



Samenvatting

Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost: evaluatie na 30 jaar gaswinning



Voorwoord

In 1986 begon de gaswinning op Oost Ameland. De natuurbeheerder van Oost-Ameland (It Fryske Gea) kon dat niet tegenhouden, maar drong aan op monitoring van de effecten van de verwachte bodemdaling. Zou het wad dalen, zou de kust van Ameland eroderen, zouden de duinvalleien vernatten? In datzelfde jaar nog maakten de meest betrokken overheden met de NAM en It Fryske Gea afspraken over hoe die monitoring georganiseerd zou moeten worden. De 'Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland', bestaande uit deskundigen van It Fryske Gea en de betrokken overheden ging het onderzoek verder vormgeven en begeleiden. De NAM nam het secretariaat en de kosten van de onderzoekers op zich. Het project ging van start op basis van een effectrapportage die in 1985 in opdracht van de NAM was opgesteld.

Alles wat relevant was, is sinds 1987 gemonitord, hetzij vanaf dat jaar of anders vanaf het moment dat bleek dat er effecten optraden die nog niet in het programma zaten. Zo nodig is aanvullend onderzoek uitgevoerd, hetzij ten behoeve van de opzet van de monitoring, hetzij om de resultaten goed te kunnen begrijpen. Nu, ruim 30 jaar later, weten we wat de effecten zijn van bodemdaling op Oost Ameland. Soms is er geen effect meetbaar (bijvoorbeeld de hoogte van de wadplaten), soms zijn de effecten tenietgedaan door actief beheer (zandsuppleties, natuurherstelprojecten duinen), maar soms zijn de effecten heel duidelijk (bijvoorbeeld de vernatting van duinvalleien). U kunt het allemaal lezen in dit rapport.

De Begeleidingscommissie heeft erop toegezien dat het onderzoek volledig was en de bevindingen van de onderzoekers correct op schrift zijn gesteld. En, last but not least, audits door

de Rijksuniversiteit Groningen en de Waddenacademie als kwaliteitsborging voor het gehele programma.

Dertig jaar is lang. De onderzoekers van het eerste uur zijn inmiddels met pensioen gegaan, en ook ikzelf zal binnenkort afscheid nemen. De wisseling in de samenstelling van onderzoekers en commissieleden heeft gelukkig altijd in goede omstandigheden plaats gevonden, met één uitzondering: Onze kwelderonderzoeker van het eerste uur, vriend en collega Kees Dijkema is begin van dit jaar overleden. Wat blijft is een groeiende erfenis van kennis en inzicht. De betrokkenen kijken er met een navenant groeiend gevoel van trots naar.

De resultaten hebben inmiddels geleid tot een hele reeks wetenschappelijk publicaties. In materiële zin zijn ze van direct van belang voor de beheerders van Oost Ameland (It Fryske Gea en Rijkswaterstaat) en de inwoners van de gemeente Ameland. Voor zover ze een rol zullen spelen bij het landelijke beleid ten aanzien van gaswinning in het waddengebied hoop ik dat politieke partijen en natuur- en milieuorganisaties er in een rationele sfeer gebruik van zullen maken. Hoe dan ook, de resultaten zijn via het Internet voor iedereen beschikbaar.

Hoe verder? De bodemdaling gaat nog door, zij het in een steeds langzamer tempo. Tegelijk groeit de bezorgdheid over een stijgende zeespiegel waardoor de nu optredende effecten waarschijnlijk het begin zullen vormen van verdergaande ontwikkelingen. Die zouden dan later ook op andere waddeneilanden en elders op de wereld verwacht kunnen worden. Een gewaarschuwd mens telt voor twee, en zorgt dat zijn informatievoorziening actueel blijft!

Dr. J de Vlas



Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2	5.2.2 Indeling van PQ's in groepen.....	43
Inleiding.....	4	5.2.4 Trends in indicatiewaarden.....	43
1 Bodemdaling en zeespiegelstijging.....	7	5.3 Meetreeks duinvalleien.....	47
1.1 Hoe ontstaat de bodemdaling?.....	7	5.3.1 Het onderzoeksgebied.....	47
1.2 Voorspellingen.....	8	5.3.2 Indeling in groepen.....	48
1.3 Metingen en nieuwe voorspelling.....	8	5.3.3 Maaiveldontwikkelingen in het onderzoeksgebied.....	48
1.4 Bodemtrillingen.....	11	5.3.4 Trends in indicatiewaarden.....	49
2 Waterstanden.....	12	5.3.7 Trends in habitattypen.....	51
2.1 De zeespiegel.....	12	5.4 Zeldzame planten.....	53
2.1.1 Scenario's.....	12	5.5 Vergelijking met duinvalleien elders in het waddegebied.....	55
2.1.2 Processen die de hoogte van het zeewater bepalen.....	14	6 Kwelders.....	57
2.1.3 Overschrijdingskrommes.....	16	6.1 Beschrijving Neerlands Reid en De Hon.....	57
2.2 Het grondwater.....	17	6.2 Opslibbing en vegetatie van proefvlakken.....	58
2.3 Inundatie van duinvalleien.....	19	6.2.1 Sedimentatie bij de poefvlakken.....	59
2.3.1 Voorspellingen betreffende de overstroming van duinvalleien met zeewater.....	19	6.2.2 Vegetatie van de proefvlakken.....	60
2.3.2 Inundatie van duinvalleien.....	21	6.3 Maaiveldhoogteontwikkelingen berekend met een sedimentatiemodel.....	60
3 Morfologie Ameland.....	23	6.4 Vlakdekkende vegetatiekarteringen.....	62
3.1 Beschrijving Ameland.....	23	6.4.1 Vegetatiekarteringen Neerlands Reid.....	62
3.2 Noordzeekustlijn.....	23	6.4.2 Vegetatiekarteringen De Hon.....	63
3.3 Engelsmanplaat.....	24	6.5 Ruimtelijk beeld van successie en regressie.....	64
3.4 Suppleties.....	25	6.5.1 Successie en regressie op het Neerlands Reid.....	64
3.5 Lengte Ameland.....	26	6.5.2 Successie en regressie op De Hon.....	65
3.6 Zandplaten in de ZO-hoek.....	27	6.5.3 Conclusies successie en regressie.....	65
3.7 Afslagrand langs de kwelders.....	28	6.6 Verschuivingen in Natura 2000 habitattypen.....	66
3.8 Stormvloedgeulen op de Hon.....	29	6.7 Vergelijking met kwelders van Schiermonnikoog.....	66
4. Wadplaten en wadvogels.....	31	6.7.1 Opslibbing op Ameland versus Schiermonnikoog.....	67
4.1 Vorm en hoogte van de wadplaten.....	31	6.7.2 Successie en regressie op Ameland versus Schiermonnikoog.....	68
4.2.1 Lodingen.....	31	6.8 Broedvogels en nestverlies.....	69
4.2.2 Spijkermetingen.....	33	6.8.1 Kolonievogels.....	69
4.2.3 LIDAR metingen.....	35	6.8.2 Verspreid broedende vogels.....	70
4.2.4 Dalingskom in perspectief van geul- en wadplaatontwikkeling.....	36	7 Maatschappelijke aspecten.....	73
4.3 Vogels van het wad.....	38	7.1 Maatschappelijke verankering van de monitoring.....	73
4.4 Epiloog wadplaten.....	39	7.2 Opvolging van het auditadvies uit 2000.....	73
5 Duinen en duinvalleien.....	41	7.3 Zeespiegelstijging: een maatschappelijk probleem van de eerste orde.....	74
5.1 De zeereep.....	41	8 Audit-advies 2011 en toekomst.....	76
5.2 Meetreeks Duinen.....	42	8.1 Audit-advies 2011 en reactie daarop.....	76
5.2.1 Ligging proefvlakken.....	42	8.2 Voortzetting en ombuigingen.....	79
		9 Onderzoekers die betrokken waren bij het onderzoek.....	81



Inleiding

Deze samenvatting is gebaseerd op de rapporten over de monitoring van de effecten van bodemdaling op Oost Ameland die in 2000, 2005, 2011 en 2017 zijn gepubliceerd en die op het Internet beschikbaar zijn via de website Waddenzee.nl. Bewust is afgezien van literatuurverwijzingen; die zijn in voornoemde rapporten te vinden.

In 1972 kreeg de NAM-toestemming om gas te winnen uit een gasveld dat onder Oost-Ameland, de aangrenzende Noordzee en het wad ten zuiden van Ameland ligt. De gaswinning begon in 1986, en in 1987 begon de bijbehorende bodemdaling. De bodemdaling heeft de vorm van een grote ondiepe schotel die zich uitstrekt van de Noordzee over Ameland tot in de Waddenzee. De helling naar het centrum van de schotel is uitermate flauw en daardoor in het terrein onzichtbaar.

Oost-Ameland is onbewoond. Het bestaat uit strand, zandplaten, duinen en kwelders. De Noordzeekustzone, het strand en de Waddenzee zijn het beheersgebied van Rijkswaterstaat. De duinen en de onbeweide kwelder worden beheerd door It Fryske Gea. De beweide kwelder is in gebruik van de boeren van Buren, het meest oostelijk gelegen dorp van Ameland.



Natuurgebieden van Oost-Ameland. De bodemdalingscontouren anno 2017 zijn globaal aangegeven.



In 1985 was in opdracht van de NAM al een effectenstudie gemaakt waarin mogelijke effecten van bodemdaling werden beschreven. De effecten konden volgens die studie voor de natuur tamelijk ingrijpend zijn: Kwelders die terug zouden keren naar een jonger successiestadium, nattere duinvalleien, langer onder water staande wadplaten en minder wadvogels. Over het algemeen waren dat bepaald geen ontwikkelingen waar de natuurbeheerder van Oost-Ameland, It Fryske Gea, op zat te wachten. Om duidelijkheid te verkrijgen over de optredende effecten, en om zo nodig maatregelen te kunnen nemen verzocht It Fryske Gea (IFG) daarom de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) per brief om een monitoringsprogramma.

De NAM stemde daarmee in, en tijdens een vergadering van NAM, IFG, Rijkswaterstaat en het ministerie van LNV werd in 1986 het verzoek van It Fryske Gea gehonoreerd. Onder leiding van een commissie bestaande uit deskundigen vanuit It Fryske Gea en de betrokken overheden moesten de effecten van de bodemdaling gemonitord worden. De NAM zou het secretariaat voeren en het onderzoek betalen. De commissie kreeg de naam 'Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland', hier verder afgekort als 'Bodemdalingscommissie'. De gegevens die de deelnemende partijen vanuit hun eigen verantwoordelijkheden verzamelden zouden ook ter beschikking staan van de monitoring.

Uiteraard werd het monitoringsprogramma afgestemd op de veranderingen die in de effectenstudie van de NAM voorzien waren. Nu, na 31 jaar, weten we dat die effectenstudie een goede start is geweest. Veel van de destijds opgezette metingen worden nog steeds uitgevoerd, elk jaar opnieuw. De deelnemende partijen stellen nog steeds hun eigen gegevens beschikbaar, en ook werken nog steeds dezelfde instituten mee aan het onderzoek: de NAM zelf, het Waterloopkundig laboratorium (nu Deltares), het IBN (later Imares en Alterra, nu Wageningen Marine Research en Wageningen Environmental Research), en de vogels worden nog

steeds geteld door de Wadvogelwerkgroep Ameland. Daarnaast zijn er ook aanpassingen geweest: Het onderzoek is uitgebreid, het Natuurcentrum Ameland speelt nu een grote rol, de Rijksuniversiteit Groningen is gedurende een aantal jaren betrokken geweest en ook Sovon Vogelonderzoek Nederland is ingeschakeld.

Bij de interpretatie van onderzoeksgegevens was het vaak mogelijk om de reactie van de natuur op de waargenomen bodemdaling direct te relateren aan de effecten van bodemdaling. Een voorbeeld is de vernatting van de duinvalleien in het bodemdalingsgebied. In andere gevallen was dat soms moeilijker. Een voorbeeld is de lengte van de oostpunt Ameland. Die verandert van nature, in een cyclus van circa 20 tot 40 jaar waarin de oostpunt van Ameland aangroeit en weer korter wordt. De lengte van Ameland zegt dus op zich niet zo veel. Wel kan een afwijking van deze cyclus worden geïnterpreteerd als een bodemdalingseffect, maar andere factoren kunnen ook een rol spelen. Andere voorbeelden zijn de weer- en klimaateffecten op de vegetatie, en veranderingen van de vogelstand als gevolg van de schelpdiervisserij of het broedsucces in het arctische gebied.

Zulke invloeden moeten als het ware geëlimineerd worden uit de monitoringsgegevens. Vaak kan dat door vergelijkingen te maken met gebieden zonder bodemdaling. Aanvankelijk is voor wat betreft de vegetaties van kwelders en duinvalleien weinig gebruik gemaakt van vergelijkingen met andere Waddeneilanden omdat de situatie daar toch niet precies identiek was aan te toestand van Oost-Ameland. Maar op aandrang in de audits van de Rijksuniversiteit Groningen zijn die vergelijkingen in de periode 2005-2017 toch gemaakt.



Van het begin af aan hebben de onderzoekers jaarlijks verslag gedaan van hun bevindingen aan de Bodemdalingscommissie en werden de plannen voor het komende jaar in detail besproken. Elke 5-6 jaar werden de resultaten gepubliceerd in de vorm van een integraal en openbaar rapport. De cyclus van 5-6 jaar had een praktische reden: De effecten van één of enkele cm bodemdaling zijn waarschijnlijk niet meetbaar ten opzichte van alle andere variaties in de natuur, en het heeft dan weinig zin om daarover te willen rapporteren.

De rapporten van 2000, 2005 en 2011 zijn becommentarieerd door een onafhankelijke auditcommissie; de eerste twee door de Rijksuniversiteit Groningen en de laatste door de Waddenacademie. Ook het voor u liggende rapport van 2017 zal weer worden becommentarieerd door de Waddenacademie. De commentaren van de auditors zijn steeds gebruikt om het monitoringsprogramma waar nodig aan te passen.

Sinds 2005 is er ook een monitoringsprogramma in verband met de bodemdaling door gaswinning vanaf Lauwersoog en de Friese kust. Deels vindt die daling plaats in het kombergingsgebied van het Pinkegat, dus in hetzelfde kombergingsgebied waar ook de bodemdalingsschotel van Ameland ligt. Ook al gaat het om twee aparte programma's, de gegevens die in het overlappende deel van het werkgebied worden verzameld worden gebruikt in beide monitoringsprogramma's. Voor wat betreft het onderzoek is er dus geen sprake van dubbel werk.

Tot slot een enkele opmerking over de planning voor de toekomst. In 2006 is een plan gemaakt om tot het jaar 2020 door te gaan. In 2020 kan de monitoring om twee redenen niet beëindigd worden. Ten eerste geldt er nu een vergunning krachtens de Wet Natuurbescherming die monitoring voorschrijft zolang er gas gewonnen wordt (het huidige winningsplan geldt tot 2035). Ten

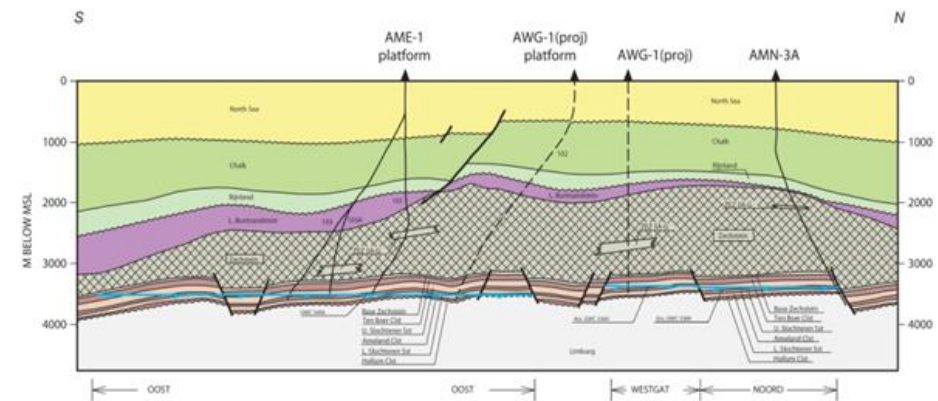
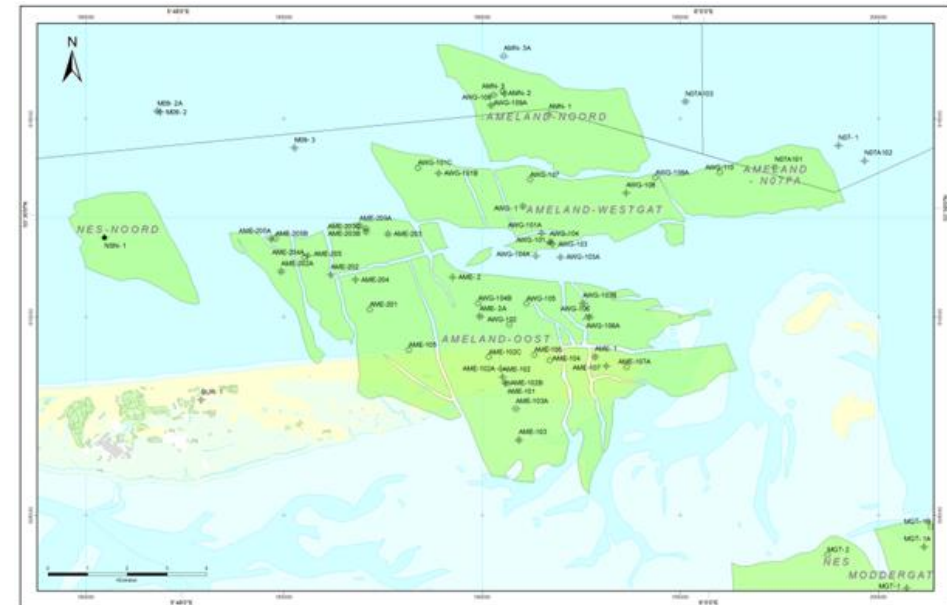
tweede: het moment om te kunnen stoppen hangt samen met de snelheid van de bodemdaling. Die is nu nog steeds relevant dus ook daarom moet het monitoringsprogramma voortgezet worden. Wel zal naar verwachting de zeespiegelstijging -met precies dezelfde effecten als bodemdaling- een steeds grotere rol gaan spelen en uiteindelijk gaan overheersen.

1 Bodemdaling en zeespiegelstijging

Dit hoofdstuk bevat een korte beschrijving van de Amelander gasvelden (geologie, productie) en de metingen die zijn uitgevoerd om de bodemdaling te monitoren. De metingen van de hoogteligging van het maaiveld worden uitgevoerd door middel van waterpassing en door gebruik van satellieten via GPS. Voorspellingen over nog te verwachte bodemdaling en de vorm van de bodemdalingsschotel worden gedaan met behulp van ondergrondmodellen. In 2011 zijn de ondergrondmodellen opnieuw gevalideerd en gekalibreerd met de bodemdalingmetingen en is een gewijzigd winningsplan ingediend. Sindsdien is het model in het kader van de Meet- en Regelcyclus jaarlijks gekalibreerd aan de gemeten bodemdaling. In dit hoofdstuk worden behalve de resultaten van de metingen en de daaruit afgeleide kaarten ook de bodemdalingprognoses gegeven.

1.1 Hoe ontstaat de bodemdaling?

De bodemdaling op Oost-Ameland is het gevolg van gaswinning uit een zandsteenlaag op ongeveer 3300 meter diepte. Deze laag is circa 110 meter dik. De poriën tussen de zandkorrels in het bovenste deel van die laag zijn gevuld met gas; in de poriën van het onderste deel zit water. De zandsteenlaag is door breuken verdeeld in aan elkaar grenzende schollen van enkele km² grootte die elk apart moeten worden aangeboord. Het gas is afkomstig van steenkool op nog grotere diepte, waaruit door de combinatie van hogedruk en hoge temperatuur gas vrij komt. Het is in de loop van miljoenen jaren omhooggekomen totdat het gevangen raakte in de zandsteenlaag. Verder naar boven kon niet want daarboven zit een dikke laag steenzout die ondoordringbaar is voor aardgas.



Boven: Ligging van het Ameland gasveld (groen) en de daarin aanwezige putten. Onder: Dwarsdoorsnede van de sedimentlagen in de ondergrond van Oost Ameland. De bruin gekleurde zandsteenlaag onderverdeeld in schollen die apart moeten worden aangeboord om het gas er uit te halen. Daarboven ligt een dikke laag steenzout (grijs gearceerd) die ervoor heeft gezorgd dat het gas niet naar de atmosfeer kon ontsnappen.



Het gas had aanvankelijk een druk van 570 bar. Anno 2017 is daar nog ongeveer 50 bar van over. Wanneer de gaswinning rond 2045-2050 wordt beëindigd zal de einddruk naar verwachting 30 bar zijn.

De bodemdaling komt tot stand door het gewicht van alle sedimentlagen die zich boven het gasveld bevinden. Tot in het jaar 1986 heeft de gasdruk met 570 bar geholpen om dat gewicht op te vangen. Daarna moesten de zandsteenkorrels het steeds meer zelf doen met als gevolg dat de zandsteenlaag iets werd samengeperst (compactie). Waarschijnlijk gold dat niet alleen voor de poriën die met gas gevuld waren, maar ook voor de met water gevulde poriën daaronder en eventueel opzij. Een dichtere pakking van de zandsteenkorrels kan tot stand komen doordat de zandkorrels langs elkaar schuiven, maar daarbij kunnen er ook kleine hoekjes en randjes van afbreken. Door het samenspel van deze verschijnselen was het volume van de bodemdaling in 1986 niet precies te voorspellen.

Het volume van de bodemdalingsschotel aan het aardoppervlak is identiek aan de mate waarin de zandsteenlaag wordt samengeperst, maar de vorm ervan is ook afhankelijk van de bovenliggende lagen. De berekeningen betreffende de compactie van de zandsteenlaag vorm van de bodemdalingsschotel zijn in de loop der jaren steeds verder verbeterd en gekalibreerd aan de waargenomen bodemdalingsschotel aan het oppervlak.

1.2 Voorspellingen

In 1986 is, voordat de bodemdaling begon, een voorspelling gemaakt van de bodemdalingsschotel zoals die er uit zou kunnen zien na beëindiging van de gaswinning. Volgens die voorspelling zou de dalingskom een doorsnee krijgen van ongeveer 18 km (tot

aan de 2 cm contour) en een volume van ongeveer 28 miljoen m³. Zoals het er anno 2017 uitziet zal de dalingskom kleiner worden, met een doorsnee van ongeveer 12 km (tot aan de 2 cm contour) en een volume van ongeveer 23 miljoen m³. Het centrum van de schotel wordt wel dieper dan aanvankelijk verwacht, namelijk tussen 39 en 42 cm in plaats van tussen 21 en 31 cm.

Verwachte bodemdaling in het diepste punt van de kom, het volume van de kom en het zandhonger volume zoals bepaald is voor de verschillende versies van de prognoses.

Prognose	Diepte in cm	Volume (10 ⁶ m ³)	Bijdrage zandhonger Waddenzee (10 ⁶ m ³)	Bijdrage landdaling Ameland (10 ⁶ m ³)	Bijdrage zandhonger Noordzeekustzone (10 ⁶ m ³)
1985	21-31 (26)	28	22,5		
1991	14-22 (18)	18	14,5		
1998	28-32 (28)	14-18	10		
2003	31-37 (34)	22	9		
2011	37-42 (39)	20	5	3	12
2016	39-42 (41)	23	8	4	11

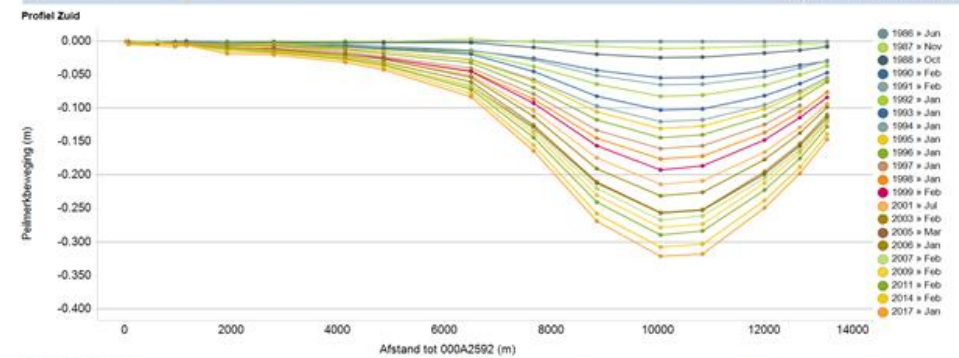
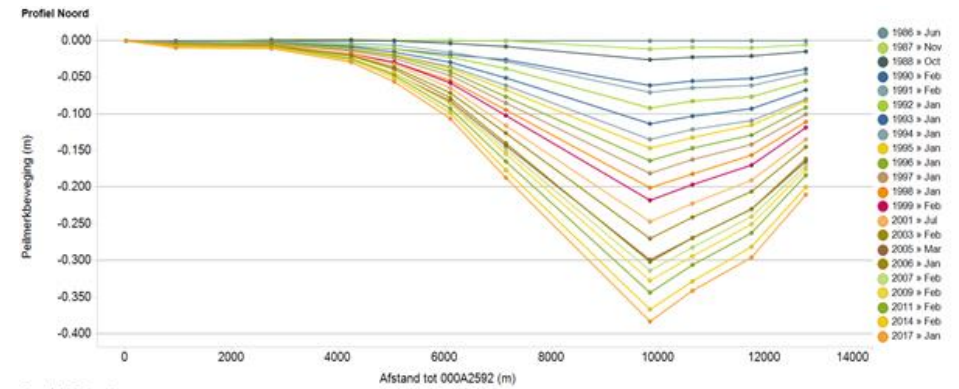
1.3 Metingen en nieuwe voorspelling

Op Ameland is de bodemdaling vanaf 1986 gemeten door middel van waterpassing. Waterpassing is een zeer nauwkeurige methode waarmee uitgaande van een vast referentiepunt tot op enkele mm nauwkeurig de hoogte van andere punten kan worden bepaald. Op Ameland wordt een meetpunt in Nes gebruikt als vast referentiepunt. Nes is gekoppeld aan het landelijk meetnet en daarvoor geschikt omdat de ondergrond van Nes tot op vrij grote diepte uit zand bestaat en dus niet inklinkt. In onderstaande figuur is het meetnet gegeven met de lijnen waarlangs de waterpassing wordt uitgevoerd. De blauwe cijfers geven de sinds 1986 gemeten daling aan.



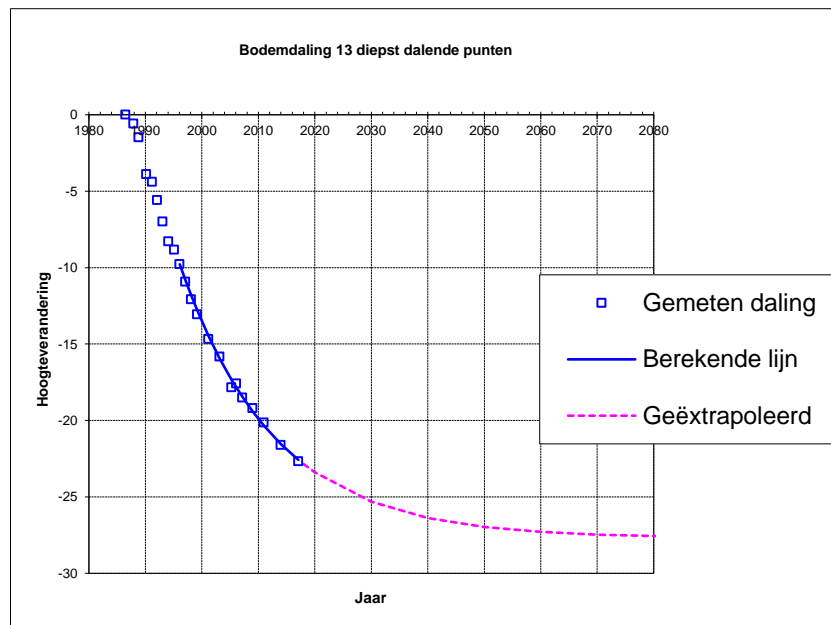
Waterpassingstrajecten op Oost Ameland met de daling van de primaire peilmerken tussen 1986 en 2017 (mm).

Wanneer de daling per punt van jaar op jaar van west naar oost wordt uitgezet ontstaan doorsnedes van de dalingskom zoals die zich in de tijd heeft ontwikkeld.



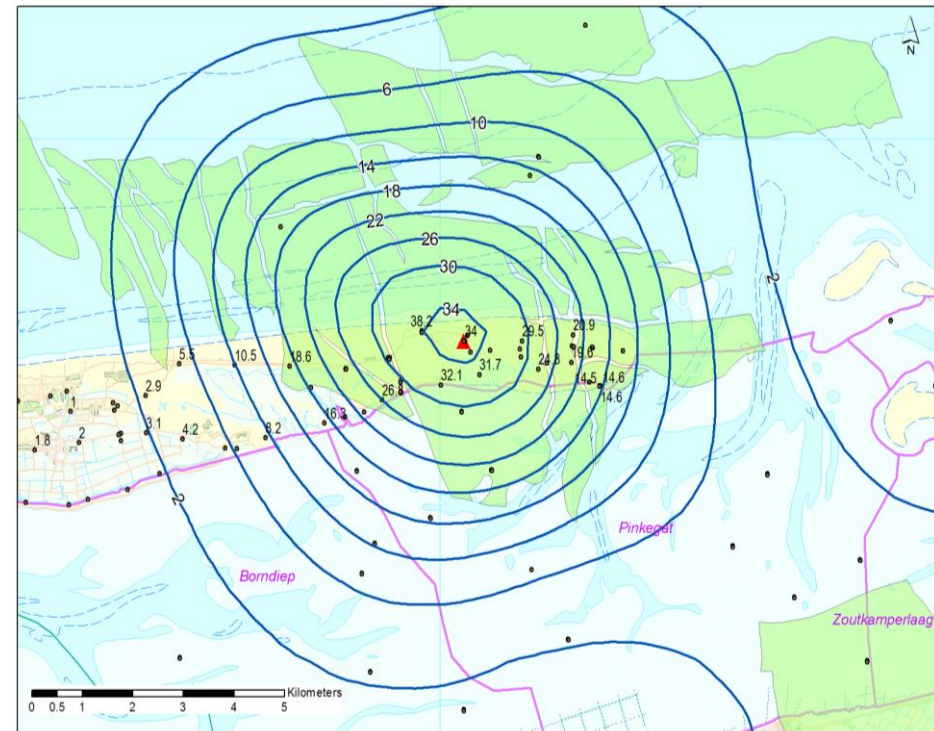
Daling langs de waterpassingstransecten in het noorden en het zuiden van Ameland-Oost, tussen 1986 en 2017.

Uit deze waterpassingsgegevens is ook de dalingsnelheid per punt af te leiden. Als voorbeeld is hieronder de gemiddelde dalingsnelheid gegeven van 13 meetpunten in het centrale deel van de bodemdalingsschotel. De dalingsnelheid nam vanaf 1986 eerst toe totdat tussen 1992 en 1996 de maximale dalingsnelheid van ongeveer 1,3 cm per jaar was bereikt. Daarna nam de jaarlijkse daling af; voor het gemiddelde van deze punten met ongeveer 5,8% per jaar. Anno 2017 is de gemiddelde dalingsnelheid voor deze meetpunten afgenomen tot ongeveer 0,3 cm per jaar. Extrapolatie van de afname van 5,8% per jaar zou betekenen dat die snelheid in de periode 2045-2050 afneemt tot minder dan 0,1 cm per jaar en dat de lijn uitkomt op een gemiddelde daling van 27,7 cm.



Gemiddelde daling van 13 meetpunten in het centrum van het dalingsgebied, zonder het punt bij de NAM-locatie. De berekende lijn laat elk jaar een afname van de dalingsnelheid zien van 5,8%. De lijn heeft de als vergelijking: $(27,7 - \text{daling in 1996}) \times 0,942^{\text{(jaren vanaf 1996)}} - 27,7$

Aan het oppervlak manifesteert de bodemdaling zich volgens de geologische modellen als een enigszins vierkantige kom die in het zuidoosten overgaat in de bodemdaling door gasvelden langs de Friese kust. De werkelijk waargenomen daling in 2017 van de meetpunten op Ameland past uitstekend bij deze contouren, en de voorspelde daling tot 2050 komt overeen met de dalingsnelheid in de hierboven gegeven figuur.



Bodemdaling door gaswinning sinds 1987 (Ameland en overige op dit moment geëxploiteerde Waddenvelden) In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling. De rode driehoek geeft de positie aan van de continue GPS metingen aan die uitgevoerd zijn sinds 2007.



1.4 Bodemtrillingen

Drukdaling in de gasvoerende lagen kan onderlinge beweging tussen gesteentelagen veroorzaken. Dit kan zich soms aan de oppervlakte manifesteren in de vorm van bodemtrillingen. De monitoring van deze bodemtrillingen wordt uitgevoerd door KNMI met behulp van een daartoe aangelegd netwerk van seismische registratieapparatuur.

Sinds het begin van de productie zijn er 2 lichte aardbevingen in 2005 en 2013 door het KNMI op Ameland-Oost geregistreerd. Beide bevingen hadden een magnitude van 1,8 op de schaal van Richter. Doorgaans worden bevingen met deze magnitude niet gevoeld. Er zijn dan ook geen meldingen bekend van deze bevingen.



2 Waterstanden

2.1 De zeespiegel

Bodemdaling en zeespiegelstijging zijn in zekere mate optelbaar wat betreft de lokale gevolgen. In beide gevallen komt het zeewater hoger te staan ten opzichte van kwelders en duinen. De monitoring van de bodemdaling op Ameland was gericht op het vaststellen van de gevolgen van de bodemdaling op de natuur, conform het verzoek van It Fryske Gea. Zeespiegelstijging (ZSS) speelde hierin geen rol. In 1986 werd nog uitgegaan van een continue stijging van circa 18 cm per eeuw inclusief een zogeheten geosynclinale daling van het hele gebied. Zorg over versnelde zeespiegelstijging werd pas concreet voor Nederland met het uitbrengen van het advies van de Deltacommissie op 3 september 2008 “Een veilige toekomst voor de Nederlandse delta”.

Ook in het lange termijn monitoringplan voor de bodemdaling op Ameland: “Monitoringsplan Ameland bodemdaling 2006-2020” speelde zeespiegelstijging daarom nog geen rol. In een nieuw op te stellen lange termijnplan voor de periode na 2020 zal zeespiegelstijging in de toekomst ongetwijfeld in de vorm van de dan bekende scenario's medebepalend voor het programma worden.

Dit wil echter niet zeggen dat zeespiegelstijging geen rol heeft gespeeld in de monitoring, maar het belang was tot op heden wel ondergeschikt (maar niet te verwaarlozen) zoals mag blijken uit de volgende globale gegevens:

Overzicht van de bodemdaling ten opzichte van de zeespiegelstijging verschillende delen van het bodemdalingsgebied

Periode 1986-2017	Kwelder (midden Neerlands Reid)	Wadrand (ter hoogte Oerderduin)	Hart schotel (duinvallei ten westen van gaswinlocatie)
Bodemdaling	16 cm	24 cm	38 cm
Zeespiegelstijging	6 cm	6 cm	6 cm
Totaal	22 cm	30 cm	44 cm
Aandeel ZSS	27%	20%	16%
Relatieve ZSS per eeuw	73 cm/eeuw	100 cm/eeuw	147 cm/eeuw

Duidelijk is wel dat de monitoring zoals die in 1987 is gestart met het oog op mogelijk toekomstige zeespiegelstijging een goede indicatie vormt voor wat zou kunnen gebeuren in het hele waddengebied.

2.1.1 Scenario's

Voor de projecties naar de nabije toekomst en in dit rapport en het opstellen van een nieuw monitoringsplan voor na 2020 is uiteraard de vraag aan de orde welke scenario's in beschouwing moeten worden genomen. In het advies van 2008 werden verschillende scenario's voor zeespiegelstijging in beschouwing genomen, waaronder een toen extreem geacht scenario van 140 cm per eeuw. Is dat echter voldoende concreet en realistisch en per wanneer gaat dat scenario dan in werking?

Nu heeft het onderzoek op dit gebied na 2008 niet stilgestaan en is er nog altijd veel discussie over toekomstige zeespiegelstijging. Zelfs is de mogelijk geopperd of het zeespiegelniveau in de Noordzee niet zelfs zou kunnen dalen als Groenland afsmelt, door verandering van de gravitatie. Dat laatste lijkt niet realistisch; aan het einde van het Eemian, het voorgaande interglaciaal, toen



Groenland vrijwel afgesmolten stond de zeespiegel ook in Nederland circa 6 meter hoger stond dan nu.

De huidige voorspellingen voor het einde van deze eeuw variëren tussen 60 cm per eeuw en 140 cm per eeuw. Het zou echter ook nog sneller en verder kunnen gaan. Een nauwkeuriger voorspelling voor de toekomstige zeespiegelstijging is echter nu nog niet te geven door onzekerheden die samenhangen met o.a. Antarctica en het ontdooien van de permafrost; het voorspellen van bodemdaling door gaswinning is hiermee vergeleken veel eenvoudiger.

Tot op dit moment (2017) vertoont de stijging van de zeespiegel langs de Nederlandse kust (nog) geen versnelling. De metingen van Rijkswaterstaat op diverse meetpalen zijn zeer nauwkeurig en betrouwbaar. Een analyse van deze waarnemingen van de meetpaal Nes, die maatgevend is voor de getijden aan de wadzijde van Ameland toont aan dat het gemiddeld zeeniveau over de afgelopen 30 jaar gestegen is met een snelheid van ruim 18 cm per eeuw en zelfs iets minder als gecorrigeerd wordt voor de natuurlijke astronomische cycli. De hoogwaters zijn echter wel meer toegenomen, namelijk bijna 23 cm per eeuw over de afgelopen 52 jaar (zie elders in dit hoofdstuk voor een nauwkeurige uitwerking). Dit is uiteraard van belang voor het bepalen van de overstromingsfrequentie van de kwelders.

Hoewel voor de Nederlandse kust (en zuidelijke Noordzee) nog geen versnelling van de zeespiegelstijging is waar te nemen, betekent dat niet dat dit elders ook het geval is, want de gemiddelde oceaanniveaus stijgen wel degelijk. In mei 2015 werd een studie gepubliceerd van wereldwijde zeespiegelstijging met behulp van satellieten. Hiermee werden eerdere schattingen op basis van satellietgegevens verfijnd, want ook satellieten hebben zo hun beperkingen vanwege de benodigde correcties nodig voor atmosferische omstandigheden. De schatting kwam uit op een

waarde tussen $+2.6 \pm 0.4$ mm jr^{-1} en $+2.9 \pm 0.4$ mm jr^{-1} (Nature Climate Change 5, 565–568 (2015)). Een tweede belangrijke doorbraak in het onderzoek naar recente zeespiegelstijging werd februari 2016 gepubliceerd door onderzoekers van de Rutgers University. Zij deden onderzoek naar zeespiegelstijging in de afgelopen 2800 jaar en kwamen tot de conclusie dat de wereldwijde stijging na 1993 is opgelopen tot 30 cm per eeuw. Lange tijd daarvoor was de mondiale stijging circa 14 cm per eeuw. Belangwekkend was het feit dat er nu voor het eerst een jaartal voor de omslag werd vastgesteld: 1993 en een goed onderbouwde snelheid van 3 mm per jaar.

Op basis van de best beschikbare informatie moeten we dus wel concluderen dat wereldwijd de zeespiegel versneld stijgt, maar dat dit in de Noordzee en Waddenzee (op basis van zeer nauwkeurige metingen en analyses) niet meetbaar het geval was voor de periode van de monitoring van de bodemdaling op Ameland tot op heden. De reden hiervoor is niet bekend maar wordt toegeschreven aan luchtdrukverdelingen en voortplanting van de getijdengolf in de Noordzee.

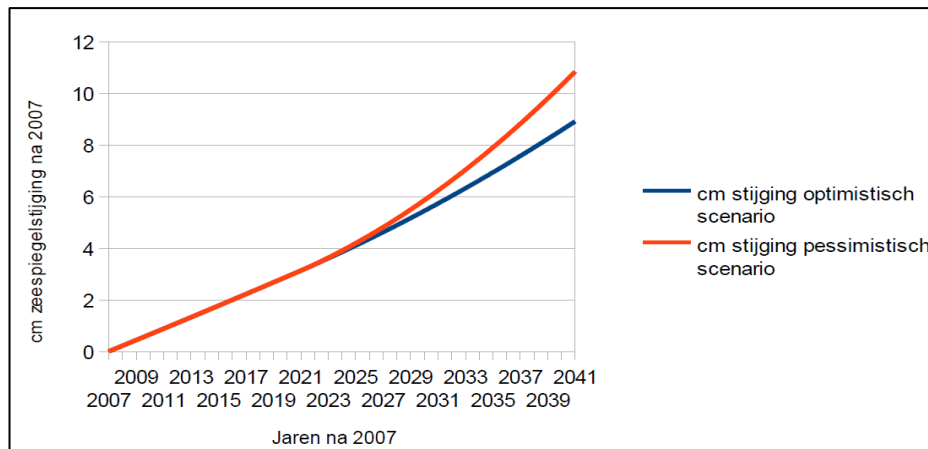
Tot op heden zijn er dus geen grote veranderingen opgetreden in het gemiddelde zeeniveau en het ligt niet in de verwachting dat dit nu plotseling zal gebeuren. Dat betekent dat aangenomen mag worden dat de huidige trendlijn zich binnen de looptijd van het monitoringsplan 2006-2020 niet sterk zal wijzigen.

Voor een beeld van de toekomst moeten we vooral kijken naar wat deskundigen adviseren over de periode na 2020 waarbij voor de Nederlandse situatie die deskundigheid wat betreft toekomstscenario's is neergelegd bij het KNMI. Ten aanzien van de winning van Delfstoffen is TNO echter de belangrijkste adviseur van het ministerie van Economische Zaken. Vanwege de winning van onder andere aardgas van onder de Waddenzee heeft EZ



(evenals in 2007 en 2011) een herzien advies gevraagd aan TNO betreffende de komende periode 2016-2021 en om dat advies uit te brengen in overleg KNMI en Deltares.

Dat heeft geleid tot een redelijk optimistisch-realistisch scenario en gaat uit van een zeespiegelstijging van circa 40 cm in het jaar 2100. Voor de periode na 2021 is er dus nog veel onduidelijkheid. Om die reden heeft de Bodemdalingscommissie besloten om voor een toekomstbeeld ook uit te gaan van een meer pessimistisch scenario, namelijk een zeespiegelstijging van circa 70 cm in 2100. Dit is het midden van het hoge scenario van KNMI 2014 en geeft dan een bandbreedte waarbinnen toekomstige monitoringactiviteiten (monitoringsplan 2020-2040) bijgesteld, dan wel opgezet kunnen worden. De berekende trendlijnen zijn weergegeven in onderstaande figuur voor de periode 2007 tot 2040.



Scenario's voor de snelheid van zeespiegelstijging, op basis van scenario's van TNO en het KNMI, die in deze studie zijn gebruikt voor de periode 2021-2040.

2.1.2 Processen die de hoogte van het zeewater bepalen

Bij getijdebewegingen spelen vele processen een rol. Sommige van die processen vormen een vast patroon. De vier belangrijkste worden hier kort aangeduid.

Ten eerste is sprake van een **basis-getijde**. Dat is een min of meer sinusoïde beweging van het water met een cyclus van gemiddeld 12 uur en 24 minuten. Deze basale getijdebeweging wordt veroorzaakt door de omloop van zon, maan en de draaiing van de aarde zelf.

De volgende cyclus is **springtij en doortij**. Deze volgt de maancyclus van 29,5 dagen. Springtij is in Nederland 3 dagen na volle maan. Hoogwaters bij Ameland variëren van +1,25 m NAP met springtij tot +0,80 m NAP met doortij. Voor de regelmatige overfloeding van kwelders is dat een belangrijk gegeven; het betekent dat gebieden die lager liggen dan +1,25 m NAP regelmatig onder lopen, zelfs zonder effecten van lage druk en wind-opzet.

Daarop volgt de **jaarcyclus**. In de winter is de afstand zon-aarde het kleinst en zijn er gemiddeld veel perioden met lage luchtdruk. In die periode zijn de waterstanden gemiddeld hoger dan in de zomer en zijn de getijden het heftigst. Hoogwaters tijdens springtij liggen 's winters rond de +1,35 m NAP en zomers circa 20 cm lager. Om die reden overstromen de kwelders 's winters vaker dan zomers en moet de zogeheten hoogwaterfrequentie om de invloed van overstromingen van nesten en plantengroei te bepalen apart berekend worden voor de broedperiode en de periode van vegetatieontwikkeling.

Tot slot blijkt dat zeespiegelstijging en met name de langzame cycli ook doorwerken naar het zoete grondwater. Zo kan de getijde beweging van de zee onder de kwelder gevolgd worden tot een

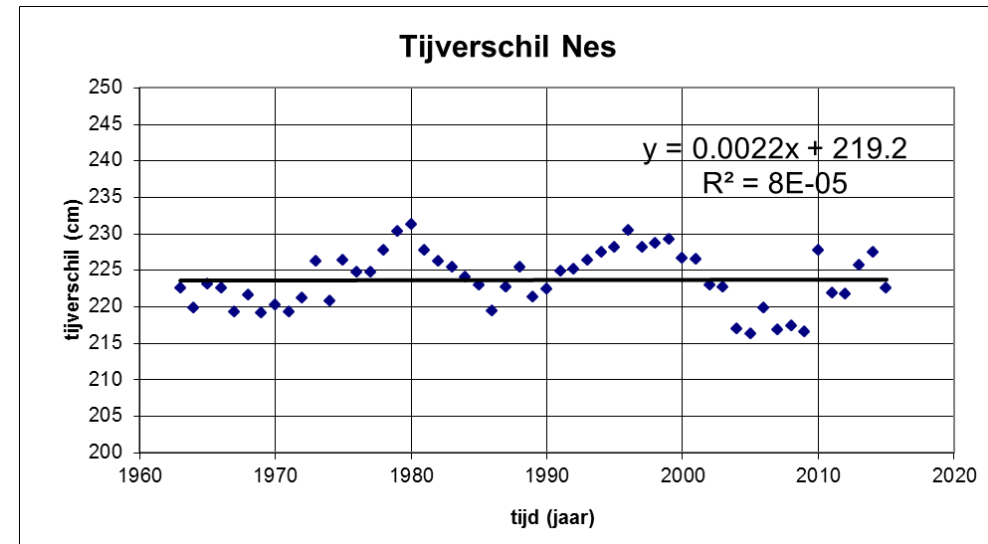


afstand van 50 meter van de wadrand met een vertraging van maar enkele minuten. Het zoete water drijft namelijk op het zoute water daaronder. Staat het zeewater gemiddeld iets hoger in de winter, dan is het verhang (de afstroming) kleiner en ontstaan plassen en meertjes. Bodemdaling en zeespiegelstijging versterken dit.

Een laatste opmerking betreft het weer. Het weer is veel moeilijker te voorspellen en voegt een variatie toe die zich slechts over jaren laat bepalen. Het gaat dan vaak om abrupte verschijnselen, zoals droge zomers of stormen die in het ene jaar heftiger zijn dan in het andere jaar en het beeld volledig kunnen overheersen. Mede om die reden is destijds besloten jaarlijks de resultaten van de monitoring met de commissie door te nemen en de monitoringsrapporten maar eens per circa 6 jaar uit te brengen.

Minder bekend is de **18.6 jarige cyclus** ten gevolge van een cyclus in het maanvlak. Dit zou je kunnen beschouwen als een traag en minder drastisch spring- en doortij. De hoogwaters nemen geleidelijk met 5 cm toe en de laagwaters met 5 cm af. Met de toename stijgt ook het gemiddeld zeeniveau met circa 2 cm. Het lijkt allemaal niet veel, maar het gaat wel om een toename in de overvloedingshoogte van 7 cm over een periode van 9 jaar. Dat is eenzelfde grootte orde als 30 jaar zeespiegelstijging. Om die reden moeten schattingen voor de snelheid van zeespiegelstijging rekening houden met deze periode van 18,6 jaar. Rond 2006 was het verschil tussen eb en vloed circa 10 cm kleiner dan in 2015. De komende jaren zullen de verschillen en dus ook hoogwaterstanden geleidelijk weer afnemen tot 2024. De voorspelling voor kwelders en platen is daardoor een netto afname van de overvloedingen omdat de astronomisch voorspelde afname in hoogwaterstanden (-5 cm) meer is dan de toename door voorspelde bodemdaling (+3 cm). Na 2024 nemen de hoogwaters

weer toe maar wordt ook de zeespiegelstijging van groot belang, terwijl de bodemdalingssnelheid verder is afgenomen.



Getijdeverschillen, berekend door de standen van het hoogwater en het laagwater van elkaar af te trekken. Windrichting heeft hierop niet zo veel invloed omdat als het water extra hoog komt, ook de laagwaterstanden verhoogd zijn. De 18,6-jarige cyclus is goed herkenbaar.

Uiteraard hebben weer en wind een veel groter invloed op de overstroming van kwelders en duinvalleien, die kunnen het tij aanjagen tot hoogten van veel meer dan 2 meter boven NAP. Ondanks stormen is deze cyclus goed herkenbaar als de getijverschillen van de afgelopen 30 jaar van de meetpaal Nes worden weergegeven. De komende periode zullen de getijverschillen weer geleidelijk afnemen tot omstreeks 2023 en dan weer toenemen in een steeds herhalende cyclus.

Terwijl het proces van bodemdaling zich sinds 1986 relatief zeer geleidelijk en gelijkmatig in tijd en ruimte over de oostpunt van Ameland voltrekt, wordt het signaal dat dit afgeeft aan de natuur



overschaduwd door natuurlijke getijdencycli en wordt het soms overheerst door weersomstandigheden van veel grotere omvang. Desondanks blijkt het mogelijk de respons van het ecologische systeem op bodemdaling goed in beeld te brengen dankzij de ononderbroken monitoring gedurende afgelopen 30 jaar.

2.1.3 Overschrijdingskrommes

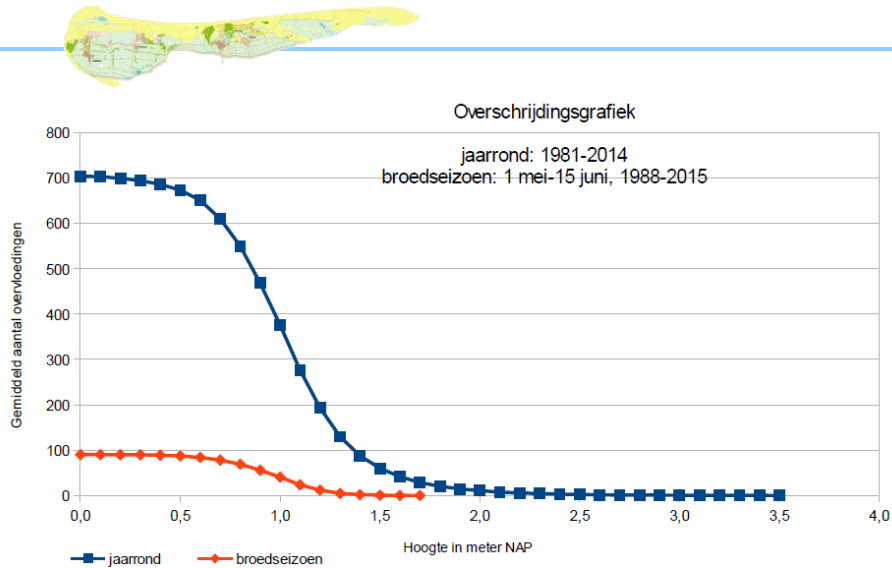
Om te bepalen of voor broedende vogels en beschermde plantensoorten een overstromingsrisico geldt, moeten de getijden dus geanalyseerd worden voor specifiek de maanden van het broed- en groeiseizoen. Dat is anders dan voor veilige dijkhoogten die stormvast moeten zijn, dan zijn de hoogwatergegevens van het hele jaar van belang.

In onderstaande tabel wordt weergegeven hoe vaak per jaar een bepaalde hoogte wordt bereikt door het zeewater. Die hoogten staan links in de tabel in meters NAP. Geheel rechts staat het berekende gemiddelde voor de jaren 1981 tot 2014. Het hoogste waterpeil dat in 2014 werd bereikt was dus +310 cm NAP. De kwelder Neerlands Reid, met een gemiddelde hoogte van +140 cm NAP liep in 2014, over het gehele jaar gerekend dus 75 maal onder. In 1986 was de kwelder nog niet gedaald en stond de zeespiegel gemiddeld bijna 6 cm lager. Sommige delen lagen daardoor circa 20 cm hoger en liepen toen maar 45 keer onder.

Table with columns for 'Niveau (m + NAP)', 'Aantal HW-overschrijdingen per jaar', and years from 1981 to 2014. The table contains numerical data representing the frequency of water level exceedances for various heights.

Het aantal malen per jaar dat een zekere hoogte (eerste kolom) wordt overschreden door het waterniveau zoals gemeten op de meetpaal Nes. De laatste kolom geeft het gemiddelde van de jaren 1981-2014.

Nu heeft deze tabel op jaargemiddelden, waarin vooral de winterse waterstanden het beeld bepalen. In de zomer komen de hoogwaters gemiddeld 20 cm minder hoog en zijn er vrijwel geen stormen met diepe depressies. Om die reden is er aanvankelijk sprake van een redelijk veilig beweidings- en broedseizoen en vindt de opslibbing met name in het winter halfjaar plaats. Als de aanwas van een kwelder door veroudering, zeespiegelstijging of bodemdaling achter gaat lopen dan kan de kans op overstroming uiteraard toenemen (zie broedvogels en nestverlies).



Analyse van de overstromingsfrequentie van de kwelder op basis van getijdengegevens van de meetpaal Nes. Gemiddeld is het per jaar circa 700 keer hoogwater, gedurende het broedseizoen van 6 weken circa 100 keer (Y-as). De bereikte waterhoogten zijn weergegeven op de X-as in meter NAP. De kwelder heeft een gemiddelde hoogte van +1,40 m NAP. In de winter wordt dat niveau vaak overschreden en tijdens het broed- en beweidingsseizoen alleen tijdens zeldzame zomerstormen.

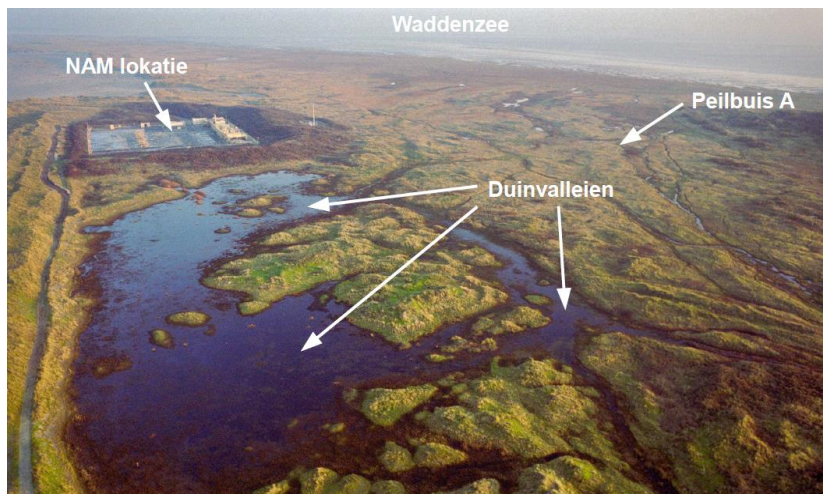
2.2 Het grondwater

Tot slot blijkt dat bodemdaling, zeespiegelstijging en getijden niet alleen van belang zijn voor de zandtransporten langs het strand, de aanvoer van zand naar het wad, voedingsstoffen en plankton naar het wad, het droogvallen van platen zodat vogels voedsel kunnen vinden en de afzetting van slib op de kwelders, maar dat met name de langzame cycli ook doorwerken in het zoete grondwater. Dit komt eenvoudig omdat het zoete water drijft op het zoute water als een ijsberg in de zee. De reden dat het zoete water zich niet vermengt met het zeewater en wegstroomt is dat het zich tussen de zandkorrels bevindt en een soort van drijvende bel vormt die meebeweegt met de zee en op peil gehouden wordt

door de regen. Zo kan het dat de getijdenbeweging van de zee onder de kwelder waargenomen kan worden tot een afstand van 50 meter van de wadrand met een vertraging van maar enkele minuten en dat als de zeespiegel stijgt, of de bodem daalt, het grondwater ten opzichte van het maaiveld, omhoog komt.

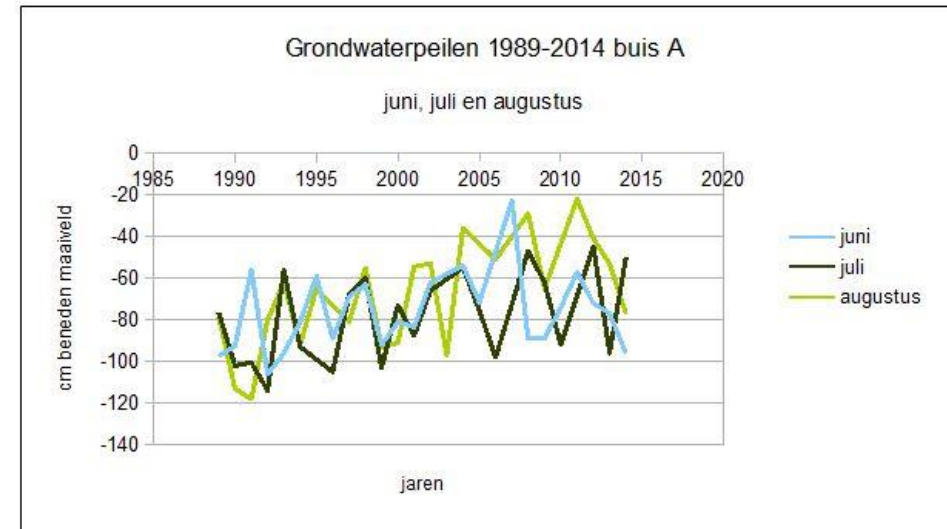
Ook hier is de natuurlijke variatie heel groot en meer dan een meter. Met een regenbui waarbij enkele millimeters valt, stijgt het grondwater namelijk even plotseling met centimeters en als in het voorjaar de temperatuur stijgt en de plantenwereld ontwaakt daalt het grondwater met decimeters. De eerste jaren van de gaswinning werd het gevolg van bodemdaling en zeespiegelstijging volledig overschaduwd door de natuurlijke processen en het weer en is er maar één manier om het gevolg van bodemdaling zichtbaar te maken: veel geduld en heel lang doormeten.

Dit blijkt al duidelijk uit de metingen aan een enkele meetbuis. Als voorbeeld dient meetbuis A, gesitueerd tussen de gaswinlocatie en het Oerderduin, in het hart van de schotel en naast een laaggelegen vallei die de laatste jaren 's winters vaak onder water staat.



Vliegerfoto van de oostpunt van Ameland, enkele dagen na een storm die de valleien gevuld heeft met zeewater. Tevens is aangegeven de positie van meetbuis A en van de gaswinlocatie. Tevens zichtbaar zijn de voormalige slenken waarlangs het zeewater vanaf het wad is binnengestroomd en ook is uitgestroomd. De drempelhoogte is bepalend voor de uitstroom.

Zelfs in de zomer als de grondwaterstand laag is, fluctueert de grondwaterstand met tientallen centimeters. Elke regenbui heeft dus onmiddellijke, meetbare gevolgen. Dat patroon is consequent zichtbaar in elke maand en elk jaar. Ook zichtbaar is de langzame stijging van het grondwater gedurende de jaren van -90 cm onder het maaiveld voor de gaswinning tot -50 cm in de afgelopen jaren. Dit stijging wordt veroorzaakt door bodemdaling en zeespiegelstijging en is een belangrijke oorzaak van het vernatten van de duinvalleien.



De stijging van het grondwater in de periode 1989 tot 2015. Buis A is geplaatst tussen de NAM-locatie en het Oerderduin tussen kwelder en duinvalleien. Weergegeven zijn de zomerpeilen ten opzichte van maaiveld (thans +1,75 m NAP). Duidelijk zichtbaar is dat zelfs in de zomer grote wisselingen in niveau optreden, maar ook dat het grondwaterniveau geleidelijk stijgt met een waarde die globaal overeenkomt met de som van bodemdaling (35 cm) en zeespiegelstijging (5 cm). Bij een peilhoogte van circa 1,45 m NAP (20-30 cm beneden maaiveld) blijft er water in de valleien staan.

In geval van deze vallei ten westen van de gaswinlocatie wordt de stijging van het grondwater voor 84% door de bodemdaling veroorzaakt, de zeespiegelstijging en het daardoor omhoogkomen van de wadplaten en groei van de kwelder dragen bij voor 16% door stuwning en afname van de afstroming van grondwater naar zee en het wad.

Een belangrijke les voor de toekomst is dat een versnelde zeespiegelstijging op termijn op alle waddeneilanden zal kunnen leiden tot vernatting van duinvalleien en zelfs het ontstaan van duinmeertjes.



Afhankelijk van de ligging van de bodemdalingsskom ten opzichte van de afwateringsrichting van duinvalleien en kwelders zou natuurlijk ook stagnatie van waterafvoer kunnen ontstaan, bijvoorbeeld na hevige regenval of overspoeling met zeewater. De beweide kwelder (Het Neerlands Reid), draineert grotendeels via de Oerdsloot in het noorden en oosten en via een klein deel via de Zinkesloot in de zuidwest hoek. De bovenloop van de Oerdsloot loopt niet ver van de Kooi-Oerd stuifdijk van west naar oost en buigt dan vrijwel haaks naar het zuiden. De Zinkesloot loopt van noord naar zuid. Omdat de bodemdaling in het westen het sterkst is, wordt de afwatering dus eerder versterkt dan belemmerd.

Ook voor de duinvalleien ten noorden van Neerlands Reid en het Oerderduin geldt dat de bodemdaling in het oosten het grootst is en de afstroming naar het oosten dus eerder bevorderd wordt dan geremd. Dat geldt echter niet voor het laatste stuk over de kwelder. Daar is door de bodemdaling over een afstand van 600 a 700 meter een vermindering van de afstroming ontstaan van ongeveer 3 cm omdat de wadrand minder daalde dan de valleien ten noorden daarvan. Daar komt bij dat sinds het begin van de bodemdaling in 1986, de kwelder ten zuiden van de NAM-locatie met circa 10 cm is opgeslibd en de begroeiing met duinriet in dat deel is toegenomen. Daardoor kan er mede door afplaggen van valleien, bodemdaling en zeespiegelstijging iets gemakkelijker water blijven staan in de vallei direct ten westen van de NAM-locatie, maar kan het zeewater de valleien ook moeilijker bereiken.

De kwelder van de Hon draineert ook naar het zuiden. Direct ten zuiden van de NAM-locatie is ook voor de kwelder van de Hon een vermindering van de drainagegradiënt ontstaan van ongeveer 3 cm. Bij verdergaande bodemdaling blijft die vermindering ongeveer 3 cm.

2.3 Inundatie van duinvalleien

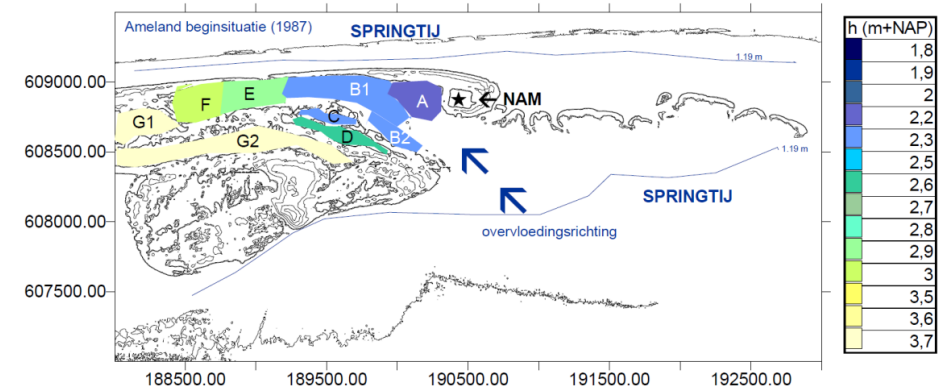
In de voorspellingen van 1985 was al voorspeld dat de duinvalleien natter zouden worden, als gevolg van grondwater dat door de bodemdaling dichterbij het maaiveld zou komen. Om te kunnen constateren of en in welke mate dat echt zou gebeuren werden wel grondwaterbuizen geplaatst. Een ander aspect van de waterhuishouding was niet voorzien, namelijk dat zeewater door de bodemdaling tijdens stormtijden gemakkelijker via de kwelder in een langgerekte strook van duinvalleien zou kunnen komen. Zo kreeg het onderzoek in 1994 een plotselinge impuls door het massaal afsterven van duindoorns en meidoorns in laaggelegen duinvalleien in het bodemdalingsgebied. Uit onderzoek (1994-1997) bleek dat dit gebeurde in dezelfde periode als ook op Terschelling en op Schiermonnikoog. De sterfte kon worden toegeschreven aan een heftige stormen in het voorjaar toen de struiken al in blad stonden waarbij zeewater op deze drie eilanden de lage valleien overspoelde in combinatie met heftige regens. De extra bijdrage van de bodemdaling aan de sterfte op Ameland werd destijds geschat op 25%. Dat viel gelukkig mee, maar de gebeurtenis was wel het startsein voor nader onderzoek naar de overstromingsrisico's van duinvalleien en tot het actueel meten daarvan.

Het was evenwel toen nog niet voorzien dat de natuurbeheerder, It Fryske Gea, zou besluiten om in 2005 een aantal valleien af te plaggen om verruiging te bestrijden en om drempels te verwijderen waardoor het zeewater nog makkelijker naar binnen zou kunnen stromen.

2.3.1 Voorspellingen betreffende de overstroming van duinvalleien met zeewater

Een gelukkige bijkomstigheid in het onderzoek naar overstromingsrisico's was dat Rijkswaterstaat in 1997 voor het

eerst op Ameland hoogtemetingen had laten uitvoeren met behulp van **laseraltimetrie**. Dat leverde een ruimtelijk hoogtebestand van de gehele oostpunt op. Na controle van de nauwkeurigheid van de metingen en door toepassing van het bodemdalingsmodel kon de bodemligging van voor het begin van de gaswinning vlakdekkend worden gereconstrueerd en op elk moment daarna tot het moment van de opname in 1997. Voor een schatting van de bodemdaling in 2002 en 2007 is de bodemdaling sterk overdreven door uit te gaan van een lineaire voortzetting van de dalingsnelheid van 1997 en kwam uit voor 2007 op 37 cm in het centrum, een waarde die pas in 2015 daadwerkelijk is bereikt. Wat betreft zeespiegelstijging is uitgegaan van 2 scenario's: 25 en 50 cm per eeuw. Op basis van bovenstaande gegevens is vervolgens uitgerekend hoe vaak de verschillende valleien per jaar zouden overstromen uitgaande van een niveau van 10 cm water boven de drempelhoogte. Voor de vallei direct ten oosten van de gaswinlocatie werd de overstromingskans voor 1987 berekend op gemiddeld 4 overstromingen per jaar en voor de situatie 2007 op 20-25 overstromingen per jaar afhankelijk van zeespiegelscenario. Er is wel rekening gehouden met de hydraulische weerstand van de kwelder De Hon, maar niet met de opslibbing daarvan en de vegetatieontwikkeling. Het onderzoek was al complex genoeg en de uitkomsten voldoende alarmerend om in 2000 te besluiten het meetprogramma van de valleien aanzienlijk uit te breiden met metingen van waterhoogten, inundatietijd, zoutgehalten en vegetatieontwikkeling.



Schematische voorstelling van de ligging van de valleien zoals ontwikkeld voor het overstromingsrisico-onderzoek. Geheel rechts de berekende drempelhoogten van voor de aanvang van de bodemdaling.

vallei	f (1987)	zss scenario 25 cm		zss scenario 50 cm	
		f (2002)	f (2007)	f (2002)	f (2007)
A	4	13	20	15	25
B	3	9	14	11	17
C	2	3	5	4	6
D	0,5	1	2	1	2
E	0,3	1	1	1	2
F	0,2	0,5	1	0,5	1
G	0,02	0,03	0,05	0,04	0,06

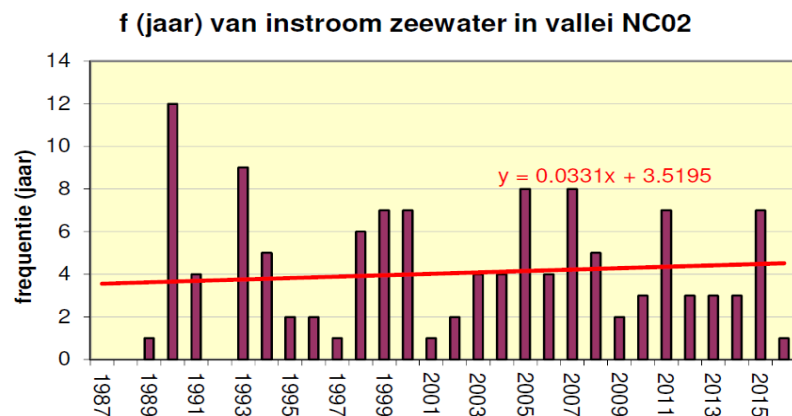
De hoogteligging van van de drempels vóór de bodemdaling en na verschillende scenarios van bodemdaling en zeespiegelstijging gemeten tegen de langjarig gemiddelde overschrijdingsfrequentie (+10 cm). Zie hiervoor ook paragraaf 3.2.1. De drempel van vallei A (NC02 in latere studies) is dan gedaald van +2,20 m naar +1,80 m NAP.



2.3.2 Inundatie van duinvalleien

Alle voorspellingen ten spijt nam de frequentie waarmee de vallei vol stroomde met zeewater niet toe, ondanks het feit dat de drempel die de grens vormde tussen vallei en kwelder wel degelijk bijna 40 cm daalde ten opzichte van het heersende zeeniveau. De reden moet gezocht worden in de gelijktijdige opslibbing van de kwelder. Het is namelijk vastgesteld dat met name de kwelderrand van De Hon de bodemdaling en zeespiegelstijging goed bijhoudt. Ook is vastgesteld dat de begroeiing op de kwelder tussen het begin van de monitoring en midden negentiger jaren sterk is toegenomen. Door deze processen is een barrière ontstaan tussen wad en vallei die heel effectief is meegegroeid waardoor alleen extreme vloedten van 2,20 meter en hoger de valleien bereiken.

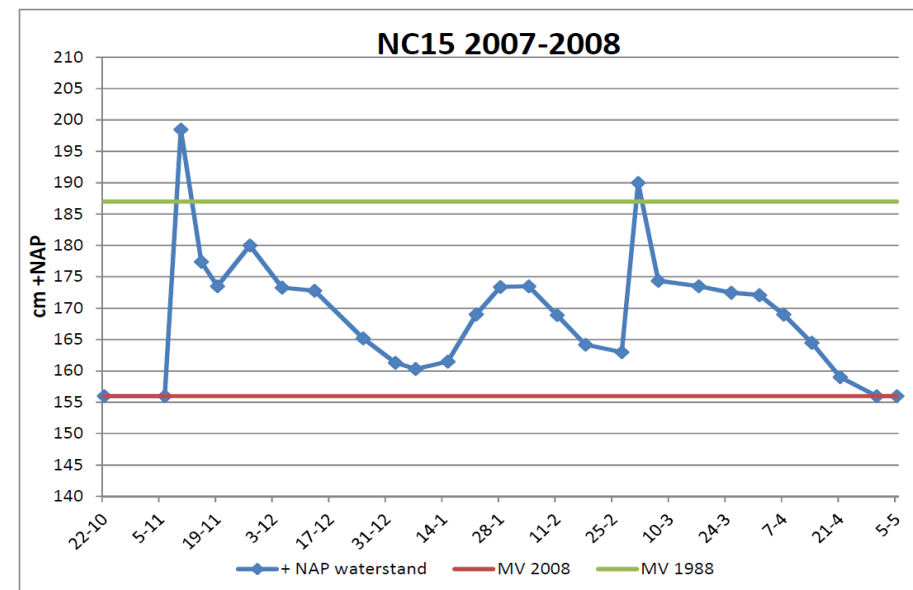
De drempel tussen vallei en kwelder is wel bepalend voor de waterstand na een overstroming omdat water over een langere tijd kan wegsijpelen over de kwelder, maar dus niet bepalend voor het vollopen omdat een vloedperiode maar relatief kort duurt.



Aantal malen per jaar dat de vallei naast de gaswinlocatie volstroomde met zeewater.

Toch waren de meetinspanningen niet vergeefs, want er bleek wel degelijk een effect op te treden. Door bodemdaling en zeespiegelstijging bleek het grondwater gestegen te zijn en stond in de winter soms maandenlang boven het maaiveld. Voor de bodemdaling begon was dat hoogstens een enkele week ten gevolge van een stormtij.

In onderstaande figuur is dat aanschouwelijk gemaakt door de waterstanden weer te geven van de vallei direct te westen van de gaswinlocatie met daarin aangegeven de maaiveldhoogte voor de bodemdaling begon in 1987 en in 2008. Ook uit de zoutmetingen blijkt dat de vallei niet vaker overstroomd vanuit de Waddenzee, maar wel vaker en langer een duinmeertje vormt.



Waterstanden in de vallei direct ten westen van de NAM-locatie gedurende winter en voorjaar 2007-2008. De waterstanden (blauwe lijn) zijn niet structureel verhoogd maar de hoogte van het maaiveld wel (groene en rode lijn). Daardoor staat de vallei 's winters veel langer onder water.



De belangrijkste conclusie is dus dat de valleien niet vaker overstroomd met zeewater maar dat de duur waarmee ze onder water staan sterk is toegenomen. In 1986, stond in het merendeel van de valleien namelijk een enkele week een weinig water boven het maaiveld na een stormtij. In de onderzoeksperiode 2001-2016 stond het water in de valleien vrijwel iedere winter gedurende verscheidene maanden veelal decimeters water boven maaiveld. Dit water is niet altijd zout, maar dikwijls ook zoet en afkomstig van regens en gestegen grondwater. Nu, na al die jaren meten, is duidelijk geworden dat het langdurig onder water staan van deze duinvalleien niet een toevalligheid is, veroorzaakt door een natte en stormachtige herfst en/of voorjaar, maar een gevolg van het systematisch gestegen, zoete grondwater.



3 Morfologie Ameland

3.1 Beschrijving Ameland

Ameland is het vierde eiland gelegen in de rij van Nederlandse Waddeneilanden van Tessel tot Schiermonnikoog. Het eiland is relatief jong en ontstaan omstreeks het jaar 1000 en mogelijk begonnen als drie eilanden rond de duinen van Hollum-Ballum, die van Nes-Buren en van Het Oerd, gescheiden door zandplaten. De stuifdijken hebben het eiland uiteindelijk gemaakt tot een robuust geheel. De bodem bestaat voornamelijk uit zand en is west-oost ongeveer 25 km lang met een maximale breedte van 4,5 km. Het totale oppervlak beslaat zo'n 60 km². Het zandpakket is ongeveer 25 meter dik, met soms klei- en veenafzettingen onder de Hollumer en Nesserduinen. Aan de noordzijde duinen en strand en aan de zuidzijde vlakke kwelders en polders met een meer of minder dikke kleilaag. Het gedeelte van het eiland ten oosten van Buren is vrijwel onbewoond. De kwelder Neerlands Reid is ontstaan omstreeks 1880, na de aanleg van de Kooi-Oerder Stuifdijk. De kwelder wordt aan de zuidzijde tegen afslag beschermd door een steenwal en zomers begraasd. De kwelder wordt aan de oostzijde begrensd door een oud duinmassief, de Oerderduinen met het Oerdswater. Het westelijk deel wordt eveneens begraasd. Het oostelijk deel van het natuurgebied "Het Oerd" bestaat uit een landschap van hoge duinen, duinvalleien en kwelders. De meest oostelijke punt wordt "de Hon" genoemd. De ondergrond van geheel oost Ameland bestaat uit Holocene zanden met alleen onder de zuidrand van het Oerderduin hier en daar een dunne kleiafzetting. Het strand van Ameland heeft enige jaren gelden in het middelpunt van de belangstelling gestaan vanwege het voorkomen van zeldzame, zware mineralen afkomstig uit Noordse gesteenten die als zand in de ijstijden zijn aangevoerd. Helaas bleek de laag maar één korrel dik.

De kwelders Neerlands Reid en De Hon vallen samen met de Waddenzee onder Natura2000 Waddenzee. De duinen van de De Hon vallen onder Natura2000 Noordzeekustzone. De overige duingebieden vallen onder Natura2000 Duinen van Ameland. Het eiland ligt ingeklemd tussen 2 zeegaten: Borndiep en Pinkegat die ritmisch meanderen waardoor het eiland korter en langer wordt en waardoor met name de oostpunt even ritmisch met honderden meters groeit en weer afslaat als een immer wapperende eilandstaart. Deze continue vormverandering is het zichtbare bewijs van de enorme west naar oost en noord naar zuid zandtransporten waar deze eilanden onderhevig aan zijn.

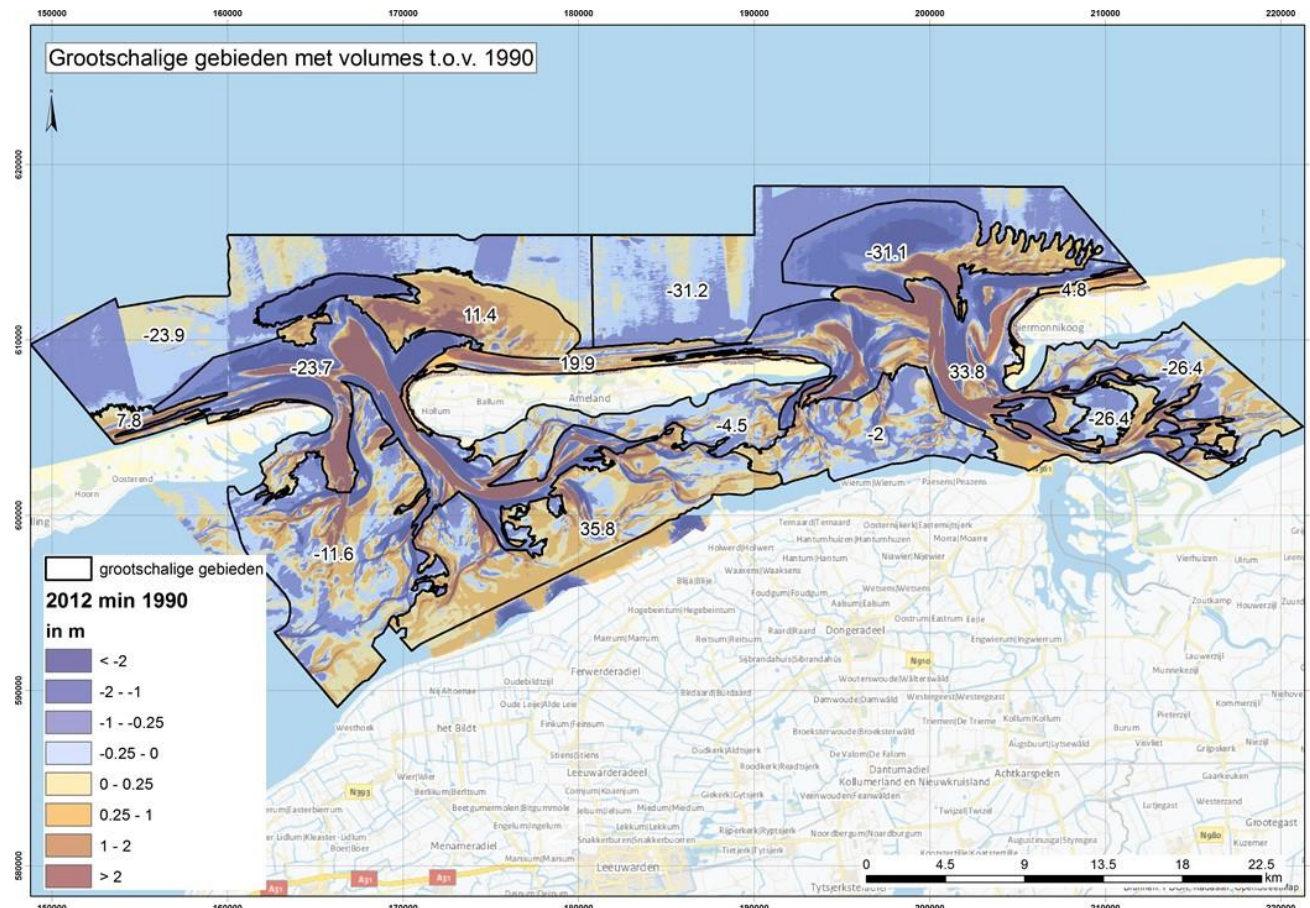
3.2 Noordzeekustlijn

In algemene termen liggen de eilanden redelijk stabiel op hun plaats, gevangen tussen diepe geulen die voorheen verankerd waren in het land (Zuiderzee, Middellzee, Lauwerszee en Dollart). De west-oost gerichte stroming langs de kust verplaatst het zand ook in die richting, dus het zand dat aan de oostpunt van Terschelling verdwijnt, verschijnt weer in de vorm van zandplaten die aanlanden op de westpunt van Ameland en zand van de oostpunt van Ameland schuift door richting Het Rif en Schiermonnikoog. In de zestiger jaren was de afslag groot en zijn alle drie de eilanden hotels kwijtgeraakt die, aanvankelijk achter de eerste duinenrij gebouwd, door afslag in zee verdwenen. Zorg hierover was de basis voor veel onderzoek naar zandtransporten en het huidige kustbeleid waarbij handhaving van de basiskustlijn centraal staat.

3.3 Engelsmanplaat

Het onderzoek heeft onder meer uitgewezen dat afsluiting van estuaria zoals Zuiderzee en Lauwerzee langdurig grote invloed kan hebben op de zandbalans. Door de afsluiting van de Lauwerzee bijvoorbeeld was plotseling de buitendelta groter dan nodig was voor het evenwicht en diende dat zand voor de voeding

van het strand van Schiermonnikoog en de wadplaten ten zuiden daarvan. Daardoor zijn daar al heel lang geen zandsuppleties nodig geweest op Schier. Door diezelfde afsluiting erodeert Engelsmanplaat echter. Het zand van Engelsmanplaat blijft achter in de – na de afsluiting - te diepe Lauwers, die nu langzaam opvult tot een nieuw evenwicht.



De kaart geeft een beeld van de omvang van de zandtransporten rond Ameland tussen 1990 en 2012. Het zeegebied rond de oostpunt van Terschelling is dieper geworden en het zand is terug te vinden in het Amelands kustgebied en het Amelander wad tegen de Friese kust. Ook de oostpunt van Ameland verloor zand. Veel zand is afgezet in de Lauwers, afkomstig uit de noordelijk gelegen buitendelta, die te groot was na afsluiting van de Lauwerzee.



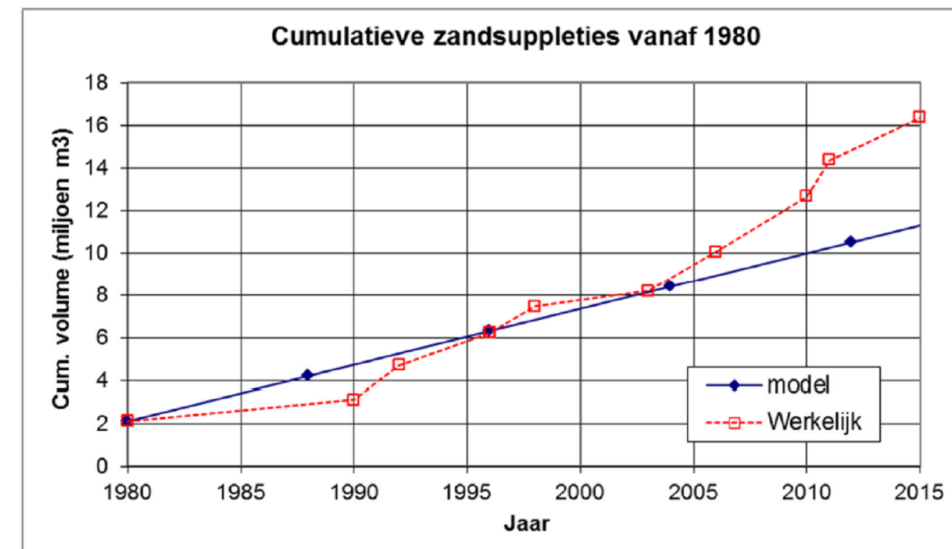
Tegelijkertijd echter treedt zeespiegelstijging op en wordt de hele Nederlandse Waddenzee daardoor ieder jaar gemiddeld 2 mm dieper wat overeenkomt met een volume van circa 4 miljoen kubieke meter. Dat zand wordt onttrokken aan het west-oost transport, naar binnen getrokken en vooral oostelijk, maar ook westelijk natuurlijk, van de zeegaten afgezet. In werkelijkheid gaan dagelijks tonnen zand het zeegat in en weer uit en blijft maar een klein deel achter. Elk zeegat vertakt zich richting vaste land in steeds kleinere geulen. Het totale gebied heet de komberging en wordt vernoemd naar het betreffende zeegat. Zoals een rivier dus uitmondt in zee via een delta, mondt een zeegat uit in het wad en voedt het wad met zand en slib. Het tekort aan zand wordt aangevuld uit het strand en de kust tot een diepte van circa 15 meter, tot waar de golfenergie reikt. Als gevolg slijten de eilanden aan de zeezijde en door de wind groeien de duinen aan de landzijde.

3.4 Suppleties

Ameland is opgebouwd uit zand. Duidelijk is wel dat de vorm van Ameland ontstaat door een wisselwerking tussen wind en stromingen. Met name getijdenbewegingen met al hun cycli en zeespiegelstijging zijn belangrijk als motor voor de zandtransporten en de belangrijkste reden voor het feit dat Ameland is zoals zij is. Bodemdaling draagt bij aan de effecten van zeespiegelstijging. Zonder zandsuppleties zou Ameland echter slijten aan de noordzijde, zoals voor 1970 gebeurde en zoals de gehele kust achteruit ging in die tijd. De monitoring toont aan dat het kustbeleid effectief is in het handhaven van de kustlijn, ook met bodemdaling.

De belangrijkste reden voor kusterosie is de zuigende werking van het wad.

Om deze continue slijtage van de kust te stoppen is het Nederlandse beleid om de verliezen te compenseren met zand van buiten de -20 meter zone. Bij voorkeur wordt zand gestort tussen de zandbanken voor de kust zodat de zeestromingen en de wind kunnen zorgdragen voor een natuurlijke verdeling. Bij uitzondering wordt het strand opgespoten, als dat te smal wordt voor toerisme of een geul de westpunt bedreigt. De op Ameland aan te voeren hoeveelheid zand moet echter niet alleen voldoende zijn om het dieper worden door zeespiegelstijging van de Waddenzee ten zuiden van Ameland te compenseren, maar ook het dieper worden van de kustzone langs het strand en de bodemdaling van de kustzone en wad. Voor de berekening van de nodige hoeveelheid zijn rekenmodellen ontwikkeld en regelmatig wordt door lodingen gecontroleerd langs de gehele Nederlandse kust.



Toepassing van het rekenmodel voor noodzakelijke zandsuppleties geeft een redelijke schatting van het benodigde zand. Afwijkingen van het model ontstaan door de grilligheid van de natuur in de vorm van stormen, het aanlanden van zandplaten en de 18-jarige cyclus.

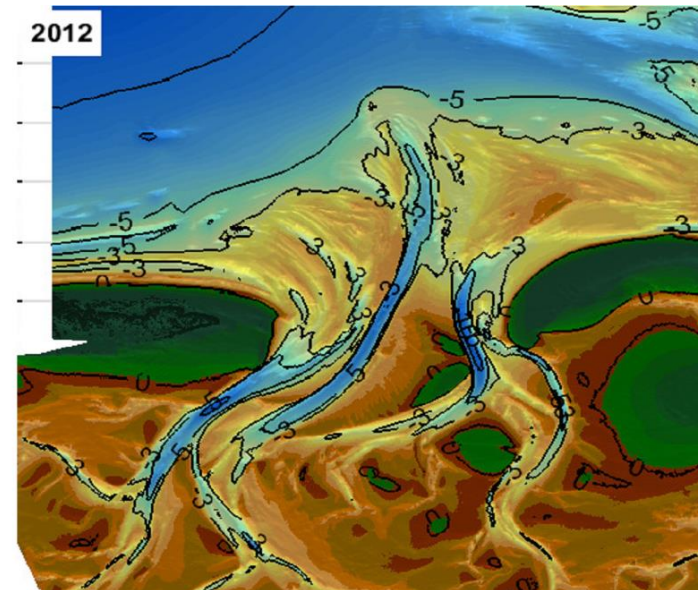
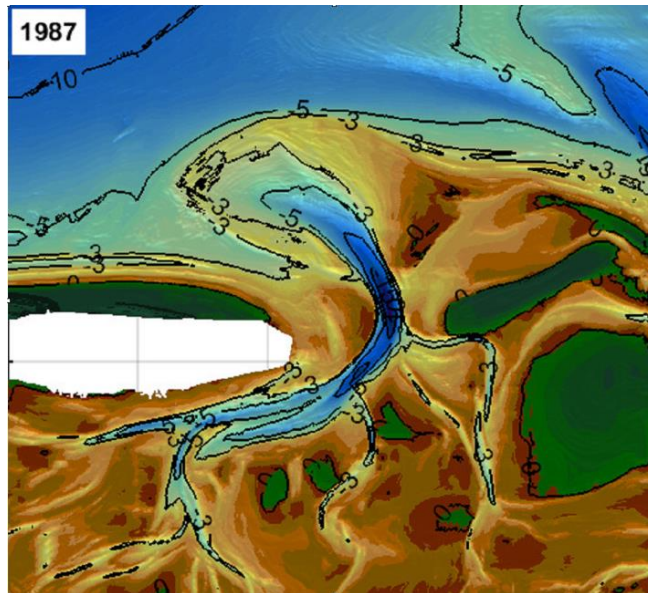
Om het kustverlies door zeespiegelstijging en bodemdaling voor heel Ameland te compenseren blijkt gemiddeld 500.000 m³ per jaar nodig, bijna 2 maal zoveel als waarvan was uitgegaan in de modelberekening begin jaren tachtig. Tot 1990 was er namelijk geen kustbeleid en is te weinig gesuppleerd, daarnaast spelen de cycli, het aanlanden van platen en de plots opgetreden hoogtegroeï van de duinen een rol. De combinatie modellering en monitoring blijkt echter goed te werken voor het verbeteren van modellen en handhaving van de kustlijn.

3.5 Lengte Ameland

Nu is het Pinkegat in zekere zin een bijzonder systeem waar een cyclische wisseling optreedt in lengte en van een één-geul

systeem naar een meer geulen systeem. Bijvoorbeeld, in 1927 en 1987 is het systeem één-geuldig en in 1949 en na 2005 weer in een meergeuldig systeem.

De reden is simpel: de enkele geul migreert naar het oosten en het eiland wordt langer. Op een gegeven moment is de getijdruk te groot en ontstaan 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 daarbij verandert de hoofdstroom over het wad van oost-noordoost – west-zuidwest naar noord-noordoost – zuid-zuidwest.



Twee diepte kaarten van het Het Pinkegat. In 1987 was nog sprake van een enkele, zeer diepe geul die in 2012 aan belang heeft ingeboet en tegen Het Rif is komen te liggen. Ten westen van dit geul restant zijn twee nieuwe geulen ontstaan.



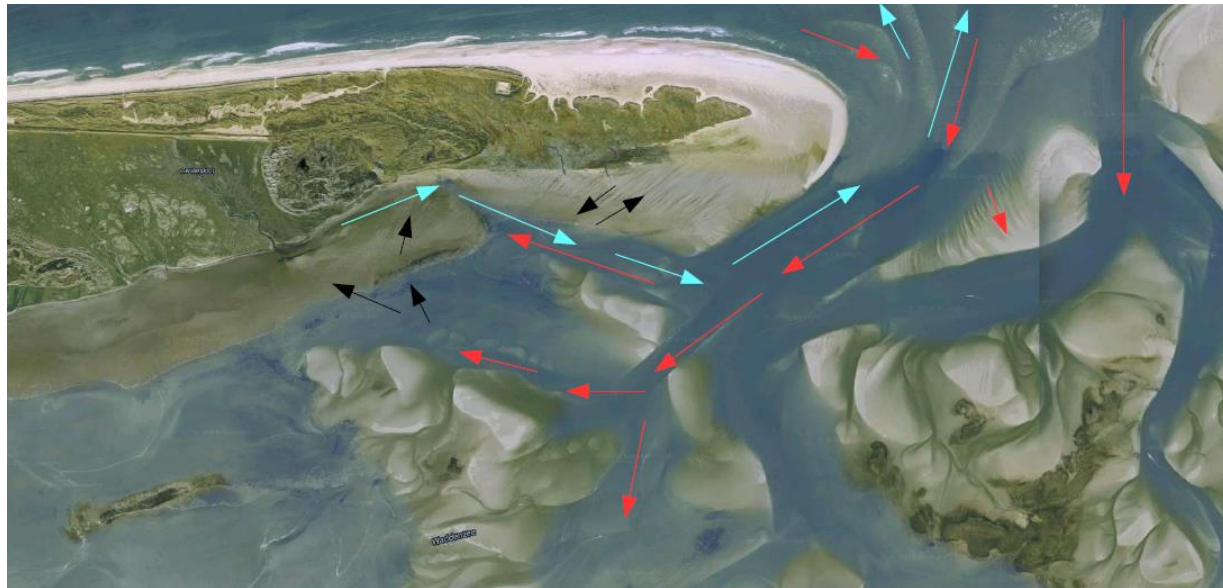
Hierna herhaalt de cyclus zich; de verschillende geulen versmelten, het eiland wordt langer en het wantij schuift weer naar het oosten. Veranderingen in de hoofdstroomrichting over het wad, nieuwe geulen, het opruimen van een eilandstaart en het verschuiven van een wantij zet mogelijk veel zand in beweging en kan heel goed verklaren waarom sedimentatie lokaal hoger of lager is dat je zou verwachten op basis van de zeespiegelstijging.

Het ritmisch langer en korter worden van de oostpunt volgt een zekere wetmatigheid met een cyclus van 20 tot 40 jaar. Stormen en zandgolven die ontstaan door de aanlanding van zandbanken op de westpunt verstoren dit beeld echter. Uit historisch onderzoek aan de ontwikkeling van het Pinkegat blijkt wel het cyclisch karakter van de verschijnselen, maar de regelmatigheid is moeilijk te bepalen.

Ameland bevindt zich sinds kort weer in een fase van krimp. Deze krimp begon eerder dan in 1987 voorspeld was, maar of bodemdaling daarop van invloed is geweest is niet vast te stellen.

3.6 Zandplaten in de ZO-hoek

De oriëntatie van de nieuwe geulen richt zich in samenhang met de plaatontwikkeling in een continue wisselwerking. Dat is een lastig te voorspellen proces waar veerbootmaatschappijen regelmatig mee te maken hebben. Het één geul systeem in het Pinkegat is echter veelal meer west-oost georiënteerd onder het eiland en de meer geulsysteem meer noordoost – zuidwest. Dit heeft uiteraard ook gevolgen voor de ontwikkeling van de platen onder Ameland.



De Google luchtfoto uit 2005 geeft naast een intermediair beeld van het zeegat met platen en geulen ook een beeld van de stroomribbels op sommige platen en daarmee zicht op de stromingsrichtingen. De zandbank onder De Hon is duidelijk dynamischer en anders van karakter dan de bank die grenst aan Neerlands Reid en Het Oerd.



Lodingskaarten bieden de mogelijkheid door het water heen te kijken en het verloop van geulen en ondiepten te volgen, luchtfoto's daarentegen onthullen soms verrassende aanvullende details. Zo heeft de zandplaat ten zuiden van De Hon zich sinds 1987 steeds verder uitgebreid. Het eiland werd immers langer en de bocht die het water moest nemen langer. Duidelijk zichtbaar is de NO-ZW georiënteerde microstructuur in het lichtgekleurde zand van op, af en overstromend water. De zandplaat onder het Neerlands Reid en Het Oerd is duidelijk minder dynamisch, slijker en meer bedekt met kiezelwieren.

3.7 Afslagrand langs de kwelders

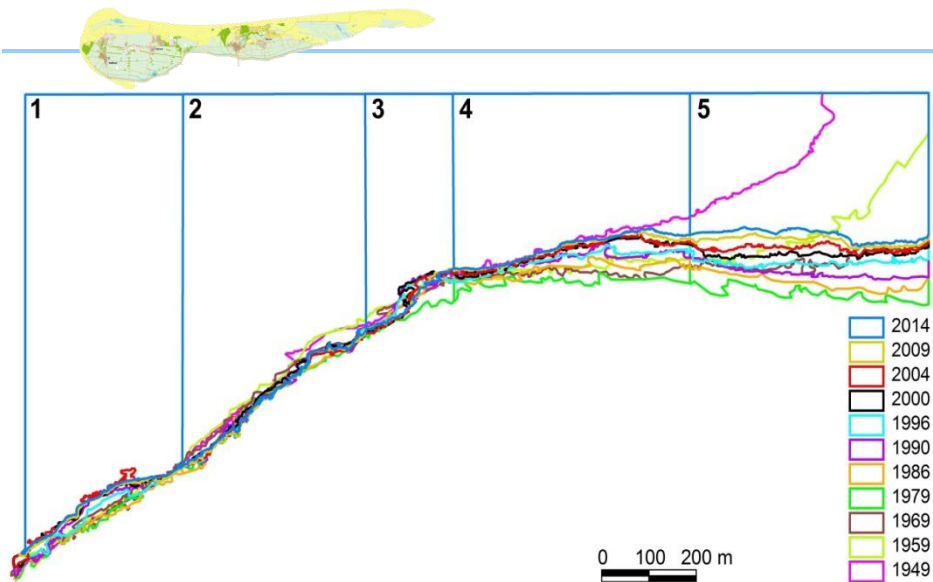
Terwijl Ameland groeide naar het oosten, trad sinds 1979 afslag van de kwelderrand op. Dat was ruim voor de bodemdaling begon en ver voordat de contouren van de bodemdaling het wad bereikten. In feite begon de afslag al rond 1950. De kwelderrand van het Neerlands Reid begon namelijk rond 1950 af te slaan. Sinds 1960 of kort daarna is die afslag tot stand gebracht door een oeververdediging die liep vanaf Buurdergrie tot aan de Oerdsloot. Deze oeververdediging is in 1998 vernieuwd met behulp van stortsteen op doek.

Omstreeks 2000 ontstond ook bezorgdheid van gebruikers van het kwelderpad onder Het Oerd en de vraag of de afslag door de bodemdaling werd veroorzaakt. De oorzaak van deze afslag is gelegen in het hoogteverschil tussen wad en kwelder. Zolang kwelders zich kunnen uitbreiden door aanvoer van sediment in de overgang van pionierzone naar het wad, bijvoorbeeld door overstuivend zand, dan is er een geleidelijke overgang in hoogte van pionierzone naar kwelder. Stagneert die aanvoer, dan ontstaat op natuurlijke wijze een klifrand. Stabiele kwelders bestaan niet, tenzij als gevolg van beheermaatregelen. De oorzaak van

klifvorming is hoge opslibbing in de kweldervegetatie op de kwelderrand. Daarna ontstaat een kwelderklif.

Ten oosten van de Oerdsloot is nooit een oeververdediging aangelegd. Onderzoek met behulp van luchtfoto's door het instituut Alterra heeft uitgewezen dat de afslag in dat deel van Ameland een geleidelijk proces is. Van 1949 tot 1979 groeide de kwelder onder Het Oerd nog aan en bereikte toen zijn meest zuidelijke begrenzing. Na 1979 vond er een geleidelijke afslag plaats die nog steeds voortduurt. Een nauwkeurige analyse van de gehele kwelderrand heeft geleid tot de conclusie dat gedurende de periode van bodemdaling door gaswinning geen versnelling van dit proces is opgetreden.

De gehele ontwikkeling vanaf 1949 werd met behulp van luchtfoto's van de Topografische Dienst in kaart gebracht. Het gebied werd daartoe verdeeld in 5 deelgebieden, elk met een eigen afslag-groeipatroon. Over de gehele kwelderrand gezien nam de gemiddelde snelheid van afslag af van 2,4 m per jaar tussen 1979 en 1990 naar 0,8 in de periode 2000-2014. De grootste dynamiek trad op in de meest oostwaarts gelegen deelgebieden 4 en 5. Dit heeft te maken met het feit dat in dit deel van Oost-Ameland de groei van de eilandstaart rond 1949 nog in volle gang was. De langjarige dynamiek van de eilandstaart lijkt daarmee veel belangrijker dan een eventueel effect van bodemdaling.



De ontwikkeling van de kwelderrand onder het Oerterduin en De Hon. Van 1949 tot 1979 is sprake van een forse groei, na 1979 overheerst erosie en afkalving.

3.8 Stormvloedgeulen op de Hon

Bij de start van de gasproductie was er bij eilanders en bij de opzichter van IFG veel zorg over de ontwikkeling van de stormvloedgeulen te oosten van de NAM-locatie.

Stormvloedgeulen (ook wel wash-overs genoemd) zijn lage doorgangen (drempels) in de duinenrij waardoor het water van de Noordzee rechtstreeks naar de Waddenzee kan stromen. De drempelhoogte van de eerste stormvloedgeul ten oosten van de locatie lag in 2000 rond de +2.20 m NAP. Elk getij beweegt de golf

van de vloed langs de eilanden van west naar oost. In de Waddenzee gaat de golf ook van west naar oost, maar enigszins vertraagd vanwege de zeegaten en platen die het binnenstromen van water vertragen. Het hoogste punt van de vloed is daardoor bijna 30 minuten vroeger op de meetpaal Wierumergronden dan op de meetpaal Nes, ondanks het feit dat die veel verder naar het westen staat. Bijgevolg komt de vloed aan de Noordzezijde van de stormvloedgeul niet alleen hoger, maar ook eerder dan aan de wadzijde. Water door een stormgeul stroomt dus altijd van zee naar wad. Door water (en wind) wordt zo ook kalkrijk zand naar de kwelder getransporteerd.

De vrees bestond echter dat door de bodemdaling er vaker en met meer geweld water door deze geulen zou gaan stromen en ten gevolge daarvan het eiland zou kunnen breken. Om die reden is afgesproken de ontwikkelingen van De Hon middels foto's vast te leggen op vaste punten en 360° rond. Tussen 1987 en 2004 verandert er weinig, maar vanaf 2005 ontwikkelen zich jonge duinen op het strand als een strandwal voor de stormvloedgeulen. De eerste stormvloedgeul verzandt vervolgens verder. Ze raakt geheel begroeid en krijgt daarmee het karakter van een lage duinvallei.

De kwelder op De Hon en de lage duinvalleien ten westen van de NAM-locatie worden nu tijdens storm overspoeld door zeewater via met name de derde stormvloedgeul en uiteraard via de lage kant aan de Waddenzeezijde.



Stormvloedgeul op de Hon. Links in 2004; rechts in 2016. De geul is begroeid geraakt en aan de noordzeezijde zijn nieuw lage duinen gevormd.



4. Wadplaten en wadvogels

Zonder wadplaten geen Waddenzee. Hoe je het ook bekijkt, de wadplaten vormen het kloppend hart, zowel ecologisch als wat betreft de zandimport bij zeespiegelstijging. Bij elke getijdebeweging stroomt er immers een enorme hoeveelheid zeewater naar binnen en weer naar buiten. Met springtij fors meer dan met doodtij en elke 9 jaar iets meer dan de volgende 9 jaar in verband met de 18,6 jarige cyclus. De hoeveelheid water die in en uitstroomt is niet alleen afhankelijk van het verschil tussen eb en vloed en de oppervlakte van het achterliggende gebied, maar ook van de wadplaten die daar aanwezig zijn. Waar een wadplaat ligt kan geen water zijn. Het volume aan wadplaten dat bij laagwater boven water uitsteekt stroomt dus niet in en uit. Als de zeespiegel echter stijgt (en het verschil tussen eb en vloed verandert niet) dan verdwijnen de wadplaten een klein beetje onder water en moet er meer water in en uit stromen. De stroomsnelheden in de zeegaten nemen daardoor toe en er wordt meer zand opgewerveld, dat vervolgens op de wadplaten, waar de stroomsnelheden lager zijn, bezinkt. Als de wadplaten ophogen neemt de stroomsnelheid af en is het evenwicht hersteld. Als er bodemdaling optreedt, gebeurt precies hetzelfde als met zeespiegelstijging, alleen meer lokaal. De zeegaten vullen weer op uit de kustzone en het strand en de kustzone wordt bijgevuld door Rijkswaterstaat. Zonder zeespiegelstijging zou de Waddenzee dichtslibben en zonder getijden is er geen zandmotor om het zand op de platen te brengen.

Doordat het zonlicht gedurende de uren rond laagwater op de platen schijnt is daar productie van algen (voornamelijk kiezelwieren) mogelijk. Deze dienen, samen met de algen die met het zeewater over de wadplaten stromen, als voedsel voor schelpdieren, kreeftachtigen en wormen die op hun beurt het

voedsel vormen voor vissen en vogels. De meeste wadvogels zijn steltlopers die voor hun voedsel afhankelijk zijn van de wadplaten.

4.1 Vorm en hoogte van de wadplaten

Het is dus essentieel om de vorm en hoogte van de wadplaten te volgen als er een kans zou bestaan dat die door bodemdaling zouden verdwijnen. Als de hoogteligging (beter het volume boven laagwater) niet verandert, dan blijft het systeem stabiel. Dat wil zeggen dat de platen meegroeien met de zeespiegelstijging en de bodemdaling compenseren. Als aan die voorwaarde wordt voldaan – rekening houdend met al die cycli en soms optredende stormen – dan blijft de basis van het systeem intact. Als tweede voorwaarde heeft de commissie in 1987 ervoor gekozen de wadvogels op Ameland te monitoren en de vergelijking te maken met zowel de naburige eilanden, als de westzijde van Ameland. Als de vogels op Oost Ameland niet afwijken van de vogels elders in aantallen of soorten, dan is het niet nodig om ook bodemdieren in het onderzoek te betrekken, immers, de meeste wadvogelsoorten zijn redelijk specifiek in hun voedselkeuze.

Gezien het belang van goede metingen en omdat veel mensen zich extra zorgen maken over het voortbestaan van de wadplaten besteden we hier extra aandacht aan dit onderwerp en zullen de ontwikkelingen zo volledig mogelijk beschrijven.

4.2.1 Lodingen

In 1987 werden de wadplaatvorm en -hoogten door Rijkswaterstaat standaard gemeten middels lodingen. Dat was heel intensief want het duurde gemiddeld 6 jaar voor de hele Waddenzee van de Eems-Dollart tot aan Den Helder in kaart gebracht was. Daarna begon de cyclus opnieuw. De metingen werden verricht vanuit een bootje dat tot heel ondiep kon varen en met springtij kon je daarmee over de wadplaten heen varen. De

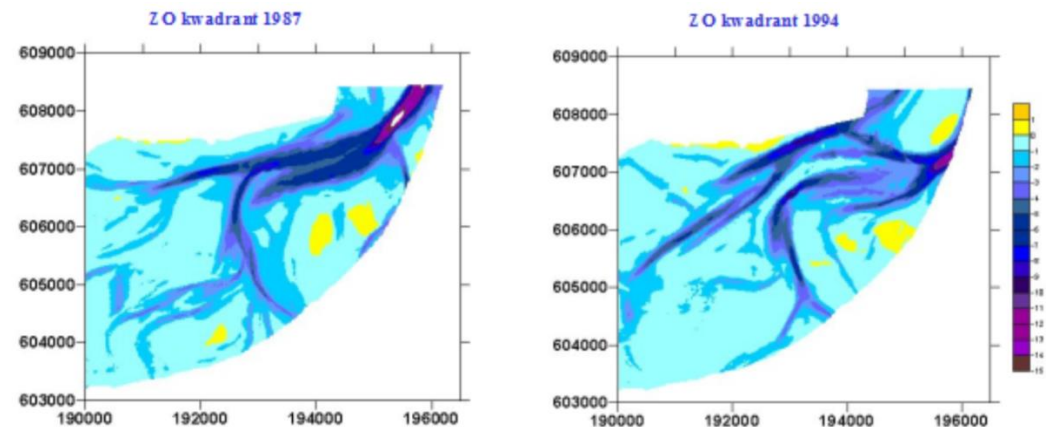
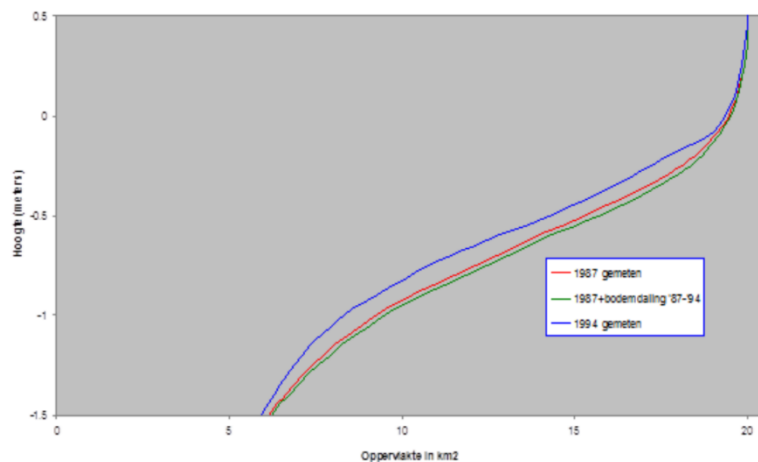


metingen waren per punt echter niet erg nauwkeurig; een bootje schommelt en 10 cm afwijking naar boven en naar beneden was geen uitzondering. Maar als het ging om een gemiddelde vlakdekking maakte dat niet uit, want de nauwkeurigheid neemt toe met het aantal metingen. Uit berekeningen in het verleden is gebleken dat de gemiddelde hoogte van een plaat of deel van een plaat op circa 3 cm nauwkeurig was te berekenen in de periode 1968-1987, mits de apparatuur voor iedere bemonstering nauwkeurig is afgesteld want bij elke meting hoort een waterhoogte die gelijktijdig op de dichtstbijzijnde meetpaal wordt vastgelegd.

4.2.1.1 Hypsometrische curven

Voor de diepte van de geulen is een nauwkeurigheid op cm niveau nauwelijks interessant en voor de wadvogels is het gebied

beneden de laagwaterlijn sowieso minder interessant. Nu hebben de meeste platen een redelijk steile rand en in oppervlakte is ook dat gebied minder van belang. Wat met dergelijke metingen goed mogelijk is, is het opstellen van een zogeheten hypsometrische curve die de relatie zichtbaar maakt tussen oppervlakte en hoogteligging. Hiermee wordt zichtbaar en berekenbaar hoeveel vierkante kilometer wadplaat boven de laagwater ligt, hoe hoog de platen gemiddeld zijn en bij welke waterhoogte ze onderlopen. In het bodemdalingsrapport van 2000 staat zo een hypsometrische curve op basis van lodingen weergegeven voor het kwadrant van het gebied Pinkegat dat ook voor vogels van belang werd geacht. Het kwadrant volgt de contour van de bodemdaling. De grafiek begint op 1,5 meter onder NAP (Y-as). Dat is de laagwaterlijn van het springtij. Dat is de geul en daaronder blijft altijd water staan. Het totale geuloppervlak is dan ongeveer 6 km².



Hypsometrische curves en de kwadranten waarop deze zijn gebaseerd. Het linker kwadrant betreft de lodingsgegevens van het begin van de gaswinning (rode lijn in de grafiek) en het rechter kwadrant de situatie in 1994 na 7 jaar gaswinning (blauwe lijn). Het plaatvolume (hoogte en oppervlak) is toegenomen, terwijl de bodem is gedaald.



De laagwaterlijn van het doortij ligt op ongeveer 0,80 m beneden NAP. Dat is allemaal nog geulrand en daarboven begint de plaat. Voor vogels is dit best een interessant gebied want het staat niet altijd en ook niet heel lang droog. Er valt dus veel te halen, maar het oppervlak is beperkt: circa 4 km². De plaat stopt abrupt op ongeveer 0 NAP hoogte. Dat is ongeveer de hoogte van de plaat waar de kwelderrand begint en daarboven is het steil met maar een klein oppervlak. Het interessante deel voor vogels is vanaf laagwater tot aan 0 NAP. Soorten die van kleine prooien houden, volgen graag het zakkende en opkomende water of landen op een mosselbank om het hele tij zoekend door te brengen tussen de mosselen.

De hoogteverdeling is natuurlijk ook te gebruiken om het volume van de wadplaat uit te rekenen en daarmee de waterverplaatsing tijdens een getijdeslag.

De uitkomst na de eerste jaren van gaswinning was verrassend. In rood is aangegeven de situatie in 1987 en in groen de berekende situatie door de bodemdaling in 1994 daarvan af trekken. Verrassend genoeg was het oppervlak niet gedaald, maar had opslibbing plaatsgevonden lag het plaatniveau bijna 10 cm hoger dan in 1987. Uit de diepte informatie van beneden de -1,50 m NAP bleek bovendien dat de geul Pinkegat naar het oosten was verschoven en nieuwe kleine diepe geulen waren ontstaan. Het vrijgekomen zand was kennelijk op de platen afgezet. Of was er toch sprake van onnauwkeurigheid in de ijking van getijhoogten?

4.2.2 Spijkermetingen

De onzekerheid omtrent de lodingen per meetpunt bleef echter een zorgpunt, bovendien wilden de vogelkundigen specifieke en heel nauwkeurige informatie over de hoogteveranderingen exact binnen het gebied van de bodemdaling waar de vogels hun voedsel zoeken. Om die reden werd besloten de wadplaat ten

zuiden van Neerlands Reid in te meten met DGPS in een dicht net. Dat bleek een moeizame operatie en niet voor herhaling vatbaar. Intussen hadden de biologen een methode uitgedacht die wel werkte. Een grondanker diep in de bodem met een dunne, niet rekbare lijn naar het oppervlak en aan het eind een plaatje met een nummer en een ring. De lengte van het draadje tussen ring en bodemoppervlak is een maat voor opslibbing (afstand wordt kleiner) of erosie. De methode werkte perfect: geen verstoring aan het oppervlak en makkelijk uitvoerbaar.



Bij een 'spijkermeting' wordt de Kevlar draad die diep in de bodem is verankerd strak naar boven getrokken. De afstand tussen het wad-oppervlak en het uiteinde van de draad verandert wanneer er sediment bijgekomen is en wanneer er erosie heeft plaats gevonden.



Hiermee kon verandering van de plaathoogte op mm-niveau verschillende malen per jaar worden vastgelegd. Op geregelde tijden werden ook de labels ingemeten in het meetnet van de bodemdalingsmetingen en werd een rekenprogramma ontwikkeld om de bodemdaling plaats specifiek te berekenen. De methode kreeg de naam “spijkermetingen”. De methode is volledig uit ontwikkeld. Elk station bestaat uit 4 meetlijnen die 2 aan 2 gewaterpast zijn zodat onregelmatigheden kunnen worden opgemerkt en zo nodig gecorrigeerd.

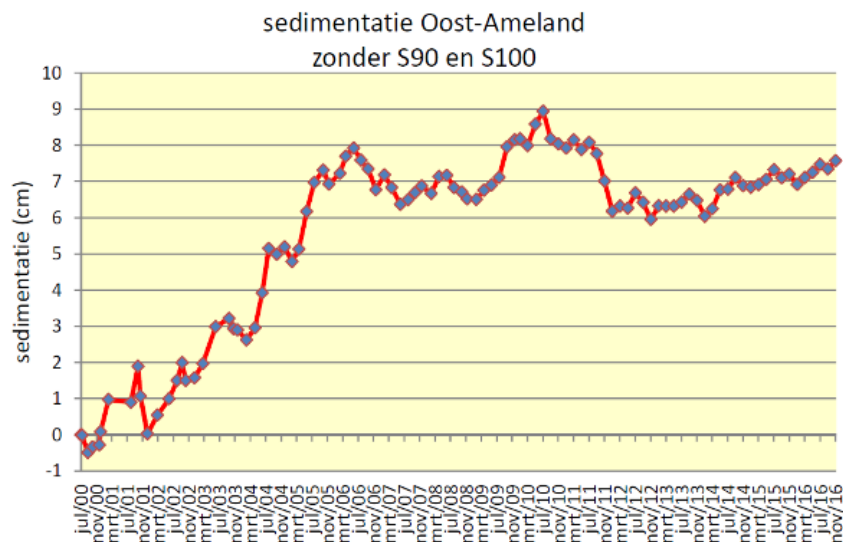
Vanaf 2000 is het meetnet min of meer continu uitgebreid. Eerst meer stations op de wadplaten ten zuiden van Neerlands Reid, toen een meetserie aan de landzijde ten noorden van Moddergat, vervolgens een meetveld aan de westzijde van Ameland en zo voort. Zelfs twee meetvelden in de Waddenzee ten westen van Būsum (noord Duitsland) werden door de Duitse collega's ingericht en in stand gehouden. Er was ook alle reden toe want de resultaten waren nieuw en inspirerend.



Google luchtfoto (2005) met daarin waargegeven de stations van de spijkermetingen. De wadplaat die grenst aan Neerlands Reid is duidelijk slikkiger en meer bealgd dan de zandplaat te zuiden van De Hon en de zandplaten die het wantij vormen.



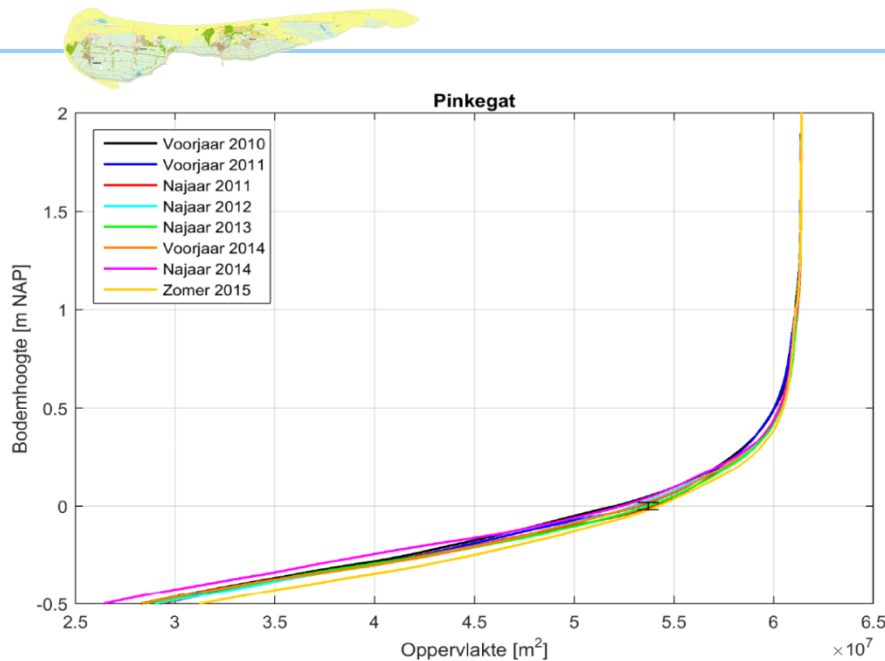
Voor het eerst in de geschiedenis werd in detail zichtbaar hoe wadplaten veranderen in de tijd. Niet meer eens in de 6 jaar, maar ieder kwartaal en elk station op de mm nauwkeurig. In de eerste 6 jaar nam de hoogteligging van de platen met bijna 8 cm toe. Dat gebeurde met schokjes. In de winter groei en in de zomer even rust, geheel in overeenstemming met zomer- en wintergetijden. De groei van 8 cm was in lijn met en bijna evenveel als in de periode 1987 – 1994 met de lodingen in dat gebied was gemeten en aanzienlijk meer dan bodemdaling en zeespiegelstijging tezamen. Na 2006 was de groei er een beetje uit en stabiliseerde de hoogteligging van dit gebied. Ten opzichte van de lodingen in 1987 was het gebied in 30 jaar circa 20 cm omhooggekomen, vrijwel evenveel als de bodemdaling ter plekke en de zeespiegelstijging tezamen.



Gemiddelde sedimentatie (cm aangroei cumulatief) van alle stations sinds 2000, met uitzondering van 2 stations die op de rand van een instabiele geul lagen. Opvallend zijn de zomer-winter schommelingen en het feit dat de aangroei na 2005 abrupt is gestopt.

4.2.3 LIDAR metingen

Rijkswaterstaat was uiteraard ook ongelukkig met de lodingen. De werkzaamheden waren arbeidsintensief en onregelmatig wegens het wachten op rustig weer en goede tijden. In 1997 werden de eerste experimentele opnames gemaakt met een nieuwe techniek, de zogeheten laser-altimetrie, of te wel Light-emitting Radar (LiDAR). Hiermee wordt vanuit een vliegtuig met een laserstraal het oppervlak bestraald en de reflectie gemeten. De exacte vlieghoogte wordt met GPS via satellieten bepaald. Op land bleek dit zeer succesvol. Het is thans de basis van het nationale hoogtebestand AHN waarmee iedere bezoeker op elk moment de hoogte in 2005 van zijn huis, boom en tuin kan aflezen. Terwijl de plantengroei op land stoort, blijkt water op het wad dat ook te doen want dat leidt tot valse reflecties. Bovendien bleken bepaalde atmosferische condities de hoogtebepaling van het vliegtuig t.o.v. de satellieten te storen. In feite was het vliegtuig de boot van de lodingen geworden, de verticale positiebepaling door satellieten in plaats van een meetpaal met waterhoogten en het meetsignaal een laserstraal in plaats van sonar. De techniek werd vanaf 2010 toegepast in voor- en najaar in het Pinkegat. De voordelen zijn evident want in weinig uren kan een relatief groot gebied dekkend in kaart worden gebracht. De planning is een ander verhaal want er moet wel een vliegtuig beschikbaar zijn op liefst een droge zonnige dag met spring-laagwater. Tot slot is er de storing van waterplassen en kan ook niet in de geulen gekeken worden. Daardoor kunnen de metingen beneden 0,50 cm beneden NAP erg onnauwkeurig worden. Dat is lastig, want zonder lodingen van de geulen en geulranden mist een voor vogels belangrijk gebied en het vaststellen van het volume van de wadplaat boven laagwater zou dan niet mogelijk zijn.



LIDAR-metingen 2010-2015. De lijnen van de hypsometrische curven liggen dicht bij elkaar, maar gaan schijnbaar willekeurig op en neer binnen een bandbreedte van ongeveer 6 cm.

Heeft de nieuwe techniek dan wel iets opgeleverd? In zekere zin wel. In de eerste plaats tonen de spijkermetingen een snelle groei tot 2006 en daarna schijnbare stilstand tot 2016. Het beeld tussen 2010 en 2016 wordt min of meer bevestigd door de LiDAR metingen en dat is een belangrijk gegeven want LiDAR dekt het hele kombergingsgebied en de spijkermetingen alleen enkele relatief stabiele platen.

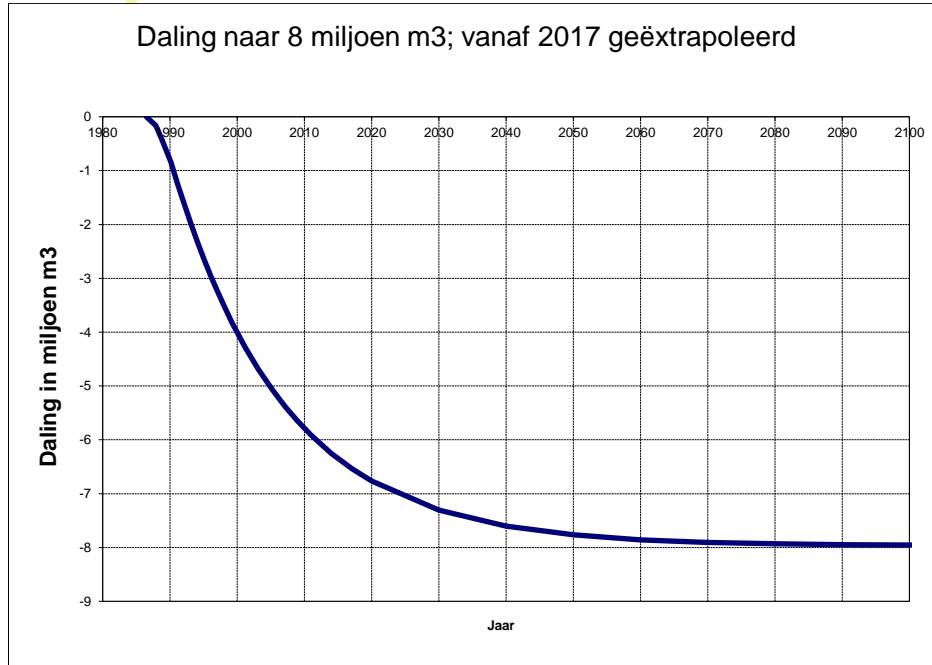
Is er dan niets van de bodemdaling te zien met LiDAR? De bodemdaling voor Ameland bedroeg tussen 2010 en 2015 nog ongeveer slechts 0,58 miljoen m³. Intussen waren echter ook andere gasvelden onder de Waddenzee in productie genomen. Op een kombergingsgebied ter grootte van ongeveer 60 miljoen m² betekende dat een totale daling van 1,2 centimeter. Ten

opzichte van een LiDAR-bandbreedte van 6 cm valt een daling van 1 cm volledig weg in de ruis.

Nee dus, nog afgezien van de natuurlijke variabiliteit kan op basis van de LIDAR-metingen dus over de periode 2010-2015 niets geconcludeerd worden over opslibbing als compensatie van de bodemdaling. Kan dan op basis van de spijkermetingen iets geconcludeerd worden over lokale effecten ten gevolge van bodemdaling? De waarnemingen tot dusver laten zien dat in een periode van maximale daling, de lokale aangroei hoger was dan bodemdaling en zeespiegelstijging tezamen en dat die aangroei omstreeks 2005 abrupt stopt. Na 2005 neemt de erosie onder De Hon toe door draaiing van geulen en het ontstaan van nieuwe geulen, alsmede door de migratie van het wantij. De spijkermetingen geven dit keurig weer. De enige conclusie die gerechtvaardigd lijkt is dat de natuurlijke processen zo omvattend en dynamisch zijn, dat bodemdaling volledig ondergeschikt daaraan is.

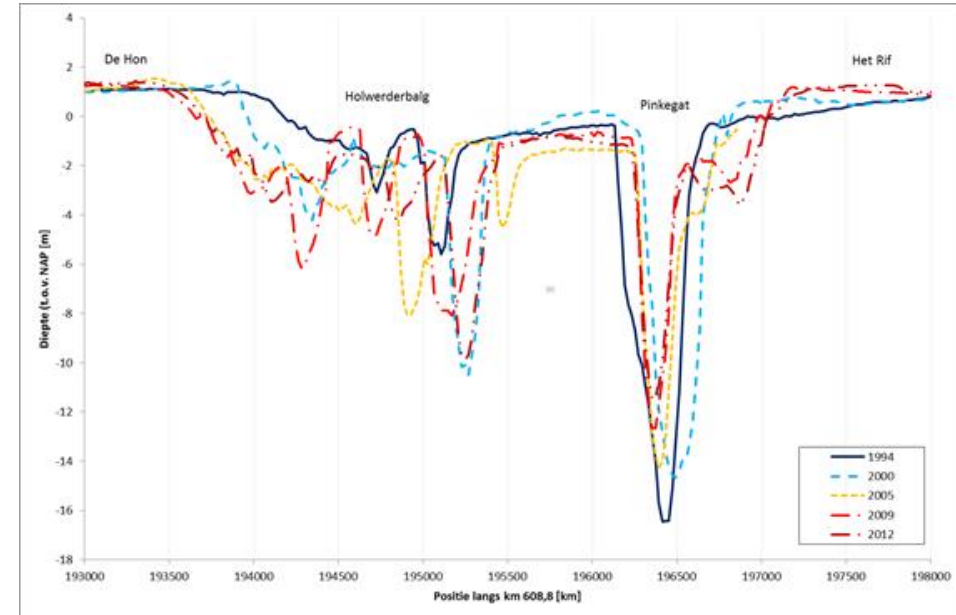
4.2.4 Dalingskom in perspectief van geul- en wadplaatontwikkeling

Over het bodemdalingsgebied onder Ameland ontstaat aldus een consistent beeld: In 1987 begon de bodemdaling. Het volume van de bodemdalingsschotel onder het wad nam eerst snel toe. Rond 2000 was 50% van de nu verwachte totale volumevergroting ontstaan en na 2005 begon de snelheid van de volumevergroting weer af te nemen.

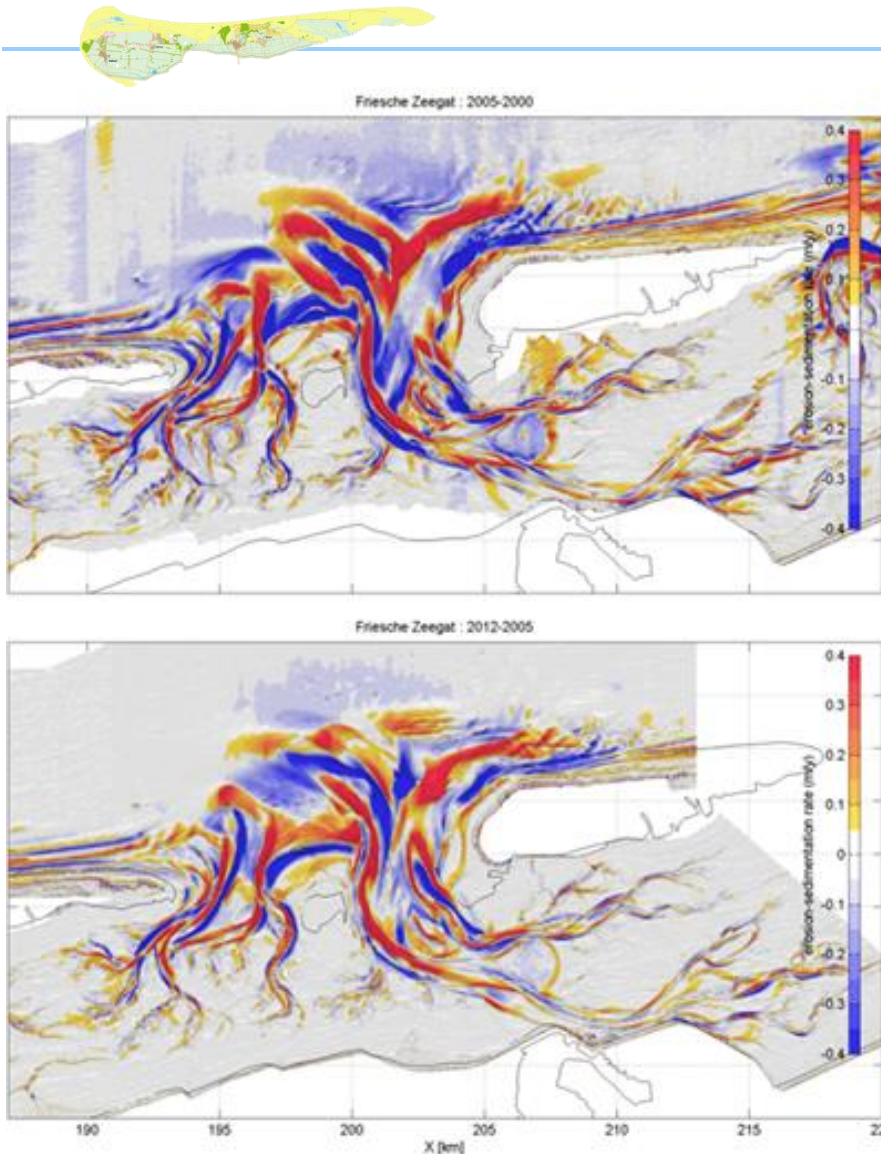


Ontwikkeling van het volume van de bodemdalingsschotel op het wad. De helft van het uiteindelijke volume (inhoud 8 miljoen m³) ontstond tussen 1990 en 2000, het resterende volume tussen 2000 en 2080.

In diezelfde periode zijn de platen ten zuiden van Neerlands Reid en De Hon eveneens fors omhoog gekomen, dat blijkt zowel uit de oude lodingsgegevens als uit de spijkermetingen. Dit is echter ook de periode waarin nieuwe vloedgeulen ontstaan waarbij veel zand beschikbaar komt. Daarna lijkt het wad tot rust gekomen, zowel spijkermetingen als de LiDAR metingen geven hetzelfde beeld.



De ontwikkeling van vloedgeulen en ebscharen in het Pinkegat tussen 1994 (zwarte lijn) en 2012 (rood). Na 2000 begonnen zich nieuwe vloedgeulen te ontwikkelen aan de rand van De Hon en werd Ameland weer korter. Na 2005 (geel) ontwikkelden deze jonge vloedgeulen zich verder.



Beeld van de dynamiek van het zeegat op basis van vaklodingen voor de periode 2000-2005 en de periode 2005-2012. In rood en geel plaatsen waar sedimentatie heeft plaatsgevonden, in blauw waar erosie is opgetreden. Tussen 2000 en 2005 groeide de zandplaat onder De Hon, in de periode na 2005 overheerste erosie door de lokale geulontwikkeling.

4.3 Vogels van het wad

De tweede controle op mogelijke effecten van bodemdaling op het wad betreffen de vogels, want als er aan de platen niet veel te zien is, dan misschien wel aan de vogels. Op Ameland werden voor de gaswinning begon al vogels geteld. Tussen 1972 en 2016 zijn in totaal 280 tellingen uitgevoerd van het aantal wadvogels op Ameland. Tijdens deze tellingen worden tijdens hoogwater de steltlopers, ganzen en eenden geteld die buiten- en binnendijs overtijen. In de eerste jaren na het begin van de gaswinning was de frequentie van de tellingen te laag om veranderingen snel te kunnen registreren (2–4 tellingen per jaar). Vanaf 2001 is daarom het aantal tellingen verhoogd tot circa 10 per jaar. Het onderzoek richt zich op die vogelsoorten die voor hun voedsel helemaal of grotendeels afhankelijk zijn van droogvallende platen in de Waddenzee.

Deze wadvogels zouden immers de meeste hinder van een eventuele bodemdaling kunnen ondervinden. Nu vormen de wadvogels op Ameland twee gescheiden groepen (populaties). Vogels die foerageren op het wad ten oosten van de veerdam overtijen ten oosten van Nes. Vogels die foerageren op het wad ten westen van de veerdam overtijen ten westen van Nes. Er is dus sprake van twee "getijdenpopulaties" met gescheiden voedselgebieden en worden tijdens hoogwater afzonderlijk geteld, doorgaans op opeenvolgende dagen. Het gaat om 14 soorten, te weten: twee soorten eenden, Eidereend en Bergeend, en 12 soorten steltlopers, Scholekster, Bontbekplevier, Zilverplevier, Goudplevier, Steenloper, Wulp, Rosse Grutto, Kluut, Tureluur, Groenpootruiter, Bonte Strandloper en Kanoet. Als we de resultaten van al die soorten in ogenschouw nemen, dan valt op dat slechts van 4 soorten de aantallen een ander verloop hebben op oost Ameland dan op west Ameland en/of Terschelling of Schiermonnikoog.



Bergeend Een recente toename van het aantal tijdens de najaarstrek betreft een kortstondige opleving in 2011 en 2012. Sindsdien is het aantal weer terug op het eerdere niveau.

Steenloper Het aantal doortrekkers in de nazomer op Oost-Ameland is afgenomen. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat zich in het gebied van de bodemdalingschotel geen nieuwe mosselbanken ontwikkelen.

Tureluur Er is een afname van het aantal overwinteraars. Dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een verplaatsing van het overwinteringsgebied in de Waddenzee in westelijke richting.

Bonte Strandloper De aantallen zijn toegenomen in de winter. De reden is onduidelijk. Het verdwijnen van de mosselbanken onder Oost-Ameland heeft geleid tot een sterke afname van soorten die mossels eten zoals Eider en Scholekster, maar ook van de Steenloper die vooral foerageert op mosselbanken. De vraag die de vogelspecialisten nog wel bezig houdt is waarom mosselbanken op het Ameland niet zijn hersteld na de moedwillige verwijdering door de visserij. Misschien is het antwoord op die vraag wel te vinden in de cycli van geulontwikkeling, sedimentatie en erosie en is het goede moment nog niet aangebroken.

4.4 Epiloog wadplaten

Het is een lange weg geweest, met veel vallen en opstaan. De lodingen waarmee Rijkswaterstaat reeds decennia diepte kaarten maakte van de Waddenzee leverden interessante gegevens, met name omdat ook de geulen en geulranden goed in beeld kwamen. Ook op het gebied van vlakdekkendheid leverden ze bruikbare informatie, maar op specifieke plaatsen en kleine schaal helaas onvoldoende nauwkeurig. De spijkermetingen vulden dit hiaat en leverden een aanvullende schat aan informatie. LiDAR is interessant omdat het jaarlijks uitvoerbaar is, maar mist belangrijke delen. Ten aanzien van bodemdaling weten we zeker dat het optreedt en meetbaar is met diepe peilmerken, maar dat op basis van zorgvuldige metingen aan het oppervlak en vogeltellingen hier geen spoor van is terug te vinden.



Het wad in 1972 op het wantij onder De Hon en Neerlands Reid. Toen nog overdekt met mosselbanken.

5 Duinen en duinvalleien

Dit hoofdstuk beschrijft de vegetatieveranderingen die sinds de start van de gaswinning in 1986 hebben plaatsgevonden in de zeereep, de droge duinen en de tussenliggende duinvalleien op Oost-Ameland.

De zeereep behoorde aanvankelijk niet tot het aandachtsgebied van de monitoring vanwege het intensieve beheer. Toen dat beheer werd verlaten ontstond een directe relatie met achterliggende duinvalleien en heeft de zeereep toch aandacht gekregen.



Overzicht van de duinen op Ameland-Oost, gezien vanaf het Oerd naar het noorden. Op de achtergrond zijn de zeereep en de Noordzee te zien. De donkergroene baan in het midden wordt gevormd door een met struiken begroeide duinvallei.

De duinen en de tussenliggende duinvalleien zijn vanaf het begin in het monitoringsprogramma opgenomen door middel van

permanente proefvlakken (PQ's) in transecten aan de rand en dicht bij het centrum van het bodemdalingsgebied.

Alleen de proefvlakken in duinvalleien bleken duidelijke effecten van de bodemdaling te vertonen. De zogeheten droge duinen lieten uitsluitend effecten van verruiging door luchtverontreiniging zien. Omdat in de hoger gelegen proefvlakken van de transecten geen effecten van bodemdaling konden worden vastgesteld is deze meetreeks in 2013 op verzoek van de Bodemdalingscommissie beëindigd en is alleen het onderzoek aan de (natte) duinvalleien voortgezet. Dat onderzoek werd na 2000 geïntensiveerd, met een vlakdekkende vegetatiekartering rond het centrum van de bodemdalingsschotel. De reden voor de aanpassing van het programma was de hiervoor reeds beschreven plotseling optredende sterfte van duindoorns in 1994 en het onderzoek aan overstromingsrisico's. In 2001 is begonnen met een vlakdekkende monitoring van duinvalleien. Tot 2013 hebben beide manieren van monitoring naast elkaar bestaan.

5.1 De zeereep

Vanaf 1975 was er sprake van een min of meer continu opstuivende zeereep op Ameland-Oost als gevolg van aanzanding, waarbij zowel het volume aan zand als de hoogte van de zeereep gestaag toenamen. De langjarige autonome trend is netto aanzanding en opstuiving. De zeereep groeit daarbij niet alleen omhoog, maar ook in zeevaartse richting. De hoogte nam vanaf 1970 ten oosten van paal 17 behoorlijk toe, variërend van twee tot ruim veertien meter in 2010. De zandsuppleties waarmee vanaf 1990 is begonnen hebben daar nauwelijks iets aan bijgedragen. Tegelijk met het opstuiven van de zeereep is zich vanaf ca. 1990 een voorduin aan het ontwikkelen voor het hoofdduin. In enkele jaren, met name 1981, 1990 en 1994, was er evenwel sprake van tijdelijke afslag als gevolg van stormvloed.



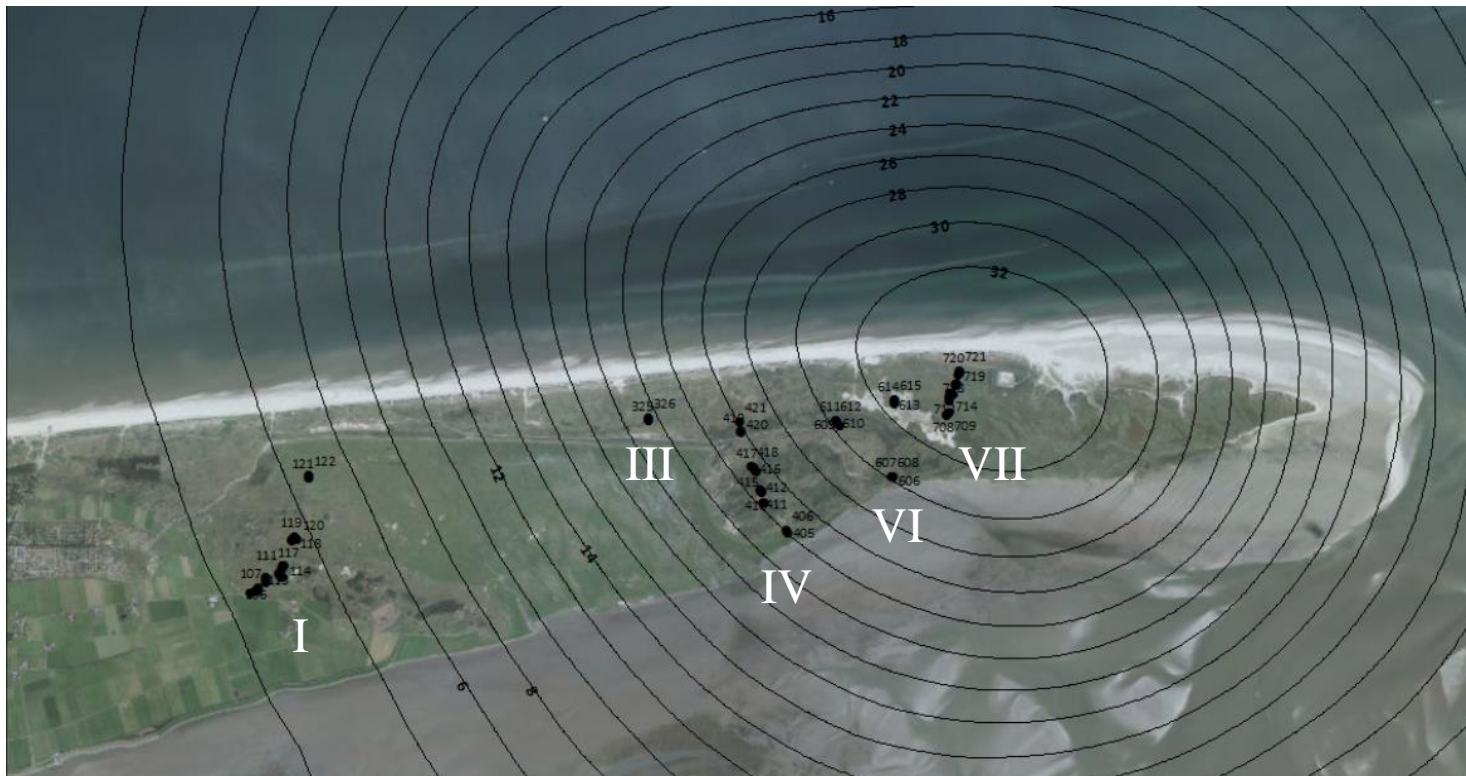
In 1994 is rond strandpaal 21.4 een (tijdelijke) doorbraak (*wash-over*) van de zeereep ontstaan. De zeereep heeft zich daar later weer hersteld, waarbij zich een nieuwe zeereep heeft gevormd die tientallen meters landinwaarts lag ten opzichte van de oude zeereep.

De conclusie kan dus worden getrokken dat de zeereep op geen enkele wijze te lijden heeft gehad van de bodemdaling. Vanuit de zeereep is bovendien veel zand doorgestoven naar de achterliggende duinvalleien.

5.2 Meetreeks Duinen

5.2.1 Ligging proefvlakken

De '*meetreeks Duinen*' bestond uit 66 permante proefvlakken (PQ's), gerangschikt in vijf raaien (I, III, IV, VI en VII). Transect I lag dicht bij de periferie van de bodemdalingschotel, de andere lagen rond het centrum van de bodemdalingschotel.





Ligging van de raaien met nummers van proefvlakken voor de monitoring van de duinvegetaties in het bodemdalingsgebied. De lijnen geven de bodemdaling voor 2015 aan in centimeter op basis van het bodemdalingsmodel van de NAM.

In de uitgangssituatie in 1986 verschilden de vegetaties in proefvlakken aanzienlijk in soortensamenstelling, in hoofdzaak samenhangend met een verschil in hoogteligging ten opzichte van NAP, bodemtype (zand, venige of kleiige bodem) en afstand tot de zeereep. De proefvlakken omvatten zowel hooggelegen helmbegroeiingen in de buitenste duinenrij, droge duingraslanden, duinstruwelen, natte duinvalleien als ziltige, kwelderachtige begroeiingen. Een aantal plekken had te maken hadden met opstuiwend zand vanaf de zeereep. De laagst gelegen PQ's in de duinenreeks konden incidenteel door zeewater overstroomd worden door water dat over de kwelder De Hon vanaf de zuidoostzijde kon binnendringen.

Aanvankelijk is de vegetatie in de proefvlakken eens in de drie jaar opgenomen, vanaf 2001 eens in de zes jaar. Opnamejaren waren 1986, 1989, 1992, 1995, 1998, 2001, 2007 en 2013. Daarmee bestrijkt deze meetreeks een periode van 27 jaar.

5.2.2 Indeling van PQ's in groepen

Om het effect van bodemdaling te onderscheiden van andere invloeden zijn de proefvlakken (PQ's) ingedeeld in twee hoofdgroepen: Veel bodemdaling (groep 1, 2 en 3) en weinig bodemdaling (groep 4, 5 en 6). Omdat het effect van bodemdaling waarschijnlijk het sterkst merkbaar zou worden in laag gelegen proefvlakken zijn binnen de hoofdgroepen drie subgroepen onderscheiden: Hoog gelegen (1 en 4), intermediair gelegen (2 en 5) en laag gelegen (3 en 6). Twee PQ's zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien deze proefvlakken bij de realisatie van het natuurherstelproject van It Fryske Gea in 2005 zijn afgeplagd. Daarmee werd hun maaiveldhoogte 28 respectievelijk 48 cm verlaagd.

PQ-clusters gebruikt voor het berekenen van trendwaardes in abiotische indicatiewaarden. (PQ325 en 326 zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien deze proefvlakken in 2005 zijn afgeplagd en daarmee 28-48 cm in maaiveldhoogte zijn verlaagd).

Groep	Raai	Aantal PQ's	m +NAP (1986)	Bodemdaling (1986-2013)
Groep 1	I	2	3,44-3,57 (hoog)	<4 cm
Groep 2	I + IV	8	2,38-2,84 (intermediair)	<6 cm
Groep 3	I + IV	15	1,67-2,24 (laag)	<7 cm
Groep 4	IV + VI	8	2,59-4,02 (hoog)	15-33 cm
Groep 5	IV + VI	16	1,83-2,49 (intermediair)	13-31 cm
Groep 6	VII	15	1,43-2,03 (laag)	20-36 cm
totaal		64		

5.2.4 Trends in indicatiewaarden

Iedere plantensoort heeft een optimum qua groeiplaats wat betreft bodemvocht, saliniteit, zuurgraad, kalkgehalte van de bodem, beschikbaar stikstof, enzovoort. Daardoor kunnen op grond van de aanwezige plantensoorten zogenaamde abiotische indicatiewaarden worden geschat. Er zijn twee systemen van indicatiewaarden gebruikt: De Ellenberg- en de Wamelink-indicatiewaarden.



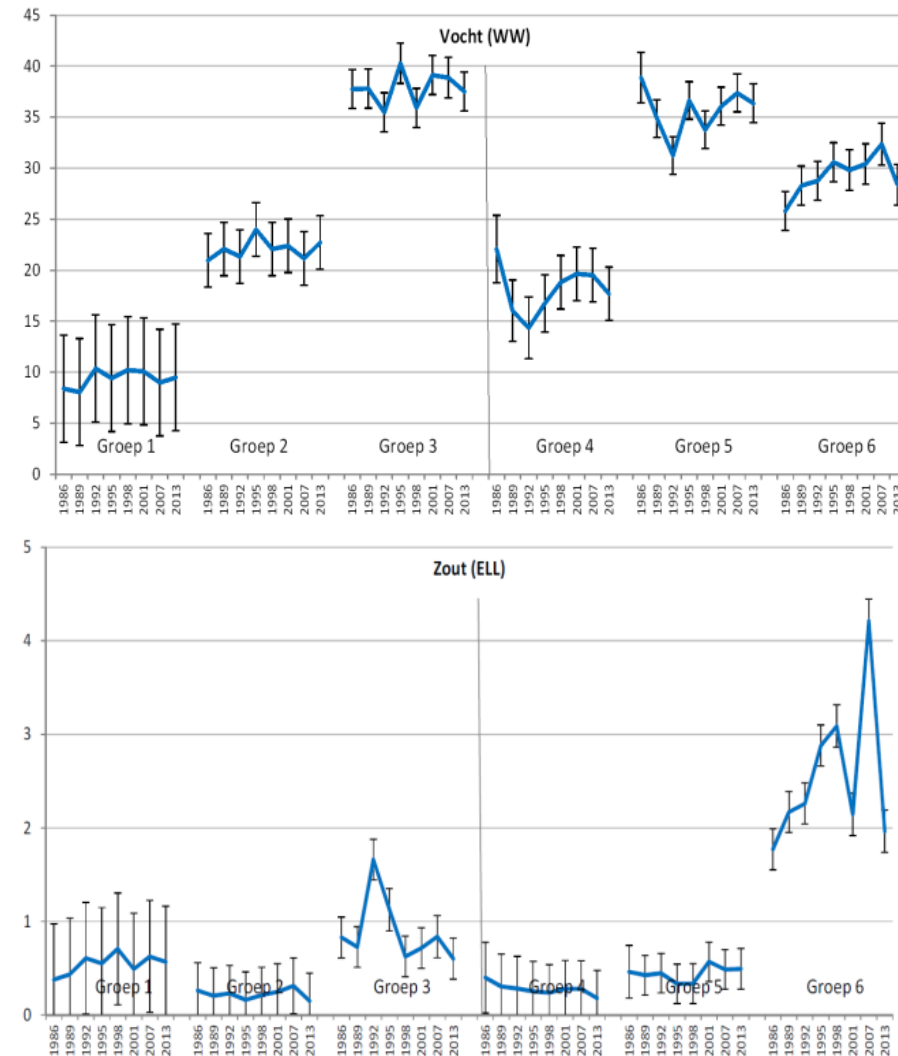
5.2.4.1 Vocht en zout.

De meest opvallende ontwikkelingen in de vegetatie van de duin-PQ's hadden te maken met vocht, zout, toename van nutriënten en verzuuring. Daarvan is de factor vocht gerelateerd aan bodemdaling. Vooral de laag gelegen PQ's met veel bodemdaling werden natter door de stijging van het grondwater.

Neerslaggegevens van een aantal weerstations in de regio (De Kooy op Texel, Hoorn op Terschelling en Lauwersoog) maken dat die vernatting niet het gevolg kan zijn van een langjarige trend in de (netto) neerslag. Dat blijkt ook uit de eerder getoonde variaties in grondwater: er is geen trend in de variaties, maar wel in het grondwaterpeil.

Een en ander maakt nogmaals duidelijk dat vooral bodemdaling (85%) heeft geresulteerd in vernatting en inundatie van de laagst gelegen valleien. Een kleiner deel (15%) is toe te schrijven aan zeespiegelstijging.

Er werd geen significante trend gevonden voor zout maar wel traden er tussen 1986 en 2013 drie piekgebeurtenissen op met als gevolg een tijdelijke verzilting in de laagst gelegen proefvlakken. In 1992 gebeurde dat aan de westzijde van het onderzoeksgebied (groep 3) en in 1998 en 2007 aan de oostzijde (groep 6). Deze verzilting was tijdelijk en verdween in de daaropvolgende periode weer grotendeels.



In de figuur zijn behalve de resultaten voor groep 1-6 ook de resultaten voor de afgeplagde PQ's te zien. De trends in de natuurbehoudswaarde zijn weergegeven voor de afzonderlijke groepen van proefvlakken. Plag PQ's betreffen PQ 325 en 326 die in 2005 zijn geplagd in het kader van een natuurherstelproject. Weergegeven zijn gemiddelden met standaardfout.



5.2.4.2 Stikstof en ophoping van organische stof.

NH_4 en NO_3 namen in alle proefvlakken sterk toe. Dit wijst op een vermistend effect van stikstofdepositie via aanvoer via de lucht. Door die vermistening groeien de planten sneller en komen ook soorten tot ontwikkeling die meer organisch materiaal produceren.

In een verruigende vegetatie hoop zich vaak humus op. Dat kan gemeten worden door de Koolstof-Stikstof (C/N) ratio. Deze C/N ratio nam vooral toe in de proefvlakken (vrijwel) zonder bodemdaling en in de hoger en de duinen gelegen proefvlakken van groep 4 (hoog gelegen, maar met bodemdaling). Dat daar in veel van de proefvlakken ook het lichtgetal (een maat voor de doordringing van licht tot de bodem; overeenkomend met de dichtheid van de vegetatie) afnam evenals het temperatuurgetal (de temperatuur van het bodemoppervlak; ook een maat voor de afscherming van zonlicht en warmte) duidt op verruiging (hoger opgaande vegetatie). Tevens trad er lichte verzuring op. Het periodiek overstroomd kunnen worden met zeewater resulteerde in de zo nu en dan met zeewater overstroomde PQ's in een permanent hogere beschikbaarheid van mineralen als kalium, calcium en nitraat, maar tegelijkertijd ook voor minder verzuring en verminderde opbouw van een humuslaag.



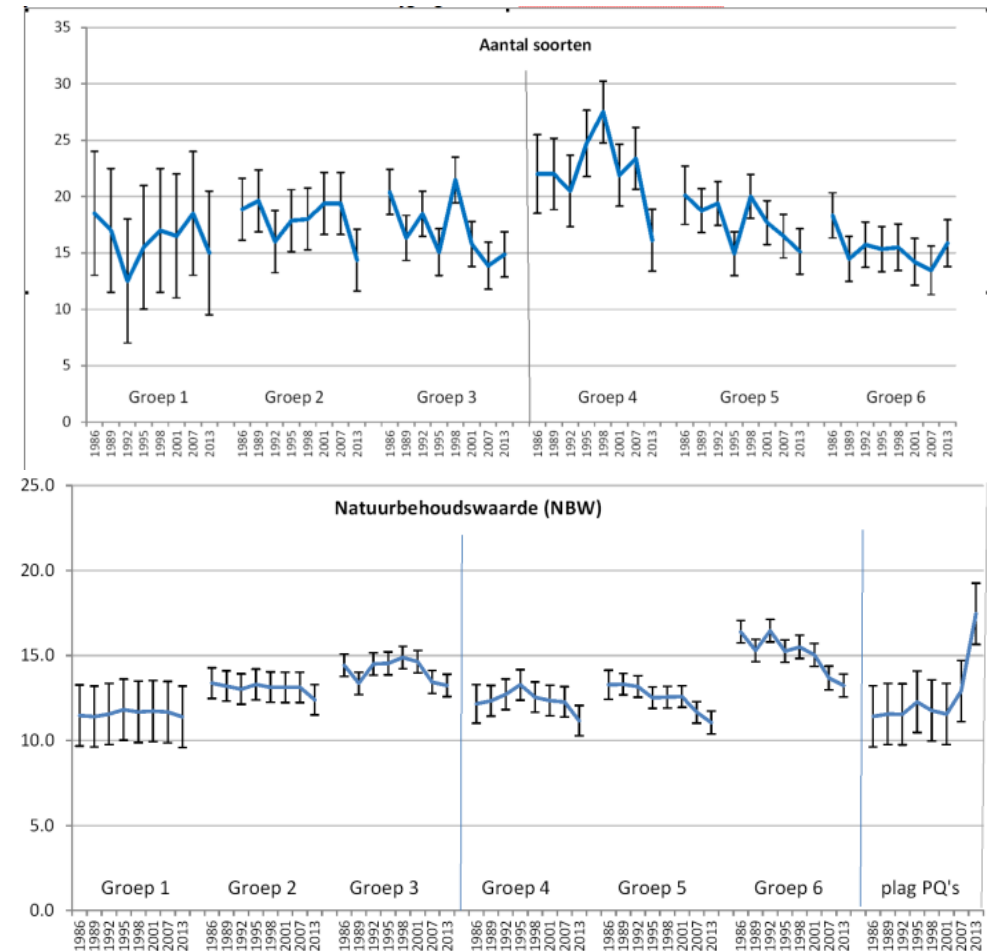
In de figuur zijn behalve de resultaten voor groep 1-6 ook de resultaten voor de afgeplagde PQ's te zien. De trends in de natuurbehoudswaarde zijn weergegeven voor de afzonderlijke groepen van proefvlakken. Plag PQ's betreffen PQ 325 en 326 die in 2005 zijn geplagd in het kader van een natuurherstelproject. Weergegeven zijn gemiddelden met standaardfout.



5.2.4.3 Soortendiversiteit en natuurbehoudswaarde

Het gemiddelde aantal plantensoorten (vaatplanten, mossen en korstmossen) per proefvlak nam over de periode 1986-2013 significant af van gemiddeld 19,6 soorten per proefvlak in 1986 naar 15,3 soorten in 2013. Dit is een afname van circa 20% ($p < 0,008$). De afname in de tijd verschilde niet significant tussen proefvlakken zonder of met bodemdaling ($p = 0.853$).

In vrijwel alle groepen nam de natuurbehoudswaarde dus af in de tijd, zowel in plots met als die zonder bodemdaling. Duidelijk te zien is dat de hoogste natuurbehoudswaarden voorkomen in de laagst gelegen plots in de natte duinvalleien (groep 3 en 6). Ook hier nam de natuurbehoudswaarde echter af. De meest voor de hand liggende verklaring is dat de kwaliteit van de begroeiingen op zowel droge als natte groeiplaatsen vooral door verzuiming negatief is beïnvloed. Het plaggen van een deel van de valleien in 2005 resulteerde evenwel de laatste jaren in een sterke stijging van de natuurbehoudswaarde en blijkt een effectieve maatregel voor het soortenbehoud in duinlandschappen.



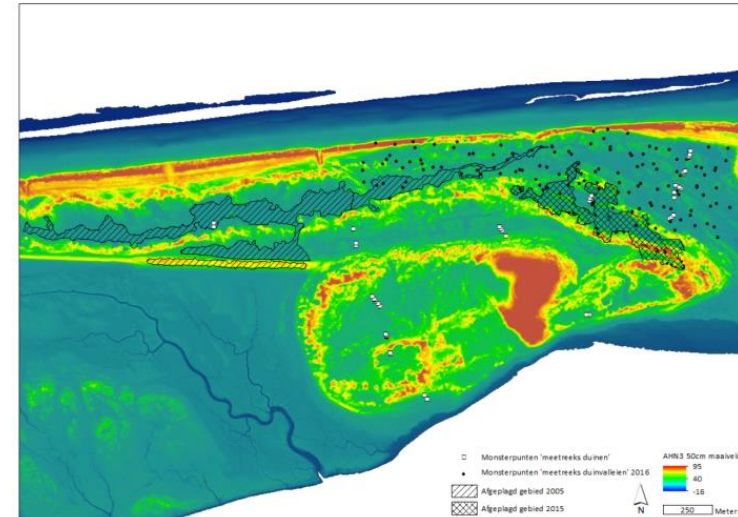
In de figuur zijn behalve de resultaten voor groep 1-6 ook de resultaten voor de afgeplagde PQ's te zien. De trends in de natuurbehoudswaarde zijn weergegeven voor de afzonderlijke groepen van proefvlakken. Plag PQ's betreffen PQ 325 en 326 die in 2005 zijn geplagd in het kader van een natuurherstelproject. Weergegeven zijn gemiddelden met standaardfout.

5.3 Meetreeks duinvalleien

De valleien waar sterfte van duindoorns was opgetreden bestreken circa 25 hectares en waren gelegen in het centrum van de bodemdalingsschotel. Besloten werd om – behalve dit gebied – ook de directe omgeving bij de intensievere monitoring te betrekken. De nieuwe monitoringsreeks aangeduid als ‘*meetreeks Duinvalleien*’ omvatte uiteindelijk 70 hectare en werd gestart in 2001.

5.3.1 Het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied is op onderstaande kaarten herkenbaar aan de zwarte punten die de plaats van de vegetatie-opnamen in 2016 aanduiden. Ze liggen in groepen van 4 (kaart rechts), waarvan er er steeds twee vanaf 2001 steeds op precies dezelfde plek zijn opgenomen, en de twee andere vlak daarbij maar steeds op een andere, *at random* gekozen plek. Daardoor is geavanceerde statistische analyse van de gegevens mogelijk.



Contouren van de duinvalleien die in 2005 (schuin gearceerd) en in 2015 (kruislings gearceerd) zijn geplagd ten behoeve van natuurherstel. De stippen geven de vaste en zwervende meetlocaties van de meetreeks ‘Duinvalleien’ van 2016 weer, de vierkantjes staan voor de monsterpunten van de meetreeks ‘Duinen’.



Van noord naar zuid is in het onderzoeksgebied een zonering aanwezig: van helmbegroeiingen in de zeereep naar droge duingraslanden en van natte duinvalleien aan de noordkant tot zilte vegetaties aan de zuidkant. Op veel plaatsen komen die begroeiingen voor in mozaïek met duindoornstruweel of kruipwilgstruweel. De duinvalleien op Oost-Ameland ten westen van de NAM-locatie worden af en toe bij stormtij overstroomd met zeewater vanwege de open verbinding met de Waddenzee aan de zuidoostkant. De verwachting was dat als gevolg van bodemdaling, de frequentie en duur van overstroming met zeewater zou toenemen. Verwacht werd dat dit gevolgen zou hebben voor de duingrasland en struweelbegroeiingen in deze valleien. Ook zouden de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld toenemen als gevolg van bodemdaling.

5.3.2 Indeling in groepen

Bij de start van de meetreeks in 2001 werd de aanwezigheid van de verschillende habitattypen vooral bepaald door de milieufactoren vocht (gerelateerd aan hoogteligging), afstand tot de zeereep en afstand tot het instroompunt van zeewater uit de Waddenzee. Net als bij de meetreeks Duinen werd verondersteld dat het effect van bodemdaling op een plek sterk afhankelijk zou zijn van de hoogteligging ten opzichte van NAP. Bij de analyse van de resultaten zijn de proefvlakken daarom ingedeeld in een viertal groepen, variërend in hoogteligging. De hoogte van het maaiveld bij de start van de meetreeks in 2001 is daarbij als maat genomen. Op basis van verschuivingen in soortensamenstelling in de tijd en de daaruit af te leiden indicatiewaarden voor milieuv variabelen als vocht, zuurgraad, nutriënten beschikbaarheid (stikstof, fosfaat, kalium en calcium) en zoutgehalte van de bodem, kon het optreden van trendmatige veranderingen in de abiotische omstandigheden worden onderzocht.

Indeling van proefvlakken in groepen voor het berekenen van temporele trends in abiotische indicatiewaarden. Hierbij zijn alleen de permanente proefvlakken gebruikt (plots die in 2005 dan wel 2015 zijn geplagd, zijn voor de gehele meetperiode buiten beschouwing gelaten).

Groep	Aantal plots	Maaiveldhoogte m +NAP (2001)	Maaiveldhoogte m +NAP (2016)
Groep 1	22	>2,50	>2,39
Groep 2	16	2,15-2,50	1,96-2,61
Groep 3	10	1,83-2,10	1,56-2,09
Groep 4	10	1,33-1,82	1,24-1,64
	58		

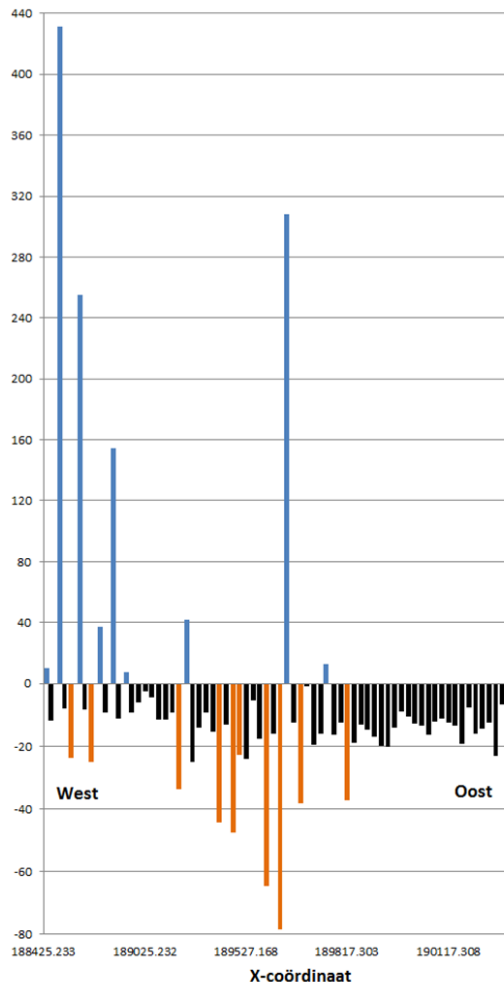
De overstromingsfrequentie van de duinvalleien is tussen 1986 en 2016 echter nauwelijks toegenomen, namelijk van ruwweg drie naar vier overstromingen per jaar. De eerder voorspelde sterke stijging van de overstromingsfrequentie met zeewater ten gevolge van bodemdaling is tot nu toe dus niet opgetreden. De duur van de inundatie is wel duidelijk toegenomen. Een en ander betekent dat er jaarlijks op de laagste plekken in de valleien maandenlange inundaties met brak water optreden en ook gedurende de zomer het grondwater beduidend hoger staat dan 30 jaar geleden.

5.3.3 Maaiveldontwikkelingen in het onderzoeksgebied

De bodemdaling als gevolg van gaswinning bedroeg op basis van het NAM-bodemdalingsmodel in de periode 1986-2015 in de duinvalleien in het onderzoeksgebied 28-34 cm. De gemeten verandering in maaiveldhoogte wijkt daarvan af door het in- en uitsterven van zand in en langs de zeewering, humusvorming en het plaggen in kader van natuurherstel in 2005 en 2015.



Verandering maaiveld (cm) 2001-2016



Bodemdaling, opstuiving, uitstuiving en bodemvorming. In blauw de proefvlakken die zijn opgestoven, in oranje de proefvlakken die zijn geplagd en in zwart de proefvlakken waarvan de bodem netto is gedaald. ode 2001-2016 als gevolg van bodemdaling, opstuiving, uitstuiving en bodemvorming. In blauw de proefvlakken die zijn opgestoven, in oranje de proefvlakken die zijn geplagd en in zwart de proefvlakken waarvan de bodem netto is gedaald.

Duidelijk is dat door opstuiving de zeereep op bepaalde plekken netto meer dan 400 cm is verhoogd. Een deel van het opgestoven zand is direct achter de zeereep terecht gekomen met als gevolg een netto verhoging van het maaiveld van enkele tot soms wel tientallen centimeters. Dit effect neemt echter vanaf de zeereep snel af; verder van de zeereep is sprake van een netto bodemdaling.

De gemiddelde bodemdaling sinds het begin van de gaswinning bedroeg ruim 35 cm en de gemeten maximale bodemdaling in de periode 2001-2016 als netto resultaat van bodemdaling, overstuiving en bodemvorming bedroeg maximaal 25 cm (mediaan 12,5 cm).

Duidelijk is ook dat met is ook de beheermaatregel 'plaggen' in een deel van de valleien. Als gevolg van plaggen in 2005 en 2015 is het maaiveld in bepaalde proefvlakken gedaald met 24-79 cm. De locaties waar in 2005 of 2015 is geplagd zijn buiten de analyses gehouden.

5.3.4 Trends in indicatiewaarden

Net als bij de meetreeks duinen zijn de indicatiewaarden voor bodemvocht, zout, stikstof, zuurgraad en licht voor de vier onderscheiden groepen uitgezet tegen de tijd. Met behulp van lineaire regressie is vervolgens vastgesteld of trends significant zijn. Enkele daarvan worden hier behandeld.

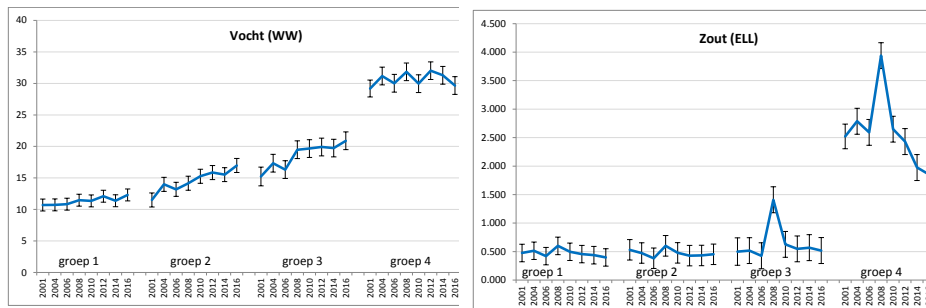
5.3.4.1 Bodemvocht en de invloed van zeewater

Duidelijk is te zien dat de groepen verschillen in bodemvochtcondities: de hoogst gelegen groep 1 (>2,50 m +NAP) betreft droge groeiplaatsen, terwijl groep 4 (<1,80 m +NAP) natte groeiplaatsen betreft. Vooral in de intermediair gelegen groep 2 en



3 trad in de loop van de tijd vernatting op volgens een min of meer lineaire trend.

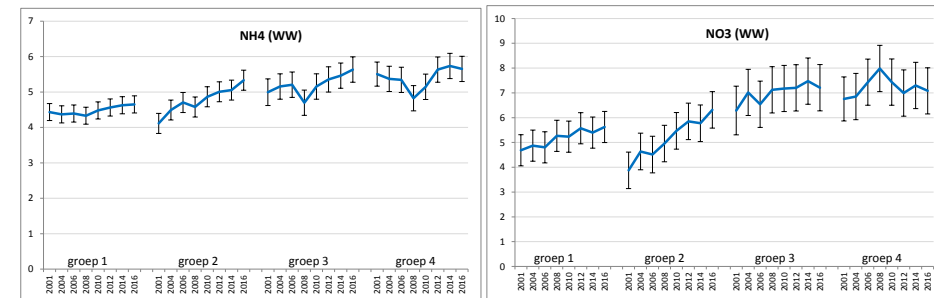
De laagst gelegen groep 4 ligt duidelijk onder invloed van inunderend zeewater, waarbij 2008 er uitspringt als een piekgebeurtenis ('event'). In het voorjaar van 2007 is de bodem tijdelijk sterk verzilt door een combinatie van een grote overspoeling met zeewater gevolgd door een droog voorjaar. Als gevolg van uitspoeling van het zout met het regenwater is de bodem in de daaropvolgende jaren deels weer ontzilt. Groep 2 en groep 3 staan duidelijk minder sterk onder invloed van zeewater maar in beide groepen treedt toch een min of meer lineaire verandering op die er op duiden dat deze plekken geleidelijk meer onder invloed zijn gekomen van zeewater. Dit is te zien aan de WW-indicatie waarden voor Cl en K. Ook hier lijkt sprake van een samenhang met bodemdaling. Ook in groep 2 en 3 is het eenmalige verziltingseffect van 2007 duidelijk zichtbaar.



Groep 1: Hoog. Groep 2: Middelhoog. Groep 3: Tamelijk laag. Groep 4: Laag. Links: Indicatiewaarden voor vocht. Vooral de op intermediaire hoogtes gelegen PQ's werden vochtiger. De laag gelegen PQ's waren al vanaf het begin van de waarnemingen zeer vochtig. Rechts: Indicatiewaarden voor zout. Duidelijk is de piek in de tamelijk laag en laag gelegen PQ's te zien die werd veroorzaakt door binnendringend zeewater.

5.3.4.2 Nutriënten en verrijging

In het hele gebied stegen de indicatiewaarden voor stikstof (NO_3 , NH_4 en N_{tot}). Dit kan deels een gevolg zijn van de vernatting, waardoor een snellere mineralisatie van organisch materiaal optreedt. Tegelijkertijd is er aanvoer van stikstof via de lucht.



Groep 1: Hoog. Groep 2: Middelhoog. Groep 3: Tamelijk laag. Groep 4: Laag. Indicatiewaarden voor eutrofiëring door NH_4 (ammonium) en NO_3 (nitraat). De stijging is grotendeels het gevolg van atmosferische depositie. Weergegeven zijn gemiddelden met standaardfout.

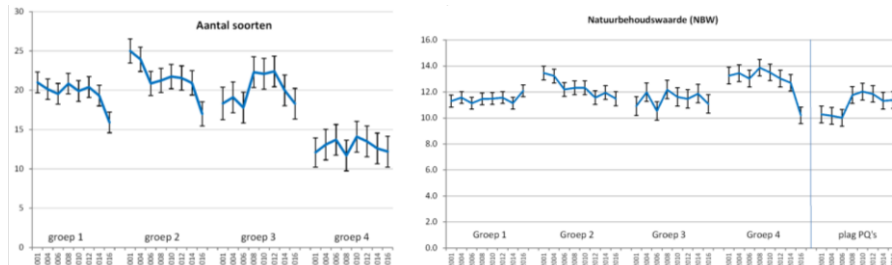
Op langere termijn, wanneer de bodemdaling steeds verder afneemt maar de zeespiegel sneller zal gaan stijgen, zal het vooral de zeespiegelstijging zijn die voor verandering kan zorgen. Op dit moment is nog niet te voorspellen in welke richting de ontwikkelingen dan zullen gaan. Een stijgende zeespiegel zorgt namelijk enerzijds voor een grotere kans op overspoeling met zeewater, maar anderzijds ook voor een hogere grondwaterstand.



5.3.4.2 Soortsdiversiteit en natuurbehoudswaarde (NBW)

Het gemiddelde aantal soorten per proefvlak nam in de tijd enigszins af in de hoge en middelhoge PQ's maar niet in de tamelijk lage en lage PQ's. Veranderingen in de natuurbehoudswaarde verschilden per groep. In de middelhoge en lage PQ's nam de NBW-waarde significant af; in de hoge en tamelijk lage PQ's traden geen significante veranderingen op. De sterke afname in de lage PQ's werd vooral veroorzaakt door plots waar sterke vergrassing/verruiging met Duinriet (*Calamagrostis epigejos*), Rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en/of Zeekweek (*Elytrigia atherica*) optrad.

De plots die in 2005 waren geplagd lieten aanvankelijk een toename in NBW zien, welke in de jaren daarna weer enigszins afnam.



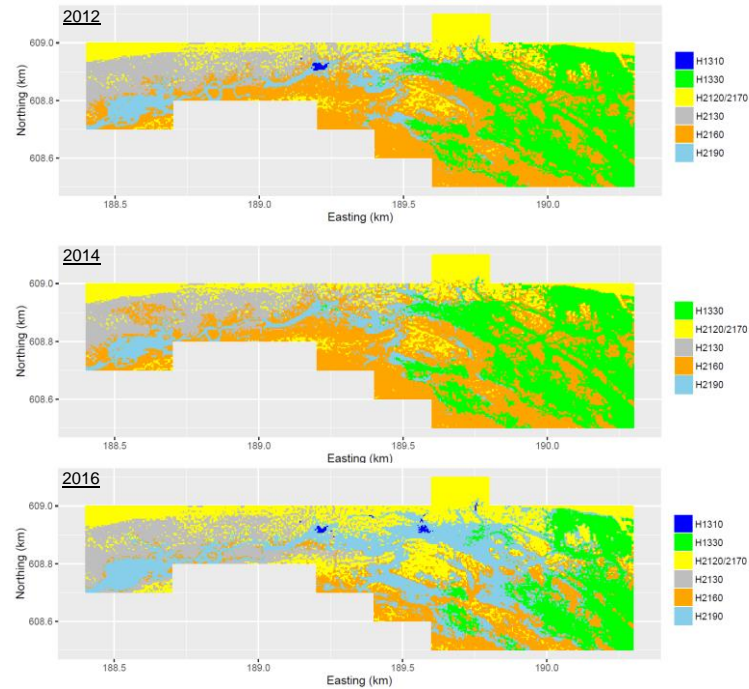
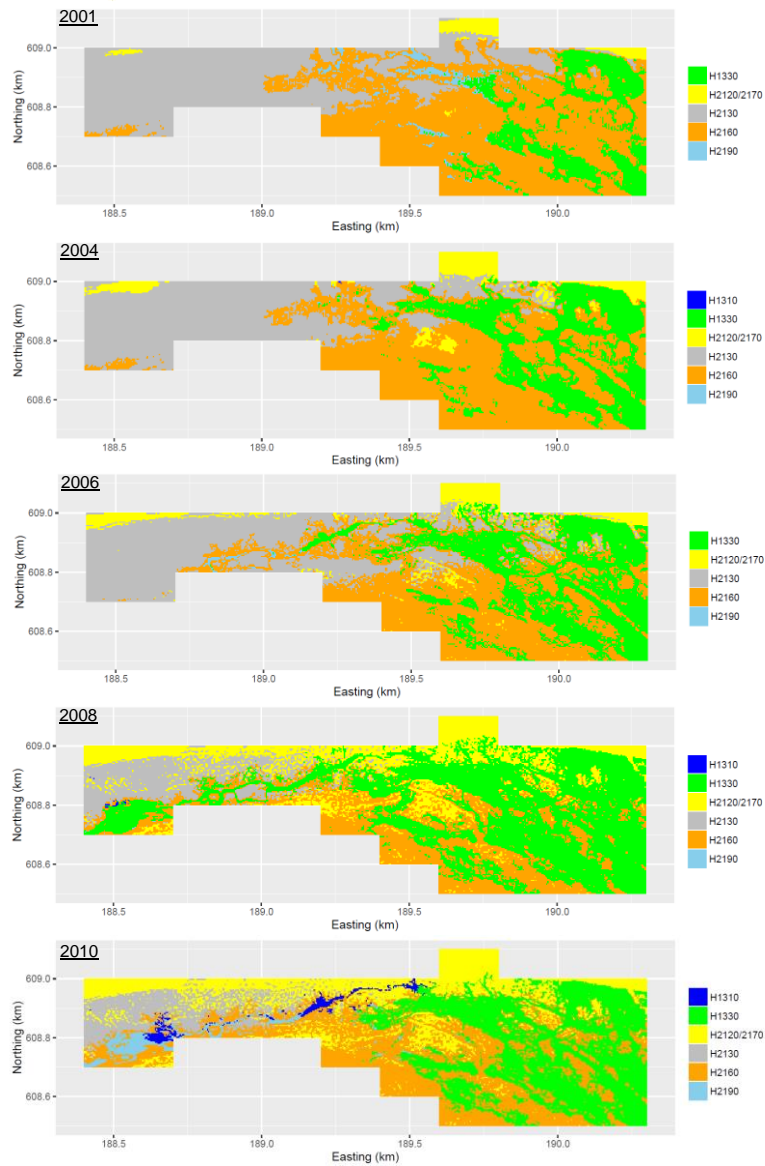
Groep 1: Hoog. Groep 2: Middelhoog. Groep 3: Tamelijk laag. Groep 4: Laag. Trends in het gemiddelde aantal soorten en de natuurbehoudswaarde per proefvlak. 'Plag PQ's' betreffen PQ 4, 7, 16 en 22. Deze zijn in 2005 geplagd in het kader van een natuurherstelproject. Weergegeven zijn gemiddelden met standaardfout.

5.3.7 Trends in habitattypen

In de uitgangssituatie werden de volgende habitattypen onderscheiden: Witte duinen (H2120), Grijs duinen (H2130), Natte duinvalleien (H2190), Duindoornstruwelen (H2160), Kruidwilgstruwelen (H2170), Zilte pionierbegroeiingen (H1310) en Zilte graslanden (H1330). Ruimtelijk konden H2120 en H2170 nauwelijks van elkaar worden onderscheiden en zijn beide typen samengenomen.

De verschuivingen in de habitattypen zoals die in de vegetatie-onnamen werden waargenomen zijn geëxtrapoleerd naar het hele gebied door middel van terreinhoogte, de kans op inundatie en de helling van de bodem. De wiskundige achtergronden van deze berekening zijn te vinden in het hoofdrapport, hoofdstuk 6. De uitkomsten zijn fijnmazige kanskaarten waarop de meest waarschijnlijke habitats in een fijn grid zijn aangegeven. Uit de berekening volgt ook de areaalverschuiving van de verschillende habitattypen.

Areaalverschuivingen van de habitattypen van 2001 tot en met 2016 staan weergegeven in onderstaande figuur. Daarin zijn behalve de ongeplagde gebieden ook de in 2005 en 2015 geplagde delen van het terrein in de kaarten opgenomen.



- 1310 Zilte pionierbegroeiingen
- 1330 Zilte graslanden
- 2120 Witte duinen en
2170 Kruipligstruwelen
- 2130 Grijze duinen
- 2160 Duindoornstruwelen
- 2190 Natte duinvalleien

Habitattypenkaarten voor het onderzoeksgebied. Links (van boven naar beneden) 2001, 2004, 2006, 2008 en 2010. Rechts: (van boven naar beneden) 2012, 2014 en 2016.



De volgende verschuivingen traden op:

H1310 en H1330: De zilte kwelderachtige typen (donkerblauw en groen) vertoonden na na de ingrijpende inundatie met zeewater in 2007 een grote uitbreiding in 2008 en daarna een geleidelijke afname.

H2120 en H2170: De Witte duinen en de kruipwilgstruwelen zijn in de habitatkaarten samen genomen omdat ze in deze analyse moeilijk van elkaar te onderscheiden waren. Hun gezamenlijke oppervlak (geel) nam vanaf 2001 geleidelijk in oppervlak toe. Sinds 2008 is hun gezamenlijke oppervlak ongeveer stabiel. H 2130: Na een afname van het habitatype Grijs duinen (grijs) in 2008 nam het areaal van dit habitatype in de daaropvolgende jaren weer geleidelijk toe.

H2160: De netto afname van Duindoornstruwelen (oranjebruin) sinds 2001 springt in het oog en treedt ook op in de proefvlakken zonder beheersingrepen (plaggen).

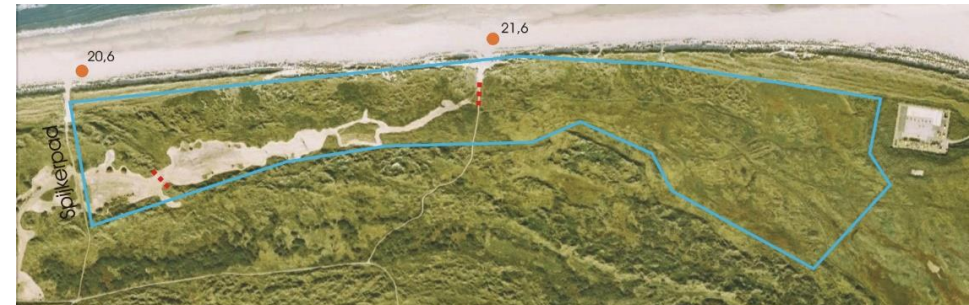
H2190: Opvallend is de sterke toename van het habitatype Natte duinvalleien dat als lichtblauwe banen in de kaarten vanaf 2010 te zien zijn en in een vrij groot gebied. Een verdere uitbreiding van dit type vond plaats in 2015 na het afplaggen van verruigde duinvalleien. Dit beeld is consistent met de waargenomen stijging van het grondwater.

De prognose is dat de bodem in het centrum van de bodemdalingsschotel nog wat verder zal dalen en de zeespiegel verder zal stijgen. De verwachting is dat de vernatting en daarmee de uitbreiding van het habitatype Natte duinvalleien (H2190) zich nog enige tijd zal voortzetten. Of dit ook leidt tot verdere verzilting van de valleien met afgewacht worden; tot nu toe is dit niet het geval. De voortschrijdende vernatting zal op de laagst gelegen plekken waar duindoornstruweel voorkomt tot het verder afsterven van duindoorn leiden. Duindoorn is evenwel goed in staat om zich

door middel van vegetatieve uitbreiding langs de duinhellingen naar boven te verplaatsen.

5.4 Zeldzame planten

Sinds 2006 wordt elk jaar een aantal zeldzame duinvalleiplanten op Oost-Ameland gekarteerd. Het inventarisatiegebied loopt vanaf de NAMlocatie in het oosten tot aan het Spijkerpad in het westen. Op de Google Earth foto is te zien dat een langgerekte westelijk gelegen vallei is afgeplagd. Inmiddels is ook een deel van de oostelijk gelegen valleien geplagd.

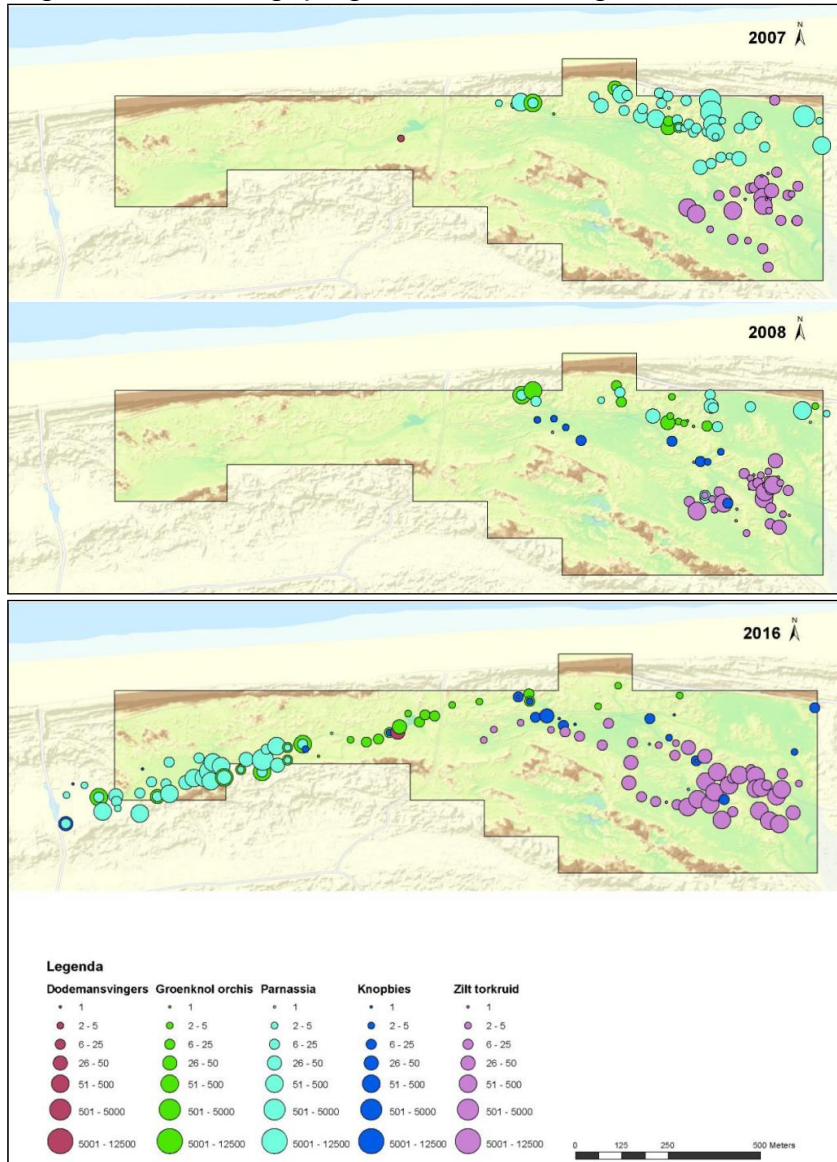


Begrenzing van het onderzoeksgebied (blauw). De opname (Google Earth) is in de herfst van 2005 gemaakt toen de vallei ten westen van pl 21,6 net was opgeschoond. Een klein stukje (30 m) ten oosten van het strandpad naar pl 21,6 is kort daarna ook afgeplagd. Twee verwijderde drempels zijn in rood aangegeven.

De plantensoorten die gekarteerd worden zijn: Groenknolorchis, Parnassia, Knopbies, Moeraswespenorchis, Rond wintergroen, Zilt torkruid, Dodemansvingers en Vleeskleurige orchis. De Dodemansvingers zijn een absolute bijzonderheid voor Oost Ameland. Voor zover bekend komt deze soort op de andere waddeneilanden niet voor.

Over het algemeen doen deze soorten het goed, vaak zelfs beter dan elders door de combinatie van een verhoogde grondwaterspiegel, instuivend zand en enige (maar niet te veel)

invloed van zout water. Enkele soorten hebben zich sterk uitgebreid in het afgeplagde deel van het gebied.



Het voorkomen van enkele zeldzame plantensoorten in de duinvalleien in het bodemdalingsgebied in 2007, 2008 en 2016. Parnassia verdween uit het oostelijke gebied, maar breidde zich sterk uit in het afgeplagde gebied in de meer westelijke valleien. Ook de Groenknolorchis schoof op naar het afgeplagde gebied. Zilt torkruid en Knopbies breidden zich vooral uit in het laag gelegen oostelijke gebied met zout-invloed.



5.5 Vergelijking met duinvalleien elders in het waddengebied

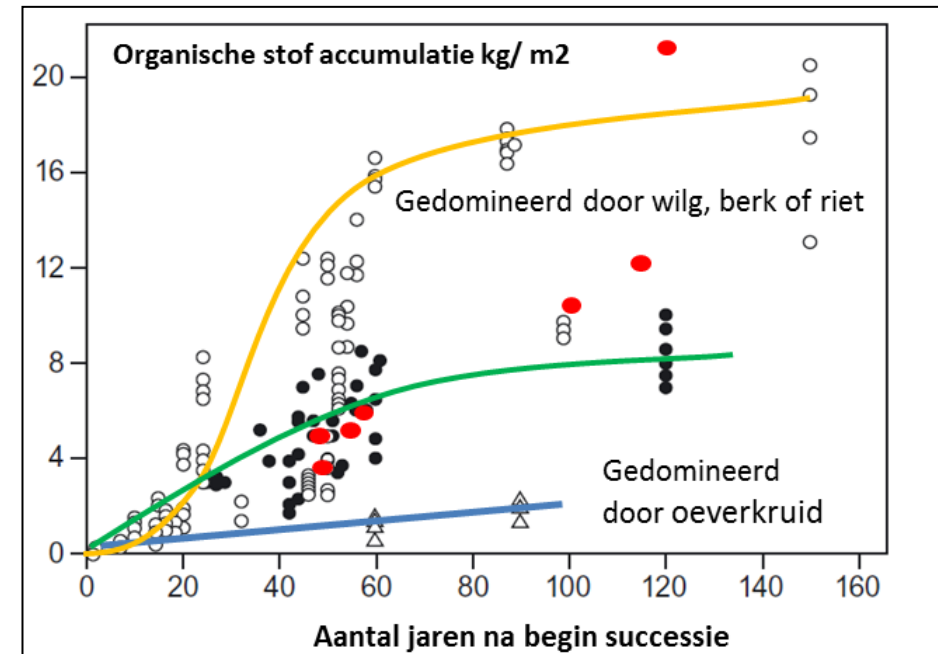
Om de vergelijking met Ameland te kunnen maken is allereerst een reconstructie gemaakt van ontwikkeling van duinvalleien van de Nederlandse Waddeneilanden over een periode van 100 jaar. Vervolgens is onderzocht in hoeverre de ontwikkeling gedurende de laatste 30 jaar van de duinvalleien op Ameland die onder invloed verkeren van bodemdaling, afwijkt van de ontwikkeling in gebieden zonder bodemdaling. Veranderingen in accumulatiesnelheid van organische stof staan daarbij centraal.

Aanvullend is gebruik gemaakt van gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden gedurende 10 jaar en van metingen van de pH van de bodem. Deze drie factoren worden algemeen gezien als de belangrijkste factoren voor duinvalleioontwikkeling. In totaal zijn 22 gebieden op Texel, Terschelling, Vlieland en Schiermonnikoog geselecteerd waar geen bodemdaling heeft plaatsgevonden (de 'referenties'), en 7 plekken op Ameland-Oost ('Het Oerd'), waar wel bodemdaling heeft plaats gevonden.

Jonge duinvalleien hebben vaak een open, kalkrijke bodem waarin veel bijzondere plantensoorten kunnen groeien. Zolang die kalkrijk blijven, worden plantenresten snel afgebroken en blijft deze gunstige situatie in stand totdat onder invloed van aanvoer van stikstof vanuit de lucht verzuring en ophoping van organische stof optreedt.

De natuurbehoudswaarde van oudere duinvalleien neemt daarbij sterk af. Bij een bodemverlaging van 20-38 cm, zoals in Het Oerd, mag men verwachten dat de frequentie en duur van inundaties met grondwater en zeewater zal toenemen. Dat is ook gedeeltelijk uitgekomen, zij het dat de frequentie niet toenam, maar wel de duur van de inundaties, vooral na incidentele stormvloed. Verwacht werd ook dat daardoor de ophopingsnelheid van de

organische stof in de bodem zou toenemen door het vaker voorkomen van zuurstofloze omstandigheden. Wanneer we nu de accumulatie van organische stof in de valleien van het Oerd vergelijken met de reeksen van organische stofstapeling op andere Waddeneilanden, dan valt op dat de oudere (zoete) stadia overeenkomen met die van de Koegelwiek op Terschelling. Ze stapelen in ca. 100 jaar 10-13 kg/m² organische stof.



Vergelijking van de organische stof accumulatie in valleien van Het Oerd (rode rondjes). Referenties: Wales (zwarte rondjes) en elders op de Waddeneilanden (open rondjes). De gele lijn geeft de trend aan van valleien op Schiermonnikoog, de groene lijn geeft de trend weer van de Koegelwiek op Terschelling en de blauwe lijn geeft de trend weer van valleien met Oeverkruid



Deze relatief jonge valleien van het Oerd (Oerd 4 en Oerd 5; beiden 45-50 jaar oud) zijn in hun ontwikkeling beïnvloed door overstromingen met zeewater. De jaarlijkse inundatieduur is daarbij de afgelopen jaren toegenomen. Ze zijn ook veel minder zuur en de bodem-pH is hoger dan 6. Overstroming met zeewater stimuleert kennelijk de afbraak van organische stof in vergelijking met de conserverende invloed van zuurstofloos zoet grondwater. Dit werd ook op Terschelling gevonden. De even oude valleien van de strandvlakte van Schiermonnikoog stapelden in 50 jaar bijna tweemaal zoveel organische stof dan de valleien op de Oostkant van Ameland (8 tegen 3-5 kg/m²).

Op Ameland wordt de vallei rond de Oerder meertjes (het ene hoog liggende rode punt in de figuur) nooit door zeewater overstroomd. Daar wordt juist wel veel organische stof opgeslagen; er ligt een veenlaag van bijna 30 cm dik.

Er zijn dus duidelijke aanwijzingen dat de stapeling van organische stof door de invloed van zeewater in de meer brakke valleien van Het Oerd minder groot is dan in de meeste ander (zoete) valleien op de Waddeneilanden. Voor de natuurbehoudswaarde van deze valleien is dat gunstig.

6 Kwelders

Een belangrijk element in het effect van bodemdaling op kwelders is 'regressie'. Dat houdt in dat de gebruikelijke ontwikkeling van de hoogteligging en de daarbij horende plantengroei wordt omgekeerd. In plaats van een door opslibbing steeds hoger wordend maaiveld met de daarbij horende plantengroei wordt het maaiveld juist lager met daarop planten die in een lagere kwelderzone thuishoren.

6.1 Beschrijving Neerlands Reid en De Hon

Op Ameland-Oost liggen twee kwelders: Het beweide Neerlands Reid ten westen van het duincomplex Oerd, en de jongere, onbeweide kwelder van De Hon ten oosten van het Oerd. Het Neerlands Reid en een deel van de aangrenzende duinen is eigendom van de 'Maatschappij tot Exploitatie van Onroerende Goederen op het Oosteinde, Oerd en Neerlands Reid B.V.', in de volksmond kortweg de 'Vennoot' genoemd. De Hon en een deel van Het Oerd worden sinds 1938 door It Fryske Gea beheerd.



Het studiegebied op het oostelijke deel van Ameland (bron: GoogleEarth).

Beide kwelders hebben zich ontwikkeld op een zandplaat. Bij het Neerlands Reid gebeurde dat na de aanleg van een stuifdijk tussen de Kooидуinen en de Oerderduinen in de periode 1882-1893. Op de zandplaat lagen toen al duintjes uit de periode 1800-1880. Het Neerlands Reid wordt sinds het ontstaan van de

kwelder beweid; al in 1921 werden door de boeren van het meest oostelijke dorp van Ameland beweidingsrechten verdeeld. Het gebied wordt ontwaterd door enkele kweldergeulen waarvan de oostelijk gelegen Oerdsloot de grootste is. Sinds omstreeks 1962 wordt het Neerlands Reid tegen erosie beschermd door een oeververdediging. Door de vrij intensieve beweiding is de vegetatie overwegend kort.

De kwelder van de Hon ontstond in de luwte van duintjes die omstreeks 1962 ontstonden. De kwelder van De Hon is altijd onbeweid gebleven. Daardoor is de vegetatie ruig, met veel Zoutmelde en Strandkweek. Aan de zuidwestzijde treedt kliferosie op, maar aan de zuidoostzijde vindt periodiek aangroei plaats. Daar bevinden zich plekken die vanaf 1986 in 25 jaar tijd een volledige successie hebben doorgemaakt van pionierzone, via gewoon kweldergras en gewone zoutmelde naar zeekweek.

In 1987 is een eerste voorspelling voor de veranderingen van de opslibbing en vegetatie op Ameland gemaakt. Deze effectenvoorspelling ging uit van de typische zonering van de kwelder en nam aan, dat een hoogteverandering rechtstreeks leidt tot een verandering van de kweldervegetatie. De prognose was toen als volgt:

- Op Neerlands Reid zou door het achter blijven van de opslibbing t.o.v. de bodemdaling, de vegetatiesamenstelling over een aanzienlijk oppervlakte verschuiven naar soorten die bij een hogere overstromingsfrequentie horen. Dit zou in sommige gevallen zelfs kunnen leiden tot een algeheel terugschuiven van de vegetatiezone naar een vroeger en lagere stadium (regressie). Het totale kwelderoppervlak zou wel gelijk blijven.

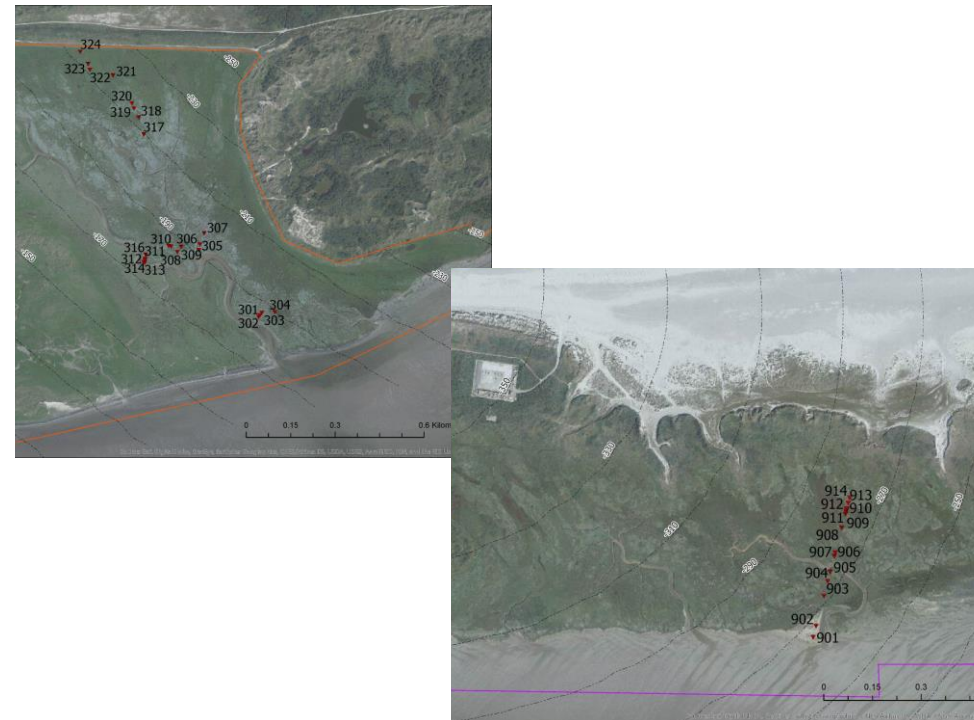
- Op De Hon zouden de vegetatiezones langzaam richting duinen gaan opschuiven. Een deel van de lage kwelder zou overgaan in wad. Daarnaast zouden op De Hon ook grote natuurlijke veranderingen plaats gaan vinden.



Links: Het Neerlands Reid wordt begraasd en heeft een overwegend lage vegetatie. Rechts: De Hon is onbeweid en heeft een overwegend ruige vegetatie

6.2 Opslibbing en vegetatie van proefvlakken

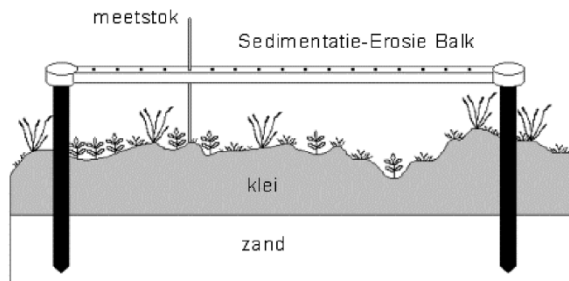
De vegetatie en de opslibbing op het Neerlands Reid en De Hon zijn gemeten op proefvlakken die in twee transecten vanaf de kwelderrand naar het noorden lopen. De bodemdaling was vanaf 1986 in het transect op het Neerlands Reid in 2016 ongeveer 20 cm, in het transect op De Hon was dat ongeveer 28 cm. De zeespiegel was in diezelfde periode met gemiddeld 6 cm gestegen.



Links: de 24 meetpunten op Neerlands Reid van raai 3 met de bodemdalingcontourlijnen op basis van de gemeten daling 1986-2014, rechts: de 14 meetpunten op De Hon van raai 9 met de bodemdalingcontourlijnen op basis van de gemeten daling 1986-2014.

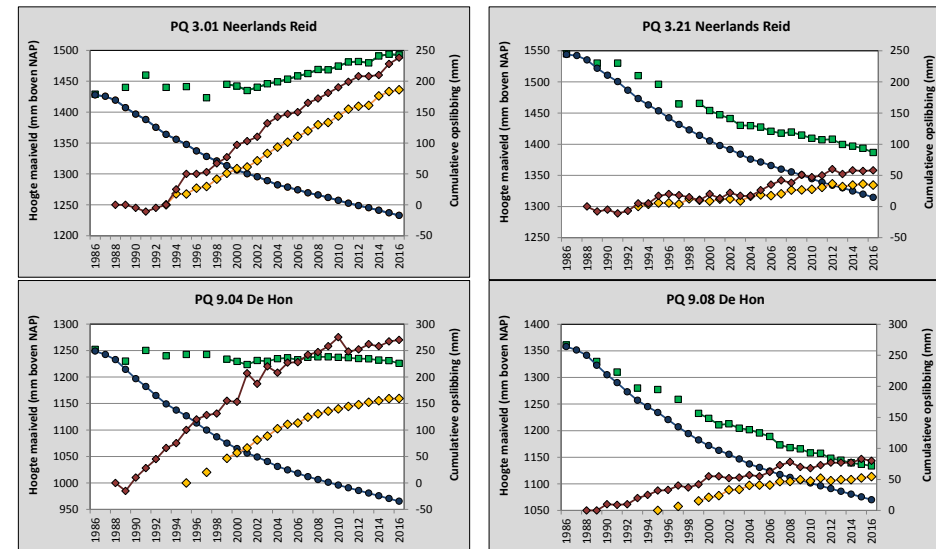
6.2.1 Sedimentatie bij de proefvlakken

De sedimentatie bij de proefvlakken werd twee keer per jaar gemeten met behulp van een zo geheten Sedimentatie Erosie Balk (SEB).



De Sedimentatie Erosie Balk (SEB). Voor een meting van de hoogte van het maaiveld wordt een aluminium balk over twee diep verankerde palen geplaatst. Door een meetstok door gaatjes in de aluminium balk te laten zakken wordt de hoogte van het maaiveld op een hele rij punten gemeten waarna een gemiddelde kan worden bepaald.

Als voorbeelden van deze sedimentatie-erosiemetingen zijn hieronder de resultaten van twee proefvlakken op het Neerlands Reid en van twee proefvlakken op De Hon weergegeven. Bij sommige proefvlakken (links; 3.01 en 9.04) was de jaarlijkse sedimentatie voldoende groot om de bodemdaling volledig te compenseren. Per saldo bleef het maaiveld daardoor ondanks de bodemdaling ongeveer even hoog. Dat waren proefvlakken dicht bij de wadrand of vlak bij een grote geul.



De maaiveldhoogte (groene vierkantjes) en de peilmerkhogte voor bodemdaling (blauwe stippen). Ook weergegeven is de gemeten opslibbing met de SEB (gele ruitjes). Oorspronkelijk werd de opslibbing gemeten op basis ingegraven platen (bruine ruitjes). Maten in mm. Links: Twee PQ's waar de sedimentatie voldoende was om de bodemdaling te compenseren. Rechts: Twee PQ's waar de sedimentatie onvoldoende was om de bodemdaling te compenseren.

Verder van de wadrand en verder van een geul (rechts; 3.21 en 9.08) was de opslibbing onvoldoende om de bodemdaling te compenseren; per saldo zakte het maaiveld.

In het algemeen wordt bodemdaling (en zeespiegelstijging) dus bijgehouden aan wad- en kreekranden door sedimentatie van zand en slib dat met woelige tijden wordt afgezet, maar op enige afstand is dat veel minder en ontstaat een relatieve verlaging van het maaiveld. De ontwikkeling is illustratief voor hoe een kreekruggenlandschap ontstaat.

6.2.2 Vegetatie van de proefvlakken

De ontwikkeling van de plantengroei (vegetatie) werd gevolgd door jaarlijks de soorten en bedekking van die soorten te volgen in vaste gebiedjes, permanente kwadraten of ook wel PQ's genaamd. Op het Neerlands Reid was er bij achttien van deze PQ's sprake van een stabiele situatie of van een verdere ontwikkeling naar een hogere fase (veroudering of successie) ten opzichte van 1986. Vier PQ's vertoonden regressie, waarbij dit in twee gevallen door vertrapping door vee is veroorzaakt.

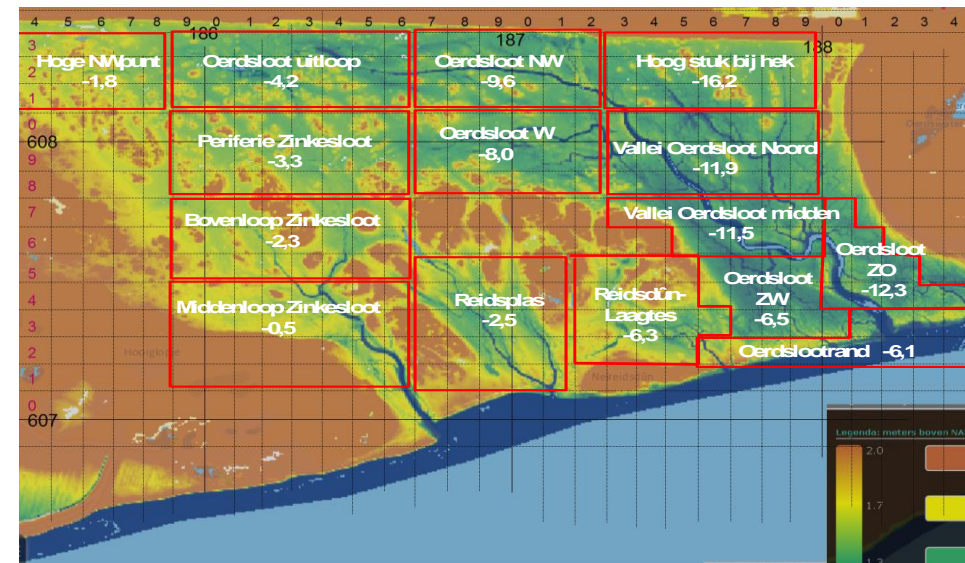
Op de Hon is bij acht van de PQ's sprake van een stabiele situatie, of van veroudering of successie. Vier PQ's vertoonden regressie. In twee gevallen was dat toe te schrijven aan de blokkering van een naburige kreek. Hierdoor is lokaal de drainage verstoord waardoor er regelmatig stagnerend water voorkomt. Dit heeft de vegetatie ter plekke (sterk) beïnvloed. Over het algemeen overheerste in de proefvlakken dus stabiliteit en successie, zowel op het Neerlands Reid als op De Hon.

6.3 Maaiveldhoogteontwikkelingen berekend met een sedimentatiemodel

Om de maaiveldverandering vlakdekkend te kunnen bepalen zijn er voor het Neerlands Reid berekeningen uitgevoerd gebaseerd op kleidiktemetingen. Daartoe is in 2016 de maaiveldhoogte en de kleidikte over het hele gebied gemeten in een grid. Tevens is de hoogte van de top van de onderliggende zandlaag hieruit berekend. Dit geeft een beeld van de zandplaat zoals die er was voordat de kwelder ontstond.

Onderzocht werd of er verbanden waren vast te stellen tussen de dikte van de kleilaag die na 1890 moest zijn ontstaan, de afstand tot het wad, de bodemdaling sinds 1986 en de hoogteligging van de zandondergrond. Met al deze gegevens kon vervolgens een

sedimentatiemodel gemaakt worden. Omdat de sedimentatie afhankelijk is van zowel de afstand tot het wad als de hoogteligging van het maaiveld is het Neerlands Reid verdeeld in 15 min of meer homogene deelgebieden. In de berekeningen is de versnelling van de opslibbing die door bodemdaling ontstaat automatisch meegenomen.

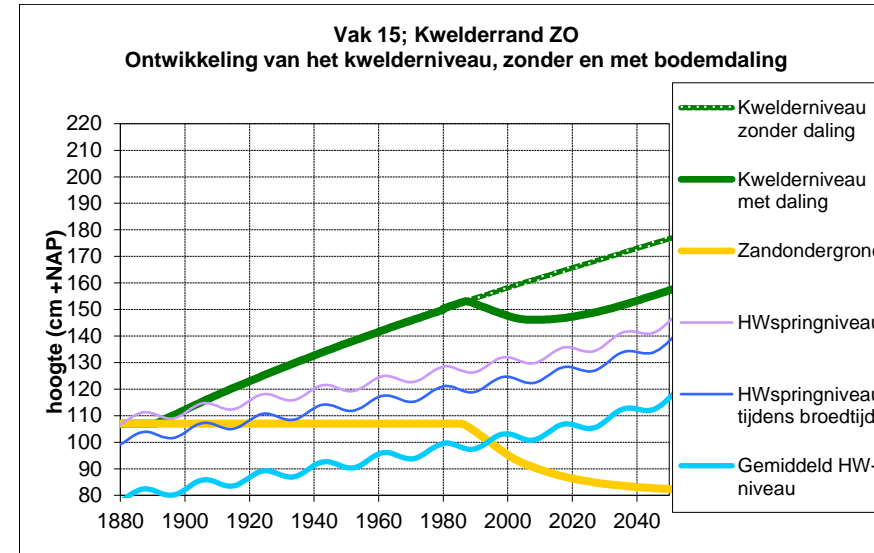


Berekende netto maaiveldverandering van het Neerlands Reid tussen 1986 en 2016 als gevolg van de combinatie van bodemdaling en opslibbing. Per saldo is het maaiveld overal gezakt. Zonder bodemdaling zou het maaiveld overal gestegen zijn. Kleurcodering: rood = 2,0; geel = 1,7 en groen = 1,3 meter boven NAP.

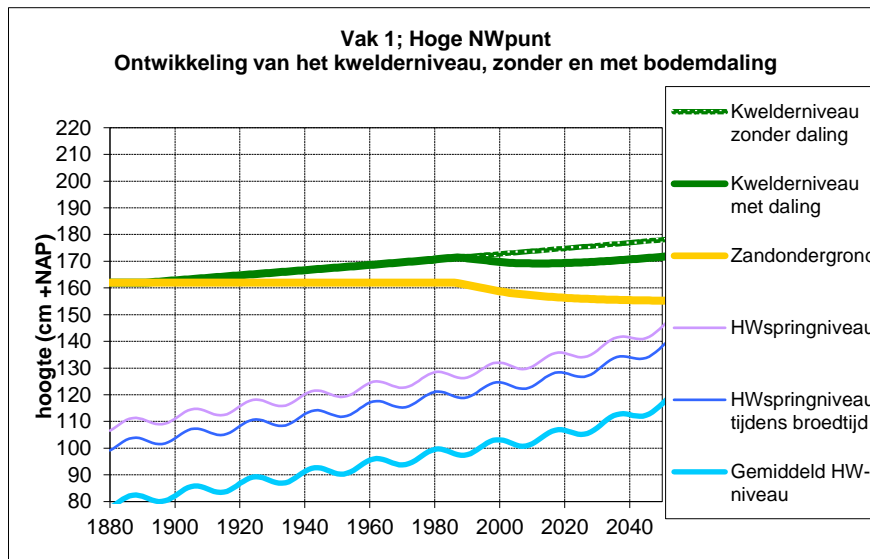
Die versnelling bleek over het algemeen onvoldoende om de bodemdaling te compenseren. Bijna overal op het Neerlands Reid trad dus een netto daling van het maaiveld op. Overeenkomstig de sedimentatiemetingen bij de proefvlakken was de opslibbing vlak bij de wadrand en langs de grote kweldergeul het sterkst. Effecten van bodemdaling in een kweldergebied moet uiteraard worden gezien ten opzichte van het zeewaterniveau. De kwelder



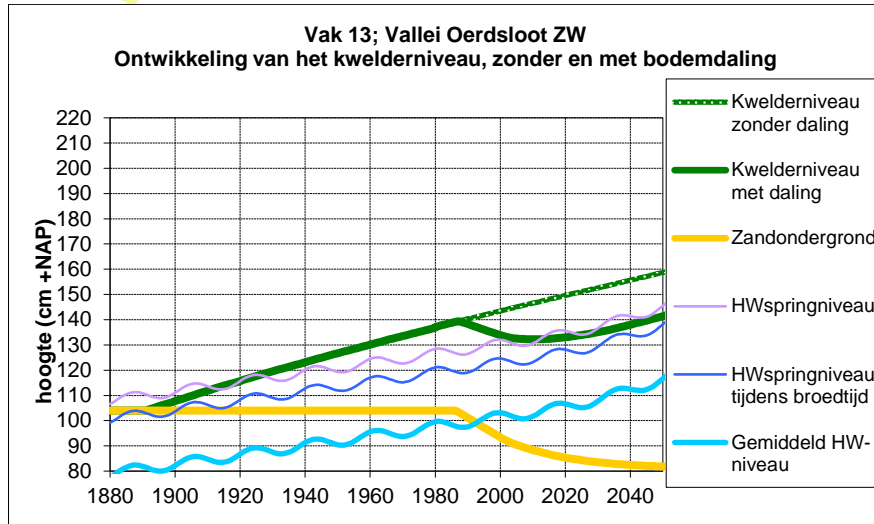
loopt pas onder met hoogwater en de ontwikkeling van de hoogwaterstanden is dan maatgevend. De ontwikkeling in de maaiveldhoogte ten opzichte van de hoogwaterstand is voor de periode 1890 – 2016 berekend voor alle 15 deelgebieden afzonderlijk. Ter illustratie worden de resultaten voor drie deelgebieden hier in detail getoond. Gegeven de langdurige ontwikkelingen kon geen aandacht worden geschonken aan tijdelijke fluctuaties in de zeewaterstand in het verleden. Wel is het effect van de 18,6 jarige maancyclus ingebouwd. Dit veroorzaakt het golvend verloop van de hoogwaterstanden. Er is ook rekening gehouden met enige versnelling van de zeespiegelstijging. Dat laatste heeft echter tot het jaar 2040, het jaar waarin de bodemdaling praktisch beëindigd is, nog weinig effect.



In het van oorsprong laag gelegen gebied langs de kwelderrand in de zuidoostelijke hoek van het Neerlands Reid is altijd al veel opslibbing geweest. De bodemdaling was er sterk (ongeveer 18 cm in 2016) maar die is bijna gecompenseerd door opslibbing, mede doordat de opslibbingssnelheid toenam toen het gebied daalde. Daardoor ligt het nu nog steeds duidelijk hoger dan het HW-springniveau, en de vegetatie bleef er gemiddeld genomen stabiel.



In het hoge noordwestelijke deel van het Neerlands Reid is maar weinig bodemdaling geweest. Het is een hoog liggend gebied met weinig opslibbing. Doordat de kwelder hoog blijft ten opzichte van het hoogwater- en springtijniveau zijn geen heel grote gevolgen van bodemdaling opgetreden.



De zuidwestelijke vallei van de Oerdsloot ligt op enkele honderden meters van de wadrand. Door de bodemdaling ligt het kwelderniveau nu dicht bij het HW-springniveau, met als gevolg dat de vegetatie regressie vertoont van de midden kwelderzone naar de lage kwelderzone. Door de nog enigszins doorgaande bodemdaling blijft dit gebied waarschijnlijk voorlopig vrij laag ten opzichte van het hoogwaterniveau.

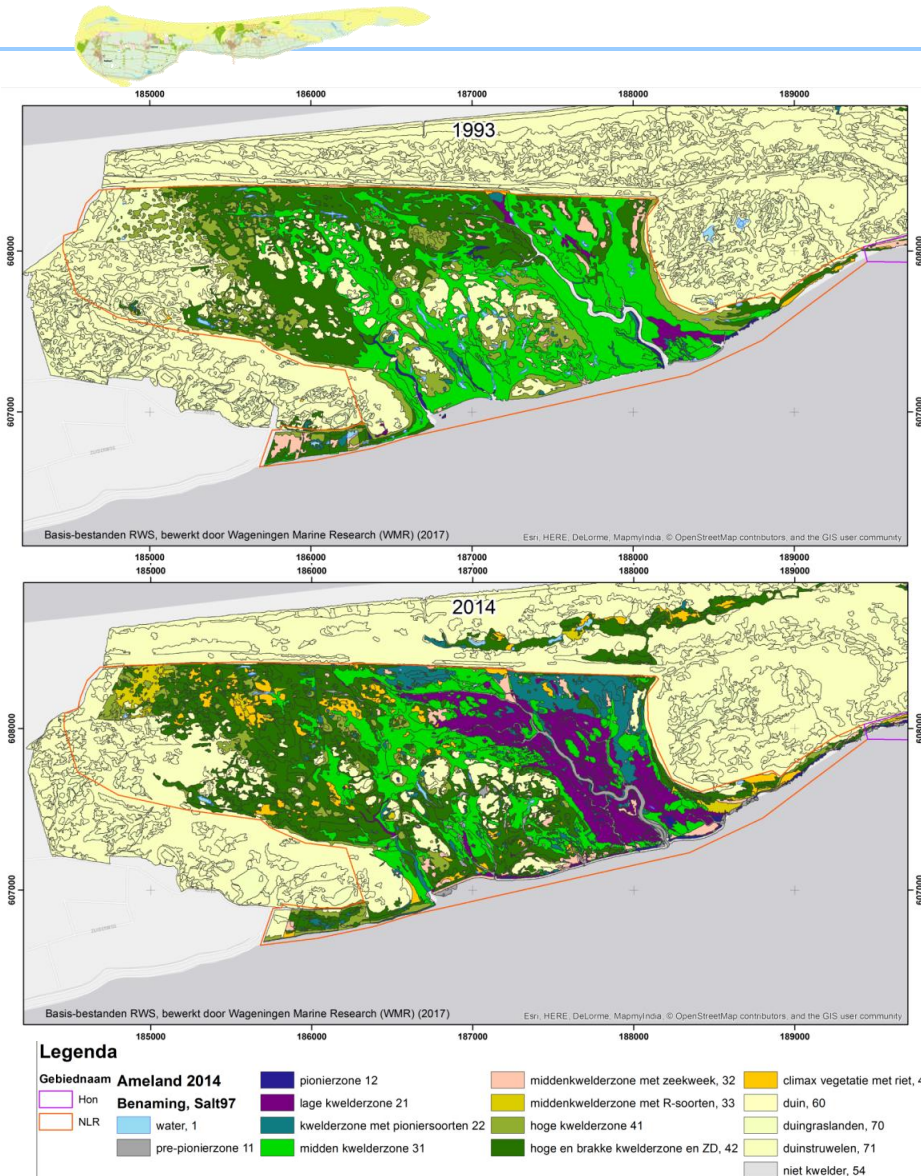
Uit de analyse van de opslibbing bij de proefvlakken (hoofdstuk 6.2) blijkt dat bodemdaling (of een versnelde zeespiegelstijging) heel lokaal, aan de wadrand en dicht langs de kreken wordt bijgehouden. Die zone is echter maar smal en komt in deze vlakdekkende analyse niet naar voren. Afgezien van zulke plekken is overal achterstand opgetreden zowel ten opzichte van de hoogteligging van 1986 als ten opzichte van het stijgende zeewater. In de toekomst is enig herstel mogelijk omdat de bodemdaling steeds verder afneemt en de opslibbing door zal gaan. De ontwikkeling in de zeespiegelstijging wordt dan echter steeds bepalender.

6.4 Vlakdekkende vegetatiekarteringen

Gemiddeld elke zes jaar wordt door Rijkswaterstaat een vlakdekkende vegetatiekaart van alle eilandkwelders van de Nederlandse Waddenzee gemaakt. Dit gebeurt in het kader van de VEGWAD-monitoring. Hier worden de oudste kaart die in 1993 gemaakt is vergeleken met de meest recente kaart uit 2014.

6.4.1 Vegetatiekarteringen Neerlands Reid

Voor de verandering van midden-kwelder naar lage-kwelder aan weerszijden van de Oerdsloot in het oostelijke deel van het Neerlands Reid is opvallend. Dit deel is tevens het gebied waar op Neerlands Reid de meeste bodemdaling plaatsvindt en waar volgens de berekeningen het maaiveld het meeste is gedaald. Verder valt op dat er ook regressie plaatsvindt langs de noordwestkant van de kwelder, met een bodemdaling van 13-23 cm, als het noordoosten met een bodemdaling van minder dan 5 cm. Op deze plekken is de grote afstand tot een sedimentbron (wad of kreek) groot en ook de grondwaterstanden zijn er gestegen door bodemdaling, zeespiegelstijging en vermindering van de waterwinning rond 1994. Mogelijk is er daardoor sprake van vernatting.



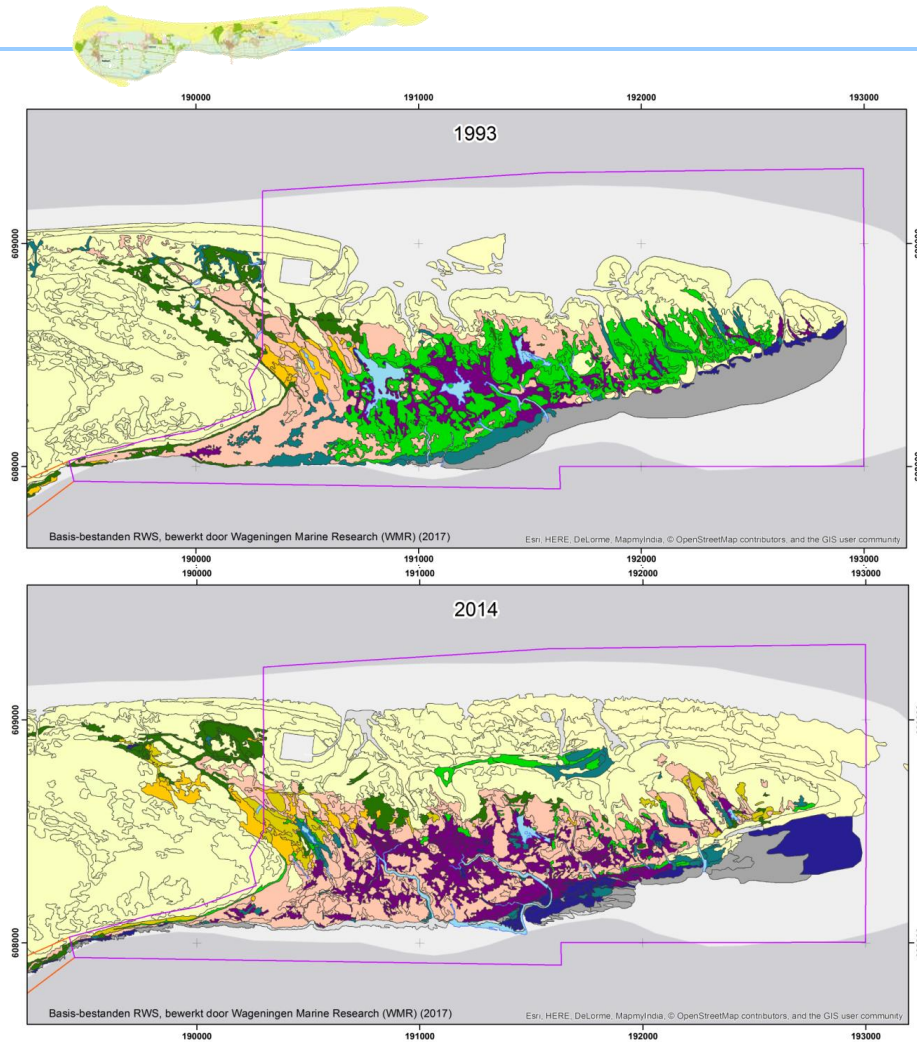
6.4.2 Vegetatiekarteringen De Hon

Bij de vergelijking van de vegetatiekaarten 1993 en 2014 van De Hon valt als eerste op de uitbreiding van het duingebied aan de noordzijde. Verder valt op dat er vooral sprake is van verruiging door overgang naar Zeekweek. Ook valt op dat regressie en ook een deel van de successie zich concentreren langs de wadrand. Omdat op De Hon de wadrand onbeschermd is, is deze strook dynamisch en behalve aan opslibbing ook onderhevig aan (klif)erosie.

De overige regressie op De Hon lijkt min of meer toevallig verdeeld te zijn over het gebied. Wat daarbij echter wel opvalt is dat deze regressie vooral in kommen tussen oeverwallen lijkt plaats te vinden.

Dat sluit aan bij de constatering dat op De Hon ook successie plaatsvindt, maar dan met name in de vorm van veroudering door de uitbreiding van Zeekweek in de midden kwelderzone. Waar kreken in 2014 aansluiting gevonden hebben bij de plassen en poeltjes die in 1993 aanwezig waren door blokkering van de afvoer, is nu te zien dat deze (hernieuwde) ontwatering en herstelde sediment toevoer, ook successie heeft bewerkstelligd. De verschuivingen in vegetatiezones hebben zich vooral voorgedaan vanuit de midden kwelder naar twee zijden: aan de ene kant regressie naar lage kwelder en aan de andere kant veroudering door uitbreiding van Zeekweek.

Vegetatiekaarten van Neerlands Reid van 1993 (boven) en 2014 (onder). Opvallend is de uitbreiding van de lage kwelderzone (paars) ten koste van de middenkwelderzone (lichtgroen).



Legenda

Gebiednaam	Ameland 2014	Benaming, Salt97	NLR
	pre-pionierzone 11	water, 1	middenkwelderzone met zeekweek, 32
	pionierzone 12	lage kwelderzone 21	middenkwelderzone met R-soorten, 33
	kwelderzone met pioniersoorten 22	hoge kwelderzone 41	hoge en brakke kwelderzone en ZD, 42
	midden kwelderzone 31	climax vegetatie met riet, 43	duin, 60
		duingrastanden, 70	duinstruwelen, 71
		niet kwelder, 54	

Vegetatiekaarten van De Hon van 1993 (boven) en 2014 (onder). Opvallend zijn de uitbreiding van de lage kwelderzone (paars) en de gelijktijdige ontwikkeling van de middenkwelderzone met zeekweek (rose).

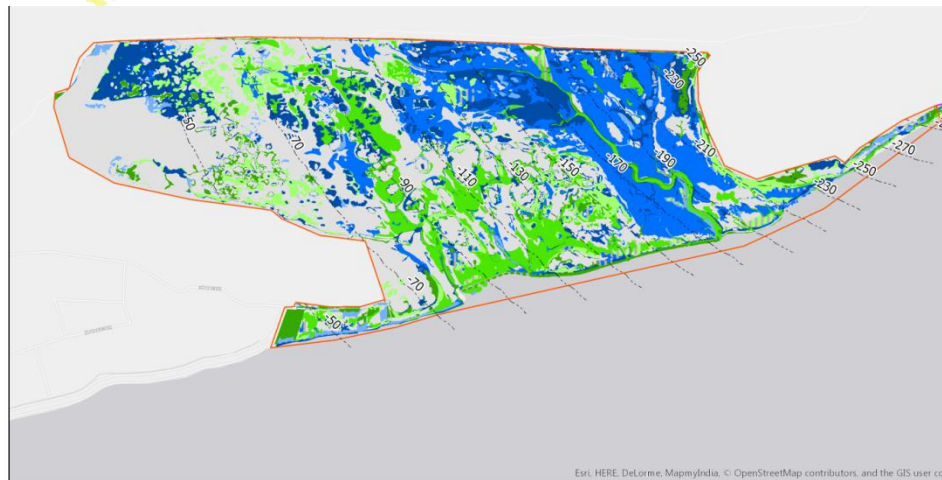
Over de periode 1993-2014 is 35% van kwelder in dezelfde vegetatiezone gebleven (stabiel), 20% heeft regressie/verjonging ondergaan en 45% successie waarvan ruim 30% veroudering.

6.5 Ruimtelijk beeld van successie en regressie

Successie en regressie kunnen ook in één getal worden uitgedrukt door de vegetatie-opnamen met behulp van een computerprogramma met elkaar te vergelijken en alleen de mate van overgang in beeld te brengen. De ruimtelijke verdeling van successie en regressie in de periode 1993-2014 wordt dan zichtbaar.

6.5.1 Successie en regressie op het Neerlands Reid

Op het Neerlands Reid treedt vooral in het oostelijke deel regressie op en ook in het noordwesten waar de bodemdaling weliswaar minder groot is maar waar ook de opslibbing minder sterk is door de grote afstand tot de kwelderrand. Er is geen eenduidige verklaring voor de regressie in de uiterste noordwesthoek van het Neerlands Reid, maar gestegen grondwater en vernatting zou een reden kunnen zijn. Langs de Oerdsloot, de grote geul in het oosten van het Neerlands Reid, is een smalle zone zonder regressie. Dat komt overeen met de groei van kreekruggen en de resultaten van de permanente proefvlakken die daar liggen.



Gebiednaam
 Hon
 NLR
 Bodemdaling in mm (jaar=2014)

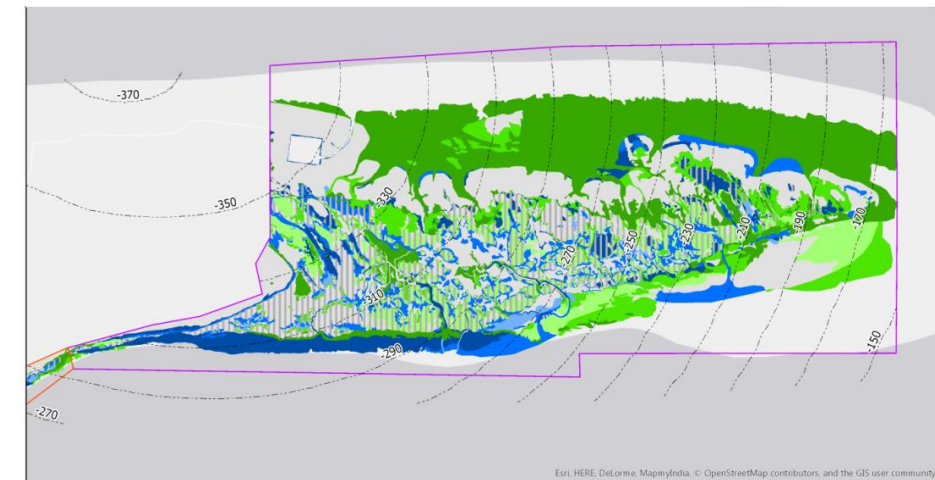
Ontwikkeling 2014 v. 1993
 regressie, meer dan 1 zone
 regressie, 1 zone
 regressie, binnen zone
 stabiel

successie, binnen zone
 successie, 1 zone
 successie, meer dan 1 zone
 32 (midden)kwelder met zoekweek

Ruimtelijk beeld van successie en regressie op het Neerlands Reid. In het Oosten en Noordoosten overheerst regressie, in het Zuidwesten is vooral successie. In het Noordwesten is een mozaïek van successie en regressie te zien.

6.5.2 Successie en regressie op De Hon

De ontwikkeling van de jonge duinen ten noorden is fenomenaal te noemen. Voor de kwelder ten zuiden van de duinenrij geldt echter hetzelfde als voor Neerlands Reid. De wadrand en kreekranden tonen successie met soms meer dan één enkele zone. Voor het overige geldt dat de meeste proefvlakken een zo goede opslibbing hadden dat het maaiveld maar op twee van de dertien proefvlakken een netto daling ondervonden. Juist die twee proefvlakken vertoonden regressie.



Gebiednaam
 Hon
 NLR
 Bodemdaling in mm (jaar=2014)

Ontwikkeling 2014 v. 1993
 regressie, meer dan 1 zone
 regressie, 1 zone
 regressie, binnen zone
 stabiel

successie, binnen zone
 successie, 1 zone
 successie, meer dan 1 zone
 32 (midden)kwelder met zoekweek

Ruimtelijk beeld van successie en regressie op De Hon. Aan de noordzijde van de Hon is een groot successiegebied in de vorm van nieuwe duinen. Op de kwelder is een fijnchalig mozaïek van successie en regressie ontstaan. Langs de wadrand in het Zuidwesten is een zone van regressie door kwelderafslag en in het Zuidoosten ligt een zone van successie door kweldergroei op zand dat vanuit het oosten langs de zuidrand van de Hon is gewaaid.

6.5.3 Conclusies successie en regressie

Gebaseerd op het sedimentatiemodel lijkt het er op dat er op grote delen van het Neerlands Reid een netto daling van het maaiveld heeft plaatsgevonden en dat de grootste daling plaatsvond in het noordoostelijke deel waar weinig opslibbing plaats vindt (~16 cm daling).

Het effect van de netto daling van het maaiveld lijkt met name op de lagere delen van het Neerlands Reid tot regressie van de vegetatie te leiden, terwijl op de hogere delen eenzelfde netto daling minder effect heeft op de vegetatie. Daarnaast blijkt de lokale afwatering een belangrijke rol te spelen, want oeverwallen



en de kwelderrand laten geen regressie en zelfs successie zien. Bij de permanente opnamevelden van de vegetatie laten alleen PQ's met een slechtere drainage en een netto daling van het maaiveld regressie zien, en deze bevinden zich allemaal in de lagere delen.

Op De Hon is het beeld heel anders; ondanks de overwegend grotere bodemdaling zijn -afgezien van de zone met kwelderafslag- geen grote gebieden met regressie ontstaan.

De verschillen tussen Neerlands Reid en De Hon kunnen samenhangen met de beweiding van het Neerlands Reid. Door wordt de bodem verdicht waardoor minder hoogtewinst door opslibbing ontstaat en bodemdaling dus minder gemakkelijk gecompenseerd kan worden.

6.6 Verschuivingen in Natura 2000 habitattypen

Sinds 2014 valt de winning van aardgas op Ameland onder de Wet Natuurbescherming. Op grond daarvan moet ook het oppervlak van de habitattypen H1310A (Zilte pionierbegroeiing (Zeekraal), H1320A (Slijkgrasvelden) en H1330A (Schorren en zilte graslanden (buitendijks) worden gemonitord. Daarnaast worden door de vergunningverlener, het ministerie van EZ, metingen van overfloeding, grondwaterstanden en het iedere tweejaar uitvoeren van vlakdekkende vegetatieopnamen genoemd.

Ondanks de geconstateerde veranderingen in vegetatie verschuiven deze zich vooral binnen en tussen zones die allemaal tot hetzelfde habitattypen behoren, namelijk H1330A. Op basis van de vegetatiekaarten uit 2014 kan gesteld worden dat aan de kwaliteitseisen van Natura 2000 voor de drie dominante kwelderhabitattypen wordt voldaan.

Ook voor de toekomst worden geen significante verschuivingen tussen habitattypen verwacht en zullen de vegetatieontwikkelingen vooral binnen het habitatype H1330A plaatsvinden. Bovendien is het totale kwelderoppervlak op Ameland vrijwel gelijk gebleven, mede omdat de rand van het Neerlands Reid sinds 1960 tegen afslag beschermd wordt door een lage oeverbescherming die in 1998-1999 is vernieuwd. Op De Hon vindt zowel kwelderaanwas als -afslag plaats. Hier overheersen natuurlijke processen onder invloed van ontwikkelingen in het zeegat. Ten zuiden van de Oerderduinen was er lange tijd sprake van kliferosie. Die begon al in 1979 ver voor de bodemdaling. De afslag is door de bodemdaling niet versneld en de snelheid van bodemdaling is na 2000 sterk afgenomen. De snelheid van deze kliferosie is afgenomen tijdens de periode van bodemdaling en op een aantal plaatsen overgegaan in kwelderaangroei.

6.7 Vergelijking met kwelders van Schiermonnikoog

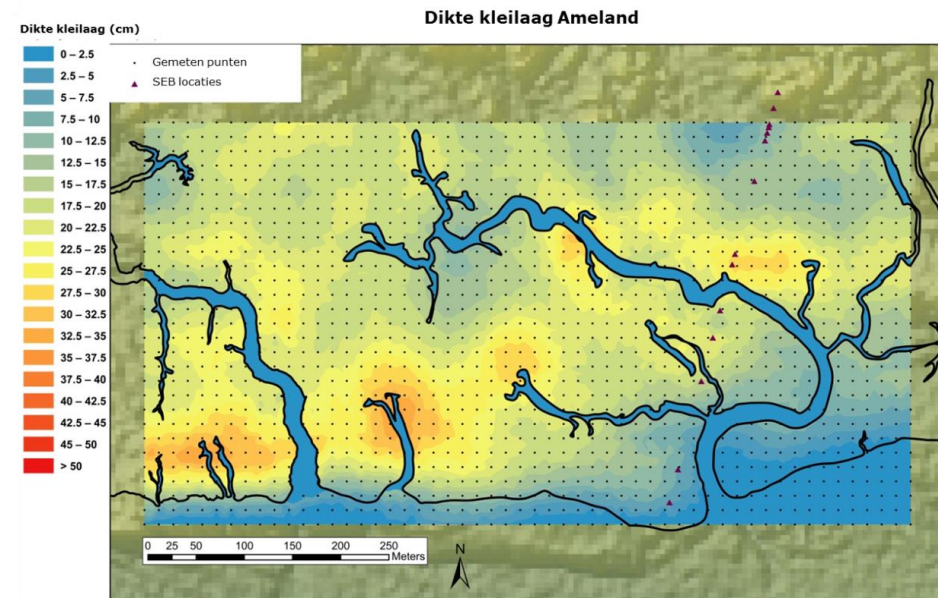
Bij onderzoek naar mogelijke effecten van een ingreep of verstoring is het gebruikelijk het beïnvloede gebied te vergelijken met een referentiegebied. De Bodemdalingscommissie heeft in de begin jaren van het onderzoek naar andere eilandkwelders en duinvalleien gezocht om te gebruiken als referentie. Elders aanwezige kwelders en valleien bleken toen ongeschikt omdat leeftijd en ontwikkelingsstadium of soortensamenstelling te veel verschilde. De auditors van de Rijksuniversiteit Groningen hebben echter geadviseerd dat toch te doen, maar dan op basis van de combinatie met procesverloop. Op basis van dat advies is vanaf eind 2008 het promotieonderzoek van Elske Koppenaal bij de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) gefinancierd. Zij heeft de ontwikkelingen van de kwelders op Ameland vergeleken met die op Schiermonnikoog. Hoewel haar proefschrift nog niet geheel is afgerond, mochten we de relevante resultaten van haar als volgt samenvatten.

Het doel van dit promotieonderzoek was om de effecten van een versnelde zeespiegelstijging op de opslibbing en vegetatie op kwelders te onderzoeken, waarbij de onbeweide kwelder De Hon op Ameland werden vergeleken met een onbeweide kwelder van vergelijkbare leeftijd op Schiermonnikoog. De eilanden liggen ongeveer 24 km uit elkaar en hebben een vergelijkbare getijdeamplitude van 2 meter. Met 11,7 mm per jaar bodemdaling (gemiddelde bodemdaling tussen 1986 en 2011) imiteert Ameland een kwelder met versnelde zeespiegelstijging in tegenstelling tot Schiermonnikoog met alleen de huidige zeespiegelstijging van 2 mm per jaar.

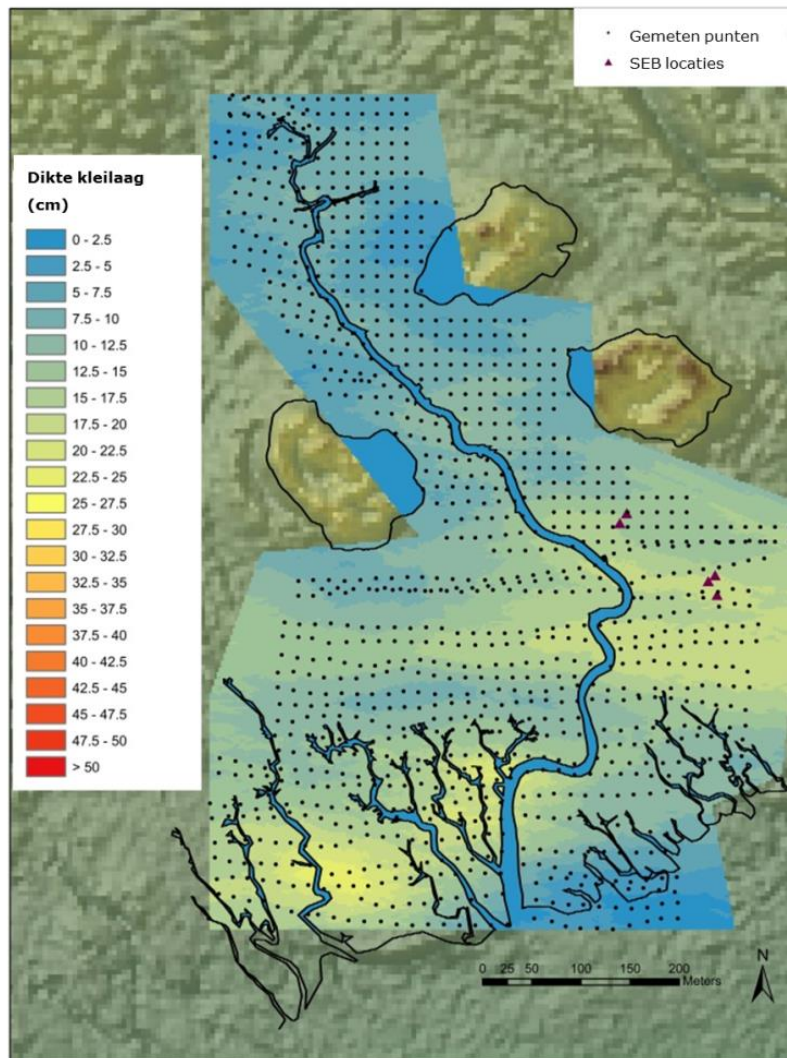
6.7.1 Opslibbing op Ameland versus Schiermonnikoog

Op Ameland bleek de opslibbing sneller te gaan dan op Schiermonnikoog, maar op de meeste PQ's daalde het maaiveld toch. Op Schiermonnikoog steeg het maaiveld met 1 tot 5 mm per jaar, gemiddeld genomen voldoende om een zeespiegelstijging van 2 mm per jaar bij te houden.

De kleilaag was op Ameland wel aanmerkelijk dikker dan op Schiermonnikoog. Over de eerste 400 m vanaf de wadrand heeft de kwelder van Ameland een gemiddelde kleidikte van 16,9 cm en die van Schiermonnikoog van 11,6 cm. Beide kwelders zijn vergelijkbaar qua leeftijd. De kleilaag op Ameland is niet alleen dikker in de buurt van de krekens, maar ook verder weg van de krekens. Dit kan deels worden toegeschreven aan de bodemdaling, omdat een hogere overvloedsfrequentie resulteert in een hogere opslibbingssnelheid.



Dikte kleilaag Schiermonnikoog



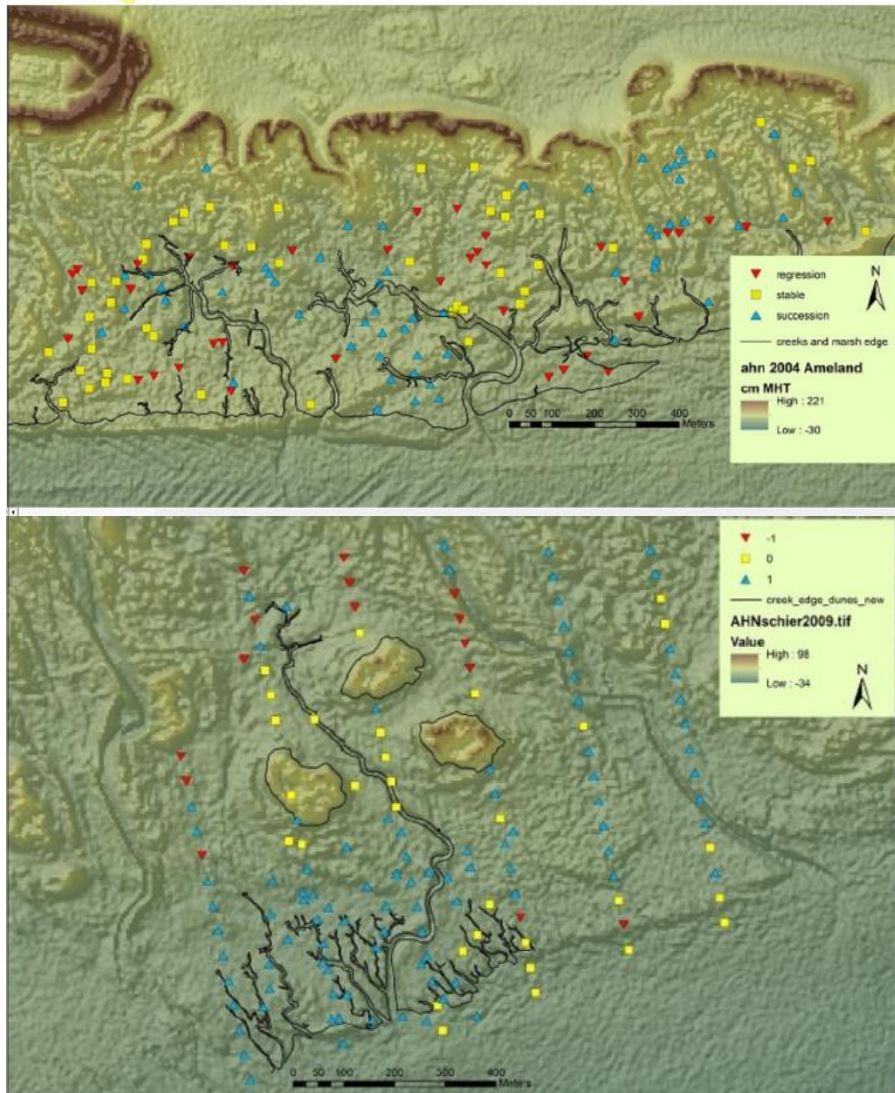
Dikte van de kleilaag rondom een grote kreek. De meetpunten op De Hon (boven) en op Schiermonnikoog (onder) zijn met kriging geëxtrapoleerd tot een 3D-kaart. Individuele meetpunten (zwarte punten) en SEB locaties (paarse driehoekjes) zijn weergegeven.

6.7.2 Successie en regressie op Ameland versus Schiermonnikoog

Deze veranderingen in de hoogte van het maaiveld waren daardoor ook terug te vinden in de vegetatie. Op Ameland vond minder successie en meer regressie plaats in vergelijking met Schiermonnikoog. Ook de locatie waar de regressie plaatsvond verschilt tussen beide gebieden.

Op Ameland vond de regressie vooral op de lagere delen plaats, en vooral in gebieden waar veel bodemdaling of weinig opslibbing is geweest. Op Schiermonnikoog vond regressie vooral plaats ver van de kwelderrand op locaties met een relatief hoog maaiveld waar vrijwel geen opslibbing of overfloeding plaatsvindt.

De regressie op Schiermonnikoog wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een erg variabel proces dat vooral bepaald wordt door omgevingsfactoren, zoals zandverstuivingen en neerslag want de waargenomen veranderingen vonden plaats tussen duinkopjes en hoge kweldervegetatie.



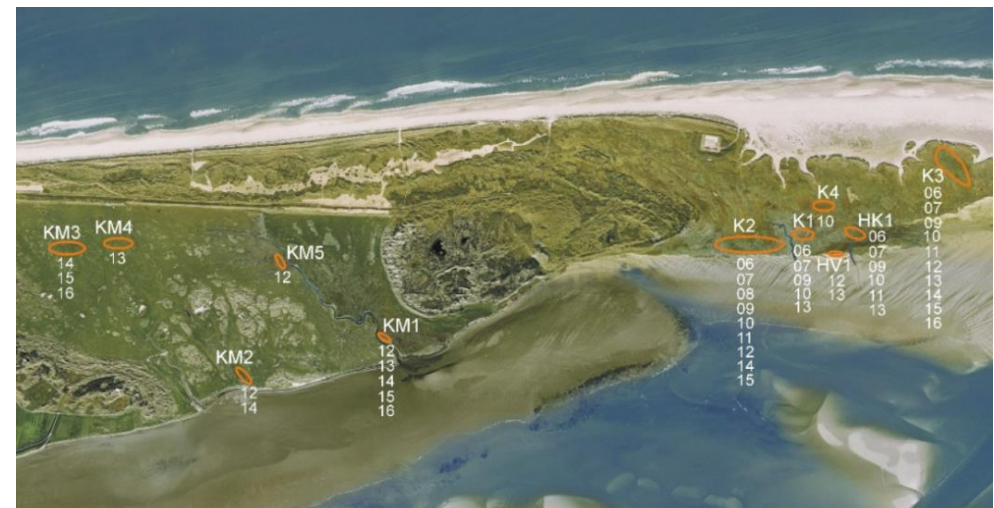
Verandering van de vegetatie op Ameland (1988-2008, boven) en Schiermonnikoog (1984-2007, onder). De vegetatie kan successie (blauwe driehoekjes), stabiel (gele vierkanten) of regressie (rode driehoekjes) laten zien.

6.8 Broedvogels en nestverlies

6.8.1 Kolonievogels

Door de bodemdaling zouden de broedkolonies op de kwelders van Neerlands Reid en De Hon vaker geconfronteerd kunnen worden met overstroming met zeewater. Sinds 2006 worden ze daarom elk jaar gevolgd vanaf de vestiging in het voorjaar totdat de laatste jongen zijn uitgevlogen. Hierin is vooral aandacht voor de Lepelaar en kolonies van Kokmeeuw al dan niet gemengd met Visdief. De situering van de kolonies, de hoogteligging en het overstromingsrisico worden gekwantificeerd en in relatie met diepe daling door gaswinning gebracht.

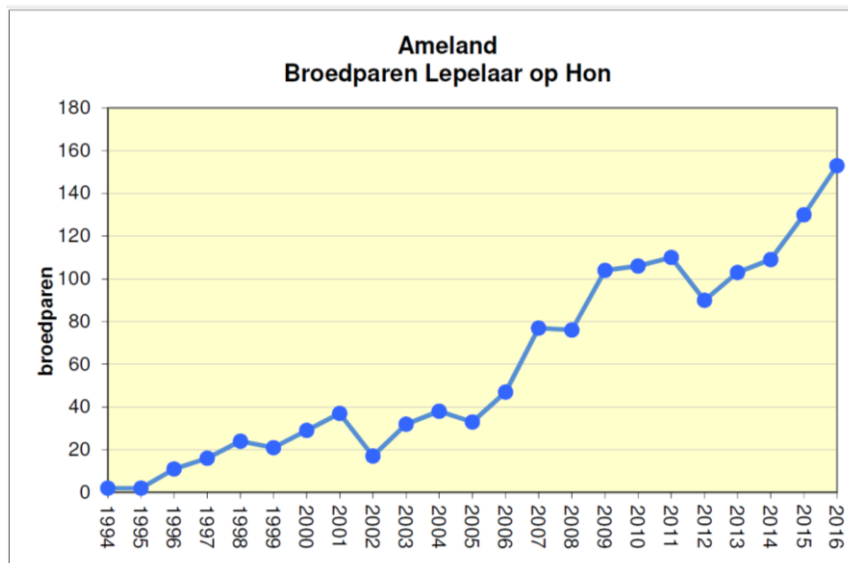
In onderstaande figuur zijn de kolonies van Lepelaars en andere kolonievogels op Oost-Ameland aangegeven.



Overzicht van de ligging van 11 kolonies broedvogels. KM1 en HK1 zijn gemengde kolonies Kokmeeuw en Visdief; KM2 tot KM5 zijn Kokmeeuwkolonies en HV1 is een kolonie met alleen visdiefjes.



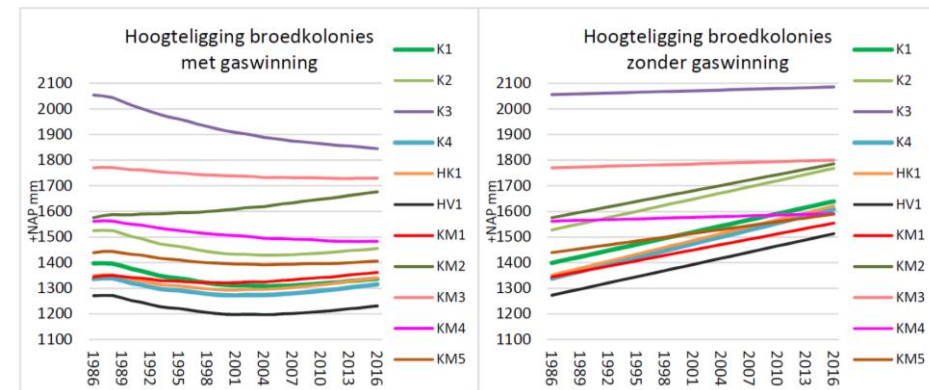
Het wel en wee van de lepelaarkolonies is het meest in detail onderzocht. Lepelaars broeden sinds 1994 op Oost-Ameland. Sindsdien is het aantal broedparen toegenomen tot gegroeid tot ruim 150 paar in 2016. Het merendeel van de Lepelaars begint in april met broeden en heeft in juni uitvliegende jongen. Maar de soort heeft ook het vermogen om eind juni een (vervolg)legsel te beginnen en dan in augustus wederom of alsnog uitvliegende jongen te hebben.



Aantals ontwikkeling van broedende Lepelaars op De Hon

In de 11 broedseizoenen hebben de Lepelaars 4 verschillende plaatsen voor hun broedkolonies gebruikt. Twee kolonies die vrij dicht bij de Waddenzee lagen op een maaiveldhoogte van +130 cm NAP (K1 en K2 genoemd) genoten lang de voorkeur. Een voor overstromingen veel veiliger kolonie (K3 genoemd) die op +185 cm NAP en verder van de wadrand lag, werd vooral later in het broedseizoen gebruikt door broedparen die eerder in de voorkeurkolonies een vergeefse broedpoging hadden gedaan.

Er heeft echter een verschuiving plaatsgevonden in de richting van K3 waar aanvankelijk een klein aantal paren vanaf het begin van het seizoen begon met broeden maar in 2016 werd uitsluitend gebroed in K3. Dit lijkt op een leereffect van de lepelaars waarbij ze het overstromingsrisico verkleind hebben door hoger op de kwelder te gaan broeden. Voor de lepelaars vormt de hoogteligging van de nesten op de kwelder een van de belangrijkste factoren voor broedsucces in relatie tot het overstromingsrisico. In gebieden met vossen is dit echter de meest onveilige plaats, maar die komen op de eilanden niet voor.



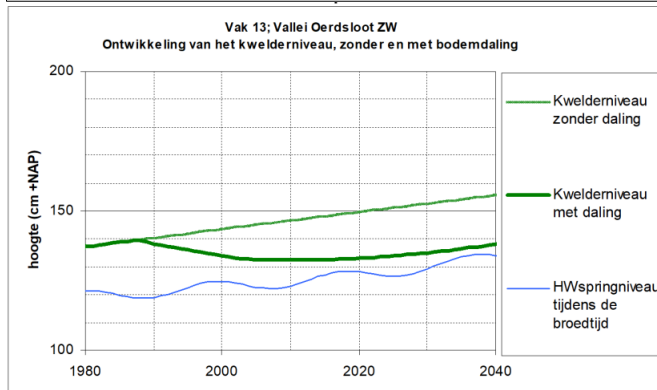
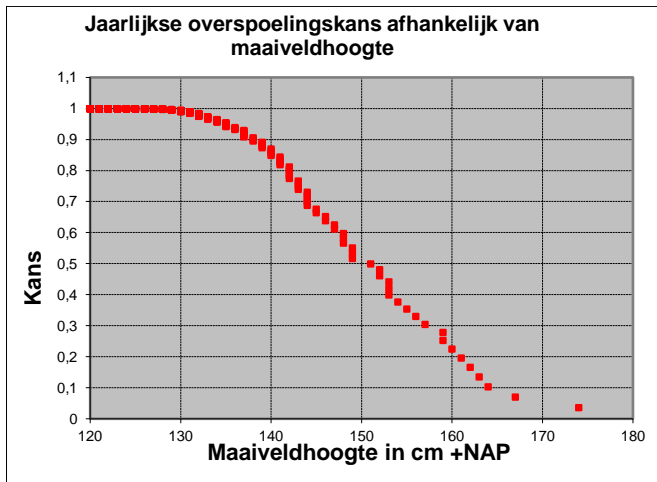
Maaiveldhoogte van de broedkolonies met gaswinning op basis van hoogtemetingen (links) en zonder bodemdaling zoals berekend op de actuele hoogte en de opgetreden bodemdaling (rechts).

6.8.2 Verspreid broedende vogels

Verspreid broedende vogels zoals Veldleeuweriken, Graspiepers, Kieviten en ook Scholeksters, die op grotere afstand van de kwelderrand broeden hebben te maken met het maaiveld zoals zich dat geleidelijk ontwikkelt.

Op basis van de waterhoogten bij Nes die in de periode 1988-2015 zijn gemeten is een overschrijdingscurve gemaakt voor het

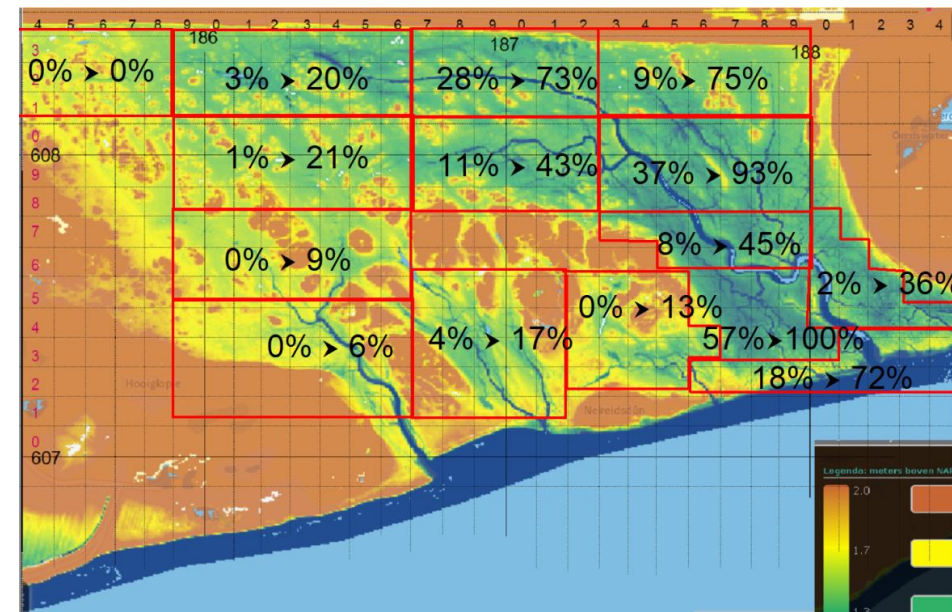
broedseizoenen waaruit de overspoelingskansen voor elke kwelderhoogte kunnen worden afgelezen. Deze kansverdeling is vergeleken met de ontwikkeling van de maaiveldhoogten in de eerder getoonde deelgebieden van het Neerlands Reid.



Jaarlijkse kans op overstroming, afhankelijk van de maaiveldhoogte (op basis van de getijhoogten Nes) in combinatie met de ontwikkeling van kwelderhoogten zoals berekend voor één van de deelgebieden van het Neerlands Reid. Het maaiveld is daar nu +132 cm NAP hetgeen een bijna jaarlijkse overstroming betekent. Zonder bodemdaling zou de maaiveldhoogte +148 cm NAP zijn geweest.

Bij de berekening van overspoelingskansen is rekening gehouden met het feit dat het vloedwater tijd nodig heeft om over het Neerlands Reid te stromen. Steeds is de huidige bodemligging vergeleken met de bodemligging zoals die had kunnen zijn zonder bodemdaling. In dat geval zou namelijk overal op het Neerlands Reid de maaiveldhoogte zijn toegenomen.

Het effect van bodemdaling op verhoogde overspoelingskansen is het sterkst in gebieden met veel bodemdaling (het oosten en noorden van het Neerlands Reid), al dan niet in combinatie met geringe opslibbing.



Overspoelingskansen, gemiddeld over de hoogste helft van 15 deelgebieden, berekend zonder en met bodemdaling voor het jaar 2016. Kleurcodering: rood = 2.0; geel = 1.7 en groen = 1.3 meter boven NAP.



Voor Scholeksters is in 2017 een onderzoek gestart dat onder andere de kansen op overspoeling van verspreid broedende broedparen in beeld zal brengen. Voor kleine vogels als Graspiepers en Veldleeuweriken is zo'n onderzoek praktisch onmogelijk en vanwege de verstoring die het zoeken naar hun nesten zou veroorzaken waarschijnlijk ook onverstandig.



7 Maatschappelijke aspecten

7.1 Maatschappelijke verankering van de monitoring

De bodemdaling op Ameland en in het aangrenzende zee- en waddegebied is een interessant fenomeen vanwege de vergelijkbaarheid van processen die optreden bij zeespiegelstijging. 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). Tot 2000 was er nauwelijks maatschappelijke aandacht voor een mogelijk toekomstige versnelling van de zeespiegelstijging. Sinds midden jaren negentig was wel veel discussie over de gevolgen van bodemdaling van nieuwe velden die de NAM wilde gaan onderzoeken en winnen. Merkwaardig genoeg ging de discussie alleen maar over deze nieuwe velden, terwijl die maar voor 20% zouden bijdragen aan de bodemdaling in dit gebied. Ruim 80% van de bodemdaling werd veroorzaakt door de gaswinning vanaf Ameland.

7.2 Opgvolging van het auditadvies uit 2000.

De monitoringsrapporten waren echter nauwelijks bekend bij beleid en het brede publiek zo bleek uit een analyse die door prof. J. Swart is uitgevoerd tijdens de eerste openbare audit in 2000. Het maatschappelijk debat leek zich autonoom te voltrekken met een frequentie in heftigheid van eens in de 10 jaar. Professor Swart concludeerde hieruit dat de rapportage van de monitoring wel grote waardering had bij de direct betrokken deskundigen en een kring van betrokkenen rond de vertegenwoordigers in de commissie, maar het grote publiek en een brede laag van beleidsvertegenwoordigers niet bereikte. Dat was een gemis, zowel vanwege de kennis met betrekking tot gevolgen van bodemdaling op natuurlijke processen als ook die van versnelde zeespiegelstijging. Hij adviseerde dan ook aanzienlijk meer te

investeren in maatschappelijke verbreiding van de resultaten van het onderzoek. De commissie heeft op verschillende manieren gehoor gegeven aan dit advies.

1. In de eerste plaats is het lokale kennisinstituut Natuurcentrum Ameland betrokken bij het onderzoek. Voorheen lag de uitvoering van het onderzoek alleen bij 2 nationale kenniscentra. Vanaf 2000 is het Natuurcentrum Ameland actief betrokken bij de monitoring en vervult sindsdien een belangrijke rol in de coördinatie van het onderzoek op het eiland en de lokale kennisdeling.
2. Er is een begin gemaakt met de internationalisering door samenstellen van een algemene samenvatting in de Engelse en Russische taal, alsmede het leveren van samenvattingen van de hoofdrapporten 2000 en 2005 in het Engels. Openbaar en makkelijk toegankelijk maken van alle rapportages en plannen. Er is daartoe een afspraak gemaakt met WaddenZee.nl (zie <http://www.waddenzee.nl/themas/>) om als openbaar archief te fungeren voor rapporten en fotomateriaal met betrekking tot de Monitoring van de Bodemdaling Ameland. Het actief stimuleren van commissieleden en onderzoekers tot het verzorgen van lezingen en bijdragen aan postersessies.
3. Het vergroten van de betrokkenheid van studenten door middel van ondersteuning van promovendi. Er werden met financiële ondersteuning twee promovendi aangesteld door de Rijksuniversiteit Groningen naar aanleiding van de audit in 2005, waarvan de promovendus uit Ethiopie inmiddels zijn dissertatie over duinvalleien met succes heeft verdedigd en de promovenda op gebied van kwelders haar schrijfwerk aan het afronden is. Het stimuleren van de samenwerking tussen Wageningen Environmental Research (Alterra) en de Wageningen Universiteit ten behoeve van de kennisdeling van bij het bodemdalingsonderzoek verworven kennis, kunde en data is daarvan een ander voorbeeld. De relatie van Alterra en Wageningen Universiteit faciliteert o.a. Nederlandse en



buitenlandse (Polen, Oekraïne, Iran, België) studenten en onderzoekers om een onderdeel van hun studie, stage of onderzoek in te bedden in of aan te laten sluiten op het reguliere monitoringsonderzoek op Ameland.

4. Het organiseren van studieweekenden zowel voor Nederlands academisch en hoger onderwijs als voor buitenlandse studenten waarbij sinds 2000 de mogelijkheid geboden tot een intensief studieweekend op Ameland rond het thema energie, bodemdaling en zeespiegelstijging. Vanaf 2000 hebben 6-10 groepen per jaar van gemiddeld 20 studerenden per groep hiervan gebruik gemaakt (ruim 3000 studerenden). Tijdens deze weekenden wordt ook veldwerk verricht dat bijdraagt aan de algemene kennis over bodemdaling (grondwater onder de kwelder, in kaart brengen oude kreekbedding).
5. Het organiseren van cursussen, specifiek in relatie tot monitoring. Sinds 2007 is een samenwerking aangegaan met het Van Hall instituut te Leeuwarden, waarbij het veldwerk voor de cursus Milieukunde (HMK23) voor deeltijdstudenten op Ameland wordt gegeven.

Van het een, komt het ander.

Het behoeft weinig betoog dat een langlopend onderzoek met goed ontsloten data en enthousiaste onderzoekers, ook ander onderzoek trekt. Zo is op initiatief van Pieter Slim onderzoek gedaan aan de datering van de sedimentatie op de kwelder van het Neerlands Reid met verfijnde technieken aan de hand van een uitdagend bodemprofiel dat door docenten van het VanHall Instituut was blootgelegd. De scherpe scheiding onderin het profiel tussen de oude strandvlakte en de bovenliggende kwelderafzettingen bleek te dateren rond 1890 (voltooiing van de Kooioerstuifdijk). Het zand onder de kleiafzetting van de voormalige strandvlakte dateert uit begin 16e eeuw.

7.3 Zeespiegelstijging: een maatschappelijk probleem van de eerste orde

Een apart maatschappelijk aspect is de toepasbaarheid van het onderzoek op toekomstige zeespiegelstijging. Tot omstreeks 2005 hadden studenten vrijwel uitsluitend vragen over de mogelijk negatieve gevolgen bodemdaling en de onafhankelijkheid van onderzoekers en commissie. Daarna namen vragen over gaswinning af en maakten plaats voor vragen over versnelde zeespiegelstijging. Immers, de bodemdalingssnelheid over de afgelopen 30 jaar met daarbij de huidige zeespiegelstijging komt neer op een relatieve zeespiegelstijging van circa 140 cm per eeuw en komt daarmee redelijk overeen met toekomstige scenario's voor zeespiegelstijging aan het einde van deze eeuw. De bodemdaling op Ameland kan namelijk ook gezien worden als een heel groot experiment met als onderzoeksvraag: hoe reageren de wadden, kwelders en duinen als de zeespiegel plotseling snel gaat stijgen?

Een praktisch voorbeeld is de versterking met stenen van de kwelderrand van Neerlands Reid in 1998-1999. In 1991 waren dergelijke maatregelen al genomen op Terschelling (Grië). Door beide gebieden te vergelijken, is vastgesteld dat een lage stenen bescherming van de kweldervoet ook effectief is voor het tegengaan van kweldererosie en voor het herstel van kweldervegetatie ingeval van versnelde zeespiegelstijging.

De verschuiving in de aandacht van deelnemende studenten was een belangrijke reden het programma langzaam bij te stellen. Dit heeft onder meer geleid tot de oprichting van de Young Professional Coastal Community (*ypcc.eu/*) in 2011 met steun van de Coastal & Marine Union (EUCC). Dit is een uiterst concreet resultaat van het betrekken van jongeren bij de resultaten van de monitoring van de bodemdaling in de context van zeespiegelstijging en hun eigen toekomst.





8 Audit-advies 2011 en toekomst

8.1 Audit-advies 2011 en reactie daarop

Eerdere audits zijn uitgevoerd in 1994, 2001 en 2005; de audits in 2001 en 2005 zijn georganiseerd door de Rijksuniversiteit Groningen.

In 2011 werd de audit verzorgd door de Waddenacademie, met als auditors:

- Dr. Hessel Speelman, bestuurslid van de Waddenacademie met de portefeuille Geowetenschap, voorzitter van de auditcommissie;
- Prof.dr. Peter Herman, Hoofd werkgroep Ruimtelijke Ecologie, Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) en hoogleraar Estuariene Ecologie aan de Radboud Universiteit Nijmegen;
- Prof.dr. Pavel Kabat, Hoogleraar Aardsysteemkunde en Klimaatstudies aan de Wageningen Universiteit en Researchcentrum;
- Prof.dr. Jelte Rozema, hoogleraar systeemecologie aan de Vrije Universiteit;
- Prof.dr. Joost Tinbergen, hoogleraar dierecologie aan de Rijksuniversiteit Groningen.

Naast waardering voor de het monitoringsprogramma hadden zij een aantal opmerkingen, suggesties en vragen. De voornaamste daarvan worden hieronder aangegeven, met daarbij in het kort de reactie van de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland, hier verder korthedshalve aangeduid als 'de Commissie'.

Morfologie:

1. Het verdient aanbeveling om alle morfologische processen die veranderingen in de morfologie bepalen in samenhang te behandelen. Het gaat daarbij om de afsluiting van de Lauwerszee (invloeden vanaf ca 1968); De zandsuppleties op en nabij het noordzeestrand van Ameland (invloeden vanaf ca 1980); De aardgaswinning op en nabij Ameland-Oost (invloeden vanaf ca 1986) en de stijging van de zeespiegel. *Dit is in de rapporten tot nu toe steeds al zo veel mogelijk gedaan.*
2. Op meerdere plaatsen in het rapport wordt de vraag gesteld of bodemdaling een verandering van korrelgroottesamenstelling van het sediment op het wad zou hebben veroorzaakt. Een duidelijker samenvatting van de kennis daaromtrent zou nuttig zijn. *Dit is een onderwerp waaraan ad hoc al en aantal keren aandacht aan is besteed. De Amelandcommissie zal proberen het advies van de Auditcommissie te verwezenlijken.*
3. In het rapport als geheel wordt er op minstens vier plaatsen een analyse gemaakt van het getij, het hoogwater, en hoe zich dat in de loop der tijd ontwikkelt. Alle analyses zijn gebaseerd op de observaties bij Nes, maar geen enkele analyse leidt tot hetzelfde resultaat. Het verdient aanbeveling hierin eenvormigheid te brengen, zodat duidelijk is met welke externe evoluties moet worden gerekend voor toekomstverwachtingen. *Bij de samenstelling van het 2017-rapport zijn tussen Amelandcommissie en onderzoekers afspraken gemaakt over een gezamenlijk gebruik van dezelfde gegevens en scenario's.*
4. Breng voor de sedimentatie-erosiemetingen op het wad (de 'spijkermetingen) elk jaar een aantal spijkers op verschillende plaatsen dicht bij bestaande spijkers nieuw in, zodat kan worden gecontroleerd of de berekende niveauperandering van het wad onafhankelijk is van de tijd dat de spijkers en touwtjes reeds op het wad aanwezig zijn. *De al beschikbare gegevens*



op dit punt, zoals die zijn ontstaan in de loop van het onderzoek, zijn geanalyseerd en bovendien worden de onderligging van de vier spijkerpunten op één meetlocatie steeds met elkaar vergeleken om na te gaan of sprake zou kunnen zijn van nazetting nieuwe punten.

Kwelders:

5. Zou uit het gerapporteerde onderzoek over de afgelopen 25 jaar kunnen worden afgeleid bij welke (sterkere) bodemdaling dan 30-40 cm, wel (delen van) de kwelder zou(den) verdwijnen? *De Amelandcommissie wil zich beperken tot prognoses die relevant zijn voor de planning van de monitoring in de volgende decennia.*
6. Herzie het basismodel dat ten grondslag lag aan de kweldermonitoring, met name om het tweedimensionale aspect van de kweldervegetaties beter in rekening te kunnen brengen. *Deze aanbeveling is gedeeltelijk in realisatiefase door de ontwikkeling van een kwelder-overstromings- en sedimentatiemodel. Dat model was net niet op tijd klaar om in de 2017-rapportage mee te nemen.*
7. Het herzien van de vegetatiekaarten heeft hoge prioriteit. De vegetatiekaarten zijn in de loop der jaren op zeer heterogene wijze opgesteld. Dat moet worden gerestaureerd zodat een interpreteerbare en eenduidige visualisatie van de tijdsevolutie mogelijk wordt. Ook zou de gedetailleerde informatie uit de analyse van de PQ's zo goed mogelijk bij de interpretatie van de kaarten betrokken moeten worden. *Inmiddels zijn de legenda voor alle vegetatiekaarten, met terugwerkende kracht, voor zover mogelijk, opnieuw berekend zodat nu vergelijkingen konden worden gemaakt tussen alle voor Ameland beschikbare vegetatiekaarten.*

Duinen:

8. De zes deelrapporten over de duinen waren zeer uiteenlopend van opzet een aanpak, met zeer uiteenlopende samenvattingen en zonder een overkoepelende samenvatting. Zij vonden dit onderdeel dan ook niet goed leesbaar. *De Amelandcommissie hoopt dat de nu gegeven algemene samenvatting aan dit bezwaar tegemoet komt. De vaak omvangrijke deelrapporten zijn vooral bedoeld voor gebruik door mensen die de details van het onderzoek willen bestuderen, en de Amelandcommissie vindt het bezwaar van een verschillende opzet niet zeer zwaarwegend, vooropgesteld dat de daarin te vinden informatie wetenschappelijk verantwoord is.*

Vogels:

9. De kwaliteit van de broedvogeltellingen die vergelijking mogelijk moesten maken met andere gebieden liet te wensen over wat betreft kwaliteit en de dekking. *Dit betreft vergelijkingen met gegevens van andere waddeneilanden, en dus van monitoring die niet onder de verantwoordelijkheid van de Amelandcommissie kan vallen. Overigens is de Amelandcommissie van mening dat de algemene monitoring van de vogels in het Nederlandse waddengebied behoorlijk goed geregeld is.*
10. Het verdient aanbeveling om te berekenen welke percentages van de verschillende broedvogelpopulaties van het eiland of van de waddenzee worden beïnvloed om een inschatting te geven of het hier een marginaal of een significant effect gaat. Dit geldt voor de wadvogelaantallen, de effecten van overstromingsrisico en de broedvogelaantallen. *Voor wat betreft de wadvogels kunnen geen effecten van bodemdaling worden vastgesteld, en er zijn tot nu toe geen duidelijke aanwijzingen dat de aantallen broedvogels veranderen door de bodemdaling. Wel is het mogelijk dat het broedsucces van*



op de kwelders broedende vogels wordt beïnvloed. Daarover wordt in de 2017-rapportage voor het eerst gerapporteerd.

11. Omdat het binnenduin/de hoge kwelder wel verandert zou het interessant zijn om te weten hoe dit de broedpopulatie, ook van zangvogels, beïnvloedt en of dit ten opzichte van de populatie op de rest van het eiland van belang is. *Dit onderwerp is nooit als een probleem ervaren en dientengevolge ook niet in het monitoringsprogramma opgenomen. Gegeven dat feit, en gegeven het stadium waarin de monitoring zich nu bevindt (de bodemdalingssnelheid neemt nu behoorlijk af) is het niet zinvol om dit onderdeel alsnog toe te voegen.*

Algemeen:

12. De auditcommissie was onder de indruk van wat 25 jaar onderzoek naar bodemdaling op en rond Ameland-Oost heeft opgeleverd. Dankzij de jarenlange inspanningen van een trouwe en zeer betrokken groep onderzoekers ligt er inmiddels een schat aan gegevens over zeer uiteenlopende onderwerpen, als de gemeten bodemdaling, de plantengroei en de vogelaantallen. Deze schat verdient het om aan een groot publiek zichtbaar te worden gemaakt. Dit kan in de vorm van een aparte publicatie, maar ook in de vorm van een speciaal nummer van bijvoorbeeld 'De levende natuur'. *Daar is de Amelandcommissie het wel mee eens, maar haar voornaamste doel is een degelijk monitoringsprogramma waarmee zo nodig alle vragen over de effecten van bodemdaling op Ameland kunnen worden beantwoord. Meer gericht op een gespecialiseerd publiek zijn er wel acties geweest: Er is een artikel verschenen in De Levende Natuur, er zijn vele cursussen voor universitaire- en HBO-studenten georganiseerd, zijn enkele proefschriften over aspecten van bodemdaling op Ameland verschenen en er zijn -vooral door*

onderzoekers van de Wageningen Universiteit- gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften.

13. Kom tot integratie en synthese. Een periode van 25 jaar monitoring van effecten van bodemdaling heeft een belangrijke dataset opgeleverd, en een evaluatie daarvan zou nu zeer op zijn plaats zijn. Daarbij zouden onder meer de volgende vragen aan de orde kunnen komen: Zijn er nu duidelijke effecten van bodemdaling aantoonbaar? Zijn de daarvoor gebruikte methodes geschikt? Bestaan er statistische analyse methoden waarmee dat beter kan? Kunnen er modellen ontwikkeld worden waarmee met bodemdalingen van verschillende omvang en snelheid effect voorspellingen worden gedaan? Ook zou moeten worden nagegaan of er mogelijkheden zijn om de wetenschappelijke resultaten van 25 jaar bodemdalingsonderzoek te publiceren in een 'special issue' van een wetenschappelijk tijdschrift. *De actie om te komen tot een groot syntheserapport loopt nog. Het is de bedoeling dat in 2018 af te maken.*
14. Er is in de afgelopen 25 jaar een schat aan data en informatie over Ameland-Oost beschikbaar gekomen. Een gedeelte van de data en informatie wordt ontsloten via de website www.waddensee.nl. Het verdient aanbeveling om alle data en informatie die over Ameland-Oost beschikbaar is via de website te ontsluiten. Dat gebeurt.
15. De monitoring van de effecten van de bodemdaling op Ameland-Oost vindt goeddeels gescheiden plaats van de monitoring van de effecten van de winning van aardgasvoorkomens in het waddengebied die geproduceerd worden vanuit de kustzone van Friesland en Groningen. Reden is dat er verschillende vergunningsstelsels gelden. Nu het voornemen is om de aardgaswinning voor de regio Ameland-Oost nog enkele decennia te continueren, verdient het naar de mening van de auditcommissie overweging om de effecten van de aardgaswinning in het waddengebied



geïntegreerd te monitoren en te rapporteren. De auditcommissie meent dat dit de efficiëntie van de monitoring van de effecten van de bodemdalingen verder kan verhogen. *De Amelandcommissie ziet deze mogelijkheid, maar constateert tevens dat de manier waarop bij de Amelandmonitoring wordt gewerkt effectief is en zonder grote bijkomende kosten en inspanningen tot grote tevredenheid van betrokken partijen tot resultaten komt. Een belangrijk onderdeel van de tot nu toe gevolgde werkwijze zijn de onafhankelijke audits, die naar de mening van de Amelandcommissie zorgen voor een goede balans tussen onafhankelijke monitoring en correcties van niet betrokken wetenschappers.*

16. Bespreek voor de periode 2012 – 2016 met de programmaleiders van de verschillende Waddenprogramma's die op dit moment lopen (d.w.z. Monitoring effecten bodemdalingen; WaLTER; Programma Rijke Waddenzee; Deltaprogramma Wadden en Geokartering Wadden) de mogelijkheden om te komen tot meer onderlinge kruisbestuiving inzake het verzamelen, verwerven, kwaliteitsborgen en archiveren, interpreteren, analyseren en verstrekken van alle data en informatie (abiotisch, biotisch en sociaaleconomisch) inzake het waddengebied. *Deze contacten zijn er, maar lopen via individuele sporen van onder meer de secretaris van de Amelandcommissie, andere commissieleden en onderzoekers. De Amelandcommissie is uiteraard voorstander van brede uitwisseling van kennis, en stelt dan ook alle gegevens gaarne beschikbaar aan andere partijen. Zij ziet echter geen specifieke taak voor zichzelf als organisator van overkoepelende gremia.*
17. Denk na over een 'zwaardere' wetenschappelijke begeleiding van de monitoring van de gevolgen van bodemdaling op Ameland. *Deze suggestie vraagt om een wat langer antwoord. Het totale systeem van de Amelandmonitoring bestaat uit een*

begeleidingscommissie van vakinhoudelijk deskundige vertegenwoordigers van de betrokken overheden en organisaties, een team van onderzoekers die werkzaam zijn bij onderzoeksinstituten, onafhankelijke audits en last but not least, voor wat betreft de uitvoering van het onderzoek, een stabiele financiering door de NAM. De wetenschappelijke begeleiding berust deels bij de Amelandcommissie en deels bij de auditcommissies. De Amelandcommissie hecht daarbij zeer aan de beroepsethiek van de betrokken onderzoekers, en het dient hier uitgesproken te worden dat zij de Amelandcommissie nimmer hebben teleurgesteld. De Amelandcommissie is van mening dat de wetenschappelijke begeleiding in dit systeem inderdaad niet knellend is geweest, maar juist daardoor inspirerend voor alle betrokkenen en tegelijkertijd -met dank de auditors van 1994, 2001, 2005 en 2011- verzekerd tegen tunnelvisies en vastroesting in bestaande werkwijzen. De Amelandcommissie ziet daarom op dit moment geen reden om over te gaan tot een 'zwaardere' wetenschappelijke begeleiding.

8.2 Voortzetting en ombuigingen

In 2006 is een planning gemaakt voor de monitoring tot het jaar 2020. Ook na dat jaar zal de monitoringsprogramma door moeten lopen, zowel vanuit inhoudelijke overwegingen als vanwege de inmiddels vigerende vergunning krachtens de Wet Natuurbescherming. Het doorgaan van de monitoring hangt logischerwijze samen met de vraag of nieuwe of verdergaande de effecten van bodemdaling verwacht kunnen worden.

Of er nog nieuwe effecten gevonden zullen worden is uiteraard moeilijk te zeggen. Een nieuw punt van aandacht wordt gevormd door de verhoogde grondwaterstanden langs de noordrand van het Neerlands Reid. In elk geval worden verdergaande effecten



van nu al herkenbare ontwikkelingen in duinvalleien en kwelders verwacht. Het hangt uiteraard van de bodemdaling af tot wanneer dat door zou kunnen gaan, een zekere periode van na-ijling in acht genomen.

De bodemdaling in het sterkst dalende gebied, de Hon, is anno 2017 gemiddeld nog ongeveer 0,3 cm per jaar. Dat is méér dan de huidige zeespiegelstijging van ongeveer 0,2 cm per jaar en dus voorlopig nog een factor van belang. Bovendien worden nu geleidelijk aan effecten zichtbaar in de kweldervegetaties die ontstaan door onvoldoende compensatie van de bodemdaling door opslibbing. Dat heeft consequenties voor de vegetatie en voor broedvogels. De effecten kunnen zich in de komende decennia nog verder ontwikkelen of er kan langzaam compensatie gaan optreden.

Voor duinen zowel als kwelders geldt dat de afgelopen decennia bijzonder mild zijn geweest voor wat betreft de zeespiegelstijging rond Ameland. Omstreeks het begin van de monitoring in 1987 heeft zich bij Ameland een sprongsgewijze verhoging van de zeespiegel voorgedaan waarna tientallen jaren van stabiliteit volgden. Dit is waarschijnlijk als gevolg van een klimaatschommeling; in het verleden zijn er ook zulke sprongsgewijze verhogingen geweest waardoor de zeespiegel op veel langere termijn toch de mondiale trend volgde. Aangezien het zeewater langs de waddenkust op een zeker moment de mondiale zeespiegelstijging zal moeten volgen moet er op een zeker moment dus een nieuwe sprong komen, waarbij in één klap de tot dan toe gemaskeerde effecten van zeespiegelstijging zichtbaar worden. Uiteraard zou het monitoringsprogramma die effecten mee moeten nemen!

Dit effect staat los van de verwachte versnelde zeespiegelstijging, die overigens mondiaal al wel zichtbaar is door een versnelling

van circa 2 naar 3 mm per jaar. Ook daar zal Ameland mee te maken krijgen, zij het dat het nog onduidelijk is wanneer dat zal zijn.

Over welke periode zou de voortzetting van het monitoringsprogramma wenselijk zijn?

Een echt objectieve manier is niet voorhanden, maar het zou redelijk kunnen zijn om door te gaan tot

1. Het effect van bodemdaling verwaarloosbaar wordt ten opzichte van de zeespiegelstijging. Op dit moment is iets meer dan 80% van de uiteindelijke bodemdaling gerealiseerd, en de snelheid van bodemdaling is teruggelopen tot ongeveer 1/3 van de maximale dalingssnelheid in het verleden. In de komende decennia zal die snelheid steeds verder afnemen, op Hon in de periode 2035-2040 tot ongeveer 0,1 cm per jaar. Daarna zou inderdaad gesproken kunnen worden van een gering relatief effect ten opzichte van zeespiegelstijging.
2. Eventuele na-ijl-effecten, in elk geval op kwelders en duinvalleien, duidelijk zijn geworden. Zoals hierboven al aangegeven zijn die wel te verwachten, enerzijds omdat sommige effecten zich pas nu beginnen af te tekenen, anderzijds door sprongen in het zeewaterniveau die toevalligerwijze hebben gezorgd voor een rustige periode vanaf 1987. Eerdere sprongen van het zeewaterniveau vonden na periodes van ca 30-40 jaar plaats (twee maancycli van 18,6 jaar).

Uit voorzorg gaat de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland voorlopig uit van voortzetting van het monitoringsprogramma tot het jaar 2040.



9 Onderzoekers die betrokken waren bij het onderzoek

Vanaf 1986 zijn veel onderzoekers betrokken geraakt bij de monitoring op Ameland. Velen hebben jarenlang hieraan doorgewerkt met passie en enthousiasme. Van enkele onderzoekers hebben we afscheid genomen vanwege pensioen, hoewel ze nog vaak op Ameland komen. Van onze kwelderonderzoeker van het eerste uur, Kees Dijkema, moesten we helaas deze zomer afscheid nemen na een ernstige ziekte. Hij heeft veel betekend voor deze monitoring, maar ook voor het internationale kwelderonderzoek en bij ons weten de enige die te voet de oversteek naar Borkum heeft gemaakt terwijl hij niet kon zwemmen.

Hieronder volgt een overzicht van betrokken wetenschappers naar hun belangrijkste bijdrage.

Morfologie & Bodemdaling	
	<p><i>Harry Piening heeft de CTO opleiding van het Kadaster gevolgd en is, na gewerkt te hebben bij het Kadaster, in 1986 bij de NAM in Schoonebeek begonnen als landmeter/tekenaar. Hij heeft naast zijn werk diverse studies op het gebied van Informatica aan de Open Universiteit doorlopen en heeft de studie Geodesie gevolgd aan de Hogeschool Utrecht. Op de afdeling Geomatics van NAM heeft hij vele jaren in Geo-Informatie Management gewerkt, en tevens 4 jaren voor Shell in Oman.</i></p> <p><i>Sinds 2010 is hij betrokken bij de monitoring van bodemdaling rond alle gas- en oliewinningen van de NAM, waaronder de Ameland, middels de verwerking, analyse en rapportage van de Geodetische metingen.</i></p>
	<p><i>Wim D. Eysink studeerde civiele techniek aan de Technische Universiteit Delft en heeft sindsdien meer dan 30 jaar ervaring opgebouwd met waterstaatkundige werken, het vakgebied van de hydrodynamica, verziltingsproblematiek en bovenal de estuariene en kustmorfologie. Hij was verbonden aan het WL DELFT HYDRAULICS als project ingenieur en gaf leiding aan verschillende projecten in binnen- en buitenland. Hij ging in 2000 met pensioen en heeft professor Wang ingewerkt.</i></p>
	<p><i>Zheng Bing Wang kwam in 1979 vanuit China naar Nederland. Hij is afgestudeerd (1984) en gepromoveerd (1989) aan de Technische Universiteit Delft en heeft sindsdien gewerkt bij Deltares (WL Delft Hydraulics) op het gebied van de morfodynamica van rivieren, estuaria en kusten. Hij is tevens verbonden aan de Technische Universiteit Delft als deeltijd hoogleraar, leerstoel morfodynamica van estuaria en zeegaten.</i></p>

Kwelders	
	<i>Kees S. Dijkema</i> ass. marien bioloog en werkte vanaf 1976 achtereenvolgens bij de Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, het Instituut voor Bos en Natuuronderzoek en voor Alterra Wad en Zee te Texel. Hij was eindredacteur van "Salt marshes in Europe" voor de Raad van Europa, medeauteur van "Cumulatie van Ecologische effecten in de Waddenzee" voor VROM, deed beheerexperimenten in de kwelderwerken, analyseerde lange termijn gegevensanalyses in kwelders en was vanaf de start betrokken bij de bodemdalingstudie op Ameland tot circa 2 jaar geleden. Hij overleed dit voorjaar.
	<i>Willem E. van Duin</i> heeft biologie gestudeerd aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. Van 1993-2016 heeft hij als onderzoeker bij het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Alterra en Imares op Texel gewerkt aan kwelders en was de naaste collega van Kees Dijkema. Sindsdien werkt hij als zelfstandig kwelderonderzoeker voor Artemisia. De focus ligt vooral op opslibbing, vegetatieontwikkeling en natuurbeheer. In trilateraal verband werkte hij tweemaal mee aan het Quality Status Report. Vanaf 1993 is hij betrokken bij het bodemdalingsonderzoek op Ameland.
	<i>Alma V. de Groot</i> studeerde Fysische Geografie in Utrecht en promoveerde in Groningen aan het onderwerp: "Salt-marsh sediment; Natural y-radioactivity and spatial patterns" in 2009. Ze werkte achtereenvolgens bij Rijkswaterstaat als adviseur, bij de Wageningen Universiteit als postdoc met het onderwerp: kustduinen en de bijbehorende vegetatieontwikkeling en vervolgens in 2012 begonnen bij Wageningen Marine Research (voorheen IMARES) als kwelder- en duinspecialist. Vanaf het eerste moment is ze betrokken geraakt bij de bodemdalingsstudie op Ameland.



Kelly Elschot studeerde ecologie aan de Rijksuniversiteit Groningen waar ze in 2015 promoveerde aan het onderwerp: "Effects of vegetation patterns and grazers on tidal marshes". Hiervoor heeft ze veel veldwerk uitgevoerd op de kwelders van Schiermonnikoog, het verdrongen land van Saeftinghe en in Groot Brittannië. Achtereenvolgens werkte ze als beleidsmedewerker bij de Provincie Overijssel aan Natura 2000 gerelateerde onderwerpen en sinds 2016 bij Wageningen Marine Research (voorheen IMARES) als kwelderspecialist. Met name zeespiegelstijging, begrazing, opslibbing, vegetatiedynamiek en koolstofopslag staan centraal in haar onderzoek. Ze is betrokken bij verschillende Building with Nature projecten, lange-termijn monitoring van kwelders en sinds 2017 bij de bodemdalingsstudie op Ameland.



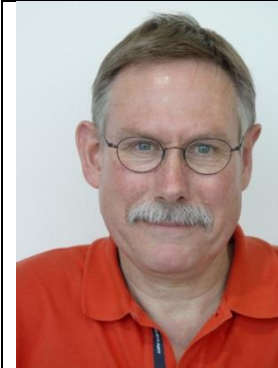
Elske Koppenaar studeerde ecologie aan de universiteit van Groningen. Het lange termijn onderzoek naar de bodemdaling op Ameland ligt ten grondslag aan haar promotie-onderzoek "het effect van verhoogde zeespiegelstijging op kwelders". Hiervoor deed ze ook veel veldwerk op Schiermonnikoog. Tegenwoordig werkt ze als software-ontwikkelaar bij het UWV, waar ze zich bezighoudt met het analyseren van Big Data



Bert Brinkman studeerde Chemische Technologie aan de latere Universiteit Twente, waar hij in 1986 promoveerde op het onderwerp "De Fosfaathuishouding in het Veluwemeer", een duo-promotie met Wim van Raaphorst. Sindsdien richt hij zich vooral op natuurlijke systemen. Als procestechnoloog heeft hij een voorkeur voor het ontwikkelen van allerlei rekenmodellen, vooral dynamische. In 1989 kwam hij bij het toenmalige RIN in dienst om zich met ecologische Waddenzee-modellering bezig te houden. In 2016 ging hij met pensioen. In 2017 is hij gevraagd voor de opstelling van een opslibbingsmodel voor Ameland. Dat werk loopt nog.



Marlies Sanders heeft in Wageningen biologie gestudeerd. In 1999 promoveerde zij op het onderwerp 'Remotely sensed hydrological isolation: a key factor predicting plant species distribution in fens'. Hiervoor verrichtte zij veel veldwerk in de laagveenmoerassen van Nationaal park 'De Weerribben'. Zij is gespecialiseerd in de integratie van remote sensing, Geografische InformatieSystemen en ecologie. Zij heeft ruime ervaring in de toepassing van deze technieken t.b.v. het onderzoek naar bosdynamiek, en t.b.v. vegetatiekartering en monitoring. Op Ameland onderzocht ze de kustafslag van de kwelderrand bij de Oerderduinen.



Pieter A. Slim begon in 1970 in ZW-Nederland met vegetatiekundig onderzoek naar de ecologische effecten van de Deltawerken. Trad in 1973 in dienst van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, een van de voorlopers van Wageningen University & Research. Deed in binnen- en buitenland ecologisch onderzoek ten behoeve van het natuurbeheer: aan verlaten landbouwgronden, kwelders, graslanden, steppen, heide, afgegraven hoogveen, laagveen, bossen en taiga, maar ook aan kleine en grote grazers zoals muizen, konijnen, reeën en edelherten. Voorspelde in 1986 in een 0-meting voorafgaand aan de bodemdaling, de effecten op de vegetatie. Zette daarmee het monitoringprogramma op dat in 1987 aanving. Heeft zijn hart verpand aan het Waddengebied met name aan Ameland. Pieter is een plantensystematisch expert van hoog allure en met vele initiatieven, o.a. de datering van kleilagen op Neerlands Reid. Hij ging in 2017 met pensioen maar daar is weinig van te merken.

Duinen en statistiek



Han van Dobben studeerde biologie in Utrecht. Sinds 1977 werkzaam als ecooloog bij Alterra en enkele van diens voorgangers: het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Hij is gespecialiseerd op de relatie tussen vegetatie en abiotisch milieu. Promoveerde in 1993 op het onderwerp 'Vegetation as a monitor for deposition of nitrogen and acidity'. Sinds 1995 is hij senior-onderzoeker. Heeft veel ervaring op vrijwel alle gebieden van de botanische ecologie. Zijn specialismen zijn korstmossen, multivariate statistiek en modelbouw. Werkt sinds 1994 mee aan de monitoring van ecologische effecten van gaswinning op Ameland, speciaal die in de duingebieden en ging in 2017 met pensioen. Han en Pieter Slim vormden alle jaren een hecht team wat betreft Ameland.



Loek Kuiters heeft Biologie gestudeerd aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. Hij promoveerde in 1987 op het onderwerp 'Phenolic acids and plant growth in forest ecosystems'. Sinds 1992 is hij werkzaam als ecooloog bij het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, thans Wageningen Environmental Research (Alterra), en werkt daarbij aan zowel plant- als dierecologische projecten. Hij deed veel onderzoek aan begrazing van natuurterreinen en aan dynamiek van (duin)vegetaties in relatie tot soortendiversiteit op basis van lange termijn meetreeksen. Sinds 2015 is hij betrokken bij de monitoring van de effecten van gaswinning en zeespiegelrijzing op duingraslanden en natte duinvalleien op Oost-Ameland.



Daisy de Vries MSc is al van jongs af in de natuur en met name in de buurt van strand en zee te vinden. In haar vrije tijd een fervent duiker. Zij studeerde biologie en ecologie aan de Vrije Universiteit van Amsterdam, waar ze zich heeft gefocust op dierecologie. Nu breidt ze haar ecologische kennis steeds meer uit, om zo het hele systeem beter te kunnen begrijpen. Sinds 2015 is zij verbonden aan Wageningen Environmental Research (Alterra), waar zij werkt als junior onderzoeker hersteleecologie. Hier is zij betrokken bij diverse projecten, vaak duin-/strandecologie gerelateerd, waaronder het onderzoek op Ameland waar zij samen met collega Loek Kuiters de vegetatie in de duinen en duinvalleien monitort. Daisy heeft geleerd om een open houding tegenover andermans mening te hebben, maar kritisch en onbevangen naar data te kijken en van daaruit haar eigen standpunt op te maken.



Eric Schouwenberg studeerde Milieuhygiëne in Wageningen. Sinds 1992 werkzaam bij ALTERRA en een van diens voorgangers, het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. Hij is gespecialiseerd in de relatie tussen water, bodem en vegetatie. Hij verrichtte o.a. ecohydrologisch onderzoek naar de basenverzadiging van natte schraallanden in 'De Weerribben'. De laatste jaren heeft hij zich verder gespecialiseerd in de ontwikkeling van natuurwaarderingsmodellen, o.a. het NatuurTechnisch Model (NTM). Op Ameland werkte hij mee aan de monitoring van de grondwaterkwaliteit.

Grondwater



Jaap Wiertz begon in 1977 als ecooloog bij het ingenieursburo DHV te Amersfoort en werkte daar aan de pilots voor Milieu-Effect Rapportage. Hij stapte al spoedig over naar het Rijksinstituut voor Natuurbeheer om wetenschappelijke begeleiding te geven bij het extern betaalde opdrachtonderzoek. Dit omvatte o.a. de ontwikkeling van voorspellingsmodellen voor de effecten van grondwater op vegetatie (WAFLO, NTM). Daarnaast was hij ook betrokken bij het onderzoek aan dassen. Vanaf 1992 werkt hij bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu als hoofd van de afd. Effecten, Gebieden en Ruimte, waar model- en meetnetontwikkeling plaatsvindt voor ecologische en planologische vraagstukken. Op Ameland zette hij destijds de monitoring op van de grondwaterkwaliteit.

Vogels



Cor J. Smit (1948) trad in 1977 in dienst bij de Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek om een bijdrage te leveren aan het bijeenbrengen van vogelgegevens en het redigeren van bijdragen voor enkele delen van Ecology of the Wadden Sea (hoofdreductie W.J. Wolff). Trad in 1981 in dienst bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Heeft zich in die functie met name beziggehouden met de onderzoek naar de effecten van verstoring op wadvogels, populatie-ecologisch onderzoek aan Scholeksters en het uitwerken van gegevens van vogeltellingen uit het (internationale) Waddengebied. Nam in 1981, 1985, 1986, 1995 en 2000 deel aan wetenschappelijke expedities naar Marokko, de Westelijke Sahara en Mauritanië om aldaar de ecologie en de wegtrek van steltlopers naar de Waddenzee te bestuderen. Was in de beginjaren betrokken bij de wadvogels.



Marcel Kersten (1952) is gepromoveerd aan de Rijksuniversiteit Groningen op onderzoek naar het energiegebruik van scholeksters. Hij heeft daarnaast onderzoek verricht aan de energiebehoefte en het energiegebruik van watervogels in de Camargue, West-Afrika en de zuidelijke Indische Oceaan.

Hij organiseert sinds 1972 met de Wadvogeltelgroep Ameland de wadvogeltellingen op het eiland. Vanaf 2001, met het eigen onderzoeksbureau Ecosense, zijn de wadvogeltellingen op Ameland geïntensiveerd in verband met onderzoek naar de bodemdaling. De komst van Marcel samen met Kees Rappoldt in het onderzoek betekende de inbreng van ervaring en kennis van ver voor het begin van de gaswinning.



Kees Rappoldt (1954) studeerde experimentele natuurkunde met bijvak theoretische ecologie in Utrecht. Hij promoveerde in Wageningen op onderzoek naar diffusie-reactie processen in de bodem en werkte daarna aan emissie van broeikasgassen uit de bodem en aan waterstroming in een veenmospakket. Sinds 2006 doet hij in zijn firma EcoCurves modelberekeningen voor de kastuinbouw (kasklimaat, energiegebruik, fotosynthese en gewasgroei) en aan wadvogels (effecten van visserij, verstoring, bodemdaling). Sinds 1972 doet hij mee met de wadvogeltellingen op Ameland.



Bruno Ens heeft zijn hart verpand aan de Scholeksters. Hij promoveerde in 1992 onder Rudi Drent op een proefschrift getiteld "The Social Prisoner: causes and consequences of variation in reproductive success of the Oystercatcher" aan de Rijksuniversiteit Groningen. Hij werkte aan het RIN onder Wim Wolff aan het effect van klimaatverandering op wadvogel populaties. Hij is een gedreven en bedreven populatiebioloog en werkt sinds 1998 mede aan de gevolgen van bodemdaling voor wadvogels samen met o.a. Kees Rappoldt in de ontwikkeling van dosis-respons modellen voor zeespiegelstijging en visserij. Sinds 2006 is hij in dienst van Sovon en betrokken bij de monitoring op Ameland in de ontwikkeling van overstromingsmodellen en broedsucces.



Christian Kampichler studeerde zoölogie en plantkunde in Wenen en was daarna werkzaam als onderzoeker en docent bij de Universität Wien (Oostenrijk), het Helmholtz-Zentrum München (Duitsland), de Freie Universität Berlin (Duitsland), de Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Mexico) en het Vogeltrekstation van het NIOO-KNAW. Als bodemecoloog ontwikkelde hij meer en meer belangstelling voor statistische analyses en ecologische modellering, vooral met methoden uit het gebied van het Machinaal Leren zoals random forests en kunstmatige neurale netwerken. Sinds 2012 werkt hij bij Sovon en maakt vooral ruimtelijke analyses van de verspreiding en dichtheid van Nederlandse vogels.

Amelandkenner bij uitstek	Ecologie, vogels, duinvalleien en spijkermetingen
	<p><i>Johan Krol (1958) is de enige onderzoeker die op Ameland woont. Hij trad in 1988 in dienst bij de Stichting Amelander Musea als ecooloog bij het Natuurcentrum Ameland in Nes. Aanvankelijk werkte hij aan het opzetten van een educatieve dienst die op Ameland en het omringende zeegebied de vele bezoekers aan het eiland van informatie voorzag en de natuur liet beleven. Inmiddels verzorgt die dienst jaarlijks 1500 natuuractiviteiten waarvan een groot deel op het drooggevallen wad plaatsvindt. Sinds 2000 is hij betrokken bij meerdere onderdelen voor de Bodemdalingscommissie. Hij is op Oost Ameland verantwoordelijk voor onderzoek naar de sedimentatie aan het wadoppervlak, kolonie broedvogels op de kwelders, overstroming van natte duinvalleien, panoramafoto's op vaste punten en kartering van zeldzame plantensoorten in valleien. Tevens verzorgt hij samen met Joop Marquenie jaarlijks 6 tot 8 weekendprogramma's op het eiland voor studenten (HBO en Academisch) waarin alle aandacht is voor de zaken in deze monitoring en ook veldwerk en een bezoek aan de locatie AME-1 opgenomen is.</i></p>

Studenten met een bijdrage in voorgaande rapportages.	
Dymph Schouten	<i>Dymph Schouten (student Utrecht) heeft in 1998 het onderzoek uitgevoerd naar de overstromingsrisico's van duinvalleien. Haar rapport is integraal opgenomen in de rapportage over 2000. Ze is inmiddels afgestudeerd en werkt voor Shell.</i>
Wilmer Woudwijk	<i>Wilmer Woudwijk heeft in 2010 een onderzoek uitgevoerd naar de afbraak van humus in de duinvalleien van Ameland onder Ab Grootjans (Universiteit van Groningen). Zijn resultaten zijn opgenomen in het rapport over 2011.</i>
Tatjana Kopylova en Olga Rolnik	<i>Beide studenten volgden een masteropleiding aan de Universiteit van Amsterdam en waren na een studieweekend Ameland dusdanig gefascineerd geraakt dat ze de Russische samenvatting verzorgden van 2005 en hiermee het onderzoek ontsloten voor Russisch sprekkenden..</i>



Ruimte voor aantekeningen