

Bodemdalingstudie Waddenzee 2004

Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd

14 juni 2004

Rapport RIKZ/2004.025

Colofon

RIKZ
Postbus 207
9750 AE Haren

Auteurs
Drs. H.J. Hoeksema
Ir. H.P.J. Mulder
Ir. M.C. Rommel
Ir. J.G. de Ronde
Dr. J. de Vlas

Kaarten
C. van der Male

Kwaliteitscontrole
Dr. ir. R.H.B. Kersten
Drs. F. Quené

Opmaak en tekstuele redactie
V. de Valk (De Valk Tekst en Techniek)
I. de Groot

TNO-NITG
Afdeling Diepe Ondergrond Confidentieel

Staatstoezicht op de Mijnen
Ir. J.P.A. Roest

WL
Dr. L. van der Valk
Ir. W.D. Eysink
Dr. ir. Z.B. Wang
Prof. dr. ir. H.J. de Vriend

Alterra
Drs. K.S. Dijkema

In opdracht van
Ministerie van Economische Zaken
Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Auditcommissie
Prof. dr. J. Sevink
Prof. dr. C.H.R. Heip
Prof. dr. A. Verruijt

Inhoudsopgave

Inleiding	5
Samenvatting en eindconclusie	7
Deel 1 Resterende onzekerheden uit 1999	11
1 Voorspelbaarheid van het waddensysteem	11
a Modelontwikkelingen	
b Dynamiek van het systeem	
c Waarnemingen in het veld	
d Aardbevingen	
2 Naijleffecten	23
a Naijling van de bodemdaling op productie	
b Naijling van de morfologie	
c Naijling van de ecologie	
3 Nulmeting	25
4 Effecten zandsuppleties	26
a Voldoende sedimentaanvoer	
b Effect korrelgrootte	
c Effect slibfractie	
5 Monitoring	27
6 Injectie in de ondergrond	31
Literatuur	33
Deel 2 Niet lineair gedrag van het morfologisch systeem	37
1 Uitgangspunten en volledigheid van het model	37
2 Toepasbaarheid van het model op bodemdaling in bekkens in de Waddenzee (hebben huidige bekkens de juiste dimensies; is het model gevalideerd?)	39
3 Bestaande fluctuaties in het eigen gedrag en evenwichten van het systeem op grond van literatuur	39
4 Waarnemingen in de afgelopen 500 jaar van de Waddenzee en van andere estuaria en wadden in de wereld	40
5 Voorspelbaarheid van effecten op bodemdaling m.b.v. model De Swart	41
Conclusies	41
Literatuur	42
Deel 3 Monitoringsgegevens	43
1 Overzicht monitoringsgegevens	44
2 Monitoring van de bodemdaling	46
3 Monitoring van de morfologie	49
4 Monitoring van abiotische factoren	50
5 Monitoring van de ecologie	51
6 Monitoring van de economie	52
Literatuur	53

Deel 4	Vragen van Natuur- en Milieuorganisaties	55
	Literatuur	65
Bijlagen		
1.1	Update inzichten gaswinning WL	69
1.2	Nieuwe inzichten in de voorspelbaarheid van het waddensysteem	71
1.3	Bodemdaling in het Eems-Dollardgebied in relatie tot de morfologische ontwikkeling	91
1.4	Hypsometrische curven kombergingsgebieden Waddenzee	97
1.5	Effecten van het slib in suppletiezand	105
1.6	Kwelders	111
2.1	Niet lineair gedrag van het Waddensysteem	123
3.1	Kaart 1: Sedimentatie-erosie + Contouren 2003	125
3.2	Kaart 2: Bodemligging 2003 + Contouren huidige lokaties 2050	127
3.3	Kaart 3: Bodemligging 2003 + Contouren huidige + geplande lokaties 2050	129
A.1	Brief van Auditcommissie aan LNV d.d. 14 juni 2004	131
A.2	Detailcommentaar Auditcommissie, 14 juni 2004	133

Inleiding

Iedereen die de Wadden kent, weet dat het gebied het waard is om zorgvuldig mee om te gaan. Het is een prachtig natuurgebied gekenmerkt door weidse uitzichten, een gebied voor intense natuurbeleving. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het rapport van de Adviesgroep Waddenzeebeleid (2004) over de heroverweging van gaswinning in de Waddenzee vragen oproept en tot scherpe discussies leidt. Het onderhavige rapport is bedoeld om die vragen te beantwoorden en de discussie te voeden met wetenschappelijke feiten en kennis.

De Nederlandse regering besloot in 1999 geen vergunning te verlenen voor de winning van gas uit de Waddenzee. Dit besluit werd onder andere genomen op grond van diverse onzekerheden en twijfels over de mogelijke gevolgen van gaswinning in de Waddenzee. Op verzoek van het huidige kabinet heeft de Adviesgroep Waddenzeebeleid begin 2004 een nieuw advies uitgebracht over de gaswinning.

In de discussie over gaswinning na het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid zijn een aantal nieuwe vragen ter sprake gekomen. Zo is bijvoorbeeld de vraag gerezen of de situatie van Ameland-Oost, waar monitoringsgegevens beschikbaar zijn maar geen effecten zichtbaar zijn, wel vergelijkbaar is met de situatie in Friesland, waar de dynamiek heel anders verloopt omdat daar kwelders liggen.

Een andere vraag die een grote onzekerheid oproept, is of de Waddenzee in een stabiel evenwicht is, met droogvallende platen. Of kan de Waddenzee door een ingreep zoals gaswinning plotseling omslaan naar een systeem dat veel dieper is en geen platen kent? Het is begrijpelijk dat dergelijke vraagstukken met een gefundeerde onderbouwing beantwoord moeten worden. Dit is de mening van de opdrachtgevers, de ministeries van VROM, EZ en V&W en ook van de natuur- en milieuorganisaties (Vereniging Natuurmonumenten, Vogelbescherming Nederland, Wereldnatuurfonds, De Landschappen, Stichting Natuur en Milieu, Greenpeace Nederland, Waddenvereniging)

Het RIKZ is gevraagd in samenwerking met andere instituten na te gaan of recente onderzoeksgegevens, verzameld na 1999, de onzekerheden uit 1999 hebben verminderd. Dit rapport geeft een duidelijk beeld van de nieuw verzamelde data, de nieuwste inzichten en nieuwste wetenschappelijke kennis.

Leidend bij dit onderzoek waren de vragen van de politiek en van de maatschappelijke belangengroeperingen, die gezamenlijk hun vragen hebben opgesteld. Deze vragen werden in de analyses betrokken en zijn daarnaast ook letterlijk opgenomen en beantwoord.

Er is een externe audit van dit rapport uitgevoerd door een onafhankelijke commissie. Het auditrapport is opgenomen in de bijlagen.

Samenvatting en eindconclusie

In 1998 verscheen de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Daarin bleef een aantal vragen onbeantwoord en sindsdien zijn nieuwe vragen gesteld. Met behulp van nieuwe gegevens die in de afgelopen 5 jaar zijn verzameld worden deze vragen in dit rapport alsnog beantwoord.

Deel 1 Resterende onzekerheden uit 1999

Voorspelbaarheid van het waddensysteem

Een belangrijk twistpunt sinds 1999 is de nauwkeurigheid waarmee het gedrag van het waddensysteem voorspeld kan worden. De modellen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn in opzet niet veranderd. Het zijn nog steeds *state of the art* modellen, zeker voor voorspellingen over termijnen van 50 - 100 jaar of langer. Het vertrouwen in de modellen is sterk gegroeid in de afgelopen vier jaar, omdat ze voor verschillende factoren getest zijn, in een variëteit aan modelleeromgevingen. Daarbij is gebleken dat de modellen bevredigende antwoorden konden geven op de gestelde vragen. Ze geven de waargenomen ontwikkelingen in diverse delen van de Waddenzee goed weer en geven ook onderling vergelijkbare resultaten.

De belangrijkste modellen zijn inmiddels ook gevalideerd door toepassing op estuaria buiten het Waddengebied, waar ze goed bleken te werken. De mogelijke compensatiesnelheid van zeespiegelstijging zoals aangegeven in de Integrale Bodemdalingstudie van 1999 (3-6 mm/j, afhankelijk van de grootte van een kombergingsgebied), blijkt zeker haalbaar en wordt bevestigd door de historische geschiedenis van de Waddenzee. Daarin bleek sedimentatie van 4-6,6 mm/j mogelijk. De huidige snelheid van de zeespiegelstijging in het Waddengebied ten opzichte van het vasteland ligt al minstens 100 jaar constant op ongeveer 1,8 mm per jaar. Nadere modelberekeningen kunnen ruimte voor gaswinning voor elk kombergingsgebied berekenen bij elke snelheid van zeespiegelstijging.

Het zand dat nodig is voor compensatie van de zeespiegelstijging komt al sinds het ontstaan van de Waddenzee uit de kustzone. Daardoor is de kust van de Waddeneilanden in de loop van 6000 jaar al 6 - 15 km teruggeschreden. Bodemdaling geeft extra zandhonger. Voor de Waddenzee als geheel is die extra zandhonger relatief gering ten opzichte van de natuurlijke zandhonger, maar in enkele kombergingsgebieden, met name het Pinkegat ten oosten van Ameland, is de verhoogde zandhonger relatief groot. Desondanks is hier de bodemdaling tot nu toe waarschijnlijk volledig gecompenseerd door sedimentatie.

De jaarlijkse dynamiek in de bodem van de Waddenzee is 3 tot meer dan 100 maal groter dan de mogelijk verwachte bodemdaling. Daardoor worden eventuele bodemdalingskuilen uitgesmeerd over een heel kombergingsgebied en vindt snelle compensatie plaats. Bij vergelijking van lodingskaarten van de hele Waddenzee over een periode van 11 jaar bodemdaling blijken er inderdaad nergens kuilen waarneembaar die overeenkomen met de bodemdalinggebieden. Ook in detailstudies die sinds 1999 zijn uitgevoerd voor Zuidwal, Ameland en het Eems-Dollardgebied kon geen bodemverlaging worden gevonden die gecorreleerd was met bodemdaling. In de randzone van de Waddenzee langs de vastelandkust waar één tot vierjaarlijkse waterpassingen plaatsvinden in het kader van de kwelderwerken, waren eveneens geen effecten van bodemdaling traceerbaar.

De voorspelbaarheid van het opslibbingsgedrag van kwelders is groot. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen eilandkwelders en vastelandkwelders. Eilandkwelders slibben minder snel op dan vastelandkwelders. Op Ameland bleek dat aan de wadzijde en in de buurt van kweldergeulen jaarlijks een volledige compensatie van de bodemdaling plaatsvond. Hoger en verder op de kwelder gaat de opslibbing langzamer en wordt compensatie op langere termijn (jaren tot decennia) verwacht. De vegetatie van deze minder snel opslibbende gebieden bleek echter bestand tegen de verlaging van de bodem. De opslibbing op vastelandkwelders (bijna overal meer dan 10 mm per jaar) overtreft overal de maximaal mogelijke bodemdaling. De ontwikkelingen op Ameland kunnen model staan voor het effect van een *worst case* bodemdaling op kwelders (15 mm per jaar). De ontwikkelingen in de Groninger vastelandkwelders worden representatief geacht voor de geringere bodemdaling langs het vasteland. Verder blijkt dat van aardbevingen die samen kunnen hangen met het winnen van gas geen schade is te verwachten aan dijken, constructies in de Waddenzee en geulen en platen in de Waddenzee.

Naijleffecten

Voor een eventueel kunnen ingrijpen in het winnen van gas is het van belang om te weten hoe lang de bodemdaling doorgaat wanneer een winning voortijdig wordt beëindigd. Deze periode van naijling van bodemdaling blijkt zeer gering, namelijk 1,5 tot 3 jaar, waarin de daling geleidelijk ophoudt. Rekening houdend met een maximale dalingssnelheid van 5 mm per jaar in het centrum van een dalingskom zou dat lokaal een nadaling van ongeveer 10 mm kunnen geven, wat neerkomt op hooguit enkele mm's per kombergingsgebied. Het naijlingseffect is enerzijds goed voorspelbaar en goed te monitoren, anderzijds zijn de effecten op de ecologie door de geringe omvang en tijdsduur verwaarloosbaar.

Effecten zandsuppleties

Om erosie van de Noordzeekust te vermijden wordt ook nu al zandsuppletie toegepast. Zandwinning en -suppletie op de Noordzeekust van de Waddeneilanden heeft invloed op de fauna ter plaatse, die na 2 jaar grotendeels en na 5 jaar geheel hersteld is. De ligging van schelpdierbanken kan van tevoren worden vastgesteld om onnodig verlies van bodemfauna te voorkomen. De mogelijke slibverhoging in het water van de Waddenzee die zou kunnen worden veroorzaakt door extra zandsuppleties blijkt uitermate gering (minder dan 1% ten opzichte van de achtergrondconcentraties) en ecologisch niet van betekenis.

Injectie in de ondergrond

Bodemdalingseffecten kunnen, althans gedeeltelijk, worden tegengegaan door injectie van water of CO₂ in de ondergrond. Vanwege bezwaren van economische en milieutechnische aard geniet injectie van water of CO₂ niet de voorkeur boven de methode van regelen in tijdstip en snelheid van gasproductie ('productie met de hand aan de kraan')

Deel 2 Niet-lineair gedrag van het waddensysteem

De mogelijkheid van meerdere evenwichtstoestanden van getijdebekkens, waardoor plotselinge veranderingen zouden kunnen optreden, kan worden beschreven met een model dat niet-lineair gedrag beschrijft. De omstandigheden waarbij een omslag zou kunnen optreden zijn echter niet aanwezig in de Waddenzee. Ook het als voorbeeld genoemde Lister Tief blijkt zich te houden aan de 'normale' wetmatigheden.

Deel 3 Monitoring en nulmeting

De bodemdaling en de daaraan mogelijk gekoppelde effecten kunnen goed worden gemonitord. Daarbij zijn vorm en inhoud van bodemdalingsschotel, hoogteligging van kwelders en wadden alsmede ontwikkelingen in zeespiegelstand de belangrijkste. Bij grote, mogelijk niet geheel gecompenseerde, bodemdaling is ook monitoring van kweldervegetaties en afslagranden van groot belang. Referentiewaarden (ook aangeduid als 'nulmeting') zijn vanuit deze monitoringsprogramma's in voldoende mate voorhanden. De enorme dynamiek van het gebied maakt dat elke nulmeting per definitie een momentopname is van deze dynamiek. Een nulmeting moet dan ook een beschrijving van de trend bevatten

Op Ameland wordt een zeer uitgebreid programma uitgevoerd in verband met bodemdaling en het ligt in de bedoeling dit programma voort te zetten totdat de bodemdaling zo gering is geworden dat geen nieuwe effecten meer verwacht kunnen worden.

Landelijk en in het Waddengebied worden op velerlei terrein gegevens ingewonnen welke ook van belang kunnen zijn voor interpretatie en controle van de specifiek in verband met bodemdaling verzamelde gegevens. Voorbeelden zijn: waterstanden, weergegevens, vogeltellingen en vegetatiekaarten.

Eindconclusie

Alles overziend kan worden geconcludeerd dat de nieuwe gegevens en inzichten sinds het IBW de onzekerheden uit 1999 en daarna hebben verkleind. De resterende onzekerheid is dermate klein, dat de onderzoekers geen significante effecten verwachten van bodemdaling op de morfologie en ecologie, uitgaande van de randvoorwaarden zoals deze in het IBW en het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid beschreven staan. Wanneer de combinatie van bodemdaling en zeespiegelstijging groter zou worden dan een vooraf bepaalde grenswaarde kan tijdig worden ingegrepen, waarbij naitjeffecten gering zullen zijn. Voorwaarde daarvoor is een monitoringsprogramma waarin onder meer de snelheid van bodemdaling en zeespiegelstijging nauwkeurig worden gevolgd. Om effecten op de Noordzeekustlijn van de Waddeneilanden te voorkomen is extra suppletie van zand noodzakelijk. Het gaat daarbij om hoeveelheden die qua omvang eenvoudig ingepast kunnen worden in het huidige suppletieregime.

Deel 1 Resterende onzekerheden uit 1999

In 1999 werd door het kabinet de conclusie getrokken dat er te veel onzekerheden en twijfels waren over de gevolgen van Gaswinning in de Waddenzee. Deze onzekerheden lagen op een zestal gebieden (waaronder bijvoorbeeld de gevolgen van aardbevingen en naijleffecten).

- 1 Voorspelbaarheid van het waddensysteem
- 2 Naijleffecten
- 3 Nulmeting
- 4 Effecten zandsuppleties
- 5 Monitoring
- 6 Injectie in de ondergrond

Sinds 1999 zijn er door diverse onderzoeken en monitoringsprogramma's nieuwe gegevens verkregen. In hoeverre deze nieuwe gegevens de onzekerheden uit 1999 hebben verkleind, wordt in dit hoofdstuk aangegeven. Uit de analyse blijkt onder meer dat de voorspelbaarheid van het waddensysteem groter is geworden. De meest recente meetgegevens over de Waddenzee bevestigen de uitgangspunten van het IBW-rapport (Oost et al, 1998). De dynamiek van het systeem is vele malen groter dan de effecten van bodemdaling door gaswinning. Tot nu toe is er geen effect van bodemdaling terug te vinden in de metingen. De zeespiegelstijging gaat volgens de nieuwste inzichten minder snel, waardoor de kans op negatieve effecten verder afneemt. Verder blijkt het naijleffect bij stoppen van gaswinning 1,5 tot maximaal 3 jaar te zijn en blijkt uit nadere analyse dat de zandsuppleties op de kust, die absoluut noodzakelijk zijn voor compensatie van de bodemdalingssvolumes, geen significante ecologische gevolgen kunnen hebben voor het Wad. Deze en andere onzekerheden zijn hieronder puntsgewijs uitgewerkt.

Bij de beantwoording is gebruik gemaakt van de expertise van TNO-NITG (ondersteund door Staatstoezicht op de Mijnen en GeoDelft), WL I Delft Hydraulics en het RIKZ (ondersteund door Alterra). Een aantal bijdragen zijn integraal opgenomen in bijlagen en zijn in de tekst samengevat.

1 Voorspelbaarheid van het waddensysteem

Vraag

"Er bestond verschil van mening over de mate van voorspelbaarheid van het Waddensysteem, mede vanwege de grote natuurlijke dynamiek en de mate van bodemdaling. Aan de orde is of er voldoende garanties vooraf en voldoende risicodekking in relatie tot het voorgestelde gaswinningssysteem gegeven kunnen worden."

Antwoord

De vraag is of de Waddenzee zal reageren zoals door de modellen voorspeld wordt. In de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (IBW) van Oost et al (1998) zijn de toen beschikbare inzichten en modellen gebruikt om de ontwikkeling van de Waddenzee te voorspellen voor diverse scenario's van bodemdaling en zeespiegelstijging. De voorspelbaarheid van de morfologische effecten is gebaseerd op een combinatie van (wiskundige) modellen, kennis van de systeemprocessen en toetsing van de modellen en de proceskennis aan

veldwaarnemingen. De betrouwbaarheid van de bodemdalingprognoses komt elders aan de orde (vraag 2, naijleffecten). Daarnaast zijn er zorgen over het optreden van aardbevingen.

De zekerheid over de voorspelbaarheid van het waddensysteem is sinds 1998 verder toegenomen. Dit is gebaseerd op de volgende bevindingen:

- Er is op grond van nieuwe studies meer vertrouwen in de gebruikte morfologische modellen zodat de onzekerheden die verbonden zijn aan de voorspellingen bij nieuwe berekeningen geringer zullen zijn. Ook is duidelijk dat de modellen kunnen volstaan met een lange-termijn en getijdebekking gemiddelde benadering. De kritische grenzen voor zeespiegelstijgingssnelheid met betrekking tot 'verdrinking' van het wad zijn met meer zekerheid bepaald. Gaswinningsscenario's kunnen hierop worden afgestemd.
- De grootschalige dynamiek van het systeem zorgt voor een uitsmering van de relatief geringe bodemdaling, zodat de in het IBW gekozen modelaanpak op de schaal van een getijdebekken en een Noordzeekustzonedeelgebied juist blijkt te zijn. Ook het kweldersedimentatiemechanisme is zodanig dat bodemdaling aldaar gecompenseerd wordt door sedimentatie.
- Uit een grote hoeveelheid (recente) veldwaarnemingen blijkt dat de huidige bodemdaling hoogstwaarschijnlijk volledig wordt gecompenseerd door sedimentatie en dat de hoogte van de bodem de zeespiegelstijging zeer waarschijnlijk bijhoudt. De dynamiek van het systeem is groot in verhouding tot de bodemdaling. Het patroon van bodemdaling is nergens in de gemeten bodemligging te herkennen. Al deze waarnemingen zijn in overeenstemming met de modellen waarmee het gedrag van het waddensysteem voorspeld wordt.
- Hoewel aardbevingen niet voorspelbaar zijn, zullen schadelijke gevolgen van mogelijke aardbevingen als gevolg van gaswinning in de Waddenzee afwezig of verwaarloosbaar zijn, zowel voor dijken, constructies in de Waddenzee, als geulen en platen.

Toelichting

De nieuwe ontwikkelingen over de voorspelbaarheid van het waddensysteem, sinds het IBW, worden hieronder toegelicht. Er is een onderverdeling in vier onderwerpen:

- a) Modelontwikkelingen
- b) Dynamiek van het systeem
- c) Waarnemingen in het veld
- d) Aardbevingen

a) Modelontwikkelingen

Antwoord

De nieuwe modelberekeningen en -toepassingen hebben de betrouwbaarheid van de gebruikte morfologische modellen vergroot. Hierdoor zijn de onzekerheden die verbonden zijn aan de voorspellingen bij nieuwe berekeningen waarschijnlijk geringer.

Onderstaande toelichting is een samenvatting van bijlage 1.1 Update inzichten gaswinning (Valk, L. et al, 2004) en bijlage 1.2 Nieuwe inzichten in de voorspelbaarheid van het Waddensysteem, RIKZ.

Toelichting

In het IBW wordt gebruik gemaakt van een aantal morfologische modellen, waaronder ESTMORF en ASMITA. Deze laatste twee modellen zijn afgeregeld op het waargenomen morfologisch gedrag van het Friesche Zeegat vóór (geen verstoring) en na de afsluiting van de Lauwerszee (instantane verstoring in de Zoutkamperlaag overeenkomend met een kuil van 30 à 60 miljoen m³). De afregeling van het ESTMORF-model is uitgevoerd op basis van het gedrag van de geulen (dwarsprofiel, geulvolume), de hoge en de lage platen (hoogte en oppervlak) in vakken op de buitendelta en in de vloedkommen. Het ASMITA-model is afgeregeld op het volume van de verschillende modeleenheden, die representatief zijn voor respectievelijk het gemiddeld plaatniveau, het geulvolume in de vloedkom, het zandvolume in de buitendelta, de positie van de kustlijn en de diepte van de vooroever. De gecalibreerde modellen bleken in staat om zowel het gedrag van het systeem in de (dynamisch stabiele) situatie vóór de afsluiting van de Lauwerszee als de respons van het sterk verstoorde systeem na de afsluiting van de Lauwerszee goed weer te geven. De onzekerheden in het MORRES-model konden worden afgeschat door de overeenkomstige resultaten uit MORRES en de andere (gecalibreerde) modellen voor de vloedkommen van het Friesche Zeegat met elkaar te vergelijken. De resultaten van de voornoemde WL-modellen werden ook vergeleken met die van het empirische model AEGHIS van de Universiteit van Utrecht. Dit is gecontroleerd en kloppend bevonden op grond van ontwikkelingen in de Zoutkamperlaag: nadere afregeling was niet nodig. De resultaten zijn vergelijkbaar met de WL-modellen.

Sinds 1998 is met modellen ESTMORF en ASMITA een aantal gevoeligheidsexperimenten uitgevoerd. Die experimenten hebben het volgende opgeleverd (Wang & van der Weck, 2002; Kragtwijk et al, 2004) :

1. Het ASMITA model geeft het sediment transport onder invloed van versnelde zeespiegelstijging correct aan. Het voorspelt dat kleinere bekkens de zeespiegelstijging beter zullen volgen dan grotere bekkens.
2. Er zijn grenzen vastgesteld voor de zeespiegelstijging waarboven de kleine bekkens respectievelijk de grote bekkens zullen verdrinken. Bij de kleine is dat een maximale snelheid van 60 cm per eeuw; bij de grote is dat 30 cm per eeuw. Boven die snelheid zal bodemdaling in een dergelijk bekken zorgen voor een versnelde verdrinking van de bekkens. Onder die snelheid zullen naar verwachting de effecten tijdelijk zijn. De onzekerheid over deze grenzen is door de uitgevoerde studies aanmerkelijk verkleind (bijlage 1.2)
3. Substantieel werk met het ESTMORF en ASMITA modellen is uitgevoerd in de Westerschelde en in de Humber (UK). Daar bleek het model zeer nauwkeurig de optredende veranderingen in de getijden amplitudes te kunnen genereren, waardoor eveneens optredende veranderingen in morfologie nu goed kunnen worden begrepen (Jeuken et al, 2003). Tevens bleek het mogelijk het eventuele baggervolume in de Westerschelde te voorspellen ten behoeve van een betere vaarweg naar Antwerpen (Wang et al, 2003).

De modellen zijn in opzet niet veranderd en nog steeds *state of the art* modellen, zeker voor voorspellingen over termijnen van 50 - 100 jaar of langer. Het vertrouwen in de modellen is sterk gegroeid in de afgelopen vier jaar, omdat ze voor verschillende factoren getest zijn, en in een variëteit aan modelleeromgevingen, waarbij is gebleken dat de modellen bevredigende antwoorden konden geven op de gestelde vragen.

Voor de wadplaten geven de verschillende modellen (ASMITA, ESTMORF en MORRES) verschillende resultaten, die opgevat kunnen worden als de onzekerheidsmarge in de voorspellingen. Belangrijk is dat de extra daling van platen vrijwel onafhankelijk is van de zeespiegelstijging. Dit betekent dat mitigatie van bodemdaling door suppleties altijd mogelijk is. Overigens heeft het eventueel verdrinken van wadplaten geen plotseling maar een geleidelijk karakter.

De zandhonger ten gevolge van bodemdaling vertaalt zich in kustachteruitgang (regressie). Het effect van zeespiegelstijging is echter belangrijk groter dan dat van bodemdaling door gaswinning. Door zeespiegelstijging zal de vooroever in belangrijke mate verdiepen (0,11 m, 0,55 m en 0,82 m voor resp. huidige, versnelde en extreme stijging), terwijl bodemdaling slechts een beperkte verdieping van de vooroever geeft (0,06 à 0,12 m). Het effect van bodemdaling op de Noordzeekust is door de relatief grote gaswinning in de vloedkommen van Pinkegat en Zoutkamperlaag verreweg het grootst op Ameland. Daar is het bij de huidige zeespiegelstijging van ongeveer dezelfde ordegrootte als de zeespiegelstijging zelf.

De inzichten in de zeespiegelstijging zijn sinds 1998 veranderd. De drie scenario's voor de zeespiegelstijging, 18 cm/eeuw, 60 cm/eeuw en 100 cm/eeuw, zouden nu neerkomen op respectievelijk 18 cm/eeuw, 48 cm/eeuw en 88 cm/eeuw. Nieuwe berekeningen zijn hiermee niet gemaakt maar de kans op blijvende effecten t.g.v. een combinatie van zeespiegelstijging en bodemdaling neemt hierdoor wel af.

In bijlage 1.2 worden vergelijkbare bevindingen weergegeven als in bijlage 1.1 maar wordt tevens aanbevolen om voor elk getijbekken waar men wil winnen een serie probabilistische berekeningen naar de kritische (natuur)grens voor verdrinking uit te voeren met ASMITA, waarbij alle vormen van zandhonger mee worden genomen evenals een aantal winningsscenario's: alleen zo kan een voor het ecosysteem optimale winningsstrategie worden uitgewerkt. Is de zeespiegelstijging lager dan deze grens dan heeft het systeem nog reserves om andere belastingen op jaarbasis op te vangen.

b) Dynamiek van het systeem

Antwoord

De dynamiek van het systeem is overheersend ten opzichte van bodemdaling door gaswinning, zo blijkt uit de bestaande en nieuwe literatuur. Deze dynamiek zorgt ervoor dat de lokale bodemdaling over een getijdebekken wordt 'uitgesmeerd'. Dit gebeurt ook bij bodemdaling in de Noordzeekust. Dit ondersteunt de uitgangspunten van het IBW, waarbij gerekend werd met gemiddelde daling over een getijdebekken of over een Noordzeevak (beiden onder de HW-lijn) in plaats van de lokale schotel.

De bodemdaling in de Noordzeekustzone, tot NAP-20 m, plus de bodemdaling in de Waddenzee dienen geheel gecompenseerd te worden door kustsuppleties om structurele Noordzeekustachteruitgang tegen te gaan. De grootschalige dynamiek van het systeem zorgt voor een goede verspreiding om zandhonger door bodemdaling te compenseren.

Wat betreft de kwelders kunnen de omstandigheden op Ameland representatief geacht worden voor andere waddeneilanden. Door de grote daling kan Ameland als een *worst case* worden beschouwd. De situatie langs de noordkust

van Groningen kan representatief worden geacht voor andere delen van de vastelandskust. Door hun snelle opslibbing zullen de vastelandkwelders zeker geen nadeel ondervinden van bodemdaling.

Toelichting

Eerst wordt ingegaan op de dynamiek van geulen en platen. Verderop wordt apart aandacht besteed aan de kwelders.

Over de dynamiek van het waddensysteem is redelijk veel bekend. Voor een uitgebreide beschrijving en vermelding van literatuur wordt verwezen naar de bijlagen 1.1 en 1.2. Nieuw is, volgens bijlage 1.1, voornamelijk de beschrijving van Oost en Kleine Punte (2003) over de westelijke Waddenzee. Het Waddengebied bevindt zich geenszins in een 'bevroren' toestand, maar is nog volop in ontwikkeling. In de westelijke Waddenzee neemt het getijvolume van het Marsdiep nog verder toe, schuiven wantij-liggingen verder naar het oosten, hoogt het Balgzand op en zetten cyclische veranderingen van geulen in de buitendelta's zich voort. De effecten van de meest grote en directe ingrepen van de vorige eeuw (afsluiting Zuiderzee en aanleg Wieringermeer; afsluiting Lauwerszee) werken nog langzaam na. De effecten van de bodemdaling in Ameland zijn niet merkbaar op de vegetatie ondanks ietwat achterblijvende sedimentatie, m.a.w. gasextractie verloopt zonder nadelige gevolgen voor de natuurlijke waarden van het beïnvloede gebied (Eysink et al, 2000). De natuurlijke bodemdaling (inclusief zeespiegelstijging) is echter van een grootheid die het lastig maakt om de bodemdaling ontstaan als gevolg van gaswinning apart te monitoren vanwege de sterk verschillende grootheden (factor 5-10 t.o.v. de dynamiek). Uit onderzoek naar het waddensysteem is bekend dat een bodemdaling van enkele millimeters per jaar door het systeem verwerkt kan worden, zelfs zonder noemenswaardige vertraging. Zelfs bij een vertraging kunnen effecten van bodemdaling uitblijven, alleen zal de sedimentaanvoer iets langer moeten duren. Een kortdurend verlaagd wadplaatoppervlak heeft hoegenaamd geen schadelijke invloed op het bodemleven (Beukema, 2002).

In bijlage 1.2 wordt benadrukt dat de verticale dynamiek van de Waddenzee en de Noordzeekustzone vele malen groter is dan de bodemdaling door gaswinning en dat de bodemdaling a.h.w. wordt 'uitgesmeerd' over het getijdebekken. De jaarlijkse verticale dynamiek is meerdere tot honderden malen (centimeters tot meters per jaar) groter dan de ter plekke optredende jaarlijkse bodemdaling (millimeters tot 2 centimeter per jaar). Een serie recente publicaties laat dit zien (Tanczos, 1996; Israël, 1998; Cleveringa & Oost, 1999; Schoorl, 1999a&b; 2000a&b; Eysink e.a., 2000; Gerritsen, 2000; Cleveringa, 2001; Mulder, 1996; NAM, 2001; Oost e.a., 2000; Walburg, 2001; Israël & Oost, 2001; Elias e.a., 2002, 2003; Snijders & Uit den Boogaard, 2003; Rommel, 2004), zowel voor de Noordzeekustzone als de Waddenzee. De Noordzeekustzone verdiept door daling t.o.v. het evenwichtsprofiel en zal zand nodig hebben om het evenwicht te herstellen. Omdat er een sterke 'jaarlijkse gang' is van het zomerprofiel dat steiler is met duidelijke zandbanken naar het stormwinterprofiel dat vlakker is, treden op jaarbasis verticale fluctuaties op tot ca. 1 meter. Jaarlijkse dalingen van 1 mm tot 1 cm zullen daardoor worden 'uitgesmeerd' over een groter gebied. Het effect van dit mechanisme is dus vergelijkbaar met de effecten van dynamiek in de Waddenzee. Dit onderbouwt de aanname die in het IBW gemaakt is, dat de effecten van bodemdaling door gaswinning moeten worden berekend op grond van het bodemdalingsvolume per getijdebekken en per Noordzeekustdeelgebied en niet op het naar het centrum toe toenemende aantal centimeters zakking, zoals voorspeld door de bodemdalingsmodellen (dit m.u.v. de kwelders).

Ook is er sprake van een cyclisch gedrag van buitendelta's en geulen, waardoor zandplaten verplaatsen. Dit gedrag ken cyclusperioden variërend tussen 20 en 100 jaar, afhankelijk van de lokatie. Op deze tijdschaal neemt de mens in het veld niet waar, hetgeen kan leiden tot verkeerde conclusies indien waargenomen erosie direct gekoppeld wordt aan bodemdaling door gaswinning. Een voorbeeld hiervan zijn enkele van de in het Reformatorisch

Dagblad verschenen opmerkingen van Waddenschilder Geurt Busser, aan de hand waarvan in bijlage 1.2 de lokale morfologische veranderingen in de Waddenzee uiteengezet worden in het juiste perspectief.

Dat er sedimentatie optreedt in de Waddenzee van zand uit de Noordzeekustzone blijkt overduidelijk uit het feit dat de Noordzeewaddenkust tijdens de Holocene zeespiegelstijging in de laatste 5000 jaar teruggetrokken is over 15 km ter hoogte van Schiermonnikoog, tot 10 km ter hoogte van Ameland en tot 6 km ter hoogte van Terschelling. Al het zand dat daar lag is grotendeels weggeslagen en in de Waddenzee ligt een laag van gemiddeld 5 meter dik over een oppervlakte van 2000 vierkante kilometer. Het zand komt ook qua mineralogie overeen met het zand aan de kust. Historische waarnemingen laten zien dat de Waddenkust zich nooit met snelheden van meer dan 8 meter/jaar (voor het midden van de eilanden) heeft teruggetrokken over langere periodes (Oost et al, 1998). Wordt dit inzicht gebruikt om te berekenen hoeveel zeespiegelstijgingssnelheid gecompenseerd zou kunnen worden in de getijdebekkens dan is dat voldoende om 4-6,6 mm/jaar mee op te vangen, hetgeen ook uit andere modelberekeningen naar voren komt (zie boven).

Uit bovenstaand volgt echter wel dat de bodemdaling door gaswinning de Noordzeekustzone plus de Waddenzee uiteindelijk resulteert in achteruitgang van de Noordzeekust, hetgeen zou leiden tot een verlaagde veiligheid. Het huidige beleid is gebaseerd op instandhouding van de kustlijn c.q. veiligheid ongeacht de oorzaak van kustachteruitgang. Een voldoende garantie vooraf dat de negatieve effecten hiervan ongedaan kunnen worden gemaakt volgt uit het succes waarmee in de afgelopen 15 jaar de structurele kustachteruitgang langs de Nederlandse Waddenkust is bestreden door middel van suppleties. Op termijn zal het volledige volume aan bodemdaling in de Noordzeekustzone (tot NAP-20 m) plus het volume aan bodemdaling in de Waddenzee geheel gecompenseerd dienen te worden door kustsuppleties (met zand vanuit dieper water) om blijvende Noordzeekustachteruitgang tegen te gaan. De grootschalige dynamiek van het systeem zorgt voor een goede verspreiding om zandhonger door bodemdaling te compenseren.

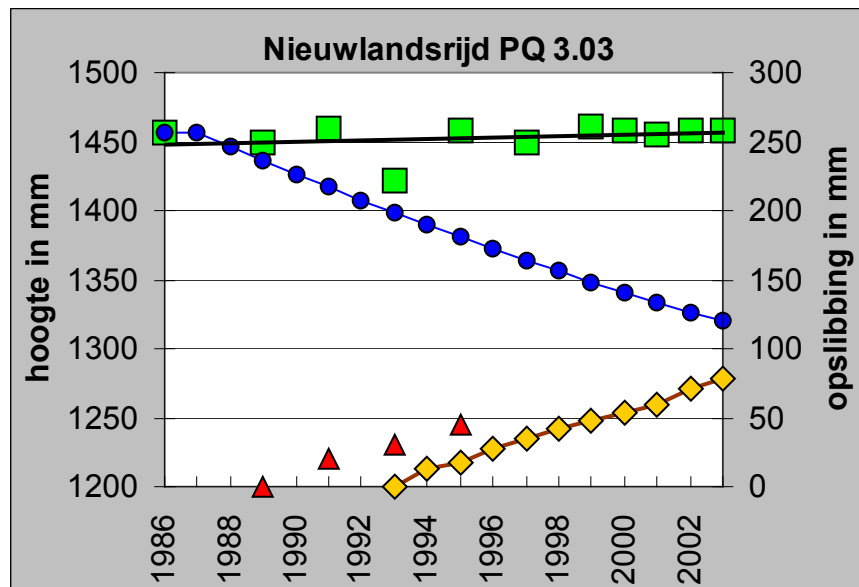
Kwelders

Zowel de omvang van de kwelders in het Nederlandse waddengebied alsook hun vegetatie worden gemonitord. De kwelders van Ameland worden in het kader van de bodemdalingsstudie Ameland sinds 1987 zeer intensief onderzocht, zowel voor wat betreft hun hoogteligging als hun vegetatie. De vastelandkwelders langs de Groninger en Friese kust worden overal intensief gemonitord in het kader van het onderhoud van de kwelderwerken. De kwelders bij Paesens-Moddergat worden vanaf 1995 gemonitord vanwege mogelijke gaswinning in de toekomst. Daardoor zijn zowel voor eiland- en vastelandkwelders gegevens beschikbaar over hun reactie op bodemdaling.

Op Ameland zijn zowel de oudere kwelders van het Neerlandsreid en de relatief jonge kwelder van de Hon onderzocht. Ondanks de zeer grote bodemdaling die is opgetreden (tot 25 cm in 2003) zijn geen veranderingen in de vegetatie opgetreden die te relateren zijn aan bodemdaling. Voor een deel komt dat door opslibbing. Deze neemt toe naarmate een gebied vaker overstroomt, maar ook zonder bodemdaling vindt voortdurende opslibbing plaats. Op veel plekken dicht bij de kwelderrand en in de nabijheid van de opslibbing is dit voldoende geweest om de bodemdaling geheel te compenseren. Verder van de kwelderrand en verder van prielen was die compensatie niet volledig. Op enkele hoog gelegen plekken is een effectieve daling 10 – 15 cm opgetreden die pas in de loop van decennia zal worden gecompenseerd. Tegen de verwachting in heeft de vegetatie zich ook in die gebieden vrijwel zonder veranderingen kunnen handhaven. De eenmaal gevestigde kweldervegetatie bleek dus tegen deze daling bestand.

Figuur 1.1

Bodemdaling in een van de proefvlakken in de kwelder van het Neerlands Reid, samen met de opslibbing en de uiteindelijke bodemligging. Blauw: de bodemdaling. Rood en geel: de opslibbing. Groen: de uiteindelijke bodemligging.

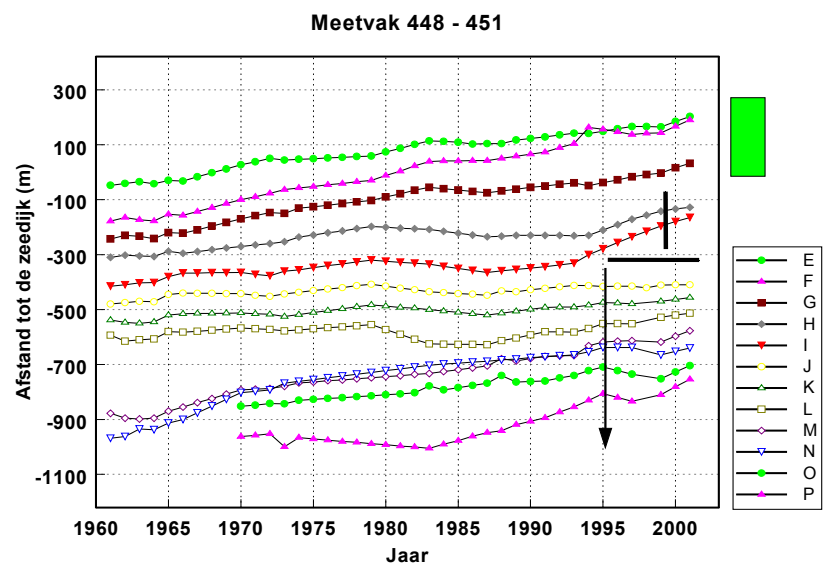
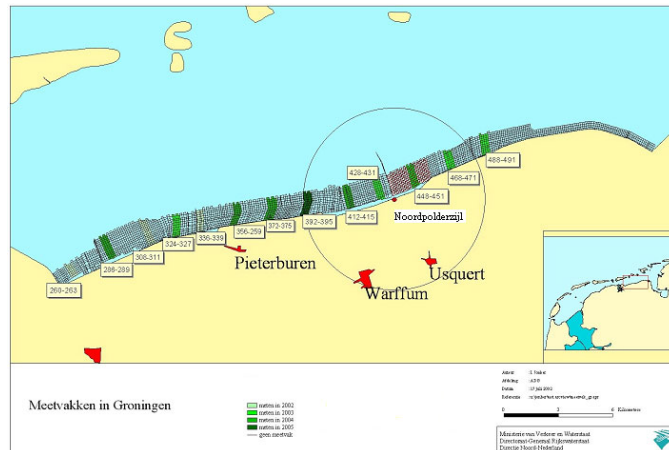


Langs de vastelandskust treedt vooral bodemdaling op langs de noordoostkust van Groningen. Een veel minder sterke bodemdaling is opgetreden bij Blija. Overall op de vastelandkwelders treedt een snelle opslibbing op, in de orde van grootte van 1 cm per jaar of meer. Daardoor is de bodemdaling overall gecompenseerd en is ook in bodemdalingsgebieden per saldo sprake van hoogtetoenamen. Die hoogtetoenamen zouden uiteraard nog groter kunnen zijn geweest wanneer er geen bodemdaling was opgetreden. Voor het natuurbehoud is een iets minder grote hoogtetoenamen gunstig te noemen; de snelle hoogtetoenamen leidt tot veroudering van kwelders, wat op dit moment algemeen als een probleem wordt gezien. In de pionierzone die aan de wadzijde van de kwelders ligt, zijn geen relaties met bodemdaling gevonden; de bodemligging is er over het algemeen stabiel of er is sprake van ophoging. Hetzelfde geldt voor de onbegroeide zone wadwaarts van de pionierzone. De bodemdaling is daar kennelijk al tijdens het dalingsproces gecompenseerd door aanzanding en opslibbing.

Figuur 1.2

Boven: Ligging van meetvakken langs de Groninger kust

Onder: De resultaten van de waterpassingen sinds 1960 bij Noordpolderzijl, voor verschillende afstanden vanaf de kust. De bovenste lijnen zijn voor punten vlak bij de kust, de onderste lijnen zijn aan de wadkant. Het groene balkje rechts duidt aan, welke lijnen horen bij meetpunten met een kweldervegetatie. Er is een doorgaande opslibbingstendens, ondanks bodemdaling. Figuren uit Dijkema, 2003



Conclusie

Zowel op eilandkwelders als op vastelandkwelders wordt bodemdaling direct gecompenseerd door opslibbing. Bij snelle bodemdaling zoals op Ameland is die compensatie onvolledig en zijn er na beëindiging van de bodemdaling meerdere jaren tot decennia nodig om volledige compensatie te bereiken. De vegetatie blijkt goed bestand tegen deze achterstand in opslibbing. De omstandigheden op Ameland kunnen representatief geacht worden voor andere waddeneilanden. Door de grote daling kan Ameland als een *worst case* worden beschouwd. De situatie langs de noordkust van Groningen kan representatief worden geacht voor andere delen van de vastelandkust. Door hun snelle opslibbing zullen de kwelders zeker geen nadeel ondervinden van bodemdaling.

c) Veldwaarnemingen

Antwoord

Alle veldwaarnemingen, waaronder ook de meest recente, laten hetzelfde beeld zien. De bodemdaling wordt waarschijnlijk volledig gecompenseerd door sedimentatie en de hoogte van de bodem houdt de zeespiegelstijging waarschijnlijk bij. Het patroon van bodemdaling is nergens in de gemeten

bodemligging te herkennen. De natuurlijke dynamiek is vele malen groter dan de bodemdaling.

Nieuw is ook de analyse van de sedimentbalans van de daling in het Groningenveld in het Eems-Dollardgebied over de periode 1985-1990. Hieruit blijkt dat ook bij de Eems-Dollard de bodemdaling ondergeschikt is aan de dynamiek en volledige compensatie hoogstwaarschijnlijk is.

Deze resultaten zijn in overeenstemming met de uitgangspunten van de gebruikte morfologische modellen voor de voorspelling van de effecten van bodemdaling en versterken het vertrouwen in de modellen.

Toelichting

De overtuiging dat de modellen betrouwbaar zijn wordt mede bepaald door waarnemingen in het veld. De morfologische modellen voorspellen een nieuw evenwicht op basis van aanvoer van sediment naar de Waddenzee ter compensatie van de bodemdaling. Voor het Balgzand en de gaswinvelden Zuidwal, Ameland en Groningen zijn waarnemingen beschikbaar om te toetsen of er compensatie optreedt van zeespiegelstijging/bodemdaling door sedimentatie. De nieuwste dieptegegevens van de Waddenzee (gemeten in de periode 1997-2002) verschaffen ook inzicht in het gedrag van het systeem. Achtereenvolgens wordt op deze verschillende waarnemingen ingegaan, waaruit conclusies getrokken kunnen worden t.a.v de voorspelbaarheid van het systeem. Het gaat hier echter niet om een kwantitatieve vergelijking tussen modellen en metingen. Hierover zijn gegevens beschikbaar. Wel kan kwalitatief beoordeeld worden of de modellen en veldwaarnemingen met elkaar in overeenstemming zijn.

Balgzand

Door Grolle (2001) is de ontwikkeling van het Balgzand onderzocht. Door afsluiting van de Zuiderzee (1932) en het Amstelmeer (1928) is het getij in het Zeegat van Texel veranderd: amplitude en prisma zijn toegenomen. Het gemiddelde hoog water (GHW) te Den Oever is na afsluiting van de Zuiderzee met ca. 40 cm gestegen, terwijl het GLW eerst daalde om daarna geleidelijk te stijgen. Het gemiddeld zeeniveau is licht gestegen. Dit heeft geleid tot morfologische veranderingen, o.a. op het intergetijdegebied van het Balgzand. In de periode 1933-1997 is het plaatereaal zonder hoge platen/kwelders omhoog gekomen met 33 tot 38 cm en het plaatereaal met hoge platen/kwelders met 33 tot 47 cm. De platen blijken dus de stijging van het GHW goed bij te houden. Volgens Grolle is het sedimentaanbod voldoende voor het Balgzand om een gemiddelde zeespiegelstijging van 50-60 cm/eeuw bij te houden.

Zuidwal

Van de bodemdaling en de morfologische ontwikkeling van het Zuidwalveld is door Rommel (2004) een analyse gemaakt. De analyse van de sedimentatie betreft de periode 1948-1997, zodat rekening gehouden kan worden met de trend op lange termijn. Hiervoor zijn lodingsgegevens gebruikt. De analyse van de bodemdaling betreft de periode 1988-1997. De winning is namelijk in 1988 gestart. De totale hoeveelheid netto sedimentatie in de periode van 1988 tot 1997 bedraagt ca. $15,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in het geselecteerde studiegebied, ofwel gemiddeld 8,9 cm. De onnauwkeurigheid is echter groot: de maximaal mogelijke sedimentatie wordt geschat op $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en de minimale op $-27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Voor de meetfout in de gemiddelde diepte is namelijk een maximale waarde van 10 tot 15 cm gebruikt. Deze fout wordt versterkt in het diepteverval. De opgetreden bodemdaling bedraagt in de periode 1988-1997 volgens de peilingen $3,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ofwel gemiddeld 1,9 cm. Deze is dus klein t.o.v. de gemiddelde sedimentatiehoeveelheden in het gebied. Geconcludeerd wordt dat gegeven de meetfout het voor 73-82% zeker is dat het volume van

de bodemdalingschotel binnen het beschouwde gebied volledig is opgevuld door sedimentatie. De kans dat in ieder een deel van de bodemdaling is gecompenseerd, is nog groter: 78-88%. De resultaten van de lodingen suggereren dat na een periode van sterke sedimentatie tot 1991 er daarna veel geringere sedimentatie optreedt tot 1997. Door de onzekerheidsmarges van de lodingen is dit niet als significant aan te merken. Verder valt op dat het erosie/sedimentatiepatroon, waarin de sterke geuldynamiek overheerst, geen enkele overeenkomst vertoont met het bodemdalingspatroon.

Ameland

In maart 2000 is een rapport verschenen over de bodemdaling op Ameland-Oost (Eysink et al, 2000). Hieruit blijkt dat het onmogelijk is de relatief kleine veranderingen zoals bodemdaling te herkennen in de opgetreden morfologische veranderingen van de onderwaterbodem over een periode van 14 jaar (1980-1994). Ook bleek dat de sedimentatie op het wad in het dalingsgebied de bodemdaling hoogstwaarschijnlijk overtrof.

De rapportages van Kersten (2002, 2003) bevestigen dit beeld en laten zelfs zien dat in de periode 2000-2003 de sedimentatie de bodemdaling bijhoudt. Kersten heeft de veranderingen op het wad nauwkeurig gemeten met een nieuwe methode van draden aan in het wad verankerde schroeven.

Op basis van het eerder genoemde 'uitsmeereffect' mag verwacht worden dat het aangevoerde sediment deels uit het omringende waddegebied en deels aan de Noordzeekustzone onttrokken is.

Eems-Dollard

Door Mulder (1996) is een sedimentbalans gemaakt van het Eems-Dollard-gebied voor de periode 1985-1990. Daarbij werden ook de bodemdalingsgegevens betrokken. De studie richtte zich op balansmethodiek en niet op de relatie tussen sedimentatie en bodemdaling en is dan ook niet op dit punt in het IBW meegenomen. De gegevens zijn bewerkt en nu geanalyseerd met betrekking tot bodemdaling (zie bijlage 1.3 Bodemdaling in het Eems-Dollard-gebied in relatie tot de morfologische ontwikkeling, RIKZ). Uit deze analyse blijkt dat de natuurlijke sedimentatie (of erosie) groot is t.o.v. de bodemdaling: een factor 5 (intergetijdegebieden) tot 12 (alle gebieden) en 3 tot 10 op de kwelders. Met andere woorden: de natuurlijke dynamiek is een orde groter dan de bodemdaling. Ook zijn er positieve correlaties gevonden tussen natuurlijke sedimentatie en bodemdaling die in combinatie met de natuurlijke dynamiek een aanwijzing zijn voor volledige compensatie door de natuurlijke sedimentatie. Sedimentatie op de kwelders lijkt in het geheel niet afhankelijk te zijn van bodemdaling. De conclusie is dat bodemdaling ondergeschikt is aan de natuurlijke dynamiek en volledige compensatie bodemdaling door natuurlijke sedimentatie hoogstwaarschijnlijk is.

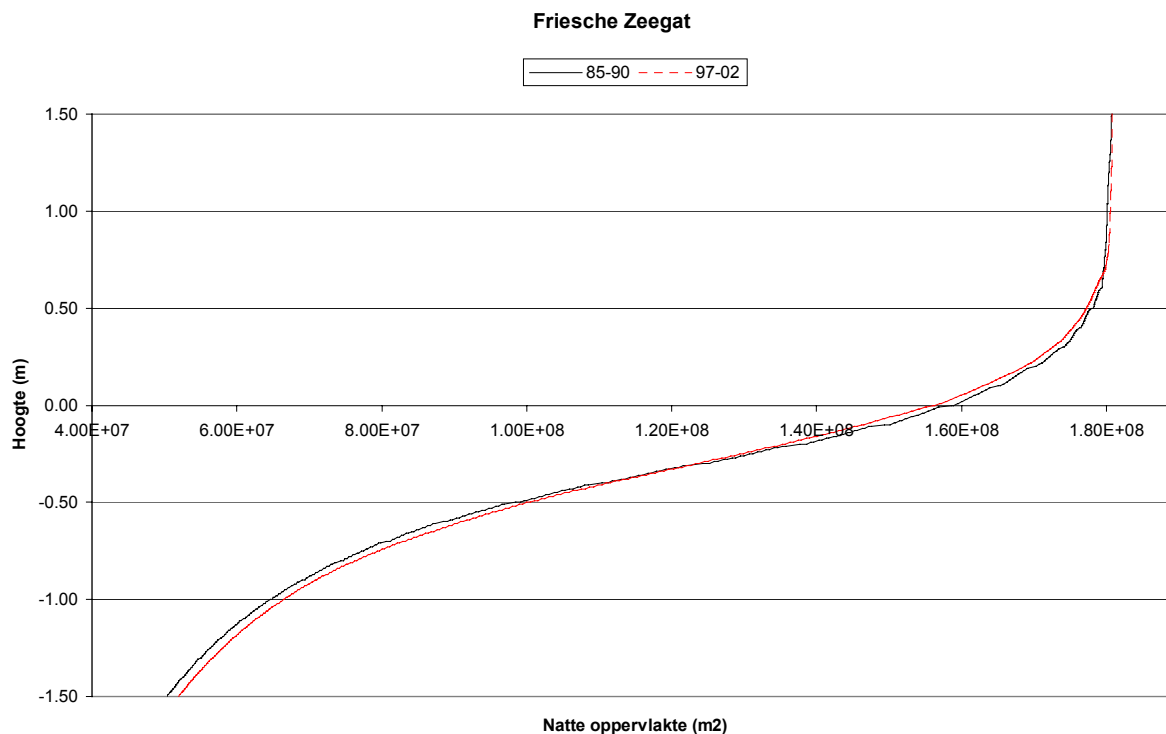
Verschilkaart Waddenzee op basis van meest recente lodingen

Dat de dynamiek van het systeem groot is in relatie tot de bodemdaling blijkt ook uit de diepteverschilkaart voor de Waddenzee over een periode van gemiddeld ca. 11 jaar, waarbij gebruik is gemaakt van de meest recente metingen (zie bijlage 3.1 Deel 3). In deze kaart zijn ook de contouren getekend van de bodemdaling tot 2003. In het patroon van de diepteverschillen, die erosie en sedimentatie laten zien, is nergens een overeenkomst zichtbaar met het patroon van de opgetreden bodemdaling. Ook de grootte van de diepteverschillen is vele malen groter dan die van de bodemdaling. Het erosie/sedimentatiepatroon wijst ook op sterke lokale veranderingen doordat geulen zich verplaatsen. Het is dan ook niet zinvol de bodemdaling op lokale schaal te vergelijken met natuurlijke erosie/sedimentatie. Dit dient te gebeuren op de schaal van een geheel kombergingsgebied.

Met de gegevens waarop de verschilkaart gebaseerd is zijn hypsometrische curven gemaakt (bijlage 1.4 Hypsometrische curven kombergingsgebieden Waddenzee, RIKZ) per kombergingsgebied met vaste gebiedsgrenzen. Hierin wordt zichtbaar hoeveel oppervlakte een bepaalde hoogtezone heeft. Door twee curven van verschillende jaren te vergelijken krijgt men inzicht in sedimentatie en erosie per hoogtezone. Als voorbeeld zijn in fig. 1.3 de twee curven weergegeven voor het Friesche Zeegat. Daarin valt op dat het intergetijdegebied (ongeveer tussen NAP-1 en +1 m) enigszins in oppervlakte is afgenomen in het lagere deel. Dit hangt vooral samen met de Zoutkamperlaag en niet zozeer met het Pinkegat (zie bijlage 1.4). De erosie in het hoge deel van het Pinkegat kan bijvoorbeeld samenhangen met verschuivingen van het wantijgebied richting de Zoutkamperlaag, alwaar een sedimentatie in het hoge deel aanwezig is. De erosie in het hoge deel van het Pinkegat hoeft dus niet samen te hangen met bodemdaling in het Pinkegat ten gevolge van gaswinning op Ameland. Mede gezien de onnauwkeurigheid van gemeten diepte zijn zonder nadere analyses hierover geen uitspraken te doen. De huidige gegevens geven aan dat de bodemdaling in het Pinkegat waarschijnlijk volledig gecompenseerd wordt. In de periode waarover de curven gemaakt zijn vonden ook de gaswinningen van Zuidwal en Groningen plaats. We kunnen op grond van de dynamiek van het systeem aannemen dat het effect van bodemdaling uitgesmeerd wordt over de diverse kombergingsgebieden. Een duidelijke daling en afname van het intergetijdegebied voor de kombergingsgebieden als geheel is in de hypsometrische curven van de kombergingsgebieden niet zichtbaar. Eerder bestaat de indruk dat de bodemdaling gecompenseerd wordt door sedimentatie. De gemiddelde verondieping in de Waddenzee onder NAP+1 m bedraagt ca. 7 cm voor de onderzochte periode, bijna viermaal zoveel als de zeespiegelstijging (zie bijlage 1.4). Volledige zekerheid over deze bevindingen kan niet gegeven worden, vanwege met name de mogelijke meetfout van ca. 5 cm in de hoogteligging en het feit dat geen rekening is gehouden met verschuivingen van wantijgebieden. De zekerheid is te verhogen met meer onderzoek over een langere periode. Ook deze mogelijke meetfout in aanmerking nemend heeft de Waddenzee zeker de huidige zeespiegelstijging kunnen bijhouden.

Figuur 1.3

Hypsometrische curve voor het Friesche Zeegat (som van kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag) voor de jaren 1987 (in periode 85-90) en 1999-2000 (in periode 97-02)



d) Aardbevingen

Antwoord

In 1999 was er voor wat betreft het effect van aardbevingen op zetting alleen aandacht voor de dijken. Toen is niet gekeken naar de mogelijke effecten voor het waddengebied. Inzichten hierover zijn door TNO-NITG en GeoDelft met een korte quick-scan op een rij gezet. Door aardbevingen als gevolg van gaswinning in de Waddenzee is geen schade te verwachten aan dijken, constructies in de Waddenzee en geulen en platen in de Waddenzee.

Toelichting

Het effect van aardbevingen op zetting manifesteert zich in het algemeen vooral door liquefactie (bodempverweking). Liquefactie kan in een klein gebied tot lokale instabiliteit van (onderwater)oevers leiden. Dit zal echter nergens tot grootschalige zetting leiden. In de modelsituatie van GeoDelft (studie in het kader van IBW 1998) is uitgegaan van een zeer ongunstige profielopbouw van ondergrond en dijk. Schade aan de bestaande dijken, die op grond van de wetgeving met betrekking tot de primaire waterkeringen aan zwaardere constructieve eisen moeten voldoen, kan daarom uitgesloten worden.

De invloed van bevingen ten gevolge van gaswinning op constructies die in het Waddengebied zijn geplaatst (het Zuidwal platform) is verwaarloosbaar. De

dynamische belasting van de gasbevingen is lager dan de ontwerpbelasting van dergelijke constructies met betrekking tot golfbelasting.

Liquefactie door kleine aardbevingen is mogelijk in de snel afgezette losgepakte zogenaamde *lateral migration* afzettingen in de diepere geulen. Deze afzettingen zijn echter voortdurend aan instabiliteit onderhevig wat een eigenschap is van het plaatselijke afzettingsmilieu in zulke geulen. Zettingsvloeiingen zijn ook zonder aardbevingen gewoon in zulke afzettingen (bijvoorbeeld door stormen). Deze liquefactie heeft geen invloed op de porositeit (en volumevastheid) van die zanden.

De zanden van de platen zijn door dagelijks droogvallen als gevolg van de getijdebeweging en door de intensieve golfwerking al ongevoelig voor liquefactie door kleine aardbevingen (zeer kortdurende pulsen), die door gaswinning veroorzaakt kunnen worden.

Er zijn praktijkmetingen bekend ten aanzien van volumeverandering van zand als gevolg van liquefactie door (natuurlijke en explosie gegenereerde) aardbevingen, maar deze geven geen afname van volume na liquefactie te zien. In het laboratorium is een afname wel gemeten, maar blijkt extreem gering. Waarnemingen uit de literatuur waarin sprake is van zetting door aardbevingen hebben altijd betrekking op lokaties waar grotere hoeveelheden zand/aanvulgrond zijn verplaatst, meestal nabij kaden en dergelijke, of bij lokale belastingverschillen.

2 Naijleffecten

Vraag

"De vraag was of tijdig kan worden ingegrepen. Men spreekt van naijleffecten en er is een vertragingfactor van meerdere jaren tussen het optreden van eventuele effecten op de natuur en het moment dat dit objectief kan worden vastgesteld."

Het begrip naijling in deze vraag omvat drie elkaar opvolgende stappen:

a) Naijling van de bodemdaling op productie

Antwoord

Dit aspect wordt door TNO-NITG hieronder beantwoord. Daaruit mag de conclusie worden getrokken, dat tijdens het naijlen de dalingssnelheid niet toeneemt, maar afneemt. Afgaande op de waargenomen responstijd bij productiestart zou het naijleffect 1,5 (Ameland veld) tot 3 jaar (Groningen veld) kunnen duren.

Het naijleffect is voor Nederlandse gasvelden nog niet gericht gemeten. Wel is door Hettema et al (2002) op basis van lineaire extrapolatie een inschatting gemaakt van de vertraging van bodemdaling na start van gaswinning. Op basis van een kleine dataset is voor het Groningen veld een responstijd van circa 3 jaar bepaald; voor het - veel kleinere - Ameland veld was de responstijd circa 1,5 jaar. Het lijkt gerechtvaardigd om aan te nemen dat het naijleffect gedurende een vergelijkbare periode een langzaam afnemende bodemdalingssnelheid zal laten zien.

Mechanisme binnen het gasreservoir

Naijlen van de bodemdaling kan veroorzaakt worden door langzame depletie (op reservoir schaal of op meer lokale schaal in laag-permeabele zones) en door kruip of elastisch-plastische overgangen in het reservoirgesteente. Naijlen betekent concreet, dat de bodemdalingssnelheid (in lineaire snelheid, mm/jaar of in volume snelheid, m³/jaar) niet direct nul zal worden. De snelheid zal echter niet toenemen, omdat alle processen die na het dichtdraaien van de gaskraan een rol spelen daarvoor ook al actief waren. Intensieve monitoring tijdens het gaswinnen dient om de bodemdalingssnelheid te controleren. Op het moment

dat deze snelheid een kritische waarde dreigt te overschrijden kan dan worden ingegrepen. De bodemdalingssnelheid stijgt dan niet meer. De bodemdalingssnelheid is immers de parameter die de zandhonger, in termen van volumesnelheid, bepaalt.

Mechanisme vanuit aquifer

Na het staken van de gasproductie kan het ontstane drukverschil tussen gasvoerend volume en aangrenzende aquifers (watervoerende lagen) zich gaan stabiliseren. Het totale compactievolume – en dus ook het totale volume van de dalingskom – zal dan langzaam toenemen. Het tempo van dit naijleffect hangt af van de doorlatendheid van het aquifervolume en het contactvlak tussen aquifer en gasvolume. De snelheid van bodemdaling zal echter afnemen en die parameter is bepalend voor de zandhonger.

Het naijleffect kan op individuele veldbasis goed in de huidige modellen worden meegenomen. Omdat de responstijd van een individueel veld afhangt van lokale factoren, moeten de modeleigenschappen per veld worden bepaald en, voor zover praktisch mogelijk, voldoende nauwkeurig en frequent worden gemeten.

b) Naijling van de morfologie

Antwoord

Tussen bodemdaling en aanpassing van de bodemligging (morfologie) zal een zekere vertraging zitten, omdat het systeem eerst verstoord moet worden voordat het zich aanpast. De bijbehorende tijdschaal is naar verwachting echter zeer klein, indien men zich aan de natuurgrenzen van het systeem houdt, o.a. door de grote dynamiek van het waddensysteem. Metingen bij Ameland (Eysink et al, 2000; Kersten, 2002,2003; Tánczos, 1996) bevestigen dit voor de huidige situatie van zeespiegelstijging. Duidelijk is dat de bodemdaling gecompenseerd wordt door aanvoer van sediment uit de Noordzeekustzone. Indien deze compensatie op jaarbasis volledig is, dan is er geen enkel naijleffect op de bodemligging: deze daalde immers niet en zal ook niet verder dalen. Alleen indien de compensatie kleiner is dan de bodemdaling, mag men verwachten dat de bodemligging evenveel naijlt als de bodemdaling (1,5 tot 3 jaar). De kans hierop is bij de huidige zeespiegelstijging zeer gering. In het extreme geval dat de zeespiegel versneld stijgt tot meer dan 30-60 cm/eeuw en de kans bestaat dat platen verdrinken, kan de naijling dit proces versnellen met 1,5 tot 3 jaar. Bij kritische zeespiegelstijging is er sowieso een grote vertraging in de morfologie ten opzichte van de bodemdaling van enkele decennia. Het is daarom van belang de zeespiegelstijging en hoogteligging van de wadden goed te monitoren en voorspellen. Kritieke momenten kunnen ruim van te voren (veel meer dan 3 jaar) worden voorspeld.

c) Naijling van de ecologie

Antwoord

Uitgaande van tijdige beëindiging van bodemdaling zal naijling na het dichtdraaien van de gaskraan slechts voor een zeer geringe extra bodemdaling kunnen zorgen. Uitgaande van een dalingssnelheid van ongeveer 0,5 cm per jaar in het centrum van een dalingsgebied (zoals voorzien bij Paezens en Lauwersoog) en een geleidelijke beëindiging van de daling in de loop van 1,5 - 3 jaar zou de maximale nazakking daar maximaal ongeveer 1 cm kunnen zijn. Uit de voorgaande hoofdstukken valt af te leiden dat de zandtransporten in de Waddenzee zodanig zijn dat lokale daling in de Waddenzee zich verdeelt over het hele betrokken kombergingsgebied. Dat betekent gemiddeld over de totale bodemdalingsschotel een nazakking van maximaal enkele mm, en over het totale betrokken kombergingsgebied of de betrokken kombergingsgebieden nog minder. Een dergelijke kleine nazakking kan in het gebied van platen en geulen onmogelijk relevante ecologische effecten veroorzaken.

Op kwelders wordt de daling niet verdeeld over een groter gebied; daar telt de lokale daling. Gegeven de opslibbingssnelheid van vastelandkwelders (1 cm of meer per jaar) is een naijling van 1 cm geen probleem. In het geval van eilandkwelders kunnen er plekken zijn waar de opslibbing onvoldoende is om de bodemdaling elk jaar te compenseren. Na een aantal jaren van bodemdaling is er dan dus al sprake van een achterstand. Daar zou bij versnelde zeespiegelstijging dus sneller regressie (teruggang van de vegetatie in de richting van plantengroei van vaak lager gelegen kwelders) kunnen plaatsvinden. Op eilandkwelders zal daarom veel eerder dan bij vastelandkwelders, en wellicht onmiddellijk, besloten moeten worden tot beëindiging van gaswinning wanneer versnelling van zeespiegelstijging waarneembaar wordt. Er is dan nog een aantal jaar beschikbaar voor compensatie door opslibbing.

3 Nulmeting

Vraag

"Een uitgebreidere nulmeting is noodzakelijk om de voor het Waddengebied karakteristieke dynamiek en variatie in de tijd te beschrijven. Pas dan is het mogelijk veranderingen te relateren aan eventuele gaswinning. Dit vraagt om een uitgebreidere inventarisatie gedurende meerdere jaren."

Antwoord

Het antwoord op deze vraag wordt gesplitst in een fysisch en ecologisch deel. Bijlage 1.1 gaat in op de fysische en morfologische aspecten, die hier beknopt worden weergegeven. De enorme dynamiek van het gebied maakt dat elke nulmeting per definitie een momentopname is van deze dynamiek. Een nulmeting moet dan ook een beschrijving van de trend bevatten. Het grootste probleem hierbij is dat het effect van de gaswinning relatief klein is t.o.v. de natuurlijke dynamiek van de morfologie van de Waddenzee. Dit betekent dat het dan erg moeilijk wordt om het effect van de gaswinning terug te vinden uit de metingen die per definitie betrekking hebben op het totale effect van de natuurlijke en antropogene veranderingen. Met andere woorden de ruis in de metingen is relatief erg groot t.o.v. het signaal dat men wilt meten. Toch zal men zekerheidshalve willen monitoren. Naast het zoeken naar trendbreuken kan men ook een vergelijking maken met referentiegebieden. Als monitoringsindicatoren worden 3 typen aanbevolen:

1. Werkelijke bodemdaling t.g.v. gaswinning. Deze kan in de ondiepe ondergrond worden gemeten. Hiermee kan de ontwikkeling van de schotelvormige kuil van bodemdaling t.g.v. gaswinning worden vastgelegd.
2. Morfologische indicatoren. Hierbij kan men denken aan hypsometrie van een bekken of van delen van een bekken en zeker ook aan grootheden zoals plaatareaal, geulvolume, etc.
3. Hydrodynamische indicatoren. Hierbij kan men denken aan bepaalde eigenschappen van de getijgolf: de asymmetrie. Deze is een indicator voor import en export van sediment.

Jaarlijks voegt Rijkswaterstaat door dieptepeilingen kennis toe aan de informatie over de ontwikkeling van het gebied. Het gedrag van geulen en platen is goed bekend. Ook het getij (waterstanden) wordt gemonitord. Er zijn dus goede mogelijkheden bovengenoemde indicatoren te volgen. Een geschikt referentiegebied vinden is moeilijker vanwege enerzijds de natuurlijke verschillen tussen gebieden en anderzijds de vrijwel onmeetbare invloed die van bodemdaling verwacht mag worden.

De grote hoeveelheid gegevens die in de afgelopen decennia is verzameld op het gebied van morfologie en kweldervegetaties, alsmede allerlei gegevens die verzameld worden in het kader van het nationale en internationale monitoringsonderzoek van de Waddenzee kan dienen als referentie voor

onderzoek bij nieuwe bodemdalingsgebieden. Voorbeelden zijn de vogeltellingen door SOVON en de monitoring van bodemfauna door Rijkswaterstaat. Daar kan allerlei meer projectmatig verkregen informatie aan worden toegevoegd, zoals het EVA-II-onderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij.

4 Effecten zandsuppleties

Vraag

"Gaswinning noodzaakt tot indirecte zandsuppletie als mitigerende maatregel. De vraag was aan de orde of de kwaliteit en kwantiteit van met name de platen behouden blijven. In zijn algemeenheid werden de effecten van bodemdaling op de kwelders als beperkt ingeschat."

Antwoord

Het kust- en waddensysteem blijkt zodanig te werken dat er voldoende zand van de geschikte korrelgrootte aan de platen wordt aangeboden. Effecten van slib uit het suppletiezand zijn niet significant. De kwaliteit en kwantiteit van platen blijven behouden. Wel moeten zandsuppleties als mitigerende maatregel uitgevoerd worden en moet het suppletiebeleid rekening houden met voldoende fijn zand.

Onderstaande toelichting is gebaseerd op gegevens van bijlage 1.1 Update inzichten gaswinning (Valk et al, 2004) en bijlagen 1.2 en 1.5, RIKZ.

Toelichting

Indirecte suppletie betekent voor het waddengebied suppletie in de Noordzeekustzone. De vraag heeft betrekking op de wadplaten en wordt hier opgedeeld in drie aspecten:

- a) Kwantiteit van het sediment - kan het sediment wel in voldoende mate aangevoerd worden?
- b) Kwaliteit van het sediment - heeft het suppletiezand door haar grotere korrelgrootte een negatieve invloed?
- c) De effecten van de in het suppletiezand aanwezige slibfractie.

a) Voldoende sedimentaanvoer

Met behulp van geologische gegevens en reconstructie-methodieken is vastgesteld dat er een bovengrens is aan het 'meegroeivermogen' van wadplaten. Boven een stijging van 3-6 mm per jaar verdrinken wadplaten (de vooralsnog enige goed beschreven historische analoog is voorhanden in West Nederland: Beets en Van der Spek, 2000; zie ook Van Goor et al., 2003). Dat betekent dat als de huidige bodemdaling in het waddengebied op ca. 1,7 mm per jaar gesteld wordt, er nog 1,3 tot 4,3 mm sediment per jaar aangevoerd zou kunnen worden (bijlage 1.1). De mechanismen hiervoor zullen in de toekomst niet veranderen. De benodigde bronnen zullen ook aanwezig blijven. Suppleties zorgen hiervoor en deze worden moeiteloos opgenomen in het kustsysteem (Mulder, 2000). Recent onderzoek naar een vooroeversuppletie op Terschelling heeft dat ook bewezen (Guillen en Hoekstra, 1997; Grunnet en Hoekstra, 2004). Er bestaat een mogelijkheid dat de plaatszanden in het mondingsgebied van de zeegaten een bron zijn van waddenzand. Tenslotte verliezen de buitendelta's tezamen jaarlijks ca. 3,5 mm³ zand (Mulder, 2000). Dit geeft aan dat het huidige suppletiebeleid slechts deels in de echte zandbehoefte van het Nederlandse kustsysteem voorziet.

Ook uit de recente morfologische gegevens (zie hierboven) blijkt dat er een grote dynamiek is met voldoende aanvoer naar de platen.

b) Effect korrelgrootte

Het natuurlijk systeem is zo robuust en zelfregulerend van aard, dat de benodigde hoeveelheid zand van de geschikte korrelgrootte (ca. 160 µm) aangeleverd kan worden. Ook is er meestal een grote overeenkomst tussen de gemiddelde korrelgrootte van het suppletiezand en het zand op de suppletielokatie. Bij een grotere zandbehoefte zou dit echter anders kunnen worden, maar in elke hoeveelheid suppletiezand komt de fijne fractie voor die nodig is voor de platen. Het suppletiebeleid dient hierop ingericht te worden.

c) Effect slibfractie

Dit aspect is zowel door het WL (bijlage 1.1) als door RIKZ (bijlage 1.5) beschouwd. Het WL geeft een meer algemene kwalitatieve benadering waarbij uitgegaan wordt van het feit dat suppletiezand zeer weinig slib bevat. Effecten op de troebelheid zijn dan alleen kortstondig en lokaal mogelijk. De algehele troebelheid wordt niet significant verhoogd door suppleties. Bovendien kan men wingebieden selecteren op slibgehalte. Het RIKZ geeft ook een kwantitatieve benadering en berekend grootschalige concentratieverhogingen, uitgaande van een extra vrijkomend slibgehalte van 0,5% in het suppletiezand. De conclusie daarvan is dat er gemiddeld ca. 0,1 mg/l verhoging op zou kunnen treden en in het ergste geval ca. 1 mg/l. Deze effecten zijn echter niet significant te noemen, los van de geringe kans op optreden. Volgens het RIKZ zijn de gevolgen voor het slibgehalte in de bodem dan eveneens niet significant. Het WL wijst op de grote natuurlijke dynamiek van het systeem en het zelfregulerende transport- en selectiemechanisme van de wadgeulen, waardoor het fijne materiaal op bepaalde plaatsen zal sedimenteren (restgeulen, kwelders). Ook is transport tussen kombergingsgebieden mogelijk via de wantijen. Door deze processen is het uitgesloten dat het eventuele extra slib afkomstig van suppleties het ruimtelijk patroon van het slibgehalte in de bodem zal beïnvloeden. Uit het onderzoek in het kader van EVA-II naar de effecten van schelpdiervisserij op de bodem is ook gebleken dat veranderingen moeilijk aan menselijke activiteiten zijn te relateren, zelfs als die activiteiten grootschalig en langdurig zijn.

5 Monitoring

Vraag

"Een belangrijke voorwaarde aan eventuele vergunningverlening is het opzetten en uitvoeren van een monitoringsprogramma. Dit vraagt nadere concretisering en precisering."

Antwoord

Er is een adequaat monitoringsprogramma mogelijk voor bodemdaling in uiteenlopende gebieden. De benodigde technieken zijn beschikbaar en een aantal belangrijke waarnemingsseries hoeft slechts te worden voortgezet (lodingen, kwelderwerken) om in de toekomst over goede data te beschikken. Het onderzoek op Ameland kan model staan voor de meer op een bepaalde lokatie toegesneden aanvullende monitoring tijdens gaswinning. De combinatie van metingen van bodemdaling en van zeespiegelstijging, in combinatie met het vrij goed bekende naijlingseffect zoals dat geldt voor de gasvoorkomens rond het waddengebied maakt het mogelijk tijdig vast te stellen, wanneer een mogelijke drempelwaarde voor de combinatie van zeespiegelstijging en bodemdaling dreigt te worden overschreden.

Toelichting

Met de monitoring van bodemdaling en mogelijke effecten van bodemdaling is veel ervaring opgedaan op en rond Ameland. Voor dit gebied zijn voorafgaand aan de daling prognoses gedaan van de te verwachten effecten, en op grond

daarvan is een uitgebreid monitoringsprogramma opgezet dat zowel de morfologische als de biotische aspecten van de bodemdaling betroffen.

Morfologie en ecologie op het Wad

Voor een deel is daarbij gebruik gemaakt van lopende waarnemingsseries. Dat was het geval voor de morfologie en hoogteligging van de wadbodem (de lodingen van de Waddenzee door Rijkswaterstaat), de vogeltellingen van het Ministerie van LNV, it Fryske Gea en SOVON, broedvogeltellingen door it Fryske Gea, de vegetatiekaarten van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat, gegevens over het weer en over neerslag (oa KNMI), waterstanden (RWS) en ten dele ook voor de grondwaterstanden. Voor andere aspecten zijn speciale monitoringsseries opgezet. Zo zijn transecten met permanente kwadraten in de duinen en in de kwelders uitgezet waar behalve de vegetatie ook de opslibbing (en eventuele erosie) in detail kan worden gevolgd.

Regelmatige inspectie van het bodemdalingsgebied bleek een goede methode om onverwachte verschijnselen op te merken die vervolgens in het monitoringsprogramma konden worden opgenomen. Een voorbeeld daarvan is de waarneming van afstervende duindoornvegetatie langs lage, zo nu en dan door zeewater overstroomde duinvalleien. Daarna is de vegetatie van deze duinvalleien apart in het monitoringsprogramma opgenomen.

Organisatie

De monitoring bij Ameland is betaald en secretariael ondersteund door de NAM, maar de inhoud van het programma is vastgesteld en jaarlijks geëvalueerd door een begeleidingscommissie bestaande uit ambtenaren van de betrokken overheden (Rijkswaterstaat, Ministerie van LNV, Provincie en Gemeente) en de lokale natuurbeheerder. Bij de eerste grote rapportage in 2000 is een openbare audit georganiseerd in combinatie met een symposium aan de Rijksuniversiteit Groningen. Deze constructie bleek adequaat; het monitoringsprogramma heeft een schat aan relevante gegevens opgeleverd en naar aanleiding van de audit zijn aanpassingen doorgevoerd waarmee de wetenschappelijke acceptatie zal worden bevorderd.

In onderstaande tabel zijn de voornaamste onderdelen van mogelijke monitoringsprogramma's geschetst.

Tabel 1.1

Overzicht monitoringsprogramma
Ameland

Overall:	Wadbodem:	Duinen, duinvalleien:	Kwelders
Prognoses, samengevat in een prognoserapport Daling in de diepe ondergrond Dalingscontouren aan het oppervlak De morfologie van het totale gebied Specifieke morfologische verschijnselen (oa Afslagranden) Weersomstandigheden, neerslaghoeveelheden Waterstanden, Getijhoogtes Regelmatige inspectie Centraal datamanagement	Hoogteligging van het sediment Erosie/sedimentatie Vogels: Hoogwatertellingen Vogels: Waarnemingen in de fourageergebieden binnen de bodemdalingskom	Grondwaterstand en grondwaterkwaliteit Opslibbing/erosie Vegetatie van droge duinen Vegetatie van zoete duinvalleien Vegetatie van regelmatig door zeewater overspoelde duinvalleien Overspoelingsduur en -frequentie van zilte duinvalleien	Grondwaterstand Erosie/sedimentatie Kweldervegetatie: gebiedsdekkende kaarten Kweldervegetatie: Permanente kwadraten Broedsucces van vogels Beweidingsintensiteit Jaarlijkse fotopanorama's vanaf vaste lokaties

Gebleken is dat de hier genoemde gegevens adequaat in te winnen zijn, en dat ze daarbij een goed beeld geven van zowel de opgetreden daling als van de natuurelementen waarop een effect zou kunnen worden verwacht.

Reservoircompactie en bodemdaling

Van cruciaal belang in het monitoringsprogramma is een juiste weergave van de opgetreden bodemdalingscontour. Deze kan enerzijds modelmatig worden afgeleid uit de compactie van het reservoir, anderzijds uit metingen aan merkpunten die in de ondiepe ondergrond verankerd zijn. Het hangt van de gebiedsomstandigheden af, welke van beide methoden de nadruk krijgt. Op het vasteland, waar nauwkeurigheidswaterpassing mogelijk is met correctie voor andere invloeden zoals autonome daling, is het meten van merkpunten adequaat. Op het wad kan gewerkt worden met een combinatie van een relatief klein aantal (een stuk of tien per gasveld) vaste meetpunten die zijn verankerd in de bodem en met compactiemetingen in het reservoir. In beide gevallen dient een aan de waarnemingen geijkt geomechanisch model te worden ingezet. Met een dergelijk instrument kan mogelijke overschrijding van het toelaatbare bodemdalingstempo tijdig worden voorspeld, zodat preventieve maatregelen getroffen kunnen worden.

Sedimenttransport

Ook de ontwikkeling van de werkelijke bodemligging is van belang. De lodingen die tot nu toe zijn gebruikt voor de bodemligging hebben een vrij grote

meetonnauwkeurigheid, maar ze zijn al vanaf 1950 beschikbaar en ze hebben een zeer grote dekking. Nauwkeuriger metingen zijn mogelijk door conventionele waterpassing en door GPS-hoogtemetingen. Een heel nauwkeurige sedimentatie-erosiebalans is te verkrijgen door de ten zuiden van Ameland toegepaste 'spijker'-metingen (Kersten, 2003).

Op de kwelders zijn zeer nauwkeurige hoogtemetingen mogelijk door middel van waterpassing, en op dit moment worden door Alterra al sedimentatie-erosiemetingen uitgevoerd. Het is van groot belang dat de waterpassingen van de kustzone bij de kwelders zoals die nu worden uitgevoerd doorgaan. Het zijn de meest nauwkeurige waarnemingen op het gebied van bodemligging en ze hebben een zeer solide vergelijkingswaarde door een geschiedenis van 44 jaar. Andere methoden hebben op dit moment nog niet de perfectie van waterpassingen bereikt. Voor vlakdekkende kartering van kweldervegetaties kan gebruik worden gemaakt van luchtfoto's, voor detailinformatie zijn permanente kwadraten nodig. Uit het onderzoek bij Ameland blijkt dat.

Fauna

Bewust is in het monitoringsprogramma van Ameland afgezien van het monitoren van bodemfauna. Overwogen is dat de inspanning die samen zou gaan met een vlakdekkende monitoring van bodemfauna alleen zin zou hebben wanneer het bodemdalingsgebied zodanige veranderingen zou ondergaan dat deze groter zouden zijn dan de natuurlijke variaties die optreden in de bodemfauna. Gegeven de voorspellingen van de bodemdaling werd een zodanige daling niet verwacht. De monitoringsresultaten bij Ameland, maar ook elders, laten inderdaad zien dat van duidelijke verlagingen van de bodem geen sprake is. Dat wil niet zeggen dat monitoring van bodemfauna op zichzelf niet mogelijk zou zijn; de technieken daarvoor zijn beschikbaar.

Gegevens over de vogelstand worden standaard verzameld in het kader van het monitoringsprogramma voor de Waddenzee, uitgevoerd door SOVON. Zeker wanneer het om kleine dalingen gaat is er evenals voor de bodemfauna weinig hoop dat uit deze gegevens een verandering door bodemdaling zou kunnen blijken. Maar deze gegevens komen elk jaar beschikbaar en kunnen als controle dienen op overige waarnemingen.

Morfologie op het eiland

Uit het Amelandonderzoek blijkt dat droge duinen nauwelijks of niet veranderen door bodemdaling. Enig effect is mogelijk in natte zoete duinvalleien, maar grotere effecten kunnen optreden door een meer frequente overspoeling van valleien die zo nu en dan vollopen met zeewater. Voorspelling en monitoring van de toename van inundatiefrequentie is goed mogelijk, en de vegetatie-ontwikkelingen kunnen door middel van kartering en permanente kwadraten goed beschreven worden.

Zeespiegelstijging

Bij dit alles is het cruciaal dat ook het niveau van de zeespiegel voortdurend wordt gemeten. Dat gebeurt standaard op diverse meetpunten van Rijkswaterstaat, en ook mondiaal wordt voortdurend gemeten. Daardoor is het gemiddelde niveau van de zeespiegel ten opzichte van het land goed bekend. Ook veranderingen in het gemiddelde hoog- en laagwaterniveau zijn uit de metingen van Rijkswaterstaat af te leiden.

6 Injectie in ondergrond

Vraag

"De injectie van water ter voorkoming van bodemdaling door gaswinning wordt als effectieve maatregel beschouwd. Hiervoor is wel nader onderzoek nodig."

Antwoord

TNO-NITG trekt de volgende conclusie die daarna wordt toegelicht:

Technisch gesproken is injectie van water of CO₂ in een gasreservoir een haalbare optie ter (gedeeltelijke) compensatie van bodemdaling. Echter, vanwege bezwaren van economische en milieutechnische aard geniet injectie van water of CO₂ niet de voorkeur boven de methode van regelen in tijdstip en snelheid van gasproductie ('productie met de hand aan de kraan').

Toelichting

Injectie van water of CO₂ met als doel drukhandhaving in een gasvoorkomen om reservoircompactie - en daarmee bodemdaling - te voorkomen, kan technisch het beste geschieden in dezelfde reservoirlagen als waaruit de gaswinning plaatsvindt.

Injectie van water kan het beste geschieden in de aquifer vlak naast/onder het gasreservoir, zodanig dat gelijkmatige opdringing van water in het gasvoerende reservoir wordt gerealiseerd.

Injectie van CO₂ kan het beste plaatsvinden binnen het gasvoerende volume, maar dicht bij het gas-water contact en ver van de producerende putten.

Injectie van water of CO₂ geeft als economisch risico, dat de geïnjecteerde vloeistof vroegtijdig de productieputten bereikt en dan de gasproductie hindert (verlaagde gasproductie en/of vermenging met CO₂) of zelfs onmogelijk maakt.

Er is recent ervaring opgedaan met bodembeweging door gasinjectie bij de gasopslag locatie Norg. Hier is de ervaring dat na gasinjectie tot aan de oorspronkelijke reservoirdruk de bodemdaling van enkele centimeters nagenoeg geheel werd opgeheven. Dit betekent dat de bodemdaling hier volkomen elastisch was. In geval van een grotere bodemdaling door gaswinning kan het niet elastisch deel hiervan leiden tot reductie van het vermogen tot herstel.

Het achteraf via injectie kunstmatig op oorspronkelijke druk brengen van een gasreservoir, waarin al drukdepletie heeft plaatsgevonden, als mitigerende maatregel is minder aantrekkelijk dan het op druk houden als preventieve maatregel. Immers, in het geval van mitigatie moeten alsnog snel injectie-installaties worden aangelegd om het tempo van bodemdaling te reduceren. Het temperen van de gasproductie lijkt dan een betere optie. Injectie is wel de enige preventieve maatregel tegen bodemdaling door gaswinning.

Hierboven is in kwalitatieve termen weergegeven wat het effect van water- of CO₂-injectie nabij of in een gasvoorkomen kan zijn. Voor een kwantitatieve benadering - als basis voor een te ontwikkelen injectie-strategie - is lokatiespecifieke modellering nodig met behulp van een numerieke modellen.

Voor compensatie van het vrijkomende porievolume door winning van aardgas zijn bij een productie van een miljard m³ gas/jaar 14 waterinjectieputten van 1000 m³ water per dag nodig of 5 CO₂ injectieputten van ca. 2 kton CO₂/dag. Voor gebieden met boorbeperingen, zoals de Waddenzee, leidt dit tot een moeilijke afweging: boring van een geringer aantal injectieputten uit milieu-overwegingen leidt tot geringere effectiviteit van de bodemdalingsbestrijding. Ook andere milieu-overwegingen kunnen van invloed zijn, zoals het eventuele mindere rendement van het gasveld wanneer CO₂-injectie zou worden toegepast en de energie die nodig is om het CO₂ te injecteren.

De beschikbaarheid van CO₂ voor injectie in de Waddenzee en de beschikbaarheid van scheidingsinstallaties voor gas en CO₂ is een andere beperkende factor.

Literatuur

- Beets, D.J. & A.J.F. van der Spek, 2000. The Holocene evolution of the barrier and the back barrier basins of Belgium and the Netherlands as a function of late Weichselian morphology, relative sea-level rise and sediment supply. *Neth. Journal of Geosciences*, 79, pp. 3-16.
- Beukema, J.J., 2002. Expected changes in the benthic fauna of Wadden Sea tidal flats as a result of sea-level rise or bottom subsidence. *Journal of Sea Research*, 47, pp. 25-39.
- Cleveringa, J., 2001. Zand voor zuidwest Texel. Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel. Rapport RIKZ/OS/2001/031.
- Cleveringa, J. en A.P. Oost, 1999. The fractal geometry of tidal-channel systems in the Dutch Wadden Sea. *Geologie en Mijnbouw* 78, 21-30.
- Elias, E.P.L., Stive, M.J.F., Bonekamp, J.G. en Roelvink, J.A., 2002. Morphodynamics at the Updrift side of inlets. *Proc. of the 28th ICCE*, Cardiff, Wales.
- Elias, E.P.L., Bonekamp, J.G., Stive, M.J.F., 2003. Decadal ebb tidal delta behavior. A response to large scale human interventions *Proc. of Coastal Sediments*, Sint Petersburg, Florida (in preparation).
- Eysink, W.D., Dijkema, K.S., van Dobben, H.F., Slim, P.A., Smit, C.J., Sanders, M.E., Schouwenberg, E.P.A.G., Wietsz, J. & De Vlas, J., 2000. Samenvatting Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost: evaluatie na 13 jaar gaswinning. WL, Alterra en RIKZ in opdracht van Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland. ISBN: 90-76690-06-5.
- Gerritsen, F., 2000. Response time scales for Dutch Wadden Sea. 46 pag.
- Grolle, L., 2001. Hydrologische en morfologische ontwikkeling platen en geulen Balgzand. Van verleden tot toekomst?. Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/AB/2001.612.
- Grunnet, N.M., & P. Hoekstra, 2004. Alongshore variability of the multiple barred coast of Terschelling. *The Netherlands Marine Geology* 203, pp. 23-41.
- Guillen, J. & P. Hoekstra, 1997. Sediment distribution in the nearshore zone: grain size evolution in response to shoreface nourishment (Island of Terschelling, The Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45, pp. 639-652.
- Hettema, M., E. Papamichos and P. Schutjens, 2002. Subsidence Delay: Field Observations and Analysis. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Vol.* 57, pp 443-458.
- Israël, C.G., 1998. Morfologische ontwikkeling Ameland-er Zeegat. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-98.147x, 32 pag., 11 bijlagen.
- Israël, C.G., en A.P. Oost, 2001. Strandhaakontwikkeling op de koppen van de Waddeneilanden. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/2001.116x, 27 pag., 1 appendix en 12 bijlagen.
- Jeuken, M.C.J.L., Z.B. Wang, D. Keiller, I. Townend & G.A. Liek, 2003. Morphological response of estuaries to nodal tide variation. In: *Proc. Int. Conf. Estuaries and Coasts*, Hangzhou, China, pp. 166-173.

Kersten, M., 2002. Effecten van sedimentatie en erosie op de hoogteligging van het wad onder Ameland-Oost. Natuurcentrum Ameland in opdracht van NAM.

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

Kragtwijk, N., T.J. Zitman, M.J.F. Stive & Z.B. Wang, 2004. Morphological response of tidal basins to human interventions. *Coastal Engineering* 51, pp 207-221.

Mulder, H.P.J., 1996. Sedimentbalans Eems-Dollard: een tweedimensionale rekenmethode. Een zand- en slibbalans voor de periode 1985-1990 met het Invers Sediment Transport Model. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, rapport RIKZ-96.013.

TNO-NITG, 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen; rapportage fase 2.

Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J., Verburgh, J.J., 1998. Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.

Oost, A.P., Israël, C.G. en D.W. Dunsbergen, 2000. Kusterosie van noordwest Ameland: ontwikkelingen op verschillende tijdschalen. Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ/2000.057, 38 pag., 4 tab. en 18 figuren.

Oost, A.P. & P.A.H. Kleine Punte, 2003. Autonome morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee. Concept rapport RIKZ (versie 31 juli 2003), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 91 pp.

Rommel, M.C., 2004. Morfologische veranderingen als gevolg van bodemdaling door gaswinning. Locatie Zuidwal TotalFinaElfRijksinstituut voor Kust en Zee, rapport RIKZ/2004.004.

Schoorl, H., 1999a(+). De Convexe Kustboog, deel 1, het westelijk Waddengebied en het eiland Texel tot circa 1550. pp. 1-187.

Schoorl, H., 1999b(+). De Convexe Kustboog, deel 2, het westelijk Waddengebied en het eiland Texel vanaf circa 1550. pp. 188-521.

Schoorl, H., 2000a(+). De Convexe Kustboog, deel 3, de convexe kustboog en het eiland Vlieland. pp. 522-707.

Schoorl, H., 2000b(+). De Convexe Kustboog, deel 4, de convexe kustboog en het eiland Terschelling. pp. 708-962.

Snijders, G.H. en L.A. Uit den Bogaard, 2003. Kustlijnkaarten 2003. Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-2003.021, 27 pag. en 2 bijlagen.

Tanczos, I.C., 1996. Selective transport phenomena in coastal sands. Proefschrift, RU Groningen, 184 pp.

Valk, L. van der, W.D. Eysink, Z.B. Wang, 2004. Update inzichten gaswinning, Voorspelbaarheid van het Waddensysteem. Notitie z3796, WLI Delft Hydraulics.

Wang, Z.B. & van der Weck, A., 2002. Sea-level rise and Morphological development in the Wadden Sea, a desk study. Report Z3441, WL I Delft Hydraulics.

Walburg, L., 2001. De zandbalans van het Zeegat van Texel, bepaald met verschillende buitendelta-definities. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument, RIKZ/OS/2001.136x, 46 pag. en 1 bijlage.

Wang, Z.B., M.C.J.L. Jeuken & B.A. Kornman, 2003. A model for predicting dredging requirement in the Westerschelde. In: Proc. Int. Conf. Estuaries and Coasts, Hangzhou, China, pp. 429-435.

Deel 2 Niet lineair gedrag van het morfologisch systeem

In het rapport van de Adviesgroep Waddenzeebeleid (2004) is in bijlage 11 de brief van Mw. ir. J.C.A. Joordens en dhr. Dr. H.E. de Swart over 'Risico op niet-lineair gedrag Waddenzee' opgenomen. Zij stellen hierin dat in estuaria en mogelijk in de Waddenzee meerdere morfologische evenwichten mogelijk zijn. Met name wordt hierbij gedacht aan een 'ondiep' evenwicht vergelijkbaar met de huidige Waddenzee en een 'diep' evenwicht waarin platen en intergetijdegebieden ontbreken. Na bestudering van de na 1999 beschikbaar gekomen literatuur op het gebied van meerdere evenwichten, blijkt dat er geen reëel risico is op een omslag naar een ander evenwicht als gevolg van gaswinning in de Waddenzee.

Er is door het WL een onderzoek uitgevoerd om antwoord te geven op de vraag of niet-lineair gedrag als respons op bodemdaling in de Waddenzee te verwachten is (Wang, 2004). De resultaten van het onderzoek worden beschreven in de onderstaande analyse, die opgebouwd is uit de volgende vijf onderdelen:

- 1) Uitgangspunten en volledigheid van het model Schuttelaars en De Swart.
- 2) Toepasbaarheid van het model op bodemdaling in bekkens in de Waddenzee (hebben huidige bekkens de juiste dimensies; is het model gevalideerd?).
- 3) Bestaande fluctuaties in het eigen gedrag en evenwichten van het systeem op grond van literatuur.
- 4) Waarnemingen in de afgelopen 500 jaar van de Waddenzee en van andere estuaria en wadden in de wereld.
- 5) Voorspelbaarheid van effecten op bodemdaling m.b.v. model Schuttelaars en De Swart.

1 Uitgangspunten en volledigheid van het model

Het onderzoek van Schuttelaars en De Swart (1996, 2000) is gebaseerd op een zogenaamd geïdealiseerd model. Sterke vereenvoudigingen en een aantal aannames in het model maken een semi-analytische benadering mogelijk en een overzichtelijke interpretatie van de modelresultaten. De gebruikte aannames zijn gebruikelijk in dit type modellering en zijn algemeen geaccepteerd in de literatuur. Door Hibma et al (2003) is een vergelijking tussen het geïdealiseerde model en het Delft3D model uitgevoerd. De vergelijking bevestigt dat de meeste vereenvoudigende aannames in het geïdealiseerde model geoorloofd zijn.

Door bovengenoemde sterke punten vormt dit type model een belangrijke aanvulling op de complexe modellen in het onderzoek naar de morfologie van systemen zoals de Waddenzee.

De opzet en randvoorwaarden van het model

In het model wordt een getijdebekken als een rechthoek beschouwd, met drie gesloten zijden (landzijde en twee zijkanten) en een open zijde (zeerland). Het is verder een 1-D model met een bodem die alleen in lengterichting varieert. Het model bevat geen geulen en platen.

Een belangrijke aanname is dat de bodemdiepte op de zeerland van het model vast is, deze kan niet veranderen. Dit komt niet overeen met de werkelijkheid. Alleen het getij, bestaande uit een dubbeldaags component (M2) en een viermaal-daags component (M4), is meegenomen als aandrijvende kracht van de morfologische ontwikkeling. Het sediment in het model is beschouwd als fijn zand en alleen zwevend transport is meegenomen. Op de zeerland wordt de waterdiepte vastgehouden als morfologische randvoorwaarde. Verder bevat de analyse de aanname dat de verhouding tussen de getijamplitude en de waterdiepte bij de zeerland en de verhouding tussen de amplitudes van de M4- en M2- componenten van het maansgetij klein zijn.

Het vinden van meerdere morfologische evenwichten in het niet-lineaire model is afhankelijk van de lengte van het bekken en van de relatieve sterkte van de getijasymmetrie (amplitude verhouding tussen M4 en M2).

In het geval dat het getij symmetrisch is (alleen de M2 component bevat en geen M4 etc) is er een uniek morfologisch evenwicht voor alle bekkenlengtes onder een bepaald maximum (orde 200 kilometer). In het geval dat het getij niet symmetrisch is (M4 aanwezig) zijn er twee typen morfologisch evenwicht te onderscheiden. In relatief korte bekkens (kleiner dan orde een kwart van de golflengte, ongeveer 100 km) heeft het getij binnen het bekken het karakter van een staande golf, en is het bekken relatief diep. In relatief lange bekkens heeft het getij een lopende golf karakter en is het bekken ondiep. In de meeste gevallen is er nog steeds een uniek morfologische evenwicht. Maar onder bepaalde voorwaarden (met name de lengte van het bekken) kan een bekken meerdere morfologische evenwichtstoestanden hebben, een dieper (stabiel), een ondieper (stabiel) en één daar tussenin (instabiel). In de discussie rondom het effect van bodemdaling in de Waddenzee wordt aan dit verschijnsel gerefereerd met de term niet-lineair gedrag.

Volgens Schuttelaars en De Swart (2000) zijn er twee voorwaarden voor het bestaan van meerdere morfologische evenwichtstoestanden:

1. De M4 component moet sterk genoeg zijn. De verhouding tussen de amplitudes van M4 en M2 moet groter zijn dan de verhouding tussen de amplitude van M2 en de niet gestoorde waterdiepte (ook opgelegd bij de monding als randvoorwaarde).
2. De lengte van het bekken valt binnen een klein interval (tussen de maximale lengte voor het bestaan van het eerste type evenwicht en de minimale lengte voor het bestaan van het tweede type evenwicht, dat alleen bestaat als aan voorwaarde 1 is voldaan) rondom een kwart van de golflengte van het getij.

2 Toepasbaarheid van het model op bodemdaling in bekkens in de Waddenzee (hebben huidige bekkens de juiste dimensies; is het model gevalideerd?)

De waarde van het model blijkt ook uit de verificatie (Swart, de, H.E. & M. Blaas, 1998) met de veldwaarnemingen. Op grote schaal worden de morfologische kenmerken van het bekken van de Waddenzee en de Westerschelde goed weergegeven door het model. Bijvoorbeeld voor de korte Waddenzeebekkens neemt de breedte-gemiddelde diepte, zowel volgens het model als volgens waarnemingen in het veld, monotoon af van open zee naar de landzijde. Ook voor het Schelde Estuarium, een langer bekken, toont het model redelijke overeenkomst met de velddata.

Wat niet met waarnemingen is gevalideerd is het niet-lineaire gedrag. Er is geen voorbeeld in de publicaties beschreven waarbij een bekken van het ene morfologische evenwicht omkapt naar een ander. In de brief van Joordens en De Swart is het Deens-Duitse bekken Lister Tief als mogelijk voorbeeld genoemd. Uit een recente analyse (Nortier, N.J., 2004) is echter gebleken dat dit bekken, in de huidige toestand, goed voldoet aan de empirische relaties voor morfologisch evenwicht zoals uit gegevens van andere Waddenzeebekkens zijn afgeleid. Analyse van de morfologische veranderingen geeft ook niet aan dat het Lister Tief (tussen het Duitse eiland Sylt en het Deense eiland Rømø) aan het leeglopen is. Volgens Schuttelaars en de Swart (2000) gaat het bekken naar een aangepast (ondiep) evenwicht behorend bij de 'nieuwe' situatie met de twee aangelegde dammen. Hierdoor vindt in eerste instantie export van sediment plaats totdat het aangepaste (ondiepe) evenwicht bereikt is. Vervolgens zal het bekken door zeespiegelstijging weer importerend worden. Dit bekken kan dus niet als verificatie van het niet-lineaire gedrag worden beschouwd.

De Waddenzeebekkens voldoen niet aan de voorwaarden van Schuttelaars en de Swart (2000) voor het bestaan van meerdere morfologische evenwichtstoestanden. Aan de tweede voorwaarde wordt zeker niet voldaan. Deze voorwaarde veronderstelt dat de lengte van het bekken voor het bestaan van een tweede type evenwicht ongeveer een kwart van de golflengte van het getij is. De lengtes van de Waddenzeebekkens zijn niet langer dan zo'n 20 km terwijl de golflengte van het getij in de orde van honderden kilometers is.

Voor deze zeer korte Waddenzeebekkens is er volgens het geïdealiseerde model altijd maar één uniek morfologisch evenwicht met een bijna lineair afnemende waterdiepte van de monding naar de landzijde. Het enige bekken waarvan de lengte in de buurt van het vereiste interval zou kunnen komen is de Eems-Dollard. Maar ook dit bekken voldoet nog steeds niet aan de twee voorwaarden en bovendien is het model eigenlijk niet meer van toepassing voor dit bekken omdat de rivierafvoer, die niet in het model is meegenomen, hier een rol speelt.

Interessante vraag is verder of alsnog aan deze voorwaarden zou kunnen worden voldaan door zeespiegelrijzing en bodemdaling. Het is theoretisch mogelijk dat op een bepaald moment aan voorwaarde 1 wordt voldaan. De lengtes van de bekkens zullen echter nauwelijks veranderen en de golflengte van het getij zal toenemen als gevolg van de toegenomen waterdiepte. Dit betekent dat er verder van de tweede voorwaarde wordt afgeweken. Het is dus vrijwel uitgesloten dat relatieve zeespiegelrijzing als gevolg kan hebben dat in de toekomst aan de vereiste voorwaarden voor het bestaan van meerdere morfologische evenwichtstoestanden voldaan wordt als er nu niet aan wordt voldaan.

3 Bestaande fluctuaties in het eigen gedrag en evenwichten van het systeem op grond van literatuur

Verstoringen die qua omvang minstens zo groot zijn als de bodemdaling t.g.v. gaswinning komen ook in de natuur voor. Menselijke ingrepen in het verleden hebben veel grotere verstoringen veroorzaakt. In alle bekende gevallen bleek

dat de morfologie van de Waddenzee de neiging heeft naar hetzelfde type evenwicht te herstellen. Dit geldt ook voor het Deens- Duitse bekken Lister Tief.

4 Waarnemingen in de afgelopen 500 jaar van de Waddenzee en van andere estuaria en wadden in de wereld

In de Waddenzee zijn zowel natuurlijke als menselijke verstoringen voorgekomen. Als voorbeeld van natuurlijke verstoringen kan de 18.6 jaar cyclus van het getij worden genoemd. Deze cyclus veroorzaakt een variatie van het getijverschil met een periode van 18.6 jaar en een amplitude van ongeveer 4%. Zowel morfologische modellen als veldwaarnemingen geven aan dat de morfologie van een getijdebekken reageert op deze variatie (Jeuken, M.C.J.L., 2003). De getijprisma dat volgens de breed geaccepteerde empirische evenwichtsrelaties het morfologische evenwicht bepaalt is bij benadering evenredig met het getijverschil en vertoont dus ook een cyclische variatie van 4% met een periode van 18.6 jaar. Dit betekent dat het evenwichtsvolume van de geulen in een bekken varieert in orde van grootte van 5% van het volume van de geulen. Het totale geulvolume in een bekken als het Friesche Zeegat is ongeveer 200 miljoen m³. De amplitude van deze verstoring met een periode van 18.6 jaar is dus ongeveer 10 miljoen m³.

Voor het gevreesde omklappen van de morfologische toestand van getijdebekken zoals die in de Waddenzee is er, naast het bestaan van meerdere stabiele morfologische evenwichtstoestanden, nog een andere voorwaarde nodig. Het huidige evenwicht moet namelijk voldoende worden verstoord om te zorgen dat het systeem in het attractiegebied van het nieuwe evenwicht terechtkomt. Theoretisch vormt het instabiele evenwicht tussen de twee stabiele evenwichtstoestanden de scheiding tussen de attractiegebieden van de twee stabiele evenwichtstoestanden. In de praktijk is deze scheiding moeilijk aan te geven, zoals Joordens en De Swart (Adviesgroep Waddenzeebeleid, 2004) ook in hun brief aangeven. Een indicatie of bodemdaling door gaswinning de vereiste verstoring kan veroorzaken (afgezien van de vraag of er überhaupt een ander stabiel evenwicht bestaat) kan men verkrijgen door de bodemdaling te vergelijken met de in de natuur aanwezige of door de mens in het verleden veroorzaakte verstoringen. Vast staat dat het gevreesde omklappen, waarbij het zand uit een estuarium loopt en het estuarium veel dieper wordt, nog niet is voorgekomen. Omdat er in het recente verleden veel grotere verstoringen zijn voorgekomen dan die welke ten gevolge van de gaswinning te verwachten zijn, is het zeer onwaarschijnlijk dat de bodemdaling door gaswinning het systeem zal doen omklappen.

Als voorbeelden van menselijke ingrepen in het verleden kunnen de Afsluitdijk en de afsluiting van de Lauwerszee worden genoemd. Beide ingrepen hebben een grote zandhonger (tientallen miljoenen m³) veroorzaakt (voor meer gedetailleerde informatie van deze ingrepen zie bijv. het IBW rapport van Oost et al. 1998). Uit veldwaarnemingen is gebleken dat de bodemdaling die is veroorzaakt door de al gerealiseerde gaswinning in de Waddenzee (zoals op Ameland) en die kleiner is dan de genoemde verstoringen geen waarneembaar effect op de morfologische ontwikkeling heeft gehad.

De tot nu toe waargenomen respons van de Waddenzee op de genoemde verstoringen bevestigt de hypothese dat het systeem de neiging heeft de oorspronkelijke evenwichtstoestand (beschreven door de empirische relaties) na verstoring weer te herstellen. Deze hypothese is ook het uitgangspunt van de verschillende morfologische modellen zoals die in de IBW studie zijn gebruikt.

Samenvattend geven waarnemingen uit het recente verleden geen indicatie dat de Waddenzee zou kunnen omklappen naar een veel diepere toestand. Soortgelijke waarnemingen in het buitenland leiden tot dezelfde conclusie (Nichols, M.J., 1989).

5 Voorspelbaarheid van effecten op bodemdaling m.b.v. model De Swart

Het niet-lineaire model van Schuttelaars en De Swart laat zien welk evenwicht (en in bijzondere gevallen welke evenwichten) er is bij een bepaald bekken en een bepaalde zeestand. Het model geeft aan welk nieuw evenwicht er ontstaat na een bepaalde verandering in zeespiegel en/of bodemgeometrie. De overgang en de snelheid waarmee kunnen niet door dit model voorspeld worden (andere modellen kunnen dit wel) (zie onder beantwoording van vraag 1. Voorspelbaarheid van het Waddensysteem). Het niet-lineaire model laat zien dat er voor de huidige zeespiegel en huidige bodemgeometrie slecht één evenwicht bestaat. Ook bij een verhoogde zeespiegel en een verlaagde bodemgeometrie bestaat er slechts één evenwicht volgens het model, zoals omschreven is onder vraag 2.

Conclusies

In antwoord op de gestelde vraag (zie hoofdstuk 1) kan geconcludeerd worden dat de voorgenomen gaswinning het risico van omklappen van de toestand van het morfologische systeem naar een ander evenwicht, in de zin van een sterk verdiepte Waddenzee zonder intergetijdegebied, niet wetenschappelijk is aangetoond. Toepassing van de resultaten van het geïdealiseerde model gepresenteerd door Schuttelaars en De Swart (2000) laat zien dat de Waddenzeebekkens niet voldoen aan de voorwaarden voor het optreden van dit verschijnsel. Relatieve zeespiegelrijzing kan er niet toe leiden dat in de toekomst wel aan deze voorwaarden wordt voldaan. Alle bekende veldwaarnemingen bevestigen deze modeluitkomsten. De zorgen zoals geuit in de brief van Joordens en De Swart worden strikt genomen dus niet ondersteund door het onderzoek van Schuttelaars en De Swart (2000). De aanbeveling in de brief om deze stroming binnen de morfologische modelontwikkeling op zijn waarde te schatten wordt door deze analyse ondersteund. Het gaat om een goed toepasbaar en bruikbaar model, dat het verdient verder ontwikkeld te worden door toepassing met andere onderzoeksdisciplines en gebruik te maken van veldmetingen.

Literatuur

Adviesgroep Waddenzeebeleid, 2004. Rapport 'Ruimte voor de Wadden'.

Hibma, A., Schuttelaars, H.M., Wang, Z.B., 2003. Comparison of longitudinal equilibrium profiles of estuaries in idealized and process-based models. *Ocean Dynamics* 53 (3), 252-269.

Jeuken, M.C.J.L., Wang, Z.B., Keiller D., Townend, I., Liek, G.J., 2003. Morphological response of estuaries to nodal tide variation. International Conference of Estuaries and Coasts, November 9-11, 2003, Hangzhou, China.

Nichols, M.J., 1989. Sediment accumulation rates and relative sea-level rise in Lagoons. *Mar. Geol.*, 88: 201-220.

Nortier, N.J., 2004 . Morphodynamics of the Lister Tief tidal basin. Report Z2839, WL I Delft Hydraulics.

Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J., Verburgh, J.J., 1998. *Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee*. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.

Schuttelaars, H.M. and H.E. De Swart, 1996. An idealized long-term morphologic model of a tidal embayment. *Eur. J. Mech. B*, 15, 55-80.

Schuttelaars, H.M. and H.E. De Swart, 2000. Multiple morphodynamic equilibria in tidal embayments . *J. of Geophysical Res.* Vol.105, No. C10, 24,105-24,118.

Swart, de, H.E. and M. Blaas, 1998. Morphological evolutions in a 1D model for a dissipative tidal embayment. *Physics of Estuaries and Coastal Seas*, Edited by J. Dronkers and M.B.A.M. Scheffers, pp. 305-315, A.A. Balkema, Rotterdam, 1998.

Wang, Z.B., 2004 Niet-lineair gedrag van het morfologische systeem van de Waddenzee. Rapport Z3796, WL I Delft Hydraulics.

Deel 3 Monitoringsgegevens

Sinds de bodemdalingsstudie van 1998 zijn op het gebied van de bodemdaling, morfologie en ecologie veel nieuwe monitoringsgegevens verzameld en (deels) geanalyseerd. De gegevens zijn verzameld door het RIKZ, AGI, Alterra, het TNO-NITG en Staatstoezicht op de Mijnen. Sinds 1998 zijn er van twee gaswingebieden, Ameland-Oost en Zuidwal, publicaties verschenen van een evaluatie van het monitoringsprogramma. In deze studie zijn de monitoringsactiviteiten op een rij gezet en zijn bestaande analyses samengevat. De monitoring van de ontwikkeling van de kwelders aan de Friese en Groninger kust zijn door Alterra verzorgd en de daaruit voorgekomen gegevens zijn in deze studie nader geanalyseerd. TNO-NITG heeft op basis van de bestaande bodemgegevens prognoses gemaakt en vergeleken met die van 1998.

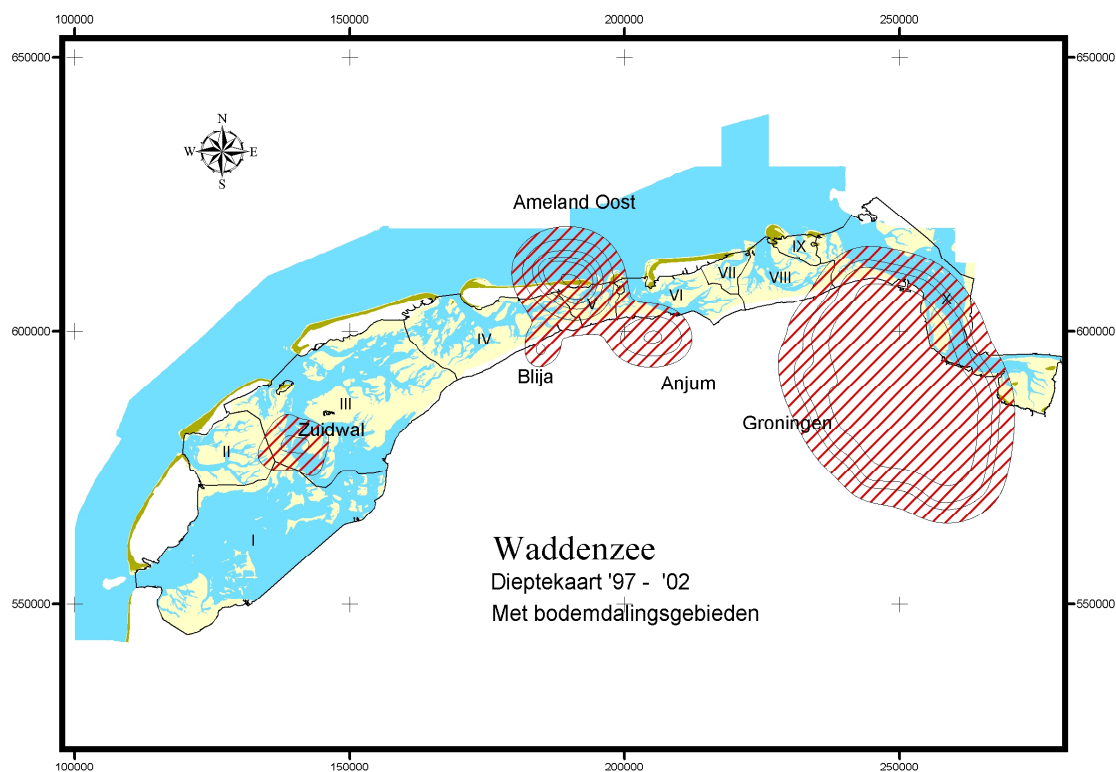
Met de verzamelde monitoringsgegevens is een beeld verkregen van de effecten van bodemdaling op morfologie, abiotische factoren, ecologie en economie. De effecten van de huidige bodemdaling op deze factoren zijn te verwaarlozen gezien de natuurlijke dynamiek van het systeem. Bovendien geven de nieuwe inzichten voor bodemdaling voor de periode tot 2050 aan dat de verwachte bodemdalingsvolumes zoals voorspeld in het IBW (Oost et al, 1998) netto voor de Waddenzee als geheel naar beneden moeten worden bijgesteld.

In dit deel presenteren we eerst een overzicht van de beschikbare gegevens en winlokaties. Vervolgens geven we per onderwerp een samenvatting en analyse van de beschikbare gegevens.

1 Overzicht monitoringsgegevens

Figuur 3.1

Ligging huidige gaswinlokaties, waarin
I t/m X de kombergingsgebieden
aangeven



Ameland-Oost

Twee jaar na het begin van de winning in 1986 is op Ameland-Oost een uitgebreid monitoringsprogramma van start gegaan. Het betreft een integrale studie naar de bodemdaling, morfologie, abiotische factoren, ecologie en economische aspecten. Over deze gegevens is in 2000 een evaluatierapport verschenen van de Monitoringscommissie bodemdaling. Naast dit monitoringsprogramma is er een eerste evaluatie van een nieuwe meetmethode verschenen door Kersten (2003). Het onderzoek van Kersten betreft een nauwkeurige manier om sedimentatie-erosie te meten. De tijdsperiode van de metingen is echter nog te kort om er definitieve conclusies aan te kunnen verbinden.

Zuidwal

De gaswinning bij Zuidwal, op de rand van de Lange Zandplaat en de Oude Inschot, vindt plaats ten zuidwesten van Griend. De winning is gestart in 1988. In 2004 is onderzoek gedaan naar de morfologische veranderingen als gevolg van bodemdaling door gaswinning (Rommel, 2004). Gekeken is naar de mate van bodemdaling en de effecten hiervan op de morfologie. Het blijkt dat de gemiddelde sedimentatiesnelheden groot zijn ten opzichte van de opgetreden bodemdaling, waardoor de effecten geheel gecompenseerd worden. Bovendien is de onnauwkeurigheid in de lodingsgegevens (cm's) groter dan de opgetreden bodemdaling.

Groningen

Bij het Groningen veld, waar sinds 1963 gas wordt gewonnen, is gekeken naar de kwelders van Groningen en Friesland (Werkgroep Onderzoek Kwelderwerken, 2004) om te bepalen wat de invloed van de bodemdaling op de kwelders is.

Blija

In 1985 van start gegaan met de gaswinning op lokatie Blija.

Anjum

Anjum is de meest recente winlokatie. Hier vindt sinds 1997 gaswinning plaats.

Tabel 3.1

Overzicht monitoringsgegevens huidige gaswinlocaties (* gemonitord)

Kennisveld	Meting	Lokaties				
		Ameland-Oost	Zuidwal	Groningen	Blija	Anjum
Bodem-daling	Nauwkeurigheids-waterpassingen	*	*	*	*	*
Morfologie	Lodingen onderwaterbodem	*	*	*	*	*
	Sedimentatie/erosie-meting wadbodem	*				
Abiotische factoren	Waterstand	*	n.v.t.	*	*	*
	Neerslag en verdamping	*	n.v.t.	*	*	*
	Grondwaterstand	*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Ecologie	Vogeltelling	*		*	*	*
	Vegetatie	*	n.v.t.	*	*	*
	Overstromingsrisico duinvalleien	*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
	Toestand kwelders	*	n.v.t.	*	*	*
Economie	Overspoelings-frequentie	*	n.v.t.	*	*	*

Zoals in tabel 3.1 te zien is, zijn er veel monitoringsgegevens beschikbaar. Het betreft enerzijds resultaten van reguliere meetprogramma's, anderzijds van, zoals voor Groningen, Ameland en Zuidwal, speciaal voor bodemdaling opgezette monitoringsprogramma's. Vanwege de beperkte beschikbare tijd zijn niet alle gegevens in deze studie geanalyseerd, maar is volstaan met een samenvatting van de reeds uitgevoerde analyses.

2 Monitoring van de bodemdaling

Voor de bodemdaling en schattingen van gasvolumes zijn nieuwe prognoses opgesteld door TNO-NITG. Deze prognoses leveren belangrijke informatie op basis waarvan bijsturing mogelijk is (zoals 'hand aan de kraan'). Ook zijn prognoses belangrijk omdat uit gegevens over de verwachte bodemdaling kan worden bepaald hoeveel zand gesuppleerd moet worden om de kustlijnachteruitgang te compenseren. Tenslotte zijn de bodemdalingsvolumes voor Zuidwal (Rommel, 2004) vergeleken met een erosie-sedimentatie-kaart om na te gaan of de bodemdaling in de morfologie terug te vinden is.

Van alle bestaande en geplande winlocaties en prospects (nog te ontdekken voorkomens) zijn de bodemdalingsvolumes berekend. Voor de bestaande winlocaties zijn de volumes bepaald voor 2003 en 2050 en voor de geplande en de prospects zijn de volumes bepaald voor 2050. De volumes zijn per kombergingsgebied weergegeven. De volumes per kombergingsgebied kunnen worden gebruikt om de effecten op de morfologie van het wad te evalueren. Van de kombergingsgebieden zijn in het kader van dit onderzoek erosie-sedimentatie-kaarten gemaakt van het begin van de winning tot 2003. Deze kaarten zijn gebruikt bij de beantwoording van vraag 1c, deel1 uit dit onderzoek, de vraag over de voorspelbaarheid van het waddensysteem.

Bodemdalingsvolumes en verwachte bodemdaling

De bodemdaling wordt voor alle wingebieden gemonitord. De bodemdalinghoeveelheden per kombergingsgebied worden gepresenteerd in tabel 3.3 en in kaart 1, zie bijlage 3.1 (van start winning tot 2003). Het betreft hier de producerende velden, te weten: Groningen, Ameland, Blija, Zuidwal, alsmede de meer landinwaarts gelegen velden Anjum, Engwierum en Metselawier.

Kaart 2 in bijlage 3.2 geeft de bodemdaling voor de producerende velden in het jaar 2050.

Ameland-Oost

De meest recente bodemdalingprognose van TNO-NITG voor 2003 voor dit veld betreft een maximale daling van 24 cm in het centrum van de schotel. Voor 2050 wordt een maximale daling van 32 cm verwacht.

Zuidwal

De meest recente bodemdalingprognose van TNO-NITG betreft een maximale daling van 8,6 cm voor 2003 en 9,2 cm voor 2050. Dit betekent dat er nog een geringe daling wordt verwacht van dit veld.

Groningen

De bodemdalingsschotel van het Groningen veld strekt zich uit tot de kwelders langs de Waddenzee en het Eems-Dollard-gebied.

Anjum-gebied

De metingen op lokatie Anjum laten bodemdaling zien tot het jaar 2000. Met behulp van een modelberekening is een prognose gemaakt. Voor 2003 wordt een maximale daling in het centrum van de winning gegeven van 8 cm en aan de rand, welke ook deels in de Waddenzee ligt, van 2 cm. Voor de prognose van 2050 geldt voor het veld Anjum een maximale daling in het centrum van 10 cm en de Waddenzee daalt aan de randen van het gebied 2 tot 4 cm.

De bodemdalinghoeveelheden per kombergingsgebied vanaf de start tot 2050 zijn weergegeven in kaart 3, zie bijlage 3.3. Het betreft hier de producerende velden en de geplande velden, te weten: Nes/Paesens, Moddergat, Lauwersoog-Oost, -Centraal en -West, Ternaard en Vierhuizen.

Geplande lokaties

Voor de geplande lokaties is ook een prognose voor 2050 gegeven. De maximale bodemdaling betreft 6 cm in een punt gelegen in het kombergingsvolume Zoutkamperlaag.

Leveren de nieuwe bodemdalingsdata nieuwe inzichten?

In tabel 3.2 zijn de prognoses voor 2050 vanaf nu (huidige velden, geplande velden en prospects) naast elkaar gezet. De totaalcijfers van IBW 1998 (Oost et al, 1998) en NITG 2004 verschillen ca. 15%, hetgeen binnen de onzekerheidsbandbreedte van dit type voorspellingen ligt. Mogelijke oorzaken van verschil zijn een verschil in startdatum en de actualiteit van de gegevens:

- IBW 1998 ging uit van 2000 als startjaar voor de prognose; tabel 5.8 uit dat rapport was gebaseerd op prognoses daterend van december 1996. TNO-NITG 2004 gaat uit van 2004 als startjaar voor de prognose; de gebruikte informatie dateert van voorjaar 2004. Er is dus een verschil zowel in startdatum (+ 4 jaar) als in actualiteit van de gegevens (+7 jaar).
- Het meenemen van de lokatie Zuidwal; in IBW 1998 zijn de kombergingsgebieden Marsdiep en Eierlandsegat niet meegenomen. Het betreft de concessie Zuidwal en het daaromheen liggende niet in vergunning gegeven gebied. Overigens is de nog resterende daling in die gebieden zeer gering.
- Verschil in toegepaste rekenmodellen en invoerparameters; zowel de toegepaste rekenmodellen als de invoerparameters daarvoor kunnen aanleiding geven tot (systematische) verschillen in uitkomst.

Tabel 3.2

Vergelijking prognoses
 bodemdalingsvolumes (in 10^6 m^3) voor
 2050 tussen TNO-NITG (NITG 2004) en
 de resultaten van de IBW 1998
 (volumina van minder dan $0,05 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
 worden hier niet gerapporteerd)

Kombergingsgebied	IBW 1998	NITG 2004	Waarvan:		
	Vanaf 2000	Vanaf 2004	Producterende velden	Geplande velden	Prospects
Marsdiep		0,1	0,1		
Eierlandse Gat		0,1	0,1		
Vlie	0,4	3,5	1,0		2,5
Borndiep	5,4	15,0	0,6	0,2	14,1
Pinkegat	7,7	7,5	0,9	1,0	5,7
Zoutkamperlaag	19,2	10,5	0,6	3,8	6,2
Eilanderbalg	3,0	1,0		0,1	0,9
Lauwers	15,4	3,8	0,6	0,1	3,1
Schild	0,6	0,4			0,3
Eems	19,9	19,7	17,5		2,2
Totaal	71,6	61,6	21,4	5,2	35,0

Over de bijdrage van prospects dient het volgende te worden opgemerkt. Zowel in het IBW als door NITG (2004) is er van uitgegaan, dat alle in beschouwing genomen prospects gasvoerend zijn. Dit is een overschatting van de werkelijkheid en daarmee ook een overschatting van de bijdrage in de zandhonger per kombergingsgebied. Op basis daarvan is de verwachting, dat de totale bijdragen van prospects in de zandhonger minder bedragen dan de aangegeven $35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Per definitie is echter onbekend hoe de feitelijke verdeling van dat volume over de kombergingsgebieden zal blijken te zijn. Als gevolg daarvan is het ook niet mogelijk om kaarten te maken voor de bijdragen van prospects aan de zandhonger.

Deze resultaten zijn hooguit indicatief voor wat er zou kunnen gebeuren. De feitelijke gang van zaken kan worden gecontroleerd via het verbinden van voorwaarden aan winningsplannen op basis van de uit exploratieboringen verkregen informatie over de aanwezigheid van aardgas.

In tabel 3.3 is een vergelijking gemaakt tussen de bodemdaling tot nu toe en de prognose t/m 2050. Daaruit blijkt dat voor een aantal kombergingsgebieden nog relatief weinig bodemdaling zal optreden en voor een aantal nog relatief veel. Ook is in tabel 3.3 de zandhonger vermeld die het gevolg is van de huidige zeespiegelstijging t/m 2050. Hieruit blijkt de zandhonger door zeespiegelstijging groter is dan de zandhonger door bodemdaling, met uitzondering van het Pinkegat.

Tabel 3.3

Bodemdalingsvolume per kombergingsgebied t/m 2003 en van 2004 t/m 2050 (inclusief geplande velden en prospects) en volume zandhonger van 2004 t/m 2050 door huidige zeespiegelrijzing (ZSR) van 18 cm/eeuw (volumes in 10^6 m^3).

Kombergingsgebied	Bodemdaling door gaswinning t/m 2003	Bodemdaling door gaswinning 2004-2050	Zandhonger door ZSR van 18 cm/eeuw 2004-2050
Marsdiep	0,5	0,1	58,0
Eierlandse Gat	0,7	0,1	14,1
Vlie	6,1	3,5	58,1
Borndiep	3,5	15,0	25,9
Pinkegat	6,0	7,5	5,2
Zoutkamperlaag	1,7	10,5	12,5
Eilanderbalg	0,0	1,0	3,3
Lauwers	1,0	3,8	12,1
Schild	0,1	0,4	2,6
Eems	27,0	19,7	41,3
Totaal	46,6	61,6	233,1

3 Monitoring van de morfologie

De morfologie van de Wadden wordt gemonitord met dieptemetingen, de zogenaamde lodingen. De lodingsgegevens kunnen worden gebruikt voor het maken van een sedimentatie-erosie-kaart. Voor dit onderzoek is een nieuwe kaart gemaakt op basis van de meest recente lodingsgegevens uit het bestaande monitoringsprogramma (waarvoor eenmaal per zes jaar het waddengebied wordt ingemeten). Kaart 1 (bijlage 3.1) geeft het verschil in sedimentatie/erosie weer over een periode van 12 jaar. In Kaart 2, bijlage 3.2 is de bodemligging in de periode 1997-2002 getoond.

Ameland-Oost

Het verloop van het kustprofiel is in beeld gebracht door middel van raaimetingen in 1980, 1990, 1993, 1996 en 1999. De metingen laten zien dat de kust ten noordoosten van de boorlocatie een sterke zeewaartse groei vertoont, terwijl de kust ten noordwesten een structurele teruggang laat zien die door zandsuppleties wordt gecompenseerd.

Lodingsgegevens sinds 1980 laten een toename zien van de aangroei van De Hon aan de oostkant van Ameland met een stagnatie in de periode 1986-1991.

Op de lage kwelders (lager dan NAP+1,25 m) is de bodemdaling in het algemeen meer dan gecompenseerd door opslibbing. Op de hogere kwelders varieert dit afhankelijk van de hoogte van de kwelder en de afstand tot de winlocatie.

De zeereep en de jonge duintjes op De Hon zijn zeer dynamisch en de effecten van bodemdaling zijn hier volledig ondergeschikt aan de natuurlijke dynamiek. Voor de oudere duinen op Ameland geldt dat de bodemdaling zal leiden tot een meer permanente verlaging van het duinlandschap. Er is geen reëel gevaar voor een doorbraak van de zee door bodemdaling.

Zuidwal

Voor het onderzoek zijn lodingsdata over de periode 1948-1997 gebruikt, waarmee de sedimentatie en erosie (in perioden variërend van 4 tot 23 jaar) inzichtelijk worden gemaakt.

De netto toe- of afname van sediment in het studiegebied is berekend. In tabel 3.4 wordt de sedimentatie per periode en per jaar getoond. In kolom 3 is de netto sedimentatie weergegeven, waarbij de sedimentatie is gecompenseerd voor bodemdaling. In kolom 4 wordt de sedimentatie per jaar gegeven.

Tabel 3.4

Netto sedimentatie/erosie in het studiegebied per periode in 10^6 m^3

Periode	Gemeten netto sedimentatie	Bodemdaling	Netto sedimentatie incl. bodemdaling	Netto sedimentatie incl. bodemdaling per jaar
1948-1971	34,0		34,0	1,48
1971-1975	8,1		8,1	2,02
1975-1981	-4,2		-4,2	-0,69
1981-1985	14,1		14,1	3,53
1985-1991	23,0	1,0	24,0	4,00
1991-1997	-0,4	2,3	1,9	0,32

Vanaf de start van de winning in 1988 tot 1997 waren tijdens dit onderzoek bodemdalingsgegevens bekend. Door deze gegevens te combineren met de sedimentatiegegevens van diezelfde periode, kunnen de volgende conclusies worden getrokken over het gebied rondom Zuidwal.

- De totale hoeveelheid netto sedimentatie in de periode 1988-1997 bedraagt, afhankelijk van de gebruikte methode, $14,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ tot $16,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ met een maximum van $59,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en een minimum van $-26,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De grote onzekerheid wordt bepaald door de onnauwkeurigheid in de lodingen.
- De opgetreden bodemdaling bedraagt in de periode 1988-1997 volgens de peilingen $3,3 \cdot 10^5 \text{ m}^3$. Deze is klein t.o.v. de gemiddelde sedimentatiehoeveelheden in het gebied ($16 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per decennium).
- Met 80 % zekerheid is het volume van de bodemdalingsschotel binnen het beschouwde gebied nu al geheel opgevuld door sedimentatie.

De lodinggegevens kunnen ook gebruikt worden om de veranderingen van het plaatareaal van de Waddenzee te analyseren. Hiervoor worden de dieptemetingen (lodingen) in een hypsometrische curve geplot. Deze curves zijn voor dit onderzoek op basis van de meest recente lodingen berekend. Opvallende veranderingen in het plaatareaal waren niet waarneembaar. Meer hierover is te vinden in deel 1 van deze studie, de vraag over de voorspelbaarheid van het waddensysteem.

4 Monitoring van abiotische factoren

Ameland-Oost

Waterstandgegevens van het getijstation Nes, met name de gegevens van hoogwater, zijn gemeten en representatief voor de waterstanden bij de kwelders

Nieuwlandsrijd en De Hon. In de periode 1981-1998 kwamen vooral in de jaren 1990 en 1994 veel hoge en ook de meest hoge stormvloed en voor. Het station Den Helder wordt als het meest representatief gezien voor het beoordelen van veranderingen in de relatieve zeespiegelrijzing. Sinds het begin van de bodemdaling in 1987 is het zeewater 'gemiddeld' met 2 cm gestegen.

Neerslaggegevens zijn verzameld voor het station Nes en de (gewas-) en verdampingscijfers voor het meest dichtbij gelegen station: Lauwersoog. Binnen de periode 1984-1998 was de periode 1992-1995 een aaneenschakeling van natte jaren met een extreem nat 1994 (1018 mm).

De jaarlijkse fluctuaties in de grondwaterstanden zijn vrij groot (tussen 0,5 m en 1 m). De daling en rijzing van de grondwaterspiegel over het jaar gebeurt overal in min of meer dezelfde mate. Een duidelijke invloed van de bodemdaling op het grondwaterpeil ten opzichte van NAP is niet herkenbaar.

5 Monitoring van de ecologie

Ameland-Oost

Er is tot nu toe geen enkele aanwijzing dat de veranderingen in aantallen trekvogels of hun onderlinge verhoudingen zouden hebben plaatsgevonden als gevolg van de bodemdaling. Het aantal broedvogels van de kwelders op De Hon bleek stabiel (Monitoringscommissie Ameland, 2000)

Op de kweldervegetatie heeft bodemdaling geen grote rol gespeeld; de veranderingen spelen zich zeer lokaal af. Mogelijk zou zonder bodemdaling op de kwelders van Ameland-Oost meer verandering van lagere naar hogere kwelderzones zijn opgetreden. Daarom lijkt bodemdaling de veroudering van kwelders op Ameland te remmen.

De kustafslag van de kwelderrand Oerderduinen lijkt in overeenstemming met de natuurlijke dynamiek van de kust. Wat betreft de duinvegetatie blijkt het effect van bodemdaling in dezelfde orde van grootte te liggen als het effect van weersinvloeden. Ook is het effect van bodemdaling op de natuurbehoudswaarde verwaarloosbaar klein.

Met betrekking tot de struweelsterfte is na onderzoek gebleken dat bodemdaling ondergeschikt is aan de verstoring veroorzaakt door de natuurlijke dynamiek.

Groningen

In de kwelderwerken liggen 24 meetvakken. Elk meetvak bestaat uit één reeks bezinkvelden van de dijk naar het wad (grootte per meetvak ca. 50 ha) en is representatief voor een kustgedeelte van ca. twee kilometer. Vanaf ca. 1960 tot heden is door de RWS DNN hetzelfde monitoringsysteem toegepast: gedetailleerde metingen aan hoogte en vegetatie per meetvak, aangevuld met gegevens over beweiding, ontwatering en de werkzaamheden. De jaarlijkse vegetatieopnamen in de 24 meetvakken worden per 5 jaar aangevuld met een vegetatiekartering van de gehele kwelderwerken door de Adviesdienst Geo-informatie en ICT van RWS (AGI, voorheen Meetkundige Dienst).

Daarnaast worden hoogtemetingen uitgevoerd. Eens per vier jaar wordt middels vaste meetlijnen door vier pandjes evenwijdig aan de kust gewaterpast. De foutenmarge van een gemiddeld hoogtecijfer is met + of - 1 mm zeer klein.

Voor de analyse van de monitoringgegevens, zie deel 1 onderdeel 5 van deze studie, de vraag over monitoring.

6 Monitoring van de economie

Ameland-Oost

De overspoelingsfrequentie van de kwelder Nieuwlandsrijd is in het graasseizoen sinds de bodemdaling gemiddeld toegenomen. Hierdoor is sprake van een geschat productieverlies van 2% in 1994 en 3% in 1998.

Voor de polder Buurdergrie (Zwartwoude) geldt dat het effect van de bodemdaling op de grasopbrengst ruim binnen een procent blijft (geen merkbare invloed). Ook de kans op inundatie verandert nauwelijks voor de polder.

Literatuur

Kersten M. 2003. Effecten van sedimentatie en erosie op de hoogteligging van het wad onder Oost-Ameland.

Monitoringscommissie Ameland 2000. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost, Evaluatie na 13 jaar gaswinning. ISBN 90-76690-06-5.

Rommel M.C. 2004. Morfologische veranderingen als gevolg van bodemdaling door gaswinning, Locatie Zuidwal TotalFinaElfRIKZ nr. 2004.004.

Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J., Verburgh, J.J., 1998. Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.

Werkgroep Onderzoek Kwelderwerken 2004. Jaarverslag 2003 - Monitoring en beheer van de kwelderwerken in Friesland en Groningen.

Deel 4 Vragen van Natuur- en Milieuorganisaties

De volgende Natuur- en Milieuorganisaties hebben gezamenlijk vragen aangeleverd voor deze studie: Vereniging Natuurmonumenten, Vogelbescherming Nederland, Wereldnatuurfonds, De Landschappen, Stichting Natuur en Milieu, Greenpeace Nederland en de Waddenvereniging

Naar de mening van deze Natuur- en Milieuorganisaties zijn behalve de punten uit de voorgaande hoofdstukken nog een aantal vragen relevant. Op deze 12 vragen wordt hier ingegaan. Opgemerkt wordt dat veel vragen impliciet worden beantwoord in andere delen van dit rapport. Hoewel elke vraag hier beantwoord wordt, zal eventueel verwezen worden naar elders in dit rapport, om onnodige herhaling te voorkomen. Een drietal vragen is door TNO-NITG beantwoord, hetgeen bij het antwoord is aangegeven.

Vraag 1

"De bodemdaling is een grootschalig en langjarig effect. Per definitie zijn dit onzekere processen; we kunnen alleen globaal voorspellen met behulp van robuuste modellen. Daar komt bij dat de effecten van klimaatverandering nog veel moeilijker te voorspellen zijn naar tijd en lokatie. In de praktijk blijken voorspellingen over klimaat en over bodemdaling nooit helemaal uit te komen. Waar baseert men zekerheden op? Wat zijn de laatste gegevens over effecten van klimaatverandering?"

Antwoord

Klimaatveranderingsvoorspellingen lopen nogal uiteen. De klimaatscenario's van het IPCC zijn allen gebaseerd op het waarschijnlijk onrealistische uitgangspunt dat ontwikkelingslanden (Afrika) in 2100 dezelfde levensstandaard hebben als Europa. Dit betekent dat klimaatverandering dus waarschijnlijk minder sterk zal zijn dan in de meer extreme scenario's. Voor Nederland worden door Rijkswaterstaat een drietal in het kustbeleid vastgelegde scenario's aangehouden (stijgingen van 20 cm/eeuw, 60 cm/eeuw en 85 cm/eeuw): deze scenario's kan men zien als verwachtingen waarbinnen een groot deel van de toekomstige werkelijk optredende zeespiegelstijgingen zal vallen. In het IBW van 1998 (Oost et al, 1998) zijn als scenario's voor de Waddenzee respectievelijk 18, 60 en 100 cm/eeuw toegepast. Hierdoor is de onzekerheid over de echt optredende klimaatveranderingseffecten grotendeels ondervangen: over het algemeen zal de zeespiegelstijgingsnelheid ergens tussen de gehanteerde scenario's in liggen. Volgens de nieuwste inzichten over zeespiegelstijging komt men op scenario's van respectievelijk 9 cm/eeuw (voor Waddenzee aan te passen tot 18 cm/eeuw), 48 cm/eeuw en 88 cm/eeuw (IPCC, 2001). Bij deze scenario's zijn de effecten van bodemdaling en zeespiegelstijging minder groot dan bij de scenario's die in het IBW zijn gehanteerd.

Voor de bodemdaling is in het IBW gekozen voor de maximaal mogelijke bodemdaling indien de velden maximaal groot zijn (waarbij het uitgangspunt ook nog eens volledige depletie van gas en water in het reservoir is). In praktijk zal de bodemdaling veelal kleiner zijn. Dit, met uitzondering van al bestaande bodemdaling waarin door metingen en drukverloop veel minder onzekerheid bestaat over de bodemdaling. Bij de vragen 3 en 4 wordt ingegaan op de nauwkeurigheid van de bodemdalingsvoorspelling.

Voor de betrouwbaarheid van de morfologische modellen is een voorspelling van de reactie van de platen op de bodemdaling essentieel. Daarbij is gekozen in

het IBW voor het inzetten van vier onderling verschillende modellen. Sinds het IBW is met name ASMITA verder ontwikkeld. Uit nieuwe studies (Kragtwijk, 2001; van Goor, 2001; van Goor et al, 2001; Duijts, 2002; Wang en van der Weck, 2002; Nortier, 2004) is naar voren gekomen dat een zeespiegelstijging van 30-60 cm/eeuw goed kan worden opgevangen door sedimentatie. Daarmee zijn de uitkomsten van ASMITA veel gaan lijken op de uitkomsten van AEGHIS, die dat ook voorspelde. 30 cm/eeuw is dan een typerende maat voor grote bekkens en 60 cm/eeuw voor kleinere bekkens.

De globale voorspellingen op bekkenniveau worden geschraagd door:

1. De historische waarnemingen die aangeven dat in het verleden dergelijke erosiesnelheden hebben voorgedaan langs de Noordzeekust en dergelijke sedimentatiesnelheden inderdaad reëel zijn opgetreden in de kombergingsgebieden.
2. De waarnemingen bij Ameland en Zuidwal, waarbij de bodemdalingsschotel zelf door de dynamiek en de sedimentatie geheel respectievelijk tenminste gedeeltelijk zijn opgevuld (conform verwachting).
3. Het niet bekend zijn van extreme effecten van het Slochterenveld.
4. De waarneming dat na de afsluiting van de Zuiderzee de hoogte van platen nabij het Balgzand ongeveer evenveel gestegen zijn als hoogwaterniveau met ca. 40 cm over de periode 1933-1997.
5. De waarneming dat ook zeespiegelstijging en/of grote ingrepen goed voorspeld worden door de modellen.

Hierop wordt uitvoerig ingegaan in deel 1 van dit rapport, onderdeel 1 en de bijlagen 1.1 en 1.2.

Bodemdaling is vrij nauwkeurig te voorspellen op grond van het gashoudend gesteente dat wordt aangetroffen tijdens het boren naar gas. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van de ervaringen die tot nu toe zijn opgedaan bij andere boorlocaties. Daardoor is een prognose in miljoenen m³ mogelijk met een onnauwkeurigheid van enkele tientallen procenten.

De vorm van de bodemdalingsschotel is eveneens vrij goed te voorspellen, mede door de ervaringen die daarmee zijn opgedaan bij Ameland en andere kleinere gasvelden. Ook voor wat betreft de maximale diepte en de daaraan gekoppelde omvang van het dalingsgebied zijn met een onzekerheidsmarge van enkele tientallen procenten. Voor de velden waarover nu discussie bestaat gaat het daardoor om onzekerheidsmarges van enkele miljoenen m³ en enkele centimeters daling. De werkelijk opgetreden daling kan bij stabiele peilmerken worden gemonitord met een nauwkeurigheid van enkele millimeters.

De onzekerheden in de klimaatsmodellen zijn veel groter, met name voor wat betreft het moment dat een eventuele versnelling van de zeespiegelstijging zou beginnen en voor wat betreft de uiteindelijk te bereiken stijging van de zeespiegel. Wat echter wel duidelijk is, is dat alle scenario's uitgaan van een geleidelijke versnelling van de stijging, overeenkomend met de geleidelijke opwarming van de aarde. Daardoor kan de zeespiegelstijging naar verwachting heel nauwkeurig worden gevolgd. Tot op dit moment (2003) is die extra stijging nog niet waarneembaar. Doordat niet alleen in Nederland maar ook in de rest van de wereld de zeespiegel voortdurend wordt gemeten zullen eventuele veranderingen met een nauwkeurigheid van enkele mm beschikbaar komen, met daarin een zeer geringe jaarlijkse verandering van de stijgsnelheid.

De zeer nauwkeurige metingen van de bodemdalingssnelheid en de stand van de zeespiegel maken het mogelijk op een zeer nauwkeurig te bepalen tijdstip, zelfs anticiperend op toename van de stijgsnelheid van de zeespiegel, in te grijpen in de snelheid waarmee gas wordt gewonnen of het winnen van gas te beëindigen. Die anticipatie is van belang in verband met de najling van het

dalingsproces die ongeveer 1 à 3 jaar zal duren en waarin nog een geringe naldaling mogelijk is.

Het is dus niet de nauwkeurigheid van de voorspelling die hier van belang is, maar de nauwkeurigheid waarmee wordt gemonitord.

Vraag 2

"Bij de voorbereiding van het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid hebben Utrechtse wetenschappers aandacht gevraagd voor de hypothese dat systemen als de Waddenzee 'niet-lineair' kunnen reageren op verstoringen. Lange tijd kan een dergelijk systeem 'klappen opvangen', totdat een geringe verstoring voldoende is om in een ander dynamisch evenwicht te geraken. Wordt in het onderzoek naar de effecten van de bodemdaling in de Waddenzee rekening gehouden met deze, relatief nieuwe, hypothese?"

Antwoord

De omstandigheden waarbij het morfologisch systeem van de Waddenzee in een ander evenwicht kan komen zijn niet aanwezig in de Waddenzee. Voor meer achtergrond informatie over non-lineaire respons wordt verwezen naar deel 2 van deze studie.

Vraag 3

"In hoeverre is de bodemdaling zowel in aantallen centimeters daling als in volumetoename per jaar met zekerheid te voorspellen? Zijn de bewezen en niet bewezen (futures) gasvelden onder de Waddenzee zodanig gelijk dat een exacte voorspelling gedaan kan worden over het totaal van de bodemdaling over de gehele Waddenzee?"

Antwoord (NITG)

Het gaat om de vraag, of bodemdaling zodanig betrouwbaar kan worden ingeschat en beheerst, dat overschrijding van grenswaarden in het tempo van bodemdaling wordt voorkomen.

In het antwoord op vraag 4 wordt aangegeven hoe dat in de praktijk zal verlopen. In dat verband is de geologische analogie tussen reeds aangetoonde en nog te ontdekken aardgasvoorkomens in het Waddengebied niet cruciaal voor de beheersbaarheid van de bodemdaling. Wel kan die analogie behulpzaam zijn bij het maken van eerste inschattingen ten behoeve van het winningsplan en het later interpreteren van de verkregen informatie uit productie en dalingsmetingen.

Overigens is er inderdaad analogie in die zin, dat de prospects zich in dezelfde geologische 'laag' bevinden als de reeds aangetoonde velden.

Vraag 4

"De voorspellingen over de hoeveelheid waddengas kennen een grote bandbreedte. Wat betekent dit voor de mate van bodemdaling?"

Antwoord (NITG)

Voorspellingen over het exploratiepotentieel voor een gegeven gebied hebben altijd een relatief grote bandbreedte. Vergelijk bijvoorbeeld de bandbreedte zoals gerapporteerd in het jaarverslag Olie en Gas in Nederland 2002 van het Ministerie van Economische Zaken voor het exploratiepotentieel voor heel Nederland.

Het is echter onjuist om een direct verband te leggen tussen die onzekerheid en de mate van bodemdaling. Een exploratieboring zal eerst moeten aantonen DAT er zich aardgas in de aangeboorde prospectieve structuur bevindt. Daarmee

wordt al een eerste onzekerheid opgeheven. Ook zal die boring informatie opleveren over de hoeveelheid en produceerbaarheid van het gas.

Vervolgens wordt een winningsplan opgesteld, waarin onder meer het tempo van geplande productie en het daarmee samenhangende tempo van bodemdaling worden beschreven. Dit winningsplan behoeft goedkeuring, waaraan voorwaarden kunnen worden verbonden. Die voorwaarden kunnen betrekking hebben op de monitoring van productie en bodemdaling en het stellen van grenswaarden daaraan. Door het treffen van dergelijke maatregelen kan de onzekerheid over de mate van bodemdaling verregaand worden gereduceerd ten opzichte van de onzekerheid, die bestaat VOORDAT een exploratieboring is uitgevoerd.

Vraag 5

"Kan bij eventuele winning de gaskraan zomaar dichtgedraaid worden? Welke processen spelen zich dan af in de diepe ondergrond en heeft dit naijleffecten tot gevolg?"

Antwoord (NITG)

Bij deze vraag moet in de eerste plaats worden aangetekend dat het 'dichtdraaien van de gaskraan' al een standaard procedure is voor alle gasvelden in Nederland. De mate waarin de gaskraan openstaat wordt namelijk gestuurd door de vraag naar gas. Dit openen en sluiten van de kraan heeft uiteraard gevolgen voor de drukverdeling in het reservoir; echter de effecten op de bodemdaling zijn gering omdat bodemdaling in eerste benadering afhankelijk is van de gemiddelde drukdaling in het reservoir, cumulatief over de geproduceerde tijd. Verdere analyse leert dat er effecten zijn die dit gedrag nuanceren; zo is er vertraging van bodemdaling waargenomen in een aantal velden en kunnen de processen waarvan gedacht wordt dat zij deze vertraging veroorzaken ook resulteren in 'naijlen' van bodemdalen nadat de productie is stopgezet. Naijling zal echter nooit tot een versnelling van de bodemdaling leiden. Voor een discussie hierover verwijzen we naar de beantwoording van de vraag over naijlingseffecten in deel 1, onderdeel 2.

Vraag 6

"In hoeverre kennen we de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee, met de variatie in ruimte en tijd? En hoe wordt het bodemdalingseffect hiertegen afgezet? Zijn harde natuurgrenzen te definiëren? Is stopzetten van winning 'met de hand aan de kraan' een reële optie?"

Antwoord

Voor de morfologie kennen wij die op diverse schalen van ruimte en tijd:

1. De Holocene ontwikkeling van de Waddenzee en de aangrenzende land- en Noordzeegebieden (millennia).
2. De historische ontwikkeling van de Waddenzee (vanaf ca. 1000 A.D.: eeuwen, op zeegatniveau).
3. De ontwikkeling sinds de mens het gebied bewoont en aanpast (decennia op delen van zeegaten en hele zeegat).
4. De ontwikkeling op jaarbasis/seizoensbasis van de kusten en onderdelen van het Waddensysteem (raainiveau en/of pq's).

De inzichten die hier uit volgen geven aan dat de natuurlijke verticale bodembewegingen die samenhangen met erosie en sedimentatie een factor 3 tot meer dan 100 x zo groot zijn als de grootte van de bodemdaling door gaswinning. Met name in de afgelopen jaren is op grond van deze waarnemingen het inzicht gegroeid dat het realistisch is om te verwachten dat

een bodemdalingsschotel zal worden 'uitgesmeerd' over een kombergingsgebied (zie bijvoorbeeld Eysink, et al, 2000). Door de sterke natuurlijke dynamiek is het patroon van de bodemdalingsschotel niet terug te vinden in de hoogtemetingen (zie deel 1 van dit rapport, onderdeel 1). De natuurgrenzen kunnen gedefinieerd worden op de schaal van een kombergingsgebied. De bekkengemiddelde bodemdaling dient niet groter te zijn dan de gemiddelde sedimentatie die nog mogelijk is, rekening houdend met de sedimentatie die nodig is voor compensatie van zeespiegelstijging en het aanbod van sediment. Aangezien bodemdaling en zeespiegelstijging langzame en gestage processen zijn, is ruim van te voren te voorzien of natuurgrenzen worden bereikt. Daarbij kan tevens rekening gehouden worden met het naijleffect waardoor na stopzetten van gaswinning de bodemdaling nog 1,5 tot 3 jaar door kan gaan (zie ook deel 1 van dit rapport, onderdeel 2).

Vraag 7

"Zijn de gebruikte modellen om de effecten van bodemdaling te voorspellen voldoende gevalideerd, als we weten dat de morfologische en ecologische effecten van bestaande bodemdaling met uitzondering van de gaswinning op de Oostpunt-Ameland nergens langjarig zijn gemonitord?"

Antwoord

De morfologische modellen zijn overwegend empirisch van aard: dat wil zeggen dat ze gebaseerd zijn op beschikbare kennis over:

1. snelheden waarmee processen verlopen;
2. evenwichtsrelaties tussen hydraulica en morfologie in en om de Waddenzee;
3. de bestaande morfologie.

Over het algemeen zal gelden dat de modellen gevalideerd en waar nodig gecalibreerd zijn op grond van het gedrag van getijdebekken in de afgelopen eeuw, waarbij ontwikkelingen als grote menselijke ingrepen (bijvoorbeeld afsluiting Lauwerszee of IJsselmeer) en/of zeespiegelstijging naar behoren dienen te worden weergegeven (bijvoorbeeld: Oost et al, 1998; Kragtwijk, 2001; van Goor, 2001; van Goor et al, 2001; Duijts, 2002; Wang en van der Weck, 2002; Nortier, 2004). Dergelijke veranderingen leveren een netto zandhonger op van het bekken die qua ordegrootte vergelijkbaar of zelfs groter is dan de zandhonger veroorzaakt door bodemdaling.

Voor de ecologie zijn meerdere modellen gebruikt die gebaseerd zijn op waarnemingen en verbanden tussen voorkomen en plaathoogte. Zolang de plaathoogte niet te veel veranderd mag worden aangenomen dat ook de ecologie niet veel veranderd, waardoor de effecten van de bodemdaling niet te onderscheiden zijn van de ruis (zie Oost et al, 1998). Dit blijkt ook uit de bodemdalingstudie Ameland: verder zijn er geen ecologische validaties als het gaat om bodemdaling. De morfologische modeluitkomsten laten echter wel zien dat van de achtergrondruis onderscheidbare ecologische gevolgen waarschijnlijk niet optreden, tenzij de zeespiegelstijging zo snel verloopt dat al het zand gebruikt wordt om de zeespiegelstijging op te vangen en de bodemdalingsschotel (gemiddeld over het bekken) niet meer kan worden opgevuld. In dat geval zijn de effecten langjarig en kunnen, indien voldoende lang gemeten wordt, onderscheiden worden van de achtergrondruis.

De modellen slaan uitsluitend op morfologische effecten van bodemdaling en de respons van het waddensysteem op verstoringen van de morfologie. Validatie kan uitsluitend plaats vinden door vergelijking met ontwikkelingen in andere gebieden met een morfologie die overeenkomt met die van de Waddenzee. De gebruikte modellen blijken een algemene geldigheid te hebben die samenhangt met factoren als getij en sediment. In de kustzone van Groningen en Friesland

zijn bovendien zeer gedetailleerde waterpassingen beschikbaar waaruit blijkt dat ook daar compensatie van bodemdaling plaatsvindt.

Veranderingen in de ecologie zijn voor de morfologische modellen principieel niet van belang, aangezien daarbij altijd 'teruggerekend' moet worden naar correlaties die eerst uit hoogtemetingen zijn afgeleid. Op die manier ontstaat een cirkelredenering die niets toevoegt aan de validatie van de modellen.

Validatie van de modellen is dus niet praktisch mogelijk door middel van ecologische waarnemingen, maar wel kan door vergelijkingen tussen verwachte en werkelijk opgetreden effecten een beeld ontstaan van de juistheid van de veronderstelde verbanden tussen hoogteligging en - bij voorbeeld - de vogelstand. In dat verband kan Ameland worden beschouwd als een extra zware test, waarbij snelle en omvangrijke bodemdaling werd toegepast op een gebied met platen en kwelders.

Vraag 8

"Wat voor effecten heeft de vergroting van de zandhonger van de Waddenzee door de bodemdaling op de Noordzeekust van de Waddeneilanden? Hoe kan de kustreep zonder ecologische schade toch veilig gehouden worden?"

Antwoord

De bodemdalingsschotels in de Waddenzee, maar ook die in de Noordzeekustzone (naar nu wordt aangenomen tot ca. NAP-20 m) moeten uiteindelijk weer opgevuld worden met sediment teneinde herstel van het evenwicht te bereiken. Dit sediment bestaat overwegend uit zand: laten wij het slib (afkomstig uit de rivieren en misschien de Engelse kust) buiten beschouwing dan kan gesteld worden dat 1 kubieke meter bodemdaling uiteindelijk (binnen enkele tot meerdere decennia) leidt tot 1 kubieke meter kustachteruitgang (in het gebied vanaf de duinen tot en met de NAP-20 meter lijn).

De totale hoeveelheid zand die gesuppleerd zal moeten worden ten gevolge van bodemdaling door maximale productie van alle velden tot 2050 bedraagt voor de kombergingsgebieden van de Waddenzee ca. 108 miljoen m³. Van deze zandhonger is al 46 miljoen m³ gegenereerd door de productie van de bestaande velden (t/m 2003). Waarschijnlijk gaan deze al producerende velden nogmaals een zandhonger genereren van 22 miljoen m³ tot 2050. De nieuwe nog niet gewonnen velden kunnen naar verwachting een zandhonger genereren van maximaal 40 miljoen m³ tot 2050 (zie deel 3 voor cijfers over bodemdaling). Voor de zandhonger in de Noordzeekustzone is ook compensatie door suppleties noodzakelijk. Hier is de zandhonger door bodemdaling tot nu toe 21 miljoen m³ (45 % van die in de kombergingsgebieden). E.e.a. wordt (tot een zekere kritische limiet) nog versterkt door zeespiegelstijging.

Voor de Waddenzee tot en met de NAP-20 m lijn in de Noordzee is de hoeveelheid suppletiezand in het jaar 2050 berekend met diverse modellen (conform het idee van het kustfundament). Daaruit volgt dat zelfs in het huidige zeespiegelstijgingsscenario van 18 cm/eeuw de benodigde hoeveelheid suppletiezand ruim meer is dan de 2,5-3 mln. m³/jaar, die in de huidige situatie gesuppleerd wordt. Dit komt vooral omdat in de huidige situatie alleen zandverliezen aangevuld worden langs de kust van de eilanden en dan nog slechts tot maximaal NAP-6 à -8 m (de Ruig, 1995). Ten opzichte van het zeespiegelstijgingsscenario van 18 cm/eeuw leveren de berekeningen voor de scenario's 60 cm/eeuw een gewenste hoeveelheid suppletiezand tot een hoeveelheid 18 miljoen m³/jaar. Het verschil in vraag naar suppletiezand tussen het scenario 60 cm/eeuw en 85 cm/eeuw is daarentegen relatief klein, maximaal 5 mln. m³/j extra omdat het zand niet snel genoeg de Waddenzee kan worden ingebracht (kritische limiet).

Kort samengevat kan gesteld worden dat de bodemdaling en de relatief stijgende zeespiegel aan de Noordzezijde leidt tot:

1. Kustafslag doordat hier zand wordt onttrokken dat elders in de zeegatsystemen nodig is (zandhonger van de Waddenzee).
2. Kustachteruitgang doordat de Noordzeekust van de Waddeneilanden onderloopt.

Als dus niets gedaan zou worden zou de kust, inclusief de buitendelta's, zich landwaarts terugtrekken. Er is echter een actief beleid om de kust op haar plek te houden. Dit betekent dat bij zeespiegelstijging en/of bodemdaling actief gesuppleerd moet worden om de kust flexibel en dynamisch te houden. Conform het idee over het Kustfundament behoeft dit zand niet langer op het strand te worden gesuppleerd tenzij strandafslag dit noodzakelijk maakt. Derhalve kan ook op andere plekken in de kustzone en op de buitendelta's worden gesuppleerd. Ten dele gebeurt dit al met vooroeversuppleties, maar momenteel wordt ook nagedacht over andere lokaties, zoals buitendelta's (Cleveringa et al, 2004) en dieper water. Door deze andere Kustfundament benadering (behoud van het watervolume in het gebied tot NAP-20 m) doet het er vaak minder toe of het zand lang blijft liggen en zou derhalve ook met andere systeemkarakteristieken vertegenwoordigen.

Al dit zand zal uit de Noordzee moeten worden gewonnen en heeft daar effecten op de bodem en ecologie (o.a. naar Mulder, 2001):

1. De winput wordt opgevuld met sediment met mogelijk een andere grof- of fijnheid dan de oorspronkelijke bodem. Gedurende zandwinning kan de troebelheid van het water lokaal toenemen en fijn sediment op de bodem neerslaan (Naqvi & Pullen, 1982; Anonymous, 1988; van Dalftsen & Essink, 1997), met mogelijke effecten op de bodemfauna. Herstel van bodemfauna in de winput hangt af van de duur van de verandering in sedimentsamenstelling (van Dalftsen et al, 2000), de diepte van de winput en de waterkwaliteit (Naqvi & Pullen, 1982). Putten dieper dan 15 m vullen nauwelijks op. Ondiepe putten voorzien in betere kansen op herstel. Rekolonisatie voor macrofauna kan 1,5 tot 2 jaar duren en zelfs 2 tot 5 jaar voor lang levende soorten (Roelse et al, 1991; Essink, 1997; van Dalftsen et al, 2000; Met de natuur de zee in (rapport EC-LNV 48, 2001). Zeer grootschalige winning zou de morfologie kunnen beïnvloeden tot op vele kilometers afstand (rapport EC-LNV 48, 2001).
2. Het gesuppleerde zand bedekt de lokale flora en fauna, zoals Spisula-banken. Sommige soorten kunnen 1 cm sediment bedekking niet overleven, andere wel tot 50 cm (Bijkerk, 1988). Dit kan lokaal de voedselbeschikbaarheid beïnvloeden en dus de soortensamenstelling voor vissen en vogels (Wilber et al, 2003; Source: Vogel- en habitatrichtlijn in de Noordzee; Auteurs: N.M.J.A. Dankers, M.F. Leopold, C.J. Smit; Alterra-rapport 695, ISSN 1566-7197). Herstel op het strand kan nul tot enkele jaren duren (Dankers et al, 1983; Reilly en Bellis, 1983; Gorzelany & Nelson, 1987; Nelson, 1989; Roelse et al, 1991). In één studie was zelfs een toename van fauna geconstateerd (Parr et al, 1978). Meer literatuur hierover is beschikbaar (Naqvi & Pullen, 1982; Reilly & Bellis, 1983; Anonymus, 1988; Löffler & Coosen, 1995; Peterson et al, 2000) en ook over minimalisatie van effecten (Parr et al, 1978; Gorzelany & Nelson, 1987; Nelson, 1989; Peterson et al, 2000). Ecologische effecten van vooroeversuppletie zijn nog onderwerp van studie. Studies tot nu toe wijzen op een volledig herstel in 1 tot 5 jaar (Culter en Mahadevan, 1982; Essink, 1997).

Uit bovenstaand overzicht mag blijken dat zowel zandsuppletie als -extractie morfologische en ecologische effecten hebben. Gezien de grote hoeveelheden materiaal die al gewonnen worden zal de bijdrage hieraan voor het opvangen van de bodemdaling met het benodigde zand relatief gering zijn (ordegrootte enkele miljoenen kubieke meters op jaarbasis). Voor de suppleties is de bijdrage benodigd om bodemdaling te compenseren relatief groot. Veel groter is echter de impact van de hoeveelheid zand benodigd om de huidige of versnelde zeespiegelstijging volledig op te vangen. Technisch en ook morfologisch hoeft zelfs die grote hoeveelheid zand geen probleem te zijn en kan de veiligheid van de kust gewaarborgd blijven. Ecologisch kan wellicht, zoals blijkt uit bovenstaand overzicht, waarschijnlijk nog een optimalisatieslag worden gemaakt voor de suppletiewerken. Het alternatief, stenen dammen aanleggen en daarmee de zandaanvoer naar de Waddenzee en de dynamiek van de kust sterk afremmen, lijkt in de meeste gevallen echter niet te verkiezen.

In bovenstaande is geen aandacht besteed aan het natuurlijke effect van stormen op de morfologie en ecologie van de kust en hoe zich dit verhoudt tot suppleren (zie opmerking auditcommissie, bijlage A.2).

Vraag 9

"Als mitigatie van bodemdaling en zeespiegelstijging wordt suppletie op de buitendelta's als optie genoemd. Wat is bekend van de effecten daarvan? Is het uitvoeren van een pilotstudy, mede in het kader van de te verwachten zeespiegelstijging, niet noodzakelijk?"

Antwoord

Dit is inderdaad één van de alternatieven die wordt overwogen (Cleveringa et al, 2004). Naast zeespiegelstijging- en bodemdalingmitigatie zou dit met name interessant zijn om buitendeltageulen 'weg te houden' bij de eilanden, zodat eilanderosie voorkomen wordt. Als gevolg van de natuurlijke cyclische bewegingen van de buitendeltageulen zullen dergelijke problemen uiteindelijk ook vanzelf overgaan, maar kunnen in de tussenliggende perioden leiden tot sterke kusterosie.

Uit Cleveringa et al (2004) blijkt duidelijk dat de grootte en de vorm van de suppletie in de buitendelta zeer bepalend is voor de effecten. Hoe groter de ingreep, hoe langer ook de termijn gedurende welke de lokale dynamiek beïnvloed wordt en daarmee dus ook de ecologie. Zo zal een buitendeltageul-zandsluiting een veel grotere en langer durende invloed hebben dan het aanbrengen van een slijtlaag op een buitendeltageulwand. Dit laatste wordt nu in een aantal buitendeltageulen als proef uitgevoerd in bijvoorbeeld het Molengat in het Zeegat van Texel. De resultaten worden binnenkort geëvalueerd. De pilots lopen dus.

Uiteindelijk zal, omdat er met het natuurlijke materiaal zand wordt gewerkt, elke ingreep weer ongedaan worden gemaakt en opgaan in de natuurlijke dynamiek van het systeem. Bij buitendeltageul-zandsluitingen moet daarbij wel gedacht worden aan perioden van meerdere decennia. Bij kleinere suppleties zal de duur veel korter zijn (jaren). Daarbij is het de vraag of zelfs een grote ingreep als een zandsluiting van een buitendeltageul toch niet te verkiezen valt boven steeds opnieuw steenbekleding aan te brengen of regelmatig te suppleren.

Vraag 10

"Is het Noordzeezand dat wordt gebruikt voor suppletie (en waarmee de bodemdalingsschotel wordt opgevuld) van een andere samenstelling dan het sediment in de Waddenzee? Wat weten we van de verdeling van het suppletiezand over de Waddenzee? Is dit van invloed op de sedimentsamenstelling en verspreiding? (Van belang voor het leven in en op de bodem)"

Antwoord

Direct via metingen weten we weinig over de verdeling van het suppletiezand over de Waddenzee, en wel omdat het weinig is t.o.v. de totale hoeveelheid zand. Er gaat per jaar via de zeegaten van Marsdiep tot en met de Eems zo'n 40,6-55,5 miljoen kubieke meter heen en weer tussen Noordzee en Waddenzee. Daarbij vindt uitwisseling plaats met het al aanwezige sediment in de Waddenzee die, omdat zij deels uit oudere fijne wadafzettingen bestaan, een sterke buffer vormen op korrelgrootteveranderingen. Het is bij zulke hoge transporten niet realistisch om te verwachten dat de paar miljoen kuub die over de gehele lengte van de Waddenkust wordt gesuppleerd merkbaar zijn: dit zou mogelijk kunnen gaan veranderen indien langdurig zeer grote hoeveelheden gesuppleerd moeten worden om bijvoorbeeld zeespiegelstijging op te vangen. Maar ook dan is dat nog zeer de vraag (zie onder).

We kunnen namelijk wel degelijk iets zeggen over wat er met het zand gebeurt. Uit eerdere studies blijkt dat de kust maximaal 8 meter per jaar landwaarts kan terugtrekken over langere periodes. Daarbij wordt zand geërodeerd. Dit zand ligt, zo blijkt uit seismische opnames, niet in de Noordzeekustzone op dieper water. De enige andere plaats waar het zand terecht kan zijn gekomen is dus de Waddenzee. Het zand is ook identiek aan het Holocene Noordzeestrandzand. De hoeveelheid terugtrekking is genoeg om een zeespiegelstijging van 3-6,6 mm/jaar op te vangen (afhankelijk van de grootte van het bekken; Oost et al, 1998). Het naar binnen gevoerde zand - zo blijkt uit korrelgrootte en mineralogische waarnemingen - wordt sterk gesorteerd op korrelgrootte. Korrels met een diameter van minder dan 160 µm gaan, op het moment dat ze door stroming in beweging worden gezet, vrijwel onmiddellijk zweven in het water: zij worden dus vrijwel uitsluitend zwevend vervoerd. Grovere korrels kennen bij lage stroomsnelheden een fase waarin zij rollend en stuiterend over de bodem voortbewegen; pas bij hogere snelheden gaan zij zweven. E.e.a. in combinatie met de lagere maximale stroomsnelheden op de platen t.o.v. de geulen resulteert dit in kleinere korrelgrootten op de getijdeplaten (veelal <160 µm en afnemend met een toenemende afstand tot het zeegat) en veel gevarieerdere korrelgroottes in de geulen. De Waddenzee werkt dus als een gigantische sorteermachine waarbij de op het strand gesuppleerde zanden uiteindelijk uit elkaar worden gerafeld in fijnere fracties die op de platen terecht zullen komen en grovere fracties die in de geulen achterblijven. Zie ook deel 1 van dit rapport, onderdeel 4.

Vraag 11

"Wat betekent extra zandsuppletie en versnelde aanvoer van zand naar de Waddenzee voor vertroebeling van de waterkolom (en daarmee van de primaire productie)?"

Antwoord

Het effect op de troebelheid is afhankelijk van de hoeveelheid extra slib die vrijkomt als gevolg van extra zandsuppletie. De slibfractie van suppletiezand is meestal gering, ca. 1 %, en ongeveer gelijk aan de slibfractie in de kustzone. Erosie van suppletiezand levert dan niet meer slib aan het zeewater dan erosie van de niet-gesuppleerde kust. Berekeningen (zie bijlage 1.5) laten zien dat zelfs in extreme gevallen de concentratieverhoging in het zeewater beperkt zal blijven tot 0,1 à 1 mg/l. Significante effecten op de troebelheid worden hierdoor niet verwacht. De achtergrondconcentratie is gemiddeld minimaal 20 tot 50 mg/l. Tijdens het suppleren zou een deel van het slib direct in zee terecht kunnen komen. Effecten op de troebelheid zijn dan alleen kortstondig en lokaal mogelijk (zie verder ook deel 1 van dit rapport, onderdeel 4)

Vraag 12

"Wat weten we van lokale (ecologische) effecten van zandsuppleties?"

Antwoord

Bij zandsuppleties kan hetzij op het strand hetzij in de vooroever worden gesuppleerd. Op stranden is in het algemeen een arme bodemfauna aanwezig, waarbij de biomassa vooral wordt gevormd door de Gemshoornworm (*Scolelepis squamata*). Gemiddeld is bij bemonsteringen door het RIKZ (mondelinge mededeling Kleef) ongeveer 2 gram per m² asvrij drooggewicht aangetroffen, wat erg weinig is in vergelijking met diepere wateren en wadden. Herstel van de fauna van het strand duurt maximaal 2 jaar, in overeenstemming met de levensduur van de belangrijkste organismen.

Terwijl enkele tientallen jaren geleden nog vooral op de stranden zelf werd gesuppleerd, gebeurt dat tegenwoordig ook vaak in de vooroever. De ecologische effecten van zandsuppleties in de vooroever zijn onderzocht ten noorden van Terschelling, in het kader van RIACON (Risk Analysis Coastal Nourishment Techniques; van Dalfsen & Essink, 1997). Deze effecten zijn te verdelen in effecten op de winningslokatie en effecten op de stortlokatie (zie ook de beantwoording van vraag 8 voor meer literatuurverwijzingen).

Zowel op de winningslokatie als op de stortlokatie was de structuur van de levensgemeenschap van de bodemfauna na ongeveer twee jaar hersteld. Dat wil zeggen dat dezelfde soorten organismen weer aanwezig waren als daarvoor. Volledig herstel, in die zin dat ook de leeftijdsopbouw van de lang levende soorten, zoals de Zeeklit (*Echinocardium cordatum*) en enkele schelpdiersoorten zoals het Zaagje (*Donax vittatus*) weer is hersteld, hangt af van de maximale leeftijd van die soorten. Deze is ongeveer 5 jaar; daarna zijn verschillen beter waarneembaar tussen gebieden waar wel en geen zand is gewonnen of gestort. Uiteraard is het mogelijk dat een gebied waar vaak wordt gestort nog niet helemaal is hersteld voordat er nieuw zand wordt aangevoerd.

De vooroever van de Noordzeekust is over het algemeen niet zeer rijk aan bodemfauna (Mulder en Janssen, in voorbereiding), maar er kunnen banken voorkomen van schelpdieren, met name de Afgeknotte strandschelp, *Spisula subtruncata* en de Amerikaanse zwaardschede, *Ensis directus*, die voor een hoge biomassa zorgen. Het zwaartepunt van de Spisulabanken ligt op 8 à 10 meter diepte, maar ook dicht bij de kust en op wat grotere diepte kunnen ze nog voorkomen. Het suppletiezand wordt gewonnen op meer dan 20 meter diepte, waar doorgaans geen Spisulabanken aanwezig zijn. Het wordt zo dicht mogelijk bij de kust gestort, doorgaans is dat dicht bij de kust en op geringere diepte dan de Spisulabanken (Mulder en Janssen, in voorbereiding). Toch kan het voorkomen dat schelpdierconcentraties aanwezig zijn op plekken die geschikt zijn voor zandsuppletie. De Spisulabanken worden jaarlijks gemonitord, waardoor het in principe mogelijk is om ze te ontzien tijdens het suppleren van zand. Banken van andere soorten kunnen door bemonstering voorafgaande aan eventuele suppletie opgespoord worden.

In bovenstaande is geen aandacht besteed aan het natuurlijke effect van stormen op de ecologie van de kust en hoe zich dit verhoudt tot suppleren (zie opmerking auditcommissie, bijlage A.2).

Literatuur

Bijkerk, R., 1988. Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. RDD aquatic ecosystems.

Cleveringa, J., Mulder, S. Oost, A., 2004. Kustverdediging v an de koppen van de Waddeneilanden. De dynamiek van de kust nabij buitendelta's en passende maatregelen voor het kustbeheer. Rapport RIKZ/2004.017.

Culter, J.K., Mahadevan, S. , 1982. Long-term effects of beach nourishment on the benthic fauna of Panama City Beach, Florida Miscellaneous Report 82-2. U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir.

Dalfsen, J.A. van & Essink, K., 1997. Risk analysis of coastal nourishment techniques in the Netherlands. RIKZ-97.022, 1-98.

van Dalfsen, J.A., Esink, K., Toxvig Madsen, H., Birklund, J., Romero, J., Manzanera, M., 2000. Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. ICES Journal of Marine Science 57.

Dankers, N., Binsbergen, M., Zegers, K., 1983. De effecten van zandsuppletie op de fauna van het strand van Texel en Ameland. RIN-rapport 83/6. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel.

Duijts, R.W., 2002. Tidal asymmetry in the Dutch Wadden Sea, a model study of morphodynamic equilibrium of tidal basins. Delft Cluster, Z2822.50.

Essink, K., 1997. Risk Analysis Of Coastal Nourishment Techniques. Final Evaluation Report. National Institute of Coastal and Marine Management. Report Nr. RIKZ-97.031.

Eysink, W.D., Dijkema, K.S., van Dobben, H.F., Slim, P.A., Smit, C.J., Sanders, M.E., Schouwenberg, E.P.A.G., Wietsz, J. & De Vlas, J., 2000. Samenvatting monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost: evaluatie na 13 jaar gaswinning.

Goor, M.A. van, 2001. Influence of Relative Sea-level Rise on Coastal Inlets and Tidal Basins. WL I Delft Hydraulics/Delft Cluster, Report Z2822/DC03.01.03a.

Goor, M.A. van, Stive, M.J.F., Wang, Z.B., en Zitman, T.J., 2001. Influence of Relative Sea-level Rise on Coastal Inlets and Tidal Basins. Proc. 4th Conference on Coastal Dynamics, ASCE, Lund, Sweden, 2001, pp. 242-252.

Gorzelany, J.F., Nelson, W.G., 1987. The effect of beach replenishment on the benthos of a sub-tropical Florida beach. Marine Environmental Research 21: 75-94.

Hillen, R., van Vessem, P., van der Gouwe, J., 1991. Suppletie op de onderwateroever: een reëel alternatief voor strandsuppletie?. Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren/ Directie Noordzee.

Hillen, R., Roelse, P., 1995. Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands. Journal of Coastal Conservation 1: 17-28.

IPCC, 2001. Executive summary. In: The Scientific basis, Changes in Sea-level. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/.

-
- Kragtwijk, N.G., 2001. Aggregated scale modelling of tidal inlets of the Wadden Sea. WL I Delft Hydraulics/Delft Cluster, Report Z2822/DC03.01.03a.
- Löffler, M., Coosen, J., 1995. Ecological impact of sand replenishment. In: Directions in European coastal management. Healy and Doody (eds.) 1995, Samara Publishing Limited, Cardigan.
- Menn, I., C. Junghans & K. Reisen, 2003. Buried Alive: Effects of Beach Nourishment on the infauna of an erosive shore in the North Sea. *Senckenbergiana maritima*, 32, 125-145.
- Mulder, S., 2001. Effecten van zandsuppleties op bodemfauna. Report, Groningen University.
- Mulder, S. en Janssen, G.M., in prep; verwacht 2004. De ecologie van de zandige kust van Nederland. RIKZ-rapport, Haren.
- Naqvi, S.M., Pullen, E.J., 1982. Effects of beach nourishment and borrowing on marine organisms. Miscellaneous Report 84-14. U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir.
- Nelson, W.G., 1989. An overview of the effects of beach nourishment on the sand beach fauna. In: Tait, L.S. (ed.), Beach reservation technology '88: Problems and advances in beach nourishment. Tallahassee, FL: Florida Shore and Beach Preservation Association, pp. 295-310.
- Nortier, R.-J., 2004. Morphodynamics of the Lister Tief tidal basin. Report Z2839, WL I Delft Hydraulics.
- Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J., Verburgh, J.J., 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.
- Parr, T., Diener, D., Lacy, S., 1978. Effects of beach replenishment on the nearshore sand fauna at Imperial beach, California. Miscellaneous Report 78-4. U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir.
- Peterson, C.H., Hickerson, D.H.M., Grissom Johnson, G., 2000. Short-term consequences on the dominant large invertebrates of a sandy beach. *Journal of Coastal Research* 16(2): 368-378.
- Reilly, F.J., Bellis, V.J., 1983. The ecological impact of beach nourishment with dredged materials of the intertidal zone at Bogue Banks, North Carolina. Miscellaneous Report 83-3. U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir.
- Roelse, P. Coosen, J., Minneboo, F.A.J., 1991. Beach nourishment and monitoring programme. In: J. van de Graaff, H.D. Niemeyer and J. van Overveem (editors), artificial beach Nourishments. *Coastal Engineering* 16: 43-59.
- Roelse, P., 1996. Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994. Een morfologische beschouwing. Rapport RIKZ-96.028. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Den Haag.
- D.H. Wilber, D.G. Clarke, G.L. Ray & M. Burlas, 2003. Response to surf zone fish to beach nourishment operations on the northern coast of New Jersey, USA. *Marine ecology progress series*, vol. 250, 231-246.
-

Wang, Z.B. & van der Weck, A., 2002. Sea-level rise and Morphological development in the Wadden Sea, a desk study. Report Z3441, WL I Delft Hydraulics.

Bijlage 1.1 Update inzichten gaswinning

WL | Delft Hydraulics

Bijlage 1.2 Nieuwe inzichten in de voorspelbaarheid van het waddensysteem

RIKZ, juni 2004

Vraagstelling

In het commentaar op het Integrale Bodemdalingrapport Waddenzee (IBW, Oost e.a., 1998) kwam het volgende punt naar voren:

"er bestond verschil van mening over de mate van voorspelbaarheid van het Waddensysteem, mede vanwege de grote natuurlijke dynamiek en de mate van bodemdaling. Aan de orde is of er voldoende garanties vooraf en voldoende risicodekking in relatie tot het voorgestelde gaswinningssysteem gegeven kunnen worden."

Inleiding

Bij de opzet van het IBW is gekozen voor een voorzichtige aanpak. Zo zijn er vier morfologische modellen ingezet om na te gaan wat de reactie van het systeem op de bodemdaling is. De uitkomst daarvan was dat de modellen een zekere mate van onzekerheid geven over hoeveel zandhonger het systeem jaarlijks kan opvangen: de WL-modellen gaven aan dat een bodemdaling van 100 cm/eeuw nog zou kunnen worden opgevangen, terwijl het historische AEGHIS-model aangaf dat - op grond van de langzaamste van de waargenomen maximale historische reponses - in ieder geval een zeespiegelstijging van 30 (grote getijdebekkens) - 60 (kleine getijdebekkens) cm/eeuw kon worden opgevangen.

Verder is gewerkt met de cumulatieve effecten van bestaande plus toekomstige maximaal optredende bodemdaling binnen een beperkte winningsperiode in combinatie met diverse zeespiegelstijgingsscenario's. Daarbij moet bedacht worden dat de NAM heeft gewerkt met een complete depletie van het gas plus (onrealistische overschatting!) het water dat in een reservoir aanwezig is en met de aanname dat alle prospects winbaar zouden blijken te zijn. Ook het tempo van winning verliep volgens een snel standaardscenario, waarbij tevens eventueel aanwezige meerdere velden binnen één getijdebekken tegelijk gewonnen werden. De mogelijkheden van spreiding in de tijd van de winning van meerdere velden binnen één getijdebekken en de mogelijkheid van het langzamer winnen van een veld zijn alleen als theoretische mogelijkheden besproken (bij mitigatie).

Nieuwe inzichten

Sinds het verschijnen van het Integrale Bodemdalingrapport Waddenzee (IBW) in 1998 zijn nieuwe inzichten verkregen met betrekking tot de voorspelbaarheid van het Waddensysteem, namelijk:

I. De modellen: *Het verschil van inzicht over waar de kritische grens ligt van de zeespiegelstijgingssnelheid waarboven de zeespiegelstijging niet langer geheel gecompenseerd kan worden door sedimentatie (en dus verdrinkt) is verkleind.*

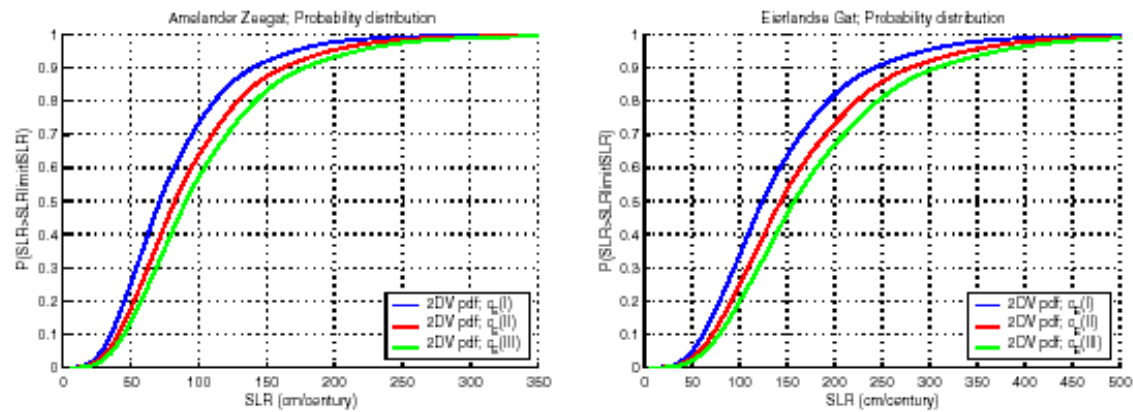
Deze ligt volgens de nieuwste inzichten tussen ca. 30 cm/eeuw (grote getijdebekkens) tot ca. 60 cm/eeuw (kleine getijdebekkens).

In de afgelopen jaren zijn een groot aantal onderzoeken met het meest veelbelovende model ASMITA¹ geschreven, waarbij voortdurend een fijn-tuning van de modellen met de werkelijke ontwikkelingen heeft plaatsgevonden (Buijsman, 1997; Oost et al., 1998; Stive et al., 1998; van Goor, 2001; van Goor e.a., 2001; Kragtwijk, 2001; Wang en van der Weck, 2002; Van Goor et al., 2003, Stive en Wang, 2003, Kragtwijk et al., 2004, Wang et al., 2003, Jeuken et al., 2003; Nortier, 2004).

Door deze modelexercities en hun confrontatie met de werkelijkheid is het inzicht in de natuurgrenzen gegroeid. Zo kan met het model ASMITA de kansverdeling worden berekend voor het risico dat de kritische grenswaarde wordt overschreden, waarbij tevens rekening wordt gehouden met de mogelijkheid dat het golfklimaat verandert (figuur 1; van Goor, 2001; van Goor e.a., 2001). Als het golfklimaat ruwer wordt, zal meer zand naar de getijdebekkens worden getransporteerd en verdrinken zij minder gemakkelijk. Daarbij blijkt dat bij acceptatie van een 10% kans dat de sedimentatie de zeespiegelstijging niet kan bijhouden het systeem een zeespiegelstijging kan bijhouden van 30 cm/eeuw voor grote zeegaten zoals het Amelandse Zeegat en 60 cm/eeuw voor kleine zeegaten zoals het Eierlandse Gat. Dit komt goed overeen met de uitgangspunten van het in het IBW ingezette AEGHIS model. Aangezien de sedimentatie die nodig is om de bij bovengenoemde zeespiegelstijgingssnelheden optredende zandhonger ook op te vangen inderdaad ook historisch mogelijk zijn gebleken (het uitgangspunt van AEGHIS: zie IBW), onderbouwt e.e.a. het inzicht dat dit ook bij toekomstige zandhonger het geval zal zijn. Hogere sedimentatiesnelheden zijn bij ASMITA theoretisch mogelijk en zijn in praktijk ook waargenomen, maar onduidelijk is vooralsnog of dit gedurende meerdere decennia ook kan worden volgehouden.

Bij dit alles past verder de kanttekening dat onder de kritische grens getijdeplaten altijd met een zekere achterstandsdiepte volgen, die toeneemt naarmate de stijging van de zeespiegel sneller is. Dit impliceert ook dat er initieel altijd een effect zal zijn (dit is benoemd als het 'resteffect' in het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid) indien bodemdaling optreedt: Eerst moet er een zekere daling optreden alvorens er een reactie van het systeem volgt.

¹ ASMITA is de afkorting van 'Aggregated Scale Morphological Interaction between a Tidal inlet system and the Adjacent coast' (Buijsman, 1997; Stive e.a., 1998; van Goor, 2001; Kragtwijk, 2001)). Het model werkt met één of meerdere morfologische onderdelen van het getijdesysteem (bijvoorbeeld getijdeplaten, geulen en buitendelta's), op basis van een aantal relaties die voor deze onderdelen zijn aangetoond tussen de hydraulische condities en de morfologische afmetingen. Daarnaast wordt nog gebruik gemaakt van fysische parameters waarmee de snelheden van de morfologische reacties van het systeem worden berekend. Het gaat hierbij met name om de sedimentconcentratie in de diverse onderdelen (c_e) ten opzichte van de algemene evenwichtsconcentratie (c_E). Onder evenwichtscondities is $c_e = c_E$. Als $c_e > c_E$ neigt het systeem tot sedimentatie (bijvoorbeeld bij te diep liggende platen), terwijl als $c_e < c_E$ dan neigt het systeem tot erosie (bijvoorbeeld bij te ondiepe geulen).



Figuur B.1.2.1

Waarschijnlijkheidsverdeling waarop bij een bepaalde zeespiegelstijgingssnelheid de kritische drempel wordt overschreden waarbij de zeespiegelstijging (horizontale as) niet meer kan worden bijgehouden voor het Ameland zeevat (links) en het Eierlandse Gat (rechts) voor het huidige golfklimaat ($C_E(I)$; blauwe lijn linkerkant); een arbitrair nieuw golfklimaat met een andere golfrichtingsverdeling en een grotere hoogte ($C_E(II)$; rode lijn midden), en de voorgaande met een vergrootte kans van voorkomen van hogere golven ($C_E(III)$; groene lijn rechterkant). Bijvoorbeeld: bij een zeespiegelstijgingssnelheid van 100 cm/eeuw is de kans dat de intergetijde platen van het Ameland gat verdrinken 55% (ruw golfklimaat) tot 75% (huidig golfklimaat) afhankelijk van het toekomstige golfklimaat. Voor het kleinere Eierlandse Gat is de kans 20 tot 35%. Omgekeerd: accepteren we een 10% kans op verdrinking dan blijkt dat daarbij een zeespiegelstijging van ca. 30 cm/eeuw kan worden opgevangen door sedimentatie, voor het kleinere Eierlandse Gat is een zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw nog bij te houden (van Goor, 2001)

In principe lijkt het waarschijnlijk dat 3-6 mm/jaar als een eerste indicatie kan worden gehanteerd voor de natuurgrens waarboven zeespiegelstijging niet volledig meer kan worden gecompenseerd door sedimentatie. Op basis van dit uitgangspunt valt ook uit te rekenen hoeveel zand er op jaarbasis in ieder geval beschikbaar is om andere zandhonger op te vangen. Dit is namelijk de tenminste de hoeveelheid die aangevoerd kan worden bij de grenswaarde minus de hoeveelheid die nodig is om zeespiegelstijging op te vangen. Dit uitgangspunt wordt in het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid als uitgangspunt gebruikt om op zoek te gaan naar de minimale effecten. Opgemerkt dient nog wel te worden dat de natuurgrens van 3-6 mm/jaar, zoals ook aangegeven in de formule op pag 46 van het rapport van de Adviesgroep Waddenzeebeleid, niet meer is dan een eerste ruwe indicatie: staat het stoplicht op oranje of niet? In algemeenheid wordt aanbevolen om voor elke getijdebekken waar men wil winnen een serie probabilistische berekeningen uit te voeren met ASMITA, waarbij alle vormen van zandhonger in mee worden genomen evenals een suite winningsscenario's: alleen zo kan een voor het ecosysteem optimale winningsstrategie worden uitgewerkt.

Conclusie modellen

De onzekerheid over de kritische grens van zeespiegelstijging waaronder de gemiddelde jaarlijkse sedimentatie nog de zeespiegelstijging kan compenseren, is door bovenstaande onderzoeken aanmerkelijk verkleind. Historische gegevens en de modellen komen beiden uit op een kritische grens van 3 (grote bekkens)-6 (kleine bekkens) mm/jaar waaronder in zeespiegelstijging hoogstwaarschijnlijk volledig kan worden opgevangen door sedimentatie. Is de zeespiegelstijging lager dan deze grens dan heeft het systeem nog reserves om andere belastingen op jaarbasis op te vangen. Deze natuurwaarden kunnen gehanteerd worden als een eerste indicatie of en in hoeverre het systeem te zwaar belast wordt. Voor een nadere inschatting van de effecten dient modelonderzoek te worden gedaan (bijvoorbeeld met ASMITA).

II. Belang eigen dynamiek

Het feit dat de verticale morfologische dynamiek van de Waddenzee vele malen groter is dan de bodemdaling en daarmee de bodemdaling a.h.w. wordt 'uitgesmeerd' over de getijdebekken onderbouwt de aanname die in het IBW gemaakt is dat de effecten van bodemdaling moeten worden berekend op grond van het bodemdalingsvolume per getijdebekken en niet op het naar het centrum toe toenemende aantal cm zakking zoals voorspeld door de bodemdalingmodellen (dit m.u.v. de kwelders). Dit ondervangt voor de intergetijde platen tevens de onzekerheid hoe om te gaan met de diepte van bodemdaling in het centrum van de bodemdalingsschotel: het bodemdalingsvolume wijkt namelijk nauwelijks af.

De grote bestaande dynamiek, zo wordt wel gesteld, maakt het voorspellen van de effecten van bodemdaling tot op grote hoogte onmogelijk. Evenals in de Noordzeekustzone heerst in de Waddenzee een sterke dynamiek. Deze zorgt er voor dat de bodem in de actieve delen tot meters op en neer gaat (met name door geul en prielverplaatsing) en in de 'slome' delen nog altijd ca. een dm op en neer gaat. In de afgelopen jaren is vrij veel aandacht besteed aan de dynamiek van de Waddenzee en van de aangrenzende Noordzeekustzone op diverse schalen van tijd en ruimte (o.a. Louters & Gerritsen, 1995; Tanczos, 1996; Israel, 1998; Cleveringa & Oost, 1999; Schoorl, 1999a&b; 2000a&b; Eysink et al, 2000; Gerritsen, 2000; Cleveringa, 2001; NAM, 2001; Oost et al, 2001, 2002; 2004; Oost en Kleine Punte, 2003; Walburg, 2001; Israel & Oost, 2001; Elias et al, 2002, 2003; Sniijders & Uit den Boogaard, 2003; Rommel, 2004). Uit deze literatuur komt duidelijk naar voren dat bijvoorbeeld de jaarlijkse verticale dynamiek meerdere tot honderden malen (centimeters tot meters per jaar) groter is dan de ter plekke optredende jaarlijkse bodemdaling (millimeters tot 2 centimeter per jaar). Binnen een getijdebekken is de interne netto zandverplaatsing over meerdere jaren gemeten een orde 10 maal groter dan de netto import van sediment van buitenaf (Oost & de Haas, 1992, 1993). Dit alles impliceert dat in het gebied onder de hoogwaterlijn de bodemdaling in eerste instantie wordt 'uitgesmeerd' over het getijdebekken t.g.v. de grote dynamiek. Een lokale voorspelling voor het getijdebekken onder de HW-lijn is derhalve zinloos gezien het feit dat de bodemdaling relatief veel kleiner is dan de dynamiek: lokaal kan het gebied door de eigen dynamiek stijgen of dalen; aangroeien of afslaan door de bestaande dynamiek die veelal autonoom van aard is.

Bij wijze van voorbeeld volgt hieronder een brief met veldwaarnemingen van Waddenschilder Geurt Busser die verschenen is in het Reformatorisch Dagblad, voorzien van commentaar op grond van de beschikbare kennis. E.e.a. geeft een beeld van de dynamiek in het gebied.

"Het is feest in Waddenland! Economen, ecologen, wetenschappers, politici, milieudeskundigen, natuurontwikkelaars en gasboeren dansen vrolijk rond, wapperend met Waddengasmiljarden, jubelend over alle goeds dat ze daarmee gaan doen! Arme Waddenzee. Natuurlijk moeten we op de barricaden voor de Waddenzee! Ameland is nu 28 cm gezakt; daar zit een gat in de zeebodem van 250 vierkante km. Er is ruwweg 50 miljoen kubieke meter zand weg, daar heerst zandhonger. De golven van de zee klauwen van boven af om dat gat te vullen."

Commentaar

De bodemdalingsschotel van Ameland had in februari 1999 een diepte van 22 cm in het hart en een volume van 9 miljoen kubieke meter (Eysink et al, 2000), waarvan ca 3 miljoen in de Waddenzee zelf. Daarnaast zijn er ook nog velden in de Noordzee die mogelijk een vergroting leveren van dit volume. In het IBW (Oost et al, 1998) wordt een totaal volume van 10,1 miljoen kubieke meter

gegeven tot 2000 (Wadden + Noordzeekustzone, Zeegat v. Ameland en Pinkegat): 50 miljoen kuub is niet correct. Het is wel correct dat door bodemdaling zandhonger ontstaat. De Noordzeekustzone verdiept zich door daling t.o.v. het evenwichtsprofiel en zal zand nodig hebben om het evenwicht te herstellen (daarbij moet bedacht worden dat er een sterke 'jaarlijkse gang' is van het zomerprofiel dat steiler is met duidelijke zandbanken naar het stormwinterprofiel dat vlakker is: hierdoor treden op jaarbasis verticale fluctuaties op tot ca. 1 meter). Jaarlijkse dalingen van 1 mm tot 1 cm zullen daardoor worden 'uitgesmeerd' over een groter gebied. Het effect van dit mechanisme is dus vergelijkbaar met de effecten van dynamiek in de Waddenzee.

Ook in de Waddenzee treedt zandhonger op. Voor het Waddengebied moet onderscheid worden gemaakt tussen de platen en de geulen. De geulen handhaven een evenwichtsdoorsnede die is afgestemd op het getijdevolume dat er doorheen stroomt. De platen zullen in eerste instantie dieper komen te liggen. Daardoor zal de golfwerking minder invloed hebben, terwijl er tegelijk meer water+zand over de platen stroomt. Het zand komt door deze twee effecten gemakkelijker tot bezinking en de platen komen daarmee weer omhoog (zolang er tenminste zand genoeg voorradig is: bij zeespiegelstijgingsnelheden van 30 cm/eeuw voor de grote zeegaten (Vlie) en 60 cm/eeuw voor de kleinere (Pinkegat) wordt waarschijnlijk al het zand dat uit de Noordzee kan worden aangevoerd gebruikt om de zeespiegelstijging op te vangen. Bij een daling van de platen zal meer getijdevolume door de geulen stromen naar de platen. Pas na het herstel van de oorspronkelijke plaathoogte kunnen ook geulen hun oorspronkelijke dwarsdoorsneden terug krijgen.

"Ameland had het breedste strand van Europa, 3 km breed. De gasten klaagden dat ze zover moesten lopen naar de zee. Dat strand is weg. Jaar in jaar uit wordt er vergeefs zand opgespoten. Er staan bordjes op het strand: Verboden toegang, vanwege drijfzand, slik en een moordende stroom langs de duinen."

Commentaar

Het verdwijnen van het brede strand van Ameland heeft betrekking op de NW-kant van Ameland. Daar heeft zich (evenals in 1903-1926) in 1980-86 een strandhaak gevormd door het aanlanden van een zandplaat uit de buitendelta. Dit hangt samen met het normale cyclische gedrag van buitendelta's, waardoor geulen van oriëntatie veranderen en zandplaten uit de buitendelta kustwaarts worden verplaatst (Israel, 1998; Oost et al, 2000; Israel & Oost, 2001). In 2000 en 2001 is uitgebreid gekeken naar de ontwikkeling van de strandhaak, die éénmaal geland afgebroken wordt door de golven en uitgesmeerd langs de kust en het Amelandse zeegat in. De verwachting dat deze strandhaak geheel zal worden afgebroken is toen al uitgesproken: het hoort bij de natuurlijke dynamiek van het gebied. De 'moordende stroom' ontstond ten gevolge van het insluiten door de strandhaak van een miniatuur waddengebiedje dat via een strandparallelle geul werd voorzien van water. Ook dit is een normaal deel van de dynamiek van dit soort haken: het komt meer voor, zoals in het rapport van 2001 aan de hand van historische voorbeelden kon worden laten gezien (Israel & Oost, 2001). De verwachting is ook dat op termijn het strand smaller wordt, precies zoals waargenomen door Busser.

"De Boschplaat onder Terschelling, een droogvallende zandplaat van 7 km. breed, is weg. Op Engelsmanplaat, tussen Ameland en Schiermonnikoog, waren duintjes, daar groeide helmgras en er broedden vogels. Nu is de Engelsmanplaat een kale vlakte waar elke vloed overheen spoelt. De fundamente van voorgaande kapen, die nog nooit iemand gezien had, steken nu troosteloos boven het zand uit. Het verschil tussen leven of dood is maar een paar centimeter. De onderste tree van de trap naar het vogelhuisje zit nu op 1.20 meter hoogte, daar zijn 5 nieuwe treden bij aan gemaakt!"

Schiermonnikoog heeft nu het breedste strand van Europa, het Westerstrand. Dit is over 4 vierkante kilometer een tot anderhalf meter lager dan een paar jaar geleden. Daar is 4 miljoen kubieke meter zand weg. Tot voor kort kon ik vanaf de Reede naar Schiermonnikoog de schepen in het Westgat niet zien, daar zat een hoge bult tussen. Nu zie je de schepen, het hefeiland boven Ameland, de kaap en het vogelhuisje van Engelsmanplaat.

Enorme hoeveelheden zand zijn in beweging, dat zwerft nog jaren rond voor dat NAM gat bij Ameland opgevuld is. Het gif uit de Rijn bezonk in de Waddenzee, misschien trekt het zand van de Noordzeekust hier ook wel heen. De hoogste delen van het Wad onder de eilanden, de wantijen, waren altijd ongeveer even diep. Ze veranderden wel van plaats maar nauwelijks van diepte. Nu zijn alle wantijen tientallen centimeters minder diep. Het Wad wordt plat, de hoge platen verdwijnen razendsnel, de geulen slibben dicht.

De Waddenzee was een compleet systeem; er was evenwicht tussen afslag en aangroei. Dat is nu al ernstig verstoord. In het rapport Meijer staat dat de NAM gas zal winnen: "met de hand aan de gaskraan en als er aantoonbare schade is draaien we die kraan onmiddellijk dicht." De schade rondom Ameland is nu al zo enorm dat de gaskraan daar onmiddellijk dicht moet! Onderzoek eerst waar al dat zand gebleven is en wacht tot het Wad zich hersteld heeft, als dat nog mogelijk is. Pas dan mag de gaskraan bij Ameland weer op een kiertje, maar zeker geen nieuwe gaswinning!"

Commentaar

Door de inherente grote dynamiek van het Waddenzeesysteem kan inderdaad weinig gezegd worden over de lokale effecten in het getijdebekken onder de HW-lijn. Het uitmiddelen van de bodemdaling (die ook nog eens relatief klein is t.o.v. de dynamiek) binnen een getijdebekken is echter wel een impliciet uitgangspunt binnen de modelstudies van het IBW (Oost et al, 1998): dit uitgangspunt wordt door een veelheid van rapporten aangaande dynamiek en door de rapporten over bodemdaling bevestigd (zie o.a. Eysink et al, 2000; Vlas, de & Marquenie, 2003; Oost, in prep.; Rommel, 2004). De ingezette modellen die het gedrag van het systeem beschrijven zijn allen empirisch van aard en beschrijven het gemiddelde lange-termijn gedrag (meerdere jaren tot decennia) van het waddensysteem op het niveau van een getijdebekken. De huidige stand van kennis en techniek (computerfaciliteiten) staat nog niet toe effectberekeningen uit te voeren op een schaal die veel fijnmaziger is dan deze. De vraag dringt zich echter ook op of dit zinnig is. Gezien de sterke eigen dynamiek van het systeem is ook de voorspelbaarheid van de kleinschalige ontwikkeling van het gebied over langere tijd (bijvoorbeeld de migratie en ontwikkeling van een geul) relatief beperkt. Op die schaal is het systeem te vergelijken met het weer: een korte tijd vooruit voorspellen is mogelijk, maar een langere tijd niet. Toch kan er op hoofdlijnen wel wat gezegd worden over het gedrag van het systeem op grotere schaal, omdat er sprake is van vele –voor zover bekend robuuste- wetmatigheden in het systeem (bijvoorbeeld geuldoorsnede en getijdevolume; geulareaal vs. getijdevolume; plaathoogte en waterhoogte). Naar analogie met het weer: op grond van wetmatigheden kan voorspeld worden dat de zomers gemiddeld warmer zijn dan de winters.

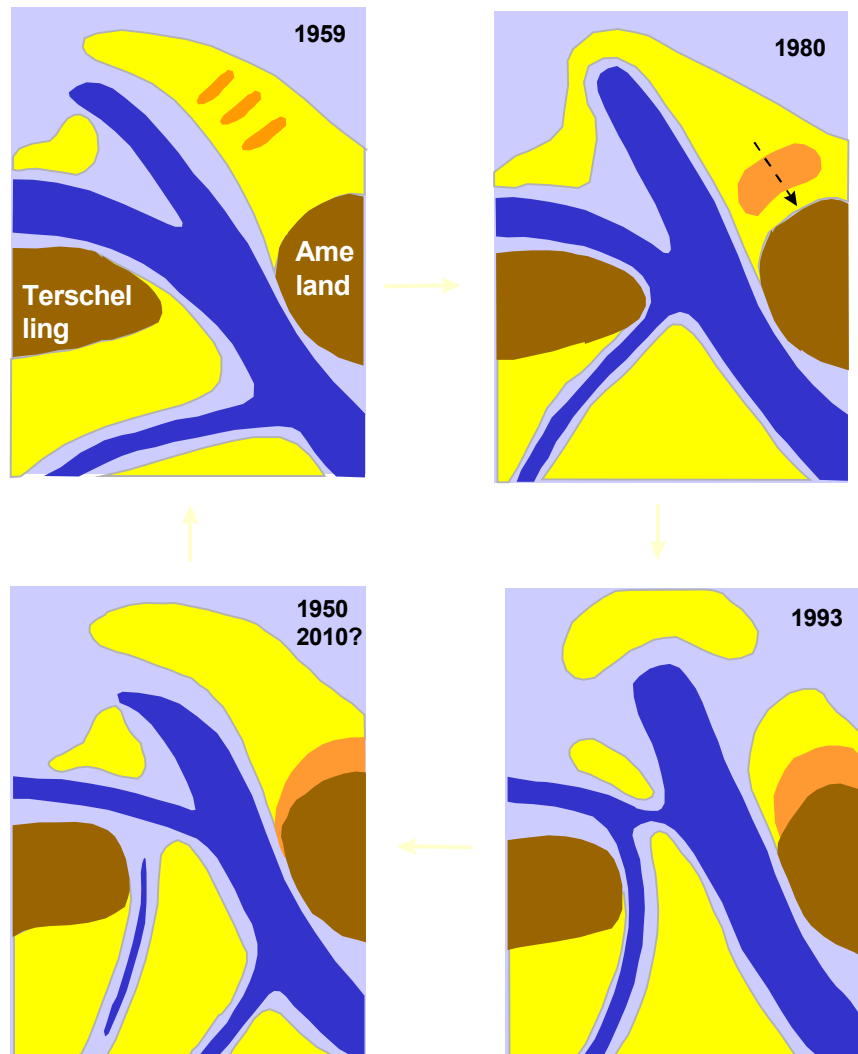
Toch kan wel wat gezegd worden over de dynamiek van het gebied op hoofdlijnen uitgaande van de waarnemingen over de afgelopen honderden jaren:

Boschplaat

Met de Boschplaat wordt waarschijnlijk de Koffiebonenplaat bedoeld. Deze plaat wordt door het eigen cyclische gedrag van het Boschgat, nauw samenhangende met het gedrag van het Westgat, opgeruimd (rapport Israël, 1998): vermoedelijk verwijst de waarneming van Geurt Busser naar dit proces. Daarnaast kan zijn opmerking ook slaan op de Boschplaat die het oosteinde van Terschelling vormt. Ten gevolge van het loslaten van de stuifdijken op de westpunt (die voor een dramatische verlenging van Terschelling hebben gezorgd in de afgelopen eeuwen; Oost, 1995; Schoorl, 2000b) en de hiervoor (en hieronder) beschreven cyclische dynamiek is de afslag ook daar sterk toegenomen in het laatste decennium (fig. B.1.2. 2).

Figuur B.1.2.2

Morfologische cyclus van de buitendelta van Het Zeegat van Ameland (Israël, 1998)



De dynamiek van de buitendelta van het Zeegat van Ameland

De buitendelta's van de Waddenzee zijn altijd in beweging: de geulen en platen verschijnen, verplaatsen en verdwijnen in de loop van de tijd. Een mooi voorbeeld wordt gegeven door de ontwikkeling van de buitendelta van het Amelanders Zeegat, in de afgelopen eeuwen (Israël, 1998). In het zeegat zijn in elke periode van 50 tot 60 jaar vier stadia te zien (figuur B.1.2.2). Ieder stadium van de cyclus heeft gevolgen voor de aangrenzende kust van Ameland (Oost et al, 2000) en Terschelling. Sinds de jaren '40 van de 20ste eeuw wordt de kustlijn van Ameland met zandsuppleties en harde kustverdedigingsmaatregelen op zijn plaats gehouden, terwijl de oostpunt van Terschelling zich vrij kan ontwikkelen. De morfologische cyclus wordt hier kort weergegeven (naar Israël, 1998):

In Fase 1 (1903 & 1959) is er sprake van een één-geul situatie in het zeegat tussen de twee eilanden. Met maar één geul in het zeegat is er ruimte voor de kust: de westkust van Ameland strekt relatief ver naar het westen en oostkust van Terschelling strekt ver uit naar het oosten. In deze situatie behoeft de kust bij Ameland slechts beperkte verdedigingsmaatregelen.

In Fase 2 (1926 & 1980) is er sprake van een kruispunt van geulen in het zeegat. Het zand uit het Bornrif is gemigreerd in zuidoostelijke richting en landt als strandplaat op noordwest Ameland. Een uitgebreide beschrijving van het proces van aanlanding en de vorming van strandhaken wordt gegeven in het rapport 'strandhaakontwikkeling op de koppen van de Waddeneilanden' (Israël en Oost, 2001). De oostpunt van Terschelling heeft in dit stadium nog de ruimte en strekt ver oostwaarts, terwijl de westkust van Ameland in breedte afneemt. De noodzaak voor kustbeheermaatregelen neemt in deze situatie toe. Wel levert de aangelande zandplaat een tijdelijke bijdrage aan de strandbreedte van de westkust.

Fase 3 (1934 & 1993) is een twee-geulen situatie in het zeegat, de geulen worden van elkaar gescheiden door de Koffiebonenplaat. Met twee geulen in het zeegat is er weinig ruimte voor de kust: de Boschplaat is in omvang afgenomen en de westkust van Ameland is op zijn smalst. De noodzaak voor kustverdedigingsmaatregelen voor de westkust van Ameland is maximaal.

Fase 4 (1892 & 1950) is de overgang van twee geulen naar één geul in het zeegat. Terschelling is een stuk verlengd naar het oosten en langzamerhand komt er meer ruimte voor de westkust van Ameland. De noodzaak voor kustverdedigingsmaatregelen neemt af.

Vervolgens begint de cyclus weer opnieuw met fase 1.

De geschetste cyclische ontwikkeling van het zeegat wordt veroorzaakt door de combinatie van golfgedreven zandtransport en getijwerking, waarbij zowel het getijdvolume per geul -het debiet-, als de kracht van de stroming door waterstandverschillen -het verhang- een rol spelen (Israël, 1998).

Engelsmanplaat

De ontwikkeling van de Engelsmanplaat kent – zo blijkt uit historisch onderzoek van data sinds 1786 (Oost, 1995) – een cyclisch karakter. In het begin strekt de Engelsmanplaat zich ver zeewaarts uit en wordt hoger door de afzetting van zand. Dan treedt geulerosie op aan de noordzijde. De geulen migreren in zuidoostelijke richting. Noordelijk van deze geulen (dus aan de Noordzeezijde) ontstaat dan een nieuwe plaat o.i.v. golfwerking (tegenwoordig het Rif). Deze plaat vangt het zand weg met name als de hoogte boven de hoogwaterlijn uitkomt, waardoor de Engelsmanplaat lager wordt doordat weinig zand wordt aangevoerd (door de hoge ligging is er haast geen getijdewerking en het golfgetransporteerde zand wordt door het Rif opgevangen) terwijl de plaat wel wordt afgebroken tijdens stormen. Dit gebeurt met name sinds 1970. De tussen Rif en Engelsmanplaat liggende geul Smeriggat is aan het verzanden en uiteindelijk zullen Engelsmanplaat en Rif weer samensmelten waardoor Engelsmanplaat weer aangroeit in zeewaartse richting en hoger wordt en zo begint de cyclus opnieuw. Een cyclus duurt tussen de 50-100 jaar. Dit staat los van de bodemdaling en is een autonoom proces (Oost, 1995).

Schiermonnikoog

Ook bij Schiermonnikoog is sprake van een strandhaak die zich in een afbraakstadium bevindt. Deze haak was extreem groot en het oostwaarts in de luwte ervan liggende strand was extreem breed ten gevolge van de afsluiting van de Lauwerszee in 1969. Daarbij nam het getijvolume met 30% af en kon het zandvolume van de buitendelta niet meer op haar plek gehouden worden. De golven droegen het naar het strand waar de strandhaak extra groot werd. Net als op Ameland is deze strandplaat aan het verdwijnen onder invloed van de golven (ze vormen een kaap die extra hard door golven wordt aangevallen). Dat het strand dus nu verlaagt, evenals de haak, ligt in de lijn der verwachting (Oost, 1995; Israel & Oost, 2001; Jaarboek Waddenzee, 2003).

Zand in beweging

Wat betreft de hoeveelheden zand die in beweging zijn: éénvoudige berekeningen geven aan dat er per jaar bruto door alle Nederlandse Waddenzeegaten samen met het water ongeveer 40 tot 56 miljoen kubieke meter zand heen en weer stroomt tussen Waddenzee en Noordzee (slib niet meegenomen; Oost et al, 1998). Op grond van reacties op zeer zware verstoringen (afsluiting Zuiderzee en Lauwerszee) kun je laten zien dat er in Wadden een sedimentatie kan optreden die gelijk is aan de minimaal berekende zandtransporten. Zo zijn voor de Zoutkamperlaag sedimentatiesnelheden gemeten van 3 miljoen kubieke meter per jaar na de Afsluiting van de Lauwerszee.

Een ander misschien nog wel krachtiger argument dat er inderdaad sedimentatie optreedt in de Waddenzee is dat tijdens de Holocene zeespiegelstijging in de laatste 5000 jaar de Noordzeewaddenkust teruggetrokken is over 15 km (ter hoogte van Schiermonnikoog) tot 10 km (ter hoogte van Ameland) tot 6 km (ter hoogte van Terschelling). Al het zand dat daar lag is grotendeels weggeslagen. Het ligt niet in de diepere Noordzee (Sha, 1992; Molen, van der & Swart, 2001; Molen, van der, 2002), terwijl in de Waddenzee wel een laag ligt van gemiddeld 5 meter dikte over een oppervlak van 2000 vierkante kilometer. Het zand komt ook qua mineralogie overeen met het zand aan de kust.

Historische waarnemingen laten zien dat de Waddenkust zich nooit met snelheden van meer dan 8 meter/jaar (voor het midden van de eilanden) heeft teruggetrokken over langere periodes (Oost et al, 1998). Wordt dit inzicht gebruikt om te berekenen hoeveel zeespiegelstijgingsnelheid gecompenseerd zou kunnen worden in de getijdebekkens dan is dat voldoende om 4-6,6 mm/jaar mee op te vangen, hetgeen ook uit andere modelberekeningen naar voren komt (zie boven).

Dat de wantijen zouden verlagen wordt deels tegengesproken door waarnemingen van wadloopgidsen die het tegendeel beweren (bijvoorbeeld bij Rottumeroog, pers. obs. Dijkema), anderzijds zou wel verlaging optreden bij het zuidelijke deel van het wantij van Ameland (pers. obs. De Vries). Om precies te weten wat er gebeurd zou nader onderzoek moeten worden gedaan. Figuren tot 2000 suggereren sterk dat de geulen van Zeegat van Ameland en Pinkegat beter verbonden raakten waardoor verdieping optrad. Van de periode daarna zijn de gegevens nog niet beschikbaar (deze komen binnenkort beschikbaar).

De hoge platen van NW-Ameland, NW-Schiermonnikoog, Engelsmanplaat en deels Rottumeroog zitten momenteel inderdaad in een afbraakfase. Zoals boven beschreven lag dit in de lijn der verwachting. Andere platen zoals het Rif en Richel zijn niet in een afbraakfase.

Dat geulen dichtslibben is gemiddeld niet correct; lokaal natuurlijk wel, door de natuurlijke dynamiek waarbij nieuwe geulen openschuren en door eb- en vloed-schaarvorming. Over het algemeen houden de geulen hun evenwichtsdiepten, zoals uit onder andere de ISOS-onderzoeken blijkt.

"De Waddenzee was een compleet systeem; er was evenwicht tussen afslag en aangroei. Dat is nu al ernstig verstoord."

Commentaar

Dit is niet in overeenstemming met de waarnemingen: de evenwichten tussen erosie en sedimentatie zijn er nog zoals ze er ook al duizenden jaren zijn geweest. Wij leven eenvoudigweg te kort om cycli van 50-100 jaar in erosie en sedimentatie op hun waarde te kunnen schatten. Als gevolg daarvan denken wij veel te statisch over de Waddenzee en aangrenzende Noordzeekustzone. We gaan de autonome lange termijn veranderingen dan ook gemakkelijk toedragen aan allerlei menselijke ingrepen die niet de verklaring zijn voor de waarnemingen. Dit vasthouden aan een ons bekend beeld over de laatste 10-20 jaar als zijnde 'zoals het hoort' is trouwens iets waar ook onze voorouders al last van hadden (Schoorl, 1999a&b). De dankzij onze technologie ontstane 'maakbaarheid' brengt echter het gevaar met zich mee dat wij als dollemannen in gaan grijpen om de natuurlijke dynamiek tegen te gaan. E.e.a. heeft zich in het verleden al voorgedaan op de eilanden (bijv. stuifdijken) en zou zich in de toekomst kunnen gaan voordoen in het Waddengebied zelf.

"In het rapport Meijer staat dat de NAM gas zal winnen: "met de hand aan de gaskraan en als er aantoonbare schade is draaien we die kraan onmiddellijk dicht."

De schade rondom Ameland is nu al zo enorm dat de gaskraan daar onmiddellijk dicht moet! Onderzoek eerst waar al dat zand gebleven is en wacht tot het Wad zich hersteld heeft, als dat nog mogelijk is. Pas dan mag de gaskraan bij Ameland weer op een kiertje, maar zeker geen nieuwe gaswinning!"

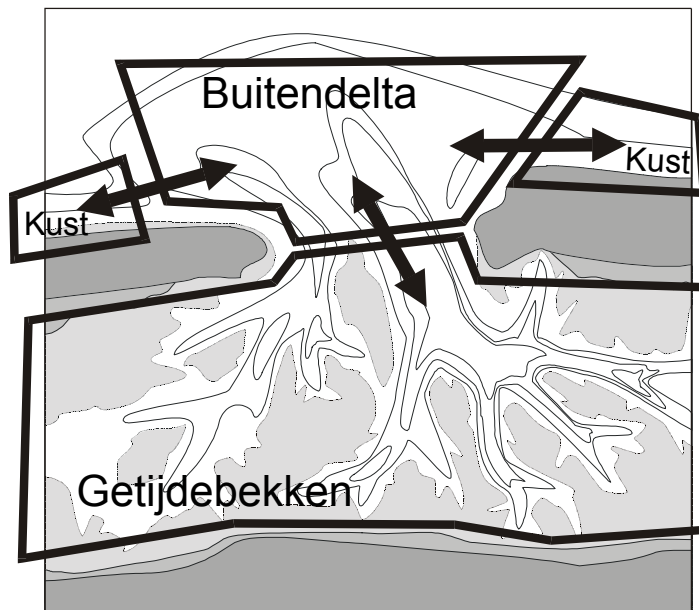
Commentaar

Wat is er momenteel aan de hand op Ameland? Enerzijds is daar de waarneming van het Bodemdalingsrapport Ameland (2000) die nieuwe inzichten heeft gegeven hoe het systeem reageerde op de bodemdaling. Daaraan voorafgaande (Oost et al, 1998) is het IBW geschreven, waarin werd gesteld dat de bodemdaling een verstoring zou veroorzaken t.o.v. de evenwichtscondities. Voorts werd het waarschijnlijk geacht dat door de grote dynamiek de dalingsschotel zou worden uitgesmeerd over het getijdebekken in kwestie. Pas in de loop van een aantal decennia zouden de bodemdalingsschotels volledig worden opgevuld met zand uit het Noordzeebekken. De diverse onderdelen: kust, buitendelta en getijdebekken (geulen en platen tussen twee wantijen)

wisselen zand en water uit bij elk getijde (figuur B.1.2.3). Dit impliceert overigens ook dat uiteindelijk alle bodemdaling in de Waddenzee en Noordzeekustzone (tot NAP-20 m) door middel van zandsuppleties gecompenseerd dient te worden, wil de kustlijn gehandhaafd worden (zie daarvoor Mulder, 2000).

Figuur B.1.2.3

De belangrijkste componenten van een zanddelend systeem: de buitendelta's, de aangrenzende kusten en de geulen en platen van de Waddenzee (Cleveringa et al, 2004)



Op het Noordzeestrand zijn door NAM weinig waarnemingen gedaan. Toch zijn er aanwijzingen dat daar inderdaad aanzienlijke zandaanvoer plaats vond richting de bodemdalingsschotel, zo blijkt uit het promotieonderzoek van Tanczos (1996; ten onrechte niet meegenomen in Oost et al, 1998 of in Eysink et al, 1998). Zij deed gedurende de periode augustus 1991 tot december 1994 lange termijn waarnemingen op het Noordzeestrand van Ameland (tussen Rijksstrandpaal 23,2 en 24), waarbij onder andere op 27 tijdstippen gekeken werd naar de hoogteligging. Voor het beschouwde strandgebied bleek dat de gemiddelde ophoging door sedimentatie even snel verliep als de gemiddelde bodemdaling, waardoor het resulterende netto effect op nul uitkwam (p.133). Dit zand moet op andere plaatsen zijn onttrokken: zo zijn er bijzonder sterke aanwijzingen dat een deel afkomstig was van een strandsuppletie die in 1992 werd uitgevoerd tussen RSP 12 en 20 en die opmerkelijk snel werd geërodeerd (Tanczos, 1996).

Aan de Waddenzeezijde is meer aandacht besteed in het Bodemdalingsrapport Ameland (Eysink et al, 2000). Zo bleek dat de sedimentatie op het wad in het dalingsgebied de bodemdaling overtrof. De rapportages van Kersten uit 2003 bevestigen dit beeld en laten zelfs zien dat in de periode 2000-2003 de sedimentatie de bodemdaling bijhoudt. De oorzaak is - wederom - de natuurlijke dynamiek. De geulen van het Pinkegat bewegen zich cyclisch (20-40 jaar; Oost, 1995; Jaarboek Waddenzee, 2003) naar het oosten waarbij van tijd tot tijd de aangroeiende oostpunt van Ameland wordt afgesneden door nieuwe geulen die zich vormen. Daarbij verandert - t.g.v. de verplaatsing van het zeegat - ook de positie van de hoofdgeul en de in het wad liggende geulen. Het gevolg van al deze verschuivingen is dat er sterke erosie en sedimentatie optreedt nabij het zeegat met hoogtes tot meerdere meters. De bodemdaling Ameland (max. cm/jaar) viel samen met een periode van sterke sedimentatie (meer dan 10 cm gemiddeld over een gebied van 20 vierkante kilometer en bijna 1 meter nabij de oostpunt van Ameland).

Het is dus waarschijnlijk dat een belangrijk deel van het zand dat afgezet is, naar binnen is vervoerd door de grote geul gelijk zuidelijk van het eiland en komt uit

de Noordzeekustzone. Wil dat dan zeggen dat al het zand uit de Noordzeekustzone komt? Dat ligt, gezien de modelinzichten, niet in de lijn der verwachting. Het Bodemdalingsonderzoek Ameland heeft niet het hele Pinkegat bekeken en een deel zou dus uit de omgeving kunnen zijn gehaald. Indien ervan uitgegaan wordt dat de bodemdaling in het Pinkegat tot 2000 (4,9 miljoen kuub) in het geheel niet zou zijn gecompenseerd via zandaanvoer uit de Noordzee maar slechts uitgesmeerd over het Pinkegat (53 vierkante kilometer) dan zou dat een lagere ligging van het gebied met gemiddeld 9 cm betekenen over het hele gebied. Aangezien dit niet het geval is in het onderzochte gebied (ca. 40%), zou het resterende deel gemiddeld 2 dm dieper moeten liggen. Dit lijkt op het eerste gezicht niet het geval, maar voor een precieze inschatting is een nader onderzoek nodig.

Zou het dan nog kunnen komen van de Engelsmanplaat? Zoals boven besproken is de natuurlijke dynamische cyclus verantwoordelijk voor de hoogteafname van deze plaat. Deze is al sinds 1970 in hoogte aan het afnemen, dus ruim voor de gaswinning. Het zand zal in eerste instantie terecht zijn gekomen in het Smeriggat en vooral in de Zoutkamperlaag die door de afsluiting van de Lauwerszee een enorme zandhonger kende. E.e.a. neemt niet weg dat een deel van het thans afgevoerde zand gebruikt kan worden om de bodemdaling bij Ameland op te vullen. Maar dit is dan een gevolg van de zandafvoer van de Engelsmanplaat en niet de oorzaak; de oorzaak is de autonome cyclische ontwikkeling van het gebied.

Kwelders

Afwijkend is de situatie voor de kwelders (boven de gemiddelde hoogwaterlijn); de snelle sedimentatie in dit gebied is vooral afhankelijk van de opslibbing, die weer gerelateerd is aan het HW-niveau. Daarmee is de situatie simpeler dan in het getijdebekken onder de hoogwaterlijn. Daarvan is vrij goed bekend hoe snel dit verloopt. Er kan dan ook vrij nauwkeurig aangegeven worden hoe groot over meerdere jaren/decennia de gemiddelde sedimentatie in de diverse kwelderzones is (Dijkema en anderen). Gedetailleerdere berekeningen van de te verwachten effecten zijn dan ook mogelijk

Conclusies dynamiek

Uit de bestaande en uit nieuwe literatuur blijkt dat de dynamiek van het systeem overheersend is t.o.v. gaswinning. De dynamiek is dermate overheersend dat het zinloos lijkt om lokale effecten van bodemdaling in de getijdebekken onder de HW-lijn nauwkeurig te willen voorspellen. Gezien de dynamiek, de duur van de bodemdaling, en de stand van kennis en techniek (computers) is het niet reëel om nauwkeuriger te willen werken. En ook al zou het mogelijk zijn om gedetailleerdere lange termijn berekeningen uit te voeren, dan maakt de eigen dynamiek met een sterke toevalsfactor erin zulks onmogelijk. Lange termijn modellen die het gemiddelde gedrag van grotere onderdelen van het waddensysteem (bijvoorbeeld getijdebekken) beschrijven lijken daarmee vooralsnog de enig mogelijke beschrijving van het gebied over dergelijke tijdstermijnen (meerdere decennia). Een alternatieve aanpak waarbij verfijndere modellen probabilistisch langere perioden doorrekenen (zoals momenteel met het weer al gebeurt) zijn vooralsnog niet haalbaar en zullen naar schatting nog enkele decennia op zich laten wachten. Maar zelfs met een dergelijke aanpak moet men zich realiseren dat ook weervoorspellers er regelmatig naast zitten.

Ten gevolge van de dynamiek mag verwacht worden dat de zich lokaal ontwikkelende bodemdaling over een getijdebekken wordt 'uitgesmeerd'. Hetzelfde geldt voor bodemdaling in de Noordzeekust. Het bij het IBW gehanteerde uitgangspunt dat gerekend werd met gemiddelde daling over een getijdebekken of over een Noordzeevak (beiden onder de HW-lijn) i.p.v. de lokale schotel blijkt daarmee een juiste aanpak. Uiteindelijk zal de bodemdaling

in de Noordzeekustzone (tot NAP-20 m) plus de bodemdaling in de Waddenzee geheel gecompenseerd dienen te worden door kustsuppleties (met zand vanuit dieper water) om structurele Noordzeekusterosie tegen te gaan.

III. Betrouwbaarheid van de ingezette morfologische modellen

Over het algemeen zijn de morfologische modellen die gebruikt worden overwegend empirisch van aard: dat wil zeggen dat ze gebaseerd zijn op de beschikbare kennis over: 1) snelheden waarmee processen verlopen; 2) evenwichtsrelaties tussen hydraulica en morfologie in en om de Waddenzee en 3) de bestaande morfologie. Over het algemeen zal gelden dat de modellen gevalideerd en waar nodig gecallibreerd zijn op grond van het gedrag van getijdebekken in de afgelopen eeuw. Daarbij dienen ontwikkelingen als grote menselijke ingrepen (bv. afsluiting Zuiderzee of Lauwerszee) en/of zeespiegelstijging naar behoren te worden weergegeven (bijvoorbeeld: Oost et al., 1998; Kragtwijk, 2001; van Goor 2001; van Goor et al 2001; Wang en van der Weck., 2002; Van Goor et al., 2003, Stive en Wang, 2003, Kragtwijk et al., 2004, Wang et al., 2003, Jeuken et al., 2003, Nortier, 2004). Dergelijke veranderingen leveren een netto zandhonger op van het bekken die qua ordegrrootte vergelijkbaar of zelfs groter is dan de zandhonger veroorzaakt door bodemdaling.

Vanuit een theoretisch wetenschappelijk standpunt is het bijna onmogelijk om waterdicht te bewijzen dat dergelijke modellen kloppen: er kan alleen aannemelijk gemaakt worden dat ze kloppen op grond van een vergelijking van de modelresultaten met de werkelijkheid. Sinds de IBW studie is ons vertrouwen van de gebruikte (semi-)empirische modellen wel vergroot; ook door onderzoeken met de proces-gebaseerde modellen. De kloof tussen onze empirische kennis en onze proces kennis is verkleind. Voor een overzicht van de voortgangen in het onderzoek naar morfodynamische modellering voor systemen als de Waddenzee zie Stive en Wang (2003). Het belangrijkste uitgangspunt van de (semi-)empirische modellen is dat er een morfologische evenwichtstoestand bestaat en dat de evenwichtstoestand sterk gerelateerd is aan hydrodynamische parameters. Dit uitgangspunt is steeds meer bevestigd door de resultaten van studies aan de hand van proces-gebaseerde modellen. Vooral de studies met de geïdealiseerde modellen (Schuttelaars en De Swart, 1996, 2000) hebben theoretisch bewijs gegeven dat voor de relatieve korte getijdenbekken in de Waddenzee het morfologische evenwicht inderdaad bestaat en dat het inderdaad moet voldoen aan de relaties zoals door de (semi-)empirische modellen worden gehanteerd. Een ander principe dat de (semi-)empirische modellen hanteren is dat wanneer het evenwicht wordt verstoord het systeem de neiging heeft zich weer te ontwikkelen naar een toestand die weer voldoet aan de evenwichtsrelaties. De onderzoeken met de proces-gebaseerde modellen hebben ook meer inzicht geleverd over waarom dit gebeurt. Vooral het onderzoek naar de relatie tussen de getij asymmetrie (die netto sediment transport veroorzaakt) en de morfologie van een bekken heeft hieraan bijgedragen (Dronkers, 1998, Van de Kreeke en Dunsbergen, 2000, Wang et al, 2002). Fundamenteel onderzoek aan de hand van complexe proces-gebaseerde modellen zoals Delft3D hebben ook meer inzicht geleverd over gedrag van de getijdenbekken in meer detail zoals het platen-geulen systeem (Hibma, 2004) en zand-slib segregatie (Van Ledden, 2003). De toegenomen fundamentele kennis maakt een dergelijk complex model steeds beter inzetbaar voor studies zoals die naar het effect van bodemdaling.

De voorspellingen door de modellen op getijdebekken-niveau worden verder geschraagd door:

- 1) De historische waarnemingen die aangeven dat in het verleden Noordzeekusterosiesnelheden zijn opgetreden en sedimentatiesnelheden die ook door de modellen worden voorspeld (zie ook Oost et al, 1998).

-
- 2) De waarnemingen aan Ameland en Zuidwal, waarbij de bodemdalingsschotel zelf door de dynamiek en de sedimentatie geheel, respectievelijk gedeeltelijk zijn opgevuld (Eysink e.a., 2000; Rommel, 2004; conform verwachting).
 - 3) Het niet bekend zijn van extreme effecten langs het Slochterenveld in morfologische en ecologische waarnemingen.
 - 4) De waarneming dat na de afsluiting van de Zuiderzee het hoogwaterniveau nabij het Balgzand met ca. 40 cm is gestegen. In de periode na de afsluiting 1933-1997 stegen de platen 33-38 cm en de hoge platen en kwelders met 33-47 cm (Grolle, 2001). Van voor de afsluiting zijn helaas geen hoogtedata bekend van de Balgzand. Waarnemingen wijzen er echter op dat de hoogtetoeename nog groter zou zijn geweest als deze hoogtedata wel beschikbaar zouden zijn geweest (o.a. Dankers pers. com.).
 - 5) Het ontbreken in de waarnemingen van de morfologische ontwikkelingen over de afgelopen 500 jaar in de Nederlandse Waddenzee op getijdebekkenschaal, van aanwijzingen dat de door de Swart voorgestelde mogelijkheid van uitruiming zich heeft voorgedaan, ondanks het feit dat: a) het plaatniveau door het eigen autonome gedrag van getijdebekkens over perioden van meerdere decennia gemiddeld al meerdere dm op en neer kan gaan; b) de jaargemiddelde hoog- en gemiddeld waterniveau's gedurende meerdere jaren hoogteverschillen kunnen laten zien tot dm (Bossinade e.a. 1993; Heinen & Hoogkamer, 1993) en c) er ook grote menselijke ingrepen zijn geweest die een dergelijk uitruimen zouden kunnen veroorzaken. De door hem voorgestelde modellen geven deze mogelijkheid te zien bij getijdebekkens die voldoende lang zijn (meer dan 50 km lang met een voldoende sterk M4 getij aan de Noordzeekant) of waarvan de breedte afneemt in de richting van het vasteland. De bekkens vanaf Ameland tot de Eems voldoen aan geen van beide criteria.

Conclusie betrouwbaarheid

Tot nog toe zijn er geen aanwijzingen dat de in het IBW gehanteerde modelbenadering van het gedrag van getijdebekkens niet kloppen. Voor een uitruimscenario zoals voorgesteld door de Swart zijn geen aanwijzingen gevonden over de afgelopen 500 jaar in het morfologisch gedrag van de Nederlandse Waddenzee.

Eindconclusie punt a)

Op grond van het toegenomen inzicht in de modellen, de betrouwbaarheid van de modellen en de dynamiek, kan gesteld worden dat de modellen zoals gehanteerd in het IBW (Oost et al, 1998) aangevuld met nieuwe inzichten en verbeteringen (met name ASMITA) de effecten van bodemdaling

hoogstwaarschijnlijk bekkengemiddeld en tijdgemiddeld goed weergeven². 100% zekerheid kan om theoretische redenen echter nooit worden gegeven. Wel is het onwaarschijnlijk dat binnen enkele decennia veel betere modellen beschikbaar komen voor de voorspelling van het lange termijn gedrag. Dit wordt veroorzaakt door de sterke eigen dynamiek van de morfologie. Gezien

² De grote dynamiek draagt bij tot het 'uitsmeren' van de bodemdalingsschotel over een getijdebekken, waardoor de lokale maximaal optredende effecten geringer zijn op de getijdeplaten (maar niet voor de kwelders) en ook de voorspellingen zoals gedaan met ASMITA uitgaan van het juiste uitgangspunt dat de bodemdaling moet worden uitgemiddeld over een getijdebekken.

het feit dat de bodemdaling relatief veel kleiner is dan de dynamiek is een veel nauwkeurigere voorspelling van de effecten van bodemdaling bovendien zinloos.

Om blijvend zandtekort en structurele kustachteruitgang tegen te gaan zal de bodemdaling in de Noordzeekustzone (tot NAP-20 m) plus de bodemdaling in de Waddenzee geheel gecompenseerd dienen te worden door kustsuppleties (met zand vanuit dieper water). Deze maatregel is een essentiële randvoorwaarde wil zekerheid verkregen worden omtrent minimalisatie van de effecten van bodemdaling.

Literatuur

- Buijsman, M.C., 1997. The impact of gas extraction and sea-level rise on the morphology of the Wadden Sea. WL I Delft Hydraulics, Report H3099.30.
- Cleveringa, J., 2001. Zand voor zuidwest Texel. Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel. Rapport RIKZ/OS/2001/031.
- Cleveringa, J. en A.P. Oost, 1999. The fractal geometry of tidal-channel systems in the Dutch Wadden Sea. *Geologie en Mijnbouw* 78, 21-30.
- Cleveringa, J., Mulder, S. Oost, A., 2004. Kustverdediging van de koppen van de Waddeneilanden. De dynamiek van de kust nabij buitendelta's en passende maatregelen voor het kustbeheer. Rapport RIKZ/2004.017.
- Dronkers, J., 1998. Morphodynamics of the Dutch delta. In: Dronkers, J. and Scheffers, M. (eds), *Physics of estuaries and coastal seas*, Rotterdam, Balkema, pp.297-304.
- Duijts, R.W., 2002. Tidal asymmetry in the Dutch Wadden Sea, a model study of morphodynamic equilibrium of tidal basins. Delft Cluster, Z2822.50.
- Elias, E.P.L., Stive, M.J.F., Bonekamp, J.G. en Roelvink, J.A., 2002. Morphodynamics at the Updrift side of inlets. *Proc. of the 28th ICCE*, Cardiff, Wales.
- Elias, E.P.L., Bonekamp, J.G., Stive, M.J.F., 2003. Decadal ebb tidal delta behavior. A response to large scale human interventions. *Proc. of Coastal Sediments*, Sint Petersburg, Florida (in preparation).
- Eysink, W.D., Dijkema, K.S., van Dobben, H.F., Slim, P.A., Smit, C.J., Sanders, M.E., Schouwenberg, E.P.A.G., Wietsz, J. & De Vlas, J., 2000. Samenvatting monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost: evaluatie na 13 jaar gaswinning.
- Gerritsen, F., 2000. Response time scales for Dutch Wadden Sea. 46 pag.
- Grolle, L., 2001. Hydrologische en Morfologische Ontwikkeling Platen en Geulen Balgzand. Van verleden tot toekomst?. Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) werkdokument.
- Goor, M.A. van, 2001. Influence of Relative Sea-level Rise on Coastal Inlets and Tidal Basins. WL I Delft Hydraulics/Delft Cluster, Report Z2822/DC03.01.03a.
- Goor, M.A. van, Stive, M.J.F., Wang, Z.B., en Zitman, T.J., 2001. Influence of Relative Sea-level Rise on Coastal Inlets and Tidal Basins. *Proc. 4th Conference on Coastal Dynamics*, ASCE, Lund, Sweden, 2001, pp. 242-252.
- Goor, M.A. van, T.J. Zitman, Z.B.Wang, & M.J.F. Stive, 2003. Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets. *Marine Geology* 202, pp. 211-227.
- Hibma, A., 2004. Morphodynamic modelling of estuarine channel-shoal systems. Doctoral thesis, Delft University of Technology.
- Israël, C.G., 1998. Morfologische ontwikkeling Ameland-Zeegat. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdokument RIKZ/OS-98.147x, 32 pag., 11 bijlagen.

-
- Israël, C.G., en A.P. Oost, 2001. Strandhaakontwikkeling op de koppen van de Waddeneilanden. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/2001.116x, 27 pag., 1 appendix en 12 bijlagen.
- Jeuken, M.C.J.L., Z.B. Wang, D. Keiller, I. Townend & G.A. Liek, 2003. Morphological response of estuaries to nodal tide variation. In: Proc. Int. Conf. Estuaries and Coasts, Hangzhou, China, pp. 166-173.
- Kersten, M., 2003. Effecten van sedimentatie en erosie op de hoogteligging van het wad onder Oost-Ameland - Tussentijdse rapportage tot en met maart 2003.
- Kragtwijk, N.G., 2001. Aggregated scale modelling of tidal inlets of the Wadden Sea. WL I Delft Hydraulics/Delft Cluster, Report Z2822/DC03.01.03a.
- Kragtwijk, N., T.J. Zitman, M.J.F. Stive & Z.B. Wang, 2004. Morphological respons of tidal basins to human interventions. Coastal Engineering 51, pp 207-221.
- Louters, T., en Gerritsen, F., 1994. Het Mysterie van de Wadden: Hoe een Getijdesysteem Inspeelt op Zeespiegelstijging. Rapport RIKZ -94.040, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 70 pp.
- Van de Kreeke, J. and J. Dunsbergen, D.W., 2000. Tidal asymmetry and sediment transport in Friesian Inlet. In: Yanagi, T. (Ed.), Interaction between estuaries, Coastal Seas and Shelf seas, Terra Scientific publishing company, Tokyo.
- Van Ledden, M., 2003. Sand-mud segregation in estuaries and tidal basins Doctoral thesis, Delft University of Technology.
- Van der Molen, J. & de Swart, H.E., 2001. Holocene tidal conditions and tide-induced sand transport in the southern North Sea. Journal of Geop. Res., 106, C5, 9339-9362.
- Van der Molen, J., 2002. The influence of tides, wind and waves on the net sand transport in the North Sea. Cont. Shelf Res., 22, 2739-2762.
- Mulder, J.P.M., 2000. Zandverliezen in het Nederlandse kustsysteem. Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ/2000.36, 54 pag.
- NAM, 2001. Actualisatie MER proefboring Noordzeekustzone. Rapport Milieu-effectstudie winning Moddergat, Lauwersoog.
- Nortier, R-J., 2004. Morphodynamics of the Lister Tief tidal basin. Report Z2839, WL I Delft Hydraulics.
- Oost, A.P. & de Haas, H., 1992. Het Friesche Zeegat. Morfologisch-sedimentologische veranderingen in de periode 1970-1987. Deel 1 & 2. Rapport Coastal Genesis, Univ. Utrecht, Aardwetenschappen, 68 pp.
- Oost, A.P. & de Haas, H., 1993. Het Friesche Zeegat. Morfologisch-sedimentologische veranderingen in de periode 1927-1970. Deel 1 & 2. Rapport Coastal Genesis, Univ. Utrecht, Aardwetenschappen, 83 pp.
- Oost, A.P., 1995. Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet; a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas and drainage basins. Proefschrift U. Utrecht, Geologica Ultraiectina, 126, 518 pp.
-

Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J., Verburgh, J.J., 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.

Oost, A.P., Israël, C.G. en D.W. Dunsbergen, 2000. Kusterosie van noordwest Ameland: ontwikkelingen op verschillende tijdschalen. Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ/2000.057, 38 pag., 4 tab. en 18 figuren.

Oost, A.P. & P.A.H. Kleine Punte, 2003. Autonome morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee. Concept rapport RIKZ (versie 31 juli 2003), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 91 pp.

Schoorl, H., 1999a(+). De Convexe Kustboog, deel 1, het westelijk Waddengebied en het eiland Texel tot circa 1550. pp. 1-187.

Schoorl, H., 1999b(+). De Convexe Kustboog, deel 2, het westelijk Waddengebied en het eiland Texel vanaf circa 1550. pp. 188-521.

Schoorl, H., 2000a(+). De Convexe Kustboog, deel 3, de convexe kustboog en het eiland Vlieland. pp. 522-707.

Schoorl, H., 2000b(+). De Convexe Kustboog, deel 4, de convexe kustboog en het eiland Terschelling. pp. 708-962.

Schuttelaars, H.M. and H.E. De Swart, 1996. An idealized long-term morphologic model of a tidal embayment. *Eur. J. Mech. B*, 15, 55-80.

Schuttelaars, H.M. and H.E. De Swart, 2000. Multiple morphodynamic equilibria in tidal embayments. *J. of Geophysical Res.* Vol.105, No. C10, 24,105-24,118.

Sha, L.P., 1992. Geological Research in the Ebb-tidal delta of "Het Friesche Zeegat", Wadden Sea, The Netherlands. State Geol. Survey-Proj. 40010: 20 pp.

Snijders, G.H. en L.A. Uit den Bogaard, 2003. Kustlijnkaarten 2003. Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ-2003.021, 27 pag. en 2 bijlagen.

Stive, M.J.F., Capobianco, M., Wang, Z.B., Ruol, P., Buijsman, M.C., 1998. Morphodynamics of a tidal lagoon and the adjacent coast. In: J. Dronkers and M. Scheffers (eds.), *Physics of estuaries and coastal seas*, Balkema, Rotterdam, p. 397-407.

Tanczos, I.C., 1996. Selective transport phenomena in coastal sands. Proefschrift, RU Groningen, 184 pp.

Vlas, J. de en J. Marquenie, 2003. The impact of subsidence and sea level rise in the Wadden sea: prediction and field verification.

Walburg, L., 2001. De zandbalans van het Zeegat van Texel, bepaald met verschillende buitendelta-definities. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument, RIKZ/OS/2001.136x, 46 pag. en 1 bijlage.

Stive, M.J.F. & Z.B. Wang, 2003. Morphodynamic modeling of tidal basins and coastal inlets. In: *Advances in coastal modelling*, V.C. Lakhan (ed.), Elsevier Oceanography Series, 67, Amsterdam-Boston etc. pp.367-392.

Wang, Z.B. & van der Weck, A., 2002. Sea-level rise and Morphological development in the Wadden Sea, a desk study. Report Z3441, WL I Delft Hydraulics.

Wang, Z.B., M.C.J.L. Jeuken, H. Gerritsen, H.J. De Vriend en B.A. Kornman, 2002. Morphology and asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary. *Continental Shelf Research* 22 (2002), 2599-2609.

Wang, Z.B., M.C.J.L. Jeuken & B.A. Kornman, 2003. A model for predicting dredging requirement in the Westerschelde. In: *Proc. Int. Conf. Estuaries and Coasts*, Hangzhou, China, pp. 429-435.

Bijlage 1.3 Bodemdaling in het Eems-Dollardgebied in relatie tot de morfologische ontwikkeling

H. Mulder, RIKZ, juni 2004

Inleiding

Over de bodemdaling door gaswinning in relatie tot de morfologische ontwikkeling van het Eems-Dollard-gebied is weinig bekend. Er is geen onderzoek bekend dat specifiek hierop is gericht. Wel kunnen we beschikken over resultaten uit ander onderzoek die bruikbaar zijn om dit onderwerp te verkennen. Door Mulder³ is een sedimentbalans gemaakt voor het Eems-Dollardgebied voor de periode 1985-1990 waarbij als onderdeel de bodemdaling door gaswinning is berekend. De gegevens over sedimentatie zijn beschikbaar voor deelgebieden volgens morfologische eenheden (geul, plaat, slik, kwelder, haven). Verondersteld mag worden dat indien bodemdaling wordt gecompenseerd door sedimentatie, de sedimentatie op een plek met een relatief grote bodemdaling relatief groot moet zijn. Aan de hand van de beschikbare gegevens wordt nagegaan in hoeverre dit het geval is.

Methode en gegevens

De sedimentatie wordt gemeten over een bepaalde periode door herhaalde dieptelodingen. Als in die periode de bodemligging beïnvloed is door niet natuurlijke processen dan dient de gemeten sedimentatie hiervoor gecorrigeerd te worden. Wat men overhoudt is dan de natuurlijke sedimentatie, d.w.z. de sedimentatie die het gevolg is van het sedimenttransport in het water, aangedreven door de stroming. Voor erosie geldt hetzelfde, omdat erosie opgevat kan worden als negatieve sedimentatie.

Voor de balans van het Eems-Dollardgebied is de natuurlijke sedimentatie bepaald door de formule:

$$\text{natuurlijke sedimentatie} = \text{gemeten sedimentatie} - \text{kunstmatige sedimentatie}$$

waarin:

$$\text{kunstmatige sedimentatie} = \text{sedimentatie door storten van baggerspecie} - \text{erosie door baggeren} - \text{bodemdaling door gaswinning}$$

Om de gemeten sedimentatie met de kunstmatige sedimentatie te kunnen verrekenen moeten we werken met massaverschillen i.p.v. diepteverschillen (een gemeten m³ baggerspecie heeft niet hetzelfde gewicht als een m³ natuurlijke bodem).

De hier gebruikte gegevens zijn afkomstig van de sedimentbalans voor het Eems-Dollardgebied voor de periode 1985-1990. Het estuarium is daarbij opgedeeld in deelgebieden volgens morfologische eenheden (platen, slikken,

³ Mulder, H.P.J., 1996. Sedimentbalans Eems-Dollard: een tweedimensionale rekenmethode. Een zand- en slibbalans voor de periode 1985-1990 met het Invers Sediment Transport Model. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, rapport RIKZ-96.013.

geulen, kwelders, havens). De natuurlijke sedimentatie en bodemdaling zijn bepaald per deelgebied. Om deze deelgebieden te kunnen vergelijken en de invloed van de grootte van het gebied uit te schakelen, is de sedimentatie of erosie uitgedrukt per eenheid van oppervlakte en wel in kg/m²/jr (zie tabel B.1.3.1).

De natuurlijke sedimentatie wordt in het Eems-Dollardgebied sterk beïnvloed door het baggeren. Hierdoor hebben bepaalde gebieden, m.n. bepaalde geulen en havens, een grote natuurlijke sedimentatie, waardoor de eventuele compensatie van bodemdaling niet merkbaar is. Bij de analyse wordt hier rekening mee gehouden door de deelgebieden in groepen in te delen. Ook vanwege de ecologische aspecten van bodemdaling worden de deelgebieden in groepen ingedeeld. Naast een groep met alle deelgebieden, maar exclusief de havens, worden ook de groep van kwelders, de groep platen en slikken en de groep kwelders beschouwd. Gebied nr. 15 (slik) bevat veel baggerwerk en is daarom niet meegenomen in de analyse met slikken.

Tabel B.1.3.1

Gegevens sedimentbalans Eems-Dollard
per deelgebied voor de periode 1985-
1990

Naam en type morfologische eenheid	Oppervlakte [km ²]	Hoeveelheid gehele deelgebied					Hoeveelheid per m ²		
		Gemeten Sed. [kton/jr]	Bodemdaling [kton/jr]	Baggeren [kton/jr]	Storten [kton/jr]	Natuurlijke Sed. [kton/jr]	Gemeten Sed. [kg/m ² /jr]	Bodemdaling [kg/m ² /jr]	Natuurlijke Sed. [kg/m ² /jr]
1 Zeewaarts van Rottum-Borkum -	24,18	-1265,0	0,0	139,7	40,6	-1165,9	-52,32	0,00	-48,22
2 Randzelgat geul	28,43	-2349,0	18,4	82,5	3,4	-2251,5	-82,62	0,65	-79,19
3 Doekgat - Oude Westereems geul	56,67	4815,0	138,3	152,4	110,2	4995,5	84,97	2,44	88,15
4 Randzel plaat/wad	40,61	-189,0	9,5	0,0	0,1	-179,6	-4,65	0,23	-4,42
5 Wantij Sparregat plaat/wad	22,35	79,2	8,6	0,0	0,0	87,8	3,54	0,38	3,93
6 Meeuwenstaart geul/dremp	7,35	-1186,0	5,2	0,0	0,0	-1180,8	-161,47	0,71	-160,76
7 Uithuizerwad/Ra plaat/wad	30,76	-15,9	77,3	1,3	0,0	62,7	-0,52	2,51	2,04
8 Westerbalje (deels) plaat/wad	12,02	-109,4	0,0	0,0	0,0	-109,4	-9,10	0,00	-9,10
9 Eemshorn geul/ondiep	49,35	3141,0	41,3	0,0	3,1	3179,2	63,65	0,84	64,42
10 Oost Friesche Gaatje (Noord) geul	11,22	-665,7	23,2	0,0	12,1	-654,6	-59,33	2,07	-58,34
11 Rysumer en Manslagter Nacken slik	11,16	-336,7	8,0	0,0	0,0	-328,7	-30,17	0,72	-29,45
12 Groninger kwelder kwelder	4,46	16,8	7,9	0,0	0,0	24,6	3,76	1,77	5,52
13 Doekgatplaat geul/dremp	2,33	401,3	6,5	0,0	2,7	405,1	172,38	2,78	174,00
14 Eemshaven haven	1,72	-6,6	4,4	213,4	6,4	204,8	-3,87	2,53	119,18
15 slik zuid-oost van Eemshaven slik	0,63	8,8	2,8	24,0	2,2	33,4	14,01	4,42	53,20
16 slik Bocht van Watum slik	3,29	142,5	17,4	3,4	21,4	141,9	43,34	5,28	43,15
17 Bocht van Watum geul	12,83	755,2	57,5	14,4	53,3	773,8	58,86	4,48	60,31
18 Hond-Paap plaat	28,57	160,8	149,0	0,0	73,2	236,6	5,63	5,22	8,28
19 Oost Friesche Gaatje - Gaatje geul	39,72	-1417,0	135,4	642,0	40,1	-679,7	-35,67	3,41	-17,11
20 Haven van Emden haven	0,41	0,0	0,0	626,6	0,0	626,6	0,00	0,00	1547,16
21 Knockster Wad slik	1,52	-12,6	1,5	0,0	0,0	-11,1	-8,27	0,97	-7,30
22 Emden Vaarwater geul	6,96	-682,3	2,3	1152,0	0,0	472,0	-98,06	0,33	67,83
23 Haven van Delfzijl haven	2,88	14,0	8,4	533,5	0,0	555,9	4,88	2,90	193,35
24 Geise plaat	14,99	-181,3	1,9	0,0	0,0	-179,4	-12,09	0,13	-11,97
25 Groote Gat geul	13,18	-10,2	10,7	0,0	18,4	-17,9	-0,77	0,81	-1,36
26 Hohesand - Maanplaat plaat	17,36	-166,7	0,2	0,0	0,0	-166,5	-9,60	0,01	-9,59
27 slik bij Termunten slik	2,31	-17,5	5,6	0,0	32,0	-43,8	-7,58	2,44	-18,99
28 Heringsplaat plaat	13,18	-240,8	8,9	0,0	0,0	-231,9	-18,27	0,67	-17,60
29 Kerkeriet geul	1,43	-68,8	1,9	0,0	0,0	-66,8	-47,98	1,34	-46,64
30 plaat oostelijk van Kerkeriet plaat	1,96	-93,2	2,5	0,0	0,0	-90,7	-47,66	1,26	-46,40
31 kwelders Dollard Duitsland kwelder	1,85	8,6	0,0	0,0	0,0	8,6	4,66	0,00	4,66
32 Reiderplaat - De Laagte slik	12,15	-140,6	11,7	0,0	0,0	-128,9	-11,57	0,96	-10,61
33 Oost Friesche plaat - slik	18,95	48,7	1,9	0,0	0,0	50,6	2,57	0,10	2,67
34 kwelders Dollard Nederland kwelder	6,22	31,9	2,7	0,0	0,0	34,6	5,14	0,44	5,58

Resultaat en discussie

In figuren B.1.3.1-B.1.3.4 is de natuurlijke sedimentatie weergegeven als functie van de bodemdaling, waarin de bodemdaling positief is weergegeven. Er is ruis in de natuurlijke sedimentatie door een meetfout in de diepte, die geschat wordt op ongeveer 5 tot 10 cm in het diepteverschil over 5 jaar. Globaal geldt: 1 kg/m²/jr komt overeen met ongeveer 1 mm/jr. De meetfout in de sedimentatie komt dan neer op 10 – 20 kg/m²/jr. De bodemdaling is voor alle deelgebieden kleiner dan deze meetfout. De natuurlijke sedimentatie varieert sterk per deelgebied maar is voor de intergetijdegebieden vaak van dezelfde grootte als de geschatte meetfout. Dit noopt tot voorzichtigheid bij de conclusies.

Volgens de hypothese moet er een positief verband zijn tussen de natuurlijke sedimentatie en de bodemdaling voor een zo groot mogelijk aantal deelgebieden (ook al hebben deze in dit geval een wisselende grootte). Volledige compensatie van de bodemdaling is door de meetfouten niet altijd aan te tonen, maar indien de natuurlijke sedimentatie (of erosie) zeer groot is t.o.v. de bodemdaling is dit wel aannemelijk.

De natuurlijke sedimentatie kan negatief zijn (i.e. natuurlijke erosie) indien bodemdaling plaatsvindt in een gebied waar op dat moment ook sprake is van erosie. In de Waddenzee en Eems-Dollard zijn bepaalde gebieden in bepaalde perioden namelijk onderhevig aan erosie of sedimentatie. Een negatieve sedimentatie betekent dus niet dat de bodemdaling hiervoor verantwoordelijk is.

Voor de groep met alle deelgebieden (excl. havens en nr 15; fig. B.1.3.1) varieert de natuurlijke sedimentatie van –150 tot + 150 kg/m²/jr terwijl de bodemdaling maximaal ca. 5 kg/m²/jr bedraagt. Volgens de regressielijn is de natuurlijke sedimentatie ca. 12 keer groter dan de bodemdaling. Deze trend is niet erg nauwkeurig maar de kans op een negatieve trend is klein (enkele procenten).

Voor de groep van platen, slikken en kwelders (fig. B.1.3.2) geldt eveneens een (significant) positieve trend, waarbij de natuurlijke sedimentatie 5 tot 6 maal groter is dan de bodemdaling. De trend wordt mogelijk wel beïnvloed door enkele uitschieters. Uitsluiting van de maximale en minimale sedimentatie levert een trend van 1,8 op, nog wel positief maar minder sterk. Zonder de kwelders (fig. B.1.3.3) is het beeld hetzelfde. In geulen is gemiddeld een grote sedimentatie aanwezig, terwijl op de platen en slikken gemiddeld een erosie aanwezig is (tabel B.1.3.1). Dit proces in de periode 1985-1990 kan niet gerelateerd worden aan de bodemdaling. Zo treedt in de geul de Bocht van Watum (deelgebied 17), waar de bodemdaling sterk aanwezig is, een zeer grote sedimentatie op, die hoofdzakelijk te maken heeft met een proces van verondieping dat al bijna een eeuw duurt. Ook erosie in gebieden met bodemdaling hoeft dus niet gerelateerd te zijn aan de bodemdaling en is dat waarschijnlijk ook niet, gezien de grote verschillen in grootte tussen bodemdaling en natuurlijke erosie/sedimentatie.

Voor alleen de kwelders (slechts 3 gebieden) is de trend positief, maar niet significant. Wel is de kweldersedimentatie significant veel groter dan de bodemdaling (factor 3 en 13 voor 2 punten met bodemdaling). Opgemerkt wordt dat de kweldersedimentatie tamelijk nauwkeurig gemeten is.

Uit alle figuren blijkt dat hoe groter de bodemdaling is des te groter is de natuurlijke sedimentatie. Het aantal punten in de analyse is echter beperkt, waardoor lokale processen c.q. uitschieters het beeld kunnen vertroebelen.

Conclusies

De natuurlijke sedimentatie (of erosie) is zeer groot t.o.v. de bodemdaling: factor 5 (intergetijdegebieden) tot 12 (alle gebieden) en 3 tot 10 op de kwelders. De natuurlijke dynamiek is dus veel groter dan de bodemdaling.

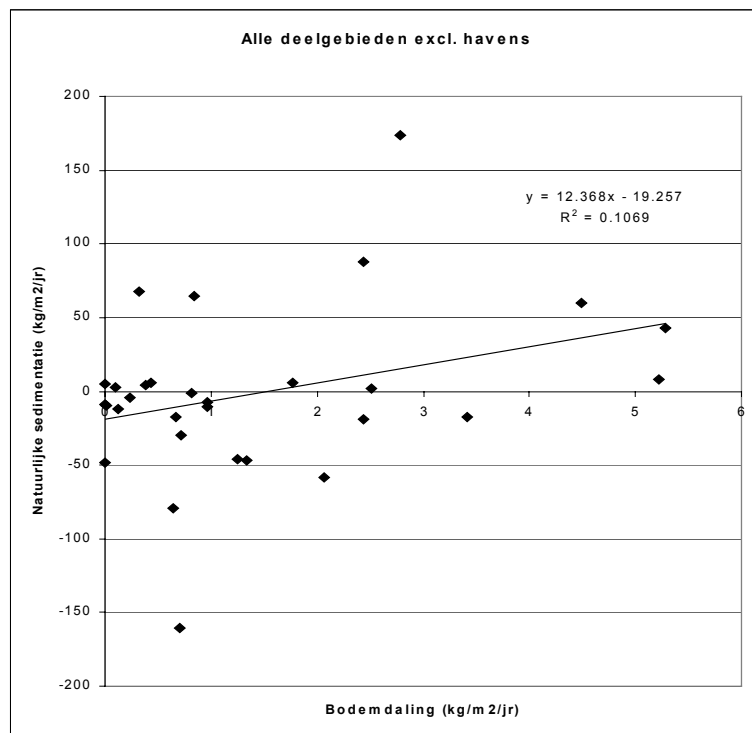
Ook blijkt uit de gegevens dat er geen aanleiding is om te veronderstellen dat bodemdaling niet gecompenseerd wordt. Integendeel, de positieve correlaties tussen natuurlijke sedimentatie en bodemdaling wijzen erop dat de bodemdaling waarschijnlijk volledig gecompenseerd wordt door de natuurlijke sedimentatie. Sedimentatie op de kwelders lijkt in het geheel niet afhankelijk te zijn van bodemdaling.

De conclusie is dan ook dat bodemdaling ondergeschikt is aan de natuurlijke dynamiek en volledige compensatie van bodemdaling door natuurlijke sedimentatie waarschijnlijk is. Wel zijn lodingen behept met een grote verticale onzekerheid, waardoor deze conclusie steviger onderbouwd zou kunnen worden indien er over meerdere perioden op een dergelijke wijze zou worden gekeken naar de effecten.

Aanbevolen wordt het onderzoek te verbeteren door de natuurlijke sedimentatie en bodemdaling te vergelijken op celniveau en over een veel langere periode, waarbij het gebied ingedeeld wordt in cellen van gelijke oppervlakte (maaswijdte ca. 100 m). Dit zou de basis voor de conclusie kunnen verstevigen.

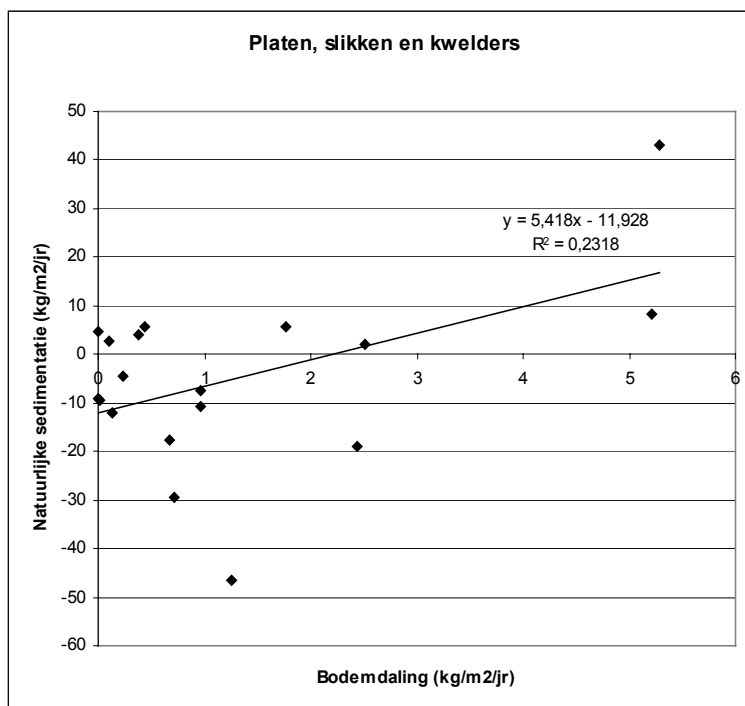
Figuur B.1.3.1

Alle deelgebieden, maar excl. de havens



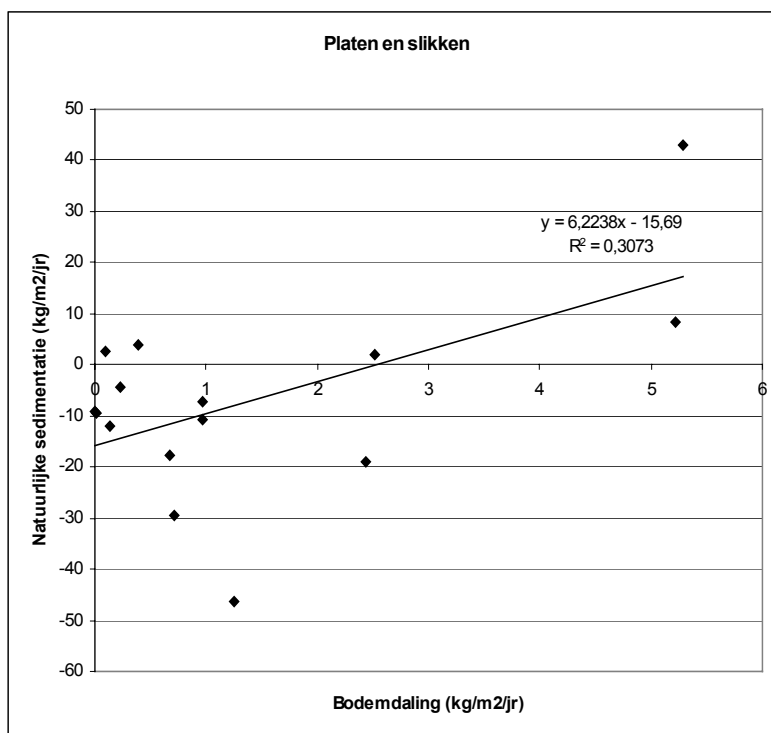
Figuur B.1.3.2

Alle platen, slikken en kwelders
(excl. nr. 15, zie tekst)

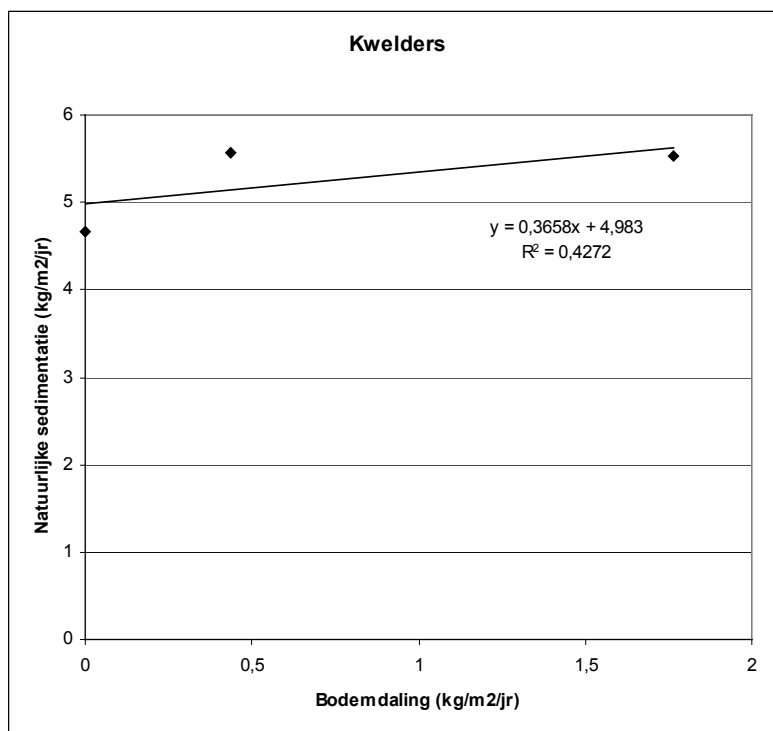


Figuur B.1.3.3

Alle platen, slikken (excl. nr. 15, zie tekst)



Figuur B.1.3.4
Kwelders



Bijlage 1.4 Hypsometrische curven kombergingsgebieden Waddenzee

H. Mulder, RIKZ, juni 2004

Op basis van de lodingsgegevens van de periode 1985-1990 en periode 1997-1992 zijn hypsometrische curven gemaakt. In de hypsometrische curven wordt de hoogte t.o.v. NAP weergegeven versus de natte oppervlakte. In onderstaande figuren zijn steeds per kombergingsgebied de 2 curven weergegeven voor hoogte tussen NAP-1,5 en +1,5 m, omdat deze zone ecologisch het meest interessant is. Er is geen correctie voor zeespiegelstijging toegepast (deze is ca. 2 cm over de beschouwde periode op basis van 18 cm/eeuw). Gemiddeld zit er ca. 11 jaar tussen de twee lodingen. De dieptemetingen zijn omgezet naar dieptecijfers in een rechthoekig rooster met cellen van 20 bij 20 m (standaardverwerking RWS). Voor de vergelijking van beide jaren is steeds gerekend met alleen die cellen waarin in beide jaren dieptegegevens aanwezig zijn. Gebieden met zgn. no-data (witte vlekken) in een van beide jaren zijn dus uitgesloten van de berekening. Dit kan tot enige, waarschijnlijk geringe, onnauwkeurigheid leiden in de Westelijke Waddenzee (zie witte vlekken in verschilkaart in deel 3 van dit rapport).

Voor bijna alle kombergingsgebieden is zowel een lichte sedimentatie van de platen waarneembaar als een vergroting van het plaatareaal. Duidelijke voorbeelden hiervan zijn het Vlie en het Eems-Dollard-gebied. Gedeeltelijke uitzonderingen hierop zijn het Eierlandse Gat (erosie middengedeelte), Pinkegat (erosie hoog gedeelte) en Zoutkamperlaag (afname plaatareaal).

In de periode waarover de curven gemaakt zijn vonden ook de gaswinningen van Zuidwal, Ameland en Groningen plaats. We kunnen op grond van de dynamiek van het systeem aannemen dat het effect van bodemdaling uitgesmeerd wordt over het gehele kombergingsgebied. Een duidelijke daling en afname van het intergetijdegebied voor het gehele kombergingsgebied is echter in de curven niet zichtbaar. Integendeel, de bodemdaling lijkt volledig gecompenseerd te worden.

Onderstaande tabel bevat getallen die afgeleid zijn uit de lodingsgegevens. Het betreft het (natte) volume en de oppervlakte t.o.v. het niveau NAP+1 m (ongeveer gelijk aan het gemiddelde hoog water niveau). De gemiddelde diepte blijkt dan met ongeveer 7 cm te zijn afgenomen; dat is bijna viermaal meer dan de zeespiegelstijging. Per kombergingsgebied treden wel verschillen op in verondieping. Er is echter geen rekening gehouden met verschuivende kombergingsgebiedsgrenzen, zodat voorzichtig met de cijfers per kombergingsgebied moet worden omgegaan.

Benadrukt wordt dat bovenstaande gegevens met onzekerheid omgeven zijn. De fout c.q. standaardafwijking in de gemeten gemiddelde diepte kan 3 tot 10 cm zijn. Hoe groter het gebied dat beschouwd wordt des te kleiner deze fout is. Houden we rekening met een fout van 5 cm voor de gehele Waddenzee dan is er een (kleine) kans aanwezig dat er erosie heeft plaatsgevonden in de gehele Waddenzee en dat de wadplaten gedaald zijn. Om hierover meer zekerheid te krijgen moet een langere periode met meer metingen beschouwd worden (incl. trendonderzoek).

Tabel B.1.4.1

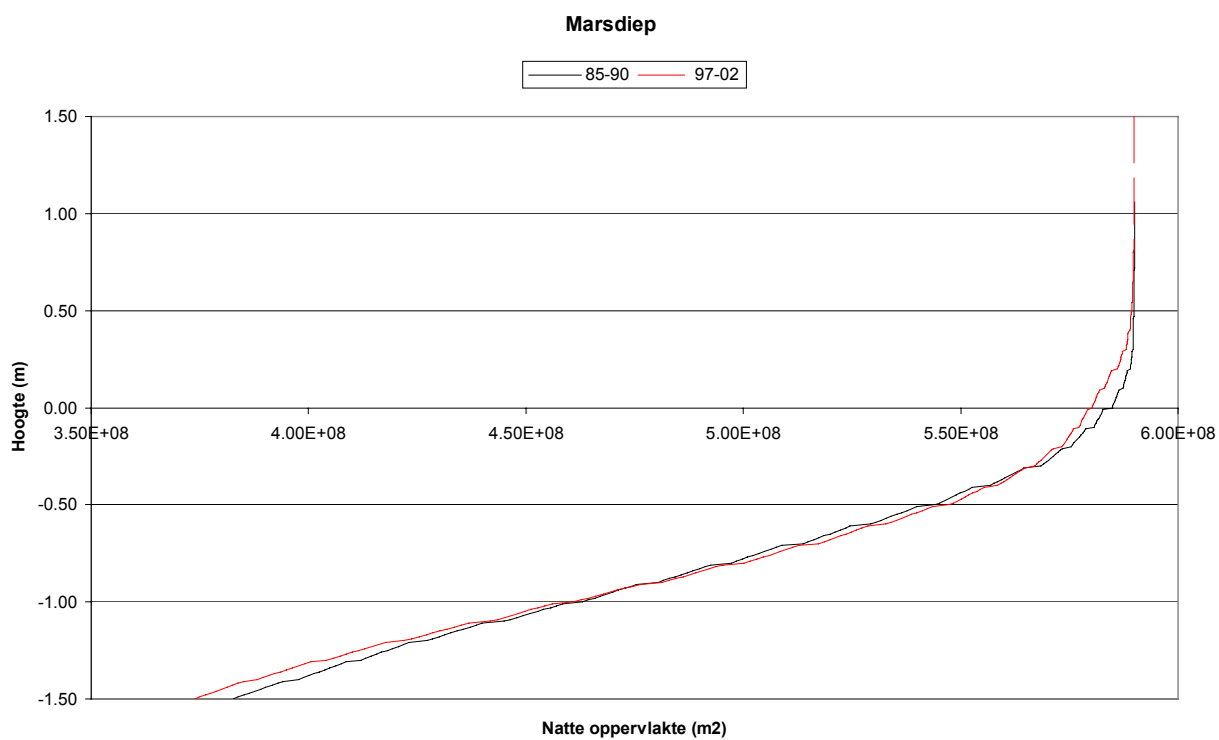
Inhoud, oppervlakte en gemiddelde diepte op basis van lodingsgevens (een negatief verschil in diepte betekent verondieping c.a. sedimentatie)

Gebied nr	naam	Inhoud onder NAP+1 m (m3)			Verschil	Per jaar	Periode	Opnamejaar (ca.)	
		85-90	97-02	Gemiddeld				85-90	97-02
1	Marsdiep	3207611291	3189494355	3198552823	-18116936	-1575386	11.5	1985.5	1997
2	Eierlandse Gat	375245460	372440076	373842768	-2805383	-233782	12	1987	1999
3	Vlie	2186297693	2111792920	2149045307	-74504773	-7450477	10	1988	1998
4	Borndiep	788081980	759084701	773583340	-28997280	-2899728	10	1989	1999
5	Pinkegat	105211393	104999136	105105264	-212257	-17688	12	1987	1999
6	Zoutkamperlaag	386018332	375043067	380530700	-10975266	-844251	13	1987	2000
7	Eilanderbalg	68959042	69261924	69110483	302882	27535	11	1989	2000
8	Lauwers	322166440	309194017	315680228	-12972423	-1179311	11	1989	2000
9	Schild	47333427	49190563	48261995	1857136	168831	11	1989	2000
10	Eems-Dollard	2311400258	2251605266	2281502762	-59794992	-5199565	11.5	1990	2001.5
Totaal		9798325317	9592106025	9695215671	-206219291	-19203823			
Totaal excl. Eems-Dollard		7486925058	7340500759	7413712909	-146424299	-14004258			
Totaal Friesche Zeegat		491229726	480042202	485635964	-11187523	-861939			

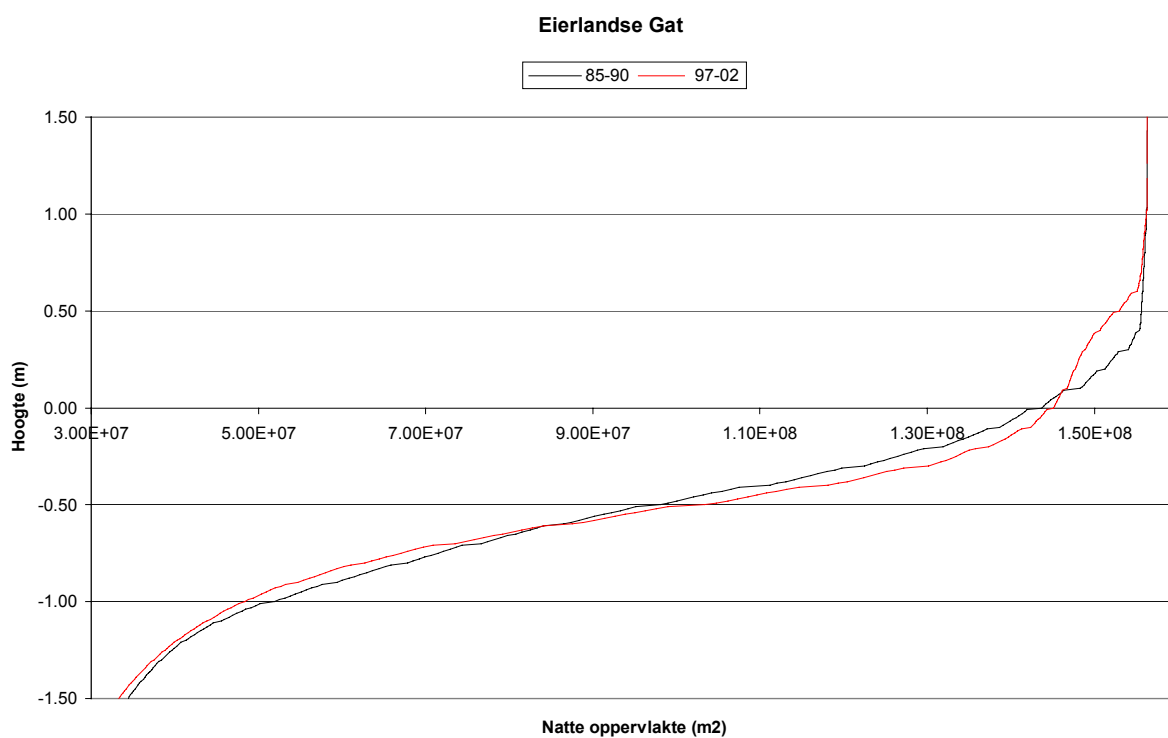
Gebied nr	naam	Oppervlakte op NAP+1 m (m2)			Verschil	Per jaar	Periode
		85-90	97-02	Gemiddeld			
1	Marsdiep	589965400	589890218	589927809	-75182	-6538	11.5
2	Eierlandse Gat	156239382	156234534	156236958	-4848	-404	12
3	Vlie	632964797	631294303	632129550	-1670494	-167049	10
4	Borndiep	270020012	269860480	269940246	-159532	-15953	10
5	Pinkegat	52872148	52934287	52903218	62139	5178	12
6	Zoutkamperlaag	127259312	127610566	127434939	351254	27020	13
7	Eilanderbalg	37728693	36769654	37249174	-959039	-87185	11
8	Lauwers	125742713	125311103	125526908	-431610	-39237	11
9	Schild	30353057	29434998	29894028	-918059	-83460	11
10	Eems-Dollard	434958253	434405848	434682051	-552405	-48035	11.5
Totaal		2458103767	2453745991	2455924879	-4357776	-415664	
Totaal excl. Eems-Dollard		2023145514	2019340143	2021242829	-3805371	-367629	
Totaal Friesche Zeegat		180131460	180544853	180338157	413393	32198	

Gebied nr	naam	Gemiddelde diepte t.o.v. NAP+1 m (m)			Verschil	Per jaar	Periode
		85-90	97-02	Gemiddeld			
1	Marsdiep	5.437	5.407	5.422	-0.03002	-0.00261	11.5
2	Eierlandse Gat	2.402	2.384	2.393	-0.01788	-0.00149	12
3	Vlie	3.454	3.345	3.400	-0.10888	-0.01089	10
4	Borndiep	2.919	2.813	2.866	-0.10573	-0.01057	10
5	Pinkegat	1.990	1.984	1.987	-0.00635	-0.00053	12
6	Zoutkamperlaag	3.033	2.939	2.986	-0.09436	-0.00726	13
7	Eilanderbalg	1.828	1.884	1.856	0.05591	0.00508	11
8	Lauwers	2.562	2.467	2.515	-0.09470	-0.00861	11
9	Schild	1.559	1.671	1.615	0.11173	0.01016	11
10	Eems-Dollard	5.314	5.183	5.249	-0.13089	-0.01138	11.5
Totaal		3.986	3.909	3.948	-0.07696		
Totaal excl. Eems-Dollard		3.701	3.635	3.668	-0.06554		
Totaal Friesche Zeegat		2.727	2.659	2.693	-0.06821		

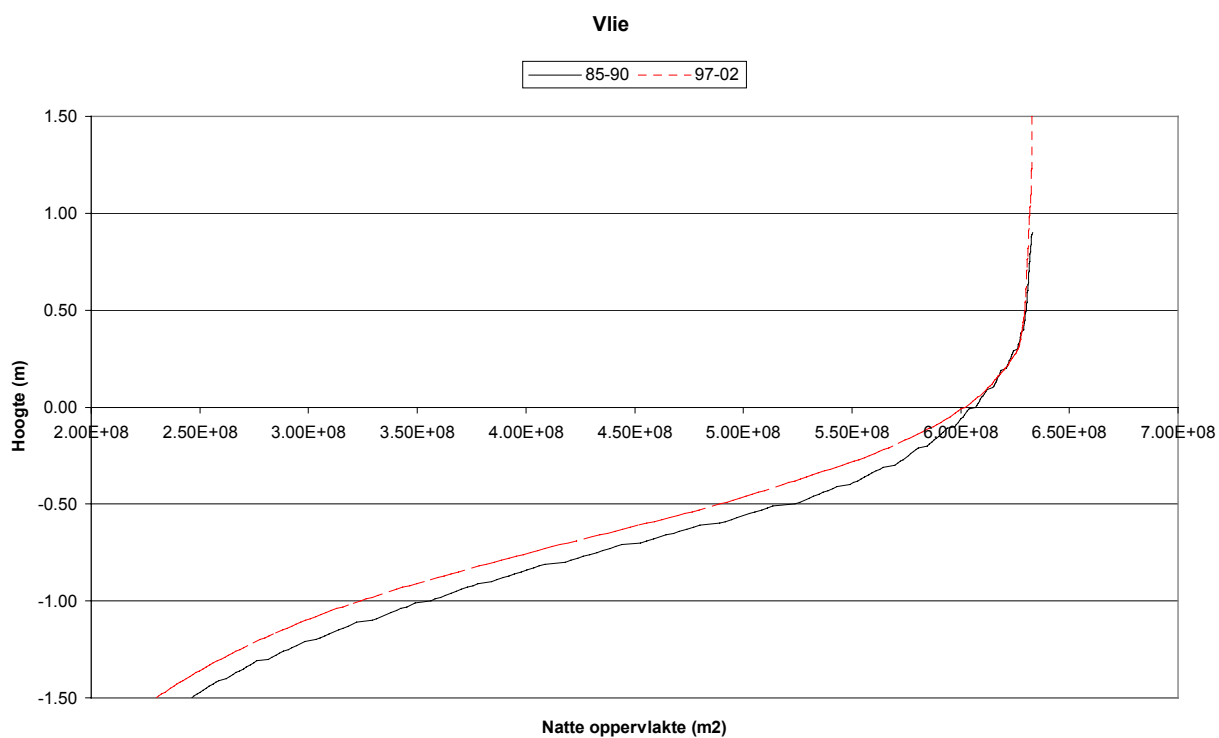
Figuur B.1.4.1
Kombergingsgebied 1



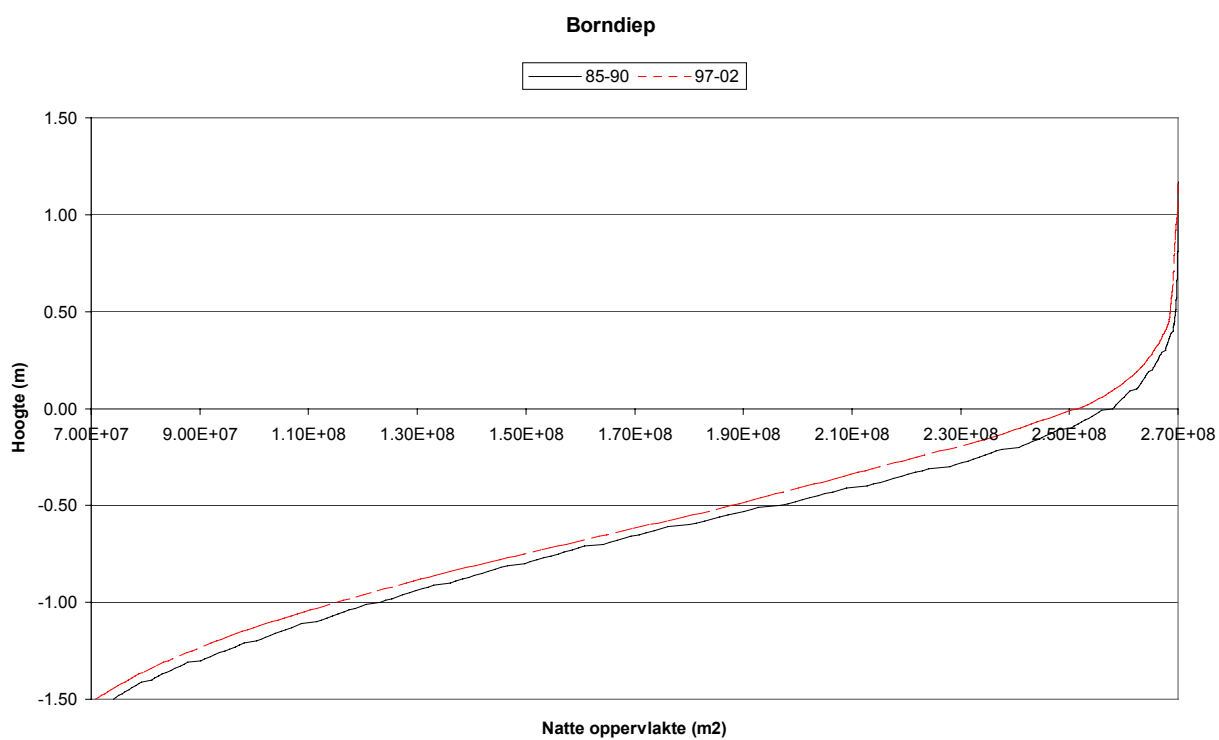
Figuur B.1.4.2
Kombergingsgebied 2



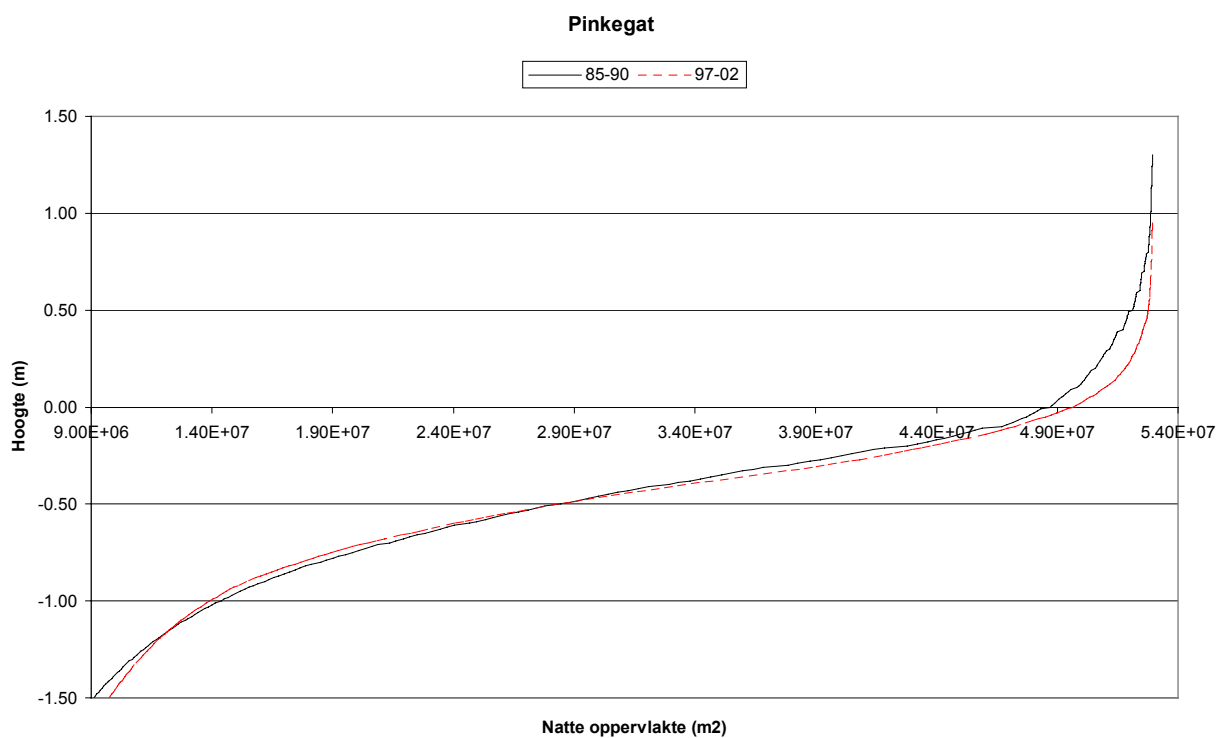
Figuur B.1.4.3
Kombergingsgebied 3



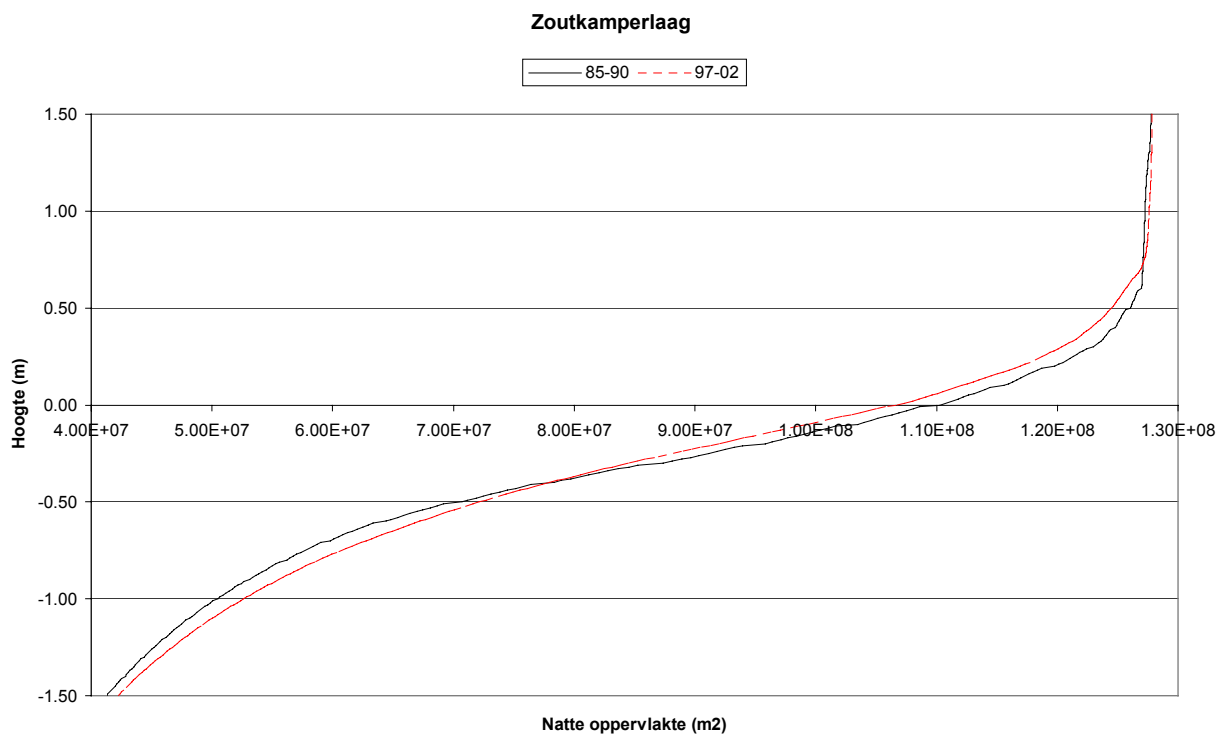
Figuur B.1.4.4
Kombergingsgebied 4



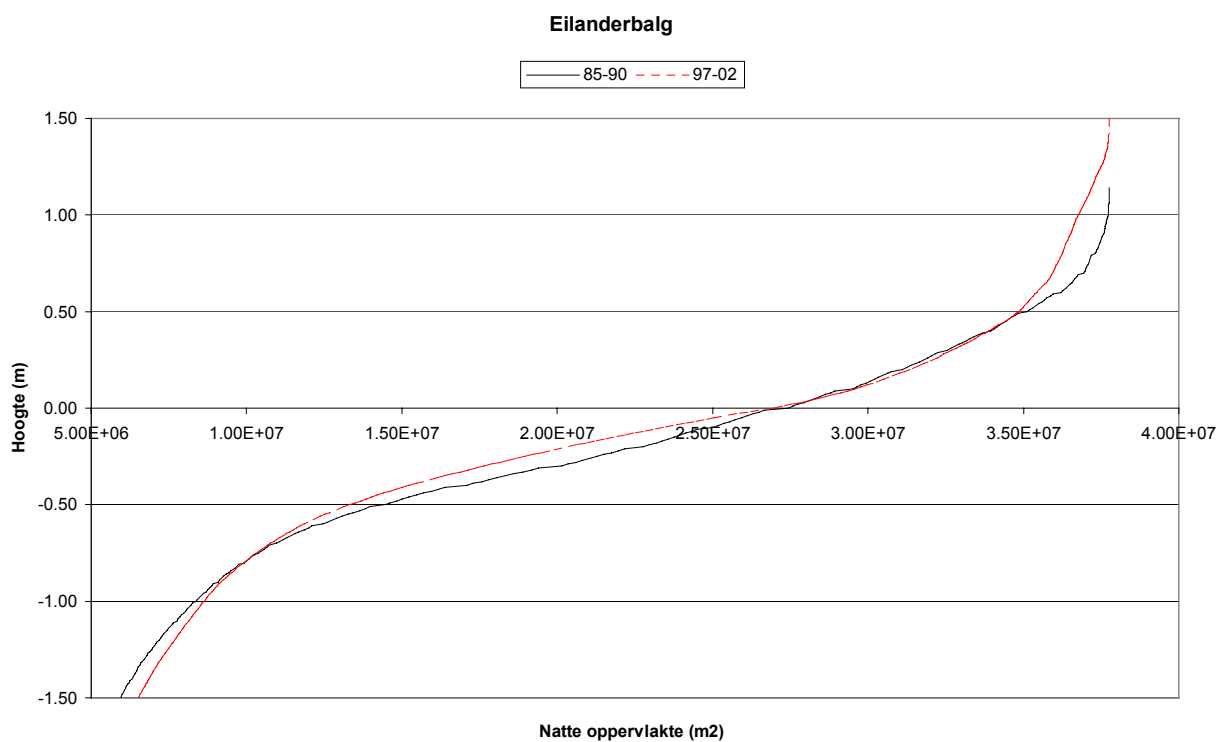
Figuur B.1.4.5
Kombergingsgebied 5



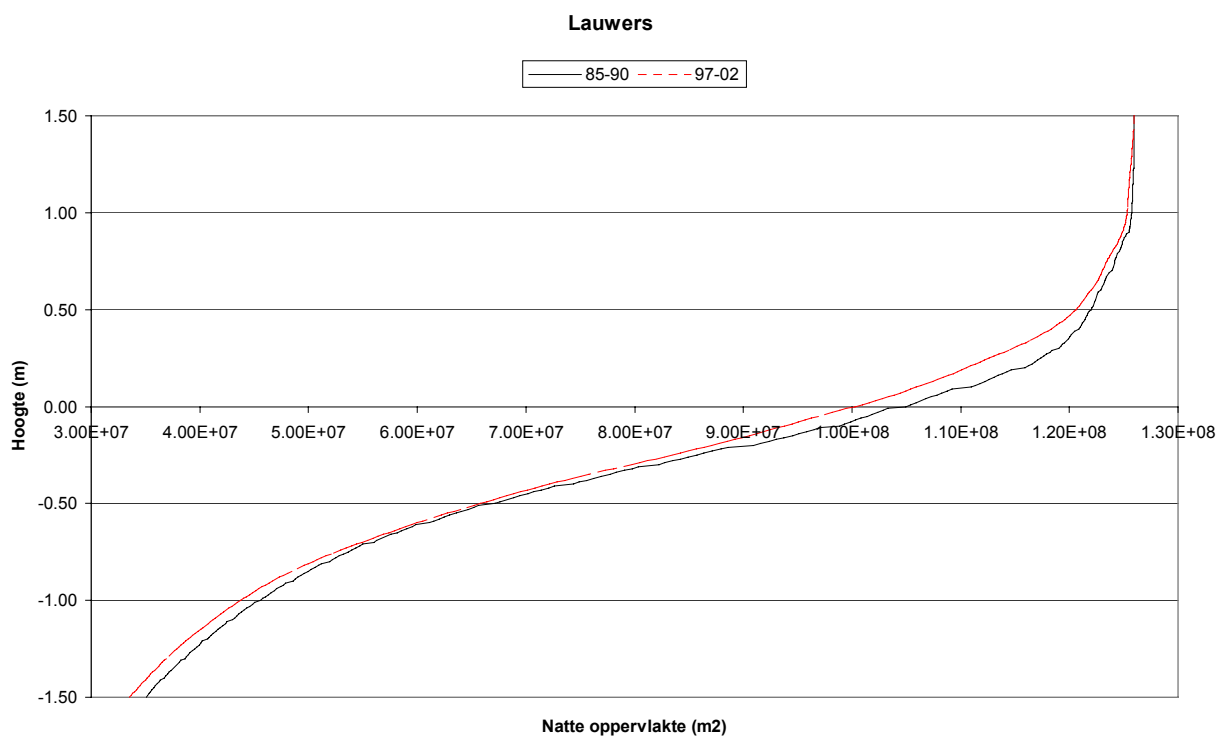
Figuur B.1.4.6
Kombergingsgebied 6



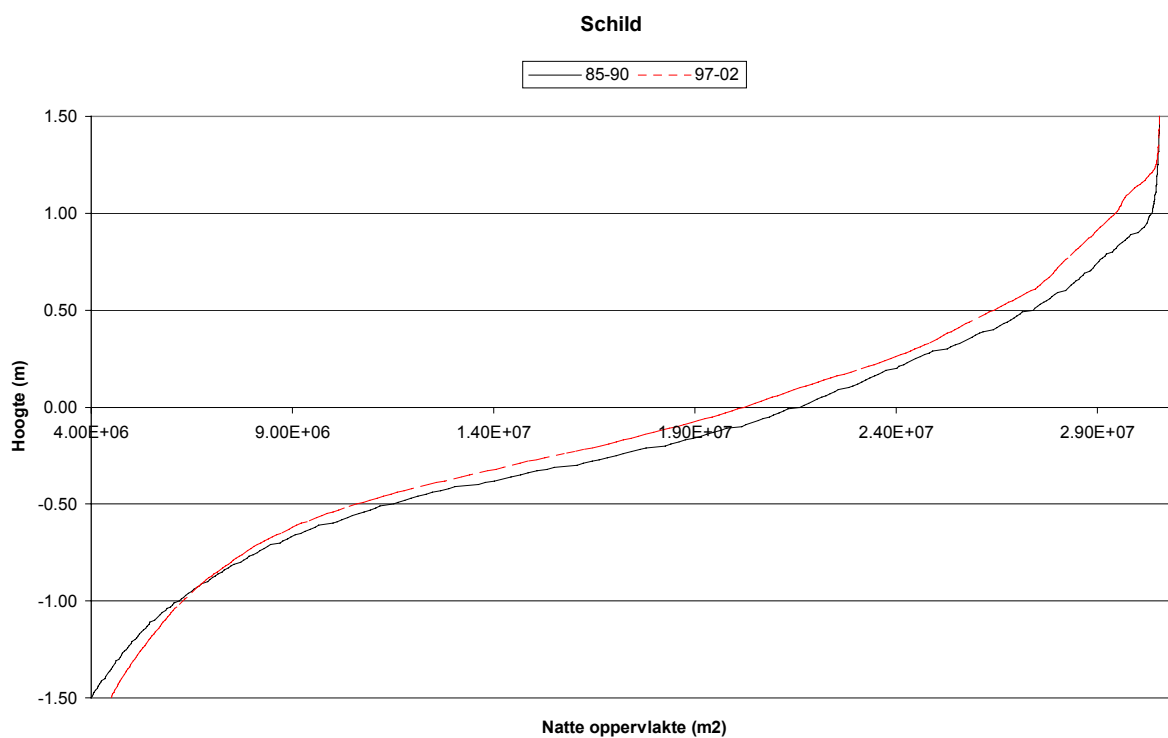
Figuur B.1.4.7
Kombergingsgebied 7



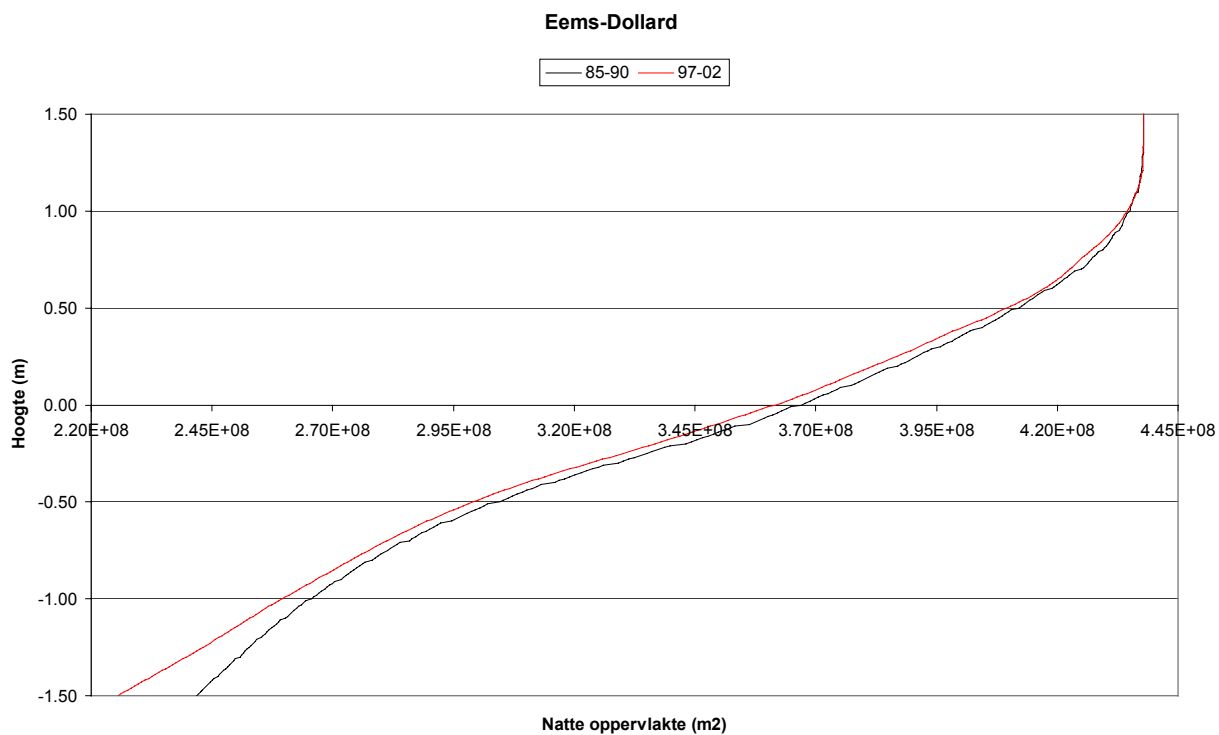
Figuur B.1.4.8
Kombergingsgebied 8



Figuur B.1.4.9
Kobergingsgebied 9



Figuur B.1.4.10
Kobergingsgebied 10



Bijlage 1.5 Effecten van het slib in suppletiezand

H. Mulder, RIKZ, juni 2004

Vraagstelling

Een van de onzekerheden uit 1999 betreft het punt:

"Gaswinning noodzaakt tot indirecte zandsuppletie als mitigerende maatregel. De vraag was aan de orde of de kwaliteit en kwantiteit van met name de platen behouden blijven. In zijn algemeenheid werden de effecten van bodemdaling op de kwelders als beperkt ingeschat."

In dit kader zijn vragen opgekomen over de effecten van de in het suppletiezand aanwezige slibfractie. Wat zijn de effecten van het slib in het suppletiezand op de troebelheid in de Waddenzee (en kustzone) en op de sedimentatie en sedimentsamenstelling in de Waddenzee?

Troebelheid is niet hetzelfde als het slibgehalte in de waterkolom maar staat er wel direct mee in verband. Hier wordt alleen ingegaan op de verandering in het slibgehalte. Eerst worden puntsgewijs enkele opmerkingen gemaakt over het proces van sedimenttransport in de Waddenzee dat voor de vraagstelling relevant is:

- De volgende termen zijn van belang: netto sedimentatie = netto import = bruto import – bruto export = bruto sedimentatie – bruto erosie. Netto erosie is negatieve netto sedimentatie, dus gelijk aan bruto erosie minus bruto sedimentatie.
- Door bodemdaling in de Waddenzee ontstaat sedimenthonger. Het extra sediment dat hiervoor nodig is wordt direct onttrokken uit de bruto transporten, met als gevolg dat de bruto export afneemt. Hierdoor ontstaat in de buitendelta en op de kust minder bruto sedimentatie. Dit heeft als gevolg dat de netto erosie toeneemt, omdat de bruto erosie niet beïnvloedt wordt. Voor de compensatie van de netto kusterosie zijn suppleties noodzakelijk uit het oogpunt van veiligheid.
- Extra bruto import van slib neemt per definitie alleen toe als het slibgehalte in de Noordzee toeneemt. Dit is mogelijk indien (1) door erosie van suppletiesediment er meer slib in de waterkolom komt dan door erosie van het reeds aanwezige sediment en (2) tijdens het suppleren het (fijne) slib direct in het water komt. In het eerste geval is het essentieel of suppletiezand, of beter suppletiesediment, meer slib bevat dan strandzand. Alleen het eerste zal leiden tot extra troebelheid.
- Een toename van het slibgehalte wordt gereduceerd door export en door sedimentatie. Bij de export speelt de verversingstijd van het water een rol. Oplading van het water met slib stopt als de export en sedimentatie in balans zijn met de aanvoer vanuit een bron (hier het suppletiesediment).
- Als de bruto import van slib toeneemt door extra concentratie dan neemt netto import niet met dezelfde hoeveelheid toe, omdat de bruto export ook een iets hogere concentratie heeft (er vindt geen volledige bezinking plaats van de extra bruto import).

- Door bodemdaling is vergroting van het kombergingsvolume van de Waddenzee mogelijk. Hierdoor neemt het getijdebiet toe en daardoor de transportcapaciteit van sediment. Het gevolg is een extra bruto import van sediment (zand en slib) en erosie van de geulen. De concentratie in de waterkolom neemt echter niet toe, omdat er sprake is van meer sediment in evenredig veel meer water.
- Een deel van de bruto import (bij vloed) en een deel van de bruto export (bij eb) zal ter compensatie van de bodemdaling sedimenteren. Hierdoor neemt de concentratie in de waterkolom lokaal af.
- Op de platen en in de geulen sedimenteert vooral het zand. Op de kwelders is er vooral slibsedimentatie. Het slibaandeel van het suppletiesediment is laag in vergelijking met dat in de bodem van de Waddenzee.

Berekeningsmethode

Kwantitatief kan een antwoord gegeven worden op de vraag in welke mate het slibgehalte toeneemt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een eenvoudige grootschalige benadering voor de slibbalans van een bepaald gebied. In formule:

$$V \cdot dc/dt = Q \cdot c_i - Q \cdot c + E - S$$

waarin: c = concentratie (kg/m³)

t = tijd (jr)

V = volume (m³)

Q = uitwisselingsdebiet (m³/jr)

c_i = concentratie inkomend water

E = slibbron (kg/jr)

$S = w_s \cdot A \cdot c$ = sedimentatie (kg/jr)

w_s = valsnelheid (m/jr)

$A = V/h$ = oppervlakte (m²)

h = diepte (m)

De oplossing van de vergelijking is:

$$c = (c_0 - p/q) \cdot \exp(-p \cdot t) + q/p$$

waarin: $c_0 = c$ op $t = 0$

$$p = Q/V + w_s/h \text{ en } q = Q/V \cdot c_i + E/V$$

De nieuwe evenwichtsconcentratie wordt bereikt op $t = \text{oneindig}$: $c = c_e = q/p$

N.B. de verhouding V/Q is de tijd waarin het gehele volume wordt ververst.

Toepassingen

Bovenstaande formules worden toegepast op drie gevallen. Eerst wordt ingegaan op het te suppleren sediment en op enkele andere uitgangspunten.

De hoeveelheid extra suppletiezand t.g.v. bodemdaling bedraagt 2 Mm³/jr (op basis van extra bodemdaling van 100 Mm³ in 50 jaar, zie Oost et al.,-1998).

Over het slibgehalte in het suppletie- en het strandzand is zeer weinig bekend. Van Dalssen en Essink (1997) geven voor de kust van Terschelling

slibpercentages van ca. 0,1 tot 0,9% in het suppletiegebied en ca. 0,1 tot 0,5% in een referentiegebied. Ook geven zij een slibpercentage voor een wingebied: deze waarden zijn ca 0,1% (moeilijk afleesbaar). Ten behoeve van een zandsuppletie voor Texel zijn in 2003 18 monster geanalyseerd (Unihorn, 2003). Het slibpercentage varieert van 0,7 tot 1,3%. Volgens de Sedimentatlas (RIKZ, 1998) varieert het slibpercentage in de kustzone sterk: van bijna 0 tot meer dan 10%. Gemiddeld voor de gehele kustzone is het slibpercentage berekend op 3,7% (door auteur dezes). Er moet echter rekening gehouden worden met een onnauwkeurigheid in dit percentage, omdat uit recent onderzoek (EVA-II, rapport G) naar voren is gekomen dat dit slibgehalte waarschijnlijk een factor 3 te hoog is bepaald. Correctie hiervoor levert een gemiddeld slibgehalte van 1,2%. Benadrukt wordt dat er variaties zitten in het slibpercentage waardoor het bovenstaande slechts als een redelijke indicatie beschouwd moet worden. Het slibpercentage in het suppletiezand en het kustgebied kunnen dus zowel positief als negatief verschillen. Gezien bovenstaande percentages tot ca. 1,3% wordt hier uitgegaan van worst case met 0,5% meer slib in suppletiezand dan in kustzand.

De droge dichtheid van zand is ca. 1,5 ton/m³. Voor een hoeveelheid van 2 Mm³/jr met 0,5% extra slib t.o.v. het reeds aanwezige zand is de extra hoeveelheid aangeboden slib 0,015 Mton/jr.

Er wordt bij de toepassingen alleen gerekend op jaarbasis. Wanneer het slib tijdens het suppleren in zee komt, vindt direct verspreiding plaats. Het effect is dan relatief groot qua gehalteverhoging, maar relatief kort van duur. Meestal wordt het zand als een zware vloeistof gesuppleerd, waarin de slibdeeltjes gevangen zitten. De verwachting is dan ook dat de directe lozing in zee verwaarloosbaar is.

De gehanteerde concentraties zijn geschat op basis van Maiwald en Verhagen (1991). De volumes, oppervlakten en dieptes op basis van analyse van recente lodingen (t.b.v. verschilkaart die in het kader van andere vragen in dit project is gemaakt). Verversingstijden zijn geschat op basis van gegevens in de Wadatlas (RIKZ, 1989).

a) Toepassing op de gehele kustzone van de Waddenzee

Uitgangspunten

Deze extra slibhoeveelheid wordt uitgesmeerd over de gehele kustzone. De oppervlakte van de kustzone wordt geschat op 2000 km², de gemiddelde diepte op 7,5 m en het volume op 15.10⁹ m³. De verversingstijd bedraagt 50 getijden c.q. 50/706 jaar. De sedimentatie van slib in de kustzone wordt op nul gesteld. De concentratie in de kustzone is 20 mg/l.

Resultaat

De nieuwe evenwichtsconcentratie neemt toe met 0,07 mg/l van 20 tot 20,1 mg/l: een toename van 0,37%. Deze toename werkt door in de Waddenzee, maar is bijzonder gering (niet meetbaar).

b) Toepassing op de gehele Waddenzee

Uitgangspunten

Al het extra slib komt rechtstreeks in de Waddenzee terecht, uitgesmeerd over de gehele Waddenzee. De kustzone wordt dus overgeslagen, hetgeen een maximaal effect heeft. De oppervlakte van de Waddenzee is 2000 km², de gemiddelde diepte 2,7 m en het volume 5,4.10⁹ m³. De verversingstijd bedraagt 50 getijden c.q. 50/706 jaar. De sedimentatie van slib is 2,4 Mton/jr (Salden en Mulder, 1996). De concentratie is 50 mg/l. Uit voorgaande gegevens wordt een valsnelheid berekend van 24 m/jr.

Resultaat

De nieuwe evenwichtsconcentratie neemt toe met 0,12 mg/l van 50 tot 50,1 mg/l: een toename van 0,24%.

c) Toepassing op één kombergingsgebied: het Friesche Zeegat

Uitgangspunten

Al het extra slib (zie bij a) komt rechtstreeks in het Friesche Zeegat terecht, uitgesmeerd over het Pinkegat en de Zoutkamperlaag (suppletie verdeeld over Ameland en Schiermonnikoog). De oppervlakte van dit gebied is 155 km², de diepte 2,0 m en het volume 0,31.10⁹ m³. Als verversingstijd is gekozen voor 25 getijden c.q. 25/706 jaar. De sedimentatie van slib is 0,19 Mton/jr (naar verhouding met oppervlakte). De concentratie is 50 mg/l. Uit voorgaande gegevens wordt een valsnelheid berekend van 24 m/jr (gelijk aan die bij b).

Resultaat

De nieuwe evenwichtsconcentratie neemt toe met 1,2 mg/l van 50 tot 51,2 mg/l: een toename van 2,4%. Procentueel gezien zou men deze toename significant kunnen noemen. Bedacht moet worden dat hier een zeer extreem geval berekend is. In werkelijkheid zal in de kustzone een verhoging optreden met uitstraling naar andere kombergingsgebieden. Het is dus waarschijnlijker dat de verhoging < 1 mg/l als effect overblijft.

Discussie en conclusie

Het bruto transport naar de Waddenzee wordt geschat op 30 tot 120 kton/getij (op basis van getijdebiet van ca. 3 Gm³/getij en concentratie van 10 tot 40 mg/l). Dit komt met 706 getijden per jaar overeen met 20 tot 80 Mton/jr (zie o.a. Salden en Mulder, 1996). De netto slibsedimentatie wordt geschat op 2,4 Mton/jr. T.o.v. deze hoeveelheden is de extra slibaanvoer door de extra suppletie, namelijk 0,015 Mton/jr, zeer gering te noemen. Bovenstaande berekeningen laten ook zien dat op grote schaal (kustzone, Waddenzee) het effect op de concentratie zeer gering is, ca. 0,1 mg/l verhoging. Een worst case benadering waarbij het effect zich concentreert op één kombergingsgebied geeft een verhoging van niet meer dan ca. 1 mg/l. Gezien de dynamiek in het slibgehalte is dit een zeer geringe verhoging.

Door de extra slibaanvoer zal er ook extra slib in de Waddenzee sedimenteren. Deze extra hoeveelheid is bij 100% bezinking maximaal $0,015/2,4 \cdot 100\% = 0,06\%$. In werkelijkheid is het minder, omdat de sedimentatie afhankelijk is van de concentratie, waarvan het percentage verhoging veel geringer is.

Indien suppleties leiden tot extra slibgehalte en troebelheid dan zou dit uit de zwevend-stof-monitoring in de Waddenzee moeten blijken. Voorzover bekend zijn hiervoor geen aanwijzingen.

Uit de hier uitgevoerde verkenning wordt geconcludeerd dat de effecten van het extra slib in suppletiezand zeer gering zijn en wegvallen in de natuurlijke dynamiek. Waarschijnlijk heeft het suppletiezand ongeveer hetzelfde slibgehalte als de kust, zodat helemaal geen netto effect verwacht mag worden. De effecten op troebelheid en sedimentsamenstelling zijn dus niet significant.

Literatuur

Dalfsen, van, J.A. en K. Essink, 1997. Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands. National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, report RIKZ-97.022.

Maiwald, K.D. en J.H.G. Verhagen, 1991. Trendanalyse van zwevend stof gegevens van de Waddenzee over de periode 1973-1990. Waterloopkundig Laboratorium, rapport T 753.

Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J., Verburgh, J.J., 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee, Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.

RIKZ, 1989. Wadatlas.

RIKZ, 1998. Sedimentatlas Waddenzee. CD-Rom.

Salden, R.M. en H.P.J. Mulder, 1996. De slibbalans voor de Nederlandse kustwateren onder invloed van slibonttrekking als gevolg van strengere kwaliteitstoetsing van baggerspecie. Werkdocument RIKZ/OS-96.116x.

Unihorn bv, 2003. Bepaling D50 zand afkomstig uit Noordzee. Ten behoeve van zandsuppletie Texel. Project 3517, in opdracht van Daalder Alkmaar bv.

Bijlage 1.6 Kwelders

J. de Vlas, RIKZ, juni 2004

Zowel de omvang van de kwelders in het Nederlandse waddengebied als hun vegetatie worden gemonitord. De kwelders van Ameland worden in het kader van de bodemdalingsstudie Ameland sinds 1987 zeer intensief onderzocht, zowel voor wat betreft hun hoogteligging als hun vegetatie. De vastelandskwelders langs de Groninger en Friese kust worden door Rijkswaterstaat en Alterra overal intensief gemonitord in het kader van het onderhoud van de kwelderwerken. De Friese kwelder bij Peasens-Moddergat wordt door Alterra gemonitord. Daardoor zijn zowel voor eiland- als vastelandskwelders gegevens beschikbaar over hun reactie op bodemdaling.

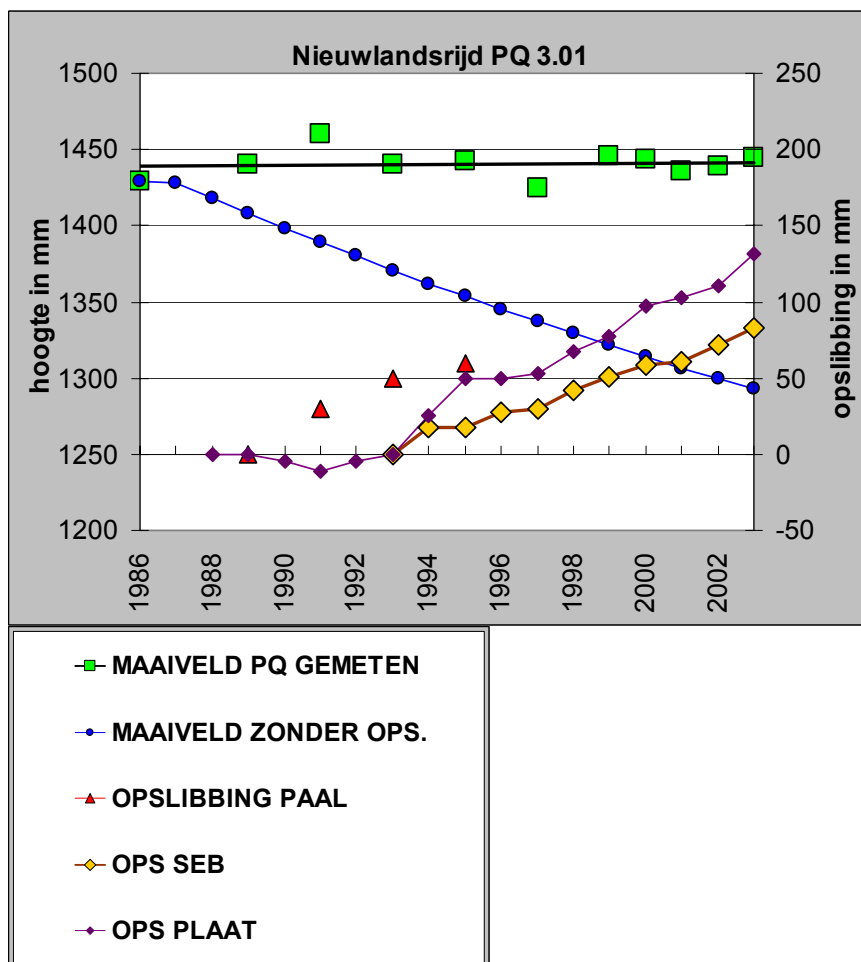
Kwelders op Ameland

Voor een uitgebreide beschrijving van de ontwikkelingen in de Amelandse kwelders wordt verwezen naar het rapport van de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland (Eysink et al. 2000 a). Sinds 2000 zijn de ontwikkelingen verder gemonitord. De nieuwste gegevens versterken de tot 2000 ontwikkelde inzichten.

Op Ameland zijn zowel de oudere kwelders van het Neerlandsreid en de relatief jonge kwelder van de Hon onderzocht. Ondanks de zeer grote bodemdaling die is opgetreden (tot 26 cm in 2003) zijn geen veranderingen in de vegetatie opgetreden die te relateren zijn aan bodemdaling. Voor een deel komt dat door opslibbing. Deze neemt toe naarmate een gebied vaker overstroomt, maar ook zonder bodemdaling vindt voortdurende opslibbing plaats. Op veel plekken dicht bij de kwelderrand en in de nabijheid van de kreken is de opslibbing voldoende geweest om de bodemdaling geheel te compenseren (Fig. B.1.6.1). Verder van de kwelderrand en verder van kreken was die compensatie niet volledig. Op enkele hoog gelegen plekken is een effectieve daling van 10-15 cm opgetreden, die pas in de loop van decennia zal worden gecompenseerd. Tegen de verwachting in heeft de vegetatie zich ook in die gebieden zonder veranderingen kunnen handhaven. De eenmaal gevestigde kweldervegetatie bleek dus tegen een daling bestand die veel meer is dan de grenswaarde van 5 cm die in de IBW (Oost et al. 1998) is gesteld.

Figuur B.1.6.1

Opslibbing op Ameland



Kwelders langs de vastelandskust

Inleiding

Langs grote delen van de Friese en Groninger vastelandkust zijn in de dertiger jaren van de vorige eeuw landaanwinningsswerken uitgevoerd. De werkzaamheden bestonden uit de aanleg van bezinkvelden die zijn omgeven door rijshoutdammen, en uit het graven van sloten en greppels om de hogere delen te ontwateren. Aan de landzijde heeft dat bijna overal geleid tot de vorming van kwelders, aan de wadzijde liggen nog steeds bezinkvelden. De bezinkvelden worden in stand gehouden om de achterliggende kwelders te beschermen tegen erosie. Aanvankelijk waren alle bezinkvelden 400 meter breed. Ze werden per 100 meter genummerd van west naar oost; nummer 1 begint bij Zwarte Haan in Friesland en nummer 511 ligt dicht bij de Eemshaven in Groningen. Op de meeste plekken bevinden zich aan de wadzijde van elk veld nog één of twee velden (met hetzelfde nummer als het veld dat langs de kust ligt). Het buitenste vak strekt zich dan uit tot op 800 of 1200 meter van de kust.

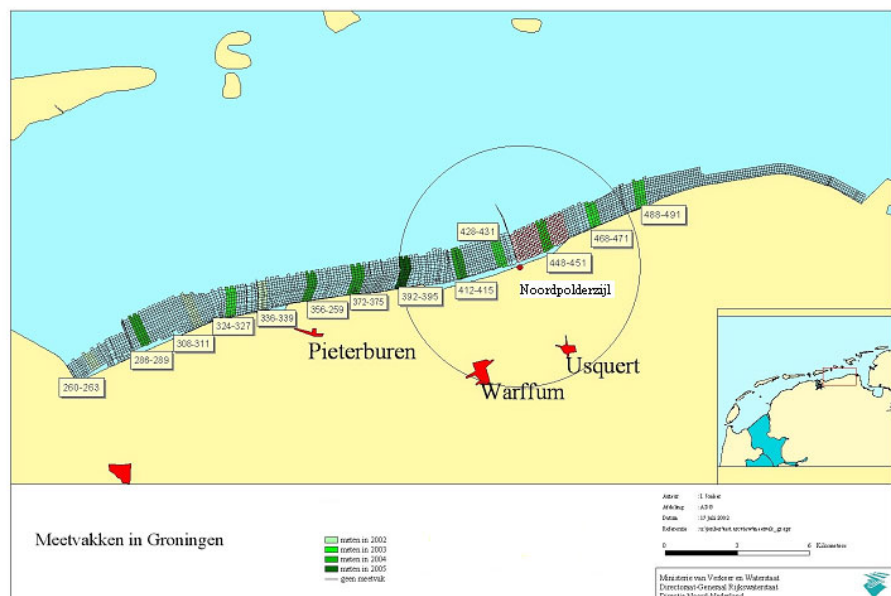
Om de vorderingen op het gebied van opslibbing en kwelder-aanwas bij te houden worden sinds 1960 door Rijkswaterstaat nauwkeurige waterpassingen uitgevoerd. Deze waterpassingen geven een zeer nauwkeurig en nuttig beeld van de hoogte ontwikkelingen langs de kust. Daardoor is het nu mogelijk om na te gaan of zich langs de kust bodemdalingskuilen hebben gevormd. De noordrand van deze vakken sluit direct aan op het wad, waar de hoogtegegevens worden verkregen door middel van lodingen vanaf een schip.

Methode

Zowel langs de Groninger als de Friese kust liggen in de kwelders zgn 'Meetvakken' waar elk jaar tot elk vierde jaar een hoogtemeting wordt uitgevoerd. Ongeveer om de 4 km ligt er zo'n meetvak (Fig. B.1.6.2 Meetvakken Groninger noordkust).

Figuur B.1.6.2

Meetvakken Groninger noordkust

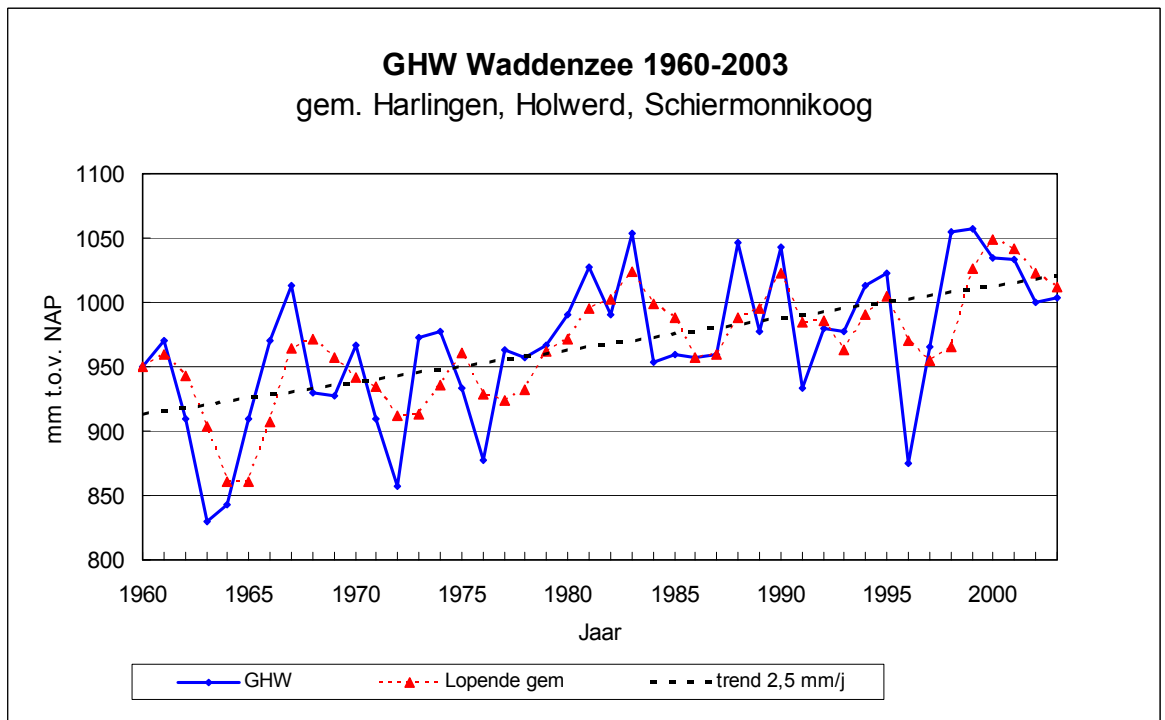


De waterpassingen worden uitgevoerd met behulp van de vaste meetpunten van het Rijksmeetnet. Ook in de provincie Groningen liggen zulke meetpunten, bestaand uit vaste merkpunten op diep gefundeerde palen of gebouwen. In gebieden met bodemdaling is de hoogte van deze punten niet constant, vandaar dat ze eens per 5 jaar worden geijkt en gecorrigeerd op metingen in gebieden waar geen bodemdaling is. De waterpassingen hebben een grote nauwkeurigheid; de onnauwkeurigheid in de gemiddelden per raai is slechts enkele mm.

De hoogteligging van de kwelderwerken wordt vooral gemonitord in verband met de mogelijke vegetatie-ontwikkelingen. De vegetatie-ontwikkelingen zijn vooral afhankelijk van de hoogte ten opzichte van het gemiddelde hoogwaterniveau. Vandaar dat beschikbare gegevens zijn gecorrigeerd voor de jaarlijkse verhoging van het gemiddelde hoogwaterniveau (Fig. B.1.6.3), namelijk 2,5 mm per jaar. Een 'gelijkblijvende' hoogte in de grafieken betekent dus in werkelijkheid een opslibbing van 2,5 mm, plus eventuele bodemdaling.

Figuur B.1.6.3

Schommelingen en stijging
hoogwaterniveau kwelderwerken
1960-2003



Deze resultaten worden vergeleken met de bodemdaling. Er is enige bodemdaling rond vak 145 (Blija, ongeveer 4 cm) en in Groningen is er vooral daling vanaf vak 390 (meer dan 8 cm). De grootste daling in Groningen was rond vak 470 en 490; de daling was daar rond 2003 ongeveer 12-16 cm.

Een derde deel van het gewaterpaste gebied bestaat inmiddels uit kwelders. Dat zijn gebieden die permanent begroeid zijn. Aan de wadzijde daarvan ligt een pionierzone. Daar staan ook al planten, maar voor een groot deel is dat Zeekraal dat 's winters weer afsterft, en losse pollen Engels slijkgras. Nog verder in de richting van het wad is de bodem onbegroeid en is sprake van een hooggelegen wadbodem. Deze verschillen zijn van belang voor de opslibbing. Vandaar dat de resultaten hieronder per zone apart besproken worden.

Resultaten

De resultaten van de meetvakken in de kwelderwerken worden hier besproken voor de jaren 1980-1990 en 1990-1999, waarin sprake was van zich voortzettende bodemdaling. Omdat de resultaten verschillen per zone worden Kwelderzone, Pionierzone en Wadzone apart besproken.

-
- a. De kwelderzone
In de kwelderzone is bijna overal sprake van netto hoogtetoename ten opzichte van het hoogwaterniveau, op enkele plaatsen houdt de bodemhoogte het hoogwaterniveau ongeveer bij. Dat betekent dat overal bruto opslibbing plaats vindt, waarbij minimaal en de stijging van het hoogwaterniveau en de eventuele bodemdaling wordt gecompenseerd door extra opslibbing. Dit komt overeen met de waarnemingen van Dijkema (Dijkema, 1997, Dijkema, et al 2001) dat vastelandskwelders van nature snel opslibben. De door hem waargenomen opslibbingssnelheden zijn over het algemeen meer dan 1 à 2 cm per jaar. Dat is meer dan de combinatie van hoogwaterstijging (2,5 mm/jaar) en bodemdaling langs de Groninger Noordkust (maximaal 5 mm/jaar).
- b. De pionierzone
De pionierzone is een dynamische zone die heel gevoelig is voor de luwte die geboden wordt door de rijshoutdammen. Dat is in tabel B.1.6.1 goed te zien: bijna altijd is er hoogtetoename ten opzichte van het hoogwaterniveau wanneer de bezinkvelden kleiner zijn dan 10 ha (veel luwte), en heel vaak is er erosie wanneer ze groter zijn dan 20 ha (weinig luwte). De tussenliggende categorie van 10-20 ha laat ook een tussenliggend beeld zien voor wat betreft de hoogteontwikkeling. Het eventuele effect van bodemdaling is niet terug te vinden; het is zeker dat de grootte van de bezinkvelden overheerst over eventuele effecten van bodemdaling. Daardoor was er in de periode 1990-1999 overal sprake van een netto verhoging ten opzichte van het gemiddeld hoogwaterniveau, en dus een bruto opslibbing van minimaal 2,5 mm + de eventuele bodemdaling.
- c. De wadzone.
De wadzone is van belang omdat hier de geomorfologische processen van wadplaten overheersen, zonder extra opslibbing door de slibvangende werking van kweldervegetatie. In deze zone is dus het beste te zien of er kuilen ontstaan in bodemdalingsgebieden. Van groot belang voor deze zone is een verandering in het beheer van de rijshoutdammen: rond 1990 is op de meeste plaatsen het onderhoud van de buitenste (aan de wadzijde gelegen) rijshoutdammen gestaakt om de dynamiek van de wadplaten te laten terugkeren. Dat heeft zoals verwacht werd in een aantal gebieden tot enige erosie geleid. Over het algemeen laten de waterpassingen toch nog netto verhoging zien ten opzichte van het stijgende hoogwaterniveau (tabel B.1.6.1). Van belang zijn vooral de veranderingen rond Blija (vakken 145-148 en 167-170 in Friesland) en de Noord Groninger kust vanaf vak 390. In het hart van de bodemdalingschotel bij Blija (145-148) is het bodemniveau ten opzichte van het hoogwaterniveau nagenoeg gelijk gebleven. Direct ten oosten van Blija (167-170) is het bodemniveau gedaald sinds het onderhoud aan de buitenste rijshoutdammen is gestaakt; het gaat hier om ongeveer 5 cm dicht bij de pionierzone waar de rijshoutdammen nog steeds worden onderhouden, tot 15 cm dicht bij de voormalige buitenste rijsdam waarvan het onderhoud is gestaakt. In absolute hoogteligging zijn dat afnames van 13 tot 3cm. Elders langs de Friese kust, maar in een gebied zonder bodemdaling, is een vergelijkbare ontwikkeling waargenomen ten noorden van het Noorderleeg (vak 85-88).
Langs de Groninger kust is over het algemeen sprake van hoogtetoename of van een gelijkblijvende hoogte ten opzichte van het gemiddeld hoogwaterniveau, behalve rond de vakken 308-311 en 324-327. Daar was sprake van enkele centimeters afname. Net als bij Blija en het Noorderleeg in Friesland begon de hoogte-afname nadat het onderhoud van de buitenste rijshoutdammen was gestaakt. De vakken
-

308-311 en 324-327 liggen dicht bij de Lauwersmeer, in een gebied waar geen of nauwelijks bodemdaling plaats vindt.

Tabel B.1.6.1

Opslibbingbalans in de meetvakken van de kwelderwerken. Kwalitatief als +, =, of – t.o.v. 2,5 cm mm per jaar hoogwaterstijging. Uit Dijkema et al. 2001.

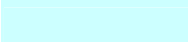
	KWELDERZONE			PIONIERZONE				WADZONE			
	68-80	80-90	90-99	68-80	80-90	90-99	beheer	68-80	80-90	90-99	beheer
FRIESLAND											
005-008	+	+	=	+	=	+		+	=	=	
021-024	+	+	+	+	+	+		+	+	=	
041-044		+	+	+	+	+		=	+	+	4
053-056	+	+	=	+	+	+		=	+	+	4
069-072	+	+	+	--	+	+	1	=	+	+	4
085-088	+	+	=	--	--	+	1	=	--	--	4
101-104	+	+	+	--	--	+	1	--	+	=	4
121-124	+	+	+	=	--	+	1	=	=	+	4
145-148	+	+	=	=	--	+	1	--	+	=	4
167-170	+	+	+	+	--	+	1	+	--	--	4
205-208	+	+	+	+	+	+		+	+	+	3
GRONINGEN											
260-263	=	+	=	--	+	=		+	+	=	
286-289	+	+	+	+	=	+		--	+	+	
308-311	+	+	+	+	+	=		+	+	--	4
324-327	+	+	+	+	+	--		+	+	--	4
336-338	+	+	+	+	+	=		+	+	=	4
356-359	+	+	+	+	+	--		+	+	+	4
372-375	+	+	=	+	=	--		+	=	+	
392-395	+	+	+	+	=	=	1	+	--	+	
412-415	+	+	+	=	--	+	1, 2	+	+	+	4
428-431	+	+	+	+	=	+	1, 2	+	+	+	4
448-451	+	+	+	+	--	+	2	+	+	+	4
468-471	+	+	+	=	--	+	1	+	+	+	3
488-491	+	+	+	--	--	+	1	--	--	=	3

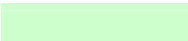
Opslibbingbalans in de meetvakken

(kwalitatief als +, =, of -- ; t.o.v. 2,5 mm/jaar hoogwaterstijging)

 groep van meetvakken die er negatief uitspringt

Oppervlakte bezinkveld in de betreffende zone:

 < 10 ha (b.v. 200 x 400 m = oorspronkelijke Sleeswijk-Holstein methode)
 10-20 ha (b.v. 400 x 400 m = gewijzigde Sleeswijk-Holstein methode)
 > 20 ha (> 500 x 400 m; in de pionierzone gevolg van terugschrijdende kweldererosie)

 meerjarige kweldervegetatie

1 = bouw tussendam 1989-1996

3 = bezinkveld verlaten voor 1990

2 = bouw langsdam 1994-1996

4 = bezinkveld verlaten 1990-2000

Discussie

Uit de resultaten blijkt dat zowel de Friese als de Groninger kust de jaarlijkse stijging van het gemiddeld hoogwater (ongeveer 2,5 mm per jaar; Fig. B.1.6.3) over het algemeen goed kunnen bijhouden. De kwelders slibben duidelijk nog sneller op. Dat komt door de slibvangende werking van de vegetatie (o.a. Dijkema e.a., 2001). De snelheid waarmee kwelders opslibben hangt sterk af van de overspoelingsduur. Daardoor is een extra herstelmechanisme ingebouwd waardoor kwelders bij meer overspoeling meer zullen opslibben. Kwelders langs de vastelandskust zullen daarom geen enkele moeite hebben met verhoging van het gemiddeld hoogwaterniveau en tegelijk optredende bodemdaling. De snelle hoogteontwikkeling van de vastelandskwelders wordt in het natuurbeheer zelfs als een probleem gezien, omdat daardoor een snelle successie plaats vindt naar minder interessante vegetatietypen.

In de pionierzone, meestal begroeid met Zeekraal en soms ook met Engels slijkgras, valt geen relatie met bodemdaling af te leiden. Deze nog ijle plantengroei vangt niet zo veel slib in, en de hoogte van de bodem in de pionierzone is afhankelijk van de beschuttende werking van de rijshoutdammen. Deze werden dan ook juist met het oog op de pioniervegetatie en de bescherming van de achterliggende kwelder tot 2003 goed onderhouden. In de helft van de gebieden zijn de bezinkvelden in de pionierzone verkleind om hun werking te verbeteren. Daardoor zou de hoogteligging van de pionierzone een enigszins geflatteerd beeld kunnen geven van de bodemligging.

De wadzone is dus de aangewezen zone waarin eventuele bodemdaling zichtbaar zou kunnen worden. In die zone zou juist een te pessimistisch beeld kunnen ontstaan van de bodemligging, omdat het onderhoud aan de rijshoutdammen aan de wadzijde in veel gebieden is gestaakt. Toch blijkt er in de wadzone ook geen duidelijke correlatie met bodemdaling te zijn. Van de vier plaatsen waar verlaging meetbaar was, lag er maar één aan de rand van een bodemdalingsgebied. In andere meetvakken waar bodemdaling plaats vond, was geen verlaging ten opzichte van het gemiddeld hoogwaterniveau te bespeuren; meestal trad juist hoogtetoename op. Dit geldt ook voor de meest oostelijke meetvakken langs de Groninger kust waar nog metingen worden verricht, en waar de bodemdaling het sterkste was. Dit leidt tot de conclusie dat

andere factoren kennelijk bepalen waar de uitzonderingen op de regel te vinden zijn. Zo'n factor is de ligging ten opzichte van een bepaalde geul op het wad, waardoor het wegvallen van een rijshoutdam relatief veel effect heeft.

De wadzone is ook interessant omdat daar vergelijking mogelijk is met de lodingen van de bodemligging die erop aansluiten.

Bij Blija ligt een geul op het aangrenzende wad nabij het meetvak en lijkt inderdaad op het wad enige erosie te zijn geweest, vergelijkbaar met de afname in het meetvak langs de kust. Het meest oostelijke meetvak in Groningen, waar de hoogte-ontwikkeling ongeveer gelijk was aan de stijging van het gemiddeld hoogwater, was op het wad een lichte erosie te zien. Echter, nog oostelijker, richting Eemshaven, waar de bodemdaling het sterkste was, was op het wad sprake van ophoging. In dat gebied zijn geen kwelderwerken meer zodat daar geen vergelijking met waterpassingen mogelijk is. Op de andere plaatsen met hoogteverlies in de kwelderwerken was geen duidelijke aansluiting op erosieplekken.

Het algemene beeld dat verder uit de waterpassingen blijkt, komt goed overeen met het algemene beeld van de wadhoogtes buiten de kwelderwerken. Beide meetmethodes wijzen op een lichte verhoging van de bodem, zowel binnen als buiten de bezinkvelden en zowel in gebieden met als zonder bodemdaling.

Prognose

Voor een prognose van hetgeen zou kunnen gebeuren in andere gebieden is het van belang om na te gaan of de gebieden waar nu al bodemdaling is opgetreden voldoende representatief zijn voor gebieden die door het winnen uit nieuwe velden kunnen gaan dalen. Ten eerste gaat het daarbij om de omvang en diepte van de daling, en ten tweede om de ligging van de dalingsgebieden ten opzichte van geulen.

De huidige daling bij Blija is nog maar beperkt; de daling bij Groningen bedraagt tot 16 cm. De totale verwachte daling bij Peasens-Moddergat en Lauwersoog is niet groter dan bij Groningen nu, en qua ligging zijn deze gebieden goed vergelijkbaar met de Groninger Noordkust. Wel is de afstand tot het zand-aanvoerende zeegat bij Peasens-Moddergat en Lauwersoog kleiner, hetgeen gunstig is omdat de aanvoerweg van het sediment daardoor korter is. Een deel van het aan te voeren sediment bestaat uit slib; ongeveer 10 à 15% van de bodem langs de Friese en Groninger kust bestaat uit slib. Voor slib geldt de aanvoerbeperving voor de grootte van een kombergingsgebied niet, en bovendien zijn er zeer grote hoeveelheden slib aanwezig langs de Friese en Groninger kust. De aanvoer van zand is de belangrijkste beperkende factor.

Er zijn dus redenen om aan te nemen dat eventuele bodemdaling bij de Friese kust, net als langs de Groninger noordkust al tijdens de daling gecompenseerd zullen worden door opslibbing.

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. Dez resultaten voor Neerlandsreid zijn representatief voor de situatie in de Peazemerlannen (Eysink et al. 2000b).. In Tabel B.1.6.2 worden de belangrijkste resultaten voor de kwelders van Ameland en de Peazemerlannen naast elkaar gezet.

Tabel B.1.6.2

Vergelijking van de opslibbing in de Peazemerlannen (1995 - 2000) en op Neerlandsreid (1993 - 2000). Sedimentatie-Erosie-Balk-methode van Alterra Wageningen UR, in mm per jaar)

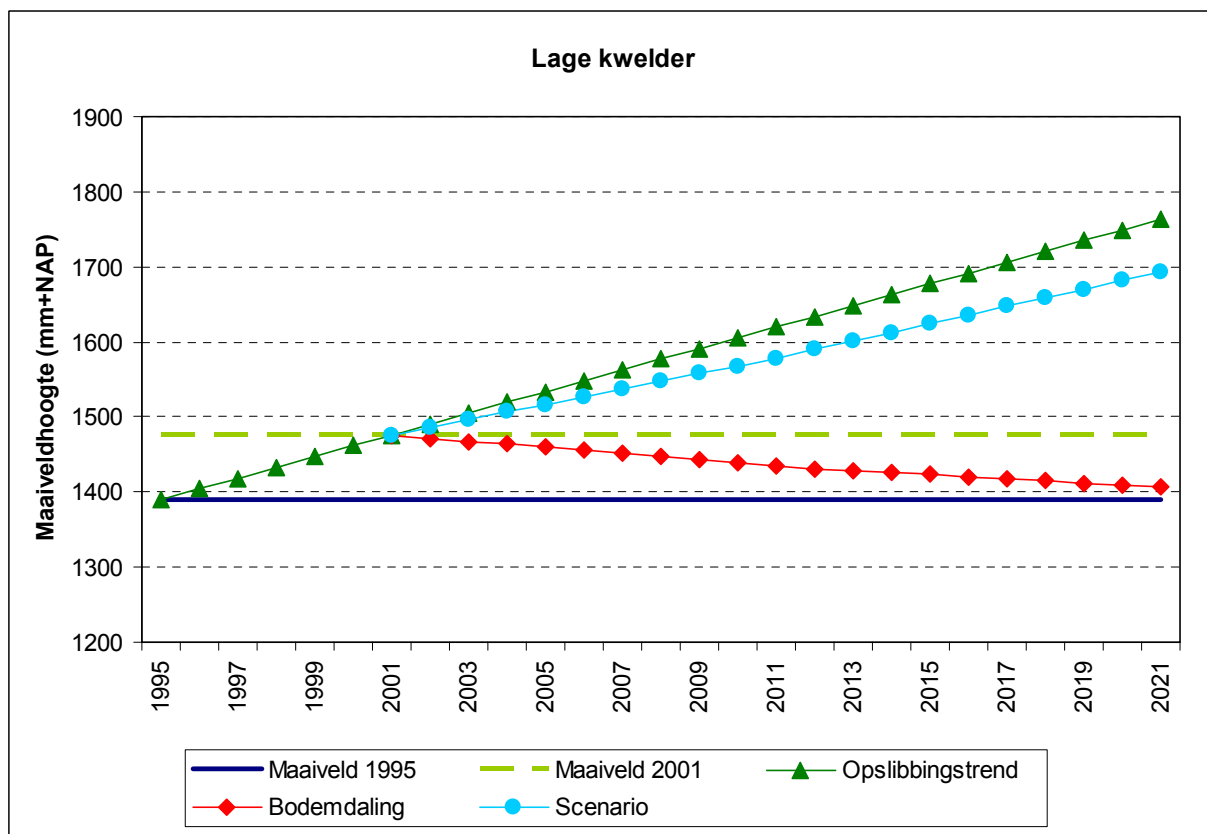
Kwelder	Peazemerlannen	Nieuwlandsreid
Opslibbing		
Primaire pionierzone	20	n.v.t.
Secundaire pionierzone	11	11
Lage kwelder	14	7
Oeverwallen/Midden kwelder	14	8
Zomerpolder/Hoge kwelder	-3	1
	4,2 (jaar 2-11)	10 (1987-1999)
Bodemdaling	2,8 (jaar 12-21)	

Uit tabel B.1.6.2 blijkt het volgende:

1. De gemeten opslibbing in de kwelderzones van de Peazemerlannen is het dubbele van vergelijkbare zones op het Neerlandsreid (Ameland). De prognose voor een eventuele bodemdaling Peazemerlannen is minder dan de helft van het Nieuwlandsreid.
2. Er zijn geen effecten van de voorspelde bodemdaling op de vegetatie van de pionierzone en de kwelderzones te verwachten. Uit de prognose blijkt dat de opslibbingsbalans ruimschoots positief blijft (Fig. B.1.6.4). Zelfs bij een drie maal zo hoge bodemdaling zou de positieve opslibbingsbalans nog behouden blijven. De opslibbing die in de afgelopen jaren is gemeten is ook normaal voor andere vastelandskwelders.
3. Deze prognose komt overeen met de praktijksituatie in de kwelders langs de Groninger kust waar nu al bodemdaling is opgetreden. Een vergelijking met de praktijksituatie op Neerlandsreid (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.
4. De eventuele bodemdaling in de kwelder zou, gerekend vanaf het begin van de SEB-metingen in 1995, al in 2001 door natuurlijke opslibbing zijn gecompenseerd!
5. De tijdelijke verlaging van de opslibbing gaat de veroudering van de kweldervegetatie tegen. Dat is ecologisch positief te beoordelen, maar de bodemdaling is niet langdurig en groot genoeg om dat probleem echt op te lossen.
6. Vooralsnog is geen mitigatie in de primaire pionierzone achter de doorbraak in de asfaltkade nodig, zoals nog voorgesteld in de IBW (Oost 1998).

Figuur B.1.6.4

Prognose opslibningsbalans (= scenario)
op basis van meetresultaten met de
Sedimentatie-Erosie-Balk in de kwelder
en zomerpolder bij Peasens-Moddergat.
Bron Alterra Wageningen UR,
ongepubliceerd.



Voor een doorvertaling naar flora en fauna van de dalende gebieden moet vooral gebruik gemaakt worden van gegevens over de hoogteligging en de samenstelling van de bodem. Hierop is uitgebreid ingegaan in de Integrale bodemdalingsstudie Waddenzee (Oost et al. 1998) en in de Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost (Eysink et al 2000 a). Wanneer er geen meetbare veranderingen optreden in de bodem worden ook geen meetbare veranderingen verwacht in de flora en fauna die toe te schrijven zijn aan bodemdaling. Op Ameland is er op de delen van de kwelder die op enige afstand van het wad en de kreken zijn gelegen wel een meetbare verlaging van de bodem gesignaleerd; maar zelfs daar zijn nauwelijks veranderingen in de kweldervegetatie gemeten. Vergelijking van Ameland met de kwelder bij Peazens wijst uit dat de opslibbing bij Peazens vele malen hoger is en dat de bodemdaling slechts een fractie van Ameland is, zowel totaal als per jaar.

Conclusies

Samenvattend zijn uit het bovenstaande de volgende conclusies te trekken:

1. De bodemdaling langs de vastelandkust, voor zover opgetreden in de periode 1980-1999 is nu al gecompenseerd door opslibbing.
2. De bodemdaling langs de noordoost Groninger kust is voldoende representatief voor eventuele in de toekomst optredende dalingen langs de Friese kust.
3. De opslibbing in de Friese kwelders bij Peasens-Moddergat is drie maal zo hoog dan de verwachte bodemdaling.
4. Bij afwezigheid van een effect op de bodemhoogte valt ook geen effect op flora en fauna te verwachten.
5. Ameland als praktijkvoorbeeld van een 'worst-case'- bodemdaling onderstreept deze conclusies.

Literatuur

Dijkema, K.S. 1997. Impact prognosis for salt marshes from subsidence by gas extraction in the Wadden Sea. *Journal of Coastal Research* 13 (4): 1294-1304.

Dijkema, K.S., A. Nicolai, J. de Vlas, C.J. Smit, H. Jongerius & H. Nauta 2001. Van landaanwinning naar kwelderwerken. Leeuwarden, Rijkswaterstaat directie Noord-Nederland en Texel, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, 68 pp.

Eysink, W.D., K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, P.A. Slim, C.J. Smit, J. de Vlas, M.E. Sanders, J. Wiertz & E.P.A.G. Schouwenberg 2000 a. Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 13 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.

W.D. Eysink, K.S. Dijkema en W.D. van Duin, 2000 b. Effecten van bodemdaling door gaswinning op de Peazemerlannen. WL/Delft Hydraulics rapport H 3740, Alterra, 35 pp.

Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. 372 pp.

Bijlage 2.1 Niet lineair gedrag van het Waddensysteem

WL | Delft Hydraulics

Bijlage 3.1 Kaart 1: Sedimentatie-erosie + Contouren 2003

Bijlage 3.2 Kaart 2: Bodemligging 2003 + Contouren huidige lokaties 2050

Bijlage 3.3 Kaart 3: Bodemligging 2003 + Contouren huidige + geplande lokaties 2050

Bijlage A.1 Brief van Auditcommissie aan LNV d.d. 14 juni 2004

Geachte heer Oosterveld,

Hierbij zend ik U onze audit van de rapportage van het RIKZ. Uitgangspunten voor deze audit waren voor ons

- 1) de ons verleende opdracht inhoudend dat wij dienen aan te geven of de analyse en conclusies op wetenschappelijk verantwoorde wijze tot stand zijn gekomen
- 2) de brief van de Minister van Economische Zaken gericht aan het RIKZ, kenmerk ME/EP/UM d.d. 26-5-2004, waarin het RIKZ opdracht wordt verleend voor uitvoering werkzaamheden, leidend tot de genoemde rapportage, alsmede de daaraan toegevoegde bijlage (offerte voor werkzaamheden van het RIKZ) waarin een nadere specificering van het onderzoek en de te beantwoorden vragen wordt gegeven.

Wij stellen het volgende vast:

- Analyse

De analyse van de vragen, die ter beantwoording lagen, is uitgevoerd op een grondige en wetenschappelijk zeer verantwoorde manier. Daarbij wordt een helder onderscheid gemaakt tussen 'oude' en 'nieuwe' informatie en kennis.

Waar mogelijk is gebruik gemaakt van verschillende benaderingen, methoden en technieken, gehanteerd in de diverse tot op heden uitgevoerde deelonderzoeken, die betrekking hebben op de vragen, gesteld in de offerte. De validatie van rekenmodellen met behulp van meetreeksen speelt hierbij een belangrijke rol. Deze combinatie van diverse, onafhankelijke benaderingen vergroot de zekerheid dat de uitkomsten van de analyse overeenstemmen met de realiteit, c.q. toekomstige ontwikkelingen en is een belangrijk element van wetenschappelijke analyses.

Een voorbeeld hiervan is het langere termijn sedimentbudget van de Waddenzee in relatie tot de recente zeespiegelstijging en reeds bestaande gaswinning. Uiteenlopende, onafhankelijke methoden zijn gehanteerd ter kwantificering, verklaring en voorspelling van dit budget en uitkomsten van modellen zijn systematisch en kritisch met bestaande meetreeksen vergeleken.

In de rapportage is een uitgebreide analyse gemaakt van betrouwbaarheden van uitkomsten, gehanteerde uitgangspunten en benaderingen, en implicaties van eventuele verschillen of overeenkomsten tussen uitkomsten van de diverse benaderingen. Deze werkwijze beantwoordt geheel aan de eisen, die vanuit de wetenschap gesteld worden en laten een onafhankelijke toetsing van de resultaten en daaraan gekoppelde interpretatie c.q. analyse toe.

Een goed voorbeeld hiervan is de modelmatige benadering van de lange termijn ontwikkeling van de Waddenzee in verband met de mogelijke niet-lineaire reactie van dit systeem (vraag 2). De analyse hiervan kenmerkt zich door een zeer hoog wetenschappelijk niveau, wetenschappelijke integriteit en grote helderheid.

De diepgang van de analyse behorend bij een specifieke vraag hangt uiteraard samen met het niveau van kennis op het betreffende gebied. Dat niveau varieert, samenhangend met historische ontwikkelingen in de wetenschap (bijv. rekencapaciteit) en prioriteitstellingen in het onderzoek in het verleden, maar

ook met de complexiteit van de vraag. In de rapportage is op onderdelen sprake van aanzienlijke verschillen in diepgang. Uitdrukkelijk wordt vastgesteld dat dit niet inhoudt dat van een in wetenschappelijk opzicht mindere kwaliteit sprake is, maar van een zorgvuldige en correcte afweging tussen beschikbare en vereiste kennis.

- Conclusies

Conclusies behoren gebaseerd te zijn op zorgvuldig getoetste en geëvalueerde resultaten van onderzoek. Met andere woorden, de aard van een conclusie, haar mate van detaillering/specificiteit en de mate van onzekerheid behoren gerelateerd te zijn aan de uitkomsten van onderzoek. Gegeven het hierboven besproken oordeel over de analyse, kan de vraag versmald worden tot 'gaan de conclusies verder dan op grond van de resultaten van de analyse is toegestaan of niet?

Het antwoord hierop is, dat de opstellers op wetenschappelijk zeer verantwoorde manier conclusies trekken en presenteren:

Conclusies blijven binnen het terrein waarop de betreffende analyse slaat en de afbakening van dit terrein wordt expliciet gemaakt;

De mate van detail is afgestemd op de beschikbare kennis en varieert dus ook aanzienlijk (zie hierboven diepgang analyse);

De onzekerheidsmarges zijn grondig geanalyseerd en worden correct in de conclusies overgenomen.

De auditcommissie spreekt dan ook haar waardering uit voor de helder geformuleerde en wetenschappelijk verantwoorde wijze waarop de conclusies tot stand zijn gekomen.

Meer gedetailleerd commentaar op het niveau van individuele vragen en daaraan verbonden deelvragen wordt gegeven in de bijlage, die u later vandaag toegezonden zal worden.

Mede namens prof.dr. A. Verruijt en prof.dr. C.H.R. Heip,

Hoogachtend,

Prof. dr. J. Sevink

Directeur IBED

Bijlage A.2 Detailcommentaar Auditcommissie, 14 juni 2004

In onderstaande tekst wordt commentaar gegeven op specifieke onderdelen van het concept rapport Bodemdalingstudie Waddenzee 2004.

Deel 1: Resterende onzekerheden uit 1999 (blz. 9)

Wetenschappelijk gezien goed onderbouwd en uitgewerkt verhaal. Conclusies zijn correct. Daarbij de volgende algemene en meer specifieke opmerkingen.

1. Voorspelbaarheid van het waddensysteem (blz. 9).

Algemeen:

Indien met dynamiek alleen de geomorfologische veranderingen worden bedoeld dan is het antwoord voldoende. Indien met voorspelbaarheid en dynamiek ook de ecologische dynamiek wordt bedoeld, moet aanvullend gezegd worden dat deze nauw gekoppeld is aan de geomorfologie en dat niet verwacht kan worden dat deze door de te verwachten bodemdaling veranderingen zal ondergaan die buiten de natuurlijke variabiliteit van het systeem vallen.

In het antwoord op vraag 1 wordt adequaat ingegaan op vier aspecten: vorderingen in het gebruik van modellen, de relatie tot de natuurlijke dynamiek, wat de waarnemingen ons vertellen en het risico op schade door aardbevingen. De modellen zijn afgeregeld op reële ingrepen zoals de afsluiting van de Lauwerszee en de nieuwe inzichten over de zeespiegelrijzing. Wat de dynamiek van het systeem betreft is de belangrijkste conclusie dat bodemdaling en de daardoor ontstane zandhonger uitgesmeerd worden over het systeem en dat kustsuppleties nodig zijn langs de Noordzeekust. Kwelders reageren goed op zelfs grote bodemdaling door toenemende aanslibbing waardoor de vegetatie zich blijkt te handhaven. De veldwaarnemingen bevestigen de verwachtingen.

Specifiek:

a) Voorspelbaarheid (blz. 9/10)

Gemeld wordt 'Ook het kweldersedimentatiemechanisme is zodanig dat bodemdaling aldaar geen nadelig effect heeft'. Deze conclusie is op zich correct, wanneer dit geïnterpreteerd wordt als compensatie van daling door sedimentatie. Deze zal optreden. Of er ecologische schade optreedt, blijft echter onduidelijk en het zou zelfs zo kunnen zijn, dat bij daling ecologische winst optreedt. Zoals terecht elders wordt gesteld, is de natuurwaarde van hoge kwelders relatief laag en zou enige daling van hoge kwelders tot natuurwinst leiden. Het begrip 'nadelig effect' vereist dan ook een scherpere definiëring.

b) Dynamiek van het systeem (blz. 12 e.v.)

Hier en daar in de tekst wordt 'bodemdaling' gebruikt waarbij niet duidelijk is of dit 'bodemdaling door gaswinning' is dan wel deze 'bodemdaling' + 'zeespiegelstijging'. Tevens blijft enigszins onderbelicht dat de hele benadering van de suppletie en impact van kustachteruitgang berust op het uitgangspunt 'stationaire kust'. Wat verdwijnt moet dus worden aangevuld, zeespiegelrijzing of niet. Elders in de tekst worden dit uitgangspunt en haar consequenties helder besproken, maar ook hier zou een korte toelichting op dit punt zeer verhelderend werken. Overigens houdt dit commentaar niet in dat de antwoorden en conclusies onjuist zijn.

c) Veldwaarnemingen (blz. 16)

De 'Verschilkaart Waddenzee op basis van meest recente lodingen' en daarop gebaseerde conclusies zijn van uitermate groot belang voor de beantwoording van meerdere vragen en beoordeling van opvattingen die bij diverse organisaties bestaan over de veranderingen in de Waddenzee. Dit is een unieke dataset, die wezenlijk inzicht biedt in de dynamiek van het systeem en een belangrijke rol speelt bij de validatie van de modellen. Dit feit zou met meer nadruk vermeld kunnen worden.

2: Naijleffecten

Algemeen:

Wanneer de gaskraan wordt dichtgedraaid, is er een responstijd van max. 3 jaar waarbij de bodemdaling verder doorzet en waarbij de snelheid van bodemdaling niet zal toenemen. De maximale daling van een paar centimeter zal voor de ecologie geen enkele betekenis hebben, zelfs niet op de kwelders. Het advies om onmiddellijk met gaswinning te stoppen wanneer versnelling van de zeespiegelrijzing zou optreden, indien men de vegetatie van de hogere gebieden wil behouden (elders in het rapport wordt terecht gezegd dat deze hogere gebieden vanuit het standpunt van natuurbehoud niet de meest interessante zijn) is correct en realistisch.

Specifiek:

Onder 'Mechanisme binnen het gasreservoir' wordt gesteld "Op het moment dat deze snelheid een kritische waarde dreigt te overschrijden kan dan worden ingegrepen". Dit is een overbodige opmerking: het is uitgesloten dat de snelheid van bodemdaling zal toenemen, en je kunt ook niet meer ingrijpen (de gaswinning is immers stopgezet). In feite is toename van de snelheid van bodemdaling na stopzetting van de gaswinning uitgesloten. Enige toename van de totale bodemdaling is nog wel mogelijk. M.a.w. de tekst is niet geheel correct geformuleerd, maar dit laat de algemene strekking onverlet.

3. Nulmeting (blz. 20)

Algemeen

Terecht wordt verderop in het rapport opgemerkt dat een nulmeting eigenlijk niet bestaat omdat het gebied ook op natuurlijke wijze voortdurend evolueert. In de algemene conclusies ontbreekt deze opmerking, die essentieel is voor het juiste begrip van de term 'nulmeting' en wijze waarop deze kan worden verkregen.

De mededelingen over de monitoring zijn correct, maar meer nadruk zou moeten worden gelegd op het verschil in betekenis tussen veranderingen in fysische grootheden zoals hoogteligging, sedimentatiesnelheid etc. en veranderingen in ecologische variabelen. De eerste zijn primaire grootheden die direct gerelateerd kunnen worden aan processen als zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning. Veranderingen in ecosysteem variabelen, betrekking hebbend op flora en fauna, zijn secundair en veelal multi-interpretabel. In vele gevallen is het uitermate de vraag of bodemdaling door gaswinning een rol speelt en, zo ja, in welke mate. Denk aan bijv. de afname van bepaalde vogelsoorten die het Wad als voedselgebied gebruiken. Bij afname: is dat door hogere overstromingsfrequentie (vanwege de daling), kokkelvisserij of mosselvisserij, gif in het zeewater of sediment (bijv. PCB's en dioxines), hogere temperaturen in de toendra (climate change) of nog wat anders.

In delen van de discussie en conclusies, maar ook in diverse vragen, wordt te weinig aandacht besteed aan/ te weinig rekening gehouden met het multi-

interpretabele karakter van vrijwel alle flora en fauna gegevens, alsook het feit dat eventuele impacts van bodemdaling en zeespiegelstijging op die flora en fauna secundair van karakter zijn en zelden eenduidig vast te stellen en te kwantificeren. Juist het monitoringonderzoek van Ameland vormt hiervan een pregnant voorbeeld: grote daling, geen herkenbare veranderingen in de vegetatie!

Overigens heeft dit geen ander effect op de conclusies, dan dat nog meer dan in het rapport aangegeven getwijfeld moet worden aan de door diverse partijen veronderstelde effecten van 'bodemdaling door gaswinning' op de ecologie van de Wadden en mogelijkheden om dergelijke effecten via monitoring van flora en fauna vast te stellen en te kwantificeren.

4: De effecten van de zandsuppleties

Verschillen in korrelgrootte en slibgehalte kunnen een ecologisch effect veroorzaken. Het is niet helemaal duidelijk hoe geregeld zal worden dat bij suppletie zanden worden gebruikt die niet sterk afwijken van de fijne zanden in de Waddenzee. Suppletiezand bevat op zich weinig slib. Wat er eventueel met het weinige slib zou gebeuren is niet duidelijk, in Eva II is trouwens vastgesteld dat er een tendens tot slibverlies is in de westelijke Waddenzee wat dan eventueel zou gecompenseerd kunnen worden. Er is echter weinig bekend over slibtransport in het algemeen en in de Waddenzee in het bijzonder.

Verder: Gesteld wordt dat suppletie invloed op de fauna ter plaatse heeft en rekening gehouden kan worden met schelpdierbanken. Deze conclusies zijn correct. Echter, geen aandacht is besteed aan het effect van verwante natuurlijke verstoringen van de kust, zoals zware stormen met kustafslag. Ook in dat geval worden grote hoeveelheden zand verplaatst (erosie en sedimentatie elders). De vraag is dus hoe dergelijke stormen en daarbij verplaatste hoeveelheden zand zich verhouden tot suppleties, en of grond daarvan conclusies getrokken kunnen worden over de relatieve impact van eventuele suppleties op het kustecosysteem.

Monitoring

Algemeen:

Het overzicht van de parameters die worden gemonitord is interessant (tabel 1.1), maar de betekenis hiervan voor de effecten van gaswinning etc. blijft onduidelijk en wordt niet behandeld. Onderscheid tussen primaire parameters (bodemdaling, sedimentatie en zeespiegelstijging) en secundaire parameters wordt niet gemaakt. Wat is bijv. de betekenis van monitoring van de neerslag en andere klimatologische parameters? Verwezen wordt naar een openbare audit en symposium, maar de gehanteerde criteria bij de selectie van werkelijk indicatieve parameters worden hier niet besproken. Elders worden wel degelijk een aantal kritische noten omtrent de betekenis van diverse parameters gekraakt (zie bijv. onder 'fauna' op blz. 25). Bovenstaande opmerkingen laten de conclusies onverlet, maar zijn wel van belang voor de opzet van eventuele monitoringsprogramma's in relatie tot gaswinning, waarbij een kritische benadering van flora- en faunamonitoring absoluut noodzakelijk is.

Specifiek

De ecologische monitoring bevat geen benthos, wat voor het monitoren van de bodemdaling ook niet relevant zou zijn. Andere wel bemonsterde ecologische variabelen zijn vegetatie en vogels. Het is wellicht nuttig om de vinger aan de pols te houden voor wat betreft de kwelders en de vegetatie in duinpannen, maar vogels zijn in relatie tot bodemdaling evenmin bruikbaar als benthos. Vogels worden echter gemonitord als onderdeel van de algemene monitoring van de Waddenzee.

Injectie in de ondergrond

Algemeen

De analyse van de mogelijkheden voor injectie van water of CO₂ is correct, maar wel beperkt qua diepgang. Zo is geen diepgaande analyse uitgevoerd naar de kosten (zowel in geld als energetisch) van CO₂ injectie in een omvang als noodzakelijk om bodemdaling op te heffen (waar komt die CO₂ vandaan, hoe krijgt men die in het Waddengebied, welke installaties zijn nodig (en waar) voor de injectie, wat is de energiebalans?). Injectie van water wordt genoemd als mogelijk, maar houdt o.a. in, dat in het Waddengebied zelf daartoe diende installaties moeten worden aangelegd met bijkomende ecologische schade. Een dergelijke analyse zou overigens zeer waarschijnlijk tot de conclusie leiden dat dit geen realistische alternatieven zijn, die de voorkeur zouden verdienen boven de in het rapport gemelde methode van regelen met de 'hand aan de kraan'.

Deel 2: Niet-lineair gedrag van het Waddensysteem (blz. 31)

Algemeen

Uitstekende analyse waarbij op wetenschappelijk fraaie wijze de betekenis van modellen en randvoorwaarden voor hun geldigheid worden aangegeven. Het volstrekt niet van toepassing zijn van het niet-lineaire model van Schuttelaars en De Swart wordt aangetoond. Het is dit theoretische model, dat de basis vormt voor de veronderstelde mogelijkheid tot 'leegloop' van de Waddenzee via een soort triggeringsmechanisme.

Overigens, er lijkt bij diverse vragenstellers enige verwarring op te treden tussen "niet-lineariteit" en 'het bestaan van meerdere evenwichtstoestanden'. Voor zoiets ingrijpends als een omslag naar een ander evenwichtssysteem moet het systeem wel erg sterk niet-lineair zijn. De onderzoekers beantwoorden de vragen netjes en goed, maar het zou nog wel zinnig zijn er aan toe te voegen (dat kan goed aan de hand van de vraag op pag. 46) dat een eventuele omslag zich lang tevoren aankondigt door een sterke toename van het niet-lineaire gedrag. Dan kan alsnog ingegrepen worden.

Specifiek

Pag. 33/34 : Het risico van omklappen van het evenwicht door gaswinning is niet alleen "niet wetenschappelijk aangetoond", maar uiterst onwaarschijnlijk, gezien de wijze waarop het bekken gereageerd heeft op veel ingrijpendere veranderingen (aanleg Afsluitdijk, afsluiting Lauwerszee).

Deel 3: Monitoringsgegevens (blz. 37)

Algemeen

De gemelde resultaten bevestigen in feite het al eerder gemaakt verschil tussen de primaire fysische parameters en de secundaire flora en fauna parameters (ecologie), waarbij de eersten over het algemeen met een aanzienlijke mate van betrouwbaarheid kunnen worden vastgesteld en gerelateerd aan bodemdaling door gaswinning en daaruit voortvloeiende effecten op sedimentatie etc., terwijl in de secundaire (ecologische) parameters over het algemeen geen effecten zijn te identificeren/traceren (zie ook hierboven, onder deel 1).

Specifiek

Volstrekt onduidelijk blijft wat de betekenis van het verzamelen van weergegevens en grondwaterstandsgegevens in het kader van het bodemdalingsonderzoek is. Die lijkt verwaarloosbaar.

De discussie over de monitoring van de ecologie is wel erg kort en geeft ook geen referenties. Er wordt gezegd: 'Op de kweldervegetatie heeft bodemdaling geen grote rol gespeeld'. Wel een kleine?

Deel 4: Vragen van Natuur- en Milieuorganisaties (blz. 45)

Algemeen

Systematische en goed onderbouwde antwoorden op de vragen. Die antwoorden stoelen in belangrijke mate op informatie die in de bijlagen wordt gegeven. Die bijlagen staan in wetenschappelijk opzicht op hoog niveau en bieden uitgebreide achtergrondinformatie op de besproken onderwerpen.

Specifiek

Vraag 1, blz. 45.

'Het niet bekend zijn van extreme effecten van het Slochterenveld'. Bedoeld wordt 'Het feit dat de gaswinning in het Slochterenveld niet heeft geleid tot extreme effecten'.

Vraag 5, blz. 47.

Een grotere hoeveelheid gewonnen gas leidt inderdaad tot meer bodemdaling (dat mag men best toegeven). Het verband is in principe (per winningsput) lineair. De grootste onnauwkeurigheid is de bepaling van de compressibiliteit van het reservoir. Gedurende de winning kan die pas echt met grote nauwkeurigheid worden vastgesteld. Soms blijkt de compressibiliteit van het reservoir wat groter dan tevoren verwacht (Ameland), soms blijkt de compressibiliteit wat kleiner (Groningen). Voor de Waddenzee zijn natuurlijk al wel betrouwbare schattingen mogelijk op grond van de ervaringen op Ameland en in Noord-Groningen.

Vraag 6, blz. 48

De inzichten die hier uit volgen geven aan dat de '*verticale bodembewegingen*' een factor 3 tot meer dan 100 x groter zijn dan de bodemdaling (door gaswinning veroorzaakte of totale = + zeespiegelstijging). Niet goed geformuleerd. Dit moet zijn 'de natuurlijke verticale bodembewegingen die samenhangen met erosie en sedimentatie'.

Wat precies onder natuurgrenzen wordt verstaan is niet duidelijk gedefinieerd, waardoor de discussie wat schimmig wordt. In termen van eenheden als lage platen, hoge platen, lage kwelders etc. gaat het niet om het handhaven van de status quo in termen van hoogte, maar om een zekere bandbreedte. Hetzelfde geldt wanneer natuurgrenzen vertaald worden als specifieke vegetatie-eenheden. Zie hiervoor de resultaten van Ameland waaruit blijkt dat het systeem zeer veerkrachtig is. Het gebrek aan duidelijke definitie slaat overigens primair op de vraag zelf, waarin die natuurgrenzen niet gedefinieerd worden.

Vraag 8, blz. 49.

Uitstekend antwoord, goed onderbouwd. Wat helaas enigszins mist is de vergelijking tussen variabiliteit van huidige systeem – zware stormen – op zandtransport en sedimentatie t.o.v. hoeveelheden bij suppletie. Kortom, komt men bij suppletie buiten de normale variatie of niet. Dat zou nog wat andere licht kunnen werpen op de mogelijke ecologische gevolgen van suppletie. Voor de wingebieden zou eveneens gespecificeerd kunnen worden in hoeverre deze effecten zich bijv. verhouden tot effecten van visserij (platvis), en of er ecologische relaties bestaan tussen Noordzee en Waddenzee en zo ja, welke diersoorten het betreft.

Vraag 11, blz. 51

Hier wordt voor het eerst aangegeven tot welke verhoging van het slibgehalte dit zou kunnen leiden. Een beetje onderbelicht blijft, dat dit dus inderdaad verwaarloosbaar is. Verder wordt niet ingegaan op de mogelijk gunstige aspecten van een wat verhoogd slibgehalte, nl. snellere opslibbing van de kwelders. Tot slot: het idee dat alleen slib de troebelheid zou bepalen of domineren is natuurlijk niet correct. Minstens zo belangrijk lijkt het fytoplankton (algen, blauwwieren)

Vraag 12, blz. 52.

Ook hier geldt wederom, dat rekening gehouden moet worden met van nature voorkomende effecten van zware stormen etc. waardoor in die delen van de kustzone waar tijdens dat soort stormen eveneens grootschalig zandtransport optreedt, eveneens effecten optreden. Vraag is dus: hoe frequent van nature? hoe verhoudt zich dit tot effecten van suppletie? Met andere woorden, misschien is een flinke suppletie wel gelijk aan het effect van een zware storm. Kortom, antwoord is correct, maar niet geheel compleet waardoor een te negatief beeld ontstaat.

2 gram per m² bodemfauna: is dat versgewicht of drooggewicht of nog iets anders? Scheelt nogal wat. Dat de vooroever van de Noordzee arm is aan biomassa klopt niet met onze inschatting. Er is een smalle strook met een aanzienlijke verrijking aan biomassa van net onder de laagwaterlijn tot een 5m diepte eronder. Het rapport van Mulder en Janssen is echter in voorbereiding zodat hier niet verder naar gekeken kan worden

Bijlagen

Geen commentaren van betekenis, anders dan grote waardering voor de kwaliteit van het onderzoek en helderheid van presentatie.