemdaling van het nieuwe veld nauwelijks invloed heeft op de bodemdaling van het grotere Ameland-veld; er vindt slechts overlapping op de randen van de beide velden plaats waar de verwachte bodemdaling minder zal zijn dan 6 cm. De bodemdaling van het nieuwe veld vertoont een grotere overlap met de daling door het Anjum-veld net ten zuiden

van het nieuwe gasveld. Daar is de overlap zo groot dat het de maximum bodemdaling van beide velden iets zal beïnvloeden. Omdat beide velden klein zijn, is het effect echter gering. De maximum daling in het Anjum-veld zal met enkele centimeters toenemen tot 11 à 12 cm en die in het nieuwe veld blijft circa 8 cm, omdat de bodemdaling van het Anjum-veld geen significante invloed heeft op de Waddenzee (figuur 2.3.5).

In verband met blijvende onzekerheden in de modelbeschrijving en in de gegevens moet rekening worden gehouden met een mogelijke afwijking van circa 20 procent van de berekende waarden.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de maximum verwachte bodemdalingen in de drie velden en de bijbehorende volumevergroting van de Waddenzee, indien alle velden worden geëxploiteerd.

Gasveld	Maximum bodemdaling (cm; $\pm 20\%$)	Volumevergroting Waddenzee (10^6 m^3 ; $\pm 20\%$)
Ameland	28	6,5
Anjum	11-12	0
Nes, Moddergat, Lauwersoog	8	2,7

Tabel 2.3.1 Verwachte eindwaarden van bodemdaling door gaswinning

Het verloop van de bodemdaling van het nieuwe gasveld in de tijd wordt bepaald door het gekozen productiescenario. Door de NAM de volgend schatting gegeven:

1. De bodemdaling zal pas na een jaar na het begin van de gaswinning aan het oppervlak merkbaar worden.
2. In de daarop volgende 10 jaar zal 60 % van de zakking plaatsvinden.
3. In de daarop volgende 10 jaar zal de rest van de zakking optreden.

Op het moment dat deze bodemdaling begint zijn de bodemdalingen van het Ameland- en het Anjum-veld al dicht bij hun eindwaarden. Het is zeer waarschijnlijk dat de bodemdaling van het Ameland-veld in de Waddenzee dan al voor een (belangrijk) deel door sedimentatie is gecompenseerd.

3 Effecten van bodemdaling

3.1 Algemeen

studies zijn uitgevoerd door gerenommeerde instituten op basis van de meest recente. Sinds het begin van de gaswinning op Ameland in het begin van 1986 zijn er meerdere, veelomvattende onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van bodemdaling door gaswinning, i.e.:

1. Voorspelling van de effecten van bodemdaling door gaswinning op Ameland-oost (Reinalda et al., 1987 en Boer en Eysink, 1993).
2. Monitoring van de effecten van bodemdaling door gaswinning op Ameland-oost (Eysink et al., 1995 en 2000).
3. Voorspelling van effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee (Oost en Dijkema, 1993).
4. MER-studie voor proefboringen in de Waddenzee, de Noordzeekustzone en op Ameland (NAM, 1995a en 1995b, Dankers en Wintermans, 1996).
5. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (IBW) (NAM, 1998a).

Al deze kennis en modellen. Samen besloegen zij alle relevante vakgebieden, die een rol spelen in het betreffende probleem. In de meeste gevallen werden de studies begeleid door een onafhankelijke begeleidingscommissie en in twee gevallen werden de onderzoeksresultaten zelfs getoetst door een panel van onafhankelijke deskundigen op de verschillende vakgebieden (NAM, 1998a en Eysink et al., 2000). Met name deze laatste onderzoeken, i.e. een zeer uitgebreide effect-voorspellingsstudie gebaseerd op de meest recente kennis en modellen en de monitoringsstudie van het derde gasveld van Nederland met werkelijk opgetreden effecten in een periode van 13 jaar gaswinning, geven een betrouwbare basis voor het voorspellen van de bodemdalingseffecten in de Peazemerlannen. Met name de resultaten van die studies zijn als uitgangspunt gebruikt in de onderhavige bureaustudie.

Daarnaast bestond er reeds een brede algemene kennis betreffende de geomorfologische processen, die een rol spelen in de Waddenzee (o.a. Van Straaten, 1954 en 1964; Eysink, 1979, 1991, 1992, 1993; Stive en Eysink, 1989; Eysink en Biegel, 1992; Louters en Gerritsen, 1994).

De invloed van de bodemdaling van het Ameland-veld in de Waddenzee beperkt zich tot de vloedkom van het Pinkegat en in mindere mate tot die van het Borndiep. Deze invloed is uitgebreid bestudeerd in de voorspellingsstudies voor Ameland en de IBW, alsook in de monitoringsstudie voor Ameland. De invloed van het nieuwe veld op dat van Ameland is klein ($0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ extra verruiming van de vloedkom van het Pinkegat onder GHW t.o.v ca. $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ door het Ameland-veld). Het nieuwe gasveld strekt zich voornamelijk uit onder de vloedkom van de Zoutkamperlaag. In de volgende paragrafen is vooral gekeken naar de invloed van de bodemdaling rond het nieuwe gasveld.

3.2 Effect op de wadplaten en in de Waddenzee

Resultaten IBW


In de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (IBW) is uitgebreid gestudeerd op de effecten van de totale bodemdaling door gaswinning uit alle bestaande en mogelijke, toekomstige velden bij en onder de oostelijke Waddenzee. De verwachte bodemdalingen bij het Anjumveld en het nieuwe veld Nes-Moddergat-Lauwersoog waren toen groter (NAM, 1998a-Geomorfologie en Infrastructuur) dan nu op basis van de huidige kennis is voorspeld. Toen werd bij de Peazemerlannen een maximum daling van circa 22 cm voorspeld op basis van seismische gegevens. Na uitvoering van de 5 boringen wordt op basis van feitelijke gegevens een bodemdaling van circa 8 cm (+/- 20%) verwacht. Deze daling zal plaatsvinden op de kwelder en langs de hoge zijde van het Wierumerwad. Langs de noordzijde van het Wierumerwad is de verwachte daling nog maar 4 à 5 cm. Op de grote plaat Brakzand in het hart van de vloedkom is de verwachte bodemdaling 2 à 5 cm en op het wad onder Schiermonnikoog slechts 1 à 3 cm. De bodemdaling in de grote geul Zoutkamperlaag varieert tussen 1 en 5 cm, en die in de geul Gat van Schiermonnikoog-Brakzandstergat ten noorden van de plaat Brakzand rond de 3 cm.

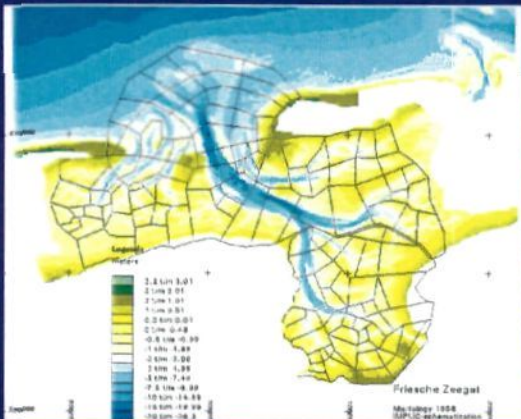
WL | Delft Hydraulics heeft voor de IBW met drie verschillende modellen onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de toen voorspelde bodemdaling door gaswinning, te weten met:

1. het morfodynamische model MORRES gebaseerd op empirische evenwichtsrelaties voor een vloedkom met buitendelta,
2. het gedetailleerde, numerieke morfodynamische 1D-netwerkmodel ESTMORF van het Friesche Zeegat met buitendelta en de vloedkommen van de Zoutkamperlaag en het Pinkegat, en
3. met het morfodynamische model ASMITA van het Friesche Zeegat met buitendelta, vloedkommen en de aangrenzende Noordzeekustzone.

Alle modellen zijn meer of minder geschematiseerde sedimenttransportmodellen. De modellen ESTMORF en ASMITA zijn voor toepassing eerst afgeregeld en geverifieerd op basis van historische gegevens van het gedrag van het gebied rond het Friesche Zeegat vóór (dynamisch evenwicht) en na sluiting van de Lauwerszee (grote verstoring; resterende geulen ca. $35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ te ruim voor nieuwe situatie). De modellen MORRES en ESTMORF gaven informatie over de invloed van bodemdaling en zeespiegelstijging op het platenareaal in de vloedkommen van de Zoutkamperlaag en van het Pinkegat. De drie modellen gaven informatie over het effect op het plaatniveau en de mate van compensatie door sedimentatie tijdens het ontstaan van de bodemdalingsschotel. Alle resultaten gaven aan dat de invloed van gaswinning op de grootte van het platenareaal en op het plaatniveau gering was. Dit werd ook nog eens bevestigd door berekeningen met een vierde model AEGHIS, ontwikkeld en afgeregeld door de Universiteit van Utrecht (NAM, 1998a-Hoofdrapport).

ESTMORF-model





2.2 km 3.01
 2.1 km 2.01
 2.0 km 1.01
 1.9 km 0.01
 0.2 km 0.01
 0.1 km 0.01
 0.0 km 0.00
 -0.5 km -0.99
 -1.0 km -1.99
 -1.5 km -2.99
 -2.0 km -3.99
 -2.5 km -4.99
 -3.0 km -5.99
 -3.5 km -6.99
 -4.0 km -7.99
 -4.5 km -8.99
 -5.0 km -9.99
 -5.5 km -10.99
 -6.0 km -11.99
 -6.5 km -12.99
 -7.0 km -13.99
 -7.5 km -14.99
 -8.0 km -15.99
 -8.5 km -16.99
 -9.0 km -17.99
 -9.5 km -18.99
 -10.0 km -19.99
 -10.5 km -20.99
 -11.0 km -21.99
 -11.5 km -22.99
 -12.0 km -23.99
 -12.5 km -24.99
 -13.0 km -25.99
 -13.5 km -26.99
 -14.0 km -27.99
 -14.5 km -28.99
 -15.0 km -29.99
 -15.5 km -30.99
 -16.0 km -31.99
 -16.5 km -32.99
 -17.0 km -33.99
 -17.5 km -34.99
 -18.0 km -35.99
 -18.5 km -36.99
 -19.0 km -37.99
 -19.5 km -38.99
 -20.0 km -39.99
 -20.5 km -40.99
 -21.0 km -41.99
 -21.5 km -42.99
 -22.0 km -43.99
 -22.5 km -44.99
 -23.0 km -45.99
 -23.5 km -46.99
 -24.0 km -47.99
 -24.5 km -48.99
 -25.0 km -49.99
 -25.5 km -50.99
 -26.0 km -51.99
 -26.5 km -52.99
 -27.0 km -53.99
 -27.5 km -54.99
 -28.0 km -55.99
 -28.5 km -56.99
 -29.0 km -57.99
 -29.5 km -58.99
 -30.0 km -59.99
 -30.5 km -60.99
 -31.0 km -61.99
 -31.5 km -62.99
 -32.0 km -63.99
 -32.5 km -64.99
 -33.0 km -65.99
 -33.5 km -66.99
 -34.0 km -67.99
 -34.5 km -68.99
 -35.0 km -69.99
 -35.5 km -70.99
 -36.0 km -71.99
 -36.5 km -72.99
 -37.0 km -73.99
 -37.5 km -74.99
 -38.0 km -75.99
 -38.5 km -76.99
 -39.0 km -77.99
 -39.5 km -78.99
 -40.0 km -79.99
 -40.5 km -80.99
 -41.0 km -81.99
 -41.5 km -82.99
 -42.0 km -83.99
 -42.5 km -84.99
 -43.0 km -85.99
 -43.5 km -86.99
 -44.0 km -87.99
 -44.5 km -88.99
 -45.0 km -89.99
 -45.5 km -90.99
 -46.0 km -91.99
 -46.5 km -92.99
 -47.0 km -93.99
 -47.5 km -94.99
 -48.0 km -95.99
 -48.5 km -96.99
 -49.0 km -97.99
 -49.5 km -98.99
 -50.0 km -99.99
 -50.5 km -100.99
 -51.0 km -101.99
 -51.5 km -102.99
 -52.0 km -103.99
 -52.5 km -104.99
 -53.0 km -105.99
 -53.5 km -106.99
 -54.0 km -107.99
 -54.5 km -108.99
 -55.0 km -109.99
 -55.5 km -110.99
 -56.0 km -111.99
 -56.5 km -112.99
 -57.0 km -113.99
 -57.5 km -114.99
 -58.0 km -115.99
 -58.5 km -116.99
 -59.0 km -117.99
 -59.5 km -118.99
 -60.0 km -119.99
 -60.5 km -120.99
 -61.0 km -121.99
 -61.5 km -122.99
 -62.0 km -123.99
 -62.5 km -124.99
 -63.0 km -125.99
 -63.5 km -126.99
 -64.0 km -127.99
 -64.5 km -128.99
 -65.0 km -129.99
 -65.5 km -130.99
 -66.0 km -131.99
 -66.5 km -132.99
 -67.0 km -133.99
 -67.5 km -134.99
 -68.0 km -135.99
 -68.5 km -136.99
 -69.0 km -137.99
 -69.5 km -138.99
 -70.0 km -139.99
 -70.5 km -140.99
 -71.0 km -141.99
 -71.5 km -142.99
 -72.0 km -143.99
 -72.5 km -144.99
 -73.0 km -145.99
 -73.5 km -146.99
 -74.0 km -147.99
 -74.5 km -148.99
 -75.0 km -149.99
 -75.5 km -150.99
 -76.0 km -151.99
 -76.5 km -152.99
 -77.0 km -153.99
 -77.5 km -154.99
 -78.0 km -155.99
 -78.5 km -156.99
 -79.0 km -157.99
 -79.5 km -158.99
 -80.0 km -159.99
 -80.5 km -160.99
 -81.0 km -161.99
 -81.5 km -162.99
 -82.0 km -163.99
 -82.5 km -164.99
 -83.0 km -165.99
 -83.5 km -166.99
 -84.0 km -167.99
 -84.5 km -168.99
 -85.0 km -169.99
 -85.5 km -170.99
 -86.0 km -171.99
 -86.5 km -172.99
 -87.0 km -173.99
 -87.5 km -174.99
 -88.0 km -175.99
 -88.5 km -176.99
 -89.0 km -177.99
 -89.5 km -178.99
 -90.0 km -179.99
 -90.5 km -180.99
 -91.0 km -181.99
 -91.5 km -182.99
 -92.0 km -183.99
 -92.5 km -184.99
 -93.0 km -185.99
 -93.5 km -186.99
 -94.0 km -187.99
 -94.5 km -188.99
 -95.0 km -189.99
 -95.5 km -190.99
 -96.0 km -191.99
 -96.5 km -192.99
 -97.0 km -193.99
 -97.5 km -194.99
 -98.0 km -195.99
 -98.5 km -196.99
 -99.0 km -197.99
 -99.5 km -198.99
 -100.0 km -199.99
 -100.5 km -200.99
 -101.0 km -201.99
 -101.5 km -202.99
 -102.0 km -203.99
 -102.5 km -204.99
 -103.0 km -205.99
 -103.5 km -206.99
 -104.0 km -207.99
 -104.5 km -208.99
 -105.0 km -209.99
 -105.5 km -210.99
 -106.0 km -211.99
 -106.5 km -212.99
 -107.0 km -213.99
 -107.5 km -214.99
 -108.0 km -215.99
 -108.5 km -216.99
 -109.0 km -217.99
 -109.5 km -218.99
 -110.0 km -219.99
 -110.5 km -220.99
 -111.0 km -221.99
 -111.5 km -222.99
 -112.0 km -223.99
 -112.5 km -224.99
 -113.0 km -225.99
 -113.5 km -226.99
 -114.0 km -227.99
 -114.5 km -228.99
 -115.0 km -229.99
 -115.5 km -230.99
 -116.0 km -231.99
 -116.5 km -232.99
 -117.0 km -233.99
 -117.5 km -234.99
 -118.0 km -235.99
 -118.5 km -236.99
 -119.0 km -237.99
 -119.5 km -238.99
 -120.0 km -239.99
 -120.5 km -240.99
 -121.0 km -241.99
 -121.5 km -242.99
 -122.0 km -243.99
 -122.5 km -244.99
 -123.0 km -245.99
 -123.5 km -246.99
 -124.0 km -247.99
 -124.5 km -248.99
 -125.0 km -249.99
 -125.5 km -250.99
 -126.0 km -251.99
 -126.5 km -252.99
 -127.0 km -253.99
 -127.5 km -254.99
 -128.0 km -255.99
 -128.5 km -256.99
 -129.0 km -257.99
 -129.5 km -258.99
 -130.0 km -259.99
 -130.5 km -260.99
 -131.0 km -261.99
 -131.5 km -262.99
 -132.0 km -263.99
 -132.5 km -264.99
 -133.0 km -265.99
 -133.5 km -266.99
 -134.0 km -267.99
 -134.5 km -268.99
 -135.0 km -269.99
 -135.5 km -270.99
 -136.0 km -271.99
 -136.5 km -272.99
 -137.0 km -273.99
 -137.5 km -274.99
 -138.0 km -275.99
 -138.5 km -276.99
 -139.0 km -277.99
 -139.5 km -278.99
 -140.0 km -279.99
 -140.5 km -280.99
 -141.0 km -281.99
 -141.5 km -282.99
 -142.0 km -283.99
 -142.5 km -284.99
 -143.0 km -285.99
 -143.5 km -286.99
 -144.0 km -287.99
 -144.5 km -288.99
 -145.0 km -289.99
 -145.5 km -290.99
 -146.0 km -291.99
 -146.5 km -292.99
 -147.0 km -293.99
 -147.5 km -294.99
 -148.0 km -295.99
 -148.5 km -296.99
 -149.0 km -297.99
 -149.5 km -298.99
 -150.0 km -299.99
 -150.5 km -300.99
 -151.0 km -301.99
 -151.5 km -302.99
 -152.0 km -303.99
 -152.5 km -304.99
 -153.0 km -305.99
 -153.5 km -306.99
 -154.0 km -307.99
 -154.5 km -308.99
 -155.0 km -309.99
 -155.5 km -310.99
 -156.0 km -311.99
 -156.5 km -312.99
 -157.0 km -313.99
 -157.5 km -314.99
 -158.0 km -315.99
 -158.5 km -316.99
 -159.0 km -317.99
 -159.5 km -318.99
 -160.0 km -319.99
 -160.5 km -320.99
 -161.0 km -321.99
 -161.5 km -322.99
 -162.0 km -323.99
 -162.5 km -324.99
 -163.0 km -325.99
 -163.5 km -326.99
 -164.0 km -327.99
 -164.5 km -328.99
 -165.0 km -329.99
 -165.5 km -330.99
 -166.0 km -331.99
 -166.5 km -332.99
 -167.0 km -333.99
 -167.5 km -334.99
 -168.0 km -335.99
 -168.5 km -336.99
 -169.0 km -337.99
 -169.5 km -338.99
 -170.0 km -339.99
 -170.5 km -340.99
 -171.0 km -341.99
 -171.5 km -342.99
 -172.0 km -343.99
 -172.5 km -344.99
 -173.0 km -345.99
 -173.5 km -346.99
 -174.0 km -347.99
 -174.5 km -348.99
 -175.0 km -349.99
 -175.5 km -350.99
 -176.0 km -351.99
 -176.5 km -352.99
 -177.0 km -353.99
 -177.5 km -354.99
 -178.0 km -355.99
 -178.5 km -356.99
 -179.0 km -357.99
 -179.5 km -358.99
 -180.0 km -359.99
 -180.5 km -360.99
 -181.0 km -361.99
 -181.5 km -362.99
 -182.0 km -363.99
 -182.5 km -364.99
 -183.0 km -365.99
 -183.5 km -366.99
 -184.0 km -367.99
 -184.5 km -368.99
 -185.0 km -369.99
 -185.5 km -370.99
 -186.0 km -371.99
 -186.5 km -372.99
 -187.0 km -373.99
 -187.5 km -374.99
 -188.0 km -375.99
 -188.5 km -376.99
 -189.0 km -377.99
 -189.5 km -378.99
 -190.0 km -379.99
 -190.5 km -380.99
 -191.0 km -381.99
 -191.5 km -382.99
 -192.0 km -383.99
 -192.5 km -384.99
 -193.0 km -385.99
 -193.5 km -386.99
 -194.0 km -387.99
 -194.5 km -388.99
 -195.0 km -389.99
 -195.5 km -390.99
 -196.0 km -391.99
 -196.5 km -392.99
 -197.0 km -393.99
 -197.5 km -394.99
 -198.0 km -395.99
 -198.5 km -396.99
 -199.0 km -397.99
 -199.5 km -398.99
 -200.0 km -399.99
 -200.5 km -400.99
 -201.0 km -401.99
 -201.5 km -402.99
 -202.0 km -403.99
 -202.5 km -404.99
 -203.0 km -405.99
 -203.5 km -406.99
 -204.0 km -407.99
 -204.5 km -408.99
 -205.0 km -409.99
 -205.5 km -410.99
 -206.0 km -411.99
 -206.5 km -412.99
 -207.0 km -413.99
 -207.5 km -414.99
 -208.0 km -415.99
 -208.5 km -416.99
 -209.0 km -417.99
 -209.5 km -418.99
 -210.0 km -419.99
 -210.5 km -420.99
 -211.0 km -421.99
 -211.5 km -422.99
 -212.0 km -423.99
 -212.5 km -424.99
 -213.0 km -425.99
 -213.5 km -426.99
 -214.0 km -427.99
 -214.5 km -428.99
 -215.0 km -429.99
 -215.5 km -430.99
 -216.0 km -431.99
 -216.5 km -432.99
 -217.0 km -433.99
 -217.5 km -434.99
 -218.0 km -435.99
 -218.5 km -436.99
 -219.0 km -437.99
 -219.5 km -438.99
 -220.0 km -439.99
 -220.5 km -440.99
 -221.0 km -441.99
 -221.5 km -442.99
 -222.0 km -443.99
 -222.5 km -444.99
 -223.0 km -445.99
 -223.5 km -446.99
 -224.0 km -447.99
 -224.5 km -448.99
 -225.0 km -449.99
 -225.5 km -450.99
 -226.0 km -451.99
 -226.5 km -452.99
 -227.0 km -453.99
 -227.5 km -454.99
 -228.0 km -455.99
 -228.5 km -456.99
 -229.0 km -457.99
 -229.5 km -458.99
 -230.0 km -459.99
 -230.5 km -460.99
 -231.0 km -461.99
 -231.5 km -462.99
 -232.0 km -463.99
 -232.5 km -464.99
 -233.0 km -465.99
 -233.5 km -466.99
 -234.0 km -467.99
 -234.5 km -468.99
 -235.0 km -469.99
 -235.5 km -470.99
 -236.0 km -471.99
 -236.5 km -472.99
 -237.0 km -473.99
 -237.5 km -474.99
 -238.0 km -475.99
 -238.5 km -476.99
 -239.0 km -477.99
 -239.5 km -478.99
 -240.0 km -479.99
 -240.5 km -480.99
 -241.0 km -481.99
 -241.5 km -482.99
 -242.0 km -483.99
 -242.5 km -484.99
 -243.0 km -485.99
 -243.5 km -486.99
 -244.0 km -487.99
 -244.5 km -488.99
 -245.0 km -489.99
 -245.5 km -490.99
 -246.0 km -491.99
 -246.5 km -492.99
 -247.0 km -493.99
 -247.5 km -494.99
 -248.0 km -495.99
 -248.5 km -496.99
 -249.0 km -497.99
 -249.5 km -498.99
 -250.0 km -499.99
 -250.5 km -500.99
 -251.0 km -501.99
 -251.5 km -502.99
 -252.0 km -503.99
 -252.5 km -504.99
 -253.0 km -505.99
 -253.5 km -506.99
 -254.0 km -507.99
 -254.5 km -508.99
 -255.0 km -509.99
 -255.5 km -510.99
 -256.0 km -511.99
 -256.5 km -512.99
 -257.0 km -513.99
 -257.5 km -514.99
 -258.0 km -515.99
 -258.5 km -516.99
 -259.0 km -517.99
 -259.5 km -518.99
 -260.0 km -519.99
 -260.5 km -520.99
 -261.0 km -521.99
 -261.5 km -522.99
 -262.0 km -523.99
 -262.5 km -524.99
 -263.0 km -525.99
 -263.5 km -526.99
 -264.0 km -527.99
 -264.5 km -528.99
 -265.0 km -529.99
 -265.5 km -530.99
 -266.0 km -531.99
 -266.5 km -532.99
 -267.0 km -533.99
 -267.5 km -534.99
 -268.0 km -535.99
 -268.5 km -536.99
 -269.0 km -537.99
 -269.5 km -538.99
 -270.0 km -539.99
 -270.5 km -540.99
 -271.0 km -541.99
 -271.5 km -542.99
 -272.0 km -543.99
 -272.5 km -544.99
 -273.0 km -545.99
 -273.5 km -546.99
 -274.0 km -547.99
 -274.5 km -548.99
 -275.0 km -549.99
 -275.5 km -550.99
 -276.0 km -551.99
 -276.5 km -552.99
 -277.0 km -553.99
 -277.5 km -554.99
 -278.0 km -555.99
 -278.5 km -556.99
 -279.0 km -557.99
 -279.5 km -558.99
 -280.0 km -559.99
 -280.5 km -560.99
 -281.0 km -561.99
 -281.5 km -562.99
 -282.0 km -563.99
 -282.5 km -564.99
 -283.0 km -565.99
 -283.5 km -566.99
 -284.0 km -567.99
 -284.5 km -568.99
 -285.0 km -569.99
 -285.5 km -570.99
 -286.0 km -571.99
 -286.5 km -572.99
 -287.0 km -573.99
 -287.5 km -574.99
 -288.0 km -575.99
 -288.5 km -576.99
 -289.0 km -577.99
 -289.5 km -578.99
 -290.0 km -579.99
 -290.5 km -580.99
 -291.0 km -581.99
 -291.5 km -582.99
 -292.0 km -583.99
 -292.5 km -584.99
 -293.0 km -585.99
 -293.5 km -586.99
 -294.0 km -587.99
 -294.5 km -588.99
 -295.0 km -589.99
 -295.5 km -590.99
 -296.0 km -591.99
 -296.5 km -592.99
 -297.0 km -593.99
 -297.5 km -594.99
 -298.0 km -595.99
 -298.5 km -596.99
 -299.0 km -597.99
 -299.5 km -598.99
 -300.0 km -599.99
 -300.5 km -600.99
 -301.0 km -601.99
 -301.5 km -602.99
 -302.0 km -603.99
 -302.5 km -604.99
 -303.0 km -605.99
 -303.5 km -606.99
 -304.0 km -607.99
 -304.5 km -608.99
 -305.0 km -609.99
 -305.5 km -610.99
 -306.0 km -611.99
 -306.5 km -612.99
 -307.0 km -613.99
 -307.5 km -614.99
 -308.0 km -615.99
 -308.5 km -616.99
 -309.0 km -617.99
 -309.5 km -618.99
 -310.0 km -619.99
 -310.5 km -620.99
 -311.0 km -621.99
 -311.5 km -622.99
 -312.0 km -623.99
 -312.5 km -624.99
 -313.0 km -625.99
 -313.5 km -626.99
 -314.0 km -627.99
 -314.5 km -628.99
 -315.0 km -629.99
 -315.5 km -630.99
 -316.0 km -631.99
 -316.5 km -632.99
 -317.0 km -633.99
 -317.5 km -634.99
 -318.0 km -635.99
 -318.5 km -636.99
 -319.0 km -637.99
 -319.5 km -638.99
 -320.0 km -639.99
 -320.5 km -640.99
 -321.0 km -641.99
 -321.5 km -642.99
 -322.0 km -643.99
 -322.5 km -644.99
 -323.0 km -645.99
 -323.5 km -646.99
 -324.0 km -647.99
 -324.5 km -648.99
 -325.0 km -649.99
 -325.5 km -650.99
 -326.0 km -651.99
 -326.5 km -652.99
 -327.0 km -653.99
 -327.5 km -654.99
 -328.0 km -655.99
 -328.5 km -656.99
 -329.0 km -657.99
 -329.5 km -658.99
 -330.0 km -659.99
 -330.5 km -660.99
 -331.0 km -661.99
 -331.5 km -662.99
 -332.0 km -663.99
 -332.5 km -664.99
 -333.0 km -665.99
 -333.5 km -666.99
 -334.0 km -667.99
 -334.5 km -668.99
 -335.0 km -669.99
 -335.5 km -670.99
 -336.0 km -671.99
 -336.5 km -672.99
 -337.0 km -673.99
 -337.5 km -674.99
 -338.0 km -675.99
 -338.5 km -676.99
 -339.0 km -677.99
 -339.5 km -678.99
 -340.0 km -679.99
 -340.5 km -680.99
 -341.0 km -681.99
 -

Effect op platen

Bij de beschouwde bodemdalingsscenario's in de IBW (bodemdaling 11,5 à 19,2.10⁶ m³) zou het verlies aan plaatoppervlak in de kom van de Zoutkamperlaag bij maximale ontwikkeling van de bodemdaling kunnen liggen tussen 0,13 en 1,1 km² op een platenareaal van 81,6 km². Dit is (veel) minder dan 1,4 %. Bij de momenteel voorspelde bodemdaling voor de nieuwe gasvelden (2,1.10⁶ m³) zal dit zelfs (veel) minder dan 0,15 % (i.e. minder dan 0,1 km²) bedragen. Dit geringe verlies zal naar verwachting 11 à 16 jaar na het begin van gaswinning in de nieuwe velden optreden. Daarna zal de compensatie door sedimentatie groter worden dan de bodemdalingssnelheid en zal geleidelijk herstel optreden.

Uit de IBW volgt dat, als gevolg van compensatie door sedimentatie, de werkelijke maximum bodemdaling op de platen in de Waddenzee ongeveer de helft zal bedragen van het voorspelde maximum (Figuur 3.2.1). Dit houdt in dat de maximum verlaging van het Wierumerwad naar verwachting niet meer zal bedragen dan tussen de 2 en 2,5 cm langs de plaatrand met een plaatniveau dat overwegend tussen 1 à 1,7 m boven LLWS ligt, en niet meer dan circa 4 cm op de hoge plaat tegen de kwelderwerken waar het plaatniveau rond de 2 m boven LLWS ligt. De maximale verlaging van de platen op het Wierumerwad zal dus na 11 à 16 jaar gaswinning niet meer bedragen dan circa 2 % van de hoogte boven LLWS, waarna geleidelijk herstel zal optreden. Op de Brakzandplaat en op de platen onder Schiermonnikoog is het effect nog geringer.

Effect op geulen

De voorspelde bodemdaling in de geulen is in het algemeen minder dan een procent van de waterdiepte onder NAP. Dit is het peil waarbij de maximum stroomsnelheden in de geulen plaatsvinden. Verdere geulverruiming van enkele procenten zal plaatsvinden, omdat de geulen in eerste instantie een deel van het sediment (zandfractie) zullen leveren voor het herstel van de platen. Hierdoor zal de stroomsnelheid in de geulen iets afnemen. Naast dit effect van geulverruiming door bodemdaling zal door het verlagen van de platen het getijprisma van de vloedkom van de Zoutkamperlaag (i.e. het volume water van circa 200.10⁶ m³ dat met de vloed naar binnenstroomt en met de eb weer uitstroomt) met de bodemdaling eerst geleidelijk met circa 1.10⁶ m³ toenemen. Dientengevolge zullen de stroomsnelheden weer met circa 0,5 % toenemen. Al met al zal de stroomsnelheid in de geulen nauwelijks veranderen en na 11 à 16 jaar zal weer geleidelijk herstel optreden. In het gebied oostelijk van de bodemdaling zal in het geheel geen verandering optreden.

Bodemgesteldheid

Doordat de hydraulische condities in de geulen en op de platen nauwelijks zullen veranderen, zal er ook geen merkbare verandering in de bodemgesteldheid in de Waddenzee optreden.

Natuurlijke dynamiek

Door geulmigratie, seizoensverschillen in waterbeweging (golven, op- en afwaaiing, dood- en springtij) en seizoensverschillen per jaar (meer of minder storminvloed) vertoont het waddengebied van nature aanzienlijke fluctuaties, die groter zijn dan de effecten van

bodemdaling door gaswinning. Uit het monitoringsonderzoek op Ameland is gebleken dat de effecten van bodemdaling op het wad, zelfs bij de grotere bodemdaling daar, (nog) niet eenduidig aangetoond kunnen worden als gevolg van deze dynamiek en deels omdat de veranderingen zo gering zijn dat ze binnen de meetnauwkeurigheid vallen.

3.3 Effect op de Noordzeekust

Het is inmiddels een algemeen aanvaard uitgangspunt dat de Waddenzee en de aangrenzende Noordzeekustzone een zanddelend systeem vormen. Dit betekent dat elke verstoring in de Waddenzee uiteindelijk ook effect zal hebben op de Noordzeekustzone. Ook in de natuurlijke situatie treden “verstoringen” op, zoals zeespiegelstijging en kweldergroei. Zeespiegelstijging leidt tot verdieping van de Waddenzee, waardoor de stroomsnelheden afnemen en de Waddenzee als zandvang gaat werken. Bij de huidige zeespiegelstijging van circa 18 cm per eeuw kan voldoende sediment vanuit de Noordzee worden aangevoerd om de zeespiegelstijging te volgen en een dynamisch evenwicht in stand te houden. Ook kweldergroei leidt tot een extra zandvraag van de Noordzee. Door kweldergroei als gevolg van afzetting van fijn sediment in luwe delen langs de Waddenzeekust neemt zeer geleidelijk de komberging in de Waddenzee af en dientengevolge de stroomsnelheden in de geulen. Ook dit leidt tot afzetting van zand in de geulen die zich aanpassen aan de situatie met een kleiner getijprisma. Beide processen spelen al vele eeuwen een rol in de Waddenzee en de gevolgen voor de Noordzeekust zijn al lang zichtbaar in de vorm van zich landwaarts verplaatsende waddeneilanden. Sinds 1990 wordt de Noordzeekust in Nederland dynamisch gehandhaafd door de kustachteruitgang te suppleren met zand uit de Noordzee.

Bodemdaling door gaswinning heeft een meer lokaal en tijdelijk, maar vergelijkbaar effect als zeespiegelstijging. De bodemdalingsschotel van het nieuwe gasveld zal uiteindelijk weer worden opgevuld met sediment uit de Noordzee. Hiervoor is $2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sediment nodig, waarvan $2,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ via het Westgat en de Zoutkamperlaag moet worden aangevoerd en $0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ via het Pinkegat. In de IBW is (conservatief) geschat dat deze volumina zullen worden opgevuld met een zand-slibmengsel met circa 10 % slib. Uit recente informatie blijkt dit een conservatieve aanname (Figuur 3.3.1). De dichtheid van een zand-slibmengsel is wat lager dan die van zand alleen. Daarom is maar 85 % van het volume aan zand nodig, i.e. $1,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ respectievelijk $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand dat uiteindelijk van de Noordzee moet komen, om de bodemdalingsschotel in de Waddenzee weer op te vullen. In eerste instantie wordt dit zand door de geulen geleverd. De verruiming van de geulen wordt via zand van de buitendelta gecompenseerd en uiteindelijk wordt die verstoring weer vanuit de Noordzeekustzone gecompenseerd. Gebaseerd op berekeningen voor een bodemdalingsschotel van $11,5$ à $19,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in de Zoutkamperlaag in de IBW kan worden afgeleid dat de zandhonger van de vloedkom van de Zoutkamperlaag voor de situatie met het nieuwe gasveld met een kuil van $2,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in de eerste 11 à 16 jaar geleidelijk kan toenemen met maximaal $75.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Dit zou leiden tot een verhoging van de natuurlijke zandhonger van de Zoutkamperlaag ($0,54 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$) met maximaal 14 %. Verwacht wordt dat dit zand uiteindelijk zal worden geleverd door de Noordzeebodem, i.c. de vooroever van Ameland, omdat daar het water voor het vullen van de vloedkom van de Zoutkamperlaag vandaan komt. Uiteindelijk zal dit kunnen leiden tot een verlaging van deze vooroever van circa 1 cm (i.e. ca. 10 % van de berekende waarde in de IBW voor maximale bodemdaling). De invloed

op de stranden van Ameland en Schiermonnikoog is dus klein en zeer indirect en zal niet merkbaar zijn.

Bij Ameland heeft de totale bodemdaling in de Waddenzee en in de Noordzee ($13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) invloed op de Noordzeekust. De extra zandvraag van $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ door het deel van de bodemdalingsschotel van de nieuwe velden in de vloedkom van het Pinkegat zal het effect van de bodemdaling van het Ameland-veld enigszins versterken (minder dan 4 %). Gezien de ervaringen van het monitoringsonderzoek op Ameland tot nu toe, zal naar verwachting ook dit door de sterke dynamiek in de actieve kuststrook van de Noordzee niet terug te vinden zijn. Het geringe effect kan alleen op theoretische gronden aannemelijk worden gemaakt. In de praktijk zal het indirect via de reguliere kustsuppleties worden gecompenseerd.

3.4 Effect op kwelderrand en -niveau van de Peazemerlannen

3.4.1 Algemeen

Het doel van dit hoofdstuk is om op grond van de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (NAM, 1998a), van gegevens van de monitoring van de bodemdaling op Ameland (Eysink et al., 2000), van 0-metingen van 1994-1996 in de Peazemerlannen zelf (Van Duin et al., 1997) en van latere metingen een voorspelling te doen van de effecten van eventuele bodemdaling op de Peazemerlannen. De Peazemerlannen omvatten een kwelder en een zomerpolder. De bodem van dit gebied bestaat uit een dikke laag zeeklei, die bij de zeewering op een hoogte van ongeveer NAP + 2 m overgaat in een geasfalteerde dijkvoet. Er zijn geen duinen, zodat de monitoring van de bodemdaling op Ameland-Oost in de duinen en duinvalleien niet relevant is voor de Peazemerlannen.

De kwelder van de Peazemerlannen vertoont qua opbouw een zekere overeenkomst met het Nieuwlandsrijd op Ameland. Beide kwelders hebben een harde oeververdediging met onderbrekingen. Bij de Peazemerlannen gaat het om stormdoorbraken in een met asfalt beklede zomerkade, die in 1973 zijn ontstaan en niet meer zijn hersteld. Sindsdien heeft zich een natuurlijke kwelder ontwikkeld. Bij het Nieuwlandsrijd gaat het om een natuurlijke kwelder, die door middel van enkele hoofdkreken een open verbinding heeft met het wad. De kwelderrand is tegen afslag verdedigd door een stenen beschoeiing. In beide gevallen is de kwelderrand dus grotendeels van een harde bescherming voorzien, zodat afslag van de kwelderrand door bodemdaling niet kan plaatsvinden.

De ontwikkeling van de vegetatie in een kwelder hangt sterk af van de ontwikkeling van het kwelderniveau en het beheer van de kwelder. Hierin spelen de natuurlijke opslibbing en bodemdaling door klink of gaswinning een rol, maar ook de intensiteit van beweiding. Gegevens over bodemdaling en opslibbing voor de Peazemerlannen en het Nieuwlandsrijd zijn samengevat in Tabel 3.4.1.

Snelheid van bodemdaling (mm/j)	Bodemdaling (mm)	Opslibbing (mm/j)
Peazemerlannen (prognose, $\pm 20\%$)		
4,2 (jaar 2 - 11)		
2,8 (jaar 12 - 21)	60 - 70 (totaal, $\pm 20\%$)	8 - 16 (1973 - 1997)
Nieuwlandsrijd (gemeten, raai 3)		
10 (1987 - 1999)	120 (1987 - 1999)	1 - 11 (1993 - 2000)

Tabel 3.4.1 Bodemdaling en opslibbing in de Peazemerlannen en op Nieuwlandsrijd.

Uit deze tabel blijkt dat de prognose voor de bodemdaling Peazemerlannen volledig binnen de gemeten waarden voor die op het Nieuwlandsrijd valt. De gemeten opslibbing op de Peazemerlannen is daarentegen hoger dan op Ameland en voldoende om het effect van zeespiegelstijging (orde 2 mm/j) en verwachte bodemdaling te compenseren. Het kwelderdeel van de Peazemerlannen is onbeweid en het Nieuwlandsrijd wordt sinds lang intensief beweid, wat deze Amelander kwelder gevoeliger maakt voor bodemdaling. De monitoring op Ameland beschrijft dus een veel zwaardere ingreep dan die in de Peazemerlannen, zodat een voorspelling van de effecten van bodemdaling Peazemerlannen aan een echte, veel zwaardere, praktijksituatie getoetst kan worden.

3.4.2 Resultaten monitoring 13 jaar bodemdaling Ameland

Doel en methode van de monitoring op Ameland

De inzichten van de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (NAM, 1998a) waren bij de start van de gaswinning onder Ameland in 1986 nog niet beschikbaar. Vandaar dat er op basis van de voorspelling van 1986 zonder voorwaarden aan de snelheid van bodemdaling gas werd geproduceerd. De doelen van kweldermonitoring op Ameland zijn:

1. Kwantificeren van de opslibbingsbalans en toetsing aan de grenswaarde.
2. Kwantificeren van de vegetatieveranderingen (successierichting en kwelderareaal) en verklaren van veranderingen aan de hand van de opslibbingsbalans, de ontwatering, de beweiding, de veranderingen in Gemiddeld Hoog Water (GHW) en de eventuele cumulatie van deze factoren.
3. Voorstellen van eventuele beheersmaatregelen.

In het kader van het eerste punt werd de opslibbing periodiek in proefvakken (pq's) gemeten:

- Vanaf 1993 zijn op alle pq's drie maal per jaar metingen van de opslibbing/inklink uitgevoerd met de SEB-methode (onderdeel van het SEB-meetnet van Alterra in de Waddenzee). Voor 1993 werd de opslibbing gewaterpast en aan de pq-palen gemeten.
- Waterpassingen van de pq-palen en de bodemdaling werden per twee jaar aangeleverd door de NAM, en jaarlijks opslibbingsgegevens van 7 pq's door het WL | Delft Hydraulics gemeten ten opzichte van een ingegraven plaat.

Resultaten van de monitoring op Ameland

De SEB-metingen van de opslibbing zijn in Figuur 3.4.1 weergegeven. Deze metingen geven tevens een beeld van de seizoensfluctuaties en de achterliggende processen. Die kunnen de jaarlijkse veranderingen in bodemhoogte verklaren. Onder invloed van waterverlies en waterabsorptie kunnen oude (= gerijpte) kleiige bodems door krimp en zwelling een variatie in bodemhoogte vertonen van 3-4 cm (Veenstra, 1965; De Glopper, 1973). De mate van fluctuatie hangt sterk samen met de hoeveelheid neerslag en dus het vochtgehalte van de bodem. Bij een binnendijkse uitgerijpte bodem is de zomerse inklink (vrijwel) geheel reversibel (pers. comm. De Glopper, 1997).

Figuur 3.4.1 toont de volgende resultaten van de opslibbing op het Nieuwlandsrijd:

- In alle zomers is er in mindere of meerdere mate inklink geweest. Herstel treedt meestal vrij snel op in de herfst door zwelling als gevolg van neerslag of overvloeding.
- De weersomstandigheden in 1995 en 1999 waren vrij uitzonderlijk: een warme zomer met sterke krimp van de bodem door uitdroging (tot circa 2 cm in de referentiegebieden).
- De winter van 1995/1996 was ook uitzonderlijk; de wind kwam vrijwel uitsluitend uit oostelijke richtingen, waardoor de slibaanvoer gering was (nauwelijks overvloedingen en geen stormtijden).
- In alle jaren is de winter voor opslibbing de belangrijkste periode, waarbij de opslibbing in de winters 1998/99 en 1999/2000 het hoogst is. Dat is ook bij de SEB-metingen van Alterra in alle referentiegebieden het geval.
- De gemiddelde opslibbing over de periode 1993-2000 op het Nieuwlandsrijd is 11 mm/j per jaar voor de pionierzone, 7 mm/j voor de lage kwelder, 8 mm/j voor de midden kwelder en 1 mm/j voor de hoge kwelder. Dat is hoog voor een eilandkwelder, op het niveau van de bovenwaarde van de in 1986 voorspelde range (3-8 mm/j voor de lage kwelder; Reinalda et al. 1987).

De bodemdaling in de vegetatieraaien van het Nieuwlandsrijd en De Hon (Ameland) is 8 - 19 mm per jaar. Dat is uitzonderlijk hoog voor de draagkracht van een eilandkwelder (Dijkema et al., 1990). Uit onderzoek gedurende 13 jaar gaswinning (Eysink et al., 2000) is gebleken dat in de laagste zones van de kwelder en de delen, die het dichtst bij de Waddenzee of de krekken zijn gelegen, de opslibbing niettemin in evenwicht is met de bodemdaling. 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 (Fig. 3.4.2). De opslibbing is daar het laagst. De grenswaarde van 50 mm voor veranderingen in de vegetatie, die voor een negatieve opslibbingsbalans is gesteld, wordt ruim overschreden. Deze negatieve opslibbingsbalans is een effect van bodemdaling door gaswinning. Na beëindiging van de gaswinning zal herstel van de oorspronkelijke maaiveldhoogte plaatsvinden als gevolg van een dan weer positieve opslibbingsbalans.

Conclusies van de monitoring

De voornaamste conclusies in het onderzoeksrapport met de resultaten van de monitoring tot en met 1999 voor de abiotische factoren op de kwelders zijn (Eysink et al., 2000):

- Vorm en oppervlakte van Ameland-Oost zijn niet duidelijk beïnvloed door de bodemdaling. De kwelderafslag langs de bestaande afslagrand bij het Oerd, de Oerderduinen en De Hon is doorgedaan, maar heeft zich niet versneld. Langs een ander deel van De Hon vond enige aangroei plaats.
- In de buurt van de rand van de kwelders en van de kwelderkreken (bodemdaling 120 - 180 mm) is de bodemdaling gecompenseerd door de opslibbing. Op grotere afstand van de rand van de kwelders en de kreken vond gedeeltelijke compensatie plaats.
- De afstand tot het wad of tot de kreken (de bronnen van het sediment) blijkt minstens zo belangrijk te zijn voor de snelheid van opslibbing als de hoogteligging (Stoddart et al. 1989; Van Duin et al. 1997; Esselink et al. 1998; Reed et al. 1999).
- De ontwatering blijkt voor de kwelderzoning, binnen marges, meer en in ieder geval sneller tot veranderingen in vegetatie te leiden dan de maaiveldhoogte.

3.4.3 Resultaten 0-meting Peazemerlannen

Doel en methode van de 0-meting Peazemerlannen

Uit vooronderzoek dat in 1993 in opdracht van NAM door Alterra en de Universiteit Utrecht is uitgevoerd (Oost & Dijkema, 1993), is gebleken dat de Peazemerlannen het meest gevoelige gebied voor bodemdaling waren. Die conclusie was niet op metingen in de kwelder gebaseerd, maar op (te) voorzichtige aannames voor de opslibbing. Eind 1994 is daarom door Alterra onderzoek gestart naar de opslibbing en vegetatie in de Peazemerlannen. Het onderzoek is deels uitgevoerd in samenwerking met het Kernfysisch Versnellingsinstituut van de RU Groningen. De nulmetingen zijn gedurende een aantal jaren uitgevoerd en omvatten een periode van extreme droogte en klink en van zware storm. De resultaten zijn vastgelegd in het rapport 'Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen' (Van Duin et al., 1997). Dit rapport maakt onderdeel uit van de Integrale Bodemdalingstudie (in het deelrapport kwelders, rapport nummer 3). De opslibbing is onderzocht met verschillende methoden, i.e. via Caesiumdatering (1973 - 1986 en 1986 - 1996), hermeting van een oude hoogtekaart (1973 - 1996), metingen aan import en export van sediment en opslibbingmetingen met SEB (1995 - 1997) en met filters.

Resultaten van de 0-meting Peazemerlannen

De lage kwelderzone werd als meest kritisch voor bodemdaling beschouwd. De opslibbingcijfers voor de lage kwelder in Van Duin et al. (1997) variëren van 8 - 16 mm per jaar. In Tabel 3.4.2 worden de opslibbingcijfers van de verschillende methoden met elkaar vergeleken. De cijfers van de hermeting zijn het meest betrouwbaar door de lange tijdperiode waarover gemiddeld is. De hermeting leverde voor de lage kwelderzone een gemiddelde opslibbing op van 16 mm/j.

Deelgebied	Hermeting	n	SEB	n	¹³⁷ Cs	n
Kwelder	16,1	115	8,1	25	10,0	2
Oeverwal	22,5	47	10,8	6		
Lage kwelder	15,6	29	8,1	11		
Kom (secundaire pionierzone)	10,9	24	4,1	6		
Gat (primaire pionierzone)	5,4	15	12,3	2		
Buitendijks		19				
Voor zeewering	5,0	15				
Langs strekdam	-21,2	4				
Zomerpolder	-0,3	89	-7,0	3		

Opslibbing/erosie gemeten tijdens de hermeting (1973 - 1996), met de sedimentation-erosion bar (SEB 1995 - 1997) en met de ¹³⁷Cs-methode (1973 - 1986 en 1986 - 1996).

Tabel 3.4.2 Gemiddelde bruto opslibbing/erosie (mm/jaar) in de Peazemerlannen.

De SEB-metingen zijn door Alterra na 1997 voortgezet. De reeks is nu zo lang (jan. 1995 - maart 2000) en de opslibbingscondities zijn zo divers (zie paragraaf 'Resultaten van de monitoring op Ameland'), dat de SEB-gegevens nu als beste schatting van de actuele opslibbing in de verschillende zones kunnen worden beschouwd. In Figuur 3.4.3 zijn de resultaten per zone weergegeven, op een vergelijkbare wijze als voor het Nieuwlandsrijd (Ameland). Daaruit blijkt een gemiddelde opslibbing, op basis van de SEB-metingen over de langere periode maart 1995-maart 2000, van 20 mm/j voor de primaire pionierzone (achter het gat in de bitumenkade), 11 mm/j voor de secundaire pionierzone (de kommen in de kwelder), 14 mm/j in de lage kwelder en op de oeverwallen (de hogere zone langs de kwelderkreken) en - 3 mm/j in de zomerpolder. Deze cijfers worden hierna in de effectenvoorspelling gebruikt.

3.4.4 Effect op het kwelderniveau en de kwelderrand van de Peazemerlannen

Methode opslibbingsbalans

Het bepalen van de balans tussen opslibbing, bodemdaling en veranderingen in GHW is in de lopende monitoringsprogramma's in de Groninger en Friese kwelderwerken (beheermetingen, RWS) en op Ameland (monitoring effecten van bodemdaling door gaswinning, Alterra) een beproefde methode. De methode wordt o.a. aanbevolen door de Raad voor de Natuur in haar advies over bodemdaling door gaswinning. De methode is gebaseerd op opslibbing/inklinkmetingen gekoppeld aan de pq's. Het SEB-meetnet van Alterra in o.a. de Peazemerlannen, in verschillende delen van de kwelderwerken en op Ameland is een betrouwbare basis voor interpretatie van de waargenomen processen op één bepaalde locatie.

Met de SEB-gegevens van de opslibbing is de trendlijn per zone berekend en doorgetrokken tot 2021 (Figuur 3.4.4). In werkelijkheid zal de lijn bij een toenemende hoogte op een bepaald moment afvlakken, omdat de aanvoer van sediment dan afneemt. Dat afvlakken heeft geen invloed op de resultaten van de voorspelling, want door bodemdaling zal het afvlakken later optreden. Als cijfer voor de bodemdaling is het meest waarschijnlijke

scenario (base case) voor de Peazemerlannen aangehouden: totaal 70 mm, waarvan 60 % = 4,2 mm/j in jaar 2 – 11 en 40 % = 2,8 mm/j in jaar 12 – 21 (Figuur 3.4.4).

Resultaten kwelder Peazemerlannen

Uit Figuur 3.4.4 blijkt dat de opslibbingsbalans nauwelijks door de bodemdaling wordt beïnvloed. Zowel in de primaire pionierzone achter de stormdoorbraak, de kommen, de lage kwelder als op de oeverwallen blijft de opslibbingsbalans positief. Ook als een zeespiegelstijging van 2 mm/j zou zijn meegenomen is dat het geval. Zelfs bij een drie maal zo hoge bodemdaling zou de opslibbingsbalans nog behouden blijven. Indien er na 2001 geen enkele opslibbing meer zou plaatsvinden dan nog zal de maaiveldhoogte bij de voorspelde bodemdaling vrijwel niet onder het niveau van het begin van de SEB-metingen in 1995 komen.

De primaire pionierzone achter de doorbraak in de asfalt zomerkade werd in de bodemdalingstudies van 1993 en 1998 nog als een probleem gezien. Op grond van de recente SEB-metingen is dat niet meer het geval. De eerder aanbevolen mitigatie d.m.v. een rijshoutdam wordt op dit moment dan ook niet meer noodzakelijk geacht. Monitoring zal moeten uitwijzen hoe deze zone zich in de toekomst ontwikkelt, mede om aantasting van de achterliggende zomerpolder en vervolgens van de dijkvoet te voorkomen. Ervaring in de kwelderwerken van Rijkswaterstaat langs de noordkust van Groningen en Friesland heeft geleerd dat mitigatie, indien bij veranderende omstandigheden toch noodzakelijk, te allen tijde snel en doeltreffend met rijshoutdammen kan worden uitgevoerd.

Resultaten zomerpolder Peazemerlannen

Uit Figuur 3.4.5 blijkt dat de opslibbingsbalans in de zomerpolder in het jaar 2021 in totaal 126 mm negatief wordt: 56 mm door inklink en 70 mm door de bodemdaling. Omdat ook de duikers in de zomerkade met de bodemdaling zullen meezakken en het gebied voldoende hoog ligt, zal de ontwatering van de zomerpolder niet door de bodemdaling als gevolg van gaswinning worden beïnvloed. Eventuele veranderingen in het grondwaterpeil ten opzichte van het maaiveld zullen voornamelijk worden veroorzaakt door de natuurlijke inklink.

Mogelijke klifvorming langs de voorliggende kwelder en de noodzaak van mitigatie met een rijzendam wordt in de voorgaande paragraaf bij 70 mm bodemdaling niet waarschijnlijk geacht. Verkweldering van de zomerpolder zou de doorslag kunnen geven om dat wel te doen om te voorkomen dat een klif naar de dijkvoet loopt.

3.5 Effect op de kweldervegetatie van de Peazemerlannen

3.5.1 Methode bepaling effecten op vegetatie en successierichting

De successierichting van de vegetatie is een belangrijk gegeven om zowel positieve als negatieve effecten van natuurlijke veranderingen, van beheersmaatregelen en van bodemdaling door gaswinning te kunnen beoordelen. In vaste proefvakken (pq's) wordt de bedekking van de afzonderlijke plantensoorten periodiek opgenomen. De pq-methode wordt

toegepast in b.v. de monitoring-programma's in de kwelderwerken (meetvakken van RWS) en op Ameland (pq's voor de NAM van Alterra). De gegevens van de pq's worden verwerkt tot op het niveau van soortengroepen, en beoordeeld op successie/regressie en/of veroudering/verjonging (Eysink et al., 2000). Bij de verwerking wordt tevens aandacht besteed aan de cumulatie met de effecten van beheersmaatregelen (waaronder beweiding) en met natuurlijke veranderingen, zoals weersomstandigheden en het jaargemiddelde hoogwaterpeil.

3.5.2 Resultaten Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee

In de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (NAM, 1998a) zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd om de effecten van bodemdaling op kwelders te kunnen voorspellen:

- Er treden geen effecten van bodemdaling op in de kweldervegetatie indien de opslibbing in balans is met de som van de bodemdaling en de zeespiegelstijging. Reden hiervoor is dat de kweldervegetatie in nauwkeurig vastgelegde zones ten opzichte van GHW groeit (Dijkema, 1997). De vegetatiezones zullen uiteindelijk parallel aan de trend in de waterstand opschuiven (afgezien van eventuele opslibbing). In de Oostzee is dit voor de bodemstijging daar aangetoond, echter alleen op de lange termijn (Ericson, 1980; Cramer & Hytteborn, 1987).
- Er treden geen effecten op in de kweldervegetatie bij een tijdelijk en gering tekort in de opslibbingsbalans van 5 cm (= grenswaarde). Op Ameland blijkt deze redenering tot nu toe juist (Eysink et al., 2000). De reden hiervoor zijn :
- Binnen een termijn van tien jaar de jaar-op-jaar veranderingen in GHW van meer belang zijn. Eén jaar met een verandering in GHW van 5-10 cm kan al tot een verschuiving van sommige planten leiden. Deze veranderingen vinden in hetzelfde jaar plaats bij een lager GHW en worden één of meer jaren vertraagd bij een hoger GHW (Beeftink, 1987a, 1987b). Ondertussen gaat de opslibbing door (Dijkema et al., 1990).
- De zoutplanten groeien lang niet altijd op de ondergrens van hun zone (Van Duin et al., 1997), dat geeft extra rek in het systeem.
- De opslibbing neemt niet toe als gevolg van de bodemdaling (behoudende veronderstelling). Dat kon tot nu toe niet worden getest omdat op Ameland alleen tijdens een periode met bodemdaling is gemeten.
- De marge van 5 cm in de opslibbingsbalans is beschikbaar onder de voorwaarde dat de productiesnelheid van de gaswinning verlaagd wordt, indien door cumulatie met extreme omstandigheden het kwelderareaal wordt aangetast (bijvoorbeeld tijdens een verhoging van GHW met 17 cm zoals in de periode 1976-1983; Bossinade et al., 1993).

3.5.3 Resultaten monitoring effecten van 13 jaar bodemdaling Ameland

Doel en methode van de vegetatiemonitoring op Ameland

De belangrijkste doelen van kweldermonitoring op Ameland zijn:

1. Kwantificeren van de vegetatieveranderingen (successierichting en kwelderareaal) en verklaren van veranderingen aan de hand van de opslibbingsbalans, de ontwatering, de beweiding, de veranderingen in GHW en de eventuele cumulatie van deze factoren.
2. Voorstellen van eventuele beheermaatregelen.

Het kwelderonderzoek op Ameland bestaat uit het periodiek opnemen van opslibbing en vegetatie in proefvakken (pq's) en van vegetatiekaarten. Op de kwelders werden in 1986 en daarna elke twee jaar (1989-1997) vegetatieopnamen gemaakt in ca. 50 proefvakken (Dankers et al., 1987; Eysink et al., 2000). Verder werden getijhoogtes en neerslaggegevens jaarlijks door het WL | Delft Hydraulics en vegetatiekaarten vijfjaarlijks door de RWS-Meetskundige Dienst toegeleverd.

Resultaten van de vegetatiemonitoring op Ameland

In 1987 is als gevolg van de toen al verwachte negatieve opslibbingsbalans een effect op de vegetatie voorspeld: verandering naar de vegetatie van lagere kwelderzones (zie paragraaf 'Voorspelling van de effecten op Ameland'). Echter, effecten van bodemdaling op de kweldervegetatie zijn gedurende de eerste 13 jaar bodemdaling nagenoeg niet gemeten (Eysink et al., 2000). Zelfs op de 12 proefvakken, waarbij de hoogte in 1997 beneden een kritische ondergrens van de betreffende vegetatiezone lag, kon slechts in een enkel geval een effect van bodemdaling op de vegetatie van de kwelder worden gemeten.

Conclusies van de vegetatiemonitoring op Ameland

De voornaamste conclusies van het onderzoeksrapport met de resultaten van de monitoring tot en met 1999 voor de kweldervegetatie zijn (Eysink et al., 2000):

- De ontwatering blijkt voor de kwelderzoning, binnen marges, meer en in ieder geval sneller tot veranderingen in vegetatie te leiden dan de maaiveldhoogte.
- De plantengroei van de kwelders is nagenoeg ongewijzigd gebleven. Tegen de verwachting in vonden de meeste veranderingen, die op de vegetatiekaarten zichtbaar zijn, op het Nieuwlandsrijd plaats (o.a. meer kweldergras in het oosten), overigens zonder een eenduidige richting en oorzaak. De oorzaak wordt gezocht bij interacties van de bodemdaling met de beweiding door vee en ganzen.
- Bodemdaling lijkt de veroudering van kweldervegetatie op Ameland te remmen. Mogelijk zou zonder bodemdaling meer successie (= verandering van de vegetatie van lagere naar hogere kwelderzones) zijn opgetreden.

3.5.4 Resultaten kweldervegetatie Peazemerlannen

Er zijn geen effecten van de verwachte bodemdaling op de vegetatie van de pionierzone en de kwelderzones te verwachten. De opslibbingsbalans blijft ruimschoots positief. Zelfs bij een drie maal zo hoge bodemdaling zou de opslibbingsbalans nog behouden blijven. Er zijn twee complicerende factoren in deze voorspelling:

1. Uit een vergelijking van de theoretische ondergrenzen van de vegetatiezones (Van Duin et al., 1997) met de gemeten gemiddelde ondergrenzen in de Peazemerlannen (Figuur

3.4.4) blijkt dat de pionierzones 40 cm boven hun theoretische ondergrens groeien en de kwelderzones 20 cm. Dat betekent dat, afgezien van de opslibbing, is er gemiddeld nog 20 - 40 cm reserve in de hoogteligging aanwezig is voordat er veranderingen in de vegetatie kunnen worden verwacht.

- De uitkomsten van de kweldermonitoring op Ameland hebben de vraag opgeroepen of de huidige theorie over de sterke rol van de maaiveldhoogte in de kwelderzonerings houdbaar is. De mate van ontwatering en de beweiding zijn eveneens van belang; binnen marges zijn de effecten daarvan misschien wel groter. Voor de Peazemerlannen is dit van belang voor de kommen. De vegetatie groeit daar 40 cm boven de ondergrens. De bepalende factor voor het type vegetatie is daar de ontwatering. Door terugschrijdende erosie in kleine kreekjes vindt in de kommen natuurlijke kreekvorming plaats. Zodra een kom daardoor wordt ontwaterd, zal zeer snel successie van de pionierzone naar de lage kwelderzone plaatsvinden. Dit staat geheel los van eventuele bodemdaling. Tabel 3.5.1 (kom) geeft daar al aanwijzingen voor.

Een ander punt van aandacht is de mogelijke veroudering van kwelders. Volgens vele bronnen leidt voortgaande successie tot een afname van de diversiteit aan vegetatietypen op kwelders (Westhoff et al., 1998; Storm, 1999; Eysink et al., 2000, blz. 282, punt 3; dissertatie Esselink in prep.). Ook in de Peazemerlannen zijn daar aanwijzingen voor (Tabel 3.5.1). Een bodemdaling van 7 cm in 20 jaar betekent dat de relatieve ophoging van de kwelder gewoon doorgaat, en daarmee ook de vegetatiesuccessie. De tijdelijke verlaging van de opslibbing vertraagt de veroudering van de kweldervegetatie hooguit. Dat is een positief neveneffect van gaswinning, maar de bodemdaling is niet groot genoeg om dat probleem langdurig op te lossen.

Jaar	Kom (n=3)			Lage kwelder (n=3)			Oeverwal (n=2)		
	1995	1996	1998	1995	1996	1998	1995	1996	1998
Totale bedekking	53	70	55	90	100	90	100	95	90
Aster tripolium	<1	1	3	27	17	15	15	1	<1
Atriplex portulacoides	-	<1	-	-	1	<1	15	15	3
Atriplex prostrata	-	<1	-	<1	7	5	10	1	<1
Elymus athericus	-	-	-	-	-	-	55	75	88
Glaux maritima	-	-	-	-	-	<1	-	-	-
Plantago maritima	-	-	-	-	-	<1	-	-	-
Puccinellia maritima	<1	2	20	67	87	85	20	<1	-
Salicornia spp.	-	21	15	13	<1	-	-	-	-
Spartina anglica	<1	-	-	<1	<1	<1	-	-	-
Spergularia maritima	-	-	-	-	<1	<1	-	-	-
Suaeda maritima	2	50	20	23	5	2	<1	<1	-

Kom: pq 8, 12, 17; lage kwelder: pq 9, 13, 18; oeverwal: pq 10 en 16.

Tabel 3.5.1 Gemiddelde bedekkingpercentages van kwelderplanten in de Peazemerlannen gedurende de periode 1995 - 1998.

Vergelijking Peazemerlannen met Ameland

De monitoring van bodemdaling door gaswinning op Ameland is een zeldzame mogelijkheid om een voorspelling van milieueffecten te toetsen (conclusie van het wetenschappelijk bodemdalingssymposium; RU Groningen, 12 april 2000). De uitkomsten van de monitoring zijn van belang voor een wetenschappelijke en een maatschappelijke beoordeling van eventuele bodemdaling elders in de Waddenzee. In Par. 3.4.1 is reeds besproken dat deze resultaten ook representatief zijn voor de situatie in de Peazemerlannen.

In Tabel 3.5.2 worden de belangrijkste resultaten voor de kwelders van Ameland en de Peazemerlannen naast elkaar gezet. Daaruit blijkt het volgende:

- Voor de secundaire pionierzone is de opslibbing Peazemerlannen gelijk aan het Nieuwlandsrijd op Ameland (een primaire pionierzone ontbreekt daar). In beide gevallen is dat een hoge waarde voor pionierzones.
- De gemeten opslibbing in de kwelderzones van de Peazemerlannen is het dubbele van vergelijkbare zones op het Nieuwlandsrijd, Ameland. Voor Ameland is dat een hoge waarde voor eilandkwelders, voor de Peazemerlannen is dat een normale waarde voor de Friese vastelandkust.
- De prognose voor een eventuele bodemdaling Peazemerlannen is de helft van Nieuwlandsrijd.
- Een vergelijking van de voorspelling voor de vegetatie met de praktijksituatie op Nieuwlandsrijd, Ameland maakt de conclusies voor de Peazemerlannen zeker, omdat op Ameland bij heel veel ongunstiger condities na 13 jaar nagenoeg geen effecten op de vegetatie zijn opgetreden.

Kwelder	Peazemerlannen	Nieuwlandsrijd
Opslibbing		
Primaire pionierzone	20	n.v.t.
Secundaire pionierzone	11	11
Lage kwelder	14	7
Oeverwallen/Midden kwelder	14	8
Zomerpolder/Hoge kwelder	-3	1
Bodemdaling	4,2 (jaar 2-11) 2,8 (jaar 12-21)	10 (1987-1999)

Tabel 3.5.2 Vergelijking van de opslibbing (SEB-methode, mm/j) in de Peazemerlannen (1995 - 2000) en op Nieuwlandsrijd (1993 - 2000).

Conclusies kwelder Peazemerlannen

De gemeten opslibbing in de kwelderzones van de Peazemerlannen is het dubbele van vergelijkbare zones op het Nieuwlandsrijd (Ameland). De prognose voor een eventuele bodemdaling Peazemerlannen is minder dan de helft van het Nieuwlandsrijd.

Er zijn geen effecten van de voorspelde bodemdaling op de vegetatie van de pionierzone en de kwelderzones te verwachten. De opslibbingsbalans blijft ruimschoots positief. Zelfs bij een drie maal zo hoge bodemdaling zou de positieve opslibbingsbalans nog behouden blijven.

Een vergelijking met de praktijksituatie op Nieuwlandsrijd (Ameland) geeft een duidelijke bevestiging van deze conclusie, omdat daar bij heel veel ongunstiger condities na 13 jaar nagenoeg geen effecten op de vegetatie zijn opgetreden.

De eventuele bodemdaling in de kwelder is, gerekend vanaf het begin van de SEB-metingen in 1995, al in 2001 door natuurlijke opslibbing gecompenseerd!

De tijdelijke verlaging van de opslibbing gaat de veroudering van de kweldervegetatie tegen. Dat is positief, maar de bodemdaling is niet langdurig en groot genoeg om dat probleem op te lossen.

Vooralsnog is geen mitigatie in de primaire pionierzone achter de doorbraak in de asfaltkade nodig.

3.5.5 Resultaten vegetatie zomerpolder Peazemerlannen

De vegetatie in de zomerpolder wijkt duidelijk af van die op de kwelder als gevolg van een ander hydraulisch regime door de aanwezigheid van de zomerkade en door de intensieve beweiding. Deze factoren zullen door de bodemdaling nauwelijks wijzigen; de extra overstromingen zullen vooral in de winter plaatsvinden buiten het groeiseizoen. Bij een verder ongewijzigde situatie wordt dan ook geen verandering in de vegetatie in de zomerpolder verwacht.

In de nieuwe PKB voor de Waddenzee bestaan echter plannen voor een beleid met meer natuurontwikkeling, waarbij met name gedacht wordt aan het ontpolderen van zomerpolders in dit gebied. In dat geval de poldervegetatie veranderen in kweldervegetatie. Om de "schok" niet te groot te maken zou ontpoldering van de zomerpolder in de Peazemerlannen moeten plaatsvinden bij een zo gering mogelijk niveauverschil met de aangrenzende kwelder. Verkweldering herstelt de opslibbing, waarna een ontwikkeling naar een natuurlijke kweldervegetatie op gang kan komen. Dit voorgenomen beleid is lastiger succesvol uit te voeren nadat de zomerpolder teveel is gezakt door inklink, zeespiegelstijging en/of bodemdaling.

Het aandeel van de bodemdaling in de negatieve opslibbingsbalans van de zomerpolder ligt maar net boven de grenswaarde en de zomerpolder is nu nog relatief hoog gelegen (gemiddeld het niveau van de midden kwelderzone). Mitigatie door middel van verkwelderen is een mogelijke beheersmaatregel, die de natuurlijke veerkracht voor de toekomst herstelt. Beleidsmakers, de eigenaar Waterschap Friesland en de beheerder It Fryske Gea zullen moeten beslissen of mitigatie door ontpolderen wenselijk is.

3.6 Effect op het bodemleven op het wad en op de vogelstand

Het verlagen van het wad leidt lokaal tot een gering en tijdelijk verlies aan plaatareaal (tot minder dan $0,1 \text{ km}^2$ of $0,15 \%$ van het wad in de kom van de Zoutkamperlaag) en tot een geringe reductie in de droogvaltijd van de platen (maximaal enkele minuten). Hierdoor neemt theoretisch voor vogels de mogelijkheid om op het wad te fourageren iets af, wat zou kunnen leiden tot enige afname in de vogelstand. In de IBW is hier uitgebreid naar gekeken (NAM, 1998a-Hoofdrapport en Vogels). Hieronder is besproken wat in werkelijkheid het effect op de vogelstand zal zijn.

Bodemleven

Voor het fourageren op het wad is niet alleen de mogelijkheid om voedsel te kunnen zoeken van belang, maar is vooral de aanwezigheid van bodemleven belangrijk. Beukema (NIOZ, Texel) heeft op basis van kennis betreffende het voorkomen van biomassa als functie van de hoogte tussen LW en HW op de plaat gekeken naar de mogelijkheid dat biomassa verloren zou gaan als gevolg van bodemdaling of zeespiegelstijging. De biomassaverdeling laat zien dat vlak bij de HW-lijn geen bodemleven in de plaat zit. Verder naar beneden gaand neemt dit toe met een maximum voorkomen van bodemleven (gemiddeld rond 45 gr/m^2 asvrij drooggewicht) tussen MSL en LW. Nog lager op de plaat neemt de biomassa weer af tot een vrij laag niveau (gemiddeld in de orde van 7 gr/m^2) op LW. Door strenge winters en (over-)bevisning van mossels en kokkels treden aanzienlijke fluctuaties in de biomassa op de platen op.

Uitgaande van de in de IBW aangenomen maximale bodemdaling van 16 cm in de hele vloedkom van de Zoutkamperlaag, zonder compensatie door sedimentatie, vond Beukema zelfs een geringe toename ($0,8 \%$) van de totale biomassa in de vloedkom van de Zoutkamperlaag, doordat het verlies door plaatreductie volledig werd gecompenseerd door een gemiddeld iets grotere biomassadichtheid in de verlaagde platen. In een wat algemener verband vond Beukema dat er pas een merkbaar effect optreedt bij een niet door sedimentatie gecompenseerde zeespiegelstijging van meer dan 10 cm (Fig. 3.6.1). Hieruit kan redelijkerwijs worden geconcludeerd dat de nu verwachte, lokale en veel kleinere bodemdaling geen merkbare invloed op de aanwezige biomassa zal hebben.

Voorspelling gebaseerd op resultaten uit de IBW

Vervolgens hebben Brinkman en Ens (IBN, nu Alterra) een uitgebreide studie uitgevoerd naar eventuele negatieve effecten van plaatverlaging op de vogelstand in de Waddenzee met behulp van een dynamisch rekenmodel DEplete. Dit model simuleert het complexe systeem met meerdere vogelsoorten, die op verschillende niveaus van de plaat fourageren en in verschillende aantallen en seizoenen. Bij voldoende voedselaanbod kunnen alle vogels voldoende eten, maar bij onvoldoende aanbod of een schaars voedselaanbod gedurende langere tijd gaat onderlinge competitie optreden en zullen een aantal vogels sterven of wegtrekken. Met dit model is nagegaan welk effect het verlagen van de platen heeft op de vogelstand. Er zijn verschillende berekeningen uitgevoerd onder verschillende aannames. In de beschouwde gevallen met alleen een bodemdaling van 8 cm en 15 cm waren de voorspelde gevolgen voor de aantallen vogels klein in vergelijking tot de nauwkeurigheid van het model en de waargenomen variatie in vogelaantallen. Daarnaast zijn berekeningen

uitgevoerd, waarin de niveauverlaging van de platen systematisch is gevarieerd van 0 tot 120 cm om ook de invloed van eventuele versnelde zeespiegelstijging te kunnen beoordelen. Daaruit blijkt dat een verlaging van 5 cm van alle platen een invloed op de vogelaantallen heeft, die in het algemeen minder is dan 5 % (Fig. 3.6.2). Voor enkele vogelsoorten wordt het iets gunstiger (Tureluur, Groenpootruiter), voor de Wulp maakt het niet veel uit en voor anderen wordt het iets ongunstiger (Bontbekplevier, Rosse Grutto, Zwarte Ruiters, Scholekster en Zilverplevier). De voorspelde afnames zijn daarmee in de praktijk waarschijnlijk niet te meten. Dit zal zeker gelden voor de nu voorspelde bodemdaling van het nieuwe veld, dat zich maar over een deel van de vloedkom uitstrekt en waarin de werkelijke daling van de zelfde orde of kleiner zal zijn dan 5 cm.

Bevindingen uit de monitoringsstudie Ameland

Dit laatste wordt bevestigd door de resultaten van de monitoringsstudie op Ameland, waar de bodemdaling op het Pinkewad onder Ameland na 13 jaar gaswinning al 19 cm bedroeg op de wadrand aflopend naar nul in de Waddenzee met een volume van circa $3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dit is aanzienlijk groter dan de voorspelde bodemdaling in de Waddenzee door de nieuwe gasvelden. Ook daar is veel aandacht besteed aan de (werkelijke) effecten van de bodemdaling van het Ameland-veld in de Waddenzee op de vogelstand (De Vlas en Smit in: Eysink et al., 2000). Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de oorzaken van aantalsveranderingen in vogelaantallen, is dit onderzoek breed opgezet. Er is niet alleen gekeken naar de tellingen op de kwelders De Hon en Nieuwlandsrijd (in principe maandelijks tellingen), maar er zijn ook tellingen van andere, niet door bodemdaling beïnvloede gebieden uit andere bronnen als referentie bij betrokken (Engelsmanplaat, heel Ameland en Boschplaat). Daarnaast is ook gekeken naar de beschikbaarheid van voedsel. Voor de studie is gebruik gemaakt van alle beschikbare vogeltellingen over de periode van 1984 (voor het begin van de gaswinning in 1986) tot eind 1999. Uit de tellingen zijn de belangrijkste 16 vogelsoorten individueel bestudeerd. Daarnaast zijn de overige, minder talrijke soorten kort besproken en is ook naar broedende soorten op De Hon gekeken, waar de grootste bodemdaling heeft plaats gevonden (8 - 22 cm). Uit deze studie moest worden geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn dat de bodemdaling een negatief effect heeft gehad op de vogels, noch op de aantallen vogels die op het wad voedsel zoeken noch op de broedvogelstand.

3.7 Effect op het economisch gebruik van de zomerpolder

De zomerpolder achter het kweldergebied van de Peazemerlannen is door It Fryske Gea verpacht aan een boer, die er van half april tot half oktober vee laat grazen. De tegen de hoge zeehaving gelegen polder is ongeveer 3 km lang en circa 75 ha groot. Aan de zeezijde is de polder beschermd door een zomerkade met een kruinhoogte op NAP + 2,25 m. Het maaiveld in de polder ligt overwegend tussen 0,9 m en 2,4 m boven NAP met een gemiddelde hoogte van 1,55 à 1,6 m boven NAP. De polder watert door negen klepduikers in de zomerkade af naar de Waddenzee via de sloten in de ervoor liggende kwelder.

De verwachte bodemdaling in dit gebied zal uiteindelijk 6 cm bedragen in het oosten oplopend tot 8 cm in het westen. Deze daling zal niet of slechts zeer langzaam door opslibbing worden gecompenseerd, omdat de polder door een zomerkade van de zee is

afgeschermd. Hierdoor is de polder voor frequent voorkomende stormvloeden tegen overfloeding beschermd, terwijl het meeste slib dat bij hoge stormvloeden met het water over de zomerkade de polder instroomt door een relatief snelle afwatering weer via de negen klepduikers naar de Waddenzee wordt teruggespoeld. Als gevolg van de bodemdaling zakt niet alleen de polder, maar ook de kruin van de zomerkade. De zakking van de polder en de zomerkade kan leiden tot economische schade door:

1. frequentere wateroverlast door overstroming van de zomerkade in het graasseizoen, en
2. moeilijker afwatering van de polder.

In het volgende is getracht om de mogelijke schade zo goed mogelijk aan te geven.

Frequenter wateroverlast door overstroming

De zomerkade, die de zomerpolder aan de noordzijde tegen de zee beschermt, is een groene dijk met een kruinhoogte op circa NAP + 2,25 m. Uit jaargegevens van de waterstanden in het nabijgelegen getijstation Lauwersoog van de periode 1981-1997 blijkt, dat dit onder normale omstandigheden ruim voldoende bescherming geeft, maar dat dit niveau elk jaar één of meerdere keren tijdens een stormvloed ruim wordt overschreden (zie Tabel 3.7.1) en de polder volloopt met zeewater.

Jaar	Lauwersoog		
	Max. HW	GHW	GLW
1981	324	107.9	-128.0
1982	284	103.5	-131.4
1983	336	109.9	-123.9
1984	270	100.2	-133.4
1985	266	101.1	-131.5
1986	247	98.9	-130.6
1987	285	100.4	-133.0
1988	258	106.9	-124.0
1989	283	102.6	-125.0
1990	341	106.8	-121.4
1991	286	96.3	-136.0
1992	240	101.1	-131.2
1993	307	100.8	-133.1
1994	343	104.4	-130.0
1995	320	105.6	-129.0
1996	268	92.9	-143.6
1997	248	100.4	-134.9
1981-'97	343	102.3	-130.6

Tabel 3.7.1 Waterstanden van Lauwersoog (cm t.o.v. NAP)

Uit HW-overschrijdingsgegevens van Lauwersoog van de periode 1971-1980 blijkt, dat hoge stormvloeden voornamelijk voorkomen in de periode van november tot februari en incidenteel tijdens vroege najaarsstormen in oktober of tijdens voorjaarsstormen in maart of april (Tabel 3.7.2).

Gemiddeld aantal hoogwaters gelijk aan of hoger dan het referentiepeil, periode 1971-1980													
Waterhoogte (NAP+cm)	Hoogwaters												jaar
	jan	feb	mrt	april	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec	
300	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	1.0
290	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	1.0
280	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	1.0
270	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.3	1.3
260	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	1.7
250	0.5	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.8	0.8	2.2
240	0.5	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	1.2	1.0	3.0
230	0.7	0	0.1	0.3	0	0	0	0	0	0.2	1.5	1.0	3.8
220	0.7	0	0.1	0.4	0	0	0	0	0	0.2	2.0	1.4	4.8
210	0.7	0	0.1	0.4	0	0	0	0.1	0.1	0.3	2.6	1.7	6.0
200	0.8	0	0.2	0.6	0	0	0	0.1	0.1	0.5	3.1	2.1	7.5
190	1.3	0.1	0.3	0.7	0	0	0	0.1	0.3	1.1	4.1	2.9	10.9
180	1.8	0.2	0.5	0.7	0	0	0.1	0.1	0.7	1.3	4.7	3.2	13.3
170	2.6	0.7	0.7	0.8	0.1	0.2	0.1	0.2	1.0	2.1	6.0	4.2	18.7
160	3.4	1.2	0.9	1.3	0.4	0.2	0.2	0.5	1.3	3.4	7.6	6.0	26.4
150	5.5	2.0	1.9	1.9	0.5	0.5	0.8	1.1	2.2	4.5	9.4	7.9	38.2
140	7.3	3.4	3.7	2.9	0.9	0.9	1.7	1.8	3.8	7.3	13.1	11.2	58.0
130	10.7	5.3	5.2	4.7	1.6	2.6	4.9	3.4	7.2	9.8	17.1	15.3	87.8
120	14.1	7.9	8.8	7.5	3.1	6.4	11.3	10.2	13.8	13.4	23.2	20.7	140.4
110	19.1	11.8	14.4	12.4	7.9	13.6	19.4	16.9	21.7	19.2	28.9	26.3	211.6
100	25.3	17.3	20.8	18.4	16.7	24.4	28.2	24.2	28.9	28.1	35.3	32.5	300.1

Tabel 3.7.2 Statistische gegevens van HW te Lauwersoog van 1971-1980.

Bij het gebruik van de gegevens uit deze tabel in de huidige situatie dient rekening te worden gehouden met een zeespiegelstijging van circa 5 cm; d.w.z. dat het aantal overschrijdingen van een niveau van NAP + 2,20 m nu optreedt bij het huidige kruinniveau van de zomerkade op NAP + 2,25 m. Bij een verlaging van 10 cm van de kruin van de zomerkade neemt de kans op overstroming dus toe. Over het hele jaar zal de kans van 4,8 maal per jaar toenemen tot 6,0 maal per jaar. In april is er geen significante toename en in oktober neemt de kans iets toe van eens per 5 jaar tot eens per 3,3 jaar. Daarnaast bestaat er nu ook een kans van eens per 10 jaar dat er een overstroming in augustus of september plaats zal vinden. Opgemerkt zij dat een waarnemingsperiode van 10 jaar voor statistische doeleinden kort is en dat dit slechts een redelijke indruk van de overstromingskansen geeft; de werkelijke kans kan wat afwijken. Voor de onderhavige studie worden de gebruikte gegevens voldoende representatief geacht.

In het algemeen kan worden gesteld dat bij overschrijding van het peil van de kruin van de zomerkade in de periode april tot en met oktober het verschil tussen waterstand en dijk kruin betrekkelijk gering is en van vrij korte duur. In sommige gevallen zal de polder slechts gedeeltelijk vollopen. Om een indruk te krijgen bij welke hoogwaterstand volledige vulling optreedt, zijn berekeningen gemaakt voor een lange, volkomen overlaat met een kruin hoogte op NAP + 2,25 m en een breedte van 1000 m respectievelijk 3000 m met een sinusvormig getij (amplitude 1,25 m) en verschillende middenstandsverhogingen. Dit gaf de resultaten, die zijn gegeven in Tabel 3.7.3.

HW - 225 (cm)	Maximum debiet (m ³ /s)	Ingestroomd volume (m ³)
1,0	1,5 - 4,5	2.700 - 8.100
4,0	12,5 - 37	27.200 - 81.600
5,0	17,5 - 52	42.700 - 128.200
9,5	45 - 135	152.200 - 456.500
17,0	108 - 323	553.500 - 1.660.500

Tabel 3.7.3 Geschatte hoeveelheid ingestroomd water in de zomerpolder bij gegeven overschrijding van het HW-peil boven de kruin van de zomerkade.

Het volume van de zomerpolder onder de kruin van de zomerkade bedraagt ongeveer 500.000 m³. Hieruit volgt dat de zomerpolder volledig volloopt bij een HW dat 16 cm à 10 cm boven de zomerkade uitkomt bij een overlaatbreedte van 1000 m à 3000 m. Bij een verschil van 5 cm loopt de polder maar voor 10 à 25 % vol. Door de beperkte capaciteit van de negen klepduikers zal het meerdere dagen duren voordat dit water weer uit de polder is weggestroomd. In de winter is dit een normaal voorkomend verschijnsel, maar in het graasseizoen zal dit tot enige schade voor de boer leiden. Door de bodemdaling zal de kans op deze schade iets toenemen.

Afwatering van de zomerpolder

De zomerpolder en de ervoor liggende kwelder liggen in hun geheel in het hart van het bodemdalingsgebied van het nieuwe gasveld. De dalingsverschillen in de richting van de afwatering (zuid-noord) zullen kleiner zijn dan 1 cm. Ook in oost-westelijke richting zal het zakkingsverschil naar verwachting niet meer dan 1,5 cm bedragen, zodat er als gevolg van de gaswinning geen slecht afwaterende pockets in de zomerpolder zullen ontstaan. De polder met afvoersloten, eventuele overlaatjes en de klepduikers zullen in hun geheel gelijkmatig worden verlaagd.

De afwatering van de zomerpolder zal geen probleem opleveren als het peil in de sloten, na zakking, onder een peil kan worden gehouden dat wordt geschat op NAP + 0,8 m of hoger. Uit de statistische gegevens van de periode 1971-1980 blijkt (zie Tabel 3.7.4) dat in het graasseizoen alle laagwaters lager waren dan NAP + 0,6 m, dat het laagwater slechts incidenteel niet onder NAP zakt en in verreweg de meeste gevallen lager is dan NAP - 1 m. Hieruit kan worden afgeleid dat er ook na de bodemdaling rond laagwater voldoende verval overblijft voor een goede afwatering.

Gemiddeld aantal laagwaters lager dan het referentiepeil, periode 1971-1980													
Waterhoogte (NAP+cm)	Laagwaters												jaar
	jan	feb	mrt	april	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec	
100	59.8	54.7	59.9	58.0	59.9	58.0	59.9	59.9	58.0	59.9	57.9	59.8	705.8
90	59.8	54.7	59.9	58.0	59.9	58.0	59.9	59.9	58.0	59.9	57.9	59.8	705.8
80	59.7	54.7	59.9	58.0	59.9	58.0	59.9	59.9	58.0	59.9	57.9	59.8	705.7
70	59.6	54.7	59.9	58.0	59.9	58.0	59.9	59.9	58.0	59.9	57.7	59.6	705.2
60	59.6	54.7	59.9	58.0	59.9	58.0	59.9	59.9	58.0	59.9	57.7	59.5	705.1
50	59.6	54.7	59.9	58.0	59.9	58.0	59.9	59.9	58.0	59.8	57.5	59.4	704.7
40	59.4	54.7	59.9	57.9	59.9	58.0	59.9	59.9	57.9	59.8	57.1	59.4	703.9
30	59.3	54.7	59.9	57.9	59.9	58.0	59.9	59.9	57.9	59.7	57.0	59.1	703.3
20	59.2	54.7	59.9	57.9	59.9	58.0	59.9	59.9	57.9	59.7	56.9	59.0	703.0
10	59.2	54.7	59.9	57.9	59.9	58.0	59.9	59.9	57.9	59.4	56.5	58.7	701.9
0	58.8	54.6	59.8	57.8	59.9	58.0	59.9	59.7	57.8	59.3	56.1	58.5	700.3
-10	58.6	54.6	59.7	57.8	59.9	58.0	59.9	59.7	57.7	58.9	55.7	58.4	699.0
-20	58.1	54.5	59.7	57.7	59.9	58.0	59.9	59.7	57.4	58.6	55.0	57.9	696.5
-30	58.1	54.4	59.5	57.7	59.9	58.0	59.8	59.6	57.2	58.5	54.2	57.2	694.2
-40	57.6	54.4	59.3	57.7	59.9	58.0	59.8	59.5	56.6	58.3	53.2	56.3	690.7
-50	56.8	54.1	58.6	57.2	59.9	58.0	59.7	59.3	56.2	57.5	51.8	54.9	684.1
-60	55.5	53.8	57.8	56.5	59.6	57.9	59.5	58.8	55.4	56.6	50.3	54.1	675.9
-70	54.5	53.4	57.3	55.8	59.5	57.6	59.3	58.8	54.1	54.2	47.0	52.4	663.7
-80	52.8	52.6	56.3	54.9	59.3	57.3	58.7	57.0	52.1	53.0	43.5	49.6	647.2
-90	50.0	51.2	55.1	53.6	59.0	56.3	57.3	55.2	49.8	50.7	40.3	46.3	624.8
-100	47.8	48.8	52.3	52.3	58.5	55.1	55.2	52.8	45.8	46.9	35.8	42.4	593.7

Tabel 3.7.4 Statistische gegevens van LW te Lauwersoog van 1971-1980.

Mogelijke schade

Eventuele schade in de zomerpolder zal beperkt blijven tot een geringe verhoging van de overstromingsfrequentie van de polder. Gebaseerd op een waarnemingsperiode van 10 jaar en gecorrigeerd voor de zeespiegelstijging in de afgelopen 25 jaar geldt de toename van de overstromingskans in het graasseizoen en het hele jaar bij een bodemdaling van 10 cm als gegeven in Tabel 3.7.5.

Periode	Aantal overstromingen per 10 jaar	
	Zonder bodemdaling	Met bodemdaling
april	4	4
mei	0	0
juni	0	0
juli	0	0
augustus	0	1
september	0	1
oktober	2	3
hele jaar	48	60

Tabel 3.7.5 Effect maximum bodemdaling op aan tal overstromingen van de zomerpolder.

Per overstroming zal de boer het vee tijdig uit de polder moeten halen en kan de polder gedurende een aantal dagen niet worden gebruikt. Door de bodemdaling zal het aantal

overstromingen in het graasseizoen, zonder tegenmaatregelen, geleidelijk toenemen van gemiddeld 6 naar 9 per 10 jaar. Behoudens het effect van verdere zeespiegelstijging blijft dit daarna zo.

Per overstroming wordt door het Waterschap het drijfvuil van de dijk verwijderd om de conditie van het gras op de dijk goed te houden. Over het hele jaar zal het aantal overstromingen toenemen van 48 tot 60 keer per 10 jaar. Het Waterschap zal hiervoor dus extra kosten moeten maken.

Bovengenoemde nadelige effecten kunnen worden tegengegaan door de zakking van de zomerkade als gevolg van de bodemdaling te compenseren door dijkverhoging.

Het bovenstaande is echter niet meer relevant, indien in het kader van de nieuwe PKB voor de Waddenzee door de beleidsmakers, de eigenaar Waterschap Friesland en de beheerder It Fryske Gea wordt besloten de zomerpolder te ontpolderen. Voor het geval die optie wordt gekozen, zal nader naar de mogelijke aantasting van de dijkvoet en de opruiming van extra feek moeten worden gekeken, want dat zijn zwaarwegende zaken voor het Wetterskip. Mogelijke klifvorming langs de voorliggende kwelder en de noodzaak van mitigatie met een rijzendam wordt bij 70 mm bodemdaling niet waarschijnlijk geacht. In geval van verkweldering van de zomerpolder zou dat de doorslag kunnen geven om dat wel te doen om te voorkomen dat een klif naar de dijkvoet loopt.

Referenties

- Beeftink, W.G., 1987a. Vegetation responses to changes in tidal inundation of salt marshes. In: J. van Andel, J.P. Bakker, and R.W. Snaydon (eds.), *Disturbance in grasslands*. Dordrecht: Junk, pp. 97-117.
- Beeftink, W.G., 1987b. De betekenis van de factor getij voor de schorrevegetatie. In: J. Rozema (ed.), *Oecologie van estuariene vegetatie*. Amsterdam, Yerseke: Vrije Universiteit Amsterdam, Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, pp. 1-45.
- Boer, S. en Eysink, W.D., 1993. Bodemdaling door gaswinning op Ameland-oost. Effecten op overstromingsfrequentie en gras-opbrengsten voor polder Buurdergrie, WL, verslag H114, februari 1993.
- Bossinade, J.H.; Van den Bergs, J., and Dijkema, K.S., 1993. De invloed van wind op het jaargemiddelde hoogwater langs de Friese en Groninger Waddenkust. Nota GRAN 1993-2009 + IBN-rapport 049. Groningen, Texel: Rijkswaterstaat Directie Groningen + DLO Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, 22 p.
- Cramer, W., and Hytteborn, H., 1987. The separation of fluctuation and longterm change in vegetation dynamics of a rising seashore. *Vegetatio* 69, pp. 157-167.
- Dankers, N., K.S. Dijkema, G. Londo & P.A. Slim, 1987. De ecologische effecten van bodemdaling op Ameland. RIN-rapport 87/14. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel, 90 p.
- Dankers, N. en Wintermans, G.J.M., 1996. Exploratieboringen en ecologie, Een bijdrage aan de MER van de NAM ten behoeve van de proefboringen naar aardgas in de Waddenzee en de Noordzeekustzone. IBN-DLO, IBN-rapport 214, 1996.
- De Glopper, R.J., 1973. Subsidence after drainage of the deposits in the former Zuyder Zee and in the brackish and marine forelands in The Netherlands. *Van Zee tot Land* 50. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. 205 p.
- Dijkema, K.S. 1997. Impact prognosis for salt marshes from subsidence by gas extraction in the Wadden Sea. *Journal of Coastal Research* 13 (4): pp. 1294-1304.
- Dijkema, K.S.; Bossinade, J.H.; Bouwsema, P., and De Glopper, R.J., 1990. Salt marshes in the Netherlands Wadden Sea: rising high-tide levels and accretion enhancement. In: J.J. Beukema, W.J. Wolff and J.J.W.M. Brouns (eds), *Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Publishers, pp. 173-188.
- Duin, W.E. van, K.S. Dijkema & J. Zegers, 1997. Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen. IBN-rapport 326, 104 p.
- Ericson, L., 1980. The downward migration of plants on a rising Bothnian seashore. *Acta Phytogeographica Suecica* 68, pp. 61-72.
- Esselink, P., K.S. Dijkema, S. Reents & G. Hageman, 1988. Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Ems Dollard Estuary, The Netherlands. *Journal of Coastal Research* 14 (2), pp. 570-582.
- Eysink, W.D., 1979. Morfologie van de Waddenzee. Gevolgen van zand- en schelpenwinning, WL, Verslag Literatuuronderzoek, R1336, mei 1979 (met 2 bijlagen).
- Eysink, W.D., 1987. Gaswinning op Ameland-oost, effecten van de bodemdaling. Report H114. WL | Delft Hydraulics Laboratory. 53 p.
- Eysink, W.D., 1991. ISOS*2 Project, Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function, Inventory of available data and literature and recommendations to be studied, Report H1300-Phase 1, WL | Delft Hydraulics Laboratory, August 1991, 24 p.
- Eysink, W.D., 1992. ISOS*2 Project, Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function, Proposed set-up of a dynamic morphological model for Wadden Sea basins and estuaries based on empirical relations, Report H1300-Phase 3, WL | Delft Hydraulics Laboratory, December 1992, 38 p.
- Eysink, W.D., 1993. ISOS*2 Project, Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function, General considerations on hydraulic conditions, sediment transports, sand balance, bed composition and impact of sea-level rise on tidal flats, Report H1300-Phase 4, WL | Delft Hydraulics Laboratory, July 1993, 35 p.
- Eysink, W.D. and Biegel, E.J., 1992. ISOS*2 Project, Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function, Investigations on empirical morphological relations, Report H1300-Phase 2, WL | Delft Hydraulics Laboratory, September 1992, 73 p.

- Eysink, W.D.; Dankers, N.; Dijkema, K.S.; Dobben, H.F. van; Smit, C.J., and Vlas, J. de, 1995. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost, eerste evaluatie na 8 jaar gaswinning. WL en DLO-IBN Wageningen/Texel, januari 1995, 61 p.
- Eysink, W.D.; Dijkema, K.S.; van Dobben, H.F.; Slim, P.A., Smit, C.J., de Vlas, J., Sanders, M.E., Wiertz, J., en Schouwenberg, E.P.A.G., 2000. Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost, evaluatie na 13 jaar gaswinning, WL | Delft Hydraulics / Alterra, rapport H841, maart 2000, 203 p, 7 App. Reproductie verzorgd door NAM (rapport en samenvatting + rapport en gegevens op CD)
- Louters, T. en Gerritsen, F., 1994. Het mysterie van de wadden, Hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging. Min. van V. en W., Dir.-Gen. RWS, RIKZ, Rapp. RIKZ-94.040, oktober 1994.
- NAM, 1990. Bodemdaling door aardgaswinning, Groningen Veld en Randvelden, Statusrapport 1990, Prognose tot het jaar 2050, NAM, februari 1990.
- NAM, 1995. Bodemdaling door aardgaswinning, Groningen veld en randvelden in Groningen, Noord Drente en het Oosten van Friesland, Statusrapport 1995, Prognose tot het jaar 2050, NAM, februari 1995.
- NAM, 1995a. MER Proefboringen naar aardgas in de Noordzeekustzone en op Ameland. Rapport samengesteld door Hasko op basis van bijdragen door DLO-IBN, DLO-Staring Centrum, TNO-Milieuwetenschappen, NIOZ en WL, NAM-rapport juli 1995.
- NAM, 1995b. MER Proefboringen naar aardgas in de Waddenzee. Rapport samengesteld door Hasko op basis van bijdragen door DLO-IBN, DLO-Staring Centrum, TNO-Milieuwetenschappen, NIOZ en WL, NAM-rapport december 1995.
- NAM, 1998. Bodemdalingprognose Ameland, Bodemdaling door aardgaswinning, Statusrapport 1998, NAM, Afd. PEB, Rapport No. 1998.09.000394, december 1998.
- NAM, 1998a. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee, december 1998, rapport bestaat uit:
Samenvatting, Hoofdrapport samengesteld door UU-Inst. Aardwetenschappen, IBN-DLO, WL | Delft Hydraulics, NIOZ en NAM, Geomorfologie en Infrastructuur door WL | Delft Hydraulics met bijdragen van Grondmechanica Delft en Alkyon, Kwelders door IBN-DLO, WL | Delft Hydraulics en RuG, en Vogels door IBN-DLO.
- Oost, A.P. en Dijkema, K.S., 1993. Effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee, IBN-DLO en UU-Fac. Aardwetensch., IBN-rapport 025, 1993, 133 p. + 8 bijl.
- Reed, D.J., T. Spencer, A.L. Murray, J.R. French & L. Leonard 1999. Marsh surface sediment deposition and the role of tidal creeks: Implications for created and managed coastal marshes. *J. Coastal Conservation* 5, pp. 81-90.
- Reinalda, R., Kollen, J. en Eysink, W.D., 1987. Gaswinning op Ameland-oost, effecten van de bodemdaling. WL | Delft Hydraulics in samenwerking met RIN, WL-verslag H114 en RIN-rapport 87/14, april 1987, 53 p.
- Schreppers, G., 1998. Compaction and subsidence study of the Ameland gas-field with creep effects, TNO, Rep. 98-MIT-NM-R/1623, December 1998.
- Stive, M.J.F. en Eysink, W.D., 1989. Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090, fase 3. WL | Delft Hydraulics, H 825-deelrapport 3.1: dynamisch model van het Nederlandse kuststelsel, september 1989.
- Stoddart, D.R., D.J. Reed & J.R. French, 1989. Understanding salt-marsh accretion, Scolt Head Island, Norfolk, England. *Estuaries* 12, pp. 228-236.
- Storm, K. 1999. Slinkend Onland. Over de omvang van zeeuwse schorren; ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen. Rijkswaterstaat Directie Zeeland. Nota AX-99.007, 68 p.
- Straaten, L.M.J.U. van, 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands, Leidse Geol. Meded., 19, 1954, pp 1-110.
- Straaten, L.M.J.U. van, 1964. De bodem der Waddenzee, Het Waddenboek, Thieme, Zutphen, 1964, pp 75-151.
- Veenstra, K., 1965. De invloed van het vochtgehalte van de grond op de hoogte van het maaiveld bij een zware vaste kleigrond. Intern rapport Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Baflo.
- Westhoff, V., J.H.J. Schaminée & K.S. Dijkema, 1998. 26. Asteretea tripolii. In: J.H.J. Schaminée, E.J. Weeda & V. Westhoff (eds.). De vegetatie van Nederland. Deel 4. Plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieus. Opulus Press, Uppsala; pp. 89-130.