

Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen: publiekssamenvatting en integrale beoordeling over 2018

Nederlandse Aardolie maatschappij

Assen, juni 2019

EP201906204323

Samenvatting

Gaswinning in het Waddengebied mag geen nadelige effecten hebben op beschermde natuurwaarden. Hiertoe voert de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) een monitoringprogramma uit waarover jaarlijks wordt gerapporteerd aan het bevoegd gezag. Het betreft een uitgebreid programma dat kijkt naar bodemdaling, het droogvallende wad in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag, de kwelder Peazemerlannen en het Lauwersmeergebied. Beschouwing en analyse van de resultaten levert jaarlijks een tiental rapporten op van de bij de monitoring betrokken instanties. Daarnaast zijn er vaak nog enkele rapporten die volgen uit methodiekontwikkeling of aanvullende analyses. Voor u ligt de samenvatting en integrale beoordeling van het werk dat gedurende het twaalfde monitoringjaar, 2018, is gedaan.

Het bovengenoemde monitoringprogramma is ingericht om te toetsen aan een aantal relevante beleidsdoelstellingen, veelal instandhoudingsdoelstellingen in het kader van de Wet Natuurbescherming en aan eisen die volgen uit het Rijksprojectbesluit voor gaswinning onder de Waddenzee. Deze doelen en eisen zijn gedefinieerd in tabel 1 van dit rapport en komen terug in deze samenvatting.

Bodemdaling Waddengebied –

Door de aanvoer van sediment vanuit de Noordzeekustzone kan de Waddenzee meegroeien met de zeespiegel en met bodemdaling door gaswinning. Wettelijk is vastgesteld dat de bodemdalingsnelheid en de zeespiegelstijgingsnelheid opgeteld niet meer mogen bedragen dan 5 en 6 millimeter per jaar gemiddeld voor respectievelijk de Zoutkamperlaag en het Pinkegat. De ‘ruimte’ voor bodemdaling (in millimeters per jaar) wordt daardoor in sterke mate bepaald door de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt (in millimeters gemiddeld zeeniveau per jaar). Het vigerende beleidsscenario voor zeespiegelstijging is in 2016 vastgesteld. In 2021 moet de snelheid van zeespiegelstijging opnieuw worden beoordeeld en vastgesteld.

Rijksprojectbesluit: *Bodemdaling door gaswinning mag, in cumulatie met zeespiegelstijging het meegroeivermogen van de Waddenzee niet overschreden of dreigen te overschreden*

Op aanwijzing van de Minister van Economische Zaken en de Auditcommissie is de LTS-II methode voor de Waddenwinningen geïmplementeerd. Ten behoeve van de Meet- en Regelrapportage over 2018 zijn op basis van de opnieuw gekalibreerde reservoirrealizaties ca. 50000 geomechanische modelvarianties met de geodetische metingen in het gebied vergeleken. Met behulp van deze gekalibreerde modellen zijn scenario's 'laag', 'gemiddeld' en 'hoog' gegenereerd die de bodemdaling voorspellen als gevolg van gaswinning.

Voor het monitoringjaar 2018 kan worden geconcludeerd dat bodemdaling door gaswinning binnen de gestelde gebruiksruimte is gebleven en dat daarmee het meegroeivermogen van de Waddenzee niet wordt overschreden of dreigt te worden overschreden in de toekomst.

De wadplaten binnen de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag - Er worden verschillende monitoringprogramma's uitgevoerd om de ontwikkeling van de wadplaten te volgen. Dit zijn de vlakdekkende hoogtemetingen vanuit een vliegtuig (LiDAR), de zogenaamde spijkermetingen die sedimentatie en erosie op wadplaten meten en waterpassingen bij de peilmerken verspreid over Pinkegat en Zoutkamperlaag.

Aanwijzingsbesluit Waddenzee: *Behoud oppervlakte slik- en zandplaten.*

Bodemdaling door gaswinning mag niet leiden tot een onnatuurlijke afname van het areaal droogvallende wadplaten. Op basis van de vlakdekkende LiDAR-metingen wordt

de ontwikkeling van dit areaal in de tijd gevolgd. In 2018 is er over 2 nieuwe LiDAR-opnames gerapporteerd. Het betreft surveys die zijn uitgevoerd in het voor- en najaar van 2018. Het op basis van deze surveys berekende areaal wadplaten boven NAP is groter dan in 2016 en 2017. Er zijn aanwijzingen die indiceren dat de geobserveerde variatie in het areaal wadplaten slechts in beperkte mate het gevolg zijn van veranderingen in de geomorfologie. Daarom wordt geconcludeerd dat er op dit moment geen sprake is van een afname van een bepaald deel van het wadplatenareaal. Een langere tijdserie gaat in de toekomst helpen om het gezamenlijke effect van een aantal relevante factoren, inclusief bodemdaling door gaswinning, te toetsen.

Structuurvisie Waddenzee: Zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van waterbewegingen en de hiermee gepaardgaande geomorfologische en bodemkundige processen

Op basis van de bovengenoemde LiDAR-opnames van het droogvallende wad kan worden vastgesteld hoe groot de morfologische dynamiek is op verschillende plaatsen in het gebied. De wadplaten rond het zeegat zijn hoogdynamisch. Meer centraal in de kombergingen zijn de morfologische veranderingen kleiner en op de slikken langs de Friese kust is de situatie relatief stabiel. Deze gradient in dynamiek uit zich ook in de korrelgrootte verdeling van het sediment in het gebied (Folmer *et al.* 2017). Dit zijn de kenmerken van een natuurlijke waterbeweging en morfologische ontwikkeling voor dit soort kombergingen (mondeling communicatie RWS).

Aanwijzingsbesluit Waddenzee: Behoud van omvang en kwaliteit fourageergebied voor broed-, trek- en overwinterende vogels

De kwaliteit van het droogvallende wad als fourageergebied voor vogels wordt a.d.h.v. een ecologisch model berekend. Dit model berekent per vogelsoort verschillende afgeleides (proxies) zoals het areaal geschikt fourageergebied of de oogstbare hoeveelheid voedsel per getij, etc. In 2018 is het model operationeel gemaakt, wat wil zeggen dat het is ingezet om het effect van bodemdaling door gaswinning op doelsoorten (vogels) te evalueren. Daarnaast zijn er wederom modelvalidaties uitgevoerd. Dit keer door te kijken in hoeverre de hoogwatervluchtplaatstellingen in een bepaald deelgebied correleren met de variatie in de berekende draagkracht in de tijd. Ook deze validatie toont aan dat het model een goede weergave is van de draagkracht van het wad als foerageergebied van bepaalde soorten en daarmee bruikbaar voor de beoordeling van effecten op die draagkracht.

Voor de beoordeling van mogelijke effecten van bodemdaling op beschermde vogelsoorten wordt een aantal stappen doorlopen. Ten eerste wordt vastgesteld hoe de soort zich in het gebied ontwikkelt. Deze ontwikkeling wordt vervolgens met de ontwikkeling van de soort in de hele Waddenzee vergeleken en met de ontwikkeling van de draagkracht voor deze soort in het door bodemdaling beïnvloede gebied.

Er zijn 4 soorten waarvan de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen rond Pinkegat en Zoutkamperlaag afnemen in de periode 2008-2018. Dit zijn de Scholekster, Kluut, Wulp en Tureluur. Voor deze 4 soorten geldt dat hun aantalsontwikkeling in Pinkegat en Zoutkamperlaag de trend in het Waddengebied volgt.

Voor twee soorten, de Rosse Grutto en de Kanoet, is de aantalsontwikkeling onduidelijk. De ontwikkeling van het aantal Rosse Grutto's was sinds 1995 zeer negatief. Deze afname lijkt in de periode 2008-2018 te zijn gestopt. Wanneer we kijken naar de ontwikkeling van het voedselaanbod in het gebied, zien we dat dit toeneemt. Het kan zijn dat de verbetering van de kwaliteit van het foerageergebied (2008-2018) zorgt dat de aantallen van deze soort niet verder afnemen. De Kanoetstrandloper vertoont geen duidelijke trend gedurende 2008-2018. Dit geldt voor de aantalsontwikkeling in Pinkegat-Zoutkamperlaag en ook voor het Waddengebied als geheel. Deze onduidelijkheid komt

voort uit de sterk fluctuerende jaargemiddelden. In de periode 2000-2009 is het aantal Kanoeten in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag sterk toegenomen. Volgens onderzoekers van het NIOZ, is de Kanoet in sterke mate afhankelijk van kleine schelpdieren zoals het Nonnetje (Zwarts en Blomert, 1992). Nonnetjes zijn in de Oostelijke Waddenzee in de periode 2000-2009 inderdaad toegenomen (Beukema *et al.* 2017). Sinds 2007 neemt de dichtheid Nonnetjes in de westelijke Waddenzee weer toe (Ens *et al.* 2019).

In lijn met Ens *et al.* (2019) kan worden geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor een effect van bodemdaling door gaswinning op de vogelpopulaties die gebruik maken van Pinkegat en Zoutkamperlaag.

Kwelder - De bodemdaling onder de kwelder “Peazemerlannen” bedraagt enkele millimeters per jaar. Op deze kwelder wordt de opslibbing gemonitord, de ontwikkeling van de pionierzone en van de overige kweldervegetatie. Daarnaast is er in 2016 gestart met het meten van de overstromingsfrequentie op verschillende punten.

Aanwijzingsbesluit Waddenzee: Behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit schorren en zilte graslanden, buitendijks, inclusief zilte pioniervegetatie en de aanwezigheid van slijkgras

Geconcludeerd kan worden dat het gebied gemiddeld in voldoende mate opslibt om bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging te compenseren. Alleen voor de hooggelegen delen van de zomerpolder geldt dit niet. In combinatie met maatregelen voor natuurbeheer kan dit tot verkweldering van de zomerpolder gaan leiden, hetgeen daar de geplande natuurontwikkeling ten goede komt. Dit is het eerste jaar dat er op een aantal punten (4) op de kwelder netto maaiveld daling is gemeten. De droge zomer in 2018 heeft een duidelijk effect op deze trend. De komende jaren zullen uitwijzen of dit zich uitbreidt, of dat de opslibbingssnelheid zich weer herstelt.

De toename van de pionierzone en pre-pionierzone voor de Peazumerlannen is dus positief. Deze wordt in verband gebracht met de netto opslibbing van het voorliggende wad (Van Duin, 2019). Uit de vegetatie-opnames blijkt geen ontwikkeling waar bodemdaling door gaswinning aan ten grondslag ligt. Wel kan het zijn dat de bodemdaling onder de kwelder het proces van successie/ veroudering in de vegetatie vertraagt. Dat is niet als positief of negatief te bestempelen. De Peazumerlannen is een gevarieerde kwelder waar de verschillende hoogtezones, inclusief de pionierzone, vertegenwoordigd zijn.

Het Lauwersmeergebied- Het Lauwersmeergebied is een zoetwater natuurgebied dat lokaal nog onder invloed staat van zout grondwater. De beheerder heeft als doel het gebied open te houden en probeert dit te bereiken door vee in te scharen en te maaien. Helaas hebben begrazing en vertrapping wel een negatief effect op de rietvegetaties.

Het Lauwersmeer is een vogelrichtlijngebied. Voor een groot aantal vogelsoorten zijn instandhoudingsdoelstellingen gedefiniëerd. Bodemdaling door gaswinning mag geen nadelig effect hebben op deze instandhoudingsdoelen. De bodemdaling onder het Lauwersmeergebied is het grootst langs de westelijke oever van het gebied. Sinds 2006 is dit zo’n 5 centimeter die voornamelijk veroorzaakt wordt door de winning uit het gasveld Anjum.

De monitoring in het Lauwersmeergebied richt zich op de ontwikkeling van de vegetatie en op de abundantie en verspreiding van vogelsoorten. Hiertoe worden er vogeltellingen verricht voor broed- en watervogels. De vegetatiestructuur wordt gekarteerd en de ontwikkeling van de vegetatie wordt op soortniveau bepaald op 102 meetpunten (PQ’s)

die verspreid over het gebied liggen. Nabij de PQ's wordt het grondwaterpeil gemeten en o.a. het zoutgehalte van het grondwater bepaald.

Aanwijzingsbesluit Lauwersmeer: Behoud van omvang en kwaliteit van het leefgebied voor broed- of trekvogels

Ter beoordeling van mogelijke effecten van bodemdaling op beschermde vogelsoorten van het Lauwersmeergebied, wordt een aantal stappen doorlopen. Ten eerste wordt vastgesteld hoe de soort zich in het gebied ontwikkelt. Deze ontwikkeling wordt vervolgens met de ontwikkeling van de soort in heel Nederland vergeleken. Daarnaast wordt vastgesteld wat de belangrijkste functie van het Lauwersmeergebied is voor die soort (broeden, foerageren, slape, etc.). Geëvalueerd wordt of bodemdaling door gaswinning een verstorend effect kan hebben op die functie en zodoende ten grondslag kan liggen aan een geobserveerde afname in de aantallen van een soort.

Negatieve trends in de aantallen territoria voor enkele beschermde broedvogels zijn allemaal te relateren aan de achteruitgang van dichte riet- en waterrietvegetaties. Deze dichte rietvegetaties nemen af door beweiding en de toename van struweel. Daarnaast zet predatie door vossen broedpopulaties onder druk (Kleefstra *et al.* 2019). Deze ontwikkelingen blijken vooral uit de veldobservaties en worden onderbouwd door de vegetatiestructuurkartering die voor het gebied wordt uitgevoerd.

Voor soorten die vooral afhankelijk zijn van ondiep water om te rusten bleek het aantalsverloop niet gerelateerd aan de waterpeilen in het Lauwersmeergebied. Waarschijnlijk zijn bij verschillende waterstanden verschillende deelgebieden geschikt om in ondiep water te rusten/slappen. Modelleren van de variaties in waterdieptes en overstromingszones geeft aan dat het oppervlak geschikt rustgebied het grootst is bij een meerpeil van -80cm NAP. Gezien de frequentieverdeling van de waterstanden in het gebied, leidt voortschrijdende bodemdaling in >95% van de dagen tot een uitbreiding van geschikt ondiep water. Een negatief effect van bodemdaling via het dieper worden van deze rust-, slaap- en foerageerplaatsen komt alleen bij zeer hoge waterstanden voor.

Op basis van het 12^{de} monitoringjaar kan geconcludeerd worden dat bodemdaling als gevolg van de waddenwinningen in zowel de Waddenzee als het Lauwersmeergebied vooralsnog geen nadelige effecten heeft gehad op de natuurwaarden en instandhoudingsdoelen.

Inhoudopgave

Samenvatting	2
Inhoudopgave	6
1 Inleiding	7
1.1 Bodemdaling door gaswinning	7
1.2 De Wet Natuurbescherming als toetsingkader	9
1.3 Het sedimentdelend systeem	10
1.4 Ecologische monitoring	11
1.5 Gaswinnen met de Hand Aan de Kraan	13
1.6 Organisatiestructuur rond monitoring en rapportage	15
2 Rapportages	16
3 Gasproductie	18
4 De Waddenzee	19
4.1 Bodemdaling in het wadden- en lauwersmeergebied	19
4.2 Bodemhoogte meten aan het wadoppervlak	23
4.3 Vogels en de kwaliteit van de droogvallende wadplaten	33
5 De kwelder Peazemerlannen	37
6 Lauwersmeergebied	42
6.1 Beleid- / Beheerdoelen voor het Lauwersmeergebied en de daaraan gerelateerde ecologische monitoring	42
7 Conclusies	48
8 Literatuur	49
Bijlage 1: Adviespunten Auditcommissie (dec. 2018) en reactie van NAM en/of de betrokken onderzoekers	50

1 Inleiding

De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) wint gas onder het waddengebied. Dit is toegestaan onder de voorwaarde dat jaarlijks wordt beoordeeld of dit niet tot schade leidt aan de beschermde natuurwaarden van het gebied. Dreigt er wel schade te ontstaan, dan krijgt NAM de opdracht om de gaskraan dicht te draaien. Hiertoe voert NAM een uitgebreid monitoringprogramma uit, waarin de bodemdaling door gaswinning en de ecologische ontwikkeling in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag worden beschouwd. Voor u ligt de publiekssamenvatting van de resultaten uit de monitoring en onderzoek dat in 2018 is uitgevoerd. Hierin ligt de nadruk op de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Mogelijke effecten worden beschouwd in cumulatie met de bodemdaling die door de gaswinning Ameland en Anjum wordt veroorzaakt.

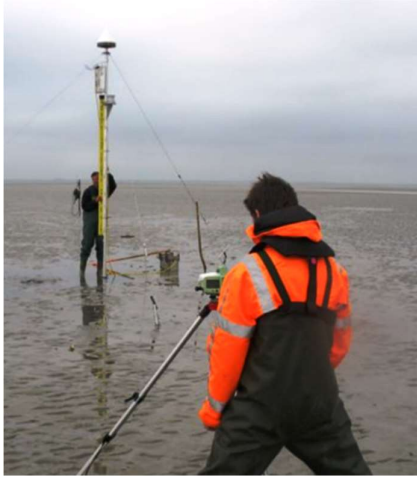
Dit rapport is een NAM-rapport dat tot stand komt op basis van verschillende onderzoeksrapporten die in bovengenoemd kader door onderzoeksinstituten worden geproduceerd (tab. 3). In hoofdstuk 1 van dit rapport wordt achtergrondinformatie gegeven over gaswinning en bodemdaling onder de Waddenzee en het Lauwersmeergebied in relatie tot het daarvoor ingerichte monitoringprogramma. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de relevante achtergronddocumentatie. Nieuwe resultaten zijn te vinden in de hoofdstukken 3 t/m 6. Hierbij gaat het respectievelijk om productiegegevens (3), de wadplaten (4), de kwelder (5) en het Lauwersmeergebied (6). Hoofdstuk 7 bevat de eindconclusies over de monitoringperiode 2007 - 2018.

1.1 Bodemdaling door gaswinning

Op een aantal plaatsen onder het waddengebied zit aardgas in de bodem. Dit gas bevindt zich op een diepte van ruim 3000 meter in de poriën van een miljoenen jaren oude zandsteenlaag. Ingesloten door ondoordringbaar gesteente varieert de gasdruk op die diepte tussen de 300 en 600 bar. Wanneer door gaswinning de druk in de poriën van zo'n zandsteenpakket afneemt, wordt het zandsteen samengedrukt. Het 'compacteert'. Deze compactie op drie kilometer diepte leidt tot bodemdaling aan het aardoppervlak. We spreken dan van bodemdaling door gaswinning.

Het is in Nederland gebruikelijk om bodemdaling (o.a. als gevolg van gaswinning) te meten. Hiertoe worden landmeetcampagnes uitgevoerd. Daarnaast worden er op basis van kennis over de diepe ondergrond (geofysica, geologie en geomechanica) en het gasproductieverloop bodemdalingsschotels berekend en ingetekend op kaarten (zie bijvoorbeeld figuur 7). Op zee is dat meten lastiger. Dat komt enerzijds omdat er op de zeebodem weinig vaste punten zijn die boven water uit steken en anderzijds omdat de hoogtekaarten van de zeebodem niet nauwkeurig genoeg zijn om veranderingen op het niveau van centimeters in beeld te brengen. Daarbij komt dat de zeebodem van de ondiepe kustzone van nature behoorlijk in beweging is.

Omdat in de Waddenzee de wadplaten tijdens laagwater droogvallen, is in dit deel van het gebied een beperkt aantal hoogtemetingen wel mogelijk. Om daarbij geen last te hebben van hoogteverschillen die door sedimentbeweging ontstaan, zijn er stalen palen in de wadbodem gezet. Door bovenop deze palen de hoogteverandering te meten, wordt een beeld verkregen van de bodemdaling die de gaswinning veroorzaakt (Fig. 1).



Figuur 1: Het meten van bodemdaling onder het wad door een GPS ontvanger boven op een mast te zetten die op een 6 meter lange paal in de bodem is geplaatst. De mast dient ervoor dat de ontvanger ook bij hoog water boven water uitsteekt en contact houdt met satellieten.

Het begrip van de ondergrond wordt gevormd door seismologische onderzoek. Deze kennis wordt gebruikt om een geologisch model van de diepe ondergrond te maken. Dit model beschrijft de structuur van de verschillende aardlagen. Veel van deze aardlagen zijn onderbroken door breuken die gedurende de lange geologische geschiedenis zijn ontstaan. D.m.v. geluidsgolven (seismiek) zijn deze lagen en breuken zichtbaar gemaakt waarbij boringen aanvullende gegevens verschaffen over kenmerken van het gesteente zoals bijvoorbeeld de doorlaatbaarheid. Dit 3D-model van de diepe ondergrond wordt vervolgens doorgegeven aan een reservoirengineer (reservoir is het gesteente dat gas en water kan bevatten) die de informatie uit het geologische model combineert met het gas en water in de poriën van het gesteente. Met dit model wordt kennis verkregen over de mogelijke drukdaling van de gas- en (eventueel) watervoerende gesteentepakketten als gevolg van de historische en nog geplande gasproductie. Bestaande productiegegevens en drukmetingen worden gebruikt om de modellen te kalibreren en daarmee de onzekerheid over de drukdaling in het veld te reduceren.

De hierboven genoemde drukgegevens worden door de geomechanicus gebruikt om het samendrukken van het gesteente in de diepe ondergrond (compactie) te berekenen en de daarmee gepaard gaande bodemdaling aan het aardoppervlak. Om deze modellen te valideren en te kalibreren, worden de modeluitkomsten vergeleken met gemeten bodemdaling aan het aardoppervlak.

Sinds 2011 loopt er onderzoek naar de doorgaande bodemdaling boven het gasveld Ameland. De dalingssnelheid is hier nog relatief groot, ondanks dat de productiesnelheid al sterk is afgenomen. Mogelijke fysische oorzaken van deze doorgaande bodemdaling zijn onderzocht en er is een rekenmethode ontwikkeld. Deze methode laat voor vele duizenden varianten van bodemdalingmodellen de bodemdaling berekenen en toetst deze aan de gemeten bodemdaling in tijd en ruimte. Op basis van deze toetsing geeft de rekenmethode aan welke modellen in meer- of minder waarschijnlijke mate de werkelijkheid beschrijven. Deze methode wordt de LTS-II methode genoemd. In 2018 is deze methode goedgekeurd door de Inspecteur Generaal op de Mijnen. Vervolgens hebben de Minister van EZK de NAM opgedragen deze methode op de in productie zijnde gasvelden onder de Waddenzee toe te passen. In overleg met de Ministeries van EZK en LNV en met de Auditcommissie is besloten de implementatie van de LTS-II methode in twee stappen te realiseren. In het kort komt het er op neer dat in de eerste stap op basis van drie reservoirscenario's (laag, gemiddeld en hoog) een groot aantal modellen wordt gedraaid conform de LTS-II methodiek. Bij de toetsing aan de geodetische data wordt in stap 1 deels in beperkte mate rekening gehouden met de covariantie tussen de meetpunten. Stap 1 is gerealiseerd en is gerapporteerd in de Meet- & Regelrapportage over 2018. In Stap 2 wordt de volledige covariantiematrix toegepast en worden meerdere combinaties van lage, basis en hoge reservoirrealisaties van de verschillende velden onderzocht.

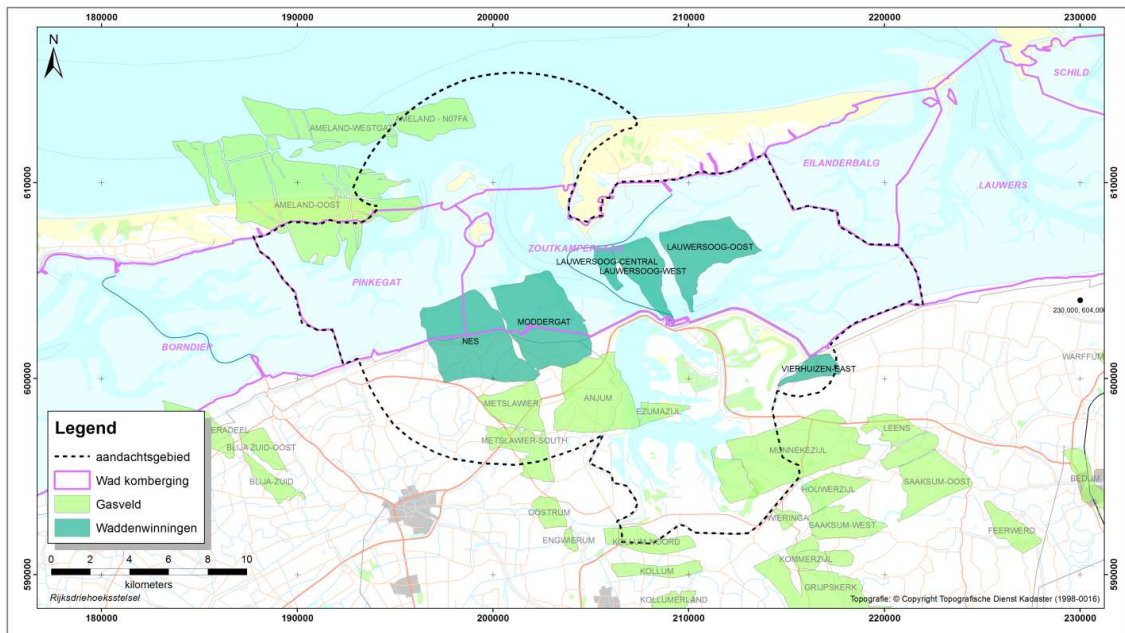
1.2 De Wet Natuurbescherming als toetsingkader

Bodemdaling onder de Waddenzee mag niet leiden tot schade aan de instandhoudingsdoelen zoals die voor het gebied zijn geformuleerd in het Aanwijzingsbesluit Waddenzee. Daarin wordt gesproken over habitattypen en doelsoorten. Deze bodemdaling bedraagt enkele millimeters per jaar. Onder geulen en andere permanent onderwaterstaande delen van het gebied zijn ecologische effecten van die bodemdaling op voorhand uitgesloten. Het onderzoek en de monitoring beperkt zich daarom tot de droogvallende wadplaten. Het meest relevante habitatype is dan ook 'Droogvallende zand- en slikplaten'. Beschermd zijn het areaal en de kwaliteit van de wadplaten, waarbij kwaliteit wordt uitgelegd als "structuur en functie" van de wadplaten. Één van de belangrijkste functies van de wadplaten is die van foerageergebied voor wadvogels. Deze vogelsoorten vormen samen met enkele zoogdieren en vissen de Natura 2000-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.

Als gevolg van de gaswinning uit de velden "Nes" en "Moddergat" vindt er ook bodemdaling plaats onder de vastelandkwelder "Peazemerlannen". Vandaar dat ook de invloed van bodemdaling op de natuurlijke ontwikkeling van deze kwelder wordt gemonitord. Hierbij is specifiek aandacht voor de beschermde habitattypen "Zilte schorren" en "Zilte graslanden buitendijks". Ter voorbereiding op het bepalen van het effect van bodemdaling op broedvogels op de kwelder is in 2016 gestart met het meten van de overstromingsfrequentie. Daarover wordt nog niet gerapporteerd. De kwelder van Ameland wordt sinds de start van de gaswinning Ameland (1986) gemonitord. De resultaten van die monitoring worden eens per 5 jaar gerapporteerd, maar zijn geen onderdeel van deze rapportage.

Ook onder het Natura 2000-gebied Lauwersmeer vindt bodemdaling plaats. Deze wordt niet gecompenseerd door sedimentaanvoer, waardoor de bodemdaling aan het maaiveld meetbaar zal worden. Het gebied is echter onderhevig aan verruiging en verdroging. Het natuurbeheer is er in deelgebieden op gericht de vegetatie kort te houden en de situatie voor moerasvogels te verbeteren. Mochten er effecten van bodemdaling door gaswinning in het gebied optreden, dan wordt verwacht dat deze effecten klein zijn en mogelijk ook passen binnen de beheerdoelstellingen voor het gebied.

Het Lauwersmeergebied is een vogelrichtlijngebied en kent geen beschermde habitats. De instandhoudingsdoelen voor dit gebied richten zich daarom uitsluitend op de draagkracht van dit gebied voor bepaalde vogelsoorten.



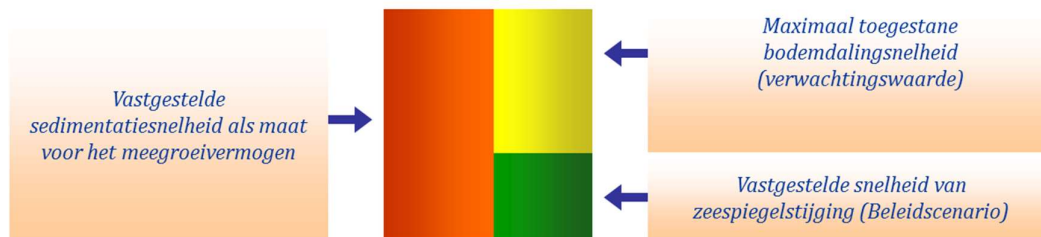
Figuur 2: Overzicht van het beïnvloedinggebied van de gaswinning in het waddengebied. De contour van dat gebied is aangegeven met de stippellijn. Uit donkergroene gasvelden “Nes”, “Moddergat”, “Lauwersoog” en “Vierhuizen” wordt gas gewonnen vanaf binnendijkse locaties gelegen bij de dorpen Moddergat en Vierhuizen en vanaf een locatie gelegen in de haven van Lauwersoog. Deze gaswinning is gestart in 2006. De lichtgroene velden zijn al langere tijd in productie: Ameland sinds 1986, Anjum sinds 1991, etc. Opvallend is dat de contour ook een deel van de Noordzeekustzone omvat. Dat gebied noemen we de buitendelta. Waddenzee wisselt namelijk sediment uit met die buitendelta. Hierover kunt u meer lezen in de onderstaande paragraaf.

1.3 Het sedimentdelend systeem

Onder invloed van de getijdenstroming treedt er constant uitwisseling van sediment op tussen de Waddenzee en de Noordzeekustzone. Enerzijds ontstaan en groeien wadplaten doordat zand en slib tot rust komen in de Waddenzee en acumuleren. Anderzijds eroderen ze door afkalving en verdwijnt er weer zand naar de geulen. De vorm van het gebied (geomorfologie) past zich zo continu aan de waterbeweging aan. Deze waterbeweging (golven en getij) varieert dagelijks als gevolg van maanstanden en weersinvloeden. We spreken dan ook van een dynamisch evenwicht. Op korte termijn overheerst die dynamiek kleine invloeden, zoals zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning. Echter, als deze kleine invloeden niet door extra sedimentimport in de Waddenzee gecompenseerd worden, leiden ze op lange termijn tot het korter droogvallen van de wadplaten. De vergunningen die de NAM heeft om gas te mogen winnen onder de Waddenzee gaan er vanuit dat dit niet optreedt. Dit werkt als volgt.

De zeespiegelstijging en bodemdaling door de gaswinning bedragen samen enkele millimeters per jaar. Dat lijkt weinig, maar vermenigvuldigd met de oppervlakte van een kombergingsgebied is dat toch een relevant volume per jaar. Deze volumeverandering treedt gestaag op en beïnvloed het hydrodynamisch evenwicht. Er ontstaat een situatie waarin er gemiddeld meer water het gebied in en uit stroomt, waardoor er gemiddeld meer sediment vanuit de kustzone wordt aangevoerd. Dat noemen we “Zandhonger”. Door de toename van het netto sedimenttransport kunnen de wadplaten meegroeien met de zeespiegelstijging en met bodemdaling door gaswinning. Dit noemen we het “Meegroeivermogen” van de Waddenzee.

De vraag is natuurlijk hoe groot dat meegroeivermogen eigenlijk is. Hoeveel zandhonger kan er optreden voordat de aanvoersnelheid / -capaciteit beperkend wordt en de droogvalduur van de wadplaten beïnvloed wordt? De afgelopen 20 jaar zijn er verschillende studies uitgevoerd naar het meegroeivermogen van de Waddenzee. Dit werk bestond uit analyses van historische sedimentatiesnelheden en modelstudies (tab. 2). Recente analyses schatten het maximale meegroeivermogen van kombergingen in het oostelijke deel van de Waddenzee hoog in. Voor de Zoutkamperlaag komen de onderzoekers tot een meegroeivermogen van 17,1 en voor het relatief kleine Pinkegat is dat zelfs 32,7 mm per jaar (Van der Spek, 2018). In het Rijksprojectbesluit voor gaswinning onder de Waddenzee is vastgelegd dat er van een relatief laag meegroeivermogen dient te worden uitgegaan. Voor kleine kombergingen, zoals het Pinkegat, is dat 6 millimeter sediment per jaar en voor grotere kombergingen, zoals de Zoutkamperlaag, is dat 5 millimeter sediment per jaar. Deze sedimentatiesnelheden worden ook wel de “Natuurgrenzen” genoemd. Ze worden als veilige grenzen beschouwd. De som van de snelheid van zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning mag niet meer bedragen dan die Natuurgrens (fig. 3). Als die som deze Natuurgrens overschrijdt of dreigt te overschrijden binnen de periode waarvoor het zeespiegelstijgingsscenario is vastgesteld, dient NAM haar gasproductie zodanig aan te passen dat dit hersteld wordt. Hoe NAM jaarlijks vaststelt of de gasproductie aan deze eis voldoet is vastgelegd in het Meet- en Regelprotocol (NAM, 2012). Het resultaat voor 2017 wordt gepresenteerd in paragraaf 4.1 van dit rapport.



Figuur 3: De som van bodemdalingsnelheid en zeespiegelstijgingsnelheid mogen de vastgestelde sedimentatiesnelheid niet overschrijden (conceptuele weergave).

Maar hoe zit dat met de buitendelta en aangrenzende Noordzeekustzone; het gebied waaraan het sediment wordt onttrokken? In principe houdt Rijkswaterstaat de zandvoorraad in de Nederlandse kustzone op peil. Hiertoe worden de oppervlaktes van de Waddenzee, Noordzeekustzone en de zuidelijke Delta bij elkaar opgeteld en vermenigvuldigd met de zeespiegelstijging. De uitkomst van deze berekening is een volume van ca. 12 miljoen kuub sediment per jaar. Vervolgens kijkt Rijkswaterstaat waar er langs de kust behoefte is aan sediment omdat daar bijvoorbeeld erosie optreedt. Voornamelijk op basis van die behoefte wordt het zand verdeeld middels strand- en vooroeveraanplanten. Bovenop die 12 miljoen kuub per jaar wordt er op kosten van NAM extra zand gesuppleerd om het bodemdalingvolume in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag te compenseren. Het benodigde volume hiervoor wordt berekend door Deltares.

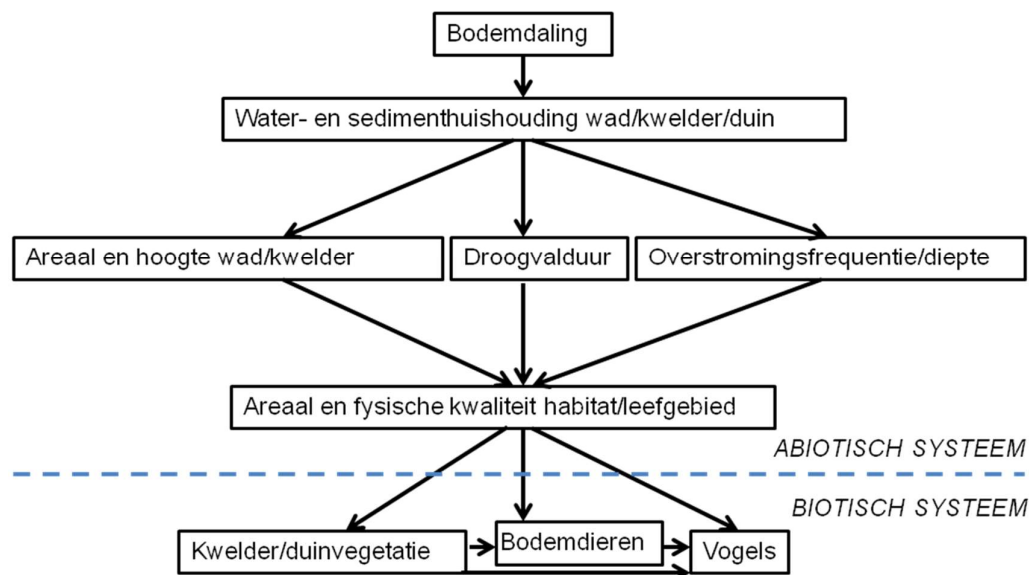
1.4 Ecologische monitoring

De bovenstaande paragrafen beschrijven dat bodemdalingsnelheid onder de Waddenzee gemodelleerd wordt en onder een beredeneerde natuurgrens moet blijven. In cumulatie met zeespiegelstijging moet worden beschouwd en gecompenseerd wordt middels zandsuppleties in de kustzone, etc. Ondanks dat er wordt uitgegaan van conservatief gekozen natuurgrenzen, is niet bewezen dat alle onderliggende theorie correct is. Daarom

voert NAM naast het eerder genoemde Meet- en Regelprotocol ook een monitoringprogramma uit (NAM, 2014a). In dit monitoringprogramma wordt voor de wadplaten gekeken naar de ontwikkeling van het areaal wadplaten, erosie en sedimentatie processen en naar de draagkracht van het gebied voor, op de wadplaten foeragerende vogels. Daarnaast zijn ook voor de kwelder, de “Peazemerlannen” en het Lauwersmeergebied monitoringprogramma’s opgesteld. Het doel van de monitoring is te controleren of er, zoals verwacht, geen nadelige ontwikkeling van instandhoudingsdoelen optreedt. Indien er wel een nadelige ontwikkeling wordt vastgesteld dient aannemelijk gemaakt te worden dat dit wel of niet het resultaat is van bodemdaling door gaswinning. Het monitoringprogramma is te vinden op <http://www.nam.nl/gas-en-oliewinning/wadden.html>

Het monitoringprogramma kan jaarlijks, mede op basis van adviezen van de Auditcommissie (paragraaf 1.6), worden aangepast. Iedere 6 jaar wordt het programma geëvalueerd. In 2013 heeft de eerste evaluatie plaatsgevonden en in dit jaar staat de tweede evaluatie gepland.

Voor het vaststellen van het monitoringprogramma is 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 het areaal en kwaliteit van het leefgebied van doelsoorten. De effectketens zijn voor de onderdelen wadplaten, kwelder en Lauwersmeergebied schematisch weergegeven in figuur 4. Analyse van de gegevens conform de effectketenbenadering vindt plaats in de rapporten van Van Duin (2019), Kleefstra *et al.* (2019) en Ens *et al.* (2019). Voor de wadplaten zijn de resultaten verdeeld over meerdere rapporten en komen samen in deze integrale beoordeling.



Figuur 4: Effectketens voor bodemdaling onder de wadplaten, kwelder en het Lauwersmeergebied. Dit conceptueel model beschrijft hoe wordt verondersteld dat bodemdaling door gaswinning kan doorwerken op de natuur.

De beleidsdoelen voor de Waddenzee waar dit rapport aan toetst zijn opgenomen in tabel 1. Omdat de betreffende doelstellingen vaak niet direct meetbaar zijn, volgt er in de tweede kolom van de tabel een technische, meet- of berekenbare definitie van het beleidsdoel. Tabel 1 geeft tevens een overzicht van de onderdelen van het monitoringprogramma en waar die bijdragen aan de verschillende beleidsdoelen. De meeste doelen zijn instandhoudingsdoelen in het kader van de Wet Natuurbescherming. Daarnaast zijn doelen opgenomen uit de Structuurvisie voor de Waddenzee en wordt er gerefereerd aan de voorwaarde die het Rijksprojectbesluit stelt aan gaswinning onder de Waddenzee.

1.5 Gaswinnen met de Hand Aan de Kraan

Een vergunning onder het Hand Aan de Kraan principe houdt in dat, op basis van monitoring, jaarlijks wordt beschouwd of nog aan vergunningeisen wordt voldaan. Voor bodemdaling als gevolg van gaswinning is een specifiek toetsingskader ontwikkeld. Hierin mag de gemiddelde bodemdaling, in cumulatie met de zeespiegelstijging niet meer bedragen dat een vastgestelde natuurgrens (zie paragraaf 1.3). Wanneer metingen en berekeningen uitwijzen dat deze natuurgrens dreigt te worden overschreden, legt de NAM zelf de hand aan de gaskraan zodat toekomstige bodemdalingsnelheden weer binnen de toegestane marge passen. Minder helder is het toetsingskader waarbinnen de ecologische monitoringresultaten worden beoordeeld. In de ecologische monitoring wordt een aantal natuurlijke kenmerken van het gebied gevolgd in de tijd. Deze kenmerken zijn zodanig gekozen dat ze zo goed mogelijk beschermde natuurdoelen beschrijven. Deze beschermde natuurdoelen zijn klassificerend in het kader van de Wet Natuurbescherming. Wanneer nu uit de monitoring blijkt dat zo'n klassificerend natuurdoel een negatieve ontwikkeling doormaakt dienen twee vragen te worden beantwoord:

- 1) Kan aannemelijk worden gemaakt dat er geen relatie met bodemdaling door gaswinning is?
- 2) Is er sprake van significante schade aan dit natuurdoel?

De eerste vraag is de verantwoordelijkheid van de NAM. De tweede vraag is ter beoordeling aan de Minister van LNV. Op basis van die beoordeling kunnen de Ministers van EZK en LNV aan NAM opdragen de gasproductie zodanig te reduceren dat er zo spoedig mogelijk herstel optreedt. Dit zal waarschijnlijk gepaard gaan met een aanvullende monitoringinspanning.

Tabel 1: Overzicht van de monitoringprogramma's die uitgevoerd worden, het doel waarvoor ze worden ingezet en de uitvoerende instantie. De beleidsdoelen zijn afkomstig uit het Aanwijzingsbesluit Waddenzee¹, Aanwijzingsbesluit Lauwersmeergebied², Rijksprojectbesluit voor gaswinning onder de Waddenzee³ of de Structuurvisie Waddenzee⁴. De technische omschrijvingen zijn niet volledig overeenkomstig de bestaande profieldocumenten voor beschermde habitats en soorten.

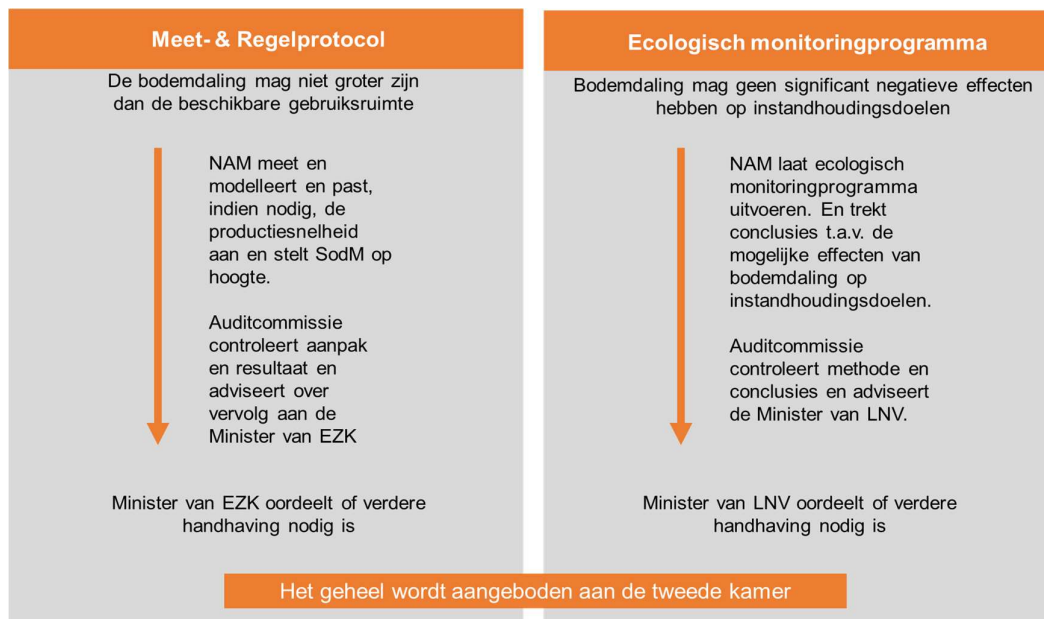
Beleidsdoel	Technische omschrijving	Monitoringprogramma
1) Waddenzee <i>Bodemdaling door gaswinning mag, in cumulatie met zeespiegelstijging het meegroeivermogen van de Waddenzee niet overschreiden of dreigen te overschreiden³</i>	→ Belasting van de gebruiksruimte: 6-jarig voortschrijdend gemiddelde van de gemiddelde (ruimtelijk) bodemdalingsnelheid voor het gehele Pinkegat of Zoutkamperlaag.	→ Meetcampagnes voor bodemdaling op land → Meetcampagnes voor bodemdaling op het wad
2) Waddenzee <i>Behoud oppervlakte slik- en zandplaten¹.</i> <i>Zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van waterbewegingen en de hiermee gepaard gaande geomorfologische en bodemkundige processen⁴</i>	→ Areaal wadplaten tussen -50 cm en 160 cm NAP → Sedimentatie en erosie van wadplaten in en buiten bodemdalinggebieden	→ LiDAR surveys wadplaten → Bodemdaling op peilmerken → Waterpassingen rond peilmerken → Spijkermetingen
3) Waddenzee <i>Behoud van omvang en kwaliteit wadplaten als fourageergebied voor broed-, trek- en overwinterende vogels¹</i>	→ Oogstbare hoeveelheid voedsel per tij voor Natura 2000-doelsoorten → Areaal geschikt foerageer habitat voor Natura 2000-doelsoorten	→ SIBES (bodemdieren in en op de wadplaten) → MOSKOK (schelpdiermonitoring) → LiDAR survey wadplaten → Waterstanden Waddenzee → Litorale mosselbanken survey → Vogeltellingen op HVP's (hoogwater vluchtplaatsen) → Vogeltellingen vliegroutes
4) Waddenzee <i>Behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit schorren en zilte graslanden, buitendijks, inclusief zilte pioniervegetatie en de aanwezigheid van slijkgras¹</i>	→ Areaal en ontwikkeling kweldervegetatietypen volgens SALT97 typologie → Hoogteontwikkeling kwelder Overstromingsfrequentie/-duur kwelder	→ Vegetatieopnames → SEB metingen → Diepteloggers t.b.v. het meten van de overstromingsfrequentie
5) Lauwersmeergebied <i>Behoud van omvang en kwaliteit van het leefgebied voor broed- of trekvogels²</i>	→ Areaal geschikt broedhabitat voor Natura 2000-doelsoorten. → Areaal geschikt rustgebied voor Natura 2000-doelsoorten (slaapplaatsen). → Areaal geschikt foerageergebied voor Natura 2000-doelsoorten.	→ Bodemdaling op peilmerken → Vegetatieopnames → Grondwaterstanden en grondwaterchemie → Vegetatiestructuuroopnames → Broedvogeltellingen → Watervogeltellingen → Vegetatiebeheer → Waterstanden

1.6 Organisatiestructuur rond monitoring en rapportage

Dit jaar wordt er weer een aantal monitoring- en onderzoeksrapportages, inclusief deze integrale samenvatting, aangeboden aan de Ministers van EZK en LNV. Het doel is jaarlijks te kunnen controleren of bodemdaling door gaswinning binnen de gebruiksruimte blijft en of er geen sprake is van nadelige effecten op de instandhoudingsdoelstellingen. De Ministers dienen de tweede kamer hierover te informeren. Uit het oogpunt van zorgvuldigheid en transparantie vraagt de Minister van EZK jaarlijks een advies over de monitoringresultaten aan een onafhankelijke commissie wetenschappers die is voortgekomen uit de commissie voor de m.e.r. (fig. 5). Deze Auditcommissie trekt jaarlijks haar eigen conclusies m.b.t. de monitoringresultaten, rapporteert deze aan de Minister van EZK en publiceert ze op het Internet. Gebruikelijkerwijs kondigt de Auditcommissie haar advies aan in een persbericht.

Het oordeel van de Auditcommissie bevat doorgaans een aantal adviezen ten aanzien van de monitoring en data-analyse. De NAM beoogt deze adviezen zo accuraat mogelijk op te volgen. Een overzicht van de adviezen voor 2018 is als bijlage 1 aan dit rapport toegevoegd. In deze bijlage geeft de NAM per advies aan hoe zij daar invulling aan gegeven heeft en waar in de rapporten die informatie te vinden is.

Voordat NAM de monitoringrapportages aanbiedt aan de Minister van Economische Zaken worden deze met de leden van de Commissie Waddengas 2006 gedeeld. Deze commissie bestaat uit belanghebbenden zoals overheden, gebiedsbeheerders en NGO's. De resultaten worden binnen deze commissie besproken, waarbij met name gelet wordt op de procesmatige kant van de monitoring. De Commissie Waddengas 2006 rapporteert haar bevindingen eveneens aan de Minister van Economische Zaken.



Figuur 5: Organisatie- en handhavingstructuur rond monitoring en rapportage in het kader van de gaswinning onder de Waddenzee.

2 Rapportages

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de rapporten die van belang zijn voor het tot stand komen van ons begrip over het meegroeivermogen van de Waddenzee, het Hand Aan de Kraan-principe en de ecologische monitoring (Tab. 2). In Tabel 3 staan de rapporten die in 2019 rond de monitoring beschikbaar zijn gekomen. Deze rapporten hebben betrekking op de monitoring en het onderzoek dat in 2018 is uitgevoerd.

Tabel 2: Overzicht relevante onderzoeken, incl. bodemdalingstudies rond de gaswinningen op Ameland en onder de Waddenzee (vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen). Meer rapportages zijn te vinden op www.nam.nl en www.waddenzee.nl.

RAPPORTAGE	JAAR	AUTEURS
Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee	1998	A.P. Oost, B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh
Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 13 jaar gaswinning	2000	Dijkema K.S., H.F. van Dobben, W.D. Eysink, M.E. Sanders, E.P.A.G. Schouwenberg, P.A. Slim, C.J. Smit, J. de Vlas & J. Wiertz
Bodemdalingstudie Waddenzee	2004	H.J. Hoeksema, H.P.J. Mulder, M.C. Rommel, J.G. de Ronde, J. de Vlas
Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 18 jaar gaswinning	2005	Dijkema K.S., D. Doornhof, H.F. van Dobben, W.D. Eysink, M. Kersten, J. Krol, W. Molenaar, M.E. Sanders, S. Schoustra, P.A. Slim, W. Veldwisch & Z.B. Wang
Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning Vloedkommen van het Friesche Zeegat. Rapport Z3995	2005	Wang, ZB & W.D. Eysink
MER aardgaswinning Waddenzeegebied vanaf locatie Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen	2006	Wittenveen & Bos, Berkenbod & Koetsenruiter, Alterra, WL/Delft Hydraulics, Grontmij, Oranjewoud, Altenburg & Wymenga, Tebodin, NAA akoestisch adviesbureau, Vectra Group, NAM.
Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 23 jaar gaswinning	2011	Dijkema K.S., H.F. van Dobben, B. Dullo, B. Ens, M. Kersten, G. Ketelaar E. Koppelaar, J. Krol, K. Rappoldt, P. Slim & Z.B. Wang
Morfologische effecten bodemdaling in relatie tot gebruikruimte	2017	Wang, Z.B., J. Cleveringa & A. Oost.
Monitoring effecten bodemdaling op Oost-Ameland, Evaluatie na 30 jaar monitoring	2017	Piening H, Krol J, Ens BJ, Rappoldt C, Kampichler C, Van Duin W, Elschot K, Kuiters L, De Vlas J, Marquenie J, Wang ZB.
Ontwikkelingen van de Nederlandse Waddenzee bekkens tot 2100: De invloed van versnelde zeespiegelstijging en van bodemdaling op de sedimentbalans- een synthese	2018	Van der Spek

Tabel 3: Overzicht rapportages over de monitoringresultaten en modellering die in 2018 beschikbaar zijn gekomen. De LTS rapportages zijn beschikbaar op de NAM website (<http://www.nam.nl/gas-en-oliewinning/wadden.html>). Een publieksvriendelijke samenvatting is als bijlage aan de Meet- & Regelrapportage toegevoegd.

MONITORINGONDERDEEL	INSTANTIE	RAPPORTAGE
Waddenzee		
Bodemdaling	NAM	Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2018. NAM rapport EP201905200582
	NAM	Waddenzee Meet- en Regelcyclus 2018. Controle van de reservoirmodellen met de 2018 drukmetingen. NAM rapport: EP201904223961
Hoogteligging/arealen en sedimentatie-erosie van wadplaten	Terratec	Project: Waddenzee – 1st LiDAR acquisition for 2018 (2018) Terratec report 40958 / 25535
	Terratec	Waddenzee – 2nd LiDAR acquisition for 2018 (2018) Terratec report 41045
	Deltares	Van der Lugt M, Visser M, Van den Boogaard H (2019) Analyse LiDAR data voor het Friesche Zeegat (2010-2018) Monitoring effect bodemdaling door gaswinning. Deltares rapport
	NCA	Krol J (2019) Wadsedimentatiemetingen Ameland, Engelsmanplaat, Peasens en Schiermonnikoog 2007- 2018
Voedselbeschikbaarheid en – bereikbaarheid voor wadvogels	Sovon NIOZ WMR Ecocurves	Ens BJ, Van der Meer J, Troost K, Van Winden E, Schekkerman H, Rappoldt K (2019) Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag rapportage tot en met monitoringjaar 2018. Sovon-rapport 2019/22
	Ecocurves Sovon	Rappoldt C, Ens BJ en Schekkerman, H (2019) Wadvogel habitat model Wadmap. EcoCurves rapport 30, ISSN 1872-5449. Technische documentatie
Kwelder		
Sedimentatie en vegetatie-ontwikkeling	Artemisia	Van Duin (2019) Kweldermonitoring in de Peazemerlannen en het referentiegebied West-Groningen: Evaluatierapport 2007-2018. Artemisierapport 2019-2
Lauwersmeer		
Vogelaantallen, vegetatie-ontwikkeling en draagkracht voor doelsoorten	Sovon A&W Buijs	Kleefstra R, Beemster N, Bijkerk W, Bakker R, Bekkema M, Buijs R, De Boer P, Ens BJ, Kampichler C & Stahl J (2019) Analyse van de effecten van bodemdaling op vegetatie en vogels in het Lauwersmeer in 2018.

3 Gasproductie

De gasproductie uit de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen vindt plaats vanaf de locaties Moddergat (fig. 6), Lauwersoog en Vierhuizen. Opgeteld, bedroeg deze productie in 2018 afgerond 1,3 miljard kuub. Dit was in overeenkomst met het geplande productievolume conform het Winningsplan MLV uit 2011 (Tabel 4). De totale productie sinds de start van de winning in 2006 bedraagt nu ruim 20 miljard kuub gas.

Volgens het Winningsplan Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen (2011) eindigde de gaswinning uit het gasveld Vierhuizen in 2017. Vandaar dat het geplande gasvolume voor 2018 in tabel 4 op nul staat. Omdat het veld nog niet uitgeproduceerd is en het geplande gasproductievolume nog niet gehaald is, is er gedurende 2018 nog 0,5 miljard kuub gas uit geproduceerd. In 2019 is de winning uit Vierhuizen-Oost verlengd tot 31 december 2024 voor een totale gasproductie tot maximaal 2605 miljoen Nm³

Tabel 4: Productie per voorkomen tot en met 31/12/2018. De gepresenteerde getallen dienen te worden vermenigvuldigd met een miljoen kuub gas bij een druk van 1 atmosfeer (10⁶ Nm³). Deze tabel is overgenomen uit de Meet- & Regelrapportage 2018 (Tabel 2-2).

Velden	Cumulatieve productie t/m 2018 (10 ⁶ Nm ³)	Geplande productie volgens 2011 winningsplan in 2018 (10 ⁶ Nm ³)	Actuele productie in 2018 (10 ⁶ Nm ³)
Nes	10320	943	763
Moddergat	4334	184	233
Lauwersoog-C	130	3	7
Lauwersoog-West	1501	60	89
Lauwersoog-Oost	2134	87	125
Vierhuizen-Oost	1628	0	56
Totaal*	20047	1277	1273



Figuur 6: Luchtfoto van de gaswinlocatie Moddergat tijdens een boring.

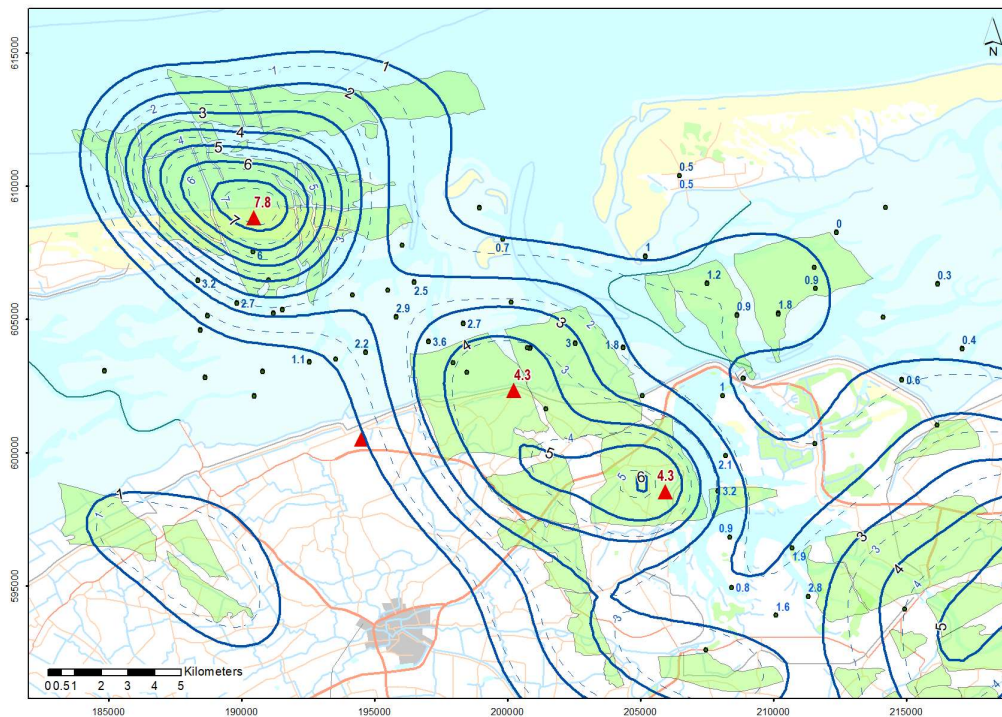
Conform de regelgeving mag de gasproductie 20% afwijken van wat er in een Winningsplan wordt voorgesteld. Deze 20% heeft betrekking op de totale verwachte productie en geldt niet per veld of put, maar voor het Winningsplan als geheel.

In relatie tot bodemdaling onder de Waddenzee betekent een wat lagere productie uit het gasveld Nes een wat lagere bodemdalingsnelheid onder het Pinkegat en betekent een wat hogere productie vanuit het gasveld Moddergat een wat hogere bodemdalingsnelheid onder de Zoutkamperlaag. Dit wordt veroorzaakt door de meer oostelijke ligging van het gasveld Moddergat (zie figuur 2). De berekende bodemdalingsnelheid onder beide kombergingen en de bijdrage van de verschillende gasvelden daarin in 2017 worden besproken in paragraaf 4.1.

4 De Waddenzee

4.1 Bodemdaling in het wadden- en lauwersmeergebied

Een groot deel van de bodemdaling die veroorzaakt wordt door de gasproductie vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen ontstaat onder zee. De berekende verdeling tussen land en zee is zichtbaar gemaakt in figuur 7. Hierin is ook de invloed van de gaswinning Ameland, Anjum en Blija meegenomen. Figuur 7 presenteert de totale bodemdaling in het gebied sinds 2006, omdat toen met de productie vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen is gestart. De totaal opgetreden bodemdaling boven het gasveld Ameland sinds 1986 bedraagt op het diepste punt nu ca. 38 centimeter. Voor Anjum is dat ca. 13 centimeter. De gasproductie uit het gasveld Blija veroorzaakt nauwelijks bodemdaling.



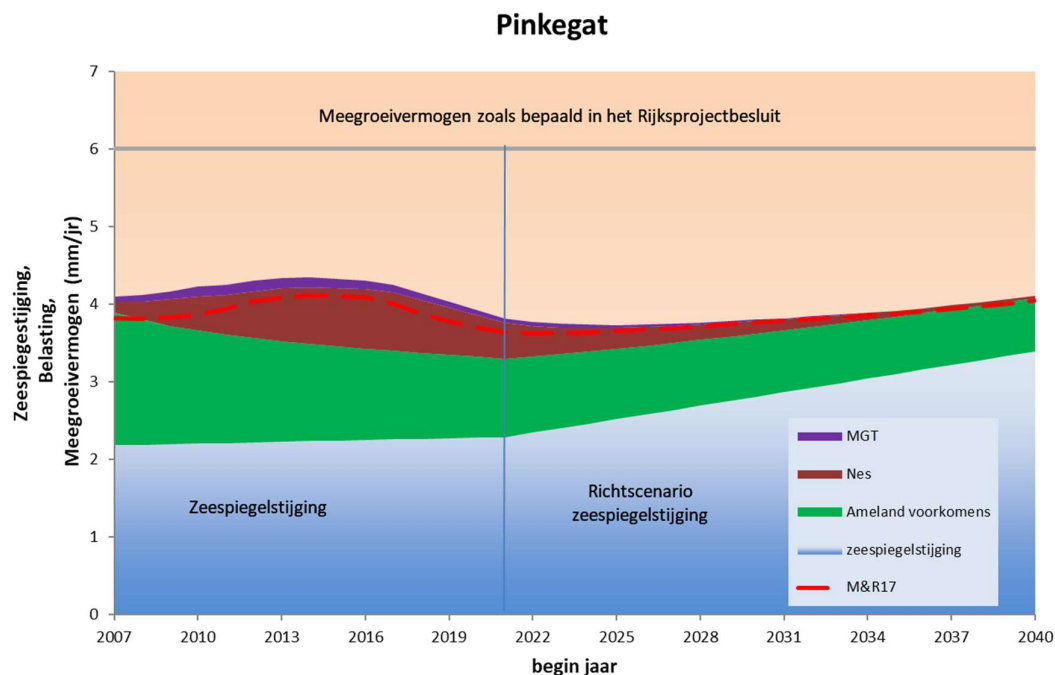
Figuur 7: Bodemdaling in cm (status modelcontour: 1-1-2018) door gaswinning sinds de nulmeting in de Waddenzee in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen. De gestreepte contouren geven de bodemdaling t/m 2017 weer zoals getoond in de M&R-rapportage over 2017. De stippen met label representeren de peilmerken die in 2018 voor het laatst zijn ingemeten. Bij de punten staan de gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee) tot de laatst uitgevoerde meting in mei 2018. De rode waarden geven de daling aan van de permanente GPS-stations (rode driehoeken) in de periode feb. 2007- jan. 2019. Er is geen bodemdaling aangegeven voor het Ternaard GPS-station omdat deze nog niet in bedrijf was in 2006. Dit is figuur 18 uit de Meet- & Regelrapportage over 2018.

De rode driehoeken in figuur 7 zijn posities waar continue met GPS de hoogte wordt gelogd. Deze instrumenten zijn aan bebouwing bevestigd en staan ongeveer in het centrum van de bodemdalingschotels van de gasvelden Ameland, Anjum en de combinatie van Nes en Moddergat. In het centrum van de bodemdalingschotel is de bodemdalingsnelheid het hoogst. Omdat bodemdaling een traag proces is, kun je de bodemdaling het best van de meetfout van de GPS onderscheiden daar waar de snelheid van daling het hoogst is. In Tabel 5 wordt de gemiddelde dalingsnelheid, gemeten op het diepste punt van de bodemdalingschotels, in 2018 weergegeven.

Naast de in figuur 6 getoonde GPS-loggers staan er ook loggers buiten het bodemdalinggebied. Zo staat er een logger op Schiermonnikoog en een op Ameland ter hoogte van het dorp Nes. Dit zijn referentiepunten op een plekken waar geen gas wordt gewonnen. Hier is sinds 2006 dan ook geen of bijna geen bodemdaling opgetreden. Sinds november 2016 wordt er ook gemeten in de buurt van Ternaard. Ondanks dat hier geen gaswinning optreedt is de gemeten dalingsnelheid zo'n 2,5 millimeter per jaar. In hoeverre dat autonome daling betreft, valt in de toekomst te bezien.

Tabel 5: Dalingssnelheid op de locaties gelegen in het centrum van de bodemdalingschotels, gemeten m.b.v. continue GPS metingen t/m 2018. Deze informatie is overgenomen uit de tabel 2-3 van de Meet- & Regelrapportage over 2018.

Locatie	Start Monitoring	Absolute verticale beweging sinds start monitoring [mm]	Verticale bewegingssnelheid in 2018 [mm/jaar]
Ameland	05-02-2007	-78	-6,0 [$1\sigma = 1,0$ mm/jaar]
Anjum	05-02-2007	-43	-3,4 [$1\sigma = 0,7$ mm/jaar]
Moddergat	05-02-2007	-43	-6,3 [$1\sigma = 0,9$ mm/jaar]
Ameland-Nes	17-06-2014	-4	+0,4 [$1\sigma = 1,9$ mm/jaar]
Ternaard	19-11-2016	-5	-2,5 [$1\sigma = 0,6$ mm/jaar]



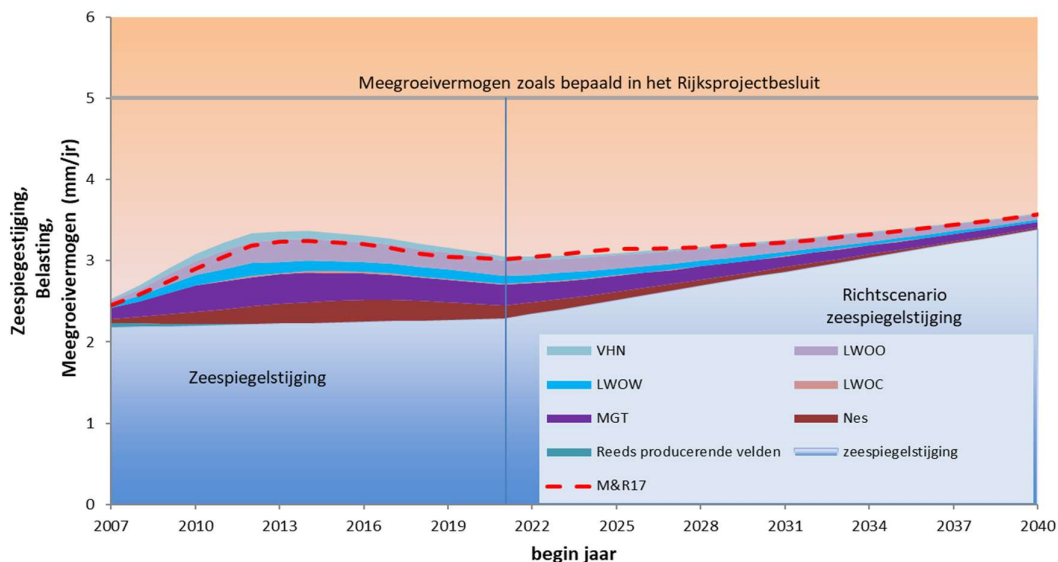
Figuur 8: Cumulatieve, gemodelleerde bijdrage van de gaswinning uit de velden Moddergat (MGT), Nes en Ameland en van de zeespiegelstijging aan de belasting (=gemiddelde relatieve bodemdalingsnelheid) van het kombergingsgebied Pinkegat. De roodgestreepte lijn is de totale belasting zoals die vorig jaar was berekend. Figuur 7 is afbeelding 21 uit de Meet- & Regelrapportage over 2018.

De gemiddelde bodemdalingssnelheid per kombergingsgebied is kleiner is dan de dalingsnelheid die de GPS-loggers in tabel 5 meten boven de producerende gasvelden. Deze dalingsnelheid is voor het Pinkegat is weergegeven in figuur 8 en voor de Zoutkamperlaag in figuur 9. De figuren 8 en 9 presenteren de bijdrage van de gasproductie uit verschillende gasvelden aan de berekende gemiddelde bodemdalingssnelheid onder de deelgebieden. In de figuren is die bodemdalingssnelheid bovenop de snelheid van zeespiegelstijging geplot. De belasting van het Pinkegat bedraagt momenteel ca. 4 millimeter per jaar.

De gemiddelde bodemdalingssnelheid onder het Pinkegat wordt geschat op ca. 2 millimeter per jaar. Bovenop een zeespiegelstijging van 2,3 millimeter per jaar wordt ruim beneden de natuurgrens van 6 millimeter per jaar gebleven. De grootste bijdrage aan deze bodemdaling komt van de Amelandwinning. De bijdrage van de gasproductie uit het gasveld Nes loopt terug. De gaswinning uit het veld Moddergat heeft bijna geen invloed op het Pinkegat. Sinds 2006 is de som van de gemiddelde bodemdaling onder het Pinkegat < 3 centimeter.

Voor de Zoutkamperlaag levert het gasveld Moddergat de grootste bijdrage aan de bodemdaling. De gemiddelde bodemdaling is hier ongeveer iets meer dan 1 millimeter per jaar en de som sinds 2006 bedraagt ca. 1,2 centimeter. De huidige resultaten komen overeen met die van vorig jaar.

Zoutkamperlaag



Figuur 9: Cumulatieve, gemodelleerde bijdrage van de gaswinning uit de velden Moddergat (MGT), Nes, Lauwersoog (LWOC), Lauwersoog West (LWOW), Lauwersoog Oost (LWOO) = Centraal en Vierhuizen (VHN) en van de zeespiegelstijging aan de belasting (=gemiddelde relatieve bodemdalingssnelheid) van het kombergingsgebied Zoutkamperlaag (zie ook figuur 2). De roodgestreepte lijn geeft het plafond van de berekende belasting op basis van de in 2016 verwerkte data en toegepaste modellen voor bodemdaling. Figuur 8 is afbeelding 22 uit de Meet- & Regelrapportage over 2018.

De resultaten komen redelijk overeen met die van vorig jaar. De berekende bodemdalingsnelheid ligt iets hoger dan in de voorgaande rapportage is berekend. In de figuren 8 en 9 is dat te zien door het plafond van de berekende belasting met de rood-gestreepte lijn te vergelijken. Deze lijn vormt het plafond zoals dat vorig jaar gepubliceerd is. Mogelijke oorzaken voor dit verschil zijn de toepassing van een andere methodiek (LTS-II) en de aanpassing van de GPS-referentie naar het GPS netwerk in plaats van enkel het Schiermonnikoog station in de confrontatie tussen geodetische metingen en bodemdalingsmodellen.

Onder het Lauwersmeergebied varieert de sinds 2006 gemeten bodemdaling tussen de 0,5 en 4 cm (fig. 7). Deze daling wordt met name veroorzaakt door gaswinning uit de velden Anjum en Munnekezijl, gelegen in de zuidoost hoek van figuur 7.

In 2016 is het beleidsscenario voor de zeespiegelstijging herzien. Zo'n herziening dient iedere 5 jaar plaats te vinden. Het huidige scenario dient herzien te zijn in 2021. Dit scenario wordt in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken ontwikkeld door de organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO). In figuur 8 en 9 staat de snelheid waarmee TNO verwacht dat de zeespiegel stijgt. Het bestaat uit twee delen die in figuur 8 en 9 zijn gescheiden door een vertical lijn in het jaar 2021. Deze delen heten respectievelijk "Zeespiegelstijging" en "Richtscenario zeespiegelstijging". Wat opvalt is dat de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt voor 2021 minder snel toeneemt dan na 2021. Dit komt omdat de snelheid in de periode voor 2021 voornamelijk gebaseerd is op de gemeten stijging van de zeespiegel langs de Nederlandse kust, terwijl het "Richtscenario zeespiegelstijging" meer rekening houdt met wereldwijde voorspellingen die een sterke acceleratie van de zeespiegelstijging verwachten. In 2020 zal door TNO gekeken worden of die versnelling reeds lijkt op te treden, of dat deze weer een aantal jaren naar achteren dient te worden verschoven.

Voor het monitoringjaar 2018 kan worden geconcludeerd dat bodemdaling door gaswinning binnen de gestelde gebruiksruimte is gebleven en dat deze gebruiksruimte in de toekomst niet dreigt te worden overschreden. Ook voor de periode na 2021 geldt dat de natuurgrens van 6 millimeter per jaar voor het Pinkegat en van 5 millimeter per jaar voor de Zoutkamperlaag niet worden overschreden voor de totale looptijd van de vergunningen voor gaswinning onder de Waddenzee.

Aardbevingen

Sinds 1986 zijn er in het gebied drie aardbevingen geregistreerd, waarbij de twee bevingen bij Ameland een magnitude kennen van 1,8 en de beving bij Metslawier een magnitude van 1,4 op de schaal van Richter. Zie bijlage 3 in de Meet- en Regelrapportage over 2018, figuur 23). Deze bevingen zijn door niemand gevoeld en hebben een trillingssnelheid die onder schadenorm ligt. Deze bevingen veroorzaken geen extra bodemdaling en hebben geen impact op de natuur.

4.2 Bodemhoogte meten aan het wadoppervlak

De wadplaten in de Waddenzee vormen een beschermd habitatype. In het Aanwijzingsbesluit Waddenzee wordt dit type *Bij eb droogvallende slik- en zandplaten* genoemd (H1140). Het beleidsdoel is om het oppervlak en de kwaliteit van dit type te behouden en/of te verbeteren. Een exactere uitleg van oppervlakte en kwaliteit wordt gegeven in het Profieldocument voor dit habitatype uit 2008. Het profieldocument geeft aan waar de begrenzingen van dit habitatype lopen. De benedengrens is de laagwaterlijn tijdens het zogenaamde L.A.T. (lowest astronomical tide). Deze grens wordt bijvoorbeeld op zee kaarten gehanteerd. De bovengrens is de waterlijn bij gemiddeld hoogwater. Op plekken waar de wadplaten beneden gemiddeld hoogwater met kwelderplanten begroeid zijn, wordt de benedengrens van de vegetatie aangehouden.

De bovengenoemde grenzen van H1140 zijn niet erg handig om de ontwikkeling van het oppervlak in een deelgebied van de Waddenzee te volgen. Zo ligt de beschreven benedengrens erg laag waardoor deze bijna altijd onder water blijft. In deze studie werken we met het gebied tussen -50cm tot +160cm NAP omdat dit tijdens een gemiddelde laagwaterperiode kan worden ingemeten. De genoemde bovengrens is in principe dynamisch. In deze studie wordt gebruik gemaakt van een vaste contour die de bovengrens van de wadplaten aangeeft. De kwaliteit van H1140 komt in paragraaf 4.3 aan de orde.

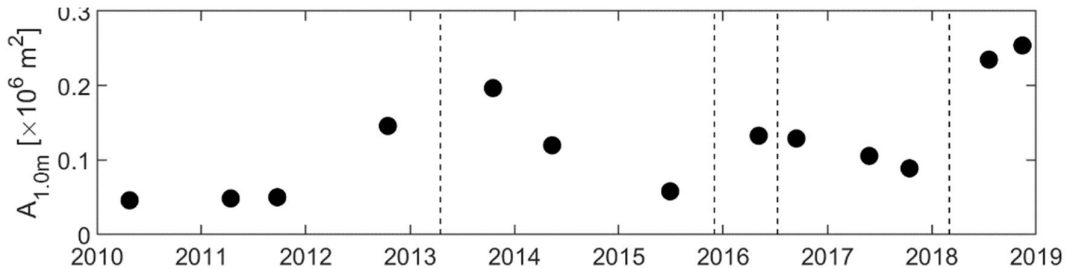
De monitoring van het areaal wadplaten tussen -50cm en +160cm NAP vindt twee maal per jaar plaats a.d.h.v. LiDAR. LiDAR is een Laserscanner die vanuit een vliegtuig de hoogte van de wadplaten inmeet tijdens laagwater. Hierbij verricht LiDAR meerdere hoogtemetingen per vierkante meter. Dit leidt tot een vlakdekkende hoogtekaart voor het gebied. In 2010 is met deze methode gestart. Sinds die tijd zijn er 15 van dat soort hoogtekaarten gemaakt. Twee daarvan zijn afgekeurd omdat duidelijk te zien was dat een deel van de wadplaten nog onderwater stond. Dat brengt het totaal op 13 metingen. Jaarlijks analyseert Deltares deze metingen (Van der Lugt *et al.* 2019).

Naast de LiDAR-opnames vinden er ook andere metingen plaats die informatie verschaffen over de hoogteontwikkeling van de wadplaten. Zo vinden er bij de GPS-clusters in het gebied waterpassingen plaats en worden bovenop enkele grote wadplaten spijkermetingen uitgevoerd. De spijkermetingen zijn puntmetingen. Samen geven ze een globale indruk van de ontwikkeling van de hogere delen van de wadplaten. Omdat de metingen iedere twee maanden plaatsvinden ontstaat er een gedetailleerd beeld van de ontwikkeling gedurende het jaar. De spijkermetingen focussen op de ontwikkelingen in het kombergingsgebied Pinkegat. De waterpassingen worden uitgevoerd door NAM en worden gebruikt ter vergelijking met de LiDAR meting in de lente/zomer.

Het doel van de onderhavige monitoring is vast te stellen of er sprake is van een negatieve ontwikkeling in het oppervlak van de droogvallende wadplaten en of dat het gevolg van de bodemdaling door de gaswinning kan zijn. Van der Lugt *et al.* (2019) analyseren de LiDAR-data op verschillende manieren. Zo kijken ze bijvoorbeeld naar de ontwikkeling van het areaal in verschillende deelgebieden: de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag, maar ook kleinere deelgebieden zoals het wad bij Paesens (boven het gasveld Moddergat), het wad boven het gasveld Ameland, etc. Voor die deelgebieden zijn door Van der Lugt *et al.* (2019) tijdseries van het gemeten areaal op 4 referentiehoogten (NAP-0.5m, NAP+0m, NAP+0.5m en NAP+1m) weergegeven. Hieronder worden de meest opvallende veranderingen weergegeven die volgen uit die analyses.

Wadplaatareaal boven NAP+100cm

Een areaal wadplaten boven 100cm + NAP komt in een aantal deelgebieden niet voor. Dit zijn Brakzand, Paesens en Ternaard. Onder Ameland ligt een zeer klein deel van het wad boven 100cm + NAP. Dit oppervlak bedraagt minder dan 5 hectare. De uitzondering is de hooggelegen Engelsmanplaat. Het oppervlak van de hooggelegen plaatdelen lijkt daar sinds 2010 te zijn toegenomen (fig. 10). Voor de kombergingen als geheel is er geen sprake van een structurele toe- of afname van dit areaal.



Figuur 10: Tijdserie van gemeten areaal op NAP+100cm rondom de Engelsmanplaat. Verticale stippellijnen geven de wisseling van meetdienst weer. Dit is een uitsnede uit figuur 4.6 uit Van der Lugt *et al.* (2019).

Wadplaten boven NAP+50cm

Met uitzondering van het deelgebied Ternaard, hebben alle onderzochte deelgebieden een deel van hun wadplaatareaal in deze hoogtezone liggen. Voor de deelgebieden Ameland en Engelsmanplaat lijkt er sprake te zijn van een gestage afname van dit deel van het areaal. Ook voor het Pinkegat als geheel is deze afname zichtbaar (fig. 11). Deze verandering bedraagt voor het Pinkegat ca. -40 hectare. Voor de Zoutkamperlaag is er geen sprake van een ontwikkeling in deze hoogtezone.

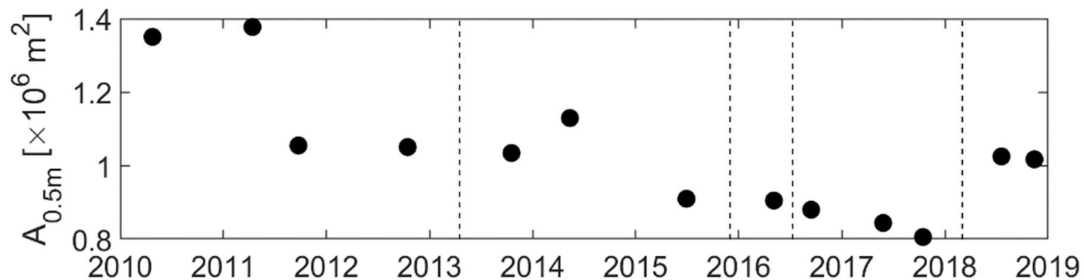


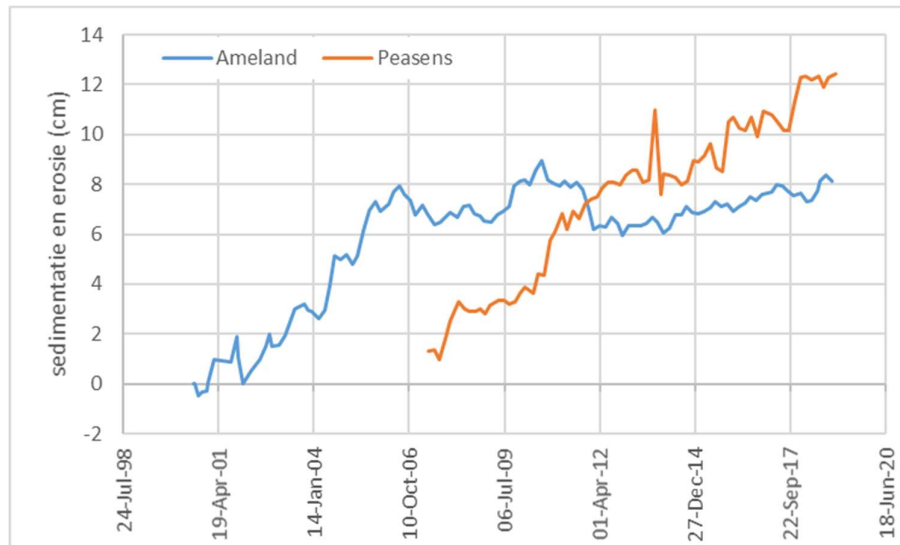
Fig. 11: Tijdserie van gemeten areaal op NAP+50cm voor het Pinkegat. Verticale stippellijnen geven de wisseling van meetdienst weer. Dit is een uitsnede uit figuur 4.2 uit Van der Lugt *et al.* (2019).

Wadplaten boven NAP

Het areaal boven NAP is in het Pinkegat ca. 8 x zo groot als de hierboven besproken zone boven NAP+50cm. De afname in het areaal wadplaten is ook voor deze hoogtezone nog enigszins zichtbaar. Dit geldt in dezelfde mate voor het deelgebied Ameland. De Zoutkamperlaag en de rest van de deelgebieden vertonen geen trend voor deze hoogtezone. Dit is ook het de hoogtezone waar de spijkermetingen worden uitgevoerd. De spijkermetingen tonen voor het deelgebied Paesens dat er sinds de start van de gaswinning in 2007 een duidelijke toename van de wadplaathoogte plaatsvindt (fig. 12). Deze verandering wordt ook in de LiDAR-data waargenomen (zie figuur 37 uit Krol, 2019).

Op de Engelsmanplaat is er gemiddeld genomen geen sprake van een toe- of afname van de wadplaathoogte. Onder Oost-Ameland worden al sinds het jaar 2000 spijkermetingen

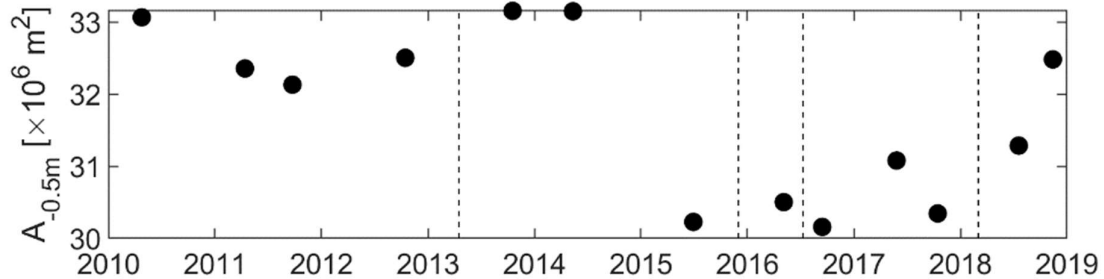
verricht. Na een sterke gemiddelde hoogtetoename is er sinds 2006 geen sprake van een toe- of afname van de wadplaathoogte (fig. 12). De ruimtelijke verschillen zijn echter groot. Richting de eilandstaart (oost) domineert de erosie. In vergelijking met andere deelgebieden is de ruimtelijke variatie in erosie-sedimentatie patronen zeer gevarieerd. Onder West-Ameland worden ook spijkermetingen verricht. Deze wadplaten liggen in het kombergingsgebied Borndiep. Sinds 2006 trad er ca. 15cm sedimentatie op. Sinds enkele jaren worden er spijkermetingen verricht op de Piet Scheveplaat. Ook deze is gelegen in het Borndiep. De tot dusver gemeten sedimentatiesnelheid is hoog (ca. 1cm per jaar). Ook de wadplaat onder de westpunt van Schiermonnikoog, die onderdeel is van de Zoutkamperlaag, is sinds 2007 met ca. 8cm hoger komen te liggen.



Figuur 12: De gemiddelde erosie (-) en sedimentatie (+) op basis van de spijkermetingen op de wadplaat onder Oost-Ameland (blauw) en bij Peasens (oranje). Dit resultaat is overgenomen uit Krol (2019).

Wadplaten boven NAP-50 cm

Een groot deel van de wadplaten ligt tussen de -50cm en 0cm NAP. Voor het Pinkegat vormt deze hoogtezone ca. 3/4 van het areaal wadplaten. Voor de Zoutkamperlaag is het ca. 1/2 van het areaal. Voor habitattypen H1140 ligt ook nog een deel van het gebied tussen L.A.T. en -50cm NAP. Hoe groot dat deel is, is voor deze studie niet bepaald. De LiDAR-data toont voor het Pinkegat een soort tweedeling in de data. De surveys 2010-2015 meten een areaal van ca. 3300 hectare, terwijl de surveys sinds 2015 structureel ca. 250 hectare lager uitkomen. Dit verschil is van dezelfde ordegrrootte als die in de hoogtezone boven NAP. Opvallend is echter de sterke 2-deling in de tijdserie (fig. 13). Voor de Zoutkamperlaag is deze verandering in de LiDAR-tijdserie niet waargenomen. In de kleinere deelgebieden worden geen trends in deze hoogtezone waargenomen. Alleen voor het deelgebied Paesens geldt dat er na 2015 een plotselinge afname van deze hoogtezone wordt geobserveerd. Dit kan veroorzaakt worden doordat een belangrijk deel van het sterk ophogende gebied binnen de contour sinds 2015 boven de -50cm NAP uitkomt (fig. 14).



Figuur 13: Tijdsree van gemeten areaal boven NAP-50cm voor het Pinkegat. Verticale stippellijnen geven de wisseling van meetdienst weer. Dit is een uitsnede uit figuur 4.7 uit Van der Lugt *et al.* (2019).

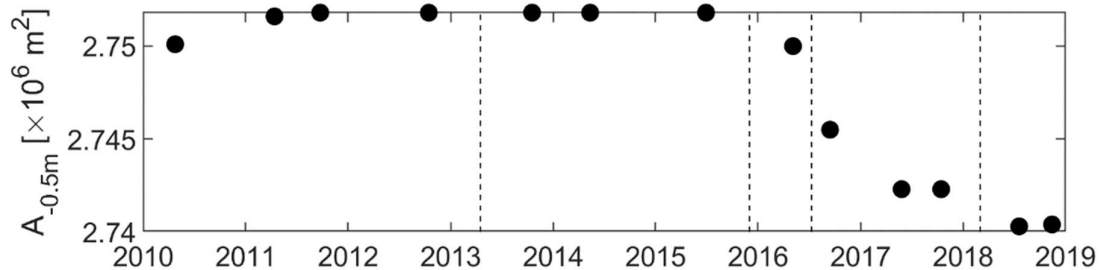


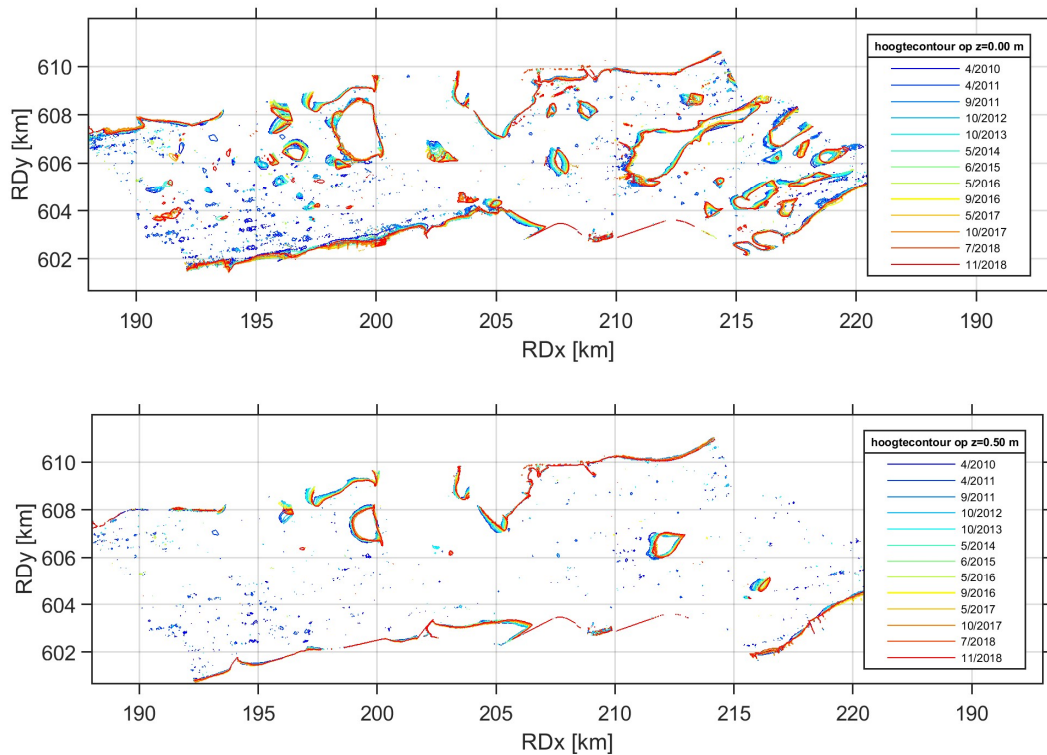
Fig. 14: Tijdsree van gemeten areaal boven NAP-50cm voor het Peazummerwad. Verticale stippellijnen geven de wisseling van meetdienst weer. Dit is een uitsnede uit figuur 4.7 uit Van der Lugt *et al.* (2019).

Samenvattend zijn er in de tijdseries voor wadplaathoogte en -areaal twee opvallende ontwikkelingen waargenomen. Dit zijn de schijnbare afname van het areaal wadplaten voor de hoogtezene NAP+50cm in het Pinkegat en dezelfde zone voor het deelgebied Ameland. Deze trends worden hieronder nader bediscussieerd.

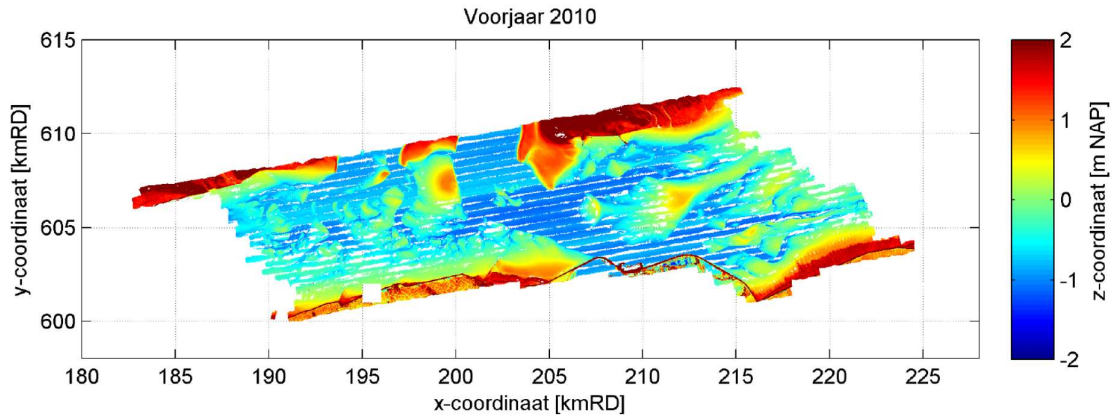
In tijdserie analyse heb je te maken met temporeel gecorreleerde data. In dit geval betekent dit, dat LiDAR-surveys die in de tijd dicht bij elkaar liggen, gemiddeld meer op elkaar lijken. Dit kan gebeuren omdat ze dezelfde natuurlijke situatie weergeven, of omdat ze een meer vergelijkbare behandeling (data-acquisitie / -verwerking) hebben ondergaan. Dit soort correlatie leidt tot afhankelijkheid in de dataset, hetgeen de regressie-analyse bemoeilijkt (Zuur *et al.* 2007). Een opvallend voorbeeld hiervan is de tweedeling in de dataset voor het wadplatenareaal in het Pinkegat, gelegen boven NAP-50cm (Fig. 13), maar ook in andere figuren (10, 11, 14) zie je opvolgende surveys vaak in kleine groepjes bijeen liggen. Deze temporele afhankelijkheid leidt tot een onderschatting van de variantie in regressie-analyse (Zuur *et al.* 2009). Om vast te stellen of er sprake kan zijn van een significante trend moet daarvoor gecorrigeerd worden. Korte tijdseries zijn daar niet geschikt voor. De vuistregel in de statistiek is dan ook om een minimale tijdserie van 15 metingen aan te houden voordat succesvol tot analyse kan worden over gegaan. De huidige tijdserie is dus aan de korte kant. Het toetsen van significantie zou inhouden dat gekeken wordt in hoeverre de nul-hypothese (die luidt dat er geen sprake is van een afname van het areaal wadplaten) kan worden verworpen. Voor deze studie is zo'n toetsing minder belangrijk. Ook indien er geen sprake is van een significante trend, willen we patronen die we visueel in tijdseries waarnemen, interpreteren en bediscussieren.

Stel dat je ervan uit gaat dat LiDAR het areaal wadplaten zonder fout meet en dat de ligging van de wadplaten binnen de vastgelegde contour voor de kombergingen gelijk blijft, dan is er in het Pinkegat voor de wadplaten gelegen boven NAP sprake van een afname van het

areaal van ca. 20%. Deze verandering heeft plaatsgevonden in de periode 2010-2015 en is daarna gestopt. Hetzelfde geldt voor het deelgebied Ameland. Wanneer die hoogtecontouren per jaar op kaart wordt gezet, wordt een opvallend patroon zichtbaar. In figuur 15 is te zien dat de hoogtecontouren op 0 en op +50cm NAP een groot aantal kleine stipjes laten zien die in oost-westelijke richting naast elkaar liggen. De blauwe-groene kleur geeft aan dat het hier om de oudere surveys gaat. De lijnvormig gegroepeerde stippen doen sterk aan de vliegbanen van de LiDAR-survey denken (Arentz en Vroom, 2014; Vroom en Beekhuizen, 2015). Zie de figuren 16 en 17.



Figuur 15: Ruimtelijke verdeling van platen op basis van hoogtecontouren voor het hele projectgebied van 2010 (blauw) naar 2018 (rood). Boven: contourlijnen op NAP+0m en onder: contourlijnen op NAP+0.50m. Dit is een uitsnede van figuur 3.2 uit Van der Lugt *et al.* (2019).

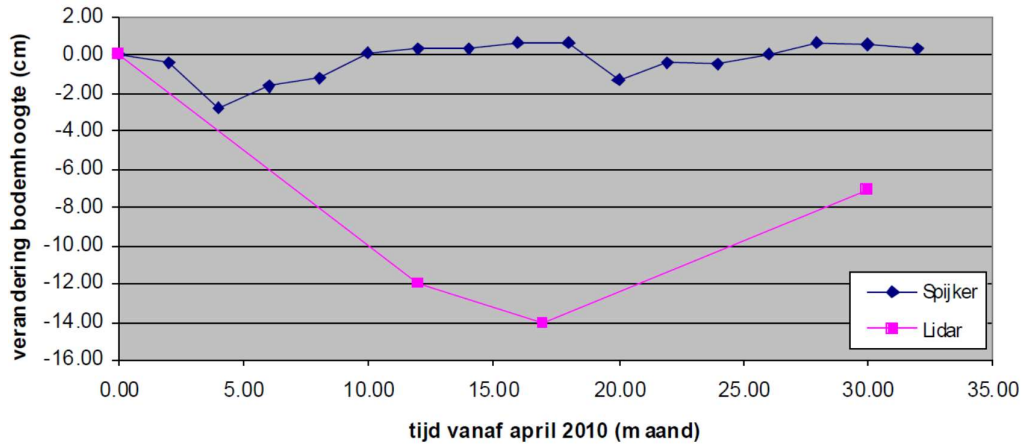


Figuur 16: Visualisatie van de ASCII 1x1m LiDAR-bodemhoogte gegevens op een 10m x 10m grid voor de LiDAR-opname gemaakt in april 2010. Het streeppatroon in oost-west richting toont de meetbanen van het vliegtuig, waarbij de witte strepen betekenen dat er geen data beschikbaar is. Deze wordt ingevuld middels interpolatie met omliggende gridcellen. Dit is een uitsnede uit figuur 3.5 uit Arentz en Vroom, 2014)



Figuur 17: Puntendichtheid van de LiDAR opnames van het najaar van 2014. Groen: ≥ 4 punten per m^2 , rood: < 4 punten per m^2 , zwart: geen data of data beneden -0,7m NAP. Dit is een uitsnede van figuur 3.1 uit Vroom en Beekhuizen (2015).

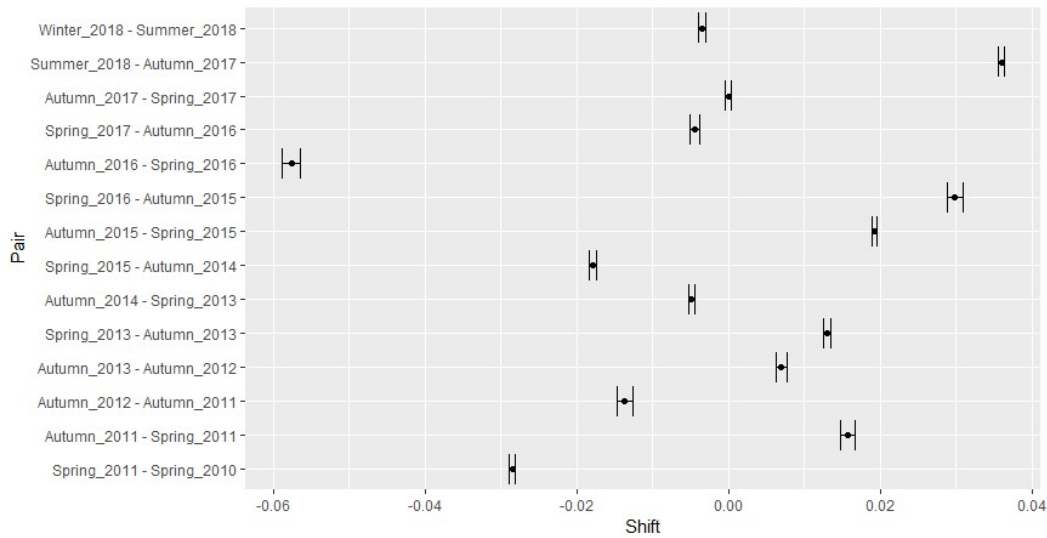
Alias en Wang (2013) vergelijken de bodemhoogte verandering onder Oost-Ameland gemeten met LiDAR en spijkermetingen. Hiervoor kijken ze voor iedere set spijkermetingen (locatie) afzonderlijk. Vanaf 2010 laat de LiDAR data in de meeste vergelijkingen een afname in wadplaathogte zien van gemiddeld 5 tot 15cm. De spijkermetingen tonen deze afname niet. Figuur 18 toont een voorbeeld van zo'n vergelijking tussen de LiDAR-data en een set spijkermetingen op locatie S20.



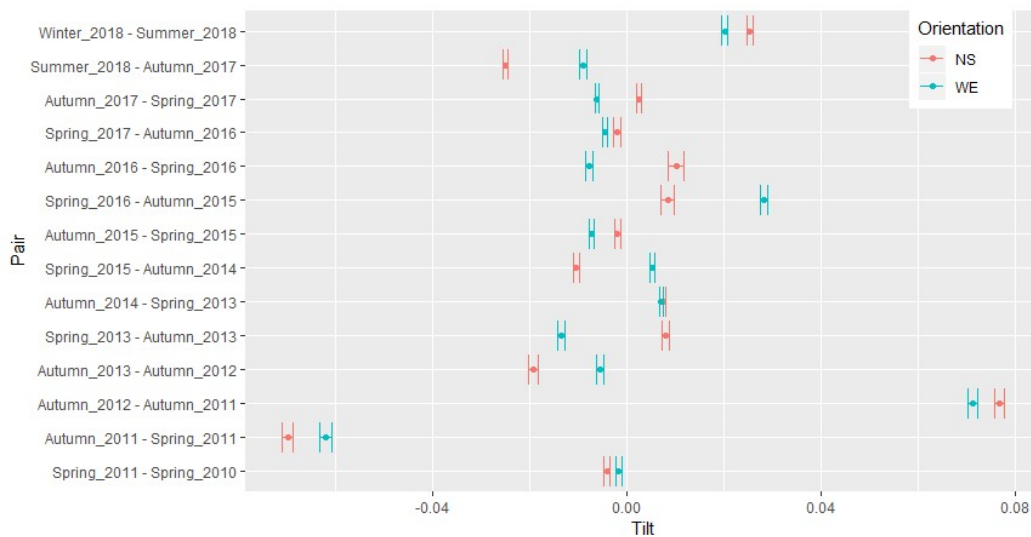
Figuur 18: Vergelijking van de gemeten verandering in wadplaathoogte voor het meetpunt S20 onder Oost-Ameland vanaf 2010. Dit figuur toont het resultaat van de eerste 4 LiDAR metingen en de spijkermetingen die in diezelfde periode plaatsvonden. Dit voorbeeld betreft Spijkermeeetlocatie S20 zoals weergegeven in Krol (2019). Dit figuur is een uitsnede uit Elias en Wang (2013).

In 2018 is er een analyse gemaakt van meetfout in de LiDAR-data. Dit is gedaan door veranderingen in hoogteligging van harde topografie (wegen/daken van huizen) te bestuderen. Het gaat hierbij om harde topografie die langs de randen van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag worden ingemeten tijdens het meten van de wadplaathoogte. In deze studie is gekeken naar twee zaken. 1) het totale gemiddelde hoogteverschil tussen surveys en 2) de mate van kanteling van de hoogtekaart tussen surveys, zowel in noord-zuid als in oost-west richting. De resultaten laten zien dat de gemiddelde systematische verschillen tussen de surveys tussen de -3 en +4cm bedroegen. Een uitzondering vormde de hoogte van de harde topografie in het najaar van 2016. Deze lag bijna 6 cm lager dan in het voorjaar daarvoor (fig. 19).

Uit de hierboven genoemde analyses van de harde topografie bleek dat er naast een gemiddelde hoogteverandering soms ook sprake was van een kanteling van de hoogtekaart. De kantelingen in de noord-zuid en west-oost richting liggen meestal tussen de -2 en +2 cm. Sterke mate van kanteling is tussen het voor- en najaar van 2011 gemeten (6-7cm). Ook in de zomer van 2018 zijn zowel het gemiddelde hoogteverschil als de noord-zuid kanteling, opvallend. De surveys uit 2018 zijn in sterke mate bepalend voor de trend in het areaal wadplaten. In overleg met Terratec zal de dataverwerking stapsgewijs worden nagelopen om te kijken of er sprake kan zijn van een onnodige fout (inconsistentie).



Figuur 19: Met LiDAR gemeten gemiddelde hoogteverschil (Shift) van zogenaamde Harde Topografie (wegen, daken, etc.) langs de randen van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag voor opvolgende surveys.



Figuur 20: Met LiDAR gemeten kanteling (Tilt) van de hoogtekaart voor Pinkegat en Zoutkamperlaag voor opvolgende surveys, bepaald op basis van de zogenaamde Harde Topografie (wegen, daken, etc.) langs de randen van het gebied.

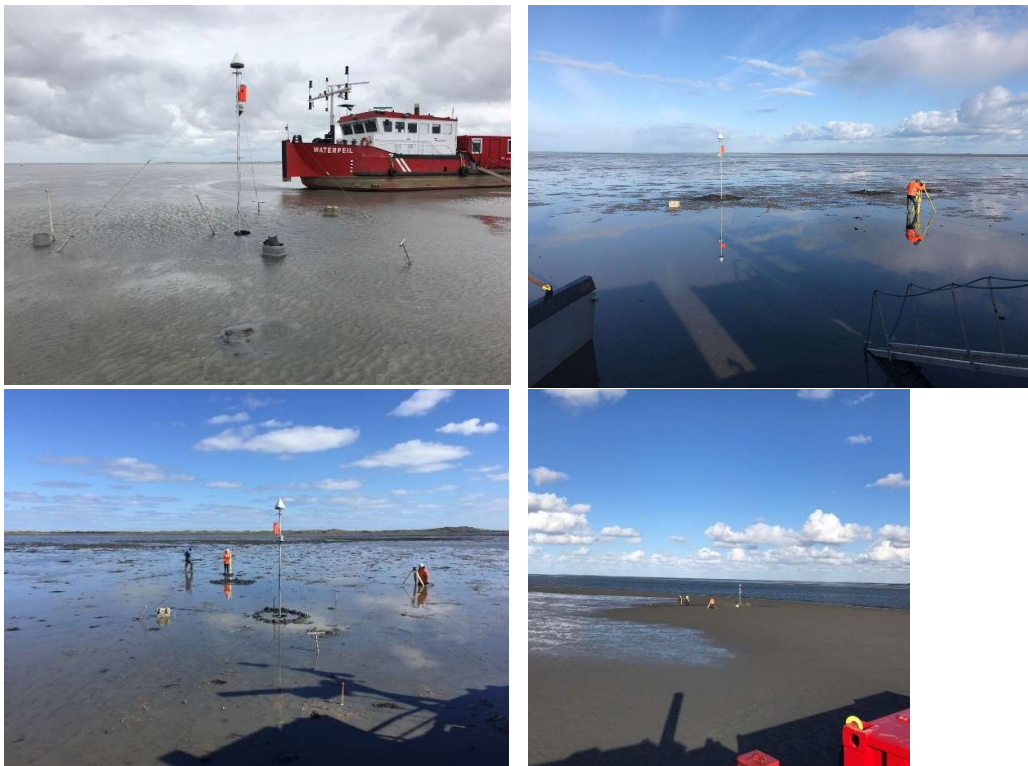
Op basis van de hierboven besproken meetfout kan worden vastgesteld dat deze minimaal enkele centimeters betreft. De “tilt” geeft aan dat de mate van “shift” niet voor de hele hoogtekaart gelijk is (niet consistent over het hele wad). Of de kanteling wel gelijkmatig in de ruimte verloopt en waar het kantelpunt ligt, is nog onduidelijk.

Deltares heeft geanalyseerd in hoeverre gemeten “shift” de jaarlijkse verschillen in wadplaathoogte kan verklaren. Van der Lugt *et al.* (2019) constateren een duidelijke correlatie tussen de gemeten hoogteverschillen op het land en op het wad. Hieruit blijkt dat een “shift” op basis van de harde topografie in zekere mate representatief is voor een “shift” in de wadplaathoogte. Daaruit blijkt dat de “shift” een deel van de schijnbare afname in de wadplaathoogte kan verklaren. In figuur 5.4 correleren Van der Lugt *et al.* (2019) de “shift” aan het oppervlak wadplaten boven -50cm NAP, gedeeld door het oppervlak van

het totale gebied. Het is daarom logisch dat het oppervlak niet proportioneel toeneemt met de mate van de “shift”.

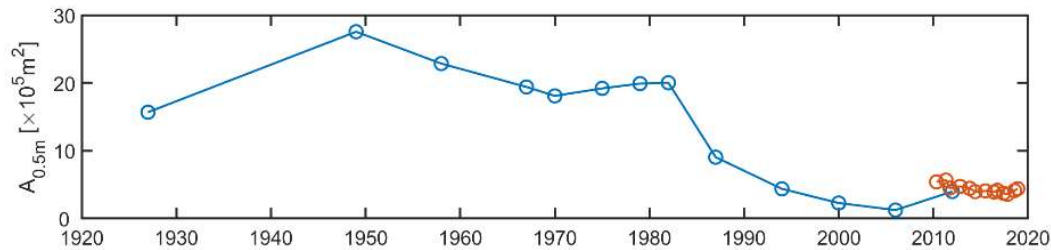
Naast de bovengenoemde shift en de toch beperktere kwaliteit van de oudere LiDAR-surveys is er de laatste jaren ook veel gesproken over de invloed van water op de plaat dat achter blijft tijdens laagwater. Bijlage C in Van der Lugt *et al.* (2019) toont een correlatie tussen de gemeten waterstanden tijdens hoog- of laagwater en het gemeten areaal wadplaten boven NAP-50cm. De figuren in bijlage C zijn klein, maar af te lezen valt dat het areaal wadplaten het kleinst is bij de laagste laagwaterstand van ca. -170cm NAP. Bij iedere 10cm dat de hoogte van de laagwaterstand toeneemt, neemt het areaal wadplaten in het Pinkegat met ruim 1% toe. De laagwaterstanden tijdens de LiDAR-surveys variëren tussen de -170 en -100cm NAP. Hetgeen veranderingen van ca. 7% in het wadplatenareaal kan verklaren. Dit is van dezelfde ordegrrootte als de gemeten afname van het areaal wadplaten boven NAP-50cm. Hierdoor lijkt het waarschijnlijk dat een deel van de variatie in wadplaathoogte, met name tussen -50 en 0cm NAP, bestaat uit het meten van (plassen) water.

Uit foto's van wadplaten kan worden opgemaakt dat een deel van de wadplaten tijdens laagwater met water bedekt blijft (fig. 21). De veronderstelling is dat de omvang van dit deel correleert met de hoogte van laagwater omdat dit bepalend is voor de mate van drainage en/of het effect van de dominante windrichting op het afstromen van het water van de platen naar de geulen. Aan de hand van camerabeelden is geprobeerd om het water op de wadplaten tijdens de LiDAR-opnames te meten en te kwantificeren. Daarnaast is op basis van de LiDAR-data zelf, middels ‘machine learning’ technieken geprobeerd om onderscheid te maken tussen droge en natte wadplaten. Dit is tot dusver niet in voldoende mate succesvol geweest om toe te kunnen passen.



Figuur 21: Foto's van het wad tijdens het meten van bodemdaling op de GPS-meetpalen. Aan de hand van deze foto's proberen we een representatief beeld te schetsen. De foto rechtsonder toont dat er ook delen van het wad zijn die goed opdrogen tijdens laagwater.

Van der Lugt *et al.* (2019) beschouwen de historische ontwikkeling van het areaal wadplaten in o.a. het Pinkegat sinds 1925. Uit die tijdserie is op te maken dat het areaal boven 50cm + NAP tot ca. 1950 lijkt te zijn toegenomen en daarna vrij gelijdelijk is afgenomen. Het kleinste areaal is gemeten rond 2006. De recente meetreeks (2010-2018) is voor deze referentiehoogte in lijn met wat er sinds 1995 is gemeten (fig. 22).



Figuur 22: tijdreeks van areaal wadplaten op NAP+0.5m op basis van Vaklodingen van Rijkswaterstaat (blauw). De NAM-tijdreeks is toegevoegd in rood. *(De gemeten variatie in het areaal wadplaten boven 50cm + NAP is zeer groot: 74% afname tussen 1950 en 2006. De vraag is hoe realistisch dat is. Aan dergelijke veranderingen moet zeer grote verandering in de getijslag te grondslag liggen. Het is belangrijk te beseffen dat de oudere schattingen niet op basis van 'vlakdekkende metingen' tot stand kwamen)* Dit is een uitsnede uit figuur 6.5 uit Van der Lugt *et al.* (2019).

In het licht van de langjarige trend van Rijkswaterstaat, zijn de geobserveerde verschillen in wadplaatareaal in de LiDAR-meetreeks 2010-2018 klein. Waarschijnlijk is het alleen zinvol om met de recentere Vaklodingen, vanaf 2000, te vergelijken omdat in de periode daarvoor geen LiDAR werd gebruikt.

Samenvattend dragen een "shift" en "tilt" in LiDAR-data en de hoogte van laagwater bij aan het areaal droogvallende wadplaten. Tevens tonen de contouren van de wadplaten op een bepaalde referentiehoogte een veelheid aan miniwadplaatjes in de jaren 2010-2011 die duiden op meetfout in de vorm van vliegbanen. Deels overlappen deze miniwadplaatjes met de contouren van de geulen, op basis waarvan we met zekerheid kunnen zeggen dat dit meetfout betreft. Het bovenstaande overwegende denken we niet dat er op dit moment sprake is van een negatieve ontwikkeling van het wadplatenareaal. De laatste jaren is de kwaliteit van de LiDAR metingen verbeterd. De metingen in de jaren 2019 en 2020 worden dan ook erg belangrijk voor het bepalen van een trend. Middels tijdserieanalyse kan in de toekomst (wanneer de tijdserie langer is) worden bepaald hoe de systematische meetfout, de laagwaterstand, het type laserscanner en de bodemdaling samen de variatie in het gemeten wadplatenareaal beïnvloeden.

4.3 Vogels en de kwaliteit van de droogvallende wadplaten

De kwaliteit van het habitatype *bij eb droogvallende slik- en zandplaten* wordt bepaald door habitatdiversiteit en de daarmee gepaard gaande biodiversiteit. De kwaliteitseisen die gesteld worden aan het habitat bestaan uit abiotische randvoorwaarden, typische soorten, vegetatie en kenmerken van een goede structuur en functie (Profieldocument H1140). De belangrijke natuurlijke functie van de wadplaten is die van foerageergebied voor de grote aantallen vogels die van de Waddenzee afhankelijk zijn. Het waddengebied staat bekend als een belangrijke plijsterplaats op de Oost-Atlantische trekroute (Flyway). Naast trekvogels zijn er ook soorten, zoals de Scholekster, die in het Waddengebied overwinteren en soorten die in het gebied broeden. De vogels vormen de Natura 2000-doelsoorten die van een goede kwaliteit wadplaten afhankelijk zijn. De onderstaande tabel (tab. 6) geeft een overzicht van de doelsoorten die gedurende laagwater op de wadplaten foerageren en waarvoor een mogelijk effect van bodemdaling door gaswinning binnen deze monitoring wordt onderzocht (Ens *et al*, 2019).

De eerste stap in deze analyse is na te gaan in hoeverre er sprake is van een negatieve trend voor de soort in het gebied dat beïnvloed wordt door bodemdaling als gevolg van gaswinning. Deze vraag wordt beantwoordt door naar de aantalsontwikkeling van de soorten op de hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) rond de kombergengebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag te kijken. Deze resultaten worden besproken in tabel 7 en ze worden samengevat in kolom "Trend-PZ" in tabel 6. In de kolom "Trend-WZ" van tabel 6 wordt de Waddenzeebrede trend weergegeven.

Tabel 6: Beschermde vogelsoorten in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag waarvoor een effect van bodemdaling niet op voorhand kon worden uitgesloten. 'Aantal PZ' is het huidige (2018) aantal van de soort aanwezig op de HVP's in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag. 'Trend PZ' is de aantalsontwikkeling van de soort op HVP's rond het Pinkegat en de Zoutkamperlaag tussen 2008 en 2018. 'Trend WZ' staat voor de Waddenzeebrede aantalsontwikkeling van de soort. 'Trend D' staat voor de ontwikkeling (2008-2018) van de berekende draagkracht van de wadplaten als foerageergebied voor de soort in de kombergingen Pinkegat-Zoutkamperlaag.

Soort	Dieet	Aantal PZ	Trend PZ	Trend WZ	Trend D
Bergeend	Benthos	ca. 2500	geen	geen	geen
Pijkstaart	Benthos	ca. 1700	toename	toename	geen
Scholekster	Benthos	ca. 12000	afname	afname	geen
Kluut	Benthos	ca. 180	afname	afname	toename
Bontbekplevier	Benthos	ca. 390	toename	toename	geen
Zilverplevier	Benthos	ca. 2800	toename	toename	toename
Kanoetstrandloper	Benthos	ca. 5200	onduidelijk	onduidelijk	geen
Drieteenstrandloper	Benthos	ca. 820	toename	toename	geen
Bonte Strandloper	Benthos	ca. 22000	toename	Toename	geen
Rosse Grutto	Benthos	ca. 2000	onduidelijk	geen	toename
Wulp	Benthos	ca. 8000	afname	afname	geen
Tureluur	Benthos	ca. 1400	afname	afname	geen
Steenloper	Benthos	Ca. 600	toename	toename	afname

Tabel 7: Per vogelsoort wordt de aantalsontwikkeling bediscussieerd in relatie tot de ontwikkeling van de draagkracht van het foerageergebied.

Soort	Trends	Draagkracht gebied
 Bergeend	In de periode 2006-2012 is het aantal Bergeenden in Pinkegat-Zoutkamperlaag sterk toegenomen en daarna weer afgenomen. Dit patroon is in de rest van de Waddenzee ook te zien.	De verspreiding van de Bergeend correleert niet met de verspreiding van zijn voedselaanbod. Het voedselaanbod voor de Bergeend vertoont jaarlijkse fluctuaties, maar neemt niet af over de periode 2008-2018. Het geschikte areaal foerageergebied lijkt zelfs iets toe te nemen.
 Pijlstaart	Het aantal Pijlstaarten in Pinkegat en Zoutkamperlaag neemt toe. Deze toename wordt in het gehele waddengebied waargenomen.	De kwaliteit van het foerageergebied is gedurende de 2008-2018 gelijk gebleven. Even leek er na 2014 sprake van een afname, maar de oogstbare hoeveelheid voedsel heeft zich in 2018 weer hersteld.
 Scholekster	Het aantal scholeksters dat in de winter het Waddengebied bezoekt, neemt af. Deze trend zie je ook in Pinkegat en Zoutkamperlaag, al lijkt de aantalsontwikkeling daar sinds 2012 stabiel.	Ondanks dat het goed gaat met de mosselbanken in de Waddenzee, is sinds 2013 de oogstbare hoeveelheid schelpdierbiomassa voor de Scholekster gestaag aan het afnemen. Dit is vooral het effect van de afname van de biomassa kokkels van het juiste formaat.
 Kluut	Kluten komen relatief weinig voor in Pinkegat en Zoutkamperlaag. Het aantal is sinds (ca.) 2010 afgenomen. Dit zie je ook in de rest van het Waddengebied.	De voedselbeschikbaarheid en -bereikbaarheid is gedurende de periode 2008-2018 licht toegenomen.
 Zilverplevier	Het aantal Zilverplevieren in het bodemdalingsgebied neemt de laatste 20 jaar toe. Deze lichte trend is ook voor de rest van de Nederlandse Waddenzee waarneembaar.	Net als bij de Kluut is het voedselaanbod voor de Zilverplevier licht toegenomen. Dit aanbod leek na 2014 weer af te nemen, maar heeft zich in 2018 weer hersteld.
 Bontbekplevier	Het aantal Bontbekplevieren in het Waddengebied neemt toe. Dit geldt ook voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag.	De oogstbare hoeveelheid voedsel voor Bontbekplevieren is reeds sinds 2009 onveranderd.



Kanoetstrandloper

Kanoeten zijn sinds (ca.) 2000 toegenomen in het Waddengebied. Ook in Pinkegat en Zoutkamperlaag was de toename tot 2008 zeer sterk. In de periode 2008-2018 is het aantal in het bodemdalinggebied stabiel, of zelfs weer iets afgenomen. De trend in de rest van het Waddengebied is onduidelijk.

De oogstbare hoeveelheid voedsel voor Kanoeten in het bodemdalinggebied is gedurende 2008-2013 toegenomen. Na 2013 nam het beschikbare voedsel weer af. In 2018 zijn er weer meer kleine schelpdieren gemeten, waaronder nonnetjes, kokkels en wadslakjes, en is de kwaliteit van het foerageergebied weer wat hersteld.



Drieteenstrandloper

De aantallen Drieteenstrandlopers in het Waddengebied neemt toe. De aantallen in het bodemdalinggebied Pinkegat-Zoutkamperlaag volgens exact dezelfde trend.

De beschikbare en bereikbare hoeveelheid voedsel voor Drieteenstrandlopers is gedurende de periode 2008-2018 gelijk gebleven.



Bonte Strandloper

Bonte Strandlopers zijn zeer talrijk en de aantallen nemen toe in Pinkegat-Zoutkamperlaag en in het Waddengebied als geheel.

Ook voor de Bonte Strandloper was het voedselaanbod sinds 2013 afgenomen. Dit werd vooral veroorzaakt door de afname van het aantal Garnalen en Wapenwormen. Het voedselaanbod heeft zich in 2018 zodanig hersteld dat er geen sprake meer is van een trend.



Rosse Grutto

Rosse Grutto's vertonen geen duidelijke toe of afname voor de periode 2008-2018. In de periode 1995-2008 is het aantal Rosse Grutto's in Pinkegat en Zoutkamperlaag sterk afgenomen.

Het voedselaanbod voor de Rosse Grutto's is in de periode 2008-2018 licht gestegen.



Wulp

Het aantal Wulpen in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag neemt gestaag af. Sinds 2008 is de Waddenzeebrede trend gelijk aan die in het bodemdalinggebied.

De oogstbare hoeveelheid voedsel lijkt heel licht te stijgen, al is er nog geen sprake van een trend.



Tureluur

In de periode 2008-2018 is het aantal Tureluurs in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag licht afgenomen. Deze trend is ook voor de rest van het Waddengebied waarneembaar.

Het oogstbare voedselaanbod voor de Tureluur was hoog in de periode 2012-2014. Na een afname van het zomervoedselaanbod in de periode 2015-2017, is dit in 2018 weer hersteld.



Steenloper

Na een afname van het aantal Steenlopers in de periode 2005-2013, lijken de aantallen te zijn verdubbeld. Dit patroon wordt in het hele Waddengebied waargenomen.	De oogstbare hoeveelheid voedsel voor de Steenloper fluctueert sterk. Het voedselaanbod in de zomer is in de periode 2012-2017 sterk afgenomen. In 2018 heeft dit voedselaanbod zich weer enigszins hersteld.
---	---

Op basis van tabel 7 kan worden geconcludeerd dat er 4 soorten zijn waarvan de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen rond Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2018 afnemen. Dit zijn de Scholekster, Kluut, Wulp en Tureluur. Voor deze 4 soorten geldt dat hun aantalsontwikkeling in Pinkegat en Zoutkamperlaag de trend in het Waddengebied volgt.

Voor twee soorten, de Rosse Grutto en de Kanoet, is de aantalsontwikkeling onduidelijk. De ontwikkeling van het aantal Rosse Grutto's was sinds 1995 zeer negatief. Deze afname lijkt in de periode 2008-2018 te zijn gestopt. Wanneer we kijken naar de ontwikkeling van het voedselaanbod in het gebied, zien we dat dit toeneemt. Het kan zijn dat de verbetering van de kwaliteit van het foerageergebied (2008-2018) zorgt dat de aantallen van deze soort niet verder afnemen. We hebben echter geen inzicht in de voedselbeschikbaarheid voorafgaand aan 2008.

De Kanoetstranloper vertoont geen duidelijke trend gedurende 2008-2018. Dit geldt voor de aantalsontwikkeling in Pinkegat-Zoutkamperlaag en ook voor het Waddengebied als geheel. Deze onduidelijkheid komt voort uit de sterk fluctuerende jaargemiddelden. In de periode 2000-2009 is het aantal Kanoeten in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag sterk toegenomen. Volgens onderzoekers van het NIOZ, is de Kanoet in sterke mate afhankelijk van kleine schelpdieren zoals het Nonnetje (Zwarts en Blomert, 1992). Sinds 2007 neemt de dichtheid Nonnetjes in de westelijke Waddenzee weer toe (Beukema et al. 2017). Mogelijk verplaatst een deel van de Kanoeten zich naar het westelijke deel van de Waddenzee. Gesuggereert wordt dat Kanoeten in het oostelijke deel van de Waddenzee last kunnen hebben van roofvogels, met name slechtvalken, die pleisterende kanoeten verstoren (mondelinge communicatie Sovon). De berekende oogstbare hoeveelheid voedsel voor de Kanoet in Pinkegat en Zoutkamperlaag is in eerste instantie (2008-2013) toegenomen. De toename van het aantal Kanoeten was in die periode reeds gestopt. Tussen 2013 en 2017 nam die oogstbare hoeveelheid voedsel sterk af, net als het aantal Kanoeten in het gebied. In 2018 is de oogstbare hoeveelheid voedsel weer toegenomen. Ook het aantal Kanoeten in het gebied ligt dat jaar weer hoger. Er lijkt dus wel een verband te zijn tussen het aantal Kanoeten de berekende oogstbare hoeveelheid voedsel in een gebied. De fluctuaties in dat voedselaanbod vertoont geen negatieve trend die correleert met bodemdaling door gaswinning.

In lijn met Ens *et al.* 2019, concluderen we dat er geen aanwijzingen zijn voor een mogelijk effect van bodemdaling door gaswinning op de kwaliteit van de wadplaten als foerageergebied voor Natura 2000-doelsoorten.

5 De kwelder Peazemerlannen

Ten westen van de Lauwersmeer ligt buidendijks het gebied Peazumerlannen. De Peazumerlannen is een oude polder waarvan in 1973 en 1979 de dijk is doorgebroken, waarna de polder verkwelderd is. Het gebied bestaat uit een zomerpolder, kwelder en pioniervegetatie op het voorliggende wad. In totaal is het begroeide gebied ca. 200ha groot. Deze vastelandskwelder staat onder invloed van diepe bodemdaling door gasproductie uit de gasvelden Moddergat en Nes. Deze diepe bodemdaling bedraagt ca. 3-4 millimeter per jaar.

Kwelders zijn wadplaten boven gemiddeld hoogwater die begroeid zijn geraakt met vegetatie en bij hogere waterstanden overstromen. Tijdens overstroming van de kwelder bezinkt slib tussen de vegetatie en zo komt het maaiveld in de loop der tijd steeds hoger te liggen. Na verloop van tijd kunnen zich naast pioniervegetatie ook meerjarige planten gaan vestigen (sucessie) en uiteindelijk zal de vegetatie op de hoge kwelder een climaxstadium bereiken. Op de Peazumerlannen heeft een groot deel van de kweldervegetatie dit climax stadium bereikt en domineert Zeekweek (*Elytrigia atherica*).

De kwelder is onderdeel van het Natura 2000-gebied Waddenzee. De doelstelling voor kwelders in dit gebied is samengevat: “Behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit schorren en zilte graslanden, buitendijks, inclusief zilte pioniervegetatie en de aanwezigheid van slijkgras”.

In Nederland worden drie typen kwelderhabitat onderscheiden. Dit zijn 1) H1310: Eenjarige pioniervegetaties van slik- en zandgebieden met Zeekraal (*Salicornia* spp.) en andere zoutminnende soorten. Het doel voor dit type is behoud van oppervlakte en kwaliteit. 2) H1320: Schorren met Slijkgrasvegetatie. Dit habitat komt in de Waddenzee niet of nauwelijks voor. Engels Slijkgras (*Spartina anglica*) wordt wel op de lage delen van de Peazumerlannen aangetroffen. 3) H1330: (subtype A) Atlantisch Schorren, buitendijks. Op het niveau van de Waddenzee verkeert dit subtype in een matig ongunstige staat van instandhouding. Het ontbreekt aan de aanwezigheid van variatie in hoogtezones, inclusief de pioniervegetatie. Daarnaast is variatie in geomorfologische vormen en beheervormen van belang voor een goede kwaliteit. De zomerpolder van de Peazumerlannen heeft het karakter van het kweldertype Atlantische schorren, binnendijks (subtype B).

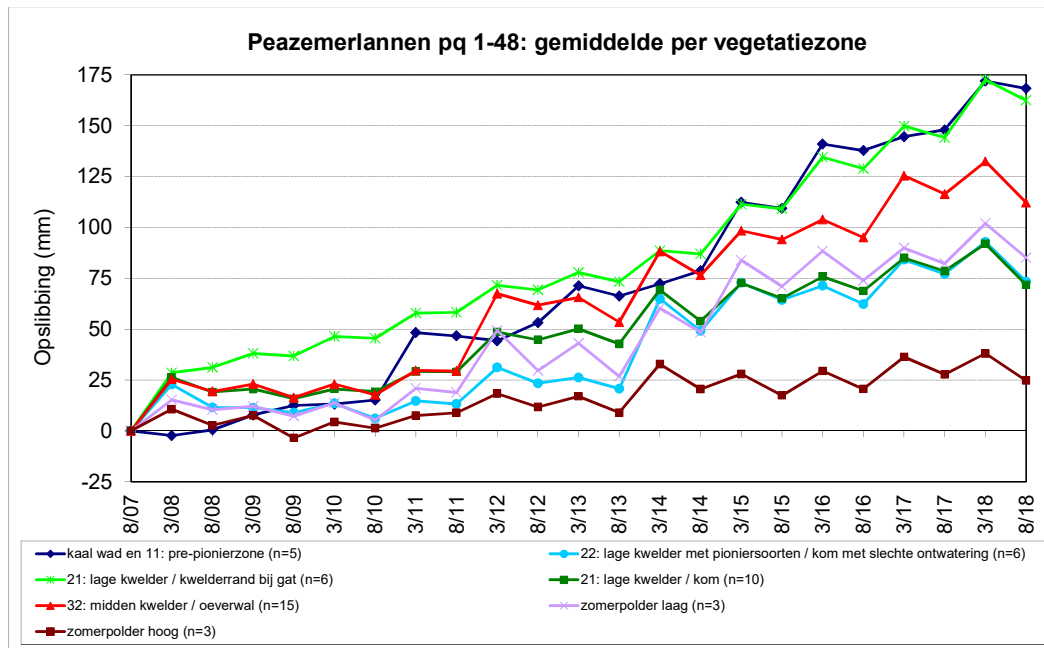
De monitoring van de Peazumerlannen is erop gericht vast te stellen:

- hoeveel sedimentatie er plaatsvindt en of dit voldoende is om bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging te compenseren.
- hoe de prepioniervegetatie zich ontwikkelt i.r.t. bodemdaling onder het voorliggende wad.
- hoe de kweldervegetatie zich ontwikkelt en hoe dit bijdraagt aan de variatie in hoogtezones.

Sedimentatie

In de Peazumerlannen was er over de periode 2007-2018 voor alle metingen gemiddeld in het gebied een toename van de maaiveldhoogte (Van Duin, 2019). De gemiddelde jaarlijkse netto-opslibbing in de verschillende vegetatiezones lag tussen 7 en 15mm per jaar (Fig. 23). De gemiddelde bodemdaling in deze zelfde periode was 3,6mm per jaar en de stijging van het gemiddeld hoogwaterniveau bij Lauwersoog (tussen 1988 en 2018) bedroeg 1mm per jaar. In de laag-gelegen delen van de zomerpolder is gemiddeld een

opslibbing gemeten van 8mm per jaar en in de hoger gelegen delen aan de westkant was dat 2mm per jaar. Op de onbegroeide delen van het wad en in de pionierzone is een gemiddelde toename in hoogte gemeten van 15mm per jaar.



Figuur 23: Gemiddelde cumulatieve netto-opslibbing (mm) per vegetatiezone in de kwelder en deelgebied in de zomerpolder op basis van sedimentatie-erosie-metingen in de Peazemerlannen van augustus 2007-augustus 2018. Dit is figuur 3.1 uit Van Duin, 2019.

In 2018 was voor grote delen van de kwelder het inklinken van de kleilaag in de zomer groter dan de opslibbing in de winter. Om de bodemdaling onder de kwelder en de trend van zeespiegelstijging te compenseren, is een opslibbingssnelheid van 4,6mm per jaar of meer nodig. Op 7 van de 48 meetlocaties in het gebied is die opslibbingssnelheid niet gehaald. Voor 3 meetpunten in de hoger gelegen delen van de zomerpolder was dit in eerdere jaren ook al het geval. Daar is nu een aantal meetpunten in de kwelder bijgekomen. Van Duin (2019) schrijft dat de droge zomer tot relatief veel compactie van de klei heeft geleid. Ook kan het inscharen van schapen een rol hebben gespeeld. In voorgaande rapportages hield Van Duin een gemiddelde zeespiegelstijging van 2mm per jaar aan. Dat is de trend over de periode 1960-2016. Dit leidt tot een relatieve zeespiegelstijging voor de Peazumerlannen van 5,7mm per jaar. Het aantal meetpunten dat een lagere opslibbingssnelheid dan 5,7mm per jaar vertoont, is 14.

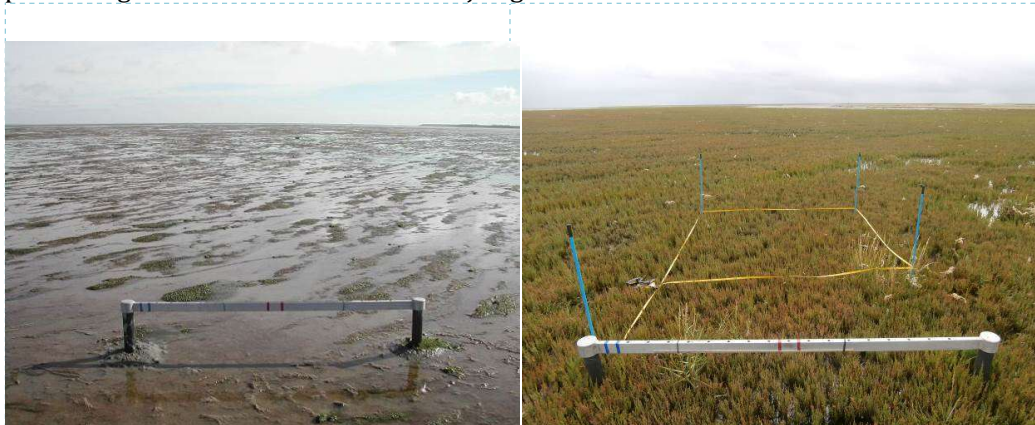
Van Duin (2019) vergelijkt de opslibbing in de Peazumerlannen met een nabijgelegen referentiegebied waaronder geen bodemdaling door gaswinning optreedt. In het referentiegebied West-Groningen is de netto opslibbing lager als gevolg van vertrapping door vee. Aanvullende referentiepunten van de kwelders Holwerd, Julianapolder en Noord-Friesland Buitendijks laten vergelijkbare opslibbingssnelheden zien als in de Peazumerlannen zijn gemeten. Van Duin (2019, fig. 3.7 en 3.8) toont de opslibbingssnelheden op de verschillende kwelders als functie van de hoogteligging t.o.v. NAP. Deze vergelijking suggereert dat de lagere delen van de Peazumerlannen minder hard opslibben dan je op basis van hun hoogteligging zou kunnen verwachten.

De bodemdaling als gevolg van de gaswinning leidt ertoe dat het maaiveld van de kwelder en zomerpolder minder snel toeneemt (t.o.v. NAP) dan zonder bodemdaling het geval was geweest. Inmiddels bedraagt de cumulatieve bodemdaling onder de kwelder zo'n 4,5cm. Uit figuur 3.8 in Van Duin (2019) zou je kunnen afleiden hoe de maximale opslibbingcapaciteit in mm per jaar afneemt als functie van de maaiveldhoogte. Hierbij volgt die afname ongeveer de functie $s = -75h + 127,5$. Hiervoor geldt dat s de opslibbingssnelheid is in mm/j en h de maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP. Als we een gemiddelde kwelderhoogte van 130 cm + NAP aanhouden, dan is de maximale opslibbingcapaciteit op de Peazumerlannen met ca. 3,4mm is toegenomen. Aangezien de huidige bodemdalingsnelheid onder de kwelder ca. 4,5mm per jaar is, kan een groot deel van het effect van bodemdaling dus weer door een toename in de opslibbingcapaciteit gecompenseerd worden. De gemeten opslibbingssnelheden liggen voor de Peazumerlannen echter beneden deze lijn s . Beredeneerd zou kunnen worden dat de opslibbing daar beperkt wordt door andere variabelen dan de maaiveldhoogte. Volgens Van Duin (mondelinge communicatie) liggen de concentraties gesuspendeerd sediment in het water voor de Peazumerlannen lager dan voor de referentiegebieden het geval is.

Geconcludeerd kan worden dat het gebied gemiddeld in voldoende mate opslibt om bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging te compenseren. Alleen voor de hooggelegen delen van de zomerpolder geldt dit niet. In combinatie met maatregelen voor natuurbeheer kan dit tot verkweldering van de zomerpolder gaan leiden, hetgeen daar de geplande natuurontwikkeling ten goede komt. Dit is het eerste jaar dat er op een aantal punten (4) op de kwelder netto maaiveld daling is gemeten. De droge zomer in 2018 is hiervan de oorzaak. De komende jaren zullen uitwijzen of dit zich uitbreidt, of dat de netto opslibbingssnelheid zich weer herstelt.

Pionierzone

Op basis van vlakdekkende vegetatiekarteringen (VEGWAD) door Rijkswaterstaat zijn voor 1992, 2002, 2008 en 2014 kaarten beschikbaar waarop het areaal pionierzone en pre-pionierzone voor de Peazumerlannen is weergegeven (Dijkema *et al.* 2007 en Van Duin, 2019, fig 3.10). Deze VEGWAD resultaten laten zien dat de pre-pionierzone door de jaren heen tussen de 0 en 40ha (2014) groot is. Uitbreiding van de pionierzone is nog steeds gaande. In figuur 24 is een voorbeeld te zien van de ontwikkeling van de pre-pionierzone 2018 t.o.v. 2007. Deze positieve ontwikkeling treffen we niet aan voor de pioniervegetatie die binnen de zomerdijk ligt. Deze neemt af door successie.



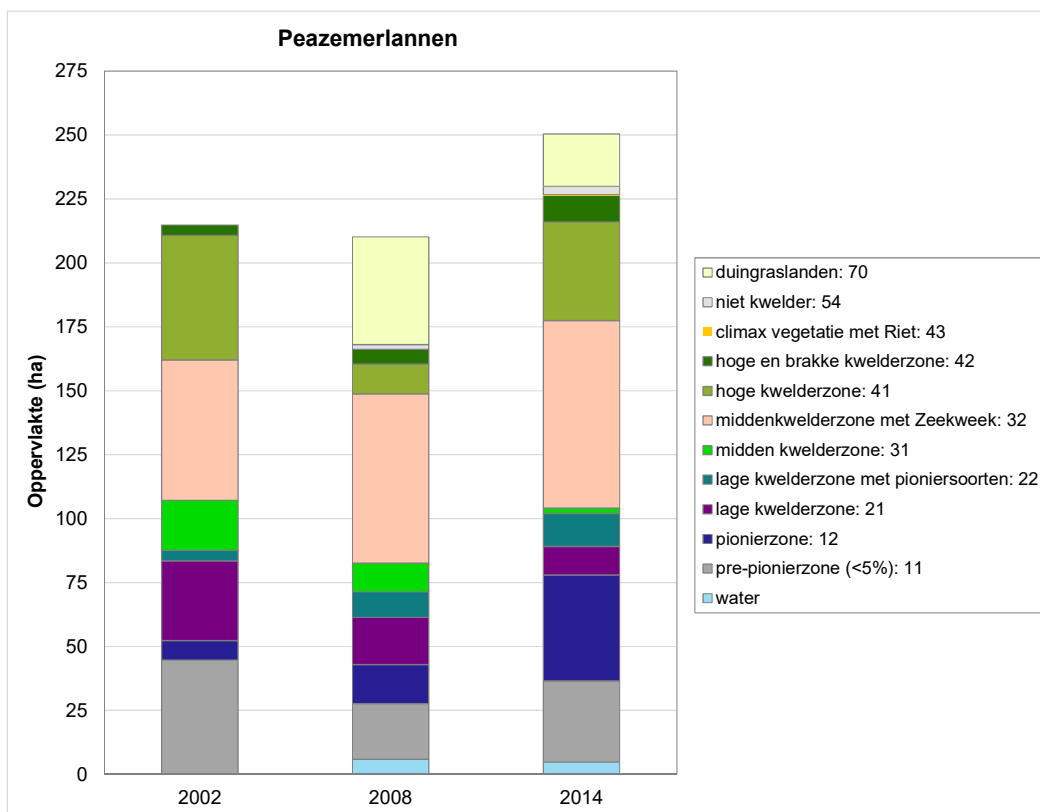
Figuur 24: Dit is figuur 3.4 uit Van Duin (2019): Ontwikkeling (pre-)pionierzone met voornamelijk Zeekraal en (sporadisch) Engels slijkgras bij PQ 38. Foto richting spuilsuizen Lauwersoog van Sedimentatie-ErosieBalk en vegetatie-PQ in 2007 (links) en in 2018 (rechts).

De toename van de (totale) pionierzone en pre-pionierzone voor de Peazumerlannen is een positieve ontwikkeling. Deze wordt in verband gebracht met de netto opslibbing van het voorliggende wad (Van Duin, 2019). In het referentiegebied Groningen-West loopt het areaal van de pionierzone (2002-2014) juist terug. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het niet onderhouden van de kwelderwerken. Verwacht wordt dat dit de komende jaren verder doorzet.

Ontwikkeling kweldervegetatie

De ontwikkeling van de vegetatie op de kwelder wordt gemeten in vierkante meetvakken; zogenaamde permanente kwadraten (PQ's); (fig.x). De vegetatie van de Peazemerlannen is hoofdzakelijk stabiel of aan successie/veroudering onderhevig. Dit blijkt ook uit de vegetatieopnames die in 2018 zijn uitgevoerd. In slechts twee PQ's is vegetatiekundig sprake van regressie. Van Duin (2019) schrijft hierover: *"Dit zijn beide pq's die dicht bij de doorbraak in de noordelijke zomerkade, op de grens van lage kwelder en pionierzone liggen. De oorzaak van de regressie ligt bij deze pq's vooral in het feit dat er een uitbreiding van Engels slijkgras heeft plaatsgevonden, die voor een klein deel ten koste is gegaan van Gewoon kweldergras, maar vooral 'ten koste van' onbegroeide delen. In dat opzicht is dus eigenlijk sprake van een vorm van successie, maar voor het vegetatietype betreffende de gehele pq betekent het regressie. Deze ontwikkeling staat echter los van een slechtere ontwatering of bodemdaling."*

In vergelijking met bijvoorbeeld 2002 zijn de aandelen 'lage kwelderzone 21' en 'middenkwelderzone 31' sterk afgenomen (fig. 25). De reden dat de 'pionierzone 12' en 'prepionierzone 11' samen zijn toegenomen heeft met de uitbreiding van deze zone op het voorliggende wad te maken. In het gebied tussen de zomerpolder en de wadrand zijn de kommen met lage kwelervegetaties door de jaren heen aan het verdwijnen en neemt de 'middenkwelderzone met zeekweek' het gebied over. De resultaten uit de PQ's bevestigen dit beeld. Deze ontwikkeling leidt tot een afname van een kwelder waarvoor de verschillende vegetatiezones evenwichtig vertegenwoordigd zijn. Deze ontwikkeling is het effect van successie en veroudering en staat haaks op het effect dat bodemdaling onder een kwelder kan hebben. Er is dan ook geen sprake van een effect van bodemdaling door gaswinning op de kwaliteit van H1330.



Figuur 25: Ontwikkeling vegetatiezones in de Peazemerlannen van 2002-2014. Gebaseerd op gegevens van Wageningen Marine Research berekend uit de VEGWAD-vegetatiekarteringen door RWS. Dit is figuur 3.9 uit Van Duin (2019).

6 Lauwersmeergebied

Het Lauwersmeergebied is een waterrijk natuurgebied dat in 1969 is ontstaan door afsluiting van de Lauwerszee. Met de afsluiting van de Waddenzee verdween de getijdenstroming in het gebied en nam de invloed van zout zeewater snel af. Omdat er minder water door de geulen stroomde, waren de wadplaten en schorren onderhevig aan erosie en werden de geulen ondieper. Om te voorkomen dat de platen zouden verdwijnen zijn de plaatranden op verschillende plekken verstevigd door er stenen te storten. In de loop der jaren is de vegetatie die karakteristiek is voor kwelders en duinvaleien verdwenen, met uitzondering van een paar plekken waar nog steeds invloed is van zout grondwater. Ook is op een aantal plekken in het gebied bos aangeplant. Het huidige beheer is erop gericht het landschap open te houden en de instandhoudingsdoelen na te streven. Dit beheer bestaat voornamelijk uit begrazing door vee en uit maaien. Een meer natuurlijk fluctuerend waterpeil zou goed zijn voor de rietontwikkeling in het gebied. Plannen hiervoor stuiten echter op veel weerstand bij huizenbezitters en agrariers in de directe omgeving van het meer. Onder het Lauwersmeergebied vindt bodemdaling door gaswinning plaats. Dit wordt kort besproken in paragraaf 4.1 van dit rapport.

6.1 **Beleid- / Beheerdoelen voor het Lauwersmeergebied en de daaraan gerelateerde ecologische monitoring**

In het Aanwijzingsbesluit voor het Lauwersmeergebied wordt uitgelegd dat dit gebied enkel is aangewezen in het kader van de Europese Vogelrichtlijn. Dit betekent dat instandhoudingsdoelen in het kader van de Wet Natuurbescherming zich beperken tot het behoud van of verbetering van de draagkracht van het gebied voor populaties vogels van een bepaalde omvang. De afgelopen jaren is de monitoring en bijhorende data-analyse meer toegespitst op deze instandhoudingsdoelen. Omdat het een groot aantal beschermde vogelsoorten betreft, wordt er voorafgaand aan verdere analyse een selectieprocedure uitgevoerd waarin per soort wordt gekeken of de soort een Natura 2000-doelsoort is en of effecten van bodemdaling door gaswinning op de populatieomvang in het Lauwersmeergebied op voorhand kunnen worden uitgesloten. Deze selectie resulteert in 8 broedvogels en 10 niet-broedvogels waarvoor effecten nader bestudeerd zijn (Kleefstra *et al.* 2019). De eerste stap in deze analyse is na te gaan in hoeverre er sprake is van een negatieve trend voor de soort in het gebied en hoe die zich verhoudt tot de trend voor heel Nederland. Vervolgens wordt er per vogelsoort vastgesteld op wat voor manier de soort met name van het Lauwersmeergebied gebruik maakt. Zo wordt er voor een soort die als broedvogel beschermd is onderzocht of het areaal of de kwaliteit van het broedgebied achteruit gaat. Voor een soort die als niet-broedvogel beschermd is en waarvan bekend is dat de soort met name van het gebied afhankelijk is om te rusten in zeer ondiep water, wordt gekeken hoe de ontwikkeling van het areaal ondiep water verloopt. Etc. Gaan broed-, foerageer- of rustgebieden achteruit, dan spreken we van een afname van de draagkracht van het gebied voor de vogelsoort die daar door beïnvloed wordt. De laatste stap in de analyse is vast te stellen of de verandering in de draagkracht van het gebied voor een bepaalde soort het effect kan zijn van bodemdaling door gaswinning. Om hier uitspraak over te kunnen doen, wordt naast de vogeltellingen de ontwikkeling van de vegetatie gemonitord en wordt er onderzoek gedaan naar het effect van bodemdaling op de beschikbaarheid van ondiep (<40 cm) water en op de muizenpopulatie als voedselbron voor roofvogels.

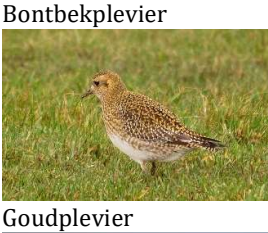
6.2 Trendmatige ontwikkeling voor Natura 2000-doelsoorten in het Lauwersmeergebied

Kleefstra *et al.* (2019) hebben een aantal vogelsoorten geselecteerd waarvoor het effect van bodemdaling door gaswinning niet op voorhand kon worden uitgesloten. De ontwikkeling van de aantallen van deze soorten wordt in deze paragraaf besproken i.r.t. de veranderingen die in het gebied zijn opgetreden. Per soort worden de trends besproken in tabel 8 en samengevat in tabel 9.

Tabel 8: Aantalsontwikkeling voor beschermde vogelsoorten in het Lauwersmeergebied, i.r.t. de ontwikkeling van de draagkracht van het gebied als rust-, foerageer-, of broedgebied. De bevindingen zijn overgenomen uit Kleefstra *et al.* (2019).

Soort	Trends	Draagkracht gebied en oorzaak
 Roerdomp	Het aantal Roerdompen in het Lauwersmeergebied is de laatste jaren verder afgenomen. Dit brengt het aantal territoria op in 2018 op 8. De landelijke trend is echter positief.	Roerdompen zijn afhankelijk van dicht waterriet in ondiep water. Successie en begrazing leiden in de Lauwersmeer tot een afname van waterriet. Verder hebben Roerdompen waarschijnlijk last van predatie door vossen in het gebied.
 Bruine Kiekendief	Er broeden ca. 15 Bruine Kiekendieven. Het aantal broedparen neemt al sinds 2000 geleidelijk af. Broedende Kiekendieven zijn verdwenen op de Blikplaat en bijna verdwenen op de Zoutkamperplaat. Ook de nationale ontwikkeling van het aantal Bruine Kiekendieven is negatief.	Als gevolg van begrazing neemt het areaal dicht, aaneengesloten riet af. Hierdoor zijn broedende Kiekendieven waarschijnlijk gevoeliger voor predatie door vossen.
 Grauwe Kiekendief	De Grauwe Kiekendief is uit het Lauwersmeergebied verdwenen. Na 2006 is er nog twee maal een broedpaar gesignaleerd in 2011 en 2012. De landelijke trend is positief.	Als verklaring voor de afname van de Grauwe Kiekendief worden verstruweling en afname van aaneengesloten dichte rietvegetaties genoemd.
 Kluut	Sinds 2007 is er geen duidelijke trend waar te nemen voor het aantal Kluten dat in het Lauwersmeergebied broedt. De landelijke trend voor de Kluut is negatief. Opvallend is de sterke toename van foeragerende kluten in de Ezumakeeg sinds 2016.	Kluten die in het Lauwersmeergebied broeden hebben last van de toename van het struweel in het gebied, de verruiging, predatie door vossen en vertrapping van nesten door vee. De geobserveerde toename voor foeragerende Kluten in de Ezumakeeg is mogelijk het effect van droogte in de omgeving, waardoor de Lauwersmeer belangrijker wordt als foerageergebied.

	De Porseleinhoen is bijna uit het Lauwersmeergebied verdwenen. Op nationaal niveau is er geen sprake van een duidelijke toe- of afname van deze soort.	Het belangrijkste broedgebied voor de Porseleinhoen binnen de Lauwersmeer is de Ezumakeeg. In dit deelgebied neemt het relatief open rietland deels af door beweiding. Een ander deel groeit juist dicht door successie.
	De Blauwborst vertoont een positieve ontwikkeling in het Lauwersmeergebied. Dit is in lijn met de landelijke trend.	De deelpopulatie Blauwborsten in het Lauwersmeergebied profiteert van een toename van het struweel en de vrij intensieve begrazing.
	Het aantal broedparen Snor neemt in het Lauwersmeergebied toe. Ook de landelijke trend is positief.	De toename van het aantal broedende Snorren vindt plaats in gebieden die voor begrazing zijn uitgesloten. Buiten die gebieden is een duidelijke negatieve invloed van begrazing waarneembaar.
	De Rietzanger vertoont geen trend in het Lauwersmeergebied. Dit in tegenstelling tot de landelijke trend die positief is.	Rietzangers hebben last van de afname aaneengesloten rietland en de toename van struweel in het gebied.
	Het aantal foeragerende Lepelaars in het Lauwersmeergebied neemt af. De landelijke trend is juist positief.	Het is onduidelijk waarom er minder Lepelaars in het gebied worden waargenomen. Een mogelijke verklaring is de komst van de Zeearend. De aantalsverandering blijkt onafhankelijk van het meerpeil. Dieper water als gevolg van bodemdaling door gaswinning is dan ook geen aannemelijke oorzaak.
	De aantallen Grauwe Ganzen nemen snel toe. Zowel in het Lauwersmeergebied als in de rest van Nederland.	Binnen de Lauwersmeer worden wel verschuivingen van de groepen Grauwe Ganzen waargenomen. Dit lijkt afhankelijk van de waterstand. Deze verschuivingen hebben geen effect op het totaal aanwezige aantal in het gebied.

	Ook de aantallen Brandganzen nemen toe in de Lauwersmeer en in de rest van het land.	De Brandganzen vertonen dezelfde patronen in hun verspreiding als de Grauwe Ganzen.
	Het aantal Bergeenden is sinds 2007 in de Lauwersmeer min of meer gelijk gebleven. Op nationaal niveau is er sprake van een toename.	Veel vogel gebruiken de ondiepe delen van het Lauwersmeer om te rusten en te slapen.
	Ook voor de Wintertaling wordt er geen toe- of afname van het aantal exemplaren in het Lauwersmeergebied waargenomen, terwijl de landelijke trend positief is.	De aantalsveranderingen voor de links gepresenteerde soorten blijken niet gerelateerd te zijn aan de waterstanden in het Lauwersmeergebied. Dieper water als gevolg van bodemdaling door gaswinning is dan ook geen aannemelijke oorzaak.
	De Bontbekplevier laat een positieve ontwikkeling zien in het Lauwersmeergebied en in de rest van Nederland.	
	Ook de aantallen Goudplevieren neemt toe in het Lauwersmeergebied. De Landelijke trend is echter negatief.	
	De aantallen Grutto's nemen toe in het Lauwersmeergebied en af in de rest van Nederland.	
	Ook de aantallen Zwarte Ruiters vertonen een afname in het Lauwersmeergebied. Dit is in lijn met de landelijke trend.	Zwarte Ruiters gebruiken het Lauwersmeergebied als hoogwater vluchtplaats (HVP). De aantallen zijn echter niet gerelateerd aan waterstand in het gebied. Dieper water als gevolg van bodemdaling door gaswinning is dan ook geen aannemelijke oorzaak.



Reuzenster

De Reuzenster neemt af in het Lauwersmeergebied. Op landelijk niveau is er sprake van een toename van de aantallen.

Zowel de foerageerfunctie als de rustfunctie lijken voor de Reuzenster niet beïnvloed te worden door waterpeil in het gebied. Dieper water als gevolg van bodemdaling door gaswinning is dan ook geen aannemelijke oorzaak.

Tabel 9: Beschermde vogelsoorten in het Lauwersmeergebied waarvoor een effect van bodemdaling niet op voorhand kon worden uitgesloten. 'Aantal LM' is het huidige (2018) aantal van de soort aanwezig in het Lauwersmeergebied. 'Trend LM' is de aantalsontwikkeling van de soort in het Lauwersmeergebied tussen 2006 en 2018. 'Trend NL' staat voor de nationale aantalsontwikkeling van de soort. 'Trend D' staat voor de ontwikkeling (2006-2018) van de bepaalde draagkracht van het Lauwersmeergebied als broedgebied, foerageergebied of rustgebied.

Soort	Draagkracht	Aantal LM	Trend LM	Trend NL	Trend D
Broedvogels					
Roerdomp	broeden	ca. 8	afname	toename	afname
Bruine Kiekendief	broeden/ foerageren	ca. 15	afname	afname	afname
Grauwe Kiekendief	broeden/ foerageren	ca. 0	afname	afname	afname
Kluut	broeden	ca. 20	geen	afname	afname
Porseleinhoen	broeden	ca. 2	afname	geen	afname
Blauwborst	broeden	ca. 240	toename	toename	toename
Snor	broeden	ca. 35	toename	toename	afname
Rietzanger	broeden	ca. 1600	geen	toename	afname
Niet-Broedvogels					
Lepelaar	foerageren	ca. 40	afname	toename	geen
Grauwe Gans	slapen/ foerageren	ca. 1500	toename	toename	geen
Brandgans	slapen/ foerageren	ca. 2000	toename	toename	geen
Bergeend	slapen/ foerageren	ca. 450	geen	toename	geen
Wintertaling	slapen/ foerageren	ca. 1400	geen	toename	geen
Kluut	slapen/ foerageren	ca. 150	toename	afname	geen
Bontbekplevier	slapen/ foerageren	ca. 150	toename	toename	geen
Goudplevier	slapen/ foerageren	ca. 220	toename	afname	geen
Grutto	slapen/ foerageren	ca. 150	toename	afname	geen
Zwarte Ruiter	rusten / slapen	ca. 50	afname	afname	geen
Reuzenster	slapen/ foerageren	ca. 150	afname	toename	geen

Voor de broedvogels geldt dat dichte rietvegetaties afnemen door beweiding en de toename van struweel. Daarnaast zet predatie door vossen broedpopulaties onder druk (Kleefstra *et al.* 2019). Deze negatieve trends blijken vooral uit de veldobservaties en worden onderbouwd door de vegetatiestructuurkartering die voor het gebied wordt uitgevoerd. Daaruit blijkt dat de oppervlakte waterriet min of meer gelijk is gebleven, met wellicht een kleine afname in de Ezumakeeg. Landrietvegetaties komen vooral in het zuidelijke deel van het gebied voor. Sinds 2005 is het oppervlak van zogenaamd dicht landriet afgenomen op de Sennerplaat, Blikplaat en Zoutkamperplaat. Dit kan effect

hebben gehad op soorten die in hun aantalsontwikkeling van een groot oppervlak aan riet afhankelijk zijn. Denk aan de Bruine en Grauwe Kiekendief die tevens grote foerageergebieden kennen (fig. B2.4 en B3.2 in Kleefstra *et al.* 2019), of aan de Rietzanger die in zeer grote aantallen over het Lauwersmeergebied verspreid voorkomt. Voor andere soorten, zoals de Roerdomp en de Porseleinhoen is, met respectievelijk 8 en 2 territoria (2018) in het gebied, de kwaliteit van waterriet waarschijnlijk belangrijker dan de oppervlakte ervan.

Kleefstra *et al.* (2019) koppelen de afname van de rietvegetaties aan beweiding en verstruweling. Uit de vegetatiestructuurmetingen is verruiging van het gebied door struweel en bos niet op grote schaal waar te nemen. Alleen op de Sennerplaat is sprake van een duidelijke toename. De transectmetingen tonen wel een lichte stijging van de bedekking door houtigen in de gebieden waar de bedekking laag (1%) was. De totale hoeveelheid vee in het Lauwersmeergebied is in 2018 niet verder toegenomen. Wel is de graasdruk nog steeds hoog.

Kleefstra *et al.* (2019) licht toe dat bodemdaling door gaswinning zou kunnen leiden tot een toename van natte vegetaties en van kale grond. De vegetatieopnames meten echter juist een afname van rietvegetaties en kale grond, welke worden verklaard door de graasdruk van het aanwezige vee. Ook de vegetatieopnames in de PQ's tonen aan dat er vaker een afname dan een toename van natte vegetaties wordt waargenomen. De monitoring van de grondwaterstanden in de peilbuizen laat zien dat er geen effect van bodemdaling op de grondwaterstand (t.o.v. de wortelzone) wordt waargenomen.

Voor soorten die vooral afhankelijk zijn van ondiep water om te rusten bleek het aantalsverloop niet gerelateerd aan de waterpeilen in het Lauwersmeergebied. Waarschijnlijk zijn bij verschillende waterstanden verschillende deelgebieden geschikt om in ondiep water te rusten/slappen. Modelleren van de variaties in waterdieptes en overstromingszones geeft aan dat het oppervlak geschikt rustgebied het grootst is bij een meerpeil van -80cm NAP. Gezien de frequentieverdeling van de waterstanden in het gebied, leidt voortschrijdende bodemdaling in >95% van de dagen tot een uitbreiding van geschikt ondiep water. Een negatief effect van bodemdaling via het dieper worden van deze rust-, slaap- en foerageerplaatsen komt alleen bij zeer hoge waterstanden voor.

7 Conclusies

In tabel 10 worden de beleidsdoelen uit tabel 1 van de introductie van dit rapport herhaald. Per doel wordt aangegeven in hoeverre uit de monitoring over 2018 blijkt dat er sprake is van een nadelige ontwikkeling en, indien dat zo is, een mogelijke koppeling met bodemdaling door gaswinning. Ook wordt beschouwd in hoeverre aan de eis in het Rijksprojectbesluit voor gaswinning onder de Waddenzee wordt voldaan.

Tabel 10: Conclusies ten aanzien van de invloed van bodemdaling door gaswinning op de beleidsdoelen waar middels het monitoringprogramma aan getoetst wordt. Dit zijn de hoofdconclusies over het monitoringjaar 2018.

Beleidsdoel	Conclusie
Meegroeivermogen Waddenzee: <i>Bodemdaling door gaswinning mag, in cumulatie met zeespiegelstijging het meegroeivermogen van de Waddenzee niet overschrijden of dreigen te overschrijden</i>	Conform het Meet- & Regelprotocol is aangetoond dat de berekende gemiddelde bodemdalingsnelheid, in cumulatie met de vastgestelde snelheid van zeespiegelstijging, het vastgestelde meegroeivermogen voor de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag niet overschrijdt of dreigt te overschrijden. Hiermee is voldaan aan de voorwaarde voor gaswinning onder de Waddenzee zoals die geformuleerd is in het Rijksprojectbesluit.
Waddenzee (wadplaten): <i>Behoud oppervlakte (en verbetering kwaliteit) slik- en zandplaten.</i> <i>Zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van waterbewegingen en de hiermee gepaard gaande geomorfologische en bodemkundige processen</i>	Het totale, op basis van LiDAR gemeten, wadoppervlak tussen NAP - 50cm en +160cm is sinds de start van de metingen in 2010 waarschijnlijk niet afgenomen. De geobserveerde variatie in de resultaten uit de LiDAR-surveys lijkt voornamelijk een combinatie te zijn van meetfout en water op de wadplaten bij relatief hoge laagwaterstanden. Op basis van een langere tijdserie kan in de toekomst het gecombineerde effect van deze variabelen, inclusief bodemdaling door gaswinning, nader worden geanalyseerd.
Waddenzee (wadplaten): <i>Behoud van omvang en kwaliteit fourageergebied voor broed-, trek- en overwinterende vogels</i>	Voor 4 vogelsoorten was er sprake van een negatieve aantalsontwikkeling in Pinkegat en Zoutkamperlaag. Voor 3 soorten was die trend afwezig of onduidelijk. Deze trends waren meestal in overeenstemming met de Waddenzee-brede aantalsontwikkelingen en meestal niet met de ontwikkeling van de berekende draagkracht van het fourageergebied. Uit de resultaten blijken geen indicaties voor een nadelig effect van bodemdaling door gaswinning op de fourageermogelijkheden van de onderzochte vogelsoorten.
Kwelders Waddenzee: <i>Behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit schorren en zilte graslanden, buitendijks, inclusief zilte pioniervegetatie en de aanwezigheid van slijkgras</i>	De Peazemerlannen ontvangt voldoende slib om de snelheid van bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging te compenseren. De kwelder vertoont een afnemende diversiteit aan hoogtezones met bijhorende vegetatietypen. Dit is het gevolg van successie. De pionierzone is goed ontwikkeld. Tot dusver zijn er geen effecten van bodemdaling door gaswinning op de instandhoudingsdoelen voor de Peazemerlannen geconstateerd.
Lauwersmeergebied: <i>Behoud van omvang en kwaliteit van het leefgebied voor broed- of trekvogels</i>	In het Lauwersmeergebied vertoont een aantal beschermde vogelsoorten een negatieve trend die aan de ontwikkelingen binnen het Lauwersmeergebied te relateren is. Deze ontwikkelingen zijn de afname van dichte rietvegetatie door begrazing, mogelijk vertrapping van nesten door vee, predatie van nesten door vossen en de afname van waterriet en toename van struweel door successie. Geen van de bovengenoemde ontwikkelingen wordt door de onderzoekers gerelateerd aan bodemdaling door gaswinning. Tevens is gekeken naar de invloed van de bodemdaling op arealen ondiep water. Deze invloed heeft enkel een negatief effect bij zeer hoge waterstanden. Geen van de onderzochte vogelsoorten lijkt het gebied bij wisselende waterstanden te mijden. Een effect van bodemdaling door gaswinning via het dieper worden van ondiep water met een slaapplaats functie, wordt dan ook niet verwacht.

8 Literatuur

- Arentz L. en Vroom J (2014) Analyse LiDAR data voor het Friesche Zeegat (2010-2013) Monitoring effect bodemdaling door gaswinning. Deltares rapport. Projectnummer 1209136-000
- Beukema, J.J., Dekker, R. & Drent, J. (2017) Dynamics of a Limecola (*Macoma balthica*) population in a tidal flat area in the western Wadden Sea: effects of declining survival and recruitment. *Helgoland Marine Research*, 71, 12.
- 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
- Elias E. en Wang Z. B. (2013) Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling. Deltaresrapport.
- Ens BJ, Van der Meer J, Troost K, Van Winden E, Schekkerman H, Rappoldt K (2019) Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag rapportage tot en met monitoringjaar 2018. Sovon-rapport 2019/22
- Folmer, E.O., Dekinga, A., Holthuijsen, S., van der Meer, J., Mosk, D., Piersma, T. & van der Veer, H.W. (2017) Species Distribution Models of Intertidal Benthos : Tools for Assessing the Impact of Physical and Morphological Drivers on Benthos and Birds in the Wadden Sea. NIOZrapport, pp. 1-114. Texel.
- Kleefstra R, Beemster N, Bijkerk W, Bakker R, Bekkema M, Buijs R, De Boer P, Ens BJ, Kampichler C & Stahl J (2019) Analyse van de effecten van bodemdaling op vegetatie en vogels in het Lauwersmeer in 2018.
- Krol J (2019) Wadsedimentatiemetingen Ameland, Engelsmanplaat, Peasens en Schiermonnikoog 2007-2016
- NAM (2006) MER Aardgaswinning Waddenzeegebied vanaf locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV
- NAM (2012) Gaswinning Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen: Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het geactualiseerde Meet- en Regelprotocol d.d. 1 april 2012. EP201201210893
- NAM (2014a) Monitoringprogramma 2014 t/m 2019 in het kader van de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. EP: 201407210103
- NAM (2017) Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2017.
- Van Duin W. E. (2019) Vegetatie en opslibbing in de Peazemerlannen en het referentiegebied west-Groningen: Jaarrapport 2018. Artemisia rapport 2019-3
- Vroom J en Beekhuizen J (2015) Analyse LiDAR data voor het Friesche Zeegat (2010-2014). Deltaresrapport. Projectnummer 1210543-000.
- Wang, Cleveringa en Oost (2017), Morfologische effecten bodemdaling in relatie tot gebruikersruimte. Deltaresrapport 1230937
- Zuur A, Ieno E, Smith N, Graham M (2007) *Analyzing Ecological Data*. New York: Springer
- Zuur A, Ieno E, Walker N, Saveliev AA, Smith N (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. New York: Springer.
- Zwarts L en Blomert A (1992) Why knot *Calidris canutus* take medium-sized *Macoma balthica* when six prey species are available. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 83, No. 2/3 (July 16 1992), pp. 113-128

Bijlage 1: Adviespunten Auditcommissie (dec. 2018) en reactie van NAM en/of de betrokken onderzoekers.

Advies	Reactie
Aardbevingen - Vermeldt de informatie over de kans op aardbevingen en de mogelijke gevolgen daarvan jaarlijks in de integrale rapportage en geef daarbij aan of er nieuwe inzichten zijn of niet, zodat het beeld compleet blijft.	Naar aanleiding van dit advies is er een bijlage over mogelijke aardbevingen in het Waddengebied toegevoegd aan de Meet- en Regelrapportage over 2018. Deze wordt kort samengevat in paragraaf 4.1 van het onderhavige rapport.
Meet- en Regelcyclus 2018 - Ga in op sommige op het eerst gezicht onverwachte voorspellingen van het verloop van de reservoirdruk in de toekomst (en daarmee van de diepe-bodemdaling). Hiermee komt er een betere onderbouwing beschikbaar voor het al dan of niet herkalibreren van de reservoirmodellen.	Het reservoirmodelleringrapport over 2017 presenteerde een op het eerste gezicht 'onverwacht' toekomstige drukverloop. In het rapport 'Waddenzee Meet- en Regelcyclus 2018: Controle van de reservoirmodellen met de 2018 drukmetingen' wordt toegelicht waar dit drukverloop vandaan komt. Zie bijvoorbeeld figuur 6 van dat rapport.
Meet- en Regelcyclus 2018 - Maak duidelijk in hoeverre ook voor de onderhavige velden de parameterinstellingen fysisch goed onderbouwd zijn, mede door gebruik te maken van de resultaten van het LTS-onderzoek.	Voor de gasvelden Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen wordt voor de reservoirmodellering toegelicht dat realistische, fysisch onderbouwde parameterwaarden worden gebruikt. Ook voor de geomechanische modellering geldt dat de gebruikte parameterset binnen de range vallen van de gemeten laboratorium waarden. In feite is dezelfde range gebruikt als in de LTS studie.
LiDAR - Ga, ook in het kader van de evaluatie van het meetprogramma in 2019, in op: 1) de verbeteringen in het dataverwerkings- en analyseproces van de afgelopen vijf jaar; 2) alle voorbewerkingstappen van data door de meetdiensten (welke filtering, welke dataverwerking); 3) de vraag in hoeverre windstatistiek van de hogere windsnelheden en het moment binnen de doortij-springtij cyclus waarop de metingen zijn gedaan een verklaring kunnen geven voor de geconstateerde morfologische veranderingen in de afgelopen zeven jaar; 4) korte en lange termijn morfologische trends in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag teneinde deze trends op een goede wijze te kunnen interpreteren en waar mogelijk (en nodig) het meetprogramma te optimaliseren; 5) een vergelijking met de resultaten van de zes-jaarlijkse vaklodingen en lidarmetingen van het waddenbekken door RWS en andere relevante datasets; 6) een evaluatie van de werkwijze met Ground Control Points (GCP).	De punten 1, 2 en 6 van dit advies komen terug in het evaluatierapport 2019. Punt drie gaat ervan uit dat de berekende variatie in de door LiDAR gemeten wadhoogte sinds 2010 morfologische veranderingen representeert. In deze integrale beoordeling wordt hier uitgebreid op ingegaan (paragraaf 4.2). In de evaluatie zal dit specifieke punt (3: invloed van getij en harde wind) aan de orde komen. M.b.t. punt 4 en 5 gaat Van der Lugt <i>et al.</i> (2019) in op de langere termijn trends en hoe die zich verhouden tot de recente LiDAR-resultaten. Ook in deze integrale beoordeling wordt dit voor een bepaalde hoogtezone beschouwd. De bruikbaarheid van deze lagere tijdseries komt in het evaluatierapport aan de orde.
Kwelder - De Auditcommissie adviseert in de rapportage over het monitoringsjaar 2018, ook in het kader van de evaluatie van het meetprogramma in 2019, in te gaan op: 1) de suggestie van de onderzoekers om het meetprogramma aan te passen en vegetatiebedekking te volgen in combinatie met informatie over de hoogteligging; 2) een beslisschema specifiek gericht op de kwelders; 3) de uitkomsten van het doorlopen van het beslisschema met bestaande en enkele mogelijke (gefingeerde) meetresultaten, om zo te bepalen of en zo ja, welke aanpassingen aan de kweldermonitoring nodig zijn.	1 en 2) De beslisschema's voor Vogels en Habitats zijn uitgewerkt en toegepast. Zowel Ens <i>et al.</i> (2019) als Kleefstra <i>et al.</i> (2019) maken hier gebruik van. In deze integrale beoordeling zijn ze ook voor de kwelderhabitats gevolgd. 2 en 3) Het doorlopen van verschillende scenario's zal in het evaluatierapport aan de orde komen.

Deze evaluatie moet het mogelijk maken om zoveel mogelijk eenduidige uitspraken te kunnen doen over het hand aan de kraan principe. Ook komen daarmee antwoorden beschikbaar op vragen zoals: Welke aanvullende data zijn nog voorhanden, wat is de kwaliteit daarvan en welke (statistische) bewerkingen zijn daarmee mogelijk?	
Vogels Waddenzee - De Auditcommissie adviseert daarom in de rapportage over het monitoringsjaar 2018, ook in het kader van de evaluatie van het meetprogramma in 2019, nader onderzoek uit te voeren naar de betekenis van deze signalen van de kluut en de kanoet in relatie tot de gaswinning.	In Ens <i>et al</i> (2019) wordt nader ingegaan op de Kluut en de Kanoet. Ook in het onderhavige rapport is hier aandacht voor. De draagkracht van Pinkegat en Zoutkamperlaag is voor beide vogelsoorten in 2018 weer toegenomen.
De Auditcommissie adviseert daarom in de rapportage over het monitoringsjaar 2018, ook in het kader van de evaluatie van het meetprogramma in 2019: 1) het beslisschema voor de wadvogels definitief uit te werken; 2) dit beslisschema te doorlopen met de beschikbare alsmede met een aantal mogelijke (gefingeerde) meetresultaten; 3) te bepalen of en zo ja welke vervolganalyses of -acties op basis hiervan nodig zijn.	1 en 2) De beslisschema's voor Vogels en Habitats zijn uitgewerkt en toegepast. Zowel Ens <i>et al.</i> (2019) als Kleefstra <i>et al.</i> (2019) maken hier gebruik van. 2 en 3) Het doorlopen van verschillende scenario's zal in het evaluatierapport aan de orde komen.
De Auditcommissie adviseert met klem om de evaluatie van het meetprogramma in 2019 te gebruiken om te komen tot een definitieve integrale meetaanpak voor het Lauwersmeer. Hiervoor is het nodig dat de rapportage over het monitoringsjaar 2018 ingaat op: 1) de gebiedsfuncties van het Lauwersmeergebied voor de relevante broed- en watervogels en een kwantificering van de jaar op jaar optredende veranderingen in draagkracht in de periode 2014-2018; 2) een voorspellingskaart met waterdiepten bij verschillende scenario's van diepe-bodem-daling; 3) een verspreidingskaart voor broedvogels en watervogels (dichtheid per deelgebied) en de aantallen per structuurtype daarbij te laten vermelden; 4) veranderingen in de rol van begrazings- en peilbeheer. Geef aan in hoeverre het monitoringsprogramma aanpassing behoeft, zodat voldoende informatie verzameld wordt over deze belangrijke verklarende factor; 5) het in ecologisch perspectief plaatsten van de monitoringsresultaten over de periode 2007-2018. Denk aan vergelijkingen van vogelaantallen met aantalsontwikkelingen in de rest van Nederland; 6) een adequaat beslisschema voor de omgang met de meetresultaten. Doorloop dit schema met een aantal mogelijke (gefingeerde) meetuitkomsten, zoals peilveranderingen om te bepalen of en zo ja, welke vervolganalyses dan nog mogelijk en/of nodig zijn.	1, 2 en 5) Hieraan wordt in Kleefstra <i>et al.</i> (2019) invulling gegeven. 3) Dit advies lijkt niet te zijn opgevolgd. Sovon zal benaderd worden om te vragen of deze informatie alsnog beschikbaar kan worden gesteld. 4) Dit punt komt terug in de evaluatie 6) De beslisschema's voor Vogels en Habitats zijn uitgewerkt en toegepast. Zowel Ens <i>et al.</i> (2019) als Kleefstra <i>et al.</i> (2019) maken hier gebruik van. Het doorlopen van verschillende scenario's zal in het evaluatierapport aan de orde komen.