

## **Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen: Integrale beoordeling en samenvatting van de monitoringresultaten over 2013.**

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met de volgende partijen.

- SOVON (Bruno Ens en Romke Kleefstra)
- A&W (Wout Bijkerk)
- Natuurcentrum Ameland (Johan Krol)
- NIOZ (Tanya Compton en Jaap van der Meer)
- Deltares (Loana Arentz en Zheng Wang)
- NAM (Harry Piening, Rob van Eijs en Jeroen Jansen)

Foto cover: De Peasumerlannen en Peasumerwad. Deze vliegerfoto is gemaakt door Dr. J. de Vlas.

Nederlandse Aardolie Maatschappij

Assen, april 2014

## Samenvatting

In het kader van de waddenwinningen vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, is gedurende 7 opeenvolgende jaren een monitoringprogramma uitgevoerd. Deze ecologische monitoring volgt een effectketen van diepe bodemdaling tot aan instandhoudingsdoelen. 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 Lauwersmeergebied betreft het achtereenvolgens de diepe bodemdaling, de morfologie van het gebied, de grondwaterstand, grondwater- en bodemchemie en de vegetaties en vogels die in het gebied voorkomen. De monitoring over de eerste 6 jaar (2007-2012) is geevalueerd en gerapporteerd in 2013 en beoordeeld door de Auditcommissie m.e.r. (ref 2796-77). Deze integrale beoordeling en samenvatting van de rapportages als genoemd in Tabel 1 gaat voornamelijk over het jaar 2013. In 2013 is nog gemonitord op basis van het bestaande monitoringprogramma 2007-2012.

De diepe bodemdalingsnelheid door gaswinning in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag (resp. 1,31 en 1,19 mm · jr<sup>-1</sup> in 2013) is samen met de snelheid van zeespiegelstijging (ca 2,5 mm · jr<sup>-1</sup>), ruim binnen de gebruiksruimte gebleven en de komende 2 decennia is ook geen sprake van dreigende overschrijding van de natuurgrens in de kombergingen (resp. 6 en 5 mm · jr<sup>-1</sup>).

De diepe bodemdaling door gaswinning kan in de Waddenzee niet aan het wadoppervlak worden waargenomen of gemeten. Dit hangt samen met grote geomorfologische dynamiek van het wad en het meegroeivermogen van de wadplaten. Uit de sedimentatiemetingen op het Peasumerwad blijkt dat de opslibbing gestaag doorgaat. Sinds 2006 is er gemiddeld zo'n 15 centimeter bijgekomen. In 2013 was er achtereenvolgens opslibbing en erosie als gevolg van de najaarstormen. Ook op de kwelder Peasumerlannen is de opslibbing op bijna alle meetlocaties hoger dan de bodemdaling door de gaswinning. Er treedt daar geen klifvorming op en er is sprake van sterke zeewaartse uitbreiding van de pionierzone. Hierdoor worden geen relevante nadelige ontwikkelingen verwacht in de droogvalduur en overstromingsfrequentie van wadplaten en kwelders die van belang zijn voor kweldervegetaties, bodemdieren en vogels.

De bodemdieren in de gebieden die onder invloed staan van de gaswinning wijken niet in opvallende mate af van vergelijkbare locaties in de Waddenzee. Wanneer we kijken naar trends in groepen benthossoorten, dan valt op dat de biomassa tweekleppige schelpdieren sinds de start van de monitoring sterk afneemt tot 2011 en daarna weer toeneemt. Voor Pinkegat en Zoutkamperlaag ligt de initiële afname van de biomassa aan de afname van het kokkelbestand. Deze trend wordt sinds 2008 ook in de rest van de Waddenzee waargenomen. Voor het Peasumerwad dragen aan deze afname ook andere schelpdieren bij zoals het Nonnetje, de Slijkgaper en de Strandgaper. De sterk toegenomen biomassa in 2012 is het gevolg van de omvangrijke kokkelbroedval in 2011 in de hele Waddenzee.

Verreweg de meeste watervogels vertonen in de periode 1990/1991 – 2011/2012 een positieve dan wel negatieve trend in de Nederlandse Waddenzee. De richting van de trend in de kombergingen die onder invloed staan van de MLV-winning is vaak, maar niet altijd, gelijk aan de trend elders in de Waddenzee. Er bestaan geen simpele verklaringen voor de waargenomen trends. Vrijwel zeker spelen een groot aantal factoren binnen en buiten de Waddenzee tegelijkertijd een rol, waaronder klimaatverandering, verandering in eutrofiëring, verstoring, schelpdiervisserij, toename

van de Japanse oester etc. Bij sommige soorten lijkt sprake van een trendbreuk in het gebied onder invloed van de MLV-winningen in vergelijking tot de controle gebieden, maar deze trendbreuk valt niet samen met het begin van die nieuwe gaswinningsgebieden. De Scholekster is de soort waarvoor de aantallen het verst onder het instandhoudingsdoel liggen en de aantallen blijven afnemen. De afname is echter ingezet ver voor het begin van de nieuwe gaswinningsgebieden en verschilt niet tussen het gebied onder invloed van de nieuwe gaswinningsgebieden en de controle gebieden.

Voor de vegetatieontwikkeling van de Peasumerlannen is bijna overal sprake van successie. De broedvogels op de kwelder zijn sterk afgenomen. Vooral de koloniebroeders zoals de Noordse Stern en Kokmeeuw zijn nagenoeg verdwenen. Deze afname is van voor 2006 en wordt aan de opkomst van de vossenpopulatie geweten. Voor de Noordse Stern heeft ook de sterke verruiging van de vegetatie waarschijnlijk een rol gespeeld.

In het Lauwersmeergebied correleren de waargenomen variaties in de grondwaterstand, -chemie en bodemchemie niet met de verspreiding van de bodemdaling door gaswinning. Ook worden er geen consistente veranderingen in de vegetatie waargenomen. Variaties in de vegetatiestructuur die van belang zijn voor bepaalde groepen broedvogels tonen ruimtelijk globale correlaties, maar niet in temporele zin. Voor het Lauwersmeergebied worden nog geen effecten van de sinds 2006 gestarte bodemdaling door gaswinning waargenomen.

Op basis van het 7<sup>de</sup> monitoringjaar kan geconcludeerd worden dat de bodemdaling van de waddenwinningsgebieden in zowel de Waddenzee als het Lauwersmeergebied vooralsnog geen waarneembare effecten heeft gehad op de instandhoudingsdoelen en andere natuurwaarden. Dit is in lijn met de waarnemingen en de daaruit getrokken conclusies van de monitoring sinds 2007.

## Inhoudopgave

1	Inleiding	5
1.1	Sedimentdynamiek in de Waddenzee	5
1.2	Gaswinning en bodemdaling	5
1.3	Monitoring	7
1.4	Integrale beoordeling monitoringresultaten	8
1.5	Rapportages 2013/14	9
2	Gasproductie 2013	10
3	Integrale beoordeling	12
3.1	Monitoring wadplaten	12
3.1.1	Diepebodemdaling onder de Waddenzee	12
3.1.2	De invloed van diepe bodemdaling op de sedimentatie	16
3.1.3	Ontwikkeling van wadplaathoogte in de tijd	17
3.1.4	Sedimentsamenstelling	20
3.1.5	Bodemdieren	20
3.1.6	Vogels op de HVP's	23
3.2	De kwelder 'Peasumerlannen'	26
3.2.1	Kweldervegetaties	27
3.2.2	Broedvogels op de kwelder	27
3.3	Het Lauwersmeergebied	29
3.3.1	Bodemdaling onder het Lauwersmeergebied	29
3.3.2	Ecologische effecten van bodemdaling	29
3.3.3	Natuurdoelstellingen en monitoring Lauwersmeergebied	29
3.3.4	Grondwater, bodemontwikkeling en vegetatie	30
3.3.5	Groepen broedvogelsoorten	31
3.3.5	Broedvogeltrends	32
3.3.7	Vegetatietypen voor broedvogels	33
3.3.8	Vegetatietypen per deelgebied	34
3.3.9	Correlaties vegetatie- en broedvogeltrends	35
4	Eindconclusies	39
	Literatuur	40

# 1 Inleiding

## 1.1 Sedimentdynamiek in de Waddenzee

Het water in de Noordzeekustzone bevat fijn sediment. Dit gesuspendeerde sediment stroomt met de vloedstroom door een zeegat een kombergingsgebied binnen; de Waddenzee in. Hier nemen de stroomsnelheid en turbulentie af waardoor het fijne sediment op de ondergelopen wadplaten terecht komt. Zo groeien de wadplaten. Deze accumulatie neemt toe richting het land (Andersen & Pejrub, 2001).

Ophoging van wadplaten vindt vooral plaats in het voorjaar en de zomermaanden (Chang et al. 2006; Widdows et al. 2000; Postma, 1981). Dit wordt deels veroorzaakt door de afwezigheid van harde stroming en golfslag binnen de Waddenzee in die periode, maar ook door de groei van eencellige kiezelwieren en cyanobacteriën die in deze periode in het sedimentoppervlak groeien. Van de algen is bekend dat ze eiwitten uitscheiden die het sedimentoppervlak erosiebestendig maken (Widdows et al. 2004; Austen et al. 1999; Noffke et al. 1995). De sedimentdynamiek in de Waddenzee als gevolg van de getijdenstroming beïnvloedt de wadplaathoogte met ca. 1 millimeter per getijdencyclus. Onder invloed van wind kan deze invloed oplopen tot 10 – 20 millimeter wadplaathoogte binnen enkele uren (Christiansen et al. 2006). Gedurende de wintermaanden kunnen onder invloed van harde stroming en golfslag wadplaten eroderen en grote hoeveelheden sediment met de ebstroom naar de Noordzee verdwijnen (Bartholdy & Anthony, 1998).

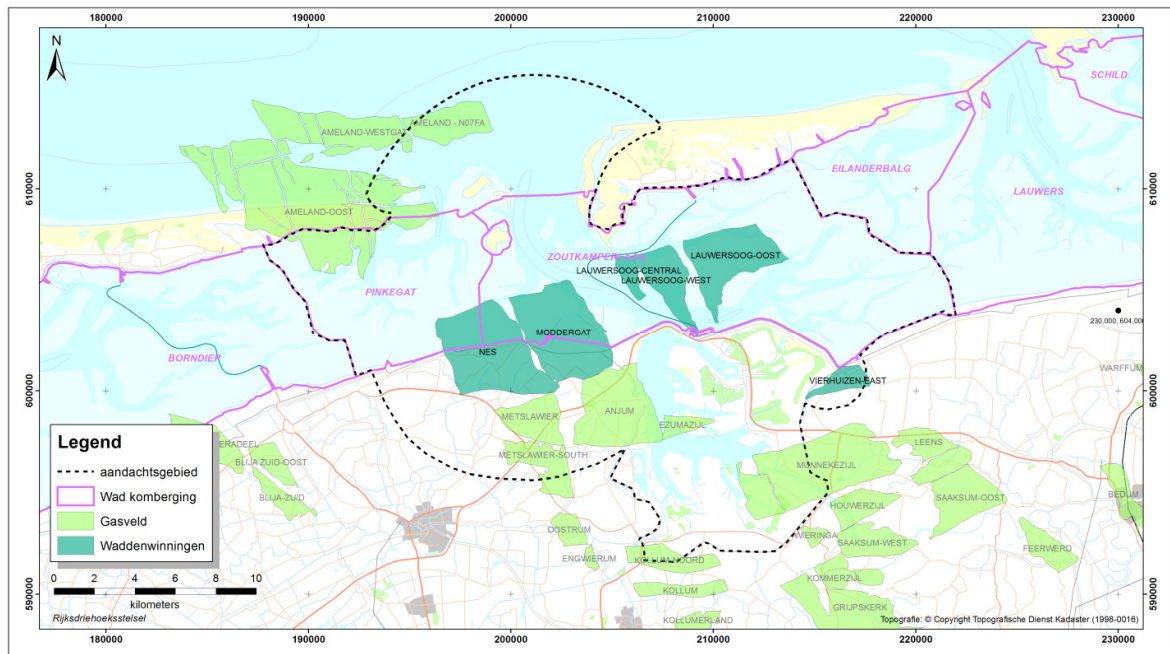
De uitwisseling van sediment tussen de Waddenzee en de Noordzeekustzone wordt het sedimentdelend systeem genoemd (Wang en Eysink, 2005). Als er in de Waddenzee een sedimenttekort optreedt, bijvoorbeeld als gevolg van bodemdaling, dan kun je in de Noordzeekustzone spreken van een sedimentoverschot. Het zanddelend systeem zal streven naar een evenwichtssituatie waardoor er netto meer sediment in de Waddenzee zal achterblijven. De snelheid waarmee dit proces optreedt wordt de sedimentie- of meegroecapaciteit genoemd. Hoe groot deze capaciteit precies is kan bij benadering worden vastgesteld. Op basis van conservatieve aannames is de meegroecapaciteit van het Pinkegat vastgesteld op 6 mm per jaar en voor de Zoutkamperlaag op 5 mm per jaar. Gemeten wadplaat ophoging in wadengebieden wereldwijd varieert van 0 tot 125 mm per jaar (Hong et al. 2003; Yang et al. 2001; Ridchard, 1978). Ook wordt op sommige plekken erosie gemeten (Frostic & McCave, 1979). In veel gevallen beperkt dit soort onderzoek zich tot enkele locaties, waardoor geen 'gemiddeld' beeld van een vloedkom of riviermonding wordt verkregen.

Over een termijn van enkele decennia is het netto resultaat van de sedimentdynamiek in het zanddelend systeem Waddenzee-Kustzone een ophoging van de wadplaten ten koste van de sedimentvoorraad in de kustzone. Dit wordt veroorzaakt door de afsluiting van respectievelijk de Zuiderzee (1932) en de Lauwerszee (1969); (Deltaprogramma 2013). Dit sedimenttransport illustreert de capaciteit van het wadplatensysteem om met de zeespiegelstijging mee te groeien.

## 1.2 Gaswinning en bodemdaling

De Nederlandse Aardolie Maatschappij wint gas uit velden die op ca. 3 km onder de Waddenzee liggen. Door drukdaling in de gasreservoirs treedt compactie van het gasvoerende gesteente op. Deze compactie vertaalt zich naar bodemdaling aan het aardoppervlak. Op het land ontstaan zo bodemdalingkommen die op het diepste punt enkele decimeters kunnen bedragen. In het intergetijdgebied van de Waddenzee worden dit soort bodemdalingkommen niet verwacht. Dit heeft te maken met het

hierboven beschreven erosie- en sedimentatieproces. Onder invloed van wind en stroming wordt het sediment binnen de Waddenzee continue herverdeeld en is er uitwisseling tussen platen en geulen. Op deze wijze worden de bodemdalingkommen uitgesmeerd over een groter gebied. Hiervoor worden de kombergingsgebieden aangehouden. Een komberging is een zogenaamd getijdenbassin dat uit hetzelfde zeegat gevuld en geledigd wordt. Een complex van geulen, prielen en wadplaten. Kombergingen worden van elkaar gescheiden door wantijen (McLaren et al. 1998). De kombergingen die onder invloed staan van diepe bodemdaling door gaswinning zijn het Pinkegat en de Zoutkamperlaag (Fig. 1).



Figuur 1: Overzicht van het beïnvloedinggebied van de waddenwinningen. De contour van dat gebied is aangegeven met de stippellijn. De groene velden zijn gasvelden op ca. 3 km diepte. De donkergroene gasvelden Nes, Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen behoren tot de zgn. waddenwinningen, in dit document de MLV-winning genoemd.

Bodemdaling door gaswinning op kombergingniveau bedraagt ca. 1 millimeter wadplaathoogte per jaar voor een periode van 40 jaar. Verwacht wordt dat deze daling door de aanvoer van sediment uit de kustzone zal worden gecompenseerd. Hetzelfde proces als het meegroeivermogen van de wadplaten met de zeespiegelstijging (§ 1.1). Voor de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag is het minimale meegroeivermogen geschat op 6 en 5 millimeter per jaar. De zeespiegelstijging is geschat op 2,2 millimeter per jaar, waardoor er respectievelijk nog 3,3 en 2,3 millimeter per jaar over is. Deze ruimte wordt de gebruikruimte genoemd. Aangenomen is dat zolang de diepe bodemdaling door gaswinning binnen de gebruikruimte valt het niet tot daling van de wadplaten zal leiden. Daarom wordt de diepe bodemdaling gemonitord en jaarlijks gerapporteerd aan het bevoegd gezag. Mocht bodemdaling door gaswinning de gebruikruimte overschrijden dan kan de gaswinning worden gereduceerd totdat de situatie zich hersteld heeft. Dit noemen we het 'Hand Aan de Kraan - principe'. Deze maatregel is vastgelegd in de diverse vergunningen die zijn verleend voor gasproductie vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.

De Waddenzee is een Natura 2000-gebied. Dit houdt in dat op de Waddenzee de Natuurbeschermingswet ook van toepassing is. De Natuurbeschermingswet '98 schrijft voor dat activiteiten niet mogen leiden tot een nadelige ontwikkeling van

instandhoudingsdoelen. Deze doelen staan beschreven in het Aanwijzingsbesluit Waddenzee. Hierin wordt gesproken over habitattypen en doelsoorten. Het relevante habitatype in relatie tot bodemdaling is het type 'Droogvallende zand- en slikplaten' (H1140). Beschermd zijn het areaal en de kwaliteit van de wadplaten, waarbij kwaliteit wordt uitgelegd als diversiteit in 'structuur en functie' van de wadplaten. Een van de belangrijkste functies van de wadplaten in de Waddenzee is die van foerageergebied voor wadvogels. Deze vogelsoorten vormen samen met enkele zoogdieren en vissen de doelsoorten. Voor doelsoorten wordt in het Aanwijzingsbesluit uitgelegd dat de draagkracht van het gebied niet mag afnemen voor populaties van een bepaalde omvang. Hierbij gaat het om het functioneren van de Waddenzee als foerageergebied en als broed- of rustgebied.

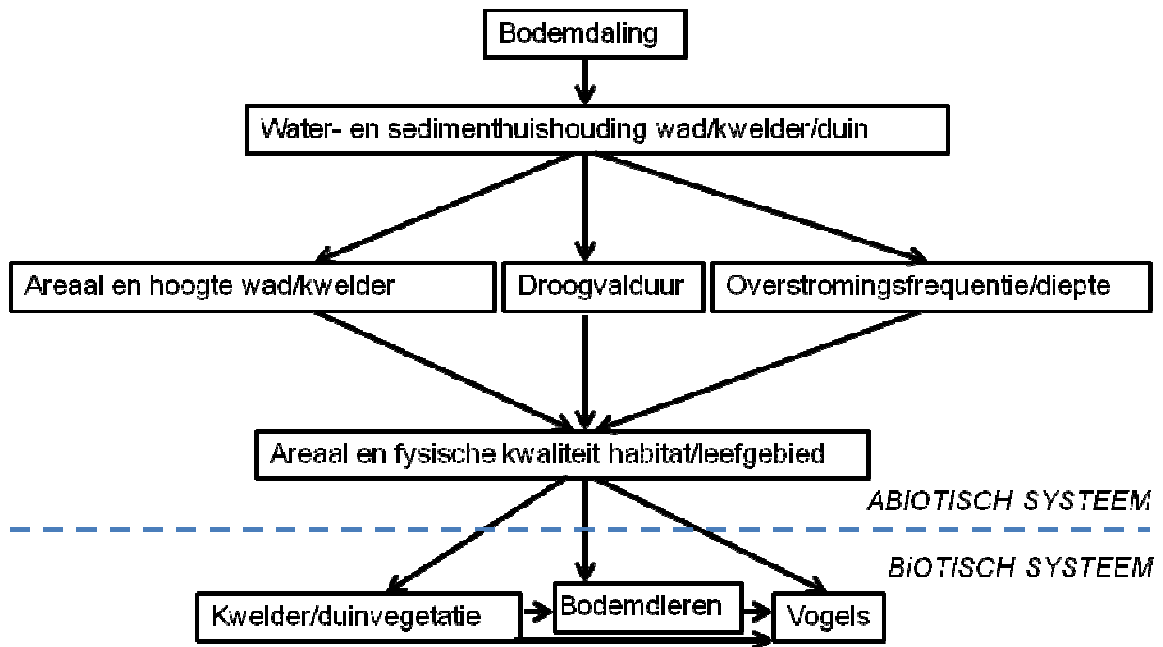
Ook onder het Natura 2000-gebied Lauwersmeer vindt bodemdaling plaats. Deze wordt niet gecompenseerd door sedimentaanvoer, waardoor de diepe bodemdaling aan het maaiveld meetbaar zal zijn. Het Lauwersmeergebied is een vogelrichtlijn gebied. De instandhoudingsdoelen voor dit gebied richten zich daarom uitsluitend op de draagkracht van dit gebied voor bepaalde vogelsoorten.

### 1.3 Monitoring

Naast het hierboven beschreven Hand Aan de Kraan – principe schrijven de vergunningen een monitoringprogramma voor dat als doel heeft te controleren of, zoals verwacht, geen nadelige ontwikkeling van instandhoudingsdoelen optreedt. Indien er wel een nadelige ontwikkeling wordt vastgesteld dient aannemelijk gemaakt te worden dat dit niet deels het resultaat is van bodemdaling door gaswinning. Het monitoringprogramma is vastgesteld voor een periode van 6 jaar waarna een evaluatie plaatsvindt en het programma kan worden aangepast. In 2013 heeft de eerste evaluatie plaatsgevonden. Voor de periode 2014-2019 wordt er een aangepast monitoringprogramma gehanteerd naar aanleiding van de evaluatieresultaten van het monitoringprogramma 2007-2012. De onderhavige samenvatting en integrale beoordeling van de monitoringresultaten is voor het laatst nog op basis van het monitoringprogramma 2007-2012.

Ter beoordeling van de monitoringresultaten wordt een zgn. effectketenbenadering gevolgd. Deze benadering gaat er vanuit dat bodemdaling een effect kan hebben op de water- en sedimenthuishouding, wat kan leiden tot veranderingen in de oppervlakte en kwaliteit van het leefgebied van doelsoorten. Deze effectketen is schematisch weergegeven in figuur 2. Opgemerkt moet worden dat in de keten natuurlijk ook sprake is van terugkoppelingen vanuit het biotische systeem op het abiotische systeem zoals beschreven in paragraaf 1.1.





Figuur 2: Effectketen bodemdaling Waddenzee en Lauwersmeergebied

#### 1.4 Integrale beoordeling van de monitoringresultaten

In deze integrale beoordeling van de monitoringresultaten wordt eerst de ontwikkeling van de diepe bodemdaling onder de Waddenzee besproken in het kader van het Hand Aan de Kraan-principe. De gemeten diepe bodemdaling wordt in verband gebracht met de ontwikkeling van de hoogte, samenstelling en het areaal van de droogvallende platen in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag en specifiek voor het Peasumerwad dat binnen de bodemdalingsschotel van gasvelden Moddergat en Nes ligt. Vervolgens wordt er gekeken naar de ontwikkeling van de voedselvoorraad voor foeragerende wadvogels in dit gebied en in hoeverre deze ontwikkelingen de aantalonontwikkelingen in de vogelpopulaties reflecteren. Hierbij wordt de nadruk gelegd op de Natura 2000-doelsoorten.

Ook de kwelder, de Peasumerlannen, ligt binnen de bodemdalingsschotel van gasvelden Moddergat en Nes. Voor de kwelder wordt geëvalueerd in hoeverre de opslibbing de bodemdaling en zeespiegelstijging bijhoudt. De relatie tussen deze hoogteontwikkeling en de vegetatieontwikkeling en broedvogelaantallen wordt bediscussieerd.

De lobben en platen van het Lauwersmeergebied ontvangen geen slib tijdens overstroming, waardoor deze zullen dalen met de diepe bodemdaling. In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek naar de effecten van bodemdaling in het Lauwersmeergebied op het grondwater en de bodem in samengevatte vorm gepresenteerd. Daarnaast wordt bekeken in hoeverre veranderingen in de vegetatiestructuur de broedvogelpopulaties de laatste jaren hebben beïnvloed.



## 1.5 Rapportages 2013/14

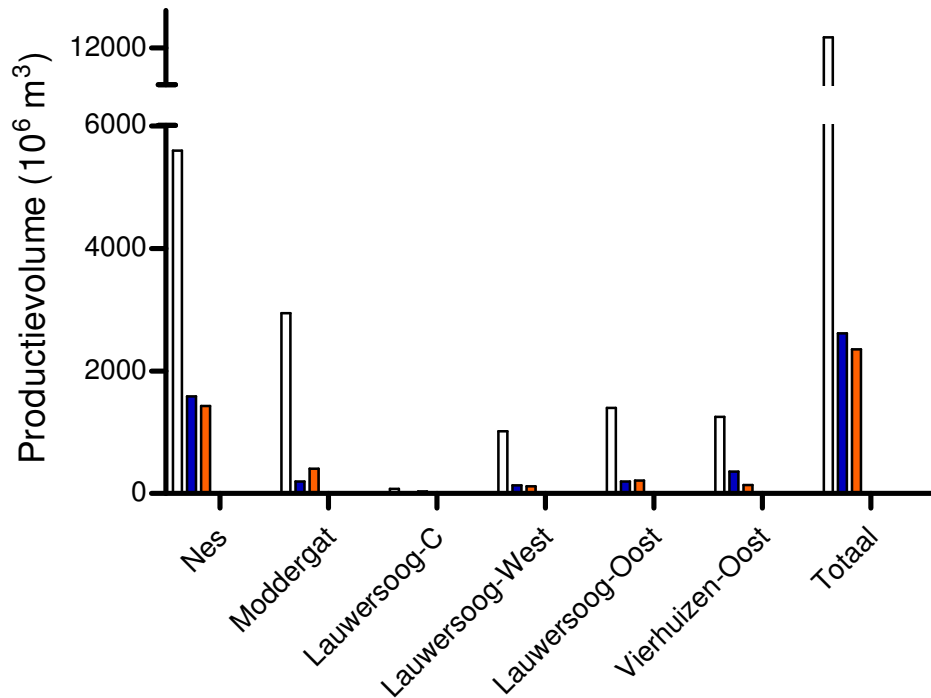
Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de rapporten en informatie die in 2013/14 rond de monitoring beschikbaar zijn gekomen (Tab. 1). Deze rapporten hebben betrekking op de monitoring die in 2013 is uitgevoerd. Alleen de rapportage van het NIOZ over de bodemdierensamenstelling heeft betrekking op de monitoring uit 2012. Het uitzoeken en determineren van de bodemdierenmonsters kost veel tijd waardoor deze resultaten standaard 1 jaar achter lopen op de overige onderdelen. De conclusies uit deze rapportages (Tab. 1) zijn de grondslag van dit samenvattende rapport. Daarnaast beoogt deze rapportage de afzonderlijke monitoringonderdelen zoveel mogelijk te integreren en het geheel te beoordelen.

Tabel 1: Overzicht rapportages voor de evaluatie van de monitoring in 2012/13.

<b>MONITORINGONDERDEEL</b>	<b>INSTANTIE</b>	<b>RAPPORTAGE</b>
<b>Waddenzee</b>		
Bodemdaling	NAM	Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2013
Hoogteligging/arealen en sedimentatie	FUGRO	Waddenzee LiDAR Survey Report ASM11085
	DELTARES	Analyse Lidar data voor Het Friesche Zeegat (2010-2013). Monitoring effect bodemdaling door gaswinning
	NCA	Wadsedimentatiemetingen Ameland, Engelsmanplaat, Paesens en Schiermonnikoog 2007-2013
Bodemdieren	NIOZ	Progress report for the 2012 sampling of the synoptic intertidal benthic surveys across the Dutch Wadden Sea
Wadvogels/broedvogels	SOVON	Trendanalyses van vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinningen over de periode 1990-2012
<b>Kwelder</b>		
Sedimentatie en vegetatie	IMARES	Vegetatie en opslibbing in de Peasumerlannen en het referentiegebied west- Groningen: Jaarrapport 2013. IMARES Rapport C026/14
<b>Lauwersmeer</b>		
Grondwater- en vegetatiedynamiek	A&W Buijs	Monitoring effecten van bodemdaling op vegetatie in de Lauwersmeer. Zevende voortgangsrapportage (2013). A&W-rapport 1957
Broedvogels en vegetatiestructuur	SOVON A&W	Opgenomen in onderhavige rapportage

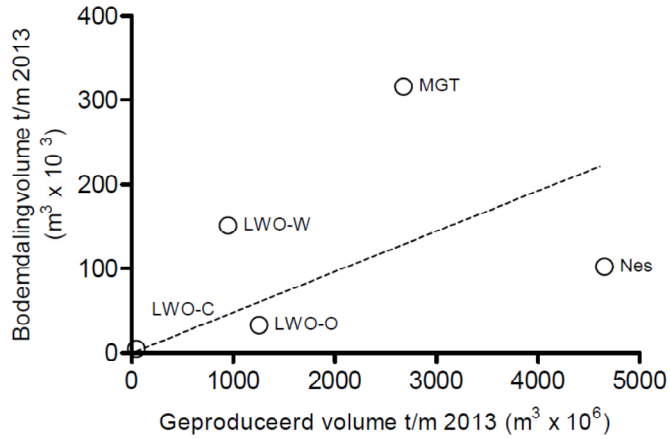
## 2 Gasproductie 2013

De totale gasproductie uit de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen ligt in 2013 beneden het geplande volume (Fig. X). Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door een relatief lage productie uit de velden Nes en Vierhuizen-oost. Uit het veld Moddergat is juist meer geproduceerd dan was gepland.



Figuur 3: Productievolumes voor de verschillende gasvelden die betrokken zijn bij de zgn. Moddergat-Lauwersoog-Vierhuizen winningen. De witte staven tonen het cumulatieve productievolumen sinds 2006. De blauwe staven tonen het geplande productievolumen voor 2013 zoals opgenomen in het winningplan en de rode staven tonen het gerealiseerde productievolumen.

De bijdrage van de verschillende velden aan de diepe bodemdaling hangt af van de productieomvang en de eigenschappen van het gasreservoir. De geomechanische modellering staat toe dat deze relatieve bijdrage aan de diepe bodemdaling van ieder afzonderlijk deel van de productie kan worden bepaald. Niet voor ieder gasveld is de bijdrage aan de bodemdaling per volume gas gelijk. Uit figuur 4 is duidelijk op te maken dat de hoge productie uit het Nes-veld relatief weinig bodemdaling veroorzaakt.



Figuur 4: Bodemdalingvolume als functie van het geproduceerde volume uit de gasvelden Moddergat (MGT), Nes, Lauwersoog-west (LWO-W), -oost (LWO-O) en -centraal (LWO-C). Het productievolume en de daardoor veroorzaakte bodemdaling is voor het veld Vierhuizen-oost linksonder in de grafiek weergegeven.

### 3 Integrale beoordeling

Deze integrale beoordeling beoogt een samenvatting te geven van de in de rapportages van de monitoring gepresenteerde resultaten (Tab. 1). Daarbij wordt gefocust op die aspecten in de rapporten die het meest relevant zijn voor het Hand Aan de Kraan principe (§ 1.2). Enerzijds zijn dit de resultaten uit de Meet- en Regelcyclus 2013, op basis waarvan de belasting voor de Waddenzee wordt berekend. Uit dat rapport zijn ook productiegegevens over 2013 opgenomen. Anderzijds zijn dat de monitoringparameters die inzicht geven in de ontwikkeling van de staat van instandhouding van de Waddenzee en het Lauwersmeergebied. Naast het samenvatten van de belangrijkste resultaten trachten we in dit rapport de gemonitoorde variabelen zoveel mogelijk in samenhang te analyseren en te bediscussiëren. In de onderstaande paragrafen worden de wadplaten (§ 3.1), de kwelder (§ 3.2) en het Lauwersmeergebied (§ 3.3) afzonderlijk behandeld. In paragraaf 4 volgen de eindconclusies.

#### 3.1 Monitoring wadplaten

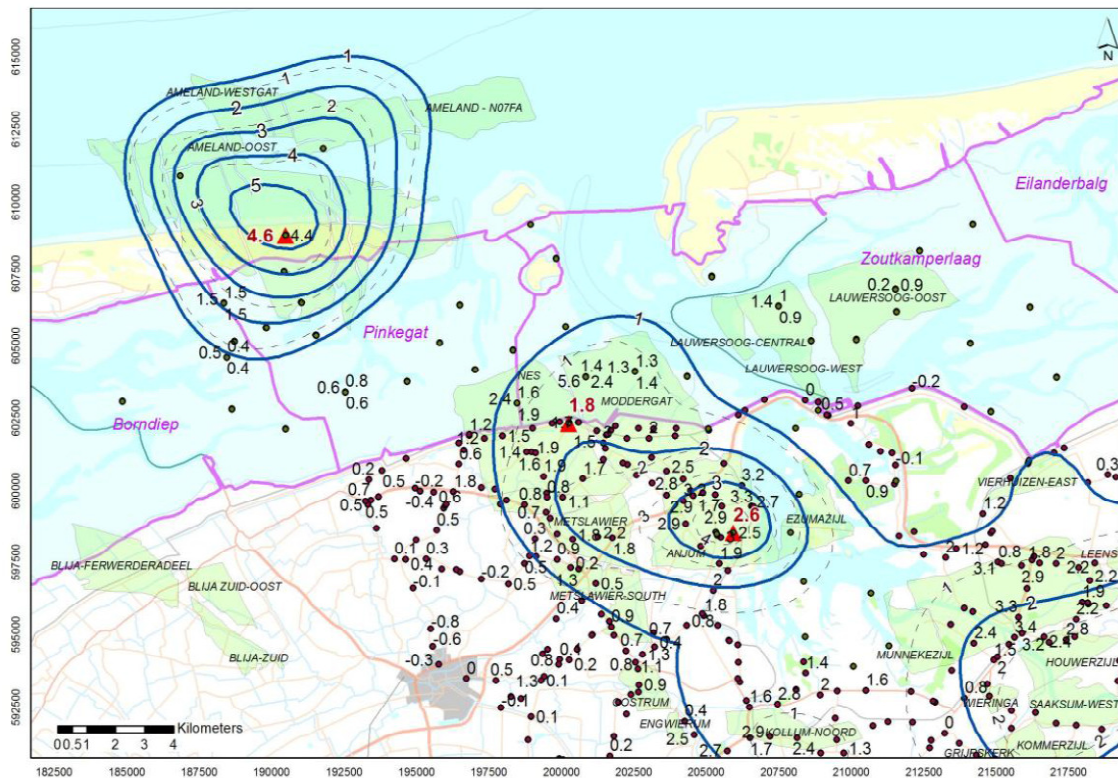
##### 3.1.1 Diepe bodemdaling onder de Waddenzee

Gegevens over de diepe bodemdaling t/m 2013 zijn gerapporteerd in de Meet- en Regelrapportage over 2013 (NAM, 2014). De monitoring van de diepe bodemdaling onder het wad vindt sinds 2006 plaats op de punten van stalen palen (peilmerken) die 6 meter diep in de bodem zijn gezet. Deze dalen mee met de diepe bodemdaling. De hoogtemetingen bestaan uit GPS-metingen die 5 dagen per meting per paal in beslag nemen (NAM, 2013). Dit is nodig om de gewenste nauwkeurigheid te bereiken. In totaal staan er 34 peilmerkclusters van elk 3 peilmerken over het gebied verspreid die tezamen een goed beeld geven van diepe bodemdaling onder Pinkegat en Zoutkamperlaag (Fig. 5). De hoogte van de peilmerken wordt minimaal 1x per 3 jaar bepaald. Peilmerken die dicht bij het centrum van de bodemdalingkommen liggen komen vaker aan bod. In mei 2013 is voor 8 peilmerken de hoogte bepaald. Deze hoogtemetingen worden aan de bestaande meetreeksen toegevoegd, waarmee de geomechanische modellen worden gekalibreerd. Met deze modellen worden de bodemdalingkommen ruimtelijk gemodelleerd en voorspellingen gedaan over het toekomstige verloop van de bodemdalingssnelheid. In het model is informatie betrokken over de geologie en gelaagdheid in en boven het reservoir (gasveld), de samendrukbaarheid van het gesteente in het reservoir, de gas- en waterproductie en het drukverloop in het reservoir (NAM, 2012).

Naast de nieuwe metingen op de peilmerken in de Waddenzee is in de modelberekeningen in 2013 rekening gehouden met een in 2009-2010 uitgevoerde herinterpretatie van de seismiek voor alle gasvelden onder de Waddenzee. Tevens is in 2012 een nieuwe put geboord in het Nes-veld, de Moddergat-3. De kennis die bij deze boring is opgedaan heeft geleid tot een update van de karakteristieken van dit reservoir. Op basis van boorkernen uit de put Moddergat-3 en het productiegedrag is de berekende doorlaatbaarheid van de reservoirs Nes, Moddergat en Metslawier in de modelberekening aangepast (NAM, 2014).

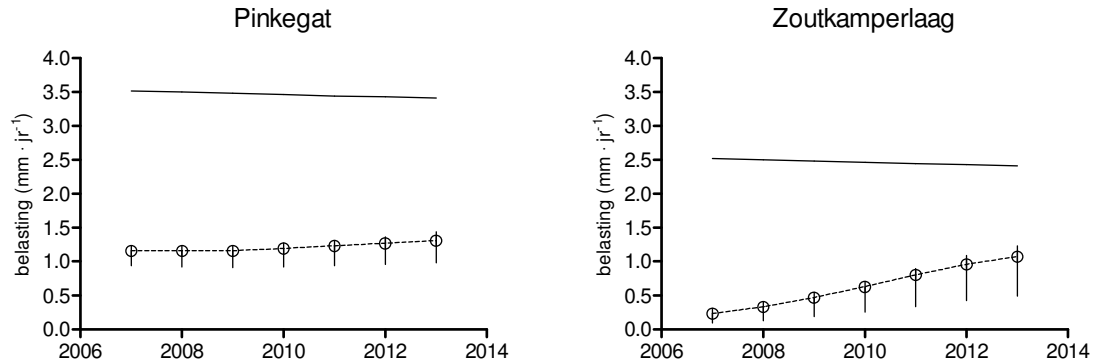
Figuur 5 geeft een overzicht van de bodemdalingcontouren op basis van de modelberekeningen die op basis van de in 2013 verzamelde data zijn uitgevoerd. In verband met de bovengenoemde wijzigingen in de modelparametrisatie zijn ter vergelijking ook de contouren van 2012 weergegeven. In figuur 5 is te zien dat de diepe bodemdaling als gevolg van de MLV-winning onder het wad minder dan 2 centimeter bedraagt. Onder het land cumuleert de bodemdaling van de verschillende gasvelden. Sinds de start van de MLV-winning in 2006 is daar bij Anjum zo'n drie centimeter bijgekomen. De Amelandwinningen die bijdragen aan de bodemdaling die onder het

Pinkegat plaatsvindt varieert tot maximaal vier centimeter diepe bodemdaling onder de oostpunt van Ameland sinds 2006.



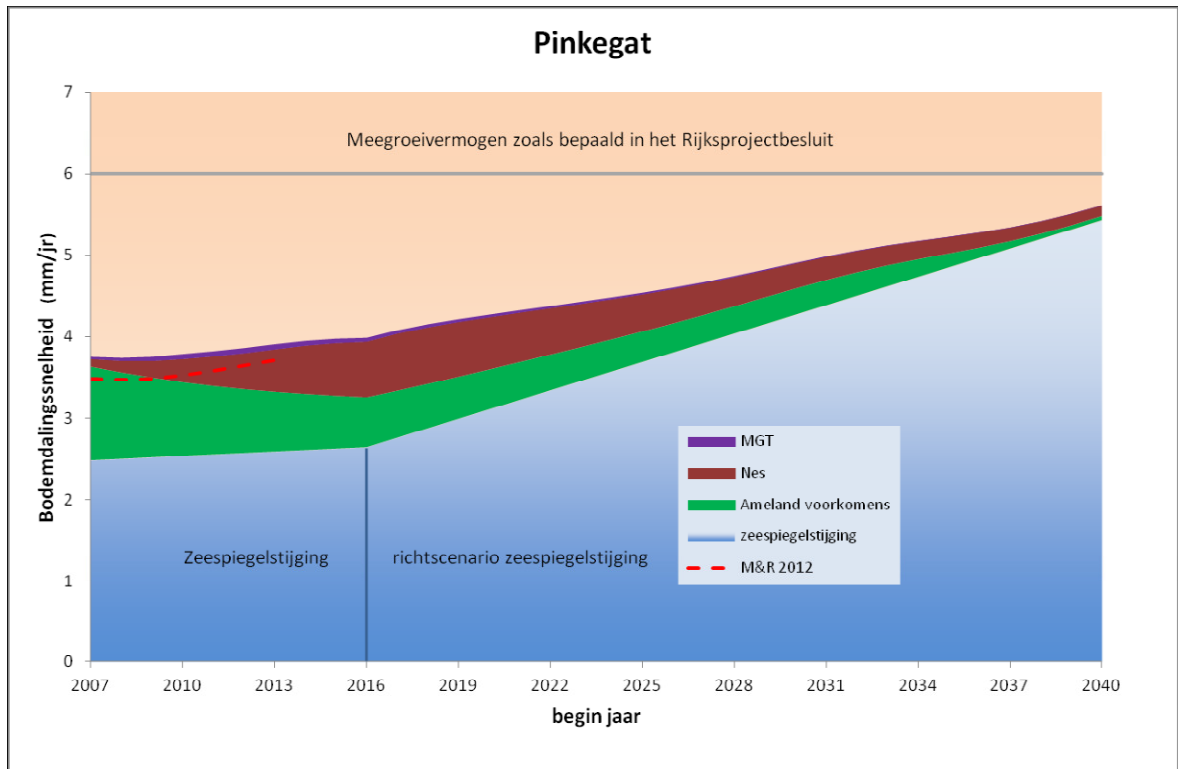
Figuur 5 Diepe bodemdaling (status 1-1-2013) door gaswinning sinds de start van de MLV-productie in 2006 in centimeters. De blauwe lijnen zijn de contouren van de gemodelleerde diepe bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen. De gestreepte contouren geven de gemodelleerde bodemdaling weer in 2012 (zoals beschreven in de M&R rapportage over 2012). Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd. Deze locaties zijn de rode driehoeken. De punten op land zijn berekend middels InSAR metingen en bepaald op december 2012. De punten in de Waddenzee zijn de peilmerken waarvoor de hoogte met GPS wordt bepaald.

Op kombergingsniveau bedroeg de berekende diepe bodemdalingsnelheid voor de Zoutkamperlaag in 2013 1,19 millimeter per jaar. Een range aan modelscenario's genereert een minimum dalingsnelheid van 0,54 millimeter en een maximum dalingsnelheid van 1,37 millimeter voor dat jaar. Voor het Pinkegat is de bodemdalingsnelheid berekend op 1,31 millimeter met een minimaal en maximaal scenario van respectievelijk 0,98 en 1,44 millimeter in 2013. Voor de achtergrond van de verschillende modelscenario's wordt verwezen naar het rapport Meet- en Regelcyclus 2013. Hoe zich dat verhoudt tot de gebruikruimte is weergegeven in figuur 6, waarin de zgn. belasting en gebruikruimte voor beide kombergingen zijn geplot.

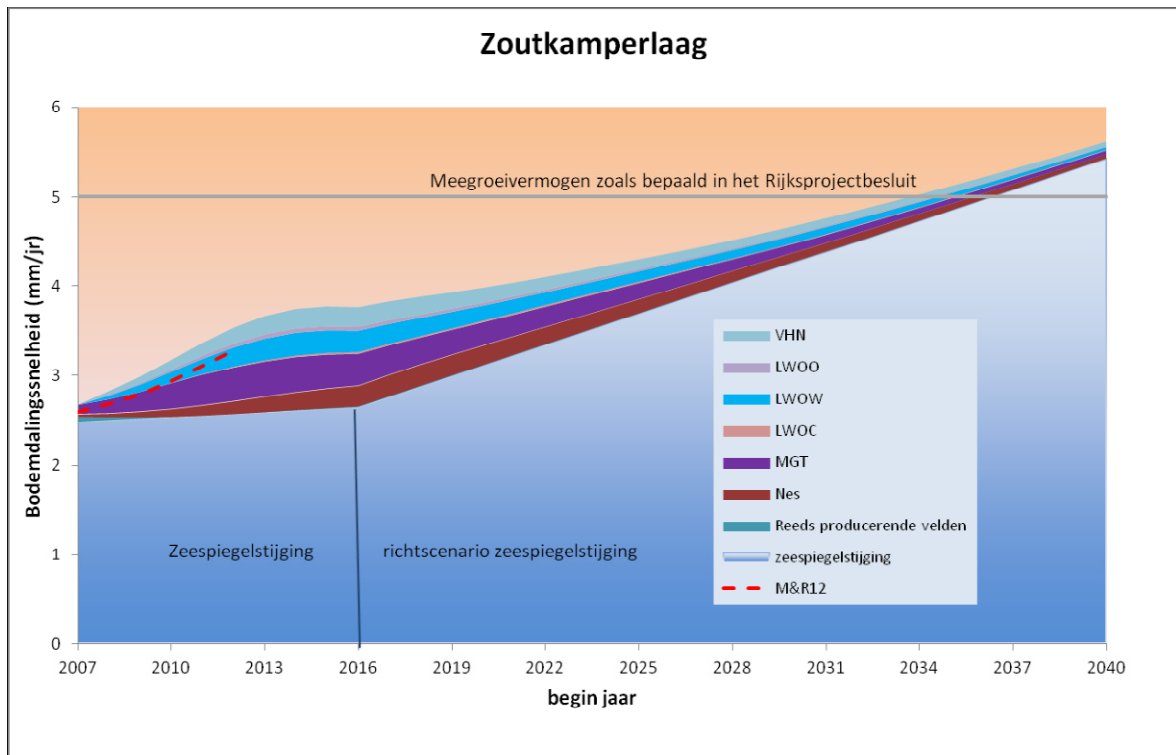


Figuur 6: Ontwikkeling van de zgn. belasting van de gebruikruimte in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag voor de jaren 2007 t/m 2013. De foutmarges zijn de minima en maxima op basis van verschillende modelscenario's. De lijn geeft het verloop van de gebruikruimte weer.

In figuur 6 is te zien dat het relatief kleine kombergingsgebied Pinkegat een grotere gebruikruimte heeft dan de Zoutkamperlaag. De belasting van het Pinkegat bedraagt momenteel ca. 30% van de gebruikruimte. Voor de Zoutkamperlaag is de belasting sinds 2006 toegenomen tot ongeveer 50% van de gebruikruimte. Volgens de voorspellingen blijft de verhouding tussen de belasting en de gebruikruimte de komende jaren gelijk (Fig. 7 en 8).



Figuur 7: Voorspelde belasting inclusief zeespiegelstijging voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het meest recente geomechanische model toegepast. De roodgestreepte lijn geeft de berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2012 (gerapporteerd in 2013).

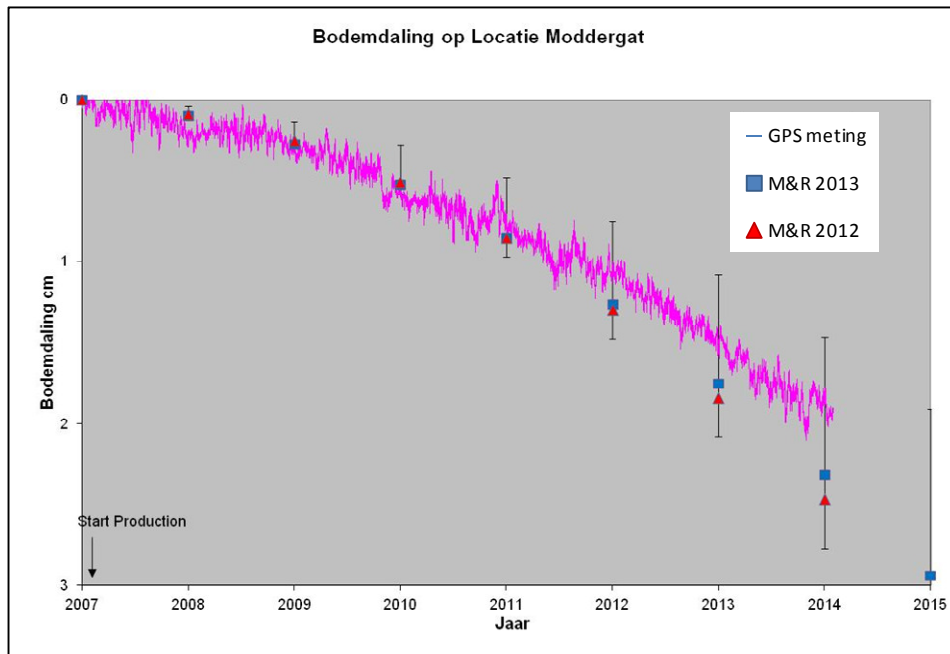


Figuur 8: Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De roodgestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2012 (gerapporteerd in 2013).

De continue GPS-metingen op de locaties Ameland-oost, Nes/Moddergat en Anjum (Fig. 5) hebben als doel om plotselinge versnellingen in de bodemdaling te signaleren. Net als in voorgaande jaren is een dergelijke versnelling ook in 2013 niet opgetreden. Het plotten van deze GPS-metingen samen met de gemodelleerde bodemdalingsnelheid geeft een beeld van hoe nauwkeurig de modelvoorspelling met de realiteit overeen komt voor die specifieke locatie (Fig. 9). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het geomechanische model wordt afgeregeld op alle metingen in de bodemdalingkom.

In figuur 9 is te zien dat de nieuwe modelberekeningen uit 2013 een iets betere fit geven met de gemeten bodemdaling. Voor deze specifieke locatie wordt de bodemdalingsnelheid nog steeds overschat, al valt deze goed binnen de aangehouden foutmarge.

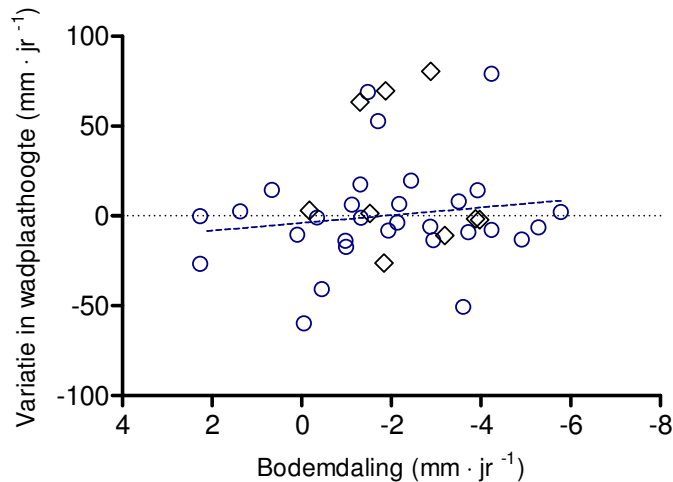




Figuur 9: Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Moddergat (coördinaten: X-RD: 200244.559, Y-RD: 602329.794). De foutmarge wordt gegeven door de bodemdalingberekeningen volgens verschillende modelscenario's. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage over 2012 is aangegeven in rood.

### 3.1.2 De invloed van diepe bodemdaling op de sedimentatie

Parallel aan de hoogtemetingen die op de peilmerken op het wad worden uitgevoerd, worden waterpassingen verricht om de sedimenthoogte lokaal in beeld te brengen. Deze hoogtemetingen vinden plaats op een grid van 7x5 punten die op een afstand van 5 meter van elkaar liggen. Per punt wordt de wadplaathoogte bepaald t.o.v. de hoogte van het peilmerk dat met grote nauwkeurigheid t.o.v. NAP wordt vastgesteld. Op deze wijze ontstaat een dataset van diepe bodemdaling en wadhoogtemetingen op dezelfde locatie. Door deze metingen in de tijd te herhalen kan gekeken worden of de ontwikkeling in de hoogte van het sedimentoppervlak beïnvloed wordt door de mate van diepe bodemdaling op locaties. Tot dusver zijn op deze wijze gegevens verzameld tussen 2010 en 2013. De resultaten van deze eerste metingen zijn weergegeven in figuur 10. Naast metingen uit Pinkegat en Zoutkamperlaag worden in figuur 10 ook metingen van het Groningerwad gepresenteerd. Het eerste wat in figuur 10 opvalt is dat er op dit moment geen afname in de sedimenthoogte kan worden gecorreleerd aan de mate van diepe bodemdaling. Daarnaast is duidelijk te zien dat erosie en sedimentatieprocessen een veel grotere variatie kennen dan de diepe bodemdaling die de gaswinning veroorzaakt.

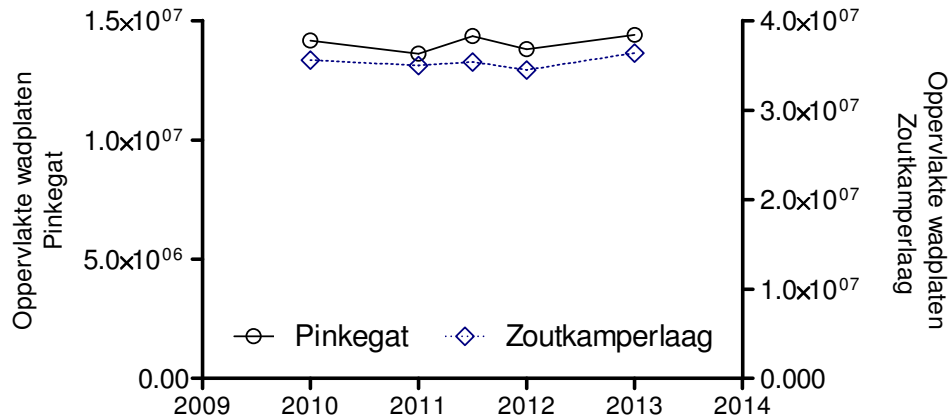


Figuur 10: De variatie in wadplaathoogte naast de peilmerken als functie van de diepe bodemdaling gemeten op de peilmerken voor dezelfde periode. De blauwe cirkels zijn metingen die verricht zijn in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag. De zwarte ruiten zijn metingen die verricht zijn op het Groninger wad. De blauwe, gearceerde lijn is de regressielijn door de blauwe cirkels. Voor punten die op de zwarte, gearceerde lijn liggen is geen verandering in de wadplaathoogte opgetreden.

De resultaten laten zien dat er geen significante relatie is tussen de verandering in sedimenthoogte en de mate van diepe bodemdaling ( $r^2 = 0.02$  / n.s.). Zoals verwacht is de sedimentdynamiek veel groter dan de diepe bodemdaling. Dit verschil is ongeveer een factor 10. Ofschoon de meeste veranderingen in wadplaathoogte kleiner zijn dan 50 millimeter per jaar zijn er enkele uitschieters bij. Op basis van deze resultaten kan de hypothese dat bodemdaling op kombergingsniveau wordt uitgespreid niet worden verworpen. Tevens valt op dat enkele punten lichte bodemstijging laten zien. Dit illustreert de omvang van de meetfout op de peilmerken. Een toenemend aantal van dit soort metingen in de toekomst zal de zeggingskracht van deze vergelijking vergroten.

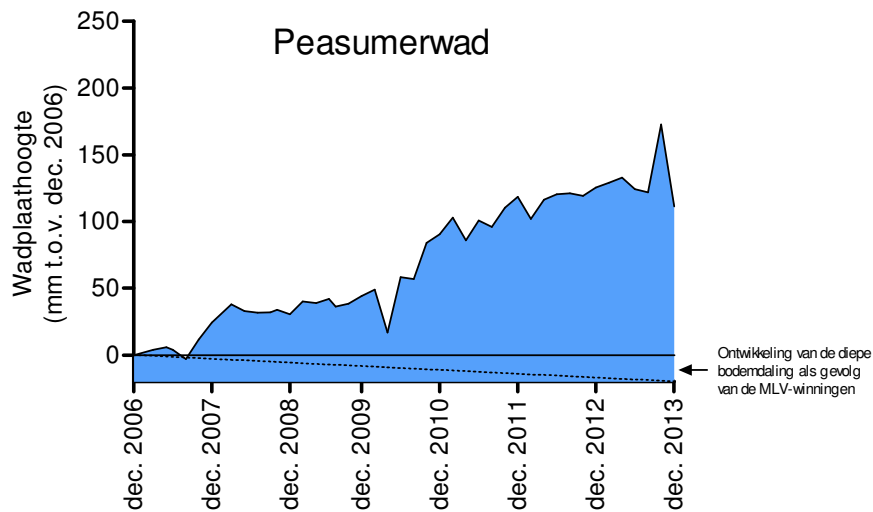
### 3.1.3 Ontwikkeling van de wadplaathoogte in de tijd

Het areaal wadplaten is synoniem voor een bepaald deel van het wad met een zekere droogvalduur. De temporele variatie in het wadplaatareaal van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag wordt bestudeerd aan de hand van LIDAR-opnames. Dit werk is uitgebreid gerapporteerd in Arentz & Vroom (2014). Die resultaten laten zien dat de morfologie van de wadplaten in Pinkegat en Zoutkamperlaag niet aan grote veranderingen onderhevig is in de periode 2007-2013. In figuur 11 is de ontwikkeling van een deel van het wad weergegeven. Het gaat specifiek om het areaal tussen -20 en 40 centimeter boven NAP. Dit is een belangrijke zone voor bodemdieren en vogels om te foerageren. De temporele variatie in de gemiddelde omvang van dit areaal is 5-10%. Over de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de LIDAR-opnames is rond de in 2013 uitgevoerde evaluatie veel gediscussieerd. Uit de analyses van de LIDAR-data en de huidige interpretatie van de foutgrootte blijkt dat de geobserveerde variatie klein is en bovendien binnen de meetfout ligt.



Figuur 11: Ontwikkeling van de oppervlakte wadplaten in m<sup>2</sup> voor de zone van -20 t/m 40 cm +NAP in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag voor de periode 2010-2013. Deze oppervlakteschattingen zijn gemaakt op basis van LIDAR opnames van het gebied.

Op het Peasumerwad zijn 18 spijkermetingen geplaatst. Op basis van deze metingen kan de ontwikkeling in de relatieve wadplaathoogte in detail worden gevolgd. Spijkermetingen worden ook op een aantal andere wadplaten binnen en buiten de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag uitgevoerd (Krol, 2014). In figuur 12 hebben we de gemiddelde ontwikkeling van de relatieve wadhoogte voor het Peasumerwad geplot. Een gestage positieve ontwikkeling van deze wadplaathoogte is duidelijk waarneembaar.



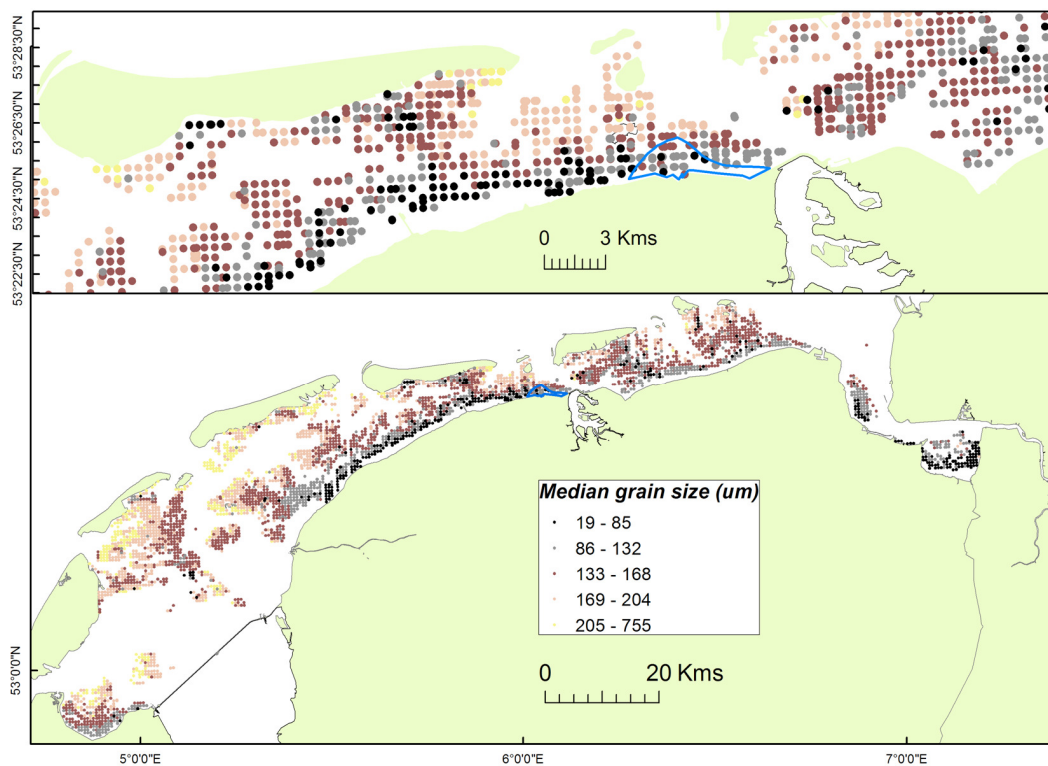
Figuur 12: De relatieve wadplaathoogte ontwikkeling op het Peasumerwad zoals gemeten aan de hand van de spijkermetingen. Dit betreft de gemiddelde ontwikkeling op basis van 18 locaties die ieder bestaan uit 4 spijkermetingen. Deze ontwikkeling is niet ten opzichte van NAP, maar ten opzichte van de nul-situatie in 2006. Beneden de y=0 lijn loop een stippellijn. Dit is een lineaire weergave van de maximale bodemdaling die in dit gebied is opgetreden; maximaal 20 millimeter sinds 2006.

Onder de opslibbende wadplaat vindt dus bodemdaling plaats (Fig. 12). De opslibbing is niet voor alle locaties waar spijkermetingen plaatsvinden gelijk. Er zijn punten op het Peasumerwad waar de opslibbing zeer sterk is, maar ook punten waar deze afwezig is of zelfs een beetje erosie optreedt. Deze lokale variatie is deels toe te schrijven aan de door de mens aangepaste kustlijn (Krol, 2014). Daarnaast neemt de sedimentatie toe naarmate je dichterbij het land komt (Andersen & Pejrub, 2001), hetgeen ook zichtbaar is in figuur 13.

In de grillige erosie- en sedimentatiepatronen is zichtbaar hoe sedimentatie vooral in het voorjaar en de zomer optreedt en erosie in het najaar en de winter. Deze seizoendynamiek is een bekend fenomeen (Bartholdy & Anthony, 1998; Chang et al. 2006) die deels wordt toegeschreven aan meteorologische processen (Christiansen et al. 2006) en deels aan de invloed van biota (Borsje et al. 2008; Widdows et al. 2004).

### 3.1.4 Sedimentsamenstelling

Opslibbing als gevolg van sedimentaanvoer en laagdynamische omstandigheden zou gereflecteerd kunnen worden in de sedimentsamenstelling. De resultaten van de sedimentanalyses van het NIOZ zijn weergegeven in figuur 13. In deze figuur zien we inderdaad dat de korrelgrootteverdeling aan het Friese wad door fijn sediment gedomineerd wordt. Een hypothese is dat bodemdaling door gaswinning tot additionele sedimentatie van fijn sediment zou leiden waardoor op wadplaten onder invloed van diepe bodemdaling een afwijkende sedimentsamenstelling zou kunnen ontstaan. Uit berekeningen op basis van hydrodynamische modellen komt naar voren dat de continue sedimentbeweging binnen de kombergingsgebieden er voor zorgt dat de korrelgrootteverdeling niet wordt beïnvloed zolang de stromingspatronen niet veranderen (Wang & Eysink, 2005). Op de sedimentverspreidingskaart (Fig. 11) is te zien dat fijn sediment langs de hele Friese kust wordt aangetroffen en niet uniek is voor het Peasumerwad.



Figuur 13: Mediane korrelgrootteverdeling van sedimentmonsters genomen op het SIBES-grid in de Waddenzee. De geplote waarden zijn het gemiddelde van de bemonsteringen over 2007 t/m 2012. Zie legenda. Het blauwomlijnde gebied staat direct onder invloed van diepe bodemdaling.

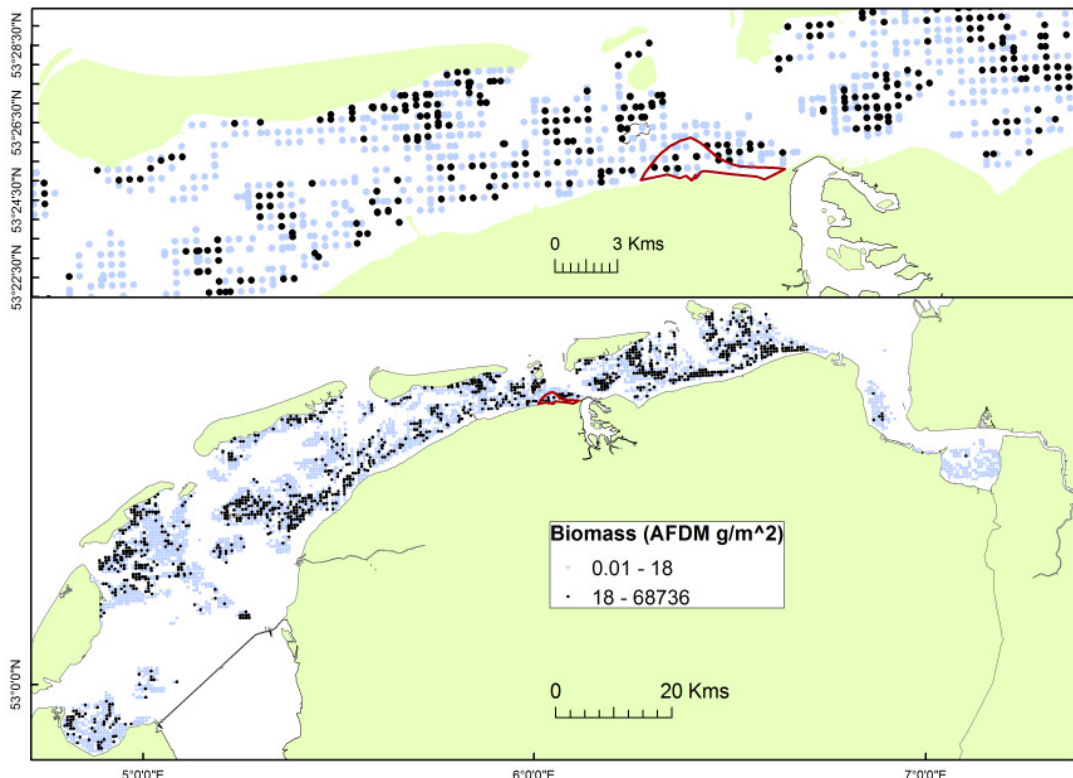
Opvallend is het verschil tussen korrelgrootteverdeling van het sediment ten westen en ten oosten van het wantij van Terschelling. Het gemiddeld veel grovere sediment in de westelijke Waddenzee reflecteert de extremere hydrodynamische omstandigheden in dat gebied.

### 3.1.5 Bodemdieren

De bodemdierensamenstelling in de Waddenzee is bestudeerd door het NIOZ. In Compton et al. (2013) wordt een ruimtelijke analyse gepresenteerd waarin de samenstelling en de biomassa van de bodemdieren in gebieden onder invloed van gaswinning wordt vergeleken met andere, vergelijkbare delen van de Waddenzee. Vervolgens bekijkt deze studie in hoeverre de gevonden verschillen afwijken van andere

combinaties, random geselecteerde gebieden. Uit deze analyses blijkt dat er op dit moment nog geen opvallende verschillen zijn te vinden tussen gebieden met en zonder invloed van diepe bodemdaling.

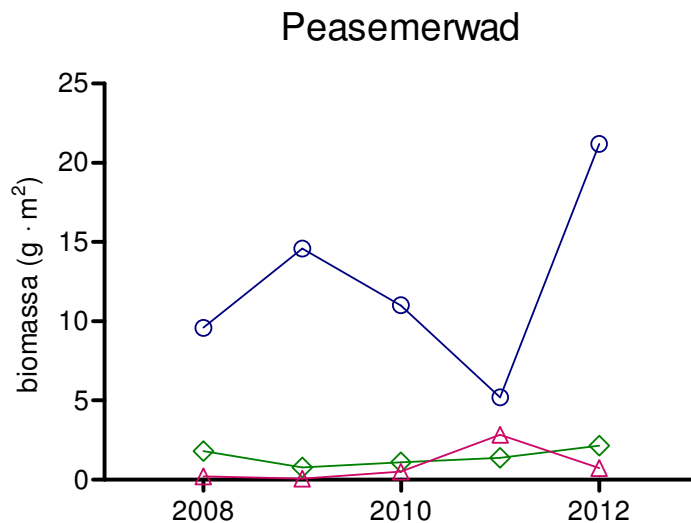
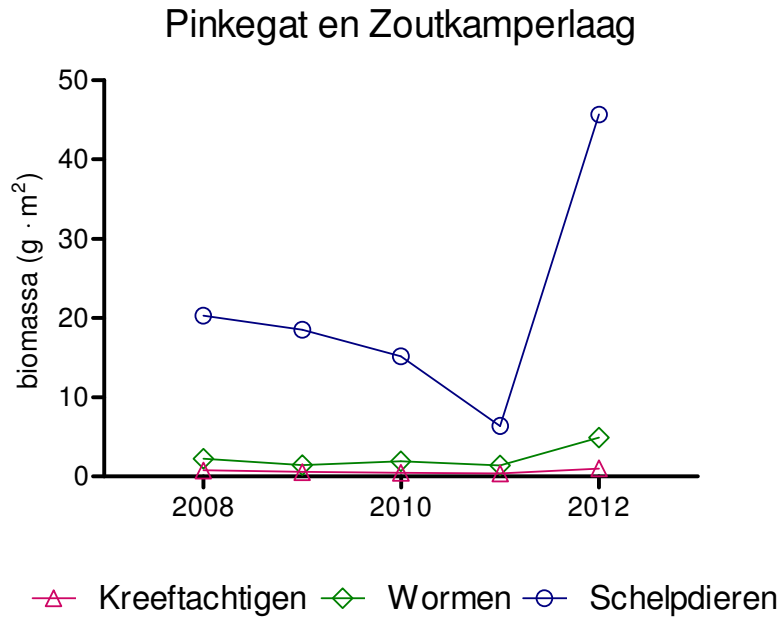
In figuur 14 wordt voor ieder bodemmonster uit de SIBES-bemonstering de biomassa bodemdieren (grammen as-vrij drooggewicht / m<sup>2</sup>) gepresenteerd. Op de biomassaverspreidingskaart wordt onderscheid gemaakt tussen monsters met meer en minder dan 18 g/m<sup>2</sup>. 18 gram is de mediane biomassa per m<sup>2</sup> voor de Waddenzee. In het beïnvloedinggebied Peasumerwad bevat ongeveer de helft van monsters meer dan 18 gram/m<sup>2</sup>, waarmee dit gebied niet afwijkt van de rest van de Friese kust. De belangrijkste soorten in dit deelgebied zijn het Nonnetjes (*Macoma balthica*) en de borstelworm *Pygospio elegans*.



Figuur 14: Biomassa bodemdieren in de Waddenzee. De geplote waarden zijn het gemiddelde van de bemonsteringen over 2007 t/m 2012. Zie legenda. Het roodomlijnde gebied staat direct onder invloed van diepe bodemdaling door gaswinning.

In het bovenstaande kaartje wordt de gemiddelde situatie voor de afgelopen 5 jaar weergegeven. In die 5 jaar zijn er wel ontwikkelingen in het benthos waarneembaar. In figuur 15 worden trends in drie groepen bodemdieren weergegeven voor Pinkegat en Zoutkamperlaag en afzonderlijk voor het Peasumerwad. Deze groepen bestaan uit schelpdieren (tweekleppigen), wormen en kleine, mobiele kreeftachtigen. Sinds 2008 is de biomassa schelpdieren in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag afgenomen van zo'n 20 gram naar minder dan 10 gram as-vrij drooggewicht per m<sup>2</sup> in 2011. Deze afname wordt grotendeels veroorzaakt door een afname van het kokkelbestand. Deze gestage afname in schelpdierbiomassa wordt onderbroken door de omvangrijke broedval in 2011, gevolgd door een hoge schelpdierbiomassa in 2012 (>40 g AVDW /m<sup>2</sup>). De kokkelinventarisaties van IMARES laten zien dat deze trend in de hele Waddenzee waarneembaar is (van Zweeden et al. 2013). Pieken in schelpdierbestanden ontstaan als gevolg van grootschalige broedval en groei in het daarop volgende voorjaar.

In de jaren die volgen is de afname van dergelijke bestanden vaak substantieel en voor bijvoorbeeld de kokkel ook goed voorspelbaar (Rappoldt et al. 2003). Voorbeelden van dit soort fluctuaties voor andere soorten zijn te vinden in Goudswaard et al. (2011); van den Ende et al. (2012) of Dekker (2011).



Figuur 15: Ontwikkeling van groepen benthossoorten in de jaren 2008 t/m 2012. Boven: de ontwikkeling in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag. Onder: de ontwikkeling voor het Peasumerwad.

Op het Peasumerwad piekt het bestand tweekleppige schelpdieren in 2009, waarna deze snel afneemt tot ca. 30% van dat bestand in 2011. Ook in dit deel van de Waddenzee zorgt de kokkelrekrutering voor een sterk toegenomen biomassa in 2012 (Fig. 15). Een belangrijk verschil met het de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag is dat de ontwikkeling tussen 2008 en 2011 op het Peasumerwad veroorzaakt wordt door variatie in een aantal schelpdiersoorten: het Nonnetje (*Macoma balthica*), de



Kokkel (*Cerastoderma edule*), Strandgaper (*Mya arenaria*) en de Slijkgaper (*Scrobicularia plana*). De kleine kreeftachtigen, waaronder de slijkgarnaal (*Corophium spec.*), tonen op het Peasumerwad een tijdelijke toename in 2011.

De sterke afname in de biomassa schelpdieren is van belang voor schelpdieretende vogels zoals bijvoorbeeld de Natura 2000-soorten Kanoet en Scholekster (Ens et al. 2009). Deze soorten laten al gedurende langere tijd een gestage negatieve aantalontwikkeling zien in de Waddenzee. Alleen de Kanoet heeft een positieve ontwikkeling doorgemaakt in de oostelijke Waddenzee en dus ook in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag. Dit ligt mogelijk aan de verbeterde voedselomstandigheden voor deze soort sinds het jaar 2000. Het Peasumerwad is rijk aan Nonnetjes en ten westen ervan liggen kokkelbanken (van Zweeden et al. 2013).

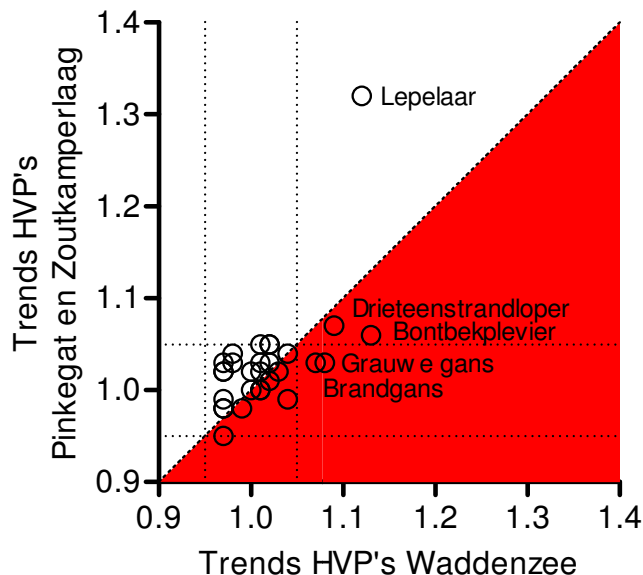
Ofschoon de gemiddelde ontwikkeling van de bodemdierensamenstelling op het Peasumerwad niet afwijkt van vergelijkbare gebieden in de Waddenzee (Compton et al. 2013), is het interessant na te gaan in hoeverre de afname in het schelpdierbestand op het Peasumerwad beïnvloed zou kunnen worden door bodemdaling. Onderzoek naar macrofauna in de Westerschelde laat bijvoorbeeld zien dat hoogteveranderingen effecten kunnen hebben op bodemdieren (Ysenbaerd & Herman, 2002). De auteurs tonen aan dat erosie leidt tot minder bodemdieren terwijl in sedimentatiegebieden het aantal bodemdieren frequent toe neemt. Hier moet wel bij vermeld worden dat de in deze studie gemeten hoogteverschillen zeer groot waren. Deze betrof decimeters tot meer dan 2 meter. Terwijl op het Peasumerwad de ophoging gemiddeld 20 centimeter in 7 jaar bedraagt. Tevens is erosie, waarbij de toplaag van het sediment wordt verwijderd, een ander proces dan bodemdaling waarbij het sedimentoppervlak in takt blijft. In het laatste geval zullen de meeste soorten niet reageren op de subtiele veranderingen in de gemiddelde overstromingsduur. Indicatief hiervoor is de brede verspreiding van de macrofauna t.o.v. het gemiddeld tij (Beukema et al. 2002).

Aangezien op het Peasumerwad sprake is van sedimentatie wordt juist een (beperkte) toename van de bodemdieren verwacht. De hoogteveranderingen op het Peasumerwad (Fig. 12) zijn nog te klein om tot significante veranderingen in de biota te leiden. Geconcludeerd kan worden dat de waargenomen afname in het schelpdierbestand op het Peasumerwad niet het gevolg is van bodemdaling door gaswinning.

### 3.1.6 Vogels op de HVP's

De afname van de schelpdieretende vogelsoorten Zilvermeeuw, Kanoet en Scholekster wordt niet geclassificeerd als sterk en de afnames vallen daarom niet op in figuur 16, waarin de resultaten van de trensanalyses zijn weergegeven. In de grafiek staat de ontwikkeling (r.c.) van de soorten in Pinkegat en Zoutkamperlaag weergegeven als functie van de aantalontwikkeling in de rest van de Waddenzee. De data is afkomstig uit Ens et al. (2014) en laat zien dat in veel gevallen de trends overeenkomen. Een aantal soorten vertonen een opvallend sterke toename: Brandgans, Grauwe gans, Drieteenstrandloper, Bontbekplevier, Kievit en de Lepelaar. De matige afname van de langlevende Scholekster houdt echter al zo lang aan dat de aantallen nu zeer ver onder het instandhoudingsdoel liggen. Er geldt dan ook een verbeteropgave voor deze soort.

## Vogeltrends



Figuur 16: Trendontwikkeling per soort voor vogelpopulaties in de Waddenzee, geteld bij hoogwater op HVP's. Op de y-as staan de trends voor HVP's binnen het gebied dat onder invloed staat van de waddenwinningen, t.o.v. de trends voor HVP-tellingen in de rest van de Waddenzee. Waardes nabij 1 geven aan dat er geen ontwikkeling is (zie tabel 2). Voor punten op de scheidslijn van het rode en witte vlak is de ontwikkeling in het beïnvloedinggebied en de rest van de Waddenzee gelijk. Voor soorten die opvallende ontwikkelingen (d.w.z. een sterke toe- of afname volgens de trendclassificatie van de NEM-meetnetten) laten zien zijn de soortnamen bij de punten getoond.

Tabel 2: Trendclassificatie voor NEM-meetnetten. De zwarte stippen zijn de berekende trendwaarden, de horizontale lijnen zijn de 95% betrouwbaarheidsintervallen (BI). Ook de beoordeling van de trend en het daarbij behorende symbool is weergegeven. Overgenomen uit Ens et al. 2014.

Beoordeling	Symbool	gemiddelde jaarlijkse verandering			Criteria (BI = betrouwbaarheidsinterval)	Omschrijving
		0,95	1,00	1,05		
<b>sterke toename</b> (strong increase)	++			—●—	ondergrens BI > 1,05	sign. >5% toename/jaar (verdubbeling in 15 jaar)
<b>matige toename</b> (moderate increase)	+			—●—	1,00 < ondergrens BI ≤ 1,05	sign. toename, maar niet zeker of deze >5% / jaar is
<b>stabiel</b> (stable)	0		—●—	—●—	BI omvat 1,00 maar ondergrens BI ≥ 0,95 en bovengrens BI ≤ 1,05	geen significante aantalsverandering
<b>matige afname</b> (moderate decline)	-	—●—	—●—		0,95 ≤ bovengrens BI < 1,00	sign. afname, maar niet zeker of deze >5% / jaar is
<b>sterke afname</b> (steep decline)	--	—●—			bovengrens BI < 0,95	sign. >5% afname/jaar (halvering in 15 jaar)
<b>onzeker</b> (uncertain)	?	—●—	—●—	—●—	BI omvat 1,00 en ondergrens BI < 0,95 of bovengrens BI > 1,05	BI te groot voor betrouwbare trendclassificatie

● = gemiddelde jaarlijkse verandering (bijv. 0,95 betekent dat de soort ieder jaar gemiddeld met 5% afneemt)  
— = betrouwbaarheidsinterval van de berekende gemiddelde jaarlijkse verandering

Een toename van de Grauwe gans is op meerdere plekken in Europa en ook langs de Russische kust waargenomen. De ca. 13000 broedparen die sinds enkele jaren in Nederland gevestigd zijn vormen een kleine fractie van de Europese/Aziatische populaties. Het aantal trekkende Grauwe ganzen dat in de Waddenzee overwintert neemt sinds 1990/91 sterk toe. In het Waddengebied boven de Peasumerlannen is die toename minder uitgesproken (ca.  $3\% \cdot \text{jr}^{-1}$ ). Het is mogelijk dat verruiging / natuurontwikkeling een positief effect heeft op de ganzenpopulatie (Ens et al. 2014).

De populatie Bontbekplevieren is de afgelopen jaren sterk gegroeid. De huidige aantallen liggen boven de in het Aanwijzingsbesluit Waddenzee aangegeven doelen. De oorzaak voor de positieve ontwikkeling van deze trekvogel wordt gezocht in het toegenomen broedsucces van de soort. De broedgebieden liggen in Noord Europa, ver buiten het Waddengebied (Ens et al. 2014).

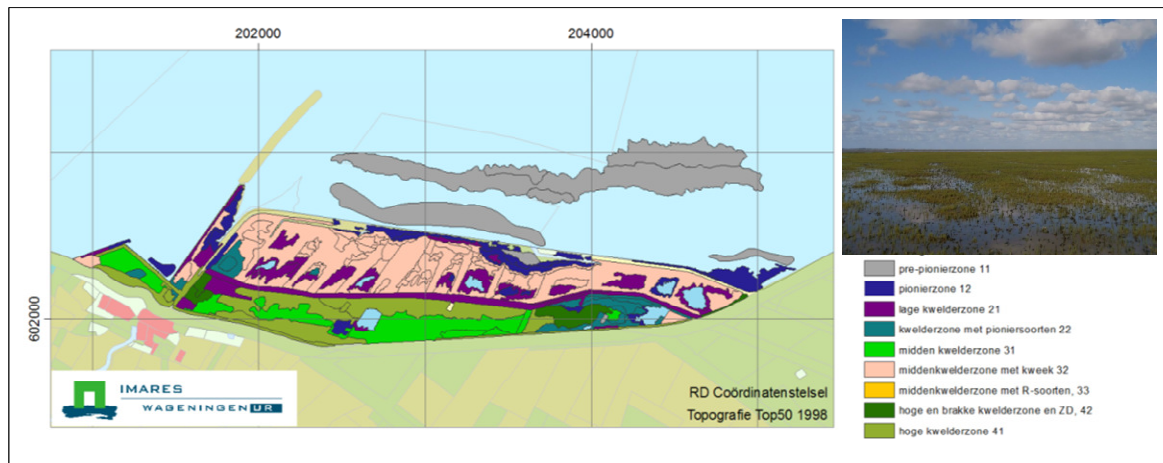
De Lepelaars die tijdens de hoogwatertelingen worden geteld behoren tot de Nederlandse broedpopulatie. De soort is als broedvogel in het Waddengebied sterk toegenomen. Sinds 1996 broedt hier meer dan de helft van de Nederlandse populatie. Het koloniseren van de Waddeneilanden wordt in verband gebracht met de afwezigheid van vossen op de eilanden.

Verreweg de meeste watervogels vertonen in de periode 1990/1991 – 2011/2012 een positieve dan wel negatieve trend in de Nederlandse Waddenzee. De richting van de trend in de kombergingen onder invloed van de MLV-winning is vaak, maar niet altijd, gelijk aan de trend elders in de Waddenzee. Er bestaan geen simpele verklaringen voor de waargenomen trends. Vrijwel zeker speelt een groot aantal factoren binnen en buiten de Waddenzee tegelijkertijd een rol, waaronder klimaatverandering, verandering in eutrofiëring, verstoring, schelpdiervisserij, toename van de Japanse oester etc. Bij sommige soorten lijkt sprake van een trendbreuk in het gebied onder invloed van de MLV-winning in vergelijking tot de controle gebieden, maar deze trendbreuk valt niet samen met het begin van die nieuwe gaswinningen. De Scholekster is de soort waarvoor de aantallen het verst onder het instandhoudingsdoel liggen en de aantallen blijven afnemen. De afname is echter ingezet ver voor het begin van de nieuwe gaswinningen en verschilt niet tussen het gebied onder invloed van de nieuwe gaswinningen en de controle gebieden.



### 3.2.1 Kweldervegetaties

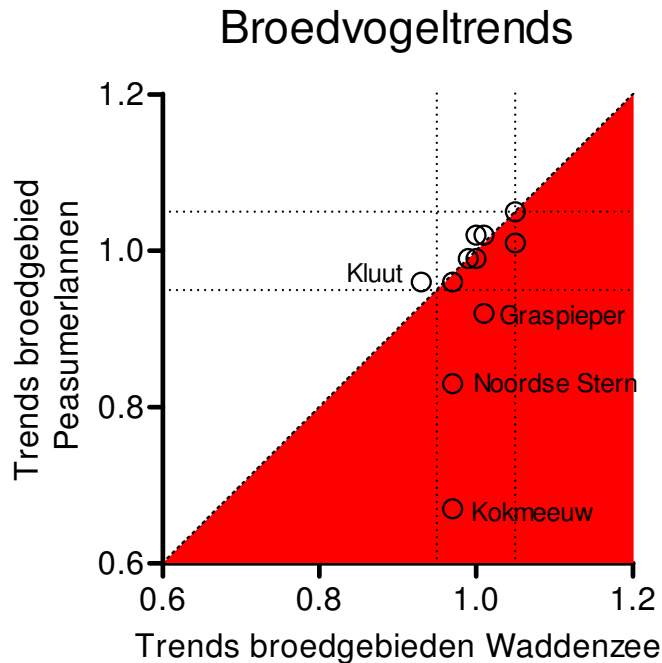
Voor de kwelder is een drietal habitattypes gedefinieerd in het Aanwijzingsbesluit Waddenzee. Dit zijn de 'Eenjarige pioniervegetaties van slik- en zandgebieden met *Salicornia* spp. en andere zoutminnende soorten' (H1310), de 'Schorren met slijkgrasvegetatie (*Spartinion maritimae*)' (H1320) en de 'Atlantische schorren (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*)' (H1330). Het habitatype met zilte pionierbegroeiingen, zoals *Zeekraal* is als matig ongunstig beoordeeld voor de Waddenzee als geheel. De Peasumerlannen is echter een snel opslibbende kwelder die grenst aan een opslibbend deel van het wad (Krol, 2014). De afgelopen 6 jaar is de pionierbegroeiing toegenomen en heeft de kwelder zich zeewaards sterk uitgebreid (Fig. 18). Ook het habitatype van schorren en zilte graslanden verkeert in een matig ongunstige staat van instandhouding in de Waddenzee. Deze kwaliteit wordt in sterke mate bepaald door de grotendeels afwezige variatie aan verschillende hoogtezones, geomorfologische vormen en beheervormen. Verlies aan variatie en biodiversiteit op de kwelders zijn het gevolg van successie en verhouding van het gebied (Dijkema et al. 2007). Los van de recente uitbreiding van de pionierzone is de rest van de Peasumerlannen aan successie en veroudering onderhevig. In de zomerpolder wordt intensief beweid met koeien en schapen. Bodemdaling onder de Peasumerlannen brengt de beschermde habitattypes niet in gevaar. Net als op de kwelder van Ameland kan bodemdaling lokaal regressie van de vegetatie veroorzaken, hetgeen bijdraagt aan de (bio)diversiteit op de kwelder. Andere instandhoudingsdoelen van de Waddenzee kwelders zijn de aantallen broedparen van bepaalde doelsoorten. Deze worden hieronder nader besproken.



Figuur 18: Vegetatiezonering op de Peasumerlannen in 2013. Opvallend is de sterk uitgebreide pre-pionierzone. Een foto daarvan is rechtsboven in de figuur zichtbaar. Deze figuur is overgenomen uit van Duin et al. (2014). Zie ook de foto op de omslag van dit rapport.

### 3.2.2 Broedvogels op de kwelder

De Peasumerlannen kan in drie delen worden onderverdeeld: de noordelijke zomerpolder, de zuidelijke zomerpolder en het buitendijkse deel. 40 jaar geleden is de dijk van de noordelijke zomerpolder bezweken en nooit gerepareerd, waardoor de zee veel invloed heeft in dit deel van het gebied. In de dijk die de noordelijke en de zuidelijke zomerpolder van elkaar scheidt zitten duikers. De kleppen in die duikers worden al jaren niet meer onderhouden waardoor met stormvloed zeewater naar binnen stroomt en ook de zuidelijke zomerpolder periodiek overstroomt. Ofschoon overstrooming de diversiteit van de kweldervegetatie en morfologie ten goede komt is dit nadelig voor het broedsucces van de broedvogels wanneer dit in het voorjaar en de zomer plaatsvindt.



Figuur 19: Trendontwikkeling per soort voor broedvogels in de Waddenzee, geteld bij op de kwelders. Op de y-as staan de trends voor de Peasumerlannen die binnen de bodemdalingsschotel valt van de gasvelden Moddergat en Nes, t.o.v. de trends voor kwelders in de rest van de Waddenzee. Waardes nabij 1 geven aan dat er geen ontwikkeling is (zie tabel 2). Voor punten op de scheidslijn van het rode en witte vlak is de ontwikkeling in het beïnvloedinggebied en de rest van de Waddenzee gelijk. Voor soorten die opvallende ontwikkelingen laten zien (d.w.z. een sterke toe- of afname volgens de trendclassificatie van het Netwerk Ecologische Monitoring) zijn de soortnamen bij de punten getoond.

Er worden ca. 20 soorten broedvogels in dit gebied waargenomen. Hiervan zijn de Scholekster, Tureluur en Graspieper het meest talrijk. In de sterk beweide zuidelijke zomerpolder komen slechts half zo veel broedparen voor als in de noordelijke zomerpolder (Ens et al. 2014). In figuur 19 is de trendmatige ontwikkeling van de broedvogels in dit gebied samengevat. Soorten die opvallend sterk zijn toe- of afgenomen zijn de Kokmeeuw, Noordse Stern, Graspieper, Krakeend en de Kluut. De Kluut vertoont als broedvogel een negatieve ontwikkeling in de Waddenzee, die ook in de Peasumerlannen wordt waargenomen. Voor de Noordse Stern, Kokmeeuw en Graspieper is de negatieve trend juist specifiek voor de Peasumerlannen. De sterke afname van de Kokmeeuw en Noordse Stern in dit gebied vond al plaats voor de start van de gaswinning; beide soorten zijn nagenoeg verdwenen als broedvogel. Als vermoedelijke oorzaak voor het verdwijnen van de Kokmeeuw wordt de sterke toename van het aantal vossen op het vasteland genoemd, waardoor ook elders kolonies op de vastelandkwelders verdwenen (Koffijberg et al. 2006). Voor de Noordse Stern heeft ook de sterke verruiging van de vegetatie waarschijnlijk een rol gespeeld. Het aantal broedparen Krakeenden in het gebied is zeer laag. Er zijn in 2013 2 broedparen in het gebied waargenomen. Sinds 2010 is er sprake van een afname in het gebied. Omdat deze aantallen zo laag zijn kan nog niet goed van een trendmatige ontwikkeling worden

gesproken. De Krakeend, Kokmeeuw en Graspieper zijn niet als doelsoorten in het aanwijzingsbesluit Waddenzee opgenomen. Kluut en Noordse Stern zijn dat wel.

### 3.3 Het Lauwersmeergebied

#### 3.3.1 Bodemdaling onder het Lauwersmeergebied

Diepe bodemdaling onder het Lauwersmeergebied wordt voor het grootste deel veroorzaakt door de productie uit het Anjum gasveld. Deze productie is gestart in 1997 en de hierdoor ontstane bodemdaling bedraagt ca. 10 centimeter op het diepste punt. Naast Anjum zijn er kleinere velden ten zuidoosten van de Lauwersmeer in productie, zoals Munnekezijl, Houwerzijl, Saaksum-West. In het kader van de MLV-winningen die in 2006 zijn gestart, is een aantal velden in productie genomen ten noorden, noordwesten en oosten van het gebied, vanaf de locaties de Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (Fig. 1). De sinds 2006 opgetreden bodemdaling in het gebied bedraagt ca. 3 centimeter bij Anjum en nul tot 2 centimeter onder de rest van het gebied. In de voorspelde eindsituatie (2050) is er maximaal 8 centimeter bij Anjum bijgekomen, een totaal van 18 cm (NAM, 2014).

#### 3.3.2 Ecologische effecten van bodemdaling

Op de platen en lobben van het Lauwersmeergebied treedt geen sedimentatie op die het effect van bodemdaling teniet doet. Bodemdaling door gaswinning is hierdoor meetbaar aan het maaiveld. Dit kan er lokaal toe leiden dat de grondwaterstand dicht bij het maaiveld komt te liggen waardoor het drassiger wordt. Vernatting kan veranderingen in de biochemische condities tot gevolg hebben, door een geringere beschikbaarheid van zuurstof in de bodem, verminderde mineralisatie en wijzigingen in lokale grondwaterstromen. Daarmee beïnvloedt dit de ontwikkeling van de vegetatie in het gebied. In een deel van het gebied komt brak grondwater voor, tot dicht onder het maaiveld. Op deze locaties leidt vernatting door bodemdaling in theorie tot meer zoute invloed op de vegetatie. Vernatting heeft niet alleen invloed op vegetatie. Ook voor dieren kan vernatting leiden tot verschuivingen van hun leefgebied. Dit geldt bijvoorbeeld voor muizen die in de bodem leven. Geen effecten worden verwacht op het meer zelf.

#### 3.3.3 Natuurdoelstellingen en monitoring Lauwersmeergebied

Het Lauwersmeergebied is aangewezen als vogelrichtlijngebied. De instandhoudingsdoelen betreffen de draagkracht van het gebied voor aantallen vogels en broedparen van bepaalde soorten. Voor het Lauwersmeergebied zijn geen beschermde habitattypen geformuleerd. De draagkracht voor vogelsoorten wordt vertaald in vegetatiestructuur die geschikt is om te foerageren of te broeden. In het nieuwe monitoringprogramma 2014-2019 zal ook naar de voedselbron voor enkele roofvogels gekeken gaan worden.

In het kader van de Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen winning is een monitoringprogramma opgesteld met als doel het monitoren van de Natura 2000-doelen evenals het volgen van de ontwikkelingen in waardevolle en moeilijk vervangbare plantgemeenschappen. Tot en met 2013 bestond de monitoring uit twee onderdelen, vegetatieontwikkeling in het noordelijk deel van de Lauwersmeer en ontwikkeling van vogelpopulaties, waarbij de integratie tussen beide onderdelen gering was. Voor de komende monitoringperiode worden ook de zuidelijke platen in de Lauwersmeer in het onderzoek betrokken en wordt de integratie tussen beiden onderdelen te verbeteren.



De vegetatiemonitoring bestaat uit gedetailleerde vegetatieopnames in permanente kwadraten (PQ's) en transectmetingen. Het doel van de transectmetingen is die elementen in de vegetatiestructuur te monitoren die voor vogelsoorten van belang kan zijn. De PQ-monitoring vindt plaats langs de transecten en heeft als doel om de veranderingen in de vegetatiestructuur te kunnen verklaren. Bij de PQ's worden daarom ook metingen verricht aan het abiotische systeem, zoals grondwaterstand, -chemie en bodemchemie (Bijkerk en Buijs, 2014).

De (broed)vogelpopulaties van het Lauwersmeergebied worden in een aantal deelgebieden jaarlijks vastgesteld in de zgn. BMP-proefvlakken. In deze integrale beoordeling van de monitoringresultaten worden de resultaten van de BMP-monitoring gerelateerd aan die van de PQ-monitoring en transect-karteringen. Deze vergelijking van de resultaten van verschillende programma's is nog niet optimaal omdat de verschillende monitoringen op verschillende ruimtelijke schaal- en detailniveau's zijn uitgevoerd. De PQ-monitoring volgt de veranderingen in een beperkt aantal specifieke locaties die zodanig zijn gekozen dat effecten op specifieke plantengemeenschappen gevolgd kunnen worden (Bijkerk en Buijs, 2014). De transecten dekken slechts een deel van aanwezige variatie in een deelgebied. De broedvogelkarteringen volgen de totale ontwikkeling van de broedvogelpopulatie in een deelgebied, maar de relatie tussen broedvogels en de ruimte die ze gebruiken is globaal: Zo geeft een broedvogelterritoriumkaart niet aan welk struikje door welke vogel(s) wordt gebruikt, maar hoe ver de territoria uit elkaar liggen.

### 3.3.4 Grondwater, bodemontwikkeling en vegetatie

Over de meetperiode 2007 - 2013 zijn grote verschillen gemeten in grondwaterstanden tussen locaties. Dit betreft zowel de absolute standen t.o.v. het maaiveld als de mate van fluctuatie. Het grondwaterstandsverloop in 2013 was minder grillig dan in 2012 en vergelijkbaar met 2011 en de daaraan voorgaande jaren. Fluctuaties in de grondwaterstanden zijn het sterkst in het zuidelijk deel van de Bantswal en de Zuidelijke Lob (177 tot 216 cm), en het geringst in het (bemalen en nooit geïnundeerde) Terreintje van Juffrouw Alie (107 cm) en centraal op De Rug (102 cm).

De grondwaterstand wordt vooral bepaald door regenval en verdamping. Deze factoren bepalen mede de waterstand in het Lauwersmeer, zodat deze waterstand, statistisch gezien, geen invloed heeft op de grondwaterstand (fluctuaties) op de voormalige platen. Ook is er nog geen sprake van een trendmatige verhoging van de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld, die je bij bodemdaling zou verwachten.

De monitoring van de vegetatie is voornamelijk gericht op waardevolle vegetaties als basenminnende duinvalleivegetaties, zilte pioniervegetaties en soortenrijke overstromingsgraslanden. Duinvallei-soorten nemen in de PQ's op De Rug, waar de bedekking al hoog was, verder in bedekking toe, maar op de Bantswal lijkt sprake van een geringe afname. Kweldersoorten, en met name Zilte rus, namen van 2007 t/m 2012 toe in bedekking binnen de zilte pioniervegetaties en de overstromingsgraslanden met Aardbeiklaver. De nog sterker aan zilte omstandigheden gebonden soorten als Kortarige zeekraal en Schorrekruid veranderden binnen de PQ's weinig in bedekking. In 2013 is de gemiddelde totale bedekking aan kweldersoorten weer nagenoeg gelijk aan de situatie in 2007, vooral door de teruglopende bedekking van Zilte rus.

Het beheer van de onderzochte terreinen is in de afgelopen vijf jaren niet noemenswaardig veranderd. Ook de begrazingintensiteit is, waar van toepassing, vrijwel gelijk gebleven. Wel zijn sinds eind 2010 in de winterperiode geen Hooglanders meer ingeschaard, wat daarvoor wel gebeurde.

Over het algemeen treden er soms tijdelijke verschuivingen op in de bedekking van indicatorgroepen. Van een relatie met bodemdaling is hier vooralsnog geen sprake. Ook de grondwaterstanden laten, gecorrigeerd voor verdamping en neerslag, een tamelijk stabiel beeld zien, zonder verband met bodemdaling (Bijkerk & Buijs, 2014).

### 3.3.5 Groepen broedvogelsoorten

Op basis van het monitoringprogramma 2006-2012 zijn er drie deelgebieden waarin de broedvogelmonitoring goede overlap vertoont met de vegetatiemonitoring. Dit zijn de Bantswal, de Zuidelijke Lob en de Rug. In de onderstaande paragrafen worden resultaten van de BMP-kartering van deze deelgebieden met de resultaten van de PQ-monitoring vergeleken.

Met als doel de ontwikkeling van de broedvogelaantallen te relateren aan de instandhoudingsdoelen van het gebied, zijn soorten samengevoegd tot soortgroepen. Voor deze soortgroepen zijn vervolgens trends in aantallen broedparen bepaald voor de jaren 2005 t/m 2012. Het gaat hierbij om Natura 2000-soorten, broedvogels van de Rode Lijst, roofvogels, kolonievogels en enkele voor het beheer relevante soorten zoals de Grauwe Gans (Kleefstra & de Boer 2012). Aanvankelijk werd gewerkt met de Rode Lijst van bedreigde soorten en Blauwe Lijst van belangrijke soorten in Nederland (Osieck & Hustings 1994). Met ingang van 2005 werd de nieuwe Rode Lijst van de Nederlandse broedvogels van kracht (van Beusekom *et al.* 2005), waarmee de set van meetsoorten uitbreidde met o.a. Veldleeuwerik en Graspieper. Dit zijn relatief talrijke soorten in het Lauwersmeergebied. Van deze uitgebreidere set van meetsoorten uit de periode 2005-2012 zijn broedvogels geselecteerd die tot broeden komen op de noordelijke platen van het Lauwersmeer (de Rug, Zuidelijke Lob en Bantswal). Voor een analyse per type leefgebied zijn deze samengevoegd tot ecologische soortgroepen, waarbij afgeweken wordt van de soortgroepenindeling van Sierdsema (1995) en meer gebiedsspecifieke groepen zijn samengesteld op basis van de beschikbare data. Een kanttekening daarbij is dat de Scholekster pas sinds 2007 integraal wordt gekarteerd in het Lauwersmeer, waardoor de trendberekening voor die soort en de soortgroep waartoe deze gerekend wordt een korter tijdsbestek beslaat. In de onderstaande paragrafen worden de gekozen soortgroepen nader toegelicht

#### Pioniersoorten

Het betreft hier soorten die gebonden zijn aan de laaggelegen terreindelen met een hoge milieudynamiek zoals open pioniervegetaties, korte vegetatie, drooggevallen slikkige terreindelen en schelpenbanken. Voor de trendberekeningen zijn Scholekster, Kluut en Bontbekplevier samengevoegd tot deze soortgroep. Van de Natura 2000-soorten, waarvoor instandhoudingsdoelstellingen zijn geformuleerd, behoort ook de Noordse Stern tot deze groep. In de eerste 20 jaar na de afsluiting van de voormalige Lauwerszee was deze soortgroep, waarvan destijds ook grote aantallen Sterns deel uitmaakten, uiterst talrijk (Altenburg *et al.* 1985). In de laatste monitoringperiode (1999-2012) blijken de aantallen uiterst laag en komen veel soorten niet meer voor, zoals ook de in kolonies broedende meeuwen. In het gebied zijn met name de noordelijke, open platen voor deze groep soorten nog van enig belang. Zo ook de Ezumakeeg, waar het droogvallen van ondiepe terreindelen de soorten gelegenheid tot broeden biedt.

#### Soorten van grazige vegetaties

Bij grazige vegetaties gaat het om lage vegetaties, nat tot vochtig en structuurrijk grasland. Voor de trendberekeningen zijn de 'weidevogels' Grutto, Tureluur, Veldleeuwerik en Graspieper geselecteerd. Van de Natura 2000-soorten in het Lauwersmeer behoort ook de Kemphaan tot deze groep. Hoewel de Kluut hiervoor ingedeeld is in de groep van pioniersoorten maken ook zij gebruik van dit habitat.

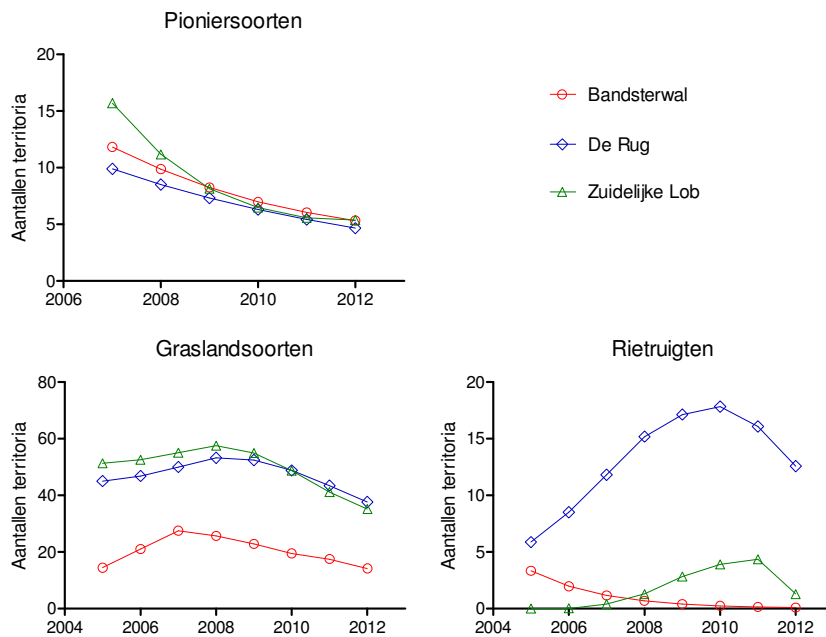
Grazige vegetaties die van belang zijn voor weidevogels – Veldleeuwerik en Graspieper in het bijzonder – zijn vooral te vinden op de noordelijke (Rug, Zuidelijke Lob) en oostelijke platen (Zuidelijke Ballastplaat, Pampusplaat, Schildhoek). In het zuidelijke deel neemt grazig gebied onder invloed van begrazing toe, waaronder op de Zoutkamperplaat en Blikplaat (Kleefstra & de Boer 2012).

#### Soorten van rietruigten

Het betreft hier soorten van vochtige tot natte ruigten met duinrietvegetaties, afgewisseld met opslag van lage struwelen. Voor de trendberekening is gebruik gemaakt van de reeksen van Blauwborst (Natura 2000-soort), Paapje, Roodborsttapuit en Kneu op de noordelijke platen. Tot deze groep kunnen ook Natura 2000-soorten als Grauwe Kiekendief, Velduil en Rietzanger gerekend worden. Soorten van (riet)ruigten en lage struwelen zijn tamelijk schaars op de noordelijke platen, maar bereiken elders in het Lauwersmeergebied hoge dichtheden, zoals in het zuidelijke deel.

### 3.3.6 Broedvogeltrends

De trends in het aantal broedvogelterritoria per soortgroep staan in figuur 20. Hierin is het aantal territoria per deelgebied uitgezet tegen de tijd. In alle drie deelgebieden is het aantal pioniersoorten afgenomen met ca. 50%. De aantallen graslandvogels verschillen tussen de deelgebieden: in de Bantswal broeden veel minder graslandvogels dan in beide andere deelgebieden. De trend in het aantal graslandvogels is echter vergelijkbaar: eerst een lichte toename, gevolgd door een geleidelijke afname. In Bantswal en De Rug broedden in 2012 ongeveer evenveel graslandvogels als in 2005, maar in de Zuidelijke Lob zijn het er iets minder in 2012.



Figuur 20: Aantalontwikkeling van territoria / nesten voor drie soortengroepen (pioniersoorten, grasland en rietruigten) in de drie deelgebieden Bantswal, de Rug en de Zuidelijke lob.

Het aantal broedvogels van rietruigten is in De Rug sterk toegenomen van 2005 tot 2010 om daarna weer iets af te nemen. Ook in de Zuidelijke Lob zijn deze soorten toegenomen. Hier zijn ze nieuw verschenen vanaf 2007. In de Bantswal is de

ontwikkeling omgekeerd: hier zijn ze afgenomen en werden ze vanaf 2010 niet meer gekarteerd. Per deelgebied beschouwd, betekent dit dat in de Bantswal zowel het aantal broedvogels van pionierssituaties als het aantal broedvogels van rietruigten is afgenomen, terwijl het aantal broedvogels van graslanden eerst iets is toegenomen, om daarna weer tot het startniveau te dalen.

In de Rug zijn de pioniersoorten achteruitgegaan, terwijl de graslandvogels eerst licht zijn toegenomen om vervolgens af te nemen tot onder het aantal aan het begin van de reeks. De broedvogels van rietruigten zijn hier aanzienlijk toegenomen.

In de Zuidelijke Lob is een vergelijkbare verschuiving opgetreden als in de Rug. In de Zuidelijke Lob is de afname van pioniersoorten echter sterker, net als de uiteindelijke daling van het aantal graslandbroeders. Opvallend genoeg heeft dit niet geleid tot een sterkere toename van de rietruigtesoorten: deze zijn nieuw verschenen, maar in bescheiden aantallen.

### 3.3.7 Vegetatietypen voor broedvogels

In paragraaf 3.3.3 is beschreven dat de vegetatiemonitoring langs transecten en in permanente kwadraten (PQ's) plaatsvindt. Hiertoe wordt per soort (mossen en vaatplanten) genoteerd hoeveel ze voorkomt, aan de hand van een gecombineerde aantal- en bedekkingschaal. Per PQ-opname is ook een vegetatietype bepaald (Bijkerk *et al.* 2014). De onderscheiden typen zijn:

- Duinvalleivegetaties (Dv). Op De Rug kenmerken deze zich door het voorkomen van Zeegroene zegge (*Carex flacca*), Parnassia (*Parnassia palustris*) en Knopbies (*Schoenus nigricans*). Ook Vleeskleurige orchis (*Dactylorhiza incarnata*) en Rietorchis (*Dactylorhiza majalis* subsp. *praetermissa*) komen regelmatig voor. In de Bantswal zijn de duinvalleivegetaties fragmentair ontwikkeld.
- Zilte pioniervegetaties (Zp). Kortarige zeekraal (*Salicornia europaea*) en/of Gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*) kenmerken deze vegetaties. Een enkele keer ontbreken deze soorten, maar dan is er sprake van zeer open vegetaties waarin Melkkruid (*Glaux maritima*) en/of Zilte rus (*Juncus gerardii*) domineren.
- Overstromingsgraslanden met Aardbeiklaver (*Trifolium fragiferum*) en Zilte zegge (*Carex distans*) (Oa). Indien Aardbeiklaver ontbreekt, hebben Zilte zegge, Melkkruid en Zilte rus nog een wezenlijk aandeel in de vegetatie. Soms zitten er overgangen bij naar de associatie van Zilte rus.
- Overige overstromingsgraslanden (Oo). Hierin ontbreken Aardbeiklaver en Zilte zegge. Melkkruid en Zilte rus kunnen voorkomen, maar in lage bedekkingen. Ook soorten als Behaarde boterbloem (*Ranunculus sardous*) kunnen voorkomen.
- Overige graslanden (Go). Dit is een restgroep van PQ's die moeilijk in bovengenoemde typen kunnen worden ingedeeld. Het betreft Kamgrasweiden, waar ook Zilte zegge in voor kan komen, en grasland met een aspect van Riet (*Phragmites australis*) en Duinriet (*Calamagrostis epigejos*).

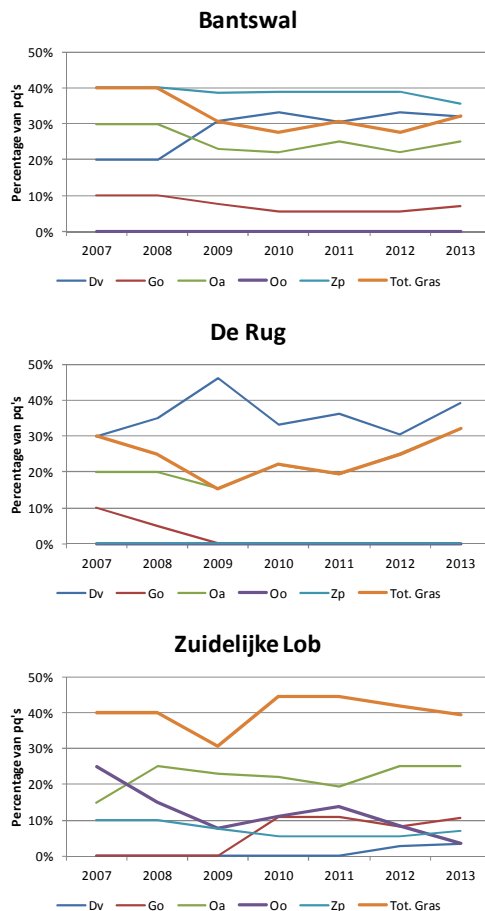
De Zilte pioniervegetaties corresponderen min of meer met het broedbiotoop van de broedvogels van pioniersituaties. De graslandbroedvogels zullen (ondermeer) broeden in de drie graslandtypen (Oa, Oo en Go). In het broedbiotoop van de vogels van rietruigten zijn geen PQ's aanwezig. De PQ's zijn in duplo uitgelegd, zodat steeds 2 PQ's sterk op elkaar lijken. De PQ's zijn vooral uitgelegd in lage vegetaties en in vegetaties met bijzondere of gevoelige plantensoorten. Zoals ook blijkt uit de beschrijving van de onderscheiden typen, heeft dit tot gevolg dat niet alle in de deelgebieden aanwezige broeiingtypen vertegenwoordigd zijn in de PQ's. Verder zijn in de loop van de

monitoring PQ's bijgeplaatst, deels om meer ruimtelijke dekking te krijgen en deels om door vee vertrapte PQ's te vervangen.

Om de vegetatiekenmerken te vergelijken met de broedvogeltrends kiezen we voor twee benaderingwijzen. In eerste instantie kijken we naar het vegetatietype van de gehele PQ. Als er verschuivingen optreden van bijvoorbeeld zilte pioniervegetaties (Zp) naar graslandvegetaties (Dv, Oa, Oo, Go), dan kan dat van belang zijn voor de geschiktheid als broedbiotoop. Als maat nemen we het percentage van de PQ's dat per deelgebied tot de (grove) vegetatietypen wordt gerekend. We vergelijken de resultaten van de PQ-monitoring met die van de BMP, door per deelgebied het percentage van de PQ's dat tot een vegetatietype is gerekend uit te zetten in de tijd. Daarnaast kijken we naar verschuivingen van enkele afzonderlijke soorten(groepen) binnen de PQ's.

### 3.3.8 Vegetatietypen per deelgebied

In figuur 21 staat de ontwikkeling van het percentage PQ's per vegetatietype. De graslandtypen (Go, Oa, en Oo) zijn afzonderlijk weergegeven én samengenomen tot Tot. Gras. In de Rug komt Tot. Gras vanaf 2010 overeen met Oa, omdat dan geen andere graslandtypen meer aanwezig zijn.



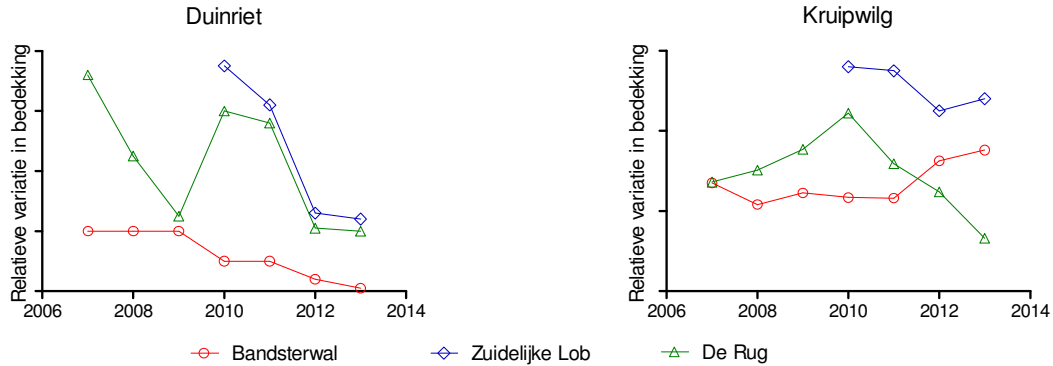
Figuur 21: Vegetatieontwikkeling per deelgebied, uitgedrukt als % van de PQ's per vegetatietype. Dv = duinvalleivegetatie, Oa = overstromingsgraslanden met Aardbeiklaver, Oo = overige overstromingsgraslanden, Go = overige graslanden, Zp = zilte pioniervegetaties, Tot.Gras = de som van Oa, Oo en Go.

### 3.3.9 Correlatie vegetatie- en broedvogel ontwikkeling

In de Bantswal correspondeert de opgetreden afname van pionierbroedvogels niet met een afname van zilte pioniervegetaties: het percentage PQ's met zilte pioniervegetaties is min of meer gelijk gebleven. Ook de toename van graslandbroedvogels gevolgd door afname tot het initiële niveau, correspondeert niet met de afname van het percentage grasland-PQ's. De lichte afname van rietruigebroeders is niet te correleren aan de verdeling over de vegetatietypen omdat er binnen de (nauwelijks aanwezige) rietvegetaties geen PQ's liggen. Dit geldt ook voor de Rug en de Zuidelijke Lob. In de Rug zijn geen PQ's met zilte pioniervegetaties aanwezig, zodat de ontwikkeling van de bijbehorende groep broedvogels niet te correleren is aan een percentage zilte pioniervegetaties. De lichte toename, gevolgd door afname van graslandbroedvogels is tegengesteld aan de ontwikkeling van het aantal grasland-PQ's: eerst een afname, gevolgd door een toename. In de Zuidelijke Lob lijkt de afname van pionierbroedvogels te corresponderen met de afname van het aandeel PQ's met zilte pioniervegetaties. De afname van graslandbroeders correspondeert echter niet met het rond 40% schommelende aandeel PQ's met graslandvegetatie.

De afwezigheid van PQ's in rietruigten raakt aan een methodologische beperking van het gebruik van PQ-data ter vergelijking met broedvogelterritoria. De PQ's geven detail-info over specifieke plekken en zijn met een ander doel uitgelegd. Daardoor geven de PQ-data nu geen representatief beeld van de ontwikkeling binnen alle plantengemeenschappen in een deelgebied, maar vooral van de plantengemeenschappen met een hoge botanische waarde. Omdat geen PQ's zijn uitgelegd in rietvegetaties en rietruigten schetsen we de verruiging per deelgebied aan de hand van de ontwikkeling van een aantal indicatieve soorten. Hiertoe zetten we de gemiddelde abundantie van deze soorten per PQ uit in de tijd. PQ's waarin de soorten in de gemonitorde periode niet voorkwamen, worden hierbij niet beschouwd. De beschouwde soorten zijn de 'verruigingssoorten' Kruipwilg en Duinriet. In figuur 22 staat de ontwikkeling van Kruipwilg en van Duinriet per deelgebied.

In de Bantswal is het aantal broedvogels van rietruigten licht gedaald, wat nog het best overeenkomt met de afname van Duinriet. Dit betreft echter een ontwikkeling in één PQ (één van een duplo). Dat zet vraagtekens bij de representativiteit van deze trend. Kruipwilg kwam in meerdere PQ's voor, maar is toegenomen. Deze trend correleert niet met de broedvogeltrend. In de Rug is het aantal broedvogels van rietruigten sterk toegenomen. Duinriet was in deze periode echter min of meer stabiel in de meeste PQ's, en nam af in de PQ's waarin deze soort het meest abundant was. Dat correleert dus niet met de broedvogeltrend. Ook de ontwikkeling van Kruipwilg vertoont geen eenduidige toename: in veel PQ's is ze min of meer constant, en er zijn meer PQ's waarin ze afneemt, dan waarin ze toeneemt. In de Zuidelijke Lob zijn broedvogels van rietruigten geleidelijk toegenomen tot en met 2011, om in 2012 weer wat af te nemen. Dit correspondeert enigszins met de ontwikkeling van Kruipwilg in dit deelgebied.

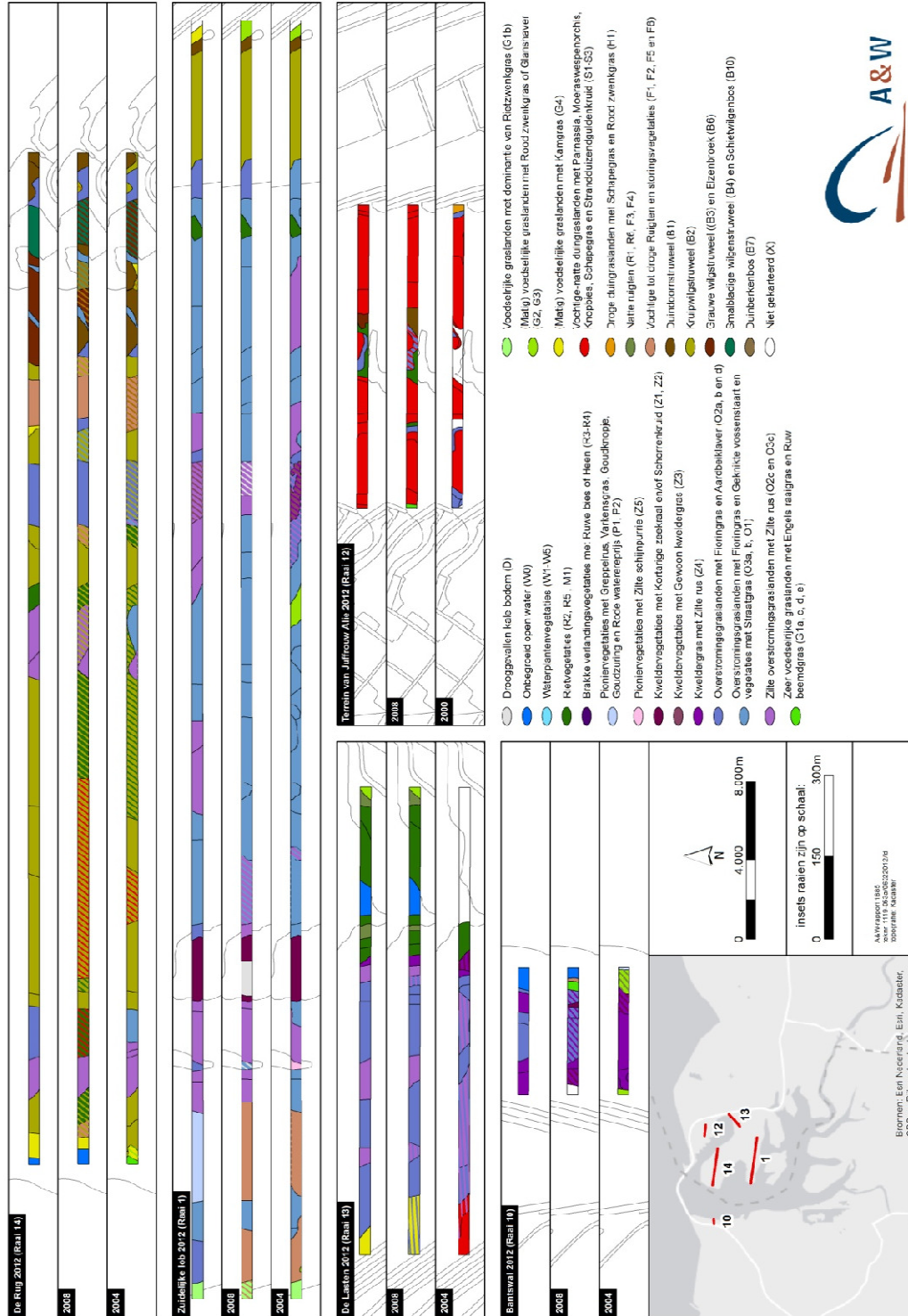


Figuur 22: Ontwikkeling van Kruiwilg en Duinriet per deelgebied. Alleen PQ's waarin Kruiwilg op enig moment is waargenomen zijn weergegeven. Ontwikkeling van Duinriet per deelgebied. Alleen PQ's waarin Duinriet op enig moment is waargenomen zijn weergegeven.

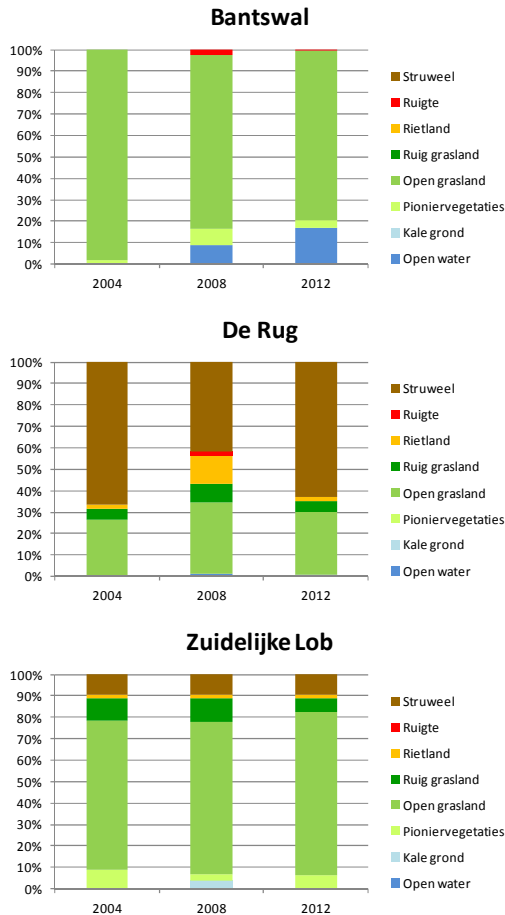
### Vegetatietransecten

Op verschillende plaatsen is de vegetatie in 2004, 2008 en 2012 vastgelegd langs transecten. In figuur 23 staat de ligging van de transecten en de vegetatieontwikkeling per transect. Hier staan ook de resultaten voor transecten in de deelgebieden de Lasten en het Terrein van Juffrouw Alie; deze gebieden worden verder buiten beschouwing gelaten. De vegetatieontwikkeling in de Bantswal, de Rug en de Zuidelijke Lob is vereenvoudigd weergegeven in figuur 24. Hier zijn de vegetatietypen in figuur 22 samengenomen tot biotopen. De broedvogels van pioniersituaties zullen vooral broeden in op kale grond en in pioniervegetaties. De graslandbroedvogels broeden vooral in het open grasland en, wellicht in mindere mate, in het ruige grasland. De broedvogels van rietruigte broeden in de biotopen riet, ruigte, deels ook in de ruige graslanden en langs de randen van de struwelen.





Figuur 23: Vegetatieontwikkeling in de verschillende trajecten. De ligging van de transecten is aangegeven in het inzetkaartje.



Figuur 24: Vereenvoudigde weergave van de vegetatieontwikkeling langs de transecten in de Bantswal, De Rug en de Zuidelijke Lob. De hier weergegeven biotopen zijn samenvoegingen van vegetatietypen uit figuur 22.

Vergelijking van de ontwikkeling van de biotoopaandelen in figuur 24 lijkt deels overeen te komen met de ontwikkeling in broedvogelaantallen. De afname van pionierbroedvogels in de Bantswal strookt niet met de toename van dit biotoop in het transect. De toename van graslandbroeders in 2005 t/m 2007 komt niet overeen met de afname van (open) grasland in deze periode. In 2008 t/m 2012 nemen zowel het aandeel grasland als de broedvogels van dit biotoop af. De afname van het, zeer geringe, aantal rietruigtevogels gaat niet gepaard met een afname van dit biotoop in het transect. Het geringe aandeel van deze broedvogels, lijkt wel min of meer overeen te stemmen met het beperkte voorkomen van dit biotoop in het transect.

In de Rug was veel meer struweel aanwezig dan in de beide andere gebieden. In 2008 was bovendien een aanzienlijk deel ruigte en ruige graslanden aanwezig. Dit lijkt overeen te stemmen met zowel het aantal rietruigtevogels, dat groter is dan in beide andere deelgebieden, als met de ontwikkeling hiervan: mogelijk betekent de toename van 2005 t/m 2010 dat het areaal ruigte nog tot 2010 toenam. Dan is het pas daarna afgenomen tot het niveau dat in 2012 werd gekarteerd. De ontwikkeling van de graslandbroedvogels lijkt overeen te komen met de ontwikkeling van het aandeel open grasland. De afname van pionierbroedvogels kan echter niet verklaard worden aan de hand

van de transectgegevens, aangezien binnen het transect geen pioniervegetaties of open grond aanwezig waren.

De afname van pioniervogels in de Zuidelijke Lob lijkt min of meer overeen te komen met de geleidelijke afname van pioniervegetaties en kaal zand. Vooral kaal zand zou hier een rol kunnen spelen, aangezien dit broedgelegenheid kan bieden voor koloniebroeders. Kaal zand werd alleen in 2008 gekarteerd. De geleidelijke toename en daarna de afname van graslandvogels wordt niet geflankeerd door een vergelijkbare ontwikkeling van het areaal grasland. Hetzelfde geldt voor de lichte toename van rietruigtebroeders.

In grote lijnen lijken de vegetatiestructuur en daarbij horende groepen vogelsoorten overeen te komen: de Rug wordt bewoond door een veel groter aantal rietruigtevogels dan de overige gebieden, wat overeenkomt met een groter oppervlak en aandeel aan ruigten en struwelen in de transecten. In hetzelfde gebied waren echter ook broedvogels van pioniercondities aanwezig, terwijl dat biotoop ontbreekt in het transect. In de Bantswal kan de afname van pioniervogels niet verklaard worden door het aandeel pionierbiotoop in het transect. Het veel geringere aantal graslandbroedvogels in Bantswal dan in de beide andere gebieden kan niet verklaard worden door het aandeel open grasland in het transect. Vermoedelijk speelt hier het totale areaal per deelgebied een rol, los van het aandeel per transect.

#### 4 Eindconclusies

De bodemdalingsnelheid onder de Waddenzee door de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen blijft ruim binnen de toegestane gebruikruimte. Aan de hand van de wadhoogtemetingen en sedimentatiemetingen wordt dan ook geen afname van de wadhoogte of het plaatareaal/ droogvalduur gemeten. Ook de sedimentsamenstelling op het Peasumerwad wijkt niet af van de omgeving waar geen diepe bodemdaling optreedt. De bodemdieren op het Peasumerwad tonen een afname van de biomassa tweekleppige schelpdieren, gevolgd door een sterke toename in 2012. Dit wordt ook gevonden in het bredere Pinkegat en Zoutkamperlaag en in de rest van de Waddezee. Deze verandering is niet gerelateerd aan erosie of bodemdaling om dat de veranderingen in wadplaahtoogte te gering is en bovendien positief. De aantalonontwikkeling van schelpdieretende vogels zoals de Scholekster, Kanoet en Zilvermeeuw lijkt niet op deze fluctuaties te reageren.

De kwelder Peasumerlannen toont een hoge sedimentatie en heeft een groeiende pionierzone ontwikkeld. De opslibbing van de kwelder is op nagenoeg alle locaties hoger dan de huidige zeespiegelstijging- en bodemdalingsnelheid. Op de kwelder is dan ook bijna overal sprake van successie. De broedvogels op de kwelder zijn sterk afgenomen. Vooral de koloniebroeders zoals de Noordse Stern en Kokmeeuw zijn nagenoeg verdwenen. Deze afname is van voor 2006 en wordt o.a. aan de opkomst van de vossenpopulatie geweten.

In het Lauwersmeergebied correleren de waargenomen variaties in de grondwaterstand, -chemie en bodemchemie niet met de verspreiding van de bodemdaling door gaswinning. Ook worden er geen consistente veranderingen in de vegetatie waargenomen. Variaties in de vegetatiestructuur die van belang is voor bepaalde groepen broedvogels tonen ruimtelijk globale correlaties, maar niet in temporele zin. Waarschijnlijk zijn de veranderingen hiervoor te klein en was de overlap tussen de vegetatie en broedvogelmonitoring te beperkt. Voor het Lauwersmeergebied

worden nog geen effecten van de sinds 2006 gestarte bodemdaling door gaswinning waargenomen.

Op basis van het 7<sup>de</sup> monitoringjaar kan geconcludeerd worden dat de bodemdaling van de waddenwinningen in zowel de Waddenzee als het Lauwersmeer voorsnog geen effecten heeft gehad op de natuurwaarden en instandhoudingsdoelen. Dit is in lijn met de waarnemingen en de daaruit getrokken conclusies van de monitoring sinds 2007.

## Literatuur

- Altenburg W., Beemster N., van Dijk K., Esselink P, Prop D. & Visser H. 1985. Ontwikkelingen van de broedvogelbevolking van het Lauwersmeer in 1978-83. *Limosa* 58: 149-161.
- Andersen T. J., M. Pejrup (2001) Suspended sediment transport on a temperate, microtidal mudflat, the Danish Wadden Sea. *Marine Geology* 173 (1-4), 69-85
- Arentz L., en Vroom (2014) Analyse Lidar data voor Het Friesche Zeegat (2010-2013). Monitoring effect bodemdaling door gaswinning. Deltares rapport.
- Austen I, T.J. Andersen, K. Edelvang (1999) The Influence of Benthic Diatoms and Invertebrates on the Erodibility of an Intertidal Mudflat, the Danish Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49, 99-111
- Bartholdy J., D. Anthony (1998) TIDAL DYNAMICS AND SEASONAL DEPENDENT IMPORT ANDEXPORT OF FINE GRAINED SEDIMENT THROUGH A BACK BARRIER TIDAL CHANNEL OF THE DANISH WADDEN SEA. Society for Sedimentary Geology (SEPM) Special Publication No 61 ISBN 1 56576 059 X
- Belle, J. van 2014. Vegetatieontwikkeling en broedvogelontwikkeling in het Lauwersmeer. A&W-notitie 2129lav-1. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- 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
- Beusekom R. van, Huigen P., Hustings F., de Pater K. & Thissen J. 2005. Rode Lijst van de Nederlandse broedvogels. Tirion Uitgevers BV, Baarn.
- Bijkerk, W., R. Bakker & R. Buijs 2014. Monitoring effecten van bodemdaling op vegetatie in de Lauwersmeer. Zevende voortgangsrapportage (2014). A&W-rapport 1957. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Borsje B. W., M. B. de Vries, S. J.M.H. Hulscher and Gerben J. de Boer (2008) Modeling large-scale cohesive sediment transport affected by small-scale biological activity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78 468-480
- Chang T. S., O. Joerdel, B. W. Flemming, A. Bartholom (2006) The role of particle aggregation/disaggregation in muddy sediment dynamics and seasonal sediment turnover in a back-barrier tidal basin, East Frisian Wadden Sea, southern North Sea. *Marine Geology* 235 (1-4) 49-61
- Christiansen C., G. Vølund, L. C. Lund-Hansen, J. Bartholdy (2006) Wind influence on tidal flat sediment dynamics: Field investigations in the Ho Bugt, Danish Wadden Sea. *Marine Geology* 235, 1-4, 20 75-86
- Compton T. J., J. van der Meer, S. Holthuijsen, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. ten Horn, L. Klunder, N. McSweeney, M. Brugge, H. van der Veer and T. Piersma (2013) SYNOPTIC INTERTIDAL BENTHIC SURVEYS ACROSS THE DUTCH WADDEN SEA 2008 to 2011. NIOZ 2013-1

- Dekker R. (2011) Macrozoobenthosonderzoek MWTL, voor en najaar 2009, Waterlichaam: Waddenzee (Balgzand en sublitorale westelijke Waddenzee) Rijkswaterstaat rapportnummer BM10.01
- Deltaprogramma 2013 Waterstaatkundige samenhang kust RWS Waterdienst. Eindredactie Deltaprogramma – Kust, [www.deltaprogramma.nl](http://www.deltaprogramma.nl)
- Dijkema K. S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, P.W. van Leeuwen (2007) Monitoring van kwelders in de Waddenzee. Rapport in het kader van het WOT programma Informatievoorziening. Natuur i.o. (WOT IN). Alterra-rapport 1574 / IMARES-rapport C104/07 WOT IN serie nr. 5 Alterra, Wageningen
- Duk-Geun Honga D. G., M. S. Choib, J. Hanb, C.-S. Cheong (2003) Determination of sedimentation rate of a recently deposited tidal flat, western coast of Korea, using IRSL dating. *Quaternary Science Reviews* 22, (10–13) 1185–1189
- Ens B. J., M Hornman, F. Hustings, K. Koffijberg, L. Marx, L. van den Bremer, A. van Kleunen, M. van Roomen, E. A.J. van Winden (2014) Trendanalyses van vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinningen over de periode 1990-2012. Sovon-rapport 2014/08
- Ens B. J., E. A. J. van Winden, C. A. M. van Turnhout, M. W. J. van Roomen, C. J. Smit en J. M. Jansen (2009) Aantalontwikkeling van wadvogels in de Nederlandse Waddenzee in 1990-2008, verschillen tussen oost en west. *LIMOSA* 82, 100-112
- Esselink P., KS Dijkema, S Reents and Geert Hageman (1998) Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Dollard estuary, the Netherlands. *Journal of Coastal Research* 14 (2) 570-582
- Frosticka L. E., I.N. McCavea (1979) Seasonal shifts of sediment within an estuary mediated by algal growth. *Estuarine and Coastal Marine Science* 9 (5) 569–576
- Glenn A. Richard, G. A. (1978) Seasonal and environmental variations in sediment accretion in a Long Island salt marsh. *Estuaries* 1 (1) 29-35
- Goudswaard P. C., K.J. Perdon, J. Jol, J.J. Kesteloo, C. van Zweeden & K. Troost (2011) Schelpdieren in de Nederlandse kustwateren Bestandsopname 2011. IMARES Rapport C094/11
- Kesteloo J.J., C. van Zweeden en K. Troost (2012) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2011. IMARES Rapport C098/12
- Kleefstra, R. z.j. Toelichting op de broedvogeltrends in het noordelijke deel van het Lauwersmeergebied.
- Kleefstra R. & de Boer P. 2012. Broedvogelmonitoring in het Lauwersmeer in 2012. Sovon-rapport 2012/39. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Koffijberg K., C. Kampichler & B. J. Ens (2013) Overstromingsrisico's en verspreiding van kwelderbroedvogels in de Nederlandse Waddenzee in relatie tot bodemdaling door gaswinning. Sovon-rapport 2013/26
- Krol J. (2014) Wadsedimentatiemetingen Ameland, Engelsmanplaat, Paesens en Schiermonnikoog 2007-2013. Natuurcentrum Ameland.
- McLaren P., F. Steyaert and R. Powys (1998) Sediment transport studies in tidal basins f the Dutch Wadden Sea. *Senckenbergiana Maritima* 29 (1-6) 53-61
- NAM (2012) Gaswinning Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen: Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het geactualiseerde Meet- en Regelprotocol d.d. 1 april 2012. EP201201210893
- NAM (2013) Meet- en Regelrapportage 2013
- NAM (2014) GPS Survey NAM Waddenzee v. 1.18. 06-GPS B.V., 01/2014
- Noffke N., G. Gerdes, T. Klenke, W. E. Krumbein (2001) Microbially Induced Sedimentary Structures--A New Category within the Classification of Primary sedimentary Structures. *Journal of Sedimentary Research, Section A: Sedimentary Petrology and Processes* 71 (5) 649-656
- Osieck E.R. & Hustings F. 1994. Rode lijst van bedreigde soorten en blauwe lijst van belangrijke soorten in Nederland. Technisch Rapport 12. Vogelbescherming Nederland, Zeist.

- Pethick (1981) Long-term accretion rates on tidal salt marshes. *Journal of sedimentary petrology* 251 (2) 571-577
- Postma, H. (1961) Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 1 (1-2) 148-180
- Postma H (1981) Exchange of materials between the North Sea and the
- Rappoldt C., B. J. Ens, T. P. Bult, E. M. Dijkman (2003) Scholeksters en hun voedsel in de Waddenzee. *Alterra rapport 822*
- Sierdsema H. 1995. Broedvogels en beheer. Het gebruik van broedvogelgegeens in het beheer van bos- en natuurterreinen. SBB-rapport 1995-1, Sovon-onderzoeksrapport 1995/04. Staatsbosbeheer/Sovon, Driebergen/Beek-Ubbergen.
- Stumpf, R. P. (1983) The process of sedimentation on the surface of a salt marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 17 (5) 495-508
- van den Ende D., K. Troost, M. van Stralen, C. van Zweeden, M. van Asch (2012) Het mosselbestand en het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen van de Waddenzee in het voorjaar van 2012. *IMARES Rapport C149/12*
- van Duin W. E., P.-W. van Leeuwen & C. Sonneveld (2014) Vegetatie en opslibbing in de Peazemerlanden en het referentiegebied west-Groningen: Jaarrapport 2013. *IMARES Rapport C026/14*
- van Zweeden C., M. van Asch, D. van den Ende en K. Troost (2013) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2013. *IMARES rapport C115/13*
- Wang, Z. B. and W.D. Eysink (2005) Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning. *Vloedkommen van het Friesche Zeegat. WL | Delft Hydraulics Z3995*
- Widdows J., M. D. Brinsley, P. N. Salkeld, C. H. Lucas (2000) Influence of biota on spatial and temporal variation in sediment erodability and material flux on a tidal flat (Westerschelde, The Netherlands) *MEPS* 194, 23-37
- Widdows J., A. Blauw, C. H. R. Heip, P. M. J. Herman, C. H. Lucas, J. J. Middelburg, S. Schmidt, M. D. Brinsley, F. Twisk, H. Verbeek (2004) Role of physical and biological processes in sediment dynamics of a tidal flat in Westerschelde Estuary, SW Netherlands *MEPS* 274: 41-56, 2004
- Williams H. F. L., M. C. Roberts (1989) Holocene sea-level change and delta growth: Fraser River delta, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences* 26(9) 1657-1666
- Yang, S-L, P.-X. Ding, S.-L. Chen (2001) Changes in progradation rate of the tidal flats at the mouth of the Changjiang (Yangtze) River, China. *Geomorphology* 38 (1-2) 167-180
- Ysebaert T., and P. M. J. Herman (2002) Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment. *MEPS* 244, 105-124