



## Inhoud

Monitoring van inundatie in duinvalleien op Oost-Ameland in 2001-2022. ....	3
Voorwoord. ....	3
Samenvatting. ....	3
1. Inleiding. ....	6
1.1 Aanleiding onderzoek. ....	6
1.2 Doel, vraagstelling en aanpak. ....	6
2. Gebiedsbeschrijving. ....	6
2.1 Locatie. ....	6
2.2 Ligging meetpunten. ....	7
3 Meetmethode. ....	8
4. Resultaten. ....	9
4.1 Maaiveld en bodemdaling. ....	9
4.2. Meetpalen en bodemdaling. ....	10
4.3 Ophoging van de maaiveldhoogte door instuiving. ....	12
4.4 Drempels. ....	15
4.5. Vergelijking waterstanden getijstation Nes en getijstation Wierumergronden met vallei NC02. ....	16
4.6. Overstromingsfrequentie. ....	17
4.7. Tijdsduur van inundatie in valleien. ....	19
4.8. Zoutgehalte van inundatiewater. ....	21
4.9. Duindoornsterfte en duindoorngroei. ....	22
4.10. Vegetatieverandering in vallei NC02. ....	25
5. Conclusies. ....	27
6. Literatuur. ....	28
Bijlage A. Hoogwaterstanden van meetstation Nes en Wierumergronden. ....	29

## Monitoring van inundatie in duinvalleien op Oost-Ameland in 2001-2022.

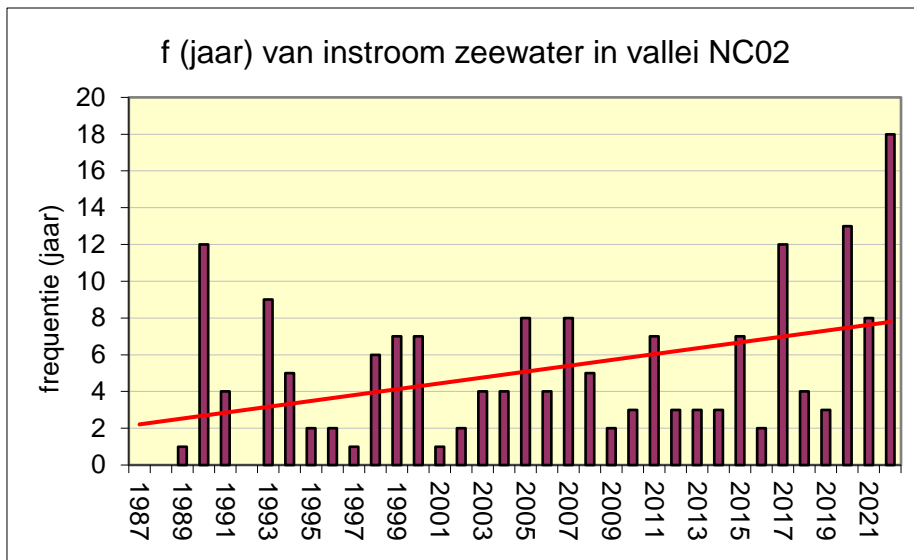
### Voorwoord.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Het betreft de monitoring van inundaties van het maaiveld in de laagst gelegen valleien in het hart van de bodemdaling schotel op het Oerd. De inundatie vindt in de wintermaanden plaats door een hoge grondwaterstand door neerslag en soms is er toevoer van zeewater door een hoog stormtij. De inundatiefrequentie, inundatieduur, waterstand boven maaiveld en enkele waterkwaliteitsparameters in de valleien zijn in dit programma opgenomen en in dit rapport uitgewerkt voor 21 opeenvolgende winters vanaf de herfst van 2001 t/m het voorjaar van 2022.

Aanleiding was de in 1994 geconstateerde sterfte van duindoorn (Slim 1997) in meerdere valleien (figuur 2) ten westen van de winning locatie AME-1 van de NAM en de later geconstateerde vernatting van de vegetatie in deze valleien. Het mogelijk verklaren van de duindoornsterfte ten gevolge van verandering in overstromingsfrequentie met zeewater of andere veranderingen in de waterhuishouding in het gebied was een doel van dit onderzoek. Verder zijn de resultaten van dit onderzoek belangrijk voor de interpretatie van veranderingen in de vegetatie.

### Samenvatting.

Deze rapportage betreft onderzoek aan de inundatie van het maaiveld in meerdere duinvalleien in het gebied met de meeste diepe daling door gaswinning tussen paal 20,6 (Spijkerpad) en de NAM productielocatie AME-1. Tussen 1986 en 2022 is de diepe ondergrond van deze valleien 42 cm. gedaald. De valleien liggen in een vrij vlak gebied en de maaiveldhoogten van de laagste delen variëren slechts tussen 1,38 en 1,56 m +NAP (meting 2004). Tijdens deze onderzoeksperiode blijkt er in de valleien die het dichtst langs de zeereep liggen ophoging van de bodem plaats te vinden door instuiven van strandzand. De in eerdere rapportages voorspelde sterke stijging van de overstromingsfrequentie ten gevolge van bodemdaling is tot nu toe niet opgetreden. Door Schouten (1999) was een stijging van 4 naar 20 jaarlijkse instromingen voorspeld bij een bodemdaling van 27 cm. In de praktijk blijkt er sprake te zijn van een toename in de instroomfrequentie met zeewater per jaar van gemiddeld 2 naar 8 instromingen bij een diepe bodemdaling van 42 cm (figuur 1.)



Figuur 1. Frequentie van instroom van zeewater in het onderzoeksgebied in vallei NC02. Vanaf 1987 door berekening, vanaf 2001 door waarneming.

In dit onderzoek blijkt het maaiveld in een deel van de valleien iedere winter gedurende meerdere maanden geïnundeerd te zijn. De inundatieduur is sinds het optreden van bodemdaling waarschijnlijk significant sterk gestegen. Door de aanleg van de AME1 locatie en diepe daling door de gaswinning in combinatie met zeespiegelstijging gedurende een periode van 36 jaar ligt de grondwaterspiegel nu relatief ruim 40 cm hoger en dat betekent vaak maandenlange inundaties met brak water boven maaiveld in dit onderzoeksgebied. Dit is de belangrijkste in dit onderzoek geconstateerde verandering in het gebied die ook gevolgen heeft voor de natuur ter plaatse. Naast de eerder geconstateerde sterfte van Duindoorn op de valleibodems in 1994 kan nu ook de overal zichtbare hervestiging van Duindoorn op de bovenrand van de valleien hiermee worden verklaard. Dit geldt ook voor de vegetatieverandering in de richting van een kweldervegetatie in vallei NC02 maar de directe aanleiding hiervoor was een extreme gebeurtenis in het voorjaar van 2007. Dit betrof een late inundatie door de zee (18 maart) gevolgd door wekenlange droogte waardoor zich een zoutkorst vormde toen de bodem droogviel op 24 april. Hierdoor stierf de bestaande vegetatie volledig af en vestigden zich nog hetzelfde jaar typische kwelderplanten. Zonder dit extreme voorjaarsweer was de verandering wellicht geleidelijker geweest of zou zich jaren later hebben voorgedaan. Sindsdien hebben de zoutplanten hun habitat uitgebreid.





*Figuur 2. Duindoornsterfte door relatieve stijging van het grondwater door bodemdaling in vallei NC15 Foto: Johan Krol 21-1-2004.*



*Figuur 3. Nieuwe zone van Duindoornstruweel op bovenrand van vallei NC02. Links daarvan een overgangszone met Zilte rus (*Juncus gerardii*) en Zilverschoon (*Potentilla anserina*) en geheel links op de valleibodem een zilte vegetatie met Heen (*Bolboschoenus maritimus*) en Zeerus (*Juncus maritimus*). Foto: Johan Krol, 11-7-2011.*

## 1. Inleiding.

### 1.1 Aanleiding onderzoek.

In 1994 vond duindoornsterfte plaats binnen het bodemdaling gebied. Een deel van de sterfte, met name in de laagste gebieden, werd geweten aan de bodemdaling (Eysink et al, 2000). Gezien de gelijke hoogteligging van de afgestorven struiken op de laagste delen van de valleien werd het aannemelijk geacht dat vernatting door verlaging van het maaiveld en/of verzilting door overspoeling met zeewater de oorzaak van de sterfte is geweest. In de Nederlandse ecologische flora (Weeda, 1987) wordt aangegeven dat Duindoorn erg gevoelig is voor overspoeling met zeewater, tenzij dit sporadisch in de winter plaatsvindt. Eventuele andere oorzaken van de duindoornsterfte werden uitgesloten door Slim (1997), die heeft gekeken naar veroudering, bodemgesteldheid, plantparasitaire aaltjes, insecten aantasting en vraat van konijn en ree.

In het rapport van Schouten (1999) werd een risicomodel gepresenteerd waarin wordt aangegeven welke gevolgen bodemdaling en zeespiegelstijging zullen hebben op de overstromingsfrequentie in het bodemdaling gebied en wat dit betekent voor de vegetatie. Voor de laagst gelegen valleien werd een toename van 4 naar 20 jaarlijkse overstromingen voorspeld in de periode 1987-2007 bij een bodemdaling van 27 cm.

In dit onderzoek is gedurende 21 opeenvolgende winters (2001-2022) veldonderzoek verricht in valleien binnen het hart van het bodemdaling gebied op Oost-Ameland. Hierbij is de waterstand boven maaiveld wekelijks opgemeten en zijn tegelijkertijd enkele kwaliteitsparameters gemeten waarvan het zoutgehalte (saliniteit en EGV) als maat voor de invloed van zeewater de belangrijkste is.

### 1.2 Doel, vraagstelling en aanpak.

Doel van dit onderzoek is het monitoren en registreren van inundatie van het maaiveld en instroom van zeewater tijdens stormtijden in de uitgekozen duinvalleien (figuur 5) waarbij in de praktijk gekeken wordt of en in hoeverre er sprake is van een frequentietoename. Vervolgens is onderzocht wat de effecten zijn van inundaties op de waterstand boven maaiveld en de waterkwaliteit. Tevens is geprobeerd een inzicht te verkrijgen in de ligging en hoogteontwikkeling van overstromingsdrempels en valleibodems door directe metingen en verwerking van andere in hetzelfde gebied verzamelde meetdata zoals peilbuismetingen die ook tot NAP-hoogten te herleiden zijn.

## 2. Gebiedsbeschrijving.

### 2.1 Locatie

Dit onderzoek richt zich op het gebied tussen de zeereep en de Oerderduinen, vanaf het Spijkerpad (paal 20,6) tot de NAM locatie. Aanvankelijk (tot 2019) richtte het onderzoek zich vooral op het gedeelte vanaf het einde van het fietspad (paal 21,6) oostwaarts tot de NAM locatie. Dit is het gebied waarin de duindoornsterfte hoofdzakelijk heeft plaats gevonden en waar ook de overstroming tijdens stormsituaties het eerst plaatsvindt. Het gehele gebied heeft een soort trechtervorm met de kleine opening in het westen (figuur 5).

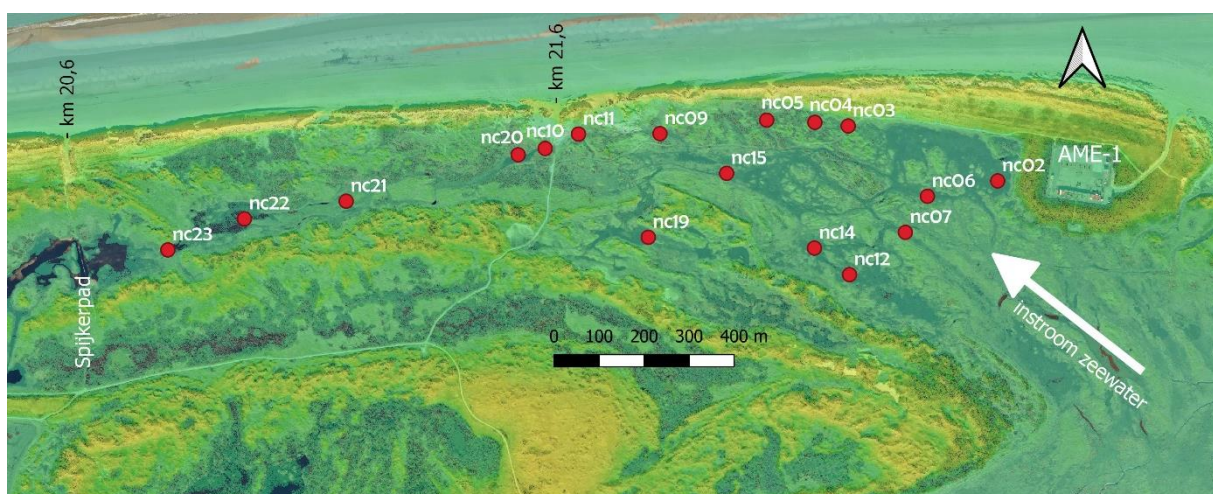


## 2.2 Ligging meetpunten

In het onderzoeksgebied zijn in 2001 16 meetpalen geplaatst (figuur 4 en figuur 5). De palen dragen de code NC01 t/m NC16. De palen NC01, NC08 en NC13 zijn reserves voor meting tijdens extreem hoogwater en spelen geen rol in de verwerking van de gegevens. De meetpaal NC19 is in januari 2004 geplaatst en sindsdien bemonsterd. Tussen NC10 en NC11 ligt het eind van het fietspad t.h.v. strandpaal 21,6 met een fietsenstalling. NC11 is door graafwerkzaamheden in oktober 2015 verloren gegaan. NC20 tm NC23 zijn in 2019 geplaatst om ook meer westelijk waterstandsdata te verkrijgen om beter aan te sluiten op het netwerk van de vegetatiemonitoring door Wageningen Marine Research (WMR).



Figuur 4. Vallei NC09 met de meetpaal. Foto: Johan Krol, 21-01-2004.



Figuur 5. Ligging van de meetpunten in de valleien. Het Spijkerpad als westelijke begrenzing en de NAM locatie AME-1 als oostelijke begrenzing zijn ingetekend.

### 3 Meetmethode

De meetpalen bestaan uit duurzame houten palen met een vlakke kop (figuur 4). De kophoogte is gedurende deze meetperiode zesmaal (2001, 2004, 2007, 2013, 2019, 2023) ingemeten met gebruik van een RTK/DGPS ontvanger. De meetfout in deze methode bedraagt +/- 25 mm.

De waterhoogte boven maaiveld is bepaald met een liniaal ten opzichte van de paalkop, de visuele aflezing is op millimeterniveau gedaan waarbij de meetfout +/- 2 mm is. Gelijktijdig is de temperatuur, saliniteit en elektrisch geleidend vermogen van het water bepaald met een WTW multiline meter (type P3 en na 2019 type LF320) met daaraan een Tetracon 325 elektrode. De monitoringmetingen zijn tenminste wekelijks uitgevoerd. De hoogste waterstand na een overstroming met zeewater is soms bepaald. Meestal is de stand 1 of 2 dagen na de hoogste waterstand afgelezen aan de hoogte waarop strooisel in de duindoornstruiken is blijven hangen (figuur 6) en soms langs de rand van een vallei aan een aanspoelselgordel. Dit lukt alleen bij hogere waterstanden als drijvend materiaal bijeen wordt gedreven en hier geldt een meetfout van  $\pm 4$  cm. Ijsperioden bemoeilijken dit onderzoek omdat dan vaak lucht tussen de ijslaag en het waterniveau komt door grondwaterdaling onder de ijslaag. Een correcte aflezing van de waterhoogte in de vallei is dan niet meer mogelijk en de meetreeks wordt voortgezet als het ijs gesmolten is. In geen enkele winter heeft dit tot langdurige problemen in de reeks geleid.



*Figuur 6 Aanspoelsel in dode Duindoorn na een stormtij bij meetpunt NC15. Foto: Johan Krol, 12-12- 2011.*

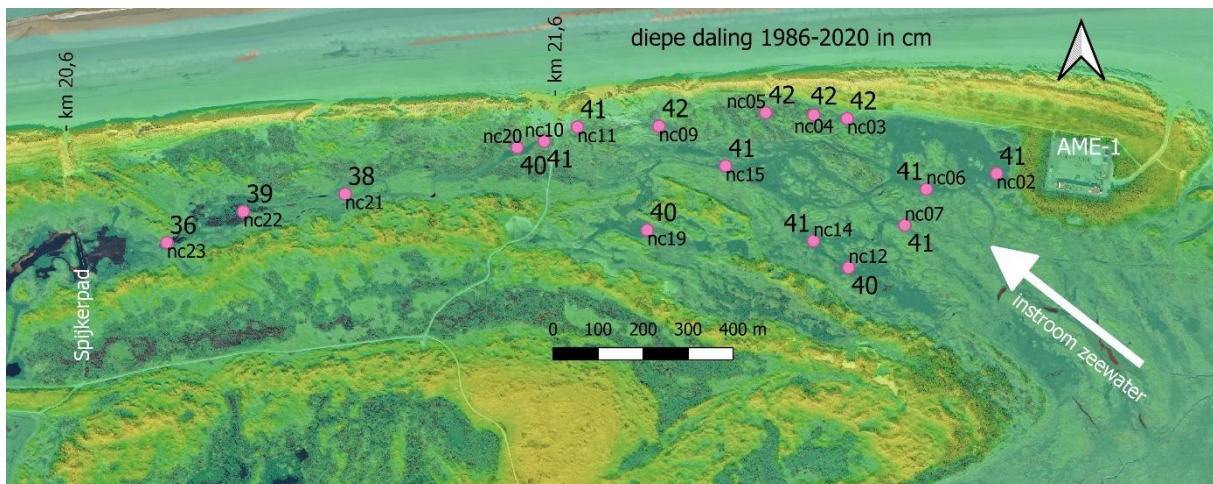


## 4. Resultaten.

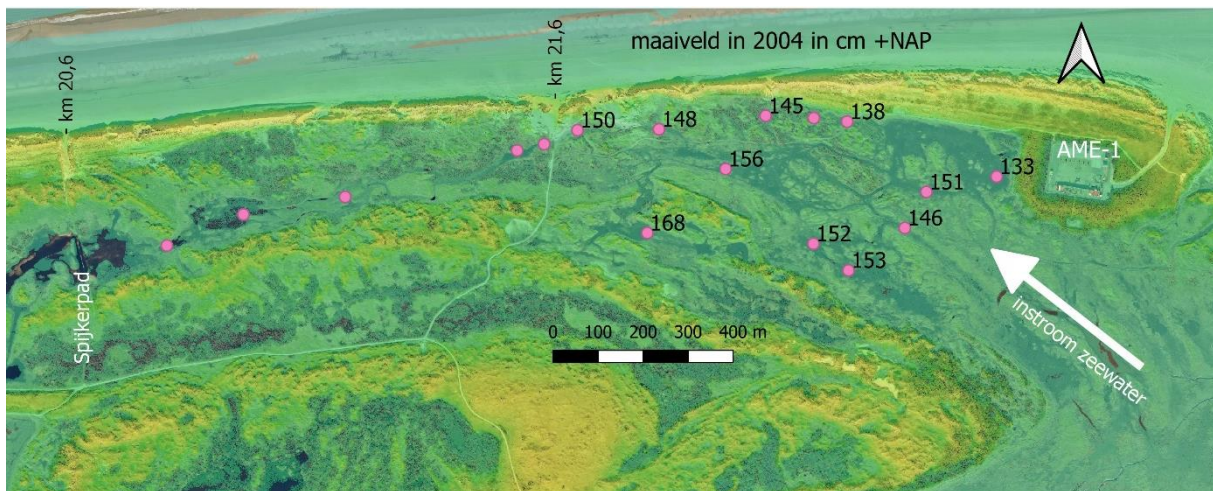
### 4.1 Maaiveld en bodemdaling.

Jaarlijks is de hoogte van het maaiveld ten opzichte van de paalkoppen bepaald op het moment van droogvallen in de verschillende valleien. De meetpalen staan op het diepste punt in de valleien en de maaiveldhoogte kan goed worden gemeten op het moment dat de laatste vierkante meters water rond de meetpaal in de bodem verdwijnen. De maaiveldhoogte is dus bepaald aan de hand van het waterniveau tijdens droogvallen over een oppervlak van enkele vierkante meters en niet aan de hand van de bodem pal naast de meetpaal. Uitgaande van de meet data van de paalkoppen (tabel 1) kan ook de hoogteligging van het maaiveld van de valleien worden bepaald. Opvallend is dat de range van hoogteligging vrij klein is met alle bodems tussen de 1,38 en 1,56 m +NAP in 2004. Vallei NC 19 die in 2004 aan het programma is toegevoegd ligt iets hoger, op 1,68 m +NAP en de meest oostelijke vallei NC02 ligt dan iets lager op 1,33 m +NAP. Waarschijnlijk vindt de vlakheid van het gebied zijn oorzaak in de ontstaansgeschiedenis van de valleien waar duintjes op een voormalige strandvlakte zijn opgestoven en de valleibodems nog op het niveau van de oorspronkelijke strandvlakte zijn gebleven.

Het gehele onderzoeksgebied ligt in het hart van de bodemdaling schotel. In figuur 7 staat de berekende diepe daling weergegeven voor iedere meetpaal met gebruikmaking van het NAM-model Ameland\_GRIDS\_2020. Dit model loopt tot februari 2020 en de waarden laten zien dat de diepe daling tussen 40 cm en 42 ligt bij de meetpalen oostelijk vanaf paal NC20 en dat bij de drie westelijke palen NC21-NC23 36-39 cm diepe daling is veroorzaakt. In feite kan voor het oostelijke deel van het onderzoeksgebied betrouwbaar gerekend worden met een gemiddelde daling van 41 cm in de periode 1986-2020 en voor de drie westelijke palen is dit gemiddeld 37 cm.



Figuur 7. Diepe berekende daling in cm in de valleien in de periode 1986-2020.



*Figuur 8. Maaiveldhoogtes (zwarte cijfers) van de valleibodems in 2004 in centimeters boven NAP. De vallei westelijk van NC10 werd in 2004 nog niet gemeten en is in 2005 uitgegraven en daarmee niet meer vergelijkbaar met de getoonde meetpalen.*

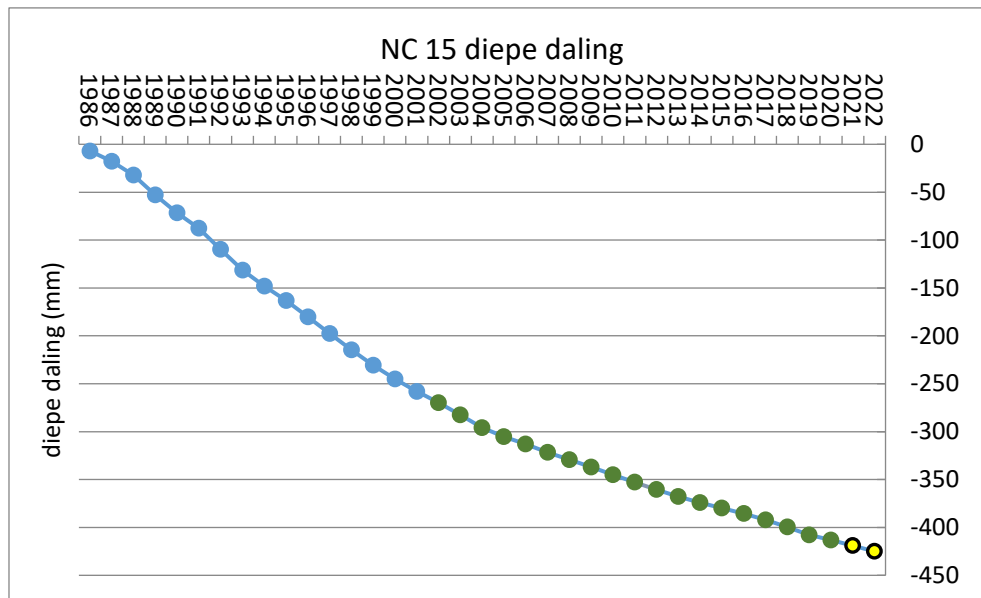
#### 4.2. Meetpalen en bodemdaling.

De X, Y en Z coördinaten van de koppen van de meetpalen zijn meermaals ingemeten gedurende dit onderzoek. In tabel 1 staan de meetdata van 11 palen en een verschilberekening tussen de twee het verst uit elkaar liggende metingen in 2001 en 2023. Alleen de 11 palen waarvan in die jaren data beschikbaar zijn worden in de berekening betrokken. De overige palen zijn niet alle jaren gemeten of zijn door graafwerkzaamheden onbruikbaar voor dit doel. NC19 betreft een iets kortere rekenperiode, 2004-2023. Door de range van de meetfout ( $\pm 25$  mm) en het beschikbare tijdsinterval (22 jaar) is dit verschil geen exacte meting van de lineaire bodemdaling. De palen zijn ongeveer 1m diep gefundeerd en dat is geen specifieke methode om diepe daling te meten, maar de daling van ongeveer 20 cm bij alle palen en een gemiddelde lineaire daling van 8,7 mm/jaar cm ligt in de lijn der verwachtingen. Dit komt ook goed overeen met een gemiddelde lineaire daling van 8,2 mm/jaar bij dezelfde 11 palen volgens het NAM-model Ameland\_GRIDS\_2020 (NAM/Ketelaar) over de periode 2001-2019.

Tabel 1. De met RTK/DGPS gemeten XYZ coördinaten van de koppen van 11 meetpalen. De verschildrend tussen 2001 en 2023 is terug te voeren op diepe daling. De meetfout is +/- 25 mm. In de kolom 'grids model' is het hoogteverschil berekend met het NAM model Ameland\_GRIDS\_2020 (NAM/Ketelaar). NC19 betreft de periode 2004-2023.

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

Gezien de vrijwel uniforme gemodelleerde daling van 8,2 mm/jaar over het gehele meetgebied kan de dalingscurve van meetpaal NC15 hiervoor model staan. In figuur 10 staat de berekende diepe daling in deze vallei, waarbij de jaren waarop dit onderzoek betrekking heeft in groen zijn weergegeven en de jaren 2021-2022 handmatig zijn geëxtrapoleerd en geel gekleurd.



Figuur 10. De diepe daling van de ondergrond bij paal NC15 vanaf 1986. Groen en geel (extrapolatie) geven de jaren van dit onderzoek aan.



#### 4.3 Ophoging van de maaiveldhoogte door instuiving.

Inmiddels wordt op een aantal plaatsen duidelijk dat de maaiveldhoogte van de valleien niet lineair met de bodemdaling afneemt maar dat er (gedeeltelijke) compensatie optreedt. In de valleien die het dichtst nabij de zeereep liggen, wordt de bodem vooral opgehoogd door instuivend zand uit de zeereep. Rijkswaterstaat heeft in 1994 het vastleggen van zand aan de strandzijde van de zeereep gestaakt. Dit is gebeurd in het kader van dynamisch kustbeheer, daar waar de kustveiligheid niet in het geding is, teneinde weer meer dynamische processen in de duinen op gang te krijgen. Dit landelijke beleid streeft naar een grotere invloed van wind en water, ook zeewater, op de natuur in de duinen. Tijdens stevige wind uit noordelijke richtingen stuift inmiddels behoorlijk wat zand over de zeereep in het achterliggende duingebied (figuur 12). Er heeft zich een meer natuurlijk uitziende zeereep ontwikkeld met meer stuifkuilen dan voorheen. Wel is het zo dat de zeereep zichzelf in stand houdt door verweg het meeste stuifzand in te vangen in de vitale helmvegetatie. Deze groeit daardoor aanzienlijk in hoogte en volume. In volume uitgedrukt ontwikkelt zich t.h.v. paal 22 een zeereep van bijna 200 m<sup>3</sup> per meter lengte. In het door De Jong et al.(2011) onderzochte gedeelte tussen paal 19 en paal 22 hoopt zich tot 2010 ruim 1,1 miljoen m<sup>3</sup> zand op. Overigens blijkt dat deze ontwikkeling niet zozeer gestimuleerd is door de invoering van dynamisch kustbeheer in 1995, maar een vrij lineaire autonome ontwikkeling kent sinds de aanleg in de zestiger jaren van de vorige eeuw. De Jong et al. (2011) hebben de ontwikkeling van de zeereep in het gedeelte tussen km 19 en km 22 op Oost-Ameland onderzocht en laten zien dat er sprake is van een min of meer autonome lineaire groei in het totale volume van de zeereep. De overall lineaire trend kent in die periode een drietal trendbreuken die veroorzaakt worden door extreme winterstormen die zorgen voor kustafslag (lees zandverlies). De laatste afslag vond in 1990 plaats. Ook in dit rapport komt dat jaar als een extreem stormrijk jaar naar voren.

Paal 22 ligt tussen meetpaal NC09 en NC05 in. Sinds 2000 is de zeereep meer dan 4 meter in hoogte gegroeid en er begint zich hier en daar een soort loopduin te ontwikkelen waarbij zand over de top aan de duinzijde naar beneden rolt en zodoende langzaam landwaarts schuift. Tevens heeft It Fryske Gea in 2015 een ongeveer 50 meter brede kerf gemaakt thv km 20,8 waardoor stuifzand landwaarts kan stuiven waardoor NC11 sindsdien onder zand is verdwenen. Ook de doorstroom van zeewater langs NC9 via NC11 naar NC10 en westelijker (zie figuur 7) is daardoor verhinderd. Het zeewater komt nu moeilijker via NC15 naar NC10 en westelijker.

In het veld is zandinstuiving in een strook van zo'n 100 meter breed ook visueel duidelijk waarneembaar. Op de bodem tussen de planten is vers zand zichtbaar en vaak zijn ook plantendelen als grashalmen bedekt met een laagje stuifzand (figuur 11). Deze instuiving vindt zichtbaar plaats in de valleien NC10, NC11, NC09, NC05, NC04, NC03. De instuiving in combinatie met een hoge grondwaterstand en kalkrijkdom resulteert in deze valleien in een vegetatie met de kenmerken van een primaire jonge duinvallei. Hierin worden vaak meerdere Rode Lijstsoorten aangetroffen. De belangrijkste soort in vegetaties van kalkrijke duinvalleien is Groenknolorchis (*Liparis loeselii*). Groenknolorchis is opgenomen in bijlage II en IV van de Habitatrictlijn en in Appendix I van de Bern-conventie. Overigens kan instuiving van veel strandzand ook zorgen voor verdroging waardoor de aanvankelijk positieve invloed weer teniet wordt gedaan. Dit is sinds 2014 gaande thv vallei NC11 direct ten westen van de strandovergang aan het einde van het fietspad. De machinale afplagging van deze vallei in 2005 resulteerde in de vestiging van Groenknolorchis en een maximum van 73 exemplaren in

2013 maar door een overmaat stuifzand en snelle ophoging/verdroging is de soort daar na 2019 weer verdwenen.

In de afgelopen 20 jaar zijn in de meeste valleien de meetpalen ‘korter geworden’ door depositie van stuifzand. Dat wil zeggen, de afstand tussen paalkop en maaiveld is veranderd door ophoging van de bodem. De valleien NC10 en NC11 kunnen niet gebruikt worden voor een kwantitatieve analyse omdat zij in 2005 zijn afgeplagd waardoor er een kunstmatige verandering in maaiveldhoogte is ontstaan. Deze twee valleien vormen de oostpunt van een groot natuurherstelproject waarbij in westelijke richting 2600 m primaire duinvallei is afgeplagd. Op Google Earth is dit mooi te zien (beeld van 2005 aanklikken). De getoonde beelden zijn aan het eind van de werkzaamheden gemaakt waarbij vallei 11, direct ten oosten van het strandpad, nog niet is opgeschoond. Inmiddels is meetpaal NC11 in 2015 verdwenen door nieuwe graafwerkzaamheden. Van dezelfde 11 meetpalen in tabel 1 staat in tabel 2 de hoogteverandering van het maaiveld rondom de palen over dezelfde periode (2001-2023). In de laatste kolom staat het verschil tussen de daalsnelheid van de paalkop en het maaiveld. Bij een positief getal daalt het maaiveld minder snel dan de paalkop. Dit wordt veroorzaakt door instuiving van zand. Bij NC12 en NC14 is geen compensatie omdat deze ver van de zeereep liggen in een rietveld. Bij NC19 is niet helemaal duidelijk waarom daar enige compensatie plaatsvindt. Mogelijk is dit enige instuiving vanuit een plagproject daar vlakbij. Voor de drie valleien NC03, NC04, NC05 en NC09 is de instuiving significant ten opzichte van de diepe daling. Deze bedraagt over de periode 2001-2023 gemiddeld 15 cm. Bij NC04 is zelfs sprake van netto ophoging omdat daar de maaiveldophoging (21 cm) meer is dan de diepe daling (19 cm).

*Tabel 2. Verandering van maaiveld in de periode 2001-2023 (NC 19 periode 2004-2023) en in laatste kolom het verschil ten opzichte van de diepe daling van de paalkop.*

	2023-2001	2023-2001	2023-2001
	maaiveld verschil	maaiveld snelheid	Kop - Maaiveld verschil
Vallei	cm	mm/j	mm/j
NC02	-17,0	-8	1
NC03	-4,0	-2	8
NC04	2,0	1	9
NC05	-5,0	-2	6
NC06	-18,0	-8	1
NC07	-12,0	-5	4
NC09	-5,0	-2	8
NC12	-15,0	-7	0
NC14	-17,0	-8	0
NC15	-17,0	-8	1
NC19	-19,0	-9	2
gemiddeld	-11,5	-5,2	3,7



*Figuur 11. Instuiving van strandzand in de vegetatie wat leidt tot bodemophoging thv NC11. Foto: Johan Krol, 24-1-2005.*



*Figuur 12 De stuivende zeereep aan de strandzijde ter hoogte van het onderzoeksgebied. Foto: Johan Krol, 21-9-2004.*



#### 4.4 Drempels.

Het onderzoeksgebied wordt bij stormtij overstroomd met zeewater dat tussen de NAM AME-1 locatie en de Oerderduinen door stroomt. Het merendeel van dit water komt over De Hon vanuit de Waddenzee en bij extreem hoge waterstanden komt een kleiner deel van het water over het strand waar het direct ten oosten van de NAM-locatie door een erosiegeul aansluit op het water dat vanaf de Waddenzee afkomstig is. Vervolgens is niet voor alle valleien duidelijk bij welke waterstand er overstroming plaats vindt. In het landschap en tussen de vegetatie is dit niet voor alle onderzoek-valleien even duidelijk. Voor een aantal valleien echter wel, omdat daar een smalle toestroomopening is waarin een duidelijke drempel ligt. Meestal in de vorm van een pad dat als een kunstmatige drempel fungeert. Deze hoogten zijn meestal enkele dagen na een stormtij bepaald op het moment dat het water nog net over de drempel terug sijpelde. Op dat moment is een aflezing gedaan aan de meetpaal in de betreffende vallei. In tabel 3 staan geen recente metingen. Het hoogste punt in de meeste drempels is onduidelijker geworden door verruiging van de vegetatie en vervorming van paden door bijvoorbeeld spoorvorming.

*Tabel 3. Drempelhoogtes van enkele valleien.*

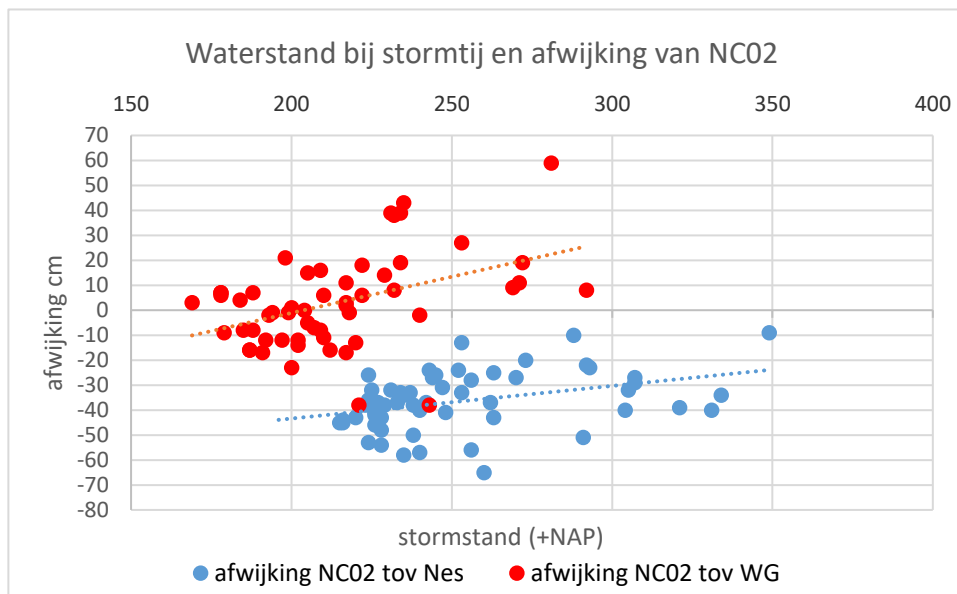
Valley	Drempel m +NAP	Datum
NC02	1.69	4-10-2004
NC03	2.00	22-12-2003
NC05	1.78	31-12-2001
NC09	1.77	31-12-2001



*Figuur 13 De drempel naar vallei NC09 op de achtergrond. Het pad vormt de drempel. Hoogte 1.77 m +NAP in 2001. Foto: Johan Krol, 31-12- 2001.*

#### 4.5. Vergelijking waterstanden getijstation Nes en getijstation Wierumergronden met vallei NC02.

In veel rapportages is de schatting van de overstromingskans op Oost-Ameland steeds gerelateerd aan de waterstand bij het RWS getijstation in de Waddenze bij Nes. Dit station bevindt zich echter ten westen van het wantij onder Oost-Ameland terwijl het overstromingswater van de valleien in dit onderzoek uit de Waddenze en Noordze ten oosten van het wantij komt. Bovendien staat het station Nes zo'n 10 kilometer verwijderd van de stormvloedbron, de Noordze ten NW van Ameland waardoor stuwing optreedt en de waterstand bij Nes hoger is dan op hetzelfde moment op de Noordze. Het stormtijwater op Oost-Ameland maakt een kortere weg van de Noordze naar de zuidkant van de Hon om de



Figuur 14. Afwijking van de hoogste waterstand in vallei NC02 ten opzichte van de RWS meetpalen Nes en Wierumergronden.

oostpunt van het eiland en bij hoge waterstanden is er een verbinding tussen Noordze en Waddenze waardoor er mogelijk minder stuwing optreedt. Uit de waarnemingen gedurende dit onderzoek blijkt de overstroombuigte in de vallei die het eerst overstroomt (NC02) gemiddeld beter overeen te komen met het getijstation Wierumergronden dan met het station Nes (bijlage A, figuur 14). De vallei NC02 is de laagstgelegen vallei in het onderzoeksgebied met een drempelhoogte van 1,69 m +NAP in 2004 (tabel 3). Uit de waarnemingen blijkt voor overstroming van deze vallei tenminste een waterstand van 2,24 m +NAP bij het station Nes en 1,87 m. +NAP bij het station Wierumergronden nodig te zijn (situatie 2004). Stormtijden die net tot dit niveau reiken hebben overigens niet altijd hetzelfde resultaat. Vervolgens schommelt de hoogste waterstand in de vallei NC02 van -38 tot +59 centimeter rond de hoogste waarde van Wierumergronden. De gemiddelde afwijking van de maximale waterstand die in vallei NC02 wordt bereikt op basis van de waargenomen inundaties in de periode 2001-2022 ten opzichte van de meetstations Nes en Wierumergronden wordt in bijlage A weergegeven en staat grafisch uitgezet in figuur 14. Opvallend is dat de gemiddelde maximale waterstand in vallei NC02 vrijwel exact overeen komt met de maximale waterstanden van het getijstation Wierumergronden. De hoogste waargenomen waterstand in het onderzoeksgebied vond plaats op 9 november 2007 toen +NAP 349 cm bij het station Nes werd bereikt. Opvallend is dat bij deze hoge stand het niveau in NC02 juist wel weer beter bij getijstation Nes past.

Tabel 4. Waterstandsafwijking van maximale waterhoogte (cm) in vallei NC02 ten opzichte van de getijstations Nes en Wierumergronden op basis van data in bijlage A.

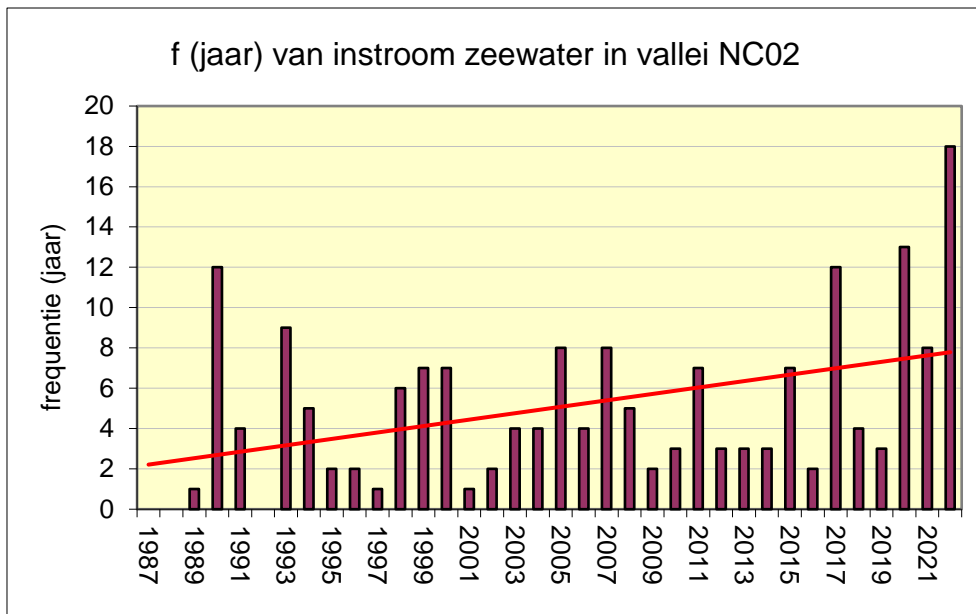
afwijking tov NC02 (cm)	Nes	WG
gem	-36	3
SD	11	18
max	-9	59
min	-65	-38

Overigens is het niet zo dat bij iedere inundatie van vallei NC02 ook alle andere valleien inunderen. Ieder stormtij is uniek en er zit altijd enige 'rek' in de bij de getijstations gemeten waterstand en de uiteindelijke hoogte in het onderzoeksgebied. Ook is er enige vertraging in de waterverplaatsing van oost naar west omdat het water zich een weg moet zoeken door de laagste doorgangen tussen de duinen en er is ook weerstand van de vegetatie op het stromende water. Ook de wind is vaak tegengesteld aan de stroomrichting en dit kan vertragen en lokale verschillen in waterhoogte veroorzaken. Op dit ingewikkelde spel van krachten wordt hier niet verder ingegaan.

#### 4.6. Overstromingsfrequentie.

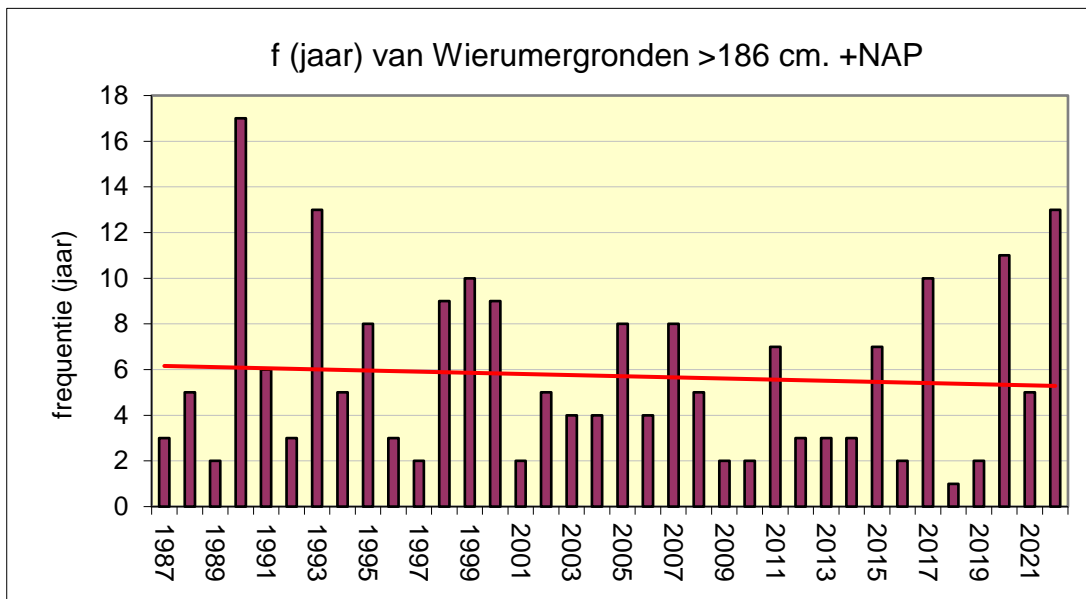
Schouten (1999) geeft in haar rapportage een model waarin de kans op overstroming wordt gegeven. Hierbij werd een scenario gebruikt dat uitgaat van 25 cm zeespiegelstijging per eeuw en een maximale bodemdaling van 28 cm in 2007 (zie Schouten 1999, tabel 4A). Daarbij zou de frequentie van inundatie verhogen van 4 naar 20 maal per jaar. Deze voorspelde kans op overstroming wordt in deze rapportage getoetst aan de werkelijkheid gedurende de periode 2001-2022. De 28 cm diepe daling is in 2004 reeds bereikt en in 2022 is een diepe daling van 42 cm bereikt (figuur 10). Uit de resultaten van deze monitoring blijkt dat de voorspelde sterke toename in overstromingen tot nu toe niet gerealiseerd wordt. Door gebruik te maken van de in 2004 vastgestelde drempelhoogte voor vallei NC02 die bij een waterhoogte van +NAP 186 cm bij getijdestation Wierumergronden overstroomt, is in de periode 1987-2001 de overstromingsfrequentie berekend en na 2001 is de frequentie in het veld vastgesteld. Dan blijkt dat over de periode 1987-2022 de jaarlijkse overstromingsfrequentie is toegenomen van 2 naar 8 maal per winter (figuur 15).





Figuur 15. Overstromingsfrequentie van vallei NC02. Vanaf 1987 door berekening, vanaf 2001 door waarneming.

Op zich laat de frequentie van waterstanden boven +186 cm NAP Wierumergronden in de loop van de gaswinningsperiode een dalende trend zien (figuur 16). Het feit dat de jaarlijkse frequentie van inundatie in vallei NC02 in dezelfde periode toch stijgt is een bodemdalingseffect. Opvallend is het grote aantal overstromingen in 1990 en 1993 terwijl dan ook erg hoge waterstanden bereikt worden. Ook de opeenvolgende jaren 1998, 1999 en 2000 zijn bovengemiddeld stormachtig. Bijzonder is de situatie in de winter 1989-1990. Hier is de eerste overstroming pas op 18 januari en volgen tot 9 maart nog 11 overstromingen. Erg extreem was de situatie van 26 t/m 28 februari 1990 met 5 stormtijden waarvan de waterstand van 298 cm +NAP Wierumergronden op 26 februari 1990 de hoogste was in de reeks van de afgelopen 25 jaar. De winter 1992-1993 was ook opvallend extreem met 13 overstromingen. Opvallend was de clustering van 3 overstromingen van 11 t/m 13 januari, 4 overstromingen van 22 t/m 25 januari en 4 overstromingen van 19 t/m 21 februari. Ook bovengemiddeld stormrijk zijn de jaren 2005 en 2007. In 2005 is daarbij geen sprake van erg hoge waterstanden. Op 1 november 2006 is er een erg hoge stand van +272 cm Wierumergronden in een verder rustig jaar. Het stormrijke jaar 2007 is bovendien extreem in waterstanden met 3 maal een stand >250 cm Wierumergronden. Daarna is de sinterklaasstorm van 2013 opvallend met twee hoge tijden achter elkaar waarbij de hoogste +292 cm bij Wierumergronden bereikt. In 2017, 2020 en 2021 komen bovengemiddeld veel hoge waterstanden voor wat zich ook uit in bovengemiddeld veel inundaties met zeewater in vallei NC02 (figuur 15).



Figuur 16. Frequentie van waterstanden >186 cm +NAP bij getijde station Wierumergronden in periode 1987- 2022.

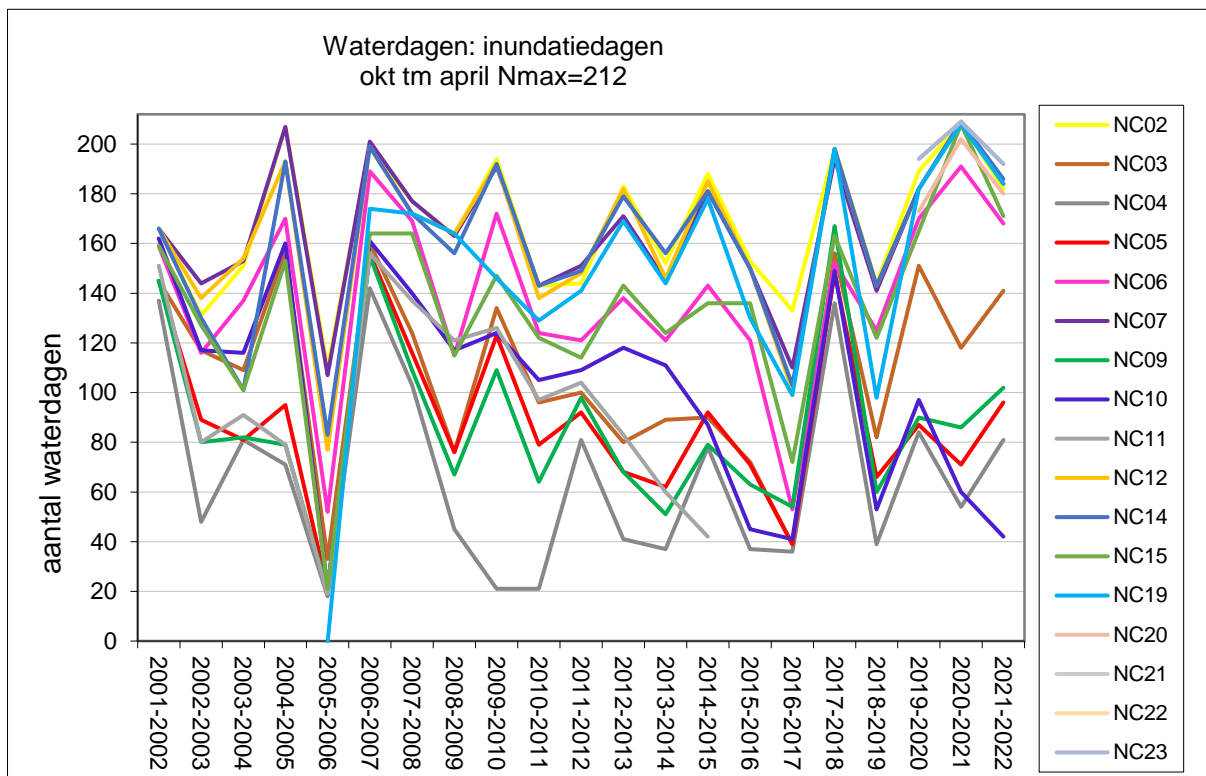
#### 4.7. Tijdsduur van inundatie in valleien.

Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek was niet alleen de monitoring van de overstroming van de valleien met zeewater maar ook de monitoring van het verloop van de waterstand in de valleien in de periode na de overstroming. Al snel na de start in oktober 2001 bleek dat de meeste valleien lang geïnundeerd blijven en dat het maaiveld vaak weken na een storm nog niet droogvalt. Dit heeft alles te maken met een hoge grondwaterstand na een stormtij waardoor infiltratie nauwelijks mogelijk is en daarbij speelt neerslag een grote rol bij de duur van de inundatie. In de praktijk staat in een neerslagrijke herfst een deel van de valleien soms al in september onder water door een hoge grondwaterstand. Diepe daling door gaswinning en zeespiegelstijging zijn de autonome processen die in dit onderzoek bijdragen aan de relatieve grondwaterstijging ten opzichte van het maaiveld. Overigens vormt de aanleg/aanwezigheid van de winningslocatie AME1 in het gebied al een oorzaak voor een gewijzigd hydrologisch systeem sinds 1986. De grondwaterstand is de afgelopen decennia mogelijk ook verhoogd door de aanleg en ontwikkeling van de zeeoep en de kustontwikkeling waarbij ook ophoging van het strand plaatsvindt (De Jong et al. 2011). In de periode maart tot mei valt de bodem weer droog. In extreem natte winters is het waarschijnlijk mogelijk dat sommige valleien pas in mei weer droogvallen.

Tabel 7. Aantal dagen dat water boven maaiveld staat bij de meetpalen in de periode 1 okt–30 apr (N max = 212 dagen). NC11 is in najaar 2015 verdwenen door graafwerkzaamheden.

	NC02	NC03	NC04	NC05	NC06	NC07	NC09	NC10	NC11	NC12	NC14	NC15	NC19	NC20	NC21	NC22	NC23
2001-2002	166	145	137	145	159	166	145	162	151	166	166	159					
2002-2003	131	117	48	89	116	144	80	117	80	138	130	127					
2003-2004	151	109	81	81	137	153	82	116	91	154	101	101					
2004-2005	207	157	71	95	170	207	79	160	79	193	193	153					
2005-2006	110	33	18	21	52	107	20	21	19	77	83	21	0				
2006-2007	199	160	142	156	189	201	155	161	156	199	199	164	174				
2007-2008	177	124	103	116	169	177	109	140	137	172	172	164	172				
2008-2009	163	76	45	76	115	163	67	117	121	164	156	115	164				
2009-2010	194	134	21	123	172	191	109	124	126	192	192	147	146				
2010-2011	143	96	21	79	124	143	64	105	97	138	143	122	129				
2011-2012	144	100	81	92	121	151	98	109	104	148	149	114	141				
2012-2013	183	80	41	68	138	171	68	118	83	182	179	143	169				
2013-2014	152	89	37	62	121	145	51	111	60	146	156	124	144				
2014-2015	188	90	78	92	143	181	79	87	42	185	181	136	178				
2015-2016	153	72	37	71	121	150	63	45		150	150	136	130				
2016-2017	133	39	36	39	53	110	54	41		101	103	72	99				
2017-2018	198	156	136	148	152	194	167	149		198	198	163	198				
2018-2019	144	82	39	66	125	141	60	53		143	143	122	98				
2019-2020	189	151	84	87	170	182	90	97		182	182	165	182	173	194	194	194
2020-2021	209	118	54	71	191	209	86	60		209	209	208	208	202	209	209	209
2021-2022	182	141	81	96	168	184	102	42		184	186	171	184	180	192	192	192
Max	209	160	142	156	191	209	167	162	156	209	209	208	208	202	209	209	209
Min	110	33	18	21	52	107	20	21	19	77	83	21	0	173	192	192	192
gemiddeld	167	108	66	89	138	165	87	102	96	163	161	135	148	185	198	198	198
SD	28	38	39	35	38	29	36	42	40	33	35	39	50	21	11	11	11

De winters 2004-2005 en 2006-2007 en 2020-2021 kunnen als de natste worden gekwalificeerd. De droogste winter is 2005-2006 . Daarmee is de periode herfst 2004 t/m voorjaar 2007 wat de inundatieduur betreft de meest extreme periode. Al met al is duidelijk dat de valleien in het gebied tussen de AME1 locatie en het fietspad thv paal 21,6 in de periode 1 oktober-30 april (7 maanden) tussen 2 en 6 maanden geïnundeerd zijn met brak water. In figuur 18 staat een grafische uitwerking van het aantal dagen dat het maaiveld in de onderzochte valleien geïnundeerd is.

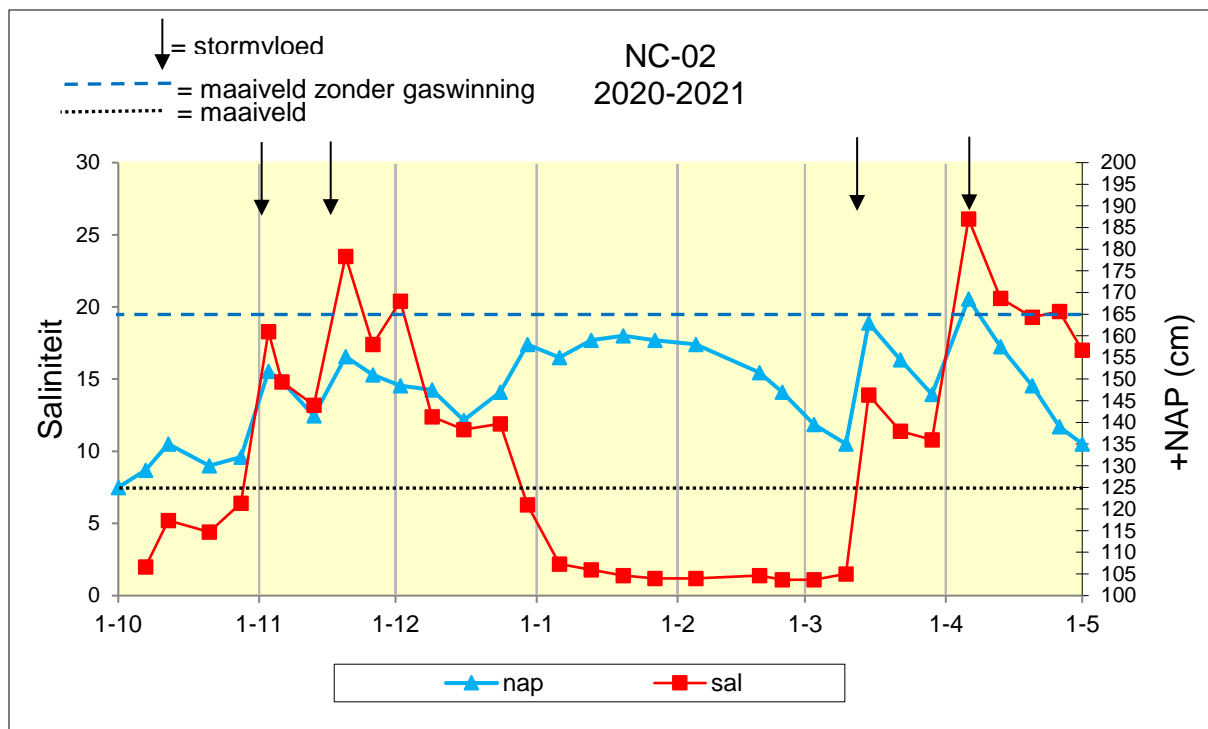


Figuur 18. Grafische weergave van het aantal dagen dat er water boven maaiveld staat in 21 opeenvolgende winters.



#### 4.8. Zoutgehalte van inundatiewater.

Gedurende de onderzoeksperiode is het zoutgehalte van het oppervlaktewater wekelijks gemeten. Uiteraard is dit gehalte het hoogst tijdens een overstroming met zeewater. Zeewater rond Ameland heeft een promillage van ongeveer 30. De maximale saliniteit in de valleien wordt bereikt als er een inundatie met zeewater is op een moment dat er geen water boven maaiveld staat. In dat geval wordt er niet gemengd met zoet of al aanwezig brak water en het zeewater kan zonder tegendruk doorstromen naar het westen en dan de bereikte valleien vullen met vrijwel puur zeewater. In dat geval wordt een saliniteit gemeten van 28-30 promille in alle valleien zoals bijvoorbeeld op 28 nov 2011. Voor alle valleien geldt dat na overstroming met zeewater vervolgens een ‘wisselwerking’ ontstaat tussen verdamping, infiltratie en neerslag die de saliniteit geleidelijk weer doet dalen. Tot eventueel weer een overstroming met zeewater volgt of tot de waterstand in het voorjaar onder maaiveld zakt. Een voorbeeld van het verloop van de saliniteit gedurende een winterperiode in een vallei staat in figuur 20. In deze figuur is ook een horizontale lijn getekend 40 cm boven de gestippelde zwarte lijn die het maaiveld weergeeft. De bovenste horizontale lijn is een schatting van de maaiveldhoogte zonder gaswinning. Hoe reël dit is blijft moeilijk te zeggen na een theoretische ontwikkeling van 36 jaar (1986-2022) zonder gaswinning en zonder aanwezigheid van de AME-1 locatie in combinatie met bijvoorbeeld instuiving van zand (zie paragraaf 4.3) maar de grondwaterspiegel heeft zeker veel lager gelegen ten opzichte van het maaiveld en de inundatie van het maaiveld heeft waarschijnlijk ook veel korter geduurd zonder gaswinning.



Figuur 20. Verloop van meetwaarden in vallei NC02 in de winter 2020-2021. Er zijn in die periode 4 inundaties met zeewater. Het maaiveld ligt op 125 cm +NAP en met de bovenste stippellijn is het maaiveld gesimuleerd zonder gaswinning.

#### 4.9. Duindoornsterfte en duindoorngroei.

Op zoek naar een verklaring van de in 1994 geconstateerde duindoornsterfte als gevolg van een gebeurtenis in de periode 1989-1992 (Slim, 1997) in een aantal valleien is in eerdere rapportages geconstateerd dat verzilting en overstroming met zeewater geen duidelijke verklaring bieden.

Ook tijdens deze onderzoeksperiode is geconstateerd dat duindoorns rond de valleien regelmatig 'kopje onder' gaan in zeewater en desondanks tot nu geen sterfte laten zien (figuur 21). Ook de overstroming met zeewater vroeg in de herfst of laat in het voorjaar geeft geen duidelijke verklaring (bijlage A) voor de sterfte in de periode 1989-1992. Dergelijke vroege en late overstromingen hebben tijdens dit onderzoek althans niet tot sterfte geleid en er is dus geen reden om aan te nemen dat hier de verklaring van de sterfte ligt. Ook de late voorjaarsoverstroming van 1 april 1994 kwam te laat om de sterfte te verklaren, toen waren de struiken al dood. Van een sterke verzilting van het grondwater in de periode 1991-2004 is ook geen sprake (De Vlas, 2005).



*Figuur 21. Opdrijfsel in de kruin van vitaal duindoornstruweel langs rand van vallei bij meetpunt NC06. Foto: Johan Krol, 11-2- 2004.*

De sterfte vond vooral plaats op de bodem van de valleien en uit hoogteligging van deze bodems blijkt ze allemaal binnen een smalle range van +NAP 135 cm tot +NAP 157 cm liggen (meting 2001). Hoewel er momenteel sprake is van enige compensatie van de bodemdaling door natuurlijke processen in de noordelijke valleien door input van stuifzand (dit hoofdstuk) moet al vrij snel na de aanleg van de AME1 locatie en het begin van de diepe daling toch rekening worden gehouden met vernatting door relatief stijgend grondwater of door de aanleg van de AME-1 locatie en het omringende aangelegde duin.

Als voorbeeld van een reconstructie tot het meer oorspronkelijke maaiveld van voor de gaswinning is hier gekozen voor vallei NC15. In deze vallei is duidelijk duindoornsterfte



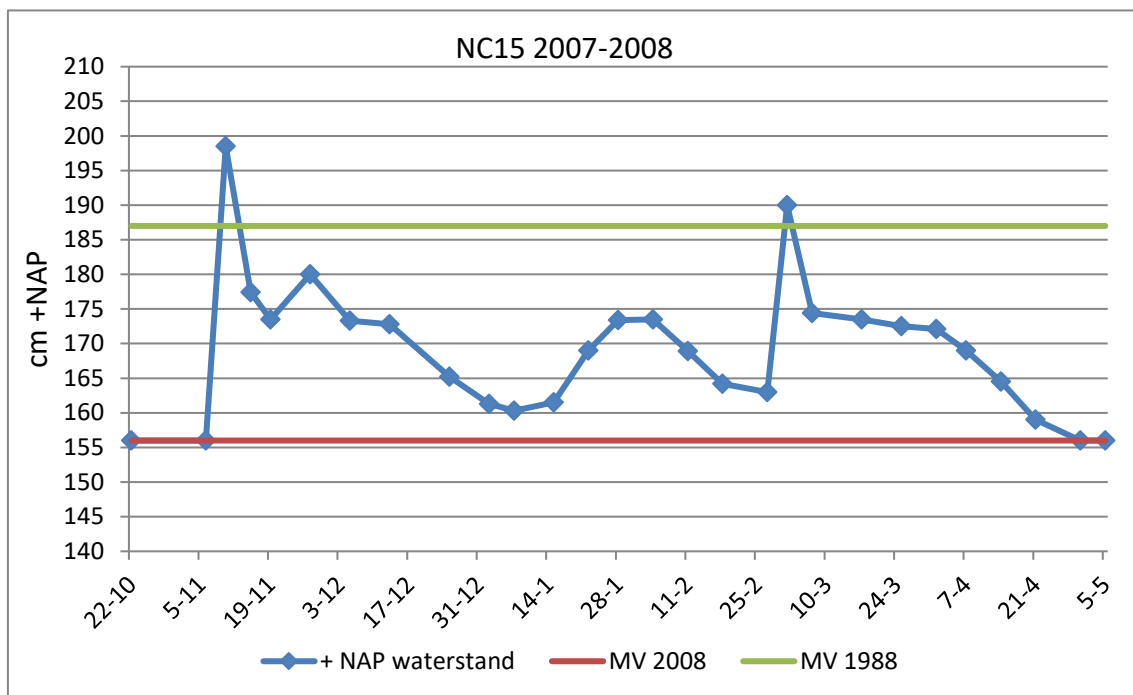
opgetreden. In figuur 23 is de waterstandmeting van 2007-2008 weergegeven bij een gemeten maaiveldhoogte van 157 cm +NAP. In combinatie met neerslag resulteert dit in inundatie van de vallei in de periode 9 november december tot 24 april. Een periode van ruim 4,5 maand aaneengesloten met veelal 10-15 cm water boven maaiveld.



*Figuur 22. In de periode 1989-1992 gestorven duindoorns in geïnundeerde vallei bij meetpunt NC15. Foto: Johan Krol, 21-01-2004.*

Indien uitsluitend met de factor bodemdaling rekening gehouden zou worden dan zou het maaiveld in vallei NC15 in 1988 31 cm hoger hebben gelegen ten opzichte van 2008. De groene lijn op een maaiveldhoogte van 187 cm +NAP in figuur 23 geeft deze situatie aan. Bij een dergelijke maaiveldhoogte zou overstroming waarschijnlijk slechts tweemaal hebben plaatsgevonden en zou de inundatie korter dan 1 week hebben geduurd. De valleien met duindoornsterfte betroffen NC03, NC04, NC05, NC09, NC11, NC12, NC14 en NC15. De duur van inundatie is in al deze valleien fors toegenomen en dit lijkt de sterfteoorzaak van destijds te zijn geweest. Een verdere ondersteuning hiervoor valt in het





Figuur 23. Simulatie van het maaiveld (MV) 1988 (groene lijn) als situatie zonder gaswinning in grafiek van waterstanden bij meetpunt NC15 in winter 2007-2008.

veld te zien. Naast de dode duindoorns in de diepste delen van de valleien valt op dat juist op de rand van de valleien een sterke vestiging en groei van nieuwe duindoorns heeft plaatsgevonden. Opvallend is dat dit gebeurd is en nog gebeurt op een niveau dat slechts zo'n 10–30 cm boven het langdurige inundatieniveau ligt. Deze afstand betreft dan het niveau waar de stam het maaiveld raakt, zodat de wortelzone ongeveer 10–30 cm redelijk droge bodem heeft en dieper in langdurige onderdompeling terecht zal komen. Deze ondiep wortelende duindoorns hebben tijdens het begin van de bodemdaling waarschijnlijk ook op de valleibodems gestaan en deze zijn vervolgens geconfronteerd met een toenemende inundatieduur waardoor ze zijn gestorven. Op figuur 26 is zichtbaar dat de dode duindoorns uit 1989-1992 op een plaats staan die tenminste sinds de winter 2001-2002 meerdere maanden is geïnundeerd (vallei NC15). De duindoorns zouden zich nooit gevestigd hebben onder dergelijke omstandigheden en waren dus reeds aanwezig voor deze langdurige inundaties door bodemdaling begonnen. Waarschijnlijk is de wortelzone van deze struiken 1 of 2 jaar voorafgaand aan de in 1994 geconstateerde sterfte door het water verstikt. Op dat moment bedroeg de bodemdaling op deze plaats 11 cm.



*Figuur 24. Nieuwe vitale vestiging van duindoorn aan bovenrand van vallei NC06. Foto: Johan Krol, 11-2-2004.*

#### 4.10. Vegetatieverandering in vallei NC02.

Duidelijk is te zien hoe de vegetatie op sommige plaatsen aan het veranderen is. Op zich is die verandering zeer waarschijnlijk toe te schrijven aan de geleidelijke vernatting en verzilting door bodemdaling in de valleien. En op sommige plekken langs de zeereep door instuiving van strandzand (de Jong et. al. 2011). Maar een extreme gebeurtenis zoals in het voorjaar van 2007 zorgt dan voor een plotselinge omslag. Deze bestond uit een forse inundatie met zeewater op 18 maart 2007 met een zeer hoge waterstand van +NAP 271 cm bij het getijstation Wierumergronden (bijlage A). Hierbij werden alle valleien met zeewater geïnundeerd. Daarna volgde een extreem lange periode zonder neerslag waardoor met name de valleien NC02 en NC06 droog vielen met een zoutkorst veroorzaakt door de hoge saliniteit. Na de inundatie op 18 maart duurde het tot 7 mei voor er weer neerslag viel. In de periode van ruim een maand tussen 18 maart 2007 toen het stormtij binnenliep en het droogvallen op 24 april 2007 werd bij NC02 steeds een saliniteit boven 25 ‰ gemeten. In vallei NC02 en NC06 leidde dit tot vrijwel totale sterfte van de vegetatie die voor een groot deel uit Fioringras bestond waarna later dat jaar een veel ziltere kweldervegetatie terugkwam. Sindsdien hebben de zilte soorten ook definitief voet aan de grond gekregen en zich verder uitgebreid. In de laagste delen groeit nu permanent Heen (*Scirpus maritimus*) en Zeekraal (*Salicornia europaea*). Verder is er een zonering te zien van Zilte rus (*Juncus gerardii*), Zilverschoon (*Potentilla anserina*) en Rode ogentroost (*Odontites vernus*) in de richting van de hogere duinen rondom de vallei. Kortom, een klassiek beeld van een overgang van een kwelder naar een duinvoet.



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



Figuur 26. Panoramabeeld van vallei NC02 op 25 september 2008. Er heeft zich een kweldervegetatie gevestigd met Zeeaster (*Aster tripolium*) in het midden (laagste) en rondom een zonering van Schorrekruid (*Suaeda maritima*) en Zilverschoon (*Potentilla anserina*).



Figuur 27. Panoramabeeld van vallei NC02 op 20 juli 2010. In het midden van de vallei (laagste) groeit Heen en Fioringras. Daaromheen een zonering van Zilte rus en op de overgang naar de duinen groeit een gordel van Zilverschoon.

## 5. Conclusies.

- De voorspelde sterke stijging van het aantal overstromingen met zeewater door bodemdaling is niet opgetreden. De trend is wel stijgend waarbij het jaarlijkse aantal inundaties met zeewater ruwweg toeneemt van 2 in 1987 naar 8 in 2022.
- In de valleien die het dichtst langs de zeereep liggen vindt compensatie van de bodemdaling plaats door instuiven van strandzand op het maaiveld. Deze compensatie bedraagt gemiddeld 3,7 mm/j in de periode 2001-2022.
- De tijdsduur van inundatie van de onderzochte valleien is sinds het begin van de gaswinning fors toegenomen. In het merendeel van de valleien staat in 1986 een enkele week een weinig water boven het maaiveld na een stormtij. In deze onderzoeksperiode 2001-2022 is dit vrijwel iedere winter gedurende meerdere maanden het geval met veelal decimeters water boven maaiveld.
- Kortdurende overspoeling van duindoorns met zeewater leidt niet tot aantasting van de struiken.
- De sterfte begin negentiger jaren van duindoorns in valleien is zeer waarschijnlijk veroorzaakt door langere inundatie van de wortelzone op het moment dat de bodemdaling ongeveer 11 cm bedroeg.
- Er heeft sinds de sterfte van de duindoorns op de valleibodems een sterke nieuwe vestiging van Duindoorn plaatsgevonden op de rand van meerdere valleien. Deze vestiging en uitgroei van duindoornstruweel op de bovenranden van meerdere valleien is nog steeds gaande.
- In vallei NC02 heeft in 2007 een spectaculaire vegetatieverandering plaatsgevonden. Na een erg hoog stormtij op 18 maart viel de vallei op 24 april droog zonder dat het in die periode had geregend waardoor het zoute water ( saliniteit 25 ‰) voor een totale sterfte van de door Fioringras gedomineerde vegetatie zorgde. Later dat jaar kiemden diverse soorten kwelderplanten en sindsdien is er sprake van een kweldervegetatie.



## 6. Literatuur.

Dobben, H.F. van, & P.A. Slim. 2011. Past and future plant diversity of a coastal wetland driven by soil subsidence and climate change. *Climatic Change*, 2011. Springerlink.com

Eysink, W.D., N. Dankers, K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, C.J. Smit & J. de Vlas. 2000. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 13 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2000.

Jong, B. de, P.A. Slim, M. Riksen & J. Krol, 2011. Ontwikkeling van de zeereep onder dynamisch kustbeheer op Oost-Ameland; onderzoek naar de bijdrage van duinbeheer op de kustveiligheid. Alterra rapport 2152, Wageningen.

Meijden, R. van der, 2000. Bedreigde en kwetsbare vaatplanten in Nederland. *Gorteria* 26-4. Nationaal Herbarium Nederland, Leiden.

Schouten, D, 1999. Overstromingsrisico duinvalleien Ameland-Oost. NAM, Assen.

Slim, P.A., 1997. Vooronderzoek duindoornsterfte duingebied Oost-Ameland, Rapport 307, IBN, Wageningen.

Vlas, J. de, 2005. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 18 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2005.

Vlas, J. de, 2011. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2011.

Vlas, J. de, 2017. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 30 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2017.

Wiertz, J. 1992. De grondwaterkwaliteit in enkele duinvalleien op Oost-Ameland in 1990-1991. IBN-DLO, Wageningen.

Weeda, E.J., Westra, R., Westra, C. & T. Westra, 1987. Nederlandse oecologische flora; wilde planten en hun relaties. Deel 2. IVN, Amsterdam.

Adres auteur:  
Natuurcentrum Ameland  
Johan Krol  
Postbus 60  
9163ZM Nes Ameland  
Tel. 0519-542737  
Mail. [johankrol@amelandermusea.nl](mailto:johankrol@amelandermusea.nl)

## Bijlage A. Hoogwaterstanden van meetstation Nes en Wierumergronden.

Hoogwaterstanden van de meetpalen Nes en Wierumergronden waarbij instroom in vallei NC02 optrad. Waar mogelijk is de hoogste waterstand in vallei NC02 vastgesteld en is de afwijking ten opzichte van beide meetstations in de periode 2001-2022 berekend.

aantal	Datum	NES		WIERUMER GRONDEN		Hoogste stand Vallei NC-02	Nes	WG
		HW Nes	Tijd Nes	HW WG	Tijd WG	cm +NAP	cm	cm
1	31-10-2001	238	20,50	205	21,30	200	-38	-5
2	28-12-2001	260	19,10	188	19,10	195	-65	7
3	29-1-2002	240	9,30	207	09,40	200	-40	-7
4	23-2-2002	253	4,50	217	04,40	220	-33	3
5	28-10-2002	263	1,10	205	00,40	220	-43	15
6	7-10-2003	220	7,50	191	08,40			
7	9-10-2003	224	9,30	187	09,30	171	-53	-16
8	15-12-2003	242	0,30	243	0,20	205	-37	-38
9	21-12-2003	270	18,40	229	19,20	243	-27	14
10	14-1-2003	225	1,00	194	01,10	193	-32	-1
11	8-2-2004	262	22,50	209	23,10	225	-37	16
12	21-9-2004	228	14,30	192	14,30	180	-48	-12
13	13-11-2004	228	09,30	191	9,30	174	-54	-17
14	18-12-2004	240	2,20	221	1,30	183	-57	-38
15	2-1-2005	223	13,00	178	14,00	185	-38	7
16	3-1-2005	224	1,00	184	1,10	188	-36	4
17	8-1-2005	229	18,00	193	18,50	191	-38	-2
18	12-1-2005	234	23,30	209	23,20	201	-33	-8
19	20-1-2005	227	17,20	202	17,30	190	-37	-12
20	13-2-2005	238	0,00	202	0,00	188	-50	-14
21	11-3-2005	228	22,40	197	22,20	185	-43	-12
22	16-12-2005	252	22,00	222	22,20	228	-24	6
23	8-2-2006	216	17,40	187	17,20	171	-45	-16
24	7-10-2006	235	10,50	200	10,10	177	-58	-23
25	1-11-2006	331	4,30	272	4,40	291	-40	19
26	12-11-2006	231	2,20	210	1,40	199	-32	-11
27	1-1-2007	235	19,00	200	19,10	201	-34	1
28	4-1-2007	237	22,10	204	22,00	204	-33	0
29	12-1-2007	307	1,50	253	1,40	280	-27	27
30	18-1-2007	291	21,30	232	20,30	240	-51	8
31	20-1-2007	226	23,00	188	22,20	180	-46	-8
32	18-3-2007	321	20,50	271	20,30	282	-39	11
33	6-11-2007	219	7,20	194	7,20			
34	9-11-2007	349	8,00	281	8,40	340	-9	59
35	25-11-2007	243	9,40	217	9,10	219	-24	2
36	25-11-2007	245	21,30	198	21,00	219	-26	21
37	24-1-2008	218	23,10	185	22,50			
38	1-2-2008	220	4,30	185	4,00	177	-43	-8
39	27-2-2008	208	12,40	173	12,40			
40	1-3-2008	305	13,10	234	13,00	273	-32	39
41	22-11-2008	226	4,10	178	4,30	184	-42	6
42	4-10-2009	256	9,00	217	9,20	200	-56	-17

		NES		WIERUMER GRONDEN		Hoogste stand Vallei NC-02	Nes	WG
43	24-11-2009	202	1,30	185	21,40			
44	28-2-2010	213	22,10	188	21,40			
45	24-10-2010	215	9,30	179	9:36	170	-45	-9
46	12-11-2010	256	13,20	217	13,10	228	-28	11
47	4-2-2011	244	22,30	218	22,40	217	-27	-1
48	25-11-2011	245	21.30	223	21.10			
49	27-11-2011	273	22.40	234	22.40	253	-20	19
50	4-12-2011	225	3.50	209	3.50			
51	9-12-2011	232	9.30	191	8.50			
52	9-12-2011	256	20.00	221	20.30			
53	29-12-2011	233	12.10	200	12.10			
54	5-1-2012	255	18.20	219	18.20			
55	12-1-2012	231	23.50	201	23.40			
56	21-1-2012	214	30.30	190	20.00			
57	30-1-2013	248	23:30	220	23:40	207	-41	-13
58	3-11-2013	209	21.40	182	21:00			
59	6-12-2013	334	00.10	292	01.00	300	-34	8
60	6-12-2013	328	10.30	277	10.30			
61	22-10-2014	315	07:30	275	07:10			
62	11-12-2014	217	00:20	195	00:00			
63	20-12-2014	214	08:00	186	08:00			
64	2-1-2015	230	20:00	200	19:00			
65	10-1-2015	220	00:50	192	00:30			
66	11-1-2015	307	00:30	269	00:00	278	-29	9
67	29-1-2015	236	03:50	200	04:00			
68	31-3-2015	232	20:00	190	19:40			
69	13-11-2015	263	22:50	240	22:50	238	-25	-2
70	30-11-2015	247	00:40	210	00:20	216	-31	6
71	31-1-2016	226	01:30	187	01:20			
72	26-12-2016	253	08:00	222	19:40	240	-13	18
73	27-12-2016	227	07:30	180	08:00			
74	4-1-2017	232	13:40	196	00:50			
75	11-1-2017	265	20:50	217	20:00			
76	12-1-2017	282	08:50	225	08:30			
77	13-1-2017	293	22:10	231	22:20	270	-23	39
78	5-10-2017	229	10:30	188	09:00			
79	29-10-2017	231	03:10	190	02:30			
80	8-12-2017	217	01:10	198	00:40			
81	8-12-2017	229	12:00	198	12:40			
82	9-12-2017	236	01:30	193	01:20			
83	3-1-2018	247	22:00	220	22:00			
84	1-2-2018	196	22:30	177	22:20			
85	8-12-2018	213	10:40	178	10:00			
86	9-12-2018	223	23:00	183	22:30			
87	8-1-2019	292	10:10	232	10:20	270	-22	38
88	4-3-2019	198	20:10	174	20:00			
89	9-3-2019	209	23:59	194	23:50			
90	9-12-2019	209	19:50	183	19:30			
91	15-1-2020	228	00:50	216	00:20			

		NES		WIERUMER GRONDEN		Hoogste stand Vallei NC-02	Nes	WG
92	18-1-2020	208	03:00	194	02:30			
93	10-2-2020	275	10:40	238	10:10			
94	10-2-2020	231	23:00	218	22:10			
95	11-2-2020	249	11:40	215	11:00			
96	11-2-2020	286	23:40	244	23:10			
97	12-2-2020	222	11:50	190	11:40			
98	17-2-2020	207	04:10	194	03:40			
99	22-2-2020	209	21:50	197	21:20			
100	23-2-2020	212	22:10	189	21:50			
101	12-3-2020	227	11:50	195	11:10			
102	2-11-2020	208	23:00	191	22:30			
103	20-11-2020	201	00:30	173	00:30			
104	13-3-2021	219	22:00	187	21:50			
105	5-4-2021	228	15:10	189	14:50			
106	21-10-2021	226	10:50	208	10:00			
107	21-10-2021	222	20:00	181	21:40			
108	22-10-2021	226	10:30	178	10:50	185	-41	7
109	7-11-2021	233	11:20	212	10:40	196	-37	-16
110	7-11-2021	217	23:00	194	23:00			
111	1-12-2021	216	19:20	169	18:40	172	-44	3
112	4-1-2022	224	22:50	199	22:50	198	-26	-1
113	5-1-2022	216	11:10	184	11:30			
114	5-1-2022	223	23:20	192	23:20			
115	29-1-2022	238	18:40	217	18:10			
116	30-1-2022	288	06:30	235	07:20	278	-10	43
117	31-1-2022	259	20:20	217	20:10			
118	1-2-2022	228	22:00	205	21:30			
119	5-2-2022	230	00:30	201	00:20			
120	7-2-2022	248	01:20	211	01:10			
121	17-2-2022	240	09:10	190	09:40			
122	17-2-2022	210	21:50	193	22:30			
123	18-2-2022			247	23:20			
124	19-2-2022	304	00:20			264	-40	17
125	19-2-2022	208	11:10	179	11:20			
126	21-2-2022	255	12:10	226	12:00			
127	22-2-2022	227	00:20	200	00:40			