

Monitoring van de effecten van bodemdaling door
gaswinning in het Wadden- en Lauwersmeergebied,
evaluatie monitoring 2013-2019

(EP201907205142)

Inhoudsopgave

Monitoring van de effecten van bodemdaling door gaswinning in het Wadden- en Lauwersmeergebied, evaluatie monitoring 2013-2019	1
1 Inleiding.....	3
2 Evaluatie Hand Aan de Kraan systematiek	4
2.1 Hand Aan de Kraan principe	4
2.2 Uitgangspunt 1: Het meegroeivermogen van de Waddenzee.....	4
2.3 Uitgangspunt 2: De snelheid van zeespiegelstijging	5
2.4 Uitgangspunt 3: De snelheid van bodemdaling	7
3 Bodemdaling:	9
3.1 De rol van het Meet- en regelprotocol en rapportage	9
3.2 Long term subsidence (LTS-I en LTS-II)	12
3.3 Modelleren van de ondergrond om reservoirdruk te voorspellen	15
3.4 Geodetische aspecten uit de Long Term Subsidence (LTS) studie.....	16
3.5 Overzicht nieuwe GPS monitoringspunten.....	17
3.6 Stabiliteit GPS monitorings punten.....	17
4 Ecologische monitoring.....	18
4.1 Evaluatie Monitoring Droogvallende wadplaten	19
4.2 Vogels en draagkrachtmodelleren	31
4.3 Kwelder	34
4.4 Lauwersmeergebied.....	36
5 Conclusies	41
6 Referenties.....	43

1 Inleiding

Gaswinning Waddenzee bestaat uit twee delen. Enerzijds is er sinds 1986 de gaswinning Ameland en anderzijds zijn er sinds 2006 de zogenaamde Waddenwinningen die plaatsvinden vanaf de locaties Moddergat Lauwersoog en Vierhuizen (MLV). Hiernaast zijn er nog winningen in het bredere Waddengebied, zoals die bij Anjum of Blija. Om de mogelijke effecten van de gaswinning op de natuur te bepalen is er voor de gaswinning Ameland een monitoringprogramma ingericht dat al sinds 1987 wordt uitgevoerd. In 2011 is deze monitoring vastgelegd in een vergunning voor de winning in het kader van de Wet Natuurbescherming. Dit monitoringprogramma wordt eens in de 5 jaar geëvalueerd. De laatste evaluatie was in 2017. Voor de waddenwinningen is een vergelijkbaar monitoringprogramma van kracht. Dit programma is deels vastgelegd in het instemmingsbelsuit op het winningsplan MLV en deels in de bijbehorende vergunning voor de Wet Natuurbescherming. Deze monitoring wordt iedere 6 jaar geëvalueerd. De eerste evaluatie vond plaats in 2013. Voor u ligt de tweede evaluatie van het monitoringprogramma voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. In deze evaluatie komen ook andere, hierboven genoemde, gaswinningen aan de orde. Deels omdat de monitoringprogramma's overlappen en deels omdat bijvoorbeeld bodemdaling in cumulatie wordt vastgesteld en beoordeeld.

Het monitoringprogramma is vastgelegd in de bovengenoemde vergunningen. De Ministers van EZK en LNV ontvangen jaarlijks de rapportages met de monitoringresultaten. Hierover vragen ze advies van een onafhankelijke auditcommissie, de *Auditcommissie gaswinning onder de Waddenzee*. Op grond van dit advies kan de monitoring jaarlijks worden bijgesteld. Hierdoor zijn er ook gedurende de monitoringperiode 2013-2019 mutaties in het monitoringprogramma opgetreden. Belangrijke mutaties betreffen het toevoegen van meetpunten, het verbeteren van meettechnieken, het integreren van monitoringdata, het focussen op instandhoudingsdoelstellingen en het toepassen van zogenaamde beslisschema's.

Het doel van deze evaluatie is stil te staan bij het programma zoals het gedurende die periode is ontwikkeld en te kijken of de juiste metingen worden verricht om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Deze onderzoeksvragen zijn vastgelegd in beslisschema's. Die zijn opgesteld om te bepalen of er aanwijzingen zijn van effecten van bodemdaling door gaswinning op beschermde natuurwaarden. Deze schema's komen op verschillende plaatsen in deze tekst terug.

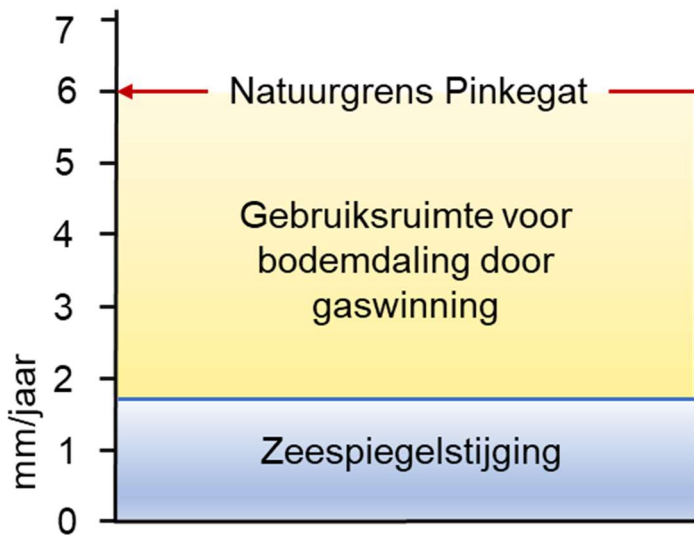
In de onderstaande tekst worden achtereenvolgend besproken: Het hand aan de kraan principe; het meten en modelleren van bodemdaling; het bepalen van het areaal droogvallende wadplaten; wadvogeltellingen en de kwaliteit van de droogvallende wadplaten; kweldermonitoring en het Lauwersmeergebied. De conclusies uit deze evaluatie worden tezamen met het komende advies van de Auditcommissie gaswinning onder de Waddenzee verwerkt in het nieuwe monitoringprogramma voor de periode 2020-2026.

2 Evaluatie Hand Aan de Kraan systematiek

2.1 Hand Aan de Kraan principe

Uitgangspunt bij de waddenwinningen is dat er wordt gewerkt volgens het Hand Aan de Kraan (HAK)-principe. Dit houdt in dat de gaswinning wordt stilgelegd of beperkt wanneer vooraf vastgestelde grenzen worden of dreigen te worden overschreden. Wat deze grenzen precies zijn en hoe dit werkt wordt toegelicht in deze paragraaf.

De HAK-systematiek is gebaseerd op drie uitgangspunten. Het eerste uitgangspunt is het meegroeivermogen van de Waddenzee. Binnen de HAK-systematiek wordt er gewerkt met een gekozen meegroeivermogen. Dat noemen we de Natuurgrens. Deze Natuurgrens wordt in de volgende alinea behandeld. Daarna volgt het tweede uitgangspunt, de zeespiegelstijging. Voor mijnbouw onder de Waddenzee stelt de Minister van EZK eens per vijf jaar een nieuw zeespiegelstijgingsscenario vast. Het verschil tussen de snelheid van zeespiegelstijging en de natuurgrens is de *gebruiksruimte* die mag worden opgevuld door de snelheid van bodemdaling. Bodemdaling is het derde uitgangspunt. De mate waarin de bodemdaling de gebruiksruimte opvult, noemen we ook wel de *belasting* van de gebruiksruimte. In de onderstaande figuur 1 wordt schematisch weergegeven hoe de gebruiksruimte wordt vastgesteld.



Figuur 1 Schematische weergave van de relaties tussen de natuurgrens als maat voor het meegroeivermogen van een kombergingsgebied, de zeespiegelstijging en de gebruiksruimte voor gaswinning onder dat kombergingsgebied.

2.2 Uitgangspunt 1: Het meegroeivermogen van de Waddenzee

Door sedimentaanvoer vanuit de Noordzeekustzone kan de Waddenzee meegroeien met de zeespiegelstijging en met bodemdaling door gaswinning. Dat meegroeivermogen is niet overal gelijk. Grotere kombergingsgebieden kennen een lager meegroeivermogen dan kleinere kombergingen (Oost *et al.* 1998 (Ref. 10); Wang *et al.* 2018 (Ref. 11)). Daarnaast maakt het uit in welk deel van de komberging je

zit. Dichter bij de zeegaten is de aanvoer van sediment vanuit de kustzone relatief groot en snel. Langs de Groningse en Friese kust leidt de bijdrage van slib tot een groot meegroeivermogen. Voor de zandige platen middenin de kombergingen is het meegroeivermogen relatief laag (mondelinge communicatie Van der Spek, 2019). De kombergingen waaronder de huidige waddenwinningen plaatsvinden, zijn het relatief kleine Pinkegat en de grotere Zoutkamperlaag.

Een conservatief gekozen meegroeivermogen is van belang omdat de andere twee uitgangspunten, de zeespiegelstijging en de bodemdaling juist zo realistisch mogelijk moeten worden ingeschat. Op die manier wordt er enerzijds zorgvuldig gewerkt en is er anderzijds geen sprake van het stapelen van conservatieve uitgangspunten.

Onder invloed van de waterbewegingen stroomt sediment de kombergingen van de Waddenzee in en uit. Om netto sediment te importeren moet er sprake zijn van zandhonger. Deze zandhonger ontstaat wanneer de hoeveelheid water die een komberging in- en uitstroomt toeneemt. Dat kan het gevolg zijn van bodemdaling of zeespiegelstijging, maar ook van andere processen zoals veranderingen in de getijslag (door mens of maancycli) of van jaren met relatief hoge waterstanden door meteorologische condities.

In de periode 2013-2019 is er regelmatig aandacht geweest voor het meegroeivermogen van de Waddenzee. In 2016 heeft NAM aan Deltares gevraagd onder wat voor omstandigheden het meegroeivermogen niet meer evenredig toeneemt met de zandhonger. De vraag was of er een soort omslagpunt bepaald kon worden en waar dat omslagpunt lag. Deltares heeft hier op basis van het Asmita model berekeningen aan uitgevoerd en concludeerde dat het omslagpunt voor het Pinkegat op ca. 13 mm per jaar zou moeten liggen (Wang *et al.* 2017 (Reff. 12)).

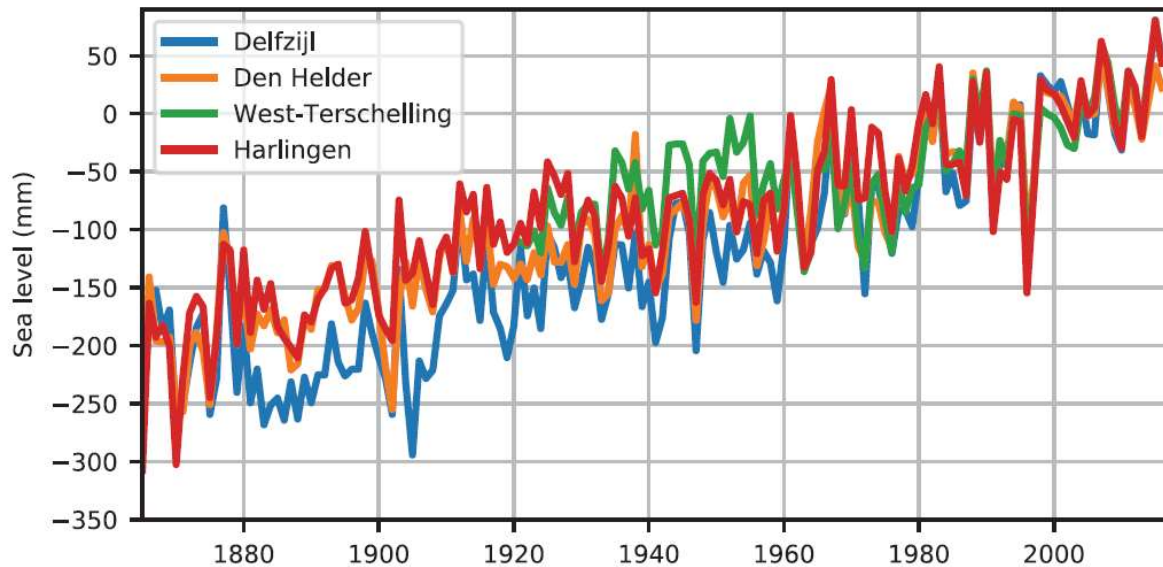
In 2017 hebben de Waddenacademie en de projectgroep “Naar een Rijke Waddenzee” het initiatief genomen om de onderwerpen *Bodemdaling*, *Sedimentatiecapaciteit* (meegroeivermogen) en *Zeespiegelstijging* voor het Waddengebied te evalueren. Hierbij heeft de Waddenacademie specialisten van over de hele wereld betrokken. De wetenschappers hebben een synthese gemaakt van al het relevante onderzoek wat op dat moment gedaan was. M.b.t. het meegroeivermogen van de kombergingen in de Waddenzee concludeerden ze dat meer westelijk gelegen kombergingen een relatief klein meegroeivermogen hadden en binnen enkele decennia de snelheid van zeespiegelstijging niet meer zouden kunnen bijhouden. Voor de kombergingen in het oostelijk deel van de Waddenzee gold dat niet. Voor het relatief kleine Pinkengat schrijft men over een meegroeivermogen van meer dan 30 mm per jaar (Van der Spek *et al.* 2018 (Ref. 13); Wang *et al.* 2018).

Als uitgangspunt voor de HAK-systematiek wordt uitgegaan van een meegroeivermogen voor het Pinkegat van 6 mm per jaar en voor de Zoutkamperlaag van 5 mm per jaar. Gegeven de hierboven beschreven inzichten wordt dit dan ook nog steeds als een veilige natuurgrens gezien.

2.3 Uitgangspunt 2: De snelheid van zeespiegelstijging

Een deel van het meegroeivermogen van de wadplaten in de Waddenzee is nodig om de stijgende zeespiegel bij te houden. Over de afgelopen 50 jaar beschouwd, stijgt de zeespiegel in het Waddengebied met gemiddeld 1,8 mm per jaar. Zie bijvoorbeeld figuur 2. Eens in de 5 jaar laat de Minister van Economische Zaken en Klimaat onderzoeken hoe deze stijgingsnelheid zich ontwikkelt en hoe deze zal verlopen in de vijf jaren die volgen. In tegenstelling tot allerlei andere zeespiegelstijgingsscenario's, hoeft

er dus maar vijf jaar vooruit voorspeld te worden. Omdat iedere vijf jaar wordt geactualiseerd, vormt het beleidsscenario voor zeespiegelstijging een realistische schatting van de daadwerkelijke stijging van de zeespiegel in het Waddengebied.



Figuur 2 Waargenomen jaargemiddelde zeespiegel van vier waterstandsstation uit de Waddenzee (uit Vermeersen *et al.*, 2018).

Omdat het toekomstig versneld stijgen van de zeespiegel een zorg is, biedt het beleidsscenario voor zeespiegelstijging naast een 5-jarige prognose, ook een prognose voor de jaren daarna. Die prognose noemen we het richtscenario. In dit richtscenario is te zien wat er in de toekomst verwacht wordt, maar nog niet goed voorspeld kan worden. Op basis van het richtscenario kan worden bekeken wanneer de zeespiegelstijging de natuurgrens overschrijdt. Als die prognose niet verandert door actualisatie van het beleidsscenario, dan is dat het moment dat de gaswinning is gestopt. Omdat de natuurgrens conservatief is, stopt de gaswinning waarschijnlijk lang voordat het “echte” meegroeivermogen een beperkende factor wordt.

Over het vigerende richtscenario is discussie ontstaan omdat dit lager uitkomt dan verwachtingen die bijvoorbeeld door het KNMI zijn gepubliceerd. Naar aanleiding daarvan heeft de Waddenacademie een studie laten uitvoeren naar zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust. Deze studie van Vermeersen *et al.* (2018) (Ref. 14) voorspelt een versnelling van de zeespiegelstijging die groter is dan het richtscenario uit het beleidsbesluit. Voor deze evaluatie is de discussie over het richtscenario echter minder relevant aangezien dit niet bepalend is voor de toegestane bodemdalingssnelheid onder de Waddenzee. In 2021 vindt de volgende actualisatie van het beleidsscenario plaats.

Er bestaan ook studies die voorspellen hoe de zeespiegel zich ontwikkelt wanneer bijvoorbeeld het ijs op Antarctica smelt. Dergelijke scenario's leiden tot zeer hoge snelheden van zeespiegelstijging langs (o.a.) de Nederlandse kust. Een van de vragen is of, wanneer zo'n extreem scenario voor zeespiegelstijging werkelijkheid wordt, het HAK-principe in voldoende mate werkt, gegeven het na-ijleffect van diepe bodemdaling. Mocht zo'n scenario zich voordoen in de praktijk, dan houdt dat in dat bij een toekomstige

update van het beleidsscenario voor zeespiegelstijging de onderzoekers tot de conclusie komen dat er indicaties zijn dat de zeespiegel langs de Nederlandse kust zo snel stijgt dat deze binnen 5 jaar groter is dan de natuurgrens van 5-6 mm per jaar. Daarmee stopt op dat moment de gaswinning onder de Waddenzee. In de jaren die volgen neemt de bodemdalingssnelheid van ca. 2-3 mm per jaar af. Een na-ijleffect van ca. 0,5 mm per jaar blijft waarschijnlijk nog jaren aanwezig. Deze zorgt er dan voor dat de natuurgrens eerder zal worden doorkruist dan zonder bodemdaling door gaswinning het geval zou zijn geweest. Gegeven het feit dat de natuurgrens conservatief gekozen is, betekent dat niet de sedimentaanvoer op dat moment al beperkend is en zeker niet dat de Waddenzee op dat moment verdrinkt. Dat gebeurt pas bij een veel hogere stijgingsnelheid. De invloed van het na-ijleffect wordt steeds kleiner en ook verhoudingsgewijs steeds minder relevant.

Een belangrijk aspect van deze discussie is het onderscheiden van een versnelde stijging van de zeespiegel in de datareeks van waterstanden langs de Nederlandse kust. Figuur 2 presenteert de jaargemiddelde waterstand voor een aantal stations in het Waddengebied. Uit die reeks kun je opmaken dat de jaargemiddelde waterstand in de Waddenzee wel 10 cm kan stijgen in 5 jaar en vervolgens weer afneemt. Om vast te stellen of er al sprake is van een exponentiële toename van de stand van de zeespiegel, voert het KNMI analyses uit die ze publiceert in de zogenaamde Zeespiegelmonitor (<https://www.deltares.nl/app/uploads/2019/03/Zeespiegelmonitor-2018-final.pdf>).

De fluctuaties in figuur 2 (waterstanden) geven aan dat het relatieve belang van de bodemdalingssnelheid in relatie tot het meegroeivermogen over periodes van 5 jaar beperkt is. De daadwerkelijke variatie die optreedt, wordt veroorzaakt door de actuele waterstanden in het gebied. Deze natuurlijke fluctuaties leiden niet tot het periodiek verdwijnen van de wadplaten in de Waddenzee. Als zodanig zal een kortstondige overschrijding van de gebruiksruimte niet tot schade aan de Waddenzeenatuur leiden.

De conclusie luidt dat het eens per vijf jaar opnieuw vaststellen van de actuele zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust een adequate manier is om het gebruiksruimte voor gaswinning onder de Waddenzee in te schatten. Deze methodiek is voldoende zorgvuldig, ook in situaties waarin de snelheid van zeespiegelstijging plotseling zeer sterk toeneemt.

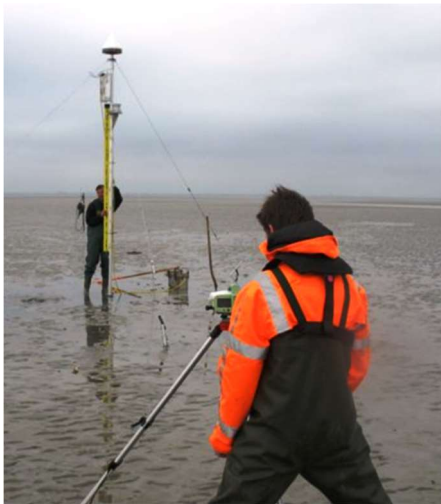
2.4 Uitgangspunt 3: De snelheid van bodemdaling

In figuur 1 is te zien dat de bodemdalingssnelheid, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging niet groter mag zijn dan de vastgestelde natuurgrens. Voor het kombergingsgebied Pinkegat is de natuurgrens bepaald op 6 millimeter per jaar. Als je daar ca. 1,8 millimeter per jaar aan zeespiegelstijging van aftrekt houd je ongeveer 4,2 millimeter per jaar over. De gebruiksruimte is dan 4,2 millimeter per jaar. De gemiddelde bodemdalingssnelheid onder het Pinkegat door alle gaswinningen samen, mag niet meer bedragen dan 4,2 millimeter per jaar.

In de bovenstaande alinea wordt gesproken over gemiddelde bodemdalingssnelheid. Het bepalen van de gemiddelde bodemdalingssnelheid voor het kombergingsgebied Pinkegat werkt als volgt. Er is bodemdaling door gaswinning onder het Pinkegat door winning uit de gasvelden Moddergat, Nes en Ameland. Op basis van geomechanische modellering wordt berekend hoe groot deze bodemdalingssnelheid waar onder het gebied is. Het gebied is opgedeeld in vakjes. Voor ieder vakje wordt de bodemdalingssnelheid berekend. Door alle vakjes te middelen wordt de gemiddelde dalingsnelheid berekend. Dit is echter nog niet het hele verhaal. Er wordt namelijk ook in de tijd gemiddeld. Omdat de

gaswinning niet constant is en omdat de Waddenzee een dynamisch gebied is, wordt er gewerkt met een zesjarig gemiddelde. Voor het berekenen van de belasting van de gebruiksruimte op een bepaald moment, betreft het de gemiddelde belasting van drie jaar ervoor en drie jaar erna.

De bodemdalingssnelheid wordt berekend aan de hand van modellen van de diepe ondergrond. Een eerste model maakt een driedimensionale geologische beschrijving van de diepe ondergrond onder een groot deel van het Waddengebied. Een tweede model berekent hoe het drukverloop in de gasreservoirs en aansluitende watervoerende lagen zal verlopen. Een derde model berekent hoe dat drukverloop leidt tot compactie van het gasreservoir en hoe dat uiteindelijk doorvertaalt naar bodemdaling aan het aardoppervlak. Dit laatste model noemen we het geomechanisch model. Het geomechanisch model wordt tijdens de winning gekalibreerd en geverifieerd aan de hand van bodemdalingmetingen op het land en op het wad (fig. 3). Op het wad zijn daarvoor stalen palen diep in de wadbodem geplaatst; de zogenaamde peilmerken.



Figuur 3: Inmeten van een peilmerk: 6 meter lange palen staan helemaal onder het sedimentoppervlak. Ze dalen mee met de diepe bodemdaling. Minimaal eens per drie jaar wordt de kop van de paal uitgegraven en wordt er een GPS antenne op de paal gezet waardoor de GPS ontvanger permanent boven water staat. Door vijf dagen lang aaneengesloten te meten ontstaat een zeer nauwkeurige schatting van de hoogte. Deze nauwkeurige bepaling is nodig om de kleine hoogteveranderingen door bodemdaling te registreren. Op de palen wordt niet de bodemhoogteverandering van het wad gemeten.

Binnen de HAK-systematiek wordt de gemiddelde bodemdalingssnelheid onder de kombergingsgebieden berekend aan de hand van het meest waarschijnlijke bodemdalingmodel. Dit model kenmerkt zich door de beste passing met de bodemdalingmetingen aan het aardoppervlak. De technische details met betrekking tot de HAK-systematiek zijn vastgelegd in het Meet- & Regelprotocol. Dit protocol is als voorwaarde opgenomen in het instemmingsbesluit op het Winningsplan (MLV). Ieder jaar wordt de zogenaamde Meet- & Regelcyclus doorlopen en wordt de Meet- & Regelrapportage aan het bevoegd gezag (het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat) aangeleverd. In die rapportage laat NAM zien hoe ze ervoor zorgt dat de bodemdalingssnelheid onder de Waddenzee de gebruiksruimte niet overschrijdt of dreigt te overschrijden. Het geodetische meetprogramma op het land en wad is zodanig ingericht dat het meet- en regelprotocol goed kon worden uitgevoerd. Hierover is in de evaluatie van 2013 aandacht besteed. Gedurende de huidige monitoringcyclus is een aantal (8) meetpunten op het wad bijgeplaatst. Tevens is er een nieuwe methode ontwikkeld om bodemdalingmodellen te selecteren. Dit wordt besproken in de onderstaande tekst.

3 Bodemdaling:

3.1 De rol van het Meet- en regelprotocol en rapportage

Het Meet- en Regelprotocol (Referentie 1) beschrijft de jaarlijkse cyclus van bodemdalingsmetingen, aanpassingen aan het bodemdalingsmodel en mogelijke ingrepen in de productie. Hierbij wordt de bodemdaling beschouwd die wordt veroorzaakt door de gasproductie in de Waddenvelden die bestaan uit de voorkomens Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, Lauwersoog-Oost, Lauwersoog-West en Vierhuizen-Oost. De belangrijkste begrippen in het Meet- en Regelprotocol worden in de tekst box hieronder beschreven. De Meet- en Regelcyclus is de kern van het protocol en deze cyclus dient aan te tonen dat de belasting (B) door de bodemdalingssnelheid (gemiddeld over 6 jaar; voortschrijdend, symmetrisch) ten gevolge van de gaswinning vanaf bovengenoemde locaties en de bestaande winningen, binnen de gebruiksruimte (G) van de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag blijft en zal blijven ($B < G$).

Definities en begrippen, zoals vastgelegd in het Rijksprojectbesluit, die belangrijk zijn in de Meet – en Regelcyclus:

Het lange termijn meegroeivermogen M is in het Rijksprojectbesluit ex artikel 2.3 vastgelegd:

Pinkegat $M = 6$ mm/jaar

Zoutkamperlaag $M = 5$ mm/jaar

Z: Snelheid van de autonome relatieve zeespiegelstijging.

S: Bodemdalingssnelheid ten gevolge van de gasproductie, gemiddeld over de oppervlakte van het kombergingsgebied.

B: De belasting B is de bodemdalingssnelheid S gemiddeld over 6 jaar (voortschrijdend gemiddeld, symmetrisch).

Op 1 januari van kalenderjaar J:

$B(J) = [S(J-3) + S(J-2) + S(J-1) + S(J) + S(J+1) + S(J+2)] / 6$ mm/jaar

G: Gebruiksruimte die beschikbaar is voor belasting ten gevolge van de gasproductie.

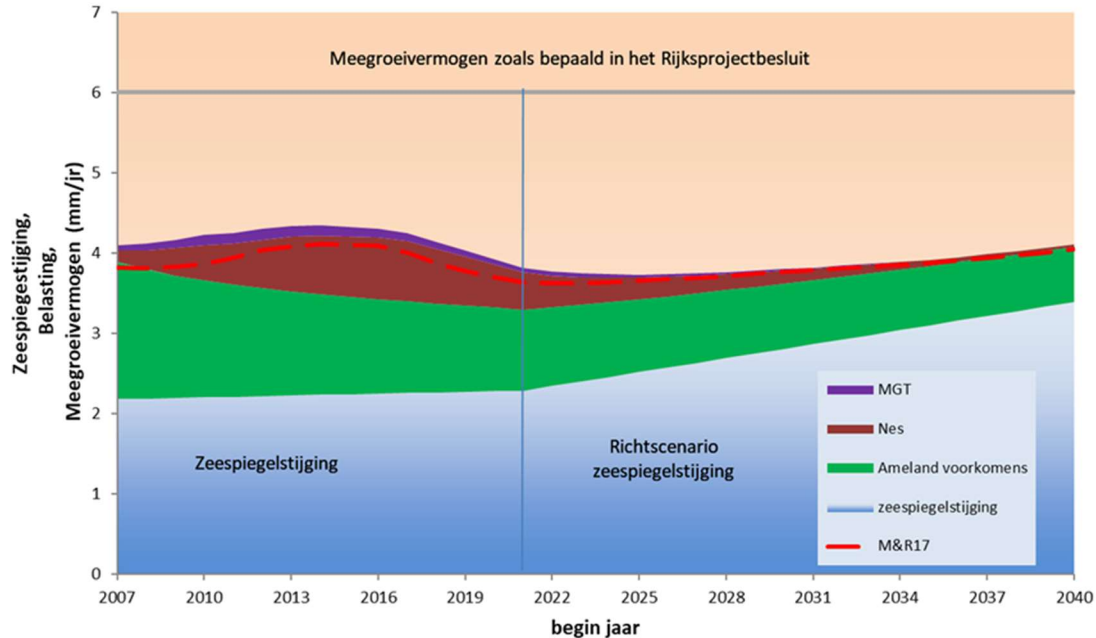
De gebruiksruimte G is (getalsmatig) bepaald door het meegroeivermogen M, verminderd met de belasting van dat meegroeivermogen door (autonome) relatieve zeespiegelstijging Z.

Derhalve geldt voor de gebruiksruimte G voor de kombergingsgebieden aan het begin van kalenderjaar J:

Pinkegat $G(J) = 6 - Z(J)$ mm/jaar

Zoutkamperlaag $G(J) = 5 - Z(J)$ mm/jaar

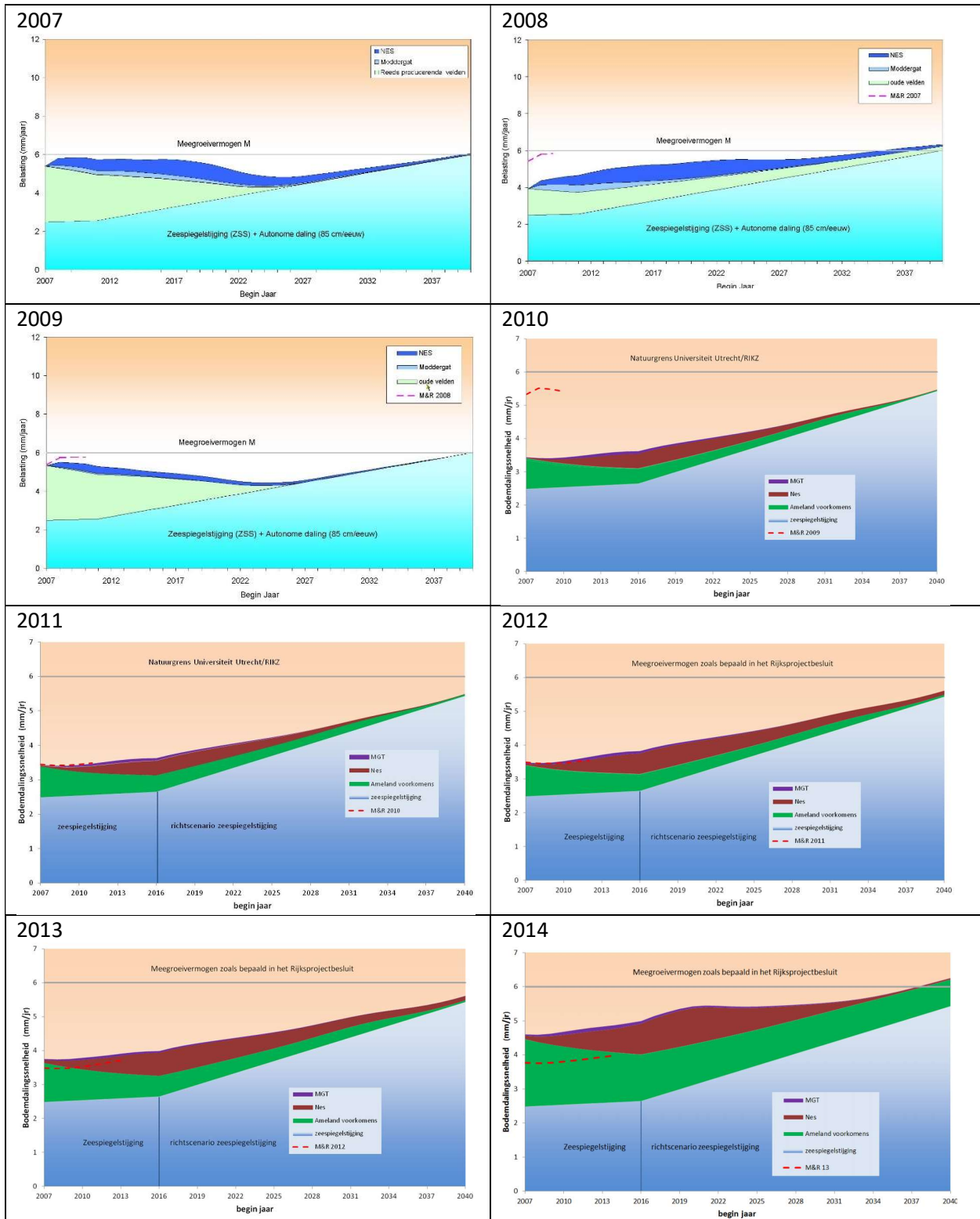
Voor ieder jaar wordt een rapportage opgemaakt door NAM, die geëvalueerd wordt door een onafhankelijke commissie: Auditcommissie gaswinning onder de Waddenzee. De belangrijkste figuren in deze rapportage geven de belasting weer als functie van tijd en het meest recente voorbeeld is weergegeven in de Meet- en Regelrapportage over 2018. In figuur 4 is er een gebruiksruimte gedefinieerd voor de periode waarbij het zeespiegelscenario geldig is, dus tot 2021 in dit geval. De grootste contributie in de belasting komt van de Ameland productie (groen vlak) gevolgd door de bijdrage aan de belasting van het Nes veld (bruin vlak). Ruwweg is de gebruiksruimte voor de helft gevuld.

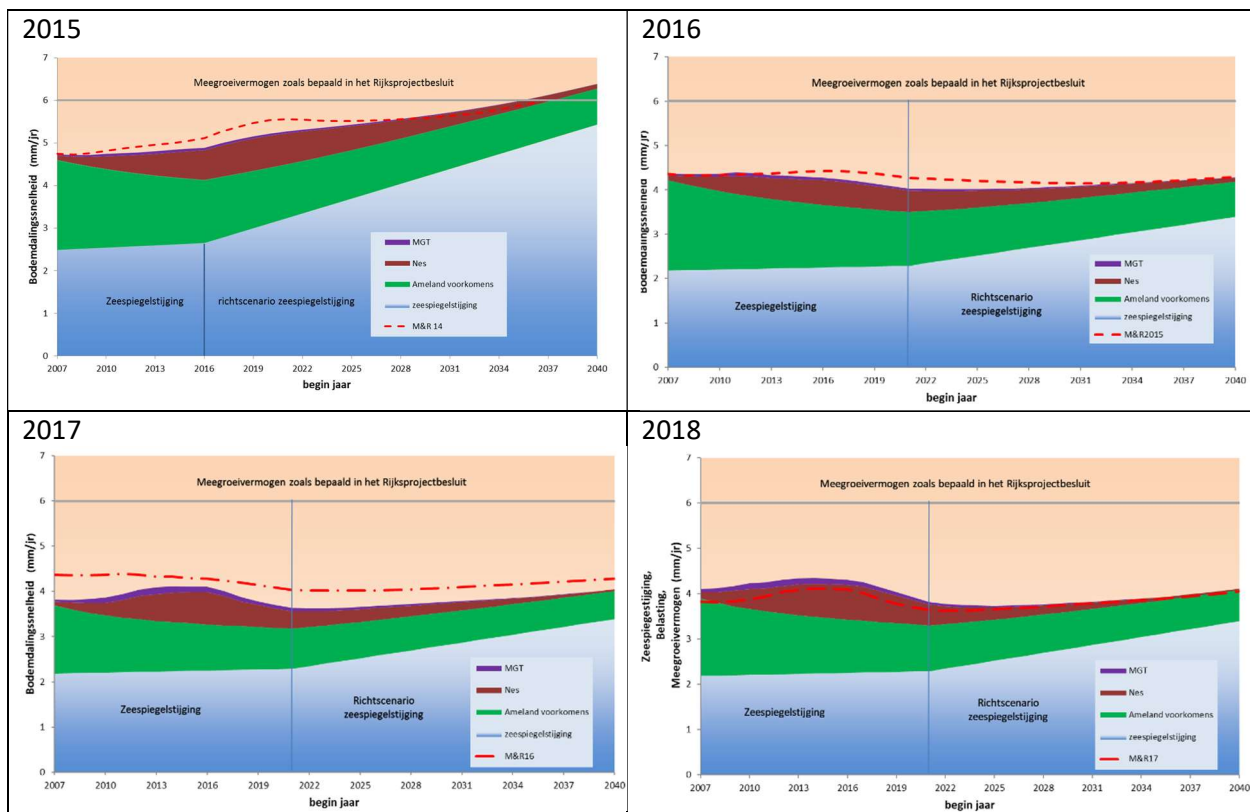


Figuur 4: Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging voor het kombergingsgebied Pinkegat volgens de M&R-rapportage over 2018 (Referentie 2) NAM (2018) Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwerog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2017 (Referentie 3). De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2017.

Soortgelijke figuren zijn voor ieder rapportage jaar gemaakt. De meest opvallende punten zijn:

- Binnen de geldigheidsduur van het zeespiegelscenario is de belasting altijd binnen de gebruiksruimte gebleven
- Er is een relatief grote variatie te zien in de bijdrage van Ameland aan de belasting. Dit heeft voornamelijk te maken met de variërende ideeën over de bijdrage van de aangrenzende aquifers. In de periode tot 2014 is verondersteld dat de drukdaling in deze aquifers beperkt is, terwijl in de periode erna bodemdaling is geobserveerd boven deze aquifers waarbij geconcludeerd is dat enige drukdaling waarschijnlijk is.
- De gebruiksruimte is toegenomen in 2016 door het nieuwe zeespiegelscenario. Ook in de verre toekomst (tot 2040) is de verwachting dat de belasting ruim binnen de gebruiksruimte zal blijven.
- Volgens de inschattingen van de laatste jaren zal de belasting die wordt veroorzaakt door de Waddenvelden na 2019 sterk afnemen.





Figuur 5: gebruiksruimte figuren voor alle rapportagejaren (2007-2018).

3.2 Long term subsidence (LTS-I en LTS-II)

Het inschatten van de bodemdaling in kombergingsgebieden voor de verschillende rapportagejaren ging gepaard met veel discussie over de mogelijke fysische mechanismes en met name de mechanismes die kunnen leiden tot een mogelijke vertraging van de compactie en bodemdaling t.o.v. de productie van het gas en de daarmee gepaard gaande drukdaling. Een duidelijke observatie van deze vertraging volgde uit metingen op Ameland eiland. De snelheid van drukdaling nam in het Ameland gasveld sterk af terwijl de bodemdaling in het diepste punt van de kom nagenoeg lineair bleef doorzetten. Dit zette vraagtekens bij de efficiëntie van een HAK-methode, geëffectueerd in de instemmingsbesluiten van de winningsplannen in het Waddengebied waar de volgende conditie werd vastgelegd: *“De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. voert ten genoegen van de inspecteur-generaal der mijnen vóór 1 juli 2015 een nadere studie uit naar de fysische achtergronden van de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalingsgedrag en de mogelijke gevolgen daarvan voor de bodemdaling op langere termijn”*.

Deze conditie resulteerde in twee studies (LTS-I en LTS-II) die van 2013 tot en met 2017 geduurd hebben. De LTS-I studie keek naar de fundamentele fysische processen van mogelijke tijdsafhankelijke processen in het reservoir en in de *overburden*. De belangrijkste conclusies van dit deel waren dat:

- De tijdsafhankelijke bodemdaling "reëel" is. Het is geen artefact in de meetgegevens.
- Er wordt tijdsafhankelijk gedrag waargenomen en het is waarschijnlijk dat dit samengaat met de compactie van zandsteen in het gasreservoir, diffusie van druk, gedeeltelijke drukdaling van de watervoerende lagen, en beweging van het zout dat zich boven het reservoir bevindt.

- Een volledige toekenning van het geobserveerde gedrag aan het deformeren van de zoutlaag lijkt geen aannemelijke verklaring. Compactie en drukverdelingen door diffusie lijken reële (additionele) hypothesen binnen het mogelijke onzekerheidsbereik.
- De nauwkeurigheid van de bodemdalingmodellering kan aanzienlijk worden verbeterd door rekening te houden met correlatiestructuren in de geodetische gegevens
- Een verbeterde en meer formele statistische methode wordt voorgesteld om de kwaliteit van bodemdalingvoorspellingen ten opzichte van de geodetische gegevens te valideren en te testen.

Het oordeel van SodM was dat het onderzoek van hoge kwaliteit is, maar dat een geïntegreerd onderzoek, waarin de bovenstaande punten worden geadresseerd, vereist is. Dit heeft geresulteerd in het uitvoeren van LTS-II (Referentie 4). Alle punten die hierboven worden genoemd zijn meegenomen in een toegepaste studie voor het Ameland gasveld, waarbij een statistische methode is ontwikkeld waarbij de waarschijnlijkheid van een bodemdalingsscenario wordt bepaald door de passing van dat scenario met de metingen. Een betere passing met de metingen geeft het scenario een hogere waarschijnlijkheid. Door verschillende drukscenario's aan te nemen en de onzekerheid te beschouwen van de compactieparameters als de parameters die invloed hebben op de zoutdeformatie, zijn 1,2 miljoen bodemdalingsscenario's doorgerkend en vergeleken met de geodetische data. Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in een schatting van de verwachte bodemdaling en betrouwbaarheidsinterval van deze schatting. Op basis van deze berekeningen werd in de LTS-II studie (Ref. 5) geconcludeerd dat:

1. De studie laat zien dat met de ontwikkelde workflow de verwachte bodemdaling op de lange termijn in beeld gebracht wordt, evenals de waarschijnlijkheid van de voorspelling;
2. Het meegroeivermogen van de Waddenzee is nooit overschreden door bodemdaling als gevolg van de productie van gas uit de Ameland velden;
3. De strikte gebruiksruimtegrens aan de bodemdaling zal ook in de toekomst veilig zijn;
4. De studie bevestigt de effectiviteit van het "hand aan de kraan principe" om de grens te bewaken van de toelaatbare bodemdaling door gasproductie. De studie toont aan dat bij een dreigende overschrijding van de grens, een vermindering in de productie snel en effectief de bodemdaling zal verminderen.

Een voorbeeld van de resultaten van deze studie is te vinden in figuur 6.

De methode die ontwikkeld is, kent vele voordelen waarvan de voornaamste de volgende zijn:

- Een workflow is ontwikkeld die verifiëerbaar is en daarmee transparant;
- De data bepaalt de waarschijnlijkheid van de resultaten en daarmee is de methode inherent objectief;
- De methode kan ook gebruikt worden voor andere velden mits er geodetische informatie beschikbaar is en daarmee is de methode generiek.

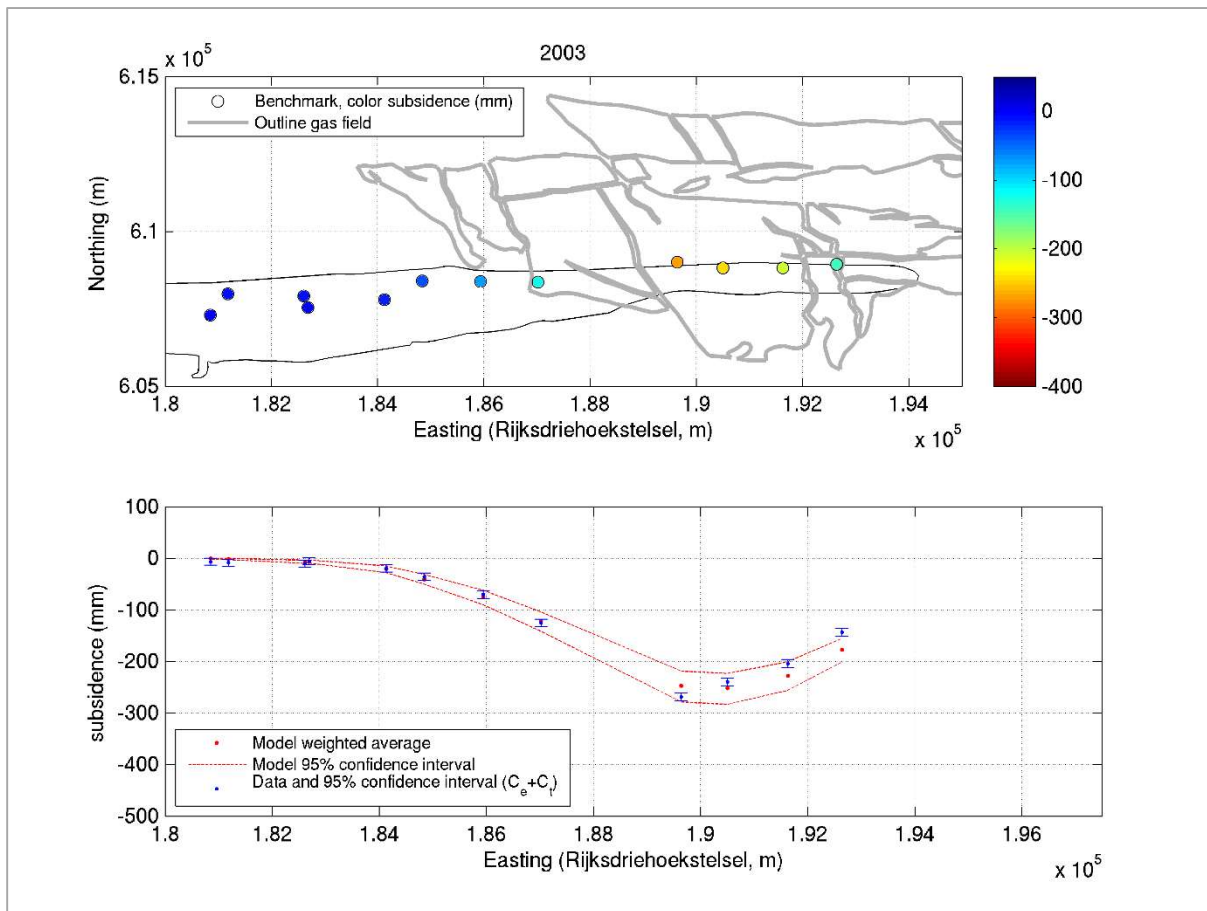
Echter de methode heeft ook negatieve kanten, zoals:

- Technisch ingewikkelde methode en daarmee lastig uit te leggen aan het publiek. Dit gegeven erodeert ook de transparantie van de methode.
- De statistische waarden voor b.v. de bodemdaling bestaan uit een compositie van scenarioresultaten. Dat wil zeggen dat de gemiddelde bodemdaling op iedere plaats en tijd door een verschillende samenstelling van bodemdalingsscenario's wordt bepaald. Daarmee kan het

gemiddelde en andere modelresultaten niet gekoppeld worden aan één set van invoerwaarden. Ook dit maakt de resultaten lastig te interpreteren.

- De methode is rekenintensief. Berekeningen vergen vaak meerdere dagen.

Een mogelijk alternatief voor een volledige LTS-analyse is gebruikt in de Meet- en Regelrapportage over 2017 (Ref. 3). In deze rapportage zijn verschillende deterministische scenario's doorgekend en vergeleken met de geodetische data, waarbij duidelijk (met verschilplaatjes tussen model- en gemeten resultaten) wordt aangetoond dat bv. het hoge bodemdalingsscenario op bijna alle locaties meer bodemdaling voorspelt dan gemeten. Deze methode is makkelijker uitlegbaar en verifieerbaar omdat alle waarden voor de invoerwaarden en de gebruikte methodes gepubliceerd zijn.



Figuur 6: West-oost doorsnede van de bodemdalingskom (onderste figuur), LTS-II methode. De blauwe punten geven de waarden van de meetpunten inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval van de metingen (zie kaart voor de ligging van de meetpunten). Met de rode punten wordt het gewogen gemiddelde weergegeven van de modelresultaten met de rode lijnen als begrenzing van het 95% betrouwbaarheidsinterval van het model.

De Minister van Economische Zaken en Klimaat gesteld dat de LTS-systematiek naast Ameland ook op de andere gasvelden die bodemdaling veroorzaken onder het Friese zeegat dient te worden toegepast. Implementatie van de LTS-systematiek voor die gasvelden vindt plaats in twee stappen, waarvan de eerste in 2019 is gezet. Deze is gepubliceerd in de Meet- en Regelrapportage over 2018. Hierin zijn op basis van

drie reservoirscenario's (laag, middel en hoog) ca. 50.000 modelvariante geconfronteerd met de geodetische metingen. Gedurende de periode 2019-2020 zal een grotere diversiteit aan reservoirscenario's worden bestudeerd en wordt de confrontatie van de berekende met de gemeten bodemdaling verder verbeterd. De LTS-systematiek zal de komende jaren de standaard worden. Het Meet- en Regelprotocol zal daarop worden aangepast.

3.3 Modelling van de ondergrond om reservoirdruk te voorspellen

De Waddenvelden Nes en Moddergat zijn in productie sinds 2007, Vierhuizen, Lauwersoog Oost en West sinds 2008 en Lauwersoog Centraal sinds 2012. De reservoirdruk neemt af als gevolg van de gasproductie, wat vervolgens weer gevolgen heeft voor de bodemdaling. Om het drukverloop in de tijd per veld te voorspellen, zijn er modellen gemaakt van ondergrondse gasreservoirs op basis van de beschikbare seismische, geologische, petrofysische data en de vloeistof- en gaseigenschappen.

Onzekerheden die een rol spelen in de modellering van het drukverloop als gevolg van gasproductie zijn uitgebreid onderzocht. Hieruit is gebleken dat reservoir eigenschappen, zoals permeabiliteit in het gasreservoir en de grootte van het gasreservoir (o.a. ook bepaald door de porositeit van het gesteente), met behulp van de gemeten drukken goed beperkt konden worden. De onzekerheid in de locatie van de aquifers is beperkt voor deze Waddenvelden dankzij de seismische data, de geometrieën van de omliggende velden, en de drukgeschiedenis van velden die op verschillende tijden in productie zijn genomen. De drukken in de aquifers worden echter niet direct gemeten en daarom is de mate van communicatie tussen het met gas gevulde reservoir en de aquifer nog steeds onzeker. Om te komen tot laag, midden en hoog reservoirrealisaties is daarom de druk in de aquifer als belangrijkste onzekerheid gevonden. Dit is gemodelleerd door de mate van verbinding (permeabiliteit) te variëren tussen het gedeelte van het reservoir dat met gas is gevuld en het gedeelte dat met water is gevuld. Tevens wordt de hoeveelheid gas in het water gevarieerd om tot verschillende voorspellingen van de druk in het reservoir te komen.

In de afgelopen jaren is gebleken dat deze modellen robuust zijn, waarmee bedoeld wordt dat de gemeten drukken in lijn zijn met de drukken zoals voorspeld door de modellen en er minimale correcties nodig zijn. De middenrealisatie, waarbij een beperkte hoeveelheid gas in het onderliggende water is opgelost, lijkt het drukverloop in de tijd het beste te beschrijven. Dit blijkt ook uit de gemeten bodemdaling, die het beste in overeenstemming is met de metingen indien de middenrealisaties worden gekozen. De modelrealisaties zullen aangepast worden als de toekomstige drukmetingen afwijken van de drukken zoals voorspeld door deze realisaties. Hierdoor zal het verschil in aquiferdruk tussen de realisaties afnemen. M.a.w. zullen de drukken in de laag, midden en hoog drukvoorspellingen dichter bij elkaar komen te liggen.

De verwachte productie van de Waddenvelden neemt af, en het moment waarop de eerste putten zullen moeten worden ingesloten, komt dichterbij. De verwachting is dat als eerste putten VHN-1 in het Vierhuizen veld en MGT-4 in het Nes veld zullen worden ingesloten als gevolg van onvoldoende reservoirdruk en toenemende waterproductie. De drukken in de putten zullen na insluiting gelijk blijven of licht toenemen als gevolg van equilibratie in druk tussen de gedeeltes gevuld met gas (na insluiting initieel lager in druk) en water (na insluiting initieel hoger in druk). Een andere verwachte verandering is de toevoeging van het Ternaard veld in de Meet- en Regelcyclus, mits de vergunningen toegekend

worden. Ook voor dit veld is een aantal realisaties gegenereerd, waarbij de onzekerheden in de eerste jaren van productie zullen afnemen door de informatie in de drukmetingen en de hoeveelheden gas en water die geproduceerd worden. Onzekerheden die een rol spelen in de voorspellingen van het drukverloop en beperkt zullen worden door de drukmetingen zijn met name de communicatie tussen de verschillende breukblokken (i.e. grootte van het reservoir in contact met de put) en de permeabiliteit van het gesteente. Daarmee valt de modellering van Ternaard binnen de kaders van de modellering van de Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen velden.

3.4 Geodetische aspecten uit de Long Term Subsidence (LTS) studie

In de Long Term Subsidence studie is een aantal verbeteringen doorgevoerd in de integratie van geodetische data in de procedures ter bepaling van de meest waarschijnlijke ondergrondse scenario's en het betrouwbaarheidsinterval van bodemdalingsmodellen. Samengevat zijn dit de volgende aspecten:

- Confrontatie tussen bodemdalingsmodellen en geodetische metingen in de vorm van dubbele verschilmetingen in ruimte en tijd ('double-differences'), in een gestandaardiseerd formaat.
- Het toetsen van geodetische metingen in een ruimte-tijd analyse op uitschieters, verstoringen van de meetpunten, en identificatiefouten, voorafgaand aan de confrontatie met bodemdalingsmodellen.
- Het meenemen van de correlatie tussen geodetische metingen in de covariantiematrix.
- Het onderscheiden van de volgende elementen in het stochastisch model dat gebruikt wordt voor de berekening van de toetsgrootte (mate van overeenkomst) in de confrontatie tussen bodemdalingsmodellen en geodetische metingen:
 - Meetprecisie
 - Idealisatie precisie, component die in de tijd gecorreleerd is (peilmerk stabiliteit)
 - Idealisatie precisie, component die in ruimte en tijd gecorreleerd is (bijvoorbeeld ondiepe niet gemodelleerde signalen zoals bodemdaling door grondwater extractie)
 - Model imperfectie: een model van de bodemdaling door gasproductie is een vereenvoudiging van de complexe werkelijkheid.

De confrontatie tussen bodemdalingsmodellen en de geodetische metingen is gedaan door middel van een 'particle filter', waarbij voor alle bodemdalingsmodellen de waarschijnlijkheid wordt berekend. Op basis hiervan wordt een gewogen gemiddelde en een 95% betrouwbaarheidsinterval voor het bodemdalingsmodel bepaald; ook voor de voorspelling van de toekomst.

In de Meet- en Regelcyclus rapportage van 2018 is de LTS-methode toegepast. De LTS-II-casestudy voor Ameland was toegespitst op de geodetische technieken Waterpassen en GPS. In de Meet- en Regelcyclus voor 2018 zijn hieraan ook de InSAR-metingen toegevoegd (dubbele verschilmetingen), omdat deze een waardevolle verdichting van de bodemdalingsdata zijn. Voor InSAR is per waterpaspeilmerk de mediaan van de tijdseries van alle InSAR meetpunten binnen een 500 meter radius berekend; vervolgens is jaarlijks gesampeld in de tijd. Omdat voor InSAR (nog) geen procedure beschikbaar is om een volledige covariantiematrix te berekenen, is een vereenvoudigd stochastisch model toegepast met enkel de varianties van de dubbele verschilmetingen. Dit geldt eveneens voor de waterpassingen op het vasteland, aangezien de geodetische ruimte-tijd analyse met bijbehorende peilmerkstabiliteitsanalyse ten tijde van de rapportage nog niet was afgerond. Voor alle GPS-metingen en de waterpassingen op Ameland is wel

de volledige covariantie matrix toegepast. De intentie is het komende jaar de volledige covariantiematrix voor alle geodetische technieken te implementeren.

3.5 Overzicht nieuwe GPS monitoringspunten

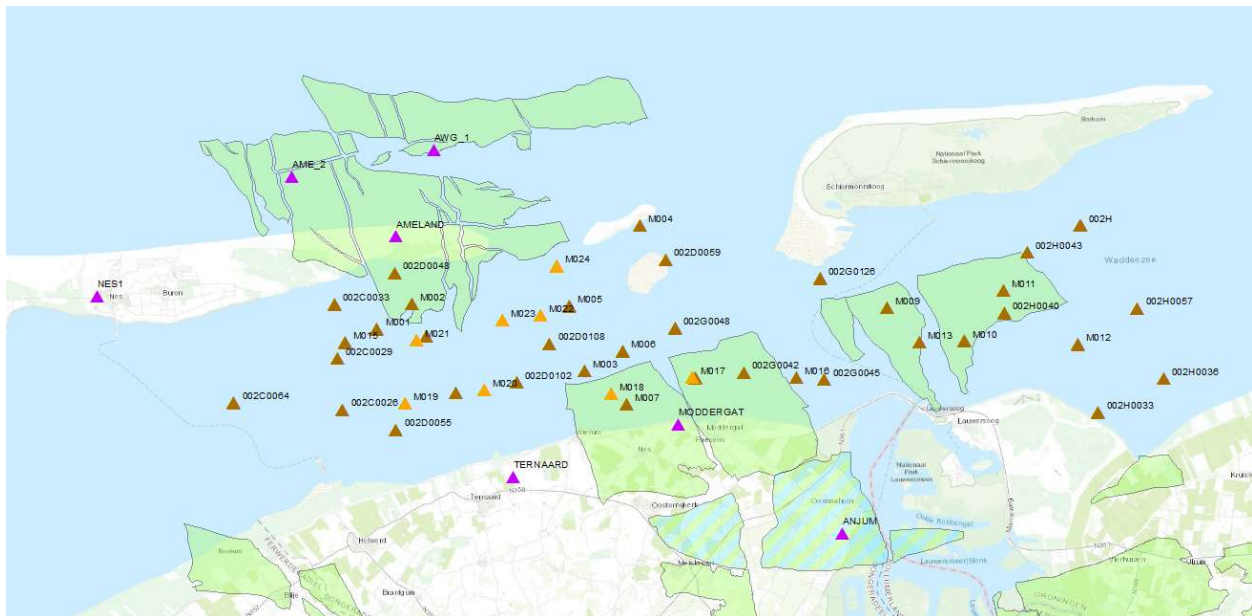
Ten behoeve van de bodemdalingsmetingen in de onverharde delen van het onderzoekgebied (wadplaten, strand, duinen), zijn in de periode 2013-2018 zijn de volgende nieuwe GPS campagne meetpunten geplaatst in de Waddenzee:

- 2015: M017 t/m M021
- 2016: M022 t/m M024

De volgende continue GPS stations zijn in de periode 2013-2018 operationeel geworden:

- AME-2 (platform, 2014)
- AWG-1 (platform, 2014)
- Ternaard (2016)
- Ameland-Nes (AGRS station, 2014)

Tevens zijn recentelijk in maart 2019 2 extra diep gefundeerde peilmerken geplaatst op Ameland (1 nabij meetpunt 002C0082, en 1 net buiten de NAM locatie), die geschikt zijn voor campagne GPS metingen. Boven het meetpunt nabij de NAM locatie is een GPS ontvanger opgesteld die (tijdelijk) als een continue station fungeert, en daarmee de potentiële zetting van het nieuwe meetpunt kan monitoren. Een overzicht van de geodetische meetstations is gegeven in figuur 7.



Figuur 7:Overzicht Waddenzee GPS campagne en continue stations. In oranje de nieuw geplaatste clusters wadpunten in 2015 en 2016.

3.6 Stabiliteit GPS monitorings punten

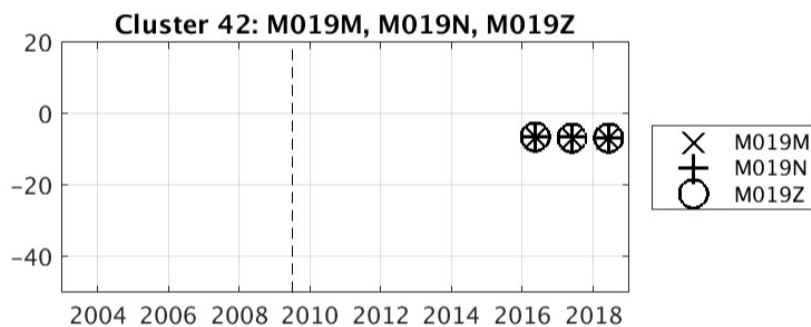
Van de door NAM in 2006 geplaatste waddenpeilmerken is bekend dat ze initiële, relatieve instabiliteit vertoonden. Tabel 1 geeft een overzicht van het aantal clusterpeilmerken dat meer dan 1 mm afwijkt ten

opzichte van de gemiddelde gewaterpaste hoogteverschillen tussen de clusterpeilmerken over alle epochen. Slechts 8 van de 320 waarnemingen worden verworpen.

Tabel 1: Het aantal clusterpeilmerken dat meer dan 1 mm afwijkt ten opzichte van de gemiddelde hoogteverschillen tussen de cluster peilmerken over alle epochen.

Jaar	M-punten verworpen / totaal
2007	1/ 3
2008	0/ 6
2009	3/ 45
2010	0/ 12
2011	0/ 27
2012	1/ 33
2013	0/ 12
2014	1/ 27
2015	1/ 44
2016	0/ 33
2017	1/ 42
2018	0/ 36

De diepte waarop de meetpunten geplaatst zijn, is voor alle nieuwe campagne GPS punten (zowel op het wad als op Ameland) bepaald door middel van sonderingen. Figuur 8 illustreert de relatieve stabiliteit van een recentelijk geplaatst peilmerk cluster (M019M/N/Z), dat in de periode 2016-2018 jaarlijks is aangemeten.



Figuur 8: Tijdserie van opeenvolgende GPS hoogteverschillen (mm) voor cluster M019. De initiële waarden in de eerste meetepoche in 2016 zijn bepaald uit de geschatte bodemdaling vanaf 2009 op deze locatie uit een geodetische ruimtetijd analyse. Te zien is dat de GPS cluster metingen onderling stabiel zijn.

4 Ecologische monitoring

Naast het Meet- & Regelprotocol kent de gaswinning Waddenzee ook een voorgeschreven monitoringprogramma. Dus enerzijds is er de HAK-systematiek die voorkomt dat effecten op de natuur kunnen optreden, anderzijds is er een ecologisch monitoringprogramma dat het uitblijven van effecten dient te bevestigen. Het monitoringprogramma is dus een extra controle voor het geval dat de HAK-

systematiek niet zou werken. Dit monitoringprogramma is opgenomen als voorwaarde in de Natuurbeschermingswetvergunning voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.

Het monitoringprogramma is in toenemende mate gericht op het verzamelen van data op basis waarvan de ontwikkeling van een beperkt aantal instandhoudingsdoelstellingen voor de Waddenzee kan worden gevolgd. De focus hierbij ligt op instandhoudingsdoelen die, indien er daadwerkelijk bodemdaling aan het wad- of kwelderoppervlak zou plaatsvinden, daar nadelig door beïnvloed zouden kunnen worden. Het aanbrenge van focus (van honderden parameters naar een beperkt aantal instandhoudingsdoelen) is naar aanleiding van de voorgaande evaluatie in 2013 begonnen. De initiële reden hiervoor was het probleem van kanskapitalisatie en het gebrek aan duiding van resultaten. Kanskapitalisatie is de toename van een de kans op een significante correlatie van de verandering in een gemeten parameter (bijvoorbeeld een plantensoort) met bodemdaling, zonder dat er echt sprake is van een causaal verband. Deze kans neemt toe naarmate je meer individuele parameters in relatie tot bodemdaling bestudeert.

Gebrek aan duiding van de resultaten wil zeggen dat positieve of negatieve correlaties van individuele parameters met bodemdaling vaak niet begrepen werden of niet te verklaren waren. De doorvertaling ervan naar de beschermde natuurwaarden (instandhoudingsdoelen) was onbevredigend. De oproep van de Auditcommissie was de data te integreren. Uiteindelijk is besloten de data zoveel mogelijk te integreren tot een technische (meetbare / berekenbare) omschrijvingen van instandhoudingsdoelen. Voor de wadplaten en in de Waddenzee foeragerende beschermde vogelsoorten is dat volledig uitgewerkt (van der Lugt et al. 2019 (Ref. 15); Rappoldt et al. 2019 (Ref. 16)). Voor de kwelder en het Lauwersmeergebied in mindere mate. De reden is dat de reeds verzamelde data (2007-2019) eerder als doel had de ecologische ontwikkelingen in het gebied te bestuderen dan om de ontwikkeling van de instandhoudingsdoelen te toetsen. Dit wordt nader toegelicht in de bij die onderdelen horende paragrafen van deze evaluatie.

4.1 Evaluatie Monitoring Droogvallende wadplaten

Bij laagwater droogvallende platen en slikken vormen het meest kenmerkende habitattype van de Waddenzee. Het beleidsdoel is de oppervlakte van dit habitattype te behouden en de kwaliteit ervan te verbeteren. De beoogde verbetering richt zich met name op de aanwezigheid van zogenaamde biogene structuren, waarmee op schelpdierbanken en bijvoorbeeld zeegras wordt gedomd. Kwaliteit wordt tevens uitgedrukt als de functie van de wadplaten voor de doelsoorten (vogels) (paragraaf 4.2).

Het HAK-principe gaat er vanuit dat binnen bepaalde grenzen bodemdaling door gaswinning geen gevolgen heeft voor de hoogteligging van de wadplaten of voor de sedimentstructuur van de wadbodem. Deze theorie dient aan de hand van jaarlijkse metingen gecontroleerd te worden. Deze metingen bestaan uit LiDAR opnamen van het Friese zeegat bij laagwater, spijkermetingen op enkele wadplaten in het gebied en waterpassingen t.o.v. peilmerken op verschillende plaatsen in het gebied. In de voorgaande evaluatie (2007-2013) is de meerwaarde van deze verschillende typen metingen geëvalueerd en beschreven. Dit is samengevat in tabel 2.

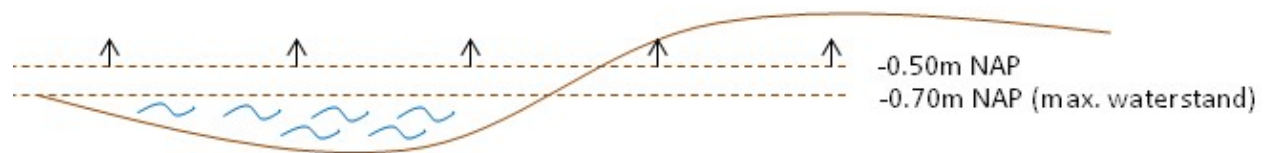
Tabel 2: Overzicht metingen t.b.v. het bepalen van erosie / sedimentatie en wadplaathoogte t.o.v. NAP.

Naam	Type meting	Nauwkeurigheid	Frequentie	Doel/ bruikbaarheid
Spijkermetingen	Puntmeting/ klein deelgebied	Hoge nauwkeurigheid (s.d. enkele mm)	5x per jaar	Ontwikkeling deelgebieden korte termijn en controle LiDAR-data
Waterpassingen	Puntmeting/ klein deelgebied	Hoge nauwkeurigheid (s.d. enkele mm)	1x per jaar (max)	Controle LiDAR data
LiDAR	Vlakdekkend	Gemiddelde nauwkeurigheid (s.d. enkele cm)	2x per jaar	Ontwikkeling areaal wadplaten lange termijn

In de periode 2013-2019 is er veel discussie geweest over de kwaliteit en toepassingsmogelijkheden van de met LiDAR verzamelde data. Deze techniek en de laatste inzichten worden hieronder nader bediscussieerd.

Laseraltimetrie of LiDAR staat voor Laser Imaging Detection and Ranging en is een technologie die de afstand tot een bepaald object of oppervlak bepaalt door middel van het gebruik van laserpulsen (vergelijkbaar met radar, dat echter radiogolven gebruikt in plaats van licht). Met deze techniek zijn vanuit een vliegtuig opnamen gemaakt van de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag. Tevens gebruikt Rijkswaterstaat deze techniek naast lodingen om eens in de 6 jaren de hoogte van de wadplaten in de gehele Waddenzee te bepalen.

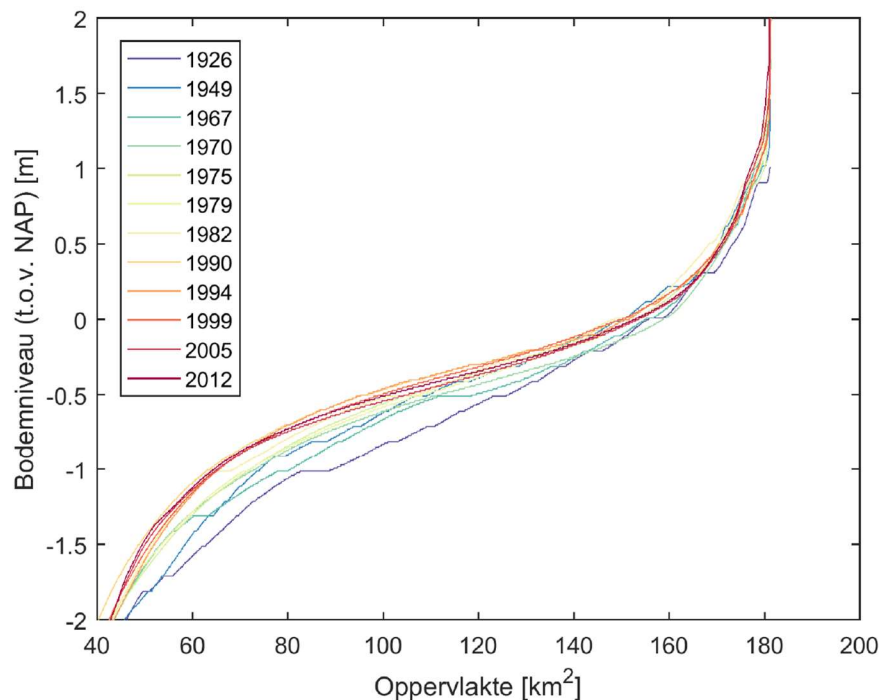
Aangezien de topografische laserpuls niet door water penetreert, zal ook het wateroppervlak reflecteren (voor zover er geen speculaire reflectie optreedt, ofwel daar waar geen reflectie naar de ontvanger optreedt in die delen van de scan, die een scherpe hoek maken met het water) en als meetpunt meegenomen worden. Opnamen dienen dan ook tijdens laagwater plaats te vinden. Voor de NAM surveys van de betreffende kombergingen is als eis gesteld, dat de maximale waterhoogte niet meer dan -0.70m NAP mag bedragen. Door tijdens de analyse een grens te stellen aan de minimale gemeten hoogte van -0.50m NAP zal de overblijvende data altijd het droogvallend wad representeren.



LiDAR is de gehanteerde methode om vlakdekkend het areaal wadplaten in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag te schatten. Hierbij wordt het areaal wadplaten, gelegen tussen -50 en +160 cm NAP gezien als maat voor het beschermde H1140. In werkelijkheid is H1140 groter. De benedengrens van H1140 is vastgelegd op het Lowest Astronomical Tide (LAT). Dat is de laagste stand van het water zonder de invloed van meteorologische condities daarin mee te rekenen. De relatie tussen NAP en LAT is afhankelijk van de locatie in de Waddenzee. Voor bijvoorbeeld Lauwersoog geldt dat LAT gelijk wordt gesteld aan -175 cm NAP. De hypsometrische curves voor de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag

laten zien dat ruim een derde deel van het areaal wadplaten tussen de -50 cm en de -175 cm NAP ligt (fig. 9). Hieruit kan worden opgemaakt dat een belangrijk deel van H1140 niet door de LiDAR survey in beeld wordt gebracht.

De lagergelegen delen van de wadplaten (<-50 cm NAP) zijn moeilijk te meten. Het areaal tussen -50 cm en +160 cm NAP is dan ook een praktische maat voor het areaal droogvallende wadplaten die met de gewenste frequentie gemeten kan worden. Voor de evaluatie van het effect van bodemdaling op de oppervlakte van H1140 dient echter de ontwikkeling van een zo breed mogelijke hoogtezone te worden beoordeeld. Focus op kleinere delen van de hypsometrische curve, kunnen nuttig zijn om morfologische variatie te interpreteren, maar zijn niet per se een reflectie van de ontwikkeling van het oppervlak van H1140.



Figuur 9: Hypsometrische curve over de jaren van het Friesche Zeegat, ingezoomd tussen -2 m en +2 m NAP. Dit is een uitsnede uit figuur 5.18 uit Nederhof et al. (2017) (Ref. 6).

In de periode 2010 t/m 2018 zijn 15 LiDAR-opnamen uitgevoerd en door Deltares geanalyseerd en gerapporteerd. Door de jaren heen zijn diverse aanpassingen uitgevoerd in zowel de data-acquisitie als ook in de processing en analyse. In tabel 3 worden de voornaamste wijzigingen sinds 2013 genoemd.

Tabel 3, Overzicht voornaamste wijzigingen in de LiDAR opnamen en analyse.

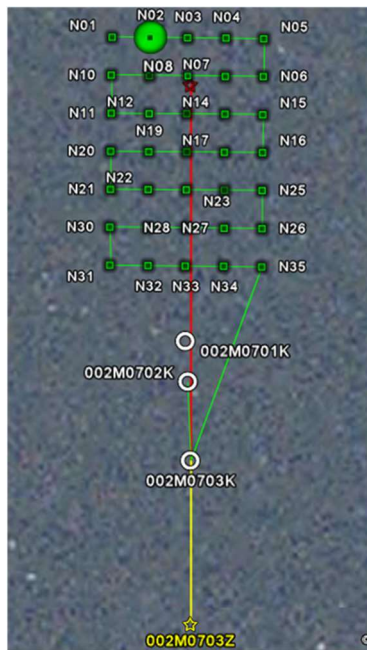
Jaar	Wijziging	Resultaat
2010	n/a	n/a
2011	n/a	n/a
2012	n/a	n/a
2013	Verbeterde scanner (Riegl Q680i) (najaar opname)	Hogere punt dichtheid, betere dekking, waardoor minder cellen geïnterpoleerd dienden te worden dan voorheen (2010-2012)
2013	Ground Control Grids opnieuw ingemeten	Correcte hoogte van GCP's
2013	Opname van dwarsraaien	Betere data aansluiting van vliegbanen
2014	Onderzoek naar nauwkeurigheden LiDAR. Samenwerking van Deltares, Fugro, Rijkswaterstaat en NAM	Memo opgesteld met als voorlopige conclusie, dat nauwkeurigheid van het hoogteverschil tussen 2 opnamen tussen de 6 en 12.5 cm ligt.
2014	Inmeten (GPS-RTK) van Ground Control punten op de wadplaten.	Toegepast als 'ground-truthing' van LiDAR hoogte.
2014	Foutmarges weergegeven in de histogrammen van de oppervlakte per diepteklasse	Beter inzicht in effect van (on)nauwkeurigheden in de gemeten plaathoogte op -oppervlakte.
2014	Analyse van deelgebieden	Lokale veranderingen en verschillen tussen deelgebieden beter in kaart gebracht.
2014	Test van classificatie (water/land) m.b.v. RGB opnamen	Betrouwbaarheid is sterk afhankelijk van gekozen trainingsgebieden.
2014	Onderzoek naar waterstandsverhang	Waterstandsverschil tussen getijdestations Schiermonnikoog, Lauwersoog en Holwerd t.o.v. Nes bleek veel groter te kunnen zijn dan 10 cm.
2015	Naast de getijdestations Nes en Schiermonnikoog, ook gebruikmaken van Lauwersoog en Holwerd	Verbeterde waterhoogte bepaling tijdens opnamen.
2015	Ground Control Grids opnieuw ingemeten	Herziene versie van GCP's, maar voor bepaling NAP hoogte veelal aangesloten op peilmerken met laatste meetdatum in 2013. Gecorrigeerd voor bodemdaling (lineaire extrapolatie).
2015	Voorafgaand aan analyse worden uitschieters verwijderd en no-data cellen worden geïnterpoleerd t.b.v. hypsometrische curve (in 2013 door meetdienst uitgevoerd, in 2015 niet-geïnterpoleerde data van 2013 aangeleverd en opnieuw verwerkt)	Mogelijk kleine verschillen vanwege de aanpassingen in het proces.
2016	Test met drone, opname van multispectrale beelden	Test om te bepalen of water op de plaat voorkomt. Vanwege problemen met aansluiten van beelden (geen kenmerkende structuur op beelden) en plaatsbepaling, niet gelukt.
2016	Verbeterde scanner (Riegl LMS-780)	Hogere punt dichtheid, betere dekking.
2016	Gelijktijdige opname met LiDAR van multispectrale beelden	Classificatie mogelijk van wad en water op basis van Near-Infrared beelden. Aangezien deze beelden niet beschikbaar waren voor eerdere opnamen, was een morfologische trendanalyse niet toe te passen.
2016	Verwerking van LAS datapunten tot grid van 1x1m door Deltares i.p.v. meetdienst, incl. filtering van uitschieters.	Mogelijk kleine verschillen vanwege aangepast proces.
2016	Analyse naar de nauwkeurigheid van individuele vliegbanen en de vliegrichting.	Nauwkeurigheid bleek niet afhankelijk van vliegrichting. Data van lageregelegen delen van het wad bleken onnauwkeuriger dan hoger gelegen delen.
2016	Vergelijk van LiDAR met sedimentgrids	Ook hieruit bleek dat de lagere delen minder nauwkeurig waren bepaald met LiDAR.

2016	Vergelijk van profielen over de LiDAR datasets	Ook op harde topografie (geen sedimentatie/erosie) waren grote verschillen tussen de opnamen te constateren (5-10cm). De nauwkeurigheid tussen 2 opnamen werd bepaald op 7cm.
2017	Alle LiDAR datasets (2010-2017) opnieuw vergrid op basis van LAS datapunten, direct naar 10x10m grid.	Uniforme dataverwerking, met de beperking dat eerdere datasets minder dekking hebben, die alleen via interpolatie kunnen worden opgevuld.
2017	Onderzoek naar gebruik van gemiddelde of mediane hoogte bij vergridding	Geen significant verschil waar te nemen, behalve bij de kwelderranden, waar het gemiddelde hoger uitvalt dan de mediane hoogte.
2017	Onderzoek naar verklarende factoren van gemeten veranderingen (wind/waterstand).	Voorafgaand aan de LiDAR opname bleek van invloed op de kans van water op de platen, waardoor de hoogte bepaling niet correct is.
2018	Verbeterde scanner (Riegl VQ-1560i)	Zeer hoge punt dichtheid, waardoor op grotere hoogte gevlogen kan worden (met dezelfde punt dichtheid) en gehele gebied in het vervolg binnen één laagwatertijd opgenomen kan worden.
2018	Toepassen van contouren op bepaalde plaathoogte	Zichtbare migratiepatronen van wadplaten in oostelijke richting
2018	Verder onderzoek naar verklarende factoren gebaseerd op windstatistiek en springtij/doottij cyclus	De gemiddelde ebduur en laagwaterstand waren van invloed op het gemeten plaatareaal. Er werd geen verband aangetoond tussen areaalverandering en windcondities.
2018	Onderzoek naar verschillen op harde topografie (wegen rondom de Waddenzee)	Gemiddeld gemeten equivalente plaathoogte bleek sterk beïnvloed door systematische afwijkingen op harde oppervlakten.
2018	Analyse van de land/water scheiding op basis van intensiteit en kijkhoek, middels Machine-learning.	Nauwkeurigheid van de classificatie land/water middels intensiteit/kijkhoek is geschat op 92%. Bij gebruik van luchtfoto's (RGB-beelden) is dat 98%. Een en ander is sterk afhankelijk van de trainingspixels en bepaling van de werkelijkheid (ground-truthing).
2018	Onderzoek naar lange termijn trends op basis van LiDAR/loding (cyclus) data van Rijkswaterstaat.	Vaklodingdataset is niet uniform qua inwinning, met daardoor een grote inherente onzekerheid. De wantlijn is door de jaren heen opgeschoven. Invloed van afsluiting Lauwerszee.

De aanpassingen in tabel 3 hebben geleid tot een toename van de kwaliteit van LiDAR-opname. Zo kan de survey tegenwoordig in één tij worden uitgevoerd en is de punt dichtheid per gridcel van 1m² sterk toegenomen. Ook is er meer controle op de verwerking van LiDAR-data. De correctie die wordt toegepast op basis van de ground control points wordt tegenwoordig gecontroleerd a.d.h.v. de waterpassingen op het wad (de zogenaamde sediment grids (Fig. 10)) en a.d.h.v. de LiDAR resultaten van de voorgaande survey op de harde topografie (daken en wegen op het land). De voorbereidingsstappen in de oudere LiDAR-kaarten zijn helaas niet te achterhalen. Hierdoor kunnen de afwijkende resultaten van de surveys die zijn uitgevoerd in 2010 en 2011 niet gecontroleerd worden op afwijkingen in de voorbereiding. Correctie voor de gemeten veranderingen in de harde topografie en correlaties tussen gemeten wadplaathoogte en waterstanden kunnen waarschijnlijk een groot deel van deze variatie oplossen (tabel 4).

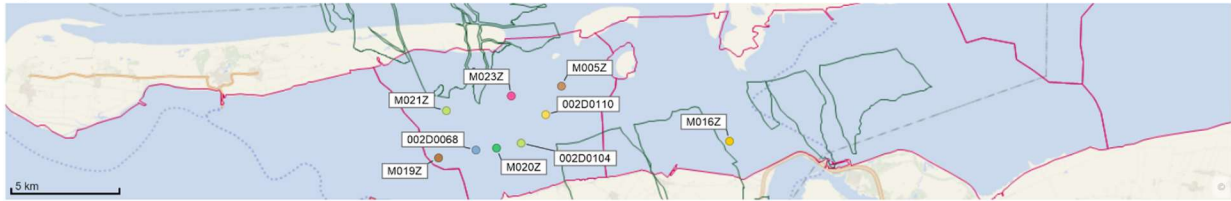
Tijdens de GPS-metingen op peilmerkclusters (fig 3) in de kombergingen wordt ook een grid gemeten van 35 punten (7x5 punten met een onderlinge afstand van 5 meter) (Fig. 10). Deze punten worden telkens wanneer betreffende clusters wordt gemeten met GPS uitgezet met piketten en middels waterpassing

ten opzichte van het GPS opstelpunt in hoogte ingemeten en in NAP (=Normaal Amsterdams Peil; referentiehoogte) bepaald. Daar waar de bodem zacht is (slib) wordt de meetbaak voor waterpassing voorzien van een brede voet, zodat deze niet kan wegzakken in het zand van de wadplaat. De nauwkeurigheid van de waterpassing voor deze relatief korte afstanden is $\sim 1\text{mm}$. Afhankelijk van de gesteldheid van de bodem, zal de absolute nauwkeurigheid per meetpunt $< 1\text{cm}$ bedragen. Daar deze meting in ongeveer dezelfde periode wordt uitgevoerd als de voorjaars LiDAR-meting, kunnen de resultaten met elkaar vergeleken worden. In figuur 11 wordt een vergelijk gemaakt tussen de gridmetingen in 2017 en 2018, waarmee veranderingen getoond worden.

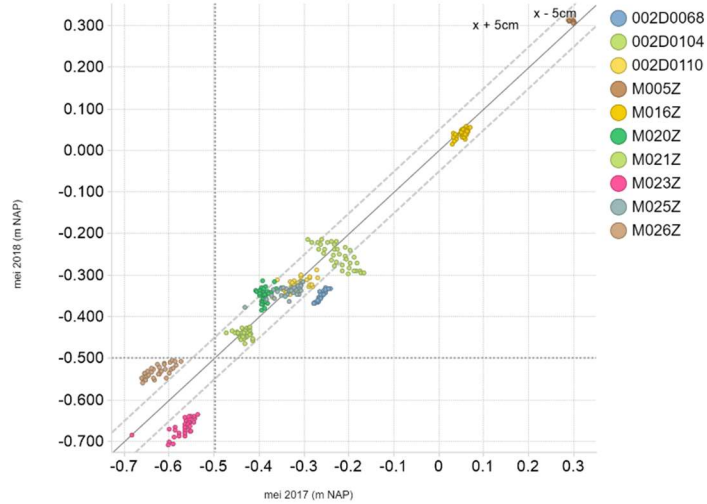


Figuur 10: Sedimentgrid metingen a.d.h.v. waterpassingen (7x5) t.o.v. een cluster van drie peilmerken.

Map Chart



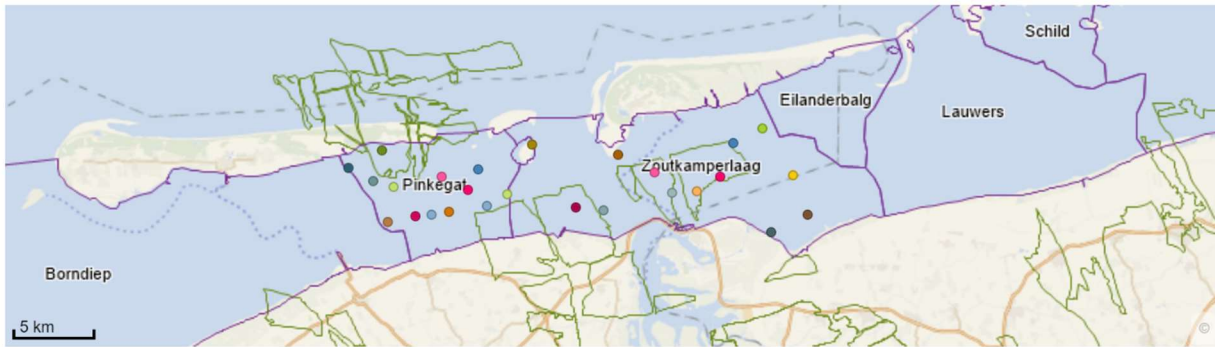
Correlatie Sediment grids 2017 vs. 2018



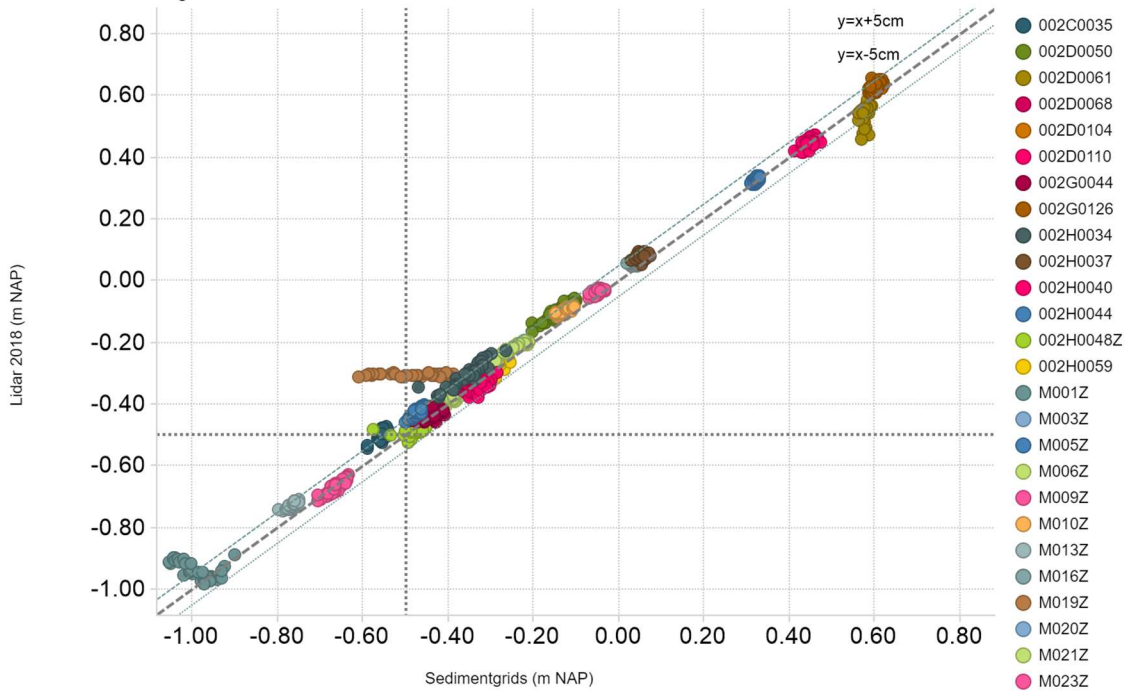
Figuur 11: Correlatie tussen sedimentgridmetingen van 2017 en 2018. X en Y-as geven de NAP hoogte in meters weer van de sedimentgrids. Hiermee worden de veranderingen gevisualiseerd per gridpunt. De diagonale lijn ($y=x$) geeft aan, waar de hoogte in 2017 en 2018 dezelfde is. Gestreepte lijnen geven aan waar de verschillen +/- 5cm zijn.

Tevens is in figuur 12 een vergelijking gemaakt van de sedimentgrids (gemeten in mei/juni 2018) met de LiDAR-data van juli 2018.

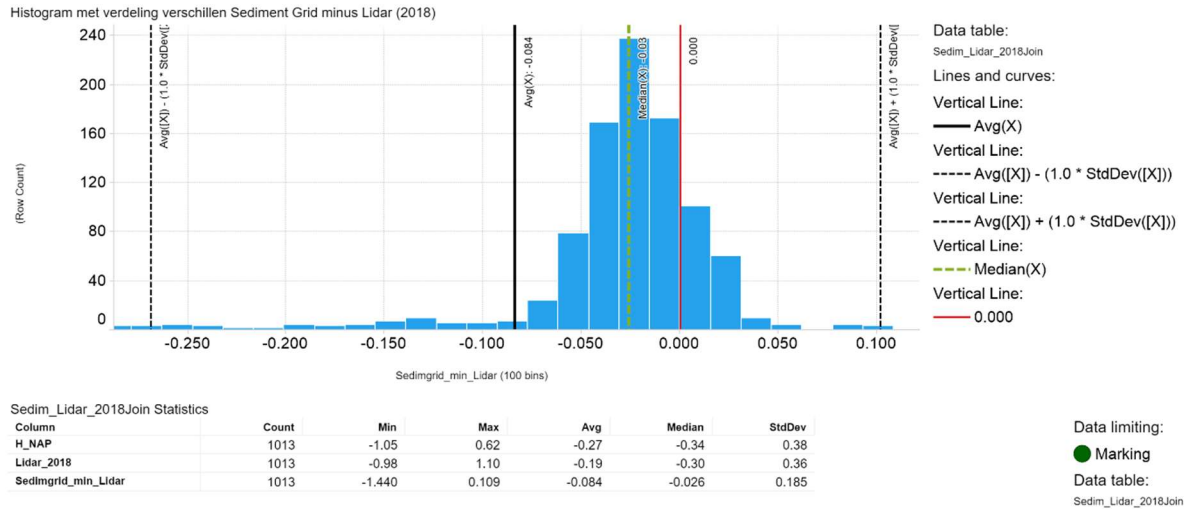
Kaart peilmerkclusters 2018



Lidar vs. Sediment grids 2018



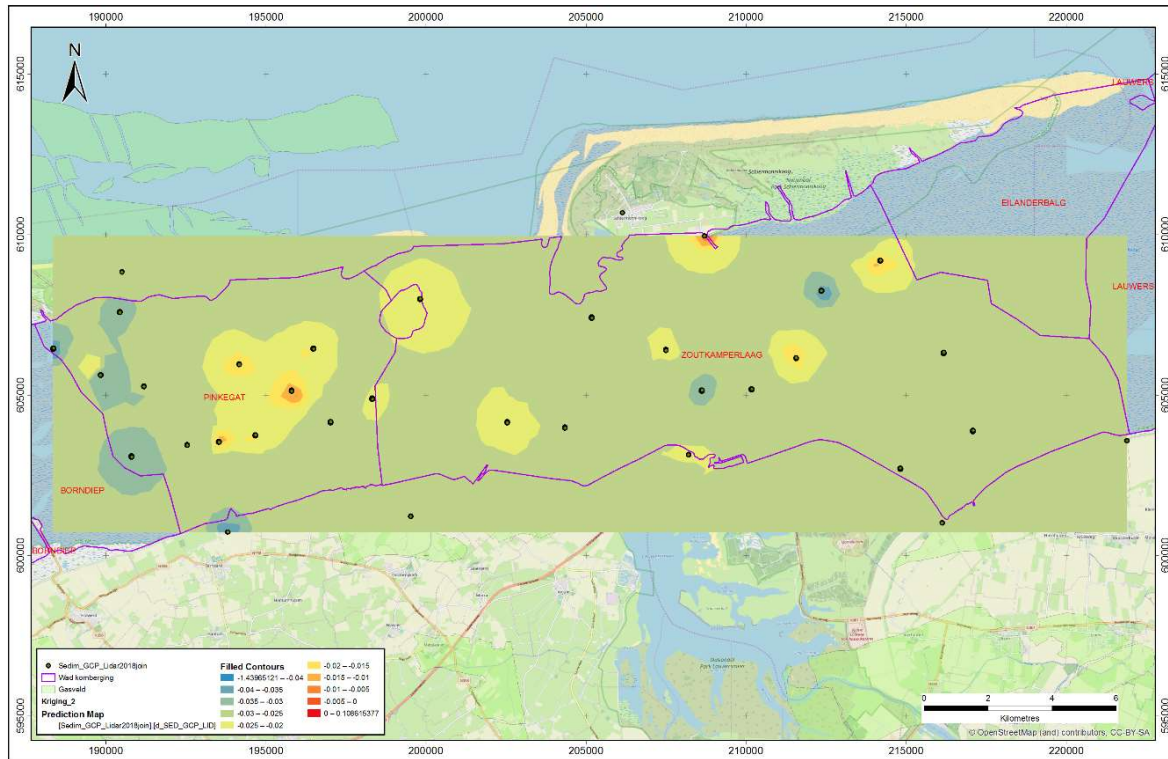
Figuur 12: Correlatie tussen sedimentgrids en LiDAR (2018 meting) per peilmerkcluster. X en Y-as geven de NAP hoogte in meters weer van resp. sedimentgrids en LiDAR. Diagonale ($y=x$) lijn geeft aan waar sedimentgridpunt en LiDAR op dezelfde hoogte liggen. De dunne gestreepte lijn geven aan waar de verschillen +/- 5cm zijn. Waarden op de Y-as beneden -0.50m zijn niet betrouwbaar vanwege de waterstand ten tijde van de LiDAR-meting. Tevens is te zien, dat de bruine punten op een hoogte van -0.30m (y-as) bij een te hoge waterstand zijn opgenomen.



Figuur 13: Histogram met verschillen tussen LiDAR en Sedimentgrids (Sedimentgrids minus LiDAR, dus indien negatief is de LiDAR data hoger). X-as geeft de NAP hoogte in meters.

Deze data van de sedimentgrids, tezamen met de Ground Control Grids (GCP's) kan voor de voorjaaropname van LiDAR gebruikt worden om de LiDAR-data te controleren. Onderzocht moet worden of hiermee de LiDAR-data ook beter gekalibreerd kan worden. Door een model te maken, b.v. middels Kriging interpolatie, van de sedimentgrids en GCP's kan een verschil bepaald worden met de LiDAR-data.

Een initiële analyse is te zien in figuur 14, **Error! Reference source not found**, maar moet verder uitgewerkt worden om te bepalen in hoeverre zo'n model representatief is.



Figuur 14: Verschilkaart van model met Sedimentgrids/GCP's en LiDAR (2018). Op de blauw ingekleurde delen ligt volgens het model de LiDAR data hoger dan de sedimentgrids/GCP's. Op de geel/rood ingekleurde delen ligt LiDAR data lager dan de sedimentgrids/GCP's

Zoals eerder gesteld geeft de LiDAR-data een vlakdekkend beeld van de veranderingen van de wadplaat. Na vele discussies, onderzoek en analyse kan gesteld worden, dat de nauwkeurigheid van een enkele meting rond de 5 cm ligt. Dat betekent, dat gemiddeld genomen de nauwkeurigheid van het verschil tussen 2 opnamen rond de 7cm ligt (1σ). Duidelijk is, dat de kwaliteit van de LiDAR-data in de loop van de jaren verbeterd is, met name voor wat betreft de dichtheid van punten en bedekking. Dit wordt versterkt, door de voorjaarsmetingen zoveel mogelijk gelijktijdig met de GPS-campagnemetingen (en daarmee de sedimentgridmetingen) uit te voeren, waardoor een goede controle op de nauwkeurigheid kan worden uitgevoerd.

Alternatieve of aanvullende metingen die zijn bediscussieerd, zijn het gebruik van groene laser- of radarmetingen. Groene laser kan ook deels door water heen meten, zij het met minder nauwkeurigheid, o.a. vanwege de breking van de laserstraal, door reflecties op zanddeeltjes in het water e.d. Het voornaamste probleem is dat de LiDAR-data middels full-waveform geprocessed moet worden, om het verschil tussen waterspiegel en bodem te bepalen. Uit eerdere onderzoeken is gebleken, dat dit onderscheid in het bereik van 0-28 cm niet goed te maken is (de zogenaamde 'dead-zone'). De waterdiepte van achterblijvend water op de wadplaat zal in veel gevallen binnen dit bereik vallen.

Radarmetingen kunnen vanuit de satelliet of vanaf een hoog punt aan de grond uitgevoerd worden. Gebruik van satellietmetingen zou mogelijk zijn, maar aangezien het tijdstip van de beelden vastligt, zullen deze meestal niet bij laagwater zijn opgenomen. Door vele beelden in de tijd te beschouwen, kunnen deze gefilterd worden op een waterstand minder dan -70cm NAP en zou hieruit een onderscheid tussen land

en water bepaald kunnen worden. In 2012 is een en ander onderzocht, o.a. in samenwerking met Universiteit van Wageningen, maar dit leidde niet tot bruikbare resultaten. Een beperking is ook, dat slechts het areaal droogvallend wad bepaald zou kunnen worden, het geeft geen informatie over hoogteveranderingen.

Vanaf de vuurtoren van Ameland zijn Radarmetingen uitgevoerd. Hiermee kan golfhoogte, waterdiepte en stroming worden berekend. Een beperking hiervan is, dat de meting slechts een relatief klein deel van het gebied bestrijkt (ong. 70km² van het Amelanders zeegeat, tussen Terschelling en Ameland). Onderzocht zou kunnen worden of het bepalen van een land-waterscheiding mogelijk is en wat de nauwkeurigheid hiervan is. Tevens is de vraag of de hoogte van de wadplaat en/of waterdiepte bepaald kan worden en de nauwkeurigheid hiervan is. Uit onderzoek in 2012 blijkt, dat bij een waterdiepte van minder dan 3 meter, analyse niet mogelijk is, zodat alleen data van de buiten-delta (Noordzee kant) beschouwd kan worden (Swinkels et al, 2012; Ref. 7).



Samenvattend, denken wij dat LiDAR metingen a.d.h.v. de nieuwe scanner (Riegl LMS-780) de best beschikbare basis vormen voor het bepalen van het oppervlak en de ontwikkeling van H1140. De meetfouten zijn onderzocht en de voornaamste fouten zijn bekend. Geanalyseerd moet worden in hoeverre het mogelijk is voor deze meetfouten te corrigeren. Hiervoor is een concept-stappenplan opgenomen in tabel 4.

Tabel 4: Mogelijke stapsgewijze correctie van het areaal wadplaten in het onderzoekgebied Pinkegat en Zoutkamperlaag voor de systematische fout in de LiDAR-survey en de invloed van het niveau van laagwater.

Stap	Actie
1	Controleer hoe de shift en tilt berekening precies heeft plaatsgevonden
2	Controleer de ligging van de contouren van het onderzoekgebied (observeer of er sprake is van een systematische verschuiving van wadplaten binnen deze contouren).
3	Kies een referentiesurvey (bijvoorbeeld 'vj 2017')
4	Definieer de hoogtezone (bijvoorbeeld -50 t/m 100 cm NAP).
5	Deel het onderzoekgebied op in gridcellen van bijvoorbeeld 500x500m
6	Bepaal hypsometrische curves voor die gridcellen (gemiddeld voor alle surveys? / referentiesurvey?)
6	Werkend vanuit de referentie-survey: bepaal per survey a.d.h.v. die hypsometrische curves de invloed van de <i>tilt</i> op het areaal wadplaten
7	Werkend vanuit de referentie-survey: bepaal per survey a.d.h.v. hypsometrische curves de invloed van de <i>shift</i> op het areaal wadplaten
8	Tel per survey het effect van <i>tilt</i> en <i>shift</i> bij elkaar op.
9	Corrigeer de hoogte voor alle surveys voor <i>shift</i> en <i>tilt</i>
10	Herhaal 4 t/m 9 voor de hoogtezone die waarschijnlijk sterker beïnvloed wordt door water op de plaat (bijvoorbeeld -50 t/m 0 NAP)
10	Bestudeer hoe de gemiddelde, gecorrigeerde hoogte van die zones beïnvloedt wordt door de hoogte van de laagwaterstand (LW)
11	Bestudeer hoe het areaal wadplaten toeneemt beneden NAP onder invloed van LW
12	Definieer een functie voor de invloed van LW op het areaal wadplaten boven -50 NAP
13	Tel per survey t.o.v. vj 2017 het effect van tilt, shift en LW op, en plot het gecorrigeerde areaal wadplaten >-50cm NAP als functie van de tijd voor het onderzoekgebied.

Beslisschema t.a.v. H1140.

Ten behoeve van het evalueren van het effect van bodemdaling op instandhoudingsdoelen worden beslisschema's gehanteerd. Op advies van de auditcommissie wordt er voor verschillende onderdelen van het monitoringprogramma naar de vragen in het beslisschema gekeken om vast te stellen in hoeverre de juiste informatie naar tevredenheid verzameld wordt.

De vragen t.a.v. H1140 dienen te kunnen worden beantwoord:

	Beslisschema voor integrale rapportage, onderdeel habitattypes Y = ja, of bij twijfel / N = nee, redelijkerwijs niet		
1	Negatieve en duidelijke trend in oppervlakte?	Y→2	N→5
	<i>Zoals hierboven uitgebreid wordt besproken is de eerste vraag direct een lastige om te evalueren. De LiDAR-data biedt de best beschikbare meting van (een deel van) het areaal droogvallende wadplaten. Er zijn echter duidelijke beperkingen t.a.v. de nauwkeurigheid van de meting. De metingen zijn zeer geschikt om een significant negatieve ontwikkeling van dit habitatype te falsificeren. Een effect van bodemdaling door gaswinning valt echter binnen de ruis van de metingen en binnen de natuurlijke morfologische variatie in het gebied. We hanteren alternatieve erosie-sedimentatie metingen met als doel de LiDAR-resulaten te controleren. Het lijkt erop dat een grotere meetfout in 2010 en 2011 tot een schijnbaar groter areaal wadplaten leidde. De trends in een delen van het plaatareaal die deels het gevolg zijn van verbeteringen in de dataacquisitie zullen naar verwachting uitvlakken en de gemeten variatie zal evenredig rond nul (geen trend) verdeeld gaan worden wanneer er meer data verzameld wordt.</i>		
2	Trend anders dan in referentiegebieden (indien van toepassing)?	Y→3	N→5
	<i>Referentiegebieden die op dezelfde wijze en frequentie worden gemeten als de wadplaten in het Friese zeegat, zijn niet beschikbaar. Op het moment dat er inderdaad sprake is van een meetbare afname van het areaal droogvallende wadplaten (-50 tot +160 cm NAP), kunnen we niet controleren of dit in andere kombergingen ook het geval is. Wel hebben we enkele spijkermetingen in o.a. het Borndiep liggen.</i>		
3	Trend een bekende oorzaak (anders dan bodemdaling door gaswinning)?	Y→5	N→4
	<i>Wanneer er sprake is van een afname van het areaal droogvallende wadplaten is de uitdaging deze te duiden. Een belangrijke vraag hierbij is in hoeverre de trend zich verhoudt tot het proces dat daar ogenschijnlijk aan ten grondslag ligt. Dit betekent dat na inachtnaam van een oorzaak naar de residuele trend dient te worden gekeken. Op dit moment ligt de oorzaak van de afname van een deel van het areaal in de meetfout. Na het doorlopen van de stappen in tabel 4. dient te worden bepaald of er sprake is van een residuele trend in het areaal droogvallende wadplaten.</i>		
4	Verhoudt de trend zich tot de opgetreden bodemdaling? (<u>richting, ruimtelijk en temporeel</u>)	Y→9	N→5
	<i>De reeds opgetreden bodemdaling onder het Pinkegat en Zoutkamperlaag wordt in voldoende detail bepaald om deze vraag te kunnen beantwoorden.</i> <i>De werkhypothese is dat bodemdaling wordt uitgemiddeld over een kombergingsgebied. De spijkermetingen toetsen deze hypothese. Wat ontbreekt is een heldere alternatieve hypothese die voorspeld waar bodemdaling door gaswinning het eerst of meest effect zou kunnen hebben. Denk hierbij aan de delen binnen de kombergingen die meer- en minder gevoelig zijn voor relatieve zeespiegelstijging.</i>		
5	Negatieve en duidelijke trend in kwaliteit van het habitatype?	Y→6	N→10

	<p><i>Ter beoordeling van de ontwikkeling van de kwaliteit van H1140 wordt in het huidige monitoringprogramma gekeken naar berekende draagkracht van het gebied voor op het wad foeragerende vogels (paragraaf 4.2).</i></p> <p><i>De overheid evalueert de beleidsdoelen voor H1140 op basis van de Benthische Indicator Soorten Index (BISI). Op basis van een habitat- of ecotoopspecifieke selectie aan indicatorsoorten wordt vergeleken met een samengestelde (interne) referentie voor dezelfde selectie van indicatorsoorten. Voor H1140 worden verschillende ecotopen onderscheiden. BISI kan ook de mogelijke effecten van drukfactoren op de soortensamenstelling schatten. Hiervoor maakt de methode gebruik van weegfactoren. Per benthossoort is aangegeven hoe de relatieve gevoeligheid voor zo'n drukfactor wordt ingeschat. Gekeken zou kunnen worden in hoeverre het mogelijk is om een soortspecifieke gevoeligheid voor bodemdaling te bepalen. Over het algemeen is ook het areaal van de verschillende ecotopen een maat voor de kwaliteit van het gebied. Deze ecotopen worden gedefinieerd door de sedimentsamenstelling en de mate van hydrodynamiek. In de jaarlijkse analyse van de monitoringdata voor gaswinning onder de Waddenzee wordt nog geen gebruik gemaakt van de BISI-analyse. Wel wordt hiertoe de juiste data verzameld.</i></p>		
6	Trend anders dan in referentiegebieden (indien van toepassing)?	Y→7	N→10
	<i>Hiervoor kan worden teruggevallen op de Waddenzee-brede SIBES en MOSKOK data. Voor SIBES mist een aantal jaar, maar sinds 2019 wordt het gehele gebied geïnventariseerd en geanalyseerd. We is het zo dat niet al die data voor 31 december van het betreffende inventarisatiejaar beschikbaar is.</i>		
7	Trend een bekende oorzaak (anders dan bodemdaling door gaswinning)?	Y→10	N→8
	<i>Voor vraag 7 zijn we afhankelijk van de specialisten die in het gebied werkzaam zijn. Denk hierbij aan een effect van zandsuppletie, baggerwerkzaamheden, visserij, kokkelsterfte, etc.</i>		
8	Wat (welke parameter(s)) veroorzaakt de trend in 5 en verhoudt de trend in die parameter(s) zich tot de opgetreden bodemdaling? (richting, ruimtelijk en temporeel)	Y→9	N→10
	<i>De bovengenoemde BISI-analyse kan ook de mogelijke effecten van drukfactoren op de soortensamenstelling schatten. Hiervoor maakt de methode gebruik van weegfactoren. Per benthossoort is aangegeven hoe de relatieve gevoeligheid voor zo'n drukfactor wordt ingeschat. Gekeken zou kunnen worden in hoeverre het mogelijk is om een soortspecifieke gevoeligheid voor bodemdaling te bepalen. Dit zou kunnen helpen om de hierbovenstaande vraag ecologisch te onderbouwen.</i>		
9	Een effect van bodemdaling kan niet worden uitgesloten. Kwantificeer het effect, prognosticeer de verdere ontwikkeling en beschrijf mitigerende maatregelen/ aanvullend onderzoek.		
10	Geen effect van bodemdaling op de instandhoudingsdoelstellingen vastgesteld voor het betreffende monitoringjaar.		

4.2 Vogels en draagkrachtmodellering

De doelstelling voor dit onderdeel luidt: aantonen / aannemelijk maken dat een eventuele afname in een doelsoort niet het gevolg is van bodemdaling door gaswinning. Ten behoeve van deze analyse wordt gebruik gemaakt van de vogeltellingen die gecoördineerd en verzameld worden door Sovon. Op basis van deze tellingen wordt de trendmatige ontwikkeling van de aantallen van een bepaalde soort in het gebied Pinkegat-Zoutkamperlaag in beeld gebracht. Dit werkt prima. De aantalsontwikkeling in Pinkegat-Zoutkamperlaag wordt met die in de rest van de Waddenzee vergeleken.

Voor de op het wad foeragerende vogels is naar aanleiding van de eerste evaluatie en gedurende de tweede monitoringcyclus het model WADMAP ontwikkeld. Het model integreert monitoringdata met ecologische informatie over de hierboven genoemde doelsoorten. Op basis daarvan produceert het model kaarten van het voedsellandschap en berekent het de voedselbeschikbaarheid en -bereikbaarheid per vogelsoort. Hiertoe hanteert het model verschillende soorten berekeningen die we “proxies voor draagkracht” noemen. Door gemiddelde proxy-waarden voor deelgebieden te correleren met de hoogwatersverspreiding van vogelsoorten kijken we welke proxies het best passen bij welke soort. Voor een aantal soorten is een goede match gevonden tussen de hoogwatersverspreiding en de berekende “draagkracht” van het nabij gelegen wad. Uit deze validatie blijkt dat het model voor een aantal vogelsoorten voorspellende waarde heeft: vogelaantallen worden gestuurd door de voedselbeschikbaarheid en/of -bereikbaarheid. De reden dat dit voor een aantal andere soorten niet altijd het geval is, kan veroorzaakt worden doordat het model niet de juiste ecologische kennis over de vogelsoort bevat, of omdat andere zaken (niet zijnde de beschikbaarheid / bereikbaarheid van voedsel) limiterend zijn voor de verdeling van de vogelaantallen op de HVP's.

Voor soorten waarvoor er geen gevalideerde proxy voor draagkracht is, wordt beredeneerd dat de vogeldichtheid op de HVP's niet beperkt wordt door de “draagkracht” van het foerageergebied. Het is aannemelijk dat andere zaken dan limiterend zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de verstoring van de HVP's. Momenteel is er aandacht voor uitbreiding van het model met als doel verstoring erin te verwerken. Hierbij gaat het om verstoring door recreatie, verstoring door handkockelaars en wellicht ook door roofvogels.

Met het model WADMAP is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Zo'n analyse maakt inzichtelijk in welke mate de uitkomst beïnvloed wordt, wanneer één van de variabelen wordt gevarieerd. Uit de analyse blijkt dat de modeluitkomst erg gevoelig is voor veranderingen in de biomassa van de prooidieren (aanwezige voedsel) en van de waterstanden (bereikbaarheid van het voedsel). Het laten dalen van de wadbodem in het model had een veel kleiner effect op de berekende draagkracht. Dat is logisch als je bedenkt dat de variatie in waterstanden een factor 5 tot 10 groter is dan de bodemdaling door de gaswinning zou kunnen bedragen. Deze beperkte gevoeligheid voor veranderingen in bodemhoogte leidt ertoe dat er geen direct effect is van bodemdaling op draagkracht. De vervolgvraag is dan of er sprake is van een indirect effect. Wanneer er sprake is van tijdelijk relatief hoge waterstanden, dan is dat duidelijk geen effect van bodemdaling door gaswinning. De aandacht richt zich daarom op de variatie in de prooidieren, het benthos. Hoe bodemdaling door gaswinning invloed op de dichtheid en verspreiding van benthossoorten kan hebben is niet gedefinieerd. Hiervoor wordt vaak gedacht aan veranderingen in de sedimentstructuur / -samenstelling (Ref. 17).

Beslisschema t.b.v. doelsoorten

Ten behoeve van het evalueren van het effect van bodemdaling op instandhoudingsdoelen worden beslisschema's gehanteerd. Op advies van de Auditcommissie wordt er voor verschillende onderdelen van het monitoringprogramma naar de vragen in het beslisschema gekeken om vast te stellen in hoeverre de juiste informatie naar tevredenheid verzameld wordt. Hieronder wordt het beslisschema doorlopen met in gedachten een beschermd vogelsoort (doelsoort) die een afnemende aantalsontwikkeling laat zien.

	Beslisschema voor integrale rapportage, onderdeel vogels (N2000-soorten) Y = ja, of bij twijfel / N = nee, redelijkerwijs niet		
--	---	--	--

1	Is er sprake van een negatieve trend in de aantalsontwikkeling van een doelsoort in het beïnvloedingsgebied (HVP's rond het Friese Zeegat zoals in <i>Ens et al.</i> (2019) Ref. 8))?	Y→2	N→8
→	<i>De vogeltellingen geven voldoende informatie om deze vraag te beantwoorden.</i>		
2	Is de geobserveerde trend (in 1) anders dan in referentiegebieden (indien beschikbaar/ relevant) ?	Y→3	N→8
→	<i>Als referentiegebied wordt de gehele Nederlandse Waddenzee beschouwd. Omdat het hier om vergelijkbare metingen gaat, is vraag 2 prima op basis van de beschikbare vogeltellingen te beantwoorden.</i>		
3	Heeft de trend een bekende oorzaak (anders dan diepe/maaiveld bodemdaling en anders dan bij 4)?	N→4	Y→8
→	<i>Deze vraag is wat moeilijker te beantwoorden. Voor veel vogelsoorten is er best veel theorievorming rond de populatieontwikkeling, maar die is meestal van toepassing op de Waddenzee als geheel en niet voor Pinkegat en/of Zoutkamperlaag specifiek. Tot nu toe is deze vraag in de analyses overgeslagen of met "Nee" beantwoord.</i>		
4	Hoe verhoudt de trend zich tot de ontwikkeling van de draagkracht van het gebied m.b.t. specifieke functies van het gebied voor de betreffende soort? (effectketen)	Y→5	N→8
→	<i>Dit (4) is de vergelijking met berekende proxies voor draagkracht. Hierbij gaat het ook om de eigenschappen van de trends: misschien is de afname van de vogelaantallen eerder begonnen dan die van de draagkracht. Ook is hierbij van belang in hoeverre er sprake is van een correlatie tussen de vogelaantallen en de berekende draagkracht. Het WADMAP model is operationeel en functioneert goed.</i>		
5	Heeft de trend in de draagkracht / gebiedsfunctie een bekende of voor de hand liggende oorzaak? (anders dan bodemdaling/ maaiveldaling)	N→6	Y→8
→	<i>Voor de draagkracht van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag kan WADMAP bijvoorbeeld vertellen welke benthossoorten verantwoordelijk zijn voor de trendmatig afname. De ontwikkeling van deze soorten kan vergeleken worden met de Waddenzeebrede ontwikkeling van die soorten. Eerst was dit uitsluitend mogelijk door te vergelijken met de MOSKOK en de MWTL-data van RWS die slechts op een beperkt aantal locaties werd ingewonnen. Vanaf volgend jaar kan hiervoor van de Waddenzeebrede bodemdiereninventarisatie (SIBES) gebruik worden gemaakt.</i>		
6	Wat (welke parameter(s)) veroorzaakt de trend in 4 en verhoudt de trend in die parameter(s) zich tot de opgetreden bodemdaling? (<u>richting, ruimtelijk en temporeel</u>) (is er een mogelijke relatie..)	Y→7	N→8
→	<i>Wanneer de verandering in de bij vraag 5 genoemde benthossoorten niet aan een Waddenzeebrede ontwikkeling kan worden gekoppeld, is het zaak de bodemdaling als mogelijke oorzaak te beoordelen. Ruimtelijke en temporele patronen in de verspreiding van de soort(en) kunnen worden vergeleken met de ruimtelijke en temporele veranderingen in wadplaathoogte (LiDAR) en bodemdaling (M&R). Voor het beantwoorden van deze vraag zou het goed zijn vooraf vast te stellen welke benthossoorten gevoelig zouden kunnen zijn voor bodemdaling, op welke wijze en in welke mate.</i>		
7	Een effect van bodemdaling kan niet worden uitgesloten. Kwantificeer het effect, prognosticeer de verdere ontwikkeling en beschrijf mitigerende maatregelen en nader onderzoek.		
→	<i>Wanneer we voor een instandhoudingsdoel bij 7 aankomen betekent dat op dit moment dat we dit resultaat rapporteren aan de Minister van LNV. De Minister zal bepalen in hoeverre er sprake is van significante schade en welke maatregelen gewenst zijn.</i>		

8	Geen effect van bodemdaling op dit instandhoudingsdoel vastgesteld in het betreffende monitoringjaar.		
---	---	--	--

Samenvattend, hebben we voor de op het wad foeragerende vogels een passende systematiek gevonden op basis waarvan we het effect van bodemdaling door gaswinning kunnen evalueren. Hierbij volgen we het beslisschema. Het vaststellen van welke benthossoorten gevoelig zouden kunnen zijn voor bodemdaling helpt om vraag 6 uit het beslisschema te beantwoorden. Verbeteringen aan WADMAP zijn de komende jaren mogelijk, maar staan de werking van het model niet in de weg.

4.3 Kwelder

De huidige kweldermonitoring concentreert zich op het westelijke deel van de Peazumerlannen en maakt gebruik van een aantal referentiegebieden, zoals de Julianapolder, Friesland Buitendijks, etc. De kweldermonitoring is opgebouwd uit de volgende elementen.

- 1) VEGWAD vlakdekkende vegetatiekartering en analyse conform SALT97.
- 2) SEB-metingen op basis waarvan de sedimentatiesnelheid en het inklinken van de kwelder kunnen worden gevolgd.
- 3) PQ-metingen op basis waarvan de vegetatieontwikkeling kan worden gevolgd. Deze kan tevens met de VEWAG-resultaten worden vergeleken.

In deze evaluatie wordt nagegaan in hoeverre de monitoring op adequate wijze instaat is veranderingen in de beschermde natuurdoelstellingen voor het gebied in beeld te brengen. Deze natuurdoelstelling luidt: *Behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit schorren en zilte graslanden, buitendijks, inclusief zilte pioniervegetatie en de aanwezigheid van slijkgras*. Voor het onderzoeksgebied gaat het hier om het oppervlak en de kwaliteit van H1310 en H1330. Ten behoeve van deze evaluatie zal het beslisschema voor deze beschermde kwelderhabitats worden doorlopen. Hierbij wordt uitgegaan van twee scenario's:

Scenario 1: H1310 neemt af in oppervlak als gevolg van bodemdaling en erosie van de voor de kwelder liggende wadplaat (H1310 → H1140). Tegelijkertijd neemt het toe als gevolg van regressie van de lage kwelder. Dit is echter een veel kleinere oppervlakte.

Scenario 2: H1330 neemt af in kwaliteit. Door opslibbing op de lage kwelder ontstaat daar een oeverwal. Bodemdaling door gaswinning leidt tot kanteling van de kwelder waardoor de drainage stagneert en er komvorming ontstaat. Als gevolg hiervan verdwijnen grote delen van de middenkwelder. Hier vormen zich waterplassen met pioniervegetatie.

	Beslisschema voor integrale rapportage, onderdeel habitattypes Y = ja, of bij twijfel / N = nee, redelijkerwijs niet		
1	Negatieve en duidelijke trend in oppervlakte?	Y→2	N→5
	<i>Scenario 1: De oppervlakte van H1310 wordt momenteel niet jaarlijks gemeten. Alleen in het kader van de VEGWAD-kartering wordt dit eens per zes jaar ingemeten. Een jaarlijkse contour rond de pionierzone op basis van DGPS (xyz) zou een meerwaarde zijn om deze vraag te beantwoorden.</i>		
2	Trend anders dan in referentiegebieden (indien van toepassing)?	Y→3	N→5
	<i>Scenario 1: Om vast te stellen in hoeverre de oppervlakte van de pioniervegetaties ook teruglopen in referentiegebied, zou ook daar een kartering van H1310 moeten</i>		

	<i>plaatsvinden. Dit kan echter ad hoc, wanneer hier aanleiding toe is. Het resultaat van zo'n meting kan dan met de laatste VEGWAD-kartering worden vergeleken.</i>		
3	Trend een bekende oorzaak (anders dan bodemdaling door gaswinning)?	Y→5	N→4
	<i>Scenario 1: Hierbij denken we aan veranderingen in het beheer van het gebied. Deze vraag dient in samenhang met vraag 4 een bevredigend antwoord op te leveren. Daarbij dient er eenzijds een voor de hand liggende verklaring voor het waargenomen fenomeen te zijn dat anderzijds waarschijnlijk niet het gevolg is van bodemdaling door gaswinning.</i>		
4	Verhoudt de trend zich tot de opgetreden bodemdaling? (<u>richting, ruimtelijk en temporeel</u>)	Y→9	N→5
	<i>Deze vraag kan op basis van de monitoringdata (bodemdalingmetingen; spijkermetingen, SEB-metingen en PQ-metingen) goed worden bestudeerd en beantwoord.</i>		
5	Negatieve en duidelijke trend in kwaliteit van het habitatype?	Y→6	N→10
	<i>Scenario 2: De dichtheid en verspreiding van de PQ's geven een goede indicatie van de ontwikkeling van de kwelder. Ook de observaties van de betrokken onderzoekers zullen helpen om te beoordelen of grote veranderingen zoals in scenario 2 representatief in de PQ-metingen naar voren komen. Eens per zes jaar geeft de VEGWAD-kartering een gebiedsdekkend beeld van de situatie. Een dergelijke kartering op basis van luchtfoto's zou wellicht ad hoc moeten plaatsvinden wanneer de ontwikkelingen in de PQ's daar aanleiding toe geven. Opgemerkt moet worden dat regressie in de kweldervegetatie in eerste instantie niet tot een afname van de kwaliteit van de H1330 zal leiden, aangezien deze kwaliteit de laatste jaren juist achteruit gaat als gevolg van successie (Van Duin, 2019).</i>		
6	Trend anders dan in referentiegebieden (indien van toepassing)?	Y→7	N→10
	<i>Scenario 2: Er zijn voldoende referentiegebieden waarmee vergeleken zou kunnen worden. De vraag is echter in hoeverre deze representatief kunnen worden geacht, sinds de natuurlijke en beheersituatie op iedere kwelder weer verschillend is.</i>		
7	Trend een bekende oorzaak (anders dan bodemdaling door gaswinning)?	Y→10	N→8
	<i>Voor vraag 7 zijn we afhankelijk van de specialisten die in het gebied werkzaam zijn. Denk hierbij aan een effect van beheer, weersomstandigheden, etc.</i>		
8	Wat (welke parameter(s)) veroorzaakt de trend in 5 en verhoudt de trend in die parameter(s) zich tot de opgetreden bodemdaling? (<u>richting, ruimtelijk en temporeel</u>)	Y→9	N→10
	<i>Dit blijkt uit de PQ-monitoring die met de bodemdaling- en SEB-monitoring kan worden vergeleken.</i>		
9	Een effect van bodemdaling kan niet worden uitgesloten. Kwantificeer het effect, prognosticeer de verdere ontwikkeling en beschrijf mitigerende maatregelen/ aanvullend onderzoek.		
10	Geen effect van bodemdaling op de instandhoudingsdoelstellingen vastgesteld voor het betreffende monitoringjaar.		

Samenvattend kan gesteld worden dat de dichtheid van het netwerk aan metingen (PQ's en SEB's) een goed inzicht geeft in de hoogteontwikkeling van de kwelder en hoe de vegetatie daarop reageert. Wanneer en waar de kwelder gaat achterlopen t.o.v. de stijgende zeespiegel wordt jaarlijks in beeld gebracht. Grote veranderingen in de vegetatie zouden opvallen maar worden niet kwantitatief gemaakt. T.a.v. scenario 1 is de conclusie dat een jaarlijkse contour van H1310 van toegevoegde waarde is. Hierbij dient dan ook de hoogteligging van deze contour te worden vastgesteld. Voor scenario 2 geldt dat een

gebiedsdekkende kartering naast het bestaande VEGWAD *ad hoc* zou kunnen worden uitgevoerd wanneer de resultaten uit de PQ-metingen daar aanleiding toe geven.

4.4 Lauwersmeergebied

De monitoring in het Lauwersmeergebied bestaat uit het volgen van de ontwikkelingen in de aanwezige vogelsoorten i.r.t. de ontwikkeling van het gebied in termen van vegetatie en waterstanden. Voor de variatie in vegetatie en waterstanden wordt gekeken in hoeverre deze kan worden gekoppeld aan bodemdaling door gaswinning, al dan niet via veranderingen in de grondwaterstand en -chemie. Daarnaast wordt er een aantal andere verklarende variabelen, zoals de frequentie van begrazing en maaien in deelgebieden geregistreerd.

In de evaluatie van het monitoringprogramma in 2013 is een aantal zwakke punten in het monitoringprogramma en de data-analyse geconstateerd. De belangrijkste waren 1) de beperkte mate van overlap tussen vogelgebieden en vegetatieopnames en 2) de statistische analyses van de trends in de vogelaantallen. Om het programma te versterken, is het aantal permanente quadranten (PQ's), waarin de vegetatieopnames worden verricht, sterk uitgebreid en is een aantal vogelgebieden toegevoegd. De regressieanalyse voor de vogelaantallen is verlaten. Trends in vogelaantallen worden nu bepaald op basis van Trendspotter (zie bijvoorbeeld Kleefstra et al. 2019 (Ref. 9)).

Voor de vogelmonitoring (niet-broedvogels) wordt er gebruik gemaakt van de reguliere vogeltellingen die maandelijks door vrijwilligers en Sovon verzameld worden. Daarnaast vindt er in het kader van het onderhavige monitoringprogramma een broedvogeltelling plaats. Deze vogels en broedvogels vormen de Natura 2000-doelstellingen voor het Lauwersmeergebied.

Omdat het Lauwersmeer voor de afsluiting onderdeel was van de Waddenzee, staan de kalkrijke platen nog steeds onder invloed zout grondwater. Hierdoor zijn er grote oppervlakten duinvalleivegetatie ontstaan. Deze vegetaties vormen welliswaar geen beschermd natuurdoel, maar worden wel meegenomen in de monitoring.

Naast de uitbreiding en verbeterde geografische afstemming van de monitoringonderdelen hebben we de laatste jaren vooral geworsteld met de integrale verwerking van de monitoringdata. Dit jaar is het gelukt om tot een systematische aanpak hiervoor te komen. In deze aanpak wordt aan de hand van het beslisschema bepaald in hoeverre trends in vogelaantallen aan bodemdaling door gaswinning kunnen worden gerelateerd. Hierbij is van belang dat wordt vastgesteld welke eigenschap van het gebied bepalend of beperkend wordt geacht voor de aantallen vogels of broedparen van een bepaalde soort. Voor de broedvogels is dat meestal de vegetatiestructuur. De aanwezigheid en kwaliteit van de juiste vegetatie bepaald hoeveel broedparen er in het gebied worden aangetroffen. Veranderingen in de aantallen broedparen worden ook daadwerkelijk in verband gebracht met de oppervlakte of kwaliteit van een bepaalde vegetatiestructuur. Dit gebeurt via een vlakdekkende vegetatiestructuurmeting op basis van een 3D-analyse van luchtfoto's. Deze analyse wordt op dit moment slechts eens per zes jaar uitgevoerd. Ten behoeve van deze monitoring moet dat eens per 2 of 3 jaar gaan gebeuren. Veranderingen in de vegetatiestructuur worden vergeleken met de veranderingen in de PQ's, welke worden verklaard a.d.h.v. abiotische gegevens, inclusief bodemdaling.

De bovenstaande analyse werkt naar behoren. Wel leunt de analyse zwaar op de kennis en ervaring van de in het gebied werkzame onderzoekers. Het aantal broedparen van sommige soorten is klein en alleen in een specifiek deelgebied aanwezig. De onderzoekers weten hoe de kwaliteit van zo'n deelgebied als broedgebied zich ontwikkelt en houden daar rekening mee in hun beoordeling. Bepaalde zaken, zoals de opkomst van de vos als predator in het gebied, worden niet gemeten, maar wel meegenomen in de beoordeling van de situatie.

De belangrijkste ontwikkelingen in het Lauwersmeergebied zijn verruiging van de vegetatie door successie en het nadelige effect van begrazingsbeheer op rietvegetaties. Mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning zijn waarschijnlijk klein en in eerste instantie lokaal. Om ze tijdig te identificeren heeft de commissie Waddengas 2006 gesuggereerd om een landschapsecologische analyse uit te voeren. Het doel van die analyse is aan te wijzen waar in het gebied welk effect van bodemdaling op de vegetatie zou kunnen optreden. Een soort hypothese conform de effectketen waar in het beoordelen van de monitoringresultaten naar gekeken kan worden. Deze analyse past in het gehanteerde beslisschema: vraag 6) *Wat (welke parameter(s)) veroorzaakt de trend in 5 en verhoudt de trend in die parameter(s) zich tot de opgetreden bodemdaling (richting, ruimtelijk en temporeel)? Is er een mogelijke relatie?*. Altenburg en Wymenga is gevraagd deze analyse mee te nemen in de eerstvolgende rapportage.

Voor een deel van de niet-broedvogels is vastgesteld dat ze van het Lauwersmeergebied gebruik maken om te slapen/rusten. Dit doen ze in ondiep water. Het gebied kent een aantal belangrijke plekken waar grote groepen rustende vogels kunnen worden aangetroffen. De vraag was in hoeverre deze slaapplekken kleiner of groter kunnen worden als gevolg van bodemdaling door gaswinning. Kleefstra *et al.* (2019) schrijft dat een relatief hogere waterstand in de meeste gevallen leidt tot uitbreiding van het areaal geschikte slaapplekken. Alleen bij zeer hoge waterstanden is dat niet het geval. Kleefstra *et al.* (2019) analyseerde tevens in hoeverre de schommelingen in het meerpeil van invloed zijn op de aantallen van de betreffende vogelsoorten. Dit bleek niet het geval. Een effect van bodemdaling op deze functie van het gebied voor verschillende vogelsoorten wordt dan ook niet verwacht.

Voor de meeste vogels wordt verondersteld dat ze foerageren binnen hun territorium (broedgebied). Voor de grotere vogels geldt dat niet. Grotere soorten hebben grotere foerageergebieden. Denk hierbij aan de graslanden voor Ganzen en aan de rietvlaktes voor de Kiekendieven. De ontwikkeling van de graslanden wordt middels de vegetatiekartering in beeld gebracht. Voor de roofvogels wordt verondersteld dat ze afhankelijk zijn van muizen als stapelvoedsel in het gebied. De achterliggende gedachte is dat een hoge muizenstand in het gebied kan leiden tot meer broedparen van de Bruine en Grauwe Kiekendief. De variatie in de muizenstand wordt dan ook apart gemeten. Deze monitoring is echter beperkt tot een relatief klein aantal metingen waarvan het niet helemaal duidelijk is hoe representatief dat is voor het bredere gebied. Op basis van historische metingen aan muizenaantallen zou gekeken kunnen worden hoeveel metingen er precies nodig zijn en waar die zouden moeten plaatsvinden. Tevens is gebleken dat de verspreiding van de muizen gerelateerd kan worden aan de vegetatiestructuur. Wanneer deze voorspeld kan worden door een combinatie van vegetatiestructuur en variaties in het meerpeil, kan het effect van bodemdaling door gaswinning wellicht ook via een model worden onderzocht, i.p.v. aan de hand van een jaarlijks monitoringsprogramma voor muizen. Hier zal in het kader van de update van het monitoringprogramma naar gekeken worden.

Het beheer heeft veel invloed op het gebied. De onderzoekers herkennen het effect van beweiding enerzijds en successie anderzijds in het gebied. Daarnaast wil Staatsbosbeheer een zogenaamde rietproef

uitvoeren. Dit houdt in dat het meerpeil gedurende bepaalde maanden van het jaar wat omhoog gaat. Het is de bedoeling dat dit een positief effect heeft op de rietvegetaties. Deze proef kan helpen vast te stellen waar in het gebied effecten van een relatieve (of absolute) stijging van het meerpeil kunnen worden verwacht.

In haar advies van 11 december 2018 benadrukt de auditcommissie om in deze evaluatie aan te geven in hoeverre het monitoringprogramma aanpassingen behoeft om de mogelijke effecten van veranderingen in beheer (begrazing en peilbeheer) te accommoderen. T.a.v. begrazing is dit niet nodig. De onderzoekers die het veldwerk verrichten zijn goed op de hoogte van de rol die de begrazing speelt in verschillende delen van het gebied. Dit werkt tot dusver goed. T.a.v. het peilbeheer is het nog onduidelijk hoe verstrekkend de ecologische veranderingen hiervan zullen zijn. Omdat het doel van de zogenaamde rietproef is de kwaliteit van de rietkragen te verbeteren, zal de draagkracht voor de broedvogelsoorten die wij bestuderen gaan toenemen. Het lijkt in dit stadium dan ook niet nodig om de bestaande monitoring hiervoor uit te breiden.

In 2019 is voor een geselecteerde groep doelsoorten (die waarvoor een effect van bodemdaling door gaswinning niet op voorhand kon worden uitgesloten) het beslisschema doorlopen. Voor de beschermde broedvogels verzamelen we de juiste informatie om het beslisschema met voldoende zekerheid te kunnen doorlopen. Hierbij speelt de lokale kennis van de onderzoekers een belangrijke rol. Voor de niet-broedvogels is onderzocht en aangetoond dat fluctuaties in het meerpeil niet van invloed zijn op de aantallen rustende vogels in het gebied. Ook is aangetoond dat mogelijke effecten op het areaal geschikt rustgebied grotendeels positief zijn. Het is dan ook de vraag of een effect van bodemdaling door gaswinning op de niet-broedvogels niet op voorhand kan worden uitgesloten en dat het monitoringprogramma zich de komende 6 jaar beperkt tot de broedvogel- en de vegetatiemetingen.

Belisschema t.b.v. doelsoorten

Ten behoeve van het evalueren van het effect van bodemdaling op instandhoudingsdoelen worden beslisschema's gehanteerd. Op advies van de Auditcommissie wordt er voor verschillende onderdelen van het monitoringprogramma naar de vragen in het beslisschema gekeken om vast te stellen in hoeverre de juiste informatie naar tevredenheid verzameld wordt. Hieronder wordt het beslisschema doorlopen met in gedachten een beschermde vogelsoort (doelsoort) die een afnemende aantalsontwikkeling laat zien. Hierin zullen discussiepunten uit de bovenstaande alinea's aan bod komen.

	Belisschema voor integrale rapportage, onderdeel vogels (N2000-soorten) Y = ja, of bij twijfel / N = nee, redelijkerwijs niet		
1	Is er sprake van een negatieve trend in de aantalsontwikkeling van een doelsoort in het beïnvloedingsgebied (HVP's rond het Friese Zeegat zoals in Ens <i>et al.</i> (2019) Ref. 8))?	Y→2	N→8
→	<i>De (broed)vogeltellingen geven voldoende informatie om deze vraag te beantwoorden.</i>		
2	Is de geobserveerde trend (in 1) anders dan in referentiegebieden (indien beschikbaar/ relevant) ?	Y→3	N→8
→	<i>Als referentiegebied wordt de gehele Nederlandse populatie beschouwd (de landelijke trend). Omdat het hier om vergelijkbare metingen gaat, is vraag 2 prima op basis van de beschikbare vogeltellingen te beantwoorden.</i>		
3	Heeft de trend een bekende oorzaak (anders dan diepe/maaiveld bodemdaling en anders dan bij 4)?	N→4	Y→8

→	<i>Deze vraag wordt voor door de betrokken onderzoekers goed meegenomen in de discussie van de resultaten. Er is veel gebiedskennis en ecologische kennis van de belangrijkste sturende processen in het gebied.</i>		
4	Hoe verhoudt de trend zich tot de ontwikkeling van de draagkracht van het gebied m.b.t. specifieke functies van het gebied voor de betreffende soort? (effectketen)	Y→5	N→8
→	<i>Dit (4) is de vergelijking met de vegetatiestructuur. De ontwikkeling in de vegetatiestructuur is goed in het monitoringprogramma opgenomen. Een aandachtspunt is dat frequentie waarmee deze meting plaatsvindt omhoog moet. Eens per twee jaar zou beter zijn dan nu het geval is. In tussenliggende jaren is de veldkennis op dit gebied voldoende om hier uitspraken over te kunnen doen.</i> <i>Voor de niet-broedvogels is vastgesteld dat het Lauwersmeergebied vooral van belang is om te rusten/slapen en/of te foerageren. De invloed van bodemdaling op geschikt rust- en slaapgebied is onderzocht. Negatieve effecten van bodemdaling op die functie worden op grond van die studie niet verwacht. Het lijkt dan ook niet zinvol dit jaarlijks te herhalen. Voor de roofvogels wordt er naar de variatie in de muizenpopulatie gekeken. Wanneer de Kiekedieven uit het Lauwersmeergebied verdwijnen, kan dat het gevolg zijn van het instorten van de muizenpopulatie. De vraag is echter of het aantal metingen dat hier momenteel aan wordt gedaan voldoende representatief is voor het gebied als geheel.</i>		
5	Heeft de trend in de draagkracht / gebiedsfunctie een bekende of voor de hand liggende oorzaak? (anders dan bodemdaling/ maaiveld daling)	N→6	Y→8
→	<i>Monitoring van het maairegim, het inscharen van vee en de waterstanden kunnen worden aangewend om deze vraag te beantwoorden. Stel dat de muizenpopulatie decimeert, dan kan op basis van de peildynamiek het overstromingsgebied worden bepaald en kan geëvalueerd worden wat de invloed daarvan zou moeten zijn. Stel dat er in een deelgebied ineens vee wordt ingeschaard en de rietvegetatie verdwijnt, dan blijkt dat uit de monitoring.</i>		
6	Wat (welke parameter(s)) veroorzaakt de trend in 4 en verhoudt de trend in die parameter(s) zich tot de opgetreden bodemdaling? (<u>richting, ruimtelijk en temporeel</u>) (is er een mogelijke relatie..)	Y→7	N→8
→	<i>Voor de vegetatiestructuur kunnen de verandering nader geduid worden a.d.h.v. de PQ-metingen in het gebied. Ook de veranderingen in grondwaterpeil en -chemie dragen hieraan bij. Het zou helpen om op voorhand een beeld te hebben van waar welke veranderingen in de vegetatie worden verwacht wanneer de bodem daalt. Hiertoe zal er een landschapsecologische analyse worden uitgevoerd.</i> <i>Met name op dit punt verwachten we dat de ruimtelijke spreiding van de metingen aan de muizen beperkt is. Wel kan deze mogelijk geëxtrapoleerd worden door de verspreiding van muizen te correleren aan een combinatie van vegetatiestructuur en waterstanden.</i>		
7	Een effect van bodemdaling kan niet worden uitgesloten. Kwantificeer het effect, prognosticeer de verdere ontwikkeling en beschrijf mitigerende maatregelen en nader onderzoek.		
→	<i>Wanneer we voor een instandhoudingsdoel bij 7 aankomen betekent dat op dit moment dat we dit resultaat rapporteren aan de Minister van LNV. De Minister zal bepalen in hoeverre er sprake is van significante schade en welke maatregelen gewenst zijn.</i>		
8	Geen effect van bodemdaling op dit instandhoudingsdoel vastgesteld in het betreffende monitoringjaar.		

Samenvattend kan gesteld worden dat de monitoring voor het Lauwersmeergebied voor de beschermde broedvogels goed is. De vlakdekkende vegetatiestructuurmetingen dienen qua frequentie te worden vastgesteld op eens per 2 of 3 jaar. De PQ's en bijhorende peilbuismetingen liggen goed verspreid over het gebied. Een landschapsecologische analyse die aangeeft waar welke effecten van bodemdaling op de vegetatie verwacht kunnen worden, is een meerwaarde om het beslisschema te doorlopen. Ook de watervogeltellingen geven een goed beeld van de aantalsontwikkelingen in het gebied en kunnen aan de situatie in de rest van Nederland worden gerelateerd. Het lijkt mogelijk de effecten van bodemdaling door gaswinning op kwalificerende niet-broedvogels op voorhand uit te sluiten.

5 Conclusies

In de onderstaande tabel staan de belangrijkste conclusies t.a.v. deze evaluatie. Tevens is aangegeven welke aanpassingen er voor het monitoringprogramma 2020-2026 worden voorgesteld.

Onderdeel	Conclusies en actiepunten
HAK-systematiek	<p><u>Algemeen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Onderzoek in de periode 2013-2019 bevestigt het idee dat de gekozen Natuurgrenzen voor Pinkegat en Zoutkamperlaag conservatief gekozen zijn. • Het vaststellen van de mate van zeespiegelstijging op basis van meetdata leidt tot veel discussie omdat het niet vergelijkbaar is met mondiale voorspellingen. Door dit iedere vijf jaar opnieuw te doen, blijft het gehanteerde scenario actueel en is er geen sprake van het stapelen van conservatisme. • De berekende belasting van de gebruikruimte heeft de laatste jaren sterk gevarieerd. De LTS-studies hebben inzicht gegeven in de totaal mogelijke variatie van die belasting en meer consistentie in de bodemdalingvoorspellingen wordt nu verwacht.
Bodemdaling	<p><u>Algemeen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Het meten van de bodemhoogte op het land en wad werkt naar tevredenheid. De afgelopen jaren is een aantal meetpunten op het wad toegevoegd. Ook in de duinen van Oost-Ameland is een nieuw meetpunt aangebracht. • Het LTS-onderzoek is afgerond. Op dit moment wordt er gewerkt aan de verdere implementatie van de analysetechniek voor de MLV-gasvelden. <p><u>Verbeterpunten monitoringprogramma:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mogelijke reservoirscenario's verder onderzoeken t.b.v. de LTS-analyses • Covariatiematrix voor de meetpunten op het wad ontwikkelen en toepassen t.b.v. de LTS-analyses • Updaten van het Meet- en Regelprotocol
Wadplaten Areaal H1140	<p><u>Algemeen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • LiDAR-opnamen zijn sinds 2013 sterk in kwaliteit verbeterd en vormen een goede basis om het areaal droogvallende wadplaten te monitoren. De belangrijkste meetfouten zijn bekend en hiervoor kan deels gecorrigeerd worden aan de hand van referentiemetingen op de harde topografie en op het wad (waterpassingen en spijkermetingen). <p><u>Verbeterpunten monitoringprogramma:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Uitvoering stappenplan ter correctie van de LiDAR-data. • Voorbereiden en testen multifactoriele tijdserie-analyse.
Wadplaten Kwaliteit H1140	<p><u>Algemeen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Het draagkrachtmodel WADMAP is operationeel. <p><u>Verbeterpunten monitoringprogramma:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Onderzoek het gebruik van BISI en variatie in onderliggende ecotopen om het effect van bodemdaling op de kwaliteit van H1140 nader te evalueren.

	<ul style="list-style-type: none"> • Vaststellen van het mogelijke effect van bodemdaling op individuele benthosoorten t.b.v. het beslisschema. • Voor de ontwikkeling van individuele benthosoorten kan in de toekomst worden teruggevallen op Waddenzee-brede SIBES data.
Kwelder Areaal en kwaliteit H1310 en 1330	<p><u>Algemeen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • De kweldermonitoring volstaat om de ontwikkeling van H1330 jaarlijks in beeld te brengen. De opslibbingssnelheid en de ruimtelijke verschillen daarin worden in voldoende mate in beeld gebracht. <p><u>Verbeterpunten monitoringprogramma:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Jaarlijkse kartering (xyz) van de pre-pionierzone op het wad voor de kwelder. • Vegetatiekartering volgens de VEGWAD systematiek kan ad hoc worden uitgevoerd wanneer de resultaten uit de PQ's daar aanleiding toe geven.
Lauwersmeer Beschermd vogelsoorten	<p><u>Algemeen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • De monitoring van de vogels (Natura 2000-doelsoorten en de vegetatie in het lauwersmeergebied is van goede kwaliteit. In het rapport over 2018 (Kleefstra <i>et al.</i> 2019) kon voor het eerst een beslisschema succesvol worden doorlopen. <p><u>Verbeterpunten monitoringprogramma:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vegetatiestructuurmeting van eens per 6 jaar naar eens per 3 jaar. • Landschapsecologische analyse voor de effecten van bodemdaling op de vegetatie. • Effecten van bodemdaling op niet-broedvogels op voorhand uitsluiten.

6 Referenties

- Referentie 1 NAM (2012) Gaswinning Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen: Actualisering meet- en regelprotocol n.a.v. wijziging winningsplannen 2011 NAM EP200612202112.
- Referentie 2 NAM (2019) Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauweroog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2018; Rapport EP201905200582
- Referentie 3 NAM (2018) Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauweroog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2017; Rapport EP201802200641
- Referentie 4 NAM (2017) Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study.
<https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/b2bb2626-2cf8-4d7f-994d-04a9995ebe9d?open=true>
- Referentie 5 NAM (2017) Long term subsidence vervolgstudie, juli-oktober 2017. EP201710200509
<https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/e9129689-ebe7-4c29-ba92-a0f4ea434115?open=true>
- Referentie 6 Nederhof, Smits en Wang (2017) KPP Waddenzee, Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Data analyse hypsometrie en getij. Deltaresrapport 11200521-000
- Referentie 7 Swinkels e.a. (2012) Analysis of current patterns in coastal areas using x-band radar images
- Referentie 8 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
- Referentie 9 Kleefstra R. Beemster N. Bijkerk W. Bakker R. Bekkema M. Buijs R. De Boer P. Ens BJ. Kampichler C. En Stahl J. (2019) Analyse van de effecten van bodemdaling op vegetatie en vogels in het Lauwersmeer in 2018.
- Referentie 10 Oost AP. Ens BJ. Brinkman AG. Dijkema KS. Eysink WD. Beukema JJ. Gussinklo HJ. Verboom BMJ en Verburg JJ. (1998) Integrale bodemdalingstudie Waddenzee.
- Referentie 11 Wang, Z.B., E.P.L. Elias, A.J.F. van der Spek, Q.J. Lodder, 2018. Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. Netherlands Journal of Geosciences Volume 97, pag. 183-214.
- Referentie 12 Wang ZB. Cleveringa J. En Oost A. (2017) Morfologische effecten bodemdaling in relatie tot de gebruikruimte. Deltaresrapport 1230937.
- Referentie 13 Van der Spek (2018) Ontwikkelingen van de Nederlandse Waddenzeebekkens tot 2100: de invloed van versnelde zeespiegelstijging en van bodemdaling op de sedimentbalans – een synthese.

- Referentie 14 Vermeerschen (2018) Vermeersen, B.L.A., A.B.A. Slangen, T. Gerkema, F. Baart, K.M. Cohen, S. Dangendorf, M. Duran-Matute, T. Frederikse, A. Grinstead, M.P. Hijma, S. Jevrejeva, P. Kiden, M. Kleinherenbrink, E.W. Meijles, M.D. Palmer, R. Rietbroek, R.E.M. Riva, E. Schulz, D.C. Slobbe, M.J.R. Simpson, P. Sterlini, P. Stocchi, R.S.W. van de Wal, M. van der Wegen. 2018. Sea-level change in the Dutch Wadden Sea; Netherlands Journal of Geosciences Volume 97, pag. 79-127.
- Referentie 15 Van der Lugt M. Visser M Van den Boomgaard H. (2019) Analyse LiDAR-data voor het Friese zeegat (2010-2018) Monitoring effect bodemdaling door gaswinning. Deltares rapport.
- Referentie 16 Rappoldt C. Ens BJ. Schekkerman H. (2019) Wadvogel habitat model Wadmap. EcoCurves rapport 30, ISSN 18725449. Technische documentatie.
- Referentie 17 Herman P. Kabat P. Rozema J. Speelman H. Tinbergen J. (2017) Audit Bodemdalingscommissie Ameland 1986 – 2016 in het bijzonder de periode 2011 – 2016. Waddenacademierapport.