

Johan Krol

Natuurcentrum Ameland
Juni 2011

Voorwoord.

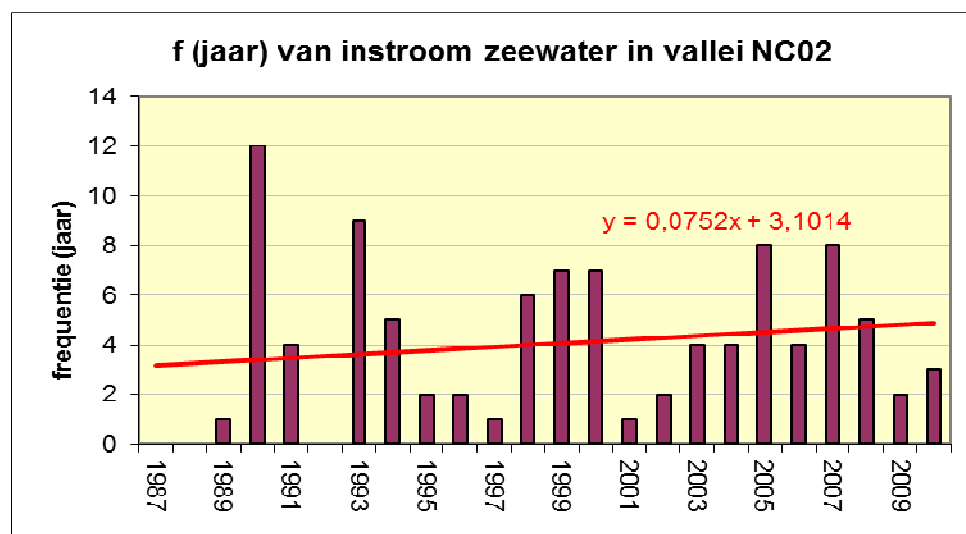
Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Het betreft de monitoring van de inundaties met zeewater tijdens winterstormen in de laagst gelegen valleien binnen het hart van de bodemdaling schotel op het Oerd. Frequentie van inundatie met zeewater, neerslag, waterstand boven maaiveld en enkele waterkwaliteitsparameters in de valleien zijn in dit programma opgenomen en in dit rapport uitgewerkt voor 10 opeenvolgende winters vanaf de herfst van 2001 tm het voorjaar van 2011. Aanleiding was de in 1994 geconstateerde sterfte van duindoorn (Slim 1997) in meerdere valleien (figuur 6.2) ten westen van de winninglocatie van de NAM en de later geconstateerde vernatting van de vegetatie in deze valleien. Het mogelijk verklaren van deze duindoornsterfte ten gevolge van verandering in overstromingsfrequentie met zeewater of andere veranderingen in de waterhuishouding in het gebied was een taak in dit onderzoek. Verder zijn de resultaten van dit onderzoek belangrijk voor de interpretatie van veranderingen in de vegetatie (dit rapport).

Samenvatting.

Deze rapportage betreft onderzoek aan de inundatie van meerdere duinvalleien in het gebied met de meeste bodemdaling tussen paal 21,6 (einde fietspad) en de NAM productielocatie. Tussen 1987 en 2011 is de diepe ondergrond van alle valleien 33 cm. gedaald. De valleien liggen in een vrij vlak gebied en de maaiveldhoogtes van de laagste delen variëren slechts tussen 1,35 en 1,57 m +NAP. (meting 2001). Tijdens deze onderzoeksperiode blijkt er in de valleien die het dichtst langs de zeereep liggen ophoging van de bodem plaats te vinden door instuiving van strandzand en in een deel van de verdere verwijderde valleien is enige ophoging door bodemvorming in de vegetatie.

De in eerdere rapportages voorspelde sterke stijging van de overstromingsfrequentie ten gevolge van bodemdaling is niet opgetreden. Zelfs indien volledig rekening wordt gehouden met de jaarlijkse verandering van drempelhoogtes door bodemdaling blijkt de trend in de overstromingsfrequentie per jaar van 3 naar 5 te verhogen bij een bodemdaling van 33 cm. Er was een stijging van 4 naar 20 jaarlijkse overstromingen voorspeld bij een bodemdaling van 27 cm (Schouten 1999).

Figuur 0.1 Overstromingsfrequentie van het onderzoeksgebied. Vanaf 1987 door berekening, vanaf 2001 door waarneming. Flooding frequency of the research area. From 1987 by calculation, after 2001 by inspection.



In dit onderzoek blijken de valleien iedere winter gedurende meerdere maanden geïnundeerd te zijn. Deze inundatieduur is sinds het optreden van bodemdaling sterk gestegen. Dit is een gecombineerd resultaat van instromend zeewater en neerslag. De grondwaterstanden in het gebied zijn relatief verhoogd door de bodemdaling waardoor, met name na een overstroming met zeewater, het lang duurt voor het maaiveld weer droogvalt. 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. Zonder dit extreem was de verandering wellicht geleidelijker of nog niet plaatsgevonden.

Hier foto dode duindoorn + nieuwe vestiging NC02 OZ

Figuur 0.2

Figuur 0.3

Inhoudsopgave.

Voorwoord

Samenvatting

1. Inleiding.

- 1.1 Aanleiding onderzoek
- 1.2 Doel, vraagstelling en aanpak

2. Gebiedsbeschrijving

- 2.1 Locatie
- 2.2 Ligging meetpunten
- 2.3 Meetmethode

3. Hoogteligging

- 3.1 Maaiveld en bodemdaling
- 3.2 Meetpalen en bodemdaling
- 3.3 Ophoging van de maaiveldhoogte door instuiving
- 3.4 Ophoging van de maaiveldhoogte door bodemvorming
- 3.5 Drempels

4. Waterstanden

- 4.1 Vergelijking waterstanden getijstation Nes en getijstation Wierumergronden met vallei NC02
- 4.2 Overstromingsfrequentie
- 4.3 Tijdsduur van inundatie in valleien

5. Waterkwaliteit boven maaiveld

- 5.1 Zoutgehalte
- 5.2 Andere parameters van het inundatiewater

6. Vegetatieverandering

- 6.1 Duindoornsterfte en duindoorngroei
- 6.2 Vegetatieverandering in vallei NC02

7. Conclusies

1. Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

In 1994 vond duindoornsterfte plaats binnen het bodemdalinggebied. 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 verzilting en/of vernatting door overspoeling met zeewater de oorzaak van de sterfte is geweest. In de 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 (Slim, 1997). Hierin is gekeken naar veroudering, bodemgesteldheid, plantparasitaire aaltjes, insecten aantasting en vraat van konijn en ree.

In het rapport van Schouten (1999) wordt een risicomodel gepresenteerd waarin wordt aangegeven welke gevolgen bodemdaling en zeespiegelstijging zullen hebben op de overstromingsfrequentie in het bodemdalinggebied en wat dit betekend voor de vegetatie. Voor de laagst gelegen valleien wordt 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 tien opeenvolgende winters (2001-2011) 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 vastleggen van inundaties met zeewater in de uitgekozen duinvalleien (figuur 2.2) waarbij in de praktijk gekeken wordt 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 gemeten data zoals peilbuismetingen die ook tot NAP hoogtes te herleiden zijn.

2. Gebiedsbeschrijving.

2.1 Locatie

Dit onderzoek richt zich op het gebied tussen de zeereep en de Oerderduinen, vanaf het einde van het fietspad (paal 21,600) tot de NAM locatie. Dit is het gebied waarin de duindoornsterfte hoofdzakelijk heeft plaats gevonden en waar ook de overstroming tijdens stormsituaties plaatsvindt. Het gehele gebied heeft een soort trechtervorm met de kleine opening in het westen (figuur 1). Vandaar neemt de breedte naar het oosten toe

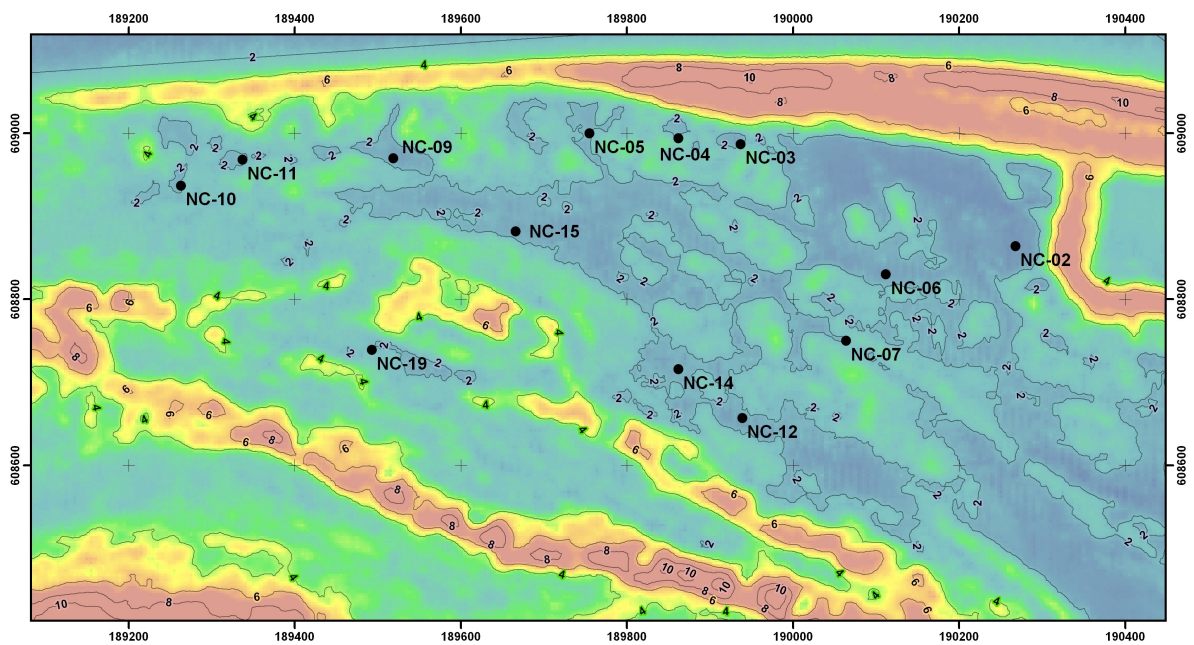
2.2 Ligging meetpunten

In het onderzoeksgebied zijn in 2001 16 meetpalen geplaatst. De palen dragen de code NC01 tm 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 pas sindsdien bemonsterd. Tussen NC10 en NC11 ligt het eind van het fietspad t.h.v. strandpaal 21,6 met een fietsenstalling.

Figuur 2.1 Vallei NC09 met de meetpaal (21-01-2004). Valley NC09 with measuring pole (21-01-2004)



Figuur 2.2 Ligging van de meetpunten in de valleien. Situation of the measuring poles in the valley's.



2.3 Meetmethode.

De meetpalen bestaan uit duurzame houten palen met een vlakke kop (foto 1). De kophoogte is gedurende deze meetperiode driemaal (2001, 2004, 2007) ingemeten door de meetdienst van de NAM. Hierbij is gebruik gemaakt van een RTK ontvanger van Thales Navigation, de DSNP Scorpio 6502 SK/MK. Als referentiesignaal is een bakken van Rijkswaterstaat op Schiermonnikoog gebruikt. De meetfout in deze methode bedraagt ± 25 mm.

De waterhoogte boven maaiveld is bepaald met een liniaal ten opzichte van de paalhoogte, de aflezing is op millimeter niveau gedaan waarbij de meetfout ± 2 mm is. Gelijkzeitig is de pH, temperatuur, saliniteit en elektrisch geleidend vermogen van het water bepaald met een WTW multiline P3 meter met SenTix 41 (pH en temperatuur) en Tetracon 325 (saliniteit en EGV) elektrode. De monitoringsmetingen zijn tenminste wekelijks uitgevoerd. De hoogste waterstand na een overstroming met zeewater is soms actueel bepaald tijdens het stormtij maar meestal binnen 1 dag na de hoogste waterstand afgelezen bij meetpunt NC01 aan een aanspoelselgordel, soms ook aan de hoogte waarop strooisel in de duindoornstruiken is blijven hangen. Hier geldt een meetfout van ± 4 cm. IJspriodes 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 dan voortgezet als het ijs gesmolten is. Tijdens de periode 2001-2011 is dit probleem met name in de laatste twee winters opgetreden.

Figuur 2.3 Aanspoelselgordel na een stormtij bij meetpunt NC01 (11-2- 2004). Floodline after stormwater inundation near pole NC01 (11-2-2004).

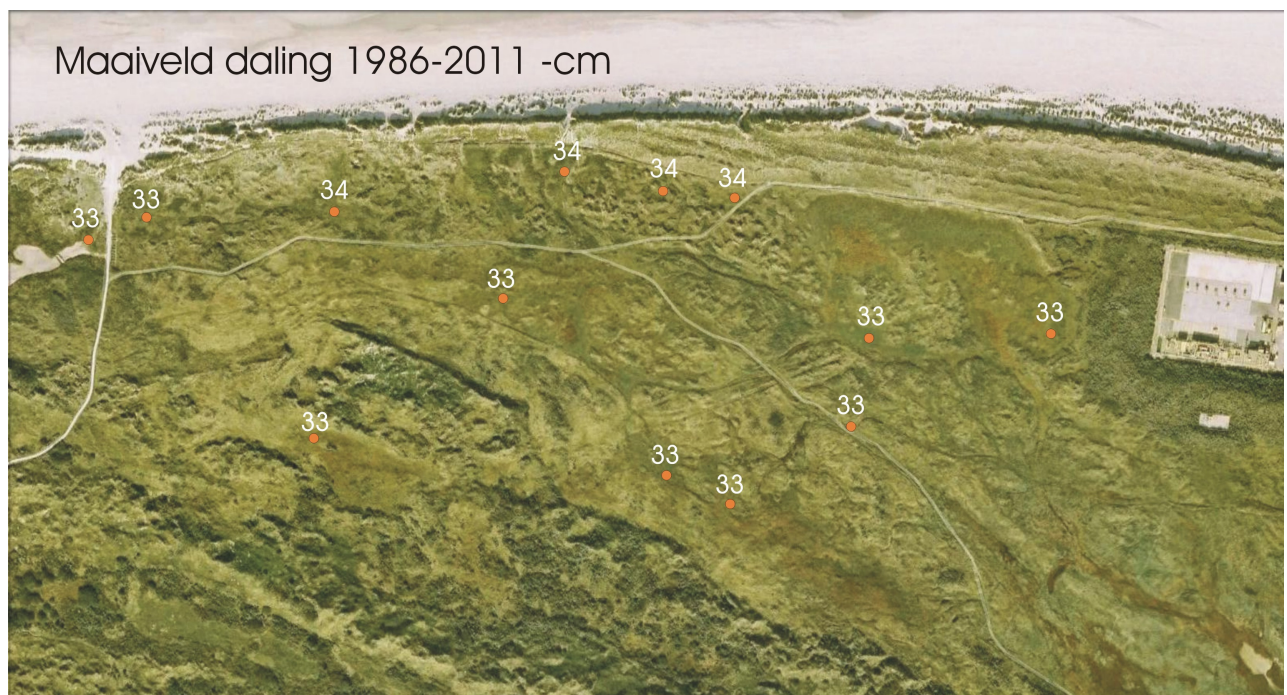


3. Hoogteligging

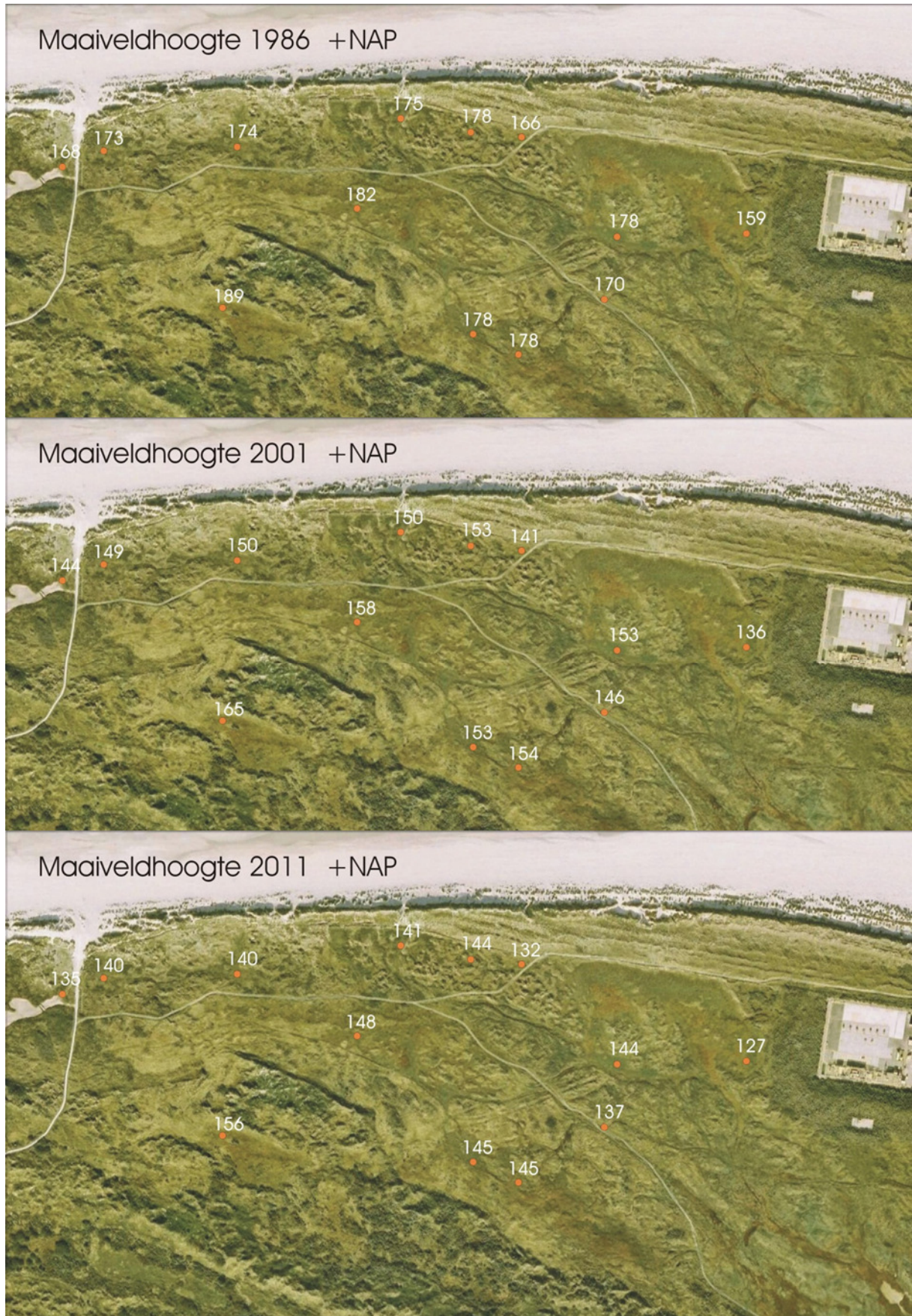
3.1 Maaiveld en bodemdaling.

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 naar het waterniveau tijdens droogvallen gemeten over een oppervlak van enkele vierkante meters en niet naar de bodem pal naast de meetpaal. Uitgaande van de meet data van de paalkoppen (tabel 3.1) kan ook de hoogteligging van het maaiveld van de valleien worden bepaald. Opvallend is dat de range van hoogteligging vrij vlak is met alle bodems tussen de 1,36 en 1,58 m. +NAP in augustus 2001. Vallei NC 19 die in 2004 aan het programma is toegevoegd ligt volgens berekening in 2001 iets hoger op 1,65 m +NAP. Waarschijnlijk vind 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. Uitgaande van de meet data van 2001, staan in figuur 3.2 de berekende maaiveldhoogtes voor de jaren 1986 en 2011 volgens de dalingscurve met gebruikmaking van het NAM-model Ameland_GRIDS_2010 (Ketelaar, dit rapport). Dit model loopt tot maart 2009 en de maaiveld waardes voor 2011 zijn verkregen door voor de laatste twee jaar een geschatte daling van 6 mm per jaar toe te voegen. Een verschilberekening (figuur 3.1) laat zien dat de maaiveld hoogtes in een periode van 25 jaar (1986-2011) 34 cm zijn gedaald in het hart van de dalingskom. Dit geldt voor de valleien 03, 04, 05 en 09. De overige valleien zijn in dezelfde periode 33 cm gedaald. In feite kan voor het hele onderzoeksgebied betrouwbaar gerekend worden met een daling van 33 cm in de periode 1986-2011. Voor de meetperiode van dit onderzoek (2001-2011) kan betrouwbaar gerekend worden met een daling van 9 cm voor het hele onderzoeksgebied.

Figuur 3.1 Berekende daling van het maaiveld in de valleien in de periode 1986-2011.
Calculated lowering of the ground level in the valley's over the period 1986-2011.



Figuur 3.2 Maaiveldhoogtes van de valleibodems berekend voor de jaren 1986, 2001 en 2011.
Ground level of the valley's calculated for the years 1986, 2001 and 2011.



3.2. Meetpalen en bodemdaling.

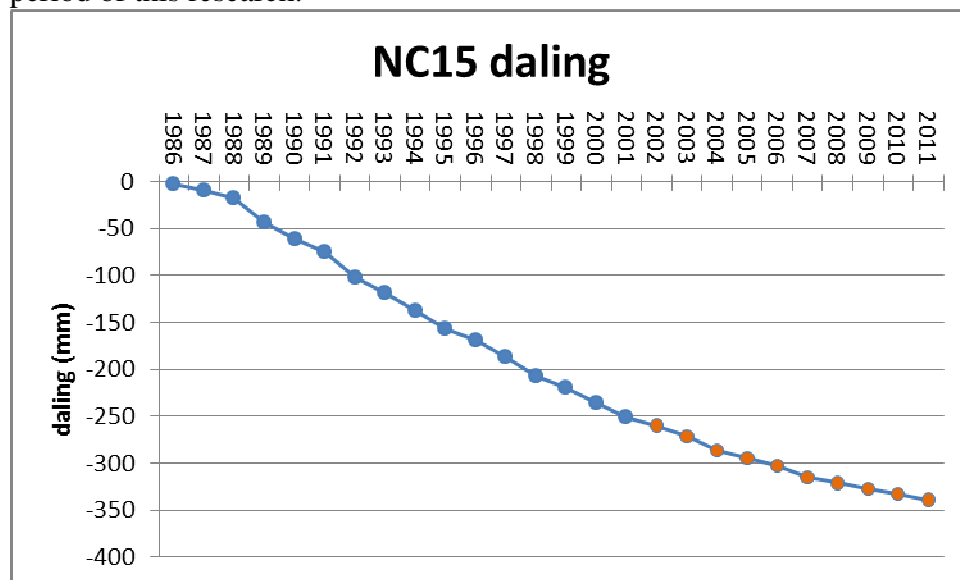
De X, Y en Z coördinaten van de meetpalen zijn driemaal ingemeten gedurende dit onderzoek. In tabel 3.1 staan de meetdata en een verschilberekening tussen 2001 en 2007. Door de range van de meetfout (± 25 mm) en het beschikbare tijdsinterval (6 jaar) is dit verschil geen exacte meting van de bodemdaling, maar de daling van ongeveer 6 cm bij alle punten en een gemiddelde daling van 5,73 cm ligt in de lijn der verwachtingen. Dit komt ook goed overeen met een gemiddelde daling van 5,85 cm volgens het NAM model Ameland_GRIDS_2010 (Ketelaar, dit rapport).

Tabel 3.1 De met DGPS gemeten XYZ coördinaten van de meetpalen. De verschiltrend tussen 2001 en 2007 is terug te voeren op bodemdaling. Meetfout ± 25 mm. In de kolom 'Model NAM' is het hoogteverschil berekend met het NAM model Ameland_GRIDS_2010 (Ketelaar, dit rapport). The DGPS measured XYZ coordinates (Dutch grid). The difference between 2001 and 2007 is due to subsidence. Measurement error ± 25 mm. The column 'Model NAM' gives the calculated height difference with the NAM model Ameland_GRIDS_2010 (Ketelaar, this report)

Paal	X	Y	meting DGPS / NAM			meting DGPS / NAM	Model NAM / Ketelaar
			aug-01	mrt-04	feb-07	verschil 2001-2007	verschil 2001-2007
			Z = NAP	Z = NAP	Z = NAP	cm	cm
NC 01	190.242.738	608.945.382	1,907		1,860	-4,68	-5,84
NC 02	190.268.117	608.864.025	1,626	1,599	1,565	-6,15	-5,73
NC 03	189.936.854	608.986.514	1,722	1,685	1,668	-5,43	-5,97
NC 04	189.862.108	608.994.102	1,761	1,737	1,705	-5,57	-5,99
NC 05	189.755.411	608.999.601	1,800	1,750	1,728	-7,23	-6,00
NC 06	190.111.835	608.829.941	1,813	1,786	1,749	-6,39	-5,80
NC 07	190.063.922	608.750.232	1,759	1,753	1,686	-7,30	-5,74
NC 09	189.518.561	608.969.781	1,825	1,799	1,776	-4,86	-5,96
NC 10	189.263.182	608.936.862	1,820	1,817	1,769	-5,15	-5,86
NC 11	189.337.100	608.967.886	1,787	1,779	1,736	-5,14	-5,91
NC 12	189.939.004	608.656.934	1,958	1,944	1,914	-4,45	-5,67
NC 14	189.861.707	608.715.836	1,824	1,807	1,763	-6,13	-5,75
NC 15	189.665.984	608.881.745	1,925	1,910	1,865	-6,03	-5,90
NC 19	189.492,740	608.739,310		1,932	1,837		-5,75
gem						-5,73	-5,85

Gezien de vrijwel uniforme daling over het gehele meetgebied kan de dalingscurve van meetpaal 15 hiervoor model staan. In figuur 3.3 zijn de afgelopen tien jaren van dit onderzoek in oranje weergegeven. Hierbij is de daling van de laatste twee jaar geschat op 6mm per jaar.

Figuur 3.3 De daling van de bodem bij paal NC15 vanaf 1986. Oranje geeft de periode aan van dit onderzoek. Subsidence of the ground at pole NC15 since 1986. Orange marks the period of this research.

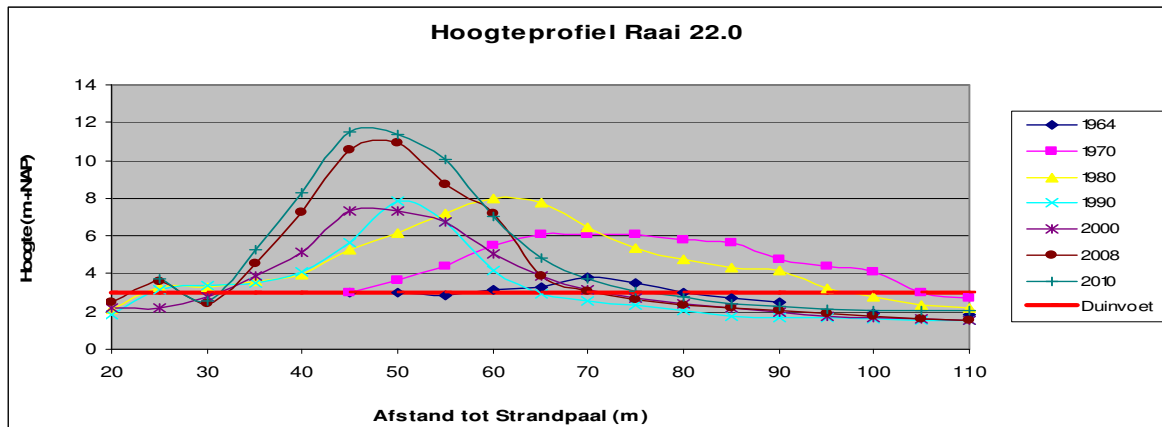


3.3 Ophoging van de maaiveldhoogte door instuiving.

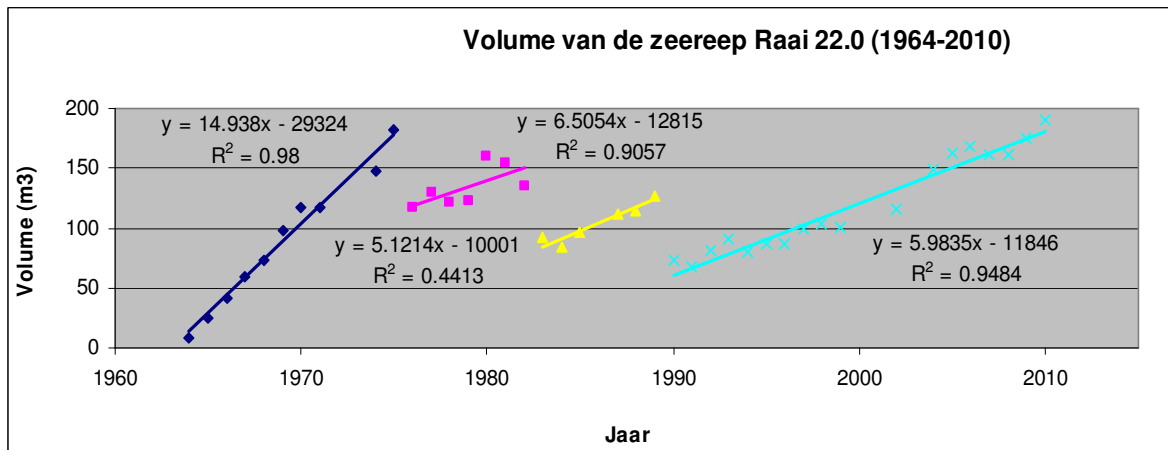
Inmiddels wordt op een aantal plaatsen duidelijk dat de maaiveldhoogte van de valleien niet lineair met de bodemdaling afneemt maar dat er (gedeeltelijke) compensatie optreedt. In de valleien die het dichtst nabij de zeereep liggen, wordt de bodem vooral opgehoogd door instuivend zand uit de zeereep. Rijkswaterstaat heeft in 1994 het vangen van zand aan de strandzijde van de zeereep gestaakt ten oosten van paal 20.600. Dit is gebeurd in het kader van het toestaan van meer dynamiek daar waar de veiligheid 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 (zie figuur 3.6). Sinds 2000 wordt ook de zeereep ten oosten van paal 17 niet meer aan de buitenkant ‘onderhouden’ met takkenschermen en heeft zich sindsdien een meer natuurlijk uitziende zeereep ontwikkeld waarin meer stuifkuilen dan voorheen zichtbaar zijn. Wel is het zo dat de zeereep zichzelf in stand houdt door verweg het meeste stuifzand in te vangen in de vitale helmvegetatie en deze groeit daardoor aanzienlijk in hoogte en volume. De zeereep is sinds het begin van de aanleg in 1964 van niets gegroeid tot een enorme muur van zand. De Jong (2011) heeft de ontwikkeling van de zeereep in het gedeelte tussen km 19 en 22 op Oost-Ameland onderzocht en laat in figuur 3.4 ter hoogte van paal 22 het hoogteverloop zien. Paal 22 ligt tussen meetpaal NC09 en NC05 in. Dit profiel karakteriseert de zeereep ten noorden van het onderzoeksgebied goed. Sinds 2000 is de zeereep nog 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. Dit is in het profiel van figuur 3.4 ook goed te zien. In volume uitgedrukt ontwikkelt zich thv paal 22 een zeereep van bijna 200m³ per meter zeereep. In het door de Jong onderzochte gedeelte tussen paal 19 en paal 22 hoopt zich tot 2010 ruim 1,1 miljoen m³ zand op. Overigens blijkt dat deze ontwikkeling niet bijzonder gestimuleerd is door de invoering van dynamisch kustbeheer in 1995 maar een vrij lineaire autonome

ontwikkeling kent sinds de aanleg in de zestiger jaren. De overall trend kent in die periode een drietal trendbreuken die veroorzaakt worden door extreme winterstormen die zorgen voor kustafslag (lees zandverlies). De laatste terugslag vond in 1990 plaats. Ook in dit onderzoek komt dat jaar als een extreem stormrijk jaar naar voren (figuur ?).

Figuur 3.4 Hoogteprofiel van de zeereep bij km 22.0. Afstand is vanaf strandpaal zeewaarts gemeten (uit De Jong, 2011). Height profile of the sea barrier (outline of the dunes) at km pole 22. Distance is measured from beach pole towards the sea (from De Jong, 2011).



Figuur 3.5 Volume van de zeereep per meter zeereep lengte bij paal 22 van 1964 tot 2010. De trendbreuken worden veroorzaakt door extreme winterstormen (uit De Jong, 2011). Volume of the sea barrier (outline of the dunes) at km pole 22 in the years 1964 to 2010. The setbacks in the trend are caused by heavy winter storms (from De Jong, 2011).



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. Deze instuiving vindt 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. Met name vallei NC05 en NC09 herbergen een fraaie groep planten van een kalkrijke duinvallei. Hier vindt Groenknolorchis (*Liparis loeselii*) zijn beste groeiplaats op Ameland. Groenknolorchis is opgenomen in bijlage II en IV van de Habitatrictlijn en in Appendix I van de Bern-conventie.

In de afgelopen tien jaar zijn in de valleien 10, 11, 9, 5, 4 en 3 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 10 en 11 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 natuur herstelproject waarbij in westelijke richting 2600 m primaire duinvallei is afgeplagd. Op Google Earth is dit mooi te zien (website juni 2011). De getoonde beelden zijn aan het eind van de werkzaamheden gemaakt waarbij vallei 11, direct ten oosten van het strandpad, nog niet is opgeschoond (zie ook figuur 3.1). Van de meetpalen NC03, NC04, NC05 en NC9 kunnen we over een periode van 10 jaar (2001-2011) de opstuiving kwantificeren (tabel 3.2). Voor de strook gebied waarin deze valleien liggen kunnen we daarmee spreken van een gemiddelde opstuiving van 5,3 mm/j.

Tabel 3.2 Verandering van maaiveld ten opzichte van de paalkop door instuiving van strandzand. Change of height of poles to ground level due to aerial sand input of beach sand.

	paalhoogte		verschil cm	snelheid mm/jaar
	datum	datum		
	2001	2011		
NC03	31	24	7	7
NC04	23	16	7	7
NC05	30	26	4	4
NC09	33	30	3	3

Figuur 3.6 Instuiving van strandzand in de vegetatie wat leidt tot bodemophoging thv NC11. 24 januari 2005. Visible aerial input of beach sand in the vegetation at valley NC11. 24 January 2005.



Figuur 3.7 De stuivende zeereep aan de strandzijde ter hoogte van het onderzoeksgebied (21 september 2004). Wind driven sand movement at outside of sea barrier (outline of the dunes) next to research area (21 September 2004)



3.4 Ophoging van de maaiveldhoogte door bodemvorming.

In de valleien NC02, NC06, NC7, NC12, NC14, NC15 en NC19 kan bodemvorming door de grazige vegetatie een factor zijn voor ophoging van het maaiveld. Op sommige plaatsen wordt de vegetatie gedomineerd door Fioringras (*Agrostis stolonifera*) waarbij in de wintermaanden anaërobe situaties ontstaan tijdens langdurige inundatie. Mogelijk vind hierdoor slikvorming en enige ophoging plaats (foto 3.8). Op andere plaatsen is mogelijk sprake van ophoping van dood plantenmateriaal zoals bij NC12 waar Riet (*Phragmites australis*) domineert.

Figuur 3.8 Slikvorming in winter in Fioringras vegetatie in vallei NC06. 22 maart 2005. Mud forming in winter season in vegetation of Creeping bentgrass in valley NC06. 22 march 2005.



Indien gekeken wordt naar de paalhoogte waarbij het maaiveld droogvalt is een vergelijking gemaakt tussen het begin van de meetreeks in 2002 en het eind van de meetreeks in het voorjaar van 2011 (tabel 3.3). Daarmee kan over een periode van 9 jaar gekeken worden of er een verandering in de paalhoogte ten opzichte van het maaiveld wordt geconstateerd. Bij NC19 begint de reeks in 2005 en is de periode 6 jaar. Niet bij alle meetpalen wordt een verandering gevonden. Wat daarvan een oorzaak is blijft op dit moment onduidelijk. Mogelijkheden zijn zaken als minder bodemvorming of snellere mineralisatie. Als alle zes plaatsen waar mogelijk bodemvorming aan de orde is worden gemiddeld is sprake van een ophoging van 2,3 mm/j. Indien alleen de vier plaatsen waar een ophoging wordt gevonden worden gemiddeld is er sprake van een ophoging van 4,0 mm/j.

Tabel 3.3 De paalhoogte boven maaiveld in 2002 en 2011 op plaatsen waar bodemophoging door de vegetatie mogelijk is. Paal NC19 vanaf 2005. Height of measuring poles above groundlevel in 2002 and 2011 at places where soil can be formed by the vegetation. Pole NC19 starts in 2005.

	2002 cm	2011 cm	verschil cm	snelheid mm/j
NC02	27	27	0	0,0
NC06	28	25	3	3,3
NC07	30	23	7	7,8
NC12	42	40	2	2,2
NC14	29	29	0	0,0
NC15	35	32,5	2,5	2,8
NC19	25	25	0	0,0
	gemiddeld >>		2,1	2,3

Een andere kwantificering van maaiveldcompensatie kan verkregen worden door gebruik te maken van peilbuisdata. Onderzoek raai 7 loopt van zuid naar noord over het eiland en de meest noordelijke peilbuizen van deze raai staan in dezelfde valleien waar ook de meetpalen voor inundatiemeting staan (figuur 3.11). De waterstand in deze peilbuizen wordt jaarlijks gemeten en in de periode 1988-1990 en na 1999 is ook steeds met een liniaal de afstand tussen de buisrand en het maaiveld gemeten. Hierdoor is het mogelijk om over een langere reeks van jaren een indruk te krijgen van eventuele veranderingen van de maaiveldhoogte ten opzichte van de buisrand (figuur 3.12). De buisrand van deze peilbuizen is ook een aantal malen opgemeten ten opzichte van NAP en daarmee kan ook in combinatie met het NAM model Ameland_GRIDS_2010 een verloop van de daling van de buisranden in de tijd worden gegeven (figuur 3.13). Bij buis 21A is sprake van een maaiveldverlaging, bij de overige buizen is sprake van maaiveldophoging (tabel 3.4).

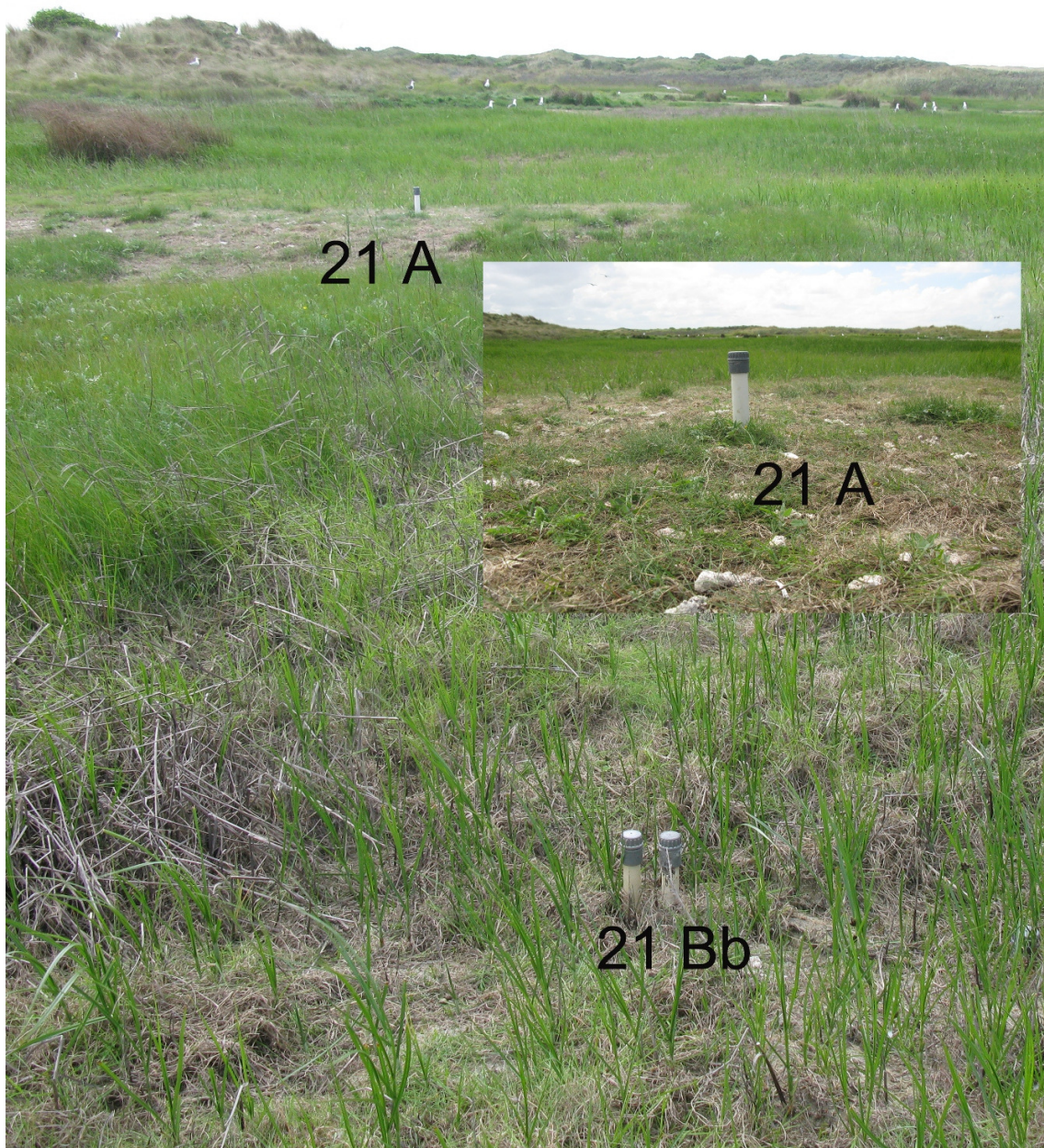
Tabel 3.4 Hoogteverandering van buisrand en maaiveld van 5 peilbuizen in onderzoeksgebied in de periode 1989-2009. Change of height level of top of 5 standpipes and ground level in research area in the period 1989-2009

Vallei	Buis	verschil 89-09 (cm)		ophoging cm	snelheid mm/j
		Buis	MV		
NC02	21A	-28,5	-38,4	-9,9	-5,0
NC02	21Bb	-29,4	-12,3	17,1	8,6
NC06	17Aa	-28,4	-24,8	3,6	1,8
NC7	11Ab	-27,3	-19,2	8,1	4,1
NC12	8Aa	-27	-21	6	3,0

De gemiddelde ophoging van het maaiveld bij de 4 peilbuizen waar bodemvorming plaatsvindt bedraagt 4,4 mm/j over de periode 1989-2009. Alleen bij de buis 21A is sprake van erosie. In het veld is gekeken naar een logische verklaring voor dit gebeuren want buis

21A en 21Bb liggen een paar meter uit elkaar (figuur 3.9). Buis 21A blijkt de enige buis te zijn die op een zandkopje ligt. De vegetatie hierop is zeer ijl, mogelijk door de invloed van veel meeuwenmest van de broedkolonie vlakbij, en de minerale zandbodem is hier en daar zichtbaar. Waarschijnlijk is er golfslagerosie op deze zandige verhoging in de wintermaanden. De 4 andere peilbuizen liggen allen in een lokale depressie of dichte zode (17Aa) waar in de loop der jaren wel enig ophoging plaats vindt. Figuur 3.10 toont in detail peilbuis 8 waarbij ook depositie van dood plantenmateriaal van Riet (*Phragmites australis*) zichtbaar is.

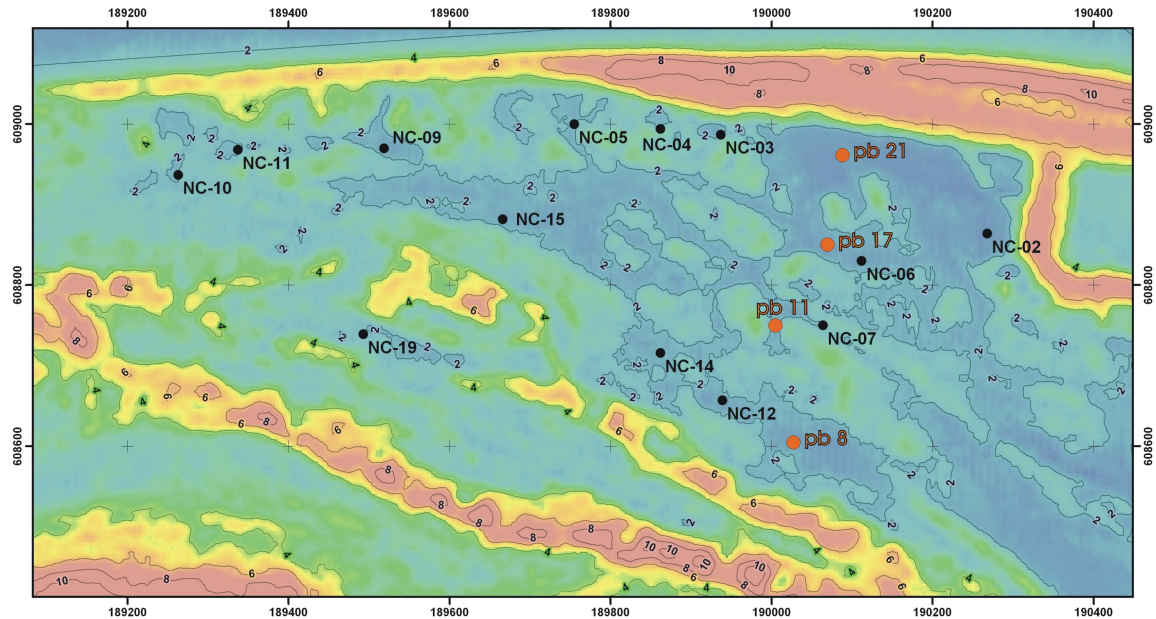
Figuur 3.9 Veldsituatie van peilbuis 21A en 21Bb. Field situation of standpipes 21A and 21Bb.



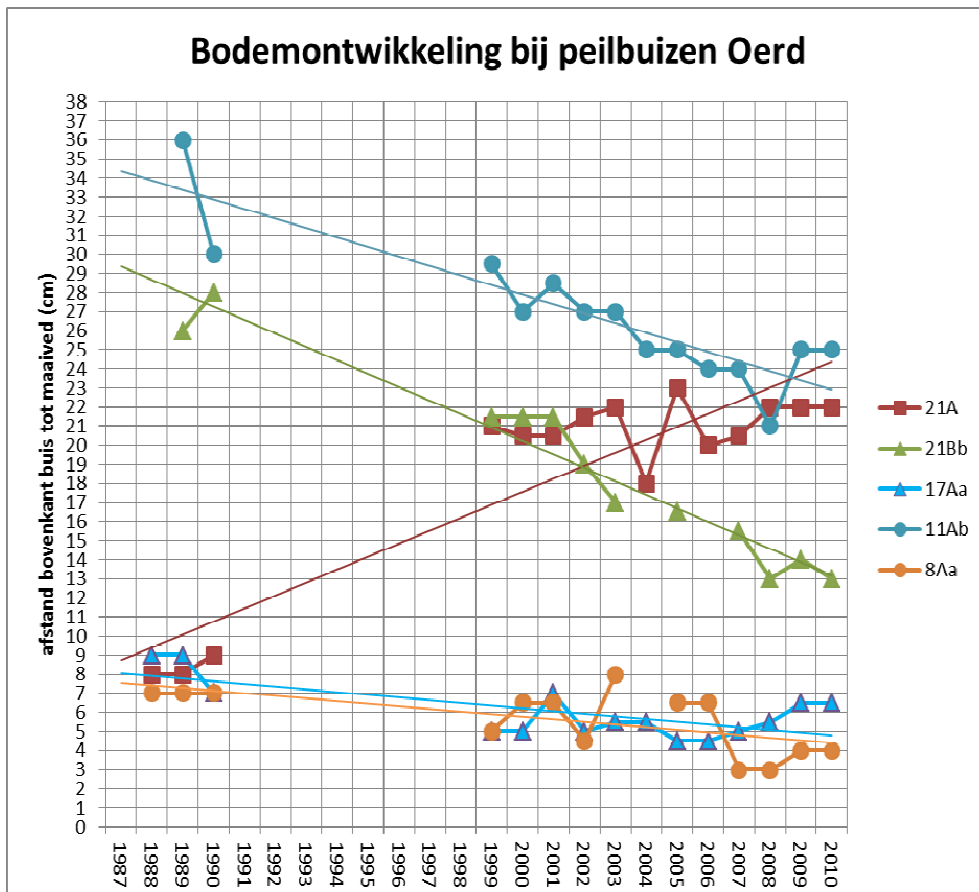
Figuur 3.10 Detail van de vegetatie waarin peilbuis 8Aa zichtbaar is. Detail of the vegetation in which standpipe 8Aa is visible.



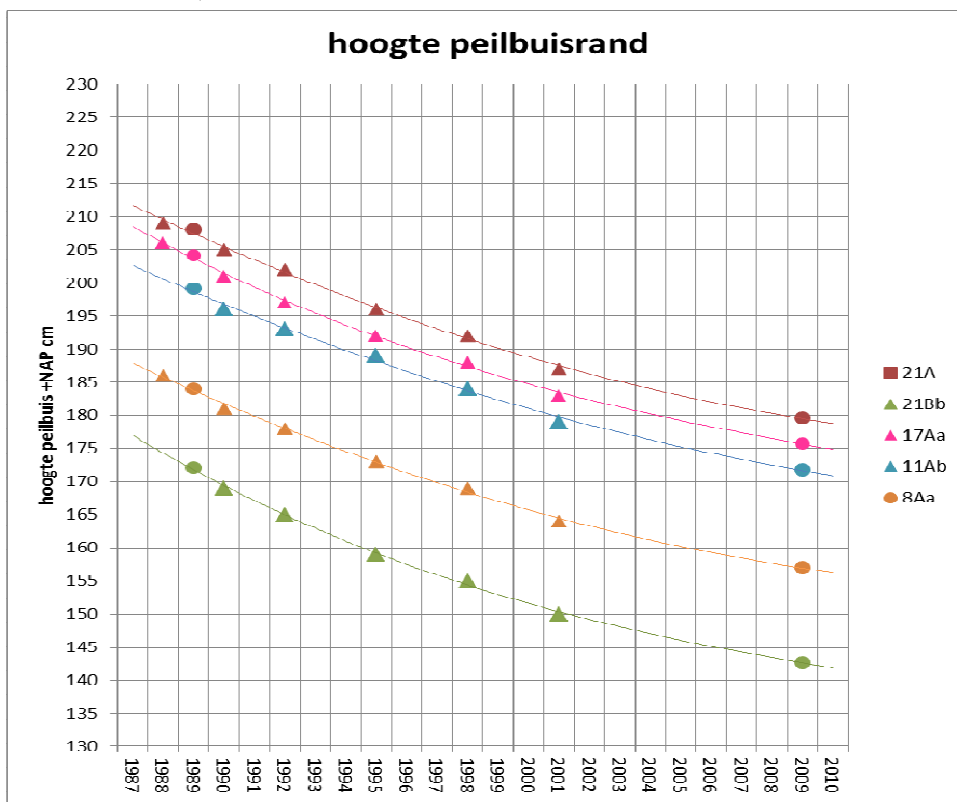
Figuur 3.11 Locatieschets van de ligging van de peilbuizen van raai 7 die voor kwantificering van bodemvorming gebruikt zijn. Location of standpipes which were used for quantification of changing ground level in research area.



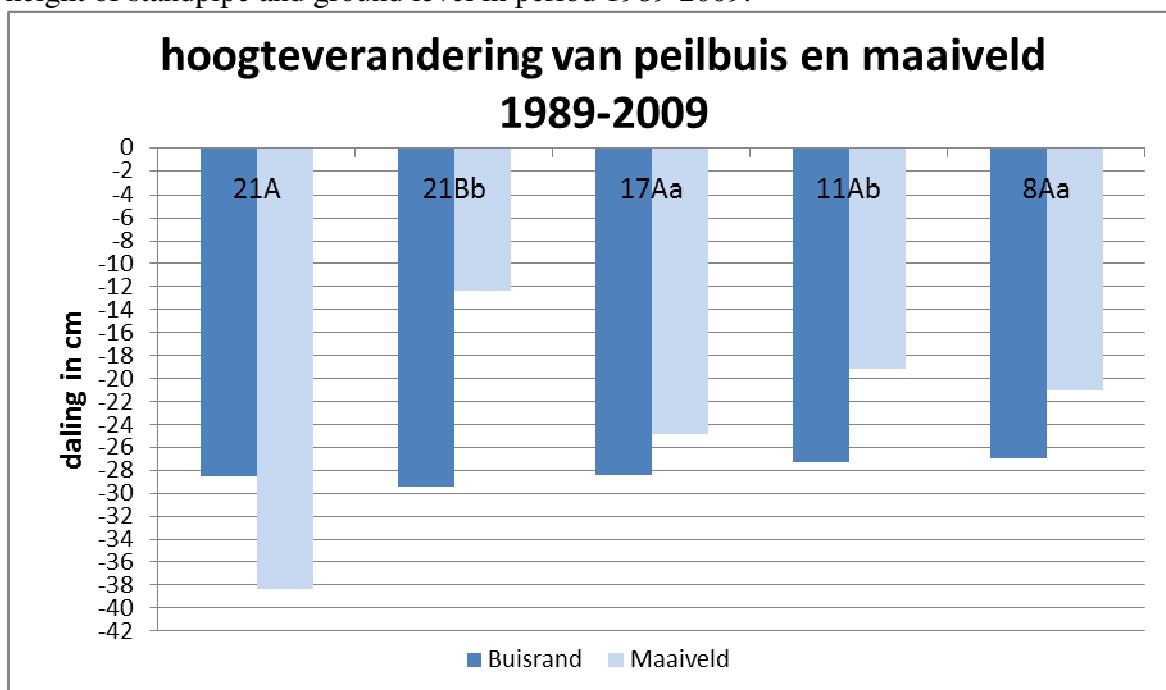
Figuur 3.12 Verandering van maaiveldhoogte bij een aantal grondwater peilbuizen in het onderzoeksgebied. Change of ground level at several standpipes used for measuring groundwater levels.



Figuur 3.13 NAP hoogtes van de buisrand van een aantal peilbuizen in het onderzoeksgebied. Driehoekmarkering is een meetwaarde, cirkelmarkering is een berekende waarde. Amsterdam level height levels of top of groundwater standpipes in the research area. Triangles are measurements, circles are calculated values.



Figuur 3.14 Hoogteverandering van peilbuis en maaiveld in de periode 1989-2009. Change of height of standpipe and ground level in period 1989-2009.



3.5 Drempels.

Het onderzoeksgebied wordt bij stormtij overstroomd met zeewater dat tussen de NAM 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 bemeeten 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 terugsijpelde. Op dat moment is een aflezing gedaan aan de meetpaal in de betreffende vallei.

Tabel 3.5 Drempelhoogtes van enkele valleien. Threshold levels of some valley's.

Vallei	Drempel m +NAP	Datum aflezing
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 3.15 De drempel naar vallei NC09 op de achtergrond. Het pad vormt de drempel. Hoogte 1.77 m +NAP (31-12- 2001). The threshold to valley NC09 in the background. The path is forming the threshold. Level 1.77m +NAP (Amsterdam level, 31-12-2001).



4. Waterstanden.

4.1. Vergelijking waterstanden getijstation Nes en getijstation Wierumergronden met vallei NC02.

In vorige rapportages is de schatting van de overstromingskans op Oost-Ameland steeds gerelateerd aan de waterstand bij het RWS getijstation in de Waddenzee bij Nes. Dit station bevindt zich echter ten westen van het wantij onder Ameland terwijl het overstromingswater van de valleien komt uit de Waddenzee en Noordzee ten oosten van het wantij. Bovendien staat het station Nes zo'n 10 kilometer verwijderd van de stormvloedbron, de Noordzee ten NW van Ameland waardoor stuwings optreedt en de waterstand bij Nes hoger is dan op hetzelfde moment op de Noordzee. Het stormtijwater op Oost Ameland maakt een kortere weg van de Noordzee naar de zuidkant van de Hon en bij hoge waterstanden is er een verbinding tussen Noordzee en Waddenzee waardoor er minder stuwings optreedt. Uit de waarnemingen gedurende dit onderzoek blijkt de overstromingshoogte in de vallei die het eerst overstroomt (NC02) beter overeen te komen met het getijstation Wierumergronden dan met het station Nes (tabel 4.2). Een voorbeeld van het getijverloop van beide meetpalen en de overstromingshoogte in vallei NC02 gedurende een storm is in figuur 4.1 weergegeven. De vallei NC02 is de laagstgelegen vallei in het onderzoeksgebied met een drempelhoogte van 1,69 m +NAP in 2004 (tabel 3.5). 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, zoals op 07-10-2003 zichtbaar is. 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 46 waargenomen inundaties in afgelopen 10 winters ten opzichte van de meetstations Nes en Wierumergronden wordt in tabel 4.2 weergegeven. Opvallend is dat de gemiddelde maximale waterstand in vallei NC02 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 340 cm bereikt werd.

Tabel 4.1 Waterstandsafwijking van maximale waterhoogte (cm) in vallei NC02 ten opzichte van de getijstations Nes en Wierumergronden op basis van data in tabel 4.2. Difference of maximum waterlevel (cm) in valley NC02 to tidal stations Nes and Wierumergronden on basis of data in table 4.2..

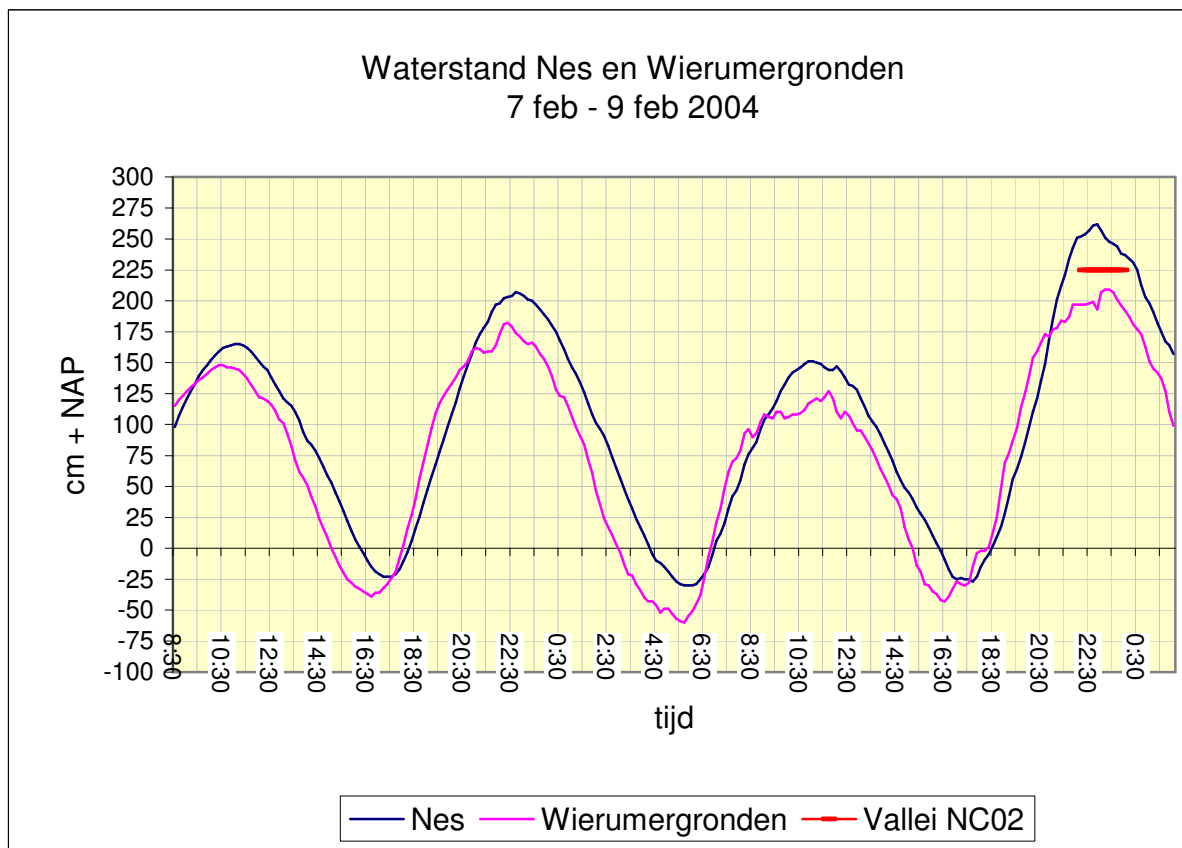
afwijking tov NC02	Nes	WG
gem	-39,0	0,0
SD	11,2	18,3
max	-9	59
min	-65	-38

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.

Tabel 4.2 Inundatiedata vallei NC02 en verband met getijstations Nes en Wierumergronden. ? betekent dat er geen volledige instroom is geweest tot bovenkant vallei. Inundation data valley NC02 and relation with tidal stations Nes and Wierumergronden. ? means there has been no total inundation to top of valley.

aantal						Verschil		
		NES		WIERUMER GRONDEN		Hoogste stand Vallei NC-02	Nes	WG
	Datum	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	geen instroom		
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
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

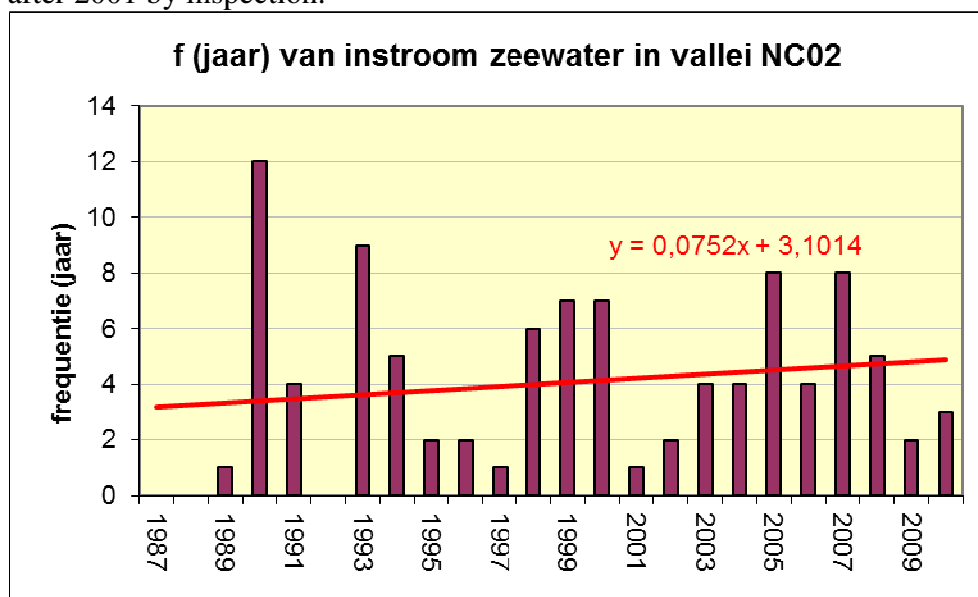
Figuur 4.1 Een voorbeeld van het verschil in getijverloop tussen de meetpalen Nes en Wierumergronden. Tevens is de hoogste waterstand in vallei NC02 aangegeven.



4.2 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, tabel 4A). Daarbij zou de frequentie van inundatie verhogen van 4 naar 20 maal per jaar. De door haar voorspelde kans op overstroming wordt in deze rapportage getoetst aan de werkelijkheid gedurende de afgelopen 10 winters. De 28 cm bodemdaling is in 2004 reeds bereikt en inmiddels (2011) is zelfs sprake van 33 cm bodemdaling. Uit de resultaten van deze monitoring blijkt dat de voorspelde sterke toename in overstromingen tot nu toe niet bewaarheid 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 de overstromingsfrequentie toeneemt van 3 naar 5 inundaties per jaar in de periode 1987-2010 (figuur 4.2).

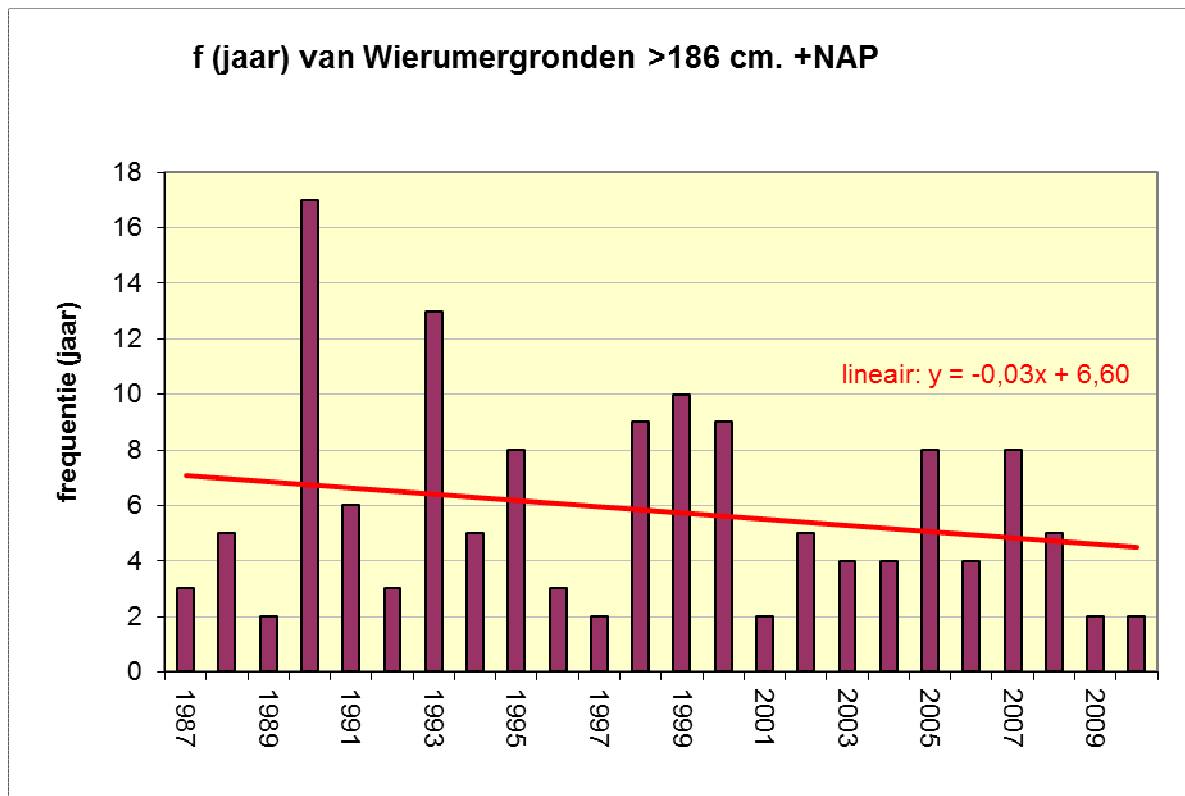
Figuur 4.2 Overstromingsfrequentie van vallei NC02. Vanaf 1987 door berekening, vanaf 2001 door waarneming. Flooding frequency of the research area. From 1987 by calculation, after 2001 by inspection.



Op zich laat de frequentie van waterstanden boven +186 cm NAP Wierumergronden in de loop van de gaswinningsperiode een dalende trend zien (figuur 4.3). Het feit dat de jaarlijkse frequentie van inundatie in vallei NC02 in dezelfde periode toch stijgt van 3 naar 5 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 tm 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 tm 13 januari, 4 overstromingen van 22 tm 25 januari en 4 overstromingen van 19 tm 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.

Figuur 4.3 Frequentie van waterstanden >186 cm +NAP bij getijde station Wierumergronden in periode 1987- 2010. Frequency of water levels above 186 cm +NAP (Amsterdam level) in period 1987-2010.



Op basis van de gehanteerde stormstand van >186 cm +NAP bij de meetpaal Wierumergronden zijn de vijf vroegste herfstoverstromingen en vijf laatste voorjaarsoverstromingen tijdens de bodemdalingperiode uitgefilterd (tabel 4.3). Hieruit blijkt dat overstroming met zeewater tot april nog voor kan komen en opvallend is de vroege 'driedaagse' overstroming rond 20 september 1990.

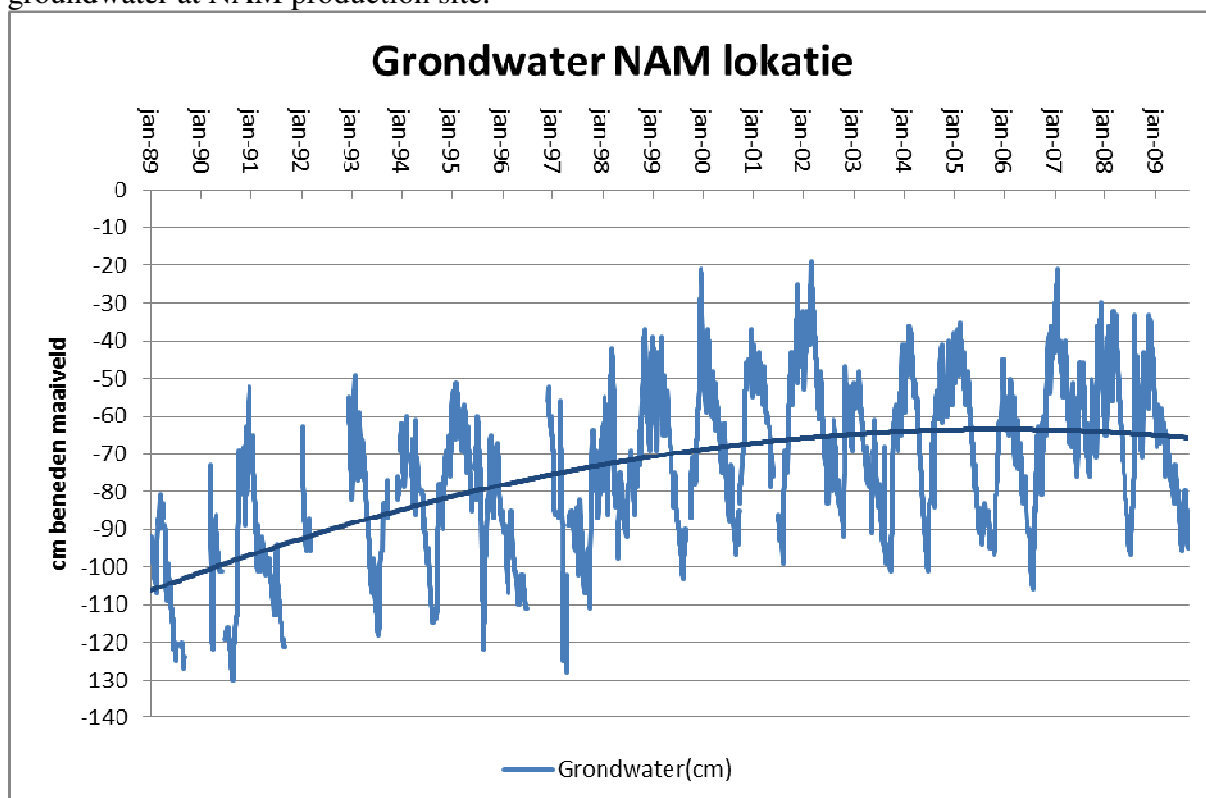
Tabel 4.3 De vroegste en laatste overstromingen tijdens de dalingperiode op basis van >186 cm +NAP Wierumergronden. The earliest and last tidal inundations during the period of subsidence on basis of >186 cm +NAP (Amsterdam level).

	Wierumergronden
Herfst	cm. +NAP
19-9-1990	219
20-9-1990	221
21-9-1990	197
2-10-1991	198
2-10-1997	195
Lente	
1-4-1994	207
28-3-1987	203
24-3-1989	198
20-3-1995	192
18-3-2007	271

4.3 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 tijd die na de overstroming volgt. Al snel na de start in oktober 2001 bleek dat de meeste valleien lang geïnundeerd blijven en dat het bijvoorbeeld weer droogvallen van het maaiveld een week na de storm niet gebruikelijk is. Dit heeft alles te maken met een hoge grondwaterstand na stormtij waardoor infiltratie nauwelijks mogelijk is en dus speelt neerslag een grote rol bij de duur van de inundatie. In de praktijk heeft een deel van de valleien in een neerslagrijke herfst soms reeds in september water boven maaiveld staan door een hoge grondwaterstand. In de periode maart tot half april valt de bodem weer droog. In extreem natte winters is het waarschijnlijk mogelijk dat sommige valleien pas in mei weer droogvallen. De stijging van de grondwaterstand in het onderzoeksgebied in de loop van de tijd is uit peilbuismetingen op de NAM locatie af te lezen. Figuur 4.4 laat een sterke stijging over de periode 1989-2009 zien. De data van deze grafiek zijn niet helemaal ongestoord omdat soms bij hoge waterstanden water weggepompt wordt maar de trend is duidelijk en betrouwbaar. De stijging bedraagt ongeveer 40 centimeter over een periode van 20 jaar (2 cm/j) maar lijkt de laatste jaren te stabiliseren.

Figuur 4.4 Stijging van grondwater bij NAM productie locatie. Raising of level of groundwater at NAM production site.

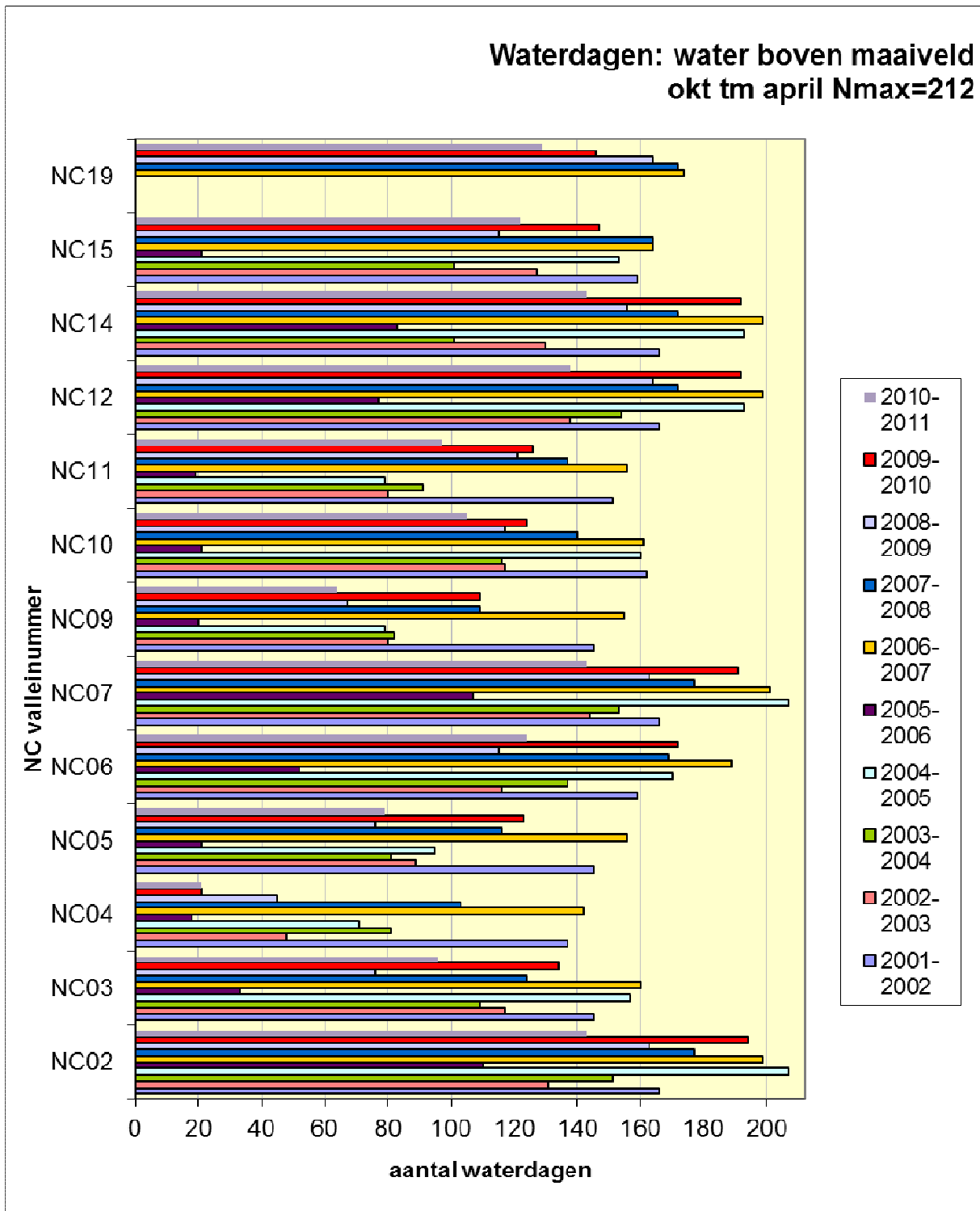


Tabel 4.4 Aantal dagen dat water boven maaiveld staat in de periode 1 okt–30 apr (N max = 212 dagen). Number of days that there is water above ground level in the period 1 Oct-30 Apr. (N max = 212 days).

Jaar	NC02	NC03	NC04	NC05	NC06	NC07	NC09	NC10	NC11	NC12	NC14	NC15	NC19
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
Max	207	160	142	156	189	207	155	162	156	199	199	164	174
Min	110	33	18	21	52	107	20	21	19	77	83	21	0
gemiddeld	164	115	69	98	140	165	91	122	106	159	154	127	131
SD	31	39	47	39	40	30	40	41	41	36	39	43	66

De winters 2004-2005 en 2006-2007 kunnen als de natste gekwalificeerd worden. Deze natte winters worden gescheiden door de tussenliggende droogste winter 2005-2006. Daarmee is de periode herfst 2004 tm voorjaar 2007 wat de inundatieduur betreft de meest extreme periode.

Figuur 4.5 Grafische weergave van het aantal dagen dat er water boven maaiveld staat in 10 opeenvolgende winters. Graphical display of the number of days the ground level is inundated in 10 successive winters.



5. Waterkwaliteit boven maaiveld

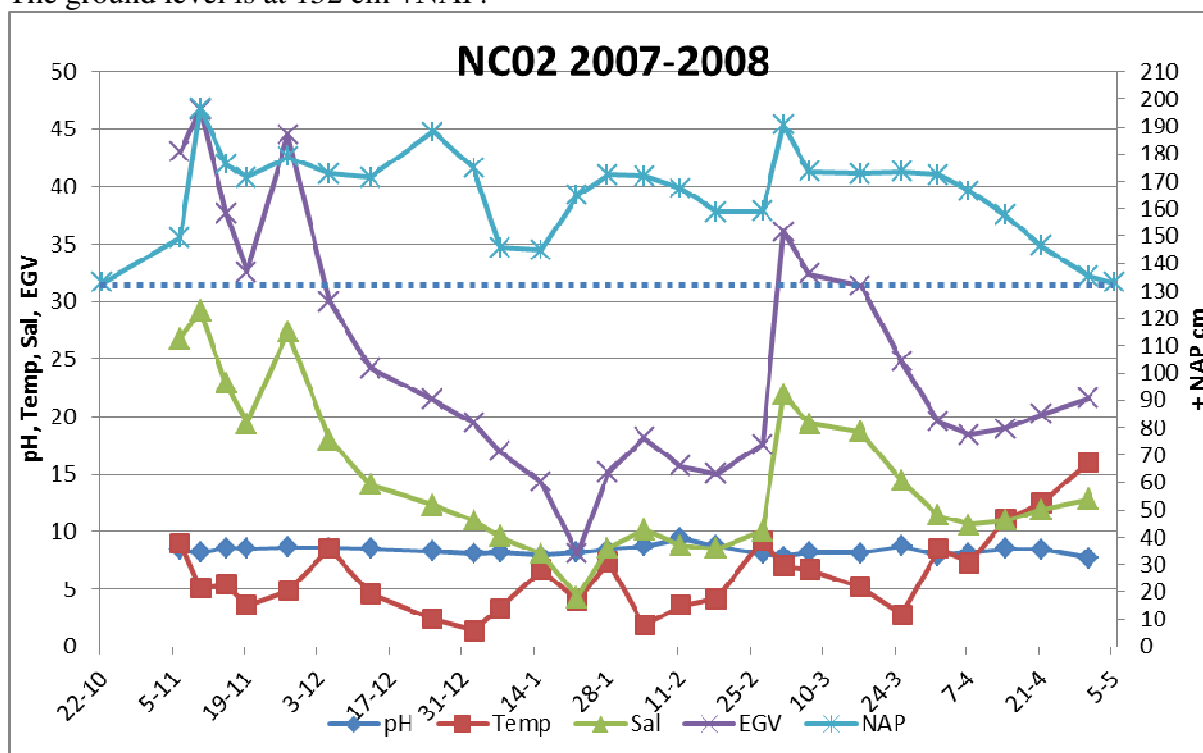
5.1 Zoutgehalte

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 31. De maximaal gemeten waarde in de valleien was 28,6 ‰ in vallei NC02 op 9 oktober 2003. Op dat moment was er nog geen of nauwelijks grondwater boven maaiveld voor verdunning met het instromende zeewater. Hoe hoog het zoutgehalte stijgt na overstroming hangt uiteraard af van de mengverhouding tussen het in een vallei reeds aanwezige water en het aankomende zeewater. Voor alle valleien geldt dat na overstroming met zeewater vervolgens een 'wisselwerking' tussen infiltratie en neerslag ontstaat die de saliniteit geleidelijk weer doet dalen. Tot eventueel weer een overstroming met zeewater volgt of tot de waterstand onder maaiveld zakt in het voorjaar.

5.2 Andere parameters van het inundatiewater.

Tijdens de waterstand meting bij de meetpalen zijn naast het zoutgehalte ook de pH, Temperatuur en EGV bepaald. Deze reeksen worden nu niet verder uitgewerkt omdat ze waarschijnlijk een minder belangrijke rol spelen ten opzichte van de inundatieduur samenhangende factoren als zuurstofgehalte in de bodem en zoutgehalte op kwetsbare momenten voor de vegetatie. Een voorbeeld van het verloop van de diverse meetwaarden in een winter voor een vallei staat in figuur 5.1 weergegeven.

Figuur 5.1 Verloop van meetwaarden in vallei NC02 in de winter 2007-2008. Er zijn in die periode 7 inundaties met zeewater. Het maaiveld ligt op 132 cm +NAP. View of measured data in valley NC02 in winter 2007-2008. There are 7 inundations with seawater that period. The ground level is at 132 cm +NAP.



6. Vegetatieverandering.

6.1 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 6.1). Ook de overstroming met zeewater vroeg in de herfst of laat in het voorjaar geeft geen duidelijke verklaring (tabel 4.3) 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 6.1 Opdrijfsel in kruin van vitaal duindoornstruweel langs rand van vallei bij meetpunt NC06 (11-2-2004). Flood material in top of vital Sea buckthorn bush at the edge of valley near measuring pole NC06.



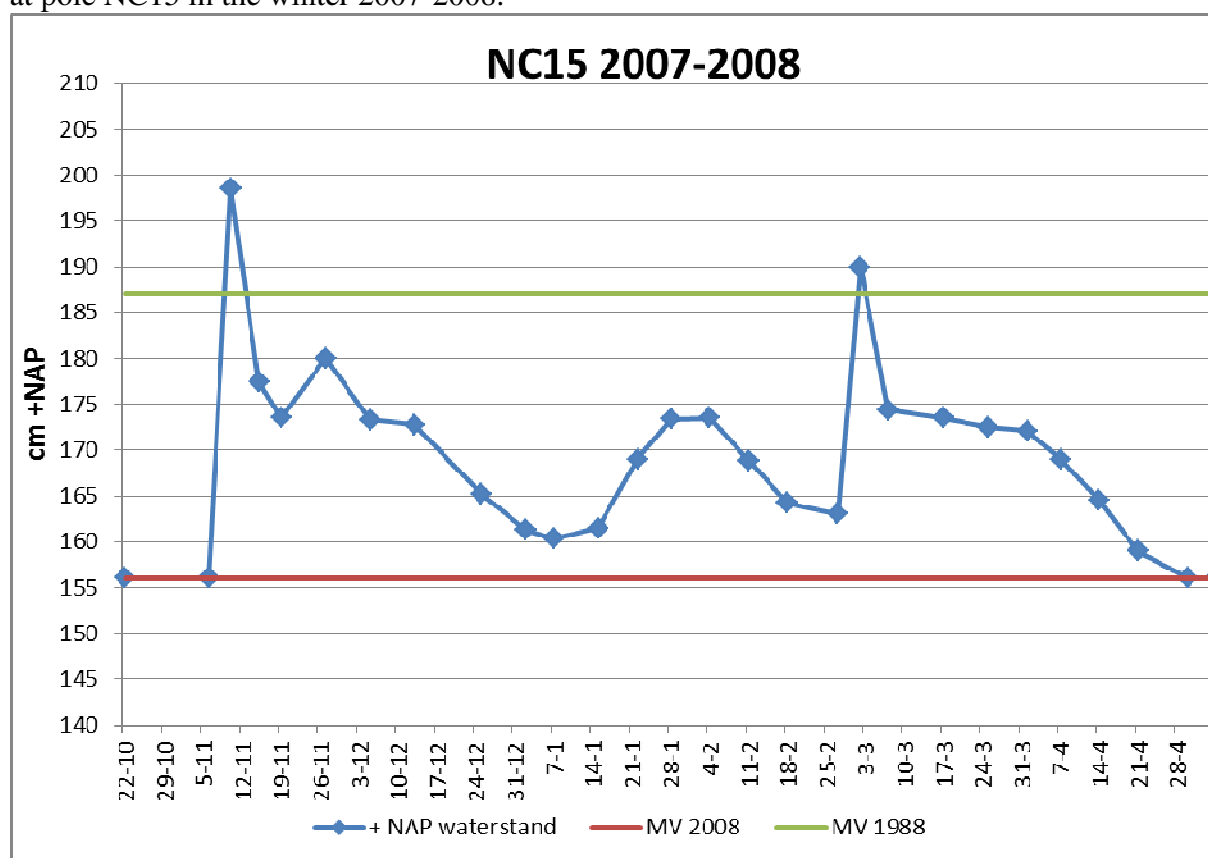
De sterfte vond vooral plaats op de bodem van de valleien en de hoogteligging van deze bodems maakt duidelijk dat deze allemaal binnen een smalle range van +NAP 135 cm tot +NAP 157 cm liggen (meting 2001). En hoewel er momenteel sprake is van enige compensatie van de bodemdaling (dit hoofdstuk) moet bij een bodemdaling van 33 cm tot 2011 toch rekening worden gehouden met vernatting door relatief stijgend grondwater.

Als voorbeeld van een reconstructie tot het meer oorspronkelijke maaiveld van 1988 is hier gekozen voor vallei NC15. In deze vallei is de duindoornsterfte duidelijk opgetreden. In figuur 6.3 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 6.2 In de periode 1989-1992 gestorven duindoorns in geïnundeerde vallei bij meetpunt NC15 (21-01-2004). Dead Sea buckthorns which died in the period 1989-1992 in inundated valley NC15 (21-01-2004)



Figuur 6.3 Simulatie maaiveld (MV) 1988 in grafiek van waterstanden bij meetpunt NC15 in winter 2007-2008. Simulation of the ground level (MV) of 1988 in the measured water levels at pole NC15 in the winter 2007-2008.



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 6.3 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 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 dan 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 6.2 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 berekende bodemdaling voor deze plaats 11 cm.

Figuur 6.4 Nieuwe vitale vestiging van duindoorn aan bovenrand van vallei NC06 (11-2-2004). New vital settlement of Sea buckthorn at upper edge of valley NC06 (11-2- 2004)



6.2 Vegetatieverandering in vallei NC02.

Fraai 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. Dit wordt door Alterra onderzocht in de monitoring van de valleivegetaties (dit rapport). De in dit onderzoek gemeten data en inundatieduur worden daarbij in een multivariatieanalyse betrokken. Maar een extreme gebeurtenis zoals in het voorjaar van 2007 zorgt dan voor een plotselinge omslag. Het extreme bestond uit een forse inundatie met zeewater op 18 maart 2007 met een enorm hoge waterstand van +NAP 321cm bij het getijstation Nes (tabel 4.2). 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 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 (kwelder) vegetatie terugkwam. Inmiddels (voorjaar 2011) is zichtbaar dat Fioringras aan een comeback bezig is maar dat de zilte soorten ook definitief voet in de grond hebben gekregen. In de laagste delen groeit nu permanent Heen (*Scirpus maritimus*) en Zeekraal (*Salicornia europaea*). Verder is er een mooie 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 6.5 Panoramabeeld van vallei NC02 op 25 april 2007. Duidelijk zichtbaar is de afgestorven vegetatie met een kale bodem als resultaat. Panorama view of valley NC02 on 25 April 2007. Clearly visible is the dead vegetation and bare ground.



Figuur 6.6 Panoramabeeld van vallei NC02 op 25 september 2008. Er heeft zich een kweldervegetatie gevestigd met Zeeaster in het midden (laagste) en rondom een zonering van Schorrekruid en Zilverschoon. Panoramaview of valley NC02 on 25 September 2008. A saltmarsh vegetation settled with Sea-aster in the middle (lowest) and a zone of Common seablite and Silverweed.



Figuur 6.7 Panoramabeeld van vallei NC02 op 20 juli 2010. In het midden van de vallei (laagste) groeit Heen en Fioringras. Daaromheen een fraaie zonering van Zilte rus en op de overgang naar de duinen groeit een gordel van Zilverschoon. Panoramaview of valley NC02 on 20 July 2010. In the middle (lowest) Sea clubrush and Creeping bentgrass. Around that a zone of Saltmarsh rush and on the edge to the dunes a zone of Silverweed.



7. Conclusies.

- De door Schouten 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 3 in 1987 naar 5 in 2010.
- In de valleien die het dichtst langs de zeereep liggen vindt compensatie van de bodemdaling plaats door instuiving van strandzand. Deze ophoging bedraagt 5,3 mm/j in de periode 2001-2011.
- In verder van de zeereep verwijderde valleien vindt enige compensatie van de bodemdaling plaats door bodemvorming door de vegetatie. Deze ophoging bedraagt gemiddeld 2,3 mm/j bij de in dit onderzoek gebruikte meetpalen waarbij niet bij alle palen een ophoging van het maaiveld zichtbaar is. Bij analyse van een langere reeks (1989-2009) data waarbij gebruik is gemaakt van maaivelddata bij peilbuizen in valleien in hetzelfde gebied is sprake van een ophoging van 4,4 mm/j. Een zandige verhoging daarentegen laat juist erosie zien, waarschijnlijk door golfslag tijdens inundaties.
- 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 blijkt uit berekening. In deze onderzoeksperiode 2001-2011 is dit vrijwel iedere winter gedurende meerdere maanden het geval met veelal decimeters water boven het maaiveld. Hieruit blijkt dat de bodemdaling in de valleien tot nu toe beperkt is gecompenseerd.
- 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 plaats gevonden 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 vegetatie verandering plaatsgevonden. Na een erg hoog stormtij op 18 maart viel de vallei op 24 april droog zonder een drup toegevoegde neerslag 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.

Literatuur.

De Jong, B., P.A. Slim, M. Riksen en 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.

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.

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, de J. 2005. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 13 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2005.

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

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

Adres auteur:
Natuurcentrum Ameland
Johan Krol
Postbus 60
NL-9163ZM Nes Ameland
Tel. 0519-542737
Mail. natuurcentrum.jkrol@planet.nl