

Monitoringprogramma Waddenwinningen 2020-2026

Bijlage bij de Wnb-vergunningen voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.

EP202006202313

Contents

Monitoringprogramma Waddenwinnings 2020-2026	1
Samenvatting	3
1 Inleiding.....	4
1.1 Gaswinning met de hand aan de kraan	4
1.2 Rapportages, evaluatie en adviezen	4
1.3 Effectbeoordeling.....	5
1.4 Leeswijzer.....	5
1.5 Studiegebied	6
2 Droogvallende wadplaten.....	7
2.1 De Meet- & Regelsystematiek	8
Natuurgrenzen	8
Beleidsscenario voor zeespiegelstijging	8
Modelleren van bodemdaling.....	9
Monitoring van bodemdaling	9
2.2 Monitoring droogvallende wadplaten	11
3 Vogels Waddenzee.....	14
3.1 Wadvogel habitat model WADMAP.....	15
3.2 Vogeltellingen	16
3.3 Waterstanden	17
4 Kwelderhabitats	17
5 Lauwersmeergebied.....	20
5.1 Monitoren en begrijpen van de veranderingen in de vegetatie.....	20
5.2 Grondwaterstanden.....	21
5.3 Beheer	21
5.4 Broedvogelmonitoring	23
5.5 Roofvogels en muizen	23
6 Looptijd monitoringprogramma	25
7 Referenties.....	26
Bijlage 1: Beslisschema's A en B ten behoeve van de Hand Aan de Kraan systematiek. Schema A is ingericht voor beschermde vogelsoorten. Schema B voor beschermde habitats.....	28

Samenvatting

Het monitoringprogramma voor gaswinning onder de Waddenzee bestaat uit de onderdelen die zijn opgenomen in tabel 1. In dit rapport wordt toegelicht wat de rol van de verschillende onderdelen is in het toetsen van de mogelijke effecten van gaswinning op de beschermde natuurwaarden van de Waddenzee en Lauwersmeer. Hierbij gaat het om de gaswinning die plaatsvindt vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. In het programma wordt echter rekening gehouden met cumulatie met de bodemdaling die veroorzaakt wordt door andere gaswinprojecten in het gebied (e.g. Anjum, Ameland, Munnekezijl).

Tabel 1: Overzicht van de monitoringonderdelen die worden uitgevoerd ter controle van mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning op natuurwaarden in de Waddenzee en Lauwersmeer.

Monitoringonderdeel	Ruimtelijke kenmerken /resolutie	meetfrequentie
Waterpassingen en/of InSAR op land	Noordoost Friesland en de eilanden (Fig. 3)	1x per 3 jaar
GNSS-metingen	Peilmerkclusters verspreid over het Friese zeegat en het Lauwersmeergebied (Fig. 3)	1x per 3 jaar
Continue GNSS-metingen	Op land, nabij de centra van de bodemdalingskommen (Fig. 3)	Continu
Waterpassingen op het wad	Bij de GNSS-peilmerkclusters (Fig. 3)	Gelijk aan de GNSS metingen op de peilmerkclusters
LIDAR wadplaten	Vlakdekkende meting van het Friese zeegat (Fig. 4)	1x per jaar
Spijkermetingen	Op enkele relatief hooggelegen stabiele delen van het wad (Fig. 5)	5x per jaar
Bodemdiereninventarisatie (SIBES)	500x500 meter grid	1x per jaar
Bodemdiereninventarisatie (MOSKOK)	Vaste raaien	1x per jaar
Bodemdiereninventarisatie (Litorale mosselbanken)	Gebiedsdekkend	1x per jaar
Waterstanden	Meetpalen Nes en Lauwersoog	Continu
Vogeltelling (hoogwatervluchtplaatsen in telvakken)	Kust Friese zeegat (Fig. 7)	6x per jaar
Kwelder vegetatietypen (VIBEG)	Vlakdekkend	1x per 6 jaar
Kwelder vegetatieopname (PQ-metingen)	40 PQ's verspreid over de Peazumerlannen (Fig. 9)	1x per jaar
Opslibbing kwelder (SEB-metingen)	Bij de 40 PQ's verspreid over de Peazumerlannen (Fig. 9)	2x per jaar
Kartering oppervlakte pionierzone kwelders	Contour	1x per jaar
Vegetatiestructuuropname Lauwersmeergebied (luchtfoto-analyse)	Vlakdekkend voor het Lauwersmeergebied	1x per 3 jaar
Vegetatiestructuuropname Lauwersmeergebied (transectmetingen in het veld)	10 transecten, verspreid over het Lauwersmeergebied (Fig. 11)	1x per jaar
Vegetatieopname Lauwersmeergebied (PQ-metingen)	100 PQ's verspreid over het Lauwersmeergebied (Fig. 10)	1x per jaar
Grondwaterstanden Lauwersmeergebied (loggers in peilbuizen bij PQ's)	Peilbuizen bij de PQ's, verspreid over het Lauwersmeergebied	Continu
Grondwaterchemie Lauwersmeergebied	Uit peilbuizen bij de PQ's verspreid over het Lauwersmeergebied	1x per jaar
Meerpeil Lauwersmeergebied	Loggers op enkele plekken in het meer	Continu
Muizeninventarisatie	Enkele raaien Lauwersmeergebied	
Broedvogelmonitoring	Vlakdekkend in B.P.M. proefvlakken binnen het Lauwersmeergebied (Fig. 11)	8x per broedseizoen

1 Inleiding

Om gas te mogen winnen onder de Waddenzee dient jaarlijks onderzocht te worden in hoeverre de beschermde Waddenzeenatuur in het winningsgebied aan veranderingen onderhevig is en of bodemdaling door gaswinning daar de oorzaak van is. Over dit onderzoek wordt jaarlijks gerapporteerd aan de ministeries van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Ten behoeve van het hierboven genoemde onderzoek is een monitoringprogramma van kracht. Dit monitoringprogramma wordt iedere zes jaar opnieuw vastgelegd middels een besluit van het Ministerie van LNV. Dit programma is onderdeel van de Wnb-vergunningen (Wet natuurbeheer) voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Wijzigingen in dit programma zijn mogelijk op basis van de jaarlijkse adviezen van de Auditcommissie Gaswinning Waddenzee. Eventuele wijzigingen worden gepubliceerd in bijlage 1 van het rapport Publiekssamenvatting en Integrale beoordeling van de monitoringresultaten dat ieder jaar verschijnt.

Voorgaande monitoringprogramma's hadden betrekking op de perioden 2007-2012 en 2013-2019. Dit document bevat de derde versie van het programma en heeft betrekking op de periode 2020-2026.

1.1 Gaswinning met de hand aan de kraan

Voor gaswinning onder de Waddenzee is het hand aan de kraan (verder: HAK) principe van kracht. HAK houdt in dat gaswinning moet worden beperkt of gestopt wanneer deze leidt tot schade aan de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000-gebieden Waddenzee, Duinen van Ameland, Duinen van Schiermonnikoog of Lauwersmeergebied.

HAK bestaat uit twee onderdelen. Deel één is de monitoring van de gemiddelde bodemdalingsnelheid onder de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag; samen het Friese Zeegat. Deel twee is de monitoring van enkele ecologische kenmerken van de gebieden, teneinde de ontwikkelingen van de instandhoudingsdoelen te meten. Deze twee delen vindt u terug in de onderstaande tekst.

1.2 Rapportages, evaluatie en adviezen

De resultaten uit de monitoring worden jaarlijks opgesteld door de onderzoekers die de monitoring verzorgen en aan NAM aangeleverd. NAM vat de resultaten samen in een integrale beoordeling. In april worden de rapporten verzonden aan de leden van de commissie Waddengas 2006. Deze stakeholdercommissie schrijft jaarlijks haar advies over de voortgang van de monitoring aan het Ministerie van EZK.

Op 1 mei worden de rapporten verzonden aan de ministeries van EZK en LNV. Het ministerie van EZK dient de rapporten ter advies in bij de Auditcommissie voor gaswinning onder de Waddenzee. Deze commissie publiceert meestal in oktober haar advies op haar website. De Ministeries van EZK en LNV rapporteren de resultaten en adviezen van het betreffende monitoringjaar voorzien van een begeleidende brief aan de Tweede Kamer.

In het voorlaatste jaar waarin het monitoringprogramma nog geldig is, wordt het programma geëvalueerd. De laatste evaluatie vond plaats in 2019. Ten grondslag aan dit nieuwe monitoringprogramma liggen het vigerende monitoringprogramma, het evaluatierapport uit 2019, het advies van de Auditcommissie daarover en het Meet- & Regelprotocol. Dit laatste document en haar technische bijlage beschrijven in detail de methode die gehanteerd wordt voor het meten en

modelleren van de belasting van de gebruiksruimte voor gaswinning onder de Waddenzee. Dit is de Meet- en Regelsystematiek. Zie ook paragraaf 2.1. van dit rapport.

1.3 Effectbeoordeling

Zonder een gecontroleerd experiment is het niet mogelijk om een effect van iets aan te tonen. Dat is dus ook niet wat dit monitoringprogramma beoogt. Het programma is erop gericht om nadelige veranderingen in de Waddenzeenatuur te identificeren en te kijken of het aannemelijk is dat dit niet het effect is van bodemdaling door gaswinning. Hiertoe zijn verschillende toetsingskaders ontwikkeld, waarvan in de beoordeling van de resultaten gebruik wordt gemaakt. Het eerste toetsingskader is de begrenzing op de snelheid van bodemdaling waaraan voldaan moet worden. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 2.1 en 2.2. Voor de veranderingen in de natuur is als volgt te werk gegaan.

- 1) **Selectie van instandhoudingsdoelen** - Voor een groot deel van de beschermde natuurwaarden (instandhoudingsdoelen) in de Waddenzee en het Lauwersmeer kan op voorhand worden uitgesloten dat er een nadelig effect van bodemdaling kan optreden. Om vast te stellen voor welke instandhoudingsdoelen dat wel en niet geldt zijn effectketens opgesteld.
- 2) **Technische omschrijving instandhoudingsdoelen** – Bepaal of bereken één of meerdere, vooraf bepaalde, technische omschrijvingen van de geselecteerde instandhoudingsdoelen.
- 3) **Hanteer een beslisschema** – Voor ieder gemonitord instandhoudingsdoel wordt op basis van de monitoringdata en andere beschikbare kennis een vastgesteld beslisschema doorlopen. Iedere stap in het beslisschema leidt tot het antwoord dat een effect van bodemdaling door gaswinning wel of niet kan worden uitgesloten. In het opstellen van de beslisschema's is rekening gehouden met de hierboven genoemde effectketens. Er zijn twee beslisschema's: één voor beschermde habitats en één voor doelsoorten. Ze zijn bijgevoegd als bijlage 2 aan dit document.

1.4 Leeswijzer

Omdat het doel van dit monitoringprogramma is te toetsen of er een effect van bodemdaling door gaswinning is op de instandhoudingsdoelstellingen van bovengenoemde Natura 2000-gebieden, vormen deze doelen het uitgangspunt van de onderstaande hoofdstukken. Ieder hoofdstuk behandelt één of een groep instandhoudingsdoelstellingen. Per hoofdstuk wordt toegelicht wat als een technische, meetbare omschrijving van dat doel wordt gehanteerd en welke parameters hiertoe met welke frequentie en ruimtelijke resolutie wordt gemeten. In hoofdstuk 2 over droogvallende wadplaten wordt ook de Meet- & Regel systematiek toegelicht.

- Hoofdstuk 2 → Droogvallende wadplaten
- Hoofdstuk 3 → Vogels Waddenzee, niet zijnde broedvogels
- Hoofdstuk 4 → Kwelderhabitats
- Hoofdstuk 5 → Broedvogels Lauwersmeergebied

Dit is de tweede update van het monitoringprogramma. De monitoringonderdelen worden op hoofdlijnen beschreven. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van meetmethodes wordt in de tekst terugverwezen naar onderzoeksrapporten.

1.5 Studiegebied

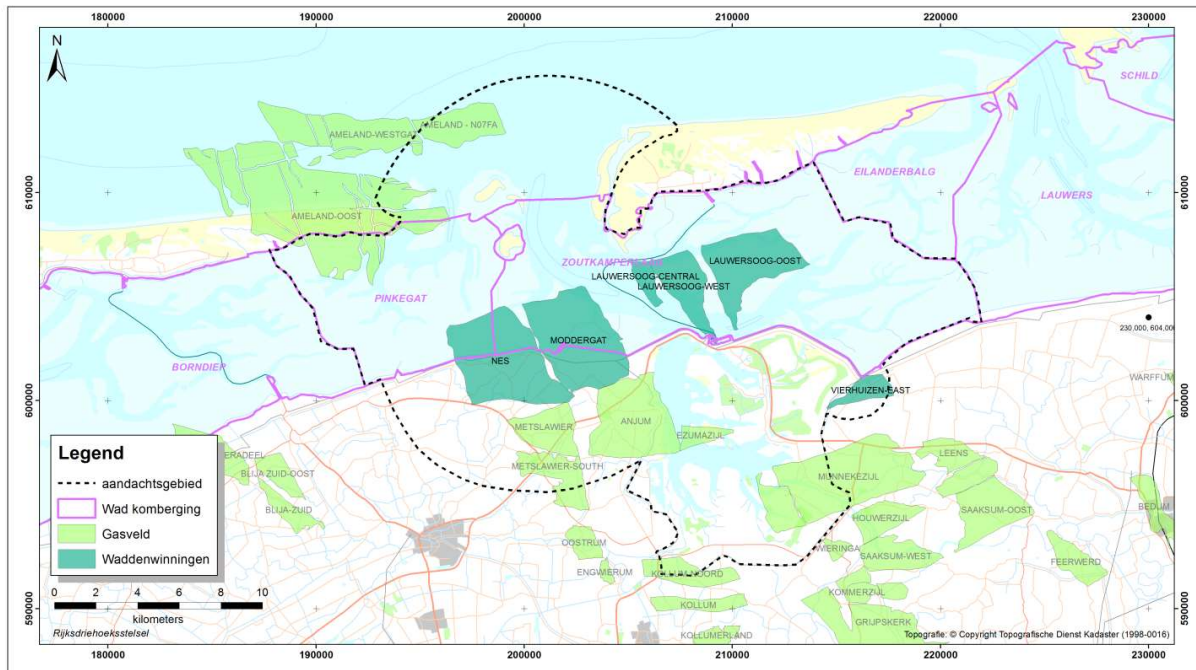
Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen leidt tot bodemdaling onder de Natura 2000-gebieden Waddenzee en Lauwersmeer. De theorie luidt dat bodemdaling onder de Waddenzee niet leidt tot de vorming van meetbare bodemdalingsschotels aan het wadoppervlak. Metingen die sinds 1990 in het veld plaatsvinden hebben dit tot dusver niet kunnen valideren. Het continue proces van erosie en sedimentatie, dat afhankelijk is van weer en getij, leidt ertoe dat de bodemdaling over een veel groter gebied kan worden verdeeld. Er wordt vanuit gegaan dat dit gebied het Friese Zeegat is, dat bestaat uit de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag (fig. 1).

Het bodemdalingsvolume dient te worden aangevuld met sediment dat de kombergingen vanuit hun buitendelta en de bredere kustzone importeren. Dit zou kunnen leiden tot een toename van de erosie van de eilandkust bij Ameland (oost) en Schiermonnikoog (west). Kusterosie wordt tegengegaan door middel van zandsuppleties, zowel op het strand als op de vooroever van de kustzone. NAM heeft met Rijkswaterstaat een privaatrechtelijke overeenkomst om periodiek zand te suppleren ten einde het bodemdalingsvolume te compenseren.

De gaswinning Ameland heeft een eigen monitoringprogramma en beoordelingscyclus (de Vlas et al. 2017). Omdat ook deze gaswinning bodemdaling onder de Waddenzee veroorzaakt, wordt de bodemdaling onder het Pinkegat door de MLV-winningen in cumulatie met die door de Amelandwinning beschouwd.

De MLV-winningen veroorzaken ook bodemdaling onder de vastelandskwelder, de Peazummerlannen. Deze kwelder is niet aan dezelfde dynamiek onderhevig als de wadplaten, waardoor verwacht wordt dat de bodemdaling daar wel aan het maaiveld meetbaar kan worden. De mate waarin dit gebeurt is echter beperkt als gevolg van de opslibbing van de kwelder, wanneer deze overstroomt gedurende hoge waterstanden.

Ook in het Lauwersmeergebied is er weinig sprake van erosie en sedimentatie. Het Lauwersmeer is een vogelrichtlijngebied dat sterk beïnvloed wordt door successie in de vegetatie. Het beheer is erop gericht het gebied open te houden en de verruiging tegen te gaan. De mate van bodemdaling onder het Lauwersmeer is beperkt. De monitoring beslaat het gehele gebied en is gericht op de mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning via de vegetatie op de broedvogelpopulaties.



Figuur 1: Overzicht van het beïnvloedinggebied van de gaswinning in het Wadden- en Lauwersmeergebied. De contour van dat gebied is aangegeven met de stippellijn. Uit donkergroene gasvelden “Nes”, “Moddergat”, “Lauwersoog” en “Vierhuizen” wordt gas gewonnen vanaf binnendijkse locaties gelegen bij de dorpen Moddergat en Vierhuizen en vanaf een locatie gelegen in de haven van Lauwersoog. Deze gaswinning is gestart in 2006. De lichtgroene velden zijn al langere tijd in productie: Ameland sinds 1986, Anjum sinds 1991, etc.

2 Droogvallende wadplaten

Het oppervlak en de kwaliteit van het habitatype droogvallende wadplaten (H1140) zijn beschermd. Natura 2000 definieert het habitatype bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten als volgt: “Slikwadden en zandplaten in kustzeeën, daarmee verbonden mariene gebieden en lagunes die droogvallen bij laagwater”... “Ze zijn van uitzonderlijk belang als voedselgebied voor wad- en watervogels.” Natura 2000 stelt ook “De zeer diverse gemeenschappen van ongewervelden en algen die er voorkomen kunnen gebruikt worden bij het onderscheiden van verschillende ecotopen”.

Het instandhoudingsdoel luidt: Behoud oppervlakte en verbetering kwaliteit slik- en zandplaten (aanwijzingsbesluit Waddenzee, Natura 2000). Hierbij wordt met de verbetering van die kwaliteit herstel van mosselbanken en andere biogene structuren bedoeld.

Omdat verwacht wordt dat bodemdaling door gaswinning niet aan het wadoppervlak meetbaar zal zijn, worden er binnen het monitoringprogramma twee sporen bewandeld:

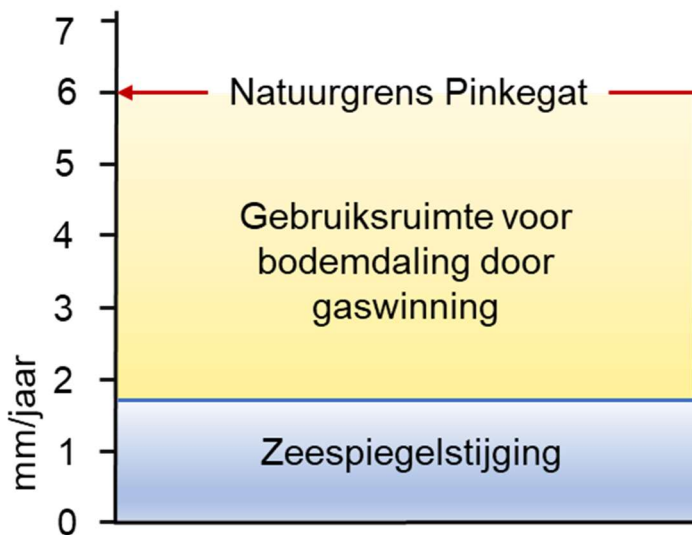
- Spoor 1 is het meten en modelleren van de gemiddelde bodemdalingsnelheid onder de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag. Deze gemiddelde snelheid mag, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging niet meer bedragen dan 6 mm/jr. voor het Pinkegat en 5 mm/jr. voor de Zoutkamperlaag (zie § 2.1).
- Spoor 2 is het monitoren van de variatie in het areaal droogvallende wadplaten, zowel gebiedsdekkend als een aantal individuele wadplaten in meer detail (zie § 2.2).

2.1 De Meet- & Regelsystematiek

De Meet- en Regelsystematiek is vastgelegd in het Meet- & Regelprotocol, dat onderdeel is van de instemmingsbesluiten op de winningsplannen Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Net als het monitoringprogramma is het Meet- & regelprotocol ge-update.

Natuurgrenzen

Jaarlijks dient te worden vastgesteld dat de gemiddelde bodemdalingsnelheid, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging niet meer bedraagt dan de op voorhand vastgestelde grenzen (fig. 2). Deze grenzen zijn 6 mm/jr. voor het Pinkegat en 5 mm/jr. voor de Zoutkamperlaag. Deze grenzen noemen we natuurgrenzen en zijn gedefinieerd als de snelheden, waarmee de kombergingen kunnen meegroeiën door sediment te importeren uit de Noordzeekustzone. Andere benamingen die in verschillende documenten gebruikt worden zijn het *meegroei-vermogen* of de *sedimentatiecapaciteit*. Wetenschappers gaan ervan uit dat dit conservatief gekozen en dus veilige grenzen zijn.



Figuur 2 Schematische weergave van de relaties tussen de natuurgrens als maat voor het meegroei-vermogen van een kombergingsgebied, de zeespiegelstijging en de gebruiksruijme voor gaswinning onder dat kombergingsgebied.

Beleidsscenario voor zeespiegelstijging

De snelheid van zeespiegelstijging wordt iedere 5 jaar opnieuw vastgesteld in het zogenaamde "beleidsbesluit zeespiegelstijging". Ook de inhoud van dit besluit vormt onderdeel van de instemmingsbesluiten op de winningsplannen Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Het doel hierbij is om zo accuraat mogelijk te voorspellen hoe de zeespiegelstijging zich de komende 5 jaar gaat ontwikkelen. Daarom wordt hierbij gebruik gemaakt van de gemeten waterstanden langs de Nederlandse kust. Een nieuw beleidsscenario voor zeespiegelstijging wordt in 2021 verwacht.

Modelleren van bodemdaling

Op basis van kennis van de diepe ondergrond worden modellen opgesteld. Met behulp van seismisch onderzoek zijn de aard- en gesteentelagen inclusief breuklijnen in kaart gebracht. Boringen en metingen in putten geven aanvullende informatie. Op basis hiervan zijn geologische modellen van de diepe ondergrond vormgegeven. Drukmetingen in de putten samen met de snelheid van de gasproductie worden gebruikt om de driedimensionale dynamische reservoirmodellen te kalibreren en een nauwkeuriger inzicht te verkrijgen van de grootte van de ondergrondse gasvolumes en de connectiviteit met aangrenzende watervoerende lagen. Op basis hiervan wordt voor verschillende realisaties de toekomstige drukdaling in die velden berekend. Middels geomechanische modellen wordt de compactie in de gas- en watervoerende lagen doorvertaald naar bodemdaling aan het aardoppervlak.

Kalibratie van modelparameters en validatie van de onderliggende aannames vindt plaats door de berekende bodemdaling te vergelijken met gemeten bodemdaling aan het aardoppervlak. Dat is de monitoring van de bodemdaling, die hieronder nader wordt toegelicht. Tevens wordt hier verwezen naar het ge-update Meet- & Regelprotocol (NAM, 2020).

Monitoring van bodemdaling

Monitoring van bodemdaling bestaat uit het vergelijken van hoogte en deformatie metingen op verschillende plekken en momenten in de tijd. Hierbij worden meetpunten gebruikt waarvan de beweging representatief is voor bodembeweging door diepe oorzaken in de ondergrond. Het meten gebeurt op een groot aantal locaties en, afhankelijk van de fysische omstandigheden, op verschillende manieren. We onderscheiden de volgende metingen.

- Waterpassingen op het land
- GNSS-metingen op peilmerkclusters (GNSS = Global Navigation Satellite System)
- Continue GNSS-metingen
- InSAR satellietmetingen

Deze metingen en de toepassing ervan worden in de onderstaande alinea's nader toegelicht. Welke meetmethoden gebruikt worden, en de plaatsen en tijdstippen van meten, wordt vastgelegd in het meetplan, welke jaarlijks wordt geactualiseerd en ingediend bij SodM/EZK.

Waterpassingen op het land

Waterpassingen zijn metingen, waarbij met een meetfout kleiner dan 1 cm de hoogte wordt bepaald. Op het vaste land worden er meetcampagnes uitgevoerd van vaste punten langs de wegen. Het waterpasnetwerk dat gebruikt wordt om bodemdaling als gevolg van de Waddenwinningen onder het vaste land te meten, is te zien in figuur 3. Omdat bodemdaling een langzaam proces is dat zich met name op korte termijn erg goed laat voorspellen, is het niet nodig om frequenter dan eens per drie jaar zo'n netwerk in te meten.

GNSS-metingen op peilmerkclusters

In de Natura 2000-gebieden Waddenzee en Lauwersmeer zijn geen of onvoldoende stabiele oppervlakten beschikbaar om diepe bodemdaling middels waterpassingen aan het oppervlak te meten. Daarom zijn er zogenaamde peilmerken verspreid in deze gebieden in de bodem gezet. Deze peilmerken zijn 6 meter lange stalen palen die mee dalen met de diepe bodemdaling door de gaswinning. Een overzicht van de locaties van deze peilmerken is gegeven in figuur 3. Per locatie staan er drie stalen palen op korte afstand van elkaar en vormen daarmee een peilmerkcluster. Door het meten van

onderlinge verschillen kan vastgesteld worden of een paal mogelijk instabiel is. De hoogte van de palen wordt vastgesteld door middel van een GNSS meting. Door meerdere dagen te meten, bedraagt de meetfout minder dan 1 cm. Peilmerkclusters worden eens per 3 jaar gemeten.

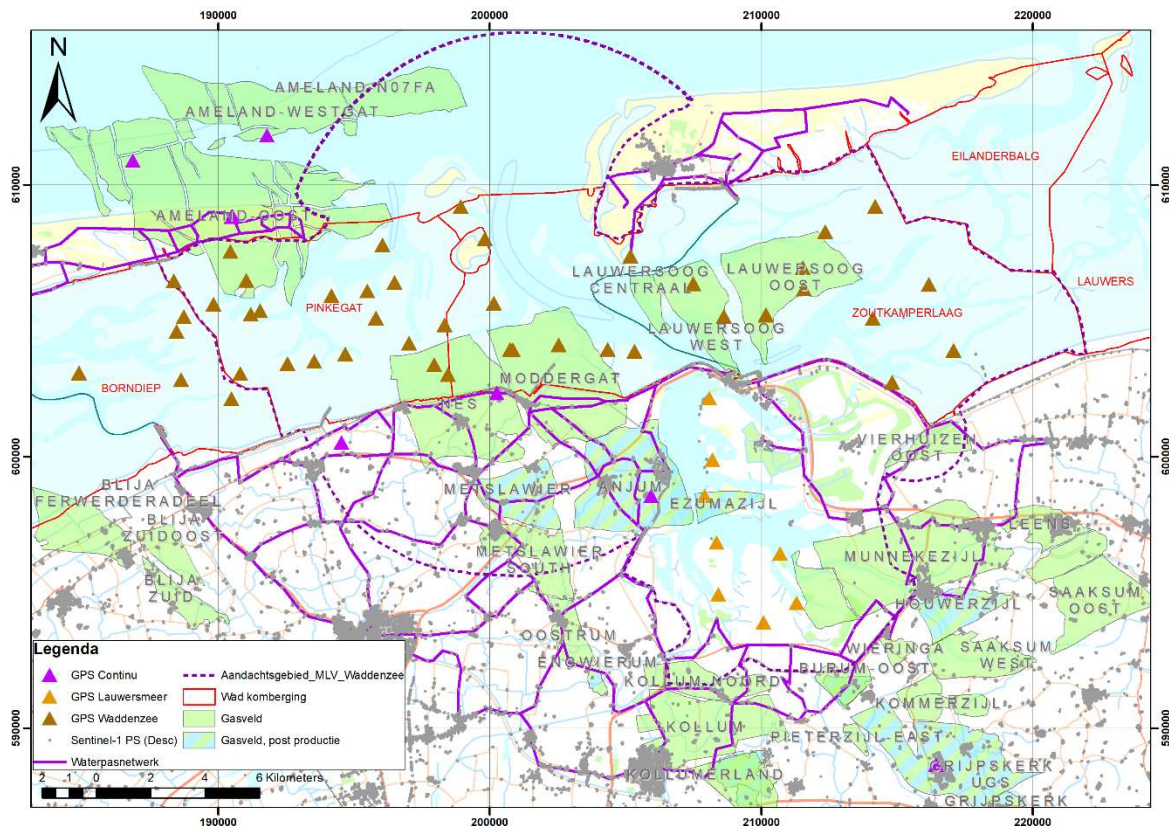
Continue GNSS-metingen

Op een aantal strategisch gekozen locaties zijn continue GNSS-stations geplaatst (fig. 3). Deze hebben een signaal functie om veranderingen in het verloop van de bodembeweging tijdig te kunnen signaleren. Het verloop van de bodemdaling wordt volgens de frequentie zoals aangegeven in het meetplan Waddenzee gerapporteerd.

InSAR satellietmetingen

In de InSAR techniek wordt gebruik gemaakt van een tijdserie van radar opnames met een satelliet. De meetpunten (Persistent Scatterers, PS) hebben een consistente reflectie in de tijd, en corresponderen voornamelijk met bebouwing in het terrein.

Het grote voordeel van gebruik van de InSAR techniek is, dat de frequentie van metingen hoog is (meerdere opnames per maand), de dichtheid van 'meetpunten' (Persistent Scatterers (PS)) groot is, en dat er geen meetploegen in het voorkomen benodigd zijn, waardoor er geen verstoring is van het gebied en geen blootstelling aan veiligheidsrisico's. De nauwkeurigheid, waarmee de bodembeweging wordt geschat, is vergelijkbaar met waterpasmetingen.



Figuur 3: Onderzoekgebied voor het meten van bodemdaling. De paarse lijnen vormen het meetnet voor de waterpassingen. De licht- en donkerbruine driehoekjes zijn locaties waar bodemdaling op peilmerken met GNSS wordt bepaald. De paarse driehoekjes zijn locaties waar door middel van een GNSS-systeem continu de hoogte wordt gemeten en gelogd. De grijze punten geven de InSAR meetpunten weer.

2.2 Monitoring droogvallende wadplaten

Het Natura 2000-profiel document H1140 beschrijft dat de slik- en zandplaten zich bevinden tussen hoog- en laagwater (<https://edepot.wur.nl/8102>). De bovengrens wordt gevormd door de gemiddelde hoogwaterlijn. Als vegetaties van de pionierszone van een kwelder zich lager bevinden dan deze lijn dan wordt de benedengrens van deze vegetatie als bovengrens van slik- en zandplaten aangehouden. De benedengrens wordt gevormd door de laagwaterlijn die gebaseerd is op het *lowest astronomical tide* (L.A.T.); (profiel document H1140).

Droogvallende wadplaten zijn onderhevig aan sedimentatie en erosie. Gemiddeld genomen vindt er aangroei van platen plaats gedurende de zomermaanden en erosie tijdens de winterstormen. Bij deze processen is er sprake van sedimentuitwisseling met de geulen en andere diepere delen van de Waddenzee. Tevens vinden er meerjarige morfologische processen plaats, zoals het verplaatsen van geulen en wantijen. Vaak hebben deze processen een cyclisch karakter. Dit zijn zaken waarbij in dit monitoringprogramma rekening wordt gehouden.

De meetbare afgeleide van het habitat 1140 is de oppervlakte van het droogvallende wad boven -50 cm NAP. Het gebied dat lager ligt dan -50 cm NAP kan niet nauwkeurig ingemeten worden, omdat het niet goed genoeg droogvalt. Dit houdt in dat er in de regel te veel water (plassen) op de lagere delen van de wadplaten blijven staan en dat de droogvalduur vaak te kort is.

Metingen wadplatenoppervlak en -hoogte

Om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de droogvallende wadplaten in het Pinkegat en de Zoutkamperlaag worden twee typen metingen uitgevoerd. Dit zijn vlakdekkende hoogtemetingen en puntmetingen op relatief stabiele delen van enkele droogvallende platen. Het doel van de vlakdekkende hoogtemetingen is het wadplatenareaal boven -50 NAP te bepalen. Daarnaast geven de vlakdekkende hoogtemetingen inzicht in waar hoogte- en oppervlakteveranderingen in het gebied optreden. De puntmetingen bestaan uit Spijkermetingen en Waterpassingen. Deze metingen vinden in groepjes, verspreid over het gebied plaats. De Spijkermetingen (fig. 5) worden 5 x per jaar uitgevoerd, waardoor de veranderingen binnen een jaar zichtbaar zijn. De Waterpassingen worden parallel gedaan aan de hoogtemetingen op de peilmerkclusters (fig. 3). De meetfrequentie valt samen met de GNSS campagnemetingen van de peilmerkclusters. Deze drie typen metingen worden hieronder nader toegelicht.

LIDAR

De vlakdekkende hoogtemetingen worden gedaan aan de hand van LIDAR. LIDAR staat voor Laser Imaging Detection And Ranging. Het is een techniek waarbij met laser pulsen de afstand tot een object wordt bepaald. In dit geval gaat het daarbij om de afstand tussen een vliegtuig en de wadplaten. Figuur 4 toont de vliegbanen van een individuele LIDAR survey. Voor meer technische details en randvoorwaarden voor de LIDAR meting, verwijzen we naar Terratec, (2019).



Figuur 4: Vluchtlijnen voor het uitvoeren van de LIDAR-opname in Pinkegat en Zoutkamperlaag. De groene vluchtlijnen dienen ter controle en kalibratie van de LIDAR-opname. Deze lijnen verbinden vaste reflectiepunten op het land waarvan de hoogte bekend is. Ontleend uit Terratec-rapport 41067.

De LIDAR-opnames zijn sinds 2010 twee keer per jaar uitgevoerd. Twee maal was nodig vanwege de beperkte nauwkeurigheid van de LIDAR-opnames, hetgeen leidde tot een te grote verschillen tussen opvolgende opnames. Om de nauwkeurigheid van de LIDAR-opnames te verbeteren, worden in navolging van de evaluatie (NAM 2019), de LIDAR-metingen van wadplaten gecorrigeerd aan de hand van metingen op harde structuren op het land en de sedimentgrids bij de GNSS peilmerkclusters. De wijze waarop deze correctie plaatsvindt is na te lezen in het Deltaresrapport van Van der Lugt et al. (2020). Omdat dit de nauwkeurigheid van de metingen verbeterd heeft, is één goede meting per jaar nu voldoende.

Spijkermetingen en waterpassingen

De puntmetingen op de stabielere delen van de wadplaten zijn de spijkermetingen. Spijkermetingen zijn metingen waarbij een grondanker in de wadbodem wordt geplaatst op ca. 1m diepte. Aan dit anker is een lijntje bevestigd met aan het eind een labeltje. De afstand tussen het sedimentoppervlak en het labeltje wordt bepaald met een liniaal. Op deze wijze kan de lokale variatie in wadplaathoogte op enkele millimeters nauwkeurig worden gemonitord. Ieder meetpunt bestaat uit 4 spijkermetingen die kunnen worden uitgemiddeld. Spijkermetingen worden 5x per jaar uitgevoerd op een aantal stabiele wadplaten (fig. 5). Het aantal metingen per wadplaat varieert van 19 onder de oostpunt van Ameland en 18 bij Paesens tot ca. 7 op de andere locaties. Voor de spijkermetingen geldt dat het gemiddelde signaal per wadplaat op een gegeven tijdstip representatief is voor de ontwikkeling van die plaat. De metingen worden als zodanig niet individueel beoordeeld. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode wordt hier verwezen naar Krol (2020).



Figuur 5: De beige vlakken zijn de wadplaten waar spijkermetingen worden uitgevoerd. De gele cirkels zijn indicatief voor de ligging van de bodemdalingcontouren (diepe bodemdaling). Ontleend uit Krol 2020.

Sinds 2010 worden nabij de GNSS clusters terrestrische maaiveldmetingen uitgevoerd. Hierbij is een grid uitgezet van 9x5 punten of 7x5 punten, welke op een onderlinge afstand van 5m liggen (de 'sedimentgrids'). De horizontale positie wordt met GNSS bepaald, terwijl de maaiveldhoogte middels waterpassing wordt verkregen. Hiervoor wordt de hoogte van de naastgelegen GNSS-peilmerken als referentie gebruikt om te komen tot een NAP-hoogte van de gridpunten op het maaiveld. 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.

Kwaliteit droogvallende wadplaten

De kwaliteit van het habitattype *bij eb droogvallende slik- en zandplaten* wordt bepaald door habitatdiversiteit en de daarmee gepaard gaande biodiversiteit. De kwaliteitseisen die gesteld worden aan het habitat bestaan uit abiotische randvoorwaarden, typische soorten, vegetatie en kenmerken van een goede structuur en functie (Profieldocument H1140). De belangrijkste natuurlijke functie van de wadplaten is die van foerageergebied voor de grote aantallen vogels die gedurende kortere of langere tijd van de Waddenzee afhankelijk zijn.

De overheid evalueert de beleidsdoelen voor H1140 op basis van de Benthische Indicator Soorten Index (BISI); (Wijnhoven en Bos, 2017). 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 benthosoort is aangegeven hoe de relatieve gevoeligheid voor zo'n drukfactor wordt ingeschat. Gekeken zou kunnen worden in hoeverre het mogelijk is om een soort-specifieke gevoeligheid voor bodemdaling te bepalen en in hoeverre die afwijkt van een soort-specifieke gevoeligheid voor bijvoorbeeld erosie. 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 het evaluatierapport van de NAM (2019) is

aangegeven dat in de komende monitoringperiode onderzocht zal worden in hoeverre gevoeligheid voor bodemdaling van benthische indicatorsoorten kan worden onderscheiden ten behoeve van een statistische analyse zoals BISI. Hiervoor is inzicht nodig in de verspreiding en abundantie van bodemdieren (macrofauna).

Bodemdiereninventarisatie

Bodemdieren worden bemonsterd met een steekbuis waarmee een sedimentcore gestoken wordt. Deze sedimentcore wordt vervolgens gezeefd over een 1 mm \emptyset zeef. De diersoorten die op deze zeef achterblijven noemen we macrofauna. Ze worden geïdentificeerd, geteld, gemeten en gewogen om als input te dienen voor de modellen waarmee de kwaliteit van H1140 en de draagkracht van het gebied voor fouragerende doelsoorten (vogels) worden bepaald.

Het doel is om het bodemdierenbestand in het Friese zeegat (Pinkegat en Zoutkamperlaag) zo goed mogelijk te bepalen. De betrouwbaarheid waarmee dat gebeurt, hangt af van hoe de monsters verdeeld over het gebied worden genomen. Hierbij kan ervoor gekozen worden om alle geplande monsters in een beperkt aantal deelgebieden te nemen, of om de geplande monsters meer homogeen over het gebied te verspreiden. Uit eerder onderzoek naar de efficiëntie van benthosbemonsteringen komt naar voren dat de tweede optie te verkiezen valt. Zie bijvoorbeeld 'two-stage sampling' in Van der Meer (1997) of Thompson (1992).

Bodemdieren worden geïventariseerd aan de hand van puntmonsters op droogvallende platen. Gebaseerd op de overwegingen in de bovenstaande alinea, worden deze monsters uitgevoerd conform een 500x500 meter grid. Dit is de SIBES van het NIOZ (voor methode zie Compton et al. 2013). Naast SIBES wordt de data uit de schelpdiereninventarisaties van Wageningen Marine Research gebruikt om beter inzicht te krijgen in de aanwezige schelpdierenbestanden (voor methode zie Van Asch et al. 2019). Deze bodemdiereninventarisaties vinden plaats in de periode april-juli.

3 Vogels Waddenzee

De Waddenzee is van groot ecologisch belang voor vogels. Ze vormt een belangrijke schakel in de Oost-Atlantische trekroute van veel vogelsoorten. Het gebied is dan ook aangewezen als vogelrichtlijngebied.

De belangrijkste natuurlijke functie van de wadplaten is die van fourageergebied voor grote aantallen vogels die van de Waddenzee afhankelijk zijn. Deze vogels vormen de Natura 2000-doelsoorten. De beschermde vogelsoorten die de wadplaten gebruiken om te fourageren zijn (naast een groot aantal andere vogelsoorten) de Bergeend, Pijlstaart, Scholekster, Kluut, Zilverplevier, Bontbekplevier, Kanoetstrandloper, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper, Rosse Grutto, Wulp, Tureluur en Steenloper.

In het instandhoudingsdoel voor doelsoorten is opgenomen dat er "draagkracht" moet zijn voor een bepaald aantal exemplaren van die betreffende soort. In het kader van dit monitoringprogramma is die draagkracht vertaald naar de geschiktheid van het gebied voor de bovengenoemde soorten om er te fourageren. De gekozen technische omschrijvingen van deze instandhoudingsdoelstellingen voor deze doelsoorten luiden:

- De oogstbare hoeveelheid voedsel per getij
- De oppervlakte geschikt fourageergebied.

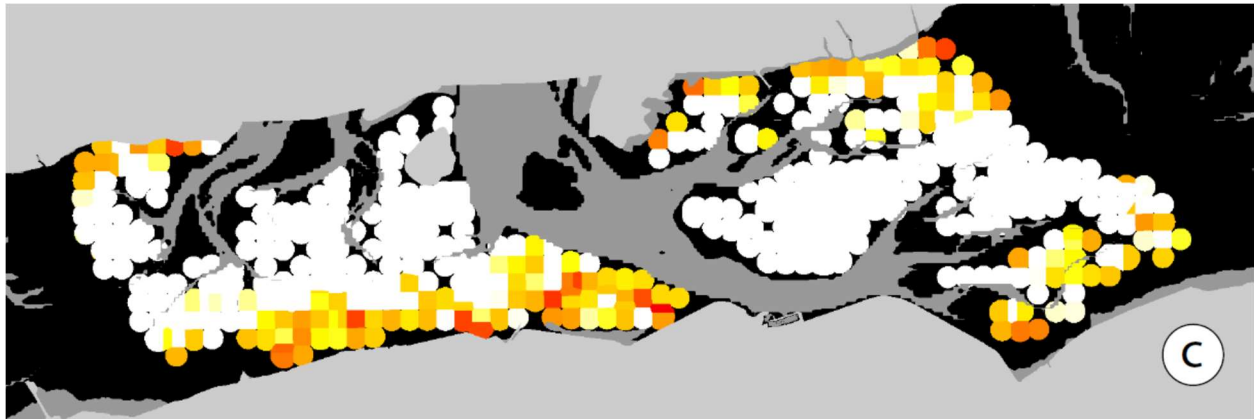
Deze afgeleiden of proxies voor draagkracht vertegenwoordigen de functie van het Friese zeegat als fourageergebied. Naast deze twee proxies wordt er ook geëxperimenteerd met andere, verwante proxies, maar de bovenstaande zijn de voornaamste.

3.1 Wadvogel habitat model WADMAP

Om de proxies te berekenen is gedurende de monitoringperiode 2013-2019 het model WADMAP ontwikkeld. Dit model integreert de monitoringdata tot de bovengenoemde proxies voor draagkracht. De basis van WADMAP is een 500x500 meter grid waarvan in het centrum van iedere gridcel een bodemdierenmonster wordt genomen (SIBES). Per gridcel wordt, op basis van de LIDAR-data de gemiddelde hoogte t.o.v. NAP bepaald. In combinatie met de gemeten en berekende waterstanden (Intertides) leidt dat tot de gemiddelde droogvalduur. Per vogelsoort worden gemiddelden bepaald voor de periode (tijd van het jaar) waarin de soort het meest abundant is. Ook houdt het model rekening met het dieet van de vogelsoort en met de groei en sterfte van bodemdieren (prooidieren) in de periode tussen de bemonstering en de periode waarin de vogelsoort het meest van het gebied afhankelijk is. Voor een gedetailleerde beschrijving van de werking van WADMAP wordt hier verwezen naar het rapport *Wadvogel habitat model WADMAP, technische documentatie* (Rappoldt et al. 2019). De onderstaande tabel (tab. 2) geeft inzicht in de monitoringonderdelen die in WADMAP worden geïntegreerd.

Tabel 2: Monitoringonderdelen die worden geïntegreerd in het model WADMAP binnen het Friese zeegat

Monitoringonderdeel	Ruimtelijke kenmerken /resolutie	meetfrequentie
LIDAR wadplaten	Vlakdekkende meting van het Friese zeegat (fig. 3)	2x per jaar
Bodemdiereninventarisatie (SIBES)	500x500 meter grid	1x per jaa
Bodemdiereninventarisatie (MOSKOK)	Vaste raaien	1x per jaar
Bodemdiereninventarisatie (Litorale mosselbanken)	Gebiedsdekkend	1x per jaar
Waterstanden (t.b.v. Intertides)	Meetpalen Waddenzee	Continu (per 10 min.)
Vogeltellingen (Hoogwatervluchtplaatsen in telvakken)	Langs de volledige kust van het Friese zeegat (fig. 7)	6x per jaar



Figuur 6: Ter illustratie, WADMAP output in de vorm van een kaart van het geschikte fourageergebied voor de Tureluur. In kleur de locaties waarvoor een prooibiomassa wordt gehaald waarbij nog profijtelijk kan worden gefourageerd, vermenigvuldigd met de droogvalduur. Deze figuur is ontleend aan Rappoldt et al. (2019).

3.2 Vogelellingen

Een doelstelling van het monitoringprogramma is de aantalsontwikkeling van de beschermde vogelsoorten in het bodemdalingsgebied te volgen.

Voor de vogeltellingen op de hoogwatervluchtplaatsen in Pinkegat en Zoutkamperlaag wordt aansluiting gezocht bij de bestaande monitoring die door SOVON wordt gecoördineerd. Vogels worden geteld gedurende hoogwater op hoogwatervluchtplaatsen die langs de kust en op de eilanden te vinden zijn. Onderzoekers en vrijwilligers tellen het aantal vogels per soort in telgebieden (fig. 7). Deze gegevens worden opgeslagen in een database die door Sovon beheerd wordt.



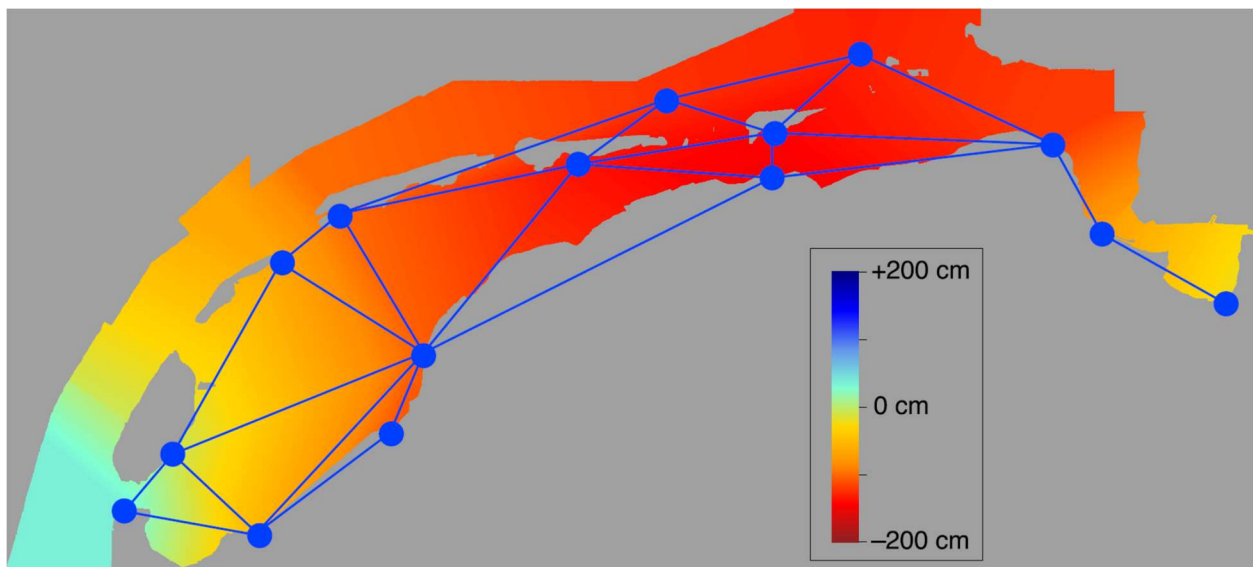
Figuur 7: Kaart van de telgebieden in de Nederlandse Waddenzee, uitsnede voor het Friese Zeegat. Deze kaart is overgenomen uit Ens et al. 2009. De telgebieden zijn zwart omrand. De binnen de telgebieden getoonde kleuren hebben de volgende betekenis. Wit = zee of wadplaat. Geel = strand. Oranje = Duinbos. Grijs = kwelder.

Gedurende de monitoringperiode 2014-2019 is nader onderzocht waar de verschillende vogelsoorten uit de verschillende deelgebieden met laagwater fourageren. Op basis van die kennis is per soort per telvak een verdeelsleutel vastgesteld. Jaarlijks wordt er 6x een integrale tellingen uitgevoerd in

september, november, januari, mei en in een jaarlijks wisselende maand. Op basis van de tellingen en de verdeelsleutel wordt voor het Friese zeegat een jaargemiddelde bepaald. Dit jaargemiddelde wordt vergeleken met het jaargemiddelde voor de rest van het Waddenzeegebied. Zie bijvoorbeeld Ens et al. (2019).

3.3 Waterstanden

Waterstanden worden door Rijkswaterstaat elke 10 minuten gemeten op de permanente getijdestations in en rond de Waddenzee. Deze metingen zijn verkrijgbaar op <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/expert>. WADMAP maakt voor het berekenen van droogvaluren gebruik van delen van het programma InterTides (Rappoldt et al., 2014). InterTides is gebaseerd op lineaire interpolatie binnen driehoeken van getijdestations (fig. 8) om op willekeurige plekken een waterstand te schatten. Door voor een periode van maanden of jaren elke 10 minuten de berekening te herhalen kan voor een willekeurig punt een droogvalduur worden geschat en kan ook een droogvalduurkaart worden berekend.



Figuur 8: Interpolatie van de waterstand tussen getijdestations (blauwe stippen) in het Waddengebied met behulp van het programma InterTides. InterTides gebruikt lineaire interpolatie binnen de ingetekende driehoeken of langs de dichtstbijgelegen rand. Daarbij wordt gecorrigeerd voor faseverschillen tussen de getijdestations.

4 Kwelderhabitats

De habitattypen Pionierbegroeiingen H1310 en Schorren en zilte graslanden H1330 vormen de kwelders van de Waddenzee. Het doel van deze kwelders is de diversiteit in de geomorfologie en de kweldervegetatie met alle successiestadia te behouden en te ontwikkelen. In het aanwijzingsbesluit Waddenzee staat: “Behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit schorren en zilte graslanden, buitendijks, inclusief zilte pioniervegetatie en de aanwezigheid van slijkgras. “

De natuurlijke ontwikkeling (successie) van de kwelder leidt echter tot veroudering en verruiging van deze habitats als gevolg van opslibbing, ontwikkeling van vegetatie en verlanding. Om deze ontwikkeling

tegen te gaan worden kwelders beweid met schapen, paarden en koeien en wordt de morfologie van kwelders aangepast, zodat de zee periodiek het gebied kan blijven overspoelen.

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

De definitie van habitats 1310 en 1330 volgt uit de samenstelling van de vegetatie en de ligging ervan ten opzichte van een dijk/ duin en de Waddenzee.

In dit monitoringprogramma wordt gebruik gemaakt van twee typen vegetatiemonitoring. In de basis is er de VEGWAD-kartering van Rijkswaterstaat. Binnen het VEGWAD programma worden de vegetatietypen van de Peazemerlannen vlakdekkend bepaald. Voor een toelichting op de methodiek achter de VEGWAD-kartering zie het rapport Rijkswaterstaat (2013).

Naast de VEGWAD-kartering wordt de ontwikkeling in de vegetatie jaarlijks bepaald binnen 48 pq's (fig. 9). Deze pq's liggen verspreid over het oostelijke en westelijke deel van het gebied. In het midden van de Peazemerlannen zijn geen pq's geplaatst. Gemiddeld geven de pq's een goed beeld van de vegetatie in de verschillende zones die in het gebied zijn te onderscheiden.

Bij iedere pq wordt de opslibbing van de kwelder gemeten. Hiervoor wordt de SEB (Sedimentatie-Erosie-Balk)-methode gehanteerd. Voor een gedetailleerde beschrijving van de kweldermonitoring wordt hier verwezen naar Van Duin (2020). De balans tussen opslibbing, klink en bodemdaling bepaalt of vegetatie op termijn successie of regressie zal gaan vertonen. Uit de monitoring van de kwelder van Ameland weten we dat er na ruim 10 cm netto maaivelddaling pas regressie in de vegetatie werd waargenomen. Het lijkt er op dat meerjarige kweldervegetatie lang standhoudt. Pas wanneer netto maaivelddaling leidt tot een verandering in de drainage van de kwelder, leidt dat tot veranderingen in de vegetatie.



Figuur 9: 48 pq's voor vegetatieopnames en SEB-metingen, verspreid over de verschillende vegetatiezones van de Peazemerlannen.

Op het wad voor de Peazemerlannen ligt een uitgestrekte pionierszone. Deze zone is onderdeel van Habitat 1310 en in de loop van de monitoringperiode is deze zone in oppervlakte toegenomen. Dit blijkt uit de VEGWAD-kartering. Omdat pionierszones voornamelijk uit eenjarige vegetatie bestaat, kunnen deze sterk veranderen in de tijd. Uit de evaluatie van het vigerende monitoringprogramma (2013-2019) bleek dat het goed zou zijn om de ontwikkeling van deze zone jaarlijks te bepalen, door de contour ervan met GNSS te bepalen en de vegetatiedichtheid van te onderscheiden delen van de zone te beschrijven. Dit is ook de manier waarop de litorale mosselbanken jaarlijks ingemeten worden (Van den Ende et al. 2018). Deze jaarlijkse meting is dan ook aan het monitoringprogramma toegevoegd (tab. 1).

5 Lauwersmeergebied

In het Aanwijzingsbesluit voor het Lauwersmeergebied wordt uitgelegd dat dit gebied is aangewezen in het kader van de Europese Vogelrichtlijn. Dit betekent dat instandhoudingsdoelen in het kader van de Wet Natuurbescherming zich beperken tot het behoud of verbetering van de draagkracht van het gebied voor populaties vogels van een bepaalde omvang.

Omdat het een groot aantal beschermde vogelsoorten betreft, wordt er voorafgaand aan verdere analyse een selectieprocedure uitgevoerd waarin per soort wordt gekeken of de soort een Natura 2000-doelsoort is en of effecten van bodemdaling door gaswinning op de populatieomvang in het Lauwersmeergebied op voorhand kunnen worden uitgesloten. Deze selectie resulteert in 8 broedvogels waarvoor effecten nader bestudeerd zullen worden (Kleefstra et al. 2020). De eerste stap in deze analyse is na te gaan in hoeverre er sprake is van een negatieve trend voor de soort in het gebied en in hoeverre die de landelijke trend volgt. Vervolgens wordt er per vogelsoort vastgesteld van wat voor vegetatietype en -kwaliteit deze als broedgebied afhankelijk is. Gaat dit broedhabitat achteruit, dan spreken we van een afname van de draagkracht van het gebied voor de vogelsoort die daardoor beïnvloed wordt. De laatste stap in de analyse is vast te stellen of de verandering in de draagkracht van het broedgebied voor een bepaalde soort het effect kan zijn van bodemdaling door gaswinning. Om hier uitspraken over te kunnen doen, wordt naast de vogeltellingen de ontwikkeling van de vegetatie gemonitord en op de muizenpopulatie als voedselbron voor roofvogels.

5.1 Monitoren en begrijpen van de veranderingen in de vegetatie

Voor het beschrijven van veranderingen in de vegetatie wordt op drie schaalniveaus onderzoek verricht:

- Gebiedsdekkend (vegetatiestructuur aan de hand van luchtfoto-analyse)
- Deelgebieden (ruimtelijke verschuivingen in plantengemeenschappen aan de hand van transectmetingen)
- Standplaatsniveau (met behulp van permanente kwadranten).

De gebiedsdekkende structuurkartering is gebaseerd op een stereo luchtfoto-interpretatie van false colour luchtfoto-beelden met een Digitaal Fotogrammetrisch Systeem. Voor de methode wordt hier verwezen naar Bakker & De Hoop (2016). Deze structuurmetingen zijn uitgevoerd in 2015 en 2018 en kunnen vergeleken worden met een meting die is uitgevoerd in 2005. Gedurende de looptijd van dit monitoringprogramma wordt een vlakdekkende vegetatiestructuurmeting uitgevoerd in 2021 en 2024.

Karteren van de vegetatie en aandachtsoorten in transecten geeft inzicht in verschuivingen van ruimtelijke patronen. Als bodemdaling tot verschuivingen in vegetatiepatronen leidt, zullen deze vooral loodrecht op de dalingscontouren zichtbaar zijn, en in de transecten kunnen worden gevolgd. De transecten voor vegetatiestructuurmetingen liggen o.a. op de Blikplaat, Sennerplaat, Zoutkamperplaat, Schildhoek en Ballastplaat. Voor een overzicht van de verspreiding van de transecten in het gebied wordt hier verwezen naar Bakker et al. bijlage 5 (2014).

Het pq-meetnet geeft informatie over kleinschalige veranderingen in de vegetatie op een bepaalde locatie, zoals veranderingen in het aandeel zilte soorten of soorten van duinvalleivegetaties. Door de pq's in raaien te plaatsen, zijn waargenomen veranderingen te koppelen aan de landschappelijke positie. De pq's zijn 3x3 meter groot. Door abiotische metingen te verrichten in de nabijheid van pq's, is de koppeling met veranderende standplaatsfactoren mogelijk. De pq's worden jaarlijks opgenomen, bij

voorkeur eind juni-begin juli. De vegetatie in de pq's is opgenomen met de decimale schaal van Londo (zie Schaminée et al. 1995).

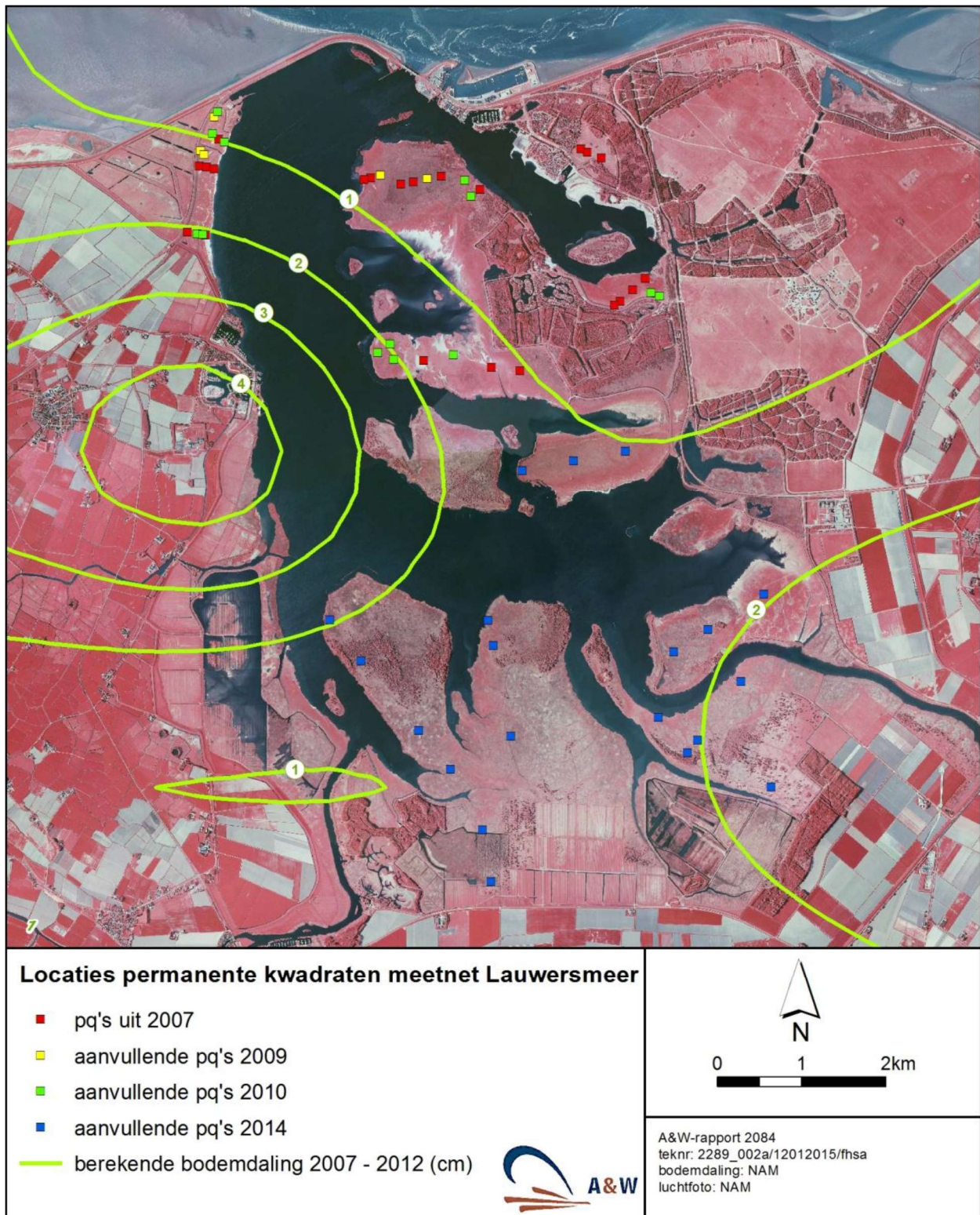
In totaal bestaat het meetnet nu uit 100 pq's, waarvan er 56 in 2007 zijn uitgezet en waaraan er in 2009, 2010 en 2014 samen 56 zijn toegevoegd. Van de 56 toegevoegde pq's dienen er 12 ter vervanging van verstoorde pq's. Tussen 2010 en 2012 zijn de verstoorde pq's en de vervangende pq's beide opgenomen, per 2013 alleen nog de vervangende pq's. Voor een overzicht van de ligging van de pq's in het gebied, zie figuur 10. Een overzicht van de ligging per deelgebied wordt gegeven in Bakker et al. bijlage 1 (2014).

5.2 Grondwaterstanden

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

5.3 Beheer

Het beheer is een belangrijke factor voor de ontwikkeling van de vegetatie. Het beheer en de veebezetting is in de afgelopen jaren weinig veranderd. In 2019 is begonnen met het kwantificeren van het effect van begrazing en vertrapping op de rietvegetaties. Voor de geselecteerde doelsoorten zijn vooral rietstructuur en de ontwikkeling van wilgenstruweel van belang. Deze structuren worden sterk beïnvloed door begrazing en vertrapping door grote grazers. Naar verwachting zijn de riethoogte en -structuur negatief gecorreleerd met padendichtheid van het vee. Om deze reden wordt de ontwikkeling van het padennetwerk en daarmee een deel van de rietstructuur verkend als maat voor begrazingsintensiteit.



Figuur 10 - Locatie pq-raaien. De groene lijnen geven de berekende bodemdaling weer voor de periode 2007 - 2012, gebaseerd op meetgegevens en het bodemdalingsmodel. (Bron voor de dalingscontouren: NAM 2013) afkomstig uit Bakker et al. (2014).

5.4 Broedvogelmonitoring

In 13 BMP-proefvlakken werden alle soorten broedvogels geïnventariseerd (fig 11). Daarmee vormen de proefvlakken steekproefgebieden voor zowel algemene als schaarse broedvogelsoorten. Hierdoor kunnen gebiedsspecifieke soortgroepen worden vastgesteld met als doel de ontwikkeling van de broedvogelaantallen te relateren aan habitatveranderingen. Dit kan indicatief zijn voor de draagkracht van het gebied voor de soorten waarvoor instandhoudingsdoelen zijn opgesteld. Het totale aantal hectares dat voor alle soorten wordt geïnventariseerd bedraagt 1294 ha. In de BMP-proefvlakken worden vaste looproutes aangehouden en worden per gebied acht inventarisatieronden uitgevoerd, waarvan zes in de vroege ochtend en twee nachtbezoeken, conform de richtlijnen in Van Dijk & Boele (2011).

5.5 Roofvogels en muizen

Muizen in het Lauwersmeergebied vormen een belangrijke voedselbron voor beschermde roofvogels. Vernatting door overstroming of bodemdaling kan van invloed zijn op de muizenpopulatie en daarmee op de kwaliteit van het gebied als fourageergebied voor roofvogels. De verspreiding van roofvogels wordt maandelijks bepaald met behulp van vrijwilligers. Hierbij wordt ook het gedrag van de vogels in het gebied vastgesteld. De toekenning van het gedrag van de roofvogels is van belang omdat vooral jagende roofvogels aangeven waar prooien worden gevangen. Roofvogels worden geïdentificeerd en geteld in het gehele gebied.

De muizenpopulatie wordt jaarlijks op een aantal locaties op de platen van het Lauwersmeer bemonsterd. De bedoeling is om sommige locaties jaarlijks te bemonsteren en andere locaties minder regelmatig om meer ruimtelijke spreiding te verkrijgen. Voor meer details over de methode wordt hier verwezen naar Beemster (2018).

Met als doel om de vegetatiestructuur te kunnen gebruiken om de dichtheden en de bereikbaarheid van de muizen te voorspellen, worden er vegetatiemetingen gedaan in de muizenraaien kan de talrijkheid van muizen worden gerelateerd aan de vegetatiesamenstelling en -structuur. De vegetatiestructuur geeft bovendien aan of muizen vangbaar zijn voor roofvogels. Per muizenraai worden de volgende metingen uitgevoerd:

- Rietstengellengte (5 maal per station x 10 stations = totaal 50 metingen). Per rietstengel wordt aangegeven of deze al of niet door vee is begraasd;
- Vegetatiehoogte met kunststof schijf en een meetstok (5 maal per station x 10 stations = totaal 50 metingen);
- Bedekkingspercentage van belangrijkste plantensoorten/ typen (Riet, Duinriet, grassen spec. en houtachtigen);
- Bedekkingspercentage van de vegetatie (en dus zichtbaarheid van muizen): zichtbaarheid van vijftien rode tapjes op een stok (2 maal per station x 10 stations = totaal 20 metingen) vanaf ooghoogte;
- Een standaardfoto van de muizenraai.



Figuur 11: Ligging van BMP-proefvlakken, vegetatietransecten en bodemdalingcontouren in het Lauwersmeer. De proefvlaknummering correspondeert met die in tabel 1 uit Kleefstra en De Boer (2015).

6 Looptijd monitoringprogramma

De Wnb-vergunningen voor gaswinning onder de Waddenzee lopen tot het jaar 2040. Wanneer de gaswinning in het Waddengebied stopt, zal de monitoring worden afgebouwd en uiteindelijk ook stoppen. Hoe deze afbouw precies verloopt, wordt toegelicht in deze paragraaf.

De gaswinning en de bodemdaling stoppen niet overal op hetzelfde moment. Daarom wordt er in dit afbouwplan onderscheid gemaakt tussen de volgende deelgebieden.

- De wadplaten van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag
- De Peazemerlannen
- Het Lauwersmeergebied

Ten behoeve van het afbouwplan voor de ecologische monitoring per deelgebied, worden de volgende 3 fasen met verschillende monitoringregiems onderscheiden. Hierbij kunnen fase 2 en 3 overlappen.

1. De winningsfase
2. De eventuele na-ijlingsfase van de bodemdaling
3. De eventuele na-ijlingsfase van ecologische effecten

Tijdens fase 1, de winningsfase, mag duidelijk zijn dat het gehele, in dit document beschreven, monitoringprogramma van toepassing is.

Als de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog of Vierhuizen beëindigd wordt, zijn twee vragen van belang. De eerste vraag is of er sprake is van na-ijling van de bodemdaling onder het betreffende gebied, of van bodemdaling als gevolg van gaswinning door NAM uit andere gasvelden. Bijvoorbeeld door de gaswinning Ameland onder het Pinkegat, of door de gaswinning Anjum onder het Lauwersmeergebied. De tweede vraag is of er nadelige ecologische effecten zijn of verwacht worden naar aanleiding van de bodemdaling door de gaswinning.

In geval van een doorgaande bodemdaling onder één of meerdere deelgebieden, dient een deel van de monitoring te worden doorgezet. Wanneer er geen sprake is van nadelige effecten op natuurwaarden en wanneer deze ook niet worden verwacht, dient de monitoring van de bodemdaling zelf doorgezet te worden, samen met de eerste stap(pen) in de effectketen (zie tabel 3). Wanneer er wel sprake is van nadelige effecten op natuurwaarden of de kans daarop wordt als reëel ingeschat, dan worden ook die ecologische parameters gemonitord die inzichtelijk maken hoe dat effect zich ontwikkelt. Het doel van die monitoring is dan bijvoorbeeld het plannen van compenserende maatregelen en het meten van het succes daarvan.

In Tabel 3 worden voor de drie onderscheiden deelgebieden de drie verschillende fasen benoemd. Hierin is aangegeven dat zolang er gaswinning plaatsvindt onder het betreffende gebied, het gehele monitoringprogramma voor dat gebied van kracht is. Dat betekent voor gaswinning vanaf de locatie Moddergat dat er bodemdaling plaatsvindt onder de wadplaten van het Friese Zeegat en onder de kwelder de Peazemerlannen. Gaswinning vanaf de locatie Lauwersoog leidt enkel tot bodemdaling onder de wadplaten van de Zoutkamperlaag en gaswinning vanaf de locatie Vierhuizen leidt tot bodemdaling onder het Lauwersmeergebied.

Wanneer de gaswinning stopt en er sprake is van een na-ijleffect van diepe bodemdaling onder een deelgebied, dan gaan de bodemdalingsmetingen in dat deelgebied door. Tevens wordt de eerste trede

van de effectketen gemeten om te bepalen of die bodemdaling alsnog leidt tot schade aan de instandhoudingsdoelstellingen. Voor de wadplaten betekent dit, dat de LIDAR-metingen doorgaan. Voor de kwelder en het Lauwersmeergebied gaan de vegetatiemetingen in de PQ's door, inclusief het bepalen van standplaatsfactoren, omdat deze combinatie de meest gevoelig indicator is voor effecten van bodemdaling op de natuur.

Wanneer er sprake is van ecologische effecten door bodemdaling als gevolg van gaswinning, dan worden alle relevante ecologische parameters gemonitord die nodig zijn om die ontwikkelingen nauwgezet te kunnen volgen. Mocht dit nodig zijn, dan wordt hiervoor een afzonderlijk monitoringprotocol opgesteld en ingediend bij het bevoegd gezag.

Tabel 3: Overzicht van de benodigde monitoring voor drie fasen van de gaswinning en mogelijke ecologische effecten per deelgebied.

Deelgebied	Fase tot einde winning	Fase tot einde bodemdaling	Fase tot einde ecol. effecten
Wadplaten	Gehele monitoringprogramma	<ul style="list-style-type: none"> Bodemdalingsmetingen LiDAR-meting (1x per jaar) 	Relevante ecol. parameters
Kwelder	Gehele monitoringprogramma	<ul style="list-style-type: none"> Bodemdalingsmetingen Vegetatiemonitoring (pq's) 	Relevante ecol. parameters
Lauwersmeergebied	Gehele monitoringprogramma	<ul style="list-style-type: none"> Bodemdalingsmetingen Vegetatiemonitoring (pq's) en peilbuizen 	Relevante ecol. parameters

7 Referenties

- Bakker, R & P. de Hoop 2016. Vegetatie- en plantensoortenkartering Lauwersmeer 2015. A&W-rapport 2195. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden
- Beemster N. (2018) Monitoring effecten van bodemdaling door gaswinning Effecten op muizen en roofvogels, Jaarrapportage over 2017. A&W-rapport 2466
- Compton, T., S. Holthuijsen, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. ten Horn, L. Klunder, N. McSweeney, M. Brugge, M. Smelter, H. van der Veer, T. Piersma, and J. van der Meer (2013) Progress report for the 2012 sampling of the synoptic intertidal benthic survey across the Dutch Wadden Sea. NIOZ 2013-9
- De Vlas, J, Piening H, Krol J, Ens BJ, Rappoldt C, Kampichler C, Van Duin W, Elschoot K, Kuiters L, De Vlas J, Marquenie J, Wang ZB. (2017) Monitoring effecten bodemdaling op Oost-Ameland, Evaluatie na 30 jaar monitoring
- 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
- Kleefstra, R., N. Beemster, W. Bijkerk, R. Bakker, M. Bekkema, R. Buijs, P. de Boer, C. Kampichler & J. Stahl (2020) Analyse van de effecten van bodemdaling op hydrologie, vegetatie en vogels in het Lauwersmeer in 2019. Sovon rapport. 2020/22, A&W rapport 19-347.
- Kleefstra R. en De Boer P. (2015). Broedvogelmonitoring in het Lauwersmeer in 2015. Sovon-rapport 2015/58
- Krol J (2020) Sedimentatiemetingen op het wad van Ameland, Peasens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog 2007- 2019
- NAM (2019) Monitoring van de effecten van bodemdaling door gaswinning in het Wadden- en Lauwersmeergebied, evaluatie monitoring 2013-2019. EP201907205142
- NAM (2020) Gaswinning Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen: Actualisering meet- en regelprotocol 2020. EP202005201286
- Rappoldt C, Ens BJ en Schekkerman, H (2019) Wadvogel habitat model Wadmap. EcoCurves rapport 30, ISSN 1872-5449. Technische documentatie.

- Rappoldt C., Roosenschoon O.R. & Van Kraalingen D.W.G. (2014) Intertides: maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. EcoCurves Rapport 19. EcoCurves BV, Haren.
- Rijkswaterstaat (2013) Toelichting bij de vegetatiekartering Kwelders Noord-Holland 2011 Op basis van false colour-luchtfoto's 2011.
- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & V. Westhoff 1995. De vegetatie van Nederland. Deel 1. Inleiding tot de plantensociologie – grondslagen, methoden en toepassingen. Opulus press, Uppsala, Leiden.
- Terratec (2019) Project: Waddenzee – 1st LiDAR acquisition for 2019, report 41067
- Thompson S.K. (1992) Sampling. Wiley, New York.
- Van Asch, Ende, D. van den, Pool, J. van der, Brummelhuis, E.B.M., Zweeden, C. van, Es, Y. van, Troost, K. (2019). Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2019. CVO report 19.009
- Van Dijk A.J. & Boele A. 2011. Handleiding SOVON Broedvogelonderzoek. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Van den Ende, Troost, K., Asch, M. van, Perdon, J., Zweeden, C. van (2018) Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren in 2018: bestand en arealen. CVO report 18.023
- Van der Lugt, M, Visser M en Ketelaar G (2020) Monitoring wadplaatareaal Friesche Zeegat met LiDAR (2010-2019), Deltares rapport 11203620-002-ZKS-0006
- Wijnhoven S. en O. Bos (2017) Benthische Indicator Soorten Index (BISI) Ontwikkelingsproces en beschrijving van de Nationale Benthos Indicator Noordzee inclusief protocol voor toepassing. <http://ecoauthor.net/wp-content/uploads/2017/10/Eindrapport-Benthos-Indicator-Noordzee-v260917.pdf>
- Van der Meer, J. (1997) Sampling design of monitoring programmes for marine benthos: a comparison between the use of fixed versus randomly selected stations. J. Sea Res. 37: 167-179
- Van Duin (2020) Kweldermonitoring in de Peazemerlannen en de referentiegebieden: Jaarrapport 2019. Artemisierapport 2020-1

Bijlage 1: Beslisschema's A en B ten behoeve van de Hand Aan de Kraan systematiek. Schema A is ingericht voor beschermde vogelsoorten. Schema B voor beschermde habitats.

A	Beslisschema voor integrale rapportage, onderdeel vogels (N2000-soorten) Y = ja, of bij twijfel / N = nee, redelijkerwijs niet		
1	Negatieve trend populatieomvang beïnvloedingsgebied?	Y→2	N→8
2	Is de geobserveerde trend (in 1) anders dan in referentiegebieden (indien beschikbaar/ relevant)?	Y→3	N→8
3	Trend een bekende oorzaak (anders dan diepe/maaiveld bodemdaling en anders dan bij 4)?	N→4	Y→8
4	<u>Verhoudt</u> 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) <i>Dit (4) is de vergelijking met berekende proxies / vegetatie structuur / oppervlakte ondiep water, etc. Hierbij gaat het ook om de eigenschappen van de trends: misschien is de afname van de vogelaantallen eerder begonnen dan van de draagkracht... etc.</i>	Y→5	N→8
5	Heeft de trend in de draagkracht / gebiedsfunctie een bekende of voor de hand liggende oorzaak? (anders dan bodemdaling/ maaiveld daling) <i>Denk hierbij (5) aan beheer zoals begrazing / waterpeil / predatie / methodische veranderingen, etc.</i>	N→6	Y→8
6	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>) (is er een mogelijke relatie.) <i>Kijk voor 6 binnen de proxies / vegetatietypen naar de bepalende parameters/ variabelen, e.g. wadslakje vorig jaar. Dit is een uitgebreid punt. -Met "richting" gaat het om het mechanisme (zou je een afname verwachten als gevolg van bodemdaling.?). -Bij ruimtelijk gaat het om de ruimtelijke correlatie met bodemdaling maar ook met variatie in bodemchemie (vegetatie). -Bij temporeel gaat het om het verloop van de variabele in de tijd en of dat logisch zou zijn onder invloed van bodemdaling.</i>	Y→7	N→8
7	Een effect van bodemdaling kan niet worden uitgesloten. <ul style="list-style-type: none"> • Kwantificeer het effect, prognosticeer de verdere ontwikkeling en beschrijf mitigerende maatregelen. • Geef aan in hoeverre dit effect aanleiding geeft om de gasproductie aan te passen (Hand Aan de Kraan). 		
8	Geen effect van bodemdaling op de instandhoudingsdoelstellingen vastgesteld in het betreffende monitoringjaar.		

B	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
2	Trend anders dan in referentiegebieden (indien van toepassing)?	Y→3	N→5
3	Trend een bekende oorzaak (anders dan bodemdaling door gaswinning)?	Y→5	N→4
4	Verhoudt de trend zich tot de opgetreden bodemdaling? (<u>richting, ruimtelijk en temporeel</u>)	Y→9	N→5
5	Negatieve en duidelijke trend in kwaliteit van het habitatype?	Y→6	N→10
6	Trend anders dan in referentiegebieden (indien van toepassing)?	Y→7	N→10
7	Trend een bekende oorzaak (anders dan bodemdaling door gaswinning)? <i>Denk aan de autonome ontwikkeling, beheermaatregelen, etc.</i>	Y→10	N→8
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
9	Een effect van bodemdaling kan niet worden uitgesloten. <ul style="list-style-type: none"> • Kwantificeer het effect, prognosticeer de verdere ontwikkeling en beschrijf mitigerende maatregelen. • Geef aan in hoeverre dit effect aanleiding geeft om de gasproductie aan te passen (Hand Aan de Kraan). 		
10	Geen effect van bodemdaling op de instandhoudingsdoelstellingen vastgesteld voor het betreffende monitoringjaar.		