

## **KAFT**

**INHOUDSOPGAVE****SAMENVATTING**

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RAPPORTEN</b>	<b>5</b>
2.1	Rapporten 2012	5
2.2	Bodemdalingstudies	5
<b>3</b>	<b>INTEGRAAL BEOORDELING</b>	<b>7</b>
3.1	Inleiding	7
3.2	<b>MONITORINGGEGEVENS WADDENZEE 2007-2012</b>	<b>8</b>
3.2.1	Abiotische gegevens Waddenzee	8
3.2.2	Diepe bodemdaling	8
3.2.3	Hoogteligging, oppervlakte en sedimentatie	17
3.2.4	Habitat/leefgebied	30
3.2.5	Biotische gegevens Waddenzee	31
3.2.6	Kweldervegetatie	31
3.2.7	Bodemdieren	34
3.2.8	Wadvogels & broedvogels kwelder	38
3.3	<b>MONITORINGGEGEVENS LAUWERSMEER 2007-2012</b>	<b>45</b>
3.3.1	Abiotische gegevens Lauwersmeer	45
3.3.2	Diepe bodemdaling	44
3.3.3	Terrein/habitatoppervlak	46
3.3.4	Grondwater- en bodemchemie	46
3.3.5	Biotische gegevens Lauwersmeer	49
3.3.6	Vegetatie	49
3.3.7	Water- & broedvogels	52
<b>4</b>	<b>EVALUATIE</b>	<b>56</b>
4.1	Evaluatie tav methoden	56
4.1.1	Waddenzee: morfologie	57
4.1.2	Waddenzee: Bodemdieren	60
4.1.3	Waddenzee: Webtics	62
4.1.4	Methodologische en statistische tekortkomingen het huidige onderzoek	62
4.2	Evaluatie tav ecologie en natuurwaarden/instandhoudingsdoelen	65
<b>5</b>	<b>EINDBEOORDELING</b>	<b>67</b>

## SAMENVATTING

In het kader van de waddenwinningen vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, is een 6-jarige monitoringprogramma uitgevoerd in de periode 2007-2012. In de monitoring zijn de meest relevante onderdelen van de effectketen rond bodemdaling meegenomen. In de effectketen van de Waddenzee gaat het achtereenvolgens om de diepe bodemdaling, de morfologie van het wad, de droogvalduur en overstromingsfrequentie van wadplaten en kwelders en tot slot de organismen die in en op de droogvallende wadplaten en kwelders leven; in het Lauwersmeer om achtereenvolgens de diepe bodemdaling, de morfologie van het meer, de inundatie van oeverlanden en de vegetaties en vogels die in het gebied voorkomen.

De diepe bodemdalingsnelheid door gaswinning in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag (resp. 1,0 en 0,4 mm/j) is samen met de snelheid van zeespiegelstijging (ca 2,5 mm/j), ruim binnen de gebruiksruijme gebleven en de komende 2 decennia is ook geen sprake van dreigende overschrijding van de natuurgrens van de kombergingen (resp. 6 en 5 mm/j).

De diepe bodemdaling door gaswinning wordt in de Waddenzee niet aan het wadoppervlak waargenomen of gemeten. Dit hangt samen met de geringe daling, welke binnen de ruis van de meetnauwkeurigheid van hoogtemetingen valt en/of de grote geomorfologische dynamiek van het wad. De verwachte daling van het wad door alle gaswinningen samen (gemiddeld ca 4 cm in het Pinkegat) valt weg in de relatief grote morfologische veranderingen die geulmigraties in de Waddenzee met zich meebrengen. Bovendien is uit sedimentatiemetingen gebleken dat de opslibbing op wadplaten (5 á 12,5 mm/j) en kwelders (10 á 15 mm/j), groter is dan de bodemdaling door gaswinning en de zeespiegelstijging samen. Op wadplaten en kwelders is eerder sprake van ophoging dan van bodemdaling. Hierdoor mogen er ook geen relevante veranderingen worden verwacht in de droogvalduur en overstromingsfrequentie van wadplaten en kwelders die van belang zijn voor kweldervegetaties, bodemdieren en vogels.

In het Lauwersmeer leidt diepe bodemdaling tot maaivelddaling (lokaal ca 10 cm) en daarmee tot veranderingen in de overstromingen van oeverlanden. Naast bodemdaling hangen deze overstromingen in eerste instantie samen met het peilbeheer dat schommelingen in de waterstand van enkele decimeters tot ca één meter met zich meebrengt.

Kweldervegetaties, bodemdieren en vogels hebben in de monitoring van de Waddenzee geen relevante veranderingen laten zien die samenhangen met bodemdaling door de waddenwinningen. Gelet op de afwezigheid van relevante veranderingen in morfologie, droogvalduur en overstromingsfrequentie mogen die ook niet worden verwacht. Het overstromingsrisico van broedvogels op de kwelders vormt hierop mogelijk een uitzondering. Als de bodemdaling door gaswinning (5 mm/j) gecombineerd met de trendmatige toename in de hoogwaterstanden groter is dan de opslibbingsnelheid van kwelders (10 á 15 mm/j) kan het overstromingsrisico toenemen.

Ook het grondwater, de bodemchemie, de vegetatiestructuur en de samenstelling van bijzondere vegetaties hebben in de monitoring van het Lauwersmeer geen relevante veranderingen laten zien a.g.v. bodemdaling door gaswinning. Veranderingen in de vegetatie hangen vooral samen met het natuurbeheer (begrazing, maaibeheer). Uit de monitoring van vogels in het Lauwersmeer kan worden afgeleid dat de monitoring niet de duidelijkheid heeft verschaft die er van werd verwacht maar dat er geen signalen zijn die duiden op wezenlijke veranderingen in de leefomstandigheden van vogels en in de vogelaantallen.

Op basis van het 6-jarige monitoringprogramma kan worden geconcludeerd dat de bodemdaling van de waddenwinningen in zowel de Waddenzee als het Lauwersmeer vooralsnog geen effecten heeft gehad op de natuurwaarden en instandhoudingsdoelen.

## 1. INLEIDING

Gaswinning uit de velden onder de Waddenzee vindt plaats volgens het principe van Hand aan de Kraan (HadK-principe). Dit principe houdt in dat de gaswinning wordt aangepast als uit meet- en monitoringgegevens blijkt dat er nadelige gevolgen dreigen voor natuurwaarden in de Waddenzee. Binnen het principe wordt er van uitgegaan dat bodemdaling door gaswinning het belangrijkste effect is. In de Waddenzee wordt dit effect op natuurlijke wijze opgevangen door invoer en sedimentatie van zand uit de buitendelta en Noordzeekustzone. In 1990 is voor de Noordzeekustzone de BasisKustLijn (BKL) vastgesteld die als norm dient in het beleid van de overheid met betrekking tot het handhaven van de kustlijn. In dat beleidskader voert RWS haar zandsuppleties in de Noordzeekustzone uit. De hoeveelheid zand die nodig is om de extra zandvraag als gevolg van bodemdaling in te vullen (het bodemdalingvolume), wordt door RWS meegenomen in haar reguliere zandsuppleties voor de kustverdediging. Dit maakt onderdeel uit van de vergunningen en is geregeld in een overeenkomst tussen RWS en NAM.

Het HadK-principe en het meet- en monitoringprogramma rond de waddenwinningen zijn tot stand gekomen in goed overleg tussen overheden, NGO's, wetenschappers en NAM en maken onderdeel uit van de vergunningen voor de Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (MLV) winningen. Daarbij is rekening gehouden met andere gaswinningen in de regio (Ameland, Anjum) die ook van invloed zijn op de Waddenzee en Lauwersmeer (cumulatie). Rond de waddenwinningen zijn 2 commissies actief:

- een wetenschappelijke commissie (de Audit Commissie) die is ingesteld door de overheid (Ministerie van EZ) en de overheid adviseert
- een stakeholder commissie (Commissie Waddengas 2006) die is ingesteld door de NAM, de monitoring volgt en de NAM adviseert tav de uitvoering van de monitoring.

Binnen het meet- en monitoringprogramma (resp. het Meet & Regelprotocol en Monitoringprogramma 2007-2012) worden een aantal ecologisch relevante parameters meegenomen waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen zogenaamde sturende en signaleringparameters.

Sturende parameters zijn parameters waarmee kan worden vastgesteld of de bodemdaling door gaswinning op natuurlijke wijze kan worden opgevangen door sedimentatie. Het gaat daarbij in de Waddenzee om de parameters 1) snelheid van zeespiegelstijging, 2) snelheid van diepe bodemdaling en 3) het sedimentatievermogen van komberging. In dit rapport staat 'diepe bodemdaling' voor de daling in de diepere ondergrond door gaswinning terwijl voor de daling van het aardoppervlak of maaiveld de term bodemdaling wordt gebruikt. De diepe bodemdaling wordt bepaald met metingen aan stabiele diep gefundeerde meetpalen die goed correleren met de diepe bodemdaling door gaswinning. Binnen het HadK-principe mogen de zeespiegelstijging en diepe bodemdaling samen niet groter zijn dan het sedimentatievermogen van een komberging. In de Integrale Bodemdalingstudies Waddenzee (1998, 2004) is namelijk geconstateerd dat als de snelheid van zeespiegelstijging en/of bodemdaling het sedimentatievermogen niet overstijgt er geen effecten op de ecologie mogen worden verwacht. Het sedimentatievermogen wordt daarom ook de natuurgrens genoemd die wordt uitgedrukt in het aantal millimeters dat een komberging in de Waddenzee in een jaar (op natuurlijke wijze) kan opslibben.

Signaleringparameters zijn parameters die extra zekerheid moeten verschaffen over het uitblijven van effecten op belangrijke natuurwaarden. Het betreft zowel 'dode' als levende parameters die zowel ecologisch als maatschappelijk als relevant worden aangemerkt. In de signaleringmonitoring wordt in eerste instantie gewerkt met trends en referenties om eventuele afwijkende ontwikkelingen in gebieden met bodemdaling te achterhalen. Daarbij is zoveel mogelijk aangesloten bij beschikbare (historische) databestanden en lopende monitoringprogramma's omdat voor het vaststellen van trendmatige ontwikkelingen gegevens van minimaal 3 á 5 jaar nodig zijn. Belangrijke monitoringprogramma's in deze zijn bv de kweldermonitoring van RWS (>50 j), de Amelandmonitoring (>25 j) en de SOVON-tellingen (vanaf 1990).

In haar adviezen heeft de Audit Cie aangegeven dat binnen het monitoringprogramma “zo mogelijk bij voortdurend” moet worden gecontroleerd of het sedimentatievermogen van kombergingen zoals vastgesteld in de bodemdalingstudies (Oost et al 1998; RIKZ 2004), juist is. Het sedimentatievermogen van de kombergingen is echter binnen het HadK-principe vastgelegd in natuurgrenzen. Deze natuurgrenzen zijn vastgesteld in het Rijksproject Besluit op basis van uitgebreid wetenschappelijk onderzoek en vanuit de optiek van het voorzorgsprincipe. Dit heeft geresulteerd in veilige natuurgrenzen die binnen het HadK-principe kunnen worden toegepast. Zolang de natuurgrenzen niet worden overschreden mag er redelijkerwijs (op basis van wetenschappelijk onderzoek) worden aangenomen dat de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee niet zullen worden aangetast. De natuurgrenzen vormen binnen het HadK-principe een gegeven. Om toch zicht te houden op de ontwikkelingen in de sedimentatie, is deze parameter in het Monitoringprogramma als signaleringsparameter meegenomen op het niveau van komberging, wadplaat en kwelder.

Ondanks het feit dat de daadwerkelijke sedimentatie geen sturende parameter is binnen het HadK-principe, wordt het belang van en de interesse voor de ontwikkelingen in de sedimentatie, zoals geschetst door de Audit Cie, door de NAM gedeeld. Daarom zijn in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag LIDAR opnamen uitgevoerd en nabij alle 34 (GPS) peilmerk clusters lokale meetnetten (ca 20 x 30 m) d.m.v. waterpassingen ingemeten. LIDAR staat voor Laser Imaging Detection and Ranging en is een technologie waarmee vanuit een vliegtuig met behulp van laserpulsen het aardoppervlak in kaart kan worden gebracht. Beide technieken zijn vanaf 2010 tot het evaluatiejaar 2012 toegepast. Om de nauwkeurigheid van de vlakdekkende (Lidar) metingen te verbeteren, wordt de zoektocht naar betere methodes om de sedimentatie gebiedsdekkend te kunnen monitoren, voortgezet.

In haar adviezen heeft de Audit Cie aangegeven, dat de onderzoeksmethodes, de nauwkeurigheid van de metingen, de relatie van de metingen met bodemdaling en de mogelijkheden van integratie van gegevens, duidelijker moeten worden omschreven. Om hieraan tegemoet te komen, zijn de opzet en aanpak van de monitoring van sommige signaleringsparameters en/of de rapportering in de loop der jaren enigszins (i.v.m. de continuïteit) gewijzigd. Voor zover technisch en praktisch mogelijk is steeds gestreefd naar het inzetten van nieuwe technieken en het optimaliseren van de monitoring. In 2012 zijn tbv de evaluatie van het 6 jarig monitoringprogramma verschillende bijeenkomsten (Leeuwarden en Zeegse overleggen) georganiseerd waarin de integratie van de monitoringgegevens en de opzet en uitvoering van de evaluatie zijn besproken met de onderzoekers en de commissies.

### *Monitoring 2007-2012*

In dit document worden de resultaten van de gehele monitoringperiode 2007-2012 gepresenteerd (H3) en geëvalueerd (H4). Daarbij is naar aanleiding van het advies van de Audit Cie een andere presentatievorm aangehouden dan in de eerste jaren. Een en ander houdt in dat:

- de samenvattingen van de monitoringrapporten niet meer integraal in het rapport worden opgenomen. Hiervoor wordt verwezen naar de rapporten zelf (zie Tabel 2.2)
- alleen gegevens en resultaten van de monitoring worden meegenomen die van belang zijn voor het schetsen van de effectketen, het duiden van de ontwikkelingen in de verschillende monitoringparameters en het integraal beoordelen van de monitoring.

In overleg met de overheid (SodM) en TNO zijn in 2011 de prognosemodellen voor de diepe bodemdaling geactualiseerd. Deze actualisatie is doorgevoerd in het Winningplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen en het Winningplan Ameland in oktober 2011. De resultaten van de bodemdalingberekeningen met de geactualiseerde modellen zijn in een bijgewerkte versie van het integrale beoordelingsrapport 2011 (NAM EP 201110236961 revisie 2011) opgenomen. Door de wijzigingen in het model sluiten de bodemdalinggegevens uit de integrale beoordelingen van vóór 2011 niet aan bij de bodemdalinggegevens van 2011 en 2012. Vanaf 2010 is gewerkt met de gegevens van de geactualiseerde modellen.

Volgens de bodemdalingmetingen en het geactualiseerde prognosemodel is de diepe bodemdaling(snelheid) die is opgetreden in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag

lager dan eerder gerapporteerd. Een en ander houdt, naast de actualisatie van het prognosemodel, verband met de grotere gasvolumes in de MLV-reservoirs. In reservoirs met een groot volume gas daalt bij gelijkblijvende gasproductie de druk in het reservoir langzamer en daarmee wordt ook de bodemdalingsnelheid lager.

De monitoring rond de waddenwinningen beperkt zich tot de betrokken natuurgebieden Waddenzee en Lauwersmeer. De gevolgen van bodemdaling door de waddenwinningen op het binnendijkse gebied van de Provincie Friesland en Groningen, vallen onder de verantwoordelijkheid van de Bodemdalingcommissies Friesland en Groningen.

## 2. RAPPORTEN

### 2.1 BODEMDALINGSTUDIES

In Tabel 2.1 staan de meest relevante bodemdalingrapporten die in het kader van de gaswinning in het Waddenzeegebied zijn samengesteld in de periode van de start van de Amelandwinningen in 1986 tot het begin van de Waddenwinningen in 2005.

Tabel 2.1: Overzicht bodemdalingstudies rond de gaswinningen op Ameland en onder de Waddenzee (vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen)

Rapport	Instantie	Auteurs
Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee 1998	NAM	A.P. Oost, 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
Bodemdalingstudie Waddenzee 2004	RIKZ	H.J. Hoeksema, H.P.J. Mulder, M.C. Rommel, J.G. de Ronde, J. de Vlas
Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 13 jaar gaswinning, 2000	BCMBA	Dijkema K.S., H.F. van Dobben, W.D. Eysink, M.E. Sanders, E.P.A.G. Schouwenberg, P.A. Slim, C.J. Smit, J. de Vlas & J. Wiertz
Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 18 jaar gaswinning, 2005	BCMBA	Dijkema K.S., D. Doornhof, H.F. van Dobben, W.D. Eysink, M. Kersten, J. Krol, W. Molenaar, M.E. Sanders, S. Schoustra, P.A. Slim, W. Veldwisch & Z.B. Wang
Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning Vloedkommen van het Friesche Zeegat, 2005. Rapport Z3995	Deltares	Wang, ZB & W.D. Eysink
MER aardgaswinning Waddenzegebied vanaf locatie Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, 2006	NAM	Wittenveen & Bos, Berkenbod & Koetsenruiter, Alterra, WL/Delft Hydraulics, Grontmij, Oranjewoud, Altenburg & Wymenga, Tebodin, NAA akoestisch adviesbureau, Vectra Group, NAM.
Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 23 jaar gaswinning, 2011	BCMBA	Dijkema K.S., H.F. van Dobben, B. Dullo, B. Ens, M. Kersten, G. Ketelaar E. Koppenaal, J. Krol. K. Rappoldt, P. Slim & Z.B. Wang

### 2.2 RAPPORTEN 2012

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de rapporten en informatie die in 2012/13 rond de monitoring en evaluatie beschikbaar zijn gekomen. In Tabel 2.2 staan de rapporten die in het kader van de evaluatie van de monitoring in 2012/13 zijn samengesteld. Daarbij is ten behoeve van de systematiek en het overzicht onderscheid gemaakt tussen de Waddenzee en het Lauwersmeer én tussen abiotische en biotische monitoring. In het Lauwersmeer wordt de abiotische en biotische monitoring in samenhang uitgevoerd en gerapporteerd.

In tegenstelling tot eerdere integrale beoordelingen wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen gegevens-, methodologische en evaluatierapporten omdat het dit keer allemaal om evaluatierapporten gaat. In de meeste rapporten worden de verzamelde monitoringgegevens van de jaren 2007-2012 gepresenteerd, de gebruikte onderzoeksmethodes beschreven en geëvalueerd, conclusies getrokken en de adviezen van de Auditcommissie besproken.

Tabel 2.2: Overzicht rapportages voor de evaluatie van de monitoring in 2012/13.

MONITORINGONDERDEEL	INSTANTIE	RAPPORTAGE
<b>Waddenzee: het abiotische systeem</b>		
Bodemdaling	NAM NAM	Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2012 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen Meet- en regelcyclus 2007-2012
Hoogteligging/arealen	FUGRO DELTARES	Analyse LIDAR data voor het Friesche Zeegat (2010 - 2012). Monitoring effecten bodemdaling door gaswinning Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling
Sedimentatie: - wad (spijkermetingen) - wad (waterpassingen) - kwelder (SEB-metingen)	NCA NAM IMARES	Evaluatierapport Wadsedimentatiemetingen Ameland, Engelsmanplaat, Paesens en Schiermonnikoog, 2007-2012. Maart 2013. Meet en Regelrapportage 2012 Meet en Regelrapportage 2007-2012 Rapport C082/13: Vegetatie en opslibbing in de Peazemerlannen en het referentiegebied west-Groningen: Evaluatie 2007-2012
<b>Waddenzee: het biotische systeem</b>		
Kweldervegetatie	IMARES	Rapport C082/13: Vegetatie en opslibbing in de Peazemerlannen en het referentiegebied west-Groningen: Evaluatie 2007-2012
Bodemdieren	NIOZ	NIOZ 2013-1: Synoptic intertidal surveys across the Dutch Wadden Sea 2008 to 2011
Wadvogels/broedvogels	SOVON SOVON Ecocurves/ SOVON	Sovon-rapport 2013/21: Trendanalyses van vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinningen over de periode 1990-2011 Sovon-rapport 2013/26: Overstromingsrisico's en verspreiding van kwelderbroedvogels in de Nederlandse Waddenzee in relatie tot bodemdaling door gaswinning Ecocurves rapport 17/ Sovon-rapport 2013/17: Het effect van bodemdaling op overwinterende scholeksters in de Waddenzee. Een modelstudie met WEBTICS.
<b>Lauwersmeer: het abiotische en biotisch systeem</b>		
Areaal/oppervlakte habitat ofwel vegetatiestructuur	A&W Buijs	A&W-rapport 1885: Monitoring effecten van bodemdaling op vegetatie in de Lauwersmeer. Verslag monitoringsperiode 2007 t/m 2012
Vegetatie (incl. grondwater en bodemchemie)	A&W Buijs	A&W-rapport 1885: Monitoring effecten van bodemdaling op vegetatie in de Lauwersmeer. Verslag monitoringsperiode 2007 t/m 2012
Water/broedvogels	SOVON	Sovon-rapport 2013/20: Effecten van de gaswinning bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen op de broed- en watervogels in het Lauwersmeer
<b>Waddenzee &amp; Lauwersmeer</b>		
Evaluatiedocument	NAM	Evaluatiedocument MLV-monitoring 2007 t/m 2012
Aanpak evaluatie	NAM	Aanpak evaluatie MLV monitoring 2007-2012
Integrale beoordeling	NAM	Integrale beoordeling gaswinning Waddenzee 2007-2012



### 3. INTEGRALE BEOORDELING

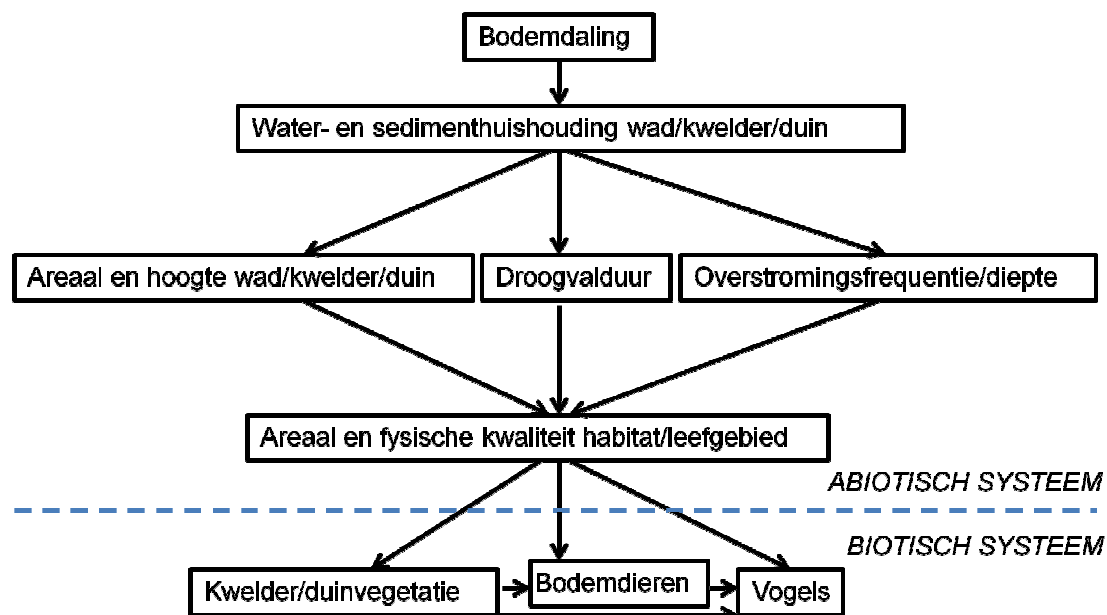
#### 3.1 Inleiding

In het advies van de Audit Commissie over 2009 heeft de commissie aangegeven een bepaalde presentatie en bespreking van de monitoringgegevens voor te staan waarin de onderlinge samenhang tussen de metingen van de verschillende monitoringonderdelen meer tot uitdrukking komt. Dat heeft voor de rapportering van de gegevens tot een andere invulling van de integrale beoordeling geleid dan in de voorgaande jaren. De veranderingen houden in dat:

- per monitoringonderdeel/paragraaf een effectketen wordt opgenomen waarin de betreffende **monitoringparameter** vet wordt afgedrukt om de positie in de keten duidelijk aan te geven
- de resultaten van de metingen in een soort van scenarioanalyse worden besproken waarbij achtereenvolgens wordt aangegeven:
  - o of er wel of niet sprake is van bodemdaling
  - o of de metingen van de betreffende monitoringparameter wel of niet veranderingen (afwijkende ontwikkelingen) laten zien
  - o of de veranderingen wel of niet gerelateerd zijn aan bodemdaling
  - o welke conclusies kunnen worden getrokken

Voor informatie over de mogelijkheden en beperkingen van het koppelen of correleren van verschillende metingen en het integraal beoordelen van de monitoring wordt verwezen naar het verslag over het monitoringjaar 2009 (H5) en het Evaluatiedocument (Tabel 2.2) waarin de aanpak en de overwegingen rond de evaluatie zijn beschreven.

In Figuur 3.1 is de effectketen voor bodemdaling in de Waddenzee schematisch weer gegeven waarbij moet worden opgemerkt dat in de keten natuurlijk ook sprake is van terugkoppelingen vanuit het biotische systeem op het abiotische systeem. Daarmee wordt bedoeld dat organismen op hun beurt hun eigen abiotische leefomgeving beïnvloeden. Zo vormen mosselen op het wad samen een mosselbank waarin ze beter kunnen overleven en bevorderen planten op de kwelder de opslibbing waardoor hun leefgebied groter wordt. Beide terugkoppelingen leveren daarmee een bijdrage aan het 'opvangen' van bodemdaling en zeespiegelstijging.



Figuur 3.1: Effectketen bodemdaling Waddenzee.

In onderstaande schema's zijn de effectketens weergegeven die zijn gebruik voor de integrale beoordeling van de metingen in de Waddenzee en het Lauwersmeer:

*Waddenzee:*

*Diepe bodemdaling → plaatoppervlak/hoogte (sedimentatie) → habitat/leefgebied →*  
 → 1) *kweldervegetatie → vogels*  
 2) *bodemdieren → vogels*  
 3) *vogels*

*Lauwersmeer:*

*Diepe bodemdaling → terrein/habitatoppervlak →*  
 → 1) *grondwater/bodemchemie → vegetatie → vogels*  
 2) *vegetatie → vogels*  
 3) *vogels*

In de effectketens volgt achter de variabelen habitat/leefgebied en terrein/habitatoppervlak een vertakking van de keten in de 3 onderdelen. Daarmee wordt aangegeven, dat een verandering in deze variabelen op drie verschillende manieren kan doorwerken in de effectketen. Zo kan een verandering in het areaal water (overstroomd habitat) een effect hebben op het grondwater of de bodemchemie en vervolgens indirect van invloed zijn op de vegetatie en vogels. De vegetatie kan echter ook direct beïnvloed worden, bijvoorbeeld door frequente overstromingen. Hetzelfde geldt voor vogels wier rustplaats onbruikbaar kan worden door overstromingen.

## 3.2 Monitoringgegevens Waddenzee

### 3.2.1 Abiotische gegevens Waddenzee

In het kader van de monitoring zijn in 2007 t/m 2012 de volgende gegevens van abiotische variabelen verzameld:

- 1) Diepe bodemdalinggegevens uit metingen en prognoses (NAM; 3.2.2).
- 2) Hoogteligging-, oppervlakte- en droogvalduurgegevens uit lodingen (RWS), LIDARopnames (RWS, Fugro) en luchtfoto's (Arcadis) en gegevensanalyses (Deltares, NAM; 3.2.3)
- 3) Lokale sedimentatiegegevens uit metingen op wad (2x) en kwelder (resp. NCA, NAM en IMARES; 3.2.3)

Het doel van de abiotische monitoring is in grote lijnen tweeledig. De monitoring moet duidelijk maken of de diepe bodemdaling samen met de zeespiegelstijging binnen de gebruiksruimte van de betrokken kombergingen is gebeven. Daarnaast moet de monitoring aantonen of en in hoeverre de diepe bodemdaling tot een daling van het wad- en kwelderoppervlak heeft geleid en daarmee tot veranderingen in de droogvalduur en overstromingsfrequentie van wadplaten en kwelders (relevante variabelen in de biotische monitoring). Met andere woorden: of de effectketen rond bodemdaling al dan niet in werking is getreden.

### 3.2.2 Diepe bodemdaling

*Effectketen Waddenzee*

***Diepe bodemdaling*** → *plaatoppervlak/hoogte (sedimentatie) → habitat/leefgebied →*  
 → 1) *kweldervegetatie → vogels*  
 2) *bodemdieren → vogels*  
 3) *vogels*

*Conclusies t.a.v. diepe bodemdaling: De diepe bodemdaling(snelheid) door de Wadden-, Anjum- en Amelandwinningen is samen met de snelheid van zeespiegelstijging, ruim binnen de gebruiksruimte van de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag gebeven.*

### *Metingen en analyses*

Gegevens over de diepe bodemdaling worden verzameld door de NAM (Tabel 2.2) aan de hand van geodetische metingen en geomechanische bodemdalingmodellen. De metingen worden gebruikt om de bodemdalingmodellen en –prognoses te kalibreren. Het gaat daarbij om:

- vlakdekkende waterpassingen tussen vaste meettrajecten op het land en/of InSAR-opnames (Satelliet radar interferometrie)
- lokale 5-daagse GPS-registraties op 34 wadlocaties
- permanente GPS-registraties op 3 landlocaties boven de gasvelden Anjum, Moddergat en Ameland (signaalfunctie).
- GPS-metingen voor het Lauwersmeergebied

Om de daadwerkelijke diepe bodemdaling te monitoren, worden er sinds de start van de gaswinning in de Waddenzee en Lauwersmeer gebied geodetische metingen verricht. Het betreft metingen van de fysieke hoogteligging van zowel het aardoppervlak als diep gefundeerde peilmerken (Meet en Regelrapportage 2007-2012).

Vlakdekkende waterpassingen worden ingezet om veranderingen in de hoogteligging van het aardoppervlak te achterhalen. De metingen worden regelmatig uitgevoerd langs vaste routes op het land en ingezet voor het kalibreren van de prognosemodellen voor bodemdaling.

De lokale 5-daagse GPS-registraties vormen op het wad het alternatief voor de waterpassingen. Het aantal meetpunten in de Waddenzee is afgestemd op de dekking nodig voor het kalibreren van de prognoses.

De permanente GPS-registraties op of in de nabijheid van NAM-locaties boven de gasvelden hebben een signaalfunctie waarmee het verloop van de diepe bodemdaling continu wordt gevolgd.

GPS-metingen voor het Lauwersmeer zijn losse metingen die zijn uitgevoerd in het kader van de signaleringsmonitoring (vegetatie).

INSAR-opnames zijn een alternatief voor waterpassingen. Aan de hand van tijdseries en bij een voldoende dichtheid aan meetpunten kan eenzelfde precisie worden behaald als bij waterpassingen.

Bodemdalingprognoses worden gemaakt aan de hand van reservoirgegevens en aan geodetische meting gekalibreerde geomechanische modellen waarmee de compactie (samendrukbaarheid) van de diepe ondergrond wordt berekend die zich aan het aardoppervlak manifesteert als bodemdaling. De geodetische metingen en bodemdalingprognoses worden gecontroleerd door de overheid (SodM/TNO) en jaarlijks gerapporteerd in Meet & Regel-rapportages (Tabel 2.2). De nauwkeurigheid van een prognose hangt onder andere samen met de productieleeftijd van een gasveld. Hoe ouder het veld des te nauwkeuriger de prognose, wat het resultaat is van de kalibraties die worden uitgevoerd aan de hand van geodetische metingen en reservoirgegevens die in de loop der jaren beschikbaar komen.

Met de prognoses wordt per komberging de bodemdalingsnelheid per jaar of over de jaren berekend door het dalingsvolume te delen door de oppervlakte van de komberging.

Voor meer gedetailleerde informatie over de metingen, modellen, en prognoses wordt verwezen naar de NAM Meet en Regelrapportages (Tabel 2.2) en bijlage 1 van dit rapport. Informatie over de beoogde en behaalde productie volumes is opgenomen in bijlage 2.

### *Meet- en analyseresultaten*

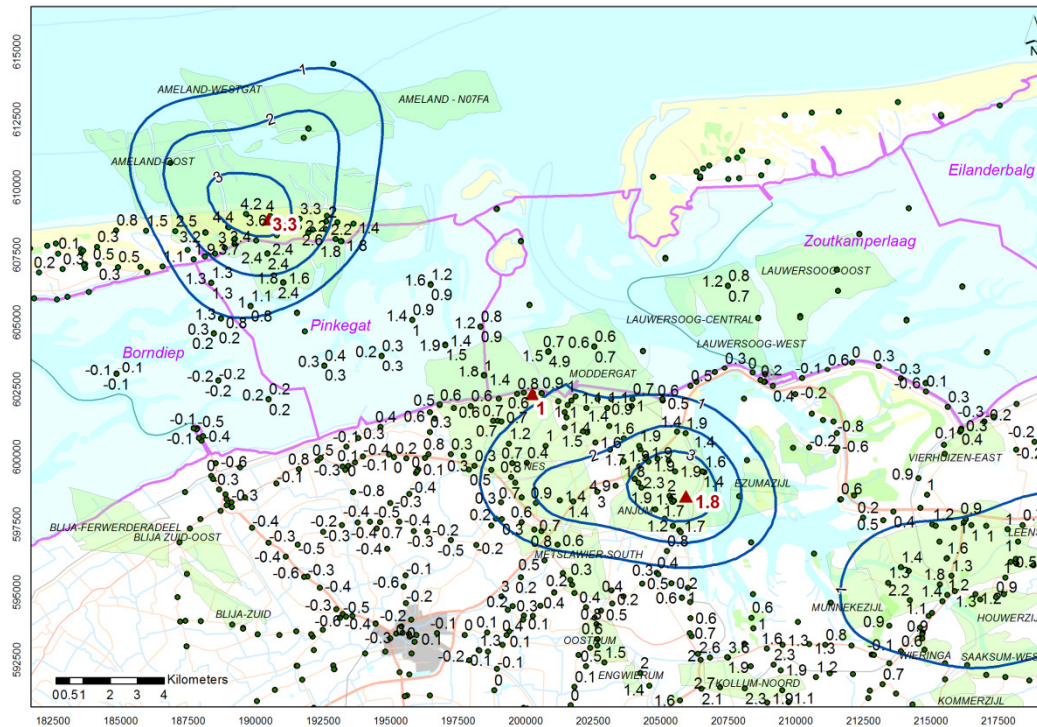
In de Figuren 3.2.2 A,B,C is de gemeten (zwarte punten en getallen) en gemodelleerde (blauwe contouren) diepe bodemdaling weergegeven voor resp. de periodes 2006-2011,

2006-2012 en 1986-2012. Het gaat hierbij om de totale diepe bodemdaling die op bepaalde plaatsen is gemeten en (vlakdekkend) voorspeld sinds de start van de waddenwinningen in 2007 en de Amelandwinningen in 1986. Deze waarden kunnen niet worden vergeleken met de gemiddelde diepe bodemdalingssnelheid voor een gehele komberging (Tabel 3.2.2.2) waarbij het totale diepe bodemdalingvolume binnen een komberging wordt gedeeld door de oppervlakte van de komberging. Opvallend in de Figuren 3.2.2 A en B is dat de contouren van de Wadden- en Anjumwinningen voornamelijk nog binnendijs liggen en dat de bodemdaling op de kwelder en het wad beperkt is; resp. ruim 1 cm in de periode 2006-2012 (Fig. 3.2.2B) en ca 2 cm in de periode 1997-2012 (Fig. 3.2.2C).

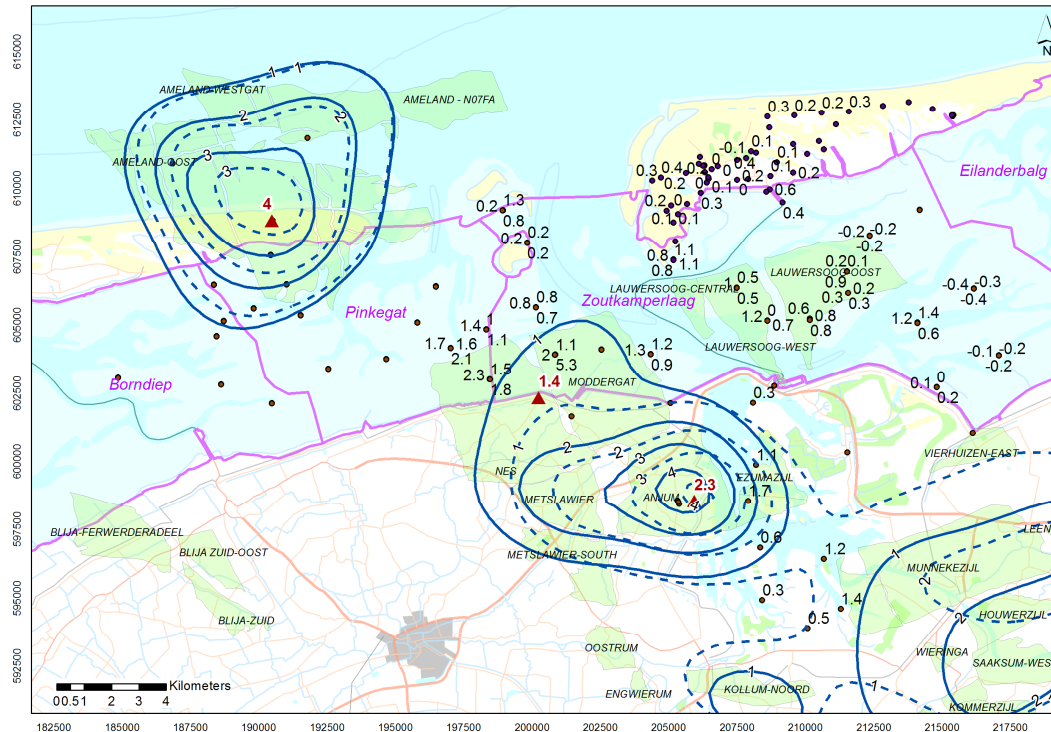
Uit de geodetische metingen op het wad blijkt dat boven de Moddergat/Nesvelden in de periode 2007-2012 lokaal een diepe bodemdaling is gemeten van 0,7 tot 2,3 cm (gemiddeld ca 1,4 cm) ofwel een lokale diepe bodemdaling van ca 2,5 mm/j; bij Ameland is dat over de periode 2006-2011 een diepe bodemdaling van 2,6 tot 1,4 cm (gemiddeld ca 1,8 cm) ofwel ca 4 mm/j.

Uit de permanente GPS-registraties (rode driehoeken in figuren) blijkt dat de diepe bodemdaling op het wad juist ten noorden van Moddergat ca 1,4 cm bedraagt (gemiddelde snelheid van ca 2,3 mm/j); aan de westzijde van Lauwersmeer is dat ca 2,3 cm (gemiddelde snelheid van ca 4,0 mm/j). De GPS-registratie van Moddergat sluit goed aan op de modelberekening terwijl de GPS-registratie bij Anjum een lagere diepe bodemdaling aangeeft dan de modelberekening (zie verder bij Fig. 3.2.2G). Hetzelfde geldt voor de waterpassingen rond Anjum. De modelberekening levert voor het centrum van de bodemdalingsschotel (3 en 4 cm contour rond de Anjum-locatie) een hogere daling op dan daadwerkelijk wordt gemeten.

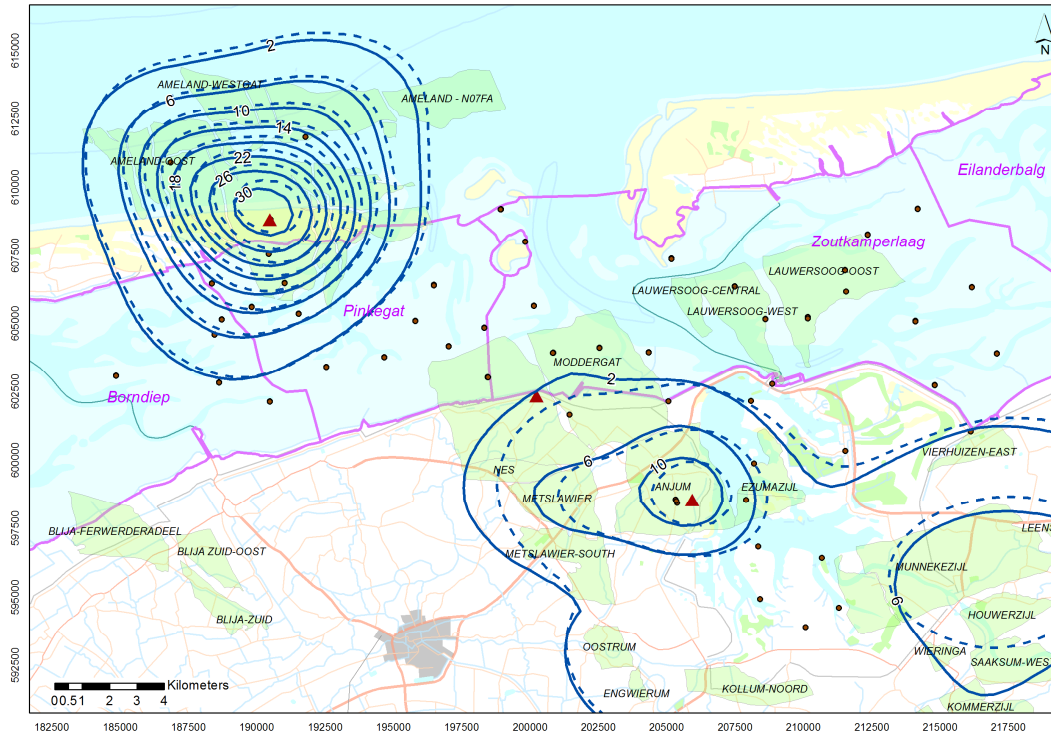
Omdat de diepe bodemdaling op het wad door de Waddenwinningen nog zeer beperkt is, is in overleg met de onderzoekers besloten om in deze evaluatie de bodemdalinggebieden op het wad van langlopende winningen mee te nemen (Figuren 3.2.2D & E). Het gaat daarbij, naast het bodemdalinggebied Ameland, om de bodemdalinggebieden op het wad van de velden Groningen (NAM) en Zuidwal (Vermillion). Deze gebieden kennen meer diepe bodemdaling (tot ca 25 cm) en lenen zich daarom beter voor het achterhalen van effecten van diepe bodemdaling. De verzamelde monitoringgegevens van de signaleringparameters in deze bodemdalinggebieden worden vergeleken met die van referentiegebieden (de zogenaamde hotspot-benadering).



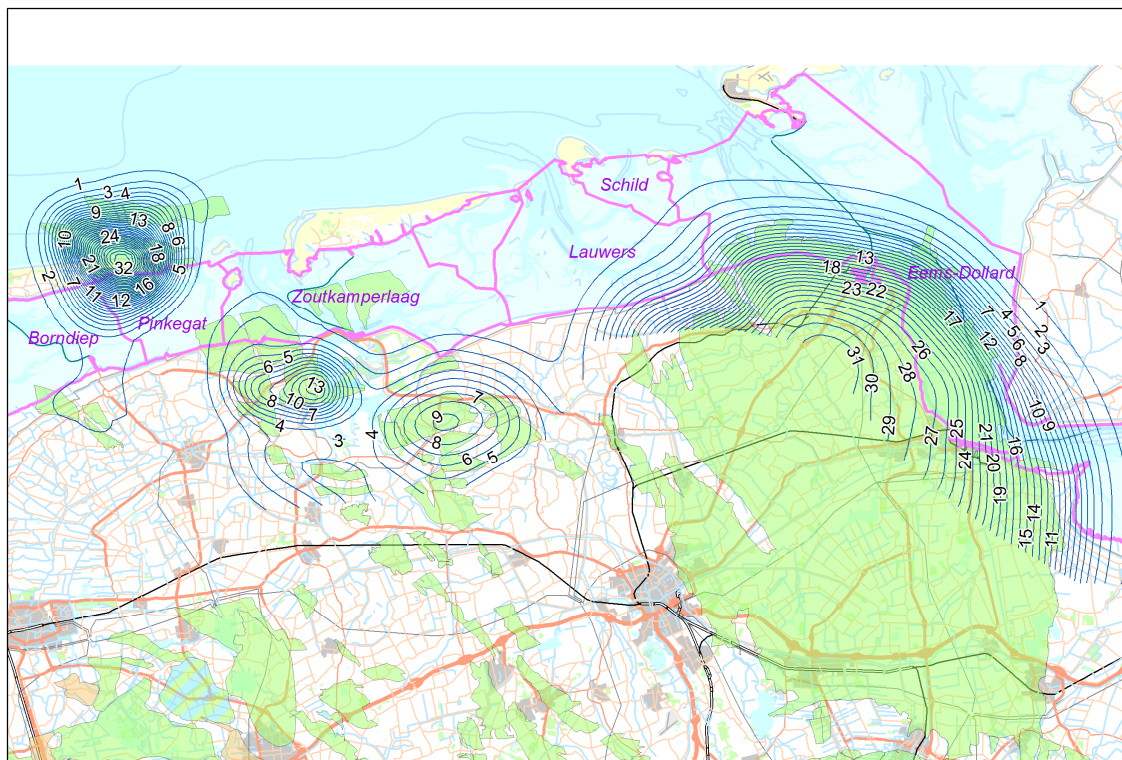
Figuur 3.2.2A: Totale diepe bodemdaling (cm) door gaswinning in januari 2011 sinds de nulmetingen in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen. De zwarte punten representeren peilmerken met in 2011 gemeten hoogteverschillen sinds de start van de productie van de waddenvelden in 2006. Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoeken).



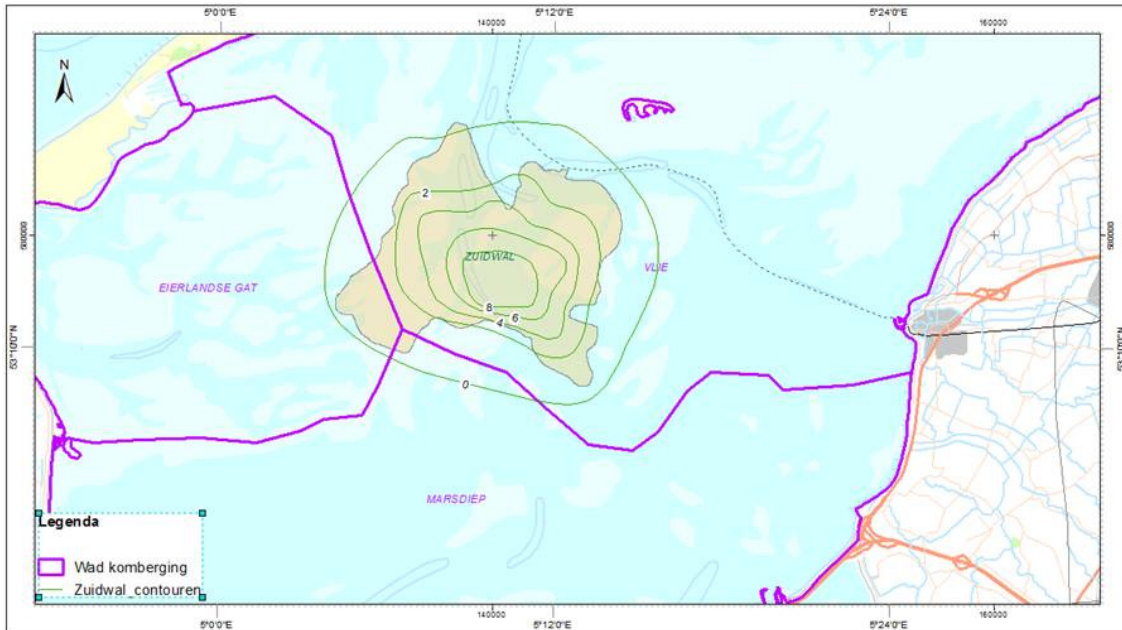
Figuur 3.2.2B: Totale diepe bodemdaling (cm) door gaswinning in januari 2012 sinds de nulmetingen in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/ gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling in januari 2011 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2011). De zwarte punten representeren peilmerken met in 2012 gemeten hoogteverschillen sinds de start van de productie van de waddenvelden in 2006. Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoeken).



Figuur 3.2.2C: Totale diepe bodemdaling (cm) door gaswinning in januari 2012 sinds de start van de productie in de betrokken velden (1986 Ameland; 1997 Anjum). In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling in januari 2011 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2011).



Figuur 3.2.2D: Totale gemodelleerde diepe bodemdaling (cm) door gaswinning in december 2012 sinds de start van de productie van alle gasvelden rond de Waddenzee.



Figuur 3.2.2E: Totale verwachte diepe bodemdaling (cm) door de Zuidwalwinningen.

In Tabel 3.2.2.2 staan de bodemdalingsnelheden voor de diepe ondergrond zoals berekend met het meest recente bodemdalingmodel en de productievolumes van 2007 t/m 2012 (Meet en Regelrapportage 2007-2012, H4.4). Het betreft de gemiddelde diepe bodemdalingsnelheid van de gehele komberging in een bepaald jaar en gedurende de periode 2007-2012 (sturende parameter binnen het HadK-principe). De waarden wijken af van eerder gerapporteerde snelheden door optimalisaties in de reservoirgegevens/modellen en de geomechanische berekeningen in verband met kalibraties en wijzigingen in productievolumes (Meet en Regelrapportage 2007-2012, H4.4).

De diepe bodemdalingsnelheid in de komberging Pinkegat wordt voornamelijk veroorzaakt door productie van de Amelandvelden maar de bijdrage van de Waddenvelden (i.e. het Nesveld; zie Fig. 3.2.2B) neemt geleidelijk toe terwijl die van de Amelandvelden afneemt (Fig 3.2.2I&J). De diepe bodemdaling in de komberging Zoutkamperlaag wordt nagenoeg volledig veroorzaakt door de Wadden- en Anjumwinningen en voor een verwaarloosbaar deel door de Amelandwinningen (daarom zijn de waarden in de kolommen Zoutkamperlaag hetzelfde). In Bijlage 1 is een grafische weergave opgenomen van het verloop van de gemiddelde bodemdalingsnelheid in het Pinkegat vanaf het begin van de Amelandwinningen (1986).

Tabel 3.2.2.2. Diepe bodemdalingsnelheid (mm/j) per kombergingsgebied (min en max scenario) als gevolg van gasproductie uit de Wadden - en Amelandvelden. (NAM; Meet en Regelrapportage 2007-2012, H4.4)

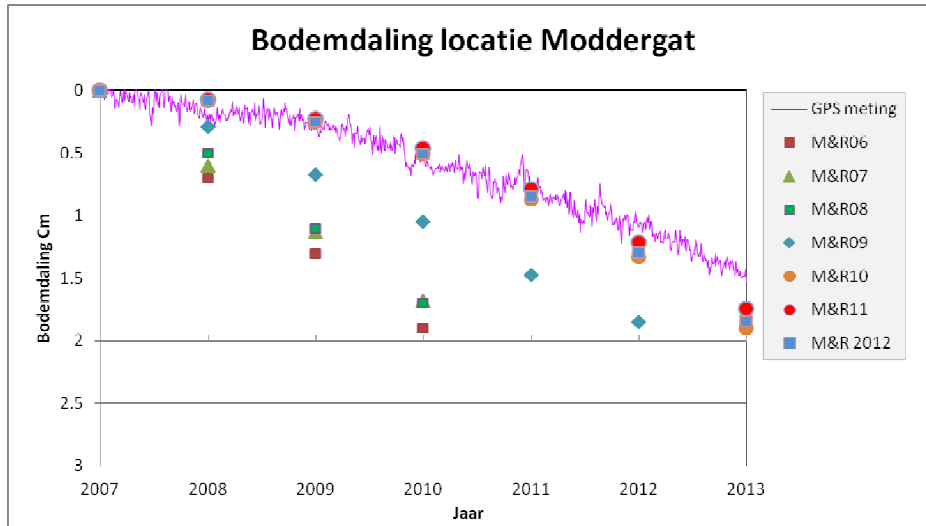
Jaar	Alle producerende velden		Waddenvelden (MLV) + Anjum	
	Pinkegat	Zoutkamperlaag	Pinkegat	Zoutkamperlaag
2007	0,71 - 0,89	0,07 - 0,20	0,09 - 0,09	0,07 - 0,20
2008	0,71 - 0,89	0,14 - 0,19	0,16 - 0,17	0,14 - 0,19
2009	0,72 - 0,91	0,25 - 0,35	0,22 - 0,26	0,25 - 0,35
2010	0,76 - 0,97	0,37 - 0,54	0,29 - 0,36	0,37 - 0,54
2011	0,81 - 1,06	0,48 - 0,75	0,37 - 0,48	0,48 - 0,75
2012	0,87 - 1,17	0,62 - 1,10	0,45 - 0,60	0,62 - 1,10
2007-2012	0,76 - 0,98	0,34 - 0,52	0,26 - 0,33	0,34 - 0,52

In Figuur 3.2.2F t/m H zijn de permanente GPS-registraties en de voorspelde diepe bodemdaling volgens de prognoses in eerdere Meet en Regelrapportages (2006 t/m 2012)

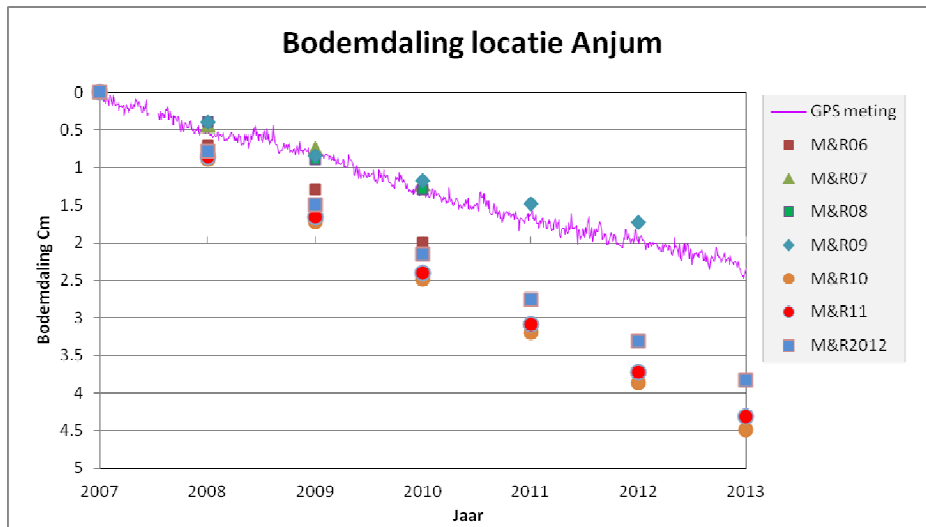
weergegeven voor de locaties Moddergat, Anjum en Ameland. De locaties liggen min of meer boven het snelst dalende deel van de dalingschotel. Het betreft de diepe bodemdaling sinds de start van de metingen in 2007. Opgemerkt moet worden dat de permanente GPS-registraties de diepe bodemdaling op de meetlocatie weergeeft (paarse meetlijn) terwijl de geprognosticeerde bodemdaling voor de meetlocatie (gekleurde meetpunten) gebaseerd is op alle bodemdalingmetingen in het hele dalingsgebied.

De grafiek van de locatie Moddergat laat zien dat in de eerste jaren van de productie van een nieuw gasveld de prognose regelmatig wordt bijgesteld; meestal in gunstige zin (minder daling) omdat in het begin wordt gewerkt met conservatieve aannames. Opvallend in de grafiek van Anjum is het verschil tot 2 cm tussen de GPS-registratie en de voorspelde diepe bodemdaling ter plaatse. De Anjum locatie en directe omgeving (zie Figuur 3.2.2A) wijken blijkbaar af van andere meetlocaties die zijn gebruikt voor de prognoses. Ook de grafiek van Ameland laat een verschil zien tussen de prognosewaarden voor de locatie Ameland en de permanente registratie, maar het verschil is kleiner en minder opvallend dan bij Anjum.

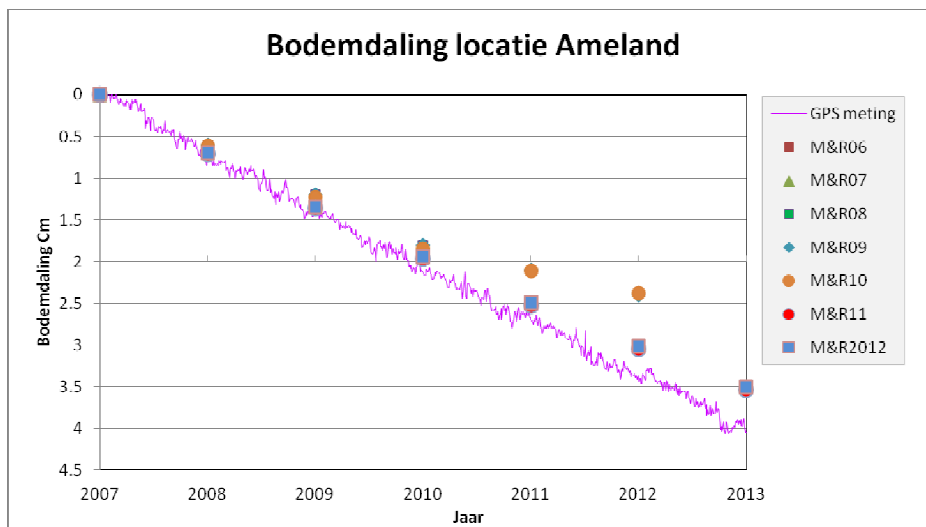




Figuur 3.2.2F: Voorspelde en gemeten (GPS) diepe bodemdaling locatie Moddergat (coördinaten: X-RD: 200244.559, Y-RD: 602329.794) voor de diverse Meet en Regelcycli.



Figuur 3.2.2G: Voorspelde en gemeten diepe bodemdaling (GPS) locatie Anjum (coördinaten: X-RD: 205931.145, Y-RD: 598546.039) voor de diverse Meet en Regelcycli.



Figuur 3.2.2H: Voorspelde en gemeten diepe bodemdaling (GPS) locatie Ameland-Oost (coördinaten: X-RD:190474.978, Y-RD: 608822.469) voor de diverse Meet en Regelcycli.

In Tabel 3.2.2.3 zijn de gegevens van de permanente registraties in 2012 getalsmatig weergegeven. De berekende snelheden vormen een grove maat voor de (hoogste) dalingsnelheden die optreden in het centrum van de bodemdalingssommen.

Tabel 3.2.2.3: Resultaten van de analyse van de permanente GPS - registraties boven de gasvelden.

Locatie	Absolute daling [mm] 05/02/07 t/m 31/12/12	Gem. snelheid [mm/jaar] vanaf 01/01/12 (1 jaar)
Ameland	40	7 [1 $\sigma$ = 0.7 mm/jaar]
Moddergat	14	4 [1 $\sigma$ = 0.5 mm/jaar]
Anjum	23	4 [1 $\sigma$ = 0.6 mm/jaar]

Voor meer details over de geodetische metingen en prognoses wordt verwezen naar het rapport Meet- en Regelrapportage 2012 en 2006-2012 (zie Tabel 2.2).

#### *Bespreking en integratie van de gegevens*

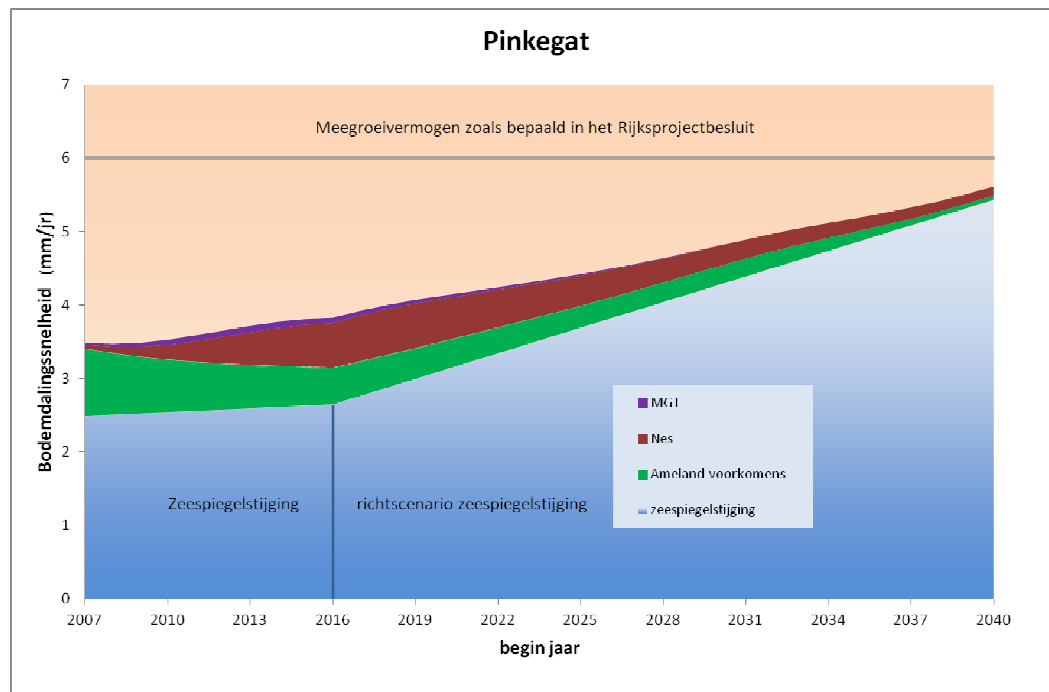
Bovenstaande diepe bodemdalinggegevens vormen het begin van de effectketen en zijn door alle onderzoeksinstanties gebruikt voor het analyseren van hun monitoringgegevens. Daarbij is voornamelijk gebruik gemaakt van:

- de gemiddelde diepe bodemdalingssnelheid van een komberging omdat conform het Monitoringprogramma 2007-2012 de gevolgen van diepe bodemdaling moeten worden bekeken op het niveau van kombergingen
- de diepe bodemdalingcontouren omdat met onderzoekers en commissies is afgesproken zoveel mogelijk gebruik te maken van de daadwerkelijke bodemdalinggebieden al dan niet in vergelijking met referentiegebieden.

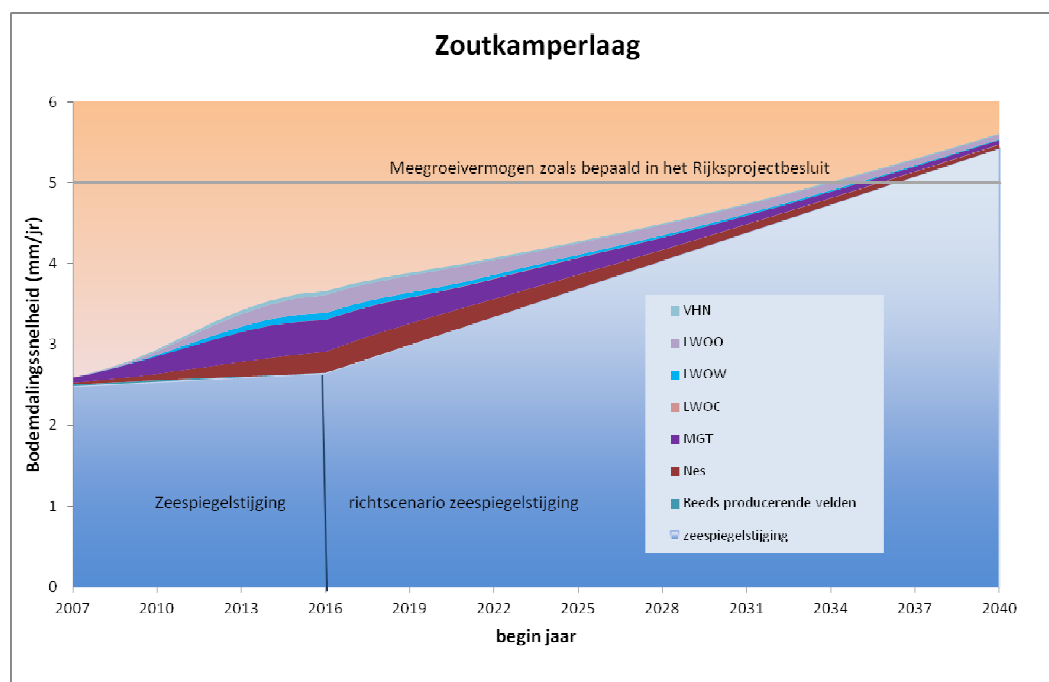
Binnen het HadK-principe vindt, zoals overeengekomen in het kader van de vergunningen, integratie plaats van de gegevens van sturende monitoringparameters: 1) de snelheid van zeespiegelstijging, 2) snelheid van diepe bodemdaling en 3) de sedimentatiecapaciteit. De sedimentatiecapaciteit ofwel de sedimentatiesnelheid per tijdseenheid, komt voort uit de integrale bodemdalingstudies (NAM 1998 en RIKZ 2004) en de Passende Beoordeling (2006) bij het Rijksprojectbesluit rond de waddenwinningen. Voor het Pinkegat en de Zoutkamperlaag is de capaciteit resp. 6 en 5 mm/j.

In 2011 is door het KNMI een nieuwe prognose van de zeespiegelstijging opgesteld, die door TNO is vertaald naar een verloop van de snelheid van zeespiegelstijging voor het HadK-principe rond de gaswinning (Meet en Regelrapportage 2007-2012, H2.5). De diepe bodemdalingssnelheid door gaswinning wordt berekend met de meest recente bodemdalingmodellen en productievolumes (Meet en Regelrapportage 2007-2012, H4.4).

Aan de hand van bovenstaande gegevens is voor de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag de benutting van de gebruiksruimte door de sturende parameters bepaald waarbij de sedimentatiecapaciteit de natuurgrens van een komberging vormt (Figuur 3.2.2I & J). De benutting van de gebruiksruimte door diepe bodemdaling is gebaseerd op de geproduceerde en beoogde productievolumes zoals opgenomen in de laatste versies van de Winningplannen Waddenzee, Anjum en Ameland. Met de natuurgrenzen voor Pinkegat en Zoutkamperlaag op resp. 6 en 5 mm/j, een gemiddelde bodemdaling van resp. ca 1,0 en 0,4 mm/j en een relatieve zeespiegelstijging van ca 2,5 mm/j, is de gaswinning ruim binnen de gebruiksruimte van de kombergingen gebleven. Volgens de modelberekeningen wordt in de Zoutkamperlaag omstreeks 2035 de natuurgrens overschreden als het verloop van de snelheid voor zeespiegelstijging en bodemdaling goed is ingeschat. Omdat de benutting van de gebruiksruimte jaarlijks wordt bepaald en gerapporteerd, kan regelmatig worden gecontroleerd of het verloop van de diepe bodemdaling wel of niet afwijkt van de prognose en of sprake is van een dreigende overschrijding van de natuurgrens. Uitgaande van een geleidelijke afname in de dalingsnelheid na het stilleggen van de winningen, kan te zijner tijd als daar aanleiding toe is, tijdig worden ingegrepen (HadK-principe). Meer informatie over het verloop van de diepe bodemdalingssnelheid bij een afname in de gaswinning (het zogenaamde na-ijleffect), wordt in het kader van de vergunningen rond de nieuwe Winningplannen verzameld in een geomechanisch onderzoek.



Figuur 3.2.2I. Diepe bodemdalingssnelheid in het Pinkegat (6-jaarlijks gemiddelde; "moving average") door gaswinning uit de Ameland- en waddenvelden (MLV) samen met het scenario voor zeespiegelstijging zoals aangeleverd door EL&I /KNMI (geactualiseerd april 2011)



Figuur 3.2.2J. Diepe bodemdalingssnelheid in de Zoutkamperlaag (6-jaarlijks gemiddelde; "moving average") door gaswinning uit de Ameland- en waddenvelden (MLV) samen met het zeespiegelstijging scenario zoals aangeleverd door EL&I/KNMI (geactualiseerd april 2011).

## Conclusies tav diepe bodemdaling

De diepe bodemdaling (snelheid) door de Wadden-, Anjum- en Amelandwinnings is samen met de snelheid van zeespiegelstijging, ruim binnen de gebruiksruimte van de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag gebleven. Hiermee is voldaan aan de belangrijkste voorwaarde in de vergunningen m.b.t. de sturende parameters binnen het HadK-principe. Op basis van de bevindingen van de integrale bodemdalingstudies (NAM 1998, RIKZ 2004) en de Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en (2006) mogen geen effecten op de ecologie van het wadengebied worden verwacht. De signaleringmonitoring rond de waddenwinnings moet extra zekerheid verschaffen over het uitblijven van effecten op belangrijke natuurwaarden. Het betreft de monitoring van zowel 'dode' als levende natuurwaarden die in de volgende paragrafen aan de orde komen.

### 3.2.3 Hoogteligging, oppervlakte en sedimentatie

#### Effectketen Waddenzee

Diepe bodemdaling → **plaatoppervlakte/hogte (sedimentatie)** → habitat/leefgebied →  
 → 1) kweldervegetatie → vogels  
 2) bodemdieren → vogels  
 3) vogels

*Conclusies t.a.v. hoogteligging, plaatoppervlak en sedimentatie: De droogvallende platen van alle kombergingen in de Waddenzee laten een trendmatige toename in of handhaving van oppervlakte en de gemiddelde hogte zien. De veranderingen in het areaal droogvallende wad en water/geulen zijn klein ( $\leq 1\%$ ) en vallen binnen de marges van de meetfouten. De gemeten sedimentatie is hoger dan de gemeten diepe bodemdaling door gaswinning. Alleen de hooggelegen zomerpolder van de Peazemerlannen vormt hierop mogelijk een uitzondering.*

#### **Plaatoppervlakte en –hogte (incl. droogvalduur)**

##### Metingen en analyses

Gegevens van plaatoppervlakte en –hogte van het droogvallende wad zijn verzameld door RWS (lodingen en LIDAR-metingen) en Fugro (LIDAR-metingen) en geanalyseerd door Deltares (Tabel 2.2). In 2007 en 2008 zijn ook luchtfoto's gemaakt door Arcadis die later zijn vervangen door LIDAR-metingen i.v.m. problemen rond de uitvoering van de fotovluchten en de beperkte bruikbaarheid en nauwkeurigheid van de gegevens (Meet- en Regelrapportage 2007-2012).

Lodingen zijn feitelijk dieptemetingen vanaf een schip waarbij mbv geluidpuls (echo) de hoogte van zeebodem in kaart wordt gebracht. De nauwkeurigheid van de lodingen is laag, vergeleken met de verwachte maximale bodemdaling van het wad (ca 4 cm in het Pinkegat; Wang & Eysink 2005) en bedraagt 10 á 40 cm (Deltares 2013; Tabel 2.2).

LIDAR-metingen zijn hoogtemetingen vanuit een vliegtuig waarbij mbv laserpuls (reflecties) het aardoppervlak in kaart wordt gebracht. De opgegeven nauwkeurigheid van de metingen is 3,5 cm maar ligt eerder in de orde van grootte van 5 á 10 cm (Deltares 2013; Tabel 2.2). Een LIDAR-opname moet in een zo kort mogelijk tijdsbestek worden uitgevoerd. Voor een opname van de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag zijn 2 laagwaterperiodes rond springtij nodig. In dat tijdsbestek kan niet het gehele droogvallende wad boven GLW worden opgenomen. Gebleken is dat het droogvallende wad boven -0,5 m NAP afdoende kan worden meegenomen. Zowel voor de morfologische als biologische signaleringmonitoring is dat toereikend bevonden.

Ondiepe delen van de Waddenzee kunnen door lodingschepen niet worden ingemeten terwijl LIDAR-metingen de zeebodem onder water niet meenemen. Daarom worden lodingen vaak aangevuld met LIDAR-metingen en omgekeerd.

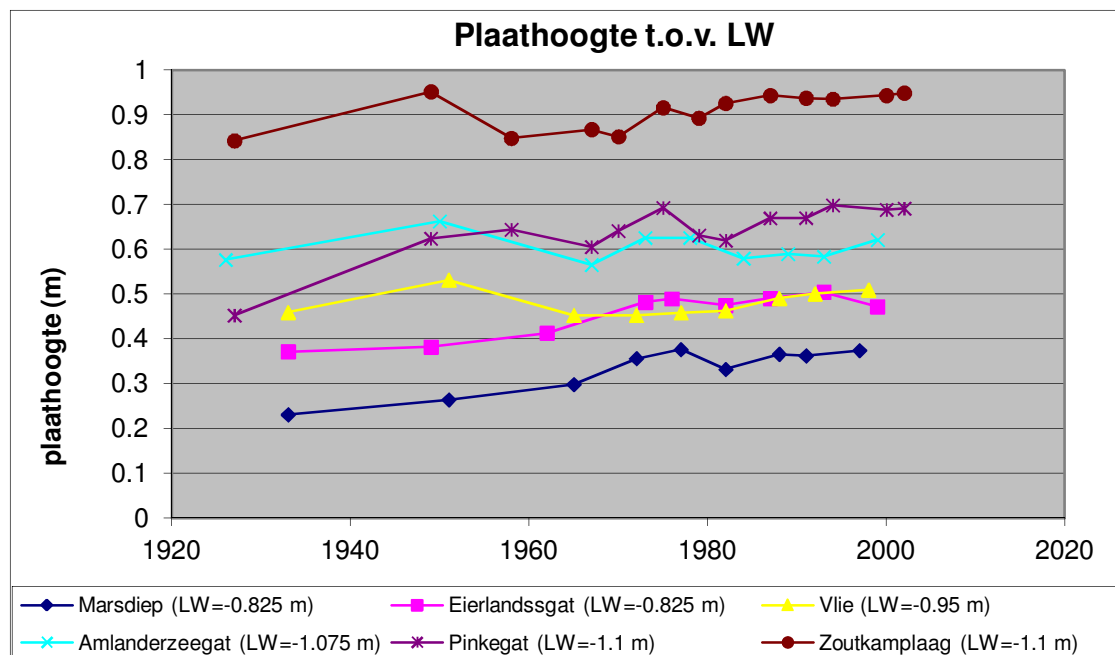
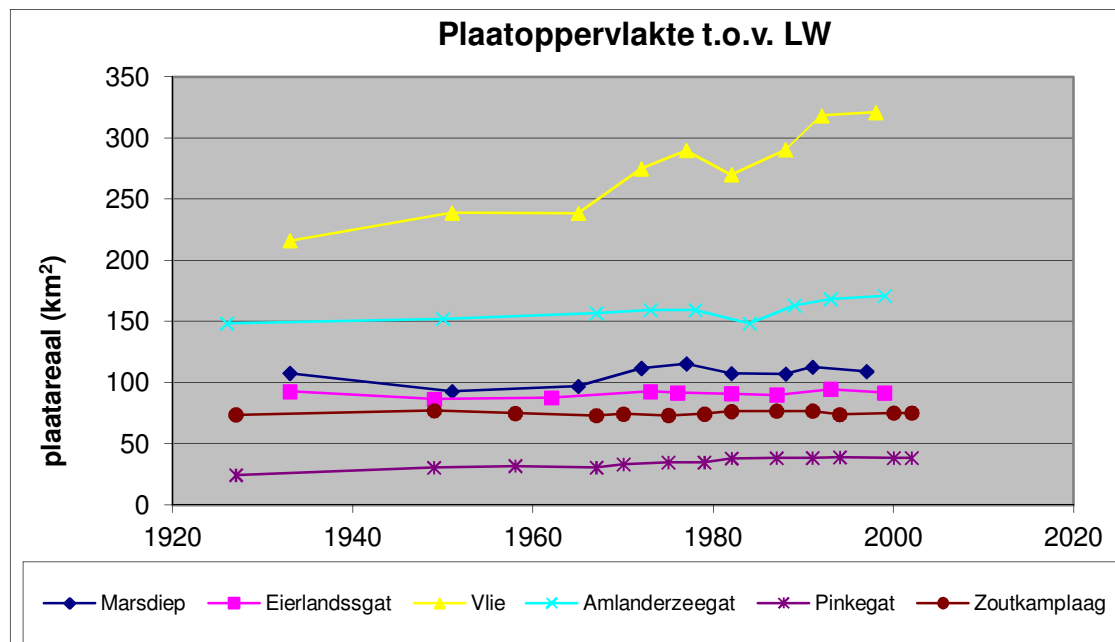
Aan de hand van de RWS-gegevens die sinds 1925 worden verzameld, kunnen gebiedsdekkende hoogtekaarten van de Waddenzee worden samengesteld. Vanaf 1987 worden deze hoogtegegevens systematisch verzameld in perioden van ca 6 jaar (lodingcycli). In de periode 1987 (begin van de Amelandwinningen) t/m 2013 zijn 5 lodingcycli uitgevoerd. Voor elke cyclus is door Deltares (2013) op een vergelijkbare wijze een hoogtekaart samengesteld om de morfologische ontwikkelingen in de Waddenzee in beeld te brengen. De LIDAR-opnames die vanaf 2009 in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag zijn uitgevoerd dienen als vervanging van de luchtfoto's waarmee de ontwikkelingen in het areaal droogvallend wad worden gevolgd. In 2010-2012 zijn 5 LIDAR-opnames gemaakt waarvan 2 in het voor- en najaar van 2011 en 2012. Omdat met LIDAR-opnames ook de hoogte van het droogvallende wad wordt gemeten, kunnen de opnames breder worden ingezet in de monitoring. Aan de hand van LIDAR-gegevens zijn de dynamiek en de ontwikkelingen in oppervlakte en hoogteligging van het droogvallende wad in beeld gebracht.

Aan de hand van de resultaten van de morfologische monitoring is de bruikbaarheid van de morfologische metingen voor de signaleringsmonitoring nader geanalyseerd. Daarnaast zijn de meetresultaten vergeleken met de resultaten van andere abiotische metingen zoals de lokale sedimentatiemetingen. De resultaten van de morfologische monitoring worden zoveel mogelijk ingezet in de biologische monitoring.

Voor meer gedetailleerde informatie over de metingen, berekeningen en nauwkeurigheden wordt verwezen naar de evaluatierapporten van Deltares en NAM (Tabel 2.2).

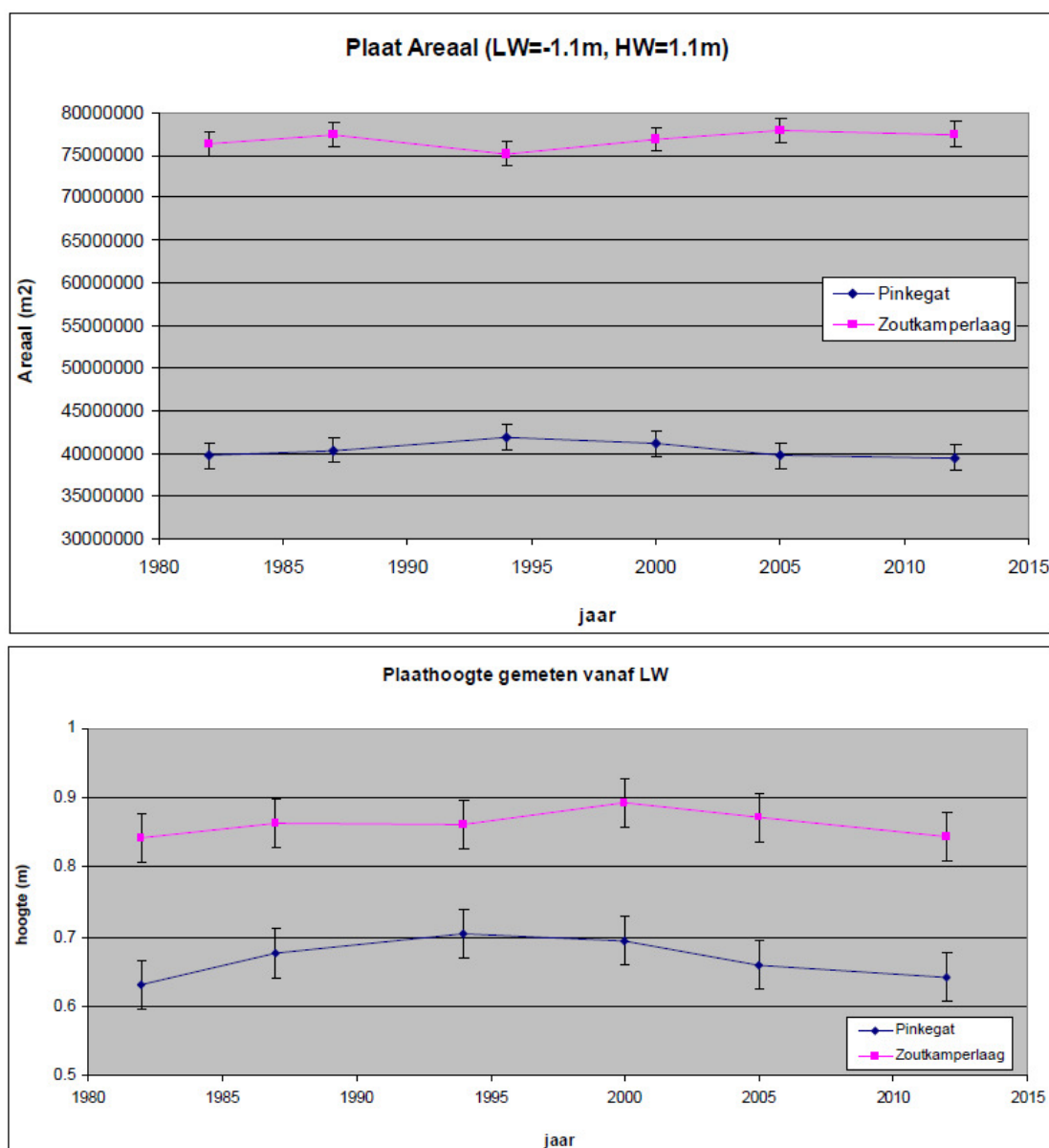
#### *Meet- en analyseresultaten*

In Figuur 3.5A & B is de historische ontwikkeling in de plaatoppervlakte en –hoogte van de kombergingen in de Nederlandse Waddenzee vanaf 1925 weergegeven op basis van de lodingen van RWS al dan niet aangevuld met LIDAR-metingen sinds 2002.



Figuur 3.2.3A & B: Historische ontwikkeling van de plaatoppervlakte en -hoogte van kombergingen behorende bij de zeegaten in de Nederlandse Waddenzee adhv lodingen. Kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag horen bij het Friesche zeegat (gegevens Deltares).

In Figuur 3.2.3C & D is de meer recente en beter gedocumenteerde ontwikkeling in de totale plaatoppervlakte en de gemiddelde plaathoogte van de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag vanaf 1980 weergegeven op basis van lodingen en LIDAR-opnames. Opgemerkt moet worden dat vanaf 2002 is overgegaan op een andere meetmethode voor lodingen waardoor de hoogte gemiddeld ca 10 cm lager wordt ingemeten (Periplus, 2007). Dit vormt waarschijnlijk de verklaring voor de afname in plaathoogtes in beide kombergingen na 2000 mede gelet op het feit dat er in 2005 in de Zoutkamperlaag nog geen bodemdaling heeft plaatsgevonden.



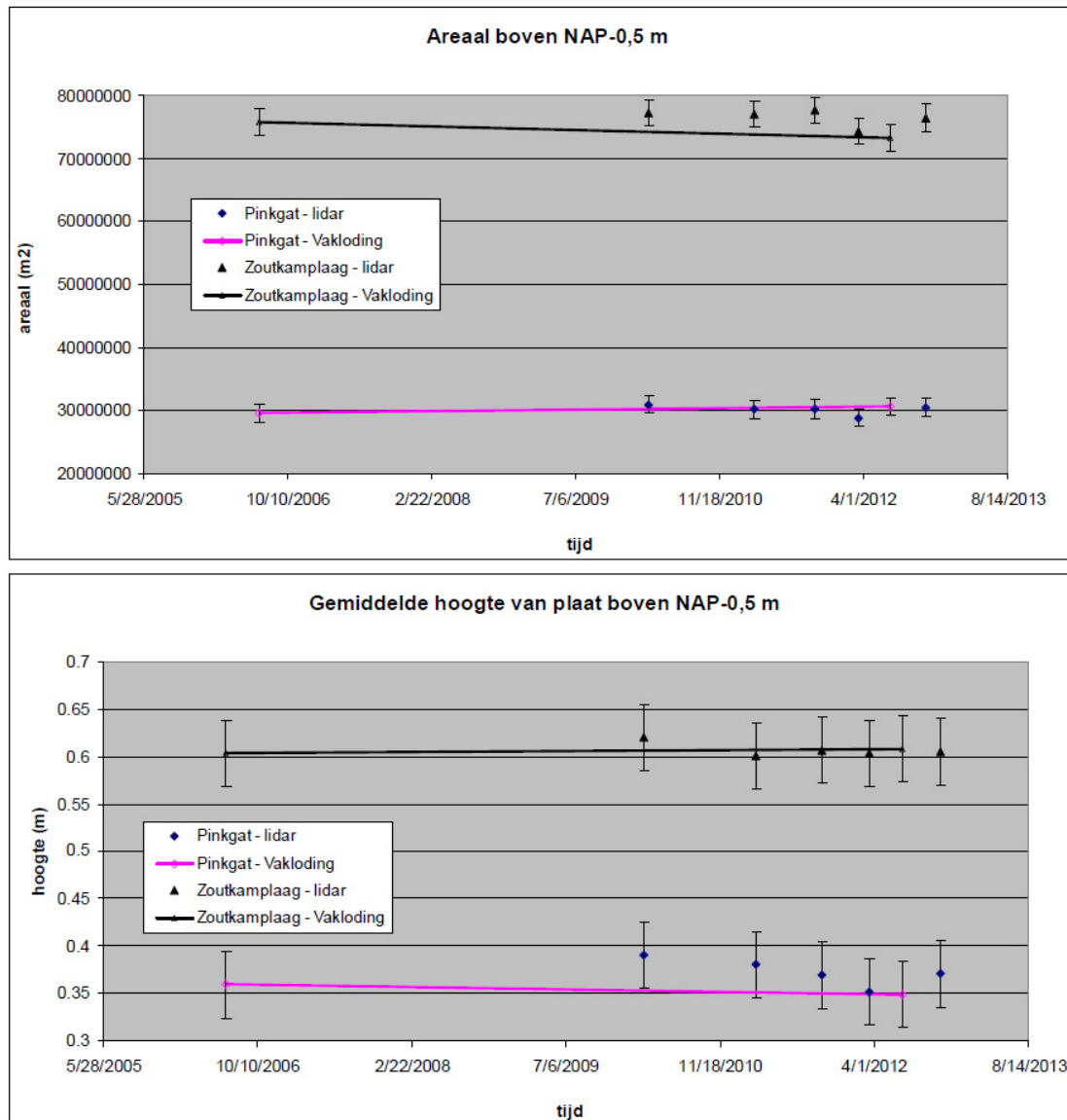
Figuur 3.2.3C & D: Ontwikkeling plaatareaal en -hoogte bepaald adhv lodinggegevens op basis van een vast getijframe (LW=-1,1 m en HW=+1,1 m).

In Figuur 3.2.3E en F is de ontwikkeling in de totale plaatoppervlakte en de gemiddelde plaathoogte van het wad boven -0,5 m NAP in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag vanaf 2010 weergegeven op basis van de 5 extra LIDAR-opnames en de lodingen aangevuld met LIDAR-metingen (als in Figuren 3.2.3C & D). De LIDAR-meting in het voorjaar van 2012 wijkt af van de andere metingen omdat de methode van opname en verwerking verschilt (LIDAR-opname RWS in het kader van de lodingen).

Er is een systematisch verschil tussen de resultaten omdat de lodingen het areaal boven -0,5 m NAP niet helemaal bestrijken en de LIDAR-metingen wel. Volgens de LIDAR-metingen zijn de trends voor zowel arealen als hoogtes hetzelfde in de twee kombergingen terwijl dat volgens de lodingen niet zo is voor de arealen. Het valt verder op dat volgens de gegevens van lodingen de hoogteontwikkeling van de hogere delen van de wadplaten een andere trend dan die van het hele intergetijdegebied vertoont.

Evenals bij de voorgaande figuren vallen de verschillen binnen de marges van de meetfouten waardoor weinig kan worden gezegd over morfologische veranderingen in de wadplaten. Op basis van de schommelingen in de grafieken wordt de natuurlijke variatie in hoogteligging van het droogvallende wad geschat op enkele cm's wat goed aansluit bij de bevindingen in Wang

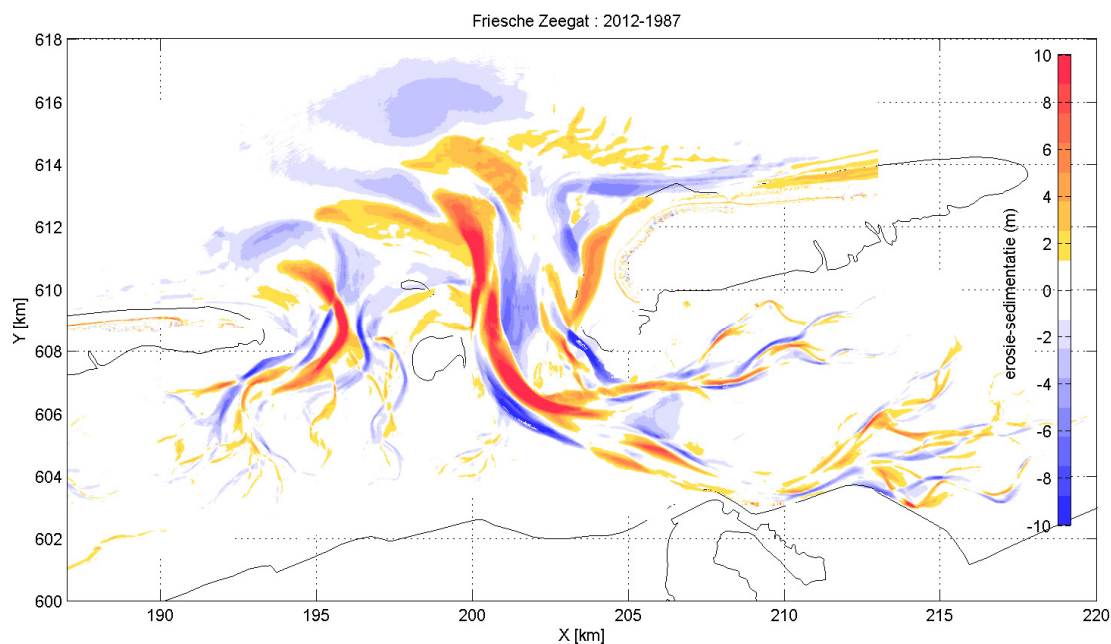
& Eysink (2005) en het lodingenrapport van de NAM (2009). Opgemerkt wordt dat plaatareaal en plaathoogte ook kunnen worden gedefinieerd aan de hand van een in de tijd variërend getijdevenster. In dat geval zijn de fluctuaties nog veel groter.



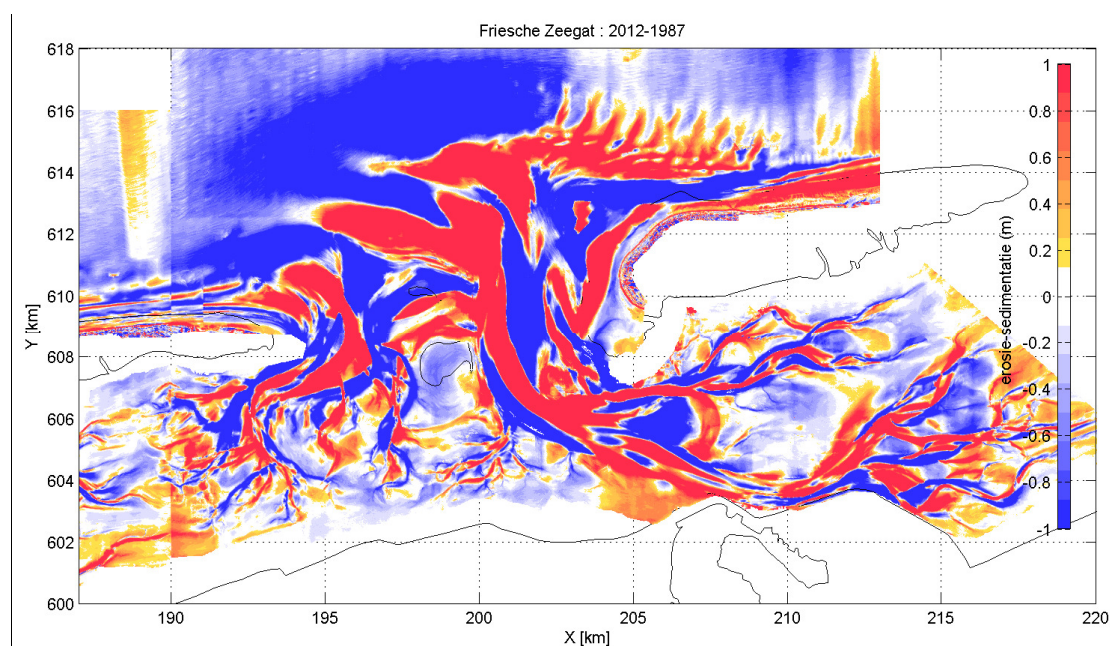
Figuur 3.2.3E & F: Ontwikkeling plaatareaal en -hoogte bepaald adhv LIDAR-gegevens uit de periode 2010-2012.

In Figuur 3.2.3G is de totale verandering in de hoogteligging van de komberging weergegeven in de periode 1987-2012. Uit de figuur blijkt dat de dynamiek in de hoogteligging van de kombergingen voornamelijk samenhangt met geulmigraties. In Figuur 3.3.3H is de schaal van de veranderingen verkleind waardoor binnen de meetfout van de metingen wordt gekeken. Dat brengt de verschillen tussen de metingen duidelijk in beeld maar laat ook zien dat de bodemdalingschotel op het wad onder Ameland niet zichtbaar is.



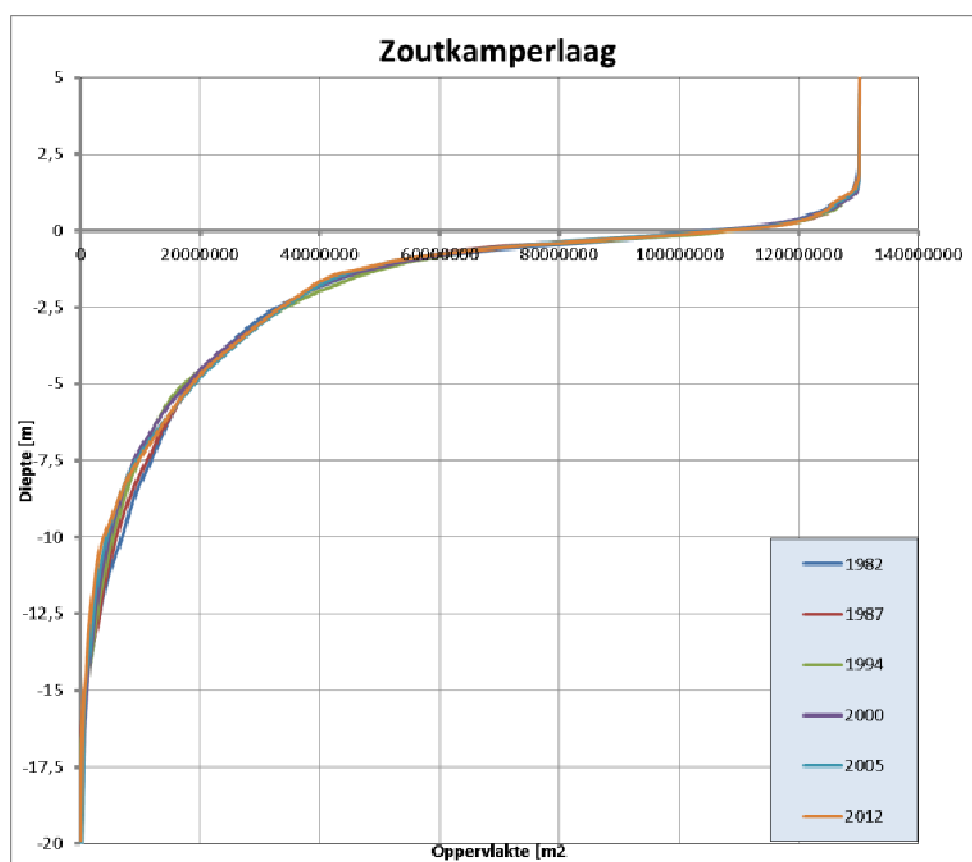
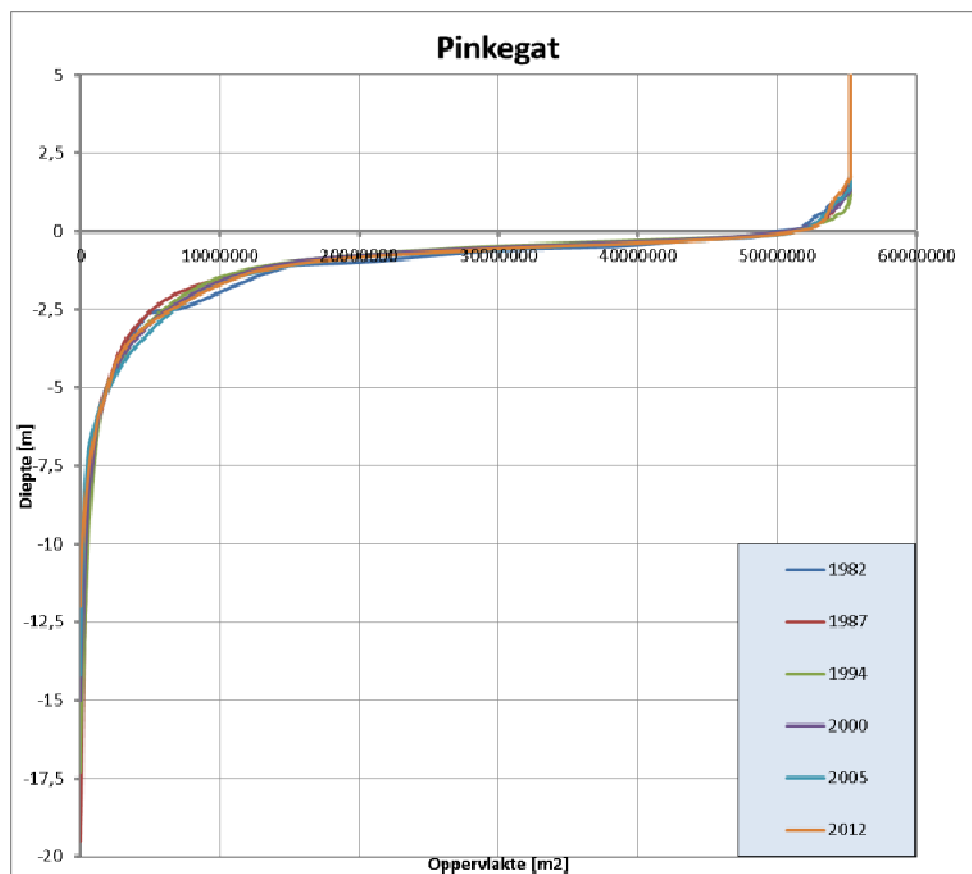


Figuur 3.2.3G: De totale verandering in het bodemniveau in de kombergingen van het Friese Zeegat over de periode 1987-2012. Kleurschaal 0 tot 10 m.

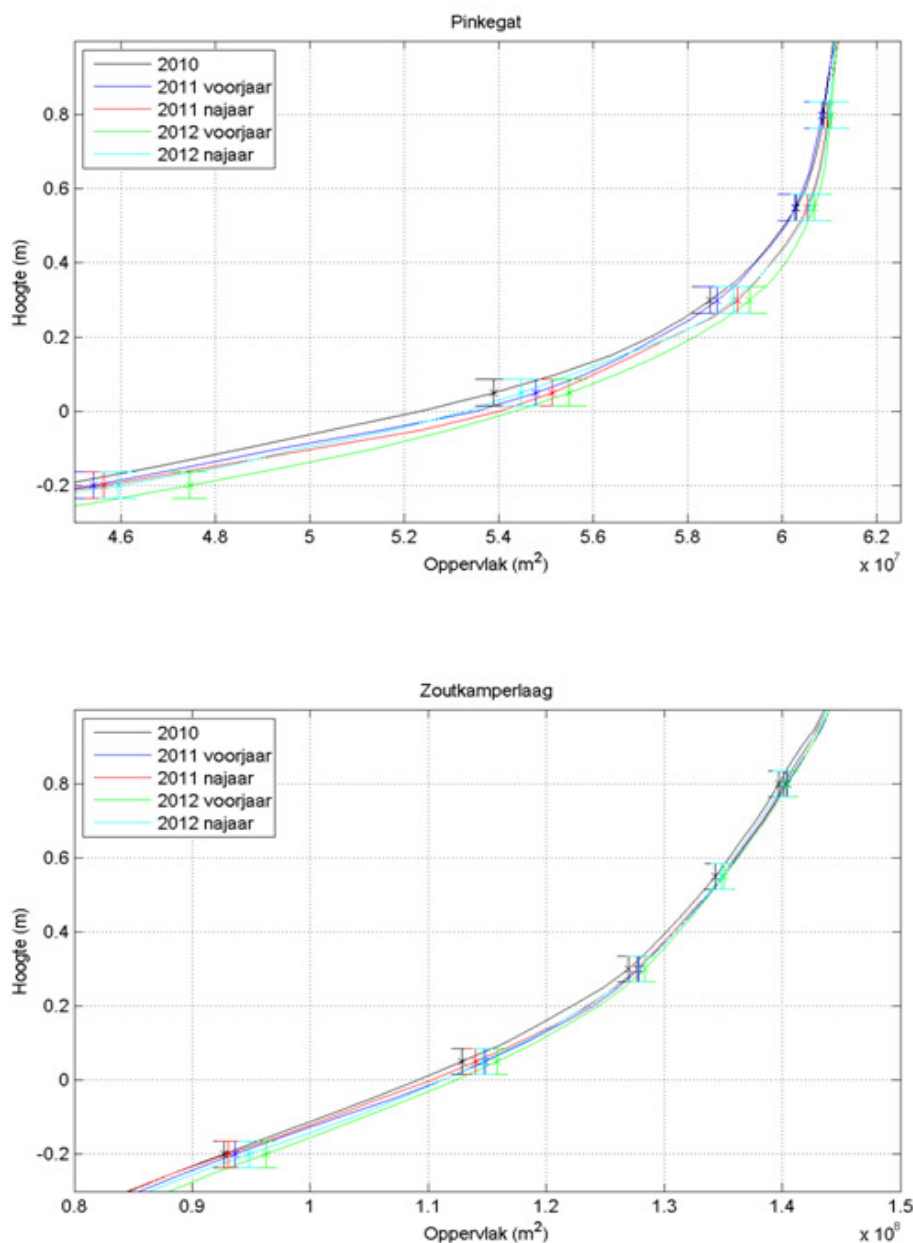


Figuur 3.2.3H: De totale verandering in het bodemniveau (m) in de kombergingen van het Friese Zeegat over de periode 1987-2012. Kleurschaal 0 tot 1 m.

In de Figuren 3.2.3 I & J zijn de verandering in de hypsometrise krommen van de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag weergegeven resp. op basis van lodingen en LIDAR-metingen. De hypsometrise krommen laten zien of er veranderingen in de hoogteligging van de komberging zijn opgetreden. Hoe lager de ligging van de kromme des te lager de gemiddelde hoogteligging van het wad. De krommen op basis van de lodingen laten zien dat er van 1982 tot 2012 geen grote veranderingen in de hoogteligging van de kombergingen zijn opgetreden. De krommen op basis van de LIDAR-opnames laten in 2011 een verlaging van het wad zien en vervolgens in 2012 een verhoging die onder de kromme van 2010 blijft (de RWS-kromme uit het voorjaar 2012 is buitenbeschouwing gelaten vanwege een afwijkende verzameling en bewerking van de gegevens; Deltares 2013). De veranderingen zijn klein tov de bijbehorende meetfouten.



Figuur 3.2.3 I: Hypsometrische krommen van Pinkegat en Zoutkamperlaag op basis van de lodingen (en aanvullende LIDAR-metingen).

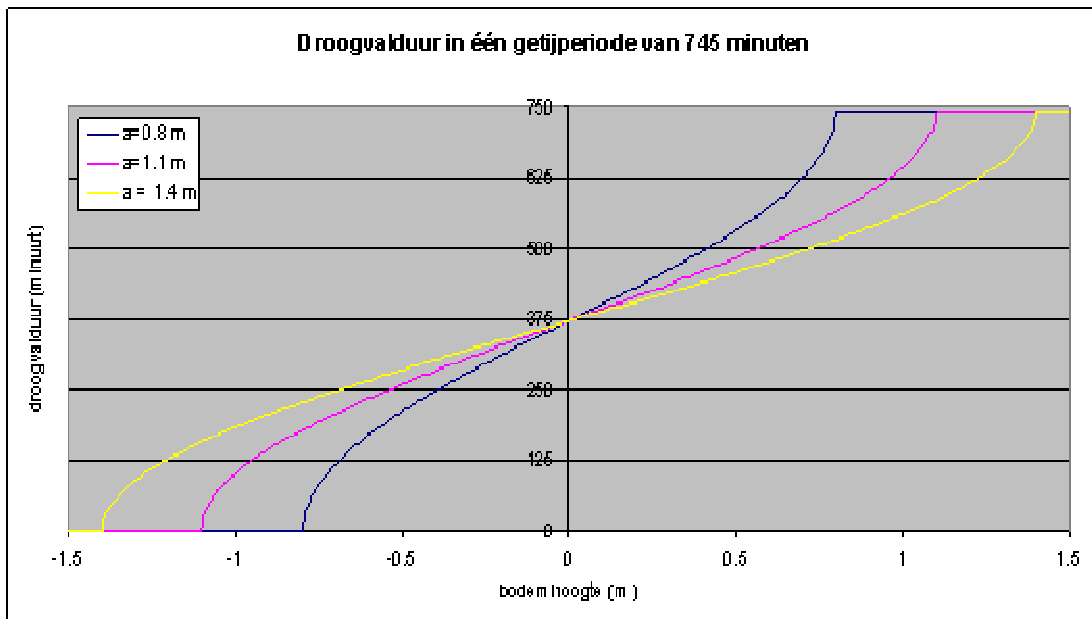


Defters (11:20:44 on Sun 7th Apr 2013)

Figuur 3.2.3 J: Detail opname van de hypsometrische krommen van Pinkegat en Zoutkamperlaag op basis van de LIDAR-opnames (de gegevens onder van kromme van het voorjaar 2012 wijken af van de rest, zie tekst).

Uit een vergelijking van de LIDAR-metingen met de sedimentatiemetingen op het wad (spijkermetingen en waterpassingen) is gebleken dat de hoogtemetingen redelijk goed correleren maar dat de hoogteveranderingen (verschil tussen twee metingen) slecht correleren.

De hoogteligging van de wadplaten bepaalt samen met het getij en weersomstandigheden de droogvalduur van het wad. Deze droogvalduur is een belangrijke parameter voor de biologische monitoring (kweldervegetatie, bodemdieren, wadvogels). Aan de hand van getijgegevens is de natuurlijke variatie in de droogvalduur nader bestudeerd. De invloed van doortij, gemiddeld tij en springtij in het Friesche Zeegat op de droogvalduur is weergegeven in Figuur 3.2.3H.



Figuur 3.2.3H: Relatieve droogvalduur horend bij een sinusvormig getij voor het Friesche zeegat.

Uit de figuur blijkt dat:

- De droogvalduur van de hoogste en laagste delen van het intergetijdegebied het meest gevoelig is voor variaties in zowel de amplitude van het getij als de bodemhoogte en het gebied met een bodemhoogte rondom de gemiddelde waterstand het minst gevoelig.
- Voor gebieden met een bodemhoogte van 0,5 m boven of onder de gemiddelde waterstand is het verschil in droogvalduur tussen springtij en doottij ongeveer 5 kwartier (73 minuten bij sinusvormig getij). Gebieden boven de gemiddelde waterstand vallen langer droog bij doottij en gebieden onder de gemiddelde waterstand vallen langer droog bij springtij.
- Bij een gemiddeld getij (= getijslag van ca 220 cm voor het Friesche Zeegat) veroorzaakt een verandering in bodemhoogte van 1 cm een afname in droogvalduur van ongeveer half uur voor de hoogste en de laagste delen van het intergetijdegebied. Voor gebieden met een bodemhoogte rondom de gemiddelde waterstand is het verschil ongeveer 2 minuten.

Op dezelfde manier kan ook iets worden gezegd over andere natuurlijke invloeden op de droogvalduur. Zo kan de invloed op de droogvalduur van de ontwikkeling van de gemiddelde hoogteligging van het intergetijdegebied in een komberging (zie Fig. 3.2.3 B, D & H) worden geanalyseerd. De orde van grootte van de verandering is 1 cm/jaar. Dit veroorzaakt een verandering in de droogvalduur van 3,4 minuten ( $=745/220$ ). Niet alleen de hoogteligging van de wadplaat, maar ook de waterstanden veranderen. De fluctuatie van jaar tot jaar in het Friesche Zeegat is ca 5 cm. Dit veroorzaakt een fluctuatie van ca 20 minuten.

Gemiddeld genomen veroorzaakt 1 cm bodemdaling een afname in droogvalduur van het intergetijdegebied van ongeveer 3,4 minuten. In de Zoutkamperlaag wordt een bodemdaling van maximaal 1 cm verwacht (Wang & Eysing 2005); in het Pinkegat van maximaal 4 cm wat overeenkomt met een afname in droogvalduur van ca. 14 minuten. Dat is iets minder dan variatie door de fluctuatie in het waterstanden over de jaren.

Naast deze natuurlijke variatie door het getij en het weer, speelt ook de variatie als gevolg van de 18,6 jarige astronomische cyclus. Deze cyclus heeft een effect op de getijdeslag en daarmee ook in de hoogte van droogvallende platen (Wang & Eysink 2005). Deze schommelingen hebben een orde van grootte van 9 á 10 cm in de kombergingen van het Friesche zeegat.

### *Conclusies tav oppervlakte en hoogtemetingen*

De droogvallende platen van alle kombergingen in de Waddenzee laten vanaf 1925 tot ca 2000 een trendmatige toename in of handhaving van oppervlakte en gemiddelde hoogte zien. Ook volgens de meer recente en betere hoogteopnames laten de droogvallende platen een handhaving van de oppervlakte en gemiddelde hoogte zien.

Lange termijn (decennia) veranderingen in oppervlakte en gemiddelde hoogte van kombergingen hebben dezelfde orde van grootte als de korte termijn veranderingen (maanden) en de meetfout (optimistisch geschat op ca 5 cm). Deze veranderingen hangen in eerste instantie samen met geulmigraties die een veel grotere morfologische dynamiek met zich meebrengen dan bodemdaling. Daarom is de bodemdaling op het wad door de Amelandwinningen (max. ca 25 cm) ook niet terug te vinden in de hoogtemetingen en mag niet worden verwacht dat de bodemdaling op het wad door de waddenwinning (max. ca 15 cm) wel wordt teruggevonden. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde bodemdaling van alle winningen zoals die is voorspeld door Wang & Eysink (2005) voor het Pinkegat (ca 3,7 cm) en Zoutkamperlaag (ca 1 cm).

De opgegeven nauwkeurigheid voor de LIDARmetingen van 3,5 cm (systematische fout) lijkt na uitwerking van de gegevens eerder in de orde van grootte van 5 á 10 cm te liggen terwijl in de literatuur nog hogere waarden worden opgegeven. Veranderingen in de plaathoogte op een relatief kleine ruimtelijke schaal (< ha) kunnen met LIDARmetingen niet nauwkeurig worden bepaald vanwege de onnauwkeurigheid in de verschilmetingen. In de signaleringsmonitoring kunnen LIDARmetingen dan ook het beste worden ingezet op een relatief grote ruimtelijke schaal (wadplaten of kombergingen). Het (sterk) opvoeren van de frequentie van LIDARopnames om de nauwkeurigheid te verhogen is praktisch niet haalbaar gelet op de korte termijn morfologische veranderingen en het feit dat per springtij/doodtij cyclus 1 opname kan worden gedaan.

De afname in droogvalduur van het wad in de komberging Pinkegat agv de voorspelde bodemdaling door gaswinning bedraagt maximaal 14 min voor het Pinkegat wat ongeveer 40% is van de variatie door de 18,6 jarige cyclus en iets minder dan variatie in droogvalduur door de fluctuatie in het waterstanden over de jaren.

## **Sedimentatie**

### *Metingen en analyse*

Gebiedsdekkende sedimentatiewaarden kunnen in principe worden afgeleid uit de gebiedsdekkende hoogtegegevens verzameld in lodingcycli aangevuld met LIDAR-opnames. Vanwege de onnauwkeurigheid in de metingen, zijn deze berekeningen niet uitgevoerd. In de Integrale Bodemdalingstudie 2004 (RIKZ 2004) is op basis van deze lodinggegevens geconstateerd dat tot 2002 op kombergingniveau bijna overal sprake is van 'een lichte verhoging en vergroting van het plaatareaal' met een gemiddelde sedimentatie voor de gehele Waddenzee van 6,1 mm/j (RIKZ 2004). Figuur 3.2.3B geeft een indruk van deze trendmatige ontwikkeling in de hoogteligging/sedimentatie van de kombergingen in de Waddenzee.

Om toch enig zicht te houden op de ontwikkelingen in de sedimentatie, is deze parameter in het Monitoringprogramma als signaleringsparameter meegenomen op het niveau van wadplaat en kwelder: de zogenaamde 'lokale sedimentatiemetingen'. Lokale sedimentatiegegevens worden verzameld door het NCA (spijkermetingen), NAM

(terrestrische maaiveldmetingen) en IMARES (SEB-metingen). De metingen geven een indicatie van het verloop van de sedimentatie in de tijd en de mate waarin de diepe bodemdaling ter plaatse wordt opgevangen door sedimentatie.

Spijkermetingen zijn sedimentatiemetingen op wadplaten waarbij de afstand tussen een label aan koord en het wad wordt opgemeten. Het koord is verbonden met het wad d.m.v. een 'spijker' ofwel schroefanker. De nauwkeurigheid van de aflezingsen ligt in de orde van grootte van enkele millimeters.

Terrestrische maaiveldmetingen zijn lokale waterpassingen op het wad gekoppeld aan referentiepunten waarvan de hoogte nauwkeurig is ingemeten met GPS (opstelling van 5 dagen, nauwkeurigheid van hoogte 1-2mm). De nauwkeurigheid van de waterpassing voor deze relatief korte afstanden is ~ 1mm. Afhankelijk van de gesteldheid van de bodem, zal de absolute nauwkeurigheid per meetpunt < 1cm bedragen.

SEB-metingen zijn sedimentatiemetingen op de kwelder aan de hand van Sedimentatie Erosie Balk (SEB). Een vaste opstelling op de kwelder bestaande uit twee verankerde palen waarover een SEB wordt geplaatst. De SEB is voorzien van een rij gaten waardoor met een meetnaald het hoogteprofiel onder de SEB wordt ingemeten. De nauwkeurigheid van de aflezingsen ligt in de orde van grootte van enkele millimeters.

Vergeleken met vlakdekkende hoogte- of dieptemetingen van de kombergingen, is de nauwkeurigheid van de sedimentatiemetingen hoog (enkele millimeters tot 1 cm versus één tot enkele decimeters). De metingen zijn zowel binnen als buiten bodemdalinggebieden uitgevoerd zodat vergelijkingen kunnen worden gemaakt. De meetstations van de spijkermetingen zijn ingemeten met RTK-GPS, waarmee de NAP hoogte is bepaald met een nauwkeurigheid van 2 á 3 cm (NCA). Sinds 2013 zijn ook de SEB-palen met RTK-GPS ingemeten. Daarvoor werden deze met een doorgaande waterpassing ingemeten. Ook voor deze metingen geldt een nauwkeurigheid van 2 á 3 cm (IMARES). Het nadeel van de metingen is dat ze niet goed kunnen worden omgerekend naar vlakdekkende sedimentatiewaarden.

Voor meer gedetailleerde informatie over de metingen, berekeningen en nauwkeurigheden wordt verwezen naar de evaluatierapporten van NCA, NAM en Imares (Tabel 2.2).

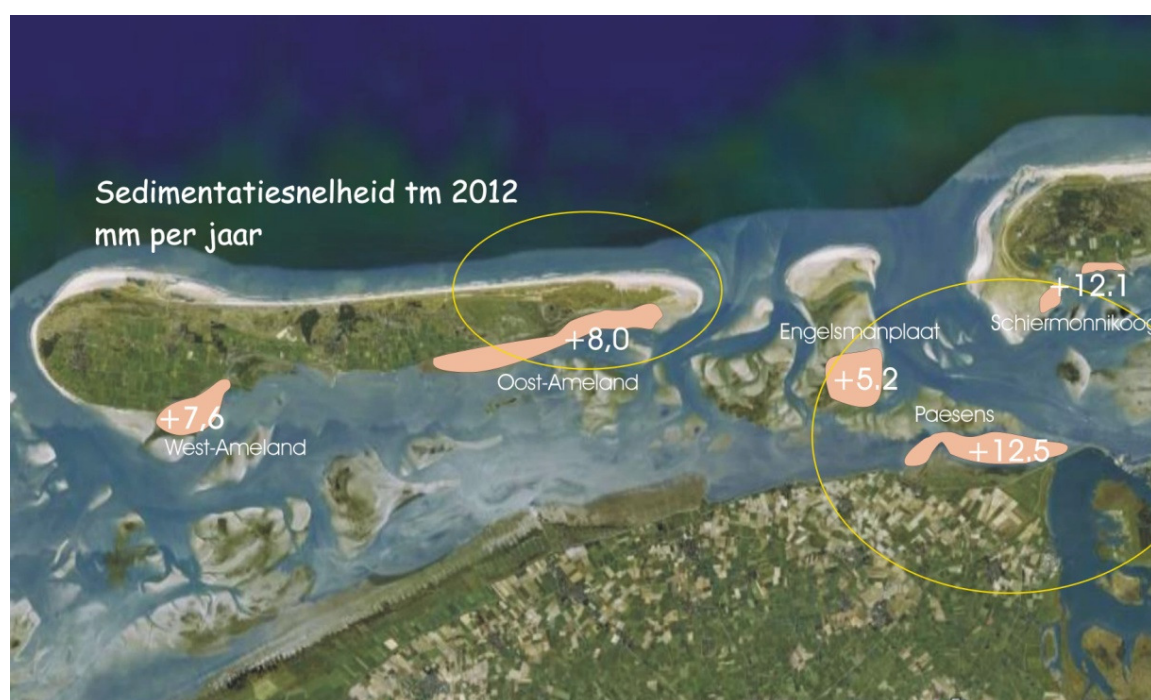
#### *Meet- en analyseresultaten*

In Tabel 3.2.3.1 zijn de gemiddelde sedimentatiewaarden van de spijkermetingen in de vijf onderzoeksgebieden opgenomen. De metingen in de gebieden zijn in verschillende jaren opgestart.

In Figuur 3.2.3.K zijn de onderzoeksgebieden en de gemiddelde sedimentatiesnelheid per gebied weergegeven waarbij de metingen van enkele niet representatieve meetstations buitenbeschouwing zijn gelaten. Uit de resultaten van de sedimentatiemetingen van NCA op wadplaten kan worden afgeleid dat de lokale sedimentatie in de loop van het jaar fluctueert maar een lange termijn trendmatige toename laat zien die (veel) hoger is dan de voorspelde en gemeten bodemdaling (zie 3.2.2). De sedimentatiewaarden uit spijkermetingen laten geen duidelijke relatie zien met de hoogteligging en bodemdaling op de meetstations.

Tabel 3.2.3.1: Gemiddelde sedimentatiewaarden (in mm) van de spijkermetingen in de vijf onderzoeksgebieden berekend voor december. Aangegeven is of het gebied binnen of buiten de bodemdalingschotel ligt en in welke komberging (BD=Borndiep, PG=Pinkegat en ZKL=Zoutkamperlaag).

	Oost-Ameland	West-Ameland	Paesens	Engelsmanplaat	Schiermonnikoog
Aantal stations	16	6	18	6	6
2001	22,2				
2002	16,5				
2003	17,5				
2004	27,7		23,1		
2005	17,8		2,2		
2006	-1,6		11,8		
2007	0,5	18,3	16,7		
2008	-2,9	15,8	2,9	0,0	-8,4
2009	16,0	-0,5	8,5	-0,8	8,8
2010	-5,0	-8,2	29,1	-11,0	16,2
2011	-0,8	14,3	14,6	16,1	34,6
2012	-5,9	2,1	9,0	0,2	8,5
som	102,0	41,8	117,9	4,5	59,7



Figuur 3.2.3.K: Sedimentatiesnelheid per onderzoeksgebied in mm/jaar. De gemiddelde zijn berekend over een verschillend aantal jaren (zie tekst).

In Figuur 3.2.3L staat de maaiveldhoogteontwikkeling (sedimentatie) zoals gemeten in de verschillende vegetatiezones op de kwelder de Peazemerlannen. Uit de resultaten van de SEB-metingen van Imares blijkt dat de hoogteligging van de kwelders zowel binnen als buiten bodemdalinggebieden geleidelijk toenemen.

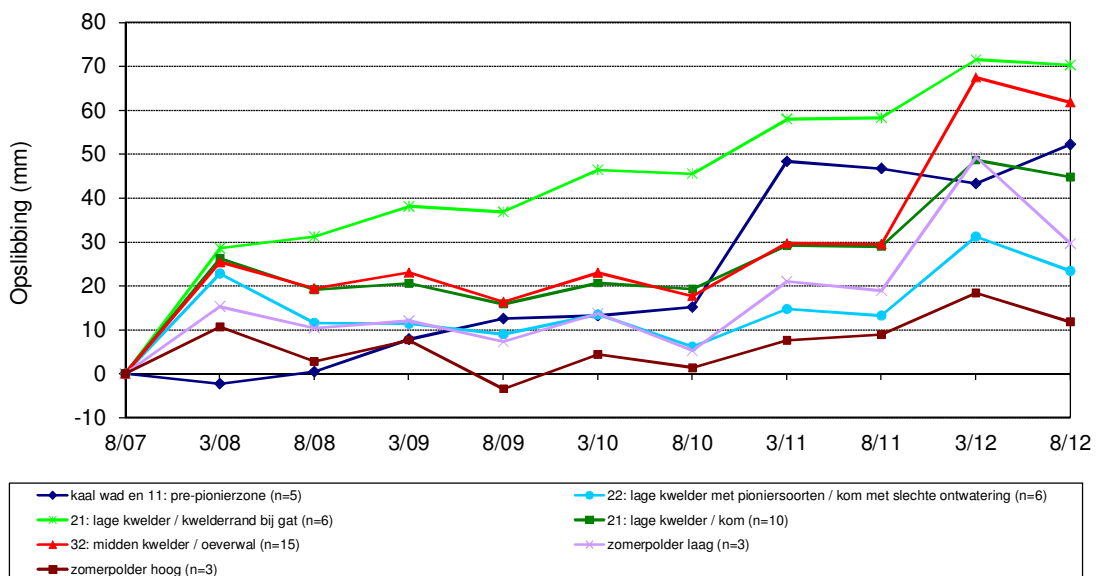
In de Peazemerlannen lag de gemiddelde jaarlijkse netto opslibbing gemeten in de verschillende vegetatiezones van pionierzone en kwelder tussen 5-14 mm/j. Op het kale wad en in de pre-pionierzone is een gemiddelde toename in hoogte gemeten van 9 mm/j. In de zomerpolder is gemiddeld een opslibbing gemeten van 6 mm/j in de lage delen aan de

oostkant en ruim 2 mm/j in de kortgegrasde hogergelegen delen aan de westkant. Tussen pq's uit een zelfde vegetatiezone worden soms vrij grote verschillen in opslibbing gevonden. Een vergelijking van de opslibbing van dicht bij elkaar liggende spijkermeetpunten van Natuurcentrum Ameland en SEB-meetpunten van IMARES in de pre pionierzone laat goed vergelijkbare resultaten zien.

In het referentiegebied, de meetvakken in west-Groningen, lag de gemiddelde jaarlijkse opslibbing iets lager dan in de Peazemerlannen en was ca. 4 mm/j in de kwelder en ca. 7 mm/j in de pionierzone. Het kale wad en de pre-pionierzone vertoonden een erosie van ruim 1 mm/j. Tussen meetpunten in eenzelfde zone waren ook in het referentiegebied soms grote verschillen, vooral in de dynamische laaggelegen, weinig begroeide pre-pionierzone.

Alle sedimentatiewaarden van de Peazemlannen, m.u.v. de hoge delen van de zomerpolder, zijn hoger dan de snelheid van bodemdaling en zeespiegelstijging samen (beide ca 2,5 mm/jj; 3.2.2). De zomerpolder vormt in deze een apart gebied omdat door de zomerdijk de opslibbing van de polder wordt beperkt. Bij voortschrijdende bodemdaling en opslibbing op de kwelder en het wad, komt de polder lager te liggen.

### Peazemerlannen (pq 1-48)



Figuur 3.2.3L: Maaiveldhoogteontwikkeling (mm+NAP) bij de oorspronkelijke en nieuwe meetpunten in de diverse kwelderzones (met SALT97 code) en zomerpolder van de Peazemerlannen van augustus 2007-augustus 2012.

### Conclusies tav de sedimentatie

Uit de historische hoogtegegevens van RWS (Iodingen) blijkt dat er in alle kombergingen van de Waddenzee sprake is van een lichte toename of stabilisatie in de oppervlakte en gemiddelde hoogteligging van de wadplaten. Uit de lokale sedimentatiemetingen kan worden afgeleid dat de sedimentatie op de meetlocaties of in de meetgebieden hoger is dan de gemeten diepe bodemdaling door gaswinning (MLV-velden ca 2,5 mm/j; Ameland-velden ca 4 mm/j). Alleen de zomerpolder van de Peazemerlannen vormt hierop mogelijk een uitzondering. Daarmee lijkt in de gebieden boven de gasvelden (waar de meeste bodemdaling mag worden verwacht) geen sprake te zijn van een daadwerkelijke bodemdaling door gaswinning.

Uit de resultaten van de sedimentatiemetingen van NCA op wadplaten kan worden afgeleid dat de lokale sedimentatie in de loop van het jaar fluctueert maar een lange termijn trendmatige toename laat zien. Op het wad onder Ameland waar de bodemdaling door gaswinning het grootst is (ca 25 cm), lijkt na jaren van relatief veel sedimentatie (tot 2010) sprake te zijn van een stilstand in de sedimentatie. Een continue toename in de hoogteligging



van het wad die groter is dan de zeespiegelstijging en bodemdaling samen, mag ook niet worden verwacht, gelet op het feit dat op een bepaald moment de hoogteligging de aanvoer van sediment limiteert.

### 3.2.4 Habitat/leefgebied

#### *Effectketen Waddenzee*

*Diepe bodemdaling → plaatoppervlak/hogte (sedimentatie) → **habitat/leefgebied** →  
 → 1) kweldervegetatie → vogels  
 2) bodemdieren → vogels  
 3) vogels*

#### *Metingen en analyses*

Gegevens van habitatarealen worden afgeleid uit oppervlakte- en hoogtegegevens uit lodingen van de periode 1980-2013 (6 lodingscycli; gehele Waddenzee) en LIDAR-opnames uit de periode 2010-2012 (1 x in 2010 en 2 x in 2011 én 2012; Pinkegat en Zoutkamperlaag). Het gaat daarbij om arealen droogvallend wad en water of geulen zoals hierboven beschreven onder het kopje 'plaatoppervlakte en –hoogte'.

Gegevens van oppervlakte en –hoogte van het droogvallende wad zijn verzameld door RWS (lodingen en LIDAR-metingen) en Fugro (LIDAR-metingen) en geanalyseerd door Deltares (Tabel 2.2). In 2008 en 2009 zijn ook luchtfoto's gemaakt door Arcadis die later zijn vervangen door LIDAR-metingen i.v.m. problemen rond de uitvoering van de fotovluchten en de verwerking en interpretatie van de gegevens (Meet- en Regelrapportage 2007-2012).

Aan de hand van lodingen en LIDAR-opnames zijn de ontwikkelingen in arealen droogvallend wad en water/geulen in beeld worden gebracht. Bij LIDAR-opnames gaat het om het droogvallend wad boven - 0,5 m NAP (zie 3.2.3).

#### *Meet- en analyseresultaten*

In de Figuren 3.2.3C & E is de ontwikkeling in plaatareaal in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag weergegeven. Uit Figuur 3.2.3C blijkt dat de plaatoppervlakte sinds 1980 weinig is veranderd en een variatie laat zien van ca 0,4 en 0,5 km<sup>2</sup> voor resp. Pinkegat en Zoutkamperlaag (bij een meetfout van 1,5 a 2 km<sup>2</sup>). Voor het Pinkegat komt dat overeen met ca 1% van het plaatoppervlak, voor de Zoutkamperlaag met ca 0,6%. Ter vergelijking: de variatie in het areaal droogvallend wad a.g.v. de 18,6 jarige astronomische cyclus is ca 3% (Wang & Eysink 2005).

De variatie in Figuur 3.2.3E op basis van de LIDAR-opnames is kleiner, wat vooral samenhangt met de duur van meetperiode (2010-2012). Alle veranderingen vallen binnen de marges van de meetfouten zodat geen uitspraak kan worden gedaan over de betekenis van de verandering.

#### *Conclusies mbt habitatarealen*

De veranderingen in het areaal van de habitats droogvallende wad en water/geulen zijn klein ( $\leq 1\%$ ) en vallen binnen de marges van de meetfouten waardoor geen uitspraak kan worden gedaan over de betekenis van de verandering. De natuurlijke dynamiek in de habitatarealen is veel groter dan de verwachte verandering door bodemdaling a.g.v. gaswinning (Wang & Eysink 2005; Deltares 2013).

### 3.2.5 Biotische gegevens Waddenzee

In het kader van de monitoring zijn in 2007 t/m 2012 gegevens verzameld van volgende biotische variabelen:

- 1) Kweldervegetatie(IMARES; 3.2.6)

- 2) Bodemdieren (NIOZ; 3.2.7)
- 3) Wadvogels (SOVON 3.2.8)
- 4) Broedvogels (SOVON 3.2.8)
- 5) WEBTICS (Draagkracht wad voor Scholeksters; EcoCurves/SOVON; 3.2.8)

Het doel van de biotische monitoring is om aan de hand van trends en referenties aan te tonen dat er geen afwijkende ontwikkelingen optreden in de levende natuurwaarden en instandhoudingdoelen (zie Bijlage 2) van de Waddenzee door de bodemdaling van de waddenwinningen. Door de ontwikkelingen in de abiotische en biotische variabelen zoveel mogelijk in samenhang te beoordelen, kunnen eventueel effecten van de waddenwinningen op de ecologie van de Waddenzee worden achterhaald.

### 3.2.6 Kweldervegetatie

#### *Effectketen Waddenzee*

*Diepe bodemdaling → plaatoppervlak/hoogte (sedimentatie) → habitat/leefgebied →*  
 → 1) **kweldervegetatie** → vogels  
 2) bodemdieren → vogels  
 3) vogels

*Conclusies t.a.v. de kwelder: De kweldervegetatie van de Peazemerlannen en referentiegebied west Groningerkwelder zijn stabiel en laten een vergelijkbare ontwikkeling in de vegetatie zien. Lokaal is sprake van enige successie en regressie die niet samenhangt met bodemdaling*

#### *Metingen en analyses*

Gegevens over de kweldervegetatie van de Peazemerlannen (bodemdalinggebied) en de west-Groninger kwelder (referentiegebied) worden verzameld door IMARES (Tabel 2.2). Naast deze gegevens wordt gebruik gemaakt van gegevens uit langlopende kweldermonitoringprogramma's van Rijkswaterstaat (sinds 1960) en de Begeleiding Commissie Monitoring Bodemdaling Ameland (BCMBA; sinds 1986). Vooral de monitoringgegevens en -resultaten van de Amelandkwelders die binnen dezelfde komberging liggen als de Peazemerlannen en al 25 jaar worden gemonitord, spelen in deze een belangrijke rol.

Binnen de monitoring van de kweldervegetatie worden voor zowel de beïnvloede als referentiekwelder de volgende zaken meegenomen:

- Lokale sedimentatiemetingen waarmee de opslibbing op de kwelder wordt gevolgd (3.2.3)
- Vlakdekkende (RWS) en lokale (Imares) vegetatie-inventarisaties waarmee de ontwikkelingen in de kweldervegetatie worden gevolgd
- Getijgegevens waarmee de mate van overstrooming van de kwelder wordt bepaald
- GPS-metingen aan de kwelderrand waarmee de morfologische ontwikkeling van de kwelderrand wordt gevolgd



Figuur 3.2.6.1: Overzicht Peazemerlannen met ligging van de 48 meetpunten. (Foto: Google Earth)

Voor het monitoringonderzoek en de analyse van de gegevens wordt gebruik gemaakt van beproefde metingen en analyses die in de loop van ca 50 jaar kweldermonitoring van met name de Amelandkwelders zijn ontwikkeld. De ontwikkelingen in de sedimentatie/hoogteligging en de kweldervegetaties van de Peazemerlannen (bodemdalingsgebied) worden vergeleken met de ontwikkelingen in de west Groningerkwelder (referentiegebied).

De statistische analyse van de vegetatieopnames heeft betrekking op 1) de relatie tussen de vegetatie en abiotische variabelen, 2) de verandering van de vegetatie in de loop van de tijd en 3) de mogelijke oorzaken van deze verandering (multivariate-multifactorial techniek). Omdat op de kwelders de grondwaterstand waarschijnlijk geen belangrijke rol speelt, is deze hier niet als abiotische variabele meegenomen. Hetzelfde geldt voor de bodemsamenstelling. Het effect van bodemdaling op de ontwikkelingen in de vegetatie wordt beoordeeld op basis van de variabelen 1) hoogteligging, 2) bodemdaling, 3) opslibbing en 4) overstromings-frequentie.

In de kweldermonitoring is de successierichting van de vegetatie een belangrijk gegeven om effecten van natuurlijke veranderingen, van beheersmaatregelen en van bodemdaling door gaswinning te kunnen beoordelen. Lange tijd is uitgegaan van de onderbouwde veronderstelling dat vegetatiezones nauw verbonden zijn aan de maaiveldhoogte en het overstromingsregiem. In dat verband zijn voor vegetatiezones ook grenzen op basis van de hoogteligging geformuleerd (Tabel 3.2.6.1). De Amelandmonitoring heeft echter aangetoond dat de theorie over de sterke rol van de maaiveldhoogte in de kwelderzoning niet houdbaar is. Vegetatiezones houden stand als ze hun verspreidingsgrens zijn gepasseerd waardoor bij een bodemdaling van 15 tot 20 cm er naast successie, weinig tot geen veranderingen worden waargenomen. Variabelen als de afstand tot wad of kreek (ivm sedimentaanvoer), ontwatering en beweiding blijken een belangrijke rol te spelen in de ontwikkeling en zoning van de kweldervegetatie. De ontwatering is gerelateerd aan bodemdaling omdat bij bodemdaling op hogere gelegen delen van de kwelder komvorming kan optreden.

Voor meer gedetailleerde informatie over de metingen, berekeningen en analyses wordt verwezen naar het evaluatierapport van Imares (Tabel 2.2); voor informatie over de statistische toetsing naar hoofdstuk 3.8 van het rapport (box 6).

**Tabel 3.2.6.1** Theoretische ondergrens vegetatiezones in een aantal Waddenzeekwelders (m+NAP) gecorrigeerd voor de GHW-trend en de gemiddelde gemeten hoogteligging van de 27 kwelder-pq's in 2007. Puc=Puccinellia (Gewoon kweldergras); Sal = Salicornia (Zeekraal)

Vegetatiezone	Bedekking	Ameland <sup>1</sup>	Friesland midden <sup>2</sup>	Groningen west <sup>2</sup>	Peazemerlannen <sup>3</sup>	Peazemerlannen meting 2007
Midden kwelder		1,46 (beweid) 1,36 (onbeweid)	1,35	1,36	1,29	1,62 (n=15)
Lage kwelder	Puc > 5%	1,21	1,22	1,14	1,16	1,48 (n=9)
Pre-laag	Puc < 5%	1,12	1,12	1,04	1,06	
Pionierzone	Sal > 5%	0,86	0,90	0,80	0,84	1,41 (n=3)
Pre-pionier	Sal < 5%	0,82	0,64	0,59	0,58	

<sup>1)</sup> Tabel 5.3 in Eysink *et al.* (1995)

<sup>2)</sup> Tabel 4.6 en 4.7 in Dijkema *et al.* (1991)

<sup>3)</sup> Berekend uit 2) en gecorrigeerd voor 6 cm lager GHW

### Meet- en analyseresultaten

Op basis van de resultaten van de lokale sedimentatiemetingen kan worden geconcludeerd dat de sedimentatie op de Peazemerlannen hoger is dan de gemeten diepe bodemdaling door gaswinning (MLV-velden ca 2,5 mm/j). Alleen de hogere delen van de zomerpolder op de Peazemerlannen vormen hierop mogelijk een uitzondering. Daarmee lijkt in het gebied nog geen sprake van maaiveldaling door gaswinning.

Over het geheel genomen was de vegetatie in de meeste van de 48 pq's (lokale vegetatie-opnames) in de Peazemerlannen stabiel ten opzichte van het beginjaar 2007. In acht pq's heeft successie plaatsgevonden terwijl bij bodemdaling in principe regressie mag worden verwacht. Enkele opnames op de grens van lage kwelder en pionierzone en dicht bij de stormdoorbraak in de dijk, laten een lichte regressie zien die niet samenhangt met bodemdaling maar met een uitbreiding van Engels slijkgras ten koste van het onbegroeide wad en Gewoon kweldergras. Feitelijk is dus sprake van successie, maar voor het vegetatietype moet dit aangemerkt worden als een lichte regressie.

Het kale wad voor de Peazemerlannen is de laatste jaren overgegaan in een met Zeekraal begroeide pionierzone wat samenhangt met de geconstateerde hoge gemiddelde sedimentatie in het gebied van ca 15 mm/j (zie 3.2.3). In de kommen van de Peazemerlannen is de invloed van ontwatering en beweiding op de successie en zonerings duidelijk waargenomen. De vegetatie groeit er ruim boven de theoretische ondergrens, maar toch is bij enkele pq's regressie optreden. De bepalende factor voor het type vegetatie in de kommen blijkt de ontwatering te zijn en niet de hoogteligging. Zodra een kom door kreekvorming ontwatert, treedt weer snel successie op zoals ook waargenomen op Ameland (Dijkema *et al.*, 2005).

Ook in het referentiegebied, de west Groninger kwelderwerken, heeft ondanks een gemiddeld lagere opslibbing, voornamelijk successie plaatsgevonden en lokaal lichte regressie die voor een deel samenhangt met het beheer (beweiding).

Gelet op de bodemdaling van 2mm/j in de kwelder van de Peazemerlannen gedurende de meetperiode van 2007-2012 en de ervaring opgedaan in de Amelandmonitoring met 3 á 4 x hogere bodemdalingssnelheden (Figuur 3.2.2H), is het niet zinvol om te onderzoeken of bodemdaling een statistisch significant effect heeft gehad op de vegetatieontwikkeling. Deze berekeningen zijn daarom achterwege gelaten (van Duin *et al.* 2013).

### Conclusies

De kweldervegetatie van de Peazemerlannen en referentiegebied west Groningerkwelder zijn stabiel en laten een vergelijkbare ontwikkeling in de vegetatie zien. Lokaal is sprake van enige successie en regressie die niet samenhangt met bodemdaling. Effecten van

bodemdaling op de kweldervegetatie zijn niet geconstateerd en worden ook niet verwacht gelet op de lage bodemdalingsnelheid en de hoge sedimentatiesnelheden die gemiddeld per vegetatiezone hoger zijn dan de snelheid van bodemdaling en zeespiegelstijging samen. De zomerpolder op de Peazemerlannen vormt in de toekomst mogelijk een uitzondering omdat de zomerdijk de aanvoer van sediment limiteert waardoor de polder relatief laag kan komen te liggen.

### 3.2.7 Bodemdieren

#### *Effectketen Waddenzee*

*Diepe bodemdaling* → *plaatoppervlak/hogte (sedimentatie)* → *habitat/leefgebied* →  
 → 1) *kweldervegetatie* → *vogels*  
 2) ***bodemdieren*** → *vogels*  
 3) *vogels*

*Conclusies t.a.v. bodemdieren: De gaswinning heeft geen negatieve effecten op het bodemleven in de Waddenzee gehad. Ook in gebieden die al vele jaren onder invloed staan van bodemdaling door gaswinning is geen sprake van een nadelige toestand van de bodemdierensamenstelling.*

#### *Metingen en analyses*

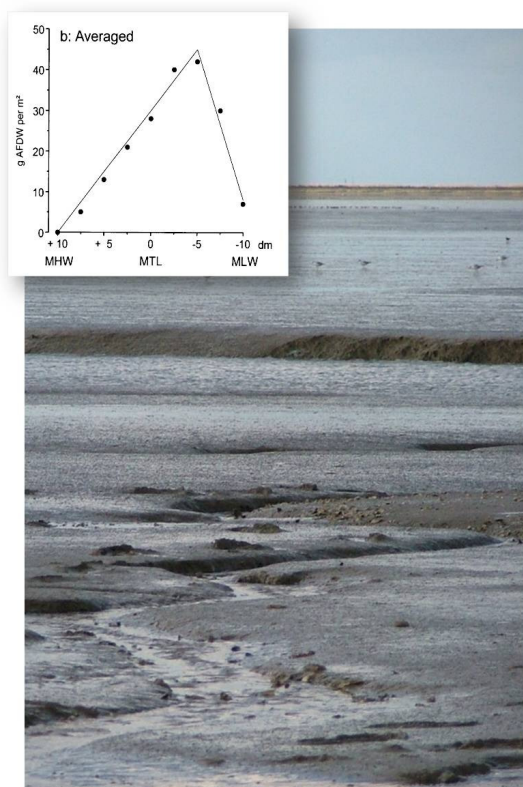
Gegevens over de ontwikkelingen in bodemdierbestanden worden verzameld door het NIOZ (Tabel 2.2). Het gaat daarbij bodemdier- en sedimentmonsters verzameld in een grid (500x500m) en random binnen de gehele Nederlandse Waddenzee. In bodemdalinggebieden zijn aanvullende monsters genomen (250x250 m grid) om de power van de analyses te vergroten. De bemonsteringen sluiten aan bij de lang termijn bemonstering in de westelijke Waddenzee op het Balgzand (Beukema et al., 2002b). Om de korte termijn dynamiek in bodemdierbestanden te elimineren zijn in de analyses gemiddelde waarden van de meegenomen parameters gebruikt.

#### Doelstelling en uitvoering

Binnen het kader van de gasproductie 'Moddergat-Lauwersoog-Vierhuizen' draagt de NAM bij aan een jaarlijkse Waddenzeebrede bodemdiereninventarisatie. Deze inventarisatie "SIBES" wordt sinds 2008 uitgevoerd en geanalyseerd door het NIOZ, met additionele financiële steun van Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Het doel van de NAM is vast te stellen of er, als gevolg van deze gasproductie, ecologisch relevante veranderingen optreden in het bodemleven van de Waddenzee. De resultaten van vier jaar monitoring zijn dit jaar gerapporteerd (Compton et al. 2013). De monsters uit het 5<sup>de</sup> jaar worden momenteel in het laboratorium geanalyseerd en zullen eind 2013 worden gerapporteerd. Uit dit omvangrijke onderzoek zijn inmiddels twee wetenschappelijke artikelen naar voren gekomen (Bijleveld et al. 2012, Compton et al. 2013) en nieuwe artikelen zijn in de maak.

#### Bodemdieren in de Waddenzee

Bodemdieren die in en op de droogvallende wadplaten leven vormen een belangrijke schakel in de voedselketen van de Waddenzee. Deze bodemdieren bestaan voornamelijk uit wormen, schelpdieren en kleine kreeftachtigen. De soortensamenstelling van bodemdieren in een zandige omgeving zoals de Waddenzee varieert sterk in zowel ruimte als tijd. Veranderingen op grote schaal worden vooral veroorzaakt door fysische verschillen in leefomstandigheden, terwijl de variatie op relatief kleine schaal vooral door biologische processen wordt gegenereerd (Herman et al. 1996; Legendre et al. 1997; McArdle et al. 1997; Thrush et al. 1997).



Figuur 3.2.7.1: Foto van droogvallende wadplaten. Linksboven een grafiek die de gemiddelde relatie beschrijft tussen de biomassa bodemdieren en de hoogte in de getijdenzone, op de X-as staat MTW voor 'mean tidal level' (uit Beukema 2002).

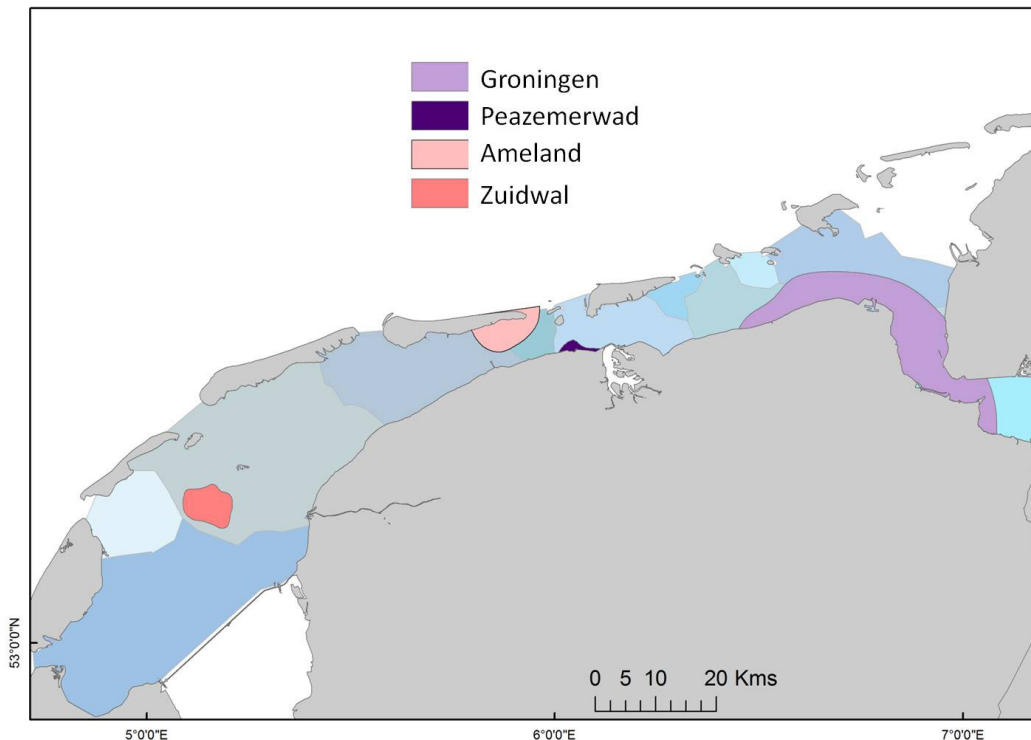
#### Bodemdaling en overstromingsduur

Als de wadbodem daalt neemt de overstromingsduur toe. De aantallen, biomassa en diversiteit aan bodemdieren vertoont een gradiënt in relatie tot overstromingsduur, met maximum waarden rond -0.5m -NAP (Fig. 3.2.7.1). Richting lager en hoger gelegen habitats nemen deze benthoskenmerken af (Beukema, 2002). Experimenteel werk door Kersting et al. (2001) laat zien dat een toename in de overstromingsduur tot een toename van de biomassa bodemdieren leidt. Dit suggereert dat een afname beneden -0.5m (-NAP) niet het gevolg is van een toename in de overstromingsduur, maar het gevolg is van andere variabelen. Omdat bodemdaling door gaswinning een zeer traag proces is wordt verwacht dat eventuele veranderingen in de bodemdierensamenstelling verlopen conform de in Beukema (2002) gepubliceerde relaties (Fig.3.2.7.1). Of verandering op deze schaal met de SIBES bemonstering kunnen worden vastgesteld wordt nader bediscussieerd in H 4.

#### Analyse van de bodemdierensamenstelling, de initiële vergelijking

Het NIOZ vergelijkt de bodemdierensamenstelling in het gebied dat onderhevig is aan diepe bodemdaling (zgn. beïnvloedingsgebieden) met die in referentiemonsters. Daarbij is de diepe bodemdaling door langlopende winningen als Ameland en Groningen meegenomen omdat de Waddenwinning nog weinig diepe bodemdaling in de Waddenzee hebben veroorzaakt. Referentiemonsters worden in de hele Nederlandse Waddenzee verzameld, waarbij rekening wordt gehouden met de vergelijkbaarheid van de fysische kenmerken (zoals de sedimentsamenstelling of hoogteligging) in een beïnvloedingsgebied. Op deze wijze wordt voor tientallen soorten dieren gekeken of er opvallende verschillen zijn tussen monsters uit beïnvloeding- en referentiegebieden. De verschillen die in dit stadium van de analyse worden gevonden worden nog niet gekoppeld aan gasproductie. Ze kunnen door andere verschillen veroorzaakt worden of toevallig optreden. Daarom zijn er meerdere vergelijkingen tussen andere beïnvloedingsgebieden en bijhorende referentiegebieden nodig. Consistente verschillen in bodemdierensamenstelling tussen onafhankelijke beïnvloeding- en referentiegebieden zouden er op kunnen wijzen dat zich in beïnvloedingsgebieden een andere fauna ontwikkelt dan elders. Deze heel verschillende gebieden hebben namelijk maar een ding gezamenlijk en dat is gasproductie vanuit de diepe ondergrond. Daarom doet het

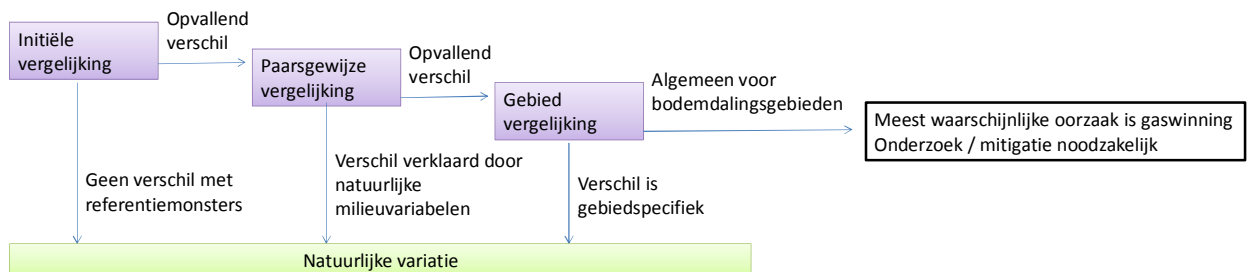
NIOZ haar analyses voor vier gebieden in de Waddenzee die alle vier onder invloed staan van gasproductie (Figuur 3.2.7.2X). Zoals al is opgemerkt is de daling van de diepe ondergrond onder het Peazemerwad nog zeer beperkt. De resultaten van deze analyses worden gepresenteerd in Tabel 3.2.7.1.



Figuur 3.2.7.2: Kaart van de Waddenzee met daarin de vier beïnvloedingsgebieden, i.e. gebieden die onder invloed staan van diepe bodemdaling.

#### Corrigeren voor milieuvariabelen

Naast vergelijking van de verschillende beïnvloedingsgebieden gaat de NIOZ analyse ook in meer detail in op de rol van belangrijke omgevingsvariabelen zoals de sedimentsamenstelling en de hoogteligging. Voor soorten die opvallend meer of minder zijn aangetroffen in beïnvloedingsgebieden wordt bij ieder monster uit het beïnvloedingsgebied een monster gezocht in de rest van de Waddenzee waarvan de milieuvariabelen 'slibgehalte' en 'droogvalduur' het meest vergelijkbaar zijn. Deze monsters worden vervolgens paarsgewijs vergeleken (Zie ook Compton et al. 2013). Als in deze vergelijking gemiddeld geen verschil wordt gevonden tussen beide typen monsters, dan wordt geconcludeerd dat het verschil uit de initiële analyse veroorzaakt wordt door verschillen in milieuvariabelen en niet door bodemdaling (Figuur 3.7.2.3).



Figuur 3.2.7.3: Flowdiagram voor de analyse van de bodemdierensamenstelling binnen het kader van de gaswinning Moddergat-Lauwersoog-Vierhuizen. De drie blauwe blokken vormen drie stappen die in de analyse genomen worden. Deze stappen staan nader beschreven in de bovenstaande twee paragrafen. Voor iedere soort afzonderlijk worden deze stappen doorlopen. Dat geldt ook voor een aantal samenvattende kenmerken van de bodemdierensamenstelling zoals de totale biomassa of de



biodiversiteit. Afhankelijk van de uitkomst van een analyseblok wordt doorgedaan met de volgende stap, of wordt geconcludeerd dat een gevonden verschil niet aan gaswinning gekoppeld kan worden.

## Resultaten en bespreking

De resultaten van de bodemdierenanalyse staan in Tabel 3.2.7.1. Hierin is te zien dat in de initiële analyse meerdere soorten zijn gevonden waarvan het gemiddelde aantal individuen opvallend afweek van die in de geselecteerde referentiemonsters. Voor het gebied onder de oostpunt van Ameland ging het om drie soorten, het wadslakje (*Hydrobia ulvae*) en twee borstelwormen waarvan alleen *Eumida sanguinea* ook positief uit de paarsgewijze vergelijking kwam. Het gebied Zuidwal vertoonde het grootste aantal soorten dat in opvallend hoge of lage aantallen aanwezig was. Het betrof vier borstelwormen en een tweekleppige, de kokkel. Op het Peazemerwad zijn opvallende hoge dichtheden van de Zeeduizendpoot (*Hediste diversicolor*) vastgesteld. Voor het uitgebreide beïnvloedingsgebied op het Groningerwad viel één soort op. Dit was de Ambergele zeeduizendpoot (*Alitta succinea*).

Tabel 3.7.2.1: Resultaten analyse bodemdieren Waddenzee voor de vier zgn. beïnvloedingsgebieden Ameland, Zuidwal, Peazemerwad en Groningen in vergelijking met referentiemonsters. Gevonden verschillen voor acht soorten borstelwormen en een tweekleppige. In de onderste twee regels zijn de totale biomassa en het totale aantal bodemdieren opgenomen. Min staat voor een relatief lage dichtheid en plus voor een relatief hoge dichtheid in het beïnvloedingsgebied. Voor de vetgedrukte woorden geldt dat ook in de paarsgewijze vergelijking het verschil met de referentiemonsters opvallend hoog was. Een streepje (-) geeft aan dat er geen verschil met referentiemonsters is gevonden en een lege cel betekent dat er geen verdere analyse is uitgevoerd (zie ook fig. 3.2.7.2 en 3.2.7.3).

Soort (van 63 soorten in totaal)	Ameland		Zuidwal		Peazemerwad		Groningen	
	Initieel	paarsgewijs	Initieel	paarsgewijs	Initieel	paarsgewijs	Initieel	paarsgewijs
<i>Hediste diversicolor</i>	-		-		<b>plus</b>	<b>plus</b>	-	
<i>Alitta succinea</i>	-		-		-		<b>plus</b>	<b>plus</b>
<i>Arenicola marina</i>	-		<b>min</b>	<b>min</b>	-		-	
<i>Cerastoderma edule</i>	-		<b>plus</b>	<b>plus</b>	-		-	
<i>Hydrobia ulvae</i>	<b>plus</b>	<b>plus</b>	-		-		-	
<i>Eteone longa</i>	min	plus	-		-		-	
<i>Eumida sanguinea</i>	<b>plus</b>	<b>plus</b>	-		-		-	
<i>Pygospio elegans</i>	-		min	plus	-		-	
<i>Scoloplos armiger</i>	-		min	plus	-		-	
<i>Spiophanes bombyx</i>	-		<b>plus</b>	<b>plus</b>	-		-	
<i>Totale biomassa</i>	-		min	plus	-		plus	min
<i>Totale aantal</i>	-		min	plus	-		-	

### Verschillen in de bodemdierensamenstelling bij Groningen

Het beïnvloedingsgebied op het Groningerwad ligt deels in het Eems-Dollard estuarium (Figuur 3.2.7.2). Het advies van de auditcommissie was om het Eems-Dollard gebied niet in de analyse mee te nemen, gezien de afwijkende bodemdierensamenstelling in het gebied. De Ambergele zeeduizendpoot die in relatief hoge dichtheden in het beïnvloedingsgebied Groningen is waargenomen is ook zeer talrijk in de rest van de Dollard (Dekker en Waasdorp, 2008). Voor deze worm kan geconcludeerd worden dat hun afwijkende dichtheden in het beïnvloedingsgebied Groningen door overlap met het Eems-Dollard gebied verklaard kunnen worden.

### Bodemdaling en sedimentatie

Tot dusver zijn er geen indicaties dat er sprake is van daling van het sedimentoppervlak in de Waddenzee. Dit geldt niet alleen voor de het wad boven Lauwersoog-Vierhuizen waar ook de diepe bodemdaling nog naar enkele centimeters bedraagt, maar ook voor het wad onder oost Ameland waarvan de bodem al tot ca 25 centimeter gedaald is. Door sedimentatie en geuldynamiek is er aan de oppervlakte geen daling merkbaar. Als de toegenomen sedimentatie door de jaren invloed zou hebben op de bodemdierensamenstelling, dan ligt een correlatie met de diepte van de bodemdalingsschotel en daarmee het aantal jaren bodemdaling voor de hand. Deze correlaties zijn niet gevonden. Wel zijn er duidelijk allerlei gradiënten binnen de bodemdalingsschotel waarneembaar.

Het NIOZ heeft ook naar veranderingen in de onderlinge verhoudingen tussen soorten bodemdieren gekeken. In deze analyses worden verschillen tussen beïnvloedingsgebieden en referentiemonsters bepaald voor alle aanwezige soorten te gelijk (multivariaat). Op basis van deze analyses zijn geen verschillen tussen beïnvloedingsgebieden en referentiemonsters gevonden.

### Conclusies

Op grond van de uitvoerige studies van het NIOZ kan worden geconcludeerd dat bodemdaling door gaswinning geen negatieve effecten op het bodemleven in de Waddenzee heeft gehad. In gebieden die al vele jaren onder invloed staan van diepe bodemdaling is geen sprake van een nadelige toestand van de bodemdierensamenstelling. Verdere effecten op bodemdieren worden dan ook niet verwacht. Dit ligt in lijn met het idee dat theoretische effecten van diepe bodemdaling op het sedimentoppervlak in de Waddenzee zeer klein zijn (Wang & Eysink 2005; Deltares 2013) en de conclusie uit Beukema (2002) die luidt dat de mogelijke effecten van bodemdaling op de bodemdierensamenstelling nihil zijn. Op grond van de huidige bevindingen en overwegingen kan worden geconcludeerd dat gaswinning onder de Waddenzee geen negatief effect heeft op H1140.

### Literatuur

- Beukema J. J., (1976) Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 10, 236–261
- Bijleveld, A.I., van Gils, J.A., van der Meer, J., Dekinga, A., Kraan, C., van der Veer, H.W. & Piersma, T. (2012) Designing a benthic monitoring programme with multiple conflicting objectives. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 526-536.
- Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H.W. & Piersma, T. (2013). Distinctly variable mudscapes: Distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, <http://tinyurl.com/cv7mdgq>
- Dekker R. & D. Waasdorp (2008) Het macrozoobenthos op twaalf raaien in de Waddenzee en de Eems-Dollard in 2007. NIOZ rapport.
- Herman, P., de Vries, M., Thoolen, P., Vonk, M., Baart, A., Boon, J., 1996. Micro-macro. Een onderzoek naar de relatie tussen hydrodynamische factoren en kleinschalige verspreiding van macrobenthos. In Wintermans, G. et al (1996) Habitat mapping and description of the Dutch coastal waters. BEON Rapport, 96(5), part 4.
- Kröncke, I., Reiss, H., Eggleton, J.D., Berman, M.J.N., Cochrane, S., Craeymeersch, J.A., Degraer, S., Desroy, N., Dewarumez, J.M., Duineveld, G., Essink, K., Hillewaert, H., Laveleye, M., Moll, A., Nehring, S., Newell, J., Pohlmann, T., Rachor, E., Reed, H.L., Robertson, M., Rumohr, H., Schratzberger, M., Smith, R., Vanden Berghe, E., van Dalfsen, J., Van Hoey, G., Vincx, M., 2011. Changes in North Sea macrofauna communities and species distribution between 1986 and 2000. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 94, 1-15.
- Legendre, P., Birks, H., 2012. From classical to canonical ordination, in: Birks, H.J.B., Lotter, A.F., Juggins, S., Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Springer.
- McArdle, B.H., Hewitt, J.E., Thrush, S.F., 1997. Pattern from process: it is not as easy as it looks. *J Exp Mar Biol Ecol* 216, 229-242.
- Thrush, S.F., Cummings, V.J., Dayton, P.K., Ford, R., Grant, J., Hewitt, J.E., Hines, A.H., Lawrie, S.M., Pridmore, R.D., Legendre, P., McArdle, B.H., Schneider, D.C., Turner, S.J., Whitlatch, R.B., Wilkinson, M.R., 1997. Matching the outcome of small-scale density manipulation experiments with larger scale patterns: an example of bivalve adult/juvenile interactions. *J Exp Mar Biol Ecol* 216, 153-169.
- Van Hoey, G., Vincx, M., Degraer, S., 2007. Temporal variability in the *Abra alba* community determined by global and local events. *Journal of Sea Research* 58, 144-155.

### 3.2.8 Wadvogels & broedvogels kwelder

#### Effectketen Waddenzee

Diepe bodemdaling → plaatoppervlak/hoogte (sedimentatie) → habitat/leefgebied →  
 → 1) kweldervegetatie → **vogels**  
 2) bodemdieren → **vogels**  
 3) **vogels**

Conclusies t.a.v. aantalontwikkeling, draagkracht en overstromingsrisico van vogels en nesten: *Uit de trendanalyses kan worden geconcludeerd dat er sinds de start van de nieuwe gaswinning geen negatieve ontwikkeling is waargenomen van de vogelpopulaties in de beïnvloedingsgebieden.*

*Als oppervlaktedaling door gaswinning zou optreden in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag, dan leidt dit (modelmatig) tot een gemiddelde afname van de draagkracht voor de Scholekster van 1,2 tot 1,5% per centimeter daling. Dit is het equivalent van ca. 500 vogels. Tot dusver is er geen sprake van een waargenomen afname van deze draagkracht.*

*Wanneer rekening wordt gehouden met het natuurlijk opslibben van de kwelder is er op dit moment geen sprake van een toename van het overstromingsrisico van vogels en nesten. Dit kan in de toekomst veranderen wanneer bodemdaling (5 mm/j) gecombineerd met de trendmatige toename in de hoogwaterstanden groter is dan de opslibbingsnelheid van kwelders (10 á 15 mm/j) Of met de hoogwaterstanden de opslibbing ook verder toeneemt is nog onduidelijk.*

#### Metingen en analyse

Gegevens over de aantallen en verspreiding van wad- en broedvogels in de Waddenzee, de verspreiding van broedlocaties op de kwelder en foeragerende Scholeksters op het droogvallende wad (modelberekeningen met Webtics) worden verzameld door het SOVON en Ecocurves (Tabel 2.2).

De aantalsontwikkelingen van vogelsoorten in de Waddenzee staan onder invloed van velerlei factoren die deels ook buiten de Waddenzee spelen. Rond de mogelijke effecten op vogels van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning, zijn drie hypothesen opgesteld. **De eerste hypothese** luidt dat aantalsontwikkeling negatief beïnvloed kan worden door het frequenter of langduriger overstromen van foerageer- en broedgebieden (kwelders). **De tweede hypothese** luidt dat de aantalsontwikkeling negatief beïnvloed kan worden door een afname van de foerageermogelijkheden van vogels in de winter. Het idee achter deze hypothese is dat vogels in de winter veel energie kwijt zijn aan het op peil houden van hun lichaamstemperatuur. Om de winter te overleven, verbranden ze doorgaans een zeer groot deel van hun reserves en moeten ze veel en langdurig (gedurende de hele LW periode) eten. Als ze te weinig eten, sterven ze. De beperkende factor in de vogel is de snelheid van spijsvertering. Vogels kunnen zich op het wad vrij snel 'vol' eten, maar hebben tijd nodig om het voedsel te verteren. Als het wad langer droogvalt kunnen ze meerdere verteringscycli per laagwaterperiode doorlopen en hoeven ze hun vetreserves minder aan te spreken. **De derde hypothese** is dat door bodemdaling het overstromingsregiem en daarmee de kweldervegetatie en het broedgebied van vogels verandert. In dit hoofdstuk worden deze drie studies besproken.

De eerste studie (a) betreft de analyse van de aantalsontwikkelingen van water- en broedvogels in de verschillende kombergingen van de Waddenzee door SOVON (Tabel 2.2). Op basis van deze analyses worden de ontwikkelingen van bepaalde soorten (instandhoudingsdoelen; zie bijlage 2) nader bestudeerd en wordt gekeken of die ontwikkeling afwijkt in kombergingen die onder invloed staan van diepe bodemdaling. De tweede studie (b) betreft modelberekeningen waarin in detail wordt gekeken naar de invloed van veranderingen in de hoogteligging van het droogvallende wad op de winterstress van de Scholekster (de tweede hypothese). In de derde studie (c) wordt ingegaan op de overstromingsrisico's van

kwelderbroedvogels in relatie tot bodemdaling (de eerste hypothese) en vegetatie (derde hypothese).

a) Trendanalyses water- en broedvogels Waddenzee

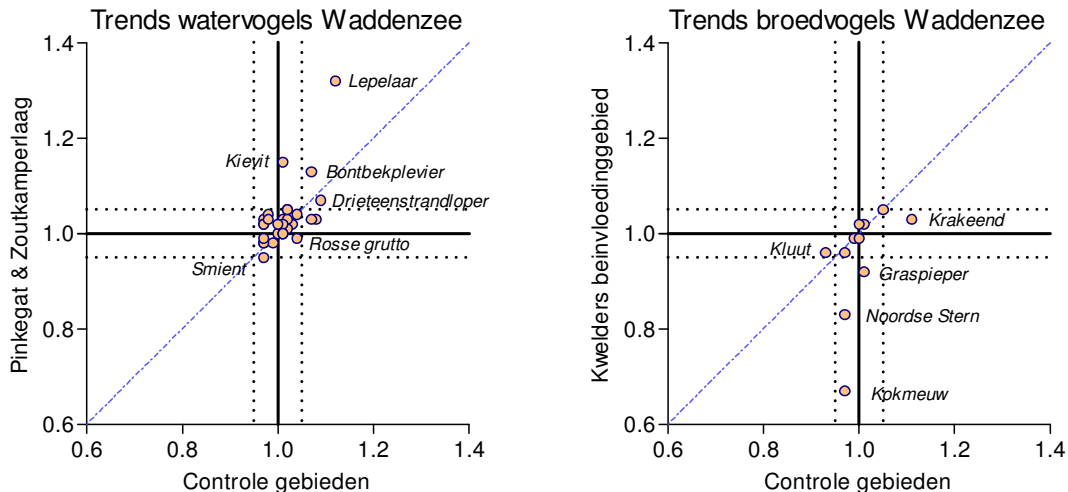
De water- en broedvogeltellingen voor de Waddenzee zijn onderdeel van een nationaal vogeltelprogramma, waarin o.a. alle Natura 2000 gebieden zijn vertegenwoordigd. Binnen het kader van de Waddenwinningen heeft de NAM aan SOVON gevraagd deze vogeltellingen te analyseren met als doel te controleren of gaswinning een negatief effect heeft op de aantalontwikkeling van bepaalde soorten.

Conform de effectketen zijn effecten mogelijk op vogels via de kweldervegetatie en bodemdieren/voedselvoorraad. De auditcommissie pleit voor een integrale analyse van de vogeldata conform de effectketen. Dat betekent in dit geval dat de variatie in vogelaantallen gemodelleerd zou kunnen worden als functie van de vegetatie in hun broedgebieden op de kwelder, hun voedselbron (bodemdieren) en een veranderende overstromingskans. Vergelijkbaar onderzoek naar de ontwikkeling van vogelsoorten in het Ythan estuarium (Omgeving Aberdeen, Schotland) maakt inzichtelijk hoe dergelijke analyses vorm kunnen krijgen en wat de beperkingen daarvan zijn (Zuur et al. 2009). SOVON analyseert de tellingen niet als functie van de veranderingen in de kweldervegetatie of bodemdierensamenstelling, maar kijkt of vogelpopulaties zich afwijkend ontwikkelen in gebieden die onder invloed staan van gasproductie. Dit is conform het Monitoringprogramma 2007-2012. In deel c van dit hoofdstuk wordt wel ingegaan op de relatie tussen de verspreiding van broedvogels op de kwelder en het vegetatietype.

De analyses worden in twee stappen uitgevoerd. De eerste stap is de multiregressie-analyse en de tweede stap is een correctie voor kanskapitalisatie. Uit de multiregressie-analyses komt voor 4 watervogelsoorten en 2 broedvogelsoorten een significante correlatie met het beïnvloedingsgebied naar voren. Correctie voor het feit dat er meerdere onafhankelijke toetsen worden uitgevoerd zorgt er voor dat geen van deze effecten als significant kan worden aangemerkt. Naast kanskapitalisatie heeft deze multiregressie-analyse nog enkele beperkingen, die deels besproken zijn in Wiersma et al. (2009). Het valt buiten de reikwijdte van de integrale beoordeling om daar in detail op in te gaan. De conclusie die uit die beperkingen getrokken moet worden, is dat we terughoudend moeten zijn met uitspraken over de statistische significantie van gevonden verschillen.

### *Resultaten en bespreking*

Omdat de vogeltelling zich niet goed lenen voor Multi-regressie analyse wordt in de beoordeling van de ontwikkelingen in de vogelaantallen gebruik gemaakt van de in het zelfde rapport gepresenteerde trendclassificatie voor NEM-meetnetten. In deze analyses wordt per soort de trend geschat. Hierbij duidt een trend van  $<0.95$  op een afname van 5% per jaar en een trend  $>1.05$  op een toename van 5% per jaar. Is de trend 1, dan is er geen ontwikkeling in de tijd. De trends voor de verschillende soorten watervogels zijn weergegeven in Figuur 2.3.8.1. In deze figuur is per soort de trend in Pinkegat en Zoutkamperlaag uitgezet tegen de rest van de Waddenzee (Controle). In het plot staan lijnen die de 0.95, de 1 en de 1.05 grenzen aangeven. Ook is er een diagonale blauwe lijn gepresenteerd. Voor vogelsoorten die precies op die lijn liggen is de aantalontwikkeling in Pinkegat en Zoutkamperlaag gelijk aan de rest van de Waddenzee. Bij opvallende afwijkingen zijn de soortnamen gezet.



Figuur 2.3.8.1: Links) Trends voor vogelsoorten in Pinkegat en Zoutkamperlaag als functie van die in de rest van de Waddenzee (controle gebieden) voor watervogels op basis van HWVP tellingen. Rechts) Trends voor broedparen op de vastelandkwelders (Peazem en Wierum) als functie van controle gebieden. Voor punten op de horizontale en verticale solide zwarte lijnen geldt dat er geen sprake is van een ontwikkeling voor respectievelijk beïnvloedinggebieden en de controle gebieden. De stippellijnen geven de 0.95 en 1.05 grenzen aan. Voor punten die op de diagonale blauwe lijn liggen geldt dat de ontwikkeling in beïnvloedinggebieden en de controle gebieden gelijk zijn.

Voor de watervogels zijn de positieve ontwikkelingen van de Lepelaar, Bontbekplevier, Kievit en Drieteenstrandloper het meest opvallend. Deze soorten laten allemaal een opvallend positieve aantalontwikkeling zien in de Waddenzee. Voor de Kievit geldt dat deze ontwikkeling vooral in Pinkegat en zoutkamperlaag optreedt. Gemiddeld blijft het aantal Kieviten gelijk in de controle gebieden. Een negatieve aantalontwikkeling is gevonden voor de Smient. Zowel in Pinkegat + Zoutkamperlaag als in de controle gebieden neemt het aantal Smienten af. Deze ontwikkeling is ook in de grote meren geobserveerd en wordt nader besproken in paragraaf 4.1.2.

Voor het aantal broedparen is er duidelijk sprake van een sterk negatieve ontwikkeling voor de Kokmeeuw, de Noordse Stern en de Graspieper op de kwelders bij Peasens en Wierum en voor de Krakeend in de controle gebieden. Grote aantallen broedparen Kokmeeuwen en de Noordse Sterns worden Pinkegat + Zoutkamperlaag sinds 1997 niet meer waargenomen. Het aantal broedparen Graspiepers bereikte in Pinkegat + Zoutkamperlaag zijn dieptepunt in 2002 en is sindsdien stabiel.

Uit de inspectie van de trendlijnen kan worden geconcludeerd dat er sinds de start van de nieuwe gaswinning (sinds 2006) geen opvallende negatieve ontwikkeling zijn van de vogelpopulaties in de beïnvloedingsgebieden.

#### b) Draagkrachtberekeningen voor foeragerende scholeksters

Zoals hierboven is uitgelegd, is de winter een kritische periode voor overwinterende wadvogels. De overlevingskans van op het wad foeragerende vogels neemt toe als ze regelmatig kunnen eten zodat ze nooit met een leeg spijsverteringskanaal komen te zitten en hun vetreserves moeten aanspreken. Of er optimaal gevoerd kan worden, wordt bepaald door een aantal parameters, zoals de hoogteligging en dichtheid van voedselvoorraden, de morfologie van de kombergingen en de variaties in de waterstand o.i.v. het getij en het weer. Webtics is een mathematisch model waarin dit soort parameters wordt gecombineerd om de draagkracht van het wad in termen van voedselbeschikbaarheid en – bereikbaarheid voor Scholeksters in een bepaald gebied te berekenen. Minder draagkracht betekent in dit geval dat Scholeksteraantallen kunnen afnemen omdat de foerageermogelijkheden in de winter (te) beperkt zijn. Door de parameters te veranderen kan

de invloed van specifieke veranderingen op deze draagkracht worden bestudeerd. Studies met Webtics zijn in het verleden ook uitgevoerd voor de Ooster- en Westerschelde en recent zijn in het kader van deze monitoring met het model 'vingeroefeningen' gedaan (Rappoldt en Ens, 2007; Rappoldt et al. 2006).

Als het sedimentoppervlak in de Waddenzee daalt onder invloed van gaswinning zal dit een effect hebben op de morfologie van de wadplaten. Wat dit voor op het wad foeragerende vogels (locaal) betekent, hangt in sterke mate af van de huidige morfologie en verschilt daarom per komberging. De rapportage van Rappoldt en Ens (2013) laat zien dat voor de meeste kombergingen de foerageermogelijkheden minder worden in bodemdalingsscenario's. In deze studie is naast deze scenario's ook naar de veranderingen in draagkracht van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag gekeken a.d.h.v. de hoogtekaarten die in het kader van de monitoring zijn gemaakt (LIDAR-opname; 3.2.3).

### *Resultaten en bespreking*

Het resultaat uit de Webtics berekeningen is dat een centimeter bodemdaling leidt tot een afname van de draagkracht voor de Scholekster van 1,2 tot 1,5% (standaard deviatie 0.9%). Dit komt overeen met ca. 500 vogels. In Wang en Eysink (2005) wordt voorspeld dat in het Pinkegat de oppervlakedaling 'tijdelijk' (gedurende een paar decennia) 3,7 cm kan bedragen. Dit komt overeen met een vermindering van de draagkracht voor de Scholekster van maximaal  $1,5 * 3,7 = 5,6\%$ . Voor de Zoutkamperlaag is de voorspelde oppervlakte daling 1 cm, waardoor de gemiddelde afname van de draagkracht daar tot 1,5% beperkt zou blijven. Omdat de gasproductie geleidelijk afneemt en de sedimentatie weer de overhand krijgt, zal de draagkracht voor de Scholekster geleidelijk weer toenemen. Gezien het 'tijdelijke' karakter van de daling van het sedimentoppervlak, de natuurlijke variatie in relevante parameters en de invloed van externe factoren, wordt verwacht dat dit kleine effect van enkele procenten niet in de aantalonwikkeling van de Scholekster opgemerkt kan worden.

In de bovenstaande analyses is gebruik gemaakt van de bodemdierendata uit de jaarlijkse schelpdierinventarisaties van IMARES. De SIBES data kent nog onvoldoende opeenvolgende jaren om voor prognoses in Webtics te worden gebruikt.

Omdat het onzeker is of de voorspelde oppervlakedaling op het wad ook daadwerkelijk plaatsvindt, is met Webtics ook de veranderingen in draagkracht berekend a.d.h.v. de gemeten veranderingen in de morfologie in de periode 2010-2012. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de kaarten die gebaseerd zijn op LIDAR-opnames (3.2.2). Deze analyses zijn nog experimenteel van aard en de uitkomsten nog onzeker (Rappoldt & Ens 2013). In deze analyses is tevens het gebruik van de bodemdiereninventarisaties van IMARES en NIOZ met elkaar vergeleken.

Als we de verandering in de morfologie a.d.h.v. LIDAR-opnames in de twee gebieden vergelijken zien we een toename van de foerageermogelijkheden voor de scholekster in beide kombergingen. Voor de Zoutkamperlaag betekent dit een toename van de draagkracht voor de populatie van ca. 6 – 11%. Voor het Pinkegat zijn de verschillen erg klein (+3%).

In de NIOZ-monitoring worden relatief veel kleinere monsters genomen (3.2.7). De IMARES monitoring kent minder maar grotere monsters en is gestratificeerd op schelpdierbanken. In beide kombergingen schatte Webtics op grond van de NIOZ data (SIBES) een grotere draagkracht dan op grond van de IMARES data. Voor het Pinkegat lijkt de bodemdierendata van IMARES uit 2010-2012 niet geschikt om de draagkracht voor scholeksters te schatten. Deze valt onrealistisch laag uit en hangt waarschijnlijk samen met het beperkte aantal beschikbare bodemdiermonsters.

### *c) Verspreiding en overstromingsrisico broedvogels*

In dit onderzoek is gekeken of er verschillende dichtheden broedvogels gevonden worden op kwelders met en zonder bodemdaling. Daarnaast is bestudeerd of broedvogels op kwelders

met bodemdaling een vergroot risico lopen op het wegspoelen van hun legsel door overstroming. Voor deze analyses is gebruik gemaakt van de bestaande verspreidingsgegevens van de broedvogels, afkomstig uit de reguliere broedvogelmonitoring in 51 telgebieden langs de kust van Groningen en Friesland (Figuur 3.2.8.2) uit de periode 2006-2012. Op basis van deze gegevens is voor vogelsoorten waarvan voldoende informatie beschikbaar was de gemiddelde dichtheid per hectare berekend per vak van 200x200 meter.

In de analyse heeft SOVON gebruik gemaakt van meerdere verklarende variabelen. Voor het schatten van de rol van het overstromingsrisico van nesten is gebruik gemaakt van de variabelen nesthoogte, maaiveldhoogte, periode van het broedseizoen en de waterstanden. Om in te kunnen schatten of er minder broedparen zijn op kwelders die onder invloed staan van bodemdaling wordt gebruikt gemaakt van de hoogte van het maaiveld, de mate van bodemdaling, het vegetatietype en de waterstanden. De statistische analyses die in dit rapport worden gebruikt onderscheiden zich van de andere analyses van vogelaantallen doordat in dit werk de ruimtelijke autocorrelatie wordt mee gemodelleerd.



Figuur 3.2.8.2: Ligging van de telgebieden van broedvogels langs de kust van Friesland en Groningen (Bron: SOVON).

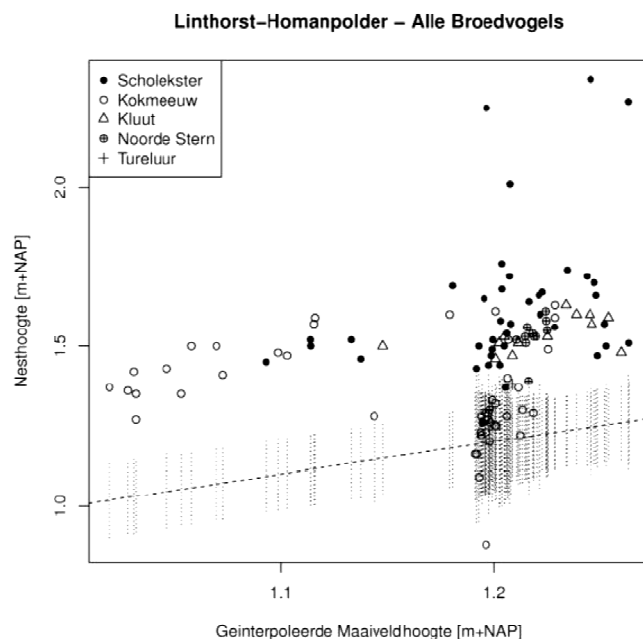
### *Resultaten en bespreking*

De resultaten laten zien dat voor 91% van de 200 x 200 meter vakken op de kwelders het overstromingsrisico niet toeneemt als gevolg van bodemdaling. Voor 9% van de vakken leidt bodemdaling tot een toename van het overstromingsrisico. Deze toename houdt in dat deze locaties 1 a 2 maal in de tien jaar vaker overstromen. Deze vakken zijn voornamelijk gelegen in de Linthorst-Homanpolder en niet in de Paesemerlanden. In deze analyse van het overstromingsrisico wordt geen rekening gehouden met het opslibben van de kwelder en de relatie tussen de mate van opslibben en het toenemen van de overstromingsfrequentie. Het kwelderonderzoek van IMARES (3.2.6) laat zien dat voor de Paesemerlanden de opslibbing in nagenoeg alle deelgebieden de bodemdaling en zeespiegelstijging bijhoudt. Uit de monitoring door Rijkswaterstaat blijkt dat de opslibbing van de vastelandskwelders in de orde van grootte van 1 (Groningen) á 1,5 (Friesland) cm per jaar ligt, bij een bodemdaling van ca 0,5 cm per jaar. Op de kwelders is daardoor eerder sprake van ophoging dan van daling. De mate van opslibbing is mede afhankelijk van de overstromingsfrequentie. Deze overstromingen vinden vooral in de winter plaats en niet tijdens het broedseizoen.

Het onderzoek naar de relatie tussen nestlocatie en het overstromingsrisico wijst uit dat er een lichte voorkeur lijkt te zijn voor vogels om in delen van de kwelder te broeden waar het risico op overstroming relatief hoog is. Dit geldt niet voor de onderzochte eenden (Bergeend en Wilde eend) of de Veldleeuwerik. Als we naar de bijhorende boxplots kijken zien we dat de mediane nestdichtheden in de meeste gevallen niet gecorreleerd zijn aan het overstromingsrisico. Vooral de hoge nestdichtheden van een aantal vogelsoorten worden voornamelijk aangetroffen in gebieden met een hoog overstromingsrisico. Voorbeelden daarvan zijn de Tureluur, Kokmeeuw, Visdief, Rietgors en Kluut.

Als de nesthoogtes vergeleken wordt met de hoogte van het omliggende maaiveld is duidelijk te zien dat nesten veelal hoger liggen dan de omgeving. In de Linthorst-Homanpolder, waar

het overstromingsrisico het grootst was, was dit verschil het meest uitgesproken (Figuur 3.2.8.2).



Figuur 3.2.8.2: Hoogte nestlocaties t.o.v. maaiveld (beide in NAP) in het onderzoeksgebied, Linthorst-Homanpolder voor alle gevonden soorten. De lijn geeft de relatie  $x = y$  weer, de balkjes de variantie van de schatting van de (geïnterpoleerde) hoogte van het maaiveld.

### Conclusies

Uit de resultaten en bespreking kan worden geconcludeerd dat er geen sprake is van een toename van het overstromingsrisico als gevolg van de waddenwinningen. Ook de toename van het overstromingsrisico in de gebieden die onder invloed staan van de Groningse gasproductie is zeer klein en waarschijnlijk afwezig wanneer rekening wordt gehouden met de statistische beperkingen en het natuurlijk opslibben van de kwelder. Analyse van de waterstanden laat echter een versnelde toename van de maximale hoogwaterstand zien in de broedperiode sinds 1970 (van de Pol et al. 2010). Als deze versnelling doorzet kan de sedimentatiesnelheid in de toekomst te laag zijn om het overstromingsrisico gelijk te houden. Uit de discussie in het SOVON rapport blijkt dat vogels mogelijk een balans zoeken tussen het risico van overstroming en predatie. Daarbij geven ze de voorkeur aan broedgebieden met een hoog overstromingsrisico en mitigeren ze dit gevaar door op hoger gelegen plekken te nestelen. In hoeverre deze afwegingen aan de orde en een rol spelen, is onduidelijk temeer daar in deze ook het beheer van de kwelder (beweiding) een belangrijke rol speelt.

### Literatuur:

- Rappoldt, C, Ens, B.J. 2007. Scholeksters en de verruiming van de Westerschelde; Modelberekeningen voor de periode 1992-2015 aan het effect van de voorgenomen verruiming van de vaargeul op het aantal scholeksters. EcoCurves rapport 5/SOVON-onderzoeksrapport 2007/03:1-59.
- Rappoldt, C, Kersten, M, Ens, B.J. 2006. Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde; Modelberekeningen voor de periode 1990-2045 aan het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal scholeksters. EcoCurves rapport 2/SOVON-onderzoeksrapport 2006/12:1-61.
- van de Pol M, Ens B.J, Heg D, Brouwer L, Krol J, Maier M, Exo K.M, Oosterbeek K, Lok T, Eising C.M, Koffijberg K. 2010. Do changes in the frequency, magnitude and timing of extreme climatic events threaten the population viability of coastal birds? *J Appl Ecol.* 47:720-730.
- Wiersma, P., M. Roodbergen, P. W. Goedhart, and B. J. Ens. 2009. Ontwikkeling en toepassing van een poweranalyse voor de vogelmonitoringsgegevens in het kader van de nieuwe gaswinning. 11, 50.



### 3.3 Monitoringgegevens Lauwersmeer

#### 3.3.1 Abiotische gegevens Lauwersmeer

In het kader van de monitoring zijn in 2007 t/m 2012 de volgende gegevens van abiotische variabelen verzameld:

- Diepe bodemdalinggegevens uit metingen en prognoses van de NAM (zie 3.2.1)
- Oppervlakte/Areaalgegevens van habitats (vegetatiestructuur) uit luchtfoto's (NAM), het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN; RWS) en vegetatieopnames (A&W)
- Grondwater- en bodemchemiegegevens (Buijs Hydro-ecologisch onderzoek en advies/A&W)
- Kwantitatieve gegevens van het water- en natuurbeheer (A&W)

Voor het Lauwersmeer wordt onderstaande effectketen gebruikt:

**Lauwersmeer:**

*Diepe bodemdaling* → *terrein/habitatoppervlak* →  
 → 1) *grondwater/bodemchemie* → *vegetatie* → *vogels*  
 2) *vegetatie* → *vogels*  
 3) *vogels*

Het doel van de abiotische monitoring is in grote lijnen tweeledig. Het monitoren van het grondwater en de bodemchemie moet duidelijk maken of de maaiveldddaling door gaswinning tot veranderingen leidt in het grondwater en de bodemchemie die van belang voor de vegetatiestructuur en bijzondere vegetaties. Daarnaast moet een zo kwantitatief mogelijk beeld worden gekregen van het de invloed van het water- en natuurbeheer in het gebied om de ontwikkelingen in de vegetaties te kunnen duiden.

#### 3.3.2 Diepe bodemdaling

**Lauwersmeer:**

*Diepe bodemdaling* → *terrein/habitatoppervlak* →  
 → 1) *grondwater/bodemchemie* → *vegetatie* → *vogels*  
 2) *vegetatie* → *vogels*  
 3) *vogels*

Conclusies t.a.v. diepe bodemdaling: *Uit de resultaten van de geodetische metingen blijkt dat de diepe bodemdaling onder het Lauwersmeer varieert van nul tot enkele millimeters in het oosten tot maximaal ca 2,5 cm in het westen in een periode 2006 t/m 2012. Deze daling in het Lauwersmeergebied wordt grotendeels veroorzaakt door de Anjumwinningen en slechts voor een klein deel door de gaswinning bij Moddergat.*

#### *Metingen en analyses*

Gegevens over diepe bodemdaling worden verzameld door de NAM (Tabel 2.2) aan de hand van geodetische metingen die worden gebruikt voor het kalibreren van bodemdalingprognoses. Het betreft 1) vlakdekkende waterpassingen langs vaste meettrajecten op het land en/of InSAR-opnames van het Lauwersmeergebied, 2) continue GPS-registraties op de locaties Anjum en Moddergat boven de gasvelden en 3) GPS-metingen in het Lauwersmeer gebied (Meet en Regelrapportage 2007-2012; zie ook 3.2.2).

#### *Resultaten en bespreking*

Uit de resultaten van de geodetische metingen blijkt dat de diepe bodemdaling onder het Lauwersmeer varieert van nul tot enkele millimeters in het oosten tot maximaal ca 2,5 cm in het westen in een periode 2006 t/m 2012 (Figuur 3.2.2 A&B). NB: de modelberekeningen geven in het centrum van de dalingschotel een groter diepe bodemdaling aan (Figuur 3.2.2B). Daarmee is de bodemdalingsnelheid het hoogst aan de westzijde van het meer en heeft een orde van grootte van 4 mm/j. In het Lauwersmeer vindt geen compenserende sedimentatie

plaats als in de Waddenzee zodat mag worden aangenomen dat de diepe bodemdaling ook de werkelijke bodemdaling is. De (diepe) bodemdaling in het Lauwersmeer wordt grotendeels veroorzaakt door de Anjumwinningen en slechts voor een klein deel door de gaswinning bij Moddergat.

### 3.3.3 Terrein/habitatoppervlak

#### **Lauwersmeer:**

*Diepe bodemdaling* → **terrein/habitatoppervlak** →  
 → 1) *grondwater/bodemchemie* → vegetatie → vogels  
 2) *Vegetatie* → vogels  
 3) *vogels*

*Conclusie t.a.v. terrein- en habitatoppervlak: De veranderingen in vegetatiestructuur tussen 2008 en 2012 zijn gering en kunnen niet aan bodemdaling worden gekoppeld.*

#### *Metingen en analyses*

Gegevens van de terrein/habitatoppervlakte (vegetatiestructuur) worden verzameld door A&W (Tabel 2.2) aan de hand van luchtfoto's (2008 en 2012; NAM), het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN/RWS) en vegetatieopnames (A&W). De ontwikkelingen in de vegetatiestructuur worden bestudeerd adhv integrale karteringen van structuurtypen (2008 en 2012) waarmee effecten van successie, beheer en bodemdaling kunnen worden achterhaald

In navolging van de overige rapportages met betrekking tot bodemdaling, is dit onderdeel aangeduid als monitoring habitatarealen of -oppervlaktes. Om verwarring met de habitattypen uit de Natura 2000-richtlijn te voorkomen, is het beter te spreken over vegetatiestructuurtypen. Aan de hand van veranderingen in de de structuurtypen kan in grote lijnen het effect van successie en beheer worden achterhaald. Daarom zijn in 2008/2009 en 2012 de vegetatiestructuurtypen in kaart gebracht. In 2008 is dat gedaan de hand van een semi-automatische classificatie van luchtfoto-beelden in combinatie met de hoogtekaart. (zie Bijkerk *et al.* 2010). Vanwege de matige betrouwbaarheid van de semi-automatische classificatie is in 2012 voor een andere methode gekozen. In 2012 is de structuurkaart vervaardigd op basis van luchtfoto-interpretatie van een false-colour luchtfoto uit 2012, gecombineerd met gebiedscontroles in het noordelijk deel van de Lauwersmeer.

#### *Resultaten en bespreking*

De veranderingen in vegetatiestructuur tussen 2008 en 2012 zijn gering. Waar al verschuivingen optreden zijn deze gerelateerd aan het beheer. Het meer open worden van struweel en soms riet hangt samen met het begrazingsbeheer, op de platen waar geen begrazing- en maaibeheer heeft plaatsgevonden, is sprake van een lichte toename van struweel. Deze locale veranderingen zijn niet gecorreleerd met de bodemdalingscontouren. Het maaibeheer en begrazing zijn de mogelijke oorzaken van deze veranderingen.

### 3.3.4 Grondwater- en bodemchemie

#### **Lauwersmeer:**

*Diepe bodemdaling* → **terrein/habitatoppervlak** →  
 → 1) **grondwater/bodemchemie** → vegetatie → vogels  
 2) *vegetatie* → vogels  
 3) *vogels*

*Conclusie t.a.v. grondwater- en bodemchemie: De veranderingen in het grondwaterpeil, chloride gehalte en kalkgehalte zijn klein en kunnen niet aan bodemdaling worden gekoppeld.*

### *Metingen en analyses*

Gegevens over grondwater en bodemchemie worden verzameld door Buys Hydro-ecologisch onderzoek en advies en A&W (Tabel 2.2) in samenhang met de vegetatiemonitoring (3.3.6).

Grondwaterstanden en –kwaliteit:

Aan de uiteinden van elke pq-raai zijn grondwaterbuizen geplaatst, zodat eventuele vernatting als gevolg van bodemdaling kan worden geregistreerd. Bij langere raaien is ook in het midden van de raai een grondwaterbuis geplaatst. De buizen dienen om de stijghoogtes van het grondwater te meten.

De verwachting is dat het meerpeil van invloed is op de grondwaterstanden. Het streefpeil ligt jaarrond op -93 cm NAP, maar het werkelijke peil fluctueert hieromheen sterk. De werkelijke peilen worden door Waterschap Noorderzijlvest gemeten bij Lauwersoog en Zoutkamp. Omdat het peil als gevolg van opstuwing en windwerking kan variëren binnen het gebied, zijn in 2009 drie peilschalen voorzien van een driver geplaatst langs de onderzochte platen.

De grondwaterbuizen worden ook gebruikt voor bemonstering van het grondwater ten behoeve van chemische analyses. Grondwaterkwaliteit is niet alleen direct sturend voor de vegetatie, maar geeft ook informatie over het grondwaterregime en stromingspatronen.

Bodemchemie:

Bij elke pq-locatie zijn in 2007 t/m 2009 monsters genomen van de toplaag van de bodem (mengmonsters in drievoud). Hieraan worden de volgende parameters bepaald: pH-H<sub>2</sub>O, pH-KCL, NaCl, % organische stof en basenverzadiging. Stapeling van organische stof is afgeleid op basis van een vast volume grond. In 2010 en 2011 zijn volgens planning geen bodemmonsters van de toplaag genomen. In 2012 zijn de monsternames van de toplaag uit 2008 (pH-H<sub>2</sub>O, pH-KCL, NaCl en basenverzadiging) en 2009 (bepaling gehalte organische stof op basis van vast volume) opnieuw uitgevoerd.

Bij het plaatsen van de grondwaterbuizen in 2007 zijn op verschillende dieptes bodemmonsters genomen en geanalyseerd. Deze dienen om het kalkprofiel (%CaCO<sub>3</sub>) en het zoutprofiel (Cl) in de bodem vast te stellen. In 2010 en 2011 zijn volgens planning geen profielmetingen uitgevoerd. In 2012 zijn de metingen van 2007 herhaald.

### *Resultaten en bespreking*

Het grondwaterstandsverloop wordt voornamelijk bepaald door neerslag en verdamping. Toevoeging van een lineaire trend, in combinatie met het oppervlaktewaterpeil van het Lauwersmeer, levert slechts bij enkele meetpunten een zeer gering beter model op. Een duidelijke relatie tussen grondwaterstandsverloop en bodemdaling lijkt vooralsnog niet aanwezig.

De gemeten chemische parameters in het grondwater verschillen slechts weinig tussen de meetjaren. De chloridegehalten voor de ondiepe peilbuizen lijken licht te zijn gestegen maar dit is mogelijk een effect van het drogere jaar 2010. Het chloridegehalte is in het ondiepere grondwater beduidend lager dan in het diepere grondwater. 's Zomers zal door capillaire opstijging zout naar ondiepere bodemlagen worden getransporteerd, vooral in de zavelige bodem van de Bantswal. Hier treffen we ook het merendeel van de zilte pioniervegetaties aan.

Het kalkgehalte van het grondwater is hoog, vermoedelijk als gevolg van het hoge kalkgehalte van de bodem. Met name op de Zuidelijke Lob, langs de plaatrand van De Rug en op de Bantswal is ook het bicarbonaatgehalte relatief hoog. Met name in het ondiepe grondwater is er een duidelijke stijging waarneembaar van het bicarbonaatgehalte hetgeen ook samenvalt met het toegenomen areaal aan Zilte pioniervegetatie over de jaren. Het bicarbonaatgehalte is in het diepere grondwater bij duinvalleivegetaties opvallend lager dan bij andere vegetaties.

De voedselrijkdom is met name op de Bantswal en langs de plaatranden soms hoog. Het betreft hier vegetatietypen met zilte soorten (zilte pioniervegetaties en overstromingsgraslanden met Aardbeiklaver). Hier is echter geen sprake van productief ogende vegetaties, waarschijnlijk door het hogere zoutgehalte. Ook het grondwater in de Lasten (LA3; duinvalleivegetatie) heeft een wat hoger totaal fosfaatgehalte. Dit is mogelijk te verklaren door toedoen van periodieke overstromingen in het winterhalfjaar vanuit het Lauwersmeer, waardoor enige aanvoer plaatsvindt.

#### Bodemchemie

Het kalkgehalte van de bodems is vrijwel overal van 20 tot 150 cm beneden maaiveld hoog, waarmee de bodem als kalkrijk is aan te merken. Ontkalking van de bodem door verzuring is dan ook nog niet aan de orde. De zoutprofielen wisselen sterk per deelgebied. Op de Bantswal, waar ook de meeste zilte (pionier)vegetaties zijn aangetroffen, is deze het hoogst. Vooral op de lagere terreindelen is deze hoog. Daar treedt in de zomer capillaire opstijging van het brakke grondwater op, waarna dit vervolgens indampst. Verschillen in het zoutprofiel tussen 2007 en 2012 zijn doorgaans gering en als die er al zijn, dan zit hierin geen gemeenschappelijke lijn.

In de toplaag valt op dat de pH op De Rug en in Juffrouw Alie tussen 2008 en 2012 met circa 0,5 is afgenomen. Het organisch stofgehalte in Juffrouw Alie is toegenomen, wat de afname van pH kan verklaren. In Juffrouw Alie draagt het maaibeheer er toe bij dat vooral een soort als Kruiwilg meer wortelbiomassa produceert en zo bijdraagt aan een hoger organisch stofgehalte. Op De Rug zien we juist een afname van het organisch stofgehalte. Mogelijk wordt hier toch intensiever gegraasd zodat de aanvoer van strooisel minder is geworden terwijl door de kalkrijke omstandigheden de afbraak van organische stof wel op peil blijft. Met name in het vlakke middendeel van De Rug blijft in depressies vaak regenwater staan, hetgeen leidt tot oppervlakkige verzuring. Dat zien we ook in de toename van soorten als Veenpluis en Zwarte zegge.

#### Conclusies

De analyse van het grondwaterpeil laat nog geen relatie met bodemdaling zien. Wel is er een lichte toename van het chloride gehalte in het grondwater en is het kalkgehalte en de voedselrijkdom van het water hoog. De meest voor de hand liggende verklaring voor het hogere chloridegehalte lijkt op dit moment de drogere zomer van 2010. Het kalkgehalte van de bodems is hoog en er is geen sprake van ontkalking door verzuring. Het gehalte organische stof in de toplaag van de bodem wordt in sterke mate bepaald door de hoeveelheid plantenwortels. Dit verschilt sterk tussen locaties. De veranderingen in de tijd zijn echter relatief klein (Bijkerk et al. 2013).

### 3.3.5 Biotische gegevens Lauwersmeer

In het kader van de monitoring zijn in 2007 t/m 2012 gegevens verzameld:

- 1) Vegetatiegegevens uit bemonsteringen van A&W.
- 2) Watervogelgegevens uit tellingen van SOVON en SBB.
- 3) Broedvogelgegevens uit tellingen van SOVON en SBB.

Het doel van de biotische monitoring is om aan de hand van trends en referenties aan te tonen dat er geen afwijkende ontwikkelingen optreden in de levende natuurwaarden en instandhoudingsdoelen (zie Bijlage 2) van het Lauwersmeer door de bodemdaling van de waddenwinningen. Door de ontwikkelingen in de abiotische en biotische variabelen zoveel mogelijk in samenhang te beoordelen, kunnen eventueel effecten van de waddenwinningen op de ecologie worden achterhaald.

### 3.3.6 Vegetatie

*Lauwersmeer:*

*Diepe bodemdaling → terrein/habitatoppervlak →*  
 → 1) *grondwater/bodemchemie → vegetatie → vogels*  
 2) *vegetatie → vogels*  
 3) *vogels*

*Conclusie t.a.v. vegetatie: Bodemdaling door gaswinning heeft in het Lauwersmeergebied niet tot veranderingen in de vegetatie geleid. De veranderingen die optreden staan grotendeels haaks op de effecten die van bodemdaling te verwachten zijn en lijken vooral door beweiding en maaien veroorzaakt te worden.*

#### Metingen en analyses

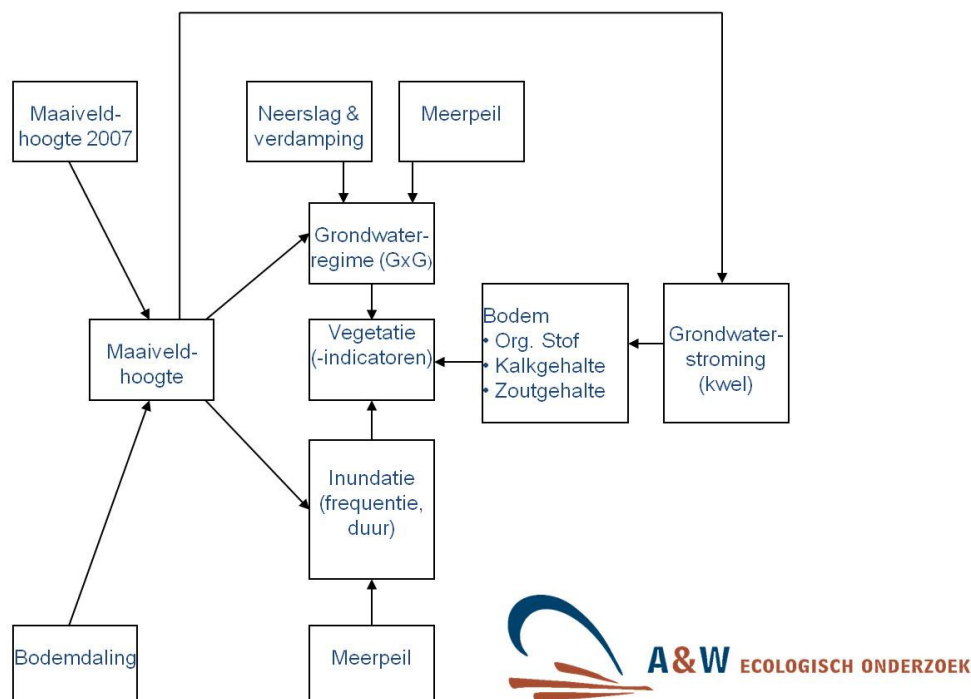
Gegevens van de vegetaties worden verzameld door bureau Altenburg & Wybinga (A&W; Tabel 2.2) in samenhang met het grondwater en de bodemchemie (3.3.4). Om veranderingen in de vegetatie te kunnen achterhalen wordt gebruik gemaakt van:

- PQ-meetnet: totaal 92 pq's op 46 locaties (jaarlijks, 2007 t/m 2012)
  - Veranderingen plantensoorten op locatie
- Transectkartering: 5 transecten (2008, 2012)
  - Verschuivingen in ruimtelijke vegetatiepatronen

Het bureau A&W bestudeert de ontwikkeling van de vegetatie in het Lauwersmeergebied. Gevonden veranderingen in specifieke vegetatietypen worden in statistische modellen in verband gebracht met het beheer van het gebied en natuurlijk met de gemodelleerde bodemdalingcontouren. Daarnaast wordt ook gekeken naar veranderingen in het peil en de samenstelling van grondwater en in de toplaag van de bodem. De analyse van deze vegetatieontwikkeling is hypothese-gedreven. In een voorstudie (Beemster en Bijkerk, 2006) zijn de volgende drie hypothesen geformuleerd. Bodemdaling in het Lauwersmeergebied kan leiden tot 1) een verschuiving van "nattere" vegetaties naar hoger gelegen plaatdelen; 2) een toename van zouttolerante vegetaties; en 3) versterking van het natuurlijke verzuringproces met daardoor een versnelde afname van kalkminnende duinvalleivegetaties.

Het onderzoek, om de bovengenoemde hypothesen te toetsen wordt uitgevoerd op drie schaalniveau's. Ten eerste worden veranderingen in de vegetatiestructuur op het niveau van het gehele Lauwersmeergebied aan de hand van luchtfoto's geanalyseerd. In de tweede plaats worden er in geselecteerde deelgebieden transectmetingen uitgevoerd om te kijken naar veranderingen in plantgemeenschappen. Ten derde vindt onderzoek plaats op standplaatsniveau. Het gaat hierbij om het monitoren van de plantgemeenschap in zogenaamde permanente kwadranten (PQ's) van 3x3 m. Veel PQ's liggen in de directe nabijheid van peilbuizen voor grondwatermetingen en bij de PQ's wordt de toplaag van de bodem bemonsterd en de maaiveldhoogte gemeten. Zodoende kan de ontwikkeling van deze plantgemeenschappen nauwkeurig aan veranderingen in de abiotiek worden gekoppeld (Figuur 3.3.6.1).

## Conceptueel model



Figuur 3.3.6.1: Conceptueel model vegetatiemonitoring Lauwersmeer

### Resultaten en bespreking

De transectmetingen laten verschillende ontwikkelingen in de tijd zien. Er is sprake van een afname in vegetaties van het brakke milieu door ontzilting en begrazing wat gepaard gaat aan een toename van zoutminnende vegetaties en (niet zilte) overstromingsgraslanden. Er is ook sprake van een afname in duinvegetatie waarschijnlijk door verzuring en in rietvegetaties en struweel door begrazing waardoor Zilte rus sterk is toegenomen. De veranderingen kunnen ruimtelijk niet worden gekoppeld aan bodemdaling. De meest voor de hand liggende verklaring ervoor is beweiding (Bijkerk et al. 2013).

Uit de Pq-monitoring komen geen trends in de bedekking duinvalleisoorten en kruipwilg in de onderzochte gebieden naar voren muv een gebied met een maaibeheer. Beide ontwikkelingen hebben geen relatie met bodemdaling. Er is een significante toename in de bedekking kweldersoorten agv een toename in Zilte rus wat samenhangt met ontzilting die plaatsvindt sinds de afsluiting van de Lauwerzee. Een relatie met bodemdaling is ruimtelijk gezien te verwachten maar niet waarschijnlijk en kon ook niet worden vastgesteld. De bedekking met duinriet is afgenomen waarschijnlijk door het begrazing- en maaibeheer



Figuur 3.3.6.2: De Zilte rus neemt toe in het Lauwersmeergebied (Foto: Ronald Bakker).

Net als op de kwelders (3.2.6) hebben mairegime en beweiding een zeer sterk effect op de ontwikkeling van de vegetatie. De invloed van begrazing is echter moeilijk te kwantificeren. Op het niveau van de PQ's is niet met zekerheid te stellen of en hoeveel begrazing er heeft plaatsgevonden. Hierdoor kunnen kleine effecten die mogelijk optreden door daling erg moeilijk te identificeren zijn. Dit geldt ook voor de inundatiekans. Het waterpeil in het Lauwersmeergebied fluctueert door het jaar met meerdere decimeters. De overstromingsdynamiek is van belang voor de vegetaties maar hangt in eerste instantie samen met het peilregiem.

#### Conclusies

In de vegetatie treden geringe verschuivingen op als gevolg van de voortschrijdende ontzilting van het gebied en oppervlakkige verzuring op De Rug. In de permanente kwadranten leidt dit nog niet tot een afname van de kalkminnende duinvalleisoorten. Ondanks de ontzilting nemen de kweldersoorten in de pq's toe, maar dat is voornamelijk een gevolg van de toename van Zilte rus. De grondwaterstanden zijn (gecorrigeerd voor veranderingen in neerslag en verdamping) sinds 2007 niet noemenswaardig veranderd. Enige relatie tussen de (geringe) veranderingen in vegetatie en berekende bodemdaling kan nog niet worden vastgesteld. Ook de grondwaterstanden laten nog geen verband zien met de berekende bodemdaling.

Bodemdaling door gaswinning heeft in het Lauwersmeergebied nog niet tot veranderingen in de vegetatie geleid. De veranderingen die optreden staan grotendeels haaks op de effecten die van bodemdaling te verwachten zijn en lijken vooral door beweiding en maaien veroorzaakt te worden.

### 3.3.7 Water- & broedvogels

*Lauwersmeer:*

*Diepe bodemdaling → terrein/habitatoppervlak →*

- 1) *grondwater/bodemchemie → vegetatie → vogels*
- 2) *vegetatie → vogels*
- 3) *vogels*

*Conclusie t.a.v. vogelaantallen en broedparen: De aantalontwikkeling van verschillende vogelsoorten in het Lauwersmeergebied wijkt af van individuele referentiegebieden. Uit de trendanalyses blijkt dat de ontwikkeling van de Slobeend en de Smient opvallend negatief zijn. Deze soorten laten echter ook een negatieve ontwikkeling zien in referentiegebieden. Geconcludeerd kan worden dat er op dit moment geen negatieve effecten van bodemdaling op broed- en watervogels in het Lauwersmeergebied kunnen worden aangetoond.*

#### Metingen en analyse

Gegevens van water- en broedvogels worden verzameld door SOVON (Tabel 2.2) aan de hand van broedvogelinventarisaties, watervogeltellingen en slaapplaatstellingen van watervogels.



Kluten (Foto: Brenda Jansen-Bruinenberg)

De water- en broedvogels in het Lauwersmeergebied worden jaarlijks door SOVON en haar vrijwilligers geteld. Aan de hand van deze tellingen wordt de ontwikkeling van een groot aantal vogelsoorten gemonitord. Omdat SOVON dit type monitoring door heel Nederland uitvoert is het bovendien mogelijk de ontwikkeling van een bepaalde soort in het Lauwersmeergebied te vergelijken met de ontwikkeling van die soort in andere gebieden in Nederland.

De gaswinning binnen het kader van de zogenaamde 'Moddergat-Lauwersoog-Vierhuizen winningen' is gestart in 2006. Sinds die tijd is er in het Lauwersmeergebied minder bodemdaling opgetreden dan voorspeld. De gemeten daling betreft 0 tot 2,5 cm in plaats van de voorspelde 4 cm; (Figuur 3.3.7.1). SOVON is in haar analyses uitgegaan van deze voorspelde bodemdaling.

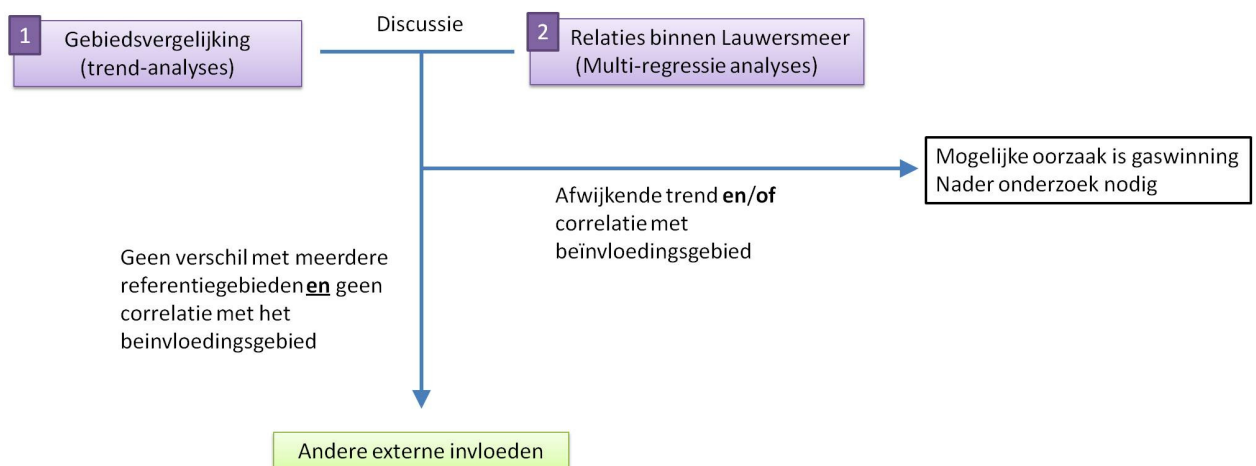
Bodemdaling kan in bepaalde delen van het Lauwersmeer tot drassige omstandigheden en een verhoogd overstromingsrisico leiden. Deze veranderingen in leef- en verblijfomstandigheden kunnen doorwerken in de vogelaantallen. In deze moet worden opgemerkt dat de peildynamiek in het Lauwersmeer een relevante variabele is omdat deze groot is (enkele decimeters tot maximaal 1 m) en een vergelijkbaar maar veel groter effect heeft dan bodemdaling.





Figuur 3.3.7.1: Kaart van het Lauwersmeergebied met daarin de vogtelgebieden en de contouren van de diepe bodemdaling (kaartje afkomstig uit Roodbergen et al 2013).

De eerste stap in de analyse van SOVON is de bovengenoemde gebiedsvergelijking (Figuur 3.3.7.2). Per soort wordt gekeken of de aantalsontwikkeling in het Lauwersmeergebied na 2006 anders verloopt dan in de referentiegebieden. Als de ontwikkeling na 2006 in het Lauwersmeergebied afwijkt van meerdere van elkaar onafhankelijke referentiegebieden die min of meer dezelfde trend laten zien, dan is er sprake van een afwijkende ontwikkeling in het Lauwersmeergebied sinds de start van de gaswinning. Daarnaast kijkt SOVON binnen het Lauwersmeergebied naar de aantalsontwikkelingen van de soorten, in relatie tot verklarende omgevingsvariabelen (Figuur 3.3.7.2). Daarin is de variabele peildynamiek niet meegenomen. De resultaten van beide analyses worden per vogelsoort in de discussie van het rapport gecombineerd.



Figuur 3.3.7.2: Overzicht van de analyse van de vogelpopulaties en interpretatie door SOVON.

Als voor een vogelsoort met een afwijkende aantalsontwikkeling tov referentiegebieden ook een afwijkende aantalsontwikkeling binnen het Lauwersmeergebied wordt gevonden die vooral of uitsluitend optreedt in gebieden die onder invloed staan van bodemdaling dan is dat

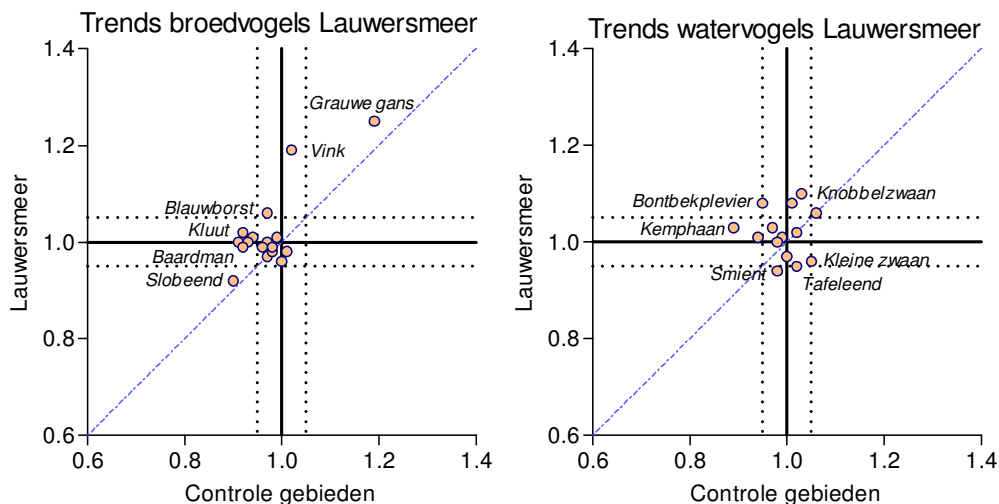
een indicatie dat gaswinning mogelijk ten grondslag ligt aan deze verandering. In zo'n situatie is nader onderzoek nodig naar de ontwikkelingen op de Ezumakeeg.

Trends geven een goed beeld van de temporele variatie in vogelaantallen. Net als in alle statistische toetsen wordt ook in trendanalyses verondersteld dat afzonderlijke metingen onafhankelijk zijn. De populatie-omvang van een bepaalde soort in bijvoorbeeld 2007 is niet onafhankelijk van de populatie-omvang in 2006. Ook is er sprake van ruimtelijke afhankelijkheid in de data. Bij de interpretatie van de resultaten moet daarom kritisch naar de statistische output gekeken worden. Desondanks kunnen trends, significant of niet, een zinvol beeld geven van al dan niet afwijkende ontwikkelingen in het Lauwersmeergebied en een mogelijke correlatie met bodemdaling.

### Resultaten en bespreking

De trendanalyses van de watervogels laten geen sterke toe- of afnamen zien (figuur 3.3.7.3). De meest opvallende ontwikkeling is de toename van de Kempphaan in controle gebieden en die van de Knobbelzwaan in het Lauwersmeergebied. De Kleine zwaan en de Tafeleend laten een negatieve aantalontwikkeling zien in het Lauwersmeergebied. Trendanalyse geeft echter aan dat de jaarlijkse variatie in de tellingen voor deze soorten te groot is om van trends te spreken. Ook de Smient heeft een negatieve ontwikkeling in het Lauwersmeergebied. In de Lepelaarsplassen neemt het aantal Smienten toe, maar in vergelijking met andere controlegebieden werd voor deze soort geen afwijkende ontwikkeling geconstateerd.

Sinds de start van de nieuwe winningen zijn de trends van Smient en Knobbelzwaan negatiever in het Lauwersmeer dan in de Lepelaarsplassen en/of het Markermeer. Bij de Knobbelzwaan werd daarnaast echter een positieve correlatie van de trend met bodemdaling gevonden, dus kan worden geconcludeerd dat de afwijkende trend in het Lauwersmeer een andere oorzaak zal hebben dan bodemdaling. Bij de Smient was de trend in de Oostvaardersplassen en het Markermeer ook negatiever dan in de Lepelaarsplassen. Daarnaast was de trend van de Fuut in het Lauwersmeer juist positiever dan in het IJsselmeer.



Figuur 3.3.7.3: Trends voor vogelsoorten in het Lauwersmeergebied als functie van die in de referentiegebieden, in de periode 1999-2011 (broedvogels, links) en 1992-2011 (watervogels, rechts). Voor punten op de horizontale en verticale solide zwarte lijnen geldt dat er geen sprake is van een ontwikkeling voor respectievelijk Lauwersmeer en de Controle gebieden. De stippellijnen geven de 0.95 en 1.05 grenzen aan. Voor punten die op de diagonale blauwe lijn liggen geldt dat de ontwikkeling in het Lauwersmeer en de controle gebieden gelijk zijn. Bij punten boven deze lijn is de ontwikkeling in het Lauwersmeer positiever en bij punten onder de lijn negatiever dan in de referentiegebieden.

De trendanalyses van de broedvogels geven aan dat voor de meeste soorten een negatieve aantalontwikkeling wordt gevonden (Figuur 3.3.7.3). De meest opvallende is de Slobeend, die zowel in het Lauwersmeer als in controlegebieden lijkt af te nemen. Vogelsoorten waarvan de aantallen toenemen zijn de Grauwe gans en de Vink. Daarnaast is ook de ontwikkeling van de Blauwborst in het Lauwersmeergebied positief. De aantalontwikkeling van de Blauwborst was echter negatief gecorreleerd met de mate van (voorspelde) bodemdaling. Dit hield in dat de aantallen Blauwborstterritoria per centimeter bodemdaling per jaar met 5% minder toenamen dan in plots zonder bodemdaling.

### *Conclusies*

De aantalontwikkeling van verschillende vogelsoorten in het Lauwersmeergebied wijkt af van individuele referentiegebieden. Voor de meeste van deze soorten werd in vergelijking met andere referentiegebieden geen verschil gevonden. Uit de trendanalyses blijkt dat de ontwikkeling van de Slobeend en de Smient opvallend negatief zijn. De Grauwe gans, Vink, Bontbekplevier en Knobbelzwaan tonen een positieve aantalontwikkeling. Binnen het Lauwersmeer neemt het aantal Blauwborstterritoria minder snel toe in deelgebieden die onder invloed staan van bodemdaling. Geconcludeerd kan worden dat er op dit moment geen negatieve effecten van bodemdaling op broed- en watervogels in het Lauwersmeergebied kunnen worden aangetoond. Het verdient aanbeveling de peildynamiek in de toekomstige analyses te betrekken voor een betere onderbouwing van de analyse-uitkomsten.

## 4 EVALUATIE

### **Conclusies t.a.v. toegepaste technieken en analyses**

- *LIDAR opnames lijken geschikt om het areaal droogvallende wadplaten te monitoren en spelen een belangrijke rol in de effectketen als input in de Webtics-berekeningen. De betrouwbaarheid van LIDAR zou getoetst moeten worden op het niveau van wadplaten aan de hand van parallelle RTK-GPS metingen.*
- *Verdere optimalisatie van het monitoringsprogramma voor de sedimentatie is mogelijk door het uitbreiden van het aantal spijkermetingen.*
- *De door het NIOZ gehanteerde analysemethode is innovatief. Aandacht moet worden besteed aan de verdere interpretatie en power van de resultaten.*
- *Het gebruik van Webtics sluit goed aan op de gegevens die verzameld zijn in deze monitoring. De integratie van relevante monitoringsparameters als geomorfologie, getij en voedselaanbod (benthos) tbv een Natura2000 doelsoort geeft aanvullende informatie.*
- *Een deel van de toegepaste analyses op de signaleringsparameters is voor verbetering vatbaar. In de analyses van de vervolgmonitoring zal hiermee rekening worden gehouden.*

### 4.1 Evaluatie gebruikte methodes

In deze paragraaf worden de gebruikte methodes in de monitoring rond de waddenwinningen besproken. Het gaat in eerste instantie om een bespreking op hoofdlijnen van die monitoringonderdelen waarover weinig discussie is geweest of die in een ander kader al worden geëvalueerd en in tweede instantie om een evaluatie van de methodes die wel onderwerp van discussie zijn geweest en nog niet zijn geëvalueerd. In verschillende monitoringrapporten wordt overigens uitgebreid ingegaan op de adviezen en opmerkingen van de commissies tav de gebruikte monitoringmethodes. In dat geval wordt verwezen naar de betreffende hoofdstukken in de rapporten. In deze paragraaf worden voor zover dat niet is gebeurd in de betreffende rapporten en het wenselijk en mogelijk is ook die adviezen en opmerkingen meegenomen.

De opzet van de monitoring verschilt sterk voor de verschillende monitoringonderdelen. Sommige onderdelen werken met de daadwerkelijke bodemdaling (diepe bodemdaling minus opslibbing), andere met diepe bodemdaling al dan niet op lokaal of kombergingsniveau. Ook de koppeling met gegevens uit andere monitoringonderdelen verschilt sterk. Een en ander hangt samen met de geschiktheid en beschikbaarheid van gegevens en de ruimtelijke en temporele schaal waarop de monitoring plaatsvindt.

De methodes ingezet rond 'diepe bodemdaling' zijn en worden geëvalueerd samen met de overheid, deskundigen en betrokkenen. Vooralsnog zijn de ingezette methodes de beste die beschikbaar zijn en dienen zich geen bruikbare alternatieven aan. Er wordt continue gestreefd naar verbetering van de metingen en modellen. Gelet op de dynamiek in de Waddenzee en in het peil- en natuurbeheer van het Lauwersmeer brengt de huidige onnauwkeurig van de diepe bodemdalingberekeningen geen beperkingen met zich mee tav het toepassen van het HadK-principe.

Voor het monitoren van de wadmorfologie worden lodingen en LIDAR-opnames ingezet waarbij vooral de LIDAR-opnames tot discussie en vragen hebben geleid. In een overleg met de Audit Cie, Fugro en Deltares is de inzetbaarheid van de LIDAR-opnames besproken. In het rapport van Deltares (Tabel 2.2) in hoofdstuk 5 wordt uitgebreid ingegaan op de specifieke adviezen en vragen van de Audit Cie mbt de methode. In paragraaf 4.1.1 worden

enkele zaken rond de morfologische metingen nader toegelicht; daarbij worden ook de lokale sedimentatiemetingen betrokken.

In de monitoring van de kweldervegetatie wordt gebruik gemaakt van beproefde metingen en analyses die in de loop van ca 50 jaar kweldermonitoring van met name de Amelandkwelders zijn ontwikkeld. De gebruikte methodes zijn door de verschillende begeleidingscommissie aangemerkt als toereikend voor het doel waarvoor ze worden ingezet. Statistische toetsing heeft in deze evaluatie niet plaatsgevonden omdat de verzamelde gegevens daartoe geen aanleiding gaven.

Voor de bodemdiermonitoring is een nieuwe (Waddenzeebrede) methode in gezet (SIBES). Ook deze monitoringmethode is besproken met commissieleden en NAM wat tot aanpassingen in de analyses heeft geleid. Voor een belangrijk deel houden die aanpassingen verband met het feit dat er nog weinig diepe bodemdaling onder de Waddenzee heeft plaatsgevonden door de Waddenwinningen. Daardoor konden veranderingen in bodemdierbestanden in de tijd niet zinvol worden bestudeerd en is gekozen voor een ruimtelijke vergelijking van de verzamelde gegevens ofwel een vergelijking tussen gebieden met en zonder bodemdaling. Daarbij is ook de bodemdaling van langlopende winningen meegenomen (hotspots voor bodemdaling) en is de statistische toetsing aangepast. In paragraaf 4.1.2 wordt nader ingegaan op die wijzigingen die zijn doorgevoerd.

Voor de schelpdieretende wadvogels is rond de Scholekster (gidsoort) een mathematisch model ingezet waarmee scenarioberekeningen kunnen worden uitgevoerd en waarin integratie plaats vindt van verschillende monitoringparameters (hoogteligging, getij, weer, voedsleaanbod/bodemdieren, vogelaantallen en -verspreiding). In paragraaf 4.1.3 wordt het model nader toegelicht.

In de vogelmonitoring worden vooral vogelaantallen en verspreidinggegevens ingezet die worden gebruikt voor statistische analyses. De wad- en broedvogelaantallen van de Waddenzee worden geanalyseerd aan de hand van trends en referenties op kombergingsniveau; de water- en broedvogels van het Lauwersmeer op gebieds- en deelgebiedniveau, de verspreiding en het overstromingsrisico van broedvogels op het niveau van kwelders. Over de analyses is veel gediscussieerd in verband met de statistische toetsing, de geschiktheid van gegevens, het meenemen van relevante omgevingsvariabelen en het gebruik van geschikte referentiegebieden. In paragraaf 4.1.4 wordt nader ingegaan op deze zaken.

In het rapport van de vegetatiemonitoring in het Lauwersmeer wordt uitgebreid ingegaan op de vragen en adviezen van de Audit Cie ten aanzien van de gebruikte monitoringmethodes. Daarom wordt hier volstaan met een verwijzing naar Hoofdstuk 6 van het rapport van A&W (Tabel 2.2) en naar paragraaf 4.1.4.

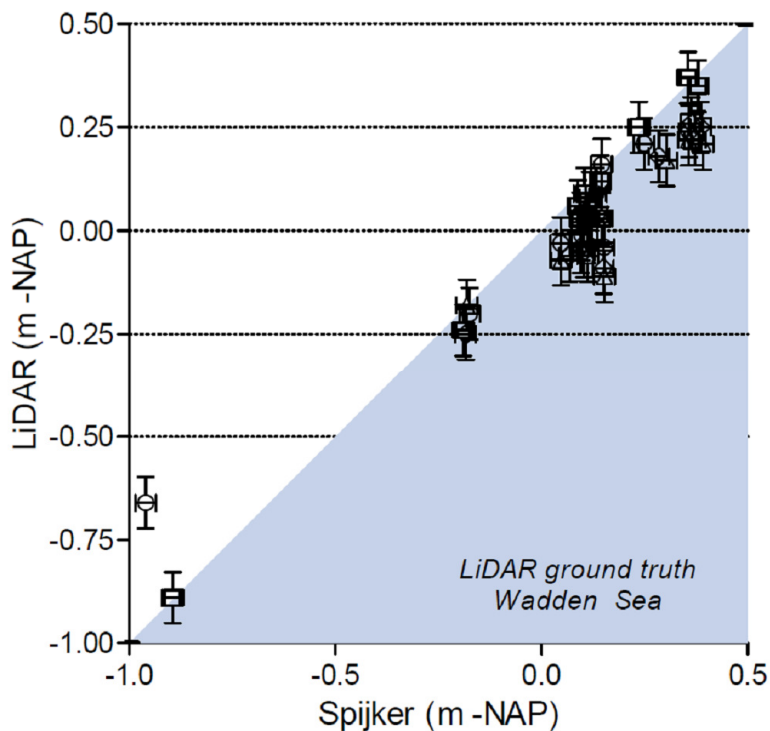
#### **4.1.1 Waddenzee: morfologie (incl. sedimentatie)**

##### *LIDAR*

Sinds 2010 zijn er 5 LIDAR opnames uitgevoerd; 4 door de NAM en 1 door RWS (voorjaar 2012). De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de LIDAR opnames is intensief bediscussieerd met de betrokkenen. FUGRO geeft aan dat de theoretische fout op het niveau van een individuele meting ca. 62 mm (sd) bedraagt. Een deel daarvan is een stochastische fout die afhankelijk van de oppervlakte wordt uitgemiddeld door het grote aantal metingen dat LIDAR verricht. Door de data te plotten maakt Deltares inzichtelijk dat de meetfout in de praktijk regelmatig groter is dan 100 mm. Dit uit zich in een banenpatroon dat correspondeert met de vliegbanen. Afhankelijk van de ruimtelijke correlatie in de meetfout kan een LIDAR opname nog steeds tot een betrouwbaar resultaat komen van de hoogteverdeling en het plaatoppervlak op het niveau van een komberging. Vergelijking van de hypsometrische curves door Deltares suggereert dat dit inderdaad het geval is. De verschillende hypsometrische curves op basis van de door LIDAR gemeten wadhoogte verschillen erg weinig van elkaar. Zo laat het areaal wadplaten tussen -0,5 en 0 m NAP een variatie in

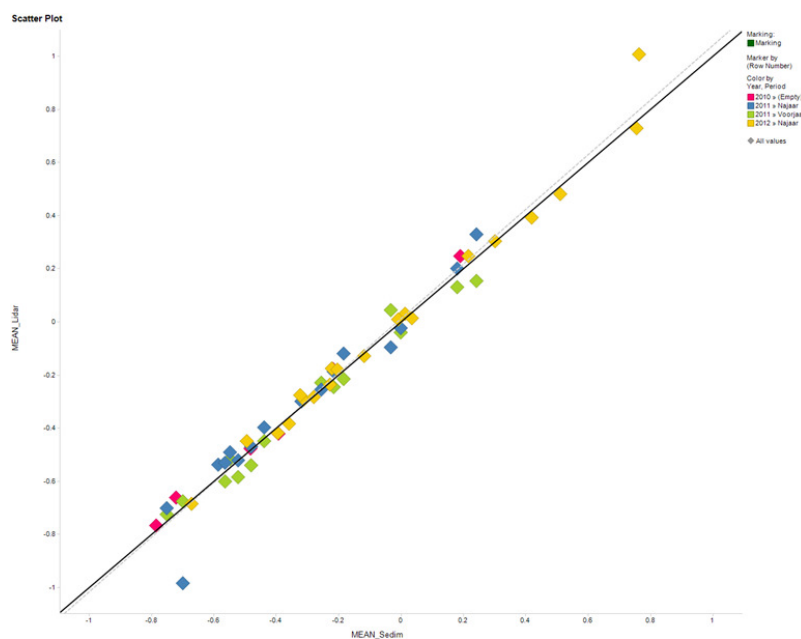
oppervlak zien van < 10% tussen jaren. Een jaarlijkse LIDAR opname in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag lijkt daarmee een geschikte methode om het gemiddelde areaal wadplaten boven -0.5 (NAP) te monitoren. Op de betrouwbaarheid van LIDAR op verschillende ruimtelijke schalen wordt hieronder verder ingegaan.

De auditcommissie geeft aan dat het nuttig is om de bruikbaarheid van de LIDAR data in deelgebieden te bestuderen. Deltares geeft hier invulling aan door de variatie in oppervlakte voor verschillende hoogtecategorieën te plotten (Figuur 3.5 in Wang et al. 2013). Deze histogrammen laten zien dat ook op deze ruimtelijke niveaus de verschillen tussen de metingen (in de tijd) klein zijn (minder dan 10%). Om dit vermoeden kracht bij te zetten zou het de interpretatie van de monitoring ten goede komen als er een ground-truth campagne zou worden uitgevoerd waarmee parallel aan de LIDAR opname op verschillende wadplaten met RTK-GPS worden ingemeten.



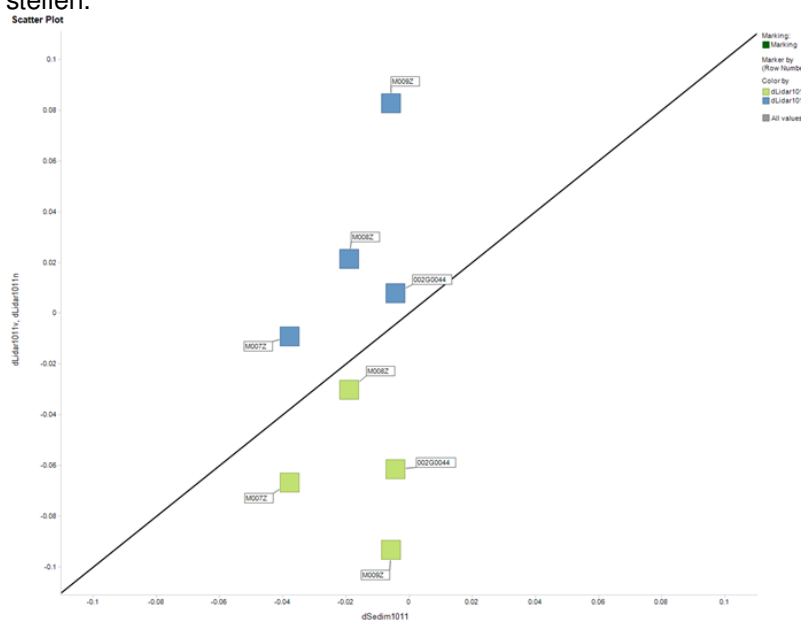
Figuur 4.2.1: Sedimenthoogte gemeten door LIDAR (Y) als functie van de sedimenthoogte gemeten aan de hand van spijkermetingen (X) voor de verschillende LIDAR opnames. De diagonale lijn geeft het theoretische verband tussen de twee meetseries weer.

Op kleine geografische schaal beschikken we over hoogtemetingen in het veld. Dit zijn de zogenaamde spijkermetingen (Krol, 2013) en de waterpassingen (NAM, 2013). Voor de waterpasmetingen hebben we de gemiddelde hoogtes van een gebied van 20x30 meter vergeleken met de bijhorende LIDAR opname en voor de spijkermetingen gebieden van 2x2 meter. In de Figuren 4.2.1 en 4.2.2 zijn LIDAR en ground truth gecorreleerd. De conclusie uit deze vergelijking is dat LIDAR een behoorlijk goed beeld geeft van de wadhoogte met een maximale meetfout van 10 tot 20 cm.



Figuur 4.2.2: Sedimenthoogte gemeten door LIDAR (Y) als functie van de sedimenthoogte gemeten aan de hand van waterpassingen (X) voor de vier verschillende LIDAR opnames. De diagonale lijn geeft het theoretische verband tussen de twee meetseries weer. Het betreft metingen uit 2010.

Het gebruik van hoogtemetingen om de sedimentatie en erosie te kwantificeren eist een zeer hoge nauwkeurigheid omdat hiervoor de gegevens van twee opeenvolgende metingen moet worden gecombineerd. Als we geschatte hoogteverschillen door LIDAR en spijkermetingen of waterpassingen vergelijken, dan blijkt dat de meetfout te groot is om tot een geschikte verklarende variabele te komen (Fig. 4.2.3). Omdat het overgrote deel van de hoogteveranderingen binnen de 100 mm ligt (Wang et al. 2013, fig. 2.10) is het nog niet mogelijk om hoogteverschillen op deze relatief kleine schaal aan de hand van LIDAR vast te stellen.



Figuur 4.2.3: Verschil in sedimenthoogte gemeten door LIDAR (Y) als functie van het verschil in sedimenthoogte gemeten a.h.v. waterpassingen (X) over de periode 2010-2011. De diagonale lijn geeft het theoretische verband tussen de twee meetseries weer.

De hoogtebepaling aan de hand van LIDAR lijkt zich goed te lenen voor een verdere data-analyse (effectketen) door deze resultaten in Webtics-berekeningen op te nemen. Webtics rekent met de wadhoogte en niet met veranderingen in de wadhoogte en is daardoor veel minder gevoelig voor de beperktere nauwkeurigheid van de LIDAR opname.

### *Spijkermetingen*

De spijkermetingen geven een zeer nauwkeurige meting van de sedimenthoogte op een locatie. Omdat deze meting 6x per jaar wordt uitgevoerd is het proces van erosie-sedimentatie op deze meetpunten goed te volgen. Zoals door de auditcommissie wordt aangegeven is door de NAM een variogram-analyse uitgevoerd waaruit naar voren kwam dat de spijkermetingen een onvoldoende dicht meetnet vormen om in hoogtekaarten te kunnen worden omgerekend (Kampshoff, 2009; NAM rapport nr EP200904215756). Bovendien liggen de spijkermetingen onvoldoende verspreid over het gebied om in een analyse over een gemiddelde stijging of daling van een komberging te kunnen spreken.

De bovengenoemde beperkte ruimtelijke correlatie tussen de spijkermetingen heeft ook voordelen. Als de monsterpunten wel evenwichtig over de komberging verspreid zouden worden, dan zouden deze nauwkeurige hoogtemetingen zich goed lenen voor een analyse van variabelen die de wadhoogte beïnvloeden (lees ook bodemdaling) of door veranderingen in de wadhoogte worden beïnvloed. Het strategisch uitbreiden van het aantal spijkermetingen en het monitoren van covariabelen, evenals de analyse hiervan is een belangrijke stap in de verbetering van de monitoring.

### *Conclusie*

LIDAR opnames lijken geschikt om het areaal droogvallende wadplaten te monitoren en spelen een belangrijke rol in de effectketen als input in de Webtics-berekeningen. De betrouwbaarheid van LIDAR zou getoetst moeten worden op het niveau van wadplaten aan de hand van parallelle RTK-GPS metingen.

Verdere optimalisatie van het monitoringsprogramma voor de sedimentatie is mogelijk het uitbreiden van het aantal spijkermetingen.

## **4.1.2 Waddenzee: Bodemdieren**

### Verschillen tussen individuele beïnvloedingsgebieden en referentiemonsters

De Audit commissie geeft aan dat er in eerdere analyses van de SIBES-data voor een aantal bodemdieren verschillen gevonden zijn tussen een beïnvloedingsgebied en het daarbij geselecteerde referentiegebied en vraagt om een verklaring voor deze verschillen. Om meer duidelijkheid te verschaffen willen wij er hier graag op wijzen dat de door het NIOZ uitgevoerde analyse uit drie onderdelen bestaat (Figuur 3.2.7.3). De eerste stap is het vergelijken van het beïnvloedingsgebied met een referentiegebied. Deze vergelijking vindt plaats voor alle aangetroffen soorten bodemdieren en een aantal samenvattende multivariate en univariate parameters zoals *richness* of *total biomass*. In totaal gaat het hier om ruim 60 afhankelijke variabelen en het is dus voor de hand liggend dat (alleen al door kanskapitalisatie) er enkele verschillen gevonden worden. Zo'n verschil tussen één beïnvloedingsgebied en de daarbij horende referentiemonsters kan de oorzaak zijn van afwijkende milieuvariabelen tussen het beïnvloedingsgebied en de referentiemonsters. Daarom voert het NIOZ in haar analyses een correctie of check voor de meest voor de hand liggende milieuvariabelen (vooral hoogteligging en sediment samenstelling); (stap 2). Als hieruit niet blijkt dat het gevonden verschil te verklaren is a.d.h.v. gemeten milieuvariabelen dan wordt er gekeken of er een correlatie is met bodemdalinggebied. Dit kan alleen door de uitkomsten van de vier beïnvloedingsgebieden met elkaar te vergelijken (stap 3). Als bijvoorbeeld niet alleen bij Zuidwal, maar ook onder de oostpunt van Ameland en bij Groningen relatief veel kokkels voor zouden komen, dan was een voor de hand liggende verklaring dat het iets met bodemdaling te maken zou moeten hebben. Met deze uitleg willen wij aangeven dat initiële verschillen tussen beïnvloedingsgebieden en referentiemonsters nog niet op effecten van bodemdaling duiden.

De auditcommissie geeft aan dat gevonden verschillen tussen gebieden langere periode zichtbaar blijft en vraagt om een verklaring hiervoor. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat de opeenvolgende jaren geen onafhankelijke metingen zijn. Met name de meerjarige bodemdieren met een hoge trefkans (lees hoge dichtheid en homogene verspreiding in het gebied) kennen een relatief lage variatie in de tijd. In effectenstudies wordt daarom vaak



gekeken naar de mate van verandering, waarbij de hypothese is dat verstoring leidt tot een toename van deze temporele dynamiek (Underwood, 1991). Het NIOZ lost dit op door in haar analyse per monsterpunt van de gemiddelde bodemdierensamenstelling in de periode 2008-2011 uit te gaan.

#### Verklarende variabelen

De auditcommissie pleit er voor in de bodemdierenanalyse meerdere verklarende variabelen mee te nemen zoals de intensiteit van de handkockelvisserij, de aanwezigheid van mosselbanken, etc.. Het NIOZ heeft dit niet gedaan omdat de benthos-data zich niet goed leent voor een Multi-regressie analyse (Aarts et al. 2010). Wel is geprobeerd aan de vangstgegevens van de handkockelvisserij te komen om de invloed hiervan op de response variabelen te controleren, maar deze zijn niet geschikt (onvoldoende nauwkeurig) gebleken.

#### Fluctuaties in benthos

De bodemdierensamenstelling in de Wadden- en Noordzee fluctueert als gevolg van ruimtelijke en temporele patronen in rekrutering en sterfte (Kröncke et al. 2011; Van Hoey et al. 2007). In haar verslag adviseert de auditcommissie in te gaan op de mogelijke oorzaken van deze fluctuaties en mogelijke sturende factoren een rol te geven in verdere analyse van de data. Dit lijkt een onmogelijke opgave. Er wordt op gewezen dat zelfs voor de mossel, waarvan ieder jaar de rekrutering volledig gekwantificeerd wordt, deze rekrutering nog altijd niet voorspeld kan worden. Het NIOZ heeft er in haar analyses in 2013 voor gekozen om niet naar veranderingen in de tijd te kijken. In plaats daarvan is de variatie tussen de vier jaren uitgemiddeld, waarna er naar verschillen tussen gebieden is gezocht.

#### Koppeling aan sedimentatie en erosie

De auditcommissie adviseert om de hoogteverandering in het wad als verklarende variabele in de studie mee te nemen. Het NIOZ heeft daar invulling aan gegeven door benthoskenmerken te koppelen aan diepe bodemdaling. Het idee hierachter is dat in gebieden van diepere bodemdaling daling en dus verhoogde sedimentatie al over een langere periode plaatsvindt. Hierdoor zou je gradiënten in benthoskenmerken kunnen vinden als functie van de hoeveelheid diepe bodemdaling. Deze gradiënten moet je voor de verschillende beïnvloedingsgebieden vergelijken. Een tweede koppeling van de bodemdierensamenstelling en de sedimenthoogte vindt plaats in Webtics. In dit model wordt aan de hand van de sedimenthoogte en de verspreiding van het benthos de voedselbeschikbaarheid voor de scholekster berekend.

#### Bodemdierenmonitoring in relatie tot gaswinning

De verandering in de biomassa bodemdieren als gevolg van variaties in de overstromingsduur ligt rond de 1 gram per m<sup>2</sup> per 4 cm oppervlakedaling (Beukema, 2002). In beïnvloedingsgebieden die hoger liggen dan -0.5m (-NAP) is een toename van de biomassa te verwachten, terwijl beneden die hoogte een langere overstromingsduur tot een afname van de biomassa zou leiden. In habitats rond -0.5m (-NAP) wordt een eventuele verandering gecompenseerd. Compton et al. (2013) hebben een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de analyse waarin ze kijken naar verschillen in de abundantie van afzonderlijke soorten tussen beïnvloedingsgebieden en referentiemonsters. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat verschillen van een factor >8 worden geïdentificeerd. Beukema (2002) schrijft dat als bij een gemiddelde biomassa van bijvoorbeeld 25 g · m<sup>-2</sup> de bodem 4 cm daalt, deze gemiddeld zou toenemen tot 26 g · m<sup>-2</sup> of zou afnemen tot 24 g · m<sup>-2</sup>. Dit is een factor 1.04; een effectgrootte van 4%. Dat is veel minder dan de detectiegrens van de gevoeligheidsanalyse. Natuurlijk is het zo dat onder een kleine verandering in de totale biomassa veel grotere veranderingen op het niveau van individuele soorten kunnen liggen.

De analyses van NIOZ laten zien dat in gebieden die al langere tijd onder invloed staan van diepe bodemdaling geen nadelige situatie in de bodemdierensamenstelling is ontstaan. Dit wordt ook niet verwacht voor de nieuwe gaswinning.

#### Literatuur

Herman, P., de Vries, M., Thoolen, P., Vonk, M., Baart, A., Boon, J., 1996. Micro-macro. Een onderzoek naar de relatie tussen hydrodynamische factoren en kleinschalige

- verspreiding van macrobenthos. In Wintermans, G. et al (1996) Habitat mapping and description of the Dutch coastal waters. BEON Rapport, 96(5), part 4.
- Legendre, P., Birks, H., 2012. From classical to canonical ordination, in: Birks, H.J.B., Lotter, A.F., Juggins, S., Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Springer.
- McArdle, B.H., Hewitt, J.E., Thrush, S.F., 1997. Pattern from process: it is not as easy as it looks. *J Exp Mar Biol Ecol* 216, 229-242.
- Thrush, S.F., Cummings, V.J., Dayton, P.K., Ford, R., Grant, J., Hewitt, J.E., Hines, A.H., Lawrie, S.M., Pridmore, R.D., Legendre, P., McArdle, B.H., Schneider, D.C., Turner, S.J., Whitlatch, R.B., Wilkinson, M.R., 1997. Matching the outcome of small-scale density manipulation experiments with larger scale patterns: an example of bivalve adult/juvenile interactions. *J Exp Mar Biol Ecol* 216, 153-169.
- Kröncke, I., Reiss, H., Eggleton, J.D., Berman, M.J.N., Cochrane, S., Craeymeersch, J.A., Degraer, S., Desroy, N., Dewarumez, J.M., Duineveld, G., Essink, K., Hillewaert, H., Laveleye, M., Moll, A., Nehring, S., Newell, J., Pohlmann, T., Rachor, E., Reed, H.L., Robertson, M., Rumohr, H., Schratzberger, M., Smith, R., Vanden Berghe, E., van Dalfsen, J., Van Hoey, G., Vincx, M., 2011. Changes in North Sea macrofauna communities and species distribution between 1986 and 2000. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 94, 1-15.
- Van Hoey, G., Vincx, M., Degraer, S., 2007. Temporal variability in the *Abra alba* community determined by global and local events. *Journal of Sea Research* 58, 144-155.
- Beukema J. J., (1976) Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 10, 236-261
- Dekker R. & D. Waasdorp (2008) Het macrozoobenthos op twaalf raaien in de Waddenzee en de Eems-Dollard in 2007. NIOZ rapport.
- Underwood, A.J. (1991) Beyond BACI: Experimental Designs for Detecting Human Environmental Impacts on Temporal Variations in Natural Populations. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 1991, 42, 569-87

#### 4.1.3 Webtics

Het Webticsmodel is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de inputparameters maar biedt in principe de mogelijkheid om de invloed van menselijke activiteiten op wadvogelaantallen te kwantificeren. In Webtics wordt de Scholekster gebruikt als modeldier. Het kunnen doorvertalen van Webtics resultaten naar andere vogelsoorten hangt in sterke mate af van de vergelijkbaarheid van de ecofysiologie van de vogelsoorten. Een soort waarvoor ongeveer dezelfde problematiek opgaat en veel over de voedselphysiologie bekend is is bijvoorbeeld de Kanoet.

Het gebruik van Webtics sluit goed aan op de gegevens die verzameld zijn in deze monitoring. De integratie van relevante monitoringsparameters als geomorfologie, getij en voedselaanbod (benthos) tbv een Natura2000 doelsoort sluit aan bij de beleidsdoelstellingen van de overheid en het advies van de Audit Cie.

Webticsberekeningen kunnen worden verbeterd met meer gedetailleerde gegevens van de hoogteligging van droogvallende platen en bodemdierbestanden. Voor de huidige analyses heeft Webtics gebruik gemaakt van de schelpdierinventarisaties van IMARES, de bodemdiergegevens van het NIOZ en de hoogtekaarten van Deltares. De bemonstering door IMARES heeft voor Webtics een beperkte ruimtelijke resolutie (i.e. weinig monsters per oppervlak). De NIOZ-gegevens zijn gebaseerd op relatief veel, maar erg kleine monsters, waardoor juist schelpdierbanken niet erg goed in beeld worden gebracht. De nauwkeurigheid van de hoogtekaarten op het niveau van individuele wadplaten dient in deze nader te worden onderzocht.

#### 4.1.4 Methodologische en statistische beperkingen van het huidige onderzoek

In effectenstudies is vaak sprake van een paarsgewijze vergelijking van zogenaamde “impact” en “controle” gebieden, waarbij deze paren voor en na impact met elkaar vergeleken worden. Hierin zijn de paren de afzonderlijke replica's (Green, 1979). Recent afgerond onderzoek naar effecten van visserij op bodemdieren in de Waddenzee was bijvoorbeeld gebaseerd op 40 paren van naast elkaar gelegen “controle” en “impact” gebieden van gelijke omvang (Craeymeersch et al. 2013). De monitoring rond de Waddenwinningen kent geen uitgebreid paarsgewijs onderzoek omdat “bodemdaling” nu eenmaal niet in kleine gebieden verspreid over de wadden, kwelders en lauwersmeer voorkomt. Daarom wordt er door de meeste onderzoekers op Multi-regressiemodellen teruggevallen. Dit leidt tot verschillende beperkingen in uitgevoerde analyses die onvoldoende in de interpretatie van de resultaten worden meegewogen. Een deel van deze beperkingen worden in de onderstaande tekst nader besproken.

##### *Collineariteit*

In multiregressie-analyses probeert men zoveel mogelijk verklarende variabelen in een model op te nemen met als doel een zo groot mogelijk deel van de variatie in een bepaalde telling of meting te verklaren. Het idee daarachter is dat, als je een groot deel van je variatie weet te verklaren, subtiele effecten van bijvoorbeeld bodemdaling identificeerbaar worden. Voorbeelden van verklarende variabelen in de betreffende studies zijn “beweiding” of “vegetatietype”. Waar in dit soort analyses rekening mee moet worden gehouden is dat dergelijke variabelen met elkaar kunnen correleren. Dit heet collineariteit. Collineariteit (en non-lineaire correlaties) is op zich eenvoudig te controleren, waarna de meest voor de hand liggende set niet-collineaire variabelen door de onderzoeker geselecteerd dienen te worden. Maar hoe om te gaan met relevante verklarende variabelen die met de variabele “bodemdaling” correleren? Moet de onderzoeker er dan voor kiezen om “bodemdaling” uit het model weg te laten? Het wordt lastiger wanneer je bedenkt dat er relevante, maar onbekende variabelen kunnen zijn. Dit zijn variabelen die niet bekend of niet gemeten zijn maar die wel ruimtelijk en/of temporeel correleren met het bodemdalingsgebied of met bodemdalingscontouren. In het huidige onderzoek is dit inherent aan het feit dat een bodemdalinggebied niet random, of tenminste verspreid in een onderzoeksgebied voorkomt, maar zich in sterke mate in deelgebieden concentreert. Dit kan niet statistisch worden opgelost. Het is een methodologische kwestie waarmee in de discussie van gevonden correlaties rekening moet worden gehouden.

##### *Afhankelijkheid in de data*

In de analyses wordt gebruik gemaakt van observaties in de tijd en in de ruimte. Een deel van de gebruikte regressie-analyses gaat er vanuit dat het om onafhankelijke observaties gaat. Dit houdt bijvoorbeeld in dat het aantal vogels in juli onafhankelijk zou zijn van het aantal vogels in mei en dat het gemiddelde aantal vogels in 2009 onafhankelijk zou zijn van het aantal in 2008. De gepresenteerde trends spreken dit tegen (anders zou er geen sprake zijn van trends). Tevens worden afzonderlijke telgebieden als afzonderlijke replica's beschouwd (Wiersma et al. 2009). De eerste beperking die hierdoor ontstaat is dat het aantal onafhankelijke replica's in de analyse overschat wordt. SOVON heeft dit voor een deel van de vogelanalyses gereduceerd door met middelen van deelgebieden en met jaargemiddelden te gaan werken. Een tweede tekortkoming in de analyse die hierdoor ontstaat is statistisch van aard. Afhankelijkheid tussen observaties leidt tot autocorrelatie in de onverklaarde variatie (onverklaarde variatie in de respons, i.e. ruis). Dit genereert afwijkende t-waardes of F-waardes en te lage P-waardes. Zie bijvoorbeeld Zuur et al. (2009), pagina 21. Zij schrijven over het gebruik van multiregressie analyses dat “Violation of independence is the most serious problem as it invalidates important tests such as the F-test and the t-test.”. Alleen in de analyse van de broedvogels op de kwelders wordt hier een correctie voor toegepast.

##### *Meer statistische tekortkomingen*

Naast de bovengenoemde afhankelijkheid in de onverklaarde variatie is er nog een aantal aspecten waarop de analyses tekort schieten. Een belangrijke is de verdeling van de response variabele. Dit aspect wordt vrij uitgebreid besproken in Wiersma et al. (2009). Vooral in de vogeldata worden veel nullen aangetroffen (geen vogels van een bepaalde soort op een bepaalde locatie op een bepaald moment aangetroffen). Wanneer de toegepaste

verdeling niet overeen komt met de daadwerkelijke verdeling van de onverklaarde variatie, dan wordt de spreiding in de data (lees ook standaard error) onderschat. Dit leidt tot meer afwijkende t-waardes, F-waardes of z-waardes en tot te kleine P-waardes. In de literatuur wordt vaak gesuggereerd dat kleine afwijkingen in de verdeling van de response niet erg veel invloed heeft op de betrouwbaarheid van de analyse (bv Underwood, 1991). In de huidige analyses gaat het echter vaak om zero-inflation (te veel nullen = grote afwijking (Wiersma et al. 2009)) en niet om de response, maar om de onverklaarde variatie.

Tenslotte worden er vaak tientallen tests na elkaar uitgevoerd, waarvan verondersteld wordt dat ze onafhankelijk van elkaar zijn. Hierdoor is bekend dat ca. 5% van de tests puur door kans een significante uitkomst hebben. Dit heet kanskapitalisatie. Alleen in de analyses van de aantalonwikkeling van vogels in de Waddenzee wordt hier een correctie voor uitgevoerd.

Inmiddels is afgesproken dat met de betrokken onderzoekers de toekomstige analyses nader worden bediscussieerd. Het resultaat van deze discussie zal eind 2013 door NAM worden gerapporteerd aan het Ministerie van Economische Zaken.

#### Literatuur:

- Craeymeersch, JA, J.M. Jansen, A.C. Smaal, M. van Stralen, E. Meesters, F. Fey, 2013. Impact of mussel seed fishery on subtidal macrozoobenthos in the western Wadden Sea. IMARES Rapport PR 7 nr C003/13.
- Green, R. H. (1979). 'Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists.' (Wiley: Chichester.)
- Underwood, A.J. (1991) Beyond BACI: Experimental Designs for Detecting Human Environmental Impacts on Temporal Variations in Natural Populations. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 1991, 42, 569-87
- Wiersma, P., M. Roodbergen, P. W. Goedhart, and B. J. Ens. 2009. Ontwikkeling en toepassing van een poweranalyse voor de vogelmonitoringsgegevens in het kader van de nieuwe gaswinning. 11, 50.

## 4.2 Evaluatie effecten op ecologie en natuurwaarden

In deze evaluatie worden de ecologische bevindingen van de verschillende monitoringrapporten op een rij gezet om een duidelijk beeld te krijgen van de mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning op de ecologie en natuurwaarden van betrokken natuurgebieden. Daarbij wordt de volgorde van de effectketen rond bodemdaling door gaswinning en het HadK-principe aangehouden. Dat houdt in dat eerst de 'inputparameter' diepe bodemdaling aan de orde komt gevolgd door de abiotische sturende parameters, de abiotische signaleringsparameters en tot slot de biotische signaleringsparameters. Aan de hand van het verkregen beeld wordt de eindbeoordeling over de effecten van bodemdaling geformuleerd (H 5)

### *Diepe bodemdaling*

De diepe bodemdaling (snelheid) door de Waddenwinningen in de Waddenzee is in de periode 2007-2012 (zeer) beperkt gebleven zowel wat betreft de dalingsnelheid (mm/j) als de grootte van het dalingsgebied. In het gebied van de Peazemerlannen en het Peazemerwad langs de kust van noordoost Friesland gaat het om een diepe bodemdaling van 0,7 tot 2,3 cm (gemiddeld ca 1,4 cm) ofwel een gemiddelde diepe bodemdaling van ca 2,5 mm/j. Op kombergingsniveau bedroeg de gemiddelde diepe bodemdaling in het Pinkegat en Zoutkamperlaag door alle winningen samen resp. 0,9 en 0,4 mm/j. Daarmee is de snelheid van de diepe bodemdaling én zeespiegelstijging ruim binnen de sedimentatiecapaciteit ofwel de gebruiksruimte van de kombergingen gebleven en is voldaan aan de belangrijkste voorwaarde in de vergunningen m.b.t. de sturende parameters binnen het HadK-principe.

### *Morfologie Waddenzee*

Uit de analyses van de lodingen en LIDAR-gegevens is gebleken dat de droogvallende platen van alle kombergingen in de Waddenzee niet kleiner of lager worden en dat de bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee niet in de resultaten is terug te vinden. De daadwerkelijk opgetreden en nog te verwachten diepe bodemdaling vallen weg binnen de marges van de meetfout en de geomorfologische dynamiek. Deze dynamiek hangt voornamelijk samen met geulmigraties die van een veel grotere orde zijn dan bodemdaling door gaswinning. De lokale sedimentmetingen laten in de praktijk zien waarom de bodemdaling door gaswinning niet zichtbaar/meetbaar is. Op nagenoeg alle meetlocaties op wad en kwelder is de sedimentatie hoger dan de bodemdaling en zeespiegelstijging samen waardoor de diepe bodemdaling zich niet aan het wadoppervlak manifesteert.

De morfologie van de wadplaten bepaalt samen met het getij de droogvalduur van het wad, een belangrijke parameter voor de biologische monitoring. De invloed van beide variabele afzonderlijk op de droogvalduur van het wad, is groter gebleken dan de invloed van bodemdaling door gaswinning. Voor de monitoring is de betekenis van de relatief grote dynamiek in geomorfologie en droogvalduur van belang omdat daaruit kan worden afgeleid dat de (niet meetbare) bodemdaling waarschijnlijk geen morfologische veranderingen met zich meebrengt die tot relevante ecologische effecten in de Waddenzee leiden.

De resultaten van de morfologische monitoring zijn belangrijk voor het duiden van de effecten van bodemdaling door gaswinning aan de hand van de effectketen. Nu uit de morfologische monitoring is gebleken dat de veranderingen door bodemdaling wegvallen binnen de natuurlijke morfologische dynamiek, kan niet worden geconcludeerd dat er sprake is van een effect van bodemdaling door gaswinning en het inwerking treden van dat de effectketen. Voor de biologische monitoring betekent dit geen input vanuit de effectketen in de vorm van relevante veranderingen in plaatareaal en –hoogte, droogvalduur etc.. Vanuit deze optiek bezien mogen er ook geen effecten in het biologische systeem van de Waddenzee worden verwacht. Dit sluit goed aan bij de bevindingen van de integrale bodemdalingstudies en de monitoringrapporten rond bodemdaling.

### *Biologische parameters Waddenzee*

Ook uit de analyses van de beschikbare gegevens van biologische parameters in de Waddenzee (kweldervegetatie, bodemdieren en vogels) is gebleken dat er in het veld geen veranderingen zijn waargenomen die duiden op een effect van bodemdaling door de Waddenwinningen. Gelet op de resultaten van de abiotische monitoring mag dit ook niet worden verwacht maar ook vanuit de optiek van de opgetreden diepe bodemdaling en daadwerkelijke aardoppervlaktedaling, de (natuurlijke) variatie in biologische monitoringparameters en de nauwkeurigheid van de biologische metingen en analyses mag dit niet worden verwacht.

In de Amelandmonitoring zijn wel veranderingen in de kweldervegetatie waargenomen als gevolg van de Amelandwinningen. Deze veranderingen zijn pas zichtbaar geworden na een bodemdaling van > 15cm en bleken de kweldervegetatie eerder ten goede te komen dan ten kwade (Löffler et al. 2013). De totale verwachte bodemdaling door gaswinning a.g.v. de Waddenwinningen ter hoogte van de Peazemerlannen ligt in de orde van grootte van 15 cm.

Bodemdierenbestanden in de Waddenzee kennen een grote natuurlijke variatie. Om effecten van bodemdaling te kunnen achterhalen is meer bodemdaling nodig dan opgetreden door de Waddenwinningen in 2012 (ca 2 cm op het Peazemerwad) en voorspeld door Deltares in het Pinkegat voor alle winningen samen (ca 4 cm). Een bodemdaling van 4 cm leidt tot veranderingen in bodemdierbestanden die volgens de gevoeligheidsanalyses voor bodemdierbestanden niet kunnen worden achterhaald. Door in de analyses voor deze monitoring ook de diepe bodemdaling van langlopende winningen (tot ca 25 cm) mee te nemen is duidelijk geworden dat ook andere aan bodemdalinggerelateerde veranderingen op het wad niet tot een negatieve ontwikkeling van de bodemdieren heeft geleid.

Ook het aantal vogels in de Waddenzee kent een grote natuurlijke variatie terwijl vogeltellingen een relatief grote onnauwkeurigheid met zich meebrengen. Uit de powerberekeningen van SOVON is gebleken dat relatief grote veranderingen in aantallen moeten optreden, willen deze als significant uit de analyses naar voren komen. Daarnaast speelt in de vogelmonitoring nog het probleem dat relevante parameters in de analyses niet kunnen of zijn meegenomen en dat geschikte referentiegebieden beperkt voorhanden zijn. Om het overstromingsrisico van broedlocaties te bepalen of het overstromingsrisico mee te nemen in de analyses, zijn variabelen als opslibbingsnelheid en peildynamiek onmisbaar en zijn relatief nauwkeurige hoogtekarten en waterstanden nodig. Zowel voor de Waddenzee als voor het Lauwersmeer was de keuze voor geschikt referentiegebieden beperkt door de bodemdaling van 'oude' en andere gaswinningen (Waddenzee, Lauwersmeer) en de uniciteit van het beïnvloedingsgebied (Lauwersmeer).

In enkele monitoringstudies zijn de effecten van bodemdaling door gaswinning op biologische parameters bestudeerd aan de hand van een of meer aannames. In deze studies is de berekende of gemeten diepe bodemdaling of de gecompenseerde (door sedimentatie) bodemdaling als daadwerkelijke bodemdaling aangemerkt of is de bodemdaling niet in samenhang met de peildynamiek beoordeeld (Lauwersmeer). In die studies worden soms wel effecten van bodemdaling verondersteld. Zo neemt het overstromingsrisico van broedvogels op de kwelder toe als de sedimentatie buiten beschouwing wordt gelaten, neemt de draagkracht van het wad (in termen van voedselbeschikbaarheid voor vogels) af als de wadbodem in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag daadwerkelijk daalt en vertonen vogelaantallen een (negatieve) correlatie met bodemdaling (i.e. overstroming) terwijl de peildynamiek een veelvoud is van de bodemdaling.

Uit de biologische monitoring zijn geen nadelige effecten op de instandhoudingsdoelen (zie Bijlage 2) van de Waddenzee en Lauwersmeer naar voren gekomen die kunnen worden toegewezen aan bodemdaling door de waddenwinningen.

Löffler, M., P. Slim en J. Krol (2013) Nieuwe kansen voor duinvalleiplanten. Duin 36 (1) 1-6.

## 5 EINDBEOORDELING

De diepe bodemdalingsnelheid door gaswinning in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag is samen met de snelheid van zeespiegelstijging ruim binnen de gebruiksruimte gebleven en de komende 2 decennia is ook geen sprake van dreigende overschrijding van de natuurgrens.

De diepe bodemdaling door gaswinning in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag manifesteert zich niet aan het wadoppervlak en valt weg binnen de morfologische dynamiek die op het wad voornamelijk samenhangt met geulmigraties. Op wadplaten en de vastelandskwelders is eerder sprake van ophoging door opslibbing dan verlaging door bodemdaling agv gaswinning.

Uitgaande van de bevindingen van de integrale bodemdalingstudies en de effectketen rond bodemdaling mogen geen effecten op het biotische systeem van de Waddenzee worden verwacht van de gaswinning.

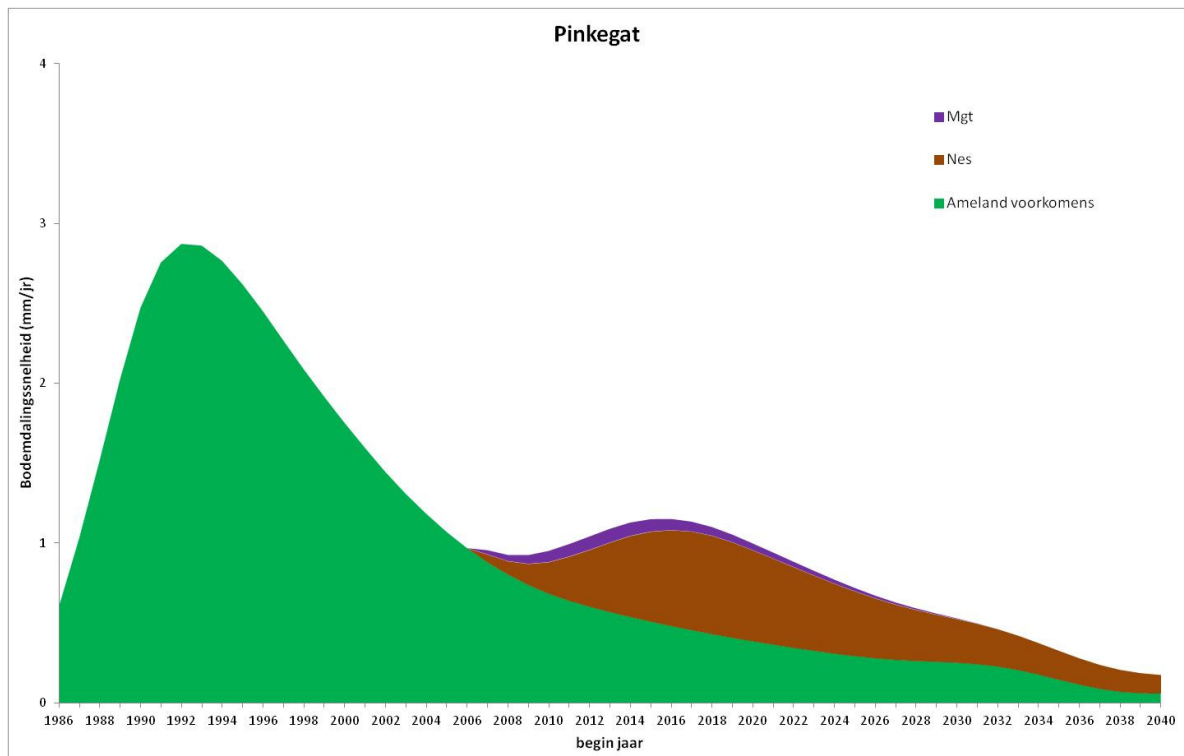
Uit de monitoring van de levende natuurwaarden in de Waddenzee kan worden afgeleid dat er geen signalen zijn die duiden op negatieve trendmatige ontwikkelingen in die natuurwaarden/instandhoudingdoelen of verschillen in ontwikkelingen tussen beïnvloede en referentiegebieden.

Uit de monitoring van de bijzondere vegetaties in de Lauwersmeer kan worden afgeleid dat er geen signalen zijn die duiden op veranderingen in de leefomstandigheden van vegetaties en in de vegetaties zelf.

Uit de monitoring van vogels in het Lauwersmeer kan worden afgeleid dat de monitoring niet de duidelijkheid heeft verschaft die er van werd verwacht maar dat er geen signalen zijn die duiden op wezenlijke veranderingen in de leefomstandigheden van vogels en in de vogelaantallen.

In de afgelopen 6 monitoringjaren zijn van in het kader van het monitoringprogramma rond de MLV-winningen veel oude/historische en nieuwe gegevens van relevante monitoringparameters verzameld en bewerkt. Aan de hand van deze integrale beoordeling kan worden geconcludeerd dat het programma heeft voldaan aan de wens/eis om aan te tonen dat bodemdaling geen effect heeft op de natuurwaarden in de bodemdalingsgebieden.

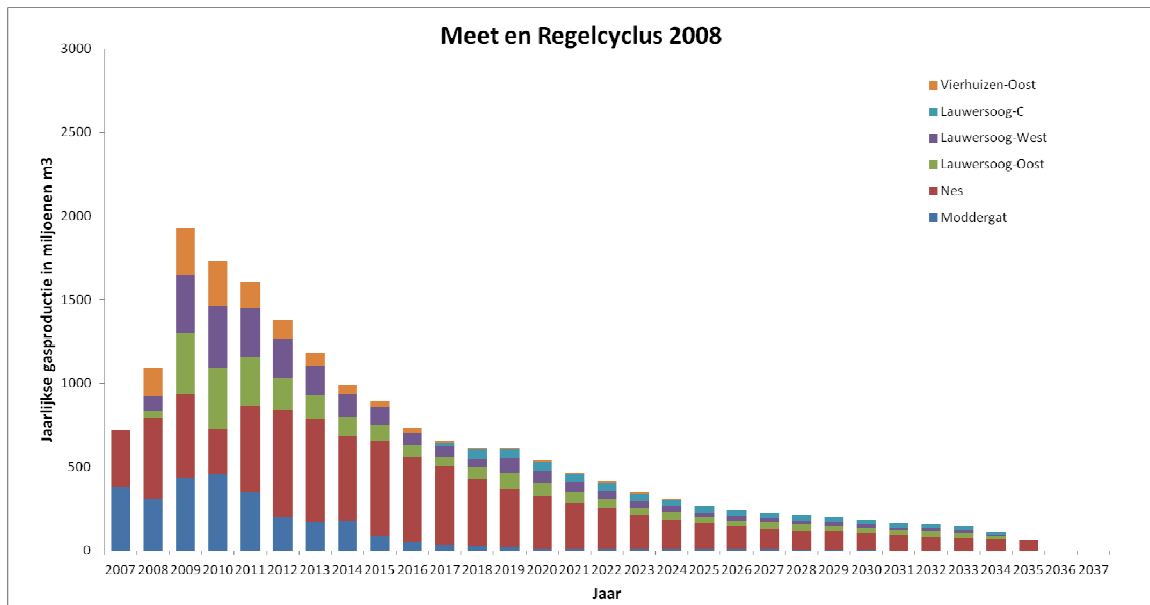
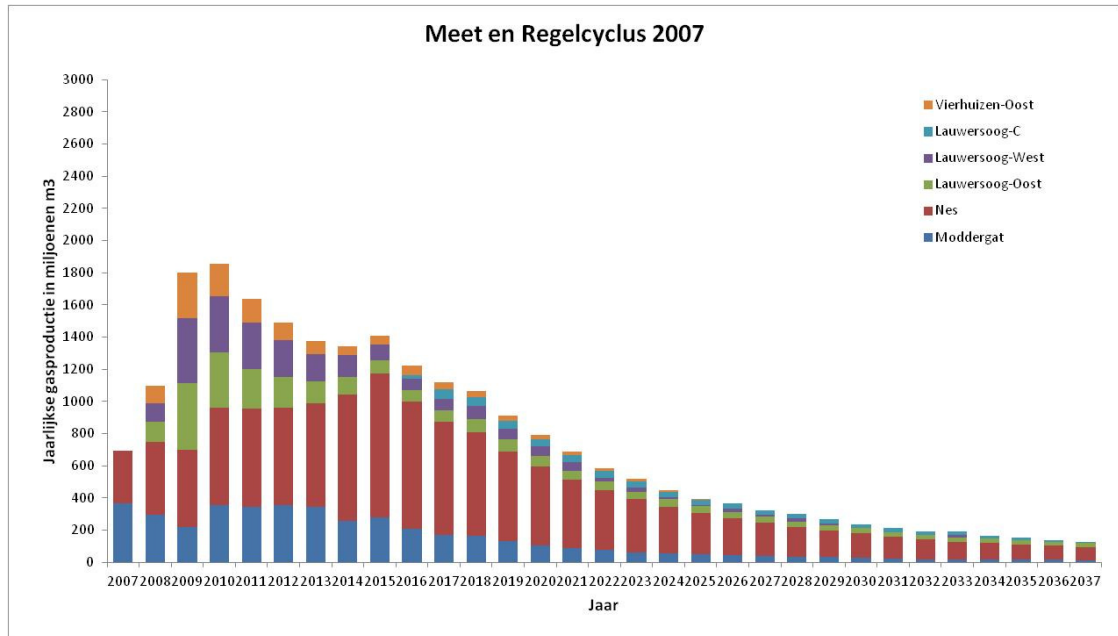
Het monitoringprogramma rond de waddenwinningen kan worden geoptimaliseerd door het meer toe te snijden op de veranderingen die daadwerkelijk van bodemdaling door gaswinning mogen worden verwacht.

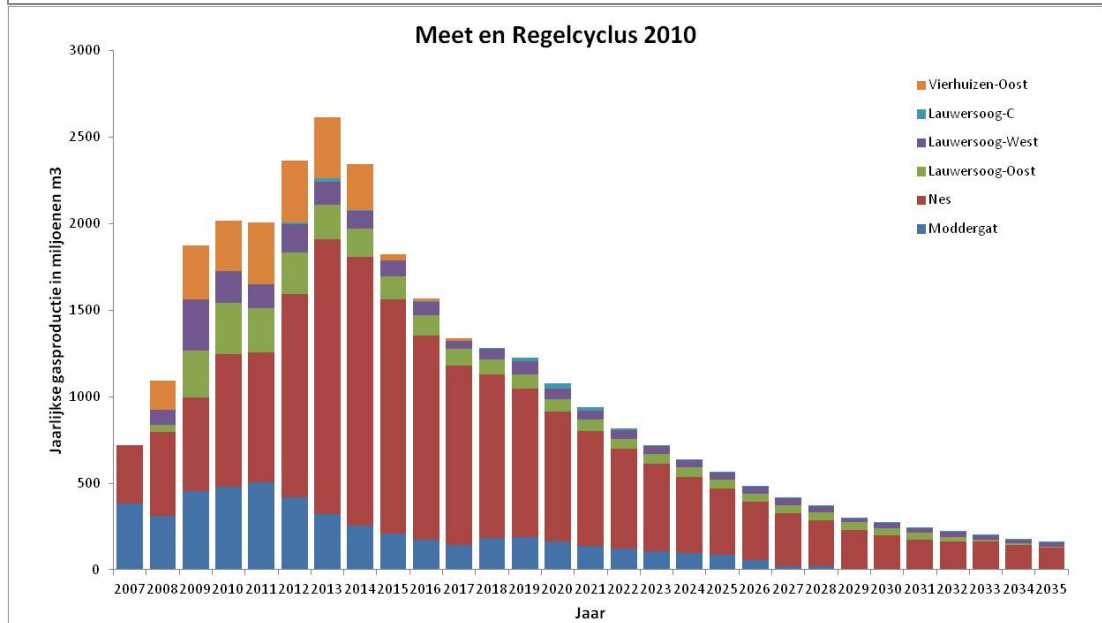
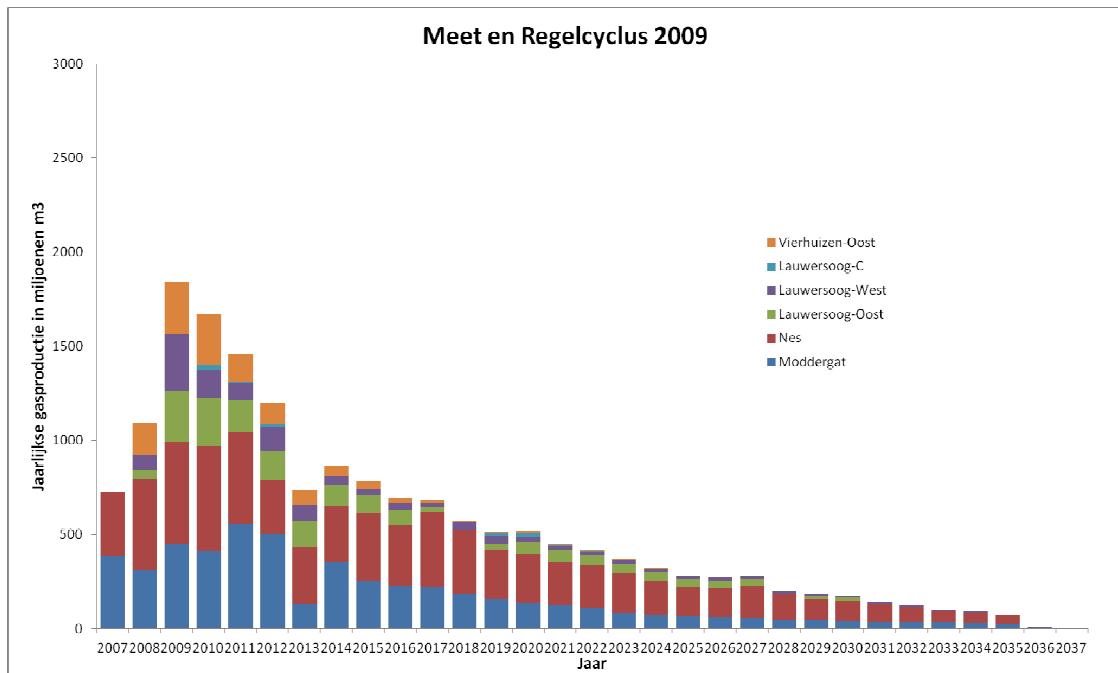
**BIJLAGE 1: Het verloop van de gemiddelde bodemdalingsnelheid in het Pinkegat vanaf 1986 (begin Amelandwinningen)**

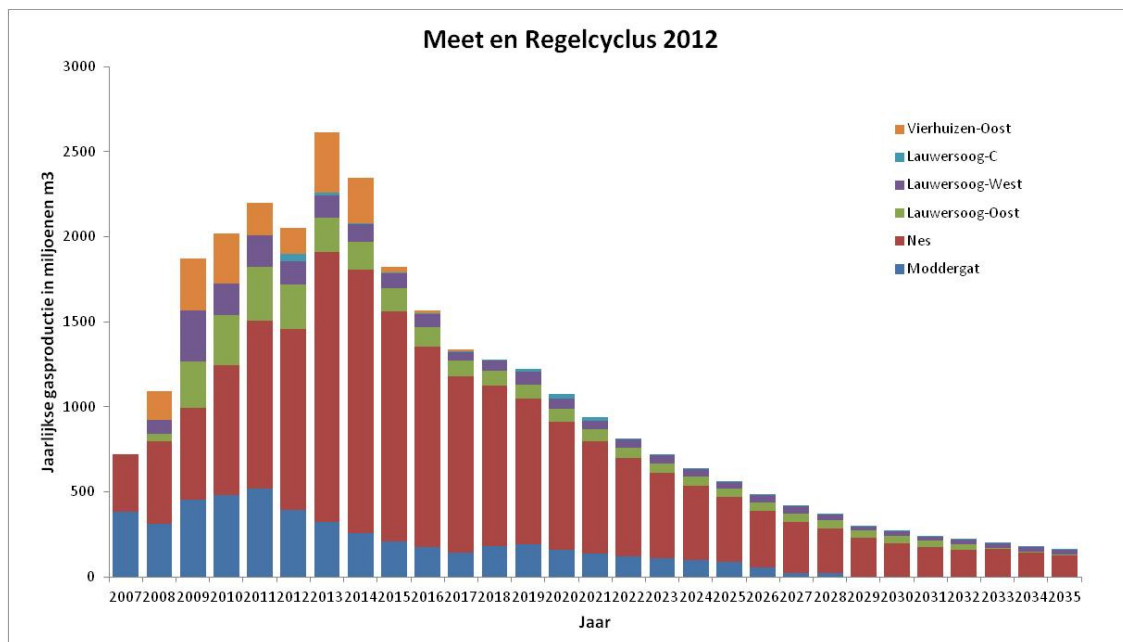
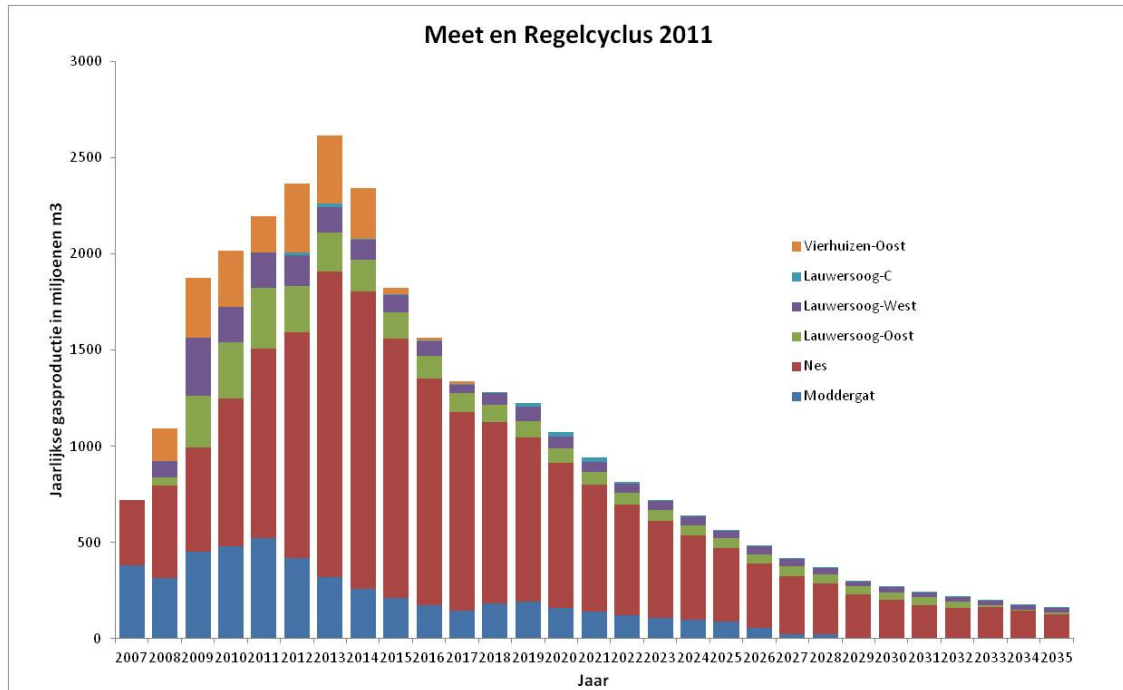
Diepe bodemdalingsnelheid in het Pinkegat (6-jaarlijks gemiddelde; “moving average”) door gaswinning uit de Ameland- en waddenvelden(MLV).



**BIJLAGE 2: Behaalde en beoogde productievolumes**







### **BIJLAGE 3: Het effect van gaswinning MLV op Natura 2000 instandhoudingsdoelstellingen**

In deze appendix worden de resultaten uit het monitoringprogramma besproken in het licht van de eisen die in het kader van de natuurbeschermingswet in de vergunning Waddenzee en Lauwersmeer gesteld worden.

#### **De vergunningverplichtingen**

Binnen het kader van de natuurbeschermingswet moet het effect van bodemdaling door gaswinning op instandhoudingdoelen worden geëvalueerd. In de aan de NAM verleende vergunning is gesteld dat er, gelet op de instandhoudingdoelen, geen meetbare nadelige effecten mogen ontstaan ten aanzien van flora, fauna en geomorfologische aspecten. De betreffende instandhoudingdoelen bestaan uit de kwaliteit en omvang van de droogvallende wadplaten in de Waddenzee, de oppervlakte en kwaliteit van de kwelders en een groot aantal (broed)vogelsoorten in het Lauwersmeer en de Waddenzee.

#### **Areaal wadplaten**

In dit rapport is te lezen dat op grond van de vaklodgingen van Rijkswaterstaat en de voor de NAM uitgevoerde LIDARopnames geen afname van het areaal wadplaten in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag is vastgesteld. De historische meetreeks spijkermetingen die in een deel van de gebieden zijn uitgezet, bevestigen dit. Deze metingen laten zelfs een gestage ophoging van de wadplaten zien. Uit de bovengenoemde metingen concluderen wij dat bodemdaling door gaswinning inderdaad binnen de sedimentatiecapaciteit van de kombergingen blijft en er geen sprake is van een afname van het huidige areaal wadplaten.

#### **Kwaliteit van de wadplaten**

Met de kwaliteit van de wadplaten wordt voornamelijk bedoeld op de beschikbaarheid van voldoende voedsel voor Natura 2000 doelsoorten zoals bijvoorbeeld de Scholekster. Dit voedsel bestaat uit prooidieren die in en op de wadplaten leven. Binnen het kader van de MLV winningen wordt de ontwikkeling van de aantallen, biomassa en diversiteit van deze bodemdieren geïnventariseerd. Uit de analyse komt naar voren dat in gebieden onder invloed van bodemdaling geen nadelige ontwikkeling van de bodemdierensamenstelling plaatsvindt. Er is geen sprake van een nadelig effect van gaswinning op de prooidieren<sup>7</sup>.

#### **Areaal kwelders**

De kwelder onder invloed van de MLV winningen is de Peazemerlannen. Op deze kwelder is nog geen oppervlakte daling gemeten. Dit wordt veroorzaakt door de opslibbing van de kwelder die optreedt wanneer deze overstroomt. Op de laag gelegen delen van de kwelder is de opslibbing ruim groter dan de bodemdaling door de gaswinning. Op de hoog gelegen delen van de kwelder is dit maar net het geval. Aan de zeezijde van de kwelder is sinds 2006 de pioniervegetatie (en daarmee de kwelder) sterk uitgebreid. Hieruit concluderen wij dat onder invloed van bodemdaling door de gaswinning geen afname van het kwelderoppervlak plaatsvindt.

#### **Kwaliteit van de kwelder**

Met de kwaliteit van de kwelder wordt de diversiteit van de kweldervegetatie en de diversiteit in het kwelderlandschap bedoeld. De opslibbing van de kwelder in combinatie met een relatief beperkt peildynamiek hebben er toe geleid dat er successie van de kweldervegetatie optreedt. Grotere delen van de kwelder komen daarmee in een zogenaamd climaxstadium terecht. Omdat tegelijkertijd de pionierzone aan de zeezijde van de kwelder uitbreidt is er nog geen sprake van een homogener kwelderlandschap. De ontwikkeling van de kweldervegetatie in de Peazemerlannen wordt niet beïnvloed door bodemdaling.

#### **Aantalontwikkeling vogels Waddenzee**

Vogelaantallen worden waarschijnlijk door een groot aantal factoren beïnvloed. Een (ombekend) deel van deze beïnvloeding vindt buiten de onderzoeksgebieden plaats. Om die reden wordt in de instandhoudingdoelen ook niet gesproken over het behoud van vogelaantallen, maar over het behoud van geschikt habitat voor een bepaald aantal vogels per soort. Omdat de betreffende gaswinning geen negatief effect heeft op de oppervlakte en

kwaliteit van de wadplaten en kwelder, wordt er in principe aan de instandhoudingdoelen voldaan. Als extra controle wordt ook de aantalontwikkeling van de vogels gemonitord.

Voor een groot deel van de vogelpopulaties in de Waddenzee wordt een positieve trend waargenomen. De meest opvallende zijn de Lepelaar, Kievit, Bontbekplevier en Drieteenstrandloper<sup>4</sup>. De Smient laat een vrij duidelijke afname zien. Voor de Smient geldt geen verbeterdoelstelling gezien de gunstige landelijke staat van instandhouding. Het instandhoudingdoel voor de Waddenzeepopulatie is een habitat met een draagkracht voor 33100 vogels (seizoensgemiddelde). Dit is ca. 13% van de landelijke populatie. Minder dan 5% daarvan wordt waargenomen in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag. Als verklaring van de afname van de Smient in de Waddenzee wordt vaak de overgang naar (cultuur)grasland gegeven<sup>1</sup>. Daarnaast is de Smient relatief gevoelig voor strenge of langdurige winters<sup>2</sup>. Ontwikkelingen die los staan van eventuele bodemdaling door gaswinning.

Het aantal broedparen op de Peazummerlannen en de kwelder bij Wierum laat negatieve trends zien voor de Kokmeeuw en de Noordse Stern<sup>4</sup>. Deze afnamen stammen echter uit de jaren negentig. Eind negentiger jaren zijn er bijna geen broedende Kokmeeuwen en Noordse Sterns meer aangetroffen. Ook het aantal broedende Graspiepers is in die zelfde periode sterk afgenomen<sup>4</sup>. Deze nadelige ontwikkelingen zijn dus niet het gevolg van de gaswinning 'Lauwersmeer-Moddergat-Vierhuizen'. Voor de Noordse Stern geldt een instandhoudingdoel voor de Waddenzee van 1500 broedparen. Veruit de belangrijkste broedplaats is Griend waarin de meeste jaren meer dan 1.000 paren broeden. Andere belangrijke broedplaatsen zijn Engelsmanplaat, Rottumeroog en Rottumerplaat<sup>1</sup>. In het huidige aanwijzingbesluit voor de Waddenzee zijn voor de Kokmeeuw en de Graspieper geen instandhoudingdoelen opgenomen.

#### **Kwaliteit van het Lauwersmeergebied voor vogels**

Het Lauwersmeergebied kent een groot aantal (40) vogelsoorten waarvoor instandhoudingdoelen zijn geformuleerd. De habitatkenmerken van deze soorten is erg verschillend. Geformuleerde habitattypen zijn bijvoorbeeld "opgaand bos", "struweel", "rietmoeras", "open grasland" en "water". Daarnaast zijn er in het Lauwersmeergebied nog zilte vegetaties (ook pioniervegetaties) die sinds de afsluiting van de Lauwerszee gestaag achteruit gaan. Bodemdaling in het Lauwersmeergebied kan tot veranderingen in de vegetatie leiden en via die weg de draagkracht voor vogelsoorten beïnvloeden.

De monitoring van de vegetatie in het Lauwersmeergebied wijst uit dat er geen sprake is van een achteruitgang in de zoutminnende vegetatie<sup>5</sup>. De meest opvallende veranderingen in het gebied is de toename van de Zilte rus. Daarnaast is er sinds 2006 sprake van een afname van dicht struweel. De meest voor de hand liggende verklaring hiervoor is de intensievere beweiding van het gebied. Daarnaast is er sprake van sterke variaties in de rietbedekking. Dit wordt ten dele veroorzaakt door het maaieregime. Uit het onderzoek komt duidelijk naar voren dat het beheer van het gebied een dominant effect heeft op de ontwikkeling van de vegetatie. Relaties met bodemdaling konden niet worden vastgesteld. Hieruit concluderen wij dat bodemdaling tot dusver geen effect heeft op het habitat van Natura 2000 doelsoorten.

#### **Aantalontwikkeling vogelsoorten Lauwersmeer**

De trends van vogelsoorten in het Lauwersmeergebied laten weinig ontwikkelingen zien. De meest opvallende ontwikkelingen zijn de lichte toename van het aantal Knobbelzwanen en Bontbekpleviers. Daarnaast is er sprake van een lichte afname van de Smient<sup>6</sup>, Tafeleend en Kleine zwaan in het Lauwersmeergebied en van de Kempfaan in de controle gebieden. Voor de Smient, die ook in de Waddenzee en de rest van de Nederlandse telgebieden lijkt af te nemen, geldt in het Lauwersmeer een instandhoudingdoel van 1600 vogels (seizoensgemiddelde). Het gemiddelde aantal vogels in het Lauwersmeergebied is daar inmiddels onder gezakt. De langjarige ontwikkeling en parallelle afname in referentiegebieden tonen aan dat deze ontwikkeling los staat van bodemdaling door gaswinning. De instandhoudingdoelen voor het de Kleine zwaan en de Tafeleend in het Lauwersmeer zijn respectievelijk 160 en 130 vogels (seizoensgemiddelde)<sup>3</sup>. Deze kleine aantallen kunnen sterk fluctueren<sup>6</sup> en vormen slecht 3% (Kleine zwaan) en 0.6% (Tafeleend) van de landelijke populatie<sup>3</sup>. Voor de Tafeleend en de Kleine zwaan geldt dat de jaarlijkse variatie te hoog is om van een trend te spreken.

Voor de broedvogels is de Slobeend de meest opvallende soort met een negatieve aantalontwikkeling. Dit geldt zowel voor het Lauwersmeer als voor de controle gebieden. Voor de Slobeend wordt de staat van instandhouding in Nederland nog als "gunstig" beoordeeld en is geen verbeteropgave van kracht. Voor het Lauwersmeergebied geldt instandhouding van een geschikt leefgebied voor 290 vogels (seizoensgemiddelde)<sup>3</sup>. Als we naar de langjarige trend in de aantalontwikkeling van de Slobeend kijken zien we een gestage toename van de populatie in het Lauwersmeergebied<sup>6</sup>. Het aantal broedparen neemt echter licht af.

Naast de Slobeend geldt voor nog een aantal broedvogels in het Lauwersmeergebied dat er de laatste jaren minder broedparen worden geteld. De meest opvallenden zijn de Graspieper, Wilde eend en de Baardman<sup>6</sup>. Voor de Graspieper en de Baardman zijn voor het Lauwersmeergebied geen instandhoudingdoelen geformuleerd omdat het gebied een te kleine bijdrage levert aan de landelijke populatie. Voor de Wilde eend is de landelijke staat van instandhouding als "gunstig" beoordeeld, er is dus geen herstelopgave van kracht. Het instandhoudingsdoel van 1700 vogels (seizoensgemiddelde) heeft geen betrekking op het aantal broedparen. Beheer en predatie zijn belangrijke factoren die het aantal broedvogels kunnen beïnvloeden.

Voor de Vink, Blauwborst en Grauwe gans is sprake van een duidelijke toename van het aantal broedparen<sup>6</sup>.

### Conclusie

Tot op heden is er geen sprake van nadelige effecten van gaswinning op onderzochte natuurwaarden in relatie tot de geformuleerde instandhoudingdoelstellingen.

### Literatuur

1. Aanwijzingbesluit Natura 2000 gebied Waddenzee. Directie regionale zaken DRZO/2008-001.
2. Müskens, G. J. D. M., R.J. M. van Kats, D. Tanger, M. Witteveldt, A. H. P. Stumpel en F. P. J. van Bommel (2006) Pilotstudie naar het terreingebruik door Smienten in relatie tot de ligging van slaapplaatsen. Alterra rapport.
3. Aanwijzingbesluit Natura 2000 gebied Lauwersmeer. Programmadirectie Natura 2000 PDN/2009-008
4. Roodbergen M., van Winden E., Marx L. & Ens B.J.. 2013. Trendanalyses van vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinningen over de periode 1990-2011. Sovon-rapport 2013/21. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
5. Bijkerk, W., R. Bakker en R. Buijs (2013) Monitoring effecten van bodemdaling op vegetatie in de Lauwersmeer. Verslag monitoringsperiode 2007 t/m 2012. A&W-rapport 1885.
6. Roodbergen M., Kleefstra R, de Boer P, Marx L., en van Winden E,. 2013. Effecten van de gaswinning bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen op de Broed- en watervogels in het Lauwersmeer. Sovon-rapport 2013/X. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
7. Compton, T.J., J. van der Meer, S. Holthuisen, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. ten Horn, L. Klunder, N. McSweeney, M. Brugge, H. van der Veer en T. Piersma (2013) SYNOPTIC INTERTIDAL BENTHIC SURVEYS ACROSS THE DUTCH WADDEN SEA. 2008 to 2011. NIOZ report X.