

Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland

Evaluatie na 36 jaar gaswinning



April 2024

Colofon

Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, bestaande uit Nel Sangers (onafhankelijk voorzitter), Erwin Bruinewoud (secretaris, NAM), Chris Bakker (It Fryske Gea), Ernst Lofvers (Rijkswaterstaat), Paul Westerbeek en Anna Petra van der Wal (Provincie Fryslân) en Luc van Tiggelen (Gemeente Ameland).

Monitoring/onderzoek

Deltares, Wageningen Environmental Research (WENR), Wageningen Marine Research (WMR), SOVON, EcoCurves, Natuurcentrum Ameland (NCA) en Brandhof natuur & platteland.

Redactie

Bureau Landwijzer, Moniek Löffler en Michiel Löffler

Fotografie

Johan Krol, NAM, Hans Schekkerman, Erwin Bruinewoud, Marinka Puijenbroek, Moniek Löffler, Valentin Pöchmüller

April 2024



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Voorwoord

Hierbij presenteren wij ons rapport over de evaluatie van 36 jaar gaswinning op Oost-Ameland. Sinds 1986 wordt er gas gewonnen uit de diepe ondergrond van Oost-Ameland, wat leidt tot bodemdaling. Om de gevolgen hiervan op de natuur te bepalen, is er in 1987 een uitgebreid monitoringprogramma gestart. De resultaten hiervan worden periodiek geëvalueerd.

Dit rapport markeert de zesde evaluatie na 36 jaar gaswinning. Het omvat een samenvatting en integratie van de bevindingen uit de achterliggende rapporten over de verschillende monitoringonderdelen, met nadruk op de periode 2017 t/m 2023.

Het rapport is een uitgave van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Deze onafhankelijke commissie werd bij de start van de monitoring opgericht op initiatief van It Fryske Gea en de NAM. Deze commissie waarborgt de onafhankelijkheid van het onderzoek en houdt toezicht op de voortgang, volledigheid en kwaliteit van de monitoring. De commissie bestaat uit experts en vertegenwoordigers van belanghebbende instanties.

In 2024 bestaat de commissie uit een onafhankelijk voorzitter, de NAM (secretaris), en vertegenwoordigers van It Fryske Gea, Rijkswaterstaat, provincie Fryslân, gemeente Ameland, en een agendalid van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Deze begeleidingscommissie is niet wettelijk vereist volgens de Natuurbeschermingswetvergunning en draagt dus geen directe verantwoordelijkheid voor de monitoringsverplichtingen van de NAM.

Graag bedank ik alle leden van de commissie en alle onderzoekers voor hun inzet. De vruchtbare besprekingen van de jaarlijkse resultaten hebben ons geholpen bij een juiste interpretatie van de bevindingen uit verschillende disciplines, resulterend in dit integrale rapport. De jaarlijkse tweedaagse veldbezoeken aan Ameland hebben daar ook zeker aan bijgedragen.

Ik ben trots op dit rapport en hoop dat het bijdraagt aan de waardering voor doorlopend onderzoek met lange onderzoeksreeksen. Want: 36 jaar monitoren in een zo dynamisch gebied als het Waddengebied brengt zeer waardevolle resultaten met zich mee.

Nel Sangers, voorzitter Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland

Samenvatting en conclusies¹

In 1986 begon de NAM met het winnen van het gas onder Oost-Ameland. Vanaf het begin was bekend dat de bodem hierdoor zou gaan dalen. Tijdens het winnen van het gas neemt de druk in de gashoudende zandsteenlaag af. Door het gewicht van de bovenliggende lagen wordt de zandsteenlaag ineengedrukt, en dalen ook de bovenliggende lagen.

It Fryske Gea, bezorgd over de effecten hiervan voor de natuur en het landschap, vroeg de NAM om de ontwikkelingen nauwlettend in de gaten te houden. Zo begon in 1987 een langdurige monitoring, die nog steeds voortduurt. De monitoring wordt begeleid door een onafhankelijke commissie, de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, ook wel Bodemdalingscommissie Ameland genoemd. In 2013 kreeg de NAM een NB-wetvergunning om de gaswinning uit te breiden en te verlengen tot 2035. Deze vergunning maakte monitoring van de effecten op de Natura 2000-gebieden verplicht. Elke zes jaar worden de verzamelde monitoringgegevens en de impact van gaswinning geëvalueerd en onderworpen aan een audit.

Deze rapportage

Dit rapport vormt de zesde evaluatie, van inmiddels 36 jaren monitoring, met nadruk op de afgelopen zes jaar (vanaf 2017). Het rapport is gebaseerd op de deelrapportages die zijn opgesteld voor de Ameland-monitoring. Daarnaast wordt gebruikgemaakt van rapportages die zijn opgesteld in het kader van de winning van gas vanaf het vasteland (Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, de zogenaamde MLV-winningen). Het Pinkegat, een gebied in de Waddenzee, wordt door zowel de Ameland-winning als de MLV-winningen beïnvloed.

Om tot een goede integratie en synthese van de monitoringsresultaten te komen, is deze rapportage gebaseerd op een analyse van het morfologisch systeem door Deltares, ook wel conceptueel model genoemd. Dit model beschrijft de processen die bepalend zijn voor het morfologische systeem rondom de gaswinningslocatie Oost-Ameland en de samenhang tussen zeegat, wadden, kwelders en duinen. Inzicht in deze sturende processen is essentieel om de effecten van bodemdaling door gaswinning te kunnen interpreteren.

Onderdelen van het monitoringprogramma

Bodemdaling

- *Diepe daling door gaswinning:* De bodemdaling door gaswinning wordt zowel gemeten als gemodelleerd. De metingen vinden plaats via satellietssystemen en via waterpassen, waarbij gebruik wordt gemaakt van peilmerken en objecten die op een stabiele ondergrondse laag zijn gefundeerd. De modellen van de NAM worden gekalibreerd met deze metingen.
- *Hoogteveranderingen van het oppervlak (maaiveld):* De bodemdaling door gaswinning veroorzaakt een daling van het oppervlak, maaiveld genoemd. De hoogte van het maaiveld wordt echter, zeker in dynamische gebieden als Oost-Ameland, door meer processen bepaald.

¹ In de samenvatting zijn geen literatuurverwijzingen opgenomen. In elk hoofdstuk wordt vermeld op welke rapporten uit de Ameland-monitoring de tekst is gebaseerd en welke eventuele andere bronnen zijn gebruikt.

Zo zorgt de afzetting van slib en zand voor verhoging van het maaiveld, en inklinking en vertrapping door vee voor verlaging. De gecombineerde invloed van diepe bodemdaling door gaswinning en processen aan het oppervlak bepalen uiteindelijk de hoogte van het maaiveld.



Namenkaart Oost-Ameland. De zwarte lijn geeft de grens aan tussen de verschillende Natura 2000-gebieden.

Waddenzee: wadplaten en kombergingsgebied Pinkgat

De droogvallende wadplaten van de Waddenzee zijn van onschatbare waarde als leefgebied voor diverse organismen en als foerageer- en rustgebieden voor talrijke vogelsoorten. Het kombergingsgebied het Pinkgat wordt beïnvloed door zowel de gaswinning vanaf Ameland als door de MLV-winning vanaf Friesland. In het kader van beide winningen worden er metingen uitgevoerd, waaronder de sedimentatie, de hoogte en het oppervlak van de wadplaten en de diepte van de Waddenzeebodem. Ook worden er vogeltellingen uitgevoerd, zowel op hoogwatervluchtplaatsen bij Ameland als op andere locaties langs het Friesche Zeegat. Daarbij worden de waarnemingen vergeleken met die in referentiegebieden.

Kwelders

Op de kwelders van Oost-Ameland zijn proefvlakken geselecteerd waar metingen worden gedaan aan onder andere de sedimentatie, de hoogte van het maaiveld, de kleidikte en de samenstelling van de vegetatie. Tijdens de laatste integrale evaluatie in 2017 is vastgesteld dat de proefvlakken niet representatief waren voor de gehele kwelder, waarna in 2019 het meetnetwerk op Neerlands Reid en De Hon is aangepast. Hierbij zijn de proefvlakken anders en beter over de kwelders verspreid. De meetreeks van het nieuwe meetnetwerk is nog te kort om conclusies te trekken en biedt slechts een voorlopige indicatie van de ontwikkelingen in het gebied. Tussen 2017 en 2023 zijn, naast het standaard monitoringprogramma, ook de volgende analyses uitgevoerd:

- Analyse van de kwelderrand en het drainagesysteem op Neerlands Reid (met behulp van luchtfoto's).
- Onderzoek naar overstromingspatronen met diepteloggers op vijftig locaties van 2019 tot 2022.
- Meting van kleidikte op De Hon in 2020, en eerder op Neerlands Reid in 2016.

- Vergelijking van de vegetatiekaart van Rijkswaterstaat van 2023 met die van 1993.

Daarnaast zijn zowel de nestlocaties als de nesthoogtes van verspreid broedende vogels en kolonievogels bepaald op de kwelders. Van sommige vogelsoorten werden de nestlocaties na het broedseizoen vastgesteld met behulp van nestresten, bijvoorbeeld van de lepelaar. Voor andere vogels werd tijdens het broedseizoen een drone ingezet, die de x- en y-coördinaten vastlegde. De hoogte hiervan werd achteraf bepaald.

Daarna werd met behulp van een model berekend of de huidige broedlocaties van de vogels meer of minder vatbaar zijn voor overstromingen dan in het verleden, en hoe gevoelig ze zouden zijn geweest zonder gaswinning.

Duinen

Ook in de duinen zijn proefvlakken geselecteerd, waar metingen worden uitgevoerd. Sinds 2013 richt het onderzoek zich op de duinvalleien in het centrum van het bodemdalingsgebied: het gebied tussen de zeereep en de Oerderduinen, vanaf het Spijkerpad (paal 20,6) tot de NAM-locatie. Metingen die worden gedaan zijn onder andere hoogtemetingen van het maaiveld, inundaties van duinvalleien, grondwaterstanden, samenstelling van vegetatie en abiotische factoren.

Oostpunt van het eiland (eilandstaart) en Noordzeekustzone

Van nature is de afwisseling tussen aangroei en afslag kenmerkend voor de oostpunt van Ameland en de Noordzeekustzone. Om achteruitgang van de kust ten westen van kilometerpaal 23 te voorkomen, worden er sinds 1990 zandsuppleties uitgevoerd. Ten oosten van deze kilometerpaal wordt de ontwikkeling van de kustlijn vrijgelaten. De monitoring is gericht op het bepalen van de impact van bodemdaling door gaswinning op deze processen. Hiertoe is een analyse gemaakt van hydrografische kaarten van 1834 tot 1927, de lodingskaarten van 1927 t/m 2019 en de jaarlijkse kustmetingen tot 2021 (JARKUS) van Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn gegevens over gesuppleerde volumes zand verzameld.

Resultaten en conclusies

Diepe bodemdaling, veroorzaakt door gaswinning

- **Meetresultaten:** Volgens de waterpasgegevens is de bodem nabij de productielocatie op Ameland sinds 1986 maximaal met 42 centimeter gedaald. Continue GNSS-metingen op deze locatie tonen aan dat de diepe bodem in het hart van het bodemdalingsgebied in 2023 met 6,6 millimeter per jaar is gedaald, met een standaardafwijking van 0,6 mm per jaar.
- **Modellen:** In 2023 zijn de modellen herzien, wat resulteerde in een iets geringere bodemdaling dan eerder voorspeld. De herziene bodemdalingsmodellen blijken de gemeten bodemdaling beter te benaderen dan de eerder gebruikte modellen. Wel zijn er lokaal kleine afwijkingen tussen de modelresultaten en de metingen, wat kan zijn veroorzaakt door kleine imperfecties in de diepe ondergrondmodellen en autonome processen van daling van de (diepe) ondergrond. Volgens het meest recente model bedraagt de bodemdaling door gaswinning in het hart van het dalingsgebied maximaal 38 centimeter. Het grootste deel van het gas is inmiddels gewonnen, en de druk in het gasveld onder Oost-Ameland is sinds 1986 afgenomen van 570 naar 50 bar. De NAM voorspelt dat de druk in het gasveld in 2035, aan het einde van de productie, nog 30 bar zal

bedragen. Op basis van de modellen en metingen wordt een maximale bodemdaling van 50 centimeter verwacht in 2050 in het centrum van de kom boven het Amelandveld.

Hoogteveranderingen van het oppervlak (maaiveld)

Erosie en sedimentatie zijn dynamische processen, die soms wel tien keer zo snel kunnen verlopen als de snelheid van bodemdaling door gaswinning. Door deze processen is de impact van de bodemdaling door gaswinning op de ontwikkeling van het gebied soms beperkt (of niet) zichtbaar. Dit neemt echter niet weg dat op delen van Oost-Ameland het maaiveld daalt, met name op locaties waar weinig slib of zand vanuit de Waddenzee of Noordzee wordt aangevoerd.

Wadplaten en kombergingsgebied Pinkegat

- *Kombergingsgebied Pinkegat:* Door de diepe bodemdaling door gaswinning is er in dit gebied een dalingskom ontstaan van ruim vijf miljoen kubieke meter. Volgens de berekeningen bedraagt het bodemdalingsvolume veroorzaakt door de gaswinning ruim 5 miljoen m³. In het sterk dynamische Pinkegat is de invloed van erosie en sedimentatie echter een orde groter dan de invloed van diepe bodemdaling. Gedurende de gehele periode van gaswinning is er in het begin een beperkt sedimenttekort ontstaan, maar het volume hiervan valt binnen de onzekerheidsmarges van de metingen. De laatste jaren is de sedimentatie toegenomen, en is de bodemdaling door gaswinning volledig gecompenseerd.
- *Wadplaten:* Uit de spijkermetingen blijkt dat de wadplaten voor de kust van Ameland een gemiddelde sedimentatie van 4,8 millimeter per jaar hebben. Dit is voldoende om de 3,9 millimeter per jaar daling ten gevolge van de gaswinning te compenseren. Er zijn echter variaties in de mate van bodemdaling en sedimentatie. In een wadplaatgebied ten zuidoosten van de Oerdsloot, waar de diepe daling maximaal is en de sedimentatie minimaal, is de netto verlaging van het maaiveld ongeveer vier millimeter per jaar. De specifieke oorzaak van deze verlaging is niet eenduidig vast te stellen.
Uit LiDAR-metingen blijkt dat de hoogte en het oppervlak van wadplaten sterk verschillen in tijd en ruimte: bepaalde wadplaten groeien terwijl andere platen juist eroderen. Deze variaties vallen echter binnen de onzekerheidsmarge van de metingen en heffen elkaar op de schaal van het gehele kombergingsgebied van het Pinkegat min of meer op. De data laten geen verband zien met de bodemdaling. Stormen blijken een significante invloed te kunnen hebben op de hoogte van de wadplaten.
Volgens de (tot en met 2023) verschenen integrale MLV-rapportages is de bodemdaling door gaswinning binnen de gestelde gebruiksruimte van het Pinkegat en Zoutkamperlaag gebleven.

Ontwikkelingen wadvogels

- *Fluctuaties:* Uit beide monitoringonderzoeken blijkt dat de getelde aantallen vogels aanzienlijk kunnen fluctueren, zowel tussen verschillende jaren, als binnen een specifiek jaar. Het interpreteren van de resultaten van deze tellingen en de vergelijking met referentiegebieden wordt dan ook sterk beïnvloed door de gebruikte onderzoeksmethoden, waaronder de keuze van referentie jaren en -gebieden als vergelijkingsbasis.
- *Trends:* Voor de wulp, tureluur en rosse grutto tonen zowel de Ameland-tellingen als de MLV-tellingen een negatieve trend over een lange periode. Deze trend wijkt af van de

referentiegebieden in de Nederlandse Waddenzee, maar komt overeen met de lange termijn trend in de Deense en Duitse Waddenzee (referentie-gebieden binnen de MLV-tellingen). Op korte termijn valt vooral de negatieve trend op voor de wulp, niet alleen in het gebied waar de bodem daalt, maar in de hele Nederlandse Waddenzee.

Voor het aantal tureluurs zijn de resultaten afhankelijk van de vergeleken tijdvakken. Op basis van de Amelandtellingen lijkt er tussen de tijdvakken 2000-2010 en 2010-2022 een sterke afname te zijn in het aantal overwintelaars op Oost-Ameland en van het aantal doortrekkers in het najaar op heel Ameland. Deze trend wijkt af van de referentiegebieden. Sinds 2010 lijkt het aantal tureluurs zich binnen de MLV-tellingen te stabiliseren, zowel in het gebied waar de bodem daalt, als in de Nederlandse en de internationale Waddenzee.

- *Draagkracht:* Er zijn geen aanwijzingen dat de draagkracht van de wadplaten negatief beïnvloed wordt door de bodemdaling door gaswinning.

Kwelder

- *Overstromingen:* De frequentie van de overstromingen en de waterhoogte op de kwelder is afhankelijk van zowel hoogte als andere factoren, zoals waterstanden, drempels, geulen, windrichting en stuwing. Vanwege de beperkte duur van de meetreeksen van de drukmeters is het niet mogelijk om conclusies te trekken over eventuele veranderingen in de patronen van overstroming.
- *Maaiveld en sedimentatie:* Sinds 1986 is op veel plekken op de kwelder het maaiveld gedaald. Langs het wad en langs de krekens is er echter voldoende sedimentatie om de bodemdaling door gaswinning te compenseren. Op De Hon is de sedimentatie en de bodemdaling door gaswinning hoger dan op het Neerlands Reid. Gebaseerd op de kleidikte kan worden geconcludeerd dat De Hon gemiddeld negen centimeter lager ligt dan vóór de gaswinning. Desondanks zijn er ook plekken die door opslibbing of instuiving juist hoger zijn komen te liggen, zoals de locaties waar lepelaars broeden.
Op het Neerlands Reid volgt uit de metingen van het nieuwe meetnet dat het maaiveld niet alleen daalt als gevolg van gaswinning, maar ook door oppervlakkige processen, zoals inklinking door droogte en compactie als gevolg van vertrapping door vee.
- *Kwelderrand en drainage:* Gedurende zeventig jaar wisselden aangroei en afslag van de kwelderrand af. Bodemdaling lijkt weinig invloed te hebben gehad op deze dynamiek. Het omslagpunt van aangroei naar afslag was vóór de start van de gaswinning in 1986; na 1986 is de afslag niet versneld. De dynamiek van de kwelderrand lijkt samen te vallen met perioden van groei en krimp van de eilandstaart.
Het krekenstelsel van Neerlands Reid heeft zich uitgebreid, waardoor het oppervlak van de kwelder is afgenomen. Dit gebeurde vooral na 1990, mogelijk als gevolg van nattere omstandigheden en ingrepen in het drainagesysteem. Op basis van de luchtfoto's is niet te beoordelen of er een toename is van slecht gedraineerde kommen waar langdurig water staat, waardoor vegetatie kan verdwijnen.
- *Begrazing Neerlands Reid:* Het gebied wordt intensief begraasd door schapen, koeien en paarden, wat zichtbaar is aan de korte vegetatie met begrazingstolerante soorten. Wel is de

begrazingsdruk door vee de afgelopen 40 jaar met 20% afgenomen. Ook het type beweiding is veranderd: waar vroeger overal schapen graasden, is dit nu meer geconcentreerd in het gebied ten westen van de Oerdsloot.

Gedurende de winterperiode wordt Neerlands Reid begraasd door gemiddeld 400 brandganzen en 100-200 rotganzen. In het voorjaar neemt dit aantal snel toe, tot wel 2000 ganzen per dag.

- *Vegetatie, soortenrijkdom:* Het beweidde Neerlands Reid is en was soortenrijker dan de onbeweidde Hon. Op beide kwelders wordt een afname gezien van het aantal soorten. Een vergelijking met referentiegebieden ontbreekt waardoor de ontwikkelingen niet direct aan bodemdaling en/of regressie en successie gerelateerd kunnen worden.
- *Vegetatie, regressie en successie:* Een analyse van vegetatiekaarten laat zien dat er op veel locaties sinds 1993 regressie is opgetreden, vooral rond de Oerdsloot. Opvallend is dat er niet altijd een direct verband is tussen de mate van diepe bodemdaling en de omvang van regressie. Zo is op De Hon, ondanks grotere diepe bodemdaling, juist minder regressie waargenomen. Daarnaast is er op sommige plekken sprake van aanzienlijke successie. Uit de analyse blijkt verder dat de drie dominante kwelderhabitattypen voldoen aan de oppervlakte- en kwaliteitseisen van Natura 2000. De waargenomen veranderingen in vegetatie vinden hoofdzakelijk plaats tussen zones die alle tot hetzelfde habitatype H1330A behoren.
- *Komvorming:* Op basis van de huidige gegevens is het niet mogelijk om uitspraken te doen over de vorming van kommen en de daaruit voortvloeiende vegetatieveranderingen. De analyse van beschikbare luchtfoto's biedt hiervoor onvoldoende inzicht, en het nieuwe meetnet is nog te recent om betrouwbare conclusies te trekken over deze ontwikkelingen.
- *Ontwikkeling broedvogels:* De broedvogeltellingen op Ameland laten zien dat bijna alle soorten broedvogels in aantal achteruit zijn gegaan, en dat deze tendens overeenkomt met die in het gehele Waddengebied. Met sommige broedvogels, zoals de lepelaar, gaat het zowel op Ameland als elders goed. Daarmee lijkt er geen verband te zijn met de bodemdaling door gaswinning. De broedvogels op het Neerlands Reid lijken het beter te doen dan op De Hon, en soms ook beter dan de landelijke ontwikkeling. Een voorbeeld hiervan is de Noordse stern. Uit de metingen en berekeningen blijkt dat er aanzienlijke verschillen zijn in de overstromingsgevoeligheid van de diverse vogelsoorten. De kleine mantelmeeuw nestelt bijvoorbeeld op locaties die zeer gevoelig zijn voor overstromingen. Als de waterstanden tijdens het broedseizoen in de onderzoeksperiode net zo hoog waren geweest als in de jaren 1980-1990, zouden de nesten van deze soort zijn overstroomd. Vooral de vroege nesten zijn extra kwetsbaar voor overstromingen. Deze bevindingen zijn relevant in het licht van klimaatverandering, die naar verwachting leidt tot een vervroeging van het broedseizoen.

Duinen

- *Bodemdaling:* Uit de metingen blijkt dat de hoogte van het maaiveld van de duinen zeer variabel is, als gevolg van de verstuiwing van zand. De instuiving is het hoogst in de nabijheid van de zeereep en het laagst in de meer landwaarts gelegen duinvalleien. De aanstuiving van zand vanaf het strand is versterkt door de uitvoering van zandsuppleties en door dynamisch duinbeheer, waarbij enkele kerven in de zeereep zijn gegraven.

De gemeten daling van de koppen van de op één meter diepte gefundeerde meetpalen in de duinvalleien bedraagt gemiddeld twintig centimeter, wat neerkomt op een gemiddelde bodemdaling van 8,7 millimeter per jaar. Het maaiveld daalt door instuiving iets minder snel en vlak bij de zeereep stijgt het zelfs.

In de proefvlakken in de duinvalleien wordt een gemiddelde maaiveld daling gemeten van 9,5 millimeter per jaar. In ongeveer een derde van de proefvlakken is het maaiveld echter constant gebleven of zelfs gestegen als gevolg van instuiving. Overigens speelt bij de maaiveld daling ook het afplaggen van duinvalleien voor natuurontwikkeling een aanzienlijke rol.

- *Inundaties:* In de meetreeksen van de afgelopen jaren zijn een aantal tendensen te ontdekken:
 - Tot ongeveer 2017 lijkt het gemiddelde laagste grondwaterpeil te stijgen, maar daarna stabiliseert dat.
 - Het aantal overstromingen stijgt iets sneller dan het aantal hoogwaterstanden.
 - De waterstand waarbij een vallei onderstroomt wordt lager. De hiervoor benodigde waarde daalt met zo'n negen millimeter per jaar.
 - De totale inundatieduur van de valleien blijft ongeveer gelijk.
 - Het zoutgehalte fluctueert maar is het grootst na een inundatie met zeewater als er geen water in een vallei aanwezig was.

- *Vegetatie, milieuomstandigheden:* Sinds 2000 is het gebied natter geworden. Vooral de vegetatie onder de maaiveldhoogte van 2,35 meter +NAP lijkt beïnvloed te worden door vocht. Echter: de ontwikkeling van de vochtige vegetatietypen – gemeten aan het vochtgetal – stagneert de laatste jaren. Ook de stijging van het grondwaterpeil (GLG) lijkt de laatste jaren tot stilstand te komen.

Na overstromingen in 2007 piekte het zoutgehalte in 2008. Daarna nam de verzilting tijdelijk af, maar sinds 2018 worden de omstandigheden weer zouter, mogelijk door de droge zomers. Dit gaat gepaard met een gestage toename van kweldersoorten.

De hoeveelheid voor planten beschikbare stikstof neemt geleidelijk toe, met een stabilisering na 2016. Het is opvallend dat plekken met meer vocht ook meer stikstof lijken te hebben.

Hoewel een verband tussen de vegetatieontwikkeling en bodemdaling voor de hand ligt, wordt deze samenhang niet statistisch aangetoond in de onderzoeksresultaten. Belangrijke andere factoren zijn: de toename van het aantal hoogwaters en stormen vanaf 2001 (en daarmee van het aantal overstromingen), stikstofdepositie, de toename van witte duinen en verbreding van het strand, en beheermaatregelen zoals dynamisch kustbeheer en afplaggen.

Het is lastig om significante tendensen vast te stellen, door de grote variabiliteit in de data.

Anders gezegd: specifieke gebeurtenissen zoals droge en natte perioden en stormen, hebben een merkbaarder en meetbaarder effect dan de gestage bodemdaling.

- *Vegetatie, plantensoorten:* Het aantal verschillende plantensoorten blijft de laatste jaren ongeveer hetzelfde. De groenknolorchis wordt in steeds grotere aantallen gevonden, maar de populatie verplaatst zich. Het voorkomen is waarschijnlijk gestimuleerd door het afplaggen van een deel van de duinvalleien.
- *Habitattypen:* De kwantiteit en kwaliteit van de meeste habitattypen is stabiel. Het habitatype grijze duinen neemt echter in kwaliteit af, een trend die niet direct gelinkt kan worden aan de

bodemdaling door gaswinning. Evenzo hebben de duindoornstruwelen in oppervlakte en kwaliteit te lijden, waarschijnlijk door meerdere factoren, waaronder de vernatting van de duinvalleien. Na het afsterven van de duindoorns op de bodem van de valleien is er echter een opvallende nieuwgroei aan de randen van de valleien geconstateerd. Deze nieuwe vestiging gaat door, hoewel het voor Natura 2000 vereiste habitatoppervlak nog niet is bereikt.

Ontwikkeling oostpunt Ameland en Noordzeekust

Bodemdaling: Er is geen merkbaar effect geconstateerd van diepe bodemdaling door gaswinning op de ontwikkeling van de oostpunt van Ameland. Het directe effect van bodemdaling door gaswinning is waarschijnlijk kleiner dan het effect van andere processen, zoals de beweging van geulen in het zeegat. In de toekomst zal de groei of krimp van Oost-Ameland niet of nauwelijks beïnvloed worden door de nog te verwachten extra bodemdaling, omdat het grootste deel van de bodemdaling door gaswinning al heeft plaatsgevonden tijdens de groeifase van de oostpunt van Ameland.

Suppletievolumes en ontwikkeling van de Noordzeekust: De hoeveelheid zand die daadwerkelijk aan de kust van Ameland is toegevoegd, komt niet overeen met wat eerder werd verwacht. Sinds 1990 is er elk jaar gemiddeld 0,5 miljoen kubieke meter zand gesuppleerd, terwijl modellen uitgingen van slechts 0,2625 miljoen kubieke meter.

Hoewel er door diepe bodemdaling een extra sedimentvraag is ontstaan blijft de eerder getrokken conclusie gerechtvaardigd, dat de bodemdaling door gaswinning geen merkbare negatieve invloed op de ontwikkeling van de Noordzeekust heeft gehad. Dit is mede het gevolg van de uitvoering van zandsuppleties.

Maatschappelijk gebruik

Sinds de start van de gaswinning in 1986 zijn er tal van belanghebbenden betrokken bij de gaswinning, de effecten ervan en/of het monitoringonderzoek. De kennis die is opgebouwd tijdens de langdurige monitoring is breder toepasbaar dan voor Ameland alleen. Via het langetermijn onderzoek op Ameland wordt – naast kennis over diepe bodemdaling door gaswinning – ook veel kennis opgedaan over de morfologie en ecologie van het Waddensysteem en de samenhang daartussen. Ook bieden de resultaten van het onderzoek waardevolle inzichten in de mogelijke effecten van (versnelde) zeespiegelstijging.

Sinds 2000 investeert de NAM bovendien in het toegankelijk maken van de onderzoeksresultaten voor de maatschappij. Zo werd Natuurcentrum Ameland actief betrokken bij de monitoring op het eiland. De in de monitoring opgedane kennis en data wordt deels ook gebruikt in de tijdelijke en vaste exposities in het Natuurcentrum. Hiermee is niet alleen een directe verbinding ontstaan met de Amelanders, maar ook met de talrijke bezoekers van het Natuurcentrum Ameland.

Ook heeft de NAM contact met de leden van de Vennoot over de monitoring. Zij werden onder meer uitgenodigd voor een bespreking van de tussentijdse resultaten van de monitoring, en er werd een gezamenlijk veldbezoek gebracht aan Neerlands Reid om ontwikkelingen op de kwelder waar te nemen en te bespreken. Aangesproken is dat er een toekomstvisie voor het Neerlands Reid ('Vennootvisie') wordt opgesteld, waarin knelpunten en mogelijke oplossingen aan bod komen. Inmiddels wordt hieraan gewerkt, onder leiding van de provincie Fryslân.

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies.....	4
Verklarende woordenlijst	14
1 Inleiding.....	17
2 Werking van het systeem en monitoring van verwachte effecten	23
2.1 Morfologische principes en sturende processen	23
2.2 Van verwachte effecten naar monitoring	28
2.3 Monitoringprogramma	30
3 Bodemdaling en aardbevingen.....	35
3.1 Bodemdalingsprocessen op Oost-Ameland	35
3.2 Monitoring van de bodemdaling door gaswinning	37
3.2.1 Onderzoeksvragen en methoden	37
3.2.2 Resultaten en conclusies	39
3.3 Metingen van de daling van het maaiveld	44
3.3.1 Onderzoeksvragen en methoden	44
3.3.2 Resultaten en conclusies	45
3.4 Aardbevingen	46
4 Ontwikkeling van zeespiegelstijging, waterstanden en neerslag	47
4.1 Zeespiegelstijging	47
4.2 Waterstanden	48
4.3 Neerslag en verdamping	49
5 Gevolgen voor Waddenzee, wadplaten en wadvogels.....	51
5.1 Over het gebied.....	51
5.2 Ontwikkeling wadplaten en bekken.....	56
5.2.1 Onderzoeksvragen en methoden	56
5.2.2 Resultaten en conclusies	58
5.3 Ontwikkeling wadvogels	63
5.3.1 Onderzoeksvraag en methoden.....	63
5.3.2 Resultaten en conclusies	65
6 Gevolgen voor de kwelders: abiotiek.....	69
6.1 Over het gebied.....	69
6.2 Overstromingen en sedimentatie	73
6.2.1 Onderzoeksvragen en methoden	73
6.2.2 Resultaten en conclusies	77
6.3 Erosie kwelderrand en ontwikkeling krekens.....	83

6.3.1	Onderzoeksvragen en methoden	83
6.3.2	Resultaten en conclusies	83
7	Gevolgen voor de kwelders: ontwikkeling vegetatie	87
7.1	Beweiding en begrazing	87
7.1.1	Onderzoeksvraag en methode.....	88
7.1.2	Resultaten en conclusies	88
7.2	Veranderingen in de vegetatie.....	91
7.2.1	Inleiding en Natura 2000-doelen	91
7.2.2	Onderzoeksvragen en methode	91
7.2.3	Resultaten en conclusies	94
8	Gevolgen voor de kwelders: broedvogels	102
8.1	Inleiding.....	102
8.2	Broedparen en overstromingskansen.....	103
8.2.1	Onderzoeksvragen en methoden	103
8.2.2	Resultaten en conclusie	106
9	Gevolgen voor de duinen	114
9.1	Over het gebied.....	114
9.2	Inundatie van duinvalleien.....	118
9.2.1	Onderzoeksvragen en methoden	118
9.2.2	Resultaten en conclusies	121
9.3	Veranderingen in de vegetatie.....	127
9.3.1	Inleiding en Natura 2000-doelen	127
9.3.2	Onderzoeksvragen en methoden	129
9.3.3	Resultaten en conclusies	130
10	Oostpunt van Ameland en Noordzeekustzone	139
10.1	Over het gebied.....	139
10.1.1	Onderzoeksvragen en methoden	140
10.1.2	Resultaten en conclusies	141
11	Maatschappelijke betrokkenheid	144
11.1	Inleiding.....	144
11.2	Belanghebbenden en interactie.....	145
12	Synthese, discussie en aanbevelingen	152
	Literatuur	158

Verklarende woordenlijst

Bodemdaling	Bodemdaling is het proces waarbij het maaiveld, of een niveau in de ondergrond, zakt ten opzichte van een referentievlak, bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (bron: STOWA).
Buitendelta's	Buitendelta's (ook wel ebdelta's genoemd) zijn zandlobben die aan de Noordzeezijde van de zeegaten tussen de eilanden liggen. Ze worden gevormd door het samenspel van golven en getijstroming, vooral tijdens eb (Elias et al., 2012).
Compactie	Compactie is de mechanische verdichting van het korrelskelet. Bij die verdichting neemt de porieruimte af. Dit vertaalt zich direct naar een afname van de dikte van bodemlagen wat voor bodemdaling zorgt.
Getijprisma	Het totale volume water dat het kombergingsgebied bij vloed binnenkomt en bij eb weer verlaat.
GNSS GPS DGPS GPS-RTK	• GNSS, of Global Navigation Satellite System, is een algemene term voor een satellietnavigatiesysteem, dat locatie-informatie verschaft aan GNSS-ontvangers op het aardoppervlak, waar ook ter wereld. • GPS, of Global Positioning System, is het bekendste voorbeeld van een GNSS (van de Verenigde Staten). • DGPS, of Differential Global Positioning System, is een verbeteringstechniek voor het Global Positioning System (GPS) die de nauwkeurigheid van locatiegegevens verbetert door gebruik te maken van een netwerk van vaste, grondgebaseerde referentiestationen om de fouten in GPS-signalen te corrigeren (nauwkeurigheid in de orde van enkele decimeters). • GPS-RTK, of Real-Time Kinematic GPS, levert zeer precieze locatiegegevens in realtime. Dit systeem verbetert de nauwkeurigheid door fouten in GPS-signalen te corrigeren en de precisie van relatieve positionering te verhogen. Het maakt hiervoor gebruik van de fase van het GPS-signaal, waardoor de nauwkeurigheid tot op enkele centimeters nauwkeurig is.
GLG	De Gemiddelde Laagste Grondwaterstand is een maatstaf die de gemiddelde positie weergeeft van het laagste niveau dat het grondwater in een bepaald gebied over een langere periode (meestal over meerdere jaren) bereikt.
Inklinking van de kwelder	Inklinking, ook wel autocompactie genoemd, is een natuurlijk proces onder invloed van het gewicht van de kleilaag, droogte en hoge temperaturen in de zomer (Puijenbroek et al., 2024).
Kom	Lager gelegen en slecht drainerende locatie, op grotere afstand van het wad en de kreken.
Kombergingsgebied	Dit is een getijdegebied achter een zeegat tussen twee Waddeneilanden dat onder invloed van eb en vloed afwisselend leeg- en volstroomt. Het wordt gescheiden van aangrenzende kombergingen door zogenaamde

	waterscheidingen (het wantij). Wordt ook wel vloedkom of bekken genoemd (NAM, 2023).
Kwelder	Begroeide, buitendijks gelegen, dynamische, zoute of brakke gebieden die bij laagwater droog liggen en bij hoogwater, afhankelijk van de hoogteligging, soms of dagelijks, kunnen overstroomd met zeewater (NAM, 2023).
Laagwater (LW)	Laagwater (LW) vormt de scheiding tussen platen en geulen: gebied met bodemligging hoger dan LW behoort tot de platen en lagergelegen behoort tot de geulen (Lugt et al., 2023).
LiDAR	Light Detection And Ranging of Laser Imaging Detection And Ranging: het bepalen van de afstand tot een object of een oppervlak door middel van het gebruik van laserpulsen.
Maaiveld	Het maaiveld is het aardoppervlak inclusief bestrating en aardwerken zoals een talud of dijk, maar zonder vegetatie en bouwwerken zoals huizen en viaducten.
Maaiveldverandering	Netto-effect van sedimentatie, erosie, inklinking en diepe bodemdaling (Puijenbroek et al., 2024).
Oeverwal	Langgerekte hoogte die langs de wadrand of een kreek ligt, door de afzetting van sediment tijdens overstroming.
Opslibbing	Het proces dat slib neerslaat op de kwelder of de wadplaten, waardoor de bodem ophoogt.
Opslibbingssnelheid	De gemiddelde opslibbing over verschillende jaren weergegeven in millimeter per jaar (Puijenbroek et al., 2024).
Pionierszone	Overgang tussen het kale wad en de begroeide kwelder die door de ligging onder gemiddeld hoogwater meestal 1-2 maal per dag overstroomt met zeewater. De begroeiing varieert van ijl tot dichtbegroeid en bestaat met name uit Zeekraal en Engels slijkgras.
PQ (Permanent Kwadraat) en EQ (Eenmalig Kwadraat)	- Een PQ –of permanent proefvlak- is een vast gemarkeerd gebied van een specifieke grootte, dat wordt gebruikt voor langdurig ecologisch onderzoek om veranderingen in vegetatie of andere milieuaspecten over de tijd te monitoren. - Een EQ –eenmalig proefvlak- is een vaak willekeurig gekozen gebied dat eenmalig wordt geobserveerd, bedoeld om beter inzicht te krijgen in de spreiding en variabiliteit van de verzamelde meetdata.
Regressie	Regressie is het tegenovergestelde proces van successie, waarbij de vegetatie terugkeert naar een vroegere fase van successie. Dit wordt veroorzaakt door ‘abiotische stress’, zoals de toename van het aantal overstromingen en de duur ervan of vertrapping (Puijenbroek et al., 2024).
Sediment	Zand en slib samen.

Sedimentatie	Het proces dat er zand of slib neerslaat op de kwelder, wadplaten of in de duinen waardoor de bodem ophoogt.
Successie	Successie op de kwelder is een natuurlijk proces waarbij door maaiveldophoging en/of de afname van abiotische stress de aanwezigheid van competitievere soorten toeneemt, wat leidt tot een geleidelijke verandering in de soortensamenstelling richting een later stadium van successie (Puijenbroek et al., 2024).
Vertrapping	Vertrapping is extra compactie door het gewicht van grazers.
Vloedkom	Zie kombergingsgebied.
Wantij	Het wantij is de plaats, gelegen tussen een eiland en de kust, waar tijdens vloed de beide getijstroomten samenkomen die zich via de zeegaten aan weerszijden van het eiland naar het gebied tussen eiland en kust bewegen. Op het wantij is wel sprake van eb en vloed maar nauwelijks van stroming.
Zeegat	De verbinding tussen de open Noordzee en de Waddenzee. Tweemaal daags stroomt via het zeegat en het achterliggende geulensysteem water het getijbekken binnen. Bij vloed stromen de ondiepe wadplaten onder water. Tijdens eb gebeurt het omgekeerde. Door de geulen stroomt het water via het zeegat weer terug de Noordzee in (Elias et al., 2012).
Zeespiegelstijging	Zeespiegelstijging is de toename van de hoogte van het wereldzeepervlak. Dit wordt uitgedrukt in twee maten: • Absolute zeespiegelstijging: Dit is de verhoging van de zeespiegel ten opzichte van de geoïde. • Relatieve zeespiegelstijging: Dit is de combinatie van absolute zeespiegelstijging en de daling van het land (Deltares, 2023, Zeespiegelmonitor).
Zeeniveau	Het zeeniveau is de gemiddelde hoogte van de zeespiegel (het vlak van de zee), als alle variaties die het gevolg zijn van de getijden worden weggemiddeld.
Zeereep	De meest zeewaarts gelegen duinenrij.

1 Inleiding

Sinds 1986 wordt er gas gewonnen in de diepe ondergrond van Oost-Ameland. Als gevolg hiervan daalt de bodem. Om de gevolgen daarvan op de natuur te bepalen, startte in 1987 een uitgebreid monitoringprogramma, waarvan de resultaten periodiek worden geëvalueerd.

Het huidige rapport vertegenwoordigt de zesde evaluatie, na 36 jaar gaswinning. Het bevat een samenvatting van de bevindingen uit achterliggende rapporten over de verschillende monitoringonderdelen, met nadruk op de periode 2017 t/m 2022. Dit hoofdstuk beschrijft de context en opzet van de huidige analyse.



Productielocatie van de NAM op Oost-Ameland

Achtergrond van de winning en de monitoring

De start van de winning

In 1962 werd bij proefboringen onder Oost-Ameland gas gevonden, op een diepte van 3300 tot 3600 meter. Het aardgas is gevormd in lagen steenkool die dateren uit het Carboon tijdperk. Het gas heeft zich vervolgens naar een bovenliggende poreuze zandsteenlaag verplaatst. Boven deze zandsteenlaag ligt een afdichtende zoutlaag. In 1986, ongeveer 25 jaar na de ontdekking, begon de Nederlandse Aardolie Maatschappij (de NAM) met het winnen van het gas. Toentertijd was het de bedoeling dat de gaswinning tot 2020 zou worden voortgezet.

Bodemdaling door gaswinning

Vanaf de start van de gaswinning was duidelijk dat de bodem onder het oosten van Ameland hierdoor zou gaan dalen. Tijdens het winnen van het gas neemt de druk in de gashoudende zandsteenlaag af. Door het gewicht van de lagen erboven wordt de zandsteenlaag vervolgens ineengedrukt, en dalen ook de bovenliggende lagen. Aan het oppervlak (maaiveld) veroorzaakt dit bodemdaling, al wordt de maaiveldhoogte ook door andere processen bepaald, zoals de afzetting van slib en zand (zie Hoofdstuk 3).

Mogelijke effecten: vooronderzoek en start monitoring

Om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van de bodemdaling op de natuur, vroeg de NAM aan het toenmalige Waterloopkundig Laboratorium (WL)² en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN)³ om hier onderzoek naar te doen. Uit hun studies bleek destijds dat de gevolgen tamelijk groot konden zijn: kwelders die terug zouden keren naar een vroeger stadium van ontwikkeling, nattere duinvalleien, langer onder water staande wadplaten en minder wadvogels.

Dit waren veelal veranderingen waar It Fryske Gea, de natuurbeheerder van Oost-Ameland, niet op zat te wachten. Daarom vroegen zij de NAM om een monitoringprogramma op te zetten om de effecten duidelijk in kaart te brengen zodat, indien nodig, maatregelen genomen konden worden. De NAM pakte dit op, wat het begin markeerde van een langdurige monitoring, die in 1987 startte en nog steeds voortduurt.

Bij de start van de monitoring werd een onafhankelijke commissie ingesteld, de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, ook wel Bodemdalingscommissie Ameland genoemd. De commissie doet zelf geen onderzoek, maar besteedt de monitoring uit aan onafhankelijke onderzoeksinstanties⁴. Elke zes jaar worden de verzamelde monitoringgegevens en de impact van gaswinning integraal geëvalueerd en onderworpen aan een audit (zie Figuur 1-2).



Tweejaarlijks veldbezoek aan Ameland door de Bodemdalingscommissie Ameland

² Waterloopkundig Laboratorium, 1987

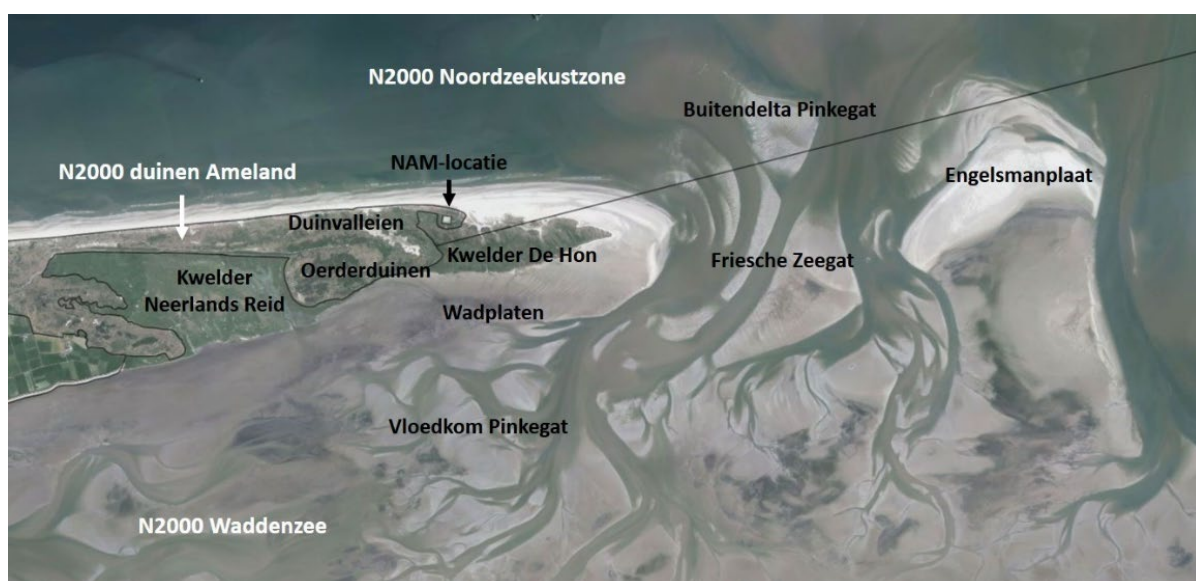
³ Dankers et.al, 1987, Rijksinstituut voor Natuurbeheer

⁴ In de monitoringperiode 2017-2023 waren dit: Deltares, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Natuurcentrum Ameland, EcoCurves, Brandhof Natuur & Platteland, Wageningen Marine Research, Wageningen Environmental Research

Wijziging winning en vergunning Natuurbeschermingswet (Nb-wet)

In 2011 vroeg de NAM toestemming aan het toenmalige ministerie van Economische Zaken (EZ) om het volume van de winning te vergroten en de productieduur tot 2035 te verlengen. EZ stemde daar, onder voorwaarden, mee in.

De NAM moest voor deze wijziging van de gaswinning een vergunning aanvragen krachtens de Natuurbeschermingswet 1998. Deze vergunning vereiste een 'passende beoordeling'⁵ van de effecten van de gewijzigde gaswinning op de instandhoudingsdoelen van drie beschermde Natura 2000-gebieden: de Waddenzee, de duinen van Ameland en de Noordzeekustzone. Zowel de effecten van de nieuwe gaswinning als die van de bestaande gaswinning moesten worden meegenomen. In 2013 werd de NB-wetvergunning aan de NAM toegekend, geldig tot en met 2035, voor zowel de uitbreiding als de bestaande Ameland-winning.⁶ Een belangrijke voorwaarde in de vergunning is dat de NAM verplicht is alle relevante aspecten van de Natura 2000-gebieden te monitoren.



Figuur 1-1. Onderdelen Oost-Ameland. De zwarte lijn geeft de grens aan tussen de verschillende Natura 2000-gebieden.

Status van de monitoring

Door de vergunningverlening veranderde de status van de monitoring. Waar de NAM tot 2013 vrijwillig opdracht gaf tot de monitoring, werden onderdelen ervan na 2013 verplicht. De vergunning vereist dat er geen meetbare nadelige effecten van de gaswinning mogen optreden in de Natura 2000-gebieden, met betrekking tot oppervlakte en hoogte van platen, habitattypen, habitatsoorten en de functie van de gebieden voor relevante vogelsoorten.

De vergunning specificeert welke habitattypen en soorten moeten worden gevolgd. Elke zes jaar moet de NAM een integraal evaluatierapport opstellen waarin de verzamelde monitoringgegevens en de impact van bodemdaling door gaswinning worden beoordeeld. Op basis hiervan kan de monitoring indien nodig worden aangepast.

⁵ Arcadis, Alterra en Imares, 2011

⁶ Vergunning, kenmerk: DGNR-RRE/12376114

Deze rapportage

Dit rapport vormt de zesde evaluatie van de gegevens, van inmiddels 36 jaren monitoring, met nadruk op de afgelopen zes jaar (vanaf 2017). Het rapport is gebaseerd op de deelrapportages die zijn opgesteld voor de Ameland-monitoring. In elk hoofdstuk wordt aangegeven welke van deze rapporten als input zijn gebruikt. Zowel deze recente rapportages als oudere Ameland-rapportages en opmerkingen van de auditcommissie zijn te vinden op de website [Waddenzee.nl](https://waddenzee.nl).

Het Pinkegat, een gebied in de Waddenzee, wordt beïnvloed door zowel de Amelandwinning als de gaswinning vanaf het vasteland (bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, bekend als de MLV-winningen). Voor de ontwikkelingen in dit gebied wordt daarom ook gebruik gemaakt van rapportages opgesteld voor de MLV-monitoring. Waar dit van toepassing is, wordt dit duidelijk aangegeven met literatuurverwijzingen in de vorm van voetnoten. De MLV-documenten zijn toegankelijk via [NAM-website](https://nam-website.nl).

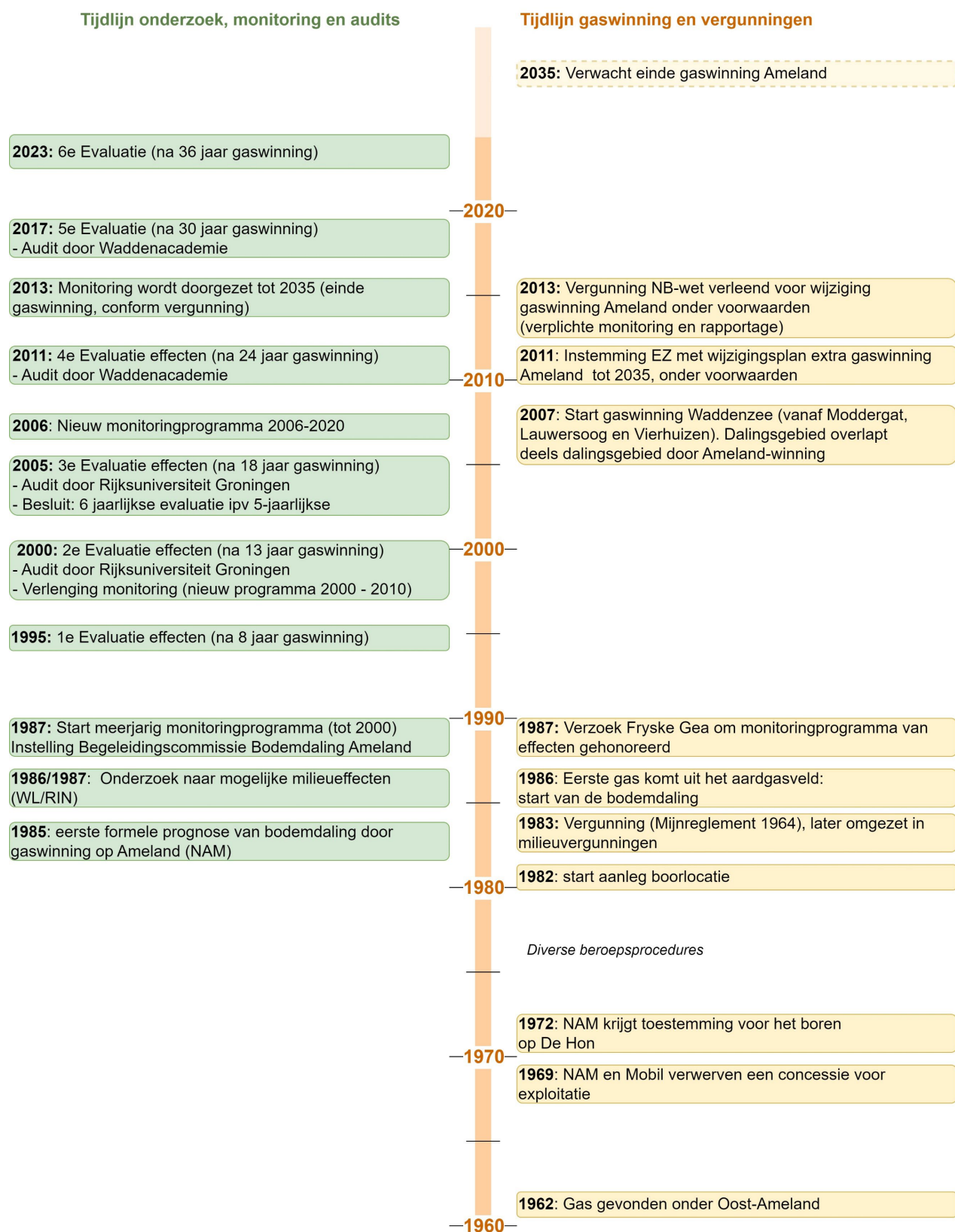
Om tot een goede integratie en synthese te komen⁷, is deze rapportage gebaseerd op een analyse van het morfologisch systeem door Deltares, ook wel conceptueel model genoemd⁸. Dit model beschrijft de processen die bepalend zijn voor het morfologische systeem rondom de gaswinningslocatie Oost-Ameland en de samenhang tussen zeegat, wadden, kwelders en duinen. Inzicht in deze sturende processen is essentieel om de effecten van bodemdaling door gaswinning te kunnen interpreteren.



Luchtfoto Oost-Ameland (met in het midden de NAM-productielocatie)

⁷ De auditcommissie deed in 2017 de aanbeveling om te werken aan betere integratie en synthese.

⁸ Lugt et al., 2023, Deltares



Figuur 1-2 Tijdlijn Gaswinning Ameland

Leeswijzer

Deze integrale rapportage is als volgt gestructureerd:

- *Hoofdstuk 2:* Dit hoofdstuk beschrijft de werking van het morfologische systeem van Ameland. Het behandelt ook de theoretisch mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning en het monitoringprogramma.
- *Hoofdstuk 3:* Gaat in op de daadwerkelijke bodemdaling op Oost-Ameland, onderscheid makend tussen de daling van de diepe ondergrond en de oppervlaktedaling (maaiveld).
- *Hoofdstuk 4:* Presenteert de cijfers en scenario's die zijn gehanteerd in de onderzoeken met betrekking tot zeespiegelstijging, waterstanden, neerslag en windopzet.
- *Hoofdstuk 5:* Richt zich op de monitoringresultaten van wadplaten en wadvogels.
- *Hoofdstuk 6, 7 en 8:* Deze hoofdstukken bespreken de ontwikkelingen op de kwelders. Hoofdstuk 6 behandelt abiotische aspecten zoals sedimentatie, hoofdstuk 7 gaat over kweldervegetatie, en hoofdstuk 8 focust op broedvogels op de kwelder.
- *Hoofdstuk 9:* Concentreert zich op de duinen, met name op de ontwikkeling van duinvalleien.
- *Hoofdstuk 10:* Onderzoekt de aangroei of afslag van de Noordzeekust en de oostpunt van Ameland.
- *Hoofdstuk 11:* Beschrijft de maatschappelijke betrokkenheid bij de gaswinning en monitoring op Ameland.
- *Hoofdstuk 12:* Dit hoofdstuk bevat een synthese van de bevindingen, alsmede discussiepunten en aanbevelingen.

2 Werking van het systeem en monitoring van verwachte effecten

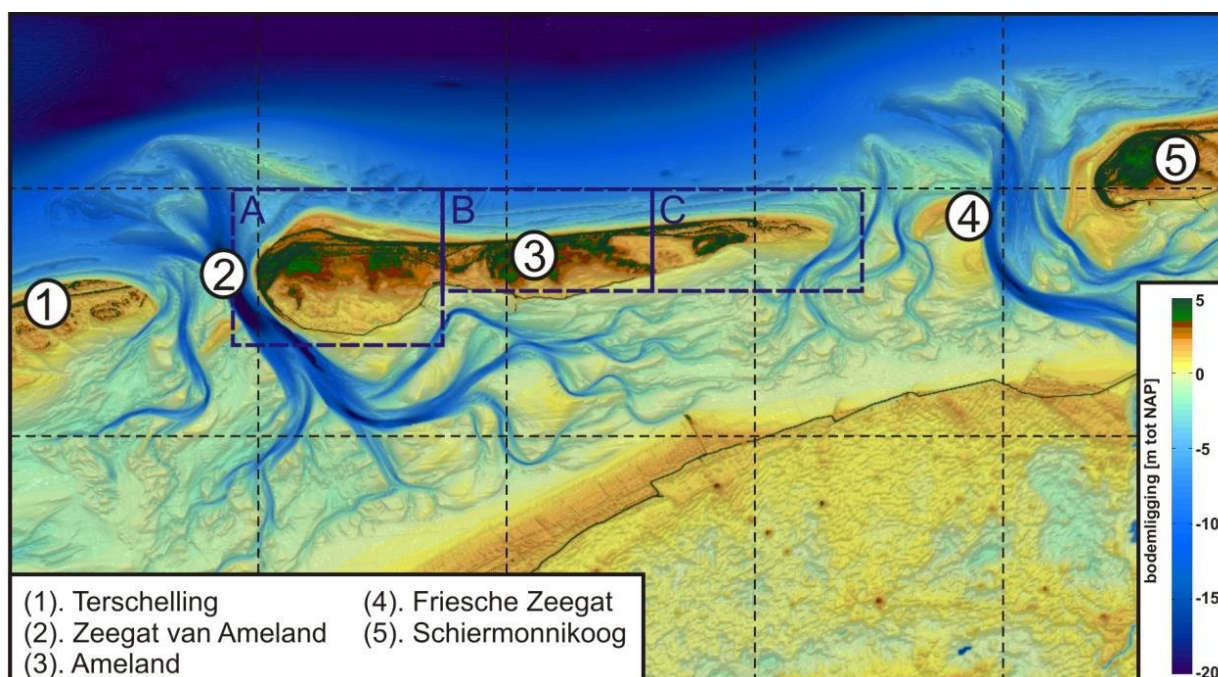
Juist in sterk dynamische gebieden zoals de oostpunt van Ameland en omgeving, is het soms lastig om de effecten van bodemdaling door gaswinning te herkennen. Om de monitoringresultaten te kunnen 'duiden' is het dan ook belangrijk om inzicht te hebben in de principes en sturende processen van het morfologische systeem. Daarom start dit hoofdstuk met een korte beschrijving daarvan. Ook in de hoofdstukken over wadplaten, kwelders, duinen en eilandpunt komen deze sturende processen terug.

Hierna focust het hoofdstuk op het monitoringprogramma dat is opgestart om de daadwerkelijke veranderingen op het eiland te volgen. Het behandelt de belangrijkste onderzoeksvragen, de gemeten parameters, de methodiek van deze metingen en de betrokken organisaties.⁹

2.1 Morfologische principes en sturende processen

Beschrijving van het systeem

Ameland is ingesloten door twee zeegaten: het zeegat van Ameland aan de westzijde en het Friesche zeegat aan de oostzijde (zie Figuur 2-1).



Figuur 2-1. Het morfologische systeem van Ameland en omgeving. De cijfers in de figuur representeren het grootschalige systeem (zie legenda), terwijl de letters verwijzen naar de morfologische eenheden op Ameland: A) de westelijke eilandkop B) de eilandkust, en C) de oostelijke eilandstaart. De bodemhoogte weerspiegelt de situatie van 2011/2012.

⁹ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Lugt et al., 2023, Deltares
- Wang en Krol, 2024, Deltares en Natuurcentrum Ameland
- Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2006

Deze zeegaten vertonen een verschillend morfologisch karakter. Aan de oostzijde kan de natuurlijke dynamiek vrijwel ongestoord plaatsvinden. Aan de westzijde zijn er diverse harde elementen aangebracht en wordt er regelmatig zand toegevoegd (zandsuppleties) om te voorkomen dat de kust afkalft.

Het gebied dat wordt beïnvloed door de gaswinning op Ameland bevindt zich in en rondom het onbewoonde oosten van het eiland. Morfologische elementen in dit systeem zijn:

- *Het Friesche zeegat*, gelegen tussen Ameland en Schiermonnikoog. Dit zeegat bestaat uit twee geulsystemen, het Pinkegat en de Zoutkamperlaag, gescheiden door de Engelmansplaat.
- *Buitendelta van het Friesche zeegat*. Dit is een zandige ondiepte aan de Noordzeezijde van het zeegat. De buitendelta is gevormd door het samenspel van golven en de waterstroming tijdens getijden, vooral tijdens eb.
- *De kombergingsgebieden* van de geulen Pinkegat en Zoutkamperlaag, ook wel bekkens of vloedkommen genoemd. Dit zijn gebieden in de Waddenzee die bij vloed (via de geulen) vollopen en bij eb weer leegstromen. Daarbij vallen sommige wadplaten droog.
- *Eilandstaart*. Dit is het oostelijke uiteinde van Ameland, bestaande uit een grotendeels onbegroeide strandvlakte met enkele duinen, onderbroken door washovers (geulen waar bij stormvloed water vanuit de zee stroomt). Het is een zeer dynamisch gebied dat wordt gekenmerkt door perioden van afslag en perioden van aangroei.
- *Duinen van Ameland*. Deze bestaan uit een zeereep, de eerste rij duinen dicht bij het strand, en daarachter gelegen duinen en duinvalleien. Vooral in de buurt van de zeereep is er veel invloed van zandverstuiving.
- *De kwelders Neerlands Reid en De Hon*. Deze zijn ontstaan op een onbegroeide strandvlakte en verder ontwikkeld door overstroming, sedimentatie en begroeiing. De door mensen aangelegde Kooioerdstuifdijk heeft bijgedragen aan deze ontwikkeling.

Principes van morfologische ontwikkeling

Op basis van de eigenschappen van het morfologische systeem is het mogelijk voorspellingen te doen over de invloed van bodemdaling veroorzaakt door gaswinning. Daarbij is het belangrijk om te beseffen dat alle deelgebieden binnen dit systeem onderhevig zijn aan dezelfde natuurlijke basisprincipes:

Sedimentuitwisseling

Het gebied dat te maken heeft met bodemdaling, maakt deel uit van een systeem waarin zand en slib (sediment) voortdurend tussen verschillende gebieden wordt verplaatst door natuurkrachten zoals getijden, golven en wind. Deze uitwisseling van sediment vindt niet alleen dagelijks plaats, bijvoorbeeld door getij, maar ook tijdens minder frequente gebeurtenissen zoals overstromingen door stormvloed. De aan- en afvoer van sediment is essentieel voor de morfologische ontwikkeling van het bodemdalingsgebied. Bodemdaling kan gecompenseerd worden door voldoende afzetting van slib en zand.

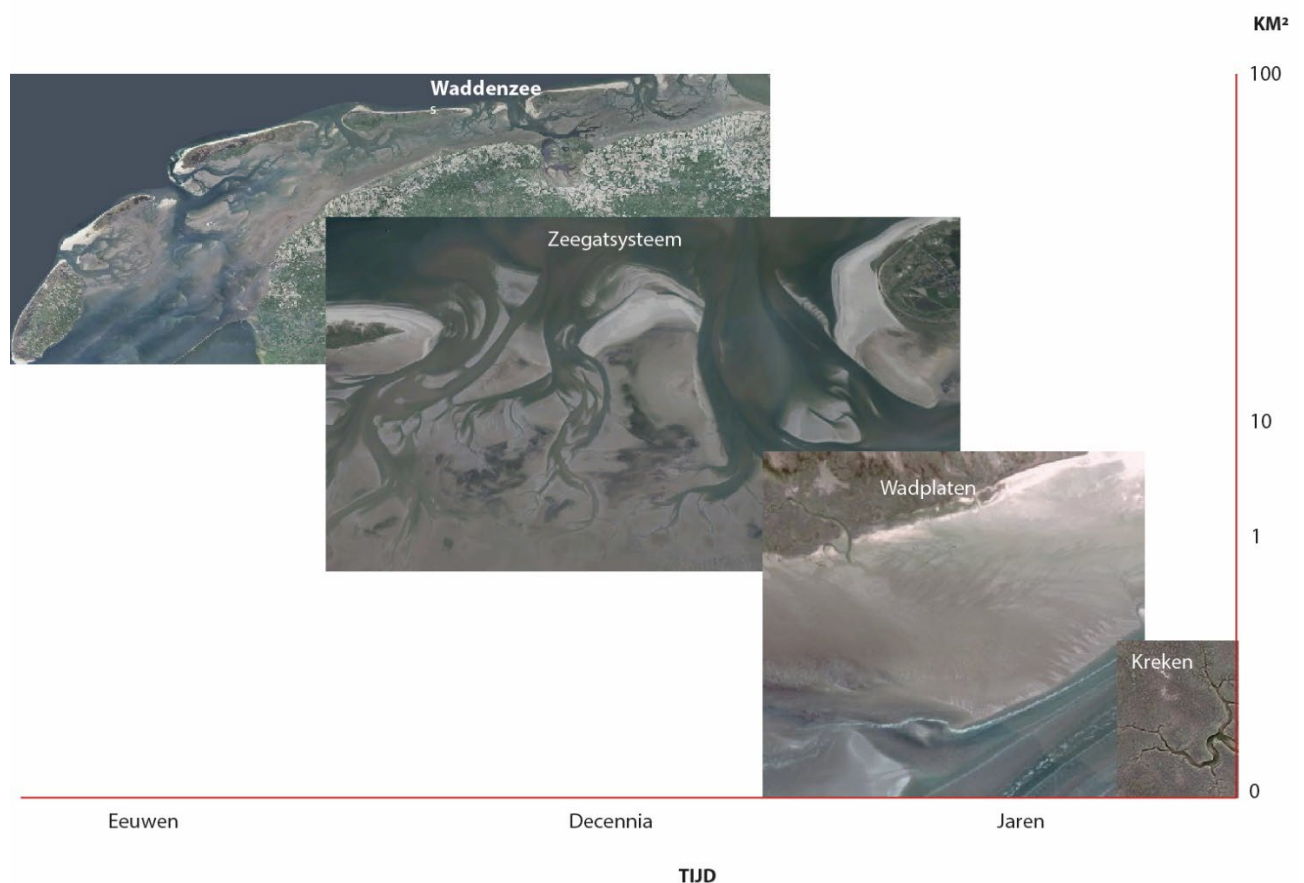
Morfologisch evenwicht

Een zeegat dat niet wordt beïnvloed door externe sturende processen, zoals menselijke ingrepen, zeespiegelstijging en bodemdaling, en waar altijd voldoende sediment is, voldoet aan bepaalde

evenwichtsrelaties. Dit uit zich bijvoorbeeld in een specifieke verhouding tussen platen en geulen. De praktijk is echter anders: het systeem wordt wél door externe factoren beïnvloed en is daarom morfologisch niet in evenwicht. Om het evenwicht te herstellen trekt de Waddenzee sediment aan (de zogenaamde sedimentbehoefte). Het sediment is afkomstig vanuit de Noordzee, de eilandkusten en de buitendelta (de sedimentbronnen). Het volume getransporteerd sediment wordt bepaald door de sedimentbehoefte, de beschikbaarheid in de sedimentbronnen en de hoeveelheid sediment die getijdenstromingen en golven via het zeegat kunnen transporteren. Hieraan is een limiet. In het oostelijk deel van de Waddenzee, waaronder het Friesche Zeegat, bevindt de morfologie zich relatief dicht bij een dynamisch evenwicht, en is de sedimentbehoefte naar verhouding kleiner dan in het westelijk deel van de Waddenzee. In het oostelijke deel is de transportcapaciteit van het zeegat niet beperkend om te voldoen aan de sedimentbehoefte.

Aandrijvende krachten op verschillende schaalniveaus

Tot slot spelen de processen die de morfologische ontwikkeling sturen op verschillende schaalniveaus, variërend van golven met een tijdschaal van seconden tot zeespiegelstijging met een tijdschaal van eeuwen. De processen op verschillende schaalniveaus beïnvloeden elkaar (zie Figuur 2-2).



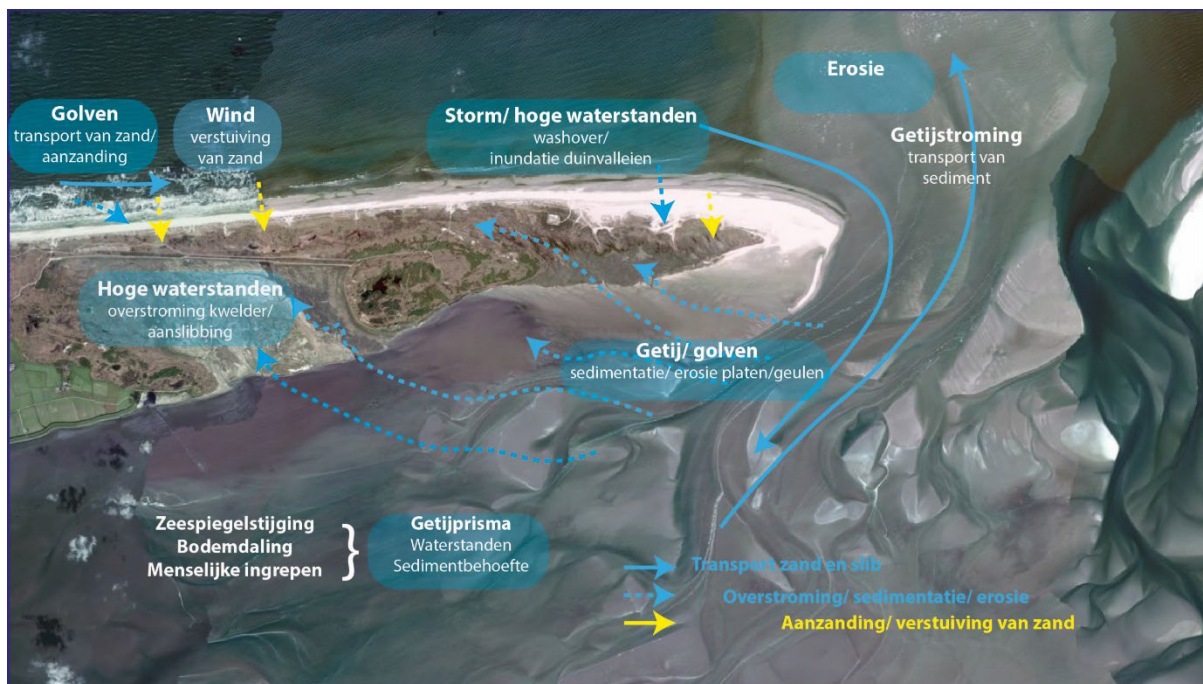
Figuur 2-2. Deze figuur illustreert verschillende tijd- en ruimteschalen voor de ontwikkeling van het morfologische systeem. Het systeem is samengesteld uit morfologische elementen, die op hun beurt zijn opgebouwd uit nog kleinere onderdelen. Over het algemeen geldt: hoe groter de eenheid, hoe meer tijd de kenmerkende ontwikkeling van die eenheid in beslag neemt.

Sturende processen van het morfologische systeem

Externe, grootschalige processen

Dit zijn processen die plaatsvinden over eeuwen en de morfologie van het hele Waddensysteem beïnvloeden. Hieronder volgen enkele voorbeelden van deze processen:

- *(Versnelde) zeespiegelstijging.* De stijging van de zeespiegel heeft tot gevolg dat de sedimentbehoefte van de Waddenzee enigszins toeneemt. Bij voldoende en ongestoorde sedimentaanvoer vanuit de Noordzee groeien wadplaten, kwelders en duinen mee met de zeespiegelstijging. Als de zeespiegel versneld gaat stijgen en er onvoldoende aanvoer van sediment is, kan dat de kans op inundatie van wadplaten en kwelders en duinvalleien vergroten (zie Hoofdstuk 4.1).
- *Bodemdaling door gaswinning.* Net als bij zeespiegelstijging, leidt bodemdaling tot een toename van de sedimentbehoefte en tot een potentieel hogere kans op inundatie van wadplaten en kwelders. Maar er zijn verschillen: bodemdaling door gaswinning is lokaal en beperkt tot een periode van enkele decennia, en is niet gelijkmatig verdeeld over het morfologische systeem (zie Hoofdstuk 3).
- *Afsluiting van Lauwerszee en Zuiderzee.* De afsluiting van delen van getijdenbekkens, zoals de Zuiderzee en de Lauwerszee, heeft een aanzienlijke en langdurige invloed op de sedimentbalans van grote delen van de Waddenzee. Door de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 bijvoorbeeld ontstond in het westelijke deel van de Waddenzee (Marsdiep, Vlie en Eierlands Gat) een grote sedimentbehoefte die nog steeds het systeem sterk bepaalt.
In het oostelijk deel van de Waddenzee was vooral de afsluiting van de Lauwerszee van groot belang. Dit resulteerde in een situatie waarbij de geulen te ruim waren en een buitendelta die 'te groot was' voor het natuurlijke evenwicht. Als gevolg daarvan werd overtollig zand afgezet op de kust van Schiermonnikoog en in de grote geul Zoutkamperlaag. Ook leidde dezelfde afsluiting tot erosie van de Engelsmanplaat.
- *Externe sedimentaanvoer.* De kombergingsgebieden van de Waddenzee trekken vrijwel allemaal zand en slib aan om een evenwicht te bereiken. Zand wordt vervoerd over de bodem en komt vooral van de kust van de Waddeneilanden en de Noordzeekustzone. De sedimentbehoefte van de Waddenzee kan daarom leiden tot kusterosie. Om dit op te vangen, worden langs de Noordzeekust zandsuppleties uitgevoerd (zie Hoofdstuk 10).
Slib, dat fijner is, wordt alleen zwevend in de waterkolom vervoerd en komt van verder weg, zoals van de grote rivieren, de Engelse kusten en de Vlaamse kleibanken. Tot nu toe zijn er geen aanwijzingen dat het beschikbare aanbod van slib een beperkende factor zou kunnen worden voor de sedimentbehoefte van de Nederlandse Waddenzee.



Figuur 2-3. Overzicht van de belangrijkste sturende krachten die de ontwikkeling van het morfologische systeem in het bodemdalingsgebied beïnvloeden. De blauwe en gele pijlen geven de uitwisseling van sediment weer, die de verschillende deelgebieden van het systeem met elkaar verbinden.

Interne dynamiek

Voor de ontwikkeling van de morfologie, zijn niet alleen grootschalige sturende krachten van belang, maar ook kortstondige processen, die zich op kleinere schaal afspelen. Deze staan bekend als 'interne dynamiek'. Voorbeelden hiervan zijn het verplaatsen, ontstaan en verdwijnen van getijdegeulen of de vorming van jonge duinen op stranden.

Belangrijke factoren in deze dynamiek zijn veranderingen in waterstanden, golven, stormen en neerslag. Hier zijn de belangrijkste factoren:

- **Waterstanden (getijden en windopzet).** Getijden zijn de belangrijkste factor voor de uitwisseling van sediment tussen de Noordzeekustzone, de buitendelta en de Waddenzee. Ze beïnvloeden hoe vaak zandplaten en kwelders overstroomd worden en hebben ook invloed op het zoete grondwater van de kwelders. Daar kan de getijdebeweging tot ongeveer vijftig meter van de Waddenzee worden gevolgd, omdat het zoete water op het zoute water drijft. Er zijn verschillende getijdecycli:
 - Het dagelijks getij met hoog- en laagwater (met een getijverschil van ongeveer 220 centimeter).
 - De springtij-doodtij cyclus (met een periode van 14.75 dagen)
 - Een jaarcyclus in het getij. Waterstanden zijn gemiddeld hoger in de winter dan in de zomer.
 - Een variatie met een periode van 18,6 jaar, die wordt veroorzaakt door de positie van de maan. Deze variatie leidt tot schommelingen in het getijverschil.
- **Wind en stormen.** Deze beïnvloeden zowel de waterstanden als de golven in de Noordzee en de Waddenzee en hebben aanzienlijke invloed op de wadplaten in het bekken.

Tijdens stormen uit het zuidwesten tot het noorden komen periodes met verhoogde waterstanden en hoge golven samen. Golven vanuit de Noordzee zijn het hoogst bij noordwesterwind en kunnen, door de oriëntatie van het zeegat, het kombergingsgebied bereiken. Bij harde oostenwind is de waterstand juist verlaagd. Golfwerking op de platen is dus het meest prominent tijdens periodes met westerwind, en de mate van deze golfwerking op individuele platen hangt af van hun positie in het kombergingsgebied.

Daarnaast leiden stormen ook tot hogere stroomsnelheden in het zeegat, wat invloed heeft op de hoeveelheid sediment die in suspensie door het zeegat kan stromen. Onder stormcondities is dat groter dan tijdens kalme condities. De golven binnen het bekken zijn eveneens hoger, wat erosie van de platen tot gevolg kan hebben. Bovendien hebben stormen grote invloed op de kwelders en duinen, omdat ze verschillende – normaal gesloten subsystemen – met elkaar in contact brengen.

- *Neerslag en verdamping.* Deze spelen een belangrijke rol bij de grondwaterstanden in kwelders, duinen en duinvalleien.

2.2 Van verwachte effecten naar monitoring

In 1987 werd een rapport uitgebracht over de mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning.¹⁰ Dit rapport vormde de basis voor de opzet van het monitoringonderzoek. Met behulp van een 'effectenschema' werd aangegeven welke effecten er werden verwacht op de hydromorfologie, vegetatie en fauna.

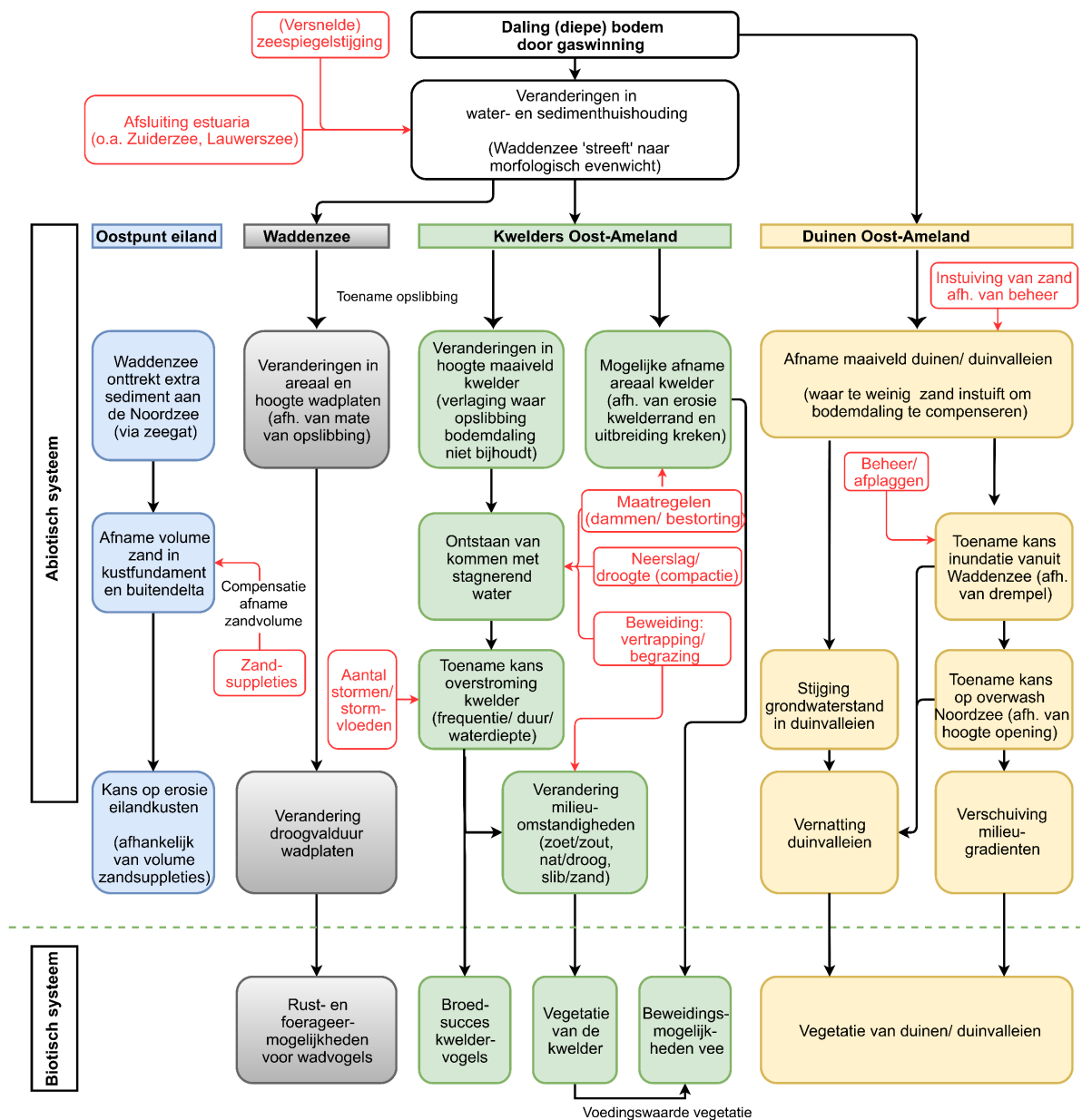
Sindsdien is de kennis over de effecten van bodemdaling aanzienlijk toegenomen. Sommige van de oorspronkelijk verwachte effecten bleken minder belangrijk of zichtbaar te zijn dan eerder gedacht. Op andere plekken bleek juist behoefte te zijn aan een fijnmaziger meetnet of aan meer frequente waarnemingen. Als gevolg hiervan heeft de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland het monitoringprogramma meerdere malen bijgesteld. Recente wijzigingen in het programma, zoals de introductie van een nieuw meetnet op de kwelders en het gebruik van drones voor het lokaliseren van nesten, worden besproken in de hoofdstukken over de verschillende deelgebieden.

Ook de status van het gebied, en daarmee de status van de monitoring (zie Hoofdstuk 1), zijn veranderd. Vrijwel het gehele dalingsgebied is nu onderdeel van de beschermde Natura 2000-gebieden Noordzeekustzone, Duinen van Ameland of Waddenzee. Figuur 2-4 illustreert de verwachte effecten van bodemdaling als gevolg van gaswinning, welke de basis vormen voor het monitoringprogramma. De figuur is gebaseerd op de integrale analyse van het morfologisch systeem door Deltares, de passende beoordeling uit 2011¹¹, en de effectenschema's die zijn opgenomen in het onderzoeksrapport uit 1987.¹²

¹⁰ Dankers et al., 1987, Rijksinstituut voor Natuurbeheer

¹¹ Arcadis, Alterra en Imares, 2011

¹² Dankers et al., 1987, Rijksinstituut voor Natuurbeheer



Figuur 2-4. Beeld van verwachte effecten van gaswinning op Ameland en gemonitorde parameters

2.3 Monitoringprogramma

Deze paragraaf bevat een overzicht van de lopende monitoring die relevant is voor het bepalen van de effecten van de gaswinning op Ameland. Tabel 2-1 benoemt vragen die ten grondslag liggen aan deze monitoring, en parameters die worden gemeten. Tabel 2-2 zet alle gemonitorde parameters op een rij. Beide tabellen zijn primair gebaseerd op het Ameland-monitoringprogramma. Omdat het Pinkegat ook door de MLV-winning wordt beïnvloed, worden in de tabellen ook relevante parameters uit deze MLV-monitoring benoemd.

Tabel 2-1. Overzicht van de gemonitorde parameters, in relatie tot de onderzoeksvragen

Vraag	Doelen/ eisen waarmee rekening gehouden moet worden	Parameters/methode
Hoe groot is de bodemdaling als gevolg van gaswinning?	De monitoring van de bodemdaling door gaswinning vindt plaats conform de Mijnbouwwet.	Metingen van de hoogte van de diepe ondergrond (met behulp van peilmerken die op stabiele ondergrondse laag zijn gefundeerd): • GNSS (Global Navigation Satellite System), GPS, zowel permanente als campagne metingen. • Waterpassen
Waddenzee/ wadplaten Wat is het effect van de bodemdaling door gaswinning op de droogvallende wadplaten in de Waddenzee en op wadvogels?	Behoud van oppervlakte slik- en zandplaten (H1140) Behoud van omvang en kwaliteit foerageergebied voor broed-, trek- en overwinterende vogels (zie aanwijzingsbesluit Waddenzee) De door de winning optredende bodemdaling op het wad moet worden gecompenseerd door het natuurlijke sedimentatieproces en zandsuppletie Wordt gemonitord/ gerapporteerd in het kader van de MLV-winning	Vorm, hoogte en areaal van droogvallende platen: • LiDAR-metingen • Vaklodingen • GNSS in combinatie met waterpassen bij de sedimentgrids bij de GNSS-peilmerkclusters op het Wad. • Spijkermetingen op wadplaten (opslibbing) Beschikbaarheid voedsel wadvogels: • Bodemdierinventarisatie (SIBES) • Oogstbaar voedselaanbod van 13 soorten wadvogels • Droogvalduur platen (afgeleid uit LIDAR-metingen) Overtijdende wadvogels: • Tellingen wadvogels op hoogwatervluchtplaatsen (rondom Friesche Zeegat, bij Ameland en in referentiegebieden)
Kwelders Oost-Ameland Wat is het effect van de bodemdaling door gaswinning op de habitats	Behoud oppervlak en verbetering kwaliteit Schorren en zilte graslanden, buitendijks (H1330A)	Bepaling hoogte maaiveld en sedimentatie van proefvlakken: • Maaiveldhoogte: GNSS-RTK

en vegetatie van de kwelders van Oost-Ameland? En wat is het effect op de broedvogels op de kwelder?	Behoud oppervlak en kwaliteit Zilte pionierbegroeiing, Zeekraal (1310A) Geschiktheid van de kwelder voor kwalificerende soorten broedvogels (lepelaar, kluut, bontbekplevier, grote stern, noordse stern, visdief) Te monitoren in kader van NB-wetvergunning Winning Ameland <i>(alsmede: hoogteligging, sedimentatie, overstromingsfrequentie, overstromingsduur, grondwaterpeil en grondwaterkwaliteit)</i>	• Sedimentatie: sedimentatie Erosie Balk (SEB) • Sedimentatie: sedimentatieplaten Frequentie, duur en waterhoogte overstromingen: • Drukmeters • Waterstanden / hoogwaterevents (bij NES) Ontwikkeling vegetatie: • Vlakdekkende vegetatiekaart (VEGWAD) • Vegetatie-opnamen proefvlakken • Referentieonderzoek • Begrazingsgegevens Neerlands Reid Milieucondities bij proefvlakken: Redoxwaarde, elektrische conductiviteit, percentage organische stof, vochtgehalte, bulkdichtheid Broedvogels op de kwelder: • Opsporen nesten via drones • Locatie/ hoogte nesten (DGPS) • Overstromingsrisico
Duinen Oost-Ameland Wat is het effect van de bodemdaling door gaswinning op de habitats en vegetatie van de duinen en duinvalleien van Oost-Ameland?	Behoud oppervlak en kwaliteit van: Witte duinen (H2120), grijze duinen kalkrijk (H2130A), duindoorn–struwelen (H2160), kruipwilgstruwelen (H2170) en Vochtige duinvalleien hogere moerasplanten (H2190D) Uitbreiding oppervlak en verbetering kwaliteit Grijze duinen kalkarm (H2130B), vochtige duinvalleien kalkrijk (H2190B) Geen significante negatieve effecten op de habitatsoort groenknolorchis Te monitoren in kader van NB-wetvergunning Winning Ameland	Hoogte maaiveld proefvlakken: • Maaiveld: GPS-RTK • Digitaal Hoogtemodel Grondwaterstand in de tijd: • Peilbuizen Frequentie en duur van inundatie: • Metingen bij meetpalen in veertien valleien • Waterstanden Nes en Wierumergronden • Foto's van optreden van washovers Veranderingen in milieucondities proefvlakken: • Analyse bodem (vochtgehalte, organisch stofgehalte, pH, stikstof, fosfaat) • Indicatiewaarden vegetatie • Kwalitatieve veldscores

	(alsmede: hoogteligging, sedimentatie, overstromingsfrequentie, overstromingsduur, grondwaterpeil en grondwaterkwaliteit)	Ontwikkeling vegetatie / verschuiving van habitattypen: • Vegetatie-opnamen proefvlakken • Vlakdekkende vegetatiekartering • Referentieonderzoek • Inventarisatie van zeldzame duinvalleiplanten
Noordzeekustzone en oostpunt eiland Wat is het effect van de bodemdaling door gaswinning op het zeegat, de buitendelta en de ontwikkeling van de oostpunt van het eiland? Wat is het effect van de bodemdaling door gaswinning op de zandhonger van de Waddenzee en de Noordzeekustzone?	De NAM heeft met Rijkswaterstaat een privaatrechtelijke overeenkomst om periodiek zand te suppleren ten einde het bodemdalingsvolume te compenseren.	Ontwikkeling kustlijn/ (hydro)morfologie: • Jaarlijkse kustlijnmetingen (JARKUS) • Vaklodingen • Laseraltimetrie • Suppletiegegevens

Tabel 2-2. Overzicht van parameters die worden gemonitord in het kader van de Ameland-winning of in het kader van andere monitoringprogramma's (met relevantie voor Ameland)

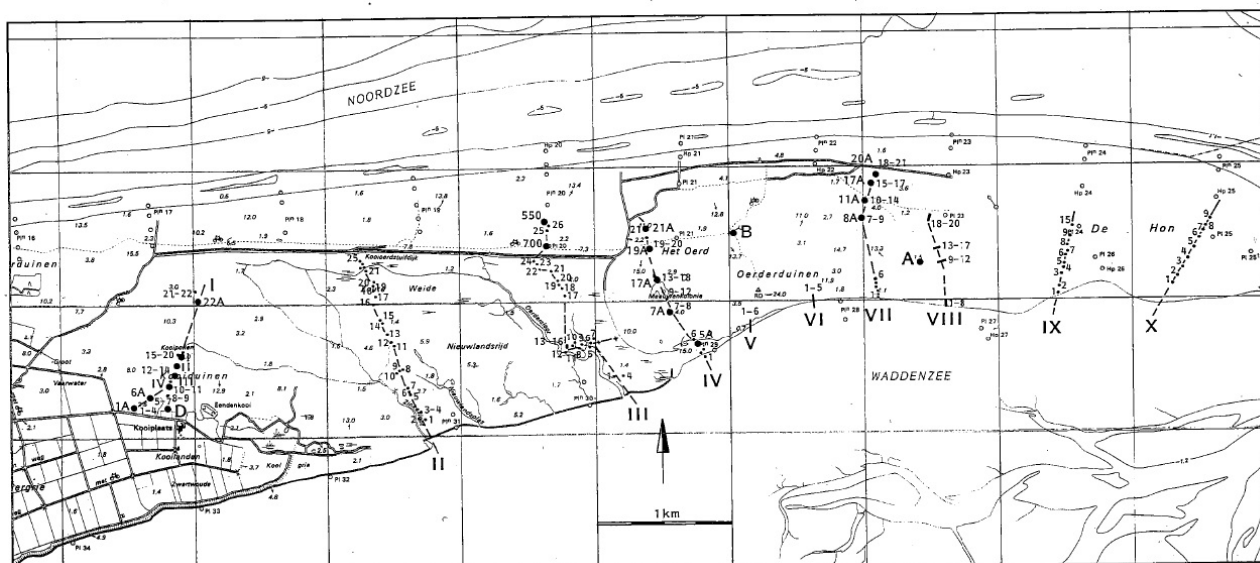
Monitoringsonderdeel	Waar?	Organisatie	Frequentie
Structureel			
Continue GNSS-metingen	Ameland	NAM	Continu, rapportage per kwartaal
Campagne GNSS-metingen	Waddenzee	NAM	3-jaarlijks
Waterpassingen op het wad	Sedimentgrids bij de GNSS-peilmerkclusters	NAM	Identiek aan de campagne GNSS-metingen.
Waterpassingen op Ameland	Ameland	NAM	3-jaarlijks
LiDAR metingen	Vlakdekkend (droogvallend) plaatareaal	Terratec	jaarlijks
Vaklodingen buitendelta/ wadden	Vlakdekkend, in sedimentdelend systeem	RWS	6-jaarlijks
Jarkus metingen (hoogte/dieptemetingen)	Raaien loodrecht op de kust	RWS	jaarlijks
VEGWAD karteringen	Vlakdekkend, Ameland	RWS	6-jaarlijks
Morfologisch onderzoek		Deltares	jaarlijks

Sedimentatiemetingen wadplaten (spijkermetingen)	Wadplaten	Natuurcentrum Ameland (NCA)	jaarlijks
Vogeltellingen (overtijende wadvogels)	Hoogwater vluchtplaatsen	Natuurcentrum Ameland en Sovon	jaarlijks
SIBES bodemdieren–monitoring	Wadplaten	NIOZ	jaarlijks
Monitoring begrazing kwelder	Neerlands Reid	Natuurcentrum Ameland	jaarlijks
Grondwatermonitoring	Kooiduinen, Kooioerdstuifdijk, Oerderduinen en Hon	It Fryske Gea	jaarlijks
Kwelderontwikkeling Sedimentatie (SEB-metingen) en vegetatie	Neerlands Reid en De Hon	Wageningen Marine Research	jaarlijks
Duinvallei-onderzoek (vegetatie)		Wageningen Environmental Research	2-jaarlijks
Inundatie duinvalleien (frequentie, duur)	Valleien ten westen van de NAM-locatie	Natuurcentrum Ameland	jaarlijks
Aanvullend - Periode 2018 - 2023			
Integrale analyse morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning Oost-Ameland		Deltares	Periode 2018 - 2022
Monitoring kustafslag en vegetatie van de kwelderrand en van het drainagesysteem van Neerlands Reid		Wageningen Environmental Research	Periode 2018 - 2020
Uitbreiding meetnetwerk / modellering opslibbing		Wageningen Marine Research	Periode 2018-2023
Overstromingsrisico broedvogels		Sovon	Periode 2019 - 2022
Diepteloggers plaatsing/beheer		Sovon	
Tellingen, inmeten nesten		Natuurcentrum Ameland	
Drone onderzoek nesten		Brandhof	

Monitoringsnetwerk en veranderingen daarin

Kwelderonderzoek

In 1986 werd een monitoringsnetwerk opgezet, dat tien meetraaien bevatte die zowel de kwelders als de duinen bestreken (zie Figuur 2-5). Langs deze meetraaien werden meerdere proefvlakken uitgezet. In 1993 werd het aantal meetraaien voor het onderzoek naar de kwelders gereduceerd naar twee: raai III op Neerlands Reid (bestaande uit 24 proefvlakken) en raai IX op De Hon (met 14 proefvlakken). Deze proefvlakken werden gevolgd tot 2019, onder andere wat betreft de mate van sedimentatie en de ontwikkeling van de vegetatie. De meetreeks biedt inzicht in zowel de sedimentatie van het maaiveld als de samenstelling van de vegetatie over een langere periode.



Figuur 2-5 Oorspronkelijke meetraaien voor maaiveldhoogte en vegetatie in de kwelders en duinen van Ameland uit 1986 (Dankers et al. 1987). Raai I, II, VIII en X zijn tot 1993 gemonitord. Raai III en IX zijn tot en met 2018 in het kader van de kweldermonitoring gevolgd. De vegetatie in proefvlakken langs raai IV (1 t/m 5), raai V (1 t/m 4), raai VI (1 t/m 4) en raai VII (1 t/m 5) is diverse keren gevolgd in het kader van het kwelderrandonderzoek.

Tijdens de integrale analyse in 2017 werd geconstateerd dat veel van de bestaande proefvlakken zich op de oeverwallen nabij krekken bevonden, waar een relatief hoge sedimentatie plaatsvond. Ook bleek dat de vegetatieopnamen in de proefvlakken andere uitkomsten gaven dan de vlakdekkende vegetatiekarteringen. In samenspraak met de Bodemdalingscommissie is daarom besloten een nieuw monitoringsmeetnet te implementeren, met als doel een betere spreiding over de kwelders te realiseren. Het nieuwe meetnet staat beschreven bij de desbetreffende hoofdstukken.

Kwelderrandonderzoek

Het kwelderrandonderzoek maakte aanvankelijk geen deel uit van de monitoring. Eind jaren '90 bestond echter de indruk bij beheerders van It Fryske Gea en bij eilandbewoners dat de kustafslag aan de kwelderrand toenam, en dat dit een gevolg zou kunnen zijn van de bodemdaling door gaswinning. Omdat in deze kuststrook bijzondere vegetaties voorkwamen, is in 1999 besloten weer door te gaan met het monitoren van de raaien IV tot en met VII, maar in verkorte vorm. Vegetatieopnamen vonden plaats in 1986, 1999, 2004 en 2010, en werden herhaald in 2020. Na deze laatste opnamen zijn de ontwikkelingen geanalyseerd (zie Hoofdstuk 7).

Duinonderzoek

Naar aanleiding van sterfte van duindoorn- en meidoornstruweel in 1994 in meerdere duinvalleien is na de audit in 2000 besloten om het monitoringsnetwerk uit te breiden. In 2001 is daartoe een meer gedetailleerd onderzoek in de (natte) duinvalleien in en nabij het centrum van het bodemdalingsgebied gestart.

Omdat in de hoger gelegen proefvlakken van de transecten geen effecten van bodemdaling konden worden vastgesteld is sinds 2013 op verzoek van de Bodemdalingscommissie alleen het onderzoek aan de (natte) duinvalleien voortgezet. De huidige onderzoekslocaties staan vermeld in hoofdstuk 9.

3 Bodemdaling en aardbevingen

De bodem van Oost-Ameland ondergaat voortdurend veranderingen. Deels is dat een gevolg van processen die zich diep in de ondergrond voordoen, zoals de bodemdaling door gaswinning. Deels is het een effect van processen aan het oppervlak, zoals de afzetting van zand en slib. De gecombineerde invloed van deze processen bepaalt uiteindelijk de hoogte van het maaiveld. In dit hoofdstuk wordt besproken hoe bodemdaling wordt beïnvloed door zowel diepe als oppervlaktegerelateerde processen. Vervolgens wordt ingegaan op de methoden voor het meten en/of berekenen van de omvang van deze daling en de resultaten hiervan.¹³

3.1 Bodemdalingsprocessen op Oost-Ameland

Diepe bodemdaling door gaswinning



Figuur 3-1. Overzicht ligging Ameland gasvelden en putten. Het reservoir is door breuken verdeeld in verschillende blokken.

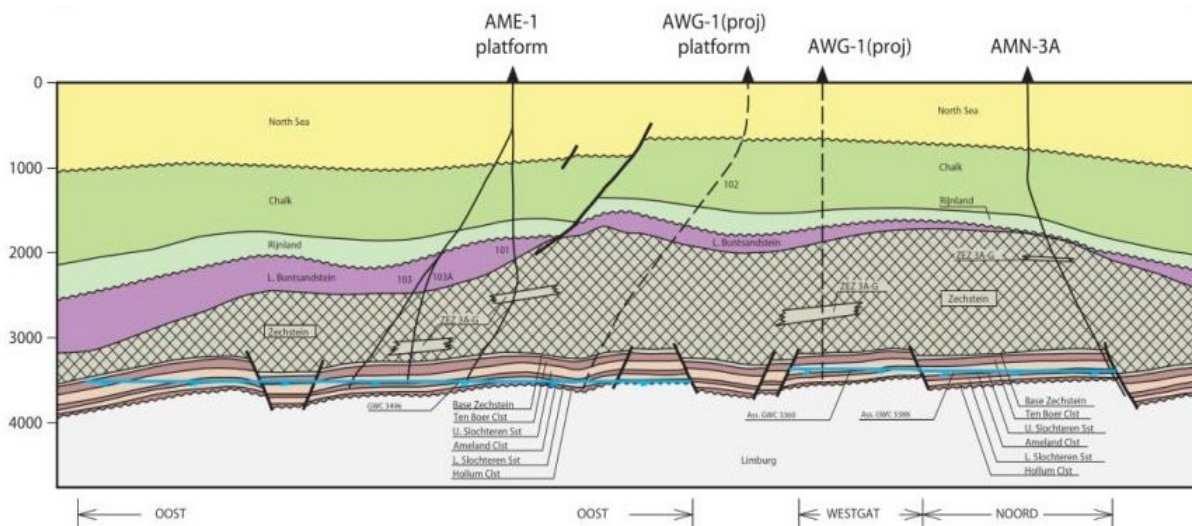
Sinds 1986 wint de NAM gas uit verschillende gasvelden onder Ameland, op ongeveer 3.330 meter diepte (zie Figuur 3-1). Het gas is opgeslagen in de poriën van een zandlaag van ongeveer 110 meter dik. Deze laag is bedekt met een laag steenzout en ander gesteente, wat voorkomt dat het gas

¹³ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- NAM, 2023
- Puijenbroek et al., 2024, WMR
- Kuiters en Wegman, 2020, WENR
- Rooijen et al., 2023, WENR

ontsnapt. Het gas heeft zich gevormd in een onderliggende miljoenen jaren oude steenkoollaag uit het Carboon tijdperk en is gestegen tot het vast kwam te zitten in de zandsteenlaag (zie Figuur 3-2). Als gas uit de zandsteenlaag wordt gehaald, neemt de druk in de laag af, waardoor deze wordt samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende gesteentelagen. Dit leidt tot compactie in de diepe ondergrond, en aan het oppervlak tot bodemdaling.

Het huidige winningsplan van de NAM loopt door tot en met 2035. Naast de winning op Ameland, wordt er sinds 2007 ook gas gewonnen onder de Waddenzee vanuit de locaties Moddergat, Vierhuizen en Lauwersoog: de MLV-winning. Het Pinkegat, een kombergingsgebied in de Waddenzee, wordt door beide winningsactiviteiten beïnvloed.



Figuur 3-2. Geologische doorsnede van de ondergrond van Oost-Ameland. De lichtbruin gekleurde zandsteenlaag is onderverdeeld in breukblokken. Daarboven ligt een dikke laag steenzout (grijs gearceerd) die ervoor heeft gezorgd dat het gas niet kon ontsnappen.

Autonome processen van diepe bodemdaling

Naast gaswinning zijn er autonome processen in de diepe ondergrond, waardoor de bodem in Nederland daalt, al is de bijdrage hiervan zeer gering:

- *Tektonische bodemdaling.* Dit wordt veroorzaakt door bewegingen in de ongeveer honderd kilometer dikke Euraziatische aardplaat, waar Nederland op ligt.
- *Bodemdaling door isostasie.* Dit is een effect van het evenwicht tussen delen van de aardkorst en het plastische mantelgesteente eronder. De aarde past zich nog steeds aan de gevolgen van de laatste ijstijd aan (glacio-isostasie), waarbij de aardkorst in Scandinavië werd ingedrukt door het gewicht van het ijs. Hierdoor kwam Nederland omhoog. Nu het ijs is verdwenen, komt Scandinavië omhoog en zakt Nederland weer naar beneden.

Processen aan het oppervlak ('ondiepe processen')

De hoogte van het maaiveld van Oost-Ameland wordt ook bepaald door processen die zich aan het oppervlak afspelen:

- *Opslibbing, aanstuivend zand of opzwellend van kleilaag door vocht.* Deze processen kunnen de diepe bodemdaling compenseren en soms zelfs leiden tot een ophoging van het oppervlak.

- *Compactie en inklinking*: De opgeslibde kleilaag kan inzakken door haar eigen gewicht of door externe druk door bijvoorbeeld vertrapping, of het rijden met voertuigen. In droge periodes kan de kleilaag inklinken.
- *Erosie*. Door wind en water kan de bodem wegwaaien of wegspoelen, wat kan leiden tot een verlaging van het maaiveld.

3.2 Monitoring van de bodemdaling door gaswinning

Deze paragraaf richt zich op de diepe bodemdaling die wordt veroorzaakt door gaswinning, en de daardoor veroorzaakte samendrukking van de zandsteenlaag. De ontwikkeling van het maaiveld, waarbij de diepe bodemdaling deels wordt gecompenseerd door de afzetting van slib en zand, wordt besproken in par. 3.3.

3.2.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

- Hoeveel bedraagt de bodemdaling boven de Amelandvelden door gaswinning?
- Wat is het verwachte resterende gasproductievolumen van 2023 tot 2035?
- Wat is de verwachte resterende bodemdaling door gaswinning?

Methoden

Geodetische metingen

De metingen van de diepe bodemdaling boven de Ameland-gasvelden vindt plaats via waterpassen en GNSS (Global Navigation Satellite System).

- *Waterpassen*. Sinds de start van de gasproductie zijn er met een interval van één tot drie jaar waterpasmetingen uitgevoerd, met een eerste meting in 1986. De meest recente meting in 2023 bestreek het hele eiland (zie Figuur 3-3). Waterpassing is een zeer nauwkeurige methode waarmee hoogteverschillen tot op enkele millimeters nauwkeurig kunnen worden gemeten. Om het effect van oppervlakkige processen aan het maaiveld zoveel mogelijk uit te sluiten, wordt gebruik gemaakt van peilmerken die op een stabiele ondergrondse laag zijn gefundeerd. In 2019 zijn er twee extra diep gefundeerde peilmerken geplaatst.
- *GNSS*. Elk jaar worden er GNSS-metingen uitgevoerd in de Waddenzee, waarbij elk punt om de drie jaar wordt gemeten. Deze metingen maken deel uit van de monitoring van de gaswinning onder de Waddenzee (de MLV-winning). Bovendien zijn er drie locaties waar continue GNSS-metingen plaatsvinden voor de Amelandwinningen: op de productielocatie Ameland AME-1 (sinds 2007) en op de platforms AME-2 en AWG-1 in de Noordzeekustzone (sinds 2014).

Modellen

Om de bodemdaling door gaswinning te voorspellen gebruikt de NAM modellen, die worden gekalibreerd met metingen. In deze keten worden verschillende soorten modellen gebruikt:

- *Geologische of statische modellen*. Deze beschrijven de structuur en eigenschappen van de aardlagen (inclusief breuken) en de omvang van het reservoir. Deze modellen zijn gebaseerd op seismisch onderzoek, boringen en metingen in putten.

- *Driedimensionale reservoirmodellen van de ondergrond.* Deze modellen worden gebruikt voor het berekenen van de drukdaling in de gasvelden. Ze worden gekalibreerd met gemeten data zoals drukmetingen in de gasputten. De modellen worden ook gebruikt om een nauwkeurig inzicht te krijgen in de grootte van de ondergrondse gasvolumes en de verbinding met aangrenzende watervoerende lagen.
- *Bodemdalingsmodellen.* Middels geomechanische modellen wordt de compactie in de gas- en watervoerende lagen doorvertaald naar bodemdaling aan het aardoppervlak (voor drie verschillende scenario's: basis, hoog en laag). Kalibratie van modelparameters en validatie van de onderliggende aannames vindt plaats door de berekende bodemdaling te vergelijken met de geodetische metingen.

Aanpassing bodemdalingsmodellering (LTS-II methode)

Na 2003 werd er – tegen de verwachting in – geconstateerd dat de bodemdaling met ongeveer dezelfde snelheid doorging, terwijl de drukdaling juist sterk afnam. Dit was voor de NAM aanleiding de 'Long Term Subsidence Study' (LTS-I) te starten, om de onderliggende mechanismen te onderzoeken. Uit de resultaten van dit onderzoek bleek dat er meerdere oorzaken waren voor de onverwachte meetresultaten, zoals het mechanisch gedrag van de zoutlaag boven het olie- en gasreservoir, het inklinken van het reservoir door drukdaling (compactiegedrag) en mogelijke drukdaling in de aangrenzende watervoerende lagen.

Deze resultaten zijn vervolgens toegepast in een nieuw model, het 'LTS-II model'. Na overleg met het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), heeft de NAM dit model in 2018 in gebruik genomen als de standaardmethode om jaarlijks de bodemdaling te berekenen voor de velden Ameland, Anjum, en MLV. Daarbij wordt voor vele verschillende scenario's de bodemdaling berekend. De uitkomst wordt vervolgens getoetst aan de gemeten bodemdaling op verschillende tijdstippen en locaties. De mate waarin een scenario aansluit op de gemeten data, bepaalt hoe waarschijnlijk dat scenario is. Op deze manier kan ook de onzekerheid worden beschreven voor de bodemdalingsmodellering.

Rekenbestanden van de diepe bodemdaling

In het kader van de Ameland-monitoring stelt de NAM twee Excel-bestanden ter beschikking aan de onderzoekers, waaruit zij de diepe bodemdaling op een bepaalde locatie kunnen afleiden:

- Een Excel-bestand voor de diepe bodemdaling op het eiland en het wad.* Dit bestand is samengesteld op basis van geomechanische modellen, die zijn gekalibreerd met de geodetische metingen. Het model dat ten grondslag ligt aan dit Excel-bestand sluit het beste aan bij de metingen, maar evengoed kunnen er op bepaalde locaties afwijkingen zijn. Dit kan komen door imperfecties in de diepe ondergrond-modellen en door mogelijke compactie nabij het oppervlak (al zal deze component relatief klein zijn, omdat de geodetische meetpunten gefundeerd zijn op een stabiele ondergrondse laag).
- Een Excel-bestand met bodemdalingsgegevens op en rond het eiland.* Dit bestand is gebaseerd op een geodetische integrale ruimtetijd-analyse. Dit bestand bevat de ruimtelijk gecorreleerde bodembeweging, afgeleid uit alle gemeten hoogteverschillen en gebruik makend van geodetische vereffenings- en toetsings-technieken. Bij deze analyse wordt geen kennis van de ondergrond gebruikt.

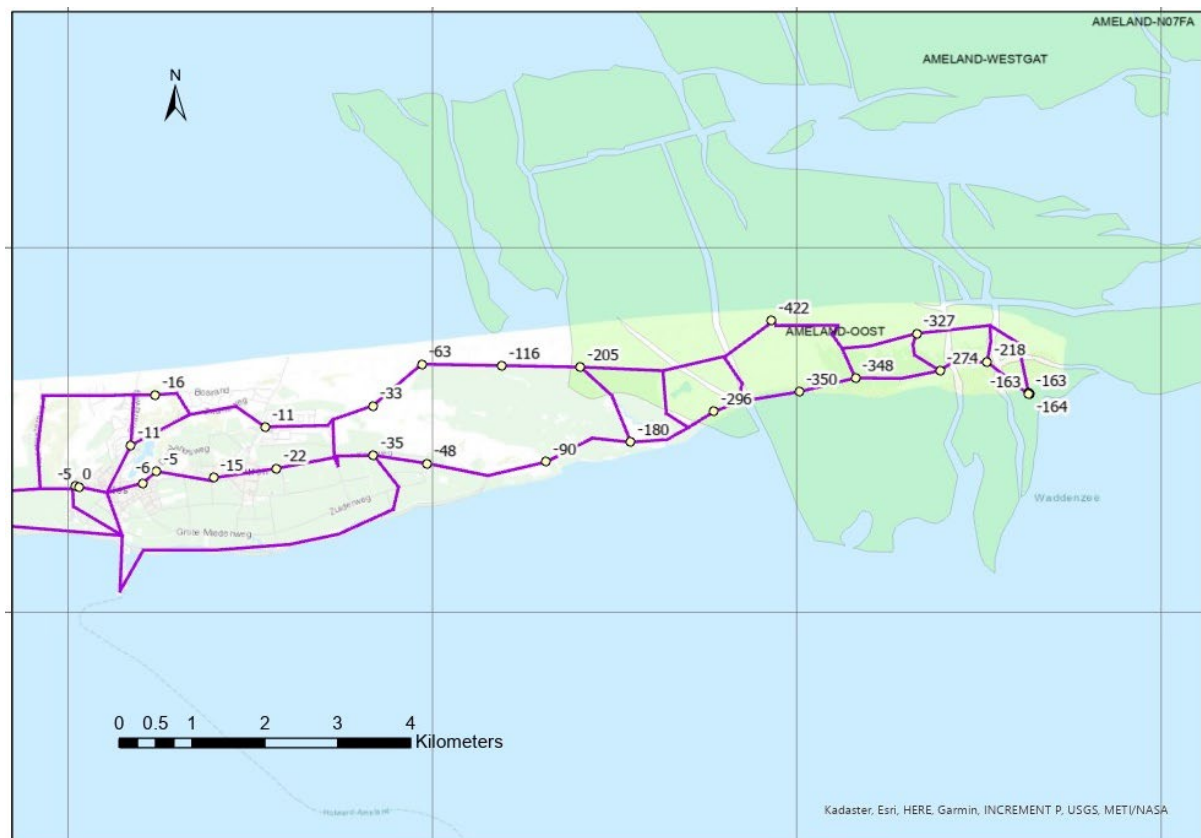
De ruimtelijk gecorreleerde bodembewegingen uit de Excel sluiten het best aan bij de geodetische metingen, met een foutenmarge van twee centimeter. De bodembewegingen kunnen echter niet geheel identiek worden verondersteld aan de bodemdaling als gevolg van gaswinning. Dit komt doordat er mogelijk kleine invloed is van autonome bodemdalingsprocessen in de ondergrond of van processen nabij het oppervlak.

Afhankelijk van de locatie op het eiland, kan de bodemdaling meerdere centimeters verschillen tussen de bestanden A en B (zowel in positieve als negatieve richting).

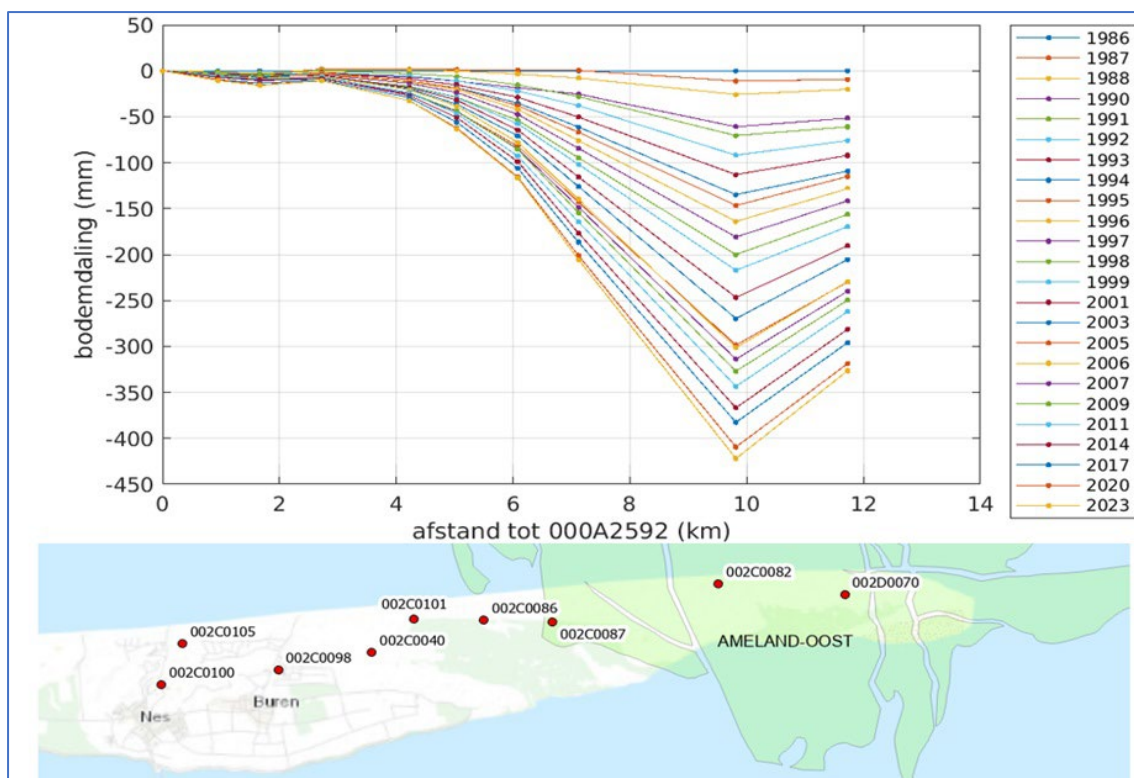
3.2.2 Resultaten en conclusies

Opgetreden diepe bodemdaling

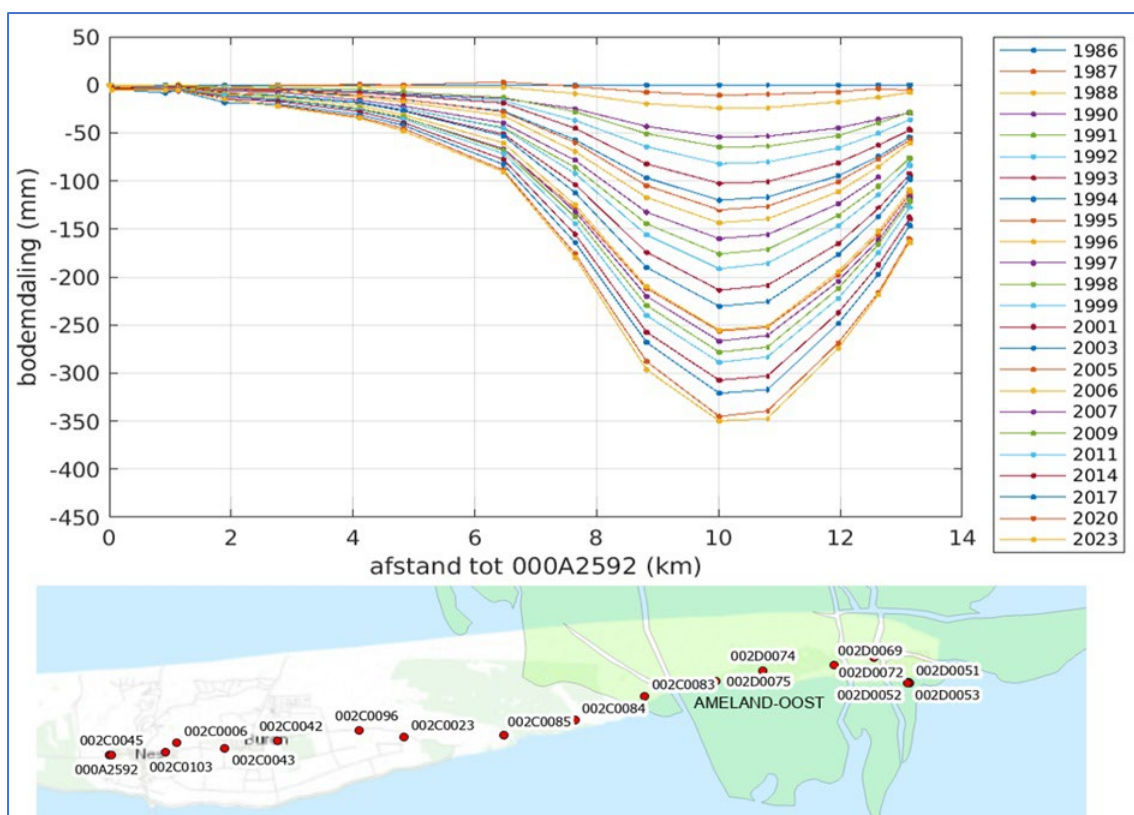
De resultaten van de NAM-meetgegevens zijn weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 3-3. Beweging van de primaire peilmerken tussen 1986 en 2023 (in mm) ten opzichte van het ondergrondse peilmerk bij Nes.



Figuur 3-4. Peilmerkbeweging langs Noord-profiel 1986-2023. Op de x-as staat de afstand weergegeven tot het referentiepunt (peilmerk 000A2592) bij Nes.



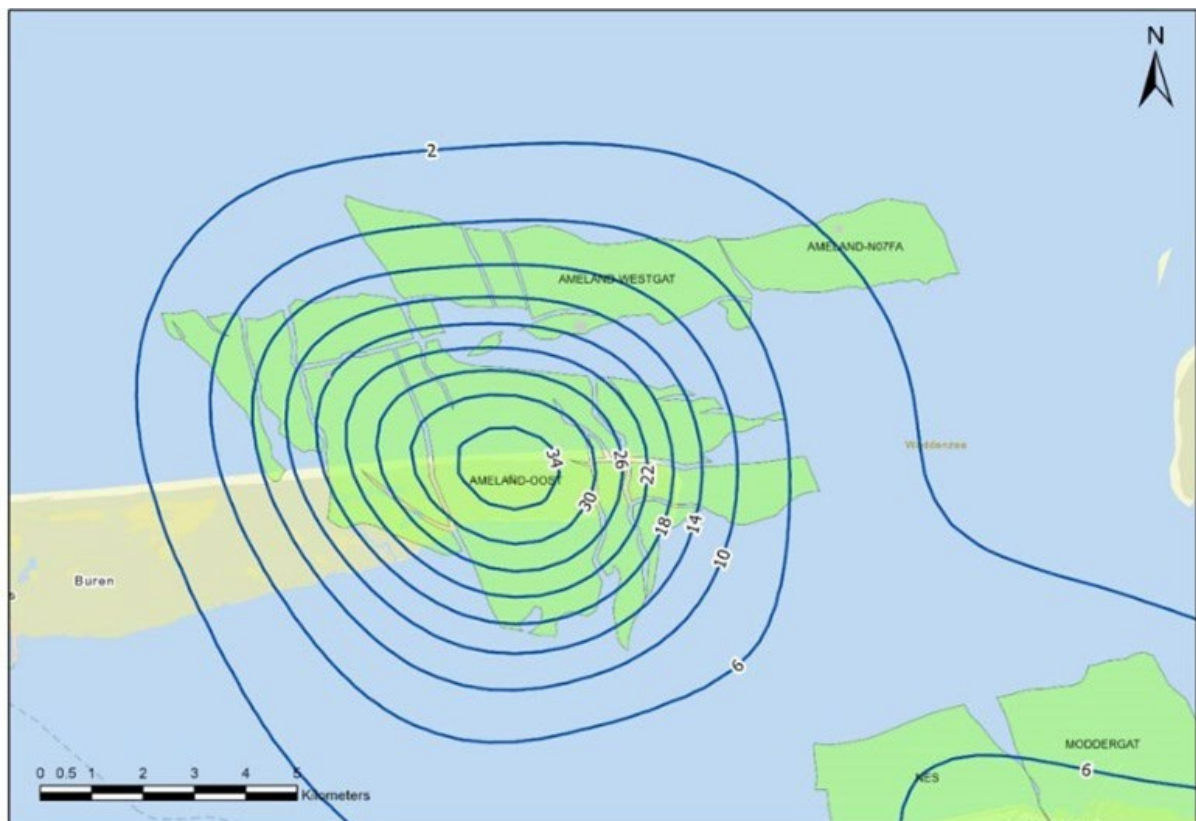
Figuur 3-5. Peilmerkbeweging langs het Zuid-profiel 1986-2023. Op de x-as staat de afstand weergegeven tot het referentiepunt (peilmerk 000A2592) bij Nes.

Uit de continue GNSS-metingen is gebleken dat de diepe bodem in het centrum van het bodemdalingsgebied in 2023 met 6,6 millimeter per jaar is gedaald, met een standaardafwijking van 0,6 millimeter per jaar. Volgens de waterpasgegevens is de maximale daling van de peilmerken sinds 1986 ongeveer 42 centimeter.

Gemodelleerde bodemdaling

In 1985 maakte de NAM een prognose van de bodemdaling door de gaswinning op Oost-Ameland. Op de diepste plek werd een daling van 26 tot 28 centimeter verwacht. Later zijn deze prognoses meerdere malen bijgesteld, naar aanleiding van het gewijzigde winningsplan en verbeterde modellen.

In 2023 zijn de scenario's voor de modellering van de bodemdaling door gaswinning herzien. Dit heeft geleid tot een nieuwe kaart met de contouren van de opgetreden bodemdaling sinds 1986 (zie Figuur 3-6). Nabij de productielocatie op Ameland is de bodem volgens de modellen maximaal 38 centimeter gedaald.



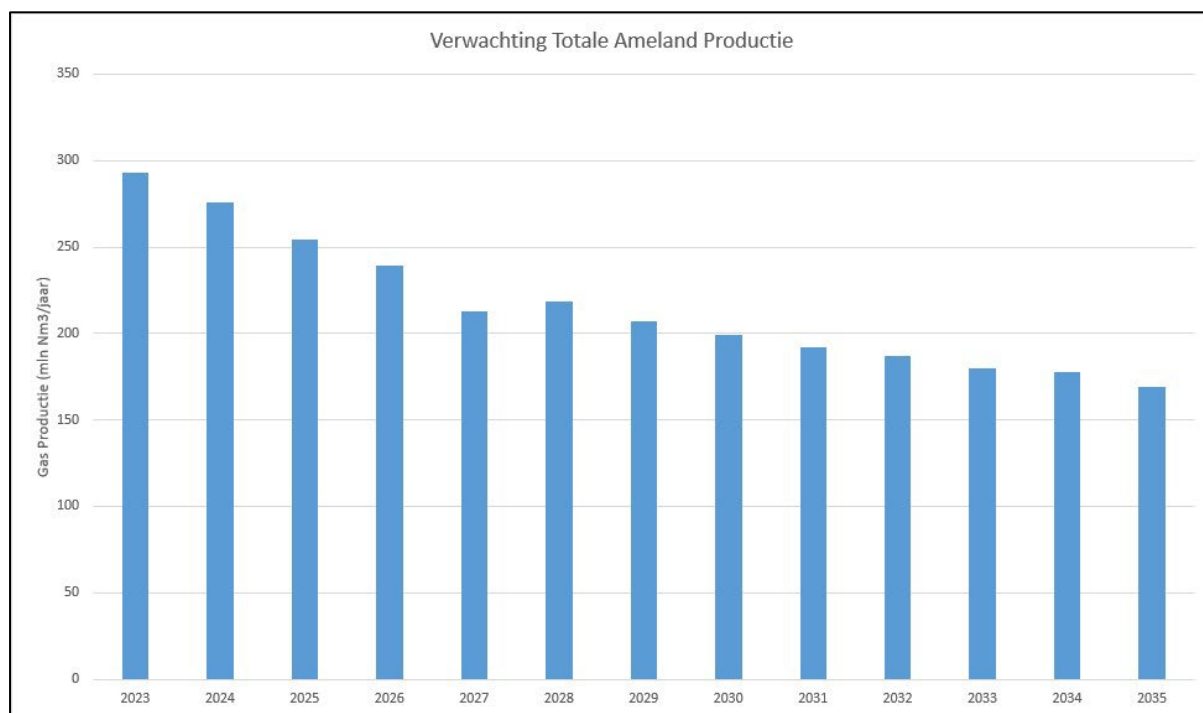
Figuur 3-6. Totale gemodelleerde bodemdaling in centimeter sinds de start van de gaswinning in 1986, ten gevolge van de Ameland-winningen en de MLV-winningen (status modelcontour in blauw: 1-1-2023).

De herziene bodemdalingsmodellen blijken de gemeten bodemdaling beter te benaderen dan de eerder gebruikte modellen. Wel zijn er lokaal kleine afwijkingen tussen de modelresultaten en de metingen, wat kan zijn veroorzaakt door imperfecties in de diepe ondergrondmodellen en autonome processen van daling van de (diepe) ondergrond (zie par. 3.1).

Van belang is dat de bodemdaling het gevolg is van gaswinning uit *alle* velden, waarbij de winning op Ameland de grootste bijdrage levert.

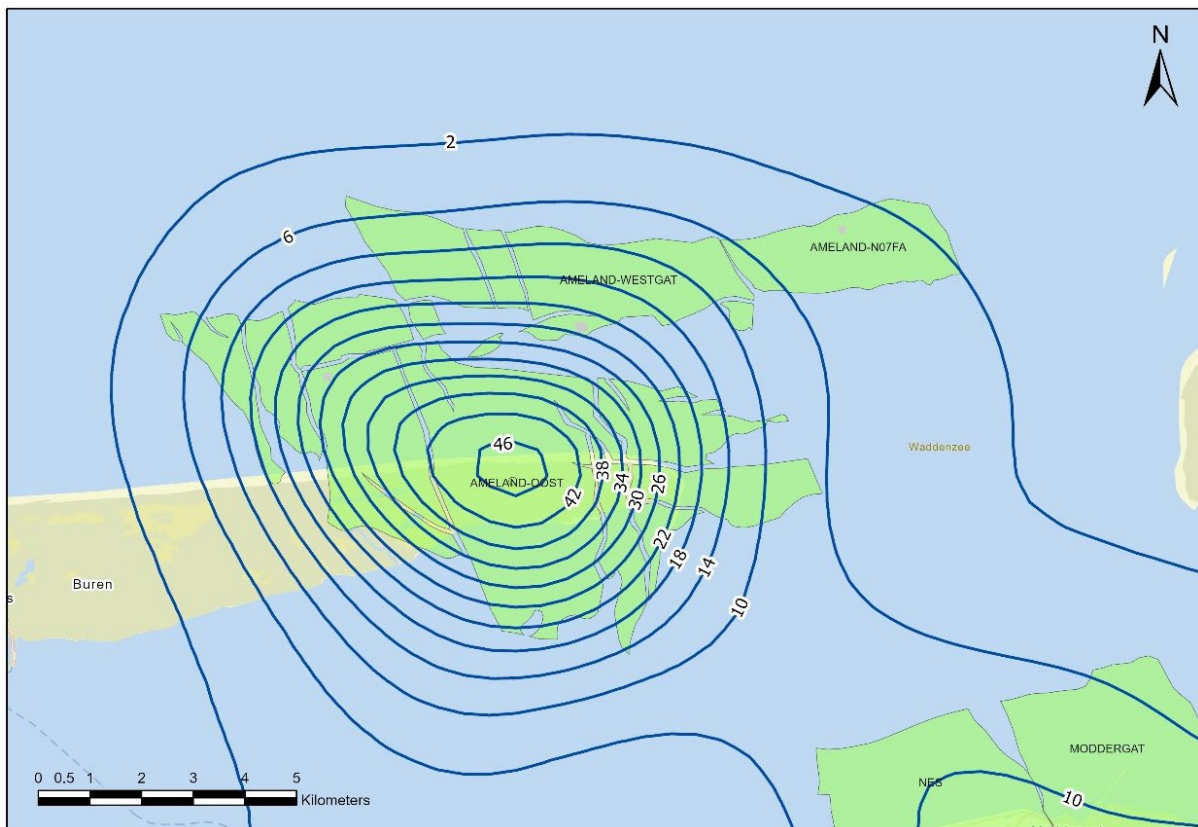
Toekomstige productie en gasdruk

Het merendeel van het Amelandgas is al geproduceerd, en de druk in het gasveld onder Oost-Ameland is gedaald van 570 naar 50 bar. Tegen het einde van de productie zal de druk daar naar verwachting nog 30 bar bedragen. Op basis van de reservoirmodellen is het verwachte productievolume van 2023 tot 2035 berekend (zie Figuur 3-7). Het totale voorspelde productievolume is bijna één miljard kubieke meter lager dan in 2017 werd verwacht.



Figuur 3-7. Verwacht productievolume voor Ameland vanaf 2023, in miljoen m³/jaar (Oost-Ameland, Ameland-Westgat).

Figuur 3-8 toont de verwachte totale bodemdaling ten gevolge van alle gaswinningen in 2050, vijftien jaar na afloop van de gasproductie. Op basis van de laatste modellen en metingen wordt een maximale bodemdaling van 50 centimeter verwacht in 2050 in het centrum van de kom boven het Amelandveld.



Figuur 3-8. Bodemdalingsprognose (basisscenario) voor 2050 (in centimeter) van de totale bodemdaling door gaswinning voor Ameland en naburige winningen, ruim na beëindiging van de gaswinning van de Ameland gasvelden.

Conclusies bodemdaling door gaswinning

Gemeten daling: Volgens de waterpasgegevens is de bodem nabij de productielocatie op Ameland sinds 1986 maximaal met 42 centimeter gedaald. Continue GNSS-metingen op deze locatie tonen aan dat de diepe bodem in het hart van het bodemdalingsgebied in 2023 met 6,6 millimeter per jaar is gedaald, met een standaardafwijking van 0,6 mm per jaar.

Modellen: In 2023 zijn de modellen herzien, wat resulteerde in een iets geringere bodemdaling dan eerder voorspeld. De herziene bodemdalingsmodellen blijken de gemeten bodemdaling beter te benaderen dan de eerder gebruikte modellen. Wel zijn er lokaal kleine afwijkingen tussen de modelresultaten en de metingen, wat kan zijn veroorzaakt door imperfecties in de diepe ondergrondmodellen en autonome processen van daling van de (diepe) ondergrond.

Volgens het meest recente model bedraagt de bodemdaling in het hart van het bodemdalingsgebied maximaal 38 centimeter. Het grootste deel van het gas is inmiddels gewonnen, en de druk in het gasveld onder Oost-Ameland is sinds 1986 afgenomen van 570 naar 50 bar. De NAM voorspelt dat de druk in het gasveld in 2035, aan het einde van de productie, nog 30 bar zal bedragen. Op basis van de modellen en metingen wordt een maximale bodemdaling van 50 centimeter verwacht in 2050 in het centrum van de kom boven het Amelandveld.

3.3 Metingen van de daling van het maaiveld

3.3.1 Onderzoeksvragen en methoden

De daling van de diepe ondergrond uit zich in een daling van het maaiveld. De sedimentatie van slib en zand kan dit proces echter (deels) compenseren. De hoogte van het maaiveld is van belang voor onder andere het aantal overstromingen, de vegetatie en de (broed)vogels. Daarom zijn er sinds het begin van de gaswinning veel maaiveldhoogtebepalingen geweest.

Onderzoeksvragen

- Hoe hoog ligt het maaiveld?
- Welke veranderingen zijn opgetreden als gevolg van bodemdaling door gaswinning én oppervlakkige processen zoals sedimentatie?

Methoden

Er zijn meerdere methoden om de hoogte van het maaiveld en de wadbodem vast te stellen. Vaak wordt dit uitgedrukt ten opzichte van NAP.

Waterpassing

Van een willekeurig punt kan via waterpassing de hoogte en opzichte van het dichtstbijzijnde peilmerk bepaald worden. Deze methode werd in het beginjaren van de gaswinning toegepast.

Satellietsignalen

Tegenwoordig kan via satellietsignalen (GNSS) – de hoogte van een punt bepaald worden. De nauwkeurigheid van deze metingen kan verhoogd worden door gebruik te maken van referentiepunten op de aarde en heet dan DGPS. RTK (Real-Time Kinematic) is een speciale vorm van GPS die een nog nauwkeurigere hoogtebepaling mogelijk maakt met een nauwkeurigheid van drie tot vier centimeter. Zowel het huidige kwelderonderzoek als het duinonderzoek gebruiken deze methode voor de hoogtemetingen.

Vaklodingen

Deze worden uitgevoerd door Rijkswaterstaat in de Waddenzee. Hierbij wordt de bodemhoogte in vooraf gedefinieerde vakken bepaald. Deze metingen vinden roulerend plaats in cycli van één keer per drie jaar of één keer per zes jaar. Voor het verkrijgen van gegevens over de droogvallende delen van de Waddenzee wordt gebruik gemaakt van laseraltimetrie.

Laseraltimetrie (LiDAR)

- Sinds 1998 zijn er vier nationale hoogtebestanden gemaakt: genummerd van AHN1 (rond 1998) tot AHN4 (rond 2020). Deze zijn gebaseerd op LiDAR-opnames vanuit een vliegtuig, waarbij gebruik gemaakt wordt van lasers. Hoewel de opnames zijn gecorrigeerd voor de aanwezigheid van vegetatie en gebouwen, zijn de opnames te onnauwkeurig om de hoogte-ontwikkeling van de begroeide kwelders en duinen te volgen.
- Ook in het kader van de MLV-winning zijn er LiDAR-data verzameld over de hoogte van de wadplaten. De diepte van de geulen is vastgesteld via lodingen.

- Verder voert Rijkswaterstaat regelmatig hoogtemetingen uit van de kust met behulp van laseraltimetrie. Op basis hiervan (en op basis van lodingen) worden elk jaar hoogteprofielen van raaien loodrecht op de kust bepaald (de zogenaamde JARKUS-raaien).

3.3.2 Resultaten en conclusies

In het gebied op Ameland dat beïnvloed wordt door gaswinning zijn er locaties waar het maaiveld stabiel is gebleven of zelfs hoger is geworden door opslibbing en opstuiving. De bodemdaling door gaswinning is hier geheel gecompenseerd. Er zijn echter ook gebieden die lager zijn komen te liggen door de bodemdaling door gaswinning, of door natuurlijke erosie. De belangrijkste bevindingen zijn als volgt:

- In het Pinkegat blijven de *wadplaten* over het algemeen stabiel in hoogte en oppervlak. Maar in een beperkt wadplaatgebied van drie kilometer lengte, direct ten zuiden van Ameland (ten oosten van de Oerdsloot), daalt het maaiveld met ongeveer vier millimeter per jaar. De exacte oorzaak van deze daling is onduidelijk.
- De *duinen* vertonen aanzienlijke hoogteverschillen. Duinen dichtbij de zeereep zijn soms tot vijf meter hoger geworden in twintig jaar. Maar in de duinvalleien verder landinwaarts is het maaiveld in dezelfde periode met bijna één centimeter per jaar gedaald. De diepe bodemdaling wordt daar dus niet volledig gecompenseerd door aanstuivend zand.
- De situatie op *Neerlands Reid* is variabel. Tot ongeveer vijftig meter vanaf de wadrand en de krekken blijft de hoogte van het maaiveld stabiel of neemt zelfs iets toe als gevolg van de aanvoer van sediment vanaf de Waddenzee. Op grotere afstand van de wadrand en krekken is de kwelder echter gedaald. De mate van daling is de combinatie van diepe bodemdaling door gaswinning en oppervlakkige processen, zoals inklinking, compactie en sedimentatie.
- Ook op *De Hon* zijn er verschillen in de mate van maaiveld daling. Sinds 1986 is de kwelder daar gemiddeld met ongeveer negen centimeter gedaald, waarbij de grootste dalingen te vinden zijn op de hoge kwelder dichtbij de duinen, waar weinig opslibbing is, en (bijna) geen instuiving plaatsvindt.
- Bij de monitoringsonderzoeken van de kwelderrand en de duinen zijn op twee plekken bodemdalingswaarden gemeten van 49 en 57 centimeter. Het gaat om locaties waar – naast de diepe bodemdaling – waarschijnlijk amper andere processen plaatsvinden die de hoogte van het maaiveld beïnvloeden, zoals opslibbing, instuiving en erosie. Metingen uit het duinvalleienonderzoek tonen aan dat de paalhoogtes sinds 2001 gemiddeld met 8,7 millimeter per jaar in hoogte afnemen.

Meer informatie over de verschillende deelgebieden is te lezen in Hoofdstuk 5 t/m Hoofdstuk 9).

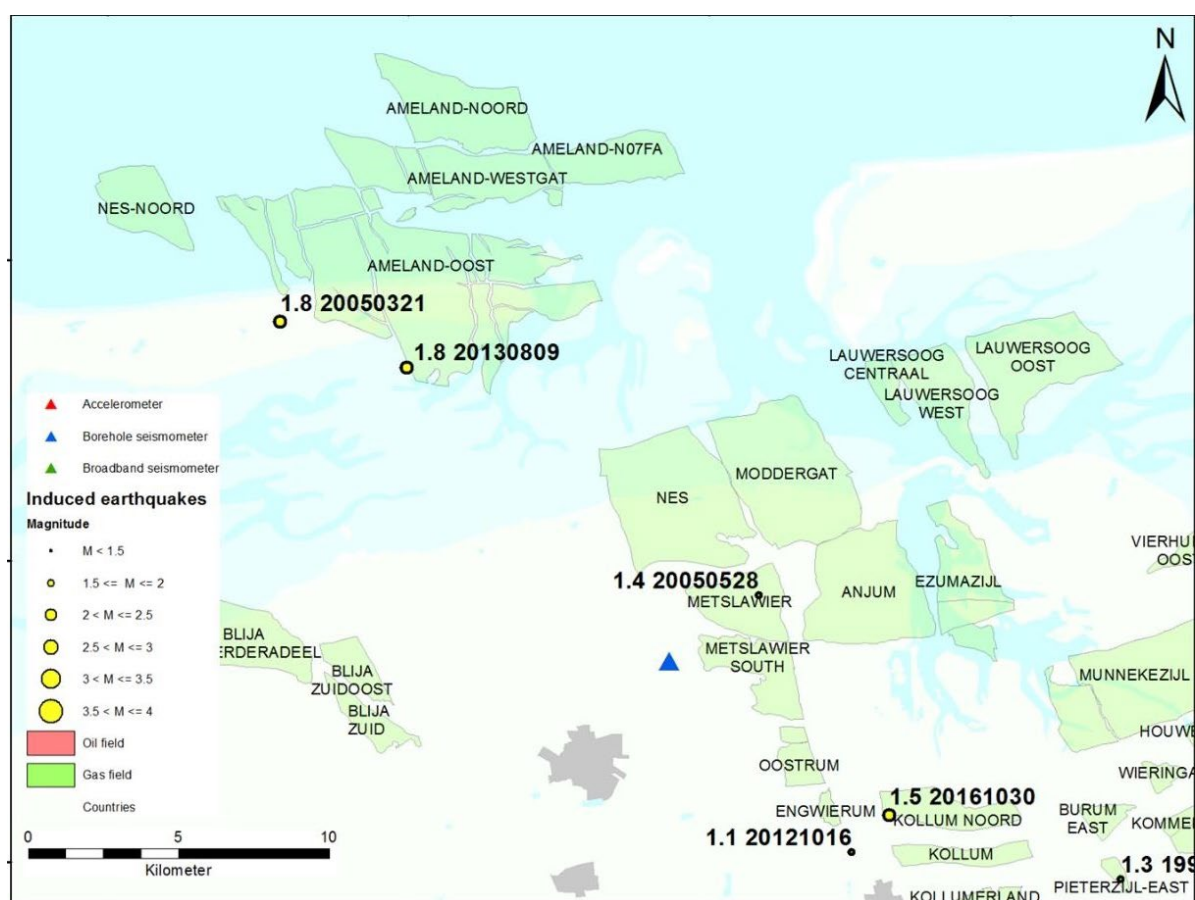
Conclusies maaiveld daling

Erosie en sedimentatie zijn dynamische processen, die soms wel tien keer zo snel kunnen verlopen dan de snelheid van bodemdaling door gaswinning. Door deze processen is de impact van de bodemdaling door gaswinning op de ontwikkeling van het gebied soms beperkt (of niet) zichtbaar of meetbaar. Dit neemt echter niet weg dat op delen van Oost-Ameland het maaiveld daalt, met name op locaties waar weinig slib of zand vanuit de Waddenzee of Noordzee wordt aangevoerd.

3.4 Aardbevingen

De drukdaling in het gasveld zorgt voor spanningsveranderingen in het reservoirgesteente (de zandsteenlaag). Spanningsveranderingen bij een breuk kunnen leiden tot bewegingen van het gesteente langs die breuk. Als dat schoksgewijs gebeurt, kan dat aan de oppervlakte voelbaar zijn als een aardbeving.

Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) monitort de bodemtrillingen nauwkeurig met een netwerk van seismische meetapparatuur. Sinds de start van de gaswinning zijn er op Oost-Ameland twee lichte aardbevingen geregistreerd, één in 2005 en één in 2013 (zie Figuur 3-9). Beide hadden een magnitude van 1,8 op de schaal van Richter. Aardbevingen van deze omvang worden over het algemeen niet gevoeld, en voor deze specifieke gebeurtenissen zijn geen meldingen bekend.



Figuur 3-9. Overzicht van de historische bevingen in het gebied (magnitude met daarna de datum in JJJJMMDD). Bron: MER gasboring en winning Ternaard deel B, Arcadis, 2020.

4 Ontwikkeling van zeespiegelstijging, waterstanden en neerslag

Dit beknopte hoofdstuk belicht de cijfers en scenario's betreffende sturende processen, die in dit rapport worden gehanteerd.¹⁴

4.1 Zeespiegelstijging

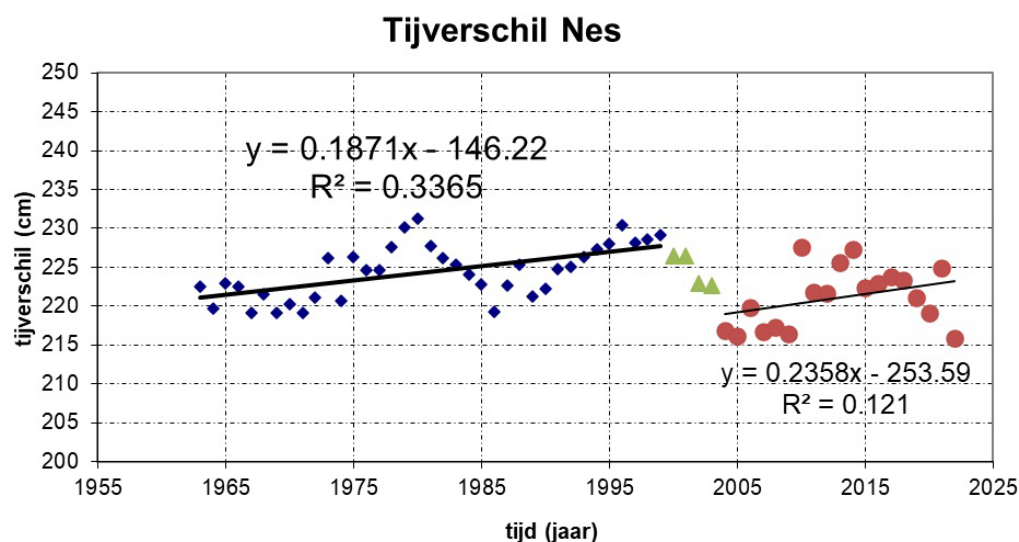
Opgetreden zeespiegelstijging

De feitelijke zeespiegelstijging is bepaald op basis van het negentienjarig gemiddelde van hoogwaters, laagwaters en gemiddelde waterstanden bij meetstation Nes. Hieruit blijkt een gemiddelde jaarlijkse stijging van het relatieve zeespiegelniveau van 1,7 millimeter (de stijging ten opzichte van het land).

Eerdere rapportages concludeerden dat de meetgegevens bij Nes geen verandering in de zeespiegelstijging lieten zien, deels door een te korte tijdreeks van metingen.

Recentere studies op basis van gewijzigde methoden laten zien dat de zeespiegelstijging langs hoofdstations van de Nederlandse kust sinds 1993 versnelt. Deze bevindingen, gebaseerd op voor windopzet gecorrigeerde metingen op hoofdmeetstations langs de Nederlandse kust, leidden tot de conclusie dat de snelheid van de relatieve zeespiegelstijging na 1993 is toegenomen tot 2,9 millimeter per jaar, wat een duidelijke trendbreuk is¹⁵.

Echter, een trendanalyse van het gemiddelde zeeniveau van vóór en na 1993 bij het station Nes bevestigt niet deze landelijke trend: de stijging van gemiddelde zeeniveau bij Nes lijkt na 1993 niet sneller, maar eerder trager te zijn dan in de periode daarvoor (zie Figuur 4-1). Dit kan komen doordat in deze reeks niet gecorrigeerd is voor windopzet.



Figuur 4-1 Trends van het gemeten gemiddelde zeeniveau bij meetstation Nes, met onderscheid in de periode vóór en na 1993.

¹⁴ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Lugt et al., 2023, Deltares
- Wang en Krol, 2024, Deltares en Natuurcentrum Ameland

¹⁵ Deltares, 2023, Zeespiegelmonitor

Beleidsscenario voor gebruiksruimte gaswinning

Vanwege de complexiteit van het nauwkeurig voorspellen van de langetermijnontwikkeling van de zeespiegel, wordt voor de gaswinning onder de Waddenzee een beleidsscenario gebruikt dat een prognose biedt voor de komende vijf jaar. Het huidige scenario, herzien in 2021, gaat uit van een zeespiegelstijging van 2,4 mm ± 1,5 mm/jaar tot 2026.¹⁶

Toekomstscenario's 2050

Het KNMI is in Nederland de autoriteit op het gebied van toekomstscenario's. In oktober 2023 heeft het KNMI de nieuwste klimaatscenario's gepresenteerd (KNMI'23). Afhankelijk van de hoeveelheid uitgestoten broeikasgassen wordt tegen 2050 een versnelling van de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust verwacht. Deze varieert van 16-34 centimeter in het scenario met lage uitstoot tot 19-38 centimeter in het scenario met hoge uitstoot. Gemiddeld komt dit neer op een zeespiegelstijging van respectievelijk drie en vijf millimeter per jaar.¹⁷

Tabel 4-1 Cijfers voor zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust in 2050, gebaseerd op respectievelijk een laag en hoog uitstootscenario, ten opzichte van de referentieperiode 1995-2014 waarin het gemiddelde zeespiegelniveau op nul is gezet. Bron: [KNMI klimaatscenario's 2023](#).

Indicator	Referentieperiode 1995-2014	2050 Lage uitstoot scenario	2050 Hoge uitstoot scenario
Gemiddeld zeeniveau	0 centimeter	+ 24 (16-34 centimeter)	+27 (19-28 centimeter)
Tempo van verandering	3 mm/jaar	+3 (1 tot 6) mm/jaar	+5 (4 tot 8) mm/jaar

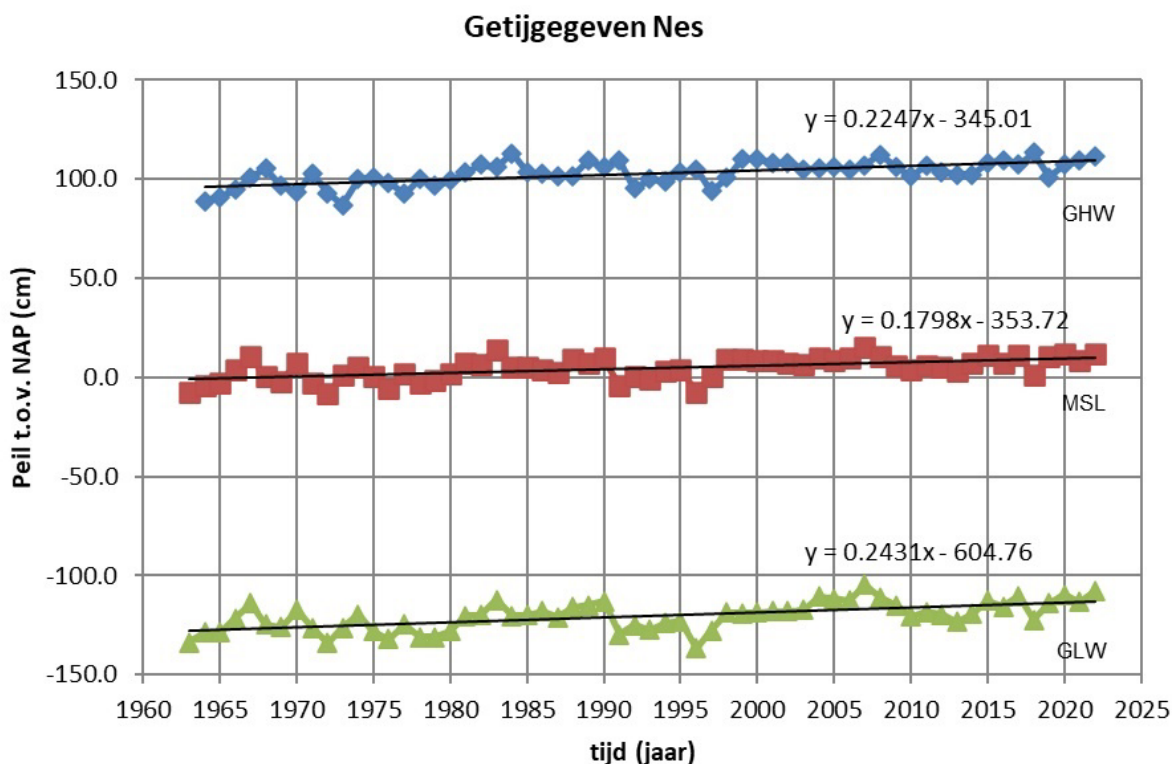
4.2 Waterstanden

Representatieve waterstanden

Op en rondom Ameland zijn verschillende getijdenstations waar waterstanden worden gemeten. Uit een analyse van Deltares blijkt dat de metingen bij getijdenstation Nes, gelegen bij de veerbootpier, het meest representatief zijn voor de waterstanden in Neerlands Reid en, in mindere mate, voor De Hon. Bij De Hon zijn de hoogwaterstanden gemiddeld vijf tot tien centimeter lager dan die bij Neerlands Reid. Dit komt doordat het zeewater bij vloed rond de oostpunt van het eiland stroomt en eerst De Hon bereikt, waardoor de golven minder krachtig zijn dan bij Neerlands Reid. Onder stormomstandigheden kan dit verschil verder variëren. Het gemiddelde verschil tussen eb en vloed bij Nes is 223 centimeter (gemeten tussen 1960 en 2023, zie Figuur 4-2).

¹⁶ DGKE / 22263937, Gebruiksruimtebesluit

¹⁷ KNMI, KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland



Figuur 4-2. Verloop gemiddeld hoogwater, gemiddeld zeeniveau en gemiddeld laagwater bij Nes. In de figuur is duidelijk het effect van de astronomische getijcomponent met een cyclus van 18,6 jaar te zien (zie par 2.1), met een amplitude in de orde van 6 à 7 centimeter.

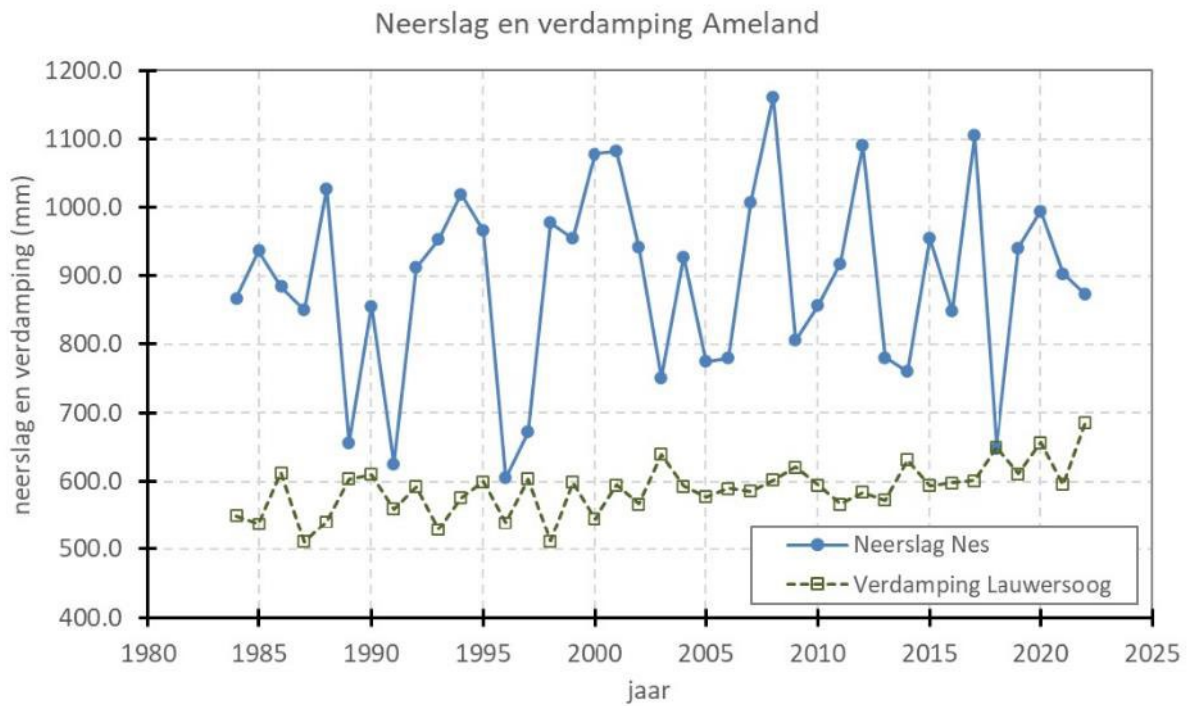
Station Wierumergronden

Uit het onderzoek naar inundaties van duinvalleien blijkt dat de overstromhoogte van de vallei die het eerst overstroomt (NCO2) beter overeenkomt met de metingen van getijdenstation Wierumergronden dan met die van station Nes. Dat is mede het gevolg van de opstuwing bij Nes en de ligging van het station ten opzichte van het wantij.

4.3 Neerslag en verdamping

Neerslag en verdamping zijn van belang voor zowel de abiotische omstandigheden (zoals de grondwaterstanden in de duinvalleien en inklinking/uitzetting van klei op de kwelder) als de flora en fauna.

Van 1951 tot 2022 is het lange termijn gemiddelde van de jaarlijkse regenval in Nes toegenomen. Gemiddeld viel er 902 millimeter neerslag per jaar in de periode 2016-2022. De gemiddelde verdamping vertoonde variatie. In 2018 werd, voor het eerst sinds het begin van de metingen in 1951, een negatief neerslagoverschot waargenomen, waarbij de totale neerslag twee millimeter minder was dan de verdamping. In 2019 werd juist een hoger neerslagoverschot dan gebruikelijk genoteerd, namelijk 329 millimeter (zie Figuur 4-3).



Figuur 4-3. Jaarlijkse neerslag en verdamping. De neerslaggegevens zijn afkomstig van Nes en de verdampingsdata van Lauwersoog (representatief voor Ameland).

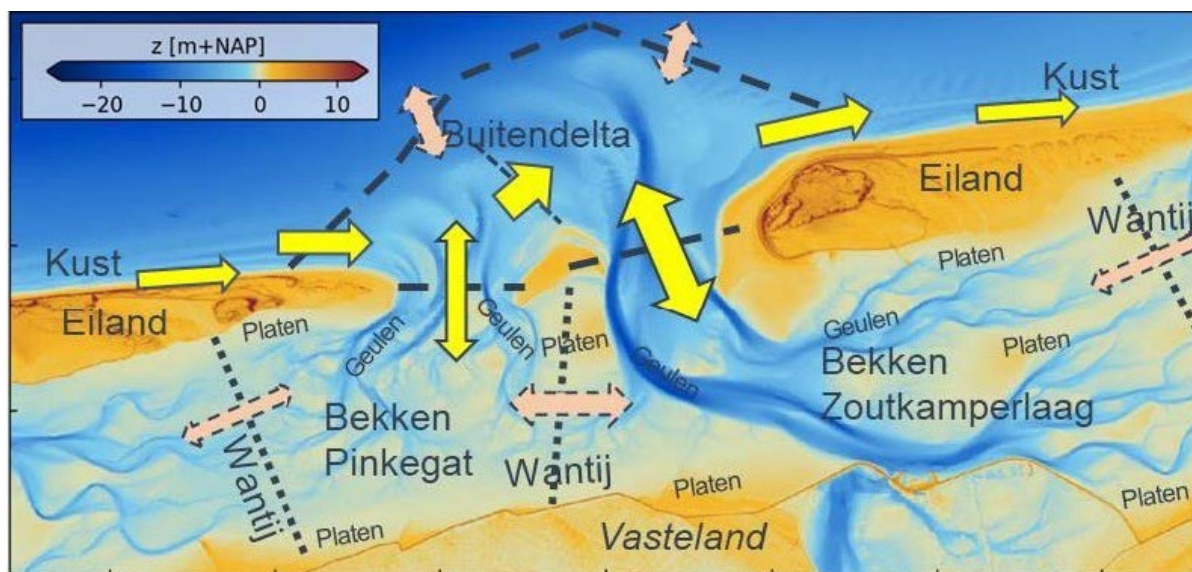


Inundatie duinvallei, door neerslag en/of overstroming vanuit de Waddenzee

5 Gevolgen voor Waddenzee, wadplaten en wadvogels

De droogvallende wadplaten van de Waddenzee zijn van onschatbare waarde. Ze herbergen niet alleen een grote biodiversiteit, maar dienen ook als onmisbare foerageer- en rustgebieden voor vele (trek)vogels. De ontwikkeling van zowel de wadplaten zelf als de vogels die hiervan afhankelijk zijn, is daarom een belangrijk thema in de langjarige monitoring van de gaswinning onder Ameland.¹⁸

5.1 Over het gebied



Figuur 5-1 Ligging van het kombergingsgebied Pinkegat en andere elementen van het zeegatsysteem tussen Ameland en Schiermonnikoog. De gele pijlen geven een indruk van de richting en omvang van sedimentstromen tussen de Noordzee en de Waddenzee.

De gaswinning op Ameland zorgt ook in de Waddenzee voor bodemdaling. Dit geldt vooral voor kombergingsgebied het Pinkegat, dat ook wordt beïnvloed door de MLV-winning vanuit Friesland. Het Pinkegat vult zich bij vloed en loopt leeg bij eb via de geulen van het Pinkegat. Het bekken van het Pinkegat wordt gescheiden van aangrenzende kombergingen door wantijen onder het Neerlands Reid en onder de Engelsmanplaat. Wantijen fungeren als ‘watervolumescheidingen’: ten westen en oosten daarvan stroomt het getijdenwater via verschillende geulen van de Noordzee naar de Waddenzee, en omgekeerd. Bij laagwater valt ongeveer 75% van het kombergingsgebied van het Pinkegat droog. Bij een waterstand van veertig centimeter onder NAP valt ongeveer de helft van het gebied droog, en dit gedeelte blijft ongeveer 3,5 uur droog liggen.

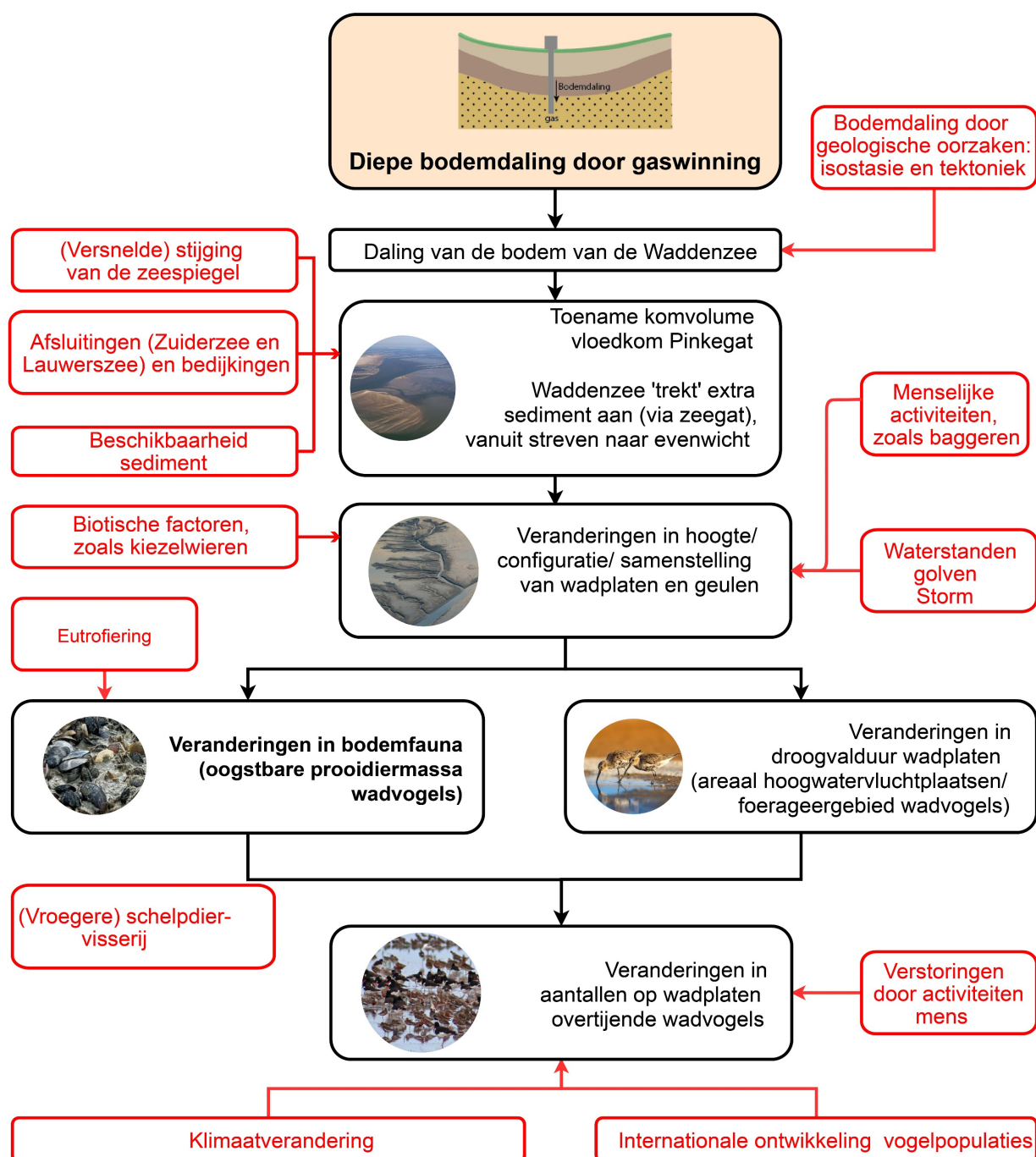
Een belangrijke functie van de droogvallende wadplaten is het bieden van een foerageergebied voor de vele vogels die gedurende kortere of langere tijd van de Waddenzee gebruik maken. Dit geldt niet alleen voor trekvogels, maar ook voor soorten die in het Waddengebied overwinteren of broeden.

¹⁸ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Krol, 2023, Natuurcentrum Ameland
- Lugt et al., 2023, Deltares
- Wang en Krol, 2024, Deltares en Natuurcentrum Ameland
- Kersten et al., 2023, EcoSense en EcoCurves

Sturende factoren voor morfologie en ecologie

Het Waddensysteem met wadplaten en geulen is een uiterst dynamisch gebied, dat door veel processen wordt gestuurd. Figuur 5-7 geeft hiervan een indruk.



Figuur 5-2 Sturende factoren die van invloed zijn op de morfologische en ecologische ontwikkeling van wadplaten. In zwart de processen die direct kunnen worden beïnvloed door diepe bodemdaling, in rood de factoren die ook een rol spelen bij ontwikkelingen.

Toelichting op Figuur 5-7, van boven naar onder (zie ook par.2.1):

- **Bodemdaling door gaswinning.** Dit is één van de sturende processen voor de morfologische ontwikkeling van het wadplaten en geulen, evenals zeespiegelstijging, menselijke ingrepen en de beschikbaarheid van sediment.
- **Toename komvolume en sedimentbehoefte.**
Door de bodemdaling wordt het Pinkegat dieper, wat leidt tot een toename van het komvolume. Omdat het systeem streeft naar evenwicht trekt het kombergingsgebied extra sediment aan vanuit de Noordzeekustzone. Dit kan tot extra erosie van de eilandkust leiden, wat wordt opgevangen door het uitvoeren van zandsuppleties langs de Noordzeekust (zie Hoofdstuk 10). Als er voldoende zand en slib in het kombergingsgebied wordt afgezet, kan dit de bodemdaling compenseren.
- **Veranderingen in hoogte, configuratie en samenstelling van wadplaten en geulen.**
De vorming en afbraak van wadplaten en geulen worden beïnvloed door de stroming van getijden en golven. Normaal gesproken vindt in een systeem met stabiel liggende getijdengeulen opbouw van wadplaten plaats, die tijdens stormen en hoge golven eroderen. In gebieden waar de geulen migreren, vindt er aan de ene kant erosie en aan de andere kant opbouw van wadplaten plaats.
De mogelijke invloed van de bodemdaling op getijdestromen is complex, met onderscheid tussen het intergetijdengebied, dat bij laagwater droogvalt, en de geulen. In het intergetijdengebied leidt bodemdaling tot een toename van de totale hoeveelheid water die bij vloed binnenkomt en bij eb weer terugstroomt (getijprisma). Daardoor neemt de stroomsnelheid in de geulen toe, wat de opbouw van de platen bevordert. Echter, de geulen zelf worden door de bodemdaling ruimer, wat de stroomsnelheid weer verlaagt.
Bovendien kan bodemdaling invloed hebben op de getij-asymmetrie, oftewel het verschil in kracht tussen vloed- en ebstromingen. Modelonderzoek uit 2005¹⁹ toonde aan dat bodemdaling de getijstroming versterkt, vooral bij vloedstromingen.
Verder kan de sedimentsamenstelling van het bodemoppervlak veranderen, afhankelijk van de korrelgrootteverdeling van het aanwezige en aangevoerde sediment, de condities waaronder het transport van sediment plaatsvindt en de richting van het netto sedimenttransport. Uit het hierboven genoemde modelonderzoek van Deltares bleek echter dat er geen significante invloed van bodemdaling op de sedimentsamenstelling werd verwacht. Deze conclusie blijft gehandhaafd volgens Deltares²⁰, hoewel recent onderzoek²¹ een mogelijk verband tussen bodemdaling en sedimentsamenstelling suggereert (zie discussie, Hoofdstuk 12).
- **Bodemfauna en droogvalduur van wadplaten.** De genoemde veranderingen van de wadplaten hebben invloed op de aanwezigheid en soortensamenstelling van bodemdieren en op het droogvallende oppervlak van de platen.
- **Gevolgen voor vogels.** Deze veranderingen werken op hun beurt door op de rust- en foerageermogelijkheden voor vogels.

¹⁹ Wang & Eysink, 2005, WL | Delft Hydraulics

²⁰ Wang en Krol, 2024, Deltares en Natuurcentrum Ameland

²¹ La Barra et al., 2023, Journal of Applied Ecology

Overige invloeden

Naast bodemdaling door gaswinning zijn er meer factoren die invloed hebben op de ontwikkeling van het waddensysteem, aangeduid in rood in Figuur 5-7:

- *Andere sturende processen*, zoals de stijging van de zeespiegel, het afsluiten van de Zuiderzee en de Lauwerszee, de beschikbaarheid van sediment, waterstanden, golven en stormen.
- *Biotische factoren*. In de sedimentdynamiek op wadplaten en in geulen spelen ook biotische factoren een rol. Zowel kiezelwieren als schelpdieren kunnen bijvoorbeeld zorgen voor het verkleven van sedimentdeeltjes, waardoor grotere aggregaten met andere eigenschappen worden gevormd.
- *Verstoringen door menselijke activiteiten*:
 - *Baggeren*. Diverse beheerders voeren baggerwerkzaamheden uit in de Waddenzee, voor het bevaarbaar en bereikbaar houden van vaarwegen en havens. Het gebaggerde sediment wordt – onder bepaalde voorwaarden – verspreid op daarvoor aangewezen verspreidingsvakken. Door het baggeren treedt lokaal vertroebeling van het water en sterfte van bodemdieren op. Ook kunnen baggerwerkzaamheden op sommige locaties effecten hebben op de Natura 2000-doelen in de Waddenzee.²²
 - *Mosselvisserij*: In 1990 leidde de (toenmalige) toename van de mosselvisserij in combinatie met lage broedval tot het bijna volledig verdwijnen van de droogvallende mosselbanken, met aanzienlijke gevolgen voor de vogelstand.
 - *Verstoringen door vliegverkeer, toerisme en de uitvoering van dijkverzwaringen*: Deze kunnen een grote impact hebben op gedrag en de overlevingskansen van vogels. Vooral de wulp is hiervoor zeer gevoelig.

Ook spelen (internationale) ontwikkelingen een rol, die deels een indirect gevolg zijn van menselijke activiteiten:

- *Invasieve exoten*. De Japanse oester bijvoorbeeld vestigt zich in de mosselbanken, wat leidt tot de vorming van voornamelijk gemengde banken.
- *Voedselrijkdom van de Waddenzee*. De laatste decennia stroomt er minder voedselrijk water de Waddenzee in. Dit heeft geleid tot een daling van het aantal bodemdieren en tot verandering in de samenstelling. Dit heeft effect gehad op de vogels die zich met bodemdieren voeden: er zijn nu minder vogels die zich met schelpdieren voeden, maar juist meer wormen etende vogels.²³
- *Klimaatverandering*. Dit heeft grote gevolgen voor de vogelstand, niet alleen in het Waddengebied, maar ook in de gebieden waar de vogels broeden of overwinteren.
- *Veranderingen in andere gebieden*. Vogelsoorten die tijdens hun trek gebruik maken van de Waddenzee kunnen ook beïnvloed worden door veranderende omstandigheden in hun broedgebieden of overwinteringsgebieden.

²² Rijkswaterstaat, 2023.

²³ Natura_2000, profielfdocument H1140

Wettelijke verplichtingen en beschermde status

Hand-aan-de kraan

Het kombergingsgebied van het Pinkegat wordt zowel beïnvloed door de gaswinning op Ameland als door de MLV-winningen. De NAM voert deze winningen uit onder zeer strikte vergunningsvoorwaarden, onder meer volgens het 'hand aan de kraan'-principe'. Dit principe houdt in dat de bodemdaling door gaswinning, opgeteld bij de zeespiegelstijging, niet groter mag zijn dan het meegroeivermogen: het (natuurlijke) vermogen van de wadbodem om door middel van sedimentatie mee te groeien.

In het Rijksprojectbesluit dat over de MLV-winning is genomen, is vastgelegd dat de effecten van bestaande gaswinning (zoals Ameland) als autonome bijdrage moeten worden meegenomen bij de bepaling van de zogenoemde gebruiksruimte. Voor het Pinkegat is het meegroeivermogen conservatief vastgesteld op zes millimeter per jaar.²⁴

Natura 2000

De Waddenzee is aangewezen als een Natura 2000-gebied, waarbinnen verschillende habitattypen en soorten wettelijk beschermd zijn. Tabel 5-1 geeft de Natura 2000-doelen weer.

Tabel 5-1 Natura 2000-habitattypen in de Waddenzee en instandhoudingsdoelen

Habitatype	Beschrijving	Doelstelling oppervlak	Doelstelling kwaliteit
H1110A	<i>Permanent overstroomde zandbanken</i> Dit subtype betreft zowel relatief vlak liggende gebieden als geulen in getijdengebieden. De huidige vorm van deze gebieden is voor een belangrijk deel ontstaan door afdamming van grote getijdengeulen (Zuiderzee, Lauwerszee). ²⁵	Handhaven	Verbeteren
H1140A	<i>Bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten</i> Dit subtype bestaat grotendeels uit laagdynamische wadplaten. Deze liggen relatief luw doordat ze door eilanden of zandbanken zijn afgeschermd van de golfwerking van de Noordzee. Dit habitatype kan alleen in stand blijven wanneer er een evenwicht is tussen zand- en slibaanbod en zeespiegelstijging, in combinatie met de luwte die door zandbanken en kusteilanden ontstaat. ²⁶	Handhaven	Verbeteren

Verder is de Waddenzee aangemeld als Natura 2000-gebied voor 38 soorten niet-broedvogels. Een deel daarvan gebruikt de wadplaten om te foerageren of rusten.

Relatie met MLV-monitoring

Omdat het Pinkegat door beide gaswinningen wordt beïnvloed, worden in dit gebied metingen uitgevoerd in het kader van beide monitoringprogramma's. Voor de MLV-winning wordt bijvoorbeeld het oppervlak van de wadplaten gevolgd. Beide programma's houden zich bezig met

²⁴ DGKE / 22263937, Gebruiksruimtebesluit

²⁵ Natura_2000, profielfdocument H1110A

²⁶ Natura_2000, profielfdocument H1140A

Legend

- aandachtsgebied
- Wad komberging
- Gasveld
- Waddenwinningen

0 2 4 6 8 10
kilometers

Rijksdriehoekskasteel

Topografie: © Copyright Topografische Dienst Kadaster (1998-00)

5.2 Ontwikkeling wadplaten en bekken

5.2.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

- Hoe ontwikkelen de hoogte en het areaal van de wadplaten zich?
- Wat is het effect van de diepe bodemdaling op de sedimentbalans van het kombergingsgebied van het Pinkegat?

Methoden

Om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de droogvallende wadplaten in het Pinkegat worden verschillende typen metingen uitgevoerd:

LiDAR

Voor de MLV-winnings worden sinds 2010 vlakdekkende hoogtemetingen uitgevoerd met behulp van LiDAR. Het is een techniek waarbij met laserpulsen de afstand tot een object wordt bepaald. In dit geval gaat het daarbij om de afstand tussen een vliegtuig en de wadplaten.^{28 29}

Een nadeel van de LiDAR-metingen is dat deze niet het gehele areaal tussen gemiddeld hoog- en laagwater bestrijken, maar ‘slechts’ het plaatareaal boven NAP-0,5m. De ontwikkelingen van de lagere delen van de platen en de onder water gelegen geulen worden gemist en kunnen vooralsnog alleen met de vaklodingen worden onderzocht.

²⁷ NAM, 2020

²⁸ Gawehn, 2023, Deltares

²⁹ Terratec, 2023. Waddenzee – LiDAR acquisition for 2020

Vaklodingen

Gemiddeld elke zes jaar worden dieptes in de Waddenzee gemeten met vaklodingen. Hieruit kunnen snelheden van sedimentatie en erosie worden afgeleid. Vaklodingen hebben echter een grote onbetrouwbaarheidsmarge, tot wel tien centimeter.

Geodetische metingen (waterpas, GNSS, GPS)

Naast de LiDAR-opnames vinden er in het kader van de MLV-winning ook andere metingen plaats die informatie verschaffen over de hoogteontwikkeling van de wadplaten, waaronder die in het Pinkegat. Zo vinden er bij de GNSS-clusters in het gebied waterpassingen plaats (sedimentgrids). De NAM meet ook de hoogteveranderingen van de kop van stalen palen, die diep in de wadbodem zijn gefundeerd. Deze data geven inzicht in de diepe bodemdaling en worden onder andere gebruikt om het bodemdalingsmodel van de NAM te verifiëren (zie par. 3.2).³⁰

Spijkermetingen

Voor zowel de Ameland-winning als de MLV-winning worden sinds 2000 spijkermetingen uitgevoerd. Dit zijn metingen waarbij een grondanker in de wadbodem wordt geplaatst op ongeveer een meter diepte. Aan dit grondanker is een niet-rekbaar touw bevestigd met een aluminium ring. Zes keer per jaar wordt de afstand tussen de ring en het oppervlak van de wadplaat bepaald. Uit het meetresultaat kan de sedimentatie berekend kan worden. De voor Ameland relevante metingen vinden plaats op de wadplaat voor Oost-Ameland (17 meetstations), de Engelsmanplaat (6 meetstations) en op twee wadplaten zonder diepe bodemdaling voor West-Ameland (17 meetstations). In 2013 zijn de hoogtes van de meetstations ingemeten met een GPS-RTK apparaat met een nauwkeurigheid van +2 centimeter.



Spijkermetingen op de wadplaten

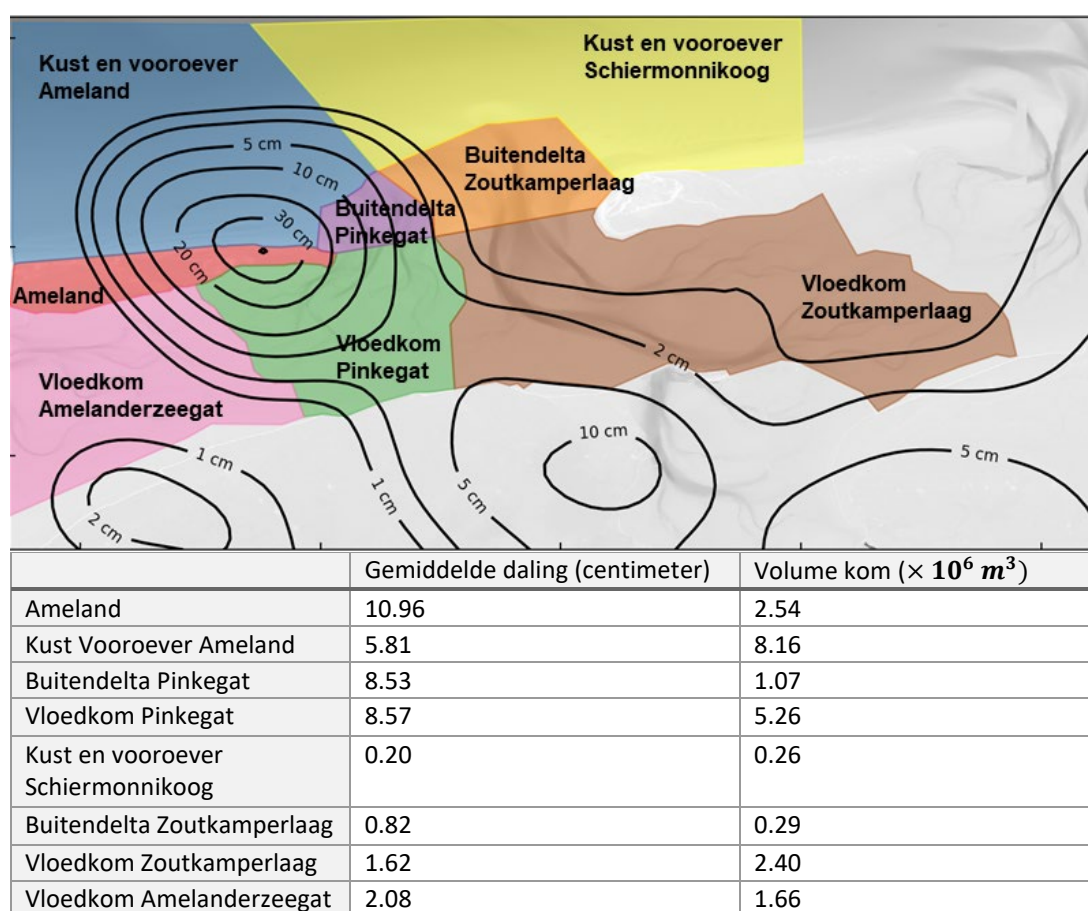
³⁰ NAM, 2023, Gaswinning MLV

5.2.2 Resultaten en conclusies

Bodemdaling door gaswinning: analyse van rekenbestanden

Op basis van de Excel-bestanden van de NAM (zie par. 3.2.1) heeft Deltares de gemiddelde bodemdaling per deelgebied bepaald. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 5-1. Sinds de start van de gaswinning is de bodem onder het kombergingsgebied Pinkegat gemiddeld 8,57 centimeter gedaald. Het volume van de dalingskom is in die periode ruim vijf miljoen m³ toegenomen (zie Figuur 5-1).

Voor de wadplaten die direct onder Oost-Ameland liggen, werd een gemiddelde diepe bodemdaling berekend van gemiddeld 3,9 millimeter per jaar (in de periode 2001-2022).

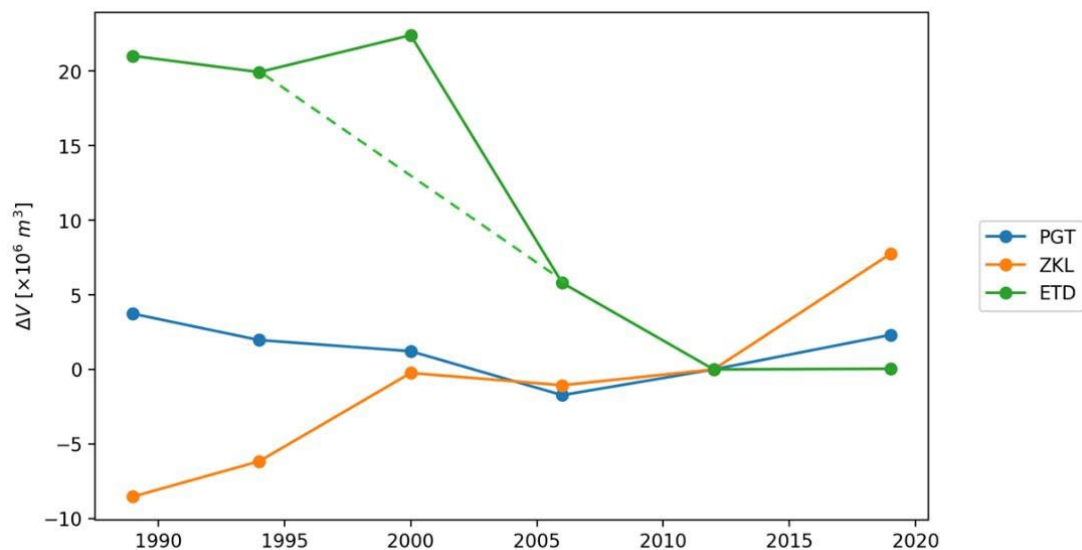


Figuur 5-4 Gemiddelde daling en volume van de dalingskom door gaswinning vanaf 1986 tot 2022, voor Ameland en omliggende deelgebieden. De contouren in de bovenste figuur geven de bodemdaling tot 2019 aan (zie figuur 3.6 voor actuele waarden).

Sedimentatie en erosie

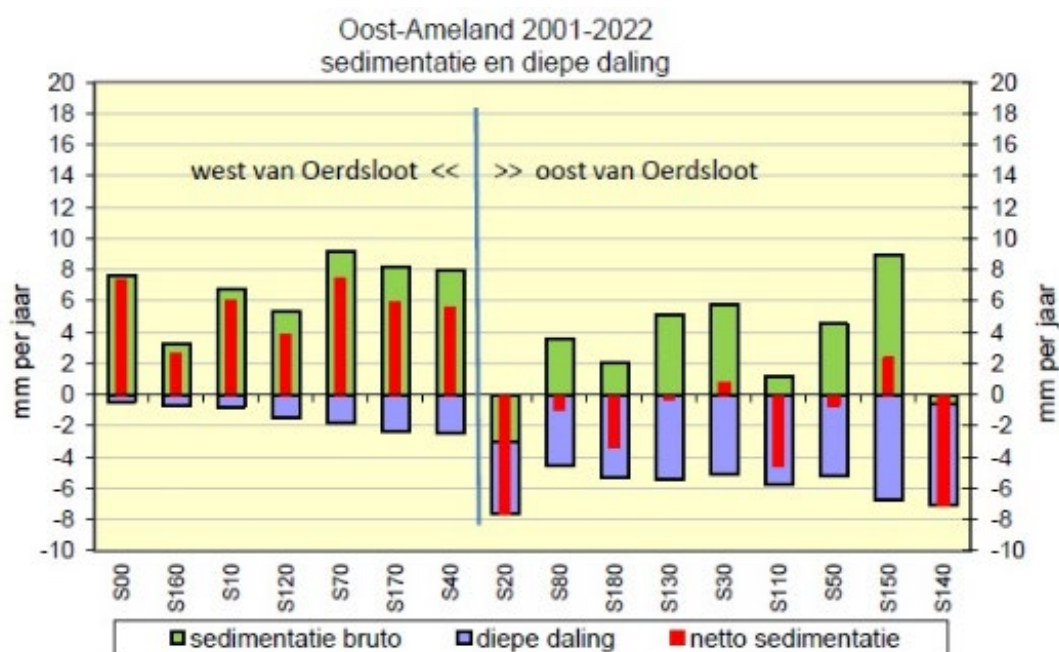
Uit de *vaklodingen* blijkt dat de hoeveelheid sediment die in het Pinkegat wordt afgezet sinds 1972 redelijk stabiel is. Na een geringe afname tussen 1990 en 2005, neemt het sedimentvolume de laatste jaren weer licht toe (zie de blauwe lijn in Figuur 5-2). Tussen 2012 en 2019 is de hoeveelheid sediment in het kombergingsgebied van het Pinkegat met 3,26 miljoen m³ toegenomen. Dit komt overeen met een gemiddelde bodemstijging van bijna zes centimeter gemiddeld over het gehele

bekken. De veranderingen in sedimentvolumes vallen echter binnen de onzekerheidsmarges van de metingen.



Figuur 5-5. Tijdreeksen van de volumes van het kombergingsgebied van het Pinkegat (PGT, blauwe lijn), de Zoutkamperlaag (ZKL, oranje lijn), en de buitendelta van het Friesche zeegat (ETD, groene lijn), waarbij de gestippelde lijn de uitschieter in 2000 negeert). De volumes zijn berekend ten opzichte van de bodemligging van 2012 en uitgedrukt in miljoenen kubieke meters.

Ook de *spijkermetingen* op de wadplaten bij Oost-Ameland tonen overwegend sedimentatie, variërend tussen de één en negen centimeter van 2001 tot 2022. Bij twee meetstations trad enige erosie op. De gemiddelde sedimentatie in bedroeg 4,8 millimeter per jaar (zie Figuur 5-3).



Figuur 5-6 Gemiddelde jaarlijkse sedimentatie of erosie, diepe bodemdaling en netto-effect op de hoogte van de wadplaat per meetstation.

Voor de platen ten westen van de Oerdsloot/het wantij is er genoeg sedimentatie om de diepe bodemdaling te compenseren. Maar vlak langs de kust ten oosten hiervan ligt een wadplaat van drie

kilometer lengte, waar erosie overheerst (zie Figuur 5-4). Hier daalt het maaiveld met ongeveer vier millimeter per jaar.

Vermoedelijk is de verlaging van dit specifieke wadplaatgebied echter geen direct gevolg van de gaswinning. De oostpunt van Ameland is van nature erg dynamisch, wat ook de stromingen sterk beïnvloedt. Mogelijk wordt de verlaging veroorzaakt doordat het wadplaatgebied als een soort toevoer-/afvoergebied fungeert voor getijdenwater dat rondom de oostpunt trekt van en naar de Oerdsloot.



Figuur 5-7. Deze figuur toont het globale gebied van netto daling van de wadplaten als gevolg van diepe bodemdaling door gaswinning (gemarkeerd met de gele lijn).

Overige platen: Uit de spijkermetingen blijkt dat de jaarlijkse sedimentatie op het wad ten zuiden van Oost-Ameland (4,8 mm/j) weinig verschilt van de sedimentatie bij West-Ameland (5,2 mm/j) en op de Piet Scheveplaat (7,5 mm/j). Voor de Engelsmanplaat geldt dat deze onderhevig is aan erosie, waarschijnlijk veroorzaakt door de afsluiting van de Lauwerszee. Dit heeft geleid tot een tekort aan sediment in het kombergingsgebied Zoutkamperlaag, waardoor de erosie van de Engelsmanplaat is toegenomen. Het is onwaarschijnlijk dat deze erosie door bodemdaling wordt veroorzaakt of dat de bodemdaling de erosie heeft versterkt.

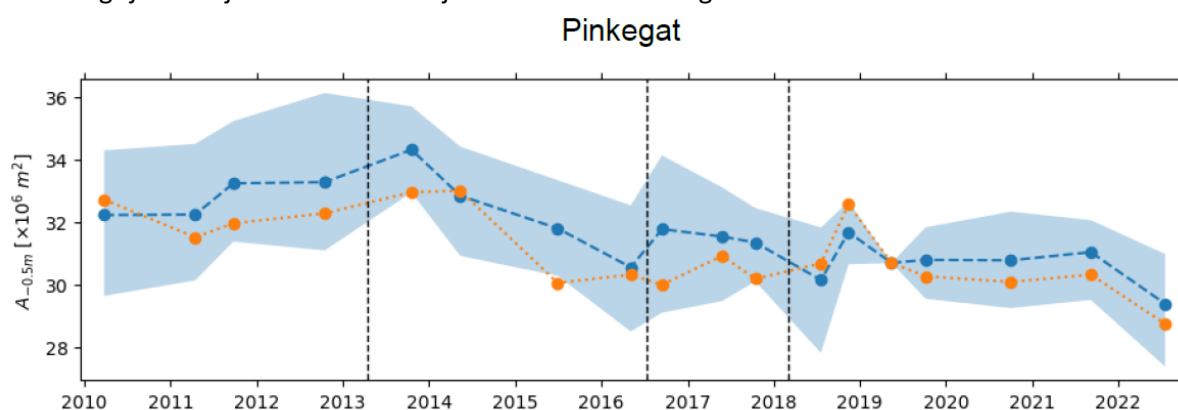
Uit de spijkermetingen blijkt verder dat stormen (tijdelijk) een significante invloed kunnen hebben op de hoogte van de wadplaten. Dit komt bijvoorbeeld naar voren in de waargenomen forse erosie die in februari 2022 optrad op de Engelsmanplaat. Deze werd veroorzaakt door opeenvolgende stevige stormen in vijf dagen tijd en veroorzaakte een erosie van 4,6 centimeter.

Areaal wadplaten

LiDAR-metingen

De metingen laten zien dat er grote variaties zijn in de groei en erosie van wadplaten, zowel in de ruimte als in de tijd. Deze variaties blijken elkaar grotendeels te compenseren over het gehele kombergingsgebied van het Pinkegat.

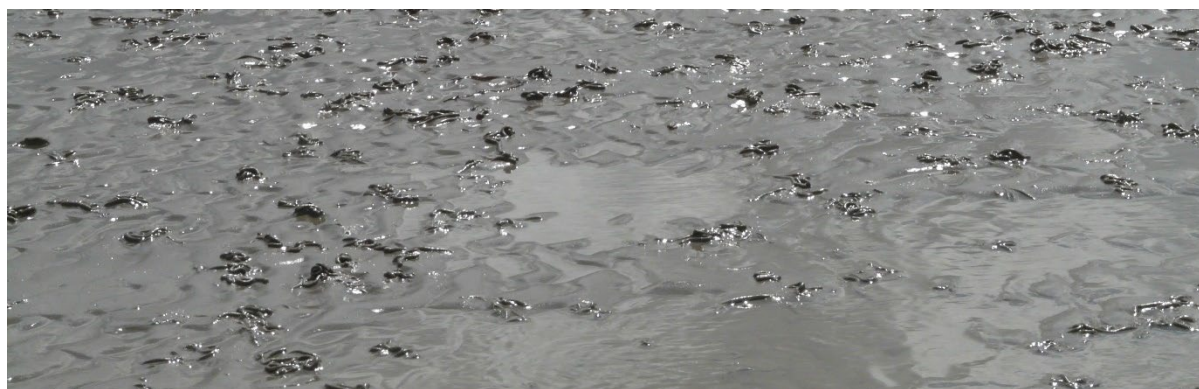
De waargenomen veranderingen van het plaatareaal boven NAP-0,5m in het Pinkegat zijn veel groter dan dat wat men zou verwachten op basis van alleen bodemdaling. Dit suggereert dat natuurlijke morfodynamische processen een overheersende rol spelen. Bovendien is er geen duidelijke correlatie tussen de plekken met de grootste verschillen in groei en erosie en de gebieden met de meeste bodemdaling. Dit onderstreept dat andere factoren dan bodemdaling waarschijnlijk de belangrijkste drijvende krachten zijn voor de veranderingen.



Figuur 5-8. Ontwikkeling van het areaal wadplaten (hoger dan NAP -0.5m) in het kombergingsgebied van het Pinkegat. De oranje reeks vertegenwoordigt de originele data, terwijl de blauwe reeks de gecorrigeerde dataset weergeeft. De blauwe onzekerheidsbanden illustreren de onzekerheidsmarge van de correctie. De verticale streepjeslijnen geven de wisseling van het type laserscanner weer. De figuur laat zien dat het wadplaatareaal in 2022 iets afnam, maar dat dit binnen de onzekerheidsmarge van de metingen viel.

Meegroeivermogen

De MLV-rapportage van 2023, die de meest recente gegevens over bodemdaling en zeespiegelstijging in het Pinkegat volgens het 'hand aan de kraan' principe bevat, laat zien dat het meegroeivermogen van het Pinkegat gedurende de geplande productieperiode niet wordt overschreden. Voor nadere onderbouwing wordt verwezen naar genoemde rapportage.³¹



Sedimentatie op een wadplaat

³¹ NAM, 2023, gaswinning MLV

Conclusies

Kombergingsgebied Pinkegat: Volgens de berekeningen bedraagt het bodemdalingsvolume veroorzaakt door de gaswinning ruim 5 miljoen m³. In het sterk dynamische Pinkegat is de invloed van erosie en sedimentatie echter een orde groter dan de invloed van diepe bodemdaling. Gedurende de gehele periode van gaswinning is er in het begin een beperkt sedimenttekort ontstaan, maar het volume hiervan valt binnen de onzekerheidsmarges van de metingen. De laatste jaren is de sedimentatie toegenomen, en is de bodemdaling door gaswinning volledig gecompenseerd.

Wadplaten: Uit de spijkermetingen blijkt dat de wadplaten voor de kust van Ameland een gemiddelde sedimentatie van 4,8 millimeter per jaar hebben. Dit is voldoende om de 3,9 millimeter per jaar daling ten gevolge van de gaswinning te compenseren. Er zijn echter variaties in de mate van bodemdaling en sedimentatie. In een wadplaatgebied ten zuidoosten van de Oerdsloot, waar de diepe daling maximaal is en de sedimentatie minimaal, is de netto verlaging van het maaiveld ongeveer vier millimeter per jaar. De specifieke oorzaak van deze verlaging is niet eenduidig vast te stellen.

Uit LiDAR-metingen blijkt dat de hoogte en het oppervlak van wadplaten sterk verschillen in tijd en ruimte: bepaalde wadplaten groeien terwijl andere platen juist eroderen. Deze variaties vallen echter binnen de onzekerheidsmarge van de metingen en heffen elkaar op de schaal van het gehele kombergingsgebied van het Pinkegat min of meer op. De data laten geen verband zien met de bodemdaling. Stormen blijken een significante invloed te kunnen hebben op de hoogte van de wadplaten.

Volgens de MLV-rapportage uit 2023 is de bodemdaling door gaswinning binnen de gestelde gebruiksruimte van het Pinkegat en Zoutkamperlaag gebleven.



Platen en geulen in de Waddenzee

5.3 Ontwikkeling wadvogels

5.3.1 Onderzoeksvraag en methoden

Onderzoeksvraag

Wat is de ontwikkeling van wadvogels op verschillende hoogwatervluchtplaatsen op Oost-Ameland (rond het Pinkegat) en in referentiegebieden?

Methoden

De wadvogels op hoogwatervluchtplaatsen rondom het Pinkegat (inclusief Oost-Ameland) worden zowel in het kader van de Ameland-monitoring gevolgd als in het kader van de MLV-monitoring.

Ameland-tellingen

Sinds 1972 worden de wadvogels op Ameland geteld, wat heeft geresulteerd in een indrukwekkende dataset. Sinds de start van de monitoring ligt de focus op veertien vogelsoorten die afhankelijk zijn van de wadplaten en mogelijk negatief worden beïnvloed door de gaswinning en de daarmee gepaard gaande bodemdaling. Deze soorten zijn de eider, bergeend, scholekster, bontbekplevier, zilverplevier, goudplevier, steenloper, wulp, rosse grutto, kluut, tureluur, groenpootruiter, bonte strandloper en kanoet. Deze soorten zijn allemaal afhankelijk van het wad voor hun voedsel en er worden regelmatig meer dan honderd individuen op Ameland geteld.

Het gebied Oost-Ameland is opgedeeld in drie telgebieden: De Hon, het Neerlands Reid en de polder ten oosten van Nes. Tot 2001 werden de hoogwatertellingen uitgevoerd door de wadvogeltelgroep Ameland, met een gemiddelde frequentie van vijf tellingen per jaar. Deze tellingen onderscheidden de voorjaarsstrek, najaarsstrek en winterperiode. Na 2001 is, in samenwerking met medewerkers van het Natuurcentrum Ameland, de frequentie van de tellingen verhoogd naar ongeveer tien per jaar.

Tijdens de tellingen worden alle steltlopers, ganzen en eenden geteld die zich tijdens hoogwater buiten- en binnendijs verzamelen (overtijen). Om dubbeltellingen te voorkomen, worden in elk deelgebied van het eiland simultane tellingen uitgevoerd. Sommige vogelsoorten worden geteld wanneer ze van het wad naar de hoogwatervluchtplaats vliegen.

Voor de analyse van mogelijke effecten van bodemdaling zijn de getelde aantallen wadvogels van voor het begin van de aardgaswinning (1972–1986) vergeleken met de aantallen in de periode van 2017 tot 2022.

Om de vogeltrends op Oost-Ameland te beoordelen, worden de gegevens vergeleken met die van verschillende referentiegebieden. De gekozen referentiegebieden voor Oost-Ameland zijn West-Ameland, Oost-Schiermonnikoog en de Boschplaat.

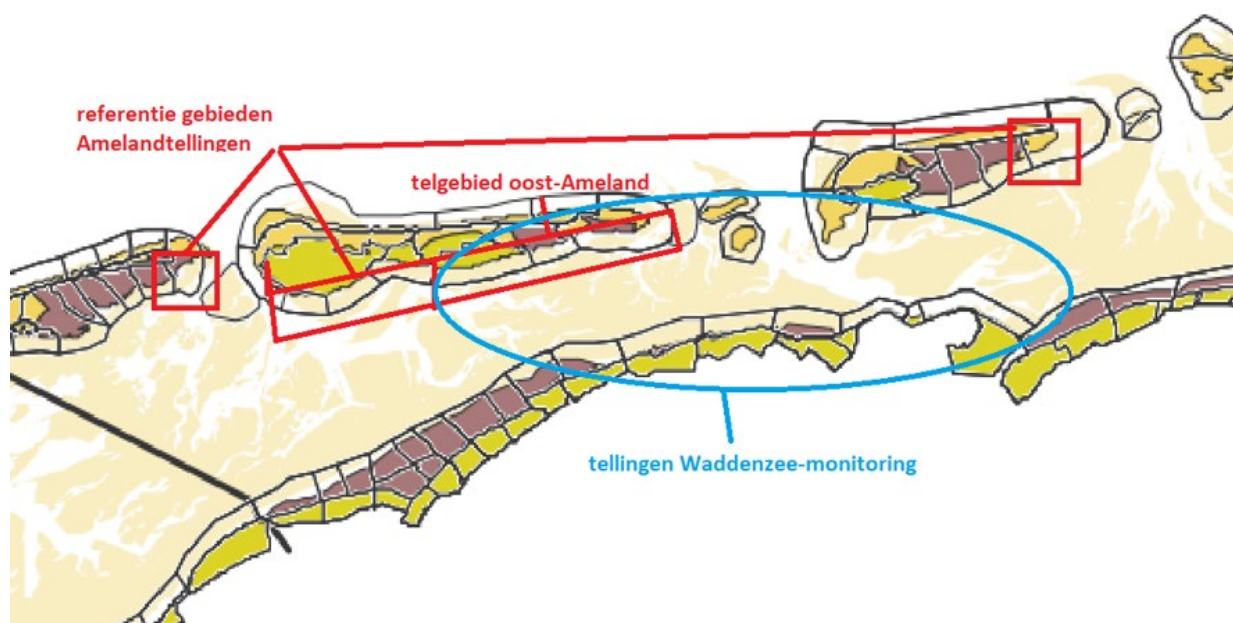
West-Ameland en Oost-Ameland: twee getijdepopulaties

De wadvogels bij Ameland kunnen worden onderverdeeld in twee afzonderlijke 'getijdepopulaties', gebaseerd op hun locatie ten opzichte van de veerdam bij Nes. De vogels die zich verzamelen op de hoogwatervluchtplaatsen ten oosten van de veerdam, verspreiden zich bij eb over het droogvallende wad aan de oostkant. Op dezelfde manier verspreiden de vogels ten westen van de veerdam zich over de westelijke hoogwatervluchtplaatsen.

Deze twee populaties hebben onder normale omstandigheden over het algemeen weinig tot geen uitwisseling. Deze scheiding maakt West-Ameland een geschikt referentiegebied voor het bestuderen van de vogelpopulaties op Oost-Ameland.³²

MLV-tellingen³³

Ook voor de MLV-monitoring wordt gebruik gemaakt van vogeltellingen op de hoogwatervluchtplaatsen rondom de Waddenzee³⁴. Hierbij gaat het om dertien soorten, die grotendeels overeenkomen met de soorten van de Ameland-monitoring. Bij de MLV-monitoring worden echter de vogelrichtlijnsoorten eider, groenpootruiter en goudplevier niet meegenomen, terwijl de pijlstaart en de driesteenstrandloper juist wel worden gemonitord.



Figuur 5-9 Overzicht van de telgebieden van wadvogels, waarbij in rood de tellingen voor de Ameland-winning zijn weergegeven en in blauw die voor de MLV-winnings. Bronnen: Ens et al., (2009 (ondergrond), en rapportages van de Ameland-monitoring en MLV-monitoring

Voor de MLV-monitoring zijn de watervogeltellingen van de Waddenzee tot en met het jaar 2022 gebruikt. Er zijn trends berekend in de seizoensgemiddelden voor zowel de korte termijn (vanaf 2010) als de lange termijn (vanaf 1994). Deze trends zijn vervolgens vergeleken met ontwikkelingen in de rest van de Nederlandse Waddenzee evenals met de Duitse en Deense delen van de Waddenzee.

³² Mededeling Rappoldt, 2023

³³ Duijns et al., 2023, Sovon (in kader van MLV-winning)

³⁴ Deze tellingen worden gecoördineerd door Sovon

Daarnaast is voor de MLV-monitoring geanalyseerd of de draagkracht van het gebied voor de onderzochte soorten afgenomen is in de periode waarin bodemdaling heeft plaatsgevonden. De geschiktheid van het gebied voor het foerageren van deze soorten is bepaald op basis van de beschikbare hoeveelheid voedsel op specifieke locaties, de oppervlakte van geschikt foerageergebied, en de droogvalduur ervan. Voor deze analyse is het model 'Wadmap' gebruikt.

5.3.2 Resultaten en conclusies

Amelandtellingen

Van de 29 mogelijke soort-seizoencombinaties is het aantal vogels op Oost-Ameland sinds 1972–1986 in slechts vijf combinaties nagenoeg onveranderd gebleven. In twaalf combinaties is het aantal vogels met meer dan 50% toegenomen, terwijl in zes combinaties het aantal vogels met meer dan 33% is afgenomen. Voor veel soorten vertoont de ontwikkeling van de aantallen op Oost-Ameland overeenkomsten met die in de referentie-gebieden (groene stippen in Tabel 5-2). Dit wijst erop dat lokale factoren op Oost-Ameland waarschijnlijk niet verantwoordelijk zijn voor de waargenomen veranderingen in aantallen.

Bij zeven soorten wijkt de aantalsontwikkeling op Oost-Ameland echter af van die in de referentiegebieden (rode stippen in Tabel 5-2). In drie van de zeven gevallen is de aantalsontwikkeling op Oost-Ameland gunstiger dan die in de referentie gebieden (bergeend najaar, scholekster najaar, groenpootruiter voorjaar). In vier gevallen is de aantalsontwikkeling op Oost-Ameland juist minder gunstig dan die in de referentiegebieden (steenloper najaar, wulp winter, rosse grutto najaar en tureluur winter). Het gaat om de volgende vier soorten:

- *Steenloper*: Tijdens de najaarstrek zijn de maximale aantallen op Oost-Ameland afgenomen ten opzichte van het tijdvak 1972–1986. Ten opzichte van dat tijdvak zijn de aantallen op West-Ameland juist sterk toegenomen. Op de Boschplaat (Terschelling) en op Oost-Schiermonnikoog is er geen sprake van een duidelijke verandering van de aantallen. Het aantal overwinterende steenlopers en het aantal steenlopers tijdens de voorjaartrek op Oost-Ameland, is toegenomen.
- *Tureluur*. Het aantal overwinterende tureluurs op Oost-Ameland is sinds de periode 1972-1986 sterk afgenomen. Op West-Ameland is het aantal overwinteraars eveneens afgenomen, terwijl er op de Boschplaat juist sprake is van een heel geleidelijke toename. Op Oost-Schiermonnikoog is er geen sprake van een duidelijke langjarige trend.
- *Wulp*. In de huidige situatie (tijdvak 2017–2022) overwinteren er op Oost-Ameland minder wulpen dan in 1972–1986. Op West-Ameland overwinteren er tegenwoordig meer wulpen dan voor de gaswinning. In de referentiegebieden bleef het aantal overwinterende wulpen min of meer stabiel.
- *Rosse grutto*. Het maximum aantal rosse grutto's tijdens de najaarstrek op Oost-Ameland neemt langzaam af terwijl er op West-Ameland juist sprake is van een toename. De trends in het aantal rosse grutto's in de andere referentiegebieden verschillen en worden waarschijnlijk vooral bepaald door lokale factoren.

Tabel 5-2 Overzicht van de veranderingen in het aantal wadvogels op Oost-Ameland en de referentiegebieden West-Ameland, Boschplaat en Oost-Schiermonnikoog ten opzichte van de periode 1972-1986. De verklaring van de symbolen wordt weergegeven in Tabel 5.2.

soortnaam	seizoen	Oost	West	Boschplaat	Schier	Consistentie
Eider	zomer	~	—	~	~	●
Bergeend	winter	~	~	~	↗	●
	najaar	~	~	↘	↘	●
Scholekster	winter	—	—	↘	↘	●
	najaar	~	—	↘	↘	●
Bontbekplevier	voorjaar	++	++	↗	↗	●
	najaar	++	++	↗	↗	●
Zilverplevier	winter	++	~	↗	↗	●
	voorjaar	~	~	~	~	●
	najaar	~	~	~	~	●
Goudplevier	voorjaar	++	++	afwezig	afwezig	●
	najaar	++	++	afwezig	afwezig	●
Steenloper	winter	++	++	↗	↗	●
	voorjaar	++	++	~	~	●
	najaar	—	++	~	~	●
Wulp	winter	—	+	~	~	●
	najaar	—	~	~	~	●
Rosse Grutto	voorjaar	++	~	↗	~	●
	najaar	—	+	~	~	●
Kluut	najaar	—	—	↘	↘	●
Tureluur	winter	—	—	↗	~	●
	najaar	—	—	?	~	●
Groenpootruiter	voorjaar	+	—	?	~	●
	najaar	~	—	?	~	●
Kanoet	winter	++	++	~	afwezig	●
	najaar	++	++	~	~	●
Bonte Strandloper	winter	++	+	~	~	●
	voorjaar	~	~	~	~	●
	najaar	~	+	↘	~	●

Tabel 5-3 De betekenis van de symbolen die zijn gebruikt in Tabel 5.2

symbool	betekenis
— —	Een afname met meer dan 50% (een factor 2.0).
—	Een afname met meer dan 20% (een factor 1.25).
~	Ongeveer gelijk gebleven aantallen.
+	Een toename met meer dan 25% (een factor 1.25).
++	Een toename met meer dan 100% (een factor 2.0).
↗	Langjarige trend is toenemend voor Boschplaat of Oost-Schiermonnikoog (zie grafiek in Appendix A van Kersten et al. (2023)).
↘	Langjarige trend is afnemend voor Boschplaat of Oost-Schiermonnikoog (zie grafiek in Appendix A van Kersten et al. (2023)).
?	Te weinig tellingen om een trend te kunnen bepalen.
●	Consistent bij verandering op Oost-Ameland In tenminste één van de referentiegebieden vindt een verandering met hetzelfde teken plaats, terwijl in géén van de referentiegebieden het teken tegengesteld is.
●	Consistent bij gelijkblijvend aantal op Oost-Ameland In tenminste twee van de drie referentiegebieden blijft het aantal ook gelijk en het aantal op West-Ameland is niet met meer dan een factor 2 veranderd.
●	Niet consistent Het teken van de verandering op Oost-Ameland is tegengesteld aan dat in tenminste één van de drie referentiegebieden.
●	Onduidelijk Voldoet niet aan de criteria voor "consistent" of "niet consistent".

MLV-tellingen³⁵

Ook uit de resultaten van de MLV-tellingen blijkt dat de tureluur, wulp en rosse grutto in het bodemdalingsgebied een negatieve trend vertonen in vergelijking met de rest van de Waddenzee:

- **Tureluur:** Sinds 1994 wordt er een langzame afname van het aantal tureluurs in het Pinkegat/ Zoutkamperlaag gezien. Vanaf 2015 lijken de aantallen zich te stabiliseren. Ook in de rest van de Nederlandse Waddenzee zijn de aantallen sinds 2010 stabiel.
- **Wulp:** Sinds 1994 wordt er een afnemend aantal wulpen geconstateerd. Vanaf 2010 is er ook in de rest van de Waddenzee een daling in hun aantallen te zien.
In de rapportage wordt aangegeven dat veranderingen in het voedselaanbod op de weilanden een rol zou kunnen spelen, of verstoring door bijvoorbeeld de dijkversterking op Ameland.
- **Rosse grutto:** Er wordt een duidelijke afname waargenomen vanaf 1994. Echter, op korte termijn (sinds 2010) is de trend stabiel. Deze stabiliteit op korte termijn is ook waarneembaar in de rest van de Nederlandse Waddenzee. In tegenstelling hiermee neemt het aantal rosse grutto's in de Duitse en Deense Waddenzee al langere tijd af.

Wat betreft de steenloper, laten ook de MLV-tellingen een grillig patroon zien, met perioden van toename en afname. Gemiddeld gezien zijn de aantallen in Pinkegat/ Zoutkamperlaag sinds 1994 matig toegenomen.

³⁵ Duijns et al., 2023, Sovon (in kader van MLV-winning)

Volgens de MLV-rapportage is er een negatieve trend in het voedselaanbod enkel vastgesteld voor de scholekster. Voor de andere soorten, met name de wulp in het najaar en de rosse grutto eveneens in het najaar, blijkt de draagkracht van de wadplaten onveranderd te zijn.

Conclusies

Fluctuaties: Uit beide monitoringonderzoeken blijkt dat de getelde aantallen vogels aanzienlijk kunnen fluctueren, zowel tussen verschillende jaren, als binnen een specifiek jaar.

Zo daalt het aantal rosse grutto's op Oost-Ameland tijdens de najaarstrek, terwijl het aantal bijna verdubbelt tijdens de voorjaarstrek. Bij deze vogelsoort betreft het verschillende ondersoorten, die in verschillende leefgebieden foerageren.³⁶

Interpretatie: Het interpreteren van de resultaten van deze tellingen en de vergelijking met referentiegebieden wordt dan ook sterk beïnvloed door de gebruikte onderzoeksmethoden, waaronder de keuze van referentiejaren en -gebieden als vergelijkingsbasis.

Trends: Voor de wulp, tureluur en rosse grutto tonen zowel de Ameland-tellingen als de MLV-tellingen een negatieve trend over een lange periode. Deze trend wijkt af van de referentiegebieden in de Nederlandse Waddenzee, maar komt overeen met de lange termijn trend in de Deense en Duitse Waddenzee (referentie-gebieden binnen de MLV-tellingen).

Op korte termijn valt vooral de negatieve trend op voor de wulp, niet alleen in het gebied waar de bodem daalt, maar in de hele Nederlandse Waddenzee.

Voor het aantal tureluurs zijn de resultaten afhankelijk van de vergeleken tijdvakken. Op basis van de Amelandtellingen lijkt er tussen de tijdvakken 2000-2010 en 2010-2022 een sterke afname te zijn in het aantal overwinteraars op Oost-Ameland en van het aantal doortrekkers in het najaar op heel Ameland. Deze trend wijkt af van de referentiegebieden. Sinds 2010 lijkt het aantal tureluurs zich binnen de MLV-tellingen te stabiliseren, zowel in het gebied waar de bodem daalt, als in de Nederlandse en de internationale Waddenzee.

Draagkracht: Er zijn geen aanwijzingen dat de draagkracht van de wadplaten negatief beïnvloed wordt door de bodemdaling door gaswinning.



Wulpen

³⁶ Duijns, Sjoerd, 2014, University of Groningen

6 Gevolgen voor de kwelders: abiotiek

In het oosten van Ameland liggen twee kwelders: Neerlands Reid ten westen van het duincomplex de Oerderduinen en De Hon ten oosten daarvan. Deze kwelders vertegenwoordigen een gevarieerd landschap in verschillende stadia van ontwikkeling. Tussen beide kwelders ligt een smalle kwelderrand. Het (monitoring)onderzoek omvat grofweg drie delen:

- De abiotische ontwikkeling, met nadruk op sedimentatie, erosie, drainage en overstroming.
- De ontwikkeling van de kweldervegetatie
- Onderzoek naar broedvogels en de overstromingskansen van hun broedplaatsen.

Dit hoofdstuk concentreert zich op het abiotische deel van de monitoring.³⁷ De volgende twee hoofdstukken bespreken achtereenvolgens de vegetatie en de broedvogels.

6.1 Over het gebied

Het Neerlands Reid

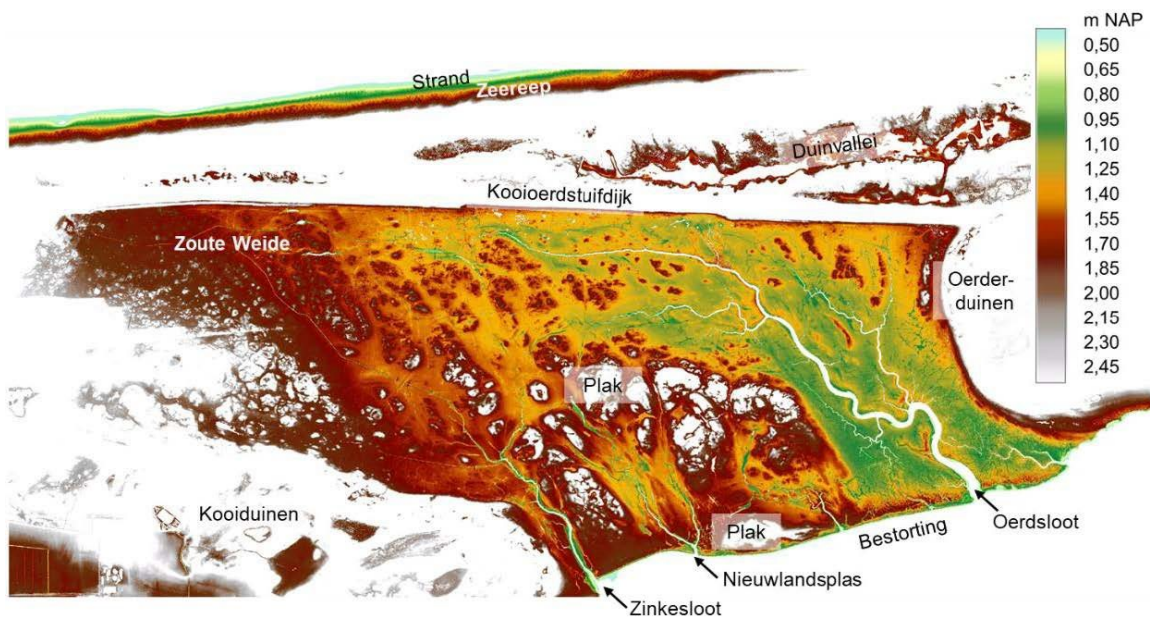
Het Neerlands Reid is ontstaan uit een open strandvlakte, gelegen tussen de duinen van Nes en die van het Oerd. De aanleg van een stuifdijk tussen de Kooiduinen en het Oerd rond 1890 maakte een einde aan overstromingen vanuit de Noordzee en stuivend zand vanaf het strand. Door de dijk viel de dynamiek weg en ontstonden er rustigere omstandigheden aan de zuidzijde. Al snel ontstond er een begroeide kwelder, waar tijdens overstromingen vanuit de Waddenzee kleideeltjes konden bezinken. Dit proces leidde tot de ophoging van de kwelder. Deze groei verloopt dichtbij de Waddenzee (waar het sediment vandaan komt) sneller dan verder van de Waddenzee. Jaarlijks zijn er overstromingen vanuit de Waddenzee. Halverwege de jaren '90 werd langs de zuidzijde van de kwelder oeververdediging aangebracht om verder afkalving te voorkomen. Het grootste deel van het Neerlands Reid is eigendom van Amelanders, die verenigd zijn in de Vennoot. Samen met delen van de aanliggende Kooiduinen en het Oerd wordt dit gebied in de zomer benut voor het laten grazen van schapen, koeien en paarden (zie par.7.1). Het gebied is opengesteld voor wandelaars.



Overstroming van Neerlands Reid

³⁷ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Puijenbroek et al., 2024, WMR
- Kuiters en Wegman, 2020, WENR



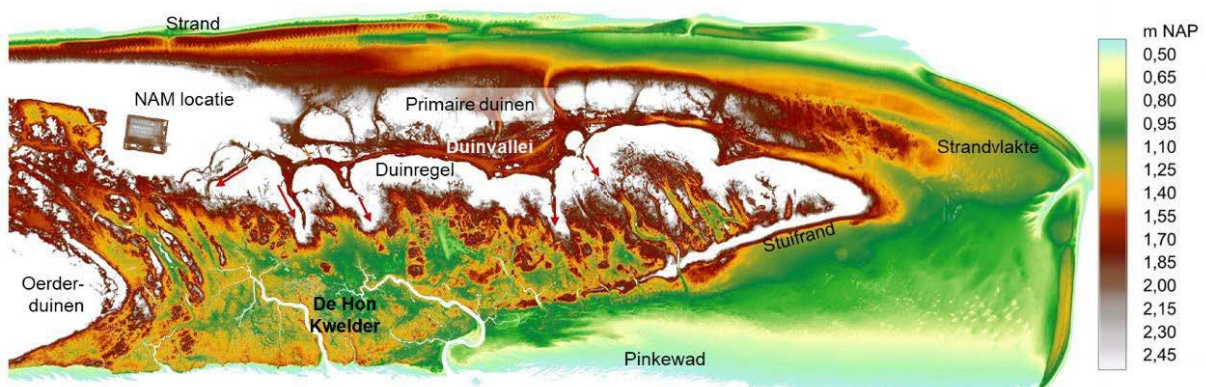
Figuur 6-1. Hoogtekaart van het Neerlands Reid, met in de tekst de gebruikte namen (op basis van AHN3, opname 2014)

De Hon

Deze kwelder bevindt zich in het oostelijkste deel van het eiland en maakt deel uit van wat bekend staat als de 'eilandstaart' (zie Hoofdstuk 10).

Net als bij het Neerlands Reid is de kwelder van de Hon ontstaan vanuit een onbegroeide strandvlakte die gaandeweg begroeid is geraakt. De vestiging van de vegetatie op de Hon is veel recenter dan die op het Neerlands Reid en dateert van na de tweede wereldoorlog. De sedimentatie van slib op deze kwelder is daarmee ook relatief recent. Het reliëf van de Hon kent nog verschillende elementen die relict vormen van de onderliggende strandvlakte. Dat geldt voor verschillende zandkopjes, maar ook voor enkele meertjes en plassen.

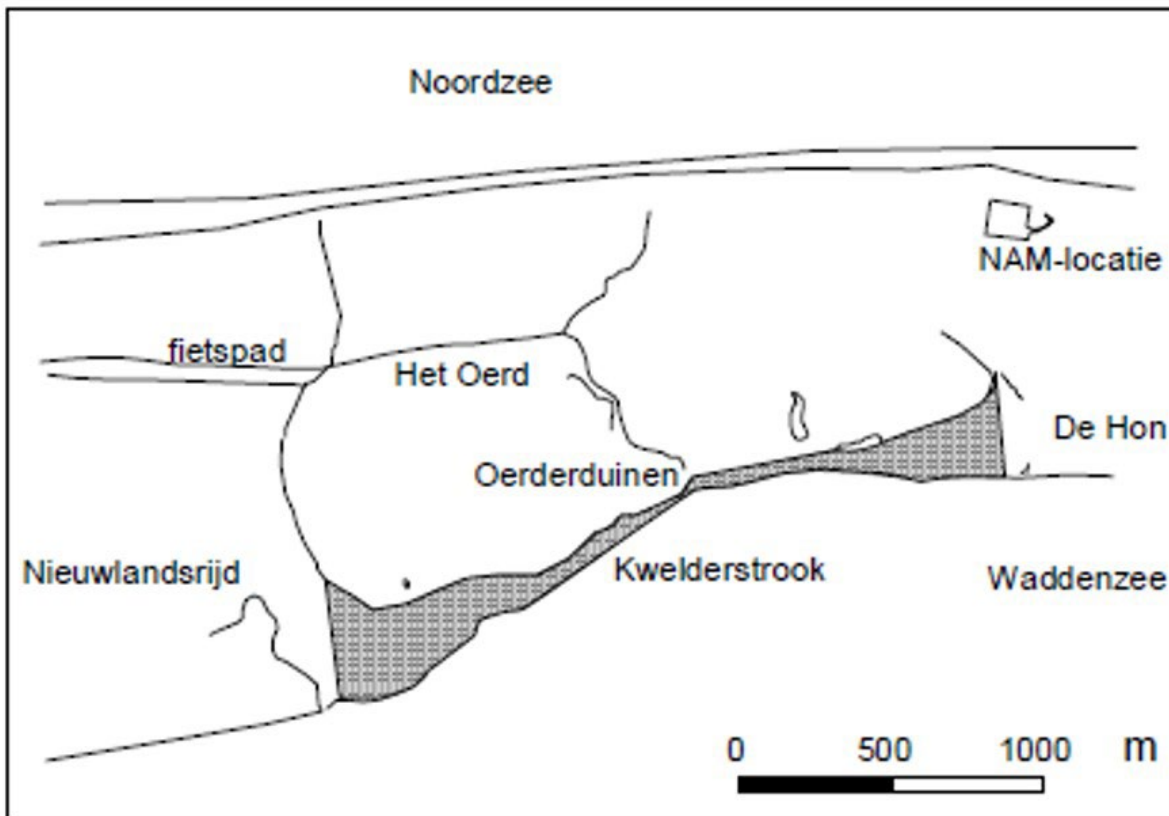
Het begroeide deel van De Hon strekt zich nu ongeveer 2.5 kilometer oostwaarts vanaf de Oerderduinen uit en is tussen de 400 en 600 meter breed. De Hon ontwikkelt zich volledig natuurlijk, vanwege het ontbreken van een stuifdijk en de afwezigheid van beweiding. Dit resulteert in een ontwikkeling en vegetatie die duidelijk verschilt van de kwelder Neerlands Reid.



Figuur 6-2. Hoogtekaart van De Hon, met de in de tekst gebruikte namen (op basis van AHN 3, opname 2014)

De kwelderrand

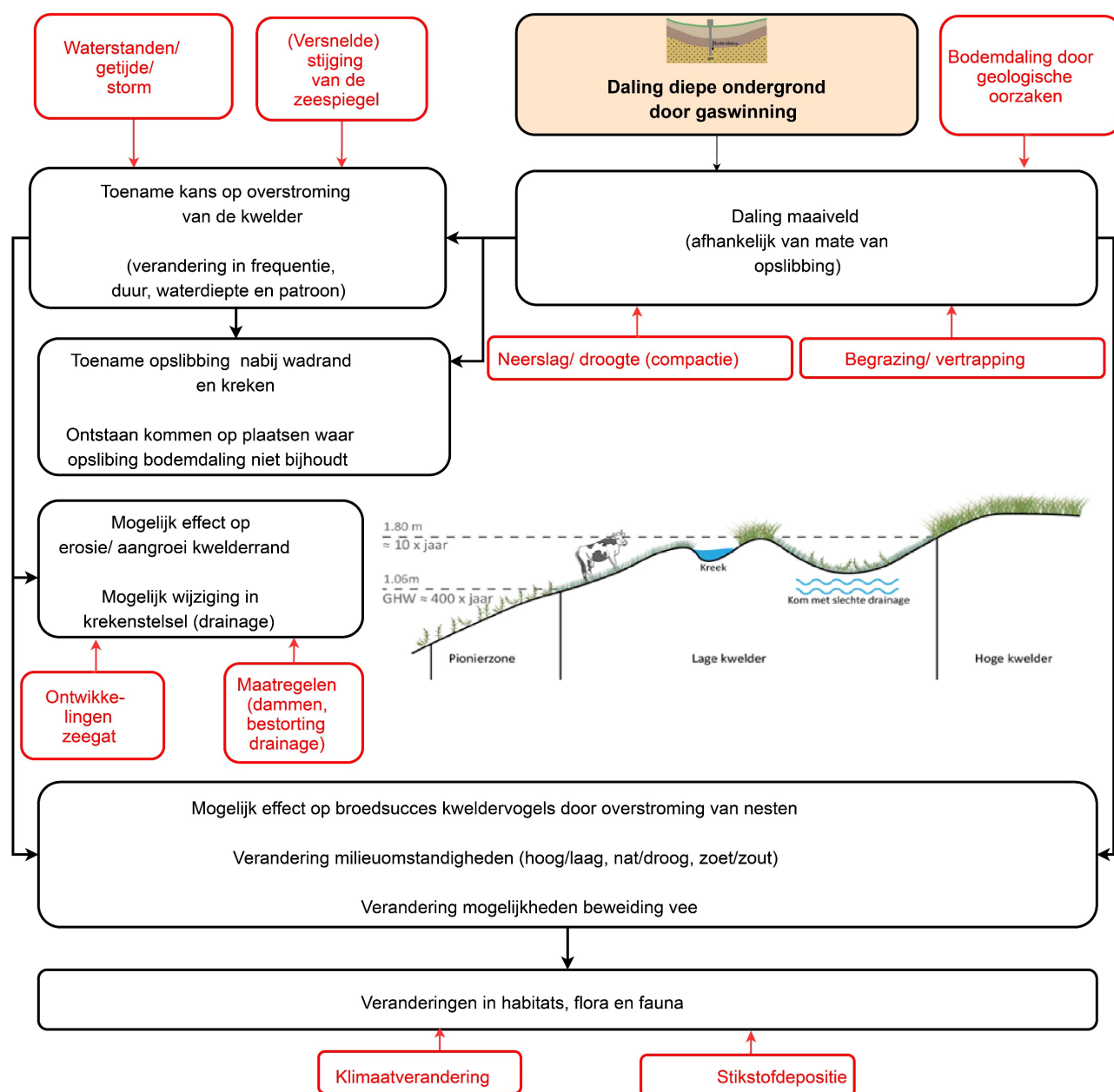
Tussen het Neerlands Reid en De Hon bevindt zich een duinmassief, de Oerderduinen. Langs de Waddenzeezijde van deze duinen ligt een smalle kwelderzone. Deze strekt zich uit vanaf de stenen oeververdediging van Neerlands Reid in het westen tot aan De Hon in het oosten. De kwelderzone heeft een lengte van ongeveer 2100 meter en varieert in breedte van 20 tot 300 meter. Het gebied vormt een overgang tussen het zoete milieu van het duincomplex en de zoute Waddenzee.



Figuur 6-3. Locatie van de smalle kwelderstrook onder de Oerderduinen

Sturende factoren

Kwelders vormen dynamische ecosystemen waarin de morfologie, de samenstelling van de vegetatie en de broedmogelijkheden voor vogels door meerdere factoren worden beïnvloed (zie Figuur 6-4).



Figuur 6-4 Factoren die van invloed zijn op kwelderontwikkeling

Toelichting op Figuur 6-4

- **Bodemdaling door gaswinning.** Dit is één van de sturende processen voor overstroming van de kwelder, evenals zeespiegelstijging. Ook waterstanden, getijden en storm spelen hierbij een rol.
- **Overstroming:** De frequentie en duur van overstromingen zijn cruciaal voor de ontwikkeling van kwelders. In par. 6.2 is meer te lezen over de monitoring van overstromingen.
- **Opslibbing:** Na elke overstroming blijft er een laagje slib op de kwelder achter. De snelheid van de opslibbing is onder andere afhankelijk van de inundatiefrequentie, die weer sterk wordt bepaald door de hoogte van het maaiveld. Hoe lager een gebied ligt, hoe vaker het in principe

overstroomt. Dit vormt een feedbackmechanisme waarbij bodemdaling deels wordt gecompenseerd door opslibbing. De opslibbing wordt ook bepaald door het plaatgebied waar het water tijdens de stormvloed haar sediment oppikt en vervolgens afzet op de kwelder. Ook de vegetatie heeft invloed, doordat deze slib kan invangen tijdens overstromingen.

- *Erosie kwelderrand en wijzigingen krekensetel:* Bovenstaande processen kunnen invloed hebben op de erosie van de kwelderrand en de uitbreiding van het krekensetel (drainage).
- *Gevolgen:* Deze factoren kunnen effect hebben op de broedvogels op de kwelder, de mogelijkheden voor begrazing van het vee, en de milieuomstandigheden van de kwelder. Dit kan veranderingen veroorzaken in habitattypen en soorten.

Overige invloeden

Naast de eerder genoemde processen zijn er diverse andere factoren die invloed uitoefenen op de ontwikkeling van de kwelder, waaronder:

- *Beweiding:* Het Neerlands Reid wordt door vee begraasd, terwijl De Hon onbegraasd is gebleven. De beweiding heeft invloed op de samenstelling van de vegetatie en daarmee op de opslibbing. Bovendien kan de bodem lokaal inklinken door vertrapping, vooral in de buurt van drinkplaatsen. De relatief lage vegetatie van Neerlands Reid trekt ook ganzen aan, die daar in de winter massaal foerageren (zie par. 7.1).
- *Afdamming van de monding van de Oerdsloot:* In het begin van de jaren '80 van de vorige eeuw werd de Oerdsloot gedeeltelijk afgedamd met stortstenen en betonplaten. Dit had effect op de drainage. Aan het eind van de jaren '90 werden deze dammen echter weer verwijderd, waardoor zeewater met sediment weer vrijelijk in en uit kon stromen (zie par. 6.3).
- *Aanleg van oeververdediging langs Neerlands Reid:* In de jaren '90 werd langs de rand van Neerlands Reid oeververdediging aangelegd, die zich uitstrekt tot net voorbij de Oerdsloot. Deze maatregel werd genomen om verdere afkalving als gevolg van kliferosie te voorkomen. De aangelegde verdediging is acht meter breed en 1800 meter lang en is aangelegd op een afstand van vijf tot vijftien meter van de wadrand. De tussenliggende ruimte is sindsdien opgevuld met slib en begroeid geraakt met kweldervegetatie (zie par. 6.3).
- *Andere ontwikkelingen:* Klimaatverandering en stikstofdepositie hebben ook invloed op de kwelder en kunnen leiden tot veranderingen in temperatuur, neerslagpatronen en de beschikbaarheid van voedingsstoffen. Dit kan gevolgen hebben voor de vegetatie en het ecosysteem van de kwelder.

6.2 Overstromingen en sedimentatie

6.2.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

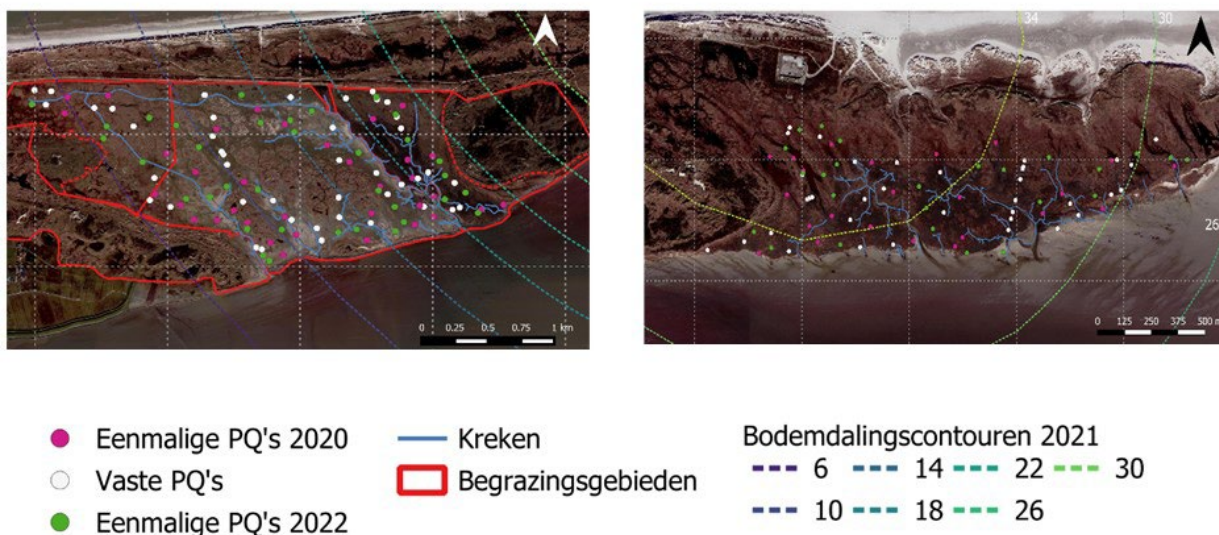
- Wat is het effect van bodemdaling op de overstromingskans van de kwelder?
- Vormen er nieuwe kommen achter de oeverwal en neemt het totale volume van de kommen toe?
- Wat is de sedimentatiebalans van de kwelders?
- In hoeverre wordt de diepe bodemdaling gecompenseerd door sedimentatie?

Deze vragen zijn relevant voor de biotische ontwikkelingen, zoals de ontwikkeling van de vegetatie en de broedvogels op de kwelder (zie de volgende twee hoofdstukken).

Methode

Nieuw meetnetwerk

De metingen van overstromingen en sedimentatie vonden plaats in een nieuw meetnetwerk dat in 2019 in werking is getreden en proefvlakken omvat die over de gehele kwelders zijn verspreid. Voor de realisatie van dit nieuwe netwerk werden de kwelders eerst opgedeeld in verschillende deelgebieden gebaseerd op gemodelleerde inundatiefrequenties.³⁸ Binnen deze deelgebieden werden in totaal tachtig permanente proefvlakken opgezet, waarvan 45 nieuwe en 35 uit het oude netwerk van 1986. Daarnaast worden er om het jaar zestig eenmalige proefvlakken (EQ's) geanalyseerd (zie Figuur 6-5). In Tabel 6-1 wordt weergegeven welke metingen standaard worden uitgevoerd in het nieuwe meetnet op Neerlands Reid en De Hon. Tot 2019 werd de sedimentatie twee keer per jaar gemeten en werd de vegetatie jaarlijks gevolgd.



Figuur 6-5. Nieuwe meetnet met de vaste PQ's als witte stippen, en de eenmalige EQ's als paarse en groene stippen. Links Neerlands Reid en rechts De Hon.

Tabel 6-1 Overzicht van de metingen bij de permanente en eenmalige proefvlakken vanaf 2019.

	2019	2020	2021	2022
80 permanente kwadraten (PQ's)				
Vegetatie	x		x	
Opslibbing (Sedimentatie-Erosie Balk)	x	x	x	x
Kleidikte			x	
Maaiveldhoogte	x			
Abiotiek bodem			x	
60 eenmalige kwadraten (EQ's)				
Vegetatie		x		x
Kleidikte		x		x
Maaiveldhoogte		x		x

³⁸ Brinkman et al., 2017

Diepteloggers (ook wel drukmeters genoemd)

Met behulp van de diepteloggers is informatie verzameld over overstromingen van de kwelders. Deze gegevens omvatten het aantal overstromingen, de waterhoogte tijdens een overstroming, de duur van de overstromingen en de duur van de overstromingsvrije perioden, wat van belang is voor het groeiseizoen van de vegetatie.

Om een goed ruimtelijk beeld te krijgen, werden vijftig diepteloggers ingezet. Deze loggers werden in de winter van 2019 geïnstalleerd bij vijftig proefvlakken en in het najaar van 2022 weer verwijderd, wat een dataperiode van drie jaar opleverde.

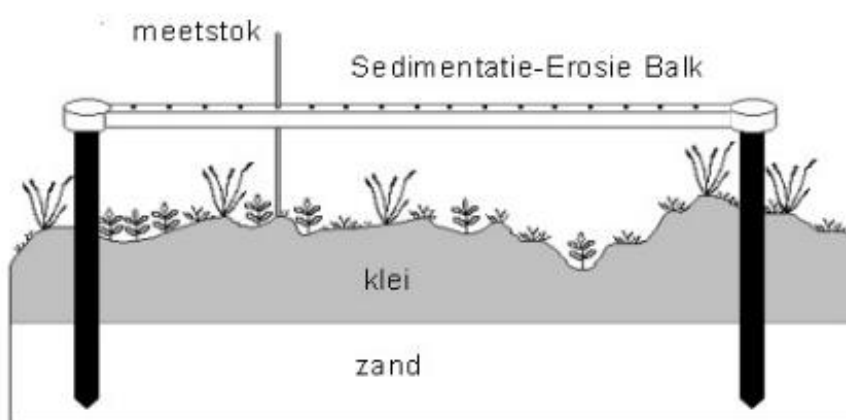
Deze drukmeters registreerden elke vijf minuten de omgevingsdruk. Het verschil in druk tussen deze meters en een referentiedrukmeter op Terschelling (boven de hoogwaterlijn) maakte het mogelijk om te berekenen hoeveel centimeter de drukmeter onder water stond.

De verzamelde gegevens zijn opgeschoond door te corrigeren voor uitschieters die niet in verband konden worden gebracht met hoogwaters. Als extra check zijn de hoogwaterevents vergeleken met de door Rijkswaterstaat bij Nes gemeten waterstanden. Hoogwaterevents die niet overeenkwamen met een door Rijkswaterstand gemeten verhoogde waterstand werden uit de analyse weggelaten. Het nadeel hiervan is dat niet alle plassen die ontstonden door zware neerslag, zijn meegenomen in de analyse.

SEB-metingen (Sedimentatie-Erosie-Balk metingen)

Sinds de jaren '90 worden er sedimentatie-erosie metingen uitgevoerd op de kwelders Neerlands Reid en De Hon. Dit gebeurt door de afstand te meten tussen het oppervlak en een draagbare horizontale balk, die op twee in de zandlaag gefundeerde palen wordt gelegd (zie Figuur 6-6). Door de resultaten van deze metingen te vergelijken met eerdere metingen kan worden bepaald of er gedurende de tussenliggende periode een netto stijging (sedimentatie en zwelling) of daling (erosie en inklinking) van het maaiveld heeft plaatsgevonden.

Op de nieuwe permanente proefvlakken van het nieuwe meetnet zijn SEB-palen geïnstalleerd. De palen werden in 2021 afgezaagd tot een hoogte van vijf tot tien centimeter boven het maaiveld, omdat bleek dat in sommige delen van het Neerlands Reid schapen de palen gebruikten om tegenaan te schuren. Dat resulteerde in vertrapping en mogelijk extra inklinking.



Figuur 6-6 Principe van een SEB-meting: De Sedimentatie-Erosie Balk (SEB) wordt op twee permanent aanwezige SEB-palen geplaatst, die stevig in de zandige ondergrond verankerd zijn. Vervolgens wordt met een meetstok de afstand gemeten van de bovenkant van de SEB tot de bodem op zeventien vaste meetpunten.



Metten van sedimentatie met de Sedimentatie Erosie Balk

Plaatmetingen

Bij negen proefvlakken (die zowel deel uitmaken van het oude als het nieuwe meetnet) wordt de sedimentatie al sinds 1989 gemeten met behulp van 'sedimentatieplaten'. Dit zijn RVS-platen of stenen tegels die in 1989 op circa twintig centimeter diepte zijn ingegraven. Jaarlijks meet het Natuurcentrum Ameland (NCA) de sedimentdikte boven deze sedimentatieplaten. Dit geeft een indicatie van de hoeveelheid sediment die er ieder jaar bijkomt, zonder dat de compactie van de diepere kleilaag onder de tegel wordt meegenomen.

Waterpassing en GNSS-RTK

Van alle proefvlakken wordt de maaiveldhoogte gemeten. Voor de proefvlakken die worden bestudeerd in het kader van de kwelderrandmonitoring (zie par. 6.3) is de hoogte van het maaiveld bepaald in de jaren 1986, 1999, 2004 en 2010, en deze metingen zijn herhaald in 2020. In de eerste meetjaren gebeurde dat met waterpassing, in latere jaren met GNSS-RTK. Ook bij de lepelaarskolonies worden sinds 2013 maaiveldmetingen uitgevoerd met behulp van GNSS-RTK.

Kleidikte en maaiveldmetingen

Elke twee jaar worden de kleidiktes gemeten aan de rand van elk permanent proefvlak (sinds 2021) en elk eenmalig proefvlak (sinds 2020). De dikte van de kleilaag geeft een indicatie van de totale netto opslibbing sinds het ontstaan van de kwelder. Door deze opslibbing te delen door de leeftijd

van de kwelder kan een schatting worden gemaakt van de gemiddelde opslibbingssnelheid in het betreffende proefvlak.

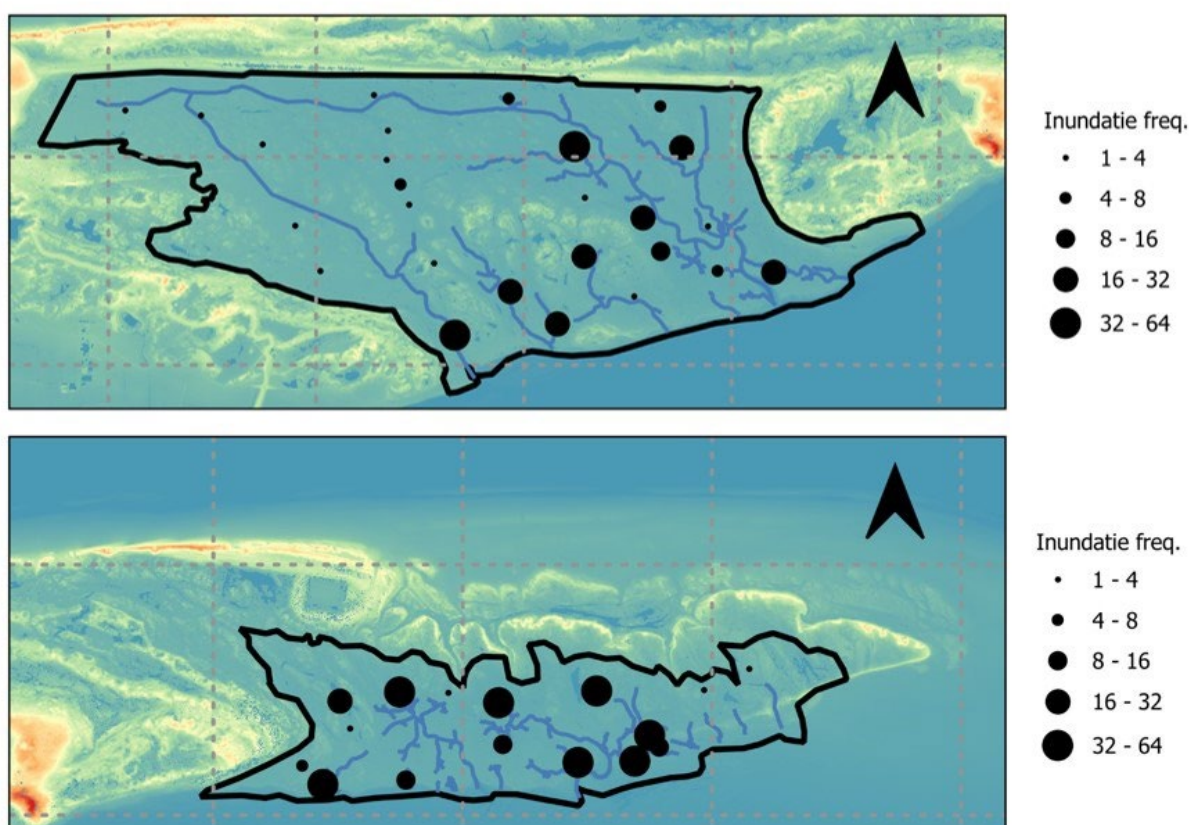
Bovendien is er in maart 2020 een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd om de kleidikte van De Hon te bepalen, waarbij een vlakdekkend raster met een celgrootte van vijftig meter werd gebruikt. Voor Neerlands Reid was de kleidikte al eerder, 2016, vlakdekkend gemeten. Tijdens deze meetcampagnes is ook de maaiveldhoogte van de punten vastgelegd.

6.2.2 Resultaten en conclusies

Overstromingen

De gegevens uit de diepteloggers tonen aan dat hoge waterstanden in de Waddenzee niet zomaar vertaald kunnen worden naar een waterstand op de kwelder, zoals tot nu toe gebeurde. Hoe vaak een bepaalde plek op de kwelder overstroomt en hoe hoog het water komt te staan, is ook afhankelijk van andere factoren, zoals drempels, geulen, windrichting en stuwung. Met behulp van de diepteloggers zijn kaarten gemaakt van het overstromingspatroon van Neerlands Reid en De Hon (zie Figuur 6-7) in het groeiseizoen. Of in dit patroon in de loop der jaren veranderingen zijn opgetreden, is op basis van de korte meetreeksen niet te bepalen.

Inundatie frequentie 2022

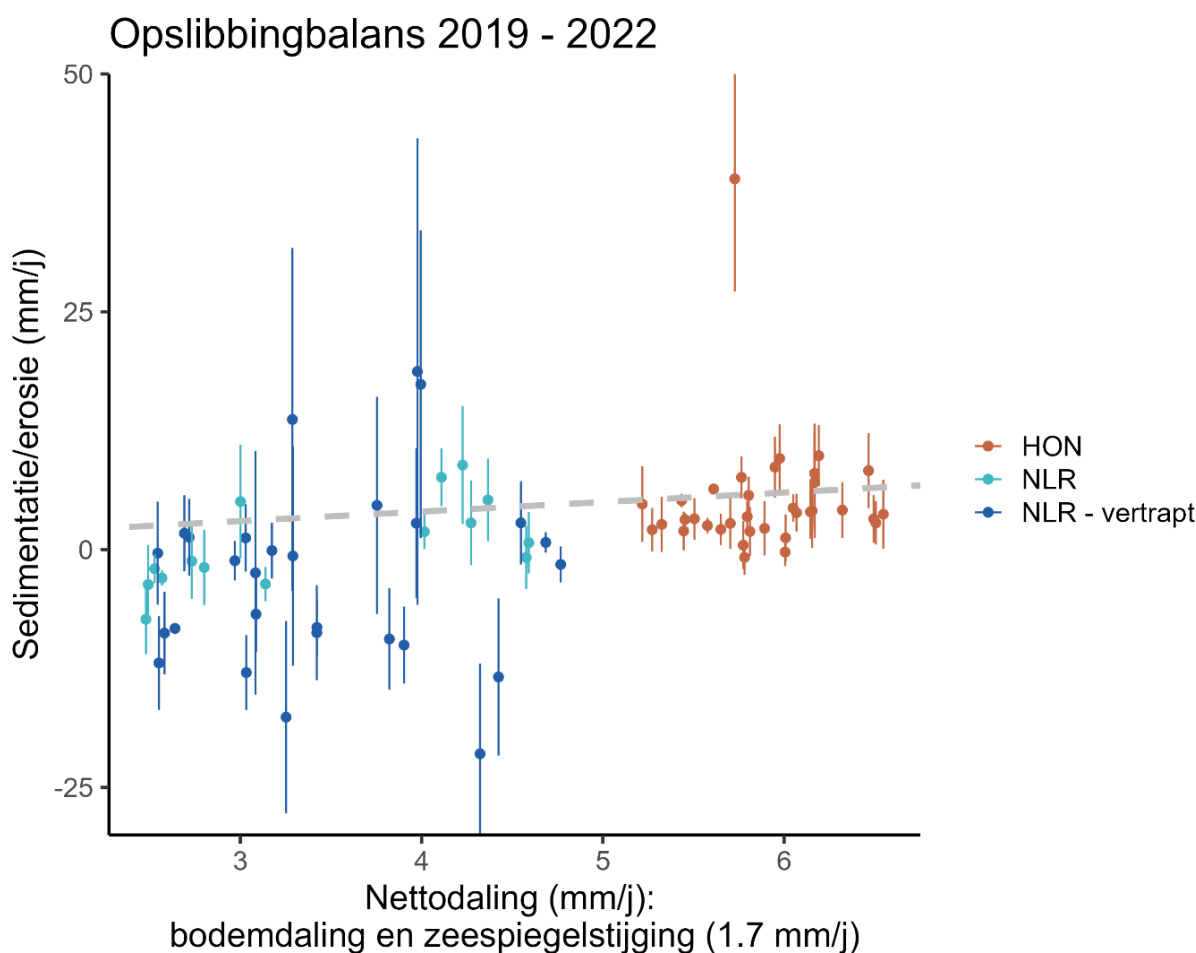


Figuur 6-7. Deze afbeelding toont hoe vaak er overstromingen plaatsvonden in het groeiseizoen (1 april – 31 augustus) van 2022. De gegevens zijn verzameld bij de proefvlakken uitgerust met een drukmeter op Neerlands Reid (boven) en De Hon (onder). De achtergrond is gebaseerd op het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN3). De blauwe lijnen in de figuur representeren de krekens.

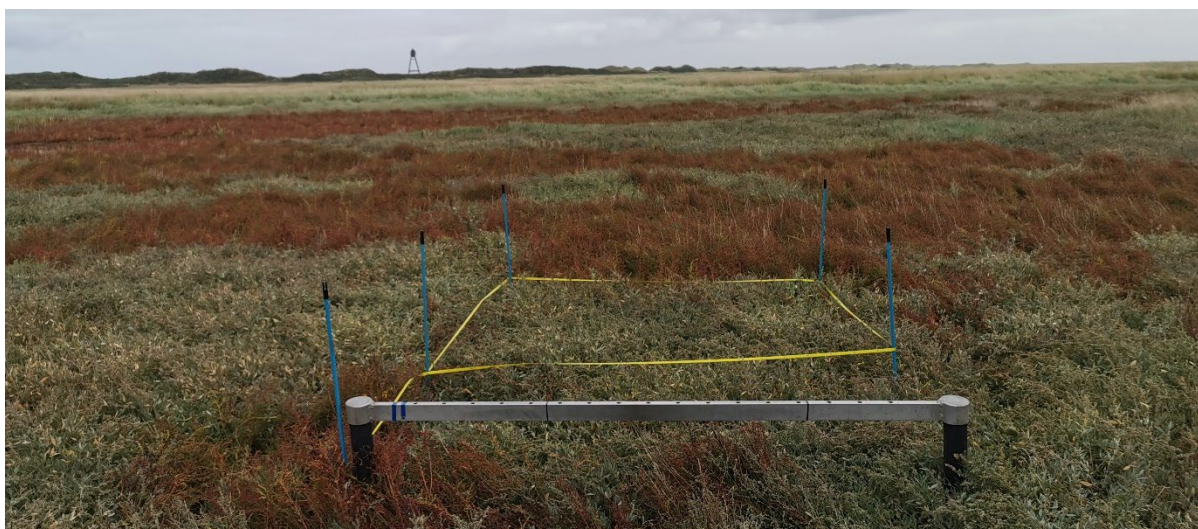
Opslibbingsbalans korte termijn (2017-2022)

Met behulp van SEB-metingen is het mogelijk om te bepalen of de bodemdaling wordt gecompenseerd door sedimentatie. Het nieuwe meetnet is jaarlijks gemeten van 2019 tot 2022 (zie Figuur 6-8 en Tabel 6-2). Uit deze metingen blijkt dat voor een aanzienlijk deel van de proefvlakken de netto-sedimentatie negatief is. Deze metingen laten daarmee zien dat er naast sedimentatie ook andere ondiepe processen spelen, zoals erosie, inklinking, compactie door vertrapping en/of verstoringen van metingen door vee. Dit laatste wordt ook geïllustreerd door het aanzienlijke aantal verstoorde proefvlakken op het Neerlands Reid.

Bijzonder is dat proefvlakken nabij de kwelderrand aanzienlijke variaties in sedimentatie vertonen, vooral door hoge opslibbingsniveaus in 2022, waarschijnlijk veroorzaakt door februaristormen. Aangezien het nieuwe meetnet nog relatief kort in gebruik is, heeft de jaarlijkse variatie een grote impact op het gemiddelde van de sedimentatie. Naarmate meer jaren worden gemeten, zal het effect van jaar-tot-jaar variaties afnemen en zal het gemiddelde een nauwkeuriger beeld geven.



Figuur 6-8 Gemiddelde sedimentatie en erosie in, uitgedrukt in millimeter per jaar, ten opzichte van de bodemdaling door gaswinning plus de zeespiegelstijging voor Neerlands Reid (NLR) en De Hon. De donkerblauwe gegevens in de figuur geven de metingen weer die beïnvloed zijn door vertrapping door schapen, koeien of paarden. De proefvlakken boven de grijze gestreepte lijn hebben een hogere opslibbing dan de jaarlijkse bodemdaling plus zeespiegelstijging, zodat bij deze plekken de maaiveldhoogte toeneemt. Bij de proefvlakken onder de grijze lijn daalt het maaiveld.



Proefvlak voor sedimentatiemeting en vegetatiekartering op de kwelder

Tabel 6-2 Gemiddelde sedimentatie voor Neerlands Reid en De Hon (mm/j $\pm$ SE), in het nieuwe meetnet. Binnen Neerlands Reid is onderscheid gemaakt tussen de verschillende begrazingsgebieden (zie par. 7.1). De vermelde bodemdalingssnelheden verwijzen naar de door de NAM gemodelleerde diepe bodemdaling over de periode 2016 tot 2022.

Jaar	NLR-gebied B 1.1 mm/j daling	NLR-gebied C 1.8 mm/j daling	NLR-gebied D 3.7 mm/j daling	De Hon 4.8 mm/j daling
2019 - 2020	-6.51 $\pm$ 1.49	-4.85 $\pm$ 0.79	4.46 $\pm$ 1.97	3.48 $\pm$ 0.82
2020 - 2021	-8.58 $\pm$ 1.61	-6.69 $\pm$ 1.12	-4.59 $\pm$ 1.22	2.80 $\pm$ 1.07
2021 - 2022	1.25 $\pm$ 2.28	7.64 $\pm$ 5.01	-0.66 $\pm$ 4.08	9.19 $\pm$ 1.70
Gemiddelde sedimentatie 2019 - 2022	-4.61 $\pm$ 1.38	-1.30 $\pm$ 1.87	-0.16 $\pm$ 1.71	5.16 $\pm$ 0.77

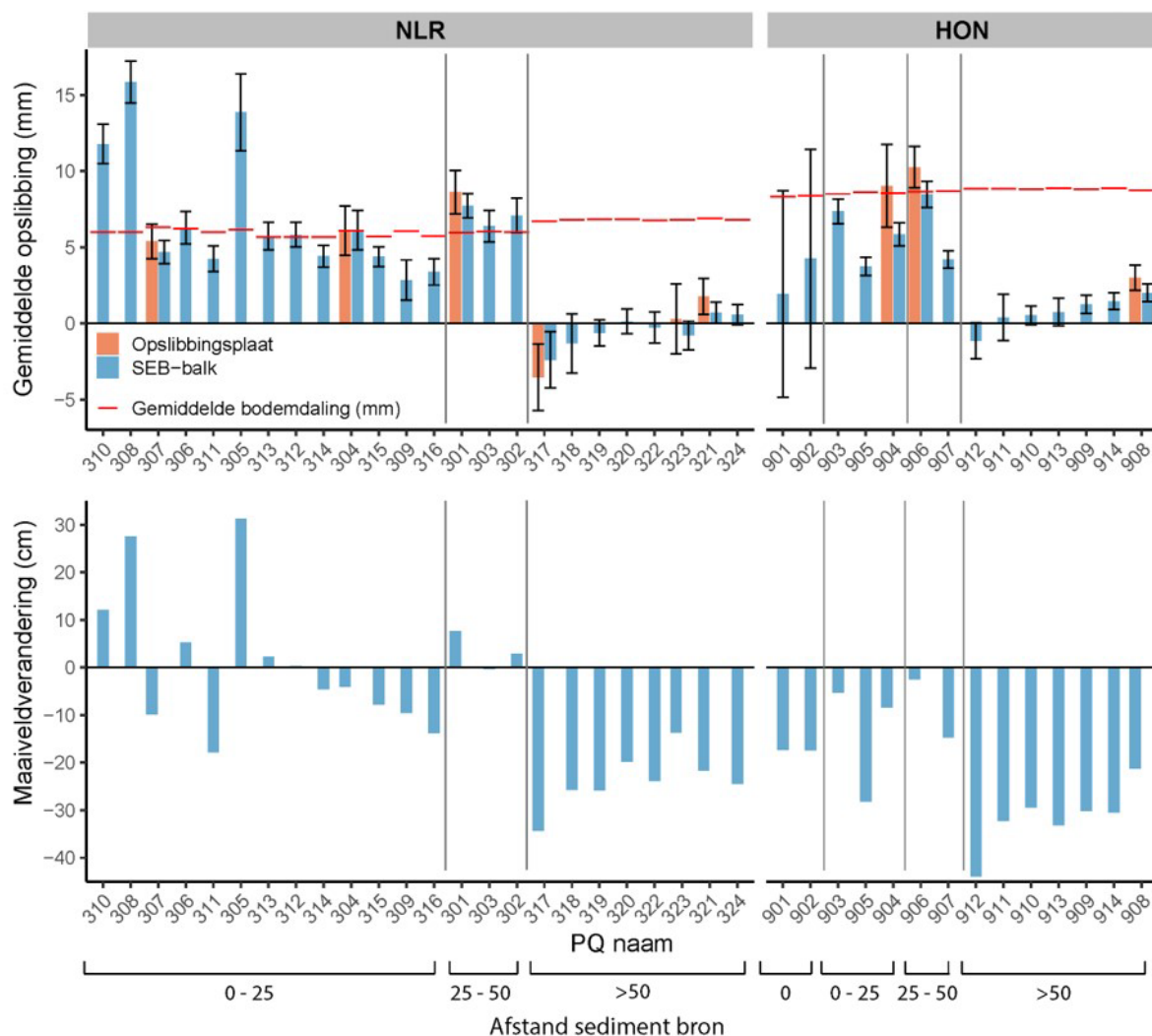
Sedimentatiebalans langere termijn

Hoewel de proefvlakken van het oude meetnet niet representatief zijn voor het gehele kweldergebied op Oost-Ameland, biedt de lange meetreeks van *SEB-metingen* wel inzicht in de sedimentatie en veranderingen in het maaiveld over een langere periode. Uit deze gegevens blijkt dat de gemiddelde sedimentatie op Neerlands Reid tot ongeveer vijftig meter van de sedimentbron voldoende is om de gemiddelde diepe bodemdaling te compenseren. Op grotere afstand van de sedimentbron bevat het water weinig sediment en daalt het maaiveld. Naast de diepe bodemdaling kunnen ook factoren als compactie door verdroging en vertrapping door vee hierbij een rol spelen

Op De Hon is de situatie vergelijkbaar: de opslibbing nabij de sedimentbron is hoger dan op grotere afstand. Doordat op De Hon de bodemdaling door gaswinning relatief groot is, is de sedimentatie op de meeste plekken onvoldoende om deze te compenseren.

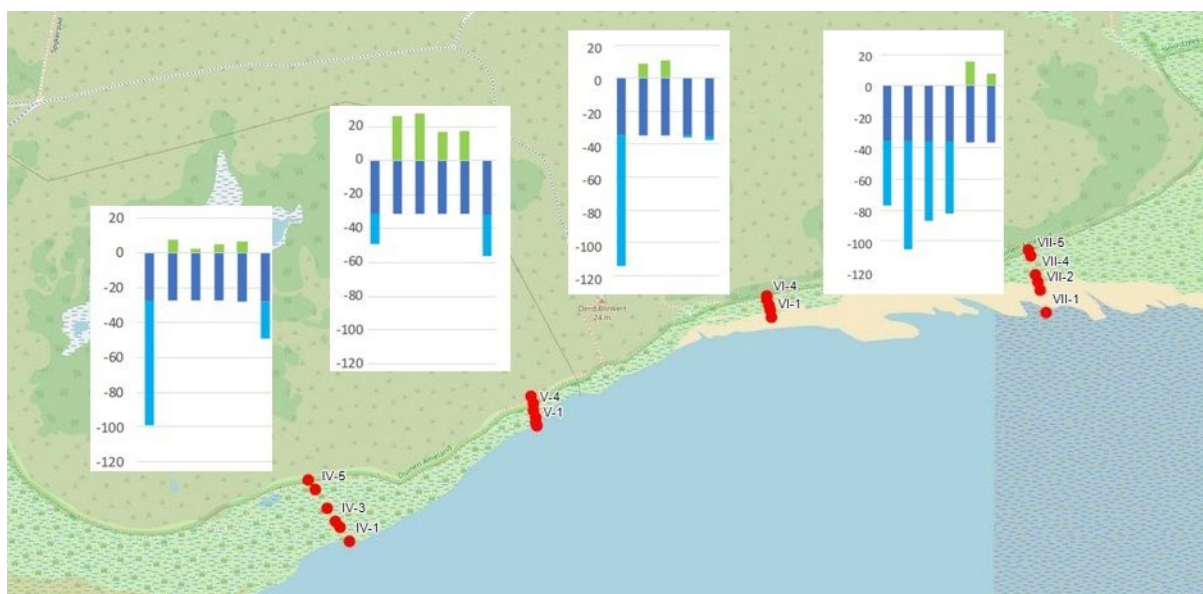
De sedimentatie lijkt een optimum te bereiken bij ongeveer 200 inundaties per jaar, waarna het weer afneemt. Dit duidt op de invloed van regelmatige overstromingen door het getij. Daarnaast is er een positieve relatie tussen de gemiddelde hoogte van de waterkolom en de opslibbing. Dat toont aan dat er ook tijdens stormvloed opslibbing plaatsvindt.

De lange reeks van metingen bij de *sedimentatieplaten* levert dezelfde tendens op als de SEB-metingen. Meestal zijn er kleine verschillen en wordt er bij de sedimentatie-platen een iets grotere sedimentatie gemeten dan bij de SEB-metingen. Dit is in overeenstemming met de theorie: bij de SEB-metingen wordt de autocompactie van de hele kleilaag mee gemeten, terwijl dit bij de tegelmeteringen niet het geval is.



Figuur 6-9. De gemiddelde opslibbing met standard error voor elk proefvlak van het oude meetnet, gemeten met de SEB-balk of sedimentatieplaat, en de gemiddelde diepe bodemdaling door de NAM. De proefvlakken zijn geordend van een kleine afstand tot de sedimentbron (links) tot een grote afstand tot de sedimentbron (rechts).

De hoogtemetingen op de kwelderrand laten een vergelijkbaar patroon zien als de SEB- en tegelmeteringen. Naast afslag van de kwelderrand, zien we opslibbing die het sterkste is dicht bij de sedimentbron (het wad en de krekken), en met de afstand afneemt (zie Figuur 6-9). Op slechts enkele locaties is de sedimentatie in de kwelder voldoende om de diepe bodemdaling te compenseren. Op de grens van duin en kwelder, waar de maximale bodemdaling door gaswinning plaatsvindt, en waar geen opslibbing en instuiving plaatsvindt, daalt het maaiveld met soms meer dan vijftig centimeter. Dit is aanzienlijk meer dan de door de NAM berekende diepe bodemdaling.



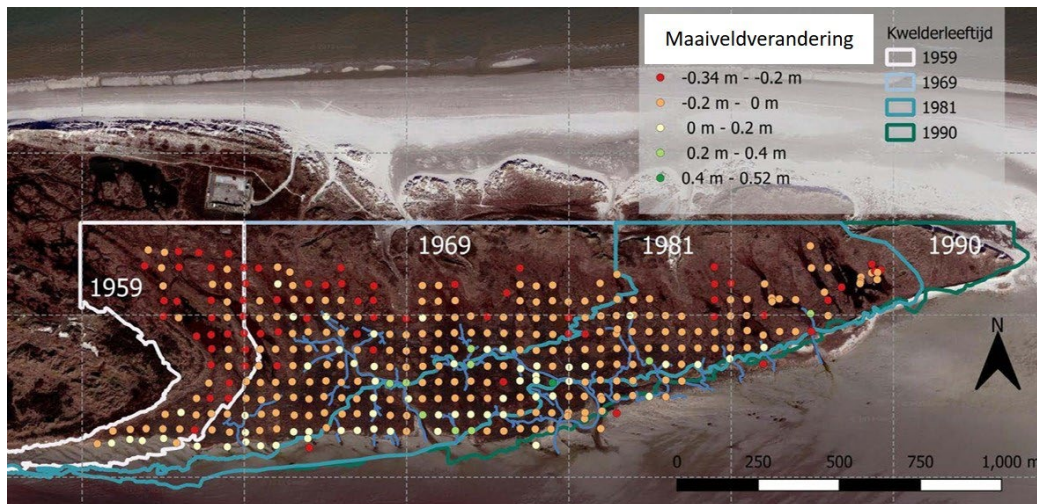
Figuur 6-10 Sedimentatie (groen), erosie (lichtblauw) en diepe bodemdaling (donkerblauw) van de proefvlakken langs de vier transecten in de periode 1986-2020

Hoewel het maaiveld op veel plekken is gedaald, is dat niet overal het geval. Zo blijkt uit het onderzoek naar kwelderbroedvogels dat het maaiveld bij enkele lepelaarskolonies sinds 2013 is gestegen. Bij twee kolonies (K3 en K5, zie par. 8.2) komt dit waarschijnlijk door instuivend zand.

Kleidikte

De dikte van de kleilaag bovenop de onderliggende strandvlakte varieert. Deze is doorgaans groter in de lageregelegen delen en dichterbij de kwelderrand of kreek. Met de tijd neemt de kleidikte toe, wat betekent dat de kwelder Neerlands Reid, die ouder is, over het algemeen een dikkere kleilaag heeft dan De Hon. Toch is het verschil in kleidikte tussen beide kwelders niet zo groot als men zou verwachten op basis van het leeftijdsverschil van ongeveer tachtig jaar. Dit betekent dat óf de opslibbing op de Hon groter is dan op het Neerlands Reid, óf dat inklinking of compactie op het Neerlands Reid onderschat wordt.

Op sommige delen van De Hon, die zijn ontstaan rond het begin van de gaswinning, kan de dikte van de sindsdien gevormde kleilaag worden gerelateerd aan de diepe bodemdaling. De daling of stijging van het maaiveld komt overeen met de dikte van de kleilaag verminderd met de gemodelleerde bodemdaling (zie Figuur 6-11). Uit de resultaten blijkt dat er alleen langs de kwelderrand en in de direct omgeving van de kreek voldoende sedimentatie plaatsvond om de diepe bodemdaling te compenseren (aangegeven met witte, lichtgroene en donkergroene punten). Gemiddeld genomen ligt De Hon nu negen centimeter lager dan de oorspronkelijke strandvlakte waarop de kwelder zich heeft ontwikkeld.



Figuur 6-11 Maaiveldverandering vanaf het ontstaan van De Hon tot 2020. Berekend op basis van de kleilaagdikte minus diepe bodemdaling

Conclusies

Inundatie frequentie. De frequentie van de overstromingen en de waterhoogte op de kwelder is afhankelijk van zowel hoogte, als andere factoren, zoals waterstanden, drempels, geulen, windrichting en stuwing. Vanwege de beperkte duur van de meetreeksen van de drukmeters is het niet mogelijk om conclusies te trekken over eventuele veranderingen in de patronen van overstroming.

Daling maaiveld. Sinds 1986 is op veel plekken op de kwelder het maaiveld gedaald. Langs het wad en langs de krekken is er echter voldoende sedimentatie om de bodemdaling door gaswinning te compenseren.

Op De Hon is de sedimentatie en de bodemdaling door gaswinning hoger dan op het Neerlands Reid. Gebaseerd op de kleidikte kan worden geconcludeerd dat De Hon gemiddeld negen centimeter lager ligt dan vóór de gaswinning. Desondanks zijn er ook plekken die door opslibbing of instuiving juist hoger zijn komen te liggen, zoals de locaties waar lepelaars broeden.

Op het Neerlands Reid suggereren 'negatieve opslibbingswaarden' dat er naast bodemdaling en opslibbing ook andere processen spelen, zoals inklinking door droogte en compactie door beweiding. Het is mogelijk dat deze resultaten ook verband houden met verstoringen van de nieuwe metingen door vee.



Opslibbing van de kwelder

6.3 Erosie kwelderrand en ontwikkeling kreken

6.3.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

- Hoe verloopt de afslag van de kwelderstrook onder de Oerderduinen in de tijd?
- Hoe ontwikkelt het drainagesysteem van kreken en prieden zich op Neerlands Reid?
- Is er in de ontwikkelingen een relatie met bodemdaling door gaswinning te herkennen?

Methode

Luchtfoto-analyse

De ontwikkeling van de kwelderrand en de kreken is geanalyseerd aan de hand van luchtfoto's vanaf 1949. Een potentieel effect van de bodemdaling sinds de aanvang van de gaswinning in 1986 zou zichtbaar kunnen zijn als een verandering in de snelheid van kustafslag.

Aan de hand van de luchtfoto's zijn ook veranderingen in het patroon, de mate van insnijding en het totale oppervlak van de belangrijkste kreken en prieden op Neerlands Reid gereconstrueerd.

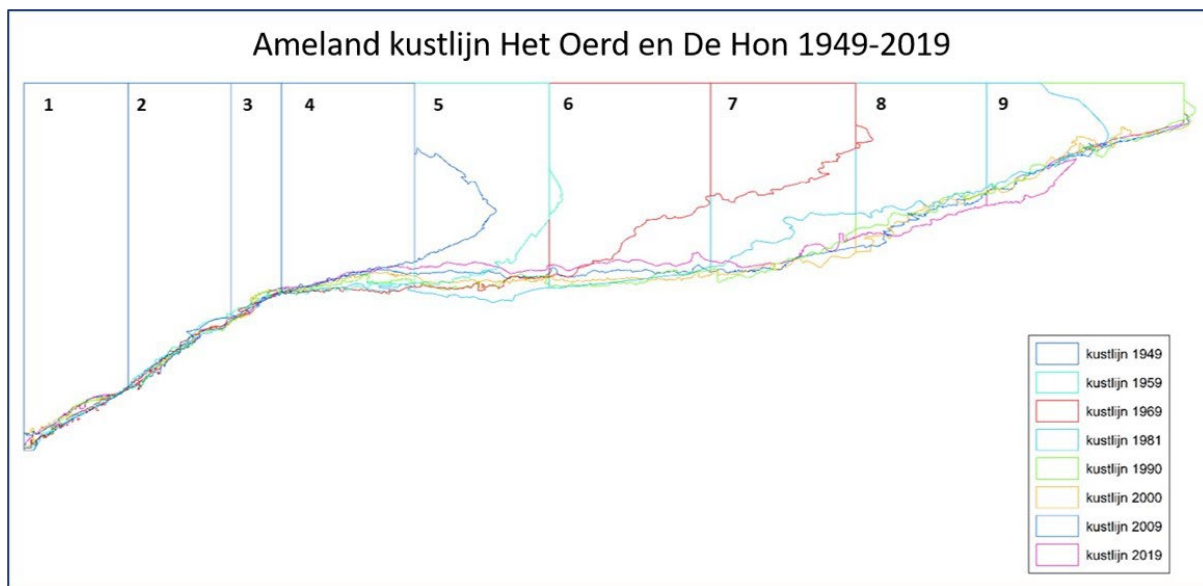
Vanwege variërende kwaliteit van de luchtfoto's dient rekening gehouden te worden met een zekere foutmarge bij het digitaliseren van de kreekssystemen.

6.3.2 Resultaten en conclusies

Ligging van de kwelderrand

Uit de luchtfoto's blijkt dat tussen 1949 en 1981 in alle deelgebieden zeewaartse verplaatsing van de kwelderrand plaatsvond, en dat de kwelder dus aangroeide (zie Figuur 6-12). Deze periode viel samen met de sterke oostwaartse uitbreiding van de eilandstaart en daarmee gepaard gaande aanvoer van sediment (zie Hoofdstuk 10). Tussen 1981 en 1986 keerde dit proces echter om en was er in vrijwel alle deelgebieden (uitgezonderd deelgebied 7) sprake van netto afslag. Vanaf omstreeks 1990 begon de eilandstaart zich weer heel geleidelijk naar het westen terug te trekken. De periode van 1990 tot 2019 kenmerkte zich door relatieve stabiliteit, waarbij in sommige deelgebieden (1, 4, 5, 6 en 7) enige erosie optrad, terwijl in andere deelgebieden (3, 8 en 9) sprake was van geringe aangroei.

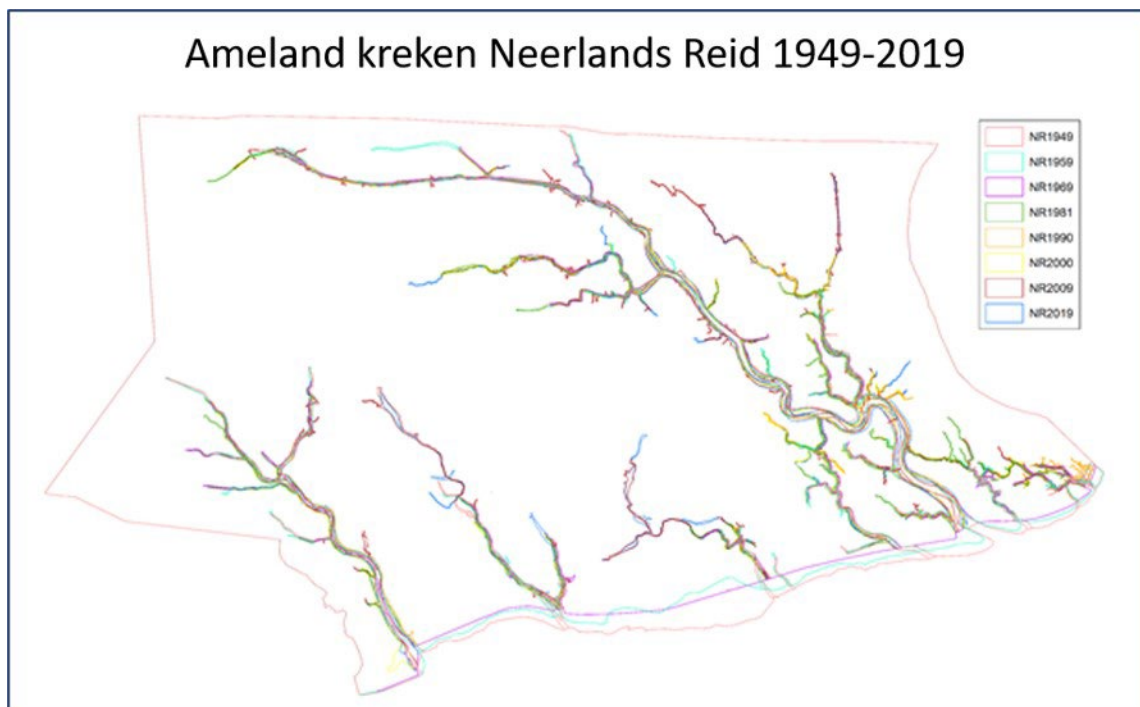
Bodemdaling lijkt weinig invloed te hebben gehad op deze dynamiek. Het omslagpunt van aangroei naar afslag vond reeds plaats tussen 1981 en 1986, vóór de start van de gaswinning in 1986. Na 1986 was er geen versnelde afslag, maar eerder een afname in de afslagsnelheid. Analyse van de gegevens toont aan dat de dynamiek van de kwelderrand samenvalt met perioden van groei en krimp van de eilandstaart. Ook de daling van de wadplaat ten zuiden van het Oerd (zie par. 5.1) kan hiermee samenhangen, en van invloed zijn.



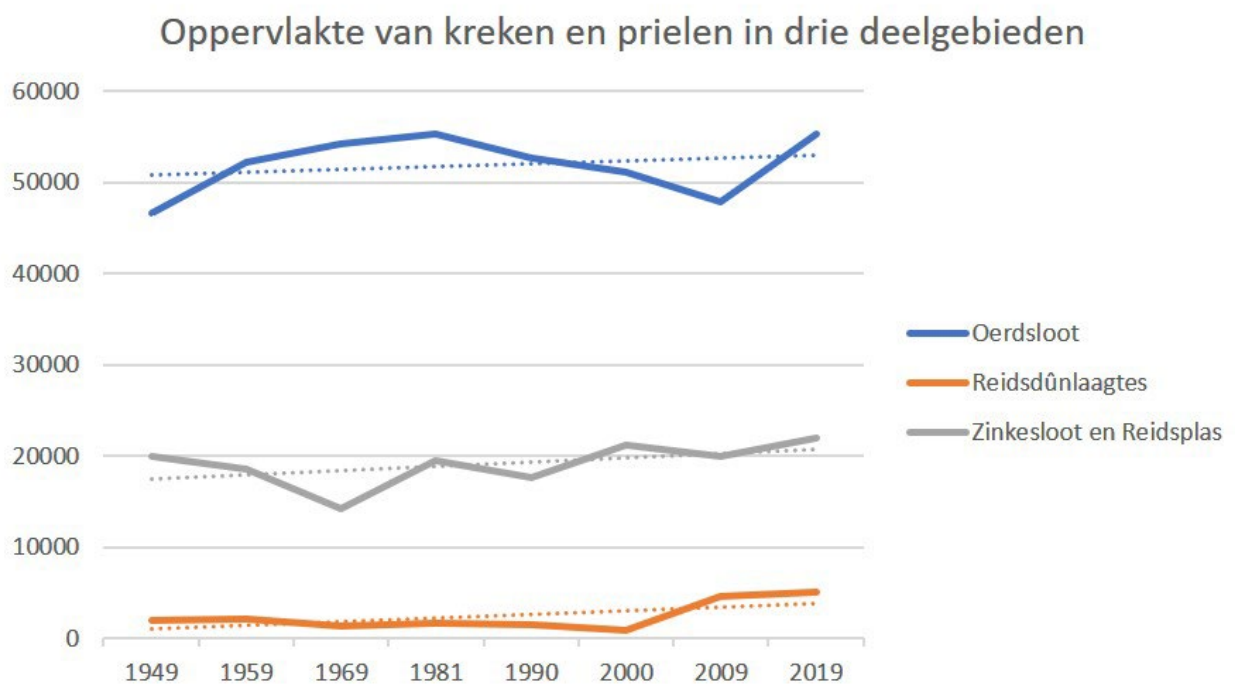
Figuur 6-12 Veranderingen van de ligging van de kwelderrand onder de Oerderduinen en De Hon in de periode 1949-2019 vastgesteld op basis van luchtfoto's. Bij de analyse is de kuststrook opgedeeld in negen deelgebieden.

Kwelderdrainage

Ongeveer 2,5-3,0% van het oppervlak van Neerlands Reid wordt in beslag genomen door krekens en prielen. In de afgelopen zeventig jaar heeft het krekensysteem zich uitgebreid, vooral het hoofdkrekensysteem van de Oerdsloot en enkele kleinere krekens aan de west- en oostzijde daarvan. Het krekensysteem van de Zinkesloot is het minst veranderd en lijkt zelfs iets kleiner te zijn geworden (zie Figuur 6-13 en Figuur 6-14). Deze uitbreiding van de krekens begon al na 1969, maar nam aanzienlijk toe vanaf 1990, mede als gevolg van kleine krekens die zich achterwaarts in de kwelder hebben ingesneden. Dit wijst erop dat het krekensysteem meer water is gaan afvoeren. Mogelijk heeft het verwijderen van de tijdelijke steenbestorting en betonplaten in de monding van de Oerdsloot eind jaren '90 invloed gehad op de ontwikkelingen. Het water kon daardoor na overvloeding sneller worden afgevoerd door de krekens, wat mogelijk heeft geleid tot hogere stroomsnelheden en extra erosie. Op basis van luchtfoto's was dat echter niet vast te stellen. Ook kon niet worden beoordeeld of er een toename was van het aantal slecht gedraineerde kommen waar langdurig water blijft staan, wat uiteindelijk de vegetatie kan aantasten. Daarvoor verschilde de kwaliteit van de luchtfoto's te sterk tussen de jaren.



Figuur 6-13 Gecombineerde kaart met de veranderingen in het drainagesysteem van Neerlands Reid in de periode 1949-2019



Figuur 6-14 Oppervlakte van krekens en pieren in de drie deelgebieden op het Neerlands Reid.



Erosie kwelderrand

Conclusies

Gedurende zeventig jaar wisselden aangroei en afslag van de *kwelderrand* af. Bodemdaling lijkt weinig invloed te hebben gehad op deze dynamiek. Het omslagpunt van aangroei naar afslag was vóór de start van de gaswinning in 1986; na 1986 is de afslag niet versneld. De dynamiek van de *kwelderrand* lijkt samen te vallen met perioden van groei en krimp van de eilandstaart. Het *krekenstelsel* van Neerlands Reid heeft zich uitgebreid, waardoor het oppervlak van de *kwelder* is afgenomen. Dit gebeurde vooral na 1990, mogelijk als gevolg van nattere omstandigheden en ingrepen in het drainagesysteem. Op basis van de luchtfoto's is niet te beoordelen of er een toename is van slecht gedraineerde kommen waar langdurig water staat, waardoor vegetatie kan verdwijnen.



Kreek Neerlands Reid

7 Gevolgen voor de kwelders: ontwikkeling vegetatie

In het vorige hoofdstuk is te lezen dat diepe bodemdaling als gevolg van gaswinning invloed heeft op de sedimentatie van de kwelder en op de hoogte van het maaiveld. Deze veranderingen hebben op hun beurt gevolgen voor de vegetatie van Neerlands Reid, De Hon en de kwelderstrook ten zuiden van de Oerderduinen. Deze effecten staan centraal in dit hoofdstuk.³⁹

7.1 Beweiding en begrazing

Beweiding speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling van Neerlands Reid. Plantensoorten die niet goed bestand zijn tegen begrazing of vertrapping, zoals zeekweek en zoutmelde, zullen afnemen. In hun plaats zullen soorten die wel tegen begrazing kunnen, komen te domineren. De veranderingen in vegetatie hebben bovendien invloed op het proces van opslibbing.

Daarnaast kan de bodem lokaal inklinken door vertrapping, met name rond drinkplaatsen waar dieren zich vaak verzamelen.

Een ander belangrijk aspect is de invloed van ganzenbegrazing: de beweiding en het daardoor korte gras maakt Neerlands Reid extra attractief voor ganzen. Met name in het vroege voorjaar -rond de tijd van het inscharen van het vee- is de impact van natuurlijke begrazing aanzienlijk.



Neerlands Reid is eigendom van de 'Maatschappij tot exploitatie van onroerende goederen op het Oosteinde Oerd Neerlands Reid BV', algemeen bekend als de 'Vennoot'. Deze maatschappij werd opgericht in 1920 en geeft sindsdien aandelen uit waarmee het recht wordt verkregen om vee in te scharen, de zogenaamde begrazingsrechten. Het totale beweidde gebied beslaat 580 hectare.

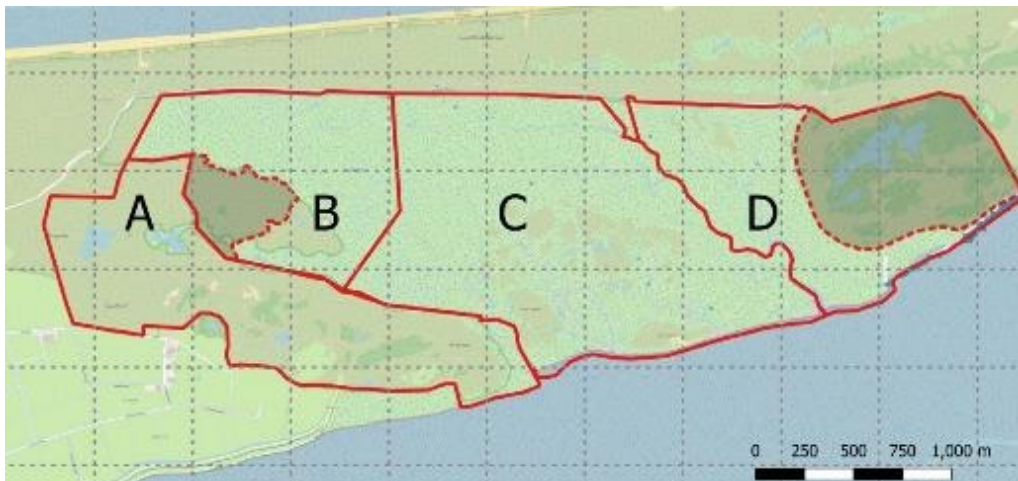
Voor de beweiding worden er vier deelgebieden onderscheiden (zie Figuur 7-1):

- *Vak A (de Kooидуinen)* omvat grotendeels hogere duinen met enkele valleien en een klein stukje kwelder. Dit vak wordt begraasd door paarden en schapen, maar valt buiten het kwelderonderzoek vanwege de duinkarakteristieken.
- *Vak B (de Hoek van de Blinkert)* bestaat voornamelijk uit kwelder met lokaal lage duintjes en werd tussen 2016-2022 (van begin juni tot 1 december) beweid met jonge koeien en paarden. De diepe bodemdaling door gaswinning bedraagt hier gemiddeld zes centimeter.

³⁹ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Puijenbroek et al., 2024, WMR
- Krol en Saathof, 2023, Natuurcentrum Ameland
- Kuiters en Wegman, 2020, WENR

- *Vak C (het middenstuk)* bestaat vooral uit kwelder met plaatselijk lage duintjes en werd tussen 2016-2022 (tussen 1 mei en 15 oktober) begraasd door 600-800 schapen, en in november door paarden en koeien. De diepe bodemdaling door gaswinning bedraagt in vak C gemiddeld twaalf centimeter.
- *Vak D (het Oerd)* omvat deels kwelder, en het oostelijke deel bestaat uit een oud duincomplex. In vak D grazen graasden tussen 2016 en 2022 van 1 mei tot 1 november volwassen koeien. In vak D bedraagt de diepe bodemdaling door gaswinning gemiddeld 20 centimeter.



Figuur 7-1 Begrazingsgebieden Neerlands Reid. Gebied A is een duingebied, en valt buiten het kwelderonderzoek.

7.1.1 Onderzoeksvraag en methode

Onderzoeksvraag

Hoe ontwikkelt de begrazingsintensiteit van Neerlands Reid zich? Dit betreft zowel begrazing door vee (beweiding) als begrazing door ganzen.

Methode

Voor het onderzoek naar beweiding is de begrazingsdruk voor elk deelgebied vastgesteld op basis van gegevens van lokale boeren. De begrazingsdruk wordt uitgedrukt in grootvee-eenheden (GVE) per hectare per jaar.

Voor de begrazing door ganzen tijdens de wintermaanden is een gerichte telling van ganzen uitgevoerd vanaf 2005. De begrazingsdruk wordt in dit geval uitgedrukt in het gemiddelde aantal 'vogeldagen'.

7.1.2 Resultaten en conclusies

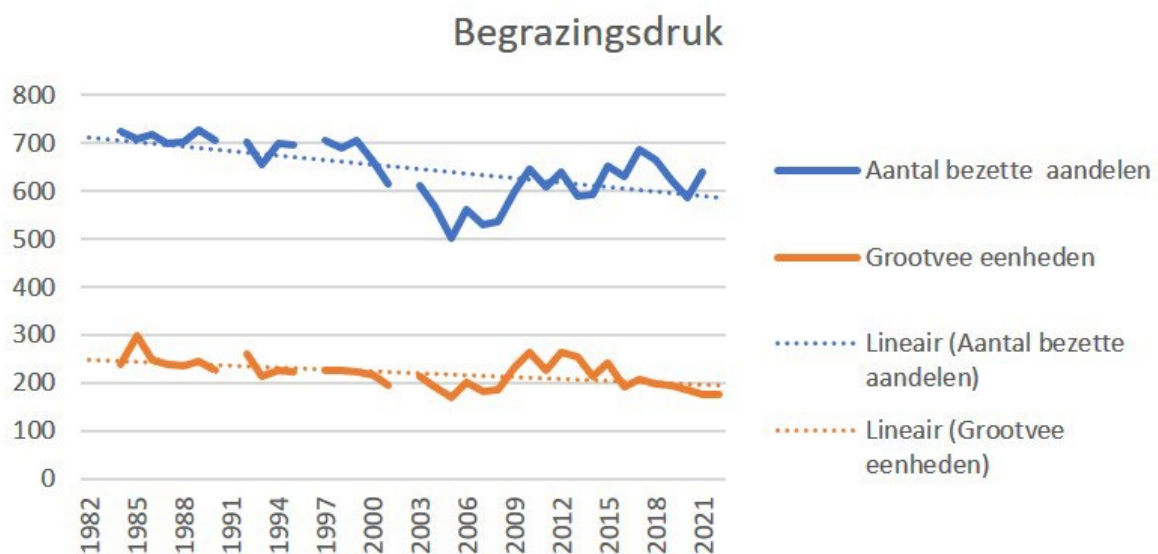
Vee

Voor de onderzochte gebieden is de gemiddelde begrazingsdruk over de afgelopen vijf jaar als volgt:

- Gebied B: 0.28 GVE per hectare per jaar
- Gebied C: 0.22 GVE per hectare per jaar
- Gebied D: 0.21 GVE per hectare per jaar

Het aantal runderen (ongeveer honderd dieren) en paarden (ongeveer dertig dieren) is de afgelopen jaren vrij stabiel gebleven. Er zijn echter meer schapen ingeschaard, gemiddeld achthonderd per jaar.

Voor alle gebieden geldt dat de begrazingsdruk de afgelopen veertig jaar is afgenomen (zie Figuur 7-2). Het aantal gebruikte begrazingrechten is met ruim 10% afgenomen, en de totale hoeveelheid ingeschaard vee, omgerekend naar grootvee-eenheden, is met 20% afgenomen. Verder is het type begrazing veranderd: gebied C wordt nu bijvoorbeeld voornamelijk door schapen beweide, terwijl de schapen vroeger overal graasden.



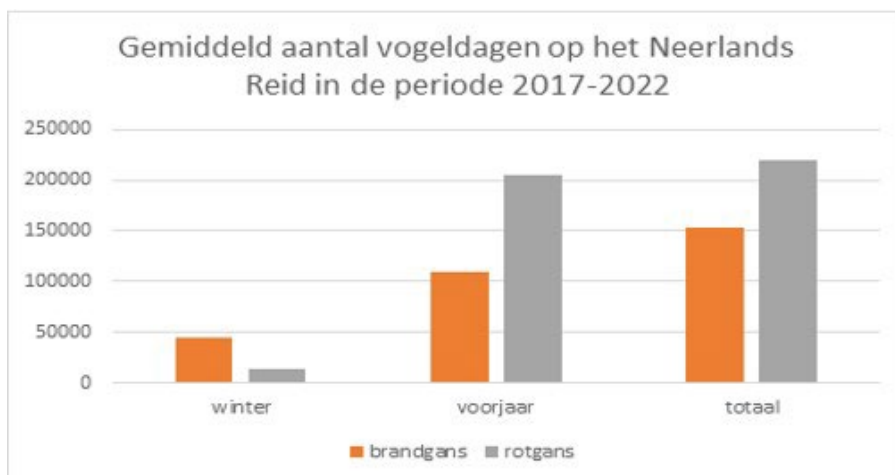
Figuur 7-2 Ontwikkeling begrazingsdruk sinds 1982 -schapenlammeren worden niet meegerekend.



Foto van Neerlands Reid. Links een onbegraasd perceel langs de stuifdijk, rechts begraasd

Ganzen

De ontwikkeling van de vegetatie op Neerlands Reid wordt ook beïnvloed door de grote aantallen ganzen die daar in de winter foerageren. Gedurende deze periode wordt Neerlands Reid begraasd door gemiddeld 400 brandganzen en 100-200 rotganzen. In het voorjaar neemt dit aantal snel toe, tot wel 2000 ganzen per dag (zie Figuur 7-3). Daarnaast foerageren er grauwe ganzen, nijlganzen en rietganzen, zij het in mindere aantallen die geen wezenlijke bijdrage leveren aan de begrazingseffecten.



Figuur 7-3 Begrazing door ganzen op het Neerlands Reid

Conclusie

Neerlands Reid wordt intensief begraasd door schapen, koeien en paarden, wat zichtbaar is aan de korte vegetatie met begrazingstolerante soorten. Wel is de begrazingsdruk door vee de afgelopen 40 jaar met 20% afgenomen. Ook het type beweiding is veranderd: waar vroeger overal schapen graasden, is dit nu meer geconcentreerd in het gebied ten westen van de Oerdsloot. Gedurende de winterperiode wordt Neerlands Reid begraasd door gemiddeld 400 brandganzen en 100-200 rotganzen. In het voorjaar neemt dit aantal snel toe, tot wel 2000 ganzen per dag.



Neerlands Reid: schapenkeutels langs de hoogwaterlijn

7.2 Veranderingen in de vegetatie

7.2.1 Inleiding en Natura 2000-doelen

De kwelders Neerlands Reid en De Hon vormen onderdeel van Natura 2000-gebied de Waddenzee. De vegetatie behoort tot beschermde habitattypen H1310A, H1320 en H1330A (zie Tabel 7-1).

Tabel 7-1 Natura 2000-habitattypen van Neerlands Reid en De Hon en instandhoudingsdoelen

Habitatype	Beschrijving	Doelstelling oppervlak	Doelstelling kwaliteit
H1310A	<i>Zilte pionier begroeiingen, zeekraal vegetatie</i> Deze begroeiingen staan onder sterke invloed van overstroming met zout water, waardoor er open en onbegroeide plekken ontstaan waar pioniergemeenschappen zich kunnen ontwikkelen. Binnen het habitatype zijn echter grote verschillen te benoemen, daarom is het habitatype opgedeeld in een tweetal subtypen. Subtype A is een begroeiing met zeekraal. Deze is met name te vinden op kwelders en hoge wadplaten. Dagelijkse overstroming met zeewater is hierbij essentieel.	Handhaven	Handhaven
H1320	<i>Slijkgrasvelden, klein slijkgras of Engels slijkgras</i> Meestal vormt het slijkgras open structuren van grote pollen. De begroeiingen kunnen echter ook aaneengesloten vegetaties vormen. Slijkgrasvelden komen van nature voor op zilte wadvlakten en in slibrijke kommen en prielen van kwelders. Op veel plaatsen komt het type daarom voor in combinatie met onder andere habitatype H1310A.	Handhaven	Handhaven
H1330A	<i>Schorren en zilte graslanden</i> Subtype A betreft de buitendijkse vorm van het habitatype. Het omvat de als gevolg van het getij (meer of minder frequent) overstroomde graslanden van kwelders. Deze begroeiingen worden door het zeewater overstroomd vanuit de (tot soms ver in de kwelders doordringende) getijdenkreken.	Handhaven	Verbeteren

7.2.2 Onderzoeksvragen en methode

Onderzoeksvragen

Bij de start van de gaswinning werd verondersteld dat de samenstelling van de kweldervegetatie zou kunnen veranderen in de richting van soorten die kenmerkend zijn voor gebieden die frequenter overstromen. Dat zou in sommige gevallen zelfs tot een volledige verschuiving naar een lageregelegen vegetatiezone kunnen leiden ('zonehypothese').

Aangezien uit de resultaten bleek dat een negatieve opslibningsbalans niet de enige factor was die bijdroeg aan de regressie van de vegetatie, werd in de integrale analyse in 2017 een nieuwe hypothese geïntroduceerd. Deze hypothese stelde dat regressie vooral plaatsvindt op locaties met een laag maaiveld en slechte drainage. Dergelijke gebieden zouden met name ontstaan verder weg van de sedimentbron, waar de opslibbing lager is en er netto meer maaiveld daling plaatsvindt. Op

die plekken zouden kunnen ontstaan waar water na hoogwater, storm of zware regenval minder snel weg kan stromen.

Op basis van de bijgestelde hypothese heeft de bodemdalingscommissie de volgende nieuwe onderzoeksvragen opgesteld:

- Welk effect heeft inundatiefrequentie op de kweldervegetatie van Neerlands Reid en De Hon?
- Wat is het effect van de drainage op de kweldervegetatie?
- Heeft de eventuele toename van laaggelegen kommen een effect op de vegetatie?
- Welk effect heeft de lokale abiotiek op de vegetatiesamenstelling van de kwelders?
- Wat zijn de effecten van de afslag van de kwelderstrook onder het Oerderduin op de vegetatie?
- Wordt er voldaan aan de Natura 2000-instandhoudingsdoelen voor habitattypen H1310A, H1320 en H1330A?

Methoden

Vegetatieopnamen in proefvlakken

Zoals eerder beschreven (zie Hoofdstuk 6) is er voor het onderzoek van Neerlands Reid en De Hon in 2019 een nieuw meetnetwerk in werking getreden. Dit omvat tachtig permanente proefvlakken (deels afkomstig uit het oude meetnet) en zestig eenmalige proefvlakken (EQ's), die over de gehele kwelders zijn verdeeld. Elke twee jaar wordt de vegetatiesamenstelling van al deze proefvlakken bepaald (zie Tabel 6-1). De meetreeksen van het nieuwe meetnet zijn echter nog te kort om uitspraken te kunnen doen over de vegetatieontwikkeling op Neerlands Reid en De Hon. Voor de vegetatie van de kwelderrand onder het Oerd is wel een doorgaande meetreeks van vegetatieopnamen beschikbaar, namelijk uit 1986, 1999, 2004, 2010 en 2020. In 2020 is de ontwikkeling van de vegetatie geanalyseerd.

Vegetatiekaarten

De vegetatiekaarten van Rijkswaterstaat bieden een vlakdekkend beeld van de vegetatie op zowel Neerlands Reid als De Hon. Beschikbaar zijn digitale kaarten van de jaren 1993, 1997, 2003, 2008, 2014 en 2020. De kaarten uit 1993, toen bodemdaling nog nauwelijks een rol speelde, fungeren als een soort nulmeting. Aanvankelijk waren de kaarten gebaseerd op onder andere de SALT97-vegetatietypologie. Later heeft Rijkswaterstaat deze omgezet naar de SALT08-typologie, wat in sommige gevallen tot kleine verschillen heeft geleid.

Voor de integrale analyse van vegetatieontwikkelingen tussen 2017 en 2023, zijn de kwelderonderzoekers van Wageningen Marine Research (WMR) overgestapt op de 'TMAP'-vegetatietypologie. Deze is in samenwerking met Duitse en Deense kwelderbeheerders en -onderzoekers ontwikkeld en wordt internationaal gebruikt. De conversie van de vegetatiekaarten is uitgevoerd met een conversietabel van Rijkswaterstaat.

Door de vegetatiekaart van 1993 te vergelijken met die van 2020, is voor elk punt bepaald of er sprake is van regressie of successie, of dat de vegetatie stabiel gebleven is (zie kader).

Bij deze beoordeling is Tabel 7-2 gehanteerd voor de criteria van successie en regressie.

Successie en regressie

Successie op de kwelder is een natuurlijk proces waarbij door maaiveldophoging en/of de afname van abiotische stress de aanwezigheid van competitievere soorten toeneemt, wat leidt tot een geleidelijke verandering in de soortensamenstelling richting een later stadium van successie. Deze ontwikkeling volgt een traject van pionierkwelder naar lage kwelder en vervolgens naar hoge kwelder. In de hoge kwelder vindt verdere successie plaats richting climaxvegetatie, zoals zeekweek, die gekenmerkt wordt door een lagere soortendiversiteit. Wanneer de kwelder in de loop der tijd zoeter wordt, kan er een verdere successie plaatsvinden naar een brakke kwelder, het laatste stadium van successie voor de kwelder.

Regressie is het tegenovergestelde proces van successie, waarbij de vegetatie terugkeert naar een vroegere fase van successie. Dit wordt veroorzaakt door 'abiotische stress', zoals de toename van het aantal overstromingen en de duur ervan of vertrapping. Ook begrazing kan tot regressie leiden.

Tabel 7-2. Deze tabel beschrijft de definities van regressie en successie, zoals toegepast door WMR. De tabel is gebaseerd op de TMAP-typologie. -1 is regressie, 0 is stabiel en +1 is successie.

Jaar 2	Kale grond	Water	Pionierzone	Lage kwelder	Hoge kwelder	Brakke kwelder	Zoete graslanden	Duinen	Duinvalleien
Jaar 1									
Kale grond	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Water	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Pionierzone	-1	-1	0	1	1	1	1	0	0
Lage kwelder	-1	-1	-1	0	1	1	1	0	0
Hoge kwelder	-1	-1	-1	-1	0	1	1	0	0
Brakke kwelder	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0	0
Zoete graslanden	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
Duinen	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0
Duinvallei	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0

In de huidige analyse heeft WMR de termen regressie en successie iets anders gedefinieerd dan in voorgaande jaren. Enkele belangrijke verschillen zijn:

- Er wordt geen aparte middenkwelderzone onderscheiden, waardoor veranderingen van bijvoorbeeld middenkwelder naar hoge kwelder niet langer als successie worden beschouwd.
- De overgang van hoge kwelder naar brakke kwelder wordt nu als successie geclassificeerd, en de omgekeerde verandering als regressie.
- Het onderscheid tussen hoge en brakke kwelder is aangepast. Het verschil tussen deze typen is echter klein en berust op verschillende percentages van bepaalde soorten. Hierdoor kan het voorkomen dat een locatie de ene keer als hoge kwelder wordt geclassificeerd, en de andere keer weer als brakke kwelder.
- Een andere verandering is dat de hoge kwelder met climaxvegetatie zeekweek, die eerder tot de brakke kwelder werd gerekend, nu onder de hoge kwelder valt. Daardoor wordt een verandering van brakke kwelder (met bijvoorbeeld rietvegetatie) naar hoge kwelder met zeekweek nu als regressie beschouwd.

- De overgang van duinvegetatie naar kwelder wordt geclassificeerd als regressie, omdat het gebied zouter wordt. Omgekeerd wordt de verandering van kwelder naar duin niet als successie gedefinieerd, omdat dit vaak het gevolg is van de overstuiving van zand.

Bepalen oppervlakte en kwaliteit habitattypen

Hiervoor zijn de vegetatiekaarten van Neerlands Reid en De Hon tussen 1993 en 2000 geanalyseerd, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de verschillende begrazingsgebieden. Deze analyse was gericht op het vaststellen of de gestelde Natura 2000-oppervlakte-doelen bereikt zijn. Daarnaast is, aan de hand van de soortensamenstelling en bedekkingsgraad, beoordeeld of ook aan de kwaliteitseisen voor deze habitattypen is voldaan.

Invloed van abiotische parameters op de vegetatie

In 2021 zijn voor alle permanente proefvlakken diverse abiotische parameters gemeten, waaronder redoxpotentiaal van de bodem, vochtgehalte, bulkdichtheid, zoutgehalte, en het percentage organische stof. Om het effect van deze abiotische omstandigheden op de soortensamenstelling binnen de proefvlakken te beoordelen, is een multivariate analyse uitgevoerd. Daarnaast is een lineair model gebruikt om de gemiddelde verandering in vegetatie te relateren aan verschillende factoren: maaiveldhoogte, de afstand tot de sedimentbron, en de afstand van de sedimentbron tot het wad. Voor Neerlands Reid is ook de invloed van de verschillende begrazingsgebieden meegenomen.

7.2.3 Resultaten en conclusies

Vegetatieontwikkelingen Neerlands Reid en De Hon

Aantal plantensoorten

Neerlands Reid kent een grotere soortenrijkdom dan De Hon, vermoedelijk vanwege de beweiding. Uit Tabel 7-3 blijkt dat de soortenrijkdom tussen 1986 en 2021 zeer sterk is afgenomen, op zowel het Neerlands Reid en op De Hon. Hierbij is het aantal niet-kweldersoorten veel sterker gedaald dan het aantal kweldersoorten.

Tabel 7-3. Aantal plantensoorten op Neerlands Reid en De Hon in 1986 en 2021

	1986	2021
Neerlands Reid-kweldersoorten	38	33
Neerlands Reid-andere soorten	40	16
De Hon- kweldersoorten	31	22
De Hon- andere soorten	26	0

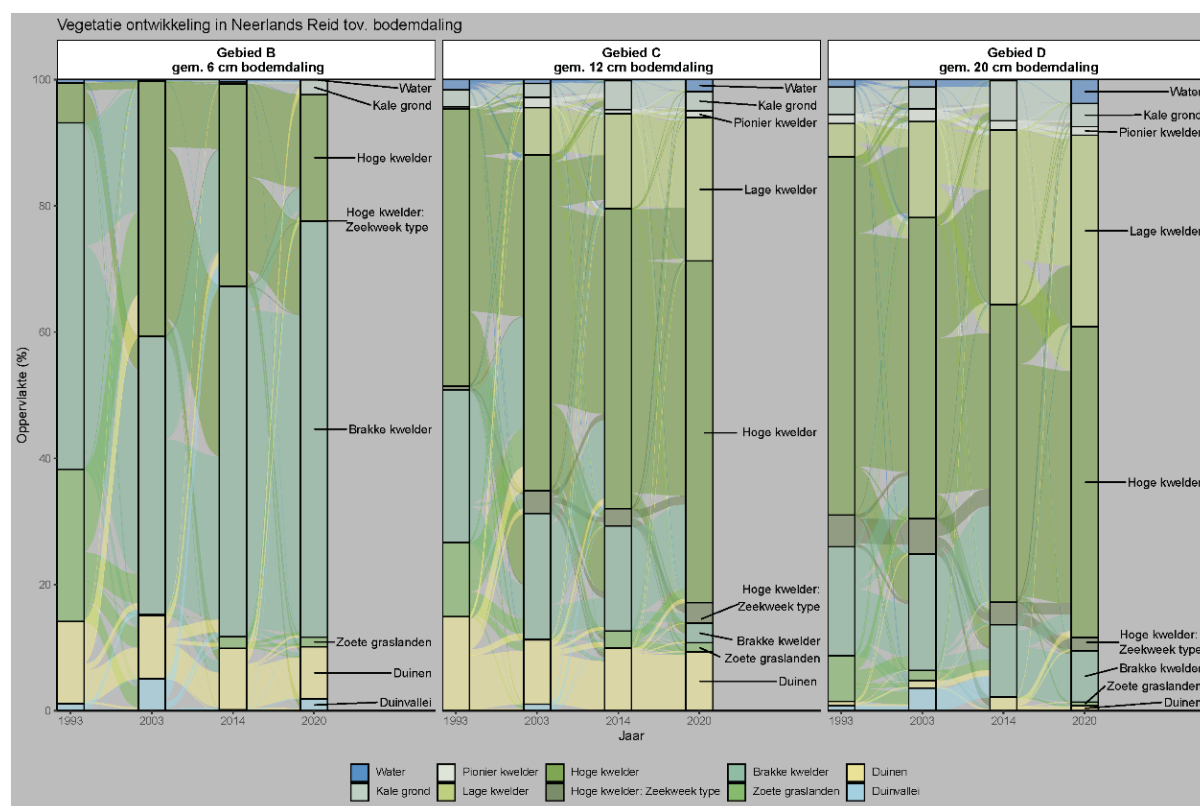
Ontwikkelingen op basis van vergelijking van vegetatiekaarten

Omdat de definitie van successie/ regressie door de jaren heen varieert, bieden de resultaten van 2023 weliswaar een indicatie van veranderingen sinds 1993, maar zijn ze niet goed vergelijkbaar met de resultaten uit eerdere integrale rapportages. De vergelijking van de vegetatiekaarten uit 1993 en 2020 levert de volgende resultaten op:

Vegetatie Neerlands Reid (zie Figuur 7-4 en Figuur 7-5)

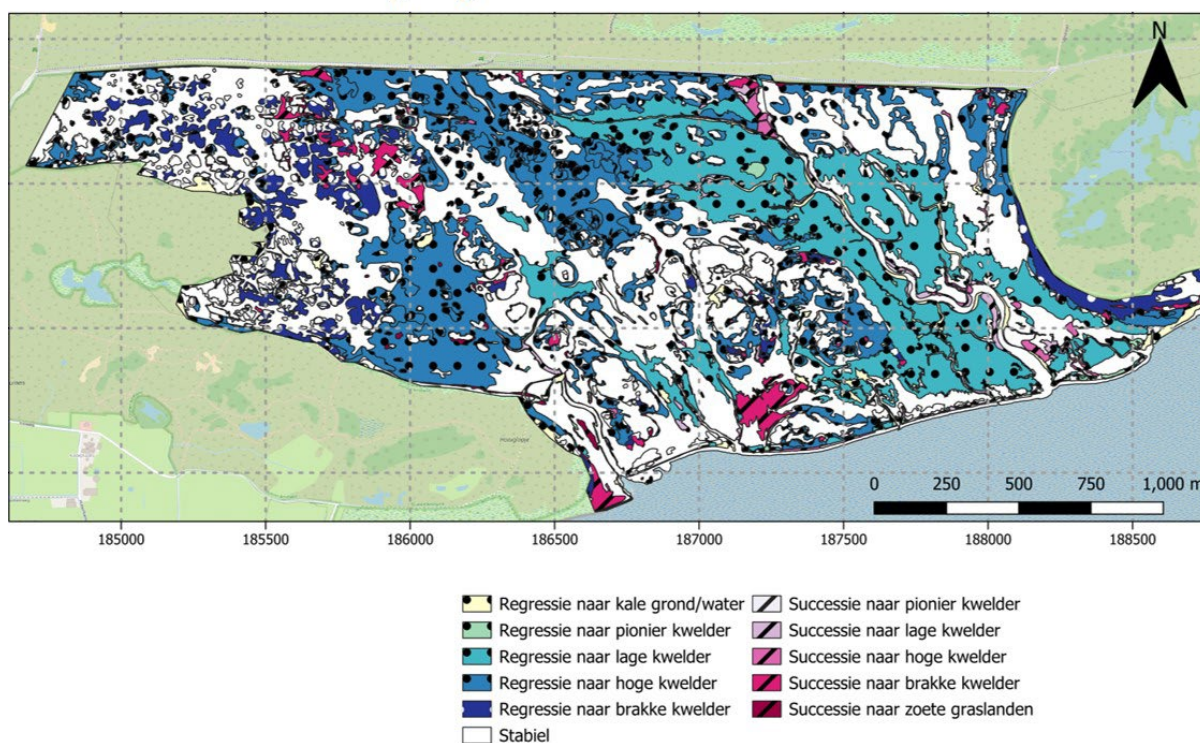
In het westelijke begrazingsgebied B was van 1993 tot 2020 voornamelijk hoge en brakke kwelder aanwezig (vooral brakke graslanden). Het oppervlak kale grond nam iets licht toe. Van 1993 tot 2020 bleef 57% van de vegetatie stabiel, onderging 39% regressie, en was er bij 4% sprake van successie. In gebied C is sinds 1993 het aandeel lage kwelder toegenomen. Een deel van de brakke kwelder veranderde in deze periode in hoge kwelder. Vergeleken met 1993 is het oppervlak kale grond licht gestegen, en ook het aandeel open water nam toe. Tussen 1993 en 2020 bleef 41% van de vegetatie stabiel, vertoonde 56% regressie, en toonde 3% successie.

De vegetatieveranderingen in het oostelijke gebied D waren vergelijkbaar met gebied C. Wel valt op dat er sinds 1993 meer open water is gekomen. In gebied D bleef 46% van de vegetatie stabiel, vertoonde 49% regressie, en 5% toonde successie.



Figuur 7-4 De vegetatieontwikkeling in Neerlands Reid in drie begrazingsgebieden voor vier verschillende jaren: 1993, 2003, 2014, 2020. De vegetatietypes zijn gebaseerd op de TMAP-typologie.

Verandering vegetatie Neerlands Reid 1993-2020



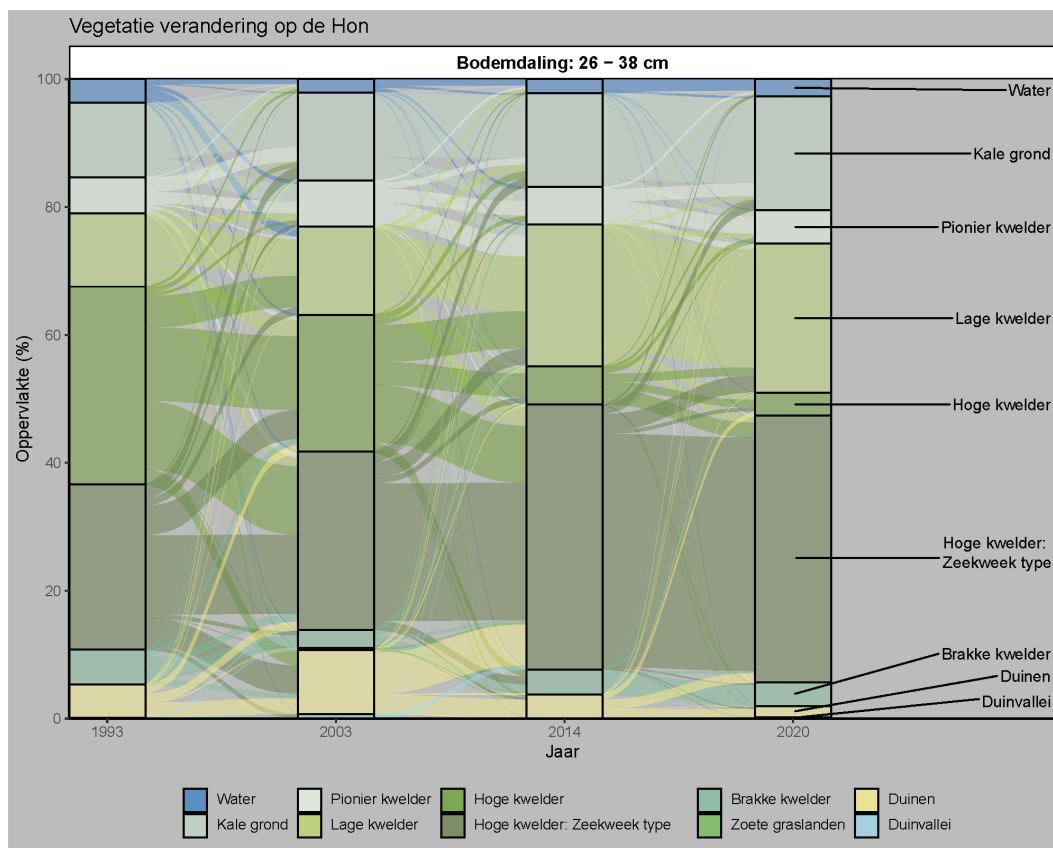
Figuur 7-5 Gegeneerde verschilkaart (successie-regressie) van de VEGWAD-vegetatiekaart van het Neerlands Reid van 1993 en 2020

Vegetatie De Hon (Zie Figuur 7-6 en Figuur 7-7)

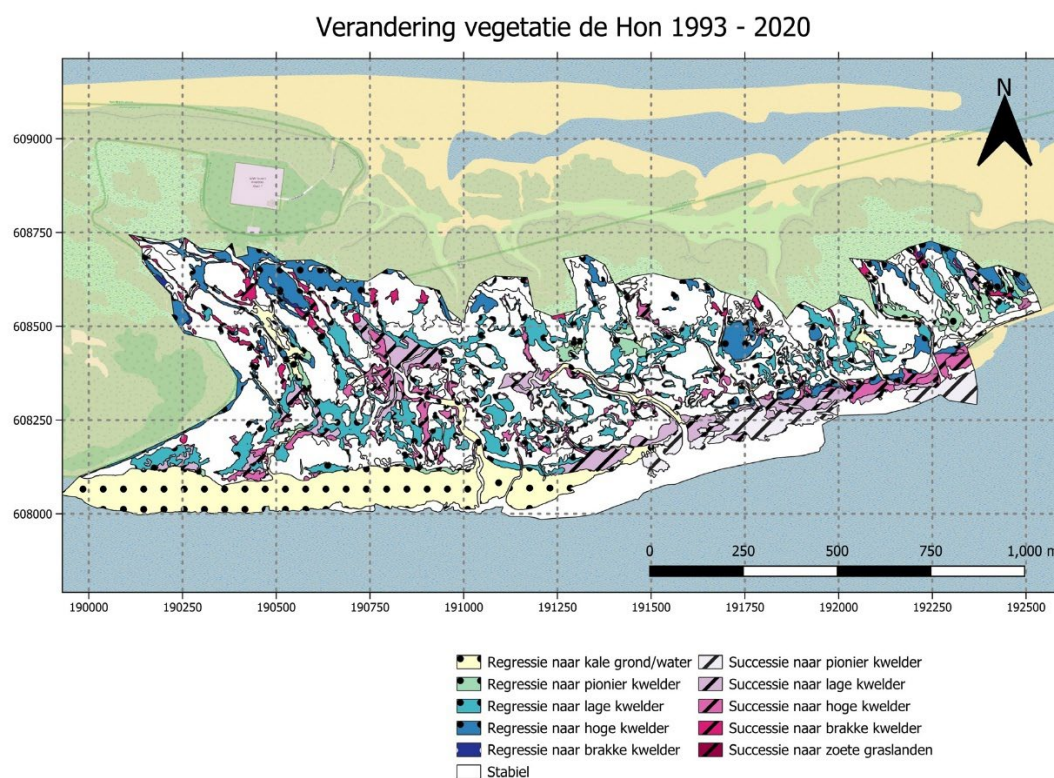
Tussen 1993 en 2020 is het percentage lage kwelder toegenomen, voornamelijk begroeid met de climaxsoort zoutmelde. Tegelijkertijd nam het oppervlak van de hoge kwelder af, waarbij deze vooral bestond uit het climaxstadium met zeekweek. In de brakke kwelder was er een toename van vegetatietypen met riet. Gedurende deze periode bleef 62% van de vegetatie stabiel, onderging 23% regressie, en was er bij 15% sprake van successie. Het eroderen van de kwelderrand is in deze analyse niet meegenomen.



Bodemdalingscommissie Ameland op De Hon, september 2020



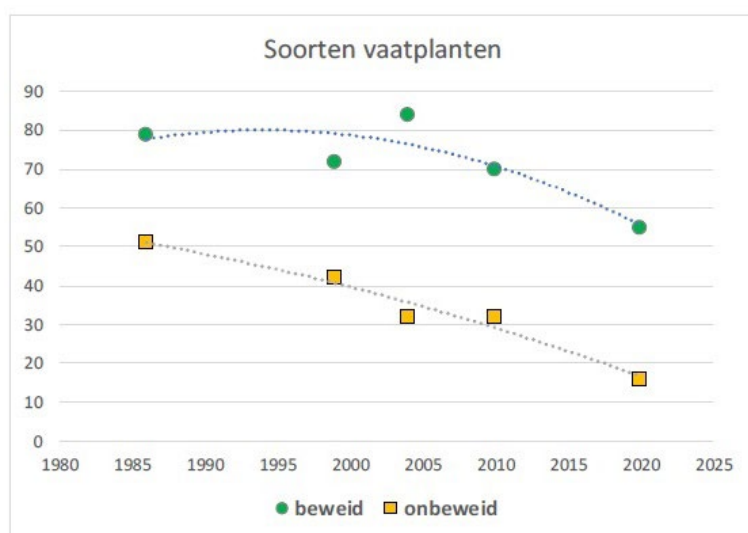
Figuur 7-6 De vegetatieontwikkeling in De Hon voor vier verschillende jaren, 1993, 2003, 2014 en 2020. De vegetatietypes zijn gebaseerd op de TMAP-typologie.



Figuur 7-7 Gegeneerde verschilkaart (successie-regressie) van de VEGWAD-vegetatiekaart van De Hon van 1993 en 2020

Vegetatieontwikkelingen Kwelderstrook

Een aparte analyse van de vegetatieveranderingen in de kwelderstrook onder de Oerderduinen toont aan dat ook deze strook in de afgelopen decennia minder divers is geworden: van 93 vaatplantsoorten in 1986 naar 63 in 2020. In de onbeweide delen van de kwelderstrook was de afname van diversiteit het sterkst, en domineren enkele hoog opgroeiende soorten zoals zeekweek en zeebies. In de beweide delen was er geen duidelijke dominantie van enkele soorten, maar ook daar zijn diverse soorten verdwenen.



Figuur 7-8 Aantal soorten vaatplanten aangetroffen in de beweide en onbeweide proefvlakken in de kwelderstrook onder het Oerderduin in de periode 1986-2020. Bron: Veranderingen in morfologie kwelderrand en kwelderdrainage op Oost-Ameland in relatie tot bodemdaling, 2020.

Invloed van abiotische factoren

Bepalende factoren voor soortensamenstelling

In de proefvlakken van het nieuwe meetnet is gebleken dat de samenstelling van soorten vooral wordt beïnvloed door de maaiveldhoogte en de afstand tot het wad of een kreek. Op Neerlands Reid komen plantensoorten voor die goed bestand zijn tegen beweiding. Hier wordt de samenstelling vooral bepaald door het zoutgehalte en de duur van de inundatievrije periode, ofwel de periode waarin het gebied niet onder water staat. Op De Hon is een duidelijk verband tussen het gehalte aan organische stof in de bodem en de samenstelling van de soorten.

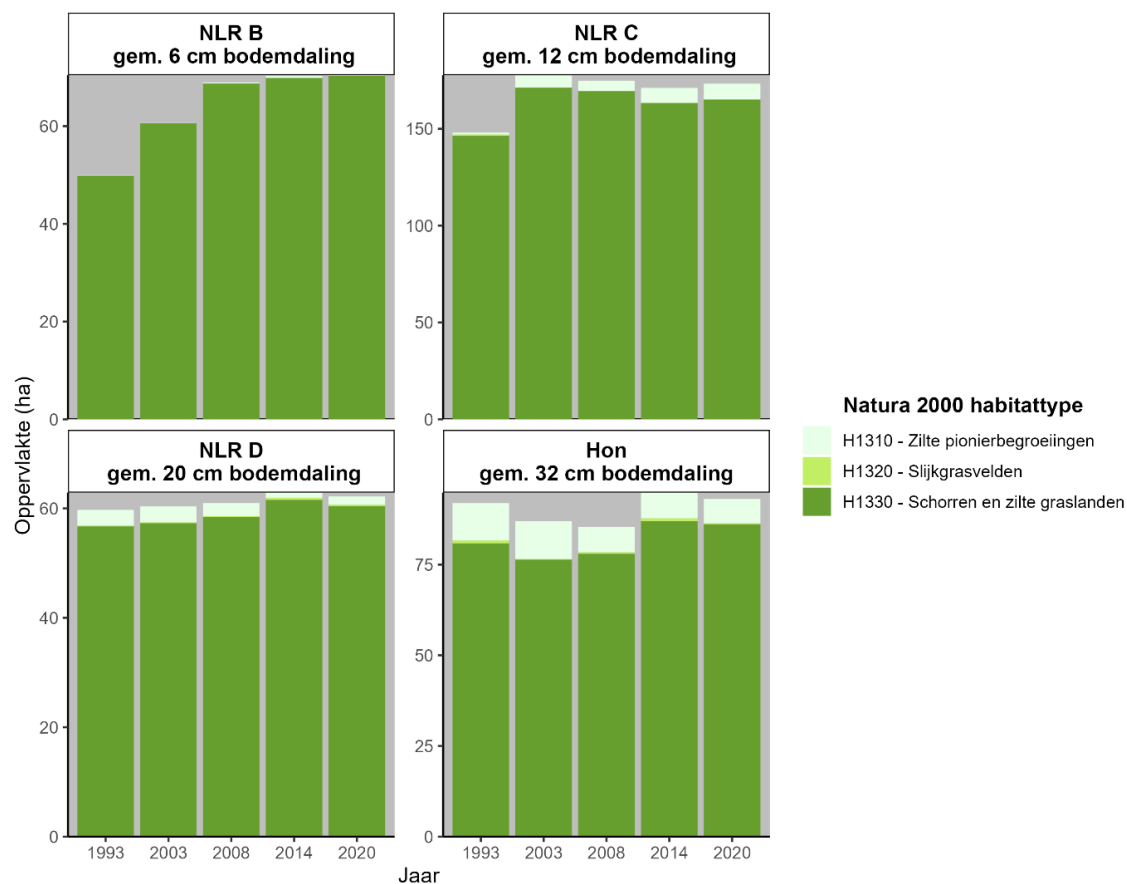
Relatie maaiveldhoogte en individuele soorten

Op het Neerlands Reid is waargenomen dat bepaalde soorten, zoals zeekweek, melkkruid, zilte rus en rood zwenkgras, op aanzienlijk lagere maaiveldhoogtes groeien dan in 1986, het jaar vóór de start van de gaswinning. Een soortgelijke trend is opgemerkt op De Hon, waar soorten zoals klein schorrekruid, zeekraal, lamsoor, zeekweek en zilte rus nu ook op significant lagere maaiveldhoogtes groeien dan in 1986.

Natura 2000-doelen

De ontwikkeling van de oppervlaktes van de verschillende habitattypen wordt weergegeven in Figuur 7-9. Hieruit blijkt dat het grootste deel van de kwelder tot habitatype H1330A behoort, terwijl

H1320 het minst aanwezig is. Het oppervlak van habitattype H1310 vertoont enige variatie over tijd. Dit komt doordat zeekraal, een eenjarige plant, zich jaarlijks opnieuw moet vestigen. Over het algemeen blijft het oppervlak van H1330A stabiel. In gebied B van Neerlands Reid is er een toename waargenomen, omdat zoete graslanden in brakke kwelder zijn veranderd. De mate waarin aan de kwaliteitseisen wordt voldaan, is samengevat in Tabel 7-4.



Figuur 7-9 Oppervlakte Natura 2000 habitattypen per jaar voor de verschillende gebieden



De Hon, gezien in oostelijke richting

Tabel 7-4 Overzicht van de mate waarin wordt voldaan aan de Kwaliteitseisen voor Natura 2000-habitats van Neerlands Reid en De Hon

Kwaliteitseis	Wordt eraan voldaan?
H1310A Zilte pionierbegroeiingen (Zeekraal)	
Voorkomen constante soorten vaatplanten die indicatief zijn voor goede abiotische toestand en goede biotische structuur.	Ja.
Bedekking van meerjarige soorten < 10 %.	Ja, per definitie volgens onderliggende vegetatietypologie.
Op landschapsschaal in samenhang voorkomend met kwelders/schorren (H1330) en met open wad (H1140).	Ja. Op Neerlands Reid bevindt het zich deels aan de wadrand, deels in de slenken en deels binnen H1330A als secundaire pioniervegetatie. Het grootste deel bevindt zich op De Hon tussen H1330 en H1140 in een vloeiende overgang naar het wad.
Optimale functionele omvang: vanaf honderden m ² .	164.000 m ² , waarvan 98.000 m ² op het Neerlands Reid en 67.000 m ² op De Hon.
H1320 Slijkgrasvelden	
Voorkomen constante soorten vaatplanten die indicatief zijn voor goede abiotische toestand en goede biotische structuur.	Nee. De enige typische soort (klein slijkgras) staat als ernstig bedreigd op de Rode Lijst en is mogelijk zelfs al verdwenen. ⁴⁰
Op landschapsschaal bij voorkeur voorkomend in samenhang met enerzijds Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal) (H1310A) en Schorren en zilte graslanden (buitendijks) (H1330) en anderzijds met Slik- en zandplaten (getijdengebied) (H1140A).	Ja, maar dan met Engels slijkgras. Het bevindt zich op De Hon en op Neerlands Reid tussen H1330A en H1140A.
Optimale functionele omvang: vanaf honderden m ² .	5.600 m ² , waarvan 2600 m ² op De Hon en 3.000 m ² op Neerlands Reid (met Engels slijkgras).
H1330A Schorren en zilte graslanden (buitendijks)	
Voorkomen constante soorten vaatplanten die indicatief zijn voor goede abiotische toestand en goede biotische structuur.	Ja.
Op landschapsschaal een complete zonering van lage kwelder (aansluitend op habitattypen H1310 en H1320) hoge kwelder en kwelderzoom (zo mogelijk aansluitend op duinhabittypen). Mogelijkheden voor deze zonering doen zich vooral voor in landschappen van tenminste honderden hectares. Op kleinere oppervlakten hangen de mogelijkheden sterk af van de aard van het gebied.	Ja.
Met name binnen grote kweldergebieden: geen oververtegenwoordiging (> 40 %) of ondervertegenwoordiging (< 5 %) van een bepaalde kwelderzone of van een climaxvegetatie met gewone zoutmelde, zeekweek (oude naam: strandkweek) of riet.	Nee. Op het Neerlands Reid heeft de volgende bedekking: hoge kwelder = 53%, lage kwelder = 22%, brakke kwelder = 22% en hoge kwelder met zeekweek = 3%. Op De Hon is de hoge kwelder met zeekweek = 58%, lage kwelder = 32%, hoge kwelder = 5% en brakke kwelder = 5%.
Structuurvariatie onder invloed van begrazing (m.n. binnen grote kweldergebieden); van nature is er al een bepaalde invloed door de graasactiviteiten van de haas (constante soort) en van ganzen; beweiding met vee kan nodig zijn om de vegetatiesuccessie verder of langduriger te vertragen.	Ja. Natuurlijke begrazing op De Hon lijkt beperkt. Neerlands Reid wordt beweide door vee, waardoor de kwelder ook aantrekkelijk is voor natuurlijke begrazing.
Optimale functionele omvang: vanaf tientallen hectares (subtype A).	381 hectare, waarvan 86 hectare op De Hon en 295 hectare op Neerlands Reid.

⁴⁰ Voor klein slijkgras geldt dat deze nooit in de Waddenzee is voorgekomen. Dus al bij aanwijzing van het Natura 2000-gebied was er al geen sprake van het voldoen aan dit criterium.

Conclusies ontwikkeling van vegetatie

Soortenrijkdom: Het beweide Neerlands Reid is en was soortenrijker dan de onbeweide Hon. Op beide kwelders wordt een afname gezien van het aantal soorten. Een vergelijking met referentiegebieden ontbreekt waardoor de ontwikkelingen niet direct aan bodemdaling en/of regressie en successie gerelateerd kunnen worden.

Regressie en successie: Een analyse van vegetatiekaarten laat zien dat er op veel locaties sinds 1993 regressie is opgetreden, vooral rond de Oerdsloot. Opvallend is dat er niet altijd een direct verband is tussen de mate van diepe bodemdaling en de omvang van regressie. Zo is op De Hon, ondanks een grotere diepe bodemdaling, juist minder regressie waargenomen. Daarnaast is er op sommige plekken sprake van aanzienlijke successie.

Impact op Natura 2000-habitattypen: Uit analyse van de vegetatiekaarten blijkt dat aan de oppervlakte-eisen van Natura 2000 wordt voldaan. Ondanks de erosie van de kwelderrand op De Hon, is het totale areaal van de kwelderhabitattypen niet afgenomen. Dit komt doordat duinvegetatie zich heeft ontwikkeld tot kweldervegetatie en er nieuwe kwelder is gevormd aan de oostkant van De Hon. Als in de toekomst het oppervlak aan kale plekken verder toeneemt, kan op termijn het areaal van de habitattypen afnemen. Uit de analyse blijkt verder dat de drie dominante kwelderhabitattypen voldoen aan de oppervlakte- en kwaliteitseisen van Natura 2000. De waargenomen veranderingen in vegetatie vinden hoofdzakelijk plaats tussen zones die alle tot hetzelfde habitatype H1330A behoren.

Invloed van abiotische factoren: De soortensamenstelling van de vegetatie van Neerlands Reid wordt vooral bepaald door het zoutgehalte en de duur van de inundatievrije periode. Op De Hon is er een duidelijk verband geconstateerd tussen het gehalte organische stof in de bodem en de soortensamenstelling. Uit de gegevens blijkt verder dat sommige soorten nu op een veel lager maaiveldhoogte voorkomen dan in 1986.

Komvorming: Op basis van de huidige gegevens is het niet mogelijk om uitspraken te doen over de vorming van kommen en de daaruit voortvloeiende vegetatieveranderingen. De analyse van beschikbare luchtfoto's biedt hiervoor onvoldoende inzicht, en het nieuwe meetnet is nog te recent om betrouwbare conclusies te trekken over deze ontwikkelingen.

8 Gevolgen voor de kwelders: broedvogels

Zowel Neerlands Reid als De Hon vervullen een belangrijke functie voor broedvogels. Dit hoofdstuk gaat eerst in op de ontwikkeling van het aantal broedparen, ten opzichte van andere gebieden. Daarna komt aan bod in hoeverre de overstromingskansen van hun nestlocaties worden beïnvloed als gevolg van bodemdaling door gaswinning.⁴¹

8.1 Inleiding

Een aantal soorten vogels die broeden op Neerlands Reid en De Hon is beschermd via de Natura 2000-Vogelrichtlijn (zie Tabel 8-1). Deze soorten komen later in dit hoofdstuk aan de orde.

Tabel 8-1 Natura 2000-instandhoudingsdoelen voor broedvogels van de kwelders in het Waddengebied

Beschermd Broedvogels (kwelder)	Aantal broedparen	Omvang leefgebied	Kwaliteit leefgebied
Lepelaar A034	430	Handhaven	Handhaven
Eidereeend A063	5000	Handhaven	Verbeteren
Kluut A132	3800	Handhaven	Verbeteren
Bontbekplevier A137	60	Handhaven	Handhaven
Kleine mantelmeeuw A183	19000	Handhaven	Handhaven
Visdief A193	5300	Handhaven	Handhaven
Noordse stern A194	1500	Handhaven	Handhaven

In 1987 werd al gewezen op de mogelijke toename van de overstromingsfrequentie van de kwelder als gevolg van diepe bodemdaling. Daarbij werd ook aangegeven dat het moeilijk te voorspellen was in hoeverre de nesten van broedvogels hieronder zouden lijden. Dit, omdat de toename van de overstromingsfrequentie een geleidelijk proces is, waaraan de broedvogels zich wellicht zouden kunnen aanpassen. Ze zouden dit kunnen doen door hun nesten geleidelijk naar de meer hooggelegen delen te verplaatsen.⁴²

In welke mate bodemdaling daadwerkelijk gevolgen heeft (of zal hebben) voor kwelderbroedvogels, is al jarenlang onderwerp van onderzoek. Dit onderzoek richt zich voornamelijk op het directe risico van overstromingen en hanteert daarbij volgende effectketen:

1. Daling van het maaiveld zorgt voor meer kans op overstromingen.
Dit kan ervoor zorgen dat nesten wegspoelen en het broedsucces van vogels afneemt.
2. Wanneer er te weinig jongen uitvliegen (te ver onder het instandhoudingsminimum) kan dit op termijn leiden tot een afname van het aantal broedparen.
3. Als broedseizoenen herhaaldelijk mislukken, kan dit leiden tot een verplaatsing van nestlocaties door de vogels.

⁴¹ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Duijns et al., 2023, Sovon
- Krol et al., 2023, Natuurcentrum Ameland

⁴² Dankers et al., 1987, Rijksinstituut voor Natuurbeheer

Er zijn ook andere manieren waarop bodemdaling invloed zou kunnen hebben op de broedvogels:

- Veranderingen in het patroon van overstromingen: De kwelder overstroomt niet gelijkmatig. Het patroon hiervan is afhankelijk van de hoogte van het maaiveld en van de ligging ten opzichte van de krekken. Het overstromingspatroon heeft invloed op de nestlocaties van broedvogels: plekken die voorheen veilig waren kunnen nu onveilig worden (en vice versa).
- Het geschikte broedgebied kan kleiner worden. Dit kan voorkomen als vogels zich genoodzaakt zien om hoger op te gaan broeden om overstromingen te ontwijken.
- De broedomstandigheden kunnen verslechteren. Een voorbeeld hiervan is een toename in de afstand tot het foerageergebied.



Inmeten coördinaten van een visdiefnest



Eider op nest, opgespoord met een drone

8.2 Broedparen en overstromingskansen

8.2.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

- Hoe ontwikkelt het aantal broedparen zich op de kwelders van Oost-Ameland?
- Wat is de overstromingskans van de nesten van kwelderbroedvogels op de kwelders van Oost-Ameland?
- Welk effect heeft bodemdaling door gaswinning daarop?

Methoden

Tellingen van aantallen broedparen en lokaliseren nesten (door Natuurcentrum Ameland)

Sinds 2006 (De Hon) en 2012 (Neerlands Reid) worden de aantallen broedparen en de situering van de broedvogelkolonies gemonitord. Aanvankelijk was hierin vooral aandacht voor de lepelaar en kolonies van kokmeeuw, al dan niet gemengd met visdief, en indien aanwezig kolonies van Noordse stern en kluut. Om verstoring van het broedproces te voorkomen, vindt deze inventarisatie plaats na het broedseizoen, aan de hand van nestresten. Daarbij wordt ook de locatie van de kolonies en de hoogteligging van de nesten bepaald (met GPS-RTK).

Vanaf 2019 zijn ook de verspreid liggende nesten van de kleine mantelmeeuw en de eider onderzocht toen een nieuwe methodiek met een hoge resolutie daglichtcamera en een warmtebeeldcamera onder een drone beschikbaar kwam. Van de op die manier bepaalde exacte nestlocatie kan dan na het broedseizoen met een GPS-RTK de hoogte van de nestkom vastgesteld worden, met een nauwkeurigheid van +/-2 centimeter.

Bepalen overstromingskans van nesten (door Sovon)

Met behulp van het model Van de Pol (2010) kan bepaald worden of een nest in een bepaald jaar is geslaagd of mislukt, op basis van de hoogwaterstanden op de kwelder, de exacte nestlocatie en hoogte van het nest en soort-specifieke parameters zoals het begin en einde van de broedtijd en de broedduur. Een nest wordt als mislukt beschouwd als het meer dan vijftien centimeter onder water heeft gestaan.

- Voor de nestlocaties en hoogte van de nesten is voor de huidige analyse gebruik gemaakt van nesten die zijn gevonden tussen 2013 en 2023, waarvan de hoogtes zijn bepaald met GPS-RTK (zie kopje hierboven).
- Voor de actuele hoogwaterstanden is gebruik gemaakt van het model Intertides, waarmee het mogelijk is om de waterstand op elke gewenste locatie op het wad te bepalen. Dit betekent dat een waterstand bij Nes kan worden omgezet naar een equivalent aan de rand van de kwelder.
- Om de waterstand bij de kwelderrand te vertalen naar een waterstand op een specifieke plek op de kwelder, wordt voor de huidige analyse gebruik gemaakt van diepteloggers. Deze werden tussen 2019 en 2022 op de kwelder geplaatst (zie par. 6.2).
Op basis daarvan kan voor elke (nest)locatie een 'effectieve (nest)hoogte' bepaald worden. Dit is de hoogte van de waterstand op het wad die nodig is om een bepaalde (nest)locatie op de kwelder te doen overstromen.
- Met oog op de broedtijd is in het onderzoek onderscheid gemaakt tussen vroeg, mediaan en laat broedende vogels.

Op basis van de data (samengevoegd voor tien jaar) is het gemiddelde overstromingsrisico voor een nest bepaald. Dit risico is afhankelijk van de locatie van het nest, de vogelsoort, en de heersende weersomstandigheden. Bij de scholekster is alleen een deelpopulatie die rond de Oerdsloot nestelt bestudeerd.

Effect van bodemdaling door gaswinning

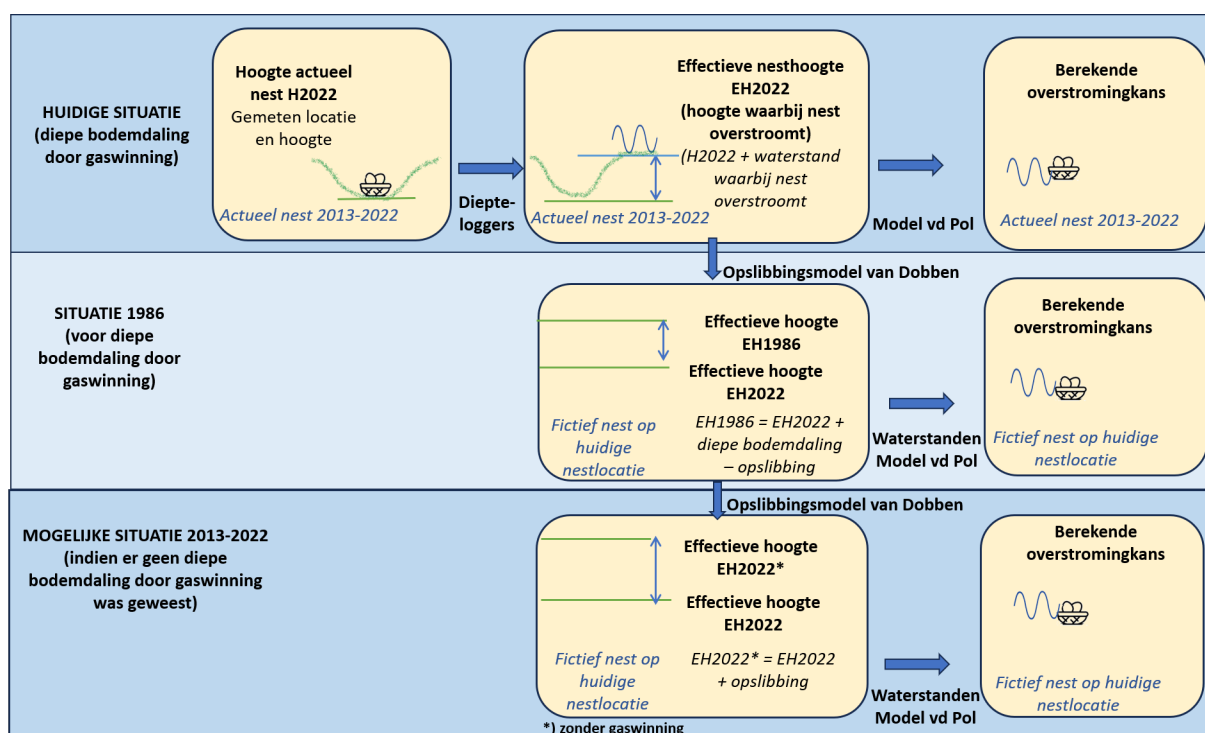
Om te achterhalen of de overstromingskans voor de start van de gaswinning anders was, zouden de onderzoekers idealiter dezelfde berekeningen uit moeten voeren met de gegevens van die periode. Echter, de exacte locatie en hoogte van de nesten van toen, alsook data van diepteloggers uit die tijd, zijn niet beschikbaar. Dit maakt het onmogelijk om met zekerheid te zeggen of de nesten

verplaatst zijn of lager zijn komen te liggen, en of de overstromingsdynamiek van de kwelder destijds anders was.

Wat wel onderzocht kan worden, is of de *huidige* broedlocaties meer of minder gevoelig zijn voor overstromingen dan in het verleden, en hoe deze gevoeligheid zou zijn zonder gaswinning. Met andere woorden, als een nest veertig jaar geleden op dezelfde locatie had gelegen, wat zou dan de overstromingskans zijn geweest?

Voor deze analyse is de huidige hoogte van het maaiveld op specifieke locaties vastgesteld, evenals de geschatte hoogte van die locaties vóór de start van de gaswinning en in een scenario zonder gaswinning (zie Figuur 8-1).

Voor deze berekeningen is het opslibbingsmodel van Van Dobben (2022) gebruikt. Op deze manier kan de actuele hoogte van een broedlocatie vergeleken worden met de hoogte vóór en zonder gaswinning.



Figuur 8-1. Deze figuur legt uit hoe de overstromingskans van de nesten van de onderzochte kwelderbroedvogels is bepaald, voor drie situaties. De bovenste rij geeft de huidige situatie aan (gebaseerd op data tussen 2013 en 2022), waarin dus diepe bodemdaling door gaswinning is opgetreden. Op basis van de hoogte van een actueel nest is bepaald bij welke waterstand dit nest overstroomt (de zogenaamde effectieve nesthoogte). Deze hoogte, gecombineerd met de actuele hoogwatergegevens en soort specifieke parameters, bepaalt het actuele overstromingsrisico.

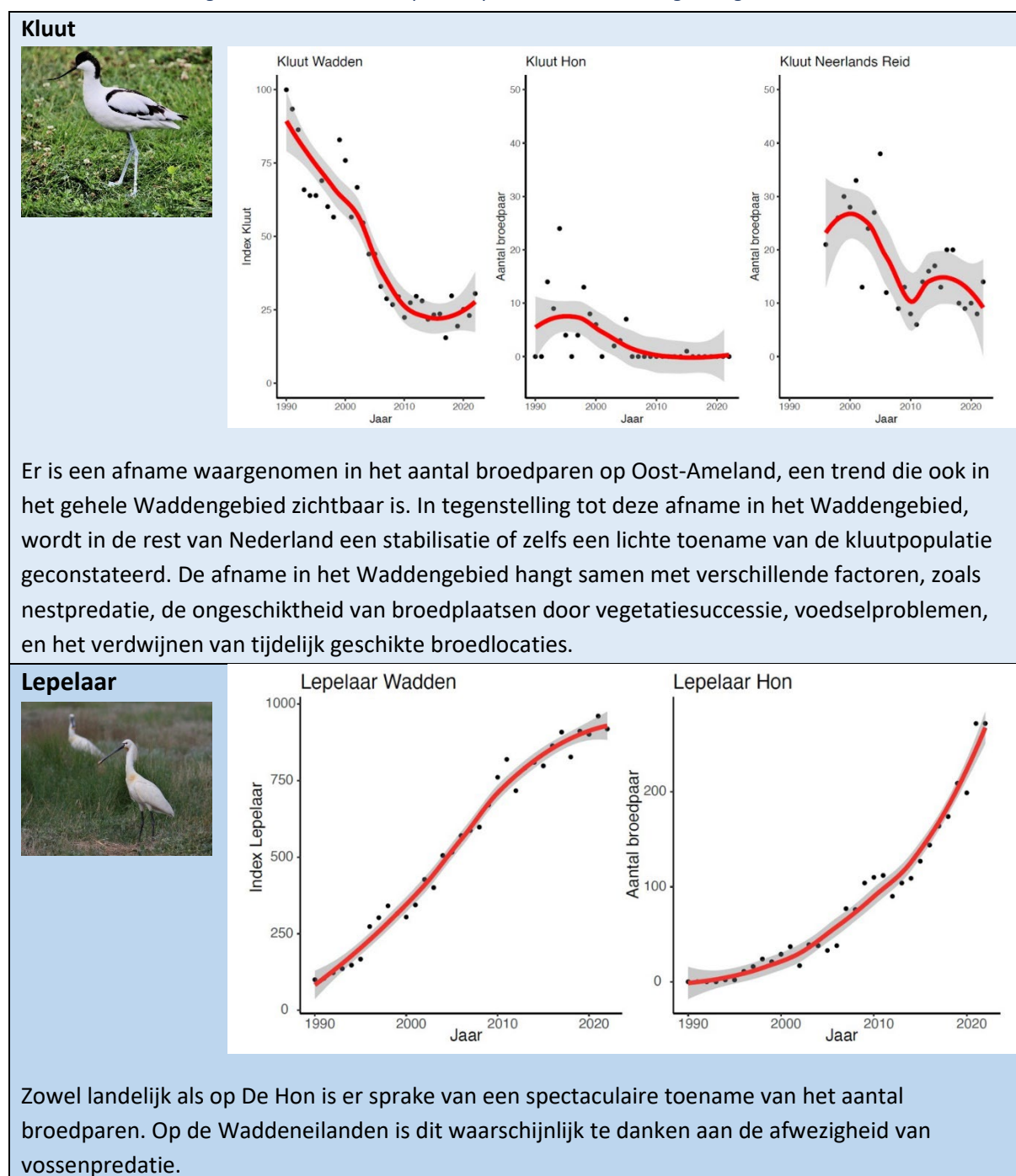
De middelste rij en de onderste rij geven respectievelijk de situatie in 1986 aan (vóórdat er gaswinning plaatsvond) en de huidige situatie (2013-2022) indien er geen gaswinning zou zijn geweest. Uitgangspunt daarbij is dat er in die tijd nesten lagen op dezelfde locaties als waar deze nu liggen. De effectieve hoogtes van deze (fictieve) nesten is in beide gevallen berekend uit de huidige effectieve nesthoogte. Vervolgens zijn de overstromingskansen berekend van deze nesten.

8.2.2 Resultaten en conclusie

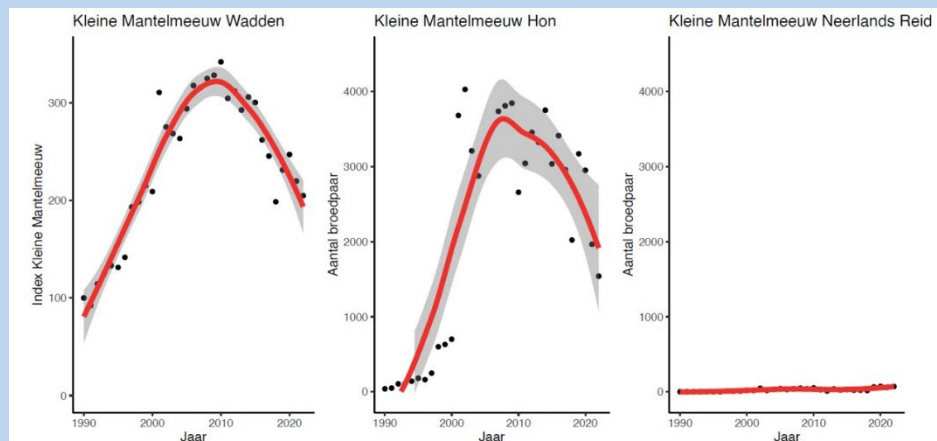
Aantallen broedvogels

Indien diepe bodemdaling door gaswinning negatieve gevolgen zou hebben voor broedvogels, dan zou volgens de gehanteerde effectketen (zie par. 8.1) op lange termijn een vermindering van het aantal broedparen te verwachten zijn geweest, althans op plaatselijk niveau. Het is echter belangrijk om te benadrukken dat een afname in het aantal broedvogels niet per se duidt op de impact van bodemdaling; er kunnen vele andere oorzaken zijn. De resultaten van de broedvogeltellingen laten de volgende trends zien:

Tabel 8-2 Ontwikkeling van het aantal broedparen op de kwelders van negen vogelsoorten

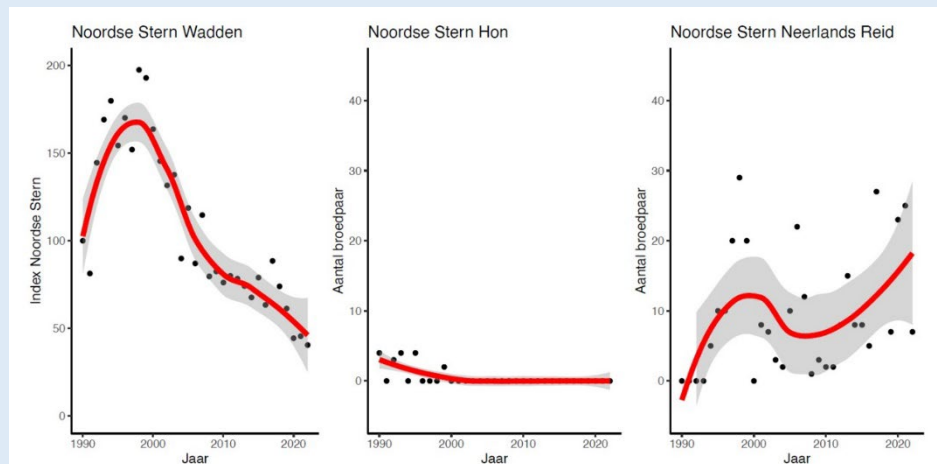


Kleine mantelmeeuw



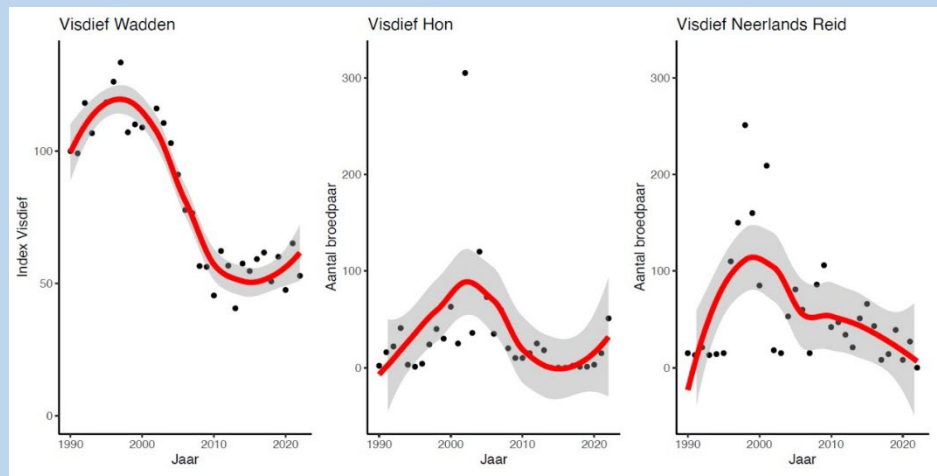
Zowel landelijk als op Ameland was er aanvankelijk een toename van het aantal broedparen, maar sinds 2000 neemt dit aantal af. Op Neerlands Reid, waar maar weinig kleine mantelmeeuwen broeden, is er een geleidelijke toename.

Noordse stern



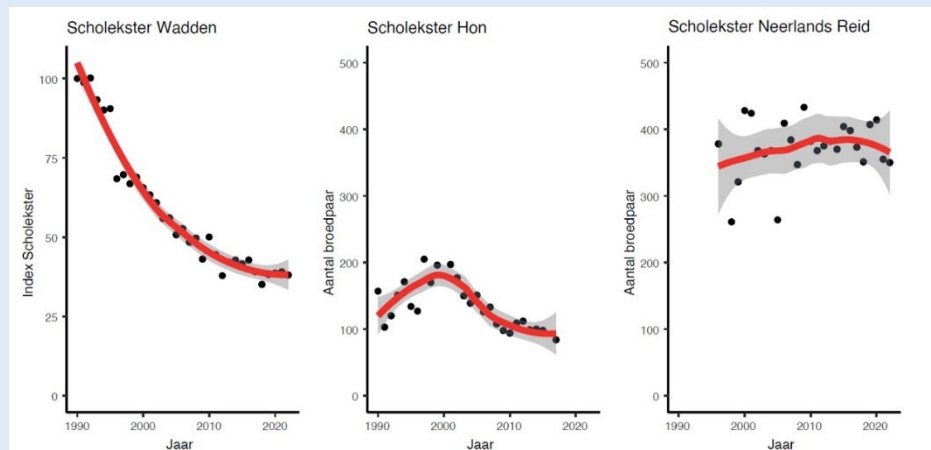
Landelijk is er een afname van het aantal broedparen. Op Neerlands Reid neemt het aantal toe, maar met kleine aantallen. Op De Hon broeden de vogels niet meer.

Visdief



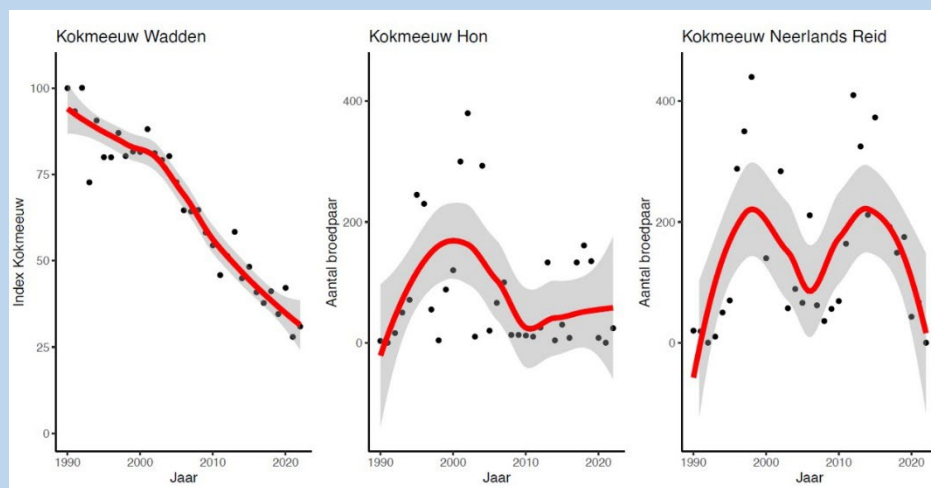
Zowel landelijk als op Oost-Ameland is er een langzame achteruitgang.

Scholekster



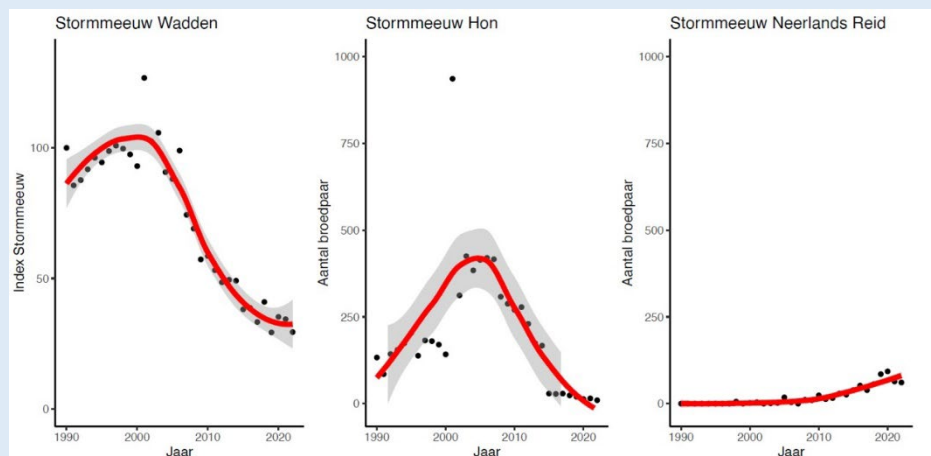
Sinds 1985 neemt de populatie scholeksters in Nederland af. Ook in het internationale Waddengebied neemt het aantal broedparen af. Op De Hon was er aanvankelijk een behoorlijke toename vanaf de jaren 90, maar vanaf begin 2000 is er een gestage afname. Op het Neerlands Reid is er echter een min of meer stabiele populatie, ondanks enkele uitschieters.

Kokmeeuw



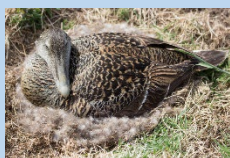
Op Ameland is het lastig een duidelijke trend te identificeren. Na initiële lage aantallen vanaf 1990, het begin van de tellingen, zijn er veel schommelingen geweest, en momenteel is de situatie vergelijkbaar met de aantallen van dertig jaar geleden. In 2022 is deze soort sterk getroffen door het vogelgriepvirus, wat waarschijnlijk een negatieve invloed zal hebben op de populatieomvang. Landelijk gezien neemt het aantal broedparen af.

Stormmeeuw



Sinds 1980 neemt het aantal in Nederland af. Ook de broedpopulatie op de Waddeneilanden vertoont sinds de eeuwwisseling een afname. Op het Hon was er een korte intensieve opleving van de broedpopulatie vanaf 2001, maar vanaf 2007 is er weer een gestage afname waar te nemen, waarbij de laatste jaren nog enkele tot tientallen broedparen over zijn. Op het Neerlands Reid is er een tegenovergesteld beeld, met een aanzienlijke toename van het aantal broedparen.

Eider



Er zijn geen betrouwbare aantallen bekend van het aantal broedparen van de eider. Tijdens recente tellingen met drones zijn er veel nesten gevonden. In 2022 waren dat er 86 op De Hon en elf op Neerlands Reid. De gevonden aantallen moeten echter worden beschouwd als een absoluut minimum; in werkelijkheid zijn de aantallen waarschijnlijk hoger. De meetperiode is echter nog te kort om hierover betrouwbare uitspraken te kunnen doen.

Overstromingspatroon: toepassing van diepteloggers

Door de recente metingen met diepteloggers is nu een gedetailleerd inzicht verkregen in de overstromingskans van de actuele nesten, onder hedendaagse weercondities. Dit is een aanzienlijke verbetering vergeleken met wat voorheen mogelijk was. Enerzijds kunnen de nestlocaties nu zeer nauwkeurig en zonder verstoring van het broedproces bepaald worden. Anderzijds bieden de diepteloggers inzicht in het verband tussen hoogwaterstanden op zee en waterstanden op de kwelder.

De gegevens van de diepteloggers laten zien dat de overstroming van de kwelder niet uniform plaatsvindt. De mate en frequentie van overstroming hangen af van factoren zoals drempels, geulen, windrichting en waterstuwing. Dit is vooral relevant voor nesten die verder van de rand van de kwelder liggen.

Huidige overstromingskansen

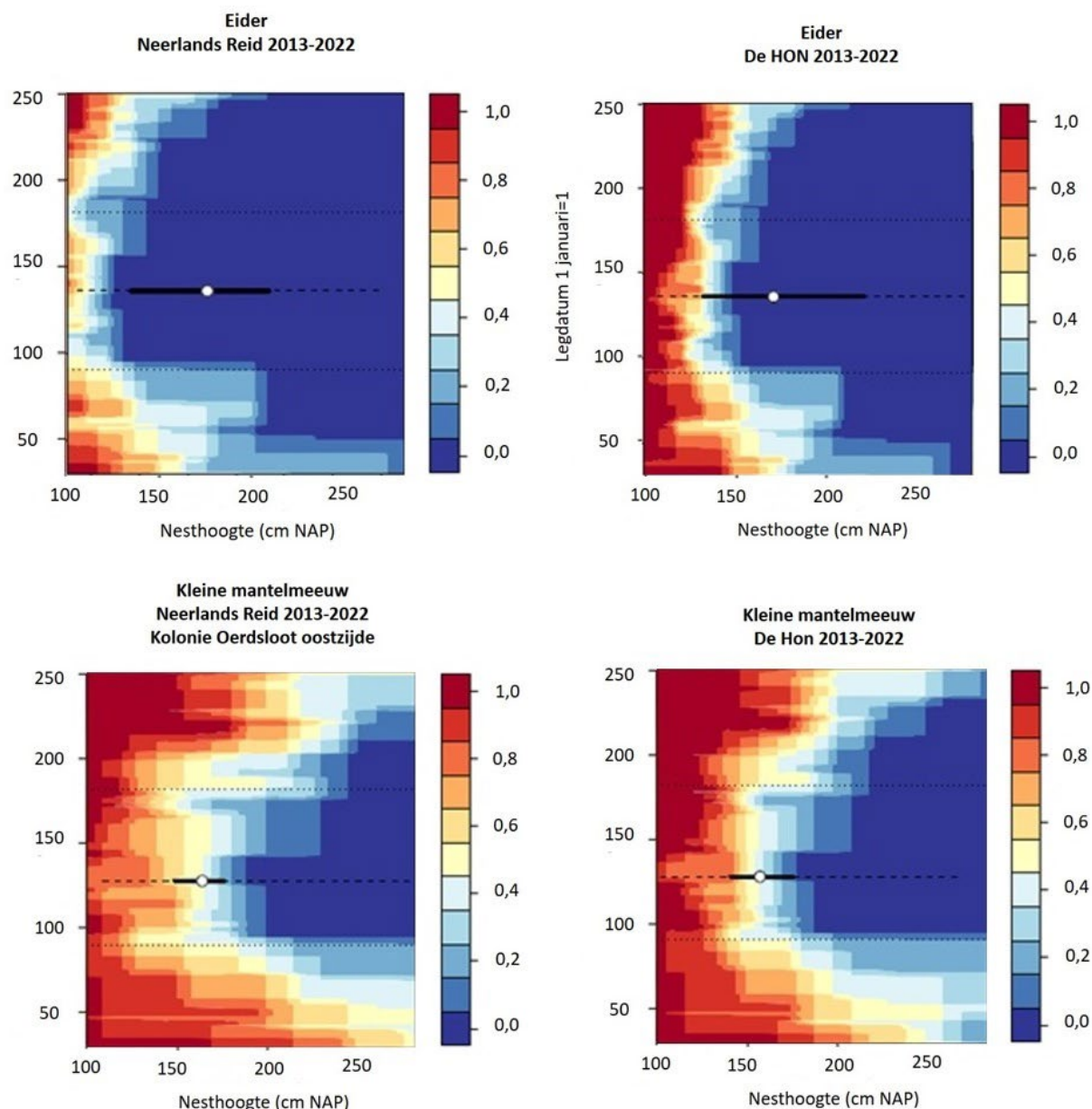
Uit de metingen en berekeningen blijkt dat er aanzienlijke verschillen zijn in de overstromingsgevoeligheid van de diverse vogelsoorten. De kleine mantelmeeuw nestelt bijvoorbeeld op locaties die zeer gevoelig zijn voor overstromingen (zie Figuur 8-2). Als de waterstanden tijdens het broedseizoen in de onderzoeksperiode net zo hoog waren geweest als in de jaren 1980-1990, zouden de nesten van deze soort zijn overstroomd. Vooral de vroege nesten zijn extra kwetsbaar voor overstromingen. Deze bevindingen zijn relevant in het licht van klimaatverandering, die naar verwachting leidt tot een vervroeging van het broedseizoen.

Een vergelijkbare overstromingsgevoeligheid wordt waargenomen bij sommige kolonies kokmeeuwen, het merendeel van de visdiefkolonies en, in mindere mate, bij de Noordse stern. De (weinige) kluten daarentegen nestelen op veilige locaties: zelfs bij vroeg broedende vogels en zeer hoog water worden hun nesten niet overstroomd. Dit geldt ook voor de huidige nestlocaties van lepelaars, eider, en enkele kolonies van kokmeeuwen en visdieven (zie Figuur 8-2).



Eieren visdief De Hon

Overstromingskansen van twee kwelderbroedvogels



Figuur 8-2 De berekende overstromingskansen van eider en kleine mantelmeeuw op Neerlands Reid en De Hon, als functie van legdatum en nesthoogte (2013-2022). De rode kleur wijst op een hoge overstromingskans, de blauwe op een lage. De witte stip geeft de gemiddelde effectieve nesthoogte weer en de zwarte horizontale stippellijnen representeren de verdeling van legdatum en nesthoogte (mediaan en kwartielen). Hieruit blijkt dat de eider een zeer lage kans van overstroming heeft op De Hon en Neerlands Reid, terwijl de kleine mantelmeeuw een redelijk grote kans op overstroming heeft in beide deelgebieden op Ameland.

Overstromingsrisico's vóór de gaswinning (1986) en zónder gaswinning

In het algemeen geldt dat het maaiveld waarop vogels nu nestelen lager ligt dan vóór de gaswinning, omdat de kwelders zijn gedaald. De sedimentatie was gemiddeld te laag om de diepe bodemdaling te compenseren. Zonder gaswinning zou het huidige maaiveld hoger gelegen hebben dan nu het

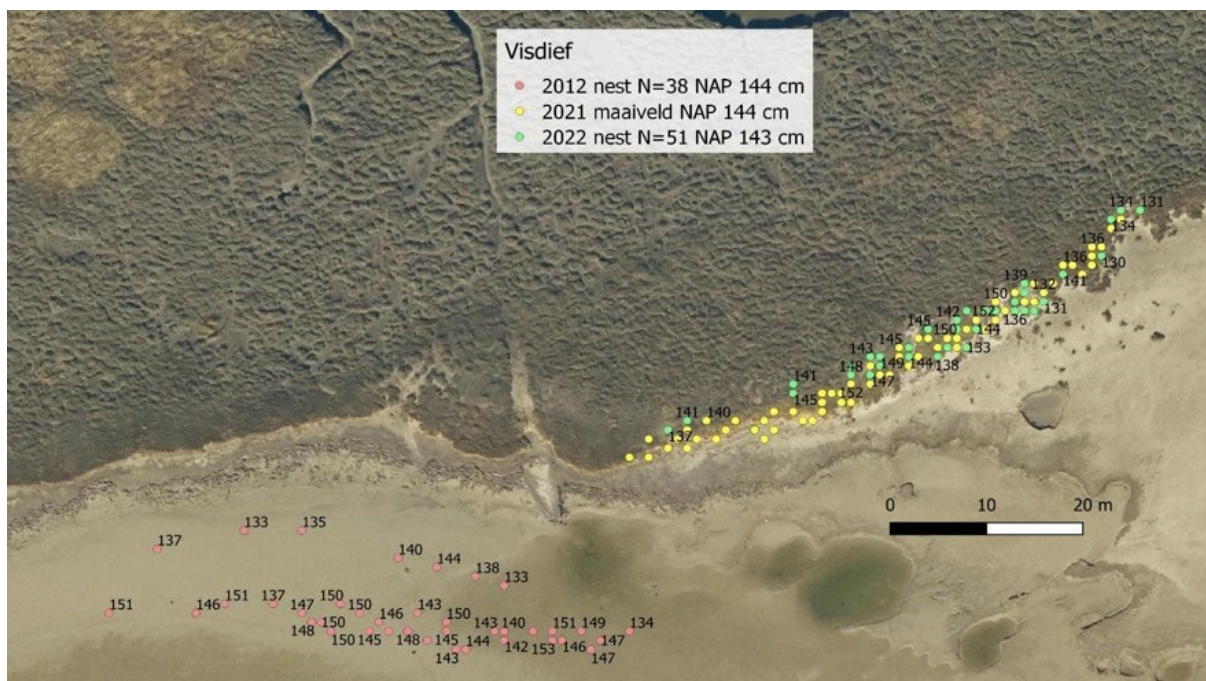
geval is. Bij een gegeven hoogwaterstand zal de kwelder nu dus vaker overstroomen dan in het verleden of in een situatie zonder gaswinning.

De berekeningen bevestigen dit beeld voor een aantal vogelsoorten. De plekken waar bijvoorbeeld nu eiders broeden, lagen vóór de gaswinning hoger, en zouden ook zonder gaswinning hoger hebben gelegen. Voor andere vogelsoorten geldt dit minder: de scholeksters die rond de Oerdsloot nestelen bijvoorbeeld, blijken juist te nestelen op plekken die de afgelopen jaren zeer sterk opgeslibd zijn. Het maaiveld is er hoger geworden, ondanks de diepe bodemdaling, en daarmee is het overstromingsrisico afgenomen.

Of een actueel nest daadwerkelijk lager ligt dan vóór (of zonder) de gaswinning, is op basis van de gebruikte gegevens dus niet te zeggen. Daarvoor zouden de vroegere nestlocaties exact bekend moeten zijn, evenals de wijze waarop vroeger de kwelder overstroomde.

Wel blijkt dat bijvoorbeeld de lepelaar op veiligere plekken is gaan broeden en daardoor minder gevoelig is geworden voor overstromingen. Ook tonen hoogtemetingen aan dat in de kolonies de diepe bodemdaling grotendeels wordt gecompenseerd door opslibbing en/of instuiving.

De visdief blijkt flexibel te zijn in zijn nestgedrag, waarbij hij vaak van broedplaats wisselt, soms gedwongen door het verloren gaan van oude nestplekken door klifafslag (zoals beschreven in par. 6.3). Wel blijken deze vogels, doordat ze een pioniersvegetatie kiezen als nestelplek, op gelijke hoogte te blijven nestelen: ongeveer op 140 +NAP. Ze compenseren dus blijkbaar de bodemdaling door hun nestlocatie aan te passen (zie Figuur 8-3).



Figuur 8-3 Aanpassing van de nestlocatie van de visdief. De rode bolletjes geven de nestlocatie aan in 2012 (op een gemiddelde hoogte van 144 +NAP), de groene in 2022 (143+NAP). Opvallend is dat de gemiddelde NAP-hoogte van alle metingen in de drie jaren op hetzelfde uitkomt. De achtergrondfoto is recent (2022), waardoor de kliferosie van de kwelderrand zichtbaar wordt; de nesten van 2012 bevinden zich tien jaar later ruim twintig meter vanaf de kwelderrand.

Conclusies

Aantal broedparen

Voor bijna alle onderzochte soorten kwelderbroedvogels op Oost-Ameland geldt dat de aantallen achteruit gegaan zijn, en dat deze tendens overeenkomt met de tendens in de gehele Nederlandse Waddenzee. Er lijkt geen verband te zijn met de diepe bodemdaling. Bij een aantal soorten op Oost-Ameland wordt er zelfs een sterke toename gezien sinds het begin van de gaswinning, zoals voor de lepelaar. De broedvogels op het Neerlands Reid lijken het beter te doen dan op De Hon.

Overstromingskansen

De kleine mantelmeeuw blijkt te nestelen op plekken met een relatief grote overstromingskans. Dit geldt ook voor een aantal kokmeeuwkolonies, de meeste visdiefkolonies en in mindere mate de Noordse stern. De berekeningen geven aan dat de huidige nestlocaties, zonder gaswinning, minder kans gehad zouden hebben op overstromingen.

Ook vóór de gaswinning overstroomden veel locaties minder vaak. Voor sommige vogelsoorten, zoals visdief, noordse stern, scholekster (deelpopulatie rond de Oerdsloot) en kokmeeuw (Neerlands Reid) was de overstromingskans vóór de gaswinning echter hoger. Dit komt onder andere doordat er in het decennium voorafgaand aan de gaswinning veel hoogwaters waren tijdens het broedseizoen. Daarnaast liggen sommige huidige locaties hoger dan vroeger, doordat ze zijn opgeslibd.

Door gebrek aan historische gegevens is het niet mogelijk om vast te stellen of de daadwerkelijke nesten voor de gaswinning vaker of minder vaak zouden zijn overstroomd, en hoe de situatie zou zijn geweest zonder gaswinning.



Jonge lepelaars op nest

9 Gevolgen voor de duinen

In het oosten van Ameland bevinden zich twee duingebieden: de Oerderduinen en de Kooидуinen. Deze gebieden staan bekend om hun rijkdom aan plantensoorten. Het monitoringonderzoek focust zich voornamelijk op de vochtige duinvalleien rond de locatie van de NAM, aangezien de diepe bodemdaling door gaswinning hier het grootst is.

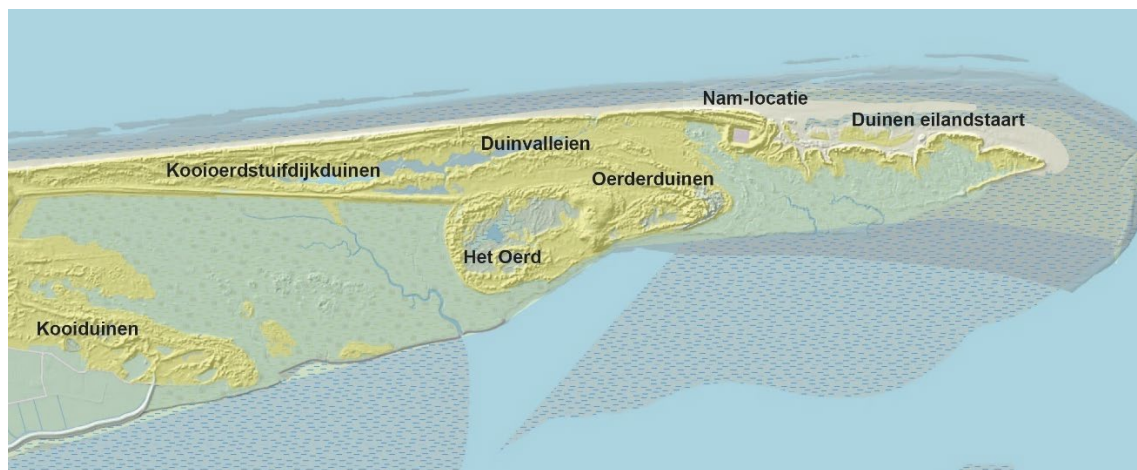
Dit hoofdstuk zal zich richten op twee aspecten van de monitoring: de inundatie van de duinvalleien en de ontwikkeling van de vegetatie.⁴³

9.1 Over het gebied

Ligging

De duinen van Ameland, die zich over de hele lengte van het eiland uitstrekken, kenmerken zich door een grote diversiteit aan milieus. Deze variatie wordt veroorzaakt door de overgangen van nat naar droog, zoet naar zout, en kalkrijk naar kalkarm.

In het oosten van Ameland liggen de Kooiduinen, aan de rand van het bodemdalingsgebied, en de Oerderduinen in het centrum van het dalingsgebied (zie Figuur 9-1). Tussen deze duincomplexen werd aan het einde van de 19^e eeuw de Kooioerdstuifdijk aangelegd om overstroming van het tussenliggende gebied te voorkomen. Dit leidde tot de ontwikkeling van de kwelder Neerlands Reid aan de zuidzijde van de dijk en de ontwikkeling van de Kooioerdstuifdijk-duinen aan de noordzijde ervan. Deze smalle duinen bestaan uit de zeereep (de duinenrij die het dichtst bij het strand ligt) en de stuifdijk zelf.



Figuur 9-1 Duinen van Oost-Ameland. Het lichtgeel gemarkeerde gebied maakt onderdeel uit van Natura 2000-gebied Duinen van Ameland. De jonge duinen ten oosten daarvan (op de eilandstaart) behoren grotendeels tot Natura 2000-gebied Noordzeekustzone.

⁴³ De voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen, opgesteld in het kader van de Ameland-monitoring, zijn:

- Krol, 2023, Natuurcentrum Ameland
- Rooijen et al., 2023, WENR

Richting het oosten wordt het gebied tussen de zeereep en de stuifdijk steeds breder en gaat het over in de Oerderduinen. Kenmerkend voor dit gebied zijn de langgerekte duinvalleien die in open verbinding staan met de Waddenzee, en die vooral in de winter meerdere malen overstromen. Bij springtij of stormvloed stroomt het zeewater de duinvalleien in tot voorbij het Spijkerpad. Een deel van de valleien staat 's winters ook langdurig onder water als gevolg van een hoge grondwaterstand. Ten oosten van de NAM-locatie ligt de eilandstaart (zie Hoofdstuk 10).

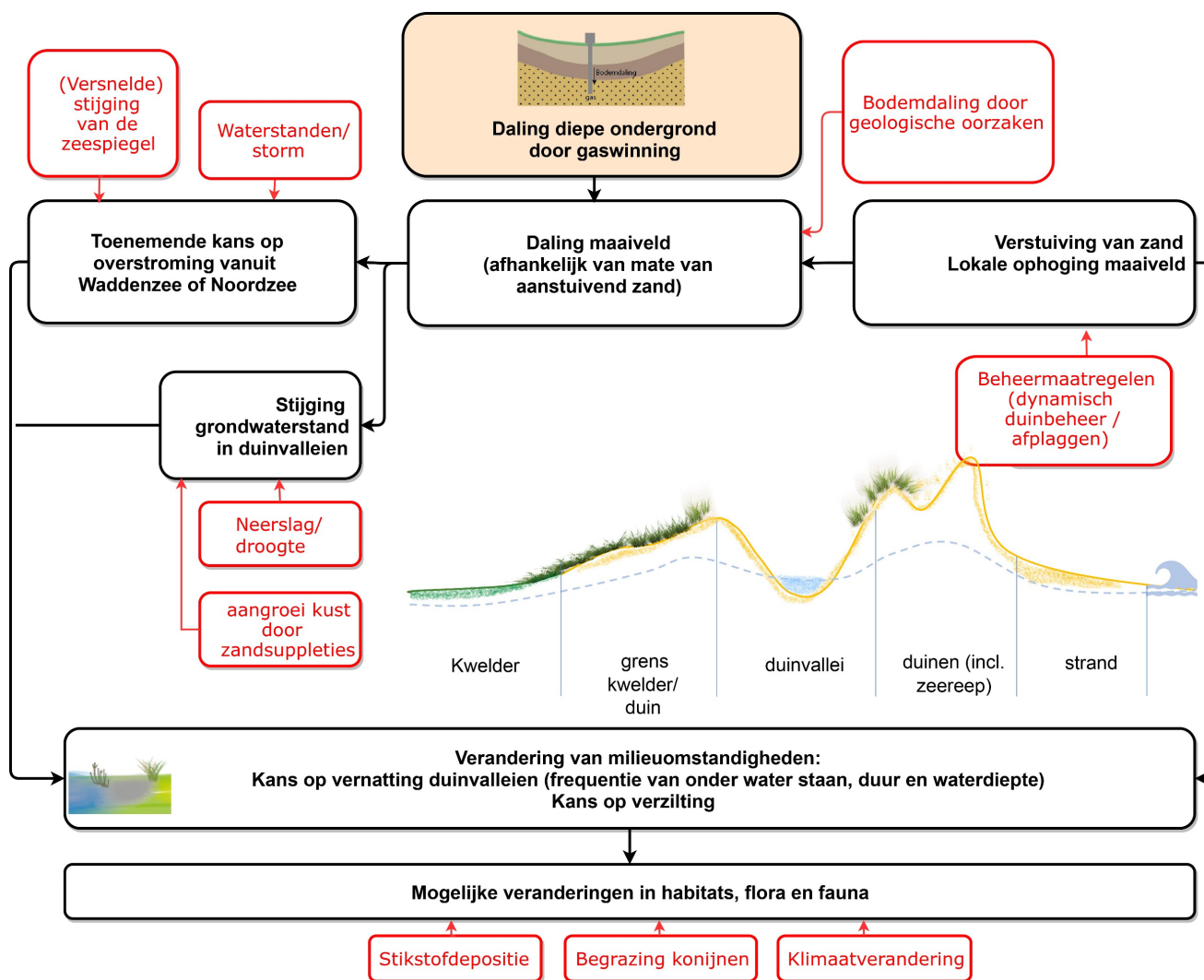
De duinen zijn onderdeel van Natura 2000-gebied Duinen van Ameland. De beschermde habitats en vegetatie die daar voorkomen, zijn beschreven in paragraaf 9.4.1. Binnen het gebied zijn negen broedvogelsoorten aangewezen als doelsoort onder de Europese Vogelrichtlijn: roerdomp, porseleinhoen, grauwe klauwier, eider, bruine kiekendief, blauwe kiekendief, velduil, tapuit en de rietzanger. In de passende beoordeling die is uitgevoerd voor de vergunningaanvraag, werd geen (negatief) effect verwacht van de uitbreiding van de gaswinning. De vergunningverlener heeft op grond daarvan besloten dat deze soorten dan ook niet gemonitord hoeven te worden.



Duinen Oost-Ameland

Sturende factoren voor morfologie en ecologie

De duinen zijn van nature dynamische gebieden, die onder invloed van zee en wind voortdurend in beweging zijn. Deze natuurlijke dynamiek vormt de basis voor een grote variatie aan habitattypen en soorten. Figuur 9-2 geeft een overzicht van de belangrijkste factoren die sturend zijn voor de ontwikkeling van de duinen.



Figuur 9-2 Sturende factoren die van invloed zijn op de duinontwikkeling op Oost-Ameland. In zwart de processen die direct kunnen worden beïnvloed door diepe bodemdaling, in rood de factoren die ook een rol spelen bij ontwikkelingen.

Toelichting op Figuur 9-2

- **Bodemdaling door gaswinning en verstuiving.** Bodemdaling is één van de sturende processen voor de hoogteligging van de duinvalleien. Elders in de duinen is vooral de verstuiving van zand het dominante sturende proces. De hoeveelheid zand die vanaf het strand naar de duinen wordt verstoven, hangt af van de vorm van de duinen en de aanwezige vegetatie. Als de buitenste duinenrij (de zeereep) gesloten en dichtbegroeid is, wordt het zand daar ingevangen. Dit zorgt ervoor dat de zeereep aangroeit en hoger wordt. Maar als de buitenste duinen een grillige vorm hebben met kerven en open onbegroeide plekken, kan het zand verder het achterland in

stuiven. Op lagere, onbegroeide plekken van het duingebied kan de wind het zand wegblazen tot het grondwaterniveau, wat resulteert in de vorming van vochtige duinvalleien.

Vanaf de eilandstaart stuift er zand naar de kwelder De Hon. Dit leidt tot het ontstaan van zandige plekken op deze voornamelijk slibrijke kwelder, en tot de vorming van een zandrichel aan de zuidoostzijde. Lokaal kan de aanstuiving van zand de diepe bodemdaling door gaswinning compenseren.

- *Overstroming met zeewater.* Overstromingen hebben een grote invloed op de abiotische omstandigheden in de duinvalleien op Oost-Ameland, en daarmee op de vegetatie. Tijdens stormtij stroomt er water vanuit de Waddenzee, via verschillende routes naar de valleien. Bij sommige duinvalleien ligt er een drempel in de smalle toegang, meestal in de vorm van een pad. Deze valleien overstroomden alleen als het waterpeil hoger is dan de hoogte van de drempel. Ook kan er tijdens stormvloed via de washovergeulen zand vanuit de Noordzee naar De Hon en de laaggelegen duinvalleien worden getransporteerd. Dit gebeurt in het bijzonder ten oosten van de NAM-locatie, waar het zeewater via een washovergeul aansluit op het water dat van de Waddenzee komt. Dit proces treedt echter minder vaak op dan in het verleden, als gevolg van de vorming van een duingordel ten noorden van de washovers. Deze duingordel fungeert als een barrière voor het zeewater.
- *Stijging grondwaterstanden.* De grondwaterstanden in de valleien kunnen stijgen als gevolg van diepe bodemdaling, zeespiegelstijging of aangroei van de kust door zandsuppleties. Na hevige regenbuien zijn er vaak grote, maar korte, fluctuaties in het grondwaterniveau. Dit komt doordat het regenwater snel in het duinzand wegzakt. Daarnaast zijn er seizoensgebonden fluctuaties, afhankelijk van de hoeveelheid neerslag en verdamping (zie par. 4.3). Vanwege deze fluctuaties én vanwege de dynamiek van de duinen, is het buitengewoon lastig om vast te stellen wat de bijdrage is van de diepe bodemdaling aan veranderingen in de grondwaterstanden.
- *Vernatting /verzilting.* Bodemdaling kan er voor zorgen dat de duinvalleien lager komen te liggen ten opzichte van het grondwaterniveau. Daardoor kunnen ze natter worden en kan het stuifproces worden belemmerd. In het geval dat de duinvalleien ook overstroomden vanuit de zee, worden ze bovendien zouter. Als gevolg van neerslag kan het zout geleidelijk weer uitspoelen, waardoor de zoute omstandigheden afnemen. De variaties in vocht- en zoutgehalte hebben invloed op de milieuomstandigheden en daarmee op de flora en fauna.
- *Verdroging.* Deze factor wordt waarschijnlijk steeds belangrijker. Zeker de jaren 2018-2020 hebben lokaal gevolgen gehad. Droogte versterkt bijvoorbeeld de gevolgen van verzilting, maar remt ook de verruiging in de Grijze Duinen.

Overige invloeden

Naast bovenstaande processen, zijn er meer ontwikkelingen die vaak grote invloed hebben op de ontwikkeling van de duinen en de duinvegetatie:

- *Beheer van de duinen.* Op Ameland heeft de mens veel invloed uitgeoefend op die verstuiving, met name door de aanleg van de Kooioerdsduifdijk en het beheer van de zeereep tot 1990, dat was gericht op het vasthouden van zand. In 1990 werd echter gekozen voor een nieuw kustbeleid, gericht op het handhaven van de kustlijn door zandsuppleties (zie Hoofdstuk 10). Daarmee deed ook een dynamischer type zeereepbeheer zijn intrede, waarbij meer verstuiving

van zand wordt toegelaten. Soms wordt dit actief bevorderd, zoals in de zeereep ten noorden van de Kooioerdstuifdijk (tussen paal 17 en 21), waar in 2011 drie kerven werden gegraven.

- *Afplaggen*. In 2005 is tussen kilometerpaal 19 en 21,6 een duinvallei van veertig hectare afgeplagd en is de toegang tot de zee weer mogelijk gemaakt door het weggraven van drempels. In 2015 is meer oostelijk nog eens elf hectare afgeplagd, met als doel om verruiging en verzuring ten gevolge van stikstofdepositie tegen te gaan.
- *Beweiding*. In delen van de Oerderduinen en de Kooiduinen vindt begrazing door vee plaats, vanuit het idee dat daarmee vergrassing en verruiging tegen gegaan wordt.
- *Konijnen*. Konijnen hebben van oudsher ook een belangrijke invloed op de vegetatie, misschien zelfs belangrijker dan die van vee.⁴⁴ De konijnen eten de jonge, smakelijke zaailingen van boompjes en struiken, maar ook hun graafactiviteit beïnvloedt de vegetatie, omdat die voor nieuwe input van kalkrijk substraat zorgt. Door de sterke afname van de konijnenpopulatie als gevolg van virusziekten is hun invloed echter aanzienlijk verminderd. Lokaal heeft dat geleid tot vergrassing en een afname van de kwaliteit van de grijze duinen. De beste voorbeelden van het habitattypen grijze duinen zijn nu te vinden binnen de extensief beweidde Kooiduinen en in de relatief kalkrijke Oerderduinen.
- *Stikstofdepositie*. Dit proces kan leiden tot verruiging en vergrassing van de vegetatie. Dit is schadelijk voor bepaalde habitattypen, zoals grijze duinen en heischrale graslanden, maar ook voor (broed)vogels die van deze habitattypen gebruik (zouden moeten) maken, zoals de grauwe klauwier, blauwe kiekendief en velduil.
Voor de andere habitattypen is er nu bijna geen sprake (meer) van een overschrijding van de kritische depositiewaarde (KDW). Desondanks heeft de te hoge depositie in het verleden nog steeds een negatieve invloed op enkele habitattypen, waaronder de vochtige duinvalleien en duinheiden.⁴⁵

9.2 Inundatie van duinvalleien

9.2.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

- Welke bodemdaling is gemeten?
- Hoe vaak overstromen de geselecteerde duinvalleien met zeewater en hoe verhoudt zich dat tot opgetreden waterstanden?
- Hoelang en wanneer staan de valleien onder water?
- Welke invloed heeft de (stijging van de) grondwaterstand?

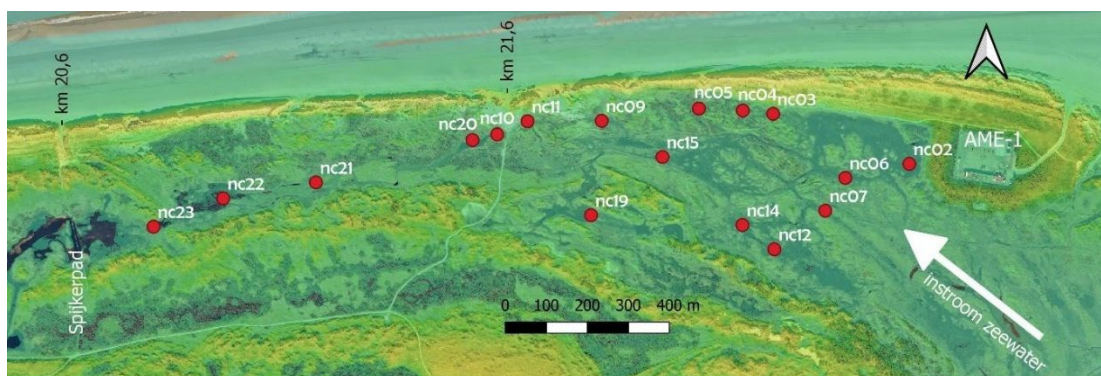
Methoden

Meetnet

In 2013 werd besloten te stoppen met het onderzoek in de hoger gelegen proefvlakken omdat daar geen effecten van bodemdaling konden worden vastgesteld (zie par. 2.3).

⁴⁴ Hagen, van der, 2022

⁴⁵ Provincie Fryslân, 2023

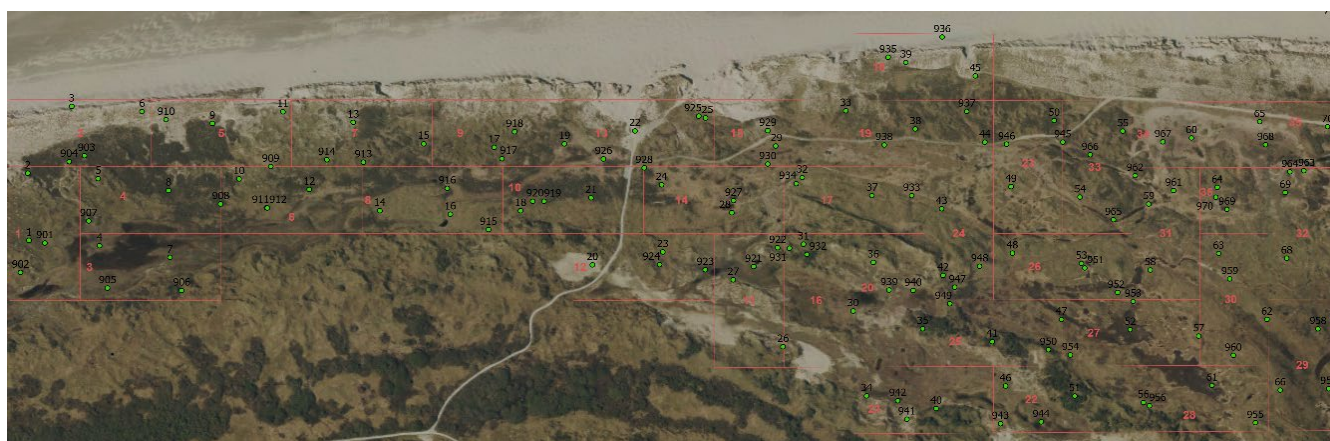


Figuur 9-3. Ligging en codes van de onderzochte duinvalleien

Sindsdien richt het onderzoek zich op de duinvalleien in het centrum van het bodemdalingsgebied: het gebied tussen de zeereep en de Oerderduinen, vanaf het Spijkerpad (paal 20,6) tot de NAM locatie. Het onderzoeksgebied omvat een zonering van helmbegroeiingen in de zeereep naar droge duingraslanden en natte duinvalleien tot zilte vegetaties aan de wadkant. Op veel plaatsen komen deze begroeiingen voor in mozaïek met duindoornstruweel of kruipwilgstruweel.

Om de bodemdaling te meten en de waterstanden na inundatie, zijn er in 2001 in veertien duinvalleien in het onderzoeksgebied zestien meetpalen geplaatst. De palen en de valleien waarin deze staan, dragen de code NC01 t/m NC16 (zie Figuur 9-3).

Voor het vegetatieonderzoek is het onderzoeksgebied, met een totale oppervlakte van zeventig hectare, opgedeeld in 35 deelgebieden van twee hectare (zie Figuur 9-4). In elk deelgebied zijn vier proefvlakken geselecteerd, elk met een oppervlak van vier vierkante meter, waarvan de helft permanent en de andere helft variabel is. De meetreeks bestaat dus uit 140 meetpunten, waarvan er zeventig permanent zijn en zeventig variabel. De meetpunten worden tweejaarlijks opgenomen.



Figuur 9-4 Onderzoeksgebied op Oost-Ameland, met de 35 deelgebieden en meetpunten. De groene stippen zijn vaste proefvlakken, de rode stippen zijn de gelote proefvlakken van 2022.

Meetpalen

Ten behoeve van het onderzoek zijn in de duinvalleien meetpalen geplaatst, die ongeveer één meter diep zijn gefundeerd (zie par. 9.2). Sinds 2001 is de kophoogte van elf van deze meetpalen meermaals ingemeten met behulp van GPS-RTK. De meetfout in deze methode bedraagt +/- 25 mm. Hoewel dit geen specifieke methode is om opgetreden bodemdaling te meten, geeft dit wel een indruk ervan. Jaarlijks wordt de hoogte van het maaiveld ten opzichte van de paalkoppen bepaald op

het moment van droogvallen in de verschillende valleien. Dit geeft een indruk van bijvoorbeeld de instuiving van zand.

Hoogtemetingen van het maaiveld

Bij elke vegetatieopname van het vegetatieonderzoek is, in het centrum van de proefvlakken (zie par. 9.2), de maaiveldhoogte ingemeten met GPS-RTK. Vervolgens is er van elk proefvlak een DEM (Digital Elevation Model) gemaakt. De meetonnauwkeurigheid in de hoogte van het maaiveld bedroeg maximaal 0,5 centimeter.

Inundaties van duinvalleien

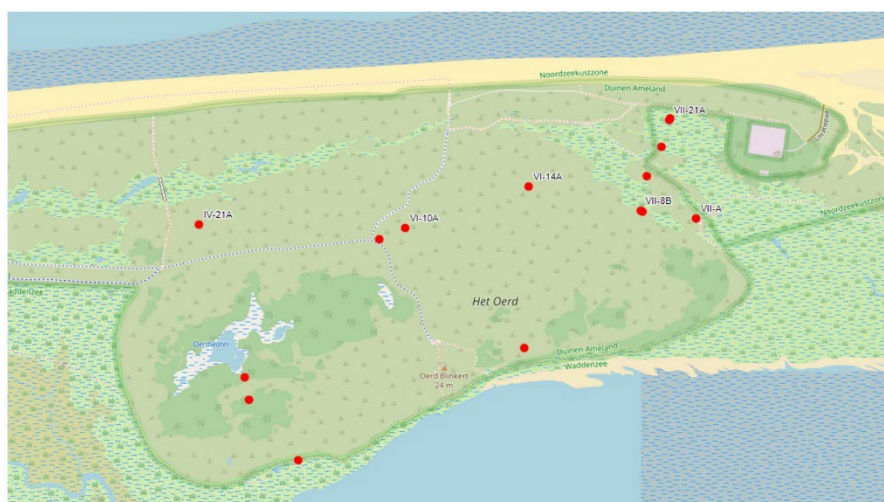
Sinds 2001 wordt in de periode 1 oktober tot 1 mei (minstens) wekelijks in het veld gecontroleerd of er water boven het maaiveld staat. De waterhoogte wordt gemeten ten opzichte van de bovenkant van de koppen van de zestien meetpalen die in het onderzoeksgebied zijn geplaatst of wordt vastgesteld aan de hand van vloedmerken in de vegetatie.

Voor sommige valleien, zoals NCO2, is bekend bij welke waterstand er overstroming plaatsvindt, omdat de drempel die in de toegangsopening ligt dan overstroomt. De hoogte van de drempels werd tussen 2001 en 2004 bepaald. Dit gebeurde door na een stormtij de meetpaal in de betreffende vallei af te lezen op het moment dat het water nog net over de drempel terugvloede. Het hoogste punt in de meeste drempels is sindsdien onduidelijker geworden door verruiging van de vegetatie en vervorming van paden door bijvoorbeeld spoorvorming.

Grondwaterstanden

Er zijn vijftien peilbuizen geïnstalleerd in het onderzoeksgebied, waarvan de grondwaterstand maandelijks wordt opgenomen. Aan de hand van een zestal representatieve peilbuizen is een analyse uitgevoerd van de grondwaterstandsveranderingen in de tijd, waarvoor gegevens beschikbaar zijn vanaf 1989 (zie Figuur 9-5). De focus ligt op de trend in de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) tijdens de zomerperiode (juni-augustus), aangezien dit de meest relevante parameter is voor de vegetatie.

Voor elk van de zes peilbuizen is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd op de verzamelde data om te bepalen of er sprake was van een significante trend in de tijd.



Figuur 9-5 Ligging van peilbuizen in het onderzoeksgebied. De zes buizen met code zijn gebruikt voor analyse van grondwaterstandveranderingen in de periode 1986-2020.

Zoutgehalte van het water in geïnundeerde duinvalleien

Gedurende de onderzoeksperiode is het zoutgehalte van het oppervlaktewater wekelijks gemeten (saliniteit en Elektrisch Geleidend Vermogen).

9.2.2 Resultaten en conclusies

Bodemdaling

Daling meetpalen

De gemeten daling van de kop van de meetpalen bedraagt ongeveer twintig centimeter bij alle palen, met een gemiddelde lineaire daling van 8,7 millimeter per jaar. De grootste bodemdaling vindt plaats bij paal 19, waar een snelheid van 11 millimeter per jaar is gemeten (zie Tabel 9-1). Uit de metingen van de hoogte van de palen ten opzichte van het maaiveld blijkt dat de palen sneller dalen dan het maaiveld zelf. Dit duidt erop dat de diepe bodemdaling gedeeltelijk wordt gecompenseerd door instuiving. Het instuifeffect is het sterkste in de nabijheid van de zeereep. In vier valleien (NC03, NC04, NC05 en NC09) wordt de diepe bodemdaling vrijwel of geheel gecompenseerd door de instuiving van zand. De resulterende maaiveld daling varieert tussen de -8 en +1 millimeter per jaar.



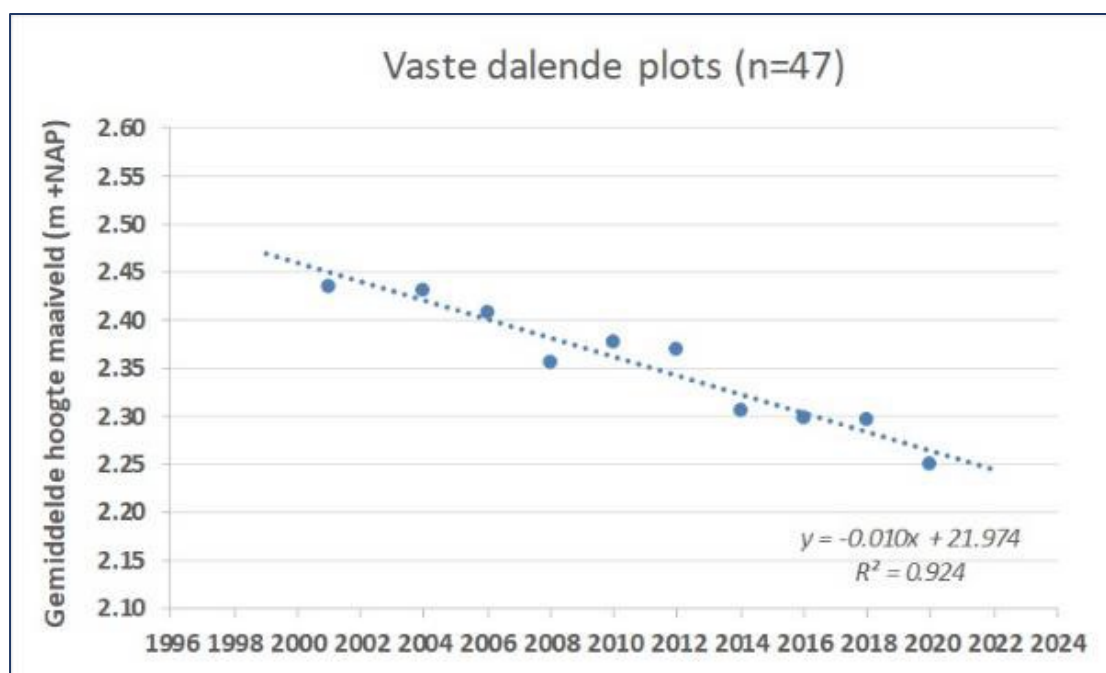
Inundatie van een duinvallei

Tabel 9-1 De met GPS-RTK gemeten XYZ coördinaten van de koppen van elf meetpalen. De vershiltrend tussen 2001 en 2023 is terug te voeren op diepe daling. De meetfout is +/- 25 mm. In de kolom 'grids model' is het hoogteverschil berekend met het NAM model Ameland_GRIDS_2020 (NAM/Ketelaar). NC19 betreft de periode 2004-2023.

			grids model	grids model	RTK	RTK
			verschil	snelheid	verschil	snelheid
			2019-2001	2019-2001	2023-2001	2023-2001
Vallei						
NC	X	Y	mm	mm/jaar	mm	mm/jaar
2	190268	608864	-146	-8,1	-206	-9
3	189936	608986	-151	-8,4	-172	-8
4	189862	608994	-152	-8,4	-191	-9
5	189755	608999	-152	-8,5	-200	-9
6	190111	608829	-147	-8,2	-213	-10
7	190063	608750	-146	-8,1	-219	-10
9	189518	608969	-152	-8,4	-155	-7
12	189939	608656	-144	-8,0	-158	-7
14	189861	608715	-146	-8,1	-174	-8
15	189665	608881	-150	-8,3	-185	-8
19	189492	608739	-147	-8,1	-242	-11

Daling maaiveld proefvlakken

Uit de metingen van de hoogte in de proefvlakken blijkt dat in 47 van de 70 vaste proefvlakken het maaiveld daalt, met gemiddeld 9,5 millimeter per jaar (zie Figuur 9-6). In tien proefvlakken is het maaiveld sterk gedaald door afplaggen voor natuurontwikkeling. In negen proefvlakken is het maaiveld door instuiving gestegen, waarbij de grootste stijging bijna vijf meter bedroeg. In vier proefvlakken is de maaiveldhoogte constant gebleven.



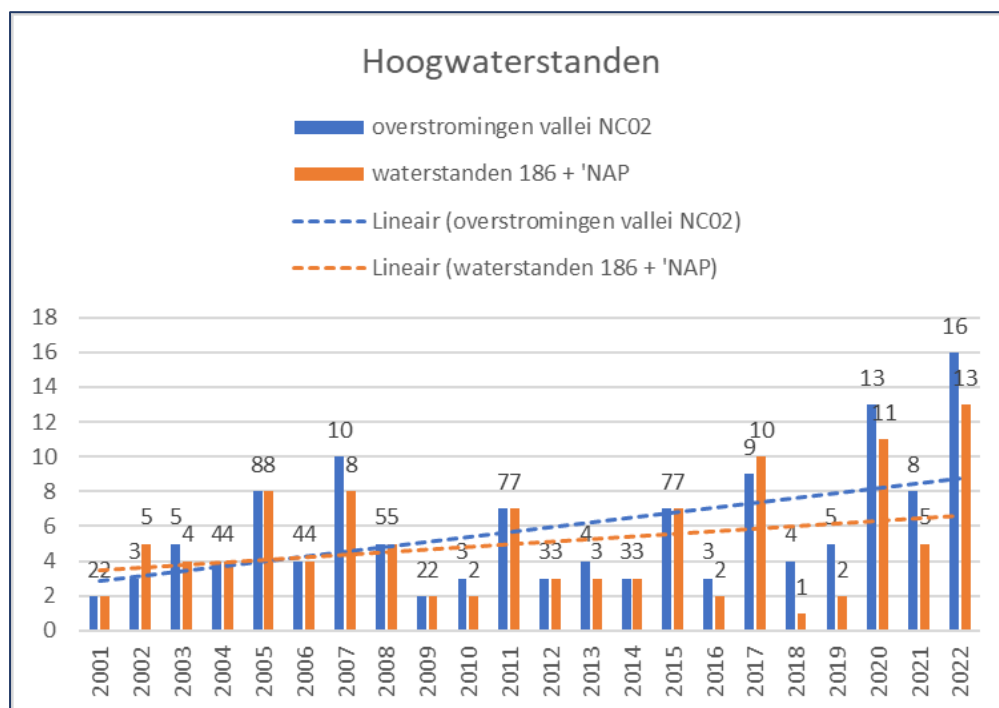
Figuur 9-6. Verandering in de gemiddelde maaiveldhoogte van de 47 vaste proefvlakken.

Overstromingsfrequentie

Vóór de aanvang van de gaswinning vonden er in de duinvalleien weinig overstromingen plaats. In 1986 stond in de meeste van deze valleien slechts een enkele week per jaar een beetje water boven het maaiveld na een stormtij. Sinds het begin van de gaswinning en de aanleg van de productielocatie is het aantal overstromingen toegenomen.

Waterstanden waarbij de valleien overstromen

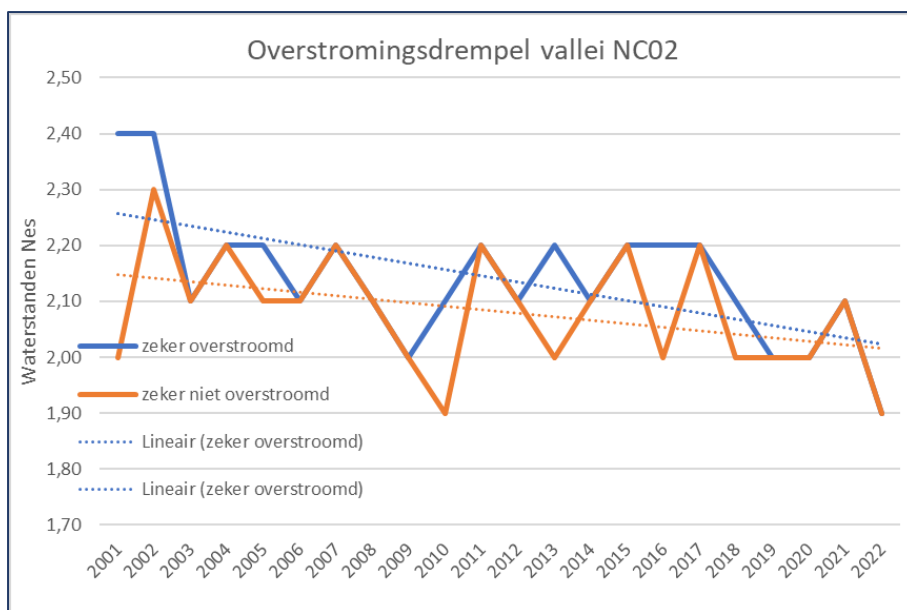
Voor de metingen en waarnemingen wordt vallei NCO2 vaak als voorbeeld genomen. Van deze vallei is de hoogte van de drempel in de toestroomopening in 2004 gemeten. Daaruit kon worden afgeleid dat de vallei toen overstroomde bij een waterstand van 186 +NAP (gemeten bij Wierumergronden). Sinds 2001 is het aantal keer dat de waterstand hoger was dan 186 + NAP (gemeten bij Wierumergronden) toegenomen. Opmerkelijk is dat het aantal overstromingen van de vallei sneller is gestegen dan het aantal hoogwaters, wat kan wijzen op een verlaagde drempelhoogte als gevolg van de bodemdaling (zie Figuur 9-7).



Figuur 9-7. De relatie tussen hoogwaterstanden bij getijdenstation Wierumergronden en overstromingen van één van de gemonitorde duinvalleien (met code NCO2), gebaseerd op figuur 16 en Tabel A uit het NCA rapport.

Dit is goed te zien als we het jaren 2002 en 2022 met elkaar vergelijken: in 2002 waren er vier hoogwaterstanden hoger dan 240 + NAP (waterstanden Nes), wat resulteerde in drie overstromingen van vallei NCO2. Twintig jaar later (in 2022) waren er vijf hoogwaterstanden hoger dan 240+ NAP en overstroomde dezelfde vallei maar liefst zestien keer.

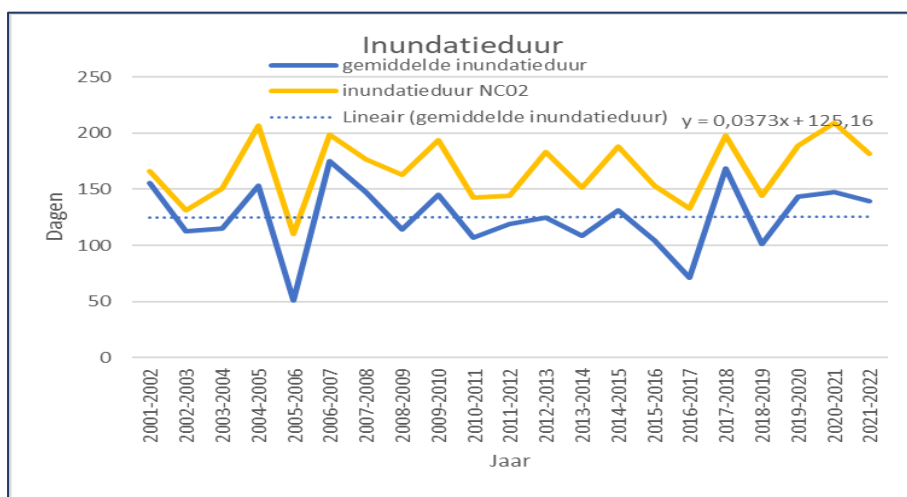
Uit nadere analyse blijkt dat vallei NCO2 aan het begin van de metingen nog niet overstroomde bij een waterstand van 230 +NAP, terwijl dezelfde vallei in 2022 al overstroomt bij 190 +NAP. Gemiddeld daalt de hoogte waarbij de vallei overstroomt met ongeveer acht tot negen millimeter per jaar, wat in de buurt ligt van de geconstateerde maaiveldaling.



Figuur 9-8 Waterhoogte waarbij vallei NC02 overstroomt (waterstanden Nes).

Inundatieduur

Gemiddeld is de duur van inundatie (onder water staan) van alle valleien sinds 2001 vrijwel constant gebleven. De valleien staan ongeveer zes maanden per jaar onder water (zie Figuur 9-9). Er lijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen de duur van de inundatie van vallei NC02 en het aantal overstromingen. In de winter van 2020/21 leidden bijvoorbeeld vijf overstromingen tot een recordduur van inundatie van 209 dagen. Echter, de daaropvolgende winter, toen er een recordaantal van 22 overstromingen was, resulteerde dit in slechts 182 inundatiedagen.



Figuur 9-9 Inundatieduur van duinvallei NC02

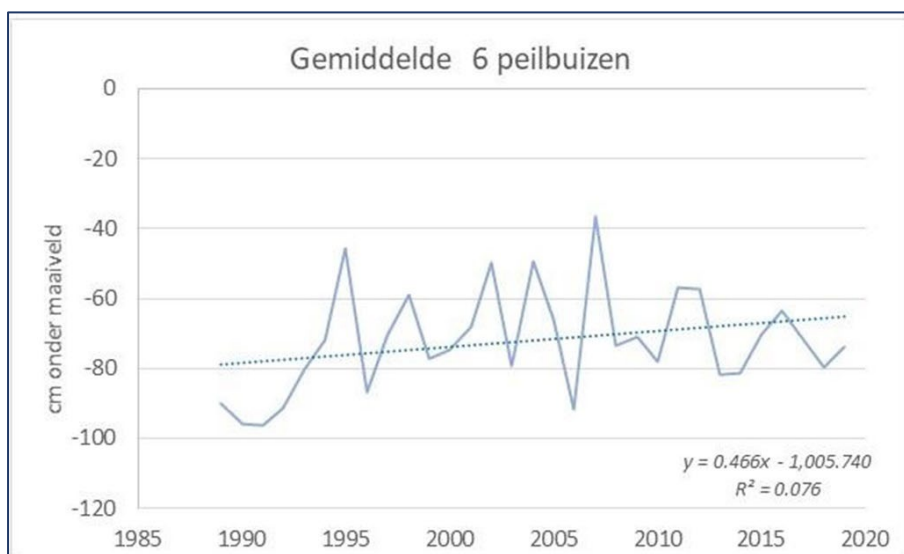
Grondwaterstanden

In de periode van 1986 tot 2020 is de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) over het gehele onderzoeksgebied gemiddeld met zestien centimeter gestegen (zie Figuur 9-10). De laatste jaren stabiliseert de GLG of daalt zelfs licht.

In het algemeen tonen de grondwaterstanden aanzienlijke jaarlijkse fluctuaties, wat tot gevolg heeft dat de trends in de individuele peilbuizen vrijwel nergens significant zijn. Onder het duinmassief van

de Oerderduinen is de stijging wat minder, variërend van vier tot zeven centimeter, terwijl in de laag gelegen valleien aan de oostzijde de stijging groter is, namelijk tussen de 17 en 38 centimeter.

Er zijn meerdere verklaringen voor de stijging van het grondwaterpeil. Allereerst speelt bodemdaling door gaswinning een rol, omdat dit ervoor zorgt dat het grondwater relatief dichterbij het maaiveld komt te liggen. Daarnaast kan de toename van het grondwaterpeil deels worden toegeschreven aan de stijging van de zeespiegel, die gedurende de gehele periode 6,8 centimeter bedroeg. Er zijn echter ook andere factoren van invloed, zoals neerslagfluctuaties en de mogelijke uitbreiding van de zoetwaterbel door de aangroei van de kust als gevolg van zandsuppleties. Door de verscheidenheid aan factoren die van invloed zijn, is het moeilijk om te kwantificeren welk aandeel bodemdaling heeft in de toename van de grondwaterstand.



Figuur 9-10 Gemiddelde laagste grondwaterstand 1986-2020

Zoutgehalte van het water in geïnundeerde duinvalleien

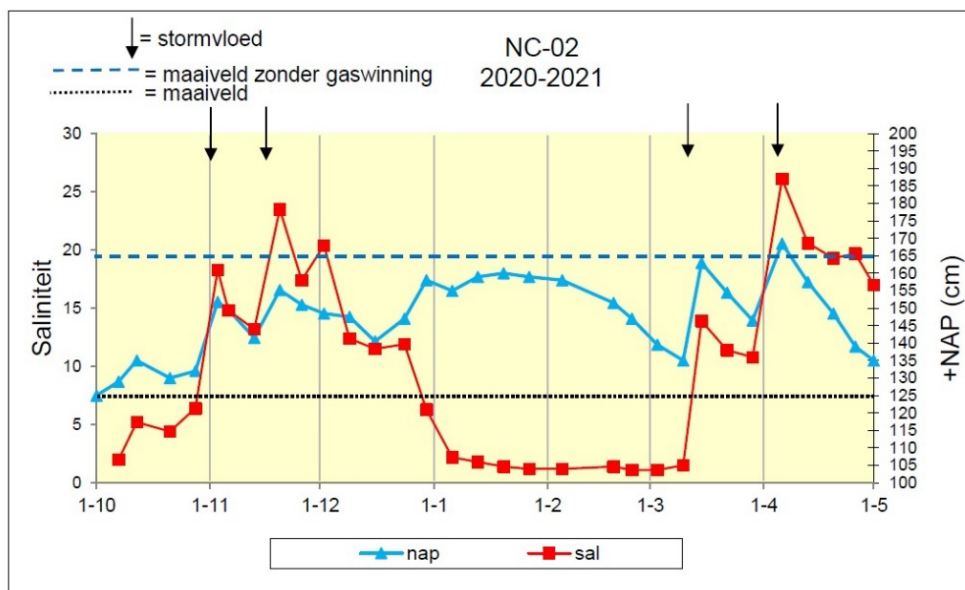
De maximale saliniteit in de valleien wordt bereikt als er een inundatie met zeewater is op een moment dat er geen water boven het maaiveld staat. In dat geval mengt het zeewater zich niet met reeds aanwezig zoet of brak water en het zeewater kan zonder tegendruk doorstromen.

Daardoor kan het zeewater soms doorstromen naar kilometerpaal 19 en wordt een maximaal zoutgehalte boven het maaiveld bereikt van 29 promille.

Na een overstroming met zeewater ontstaat er vervolgens een 'wisselwerking' tussen verdamping, infiltratie en neerslag, wat geleidelijk de saliniteit doet afnemen.

Figuur 9-11 toont een voorbeeld van het verloop van de saliniteit gedurende de winter in één vallei. Duidelijk is te zien dat de saliniteit na een overstroming toeneemt.

Hoewel niet precies te zeggen is hoe hoog het maaiveld zou zijn geweest zonder gaswinning, is het wel zeker dat de grondwaterspiegel dan dieper onder het maaiveld zou hebben gelegen dan nu het geval is.



Figuur 9-11 Verloop van waterstanden (blauwe lijn, NAP) en saliniteit (rode lijn, sal) in Vallei NCO2 in de winter van 2021/2021. Er zijn in die periode vier inundaties met zeewater (zwarte pijltjes). Het maaiveld (de onderste stippellijn) ligt op 125 centimeter + NAP. Met de bovenste stippellijn is de hoogte van het maaiveld geschat als er geen gaswinning was geweest.

Conclusies

Bodemdaling: Uit de metingen blijkt dat de hoogte van het maaiveld van de duinen zeer variabel is, als gevolg van de verstuiving van zand. De instuiving is het hoogst in de nabijheid van de zeereep en het laagst in de meer landwaarts gelegen duinvalleien. De aanstuiving van zand vanaf het strand is versterkt door de uitvoering van zandsuppleties en door dynamisch duinbeheer, waarbij enkele kerven in de zeereep zijn gegraven.

De gemeten daling van de koppen van de een meter diep gefundeerde meetpalen in de duinvalleien bedraagt gemiddeld twintig centimeter, wat neerkomt op een diepe bodemdaling van 8,7 millimeter per jaar. Het maaiveld daalt door instuiving iets minder snel en vlakbij de zeereep stijgt het zelfs. In de proefvlakken in de duinvalleien wordt een gemiddelde maaiveld daling gemeten van 9,5 millimeter per jaar. In ongeveer een derde van de proefvlakken is het maaiveld echter constant gebleven of zelfs gestegen als gevolg van instuiving. Overigens speelt bij de maaiveld daling ook het afplaggen van duinvalleien voor natuurontwikkeling een aanzienlijke rol.

Inundaties: In de meetreeksen van de afgelopen jaren zijn een aantal tendensen te ontdekken:

- Tot ongeveer 2017 lijkt het gemiddelde laagste grondwaterpeil te stijgen, maar daarna stabiliseert dat.
- Het aantal overstromingen stijgt iets sneller dan het aantal hoogwaterstanden.
- De waterstand waarbij een vallei onderstroomt wordt lager. De hiervoor benodigde waarde daalt met zo'n negen millimeter per jaar.
- De totale inundatieduur van de valleien blijft ongeveer gelijk.
- Het zoutgehalte fluctueert maar is het grootst na een inundatie met zeewater als er geen water in een vallei aanwezig was.

9.3 Veranderingen in de vegetatie

9.3.1 Inleiding en Natura 2000-doelen

In de Duinen van Ameland is er voor diverse Natura 2000-habitattypen en -soorten een instandhoudingsdoel vastgesteld. Voor een aantal van deze habitattypen bestaat er voor de NAM een monitoringsverplichting, die is vastgelegd in de vergunning volgens de Natuurbeschermingswet. De te monitoren habitattypen en soorten zijn destijds gekozen omdat verwacht werd dat deze het meeste risico zouden lopen om te worden beïnvloed door de bodemdaling door gaswinning, en omdat ze een signaleringsfunctie hebben voor de andere habitattypen.

Tabel 9-2. Natura 2000-habitattypen die worden gemonitord in de duinen van Ameland en instandhoudingsdoelen

Habitattypen	Omschrijving	Doelstelling oppervlak	Doelstelling kwaliteit
H1310A	<i>Eenjarige pioniersvegetaties van slik- en zandgebieden met zeekraal en andere zoutminnende soorten.</i> Deze begroeiingen staan onder sterke invloed van overstroming met zout water. Er zijn twee subtypen. Subtype A is een begroeiing met Zeekraal. Dagelijkse overstroming met zeewater is essentieel. Het tweede subtype (B) bestaat uit een begroeiing met Zeevetmuur en ligt vaak op de overgang van kwelder naar duin.	Handhaven	Verbeteren
H1330A	<i>Schorren en zilte graslanden buitendijks</i> Deze begroeiingen worden door het zeewater overstroomd vanuit de (tot soms ver in de kwelders doordringende) getijdenkreeken.	Handhaven	Handhaven
H2120	<i>Witte duinen</i> Dit type bestaat uit opgestoven zand en wordt gedomineerd door helm, Noordse helm of duinzwenkgras en komt vooral voor in de zeereep of in opgestoven duinen in een secundaire duinenrij of paraboolduinen. De plantengroei buiten het bereik van zout grondwater en overstromend zeewater ontstaat door het proces van aanstuiving en stuivend zand. Dit zorgt voor een extreem milieu waarin slechts weinig plantensoorten kunnen overleven.	Handhaven	Handhaven
H2130A	<i>Grijze duinen, kalkrijk</i> Deze omvatten de soortenrijke graslanden met laagblijvende mossen, korstmossen, grassen en kruiden. In de luwte van ontwikkelen deze licht-dynamische systemen waarin de verstoringen dusdanig beperkt blijven dat er een dichte vegetatiemat kan ontstaan die niet doorschiet in een verder successiestadium door de aanwezigheid van overstuiving, hellingen en begrazing door met name konijnen.	Handhaven	Handhaven
H2130A	<i>Grijze duinen, kalkarm</i> Zie hierboven	Vergroten	Verbeteren
H2160	<i>Duindoornstruwelen</i> Dit zijn duinbegroeiingen die gedomineerd worden door duindoorn, met mogelijk ook andere struiken met hoge	Handhaven	Handhaven

	bedekkingen zoals gewone vlier of eenstijlige meidoorn. Duindoorn kan zich handhaven zolang de bodem voldoende kalkrijk blijft, maar kwijnt weg als de bodem ontkalkt raakt en gaat verzuren of wanneer er een groter zoutinvloed ontstaat.		
H2170	<i>Kruipwilgstruwelen</i> Dit habitattype is een verder gevorderd successiestadium van vochtige duinvalleien (H2190) en komt voor op vochtige of natte plekken in de duinen, waar zich een laag ruw bodemorganische stof heeft opgebouwd.	Handhaven	Handhaven
H2190A	<i>Vochtige duinvalleien, kalkrijk</i> Deze vormen een gevarieerd habitattype in de Nederlandse kustduinen en bestaan uit vier subtypen, die variëren van zeer natte vegetaties tot vochtige graslanden. Het gaat om relatief jonge successiestadia. Het behoud hiervan vereist een continue dynamiek van verstoring en stabilisatie, en voor droogvallende typen is een periodieke afwisseling van vochtige, natte of droge omstandigheden nodig. Vochtige duinvalleien zijn vaak zeer soortenrijk.	Vergroten	Verbeteren
H2190D	<i>Vochtige duinvalleien hogere moerasplanten</i> Zie hierboven	Handhaven	Handhaven

Habitatrichtlijnsoorten	Populatie	Omvang leefgebied	Kwaliteit leefgebied
Groenknolorchis Volgens de Habitatrichtlijn moet ook de Groenknolorchis gemonitord worden. Deze is gebonden aan standplaatsen met zonnige tot licht beschaduwde, onbemeste grond die onder invloed staan van basenrijk grondwater. Incidenteel (tijdens stormvloed) kunnen de standplaatsen daar met zout water overspoeld raken. 's Winters staan de groeiplaatsen vaak ondiep onder water. Door de duinvorming vermindert de invloed van zout zeewater en neemt de invloed van zoet regen- en grondwater toe. De jonge, kalkrijke standplaatsen zijn van belang voor een vitale populatie groenknolorchissen. De meeste groeiplaatsen ontkalken in de loop van de tijd, dus nieuwe groeiplaatsen in een dynamisch milieu zijn van groot belang.	Vergroten	Vergroten	Verbeteren



Groenknolorchis

9.3.2 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

- Welke vegetatieveranderingen zijn er opgetreden in de duinvalleien dicht bij het centrum van het bodemdalingsgebied?
- In hoeverre worden deze veranderingen verklaard door veranderingen in abiotische omstandigheden?
- In hoeverre wordt er voldaan aan de Natura 2000-doelen?

Methode

Vegetatieopnamen

In de 140 proefvlakken (70 permanente en 70 eenmalige, zie ook 9.2) wordt tweejaarlijks de vegetatie opgenomen. De observatieperiode beslaat momenteel bijna twintig jaar en omvat elf meetmomenten.

De opnames zijn onder andere gebruikt voor:

- Het bepalen van trends in de aanwezigheid van soorten, die indicatief zijn voor natte duinvalleien, kwelders en droog duingrasland.
- Het bepalen van de indicatiewaarden voor vegetatie: Voor het bepalen van veranderingen in milieuomstandigheden zijn plantensoorten als indicator gebruikt. Deze waarden zijn gebaseerd op de voorkeursomstandigheden van plantensoorten met betrekking tot vochtigheid, zoutgehalte en voedselrijkdom (stikstofgehalte).
Door het gebruik van deze indicatorwaarden is het mogelijk om conclusies te trekken over de milieucondities op de plek van de opname, zonder bodemchemische analyses uit te voeren.
- Het uitvoeren van multivariate analyses (met het programma R), om te bepalen of er trends konden worden waargenomen in de indicatiewaarden (vochtgetal, zoutgetal en stikstofgetal).

Oppervlak en kwaliteit habitattypen

Dit is op twee manieren vastgesteld:

- Aan de hand van de 140 vegetatieopnamen, die om de twee jaar zijn uitgevoerd. Aan elk proefvlak is, op basis van het vegetatietype, een habitatype toegewezen met behulp van een vertaaltabel. Gedurende alle jaren is de kwaliteit van het toegekende habitatype beoordeeld als goed, matig of slecht. Door de gegevens van verschillende meetjaren met elkaar te vergelijken, konden trends worden geïdentificeerd in veranderingen van oppervlakte en kwaliteit van de habitattypen.
- Aan de hand van kansrijkdomkaarten van verschillende habitattypen. Deze kaarten zijn voornamelijk gebaseerd op het lokale hoogtemodel (DEM) en de daarmee samenhangende overstromingskansen. De kaarten zijn berekend met een mixed multinomiaal logistisch regressiemodel.

Abiotische toestand

Tijdens de meetronde in 2020 zijn bodemprofielen genomen van de bovenste twintig centimeter bij de zeventig vaste proefvlakken van het onderzoek. De profielen zijn gebruikt om verschillende bodemchemische analyses uit te voeren. Deze analyses omvatten het vochtgehalte, organisch

stofgehalte, pH-CaCl₂, pH-H₂O, Stikstof-totaal, Fosfaat-totaal, Fosfaat-Olsen, Calcium, Natrium en Zwavel. Bovendien is de volledige humuslaag van elk proefvlak bemonsterd.

Om te bepalen welke factoren het meest bijdragen aan de verschillen in soortensamenstelling tussen de permanente proefvlakken, is met de resultaten een multivariate analyse uitgevoerd.

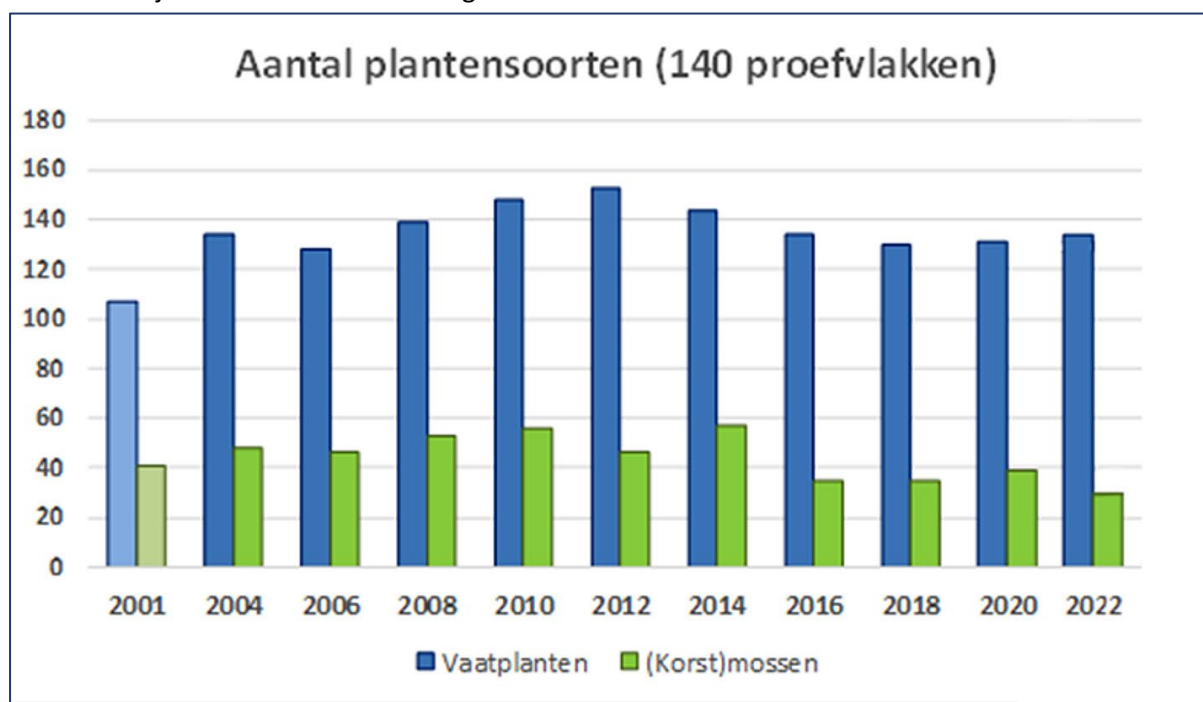
Panoramafoto's

Om het gezegde 'een beeld zegt meer dan duizend woorden' in praktijk te brengen, wordt er een digitale beeldmonitoring uitgevoerd op de locaties De Hon en het Oerd. Jaarlijks worden rond 1 juni 360 graden panoramafoto's gemaakt vanuit vaste standpunten. Sinds 2006 wordt op dezelfde manier ook een van de duinvalleien (NCO2) in beeld gebracht.

9.3.3 Resultaten en conclusies

Aantal plantensoorten

In 2022 werden in totaal 133 soorten vaatplanten en 26 soorten mossen en korstmossen aangetroffen in de 140 proefvlakken (zie Figuur 9-12). Het aantal waargenomen soorten per meetjaar is de laatste jaren min of meer stabiel gebleven.



Figuur 9-12 Totale aantal soorten vaatplanten en (korst)mossen aangetroffen per meetjaar in alle proefvlakken samen. In 2001 zijn 70 proefvlakken opgenomen, in alle jaren daarna 140 proefvlakken.

Indicatieve soorten

Enkele plantensoorten die kenmerkend zijn voor habitatype Vochtige duinvalleien (H2190), vertonen een positieve trend in de tijd. Dat wijst erop dat de oppervlakte van dit habitatype toeneemt, ondanks het effect van de droge zomers in de laatste twee jaar.

Het voorkomen van enkele kweldersoorten vertoont een piek rond 2008, waarna het in de jaren daarna geleidelijk afneemt. Sinds 2018 zien we echter weer een gestage toename van kweldersoorten, wat duidt op een geleidelijke verzilting van de duinvalleien.

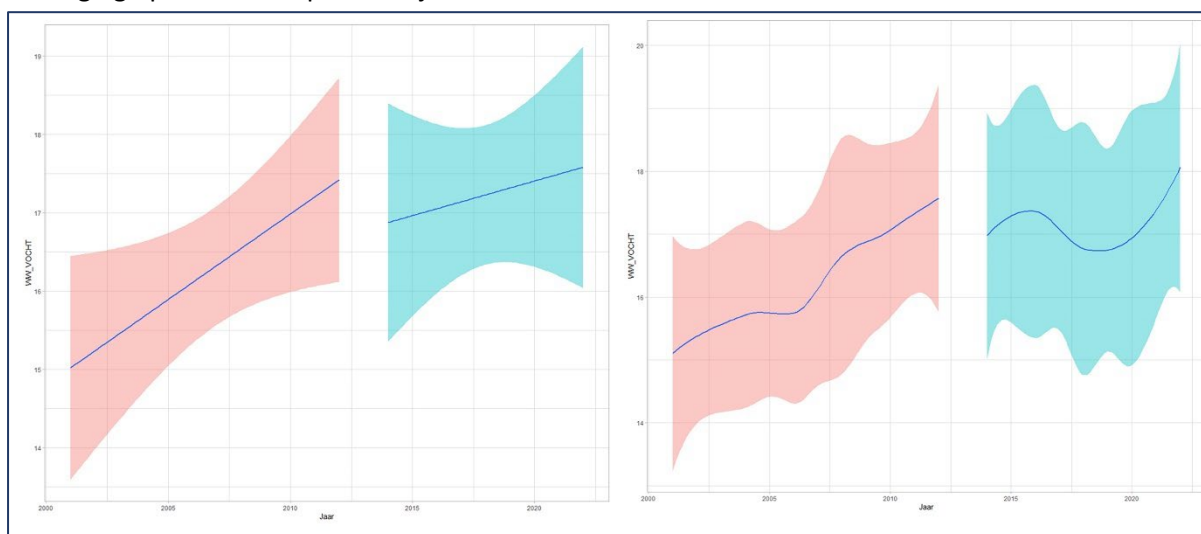
Voor enkele karakteristieke soorten van habitatype Grijze duinen (H2130) is er overwegend een neerwaartse trend waar te nemen. Dit lijkt samen te hangen met een hoge stikstofdepositie. De laatste jaren laten echter weer een licht positieve trend zien in de ontwikkeling van de Grijze duinen.

Veranderingen in milieuomstandigheden

Indicatiewaarde vegetatie: vochtgetal

Eerst is gekeken naar de relatie tussen de hoogte van een proefvlak en het vochtgetal. Daaruit bleek dat de maaiveldhoogte van 2,35 meter +NAP een kritische grens is voor de beschikbaarheid van bodemvocht. Onder die hoogte staat de vegetatie onder invloed van het grondwater of van perioden van overstroming. Boven de 2,35 meter wordt de vegetatiesamenstelling niet beïnvloed door de beschikbaarheid van bodemvocht (zie Figuur 9-16).

Verder wijzen de indicatoren op het natter worden van de proefvlakken (zie Figuur 9-13). Deze vernatting deed zich vooral voor tussen 2001 en 2012. Daarna fluctueert het gemiddelde vochtgetal, zonder een duidelijke trend te vertonen. De laatste jaren lijkt er eerder sprake te zijn van drogere omstandigheden dan verdere vernatting, mogelijk als gevolg van een aantal droge zomers. Opmerkelijk is echter dat het jaar 2021 opvallend nat was in vergelijking met de periode 2018-2020, wat resulteerde in een lichte stijging in het vochtgetal. Deze fluctuaties treden soms met enige vertraging op en worden pas in de jaren daarna zichtbaar.

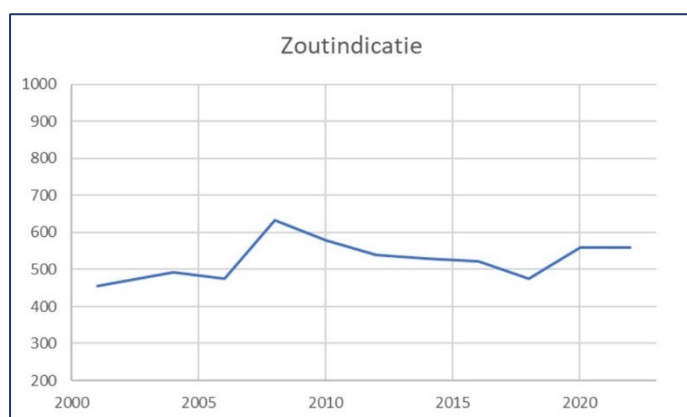


Figuur 9-13 Verandering van vochtindicatie waarden (Wamelink) van de vaste proefvlakken van de periode 2001-2012 (rood) en de periode 2014-2022 (blauw). De banden geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer, een maat voor de variatie in de data. De linker grafiek toont de lineaire trend die wordt gebruikt voor een trendberekening, rechts toont de grafiek de gemiddelde fluctuatie aan in de beide perioden (hierbij vallen de droge jaren 2018-2020 op).

Indicatiewaarde vegetatie: zoutgetal

Ook de zoutindicatiewaarde van de vegetatie stijgt langzaam. Opvallend is de piek in 2008 (zie Figuur 9-14), die werd veroorzaakt door extreme omstandigheden in het voorjaar van 2007. Hoge vloed en hebben aan de oostzijde van het gebied geresulteerd in een tijdelijke uitbreiding van zilte begroeiingen. In de jaren daarna nam deze verzilting weer geleidelijk af door uitspoeling met regenwater.

Vanaf 2018 is er weer sprake van een geleidelijke verzilting van de lagergelegen proefvlakken (<2,50 m +NAP). Dit kan samenhangen met droge zomers, waardoor het grondwater diep is weggezakt op het moment dat in het najaar de eerste stormvloeden de valleien onder water zetten en het zoute water de bodem kan binnendringen. Ook is er in die tijd sprake van een langere inundatieduur (zie Figuur 9-9).

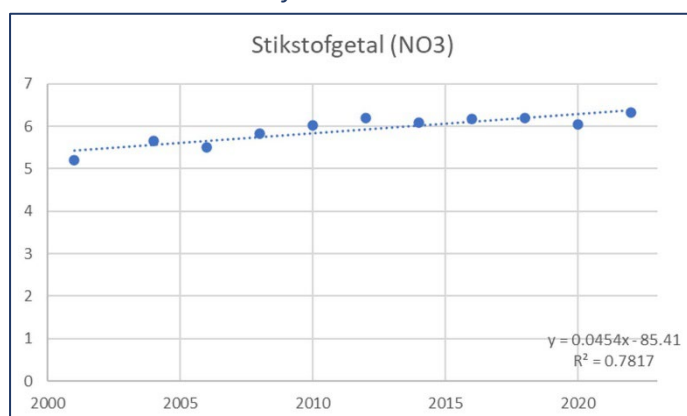


Figuur 9-14. Verandering van zoutindicatie (Cl- waarden; Wamelink) van de vaste proefvlakken.

Het zoutgetal vertoont een sterke correlatie met het vochtgetal (zie Figuur 9-16). Net als voor vocht geldt dat de vegetatie onder de maaiveldhoogte van 2,35 meter +NAP wordt beïnvloed door zout. Dit is een indicatie dat het vochtgetal van de vegetatie in sterke mate wordt bepaald door inundatie en mindere mate door de relatie met de grondwaterstand.

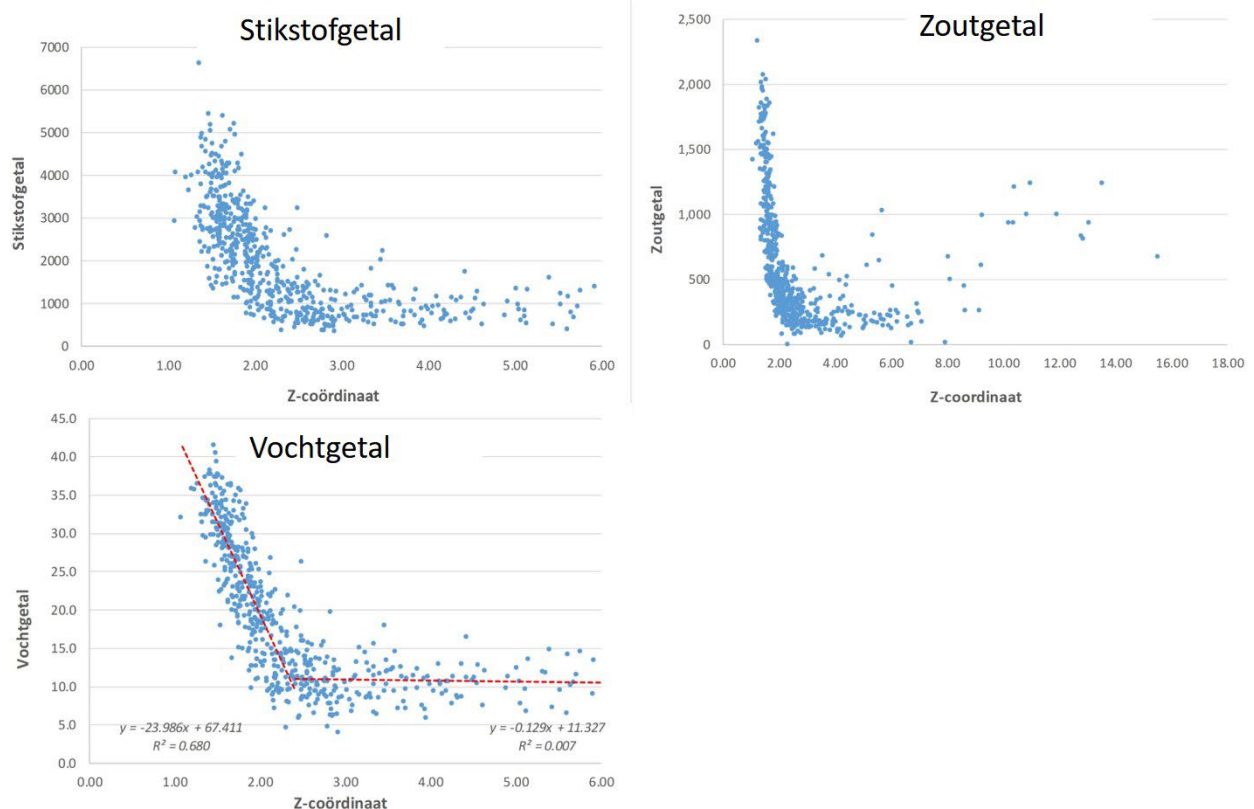
Boven de hoogte van 2.35 meter is het zoutgetal laag, al komen er in proefvlakken in de zeereep die zijn blootgesteld aan zoutspray soms hogere zoutgetallen voor.

Indicatiewaarde stikstof



Figuur 9-15 Verandering van stikstofindicatie (NO₃-waarden; Wamelink) van de vaste proefvlakken boven 2.50 +NAP

Over alle vaste proefvlakken gezien neemt het Nitraatgetal NO₃, de voor planten beschikbare stikstof, geleidelijk toe. Deze toename kan worden veroorzaakt door vernatting. Opvallend is dat het stikstofgetal sterk gecorreleerd is met het vochtgetal. Veranderingen in stikstofindicatie in de lager gelegen plots kunnen dus waarschijnlijk worden toegeschreven aan veranderingen in bodemvocht (zie Figuur 9-16).



Figuur 9-16 Verband stikstofgetal en hoogte, vochtgetal en hoogte en zoutgetal en hoogte

Organische stof

Uit de bodemchemische analyses van 2020 blijkt dat in de natte duinvalleien organische stof in de bodem is geaccumuleerd tot ongeveer twaalf kilogram per vierkante meter. Deze bevinding komt goed overeen met waarden die onderzoekers eerder hebben vastgesteld in valleien op Oost-Ameland. Opvallend is dat deze waarden aanzienlijk lager liggen dan die in goed ontwikkelde zoete valleien, zoals op Schiermonnikoog (ongeveer 20 kg/m²). Dit wijst erop dat de invloed van zeewater de accumulatie van organische stof en daarmee de veroudering van valleien remt. Deze remming wordt veroorzaakt doordat zeewater rijk is aan sulfaat. Wanneer sulfaatrijk zeewater een bodem binnendringt die rijk is aan organische stof, wordt al snel alle zuurstof verbruikt. Vervolgens wordt sulfaat gereduceerd door micro-organismen, waarbij organisch materiaal wordt afgebroken en minerale stikstof en fosfaat beschikbaar komen voor de vegetatie. Dit proces is vermoedelijk verantwoordelijk voor de snelle ontwikkeling van riet- en zeebiesvegetaties in de duinvalleien, vooral na langere inundaties met zeewater. Deze ontwikkeling is vooral zichtbaar in de oostelijke valleien, dicht bij het instroompunt van zeewater.

Bijdrage van variabelen aan verschillen in soortensamenstelling

Uit de multivariate analyse blijkt dat bodemvochtigheid de belangrijkste verklarende variabele is voor verschillen in soortensamenstelling, naast het kleigehalte van de bodem en het gehalte aan organisch stof.

Panoramafoto's

Uit de foto's blijkt duidelijk de invloed van extreme (weer)situaties op de vegetatie, zoals een overstroming in 2007, die werd gevolgd door droogte, waardoor een zoutkorst ontstond.



Panoramabeeld van vallei NC02 op 25 april 2007. Duidelijk zichtbaar is de afgestorven vegetatie met een kale bodem als resultaat.



Panoramabeeld van vallei NC02 op 25 september 2008. Er heeft zich een kweldervegetatie gevestigd met zeeaster in het midden (laagste) en rondom een zonering van schorrekruid en zilverschoon.

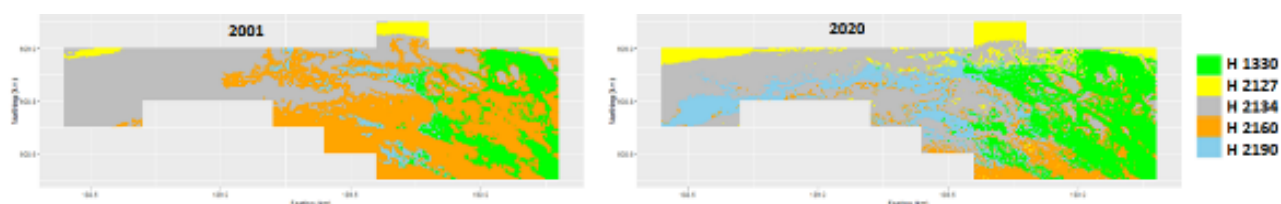


Panoramabeeld van vallei NC02 op 20 juli 2010. In het midden van de vallei (laagste) groeit heen en fioringras. Daaromheen een zonering van Zilte rus en op de overgang naar de duinen groeit een gordel van zilverschoon.

Natura 2000: Oppervlakte van de habitattypen

Figuur 9-17 toont de verschillen tussen de kansrijkdomkaarten voor het voorkomen van habitattypen in 2001 en 2020. In 2001 was het habitatype duindoornstruwelen (H2160) het meest voorkomend type in het onderzoeksgebied. Binnen een periode van twintig jaar is het oppervlak van dit habitatype meer dan gehalveerd. In het begin van de jaren negentig was er sprake van aanzienlijke sterfte van duindoorns in valleien, die vermoedelijk veroorzaakt is door langdurige inundatie van de wortelzone. Terwijl op de bodem van de valleien de duindoornstruwelen blijvend verdwenen zijn, heeft zich nieuwe vestiging voorgedaan op de randen van de valleien, zo'n 15-30 centimeter boven het gemiddeld inundatie-niveau. Deze vestiging is onvoldoende om de sterfte te compenseren. Vestiging van nieuwe duindoornstruwelen is afhankelijk van de verstuvingsdynamiek binnen de duinen. Hoewel stuivend zand kansen creeert, en zandsuppleties in principe positief doorwerken, kan een te sterke uitbouw van de kust door omvangrijke suppleties de verstuvingsdynamiek, en daarmee nieuwvestiging, doen afnemen.

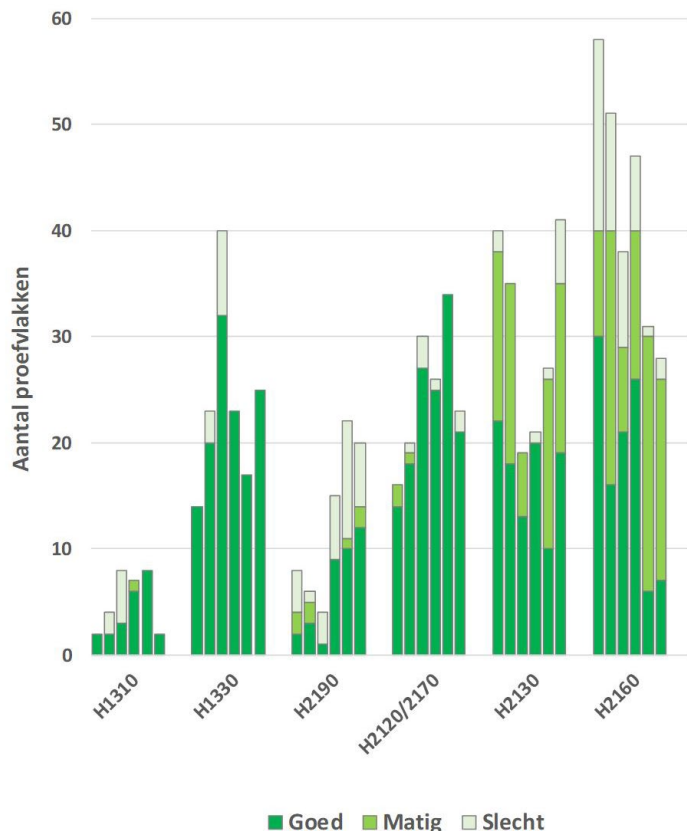
Het habitattype vochtige duinvalleien (H2190) is sinds 2001 aanzienlijk toegenomen. Ook de zilte graslanden (H1330) tonen, na een piek in 2008 en een daaropvolgende afname, weer een geleidelijke toename.



Figuur 9-17 Vergelijking kansrijkdomkaarten 2001 en 2020 voor het ruimtelijk voorkomen van habitattypen in het onderzoeksgebied. Habitattype H2127 is een combinatie van de H2120/H2170 en habitattype H2134 een combinatie van H2130/H2140.

Natura 2000: Kwaliteit habitattypen

De kwaliteit van de zilte typen (H1310 en H1330) is in vrijwel alle jaren overwegend goed (zie Figuur 9-18). Het habitattype natte duinvalleien (H2190) vertoont na 2008 niet alleen een toename in oppervlakte, maar ook een verbetering in kwaliteit. Wat de droge typen betreft: de samen voorkomende typen witte duinen (H2120) en kruipwilgstruwelen (H2170) in de zeereep zijn overwegend van goede kwaliteit. Het type grijze duinen (H2130) is grotendeels van matige kwaliteit, en deze situatie is in de loop der tijd weinig veranderd. Het areaal van dit type neemt echter wel toe sinds 2012, hoewel de kwaliteit nog niet verbetert. De toename van het areaal volgt op een afname in de periode 2001-2008, veroorzaakt door de tijdelijke verziltingspiek in 2008.



Figuur 9-18. Kwaliteit van de habitattypen in de periode 2001-2020. Iedere staaf staat voor een meetjaar, in volgorde 2001, 2004, 2008, 2012, 2016 en 2020.

Het habitatype duindoornstruwelen (H2160) neemt niet alleen af in oppervlakte, maar ook in kwaliteit. De oorzaak hiervoor lijkt te liggen in de langdurige inundatie van de valleien. Daarbij komt dat het habitatype zich weinig lijkt te vestigen en zorgen de zachte winters van de afgelopen jaren voor veel rupsen van de bastaardsatijnvlinder die het habitatype sterk onder druk zetten. Wegens de zeer waarschijnlijke achteruitgang van het habitatype en de knelpunten die er zijn, kan verslechtering zeker niet worden uitgesloten. Er zijn echter ook positieve ontwikkelingen: langs de zeereep, tussen kilometerpaal 21 en 23, doet de duindoorn het goed.



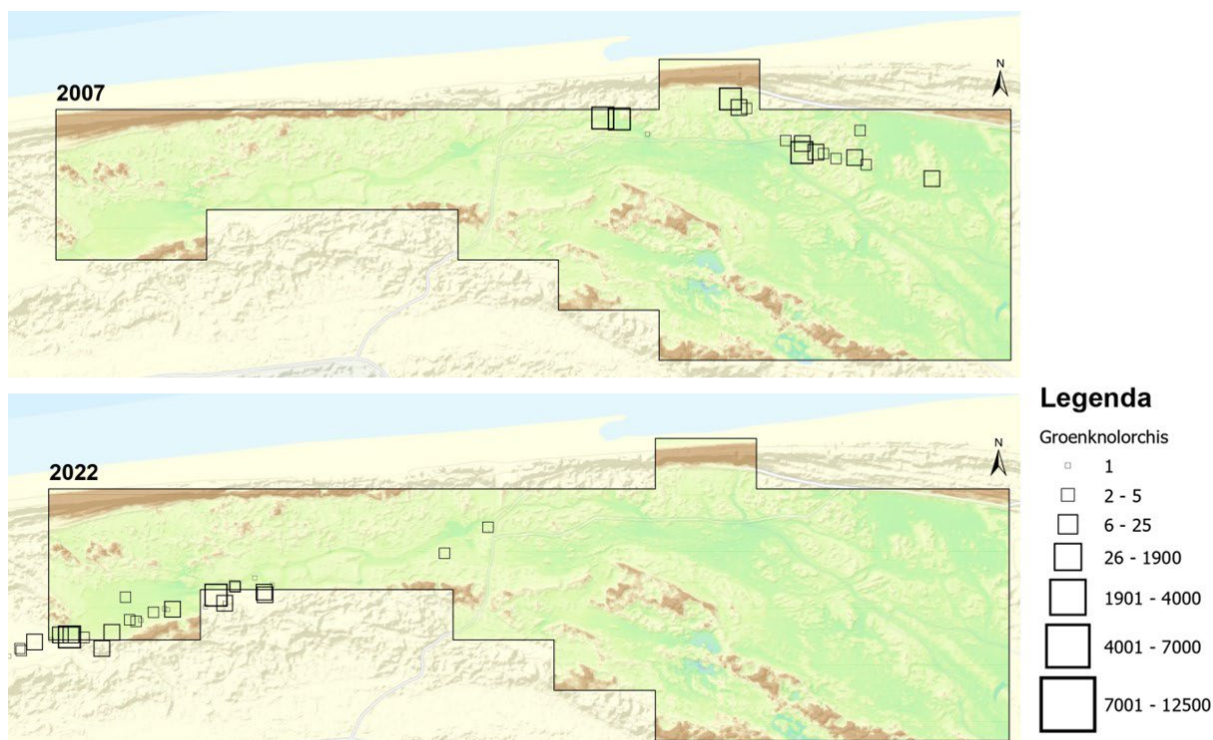
Nieuwe vitale vestiging van duindoorn aan bovenrand van vallei NC06. Foto: Johan Krol, 11-2- 2004.

Groenknolorchis

De groenknolorchis komt op twee plekken op Ameland voor, waaronder de vochtige duinvalleien ten westen van de NAM-locatie. In de langgerekte laagte in de Oerderduinen zijn aanzienlijke aantallen planten te vinden. De soort verplaatst zich daar langzaam naar het westen (zie Figuur 9-19). De aantallen zijn wisselend maar vertonen een stijgende tendens.

Momenteel zijn er geen zorgen over de toekomstbestendigheid van de groenknolorchis op het eiland Ameland. De trendlijnen voor beide groeiplaatsen zijn ondanks de schommelingen voor beide populaties nog altijd positief.⁴⁶

⁴⁶ Provincie Fryslân, 2023



Figuur 9-19 Voorkomen van groenknolorchis in 2007 en 2022

Conclusies

Veranderingen in milieuomstandigheden

- Sinds 2000 is het gebied natter geworden. Vooral de vegetatie onder de maaiveldhoogte van 2,35 meter +NAP lijkt beïnvloed te worden door vocht. Echter: de ontwikkeling van de vochtige vegetatietypen – gemeten aan het vochtgetal – stagneert de laatste jaren. Ook de stijging van het grondwaterpeil (GLG) lijkt de laatste jaren tot stilstand te komen.
- Na overstromingen in 2007 piekte het zoutgehalte in 2008. Daarna nam de verzilting tijdelijk af, maar sinds 2018 worden de omstandigheden weer zouter, mogelijk door de droge zomers. Dit gaat gepaard met een gestage toename van kweldersoorten. Deze ontwikkeling laat de invloed zien van extreme (weer)omstandigheden.
- De hoeveelheid voor planten beschikbare stikstof (NO_3) neemt geleidelijk toe met een stabilisering na 2016. Het is opvallend dat plekken met meer vocht ook meer stikstof lijken te hebben.

Hoewel een verband tussen de vegetatieontwikkeling en bodemdaling voor de hand ligt, wordt deze samenhang niet statistisch aangetoond in de onderzoeksresultaten. Belangrijke andere factoren zijn: de toename van het aantal hoogwaters en stormen vanaf 2001 (en daarmee van het aantal overstromingen), stikstofdepositie, de toename van witte duinen en verbreding van het strand, en beheermaatregelen zoals dynamisch kustbeheer en afplaggen.

Het is lastig om significante tendensen vast te stellen, door de grote variabiliteit in de data. Anders gezegd: specifieke gebeurtenissen zoals droge en natte perioden en stormen, hebben een merkbaarder en meetbaarder effect dan de gestage bodemdaling.

Vegetatie, plantensoorten. Het aantal verschillende plantensoorten blijft de laatste jaren ongeveer hetzelfde. De groenknolorchis wordt in steeds grotere aantallen gevonden, maar de populatie verplaatst zich. Het voorkomen is waarschijnlijk gestimuleerd door het afplaggen van een deel van de duinvalleien.

Habitattypen. De kwantiteit en kwaliteit van de meeste habitattypen is stabiel. Het habitatype grijze duinen neemt echter in kwaliteit af, een trend die niet direct gelinkt kan worden aan de bodemdaling door gaswinning. Evenzo hebben de duindoornstruwelen in oppervlakte en kwaliteit te lijden, waarschijnlijk door meerdere factoren, waaronder de vernatting van de duinvalleien. Na het afsterven van de duindoorns op de bodem van de valleien is er echter een opvallende nieuwgroei aan de randen van de valleien geconstateerd. Deze nieuwe vestiging gaat door, hoewel het voor Natura 2000 vereiste habitatoppervlak nog niet is bereikt.

Verwachtingen voor de toekomst. De toekomstige ontwikkeling van de duinen is onvoorspelbaar, maar er zijn wel enkele verwachtingen. Dynamisch duinbeheer zou kunnen leiden tot een toegenomen aanvoer van vers zand in de grijze duinen, waardoor deze beter en duurzamer tot ontwikkeling kunnen komen.

In de duinvalleien in het oosten van de Oerderduinen kunnen de omstandigheden langzaam vochtiger worden, voornamelijk tijdens de winter. Met de verwachting van meer droogte in de zomers, zal dit op korte termijn zorgen voor vaker lage waterpeilen in de zomer. Dit kan de kans op verzilting verhogen.

Het lijkt er dus op dat het gebied iets grotere contrasten kan gaan vertonen tussen het westen en het oosten. In het westen is er een trend naar meer struweelvorming, terwijl de valleien in het oosten geleidelijk vochtiger worden maar in de zomer droog zullen vallen. Struwelen met duindoorn zullen waarschijnlijk verder verdwijnen of zich niet kunnen vestigen, behalve misschien aan de voet van de duinen.



10 Oostpunt van Ameland en Noordzeekustzone

Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkelingen van de Noordzeekust en de oostpunt van het eiland. Daarbij wordt ook ingegaan op zandsuppleties. De belangrijkste vraag daarbij is of de bodemdaling door gaswinning invloed heeft, en zo ja, wat de effecten zijn.

10.1 Over het gebied

Eilandstaart

Van nature kenmerkt de oostpunt van eiland zich door groeifasen afgewisseld met krimpfasen. Dit hangt direct samen met de positie en oriëntatie van de geulen van het Pinkegat. Simpel gezegd groeit het eiland aan in perioden dat het Pinkegat uit één hoofdgeul bestaat. Deze hoofdgeul migreert daarbij langzaam naar het oosten waardoor de eilandstaart langer wordt. Vanaf een bepaald moment wordt de getijdruk te groot en ontstaan er verschillende nieuwe vloedgeulen ten westen van de hoofdgeul en wordt het eiland weer korter. Tegelijkertijd echter wordt de afstand tot het wantij korter en schuift dat naar het westen waarbij de hoofdstroom over het wad iets draait. Uit onderzoek blijkt dat deze ontwikkelingen een cyclisch karakter hebben, maar dat de regelmatigheid hierin lastig te bepalen is.

Noordzeekustzone

De kust van Noordoost-Ameland heeft van nature te maken met aangroei en afslag, wat betekent dat de kustlijn zich van tijd tot tijd landinwaarts verplaatst en weer terug. Na een lange periode van kusterosie, werd in 1990 besloten om een nieuw kustbeleid te implementeren. Om landwaartse verplaatsing van de kustlijn te voorkomen, werd ervoor gekozen om de positie van de kustlijn te behouden door zand toe te voegen. Om erosie tijdig te kunnen signaleren, werd een referentielijn, de 'basiskustlijn' genoemd, vastgesteld, die ruwweg overeenkwam met de kustlijn van 1990. Voor Ameland geldt dat er ten westen van kilometerpaal 23 een basiskustlijn is vastgesteld, terwijl ten oosten van deze kilometerpaal de ontwikkeling van de kustlijn vrij wordt gelaten.

Sindsdien zijn er op het strand en in de ondiepe Noordzee van Ameland miljoenen kubieke meters zand gesuppleerd. Dit zand wordt door zee en wind verspreid, en heeft aanzienlijke invloed op de ontwikkeling van de Amelandse kust en op de verstuing van zand.

Bodemdaling heeft ook invloed op dit proces. Zoals eerder beschreven (zie Hoofdstuk 2), trekt het morfologische systeem van de Waddenzee sediment aan om de ontstane dalingskom op te vullen. Dit sediment is afkomstig van de buitendelta en de Noordzeekustzone, die op hun beurt ook beïnvloed worden door de bodemdaling. Daardoor 'verliest' de Noordzeekustzone zand, wat kan zorgen voor erosie van de kustlijn.

In 1987 werd met behulp van een kustlijnmodel voorspeld dat de kustlijn (gemiddelde hoogwaterlijn) tussen kilometerpaal 7 en 25 als gevolg van dit proces zou achteruit gaan, en dat er extra zand aan het systeem moest worden toegevoegd via zandsuppleties. Er werd toen een schatting gemaakt van het hiervoor benodigde volume zand. Daarom is de verplichting tot het suppleren van zand bij gaswinning onder de Waddenzee opgenomen in de vergunningvoorschriften van de NAM.



De dynamische Noordzeekust ten oosten van de NAM-landlocatie. Er is hier geen basiskustlijn vastgesteld.

10.1.1 Onderzoeksvragen en methoden

Onderzoeksvragen

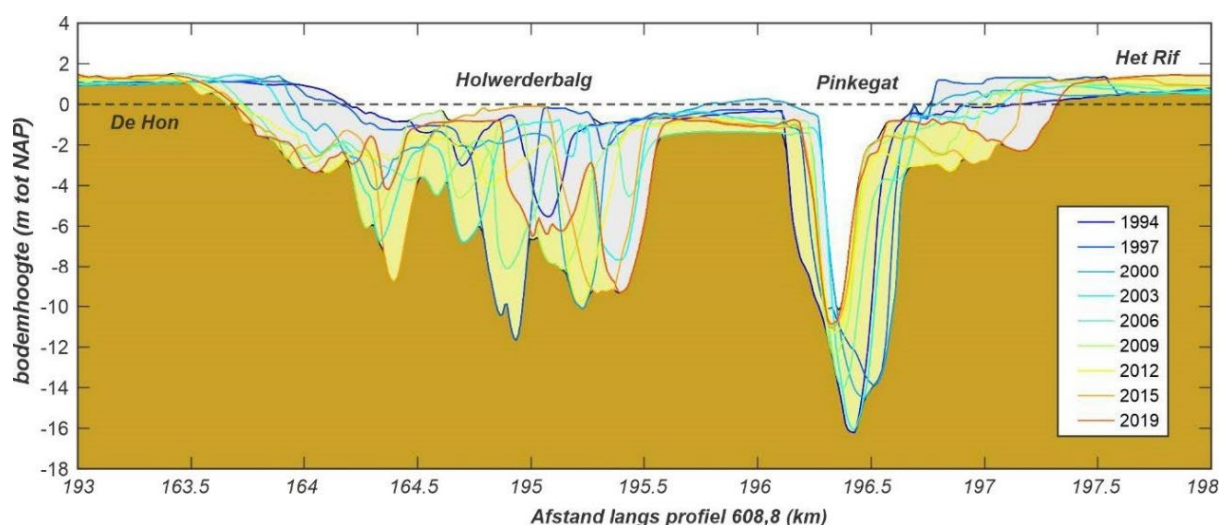
- Hoe ontwikkelt de oostpunt van Ameland zich en wat is het effect van bodemdaling door gaswinning?
- Hoeveel zand is er langs de kust van Ameland gesuppleerd? Welke invloed heeft dit op de ontwikkelingen van Oost-Ameland?

Methoden

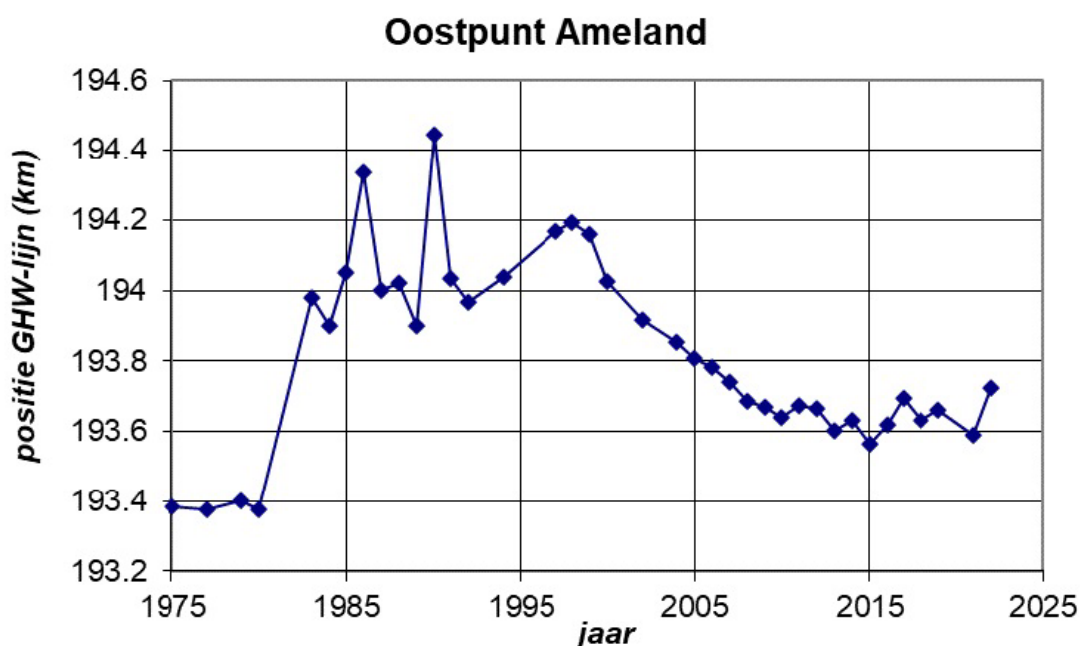
Voor het beantwoorden van deze vragen is een analyse gemaakt van hydrografische kaarten van 1834 tot 1927, de lodingskaarten van 1927 t/m 2019 en de jaarlijkse kustmetingen tot 2021 (JARKUS) van Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn gegevens over gesuppleerde volumes zand verzameld.

Ontwikkelingen eilandstaart

Vanaf 1980 tot 1987 groeide de oostpunt aan, waarna een relatief stabiele periode volgde. Rond 1999 ontwikkelden zich geulen langs de oostpunt van De Hon en brak er weer een fase van erosie aan. Op basis van lodingen werd in 2012 geconstateerd dat het zeegat zich weer naar een enkelgeulstelsel leek te ontwikkelen, waardoor er mogelijk weer een fase van groei kon aanbreken. Vaklodingen uit 2019 laten echter zien dat de meergeulen-karakteristiek lijkt terug te keren (zie Figuur 10-1). Ook de ontwikkeling van de positie van het oostpunt van Ameland in de periode 2012-2022 (gebaseerd op Jarkus gegevens) laat geen omslag van afslag naar groei zien. Vanaf 2013 is er sprake van een periode van stabilisatie (zie Figuur 10-2).



Figuur 10-1. Ontwikkelingen in het zeegat Holwerderbalg/Pinkegat in de periode 1994 – 2019



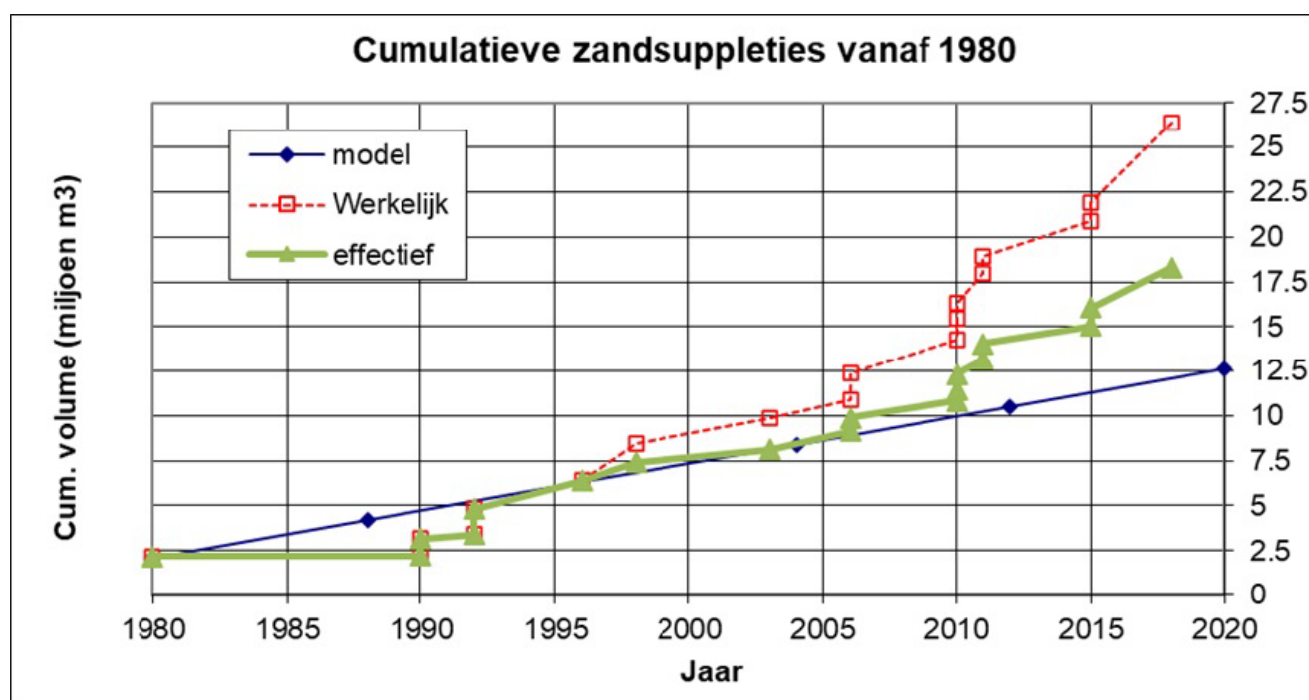
Figuur 10-2 West-Oostmigratie van de oostpunt van Ameland (toename = groei, afname = erosie)

De geulconfiguratie in het zeegat en de ligging van de oostpunt van Ameland worden door meer processen aangestuurd. Voorbeelden zijn de oostwaartse migratie van de eilanden door het dominante sedimenttransport en de afsluiting van de Lauwerszee (waardoor de hoeveelheid getijwater dat door het zeegat stroomt sterk afnam).

Suppletievolumes

De cumulatieve volumes van de suppleties langs de Noordzeekust van Ameland ten oosten van kilometerpaal 7 zijn weergegeven in Figuur 10-3. Daarbij geldt dat de suppleties tot 1998 werden aangebracht op het strand en één keer in 1990 tegen de zeereep voor herstel van stormafslag. Vanaf 1998 zijn de kustsuppleties uitgevoerd als vooroeversuppleties, waarbij er rekening mee wordt gehouden dat slechts 50% van het aangebrachte zandvolume effectief bijdraagt aan de verbetering van de ligging van de GHW-lijn.

Figuur 10-3 laat zien hoeveel zand er sinds 1980 daadwerkelijk is gesuppleerd ten opzichte van de volumes die berekend werden in het kustlijnmodel. Sinds 1990 is er gemiddeld 0,5 miljoen kubieke meter per jaar gesuppleerd, in plaats van de door het model berekende 0,2625 miljoen kubieke meter. Deze afwijking kan meerdere oorzaken hebben, zoals de onvoorspelbare 'aanlanding' van een grote zandplaat op West-Ameland (Bornrif), de eerder dan verwachte omslag van groei naar erosie van de oostpunt van Ameland en de toepassing van verkeerde suppletiehoeveelheden in het kustlijnmodel.



Figuur 10-3. Totaal volume van zandsuppleties langs de Noordzeekust van Ameland

Conclusies

Ontwikkeling oostpunt Ameland

Er is geen merkbaar effect geconstateerd van diepe bodemdaling door gaswinning op de ontwikkeling van de oostpunt van Ameland. Het directe effect van bodemdaling door gaswinning is kleiner dan het effect van andere processen. In de toekomst zal de groei of krimp van Oost-Ameland niet of nauwelijks door de nog komende extra bodemdaling worden beïnvloed, omdat het grootste deel van de bodemdaling door gaswinning al heeft plaatsgevonden tijdens de groeifase van de oostpunt van Ameland.

Suppletievolumes en ontwikkeling van de Noordzeekust

- De daadwerkelijk uitgevoerde kustsuppleties op Ameland vertonen een ander verloop dan bij de start van de monitoring werd verwacht. Sinds 1990 is er gemiddeld 0,5 miljoen kubieke meter per jaar gesuppleerd, in plaats van de door het model berekende 0,2625 miljoen kubieke meter.
- Hoewel er door diepe bodemdaling een extra sedimentvraag is ontstaan blijft de eerder getrokken conclusie gerechtvaardigd dat de bodemdaling door gaswinning geen merkbare negatieve invloed op de ontwikkeling van de Noordzeekust heeft gehad. Dit is mede het gevolg van de uitvoering van zandsuppleties.



Duinen op de oostpunt van Ameland

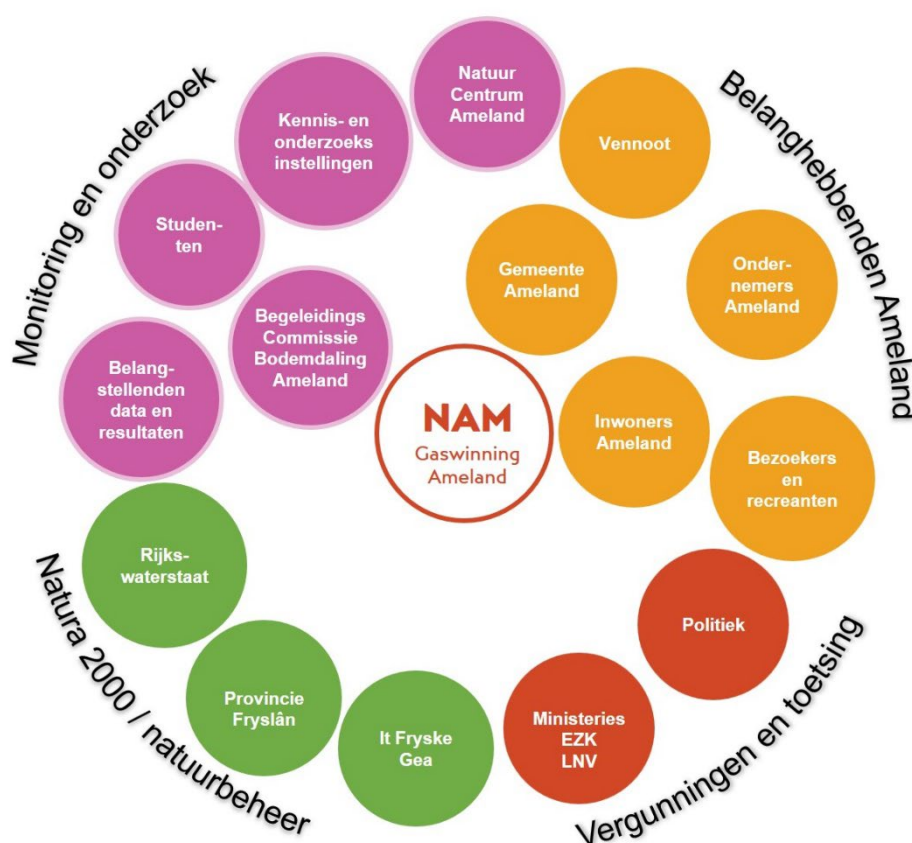
11 Maatschappelijke betrokkenheid

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de belangrijkste belanghebbenden en beschrijft interacties met de NAM.⁴⁷

11.1 Inleiding

In Hoofdstuk 1 is te lezen dat de NAM in 1986 startte met de winning van aardgas vanaf Ameland, na een lange aanlooperperiode met diverse onderzoeken. Een jaar later ging, op verzoek van It Fryske Gea, het monitoringprogramma van start. Intussen schrijven we 2024, en de gaswinning loopt al 38 jaar. Gedurende deze tijd zijn er tal van belanghebbenden betrokken bij de gaswinning en het monitoringonderzoek, of hebben ze te maken met effecten op Ameland zelf.

De NAM onderhoudt direct of indirect contact met deze belanghebbenden en rapporteert elke zes jaar over de resultaten via een integrale rapportage, die dit jaar voor de zesde maal verschijnt. De onderliggende deelonderzoeken beslaan inmiddels duizenden pagina's en zijn voor iedereen toegankelijk en raadpleegbaar op Waddenzee.nl. Een korte verkenning op het internet laat zien dat er uit de publicaties volop wordt geciteerd. Onderstaande figuur licht toe welke belanghebbenden zoals zijn betrokken.



Figuur 11-1 Belanghebbenden bij de gaswinning op Ameland en het onderzoek naar effecten

⁴⁷ Niet limitatief. Er is geen stakeholderanalyse uitgevoerd, dus het is mogelijk dat er stakeholders ontbreken.

11.2 Belanghebbenden en interactie

Deze paragraaf licht de belanghebbenden in meer detail toe, evenals de manier waarop ze interactie hebben met de NAM.

De NAM

De Nederlandse Aardolie Maatschappij (de NAM) is initiatiefnemer van de gaswinning op Ameland en verantwoordelijk voor de uitvoering ervan (conform vergunningvereisten).

In 1987 stemde de NAM in met het verzoek van It Fryske Gea om de ontwikkelingen op Ameland te monitoren. Sindsdien is de NAM verantwoordelijk voor de uitvoering en financiering van alle monitoring en onderzoeken. Tot 2013 kwam de monitoring alleen voort uit de afspraken met It Fryske Gea. Na uitbreiding van de winning (zie Hoofdstuk 1) werd de monitoring een wettelijke verplichting conform de vergunningseisen van de Wet natuurbescherming. De monitoring gaat echter verder dan de vergunningseisen waaraan de NAM zich moet houden. De tellingen van wadvogels op Ameland bijvoorbeeld vindt al langdurig plaats, maar is voor de Ameland-winning niet wettelijk verplicht. Hetzelfde geldt voor de monitoring van de ontwikkeling van het (hydro)morfologische systeem.



NAM-locatie (AME-1)

Betrokkenen bij monitoring en onderzoek

Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland

Vlak na het besluit om ontwikkelingen te gaan monitoren, werd in 1987 de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland opgericht. De samenstelling van deze commissie is gebaseerd op een combinatie van deskundigheid en vertegenwoordiging van belanghebbende instanties. Weliswaar is de samenstelling van de commissie meerdere malen veranderd, de taken zijn nog

steeds hetzelfde: het waarborgen van de onafhankelijkheid van onderzoeken, het bewaken van de voortgang van de monitoring en het toezien op volledigheid en kwaliteit. Ook bepaalt de commissie de onderzoeksvragen en worden de onderzoeken door de commissie begeleid.

De NAM is secretaris van de bodemdalingscommissie. Naast de vertegenwoordiger vanuit de NAM bestaat de commissie uit een onafhankelijk voorzitter en vertegenwoordigers van de It Fryske Gea, Rijkswaterstaat, provincie Fryslân en de gemeente Ameland. Een medewerker van het ministerie van LNV is agendalid. De commissie komt gemiddeld vier keer per jaar bijeen, waarbij ook regelmatig de onderzoekers worden uitgenodigd.

Kennis- en onderzoeksinstellingen

Veel organisaties en onderzoekers zijn al langdurig betrokken bij het onderzoek naar de effecten van de gaswinning op het oostelijk deel van Ameland. Sinds 1986 zijn er duizenden pagina's aan onderzoeksrapporten geschreven en is er een schat aan data verzameld. De afgelopen zes jaar waren de volgende organisaties betrokken bij het onderzoek: Deltares, Wageningen Environmental Research (WENR), Wageningen Marine Research (WMR), Sovon, EcoCurves, Natuurcentrum Ameland (NCA) en Brandhof natuur & platteland.

De onderzoekers worden gefinancierd door de NAM en begeleid door de, onder het vorige kopje genoemde, commissie. Regelmatig vindt er overleg plaats tussen de onderzoekers en de commissie (waarvan minimaal een keer per jaar op Ameland) om monitoringsonderzoeken af te stemmen en tussentijdse resultaten te bespreken.



Bodemdalingscommissie en onderzoekers op Ameland

De kennis is breder toepasbaar dan voor Ameland alleen. Via het langetermijn onderzoek op Ameland wordt – naast kennis over diepe bodemdaling door gaswinning – ook veel kennis opgedaan

over de morfologie en ecologie van het Waddensysteem en de samenhang daartussen. Ook leveren de resultaten van het onderzoek waardevolle inzichten in de mogelijke effecten van (versnelde) zeespiegelstijging, want diepe bodemdaling is te zien als het ‘omgekeerde proces’ daarvan. Het onderscheid tussen beide is met name een kwestie van schaal (beperkt bij bodemdaling zowel in ruimte als tijd) en snelheid (groter in het geval van de bodemdaling door gaswinning op Ameland). Met oog op de klimaatverandering groeit de (maatschappelijke) aandacht voor de effecten van zeespiegelstijging op het Waddengebied.

Belangstellenden data en resultaten

Om ervoor te zorgen dat meetgegevens en kennis zo breed mogelijk kunnen worden toegepast, stelt de NAM alle rapporten beschikbaar via de website waddenzee.nl en via haar eigen site (nam.nl).

Politiek en beleid

Ministerie Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

Het ministerie van LNV is verantwoordelijk voor het aanwijzen van Natura 2000-gebieden, waaronder de Duinen van Ameland, Waddenzee en Noordzeekustzone. Het ministerie stelt instandhoudingsdoelen en kaders vast en bewaakt de landelijke stand van zaken.

Verder is het ministerie van LNV het bevoegd gezag voor vergunningverlening voor activiteiten in de Natura 2000-gebieden Waddenzee en Noordzeekustzone. De NAM heeft sinds 2013 een vergunning conform de (toenmalige) Natuurbeschermingswet.

Verder is een medewerker van LNV namens het ministerie agendalid van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.

Het monitoringonderzoek dat wordt uitgevoerd in opdracht van de NAM op Ameland levert informatie over de effecten op (beschermde) habitattypen en soorten in de Natura 2000-gebieden. Het monitoringonderzoek gaat bovendien verder dan dat: er worden ook veel aspecten gemonitord die niet verplicht zijn volgens de vergunning. De effecten worden elke zes jaar samengevat in een integrale rapportage (voorliggende rapportage).

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK)

Het ministerie van EZK is verantwoordelijk voor de vergunningverlening of benodigde instemming over mijnbouw, waaronder de gaswinning op Ameland. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) adviseert het ministerie onafhankelijk bij de besluiten die hierover worden genomen. Ook is het ministerie verantwoordelijk voor de voorwaarden van het ‘hand aan de kraan’ principe en de evaluatie van de gebruiksruimte voor de gaswinning vanuit de MLV-velden.

Het monitoringonderzoek van de NAM op Ameland levert informatie over morfologische processen en sedimentatie in het Pinkegat. Deze resultaten worden meegenomen in de rapportage van de MLV-winning, waarin de gebruiksruimte aan bod komt.

Politiek

Ook in de politiek heeft de monitoring van de bodemdaling een plek gevonden. In 2017 zijn er naar aanleiding van het verschijnen van de integrale rapportage Kamervragen gesteld over een eventuele toename van de overstromingsrisico's van broedvogels, met als gevolg een tussentijdse rapportage

dienaangaande.

Als in 2018 de Waddenvereniging vraagt om intrekking/wijziging van de vergunningen van de gaswinning rond Ameland, en in 2019 de reactie volgt van het ministerie van LNV wordt teruggегреpen op de monitoringsrapportages. En ook in de maatschappelijke discussie over een eventuele gaswinning bij Ternaard en bij Schiermonnikoog wordt regelmatig gebruik gemaakt van de grote hoeveelheid gepubliceerd onderzoek.

Natuurbeheerders en betrokkenen bij Natura 2000

Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het waterbeheer van de Waddenzee en de Noordzee, waar waterveiligheid, scheepvaart, bereikbaarheid en waterkwaliteit onder vallen. De organisatie is daarnaast natuurbeheerder van beide grote wateren en is de zogenoemde 'voortouwnemer' voor het opstellen van de Natura 2000-beheerplannen voor deze gebieden.

Rijkswaterstaat is deelnemer aan de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, en brengt onderzoeksvragen in die te maken hebben met zijn beheertaken. Het gaat hierbij onder andere om vragen die te maken hebben met de hydromorfologie van de Waddenzee, het zeegat en de Noordzeekustzone (en de relatie met zandsuppleties).

Provincie Fryslân

De provincie is 'voortouwnemer' voor het Natura 2000-gebied Duinen van Ameland. Dat houdt in dat zij verantwoordelijk is voor het opstellen van het Natura 2000-beheerplan en voor de evaluatie van het behalen van de doelen.

Provincie Fryslân is deelnemer aan de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland en brengt vooral onderzoeksvragen in die te maken hebben met Natura 2000 en de integratie met andere belangen. Daarvoor werkt de provincie onder andere samen met de 'Venoot' en andere betrokkenen, aan de voorbereiding van een zogenaamde 'Venootvisie' op het Neerlands Reid. Het onderzoek dat hiervoor plaatsvindt, maakt onder andere gebruik van de data en resultaten van het monitoringonderzoek naar de effecten van de diepe bodemdaling door gaswinning.

It Fryske Gea

Deze organisatie beheert de Kooioerdstuifdijkduinen, 't Oerd en de kwelder De Hon. Bij dat beheer heeft It Fryske Gea direct te maken met de effecten van diepe bodemdaling door gaswinning. In 1986, bij de start van de gaswinning op Ameland, heeft de organisatie daarom een verzoek tot monitoring ingediend, wat de NAM heeft opgepakt.

It Fryske Gea maakt deel uit van de Begeleidingscommissie Bodemdaling Ameland, en brengt onder andere vragen in die te maken hebben met natuurbeheer en natuurbescherming.

It Fryske Gea en de NAM werken samen aan oplossingen voor problemen die voortvloeien uit de gaswinning, zoals vernatting. In dat kader heeft de NAM een bijdrage geleverd aan een drietal vlonderbruggen op de wandelroute over het Oerd. Hierdoor houden wandelaars droge voeten en wordt voorkomen dat er allerlei alternatieve paden ontstaan en vegetatie onnodig beschadigd wordt. Daarnaast wordt gekeken hoe in het gebied direct naast de NAM-locatie de duinen verder gedynamiseerd kunnen worden door plaatsen van duinkerven. Zie voor meer informatie:

<https://www.itfryskegea.nl/natuurgebied/ameland/>

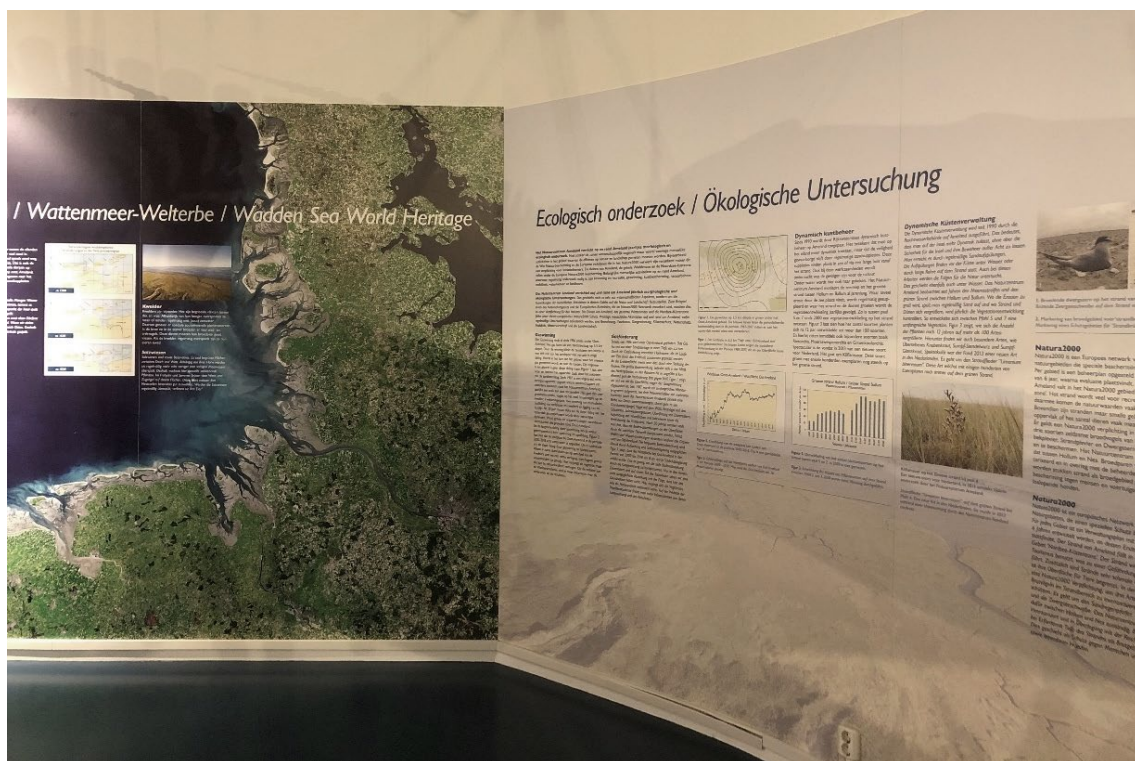
Belanghebbenden Ameland

Natuurcentrum Ameland (NCA)

Het Natuurcentrum Ameland is sinds 2000 actief betrokken bij de monitoring, en vervult een belangrijke rol in de coördinatie van het onderzoek op het eiland. Aanleiding was een aanbeveling van prof. J. Swart, uitgebracht in het kader van de eerste openbare audit in 2000, om aanzienlijk meer te investeren in maatschappelijke verbreiding van de resultaten van het onderzoek.

De nadruk van NCA ligt op de monitoring van eiland-eigen aspecten, zoals de sedimentatiemetingen op het wad, inundatieonderzoek in de duinvalleien, opnemen van peilbuizen, inventarisatie van rode-lijst soorten planten, panoramafoto's, beweidingsonderzoek op het Neerlands Reid en aanvullende vogeltellingen.

De in de monitoring opgedane kennis en data wordt deels ook gebruikt in de tijdelijke en vaste exposities in het Natuurcentrum. Hiermee is niet alleen een directe verbinding ontstaan met de Amelanders, maar ook met de talrijke bezoekers van het Natuurcentrum Ameland.



Deel van vaste expositie in het Natuurcentrum waarin ook de monitoring van bodemdalingseffecten en resultaten van metingen worden getoond.

Vennoot

Neerlands Reid is eigendom van de 'Maatschappij tot exploitatie van onroerende goederen op het Oosteinde Oerd Neerlands Reid BV', algemeen bekend als de 'Vennoot'. Deze maatschappij geeft begrazingsrechten uit (zie par. 7.1). De boeren die hun vee hier laten grazen zijn de directe 'buren' van de NAM en hebben te maken met bodemdaling door gaswinning. Onder andere doordat delen van de kwelder lager komen te liggen en eerder overstromen, en als gevolg van de uitbreiding van het krekenselsel.

Tijdens de bijeenkomst in 2022 van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland zijn leden van de Vennoot uitgenodigd om de tussentijdse resultaten van de monitoring te bespreken met de commissie en de onderzoekers. Ook is een veldbezoek gebracht aan Neerlands Reid, onder leiding van de Vennoot, om ontwikkelingen op de kwelder waar te nemen en te bediscussiëren. Afgesproken is dat er een Vennootvisie wordt opgesteld, waarin knelpunten en mogelijke oplossingen aan bod komen. Inmiddels wordt hieraan gewerkt, onder leiding van de provincie Fryslân.

Gemeente Ameland

Ook de gemeente Ameland is direct betrokken bij de winning van gas op Ameland en de effecten daarvan op het eiland.

De gemeente maakt deel uit van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, en brengt onder andere vragen in die te maken hebben met lokale belangen en effecten. Speciaal voor de bevolking en bezoekers zal de NAM een publiekssamenvatting uitbrengen van de integrale rapportage over de effecten van bodemdaling door gaswinning.

Vanwege de invloed op Ameland heeft de NAM afspraken gemaakt met de Gemeente Ameland. Zo worden er voor de winning op Ameland zelf (en op locaties op de Noordzee) zoveel mogelijk Amelanders ingezet. Dit bevordert de lokale betrokkenheid van de Amelanders bij de gaswinning en draagt bij aan de werkgelegenheid op Ameland.

Verder is de NAM participant in Duurzaam Ameland, een initiatief van gemeente, inwoners en ondernemers van het eiland om koploper te zijn in de energietransitie en in 2035 volledig te zijn overgeschakeld op duurzame energie (zie <https://www.duurzaamameland.nl/>).

De NAM zelf draagt daaraan bij via studies naar de energietransitie op Ameland en via de elektrificatie van de NAM-installaties.



Deel van de vaste expositie met het thema “Energie voor Ameland” waarin de opwekking en het gebruik van energie op Ameland wordt beschreven en getoond. De winning en levering van aardgas op Ameland en de elektrificatie van de NAM locaties AME-1 op het Oerd en AWG op zee maken hier deel van uit.

Ondernemers en inwoners

De NAM neemt zoveel mogelijk diensten af van lokale ondernemers en sponsort lokale initiatieven. Een voorbeeld hiervan is Natuurcentrum Ameland. Medewerkers van het centrum dragen met hun uitgebreide gebiedskennis bij aan de monitoring en het onderzoek van de bodemdaling door gaswinning. Natuurcentrum Ameland besteedt - in een speciaal ingerichte expositieruimte - tevens aandacht aan de effecten van bodemdaling door gaswinning en aan de verduurzaming van Ameland.

Inwoners worden veelal via de lokale media geïnformeerd over actualiteiten vanuit de NAM. Lokaal verenigingsleven kan gebruik maken van het NAM donatie- en sponsoring programma. In het kader van verduurzaming en energiekosten verlaging heeft de NAM in 2023 zonnepanelen gedoneerd aan het Natuurcentrum Ameland.

Bezoekers en recreanten

Het oosten van Ameland wordt jaarlijks door veel mensen bezocht. Met name liefhebbers van natuur en ruimte. Ook passeert dagelijks over het strand de Strandexpress; een huifkar met plaats voor ongeveer dertig personen voortgetrokken door een trekker, welke de toeristen helemaal tot op de oostpunt brengt, om daar de bijzondere uitgestrekte plek te ervaren.

De NAM houdt tijdens het toeristenseizoen rekening met de badgasten op het strand. Eventuele transporten in het toeristenseizoen worden zoveel mogelijk in de vroege ochtenduren uitgevoerd. Tijdens het broedseizoen vinden sowieso geen grote werkzaamheden plaats op de NAM-locatie op het Oerd. Tijdens grotere werkzaamheden worden eilanders en eilandgasten extra geïnformeerd. Dit gaat middels informatieflyers (bij het VVV-kantoor en strandpaviljoens), berichtgeving (via lokale media en op de beeldkrant op de veerboten) en sinds kort ook via de NAM Omgevingsapp. Ook wordt eventueel informatie gegeven bij de dichtstbijzijnde strandovergangen met infoborden.



Scholeksters

12 Synthese, discussie en aanbevelingen

Synthese

Bodemdaling

De bodemdaling door gaswinning in het centrum van het bodemdalingsgebied bedraagt bijna veertig centimeter. Dit leidt echter lang niet overal tot een evenredige daling van het maaiveld. Door de grote dynamiek in het Waddengebied wordt de diepe bodemdaling deels gecompenseerd, soms door opslibbing, soms door instuiving. Dit effect is het meest merkbaar in de kwelderzones die nabij een kreek of het wad liggen en in de duinen vlak langs de kust.

Op grotere afstand van de sedimentbronnen is de impact van bodemdaling door gaswinning groter, en is er een meer uitgesproken maaiveld daling.

In de duinen veroorzaakt deze daling een vernatting van de duinvalleien, terwijl op de kwelders een verschuiving van hoge naar lage kwelderzones waarneembaar is, vooral op Neerlands Reid. Hier versterken beweiding en vertrapping door vee de gevolgen van de diepe bodemdaling.



Ophoging van de duinen door de instuiving van zand

Veranderende natuur: vegetatie en habitattypen

In de kwelders is het aantal plantensoorten aanzienlijk afgenomen, terwijl de diversiteit aan planten in de duinen grotendeels gelijk is gebleven. Binnen de duinen floreren enkele zeldzame soorten, waaronder de groenknolorchis en de dodemansvingers.

Wat betreft de habitattypen in zowel de kwelders als de duinen, blijven deze over het algemeen zowel qua kwaliteit als kwantiteit stabiel. Een uitzondering hierop vormen de grijze duinen, die kwalitatief achteruitgaan, een trend die niet direct gelinkt kan worden aan de bodemdaling door

gaswinning. Evenzo hebben de duindoornstruwelen in oppervlakte en kwaliteit te lijden, waarschijnlijk door meerdere factoren, waaronder de vernatting van de duinvalleien. Niettemin is er sinds de afname van duindoornstruwelen op valleibodems een sterke nieuwe groei van duindoorns aan de randen van valleien zichtbaar.

Ook de oppervlakte wadplaten verandert niet veel. Gemiddeld genomen is de natuurlijke sedimentatie van de wadplaten voor de kust van Ameland groter dan de door gaswinning veroorzaakte bodemdaling. Er zijn echter plaatselijke verschillen. Voor de kust van het Oerd ligt een wadplaatgebied waar duidelijk verlaging plaats vindt. Deze ontwikkeling lijkt echter eerder samen te hangen met het dynamische ontwikkeling van de oostpunt van het eiland, dan met bodemdaling door gaswinning.

Vogels

De meeste onderzochte vogelsoorten op Oost-Ameland doen het even goed - of even slecht - als in andere delen van het Waddengebied. De wulp, de rosse grutto en de tureluur hebben het echter moeilijker dan in sommige referentie-gebieden. Er zijn echter geen aanwijzingen dat deze vogelsoorten negatief beïnvloed worden door de diepe bodemdaling.

Opvallend is dat de lepelaar en de kleine mantelmeeuw zich na de start van de gaswinning in het gebied hebben gevestigd.

Diverse oorzaken

Het is duidelijk dat de natuur op Oost-Ameland verandert en daarvoor zijn diverse oorzaken. Zo heeft de afsluiting van de Zuiderzee en later het Lauwersmeer tot grootschalige veranderingen in het systeem geleid. Stikstofdepositie bevordert verzuuring, wat resulteert in de achteruitgang van bepaalde habitattypen, zoals de grijze duinen, en een afname van bepaalde broedvogelpopulaties, hoewel er aanwijzingen zijn dat deze trend enigszins stabiliseert. Menselijke ingrepen, waaronder gaswinning, visserij, toerisme, baggerwerkzaamheden en militaire oefeningen, hebben eveneens hun weerslag op de natuur. Hetzelfde geldt voor beheermaatregelen, zoals het afplaggen van stukken duin, het verwijderen van drempels, het aanbrengen van kerven in de duinenrijen, het suppleren van zand en het aanbrengen van oeververdedigingen.

Invloed van dynamiek en eenmalige events

Extreme en eenmalige gebeurtenissen, zoals hevige storm of langdurige droogte, lijken een grotere invloed te hebben op de natuur, dan geleidelijke, relatief kleine veranderingen die over langere tijd plaatsvinden. De stormen van 2022 leidden bijvoorbeeld tot aanzienlijk meer sedimentatie op zowel de wadplaten als op de kwelders dan in voorgaande jaren werd gemeten. Evenzo zorgden de overstromingen in 2008, gevolgd door een droogteperiode die een zoutkorst deed vormen, voor langdurige veranderingen in de vegetatie van de duinen, effecten die jarenlang in de vegetatieopnamen zichtbaar waren.

Dit illustreert het hoog-dynamische karakter van het systeem, waarin veranderingen zich snel en op grote schaal kunnen voordoen. Dit betekent zeker niet dat de bodemdaling geen invloed heeft, maar wel dat een eventuele invloed maar met moeite te ontdekken is tegen de achtergrond van natuurlijke dynamiek. Juist daarvoor zijn de langjarige onderzoeken zo belangrijk: het is de enige manier om in de sterke variatie binnen een hoog dynamisch systeem ontwikkelingstendensen te onderscheiden.

Discussie

Mosselbanken

Door de intensieve mosselvangst en beperkte broedval waren er in 1990 bijna geen mosselbanken meer over. Dit heeft waarschijnlijk een grote impact gehad op verschillende vogelsoorten, zoals de kanoet, scholekster en steenloper.

Sindsdien herstellen de mosselbanken zich moeizaam en alleen de laatste jaren werd er direct onder Ameland een grotere mosselbank gesignaleerd, die zich echter niet tot een stabiele bank heeft ontwikkeld. De redenen voor het trage herstel van de mosselbanken zijn niet bekend. Soms wordt een mogelijk verband met bodemdaling gesuggereerd (EcoCurves). Volgens de evaluatie van het Natura 2000-beheerplan Waddenzee⁴⁸ wordt onder Ameland de in het beheerplan vastgelegde minimumafstand tussen baggerstortingen en mosselbanken niet altijd nageleefd.

De kennis over de vestiging en het herstel van mosselbanken in het gebied van bodemdaling is nog beperkt. Het is onzeker of het herstel in het gebied van bodemdaling wezenlijk anders is dan op andere plaatsen, en zo ja, wat de oorzaken daarvan zouden kunnen zijn. Ook de gevolgen zouden dan nog moeten worden onderzocht.



Mosselbank ten zuiden van De Hon in 2022

Korrelgrootte en sedimentsamenstelling

De samenstelling van het sediment in het kombergingsgebied staat sterk in de belangstelling, gezien de invloed ervan op het ecosysteem, met inbegrip van mosselbanken. Uit onderzoek blijkt dat het slibgehalte in de bovenste bodemlaag toeneemt vanaf het zeegat tot aan de vastelandskust en de wantijen. De sedimentplaten zijn ofwel slibrijk ofwel zandig, met een abrupte overgang tussen deze twee types. Het grofste sediment is te vinden in de bodems van de grotere geulen.

⁴⁸ Witteveen en Bos en Altenburg & Wymenga, 2023

Een modelstudie uit 2005 concludeerde dat bodemdaling als gevolg van gaswinning geen significante invloed heeft op de sedimentsamenstelling in het dalingsgebied.⁴⁹ In andere rapporten wordt gesuggereerd dat bodemdaling mogelijk wel een effect heeft. Zo wordt in diverse rapporten gewezen op de verzanding van het Amelandertijd. Dit kan potentieel positief zijn voor het aantal overwinterende kanoeten, maar negatief voor de vorming van stabiele mosselbanken en de aantallen steenlopers.⁵⁰

Recent onderzoek⁵¹ constateert juist een verkleining van de korrelgrootte sinds 2008, afwijkend van andere delen van de Waddenzee. En om het nog ingewikkelder te maken suggereert een andere recente studie dat de sedimentsamenstelling in de hele Waddenzee synchroon verandert, en er dus geen verschil is tussen het bodemdalingsgebied en de rest van de Waddenzee.⁵²

Tot op heden lijkt er geen causaal verband te zijn aangetoond tussen bodemdaling en wijzigingen in de sedimentsamenstelling.⁵³ Voor een grondige analyse, is het noodzakelijk onderscheid te maken tussen de verschillende kombergingsgebieden. In het Pinkegat bijvoorbeeld wordt de sedimentbehoefte vooral bepaald door bodemdaling en zeespiegelstijging, terwijl in de Zoutkamperlaag de effecten van de afsluiting van de Lauwerszee nog merkbaar zijn. Verder is het belangrijk om controlegebieden nauwkeurig te selecteren en andere factoren, zoals baggerwerkzaamheden, mee te wegen.

Helaas ontbreken betrouwbare nulmetingen, die noodzakelijk zijn voor accurate conclusies over de veranderingen in de sedimentsamenstelling sinds 1986.

Opslibbing

Er is geen eenduidig beeld van de ontwikkeling van het maaiveld van Oost-Ameland en de invloed van diepe bodemdaling daarop. Hoewel er door de jaren heen op veel meetpunten data zijn verzameld, via methoden zoals waterpassingen en GPS-RTK, bieden deze geen allesomvattend inzicht.

In 2017 werd een opslibbingsmodel toegepast voor het berekenen van de maaiveldhoogte, en in 2023 is de hoogte van het maaiveld van De Hon afgeleid uit de dikte van de kleilaag. Een accurate kennis van hoogteveranderingen van het maaiveld is cruciaal voor het analyseren van de effecten.

Daarnaast ontbreekt het aan inzicht in het overstromingspatroon van de kwelder en de invloed van diepe bodemdaling en andere factoren hierop. Verder lijkt de impact van stormen op de opslibbing onderbelicht te zijn, terwijl zowel uit modelstudies als uit waarnemingen blijkt dat de invloeden significant zijn. Zonder de stormen van 2022 zouden de resultaten van de SEB-metingen (en van de spijkermetingen op de wadplaten) aanzienlijk anders zijn geweest. Bovendien lijkt de invloed van krimp en uitzetting van klei bij de metingen te worden onderschat, terwijl modelstudies ook hier aangegeven dat dit een belangrijke factor is.

Vegetatie-ontwikkeling op de kwelders

Het is gebleken dat de cijfers over successie en regressie variëren tussen de rapportages sinds 1986.

⁴⁹ Wang & Eysink, 2005, WL | Delft Hydraulics

⁵⁰ Kersten et al., 2011, EcoSense en EcoCurves

⁵¹ La Barra et al., 2023, in Journal of Applied Ecology

⁵² Folmer et al., 2023, in Estuarine, Coastal and Shelf Science

⁵³ Wang en Krol, 2024, Deltares en Natuurcentrum Ameland

Dit komt enerzijds doordat vegetatietypen in de loop der tijd aan verschillende vegetatiezones zijn toegewezen en anderzijds omdat er verschillende definities voor successie en regressie zijn gebruikt. Het wordt aanbevolen om de gevoeligheid van de conclusies (regressie of niet) te toetsen aan de toegepaste methode en definities. Verder is het nuttig om de verschillen over de jaren heen te onderzoeken, dus niet alleen de vergelijking van 2020 met 1993, maar ook met recentere jaren zoals 2020 ten opzichte van 2017.

Hoewel de begrazingsdruk wel aan de orde komt, is er tot nu toe geen aandacht besteed aan het type begrazing (koe, paard of schaap), en de gevolgen van de begrazing voor zowel opslibbing als vegetatie. Ook is er geen inzicht in de invloed van het aantal ingeschaarde lammeren, omdat deze niet meegeteld worden in het berekenen van de begrazingsdruk.

Continuïteit

Het langdurige onderzoek naar de gevolgen van de gaswinning is uniek door de uitgebreide reeksen metingen. Om deze optimaal te benutten, is continuïteit in metingen en consistentie in methoden, een belangrijk aandachtspunt. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om consistent gebruik van definities en systematiek in het vegetatieonderzoek en het beter laten aansluiten van de vogeltellingen uit de monitoringprogramma's van de Ameland- en de MLV-winning. Een ander voorbeeld is het continueren van de metingen met diepteloggers.

Daarnaast is er een rijke hoeveelheid aan data beschikbaar die nog verder onderzocht kan worden, waaronder oude meetreeksen in de duinen en op de kwelder, alsook oude waterpassingen om de maaiveldhoogte te bepalen.

Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek en monitoring

Algemeen

- Het verkennen van de mogelijkheid om LiDAR metingen via drones uit te voeren, voor het nauwkeurig in kaart brengen van de maaiveldhoogte van de kwelders. Dit geeft ook inzicht in de aanwezigheid van lager gelegen kommen.
- Het herhalen van de waterpascampagne en het analyseren van oude gegevens.
- Het opnieuw plaatsen van diepteloggers en het integreren van deze data in de monitoring, met inbegrip van aanvullende meetgegevens, zoals windsnelheid en -richting.
- Voor een accurate duiding van de effecten van bodemdaling door gaswinning, is een betere statistische analyse nodig van de relatie tussen overstromingsfrequentie, overstromingsduur, hoogwaterstanden, grondwater en neerslag.
- Het verdient aanbeveling om te onderzoeken in hoeverre het herstel van schelpdierbanken van mossels en oesters ten zuiden van Oost-Ameland verschilt van referentiegebieden waar geen bodemdaling is.

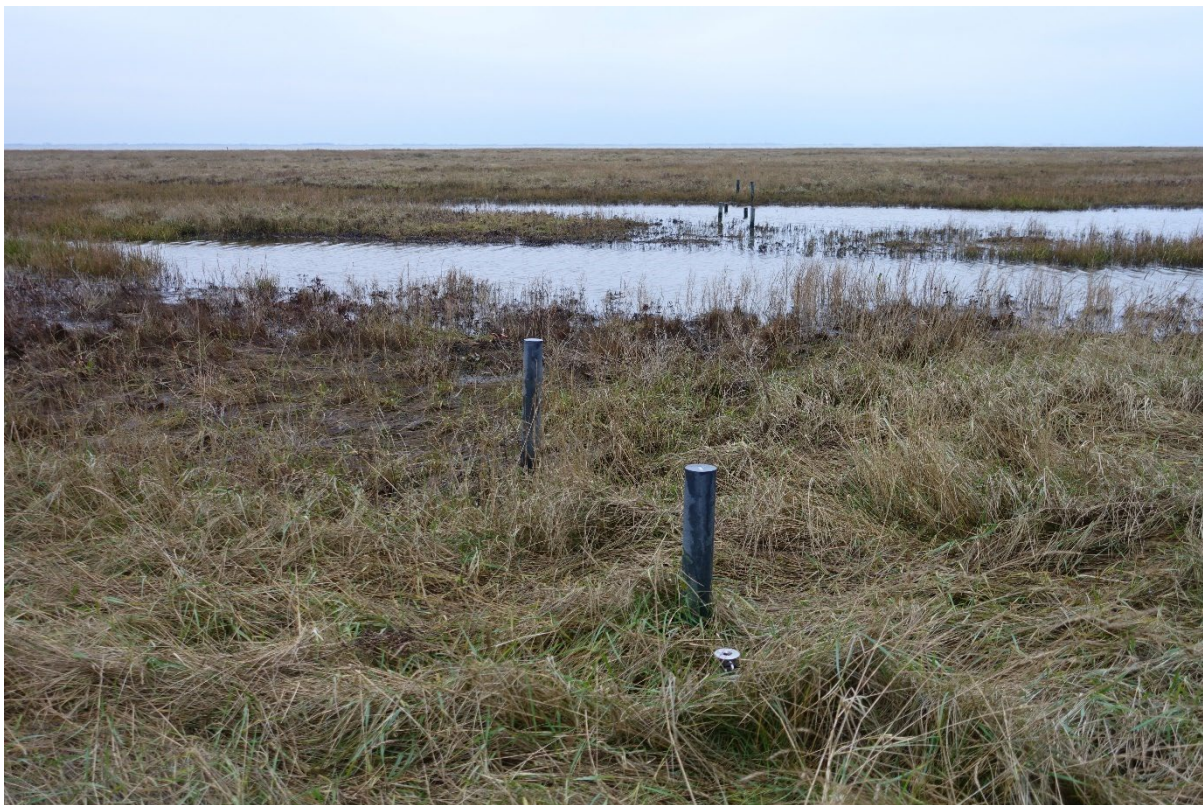
Vegetatie

- Een vergelijking van vegetatietypes, soortenrijkdom en maaiveldhoogtes met een referentiekwelder is nodig. De nieuwe vegetatiekaart van Schiermonnikoog, beschikbaar eind 2024 als onderdeel van het VEGWAD-programma, biedt een kans om de ontwikkelingen op Ameland te vergelijken met die op Schiermonnikoog en zo de effecten van bodemdaling versus natuurlijke successie te bepalen.

- Regelmatige monitoring van de rest van het duingebied binnen het bodemdalingsgebied, vooral de lager gelegen gebieden, aansluitend op de bestaande monitoringsreeks 1986-2013, stelt onderzoekers in staat de totale habitatontwikkeling te volgen.

Vogels

- De Waddenzeetellingen en Amelandtellingen zouden beter op elkaar afgestemd kunnen worden, bijvoorbeeld wat betreft de te monitoren vogelsoorten en de presentatie van de resultaten.
- Het verkennen van mogelijkheden om de daadwerkelijke overstroming van nesten te monitoren, bijvoorbeeld door na hoogtij overstromingsgevoelige nesten te controleren.
- Voortzetting van de huidige monitoring van nesten met drones, in combinatie met GPS-RTK metingen.
- Een betere inschatting maken van het broedsucces van verschillende soorten. Dit vereist een meetprogramma dat het broedsucces daadwerkelijk meet, inclusief de factoren die het broedsucces beïnvloeden.
- Een duidelijker beeld krijgen van de huidige legdata voor verschillende vogelsoorten en onderzoeken of er een vervroeging heeft plaatsgevonden.



Proefvlak met sedimentatie-erosie palen en een drukmeter op de voorgrond

Literatuur

Rapporten opgesteld voor Ameland monitoring 2017-2023

Duijns, Sjoerd, Kees Oosterbeek, Johan Krol, Willem van Duin, Symen Deuzeman, Jelle Postma, Christian Kampichler, 2023. Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en kans op overstroming van kwelderbroedvogels op Ameland. Sovon-rapport 2023/34.

Kersten, M., C. Rappoldt en C.W.M. van Scharenburg, 2023. Wadvogels op Ameland 1972–2022 Veranderingen op Oost-Ameland en vergelijking met referentiegebieden, EcoCurves rapport 35.

Krol, Johan, 2023. Fotomonitoring Oerd en Hon 2004-2022. Natuurcentrum Ameland.

Krol, J. en L. Saathof, 2023. Begrazingsonderzoek Neerlands Reid: Inventarisatie van de begrazing van het Neerlands Reid door vee en ganzen. Natuurcentrum Ameland.

Krol, Johan, 2023. Wadplaat sedimentatie bij Ameland 2000-2022. Natuurcentrum Ameland.

Krol, Johan, 2023. Monitoring van inundatie in duinvalleien op Oost-Ameland 2001-2022. Natuurcentrum Ameland.

Krol, Johan, Lyce Saathof en Joppe Lodewijks, 2023. Effect van bodemdaling op situering en hoogteligging van broedkolonies op De Hon en Neerlands Reid op Ameland. Natuurcentrum Ameland.

Kuiters A.T. en R.M.A. Wegman, 2020. Veranderingen in morfologie kwelderrand en kwelderdrainage op Oost-Ameland in relatie tot bodemdaling. Wageningen Environmental Research.

Lugt, Marlies van der, Jelmer Cleveringa en Zheng Bing Wang, 2023. Integrale analyse morfologische effecten van bodemdaling door gaswinning Oost-Ameland. Deltares, in samenwerking met Arcadis.

NAM B.V., Bodemdaling Ameland 2023. Document nummer EP202307200397.

Puijenbroek, Marinka van, Cor Sonneveld en Kelly Elschot, 2024. Ontwikkeling kwelders Oost-Ameland tijdens 35 jaar gaswinning. Wageningen Marine Research.

Rooijen, N.M. van, A.H. Heidema, D. van Walvoort, P. Mathijssen, J. Sitters, J. van Tol, A.T. Kuiters, 2023. Vegetatieontwikkeling in duinen en duinvalleien op Oost-Ameland onder invloed van bodemdaling. Wageningen Environmental Research.

Wang, Zheng en Johan Krol, 2024. Monitoring effecten bodemdaling door gaswinning Oost-Ameland. Deltares en Natuurcentrum Ameland.

Overige geraadpleegde literatuur

Arcadis, Alterra en Imares, 2011. Effectenanalyse/ passende beoordeling wijziging gaswinning Ameland, in opdracht van NAM.

Barra, Paula de la, Geert Aarts en Allert Bijleveld, 2023. The effects of gas extraction under intertidal mudflats on sediment and macrozoobenthic communities. In: Journal of Applied Ecology.

Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2006. Monitoringsplan Ameland bodemdaling 2006-2020.

Bonenkamp, Marloes, 2023. Long-Term Morphological Modelling of Tidal Inlet Systems: Implementing Salt Marshes in ASMITA, afstudeeronderzoek Deltares en TU-Delft.

Brinkman, A.G., de Groot, A.V. & van der Wal, J.T., 2017. Bodemdaling en opslibbing op de kwelders van Ameland, een modelstudie. Wageningen Marine Research Rapport.

Dankers, N., K.S. Dijkema, G. Londo en P.A. Slim, 1987. Ecologische effecten van bodemdaling op Ameland, Rijksinstituut voor Natuurbeheer.

DGKE / 22263937. Vaststelling veilige gebruiksruimte gas- en zoutwinning onder de Waddenzee (Gebruiksruimtebesluit).

Duijns, Sjoerd, 2014. Sex-specific foraging: The distributional ecology of a polychaete-eating shorebird. University of Groningen.

Duijns, Sjoerd, Karin Troost, Erik van Winden, Kees Rappoldt, Jeroen Nienhuis, Hans Schekkerman, Eelke Folmer, 2023. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag, rapportage t/m monitoringjaar 2022. Sovon Rapport.

Folmer, Eelke O., Allert I. Bijleveld, Sander Holthuijsen, Jaap van der Meer, Theunis Piersma en Henk W. van der Veer, 2023. Space-time analyses of sediment composition reveals synchronized dynamics at all intertidal flats in the Dutch Wadden Sea. In *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

Gawehn, Matthijs, 2023. Monitoring wadplaatareaal Friesche Zeegat met LiDAR (2010-2022). Deltares rapport.

Hagen, van der, 2022. Rabbits Rule Evaluating livestock grazing in coastal sand dunes of Meijendel, the Netherlands

Kersten, M., C. Rappoldt, C.W.M. van Scharenburg, 2011. Wadvogels op Oost-Ameland, Veranderingen sinds 1972 en vergelijking met referentiegebieden. EcoSense en EcoCurves.

Krol, Johan, 2023. Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog. Natuurcentrum Ameland.

KNMI, KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland.

NAM B.V., 2023. Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2022.

NAM B.V., 2023. Gaswinning Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Publiekssamenvatting en Integrale Beoordeling.

Natuurdoelanalyse Duinen Ameland, versie juni 2023. Provincie Fryslân.

Rijkswaterstaat, 2023, Ecologische evaluatie Natura 2000-beheerplan Waddenzee.

Stolte, W., F. Baart, S. Muis, M.P. Hijma, M. Taal, D. Le Bars, S. Drijfhout, 2023. Zeespiegelmonitor 2022. Deltares en KNMI, met bijdragen van HKV.

Wang & Eysink, 2005. Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning, WL | Delft Hydraulics.

Waterloopkundig laboratorium, 1987. Gaswinning op Oost-Ameland, effecten van gaswinning. In samenwerking met Rijksinstituut voor Natuurbeheer.

Witteveen en Bos en Altenburg & Wymenga, Ecologische evaluatie Natura 2000-beheerplan Waddenzee, 2023.