

# NATUURONTWIKKELING AMELAND





# Natuurontwikkeling Ameland

S.M. Arens, Th.W.M. Bakker & C. ten Haaf

Arens Bureau voor Strand en Duinonderzoek  
Iwan Kantemanplein 30  
1060 RM Amsterdam  
[www.duinonderzoek.nl](http://www.duinonderzoek.nl)  
tel. 020-3670258

In opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland  
juli 2005



## VOORWOORD

In het kader van een natuurontwikkelingsproject op Ameland is door It Fryske Gea bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland een H&I-subsidie aangevraagd voor de herinrichting van een gebied bij paal 21.40. Door Rijkswaterstaat Noord-Nederland is besloten eerst een onderzoek uit te laten voeren naar de morfologische duurzaamheid van het project. Dit onderzoek is uitgevoerd door Bas Arens van het Bureau voor Strand- en Duinonderzoek (morfologie), Theo Bakker (hydrologie) en Cor ten Haaf (ecologie), beiden van Bureau ten Haaf en Bakker, onder begeleiding van de volgende personen:

Richard Ariaans	Rijkswaterstaat Noord-Nederland
Johan Krol	Natuurcentrum Ameland
Tonnie Overdiep	Rijkswaterstaat Noord-Nederland, District Waddenzee
Willem Riesenkamp	Rijkswaterstaat Noord-Nederland
Luc van Tiggelen	Gemeente Ameland
Henk de Vries	It Fryske Gea

Resultaten van dit onderzoek en een advies met betrekking tot het natuurontwikkelingsproject zijn onderwerp van dit rapport.

Voor hun hulp bij het verzamelen van gegevens wil ik, naast de leden van de begeleidingscommissie, de volgende personen bedanken:

Jaap van den Boogert	Rijkswaterstaat Noord-Nederland
Daniel van Buren	Provincie Fryslân
Norbert Dankers	Alterra Texel
Koos Doekes	RIKZ
Willem van Duin	Alterra Texel
Ilse Jonker	Rijkswaterstaat Noord-Nederland
Arjen Kok	Vitens
Evert-Jan Lammerts	Staatsbosbeheer
Joop Marquenie	NAM
George Wintermans	WEB
Freek Zwart	Staatsbosbeheer Terschelling

Bas Arens  
Amsterdam, 12 juli 2005.



## SAMENVATTING

Zoet-zoutgradiënten staan onder druk. Het programma Herstel en Inrichting Rijkswateren (H&I) van Rijkswaterstaat heeft onder andere tot doel zoet-zoutovergangen te herstellen. Het stimuleren van sluffer- of wash-overontwikkeling op daarvoor geschikte plaatsen kan hieraan een bijdrage leveren. It Fryske Gea heeft een plan opgesteld voor de ontwikkeling van een zoet-zoutgradiënt een vallei in het duingebied ten noorden van de Kooioerdstuifdijk op Ameland. Dit plan voorziet in het uitdiepen van een in 1994 ontstane opening in de stuifdijk bij km 21.4, het afgraven van een duinrug en het afplaggen van de langgerekte vallei. De kans bestaat echter dat de opening na de ingreep niet stabiel is, en weer snel zal verzanden/dichtsterven door wind en/of water. De spontane opening uit 1994 bij km21.4 is inmiddels door aanstuiving opgehoogd tot circa 7m NAP.

De morfologische haalbaarheid van het plan, en de ecologische consequenties van plan en alternatieven, is onderzocht. Na uitvoering van het plan zal een sluffer of wash-over ontstaan, maar deze is niet duurzaam. Een klein gebied zal slechts enkele malen per jaar overstroomd, en de overstroomde zone zal zich waarschijnlijk niet uitstrekken tot de westelijke vallei zelf. Deze zal slechts incidenteel vol stromen, waarbij gelijk het gehele oppervlak onder water komt te staan. Gezien de grote mate van aanzanding in het gebied is de verwachting dat een inlaat snel zal ophogen, waardoor instroming in de loop van de tijd steeds onwaarschijnlijker wordt. Bijkomend zijn er bij dit ontwerp teveel negatieve effecten: aanleg van grote gronddepots in de zeereep waardoor de fraaie ontwikkelingen (beginnende doorstuiving) wordt verstoord, steile gradiënten in de vallei, een lange aanvoerweg van 800 meter, en een 'badkuip'-effect waardoor bij instroming een grote hoeveelheid water in het laagste deel van de vallei zal achterblijven, vanwege de lagere ligging achter een omvangrijke drempel. Bij indampen kunnen hierdoor zeer hoge zoutconcentraties ontstaan.

De effecten van uitschuring door instromen bij een extreem hoge waterstand zijn moeilijk kwantificeerbaar zowel qua proces als qua timing. Het is vooraf niet te voorspellen wanneer een storm zich voordoet. Het is onwaarschijnlijk dat erosie (langs de wanden optredend bij volstromen, op het strand bij het weer leegstromen van de vallei) en aanstuiving in balans zullen zijn. Op basis van de groei van de duinen in de periode 1994-2004 (3.5m zand/10 jaar) is de verwachting dat tenminste 35 cm per jaar ophoging mag worden verwacht, waarschijnlijk meer, waardoor op korte termijn na aanleg van de inlaat de potentie voor overstrooming al af zal gaan nemen. Voor het open houden van de inlaat zal dan ook 1 of 2 keer per jaar onderhoud nodig zijn. Een dergelijke mate van (machinaal) onderhoud valt voor een natuurontwikkelings-project waarbij gestreefd wordt naar herstel van natuurlijke processen en gradiënten niet te verantwoorden.

Bij een doorgegraven opening bij 21.4 is de te verwachten ontwikkeling een kort durende ontwikkeling van een zoet-zoutovergang achter een doorbraak die snel zal verzanden. Vanwege het afplaggen van de vallei zal de successie opnieuw beginnen, en ontstaat er een belangrijke impuls voor het ontstaan van duinvalleivegetaties met hoge natuurwaarden. Na het verwachte verzanden van de inlaat zal de vallei zich verder als zoete duinvallei ontwikkelen, wat op zich ook een waardevolle situatie oplevert, maar wat een zo grote ingreep in de zeereep niet rechtvaardigt.

Als alternatief wordt gedacht aan het stimuleren van instroming via Hon, aan de oostkant van het eiland. Hier bestaat op dit moment een redelijk ontwikkelde zoet-zoutgradiënt, en die kan iets worden uitgebreid. Vooral het aanpassen van het fietspad zal de ruimte voor de zoet-zout ontwikkeling vergroten. Door afplaggen zal hier en daar vanuit een verruigde situatie een nieuwe pioniersituatie ontstaan, en zal de doorstroming richting de westelijke vallei worden vergemakkelijkt. Het is echter niet waarschijnlijk dat hierdoor een

regelmatige overstroming van deze vallei zal plaatsvinden. Een incidentele instroming met zoutwater geeft echter ook een gevarieerdere vochtige valleivegetatie en heeft daardoor ook een waardevol effect. Het effect van zo een instroming blijft circa 10-20 jaar zichtbaar. Een incidentele instroming met een herhalingsstijd van circa 10 jaar leidt daardoor ook tot een waardevolle situatie. Bij instroming met zo een lage herhalingsstijd speelt indamping geen rol.

Een tweede alternatief is instroming in de vallei via een inlaat in de Kooioerdstuifdijk aan de zuidkant van de vallei. Door afplaggen zal de vegetatiesuccessie opnieuw beginnen. Er zijn nog verschillende vlakken aanwezig met hoge natuurwaarden. Door het creëren van een inlaat voor zoutwater ontstaat een ruime zoet-zoutgradiënt met een duidelijke gradatie in overstroming van west naar oost, en hoge overstromingsfrequentie met zout water. Deze situatie zal zich tot zeer waardevol kunnen ontwikkelen. Dergelijke situaties staan in Nederland zwaar onder druk en zijn zeldzaam. Alleen bij dit alternatief wordt het negatief beoordeelde 'badkuip-effect' voorkomen.

Zowel bij instroming vanaf de Hon als vanaf de Kooioerdstuifdijk ontstaat een ruime gradiënt met frequent en incidenteel overstromde oppervlakken. Voor wat betreft de westelijke vallei geeft het alternatief van een inlaat bij de Kooioerdstuifdijk de beste gradiënt, met een klein oppervlak met zeer regelmatige overstroming (enkele tientallen malen per jaar) tot een oppervlak met zeer incidentele overstroming. Een enkele keer zou zelfs zoutinvloed in een aangrenzende vallei, die via een laagte in verbinding staat met de westelijke vallei, kunnen voorkomen. Er bestaat een zone waar stroming vanaf de Hon en vanuit de Kooioerdstuifdijk zich bij hoge waterstand elkaar zullen ontmoeten. De verwachting is dat dit circa 1 keer per jaar zal optreden.

Als derde alternatief wordt gedacht aan een combinatie van instroming via de Hon en via de Kooioerdstuifdijk. Een combinatie levert een som van beide alternatieven. Het is niet te verwachten dat in dit geval het totaal meer is dan de som der delen. Wel kan gesteld worden dat door een combinatie van beide alternatieven de potenties van het gebied voor ontwikkeling van een zoet-zout gradiënt optimaal worden benut, zonder dat hier vreselijk grote ingrepen voor nodig zijn.

Aanbevolen wordt na afplaggen het vrijkomende materiaal te verwerken in de Kooioerdstuifdijk, en niet in de zee. In de stuifdijk bevinden zich voldoende laagtes om het zand in te passen, zonder dat dit landschappelijk tot grote verstoringen leidt. Bij het afplaggen zou vermeden moeten worden dat waardevolle vegetaties worden verwijderd. Het afplaggen zou door een deskundige begeleid moeten worden.

Tot slot wordt aanbevolen een onderzoek uit te voeren naar de relevante abiotische parameters bij zoet-zoutovergangen. Dit onderzoek kan ons inzicht verschaffen in het functioneren van zoet-zoutovergangen en aanbevelingen opleveren voor toekomstige projecten voor herstel of aanleg van zoet-zoutgradiënten.



## INHOUD

VOORWOORD	III
SAMENVATTING	V
INHOUD	VII
1 INLEIDING	1
1.1 Doelstelling van het project	1
1.2 Vraagstelling van het onderzoek	2
2 HET HUIDIGE ONTWERP	3
2.1 Gebruikte gegevens	3
2.1.1 Wind en getij	3
2.1.2 Grondwater	4
2.1.3 Bodem	4
2.1.4 Luchtfoto's	6
2.1.5 Hoogte-informatie: AHN en Jarkus	6
2.1.6 Vegetatie	7
2.2 Analyse	7
2.2.1 Bewerking AHN; gradiënten, overschrijdingskansen, komberging	9
2.2.2 Bewerking JARKUS-bestanden; aanstuiving	12
2.2.3 Stabiliteit opening en benodigd onderhoud	16
2.2.4 Nadelen huidig ontwerp	18
3 ALTERNATIEVE ONTWERPEN	19
3.1 Instroming via de Hon	19
3.1.1 Analyse van alternatief	19
3.1.2 Voordelen t.o.v. huidige ontwerp	21
3.1.3 Nadelen t.o.v. huidige ontwerp	21
3.2 Instroming via de Kooioerdstuifdijk	21
3.2.1 Analyse van alternatief	21
3.2.2 Voordelen t.o.v. huidige ontwerp	22
3.2.3 Nadelen t.o.v. huidige ontwerp	23
3.3 Combinatie van instroming via de Hon en via de Kooioerdstuifdijk	23
3.3.1 Analyse van alternatief	23
3.3.2 Voordelen t.o.v. huidige ontwerp	23
3.3.3 Nadelen t.o.v. huidige ontwerp	24
4 ANALYSE VAN SITUATIES ELDERS	25
4.1 Kentallen sluffers en sluffer-achtige situaties	25
4.2 Kerf bij Schoorl	26
4.3 Slufter Texel	27
4.4 Kroon's polders Vlieland	28
4.5 Noordvaarder / Groene strand Terschelling	29
5 CONCLUSIES	31
5.1 Te verwachten natuurontwikkeling bij huidig ontwerp	32
5.2 Te verwachten natuurontwikkeling bij instroming via Hon	33
5.3 Te verwachten natuurontwikkeling bij instroming via Kooioerdstuifdijk	33
5.4 Te verwachten natuurontwikkeling bij instroming via Hon én Kooioerdstuifdijk	33
6 AANBEVELINGEN	35
6.1 Advies natuurontwikkeling Ameland	35

6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek	37
7 LITERATUUR	39
LIJST MET FIGUREN	41
LIJST MET TABELLEN	41
BIJLAGE 1. ELECTRISCHE GELEIDBAARHEID VAN OPPERVLAKTEWATER NA INSTROMING	43

## 1 INLEIDING

Zoet-zoutgradiënten staan onder druk. Het programma Herstel en Inrichting Rijkswateren (H&I) van Rijkswaterstaat heeft onder andere tot doel zoet-zoutovergangen te herstellen (zie bijvoorbeeld Esselink et al., 2003 en de Leeuw & Meijer, 2003). Het stimuleren van slufteer- of wash-overontwikkeling op daarvoor geschikte plaatsen kan hieraan een bijdrage leveren.

Slufteren zijn bij uitstek dynamische landschappen op de grens van land en zee (Arens & van der Meulen, 1990). De term is een toponiem, afkomstig van De Slufter op Texel. Tegenwoordig wordt de term slufteer gebruikt voor een opening tussen duinen, waardoor zee en achter de duinen liggende laagtes met elkaar in verbinding staan. Door Arens & van der Meulen werd een onderscheid gemaakt tussen slufteer aan een afslagkust, en slufteer aan een aangroei-kust. Het verschil zit vooral in de overstromingsfrequentie. Aan een afslagkust kunnen slufteer dagelijks overstromen, doordat bij ieder getij de laagte via de geul onderstroomt. Aan een aangroei-kust is de hoogteligging van de opening zo hoog, dat de zee deze alleen bij stormvloed kan passeren. De achterliggende laagtes stromen slechts enkele malen per jaar onder. Behalve de overstromingsfrequentie is ook het lokale reliëf van belang. In nauwe valleien, met een steil reliëf liggen de zones met verschillende overstromingsfrequentie dicht op elkaar, en zijn de gradiënten dus kort. De verschillen tussen stormvloed met verschillende hoogte zijn klein. In uitgestrekte valleien zijn deze gradiënten veel langer. Hoe langer de gradiënt, hoe groter over het algemeen de ecologische waarde is. Een ander effect is dat bij nauwe valleien de komberging gering is, en de hoeveelheid water die de opening moet passeren om de vallei te vullen beperkt is, waardoor de grootte van de opening ook beperkt blijft. Gevaar voor dichtstuiven, zoals bij de Kerf bij Schoorl dreigt (zie Arens, 2003a en b) is dan reëel.

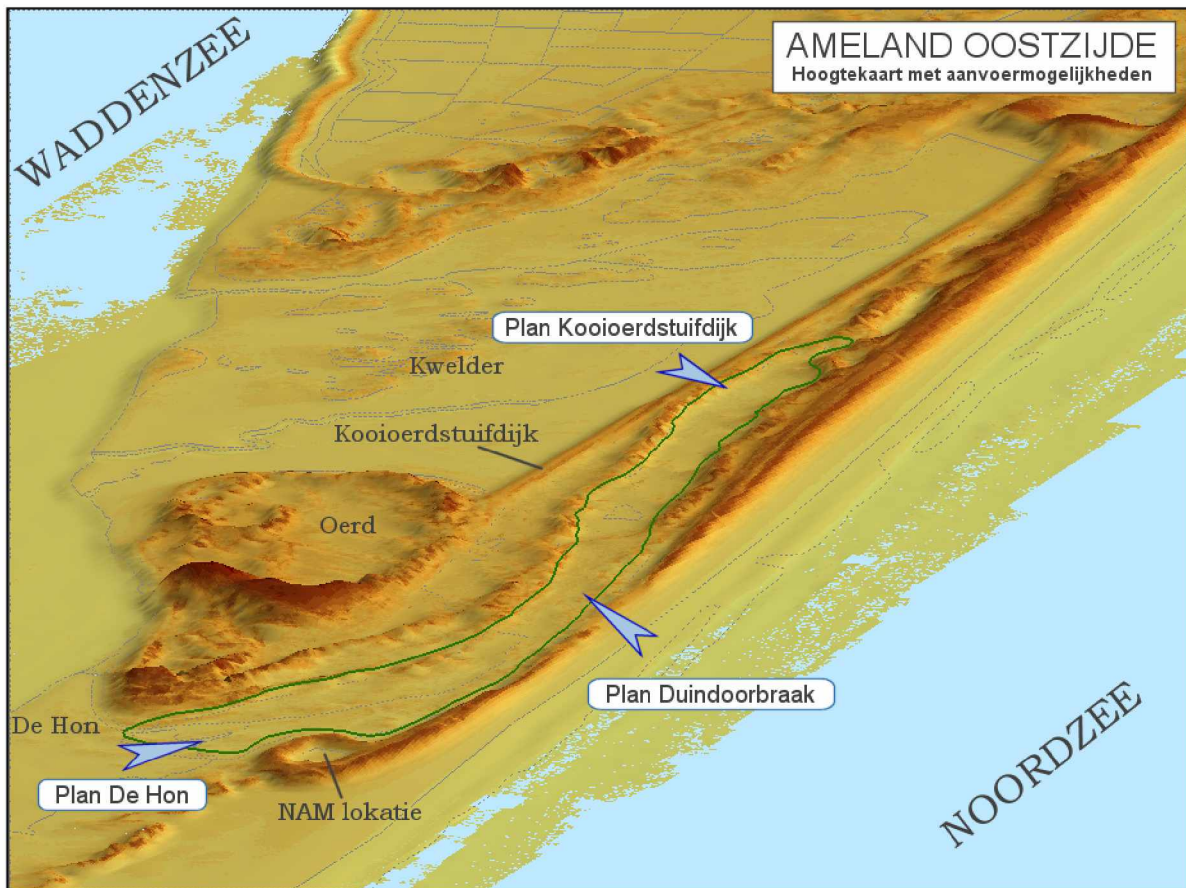
'Wash-over' is eigenlijk een overkoepelende geomorfologische term, die ook slufteer omvat. Letterlijk zijn het overspoelingsafzettingen door stormvloed, die zowel via geulen of doorbraken, als via golfoverslag over hogere duinen kunnen ontstaan (Carter, 1988). Omdat langs de Hollandse kust de zeereep over het algemeen hoog is, zijn wash-overs daar zeldzaam. Op de Waddeneilanden komen ze meer voor, vooral op die plaatsen waar de duinenrij niet volledig is, dus aan de oostkanten van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog en op Rottum.

Zowel bij slufteer als bij wash-overs ontstaan zoet-zoutgradiënten. In Fryske Gea heeft aangegeven ecologische meerwaarde te zien in de ontwikkeling van een zoet-zoutgradiënt in het duingebied ten noorden van de Kooierdstuifdijk op Ameland. Inmiddels is een bestek opgesteld, dat voorziet in het uitdiepen van de opening in de stuifdijk bij km 21.4, het afgraven van een duinrug en het afplaggen van een langgerekte vallei (zie Figuur 1.1 voor locatie). De plannen zijn om deze maatregel dit jaar reeds uit te voeren.

De kans bestaat echter dat een opening na de ingreep niet stabiel is, en weer snel zal verzanden/dichtstuiven door wind en/of water. De spontane opening uit 1994 bij km 21.4 is inmiddels door aanstuiving opgehoogd tot circa 7m NAP. Dit vraagt om een morfologische studie over de plek en vorm van de openingen in de duinen, en de vooruitzichten van deze ingreep op de langere termijn. Ook alternatieven met waterinstroming vanuit het zuiden (kwelderkant) of het oosten (Hon) dienen te worden onderzocht.

### 1.1 Doelstelling van het project

Komen tot een duurzame en ecologisch waardevolle slufteer/wash-over in het duingebied ten noorden van de Kooierdstuifdijk op Ameland.



Figuur 1.1. Overzicht van planlocatie voor duindoorkraak en mogelijke varianten (bron: RWS)

## 1.2 Vraagstelling van het onderzoek

Antwoord moet worden gegeven op de volgende vragen:

- A) Zal bij de uitvoering van het huidige ontwerp een sluffer of een wash-over ontstaan? Hoe gaat die eruit zien (omvang e.d.)?
- B) Blijft de sluffer/wash-over na aanleg langdurig in stand, wat is naar verwachting de periode waarna weer opnieuw moet worden ingegrepen? Hierbij bezien zowel vanuit economisch perspectief als functioneel/ecologisch perspectief. Bij deze vraag ook de afname van de overstromingsfrequentie in de tijd (indien dichtstuiwen van de opening of drempelvorming door instromend water optreedt) weergeven.
- C) Hoe groot is de inspanning die nodig is om een open sluffer in stand te houden (volumes zand, indicatie van de kosten)?
- D) Kan het huidige ontwerp worden verbeterd (andere locatie, uitbreiding locaties, dimensionering opening)?
- E) Onderzoek alternatieve oplossingen vanaf de wadzijde via De Hon of Nieuwlandsreid voor het vergroten van de zee-invloed in de duinvallei.
- F) Werk deze alternatieve oplossingen uit met betrekking tot de voorgenoemde vragen B) en C).
- G) Geef bij alle varianten tenminste een indicatie van het door zout water beïnvloed gebied, rekening houdend met wegzijging en stromingsweerstand. Maak hierbij onderscheid tussen een eenmalige inundatie en enkele kort opeenvolgende inundaties.

De vragen zullen beantwoord worden door gebruik te maken van bestaande gegevens, en enige lokaal verkregen veldgegevens. Daarnaast zal op grond van bestaande expertise een globale vergelijking worden gemaakt met bestaande 'sluffer-achtige' situaties.

## 2 HET HUIDIGE ONTWERP

### 2.1 Gebruikte gegevens

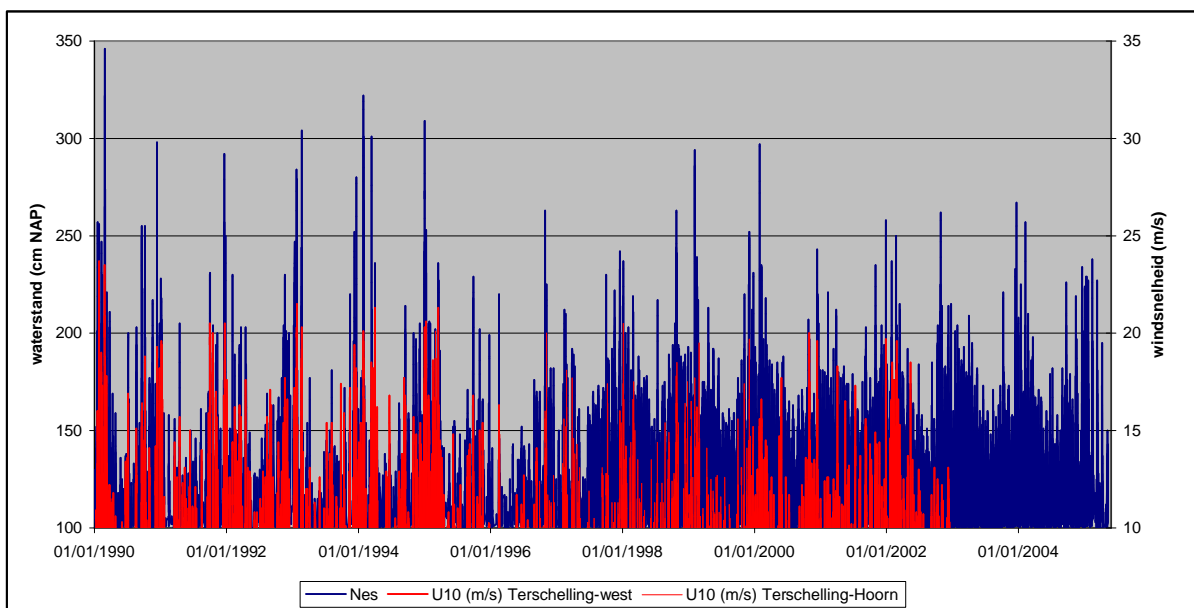
Via verschillende bronnen zijn gegevens verzameld. Hieronder volgt een overzicht van gegevens die voor het onderzoek gebruikt zijn, met een aantal voorbeelden. De daadwerkelijke analyse met betrekking tot het project 'Natuurontwikkeling Ameland' vindt in het volgende hoofdstuk plaats. Alle gegevens zijn (voor zover relevant) ingevoerd in ArcGis.

#### 2.1.1 Wind en getij

Windgegevens zijn afkomstig van de site van het KNMI ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)). Voor dit onderzoek zijn de dichtstbijzijnde windmetingen beschikbaar van Terschelling, van 2 locaties: west tot 1996, Hoorn sinds 1994.

Waterstandgegevens zijn beschikbaar via [www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl). Deze site is echter voor lange meetreeksen niet optimaal. Waterstanden sinds 1990 van Nes en Wieringergronden zijn geleverd door K. Doekes van het RIKZ.

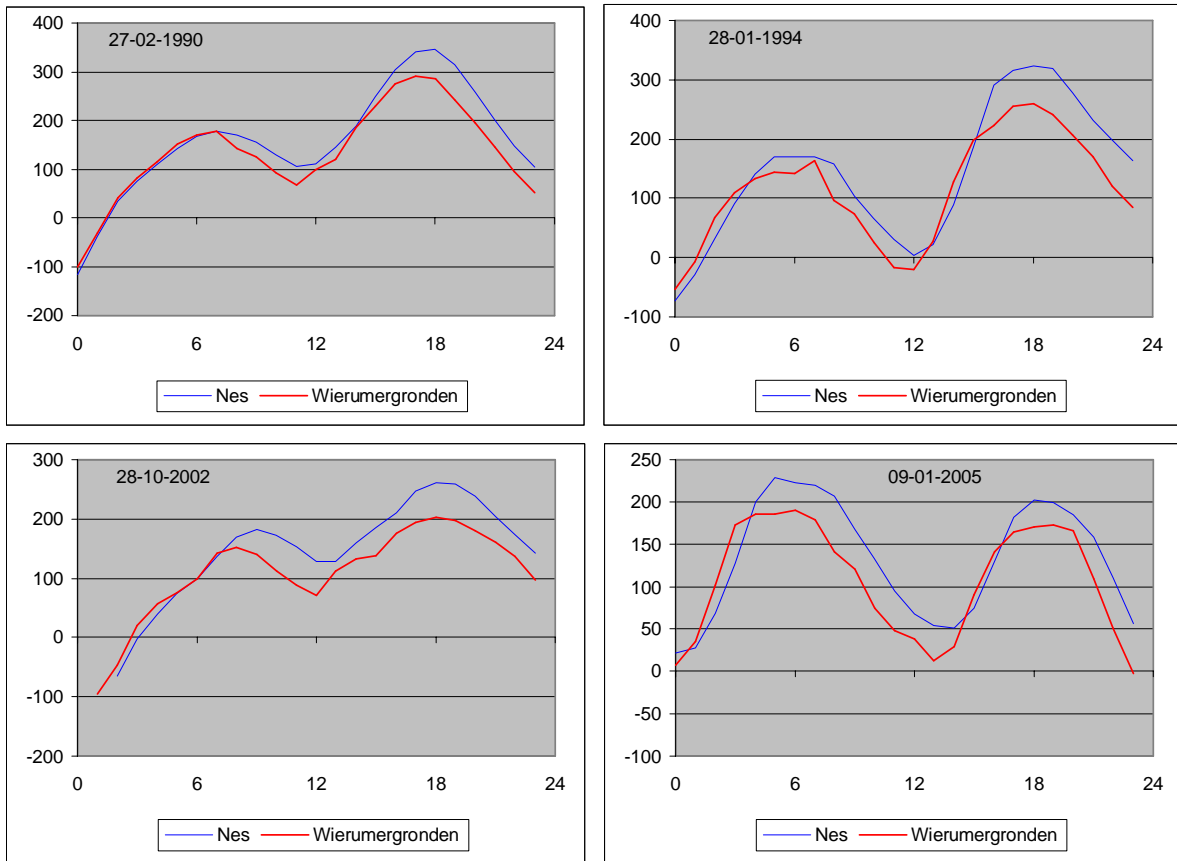
In Figuur 2.1 zijn waterstand- en windgegevens sinds 1990 weergegeven. De pieken geven een duidelijk beeld van de overschrijdingen van verschillende hoogtes. Ook blijkt duidelijk uit de grafiek dat hoge waterstanden samengaan met hoge windsnelheden.



Figuur 2.1. Waterstand bij Nes (linker-as) en windsnelheid Terschelling (rechter-as)

In Figuur 2.2 zijn voor vier stormen de waterstanden bij Nes en Wierumergronden weergegeven. De waterstand bij Nes is, vooral bij hoogwater circa 30-50cm hoger dan bij Wierumergronden. Het getij bij Nes loopt iets achter bij dat van Wierumergronden.

Sinds 1990 zijn er 510 uren geregistreerd waarbij de waterstand bij Nes hoger is dan 2.0m NAP. Tabel 2.1 geeft de gemiddelde overschrijdingskans voor een waterstand, en het aantal vloed met een overschrijding sinds 1990. De overschrijdingen sinds 1990 en de statistische overschrijding zijn goed met elkaar in overeenstemming.



Figuur 2.2. Waterstand bij Nes en Wierumergronden voor een aantal stormen. De tijd is in uren vanaf voorgaand laagwater.

Tabel 2.1. Overschrijdingswaarden in cm t.o.v. NAP Nes Ameland. Bron: getijtafels voor Nederland 2004 en [www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl)

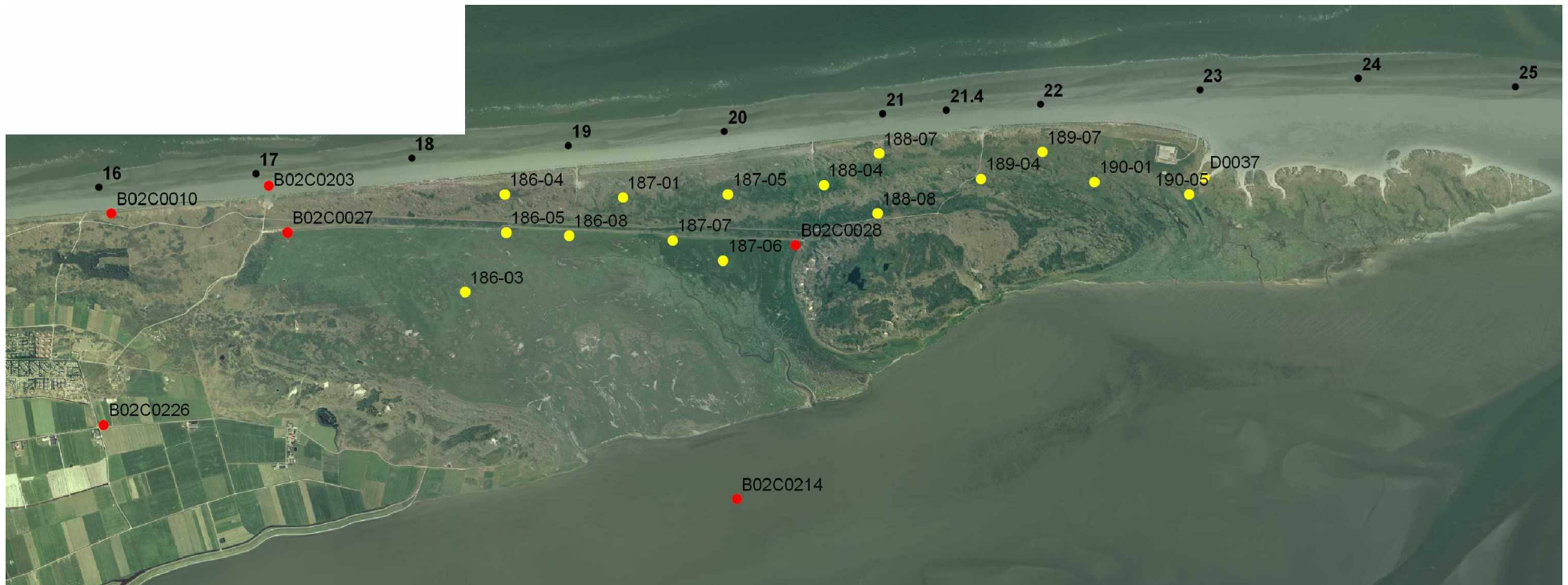
Overschrijdingsfrequentie/jaar	Hoogte (cm NAP)	Aantal vloedensinds 1990	Overschrijdingen per jaar
365	104	4727	326.0
75.6	150	1585	106
13.2	200	196	13.1
4.6	230	72	4.8
1.9	255	29	1.9
1.0	275	15	1.0
0.5	290	11	0.7
0.2	315	3	0.2
Hoogst bekende waterstand	356		

### 2.1.2 Grondwater

Gegevens zijn verstrekt door Daniel van Buren (Provincie Fryslan), Johan Krol (Natuurcentrum Ameland) en via het DINO-loket van TNO. De ligging van de meetpunten is weergegeven in Figuur 2.3.

### 2.1.3 Bodem

Gegevens zijn verstrekt via het DINO-loket van TNO. Er zijn boor-gegevens beschikbaar, met de bodemopbouw, waarbij kleur, textuur en kalkgehalte (in drie klassen: kalkloos,



Figuur 2.3. Overzicht van verschillende meetpunten. Rood: grondwaterbuizen; geel: boringen TNO; zwart: km-aanduiding Rijk Strand Palen.

kalkarm en kalkrijk) zijn weergegeven. Alleen de gegevens van boringen van 4m zijn verzameld. De ligging van de boorpunten is weergegeven in Figuur 2.3.

#### 2.1.4 Luchtfoto's

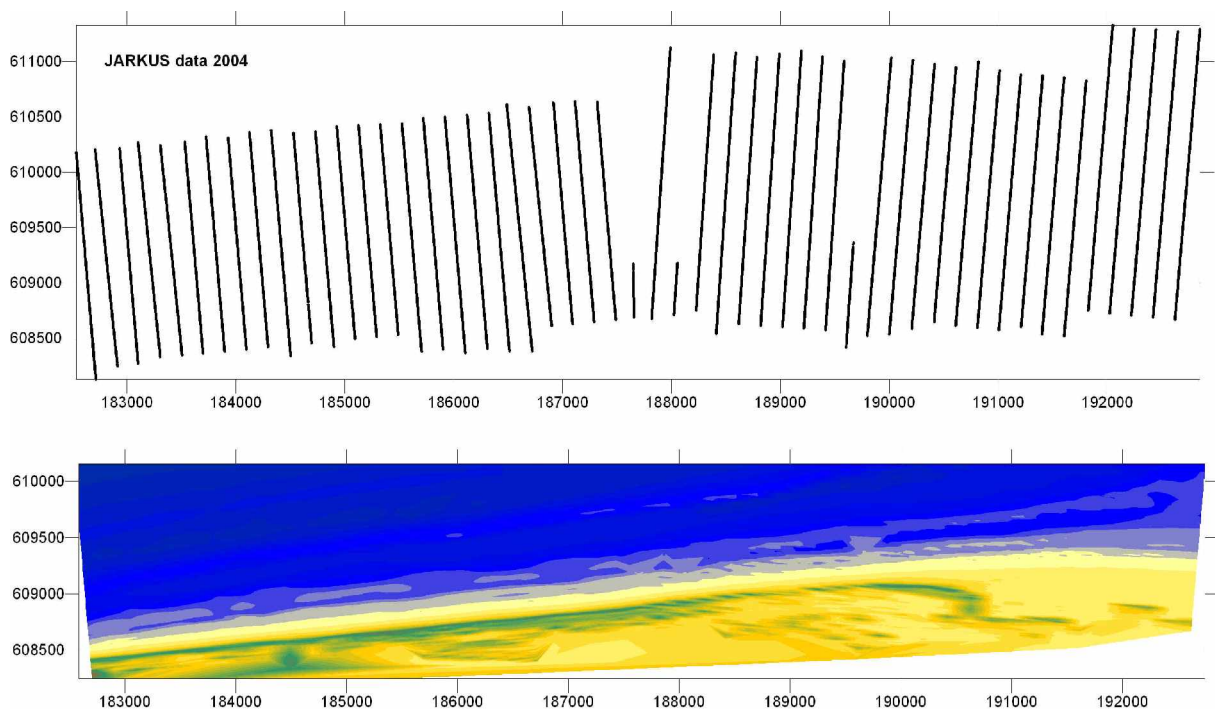
Full Colour luchtfoto's zijn in digitale vorm beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat Noord-Nederland. De foto's hebben een pixelgrootte van  $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ . Ze zijn niet in stereo beschikbaar, hoogte-informatie volgt uit het AHN. De foto's geven een uitstekend en gedetailleerd beeld van de terreinsituatie (zoals mate van begroeiing, overstuiving).

#### 2.1.5 Hoogte-informatie: AHN en Jarkus

Het AHN (vlakdekkende, digitale hoogte-informatie verkregen via laseraltimetrie) is beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat Noord-Nederland. Gegevens van 2000 zijn beschikbaar in een  $5 \times 5 \text{ m}^2$  grid, van 2004 in een  $2.5 \times 2.5 \text{ m}^2$  grid. De gegevens van 2004 en 2000 zijn van elkaar afgetrokken om een ruimtelijk overzicht van de hoogteveranderingen over deze periode te krijgen. Daaruit blijkt dat de nauwkeurigheid van de gegevens niet optimaal is (zie verder §2.2.2). Binnen verschillende zones binnen het gebied is vastgesteld wat de volumeveranderingen over de periode 2000-2004 zijn.

Jarkus-gegevens (hoogte-informatie in profielen) zijn beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat Noord-Nederland. Voor dit onderzoek zijn gegevens vanaf 1984 gebruikt. Jarkus-bestanden geven een goed beeld van de profielontwikkeling van profielen met een onderlinge afstand van 200m.

Met behulp van de Jarkus-gegevens zijn ook vlakdekkende kaarten gemaakt, door de profielgegevens te interpoleren. Binnen een profiel is de afstand tussen twee hoogtes steeds 5m, de onderlinge afstand tussen de profielen is 200m. Bekeken over het gehele



Figuur 2.4. Ligging van de punten in de Jarkus-profielen

gebied zijn de meetpunten dus niet homogeen verdeeld (Figuur 2.4). Wanneer met een standaardmanier geïnterpoleerd wordt, bijvoorbeeld Kriging of Nearest Neighbour, dan ontstaat een onjuist ruimtelijk beeld. De variatie in langsrichting is over het algemeen gering, omdat we met lineaire (kustlijn) structuren te maken hebben. Standaard wordt bij



interpolatie methoden een hoog gewicht gegeven aan de dichtbij zijnde punten. Langs het strand is de hoogte 200m verderop in langsrichting echter vergelijkbaar, en in dwarsrichting juist niet. Daarom is gekozen voor een triangulatie methode, waarbij tussen de profielen onderling lineair is geïnterpoleerd (Triangulation with linear interpolation). Hierbij is rekening gehouden met anisotropie: de oriëntatie van de kustlijn is niet exact van west naar oost, maar iets naar het noorden toe (expositie 356°). Op deze manier zijn vlakdekkende verschilkaarten gemaakt voor perioden van 5 jaar, vanaf 1984. Gezien de inhomogeniteit in de punten zal de nauwkeurigheid van deze kaarten geringer zijn dan die van het AHN. Om enige indruk te krijgen van de nauwkeurigheid is een verschilkaart gemaakt voor de periode 2000-2004, om rechtstreekse vergelijking met de resultaten van AHN mogelijk te maken (zie hieronder).

### 2.1.6 Vegetatie

Tijdens het veldbezoek is een goede indruk verkregen van de vegetatie in de valleien in het gebied.

#### *Vallei ten noorden van de Zoute Weide tussen paal 19 en 20.5.*

De vallei is momenteel grotendeels begroeid met soortenarm Grauwe wilgenstruweel, Duindoornstruweel en Duinrietvegetaties. Het gaat om rompgemeenschappen van het Verbond der Wilgenbroekstruwelen (*Salicion cinereae*), het Duindoorn-Vlierstruweel (*Hippophae-Sambucetum*) en het Knobbies-verbond (*Caricion davallianae*). Met name deze vegetaties komen in aanmerking voor klepelen en afplaggen, waarna een gevarieerde vegetatie-ontwikkeling verwacht mag worden.

Plaatselijk vinden we beter ontwikkelde vegetaties die tot het Knobbies-verbond gerekend kunnen worden, met soorten als Tweerijige zegge, Duinrus, Zeegroene zegge en Vleeskleurige orchis. Dit zijn waardevolle vegetaties, die zich binnen de toekomstige zout-zoet gradiënt, verder kunnen ontwikkelen. Deze vegetaties moeten niet worden afgeplagd.

#### *Onvolledig afgesnoerde strandvlakte noordelijk van het Oerd tussen paal 20.5 en 23.*

Hier bevindt zich een zoet-zout gradiënt, die echter onder invloed van successie en bodemdaling verruigd is. De vegetatie bestaat deels uit verruigd en grotendeels afgestorven duindoornstruweel en uit soortenarme duinrietvelden. Het gaat om rompgemeenschappen van het Duindoorn-Vlierstruweel (*Hippophae-Sambucetum*) en het Knobbies-verbond (*Caricion davallianae*). Ook deze vegetaties kunnen geklepeld en geplagd worden.

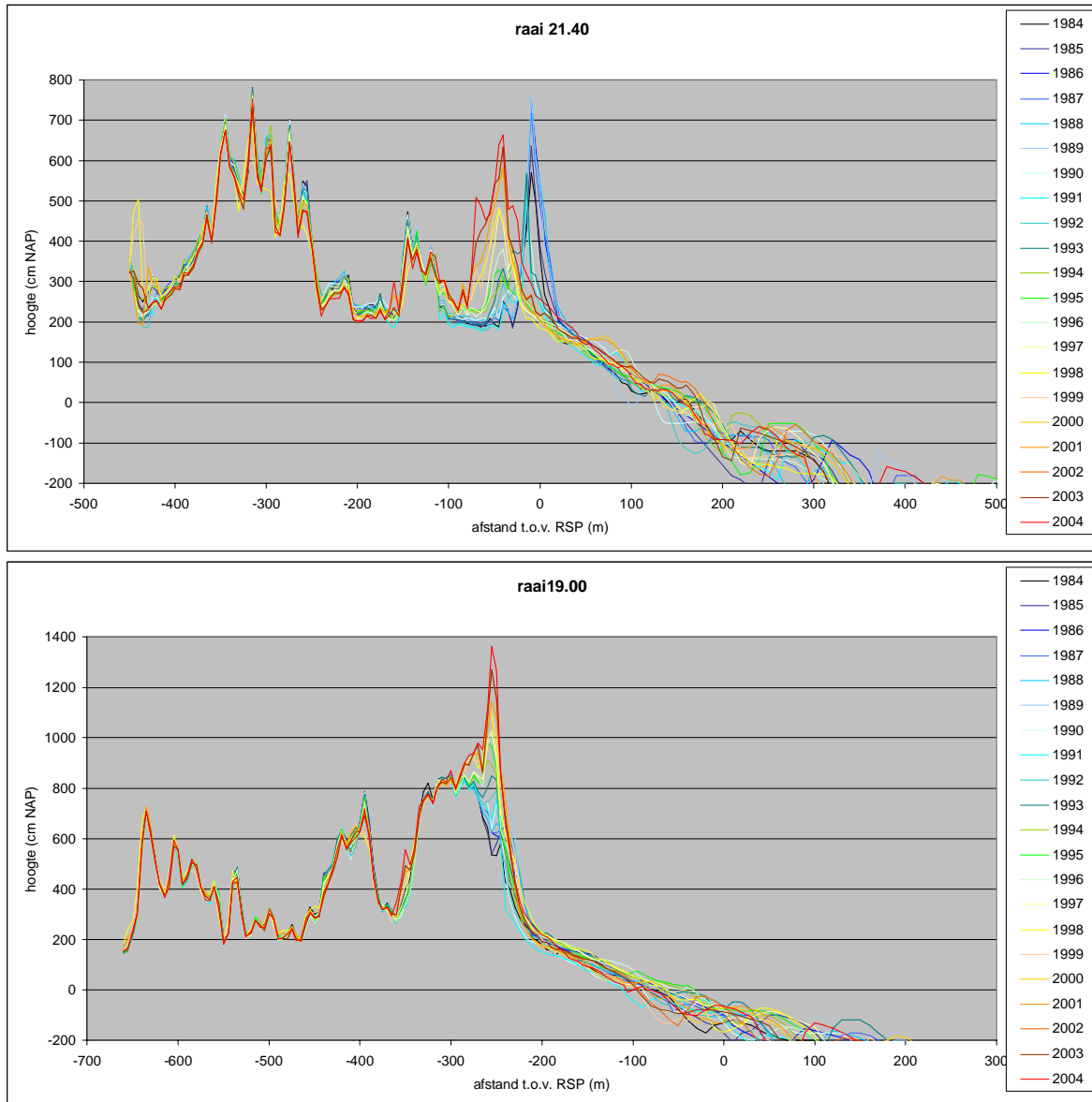
De verruigde vegetaties worden in een mozaïekpatroon afgewisseld met vegetaties, die we kunnen rekenen tot het Verbond van Engels gras (*Armerion maritimae*) en plaatselijk ook tot het Knobbies-verbond (*Caricion davallianae*). Hier groeien soorten als Zilte rus, Knobbies, Engels gras, Melkkruid, Aardbeiklaver, Parnassia, Geelhartje en Rode ogentroost. Deze zeer waardevolle vegetaties met verschillende Rode lijstsoorten moeten niet worden afgeplagd.

## 2.2 Analyse

Voor in detail op de analyse in te gaan is het nuttig enig inzicht in de lokale situatie te verkrijgen. De vallei tussen zeereep en Kooioerdstuifdijk is onderdeel van een voormalige afgesnoerde strandvlakte. De afsnoering is geholpen door de mens: de zeereep is ooit als stuifdijk aangelegd. De zeereep stuift sterk aan, maar er zijn fasen geweest met afbraak.

Op 28 januari 1994 is tijdens een westnoordwesterstorm ter hoogte van paal 21.4 een gat in de zeereep geslagen. De ontwikkeling van de hoogte van het profiel bij 21.40 is weergegeven in Figuur 2.5. De minimale hoogte van het gat was 3.6m NAP, gemeten in voorjaar of zomer 1994. Waarschijnlijk was deze hoogte net na de storm lager, maar er is

geen doorbraak geweest in de zin dat de achterliggende vallei is volgestroomd. Alleen door golfoploop is er enig water in de vallei gestroomd. Op 13 maart 1994 is er een storm geweest met getij tot 3.01m NAP. Daarna is er op 01-01-1995 nog een hoogwater tot 3.09m NAP geweest. Vervolgens heeft het tot 05-02-1999 geduurd tot er weer een hoogwater was met een waterstand boven 2.5m NAP. De potentiële instroming door het gat was na het ontstaan dus niet optimaal, wat verklaart waarom het inmiddels geheel is dichtgestoven. De zeereep ter plaatse heeft nu een hoogte van bijna 7m NAP, en ligt enkele tientallen meters landwaarts ten opzichte van de positie in 1994.



Figuur 2.5. Profielontwikkeling tussen 1984 en 2004 bij 21.4 en 19.0

In Tabel 2.2 is voor beide profielen de volumeverandering voor een aantal perioden bepaald. Duidelijk is dat voor de periode 2000-2004 de zeereep sterk aanstuift.

Tabel 2.2. Volumeverandering voor raaien 19.00 en 21.40

	1984-1999	1999-2000	1999-2004	2000-2004
19.00	10.3	-7.2	10.2	14.5
21.40	3.1	21.8	19.5	18.9

De bodem in de vallei is overwegend kalkarm, met, volgens bestaande boorgegevens van TNO vaak op 2-4m een overgang naar kalkrijk zand (% onbekend). Alleen het meest westelijk punt op de kwelder, punt 186-003, is binnen 10cm kalkrijk. Het meest oostelijke punt D0037, bij de wash-overgeul bij paal 23, is diep ontkalkt. Er zijn nog twee punten met een ontkalkte bovenlaag (resp. 0.2m bij punt 186-08, direct ten zuiden van de Kooioerdstuifdijk en 1.3 m bij punt 188-08, direct ten noorden van het Oerderduin). Uit veldmetingen is gebleken dat vrijwel overal de bovenlaag tot circa 20-25cm ontkalkt is. Daaronder bevindt zich kalkhoudend moedermateriaal, met een kalkgehalte van circa 1%. Op dit moment vindt er enige overstuiving van de vallei vanuit de zeereep plaats met kalkhoudend zand, maar dit is (nog) beperkt.

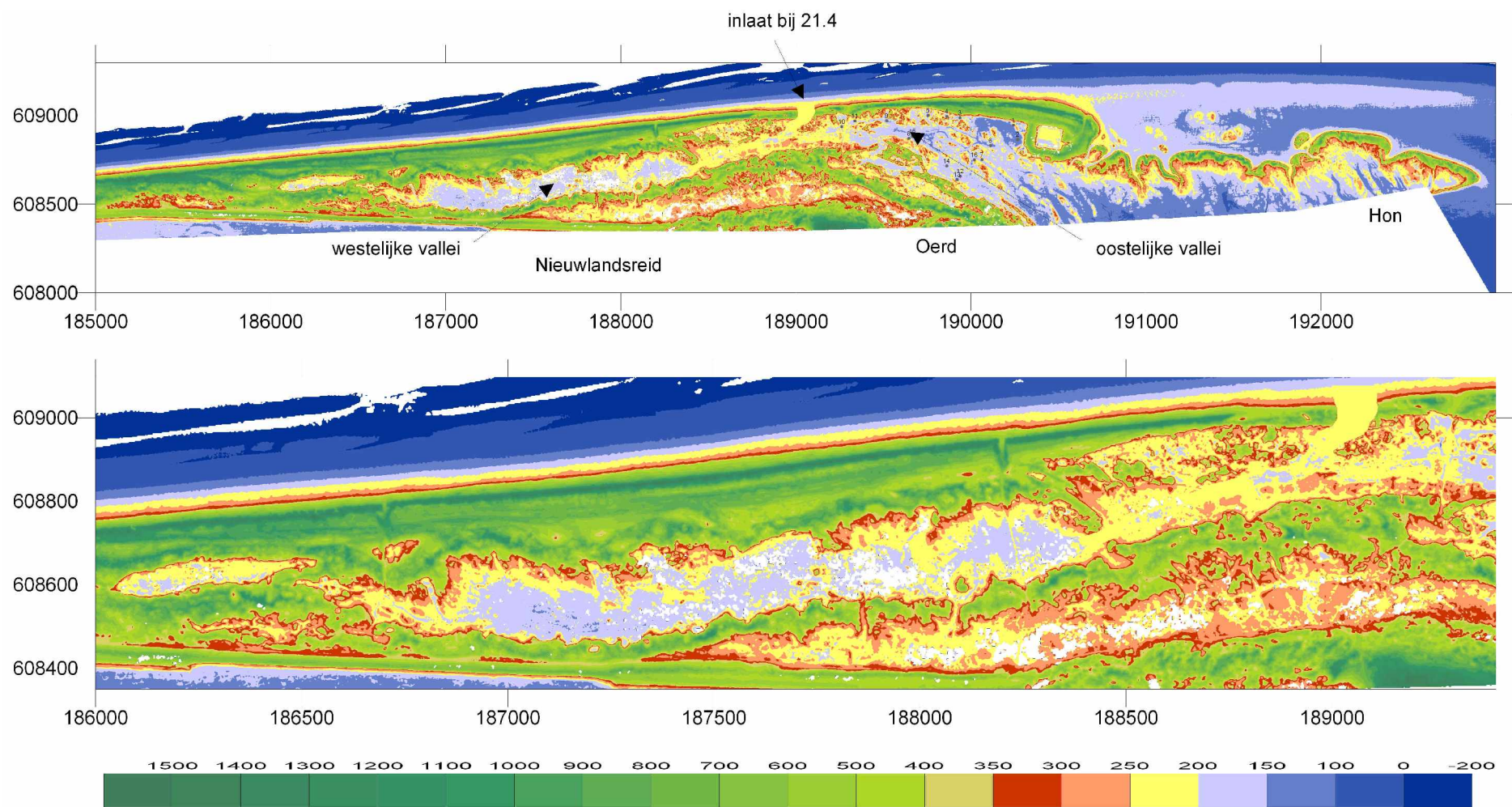
### *2.2.1 Bewerking AHN; gradiënten, overschrijdingskansen, komberging*

Er is een relatie tussen de komberging van een gebied en de grootte van de geulen. Het dwarsprofiel van de geulen past zich aan aan de hoeveelheid water die er doorheen moet stromen, het getijvolume. Het getijvolume wordt bepaald door het getijverschil en de komberging, die weer bepaald wordt door de hoogteligging van een gebied. Ligt de hoogteligging boven 0m NAP, dan zal alleen boven halftij water naar binnen stromen. Ligt het gebied boven gemiddeld hoogwater, dan zal er alleen met stormvloeden water naar binnen stromen. Voor de duurzaamheid van de instroomgeul is de hoeveelheid water die er doorheen moet, en dus de komberging van het achterliggende gebied van belang. De komberging kan in de loop van de tijd afnemen door sedimentatie, waardoor het niveauverschil tussen laag- en hoogwater afneemt. De grootte van de geulen zal zich daaraan aanpassen.

Figuur 2.6 toont de hoogteligging van de valleien, waarbij iedere zone (per 0.5m) met een aparte kleur is aangegeven, zodat de gradiënten in hoogteligging duidelijk zichtbaar worden. Met name het lichtblauwe en gele deel beslaat een flink oppervlak. Dit zijn de zones tussen 1.5 en 2.0m +NAP en tussen 2.0 en 2.5m +NAP. De zones daarboven beslaan in totaal wel een redelijk oppervlak, maar zijn zeer langgerekt en smal. Voor wat betreft de inundatiefrequentie is dit ongunstig. Bij hoge stormvloeden (boven 2.5-3m NAP) zal de vallei vol stromen, maar het totale overstromde oppervlak wordt nauwelijks bepaald door de hoogte van het getij. Er zal dus geen schakering zijn van uitgestrekte zones met hoge overstromingsfrequentie, naar uitgestrekte zones met lage overstromingsfrequentie. Ook door de relatief hoge ligging van de ingang en oostelijk deel van de vallei zal de schakering in overstromingsfrequentie in het lagere deel beperkt zijn. Het deel onder 2.0m NAP zal immers pas volstromen nadat deze eerste zone (dus rond 2.0m NAP) onder water staat.

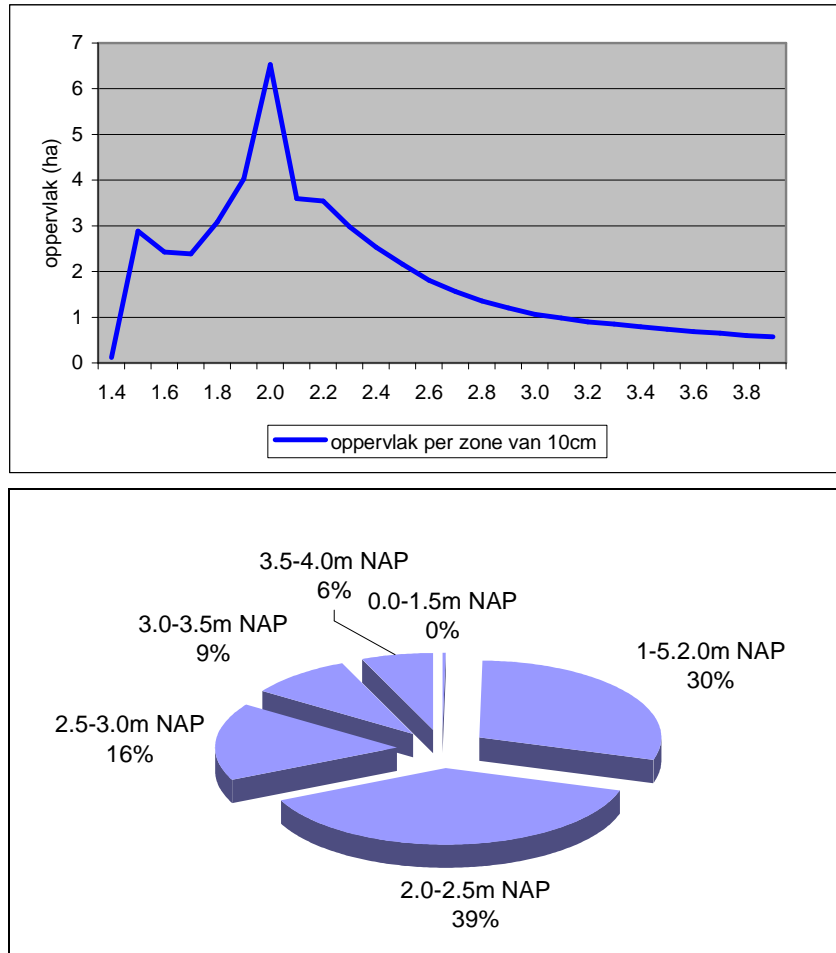
Voor het berekenen van de komberging is het lastig dat de westelijke vallei ook aan de oostkant open is. Er wordt vanuit gegaan dat bij opkomend tij deze kant vanuit het oosten overstromd, omdat het oostelijk deel lager ligt. Wanneer het tij boven 2.0m NAP komt zal de vallei zowel vanuit het oosten als vanuit de ingang vol gaan stromen. Het is dus niet waarschijnlijk dat al het water dat de vallei instroomt ook werkelijk door de (noordelijke) ingang naar binnen komt. Voor het berekenen van de komberging is het oppervlak van de vallei ten westen van de oostelijke grens van de inlaat meegerekend. Oppervlaktes en inhoud worden geïllustreerd door Figuur 2.7.

Met behulp van deze gegevens is ook het totale volume te berekenen dat bij een bepaalde waterstand (theoretisch) in de vallei zou kunnen stromen, en het oppervlak dat daarbij overstromd wordt (Figuur 2.8). Het uiteindelijke volume is afhankelijk van de instroomgeul die ontstaat. De blauwe lijn geeft het oppervlak van de vallei dat zou overstromen vanaf de Noordzeekant, waarbij het lager gelegen deel pas overstromd wanneer de waterstand boven 2m NAP stijgt. De rode lijn geeft het volume dat bij een waterstand >2m NAP in de vallei zou stromen. Als bijvoorbeeld de waterstand tot 2.5m NAP stijgt, dan zal de instroming over de gehele breedte van de aangelegde opening plaats

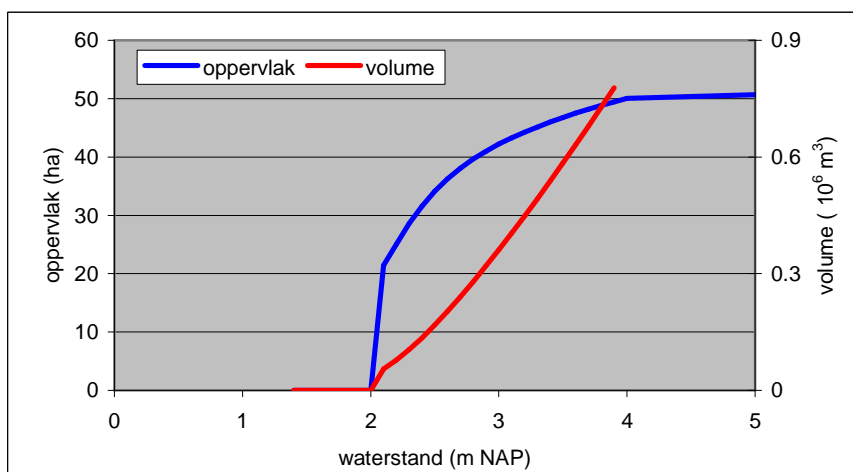


Figuur 2.6. Gradiënten in de vallei en overzicht van gebruikte aanduidingen. De hoogtes in de schaalbalk zijn in cm NAP.

vinden. Bij een stroomsnelheid van 0.5 m/s, een breedte van 100m en een diepte van 0.5m kan dan 25 m<sup>3</sup>/s naar binnen stromen. Wanneer een waterstand boven 2m NAP 1-2 uur aanhoudt, dan zou in totaal circa 130.000 m<sup>3</sup> naar binnen kunnen stromen. Volgens Figuur 2.8 is bij een waterstand van 2.5m NAP het maximale instroomvolume circa 165.000 m<sup>3</sup>, bij deze geulbreedte en stroomsnelheid stroomt de vallei dan niet maximaal vol.



Figuur 2.7. Oppervlak van de westelijke vallei voor zones met 0.1m hoogteverschil (boven) en 0.5m (onder)



Figuur 2.8. Potentiële instroming in de westelijke vallei en overstromd oppervlak voor verschillende waterstanden

Wanneer de waterstand stijgt van 2.0 naar 3.0m NAP, dan neemt het overstroomde oppervlak sterk toe. Stijgt de waterstand verder, dan is de toename in extra overstroomd oppervlak nog maar beperkt. Het water in de vallei wordt dan dieper, en de uitstroming bij het volgende lage tij wordt groter, waardoor de inlaat uit kan schuren. Ecologisch gezien heeft dit nauwelijks een meerwaarde. Bij wester- of noordwesterstorm zal het water nauwelijks of niet de vallei ingestuwd worden. Het is eerder te verwachten dat het water naar de oostkant van de vallei wordt gestuwd, wat wegstromen via de Hon zou bevorderen.

### 2.2.2 *Bewerking JARKUS-bestanden; aanstuiving*

In Figuur 2.9 is te zien dat de patronen in erosie en sedimentatie volgens beide methoden vergelijkbaar zijn. Overigens toont deze figuur ook duidelijk aan dat het AHN onnauwkeurigheden in de plaatsbepaling bevat. De stabiele duinen, aan de zuidkant van het gebied, zouden geen verschillen moeten tonen, maar doen dit wel. Patronen van sedimentatie en erosie langs de randen van stabiele eenheden doen vermoeden dat er sprake is van een XY-verschuiving. Uit de figuur blijkt dat het strand licht accumulatief tot licht erosief is, en de zeereep sterk accumulatief, en dat er in het gebied trends te zien zijn: de ontwikkeling is niet overal hetzelfde. Uit Figuur 2.10 blijkt dat de trends voor beide methoden goed vergelijkbaar zijn. Op het strand (tussen 0m en 2m NAP) is er sprake van stabiliteit tot lichte aanwas tussen paal 17.4 en 19.2, van erosie tussen paal 19.4 en 20.2 en van naar het oosten verder toenemende aanwas vanaf paal 20.4. In de zeereep (landwaarts vanaf 2m NAP) is overal sprake van flinke aanwas. De patronen zijn voor Jarkus en AHN goed vergelijkbaar. Nog duidelijker blijkt dit uit Figuur 2.11, waar de totale hoeveelheid positieve volumeverandering (de som van alle cellen waar het hoogteverschil positief is), negatieve volumeverandering (de som van alle cellen waar het hoogteverschil negatief is), en de netto verandering (positief en negatief samen) voor beide methoden tegen elkaar uitgezet is. De correlatie is goed, met een  $R^2$  van 0.79 voor de relatie tussen netto volumeverandering bepaald met Jarkus en bepaald met AHN. Wel is vooral voor de zeereep de aanwas zoals bepaald met Jarkus structureel kleiner dan die zoals bepaald met AHN (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Netto jaarlijkse aanwas per strekkende meter tussen 2000 en 2004

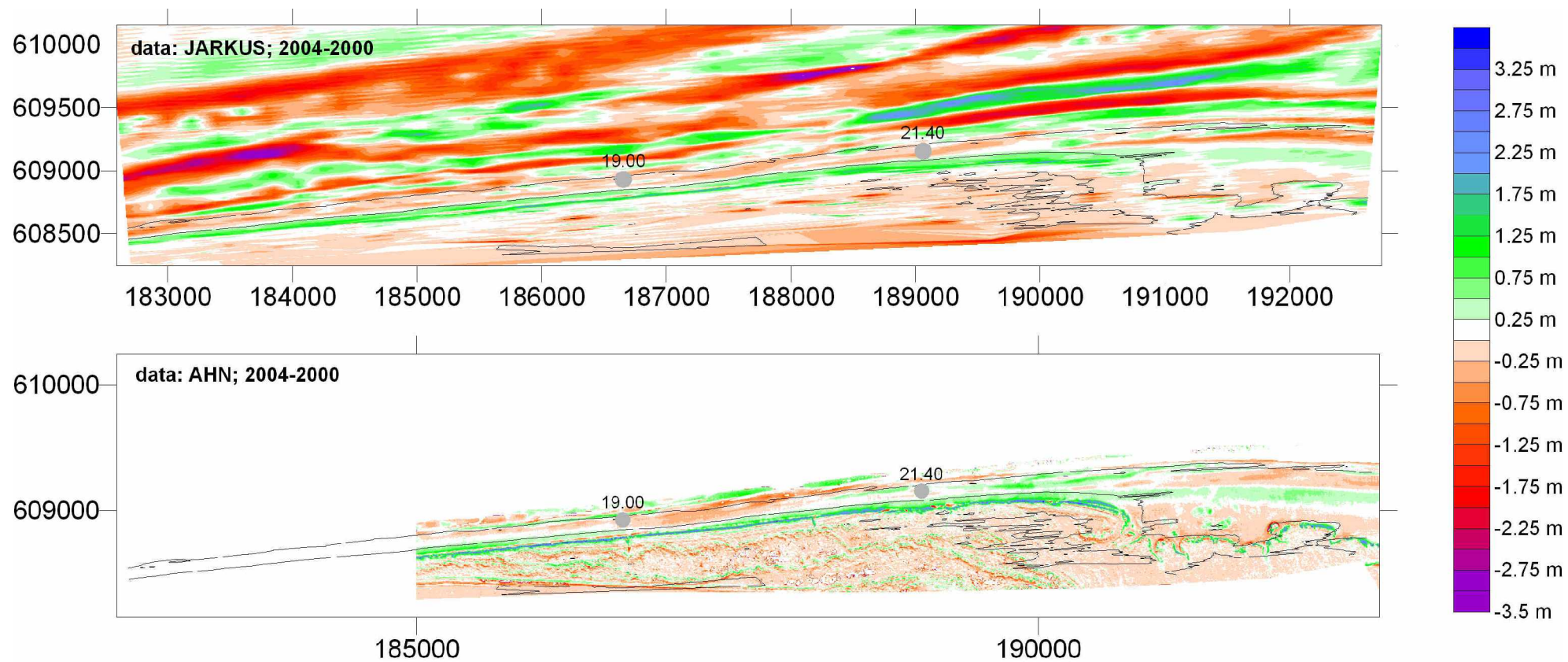
	<b>17.4-18.2</b>	<b>18.4-19.2</b>	<b>19.4-20.2</b>	<b>20.4-21.2</b>	<b>21.4-22.2</b>	<b>22.4-23.2</b>	<b>gemiddeld</b>
AHN	21.3	14.8	8.9	20.8	25.1	20.7	18.6
JARKUS	14.1	12.7	8.9	14.8	18.7	18.9	14.7

Op grond van deze gegevens kan geconcludeerd worden dat de Jarkus-gegevens voldoende betrouwbare resultaten geven voor het bepalen van volumeveranderingen over het gehele gebied.

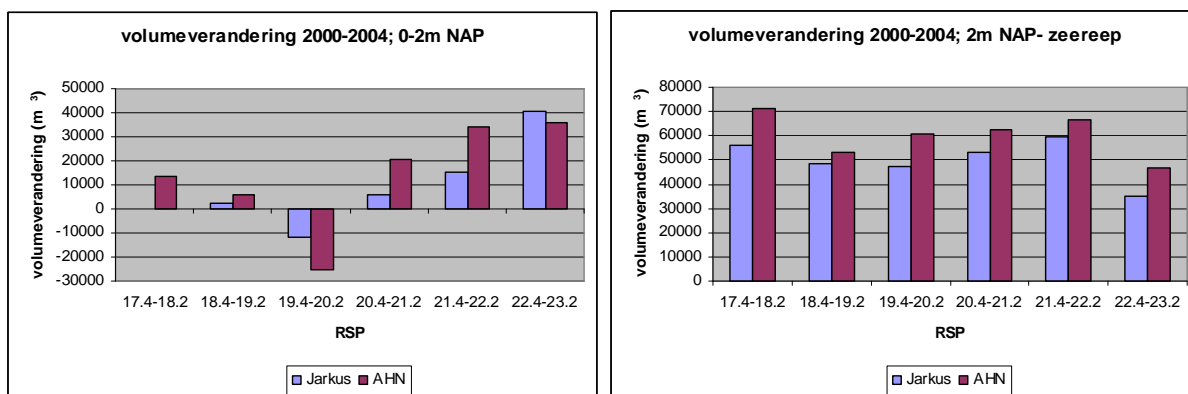
Jarkusgegevens zijn over een veel langere periode beschikbaar, en kunnen dus gebruikt worden om de trends in aanstuiving over verschillende perioden te bepalen. Dit is gedaan voor perioden van 5 jaar, vanaf 1984.

Tabel 2.4. Volumeverandering in m<sup>3</sup>/m.jaar voor strand en zeereep tussen RSP15 en 23

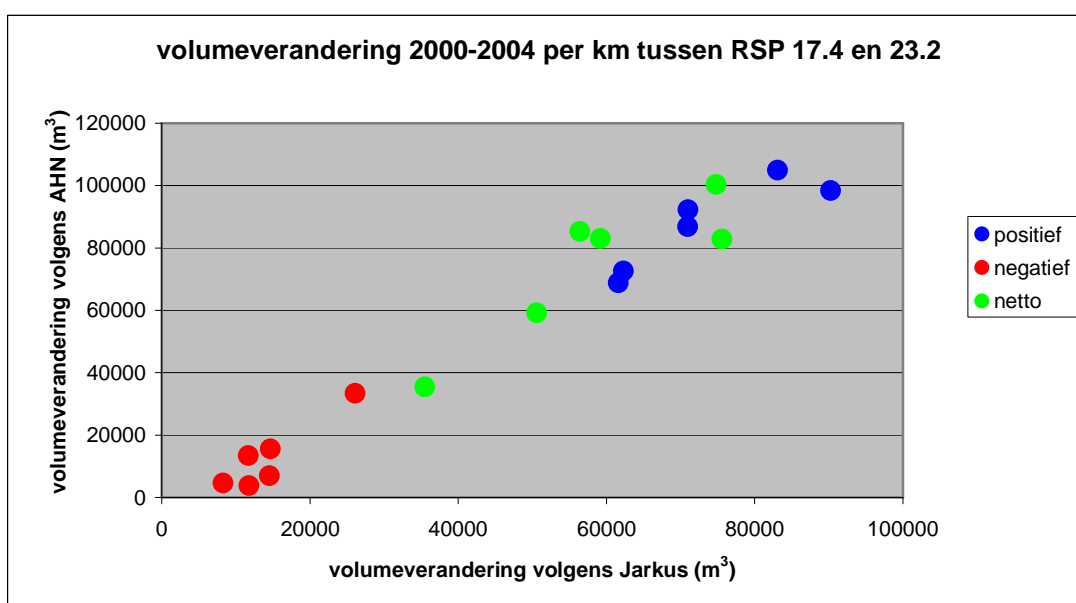
	1984- 1989 0-ZR	1989- 1994 0-ZR	1994- 1999 0-ZR	1999- 2004 0-ZR	2000- 2004 0-ZR	1984- 2004 0-ZR
positief	16.5	10.8	13.8	16.8	18.8	9.7
negatief	-4.5	-14.6	-4.0	-2.4	-5.1	-1.6
netto	11.9	-3.7	9.8	14.4	13.7	8.1



Figuur 2.9. Verschilkaarten volgens Jarkus (boven) en AHN (onder)



Figuur 2.10. Netto volumeverandering per km-vak tussen 2000 en 2004 voor strand (links) en zeereep (rechts), met Jarkus en AHN



Figuur 2.11. Relatie tussen volumeverandering per km-vak voor strand en zeereep samen voor berekening met Jarkus (X-as) en AHN (Y-as).

Vergelijking voor netto verandering is  $Y = 1.3583X - 5392.9$ ;  $R^2 = 0.7922$ .

De verschilkaarten zijn weergegeven in Figuur 2.12. De zeewaartse lijn in de figuur geeft de 0m NAP ligging in 2004, de landwaartse lijn geeft de ligging van de 2m NAP in 2004. De berekeningen van de volumeveranderingen zijn ten opzichte van de posities van deze lijnen in 1984.

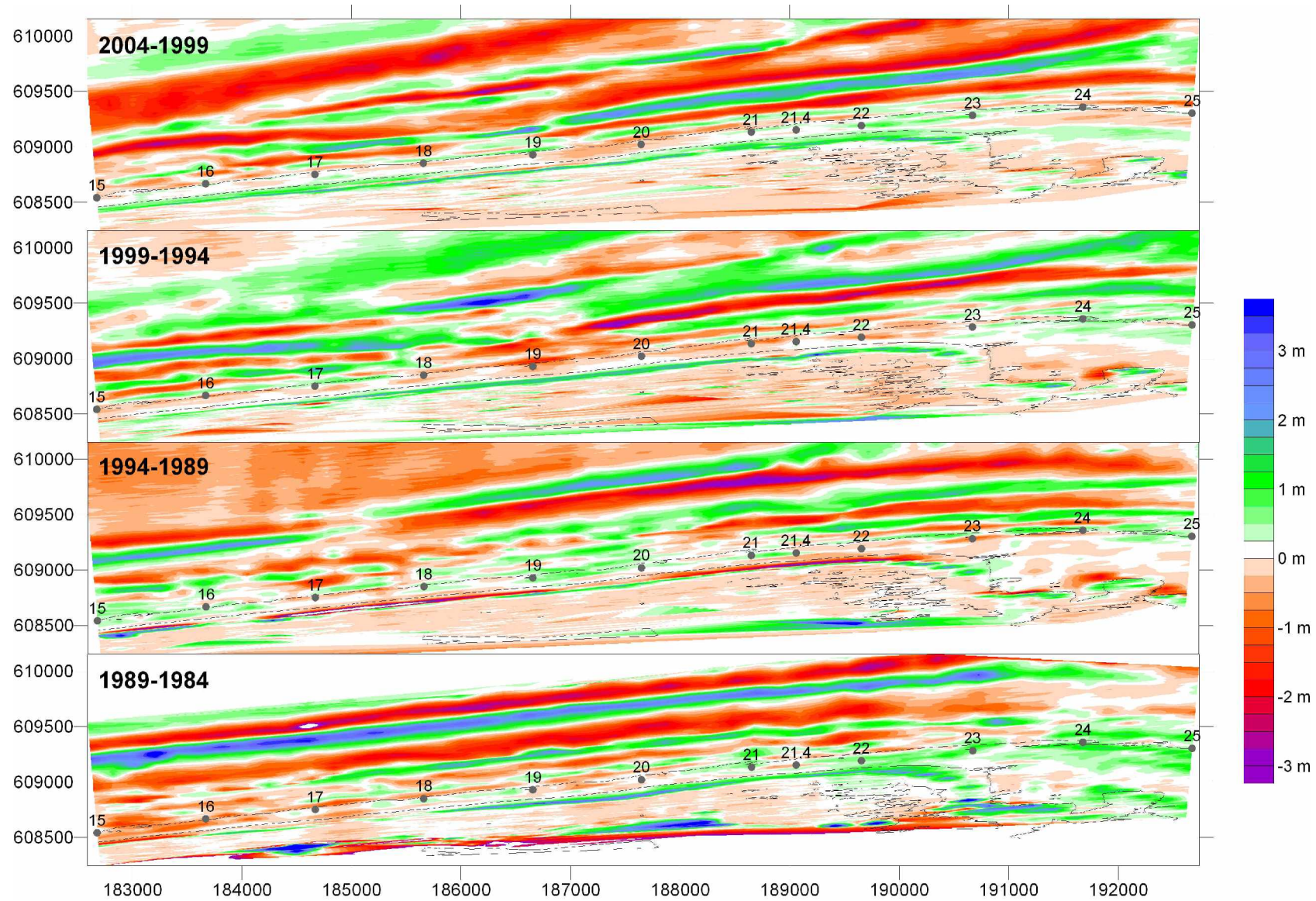
#### 1984-1989

Strand en zeereep aan de westkant van het gebied zijn erosief. Tussen 19 en 20 is het strand ook erosief, oostwaarts daarvan overwegend accumulatief. De zeereep ondergaat een sterke aanwas ten oosten van paal 18, met een maximum tussen paal 19 en 20. Voor de gehele zone van strand en zeereep is de netto volumeverandering tussen 1984 en 1989  $11.9 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$ .

#### 1989-1994

Het strand is afwisselend erosief en accumulatief, met een maximale erosie tussen 21.4 en 22.4 en een maximale aanwas rond paal 16 en paal 19. De zeereep is in vrijwel het gehele gebied sterk geërodeerd, ongetwijfeld als gevolg van de zware stormen in 1990. Voor





Figuur 2.12. Verschilkaarten voor opeenvolgende perioden van 5 jaar

strand en zeereep samen is de netto verandering negatief, namelijk  $-3.7 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$ . In deze periode is het gat bij 21.4 ontstaan, hoewel de erosie hier niet het sterkst is geweest (dat was tussen paal 16.5 en 18.5).

In 1990 en 1992 is gesuppleerd. In 1990 is tussen 11.5 en 17 een duinsuppletie uitgevoerd van  $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ( $182 \text{ m}^3/\text{m}$ ). In 1992 is op het strand tussen 11.5 en 19.6,  $1.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ( $173 \text{ m}^3/\text{m}$ ) gesuppleerd.

#### *1994-1999*

In vrijwel het gehele gebied is het strand stabiel tot licht erosief, en de zeereep accumulatief. Netto winnen strand en zeereep samen  $9.8 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$ .

In 1996 is ten westen (tot paal 11) een strandsuppletie uitgevoerd. In 1998 is tussen paal 13 en 21  $2.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  op de onderwateroever gesuppleerd ( $313 \text{ m}^3/\text{m}$ ).

#### *1999-2004*

Het plaatje is vrijwel vergelijkbaar met dat van de vorige periode. Er zijn een paar kleine verschillen. Het strand tussen paal 22 en 23 is nu accumulatief. De zeereep bij paal 19 is aan de voorkant licht erosief. Netto is de aanwas van strand en zeereep samen groter, namelijk  $14.4 \text{ m}^3/\text{m.jaar}$ .

#### *1984-2004*

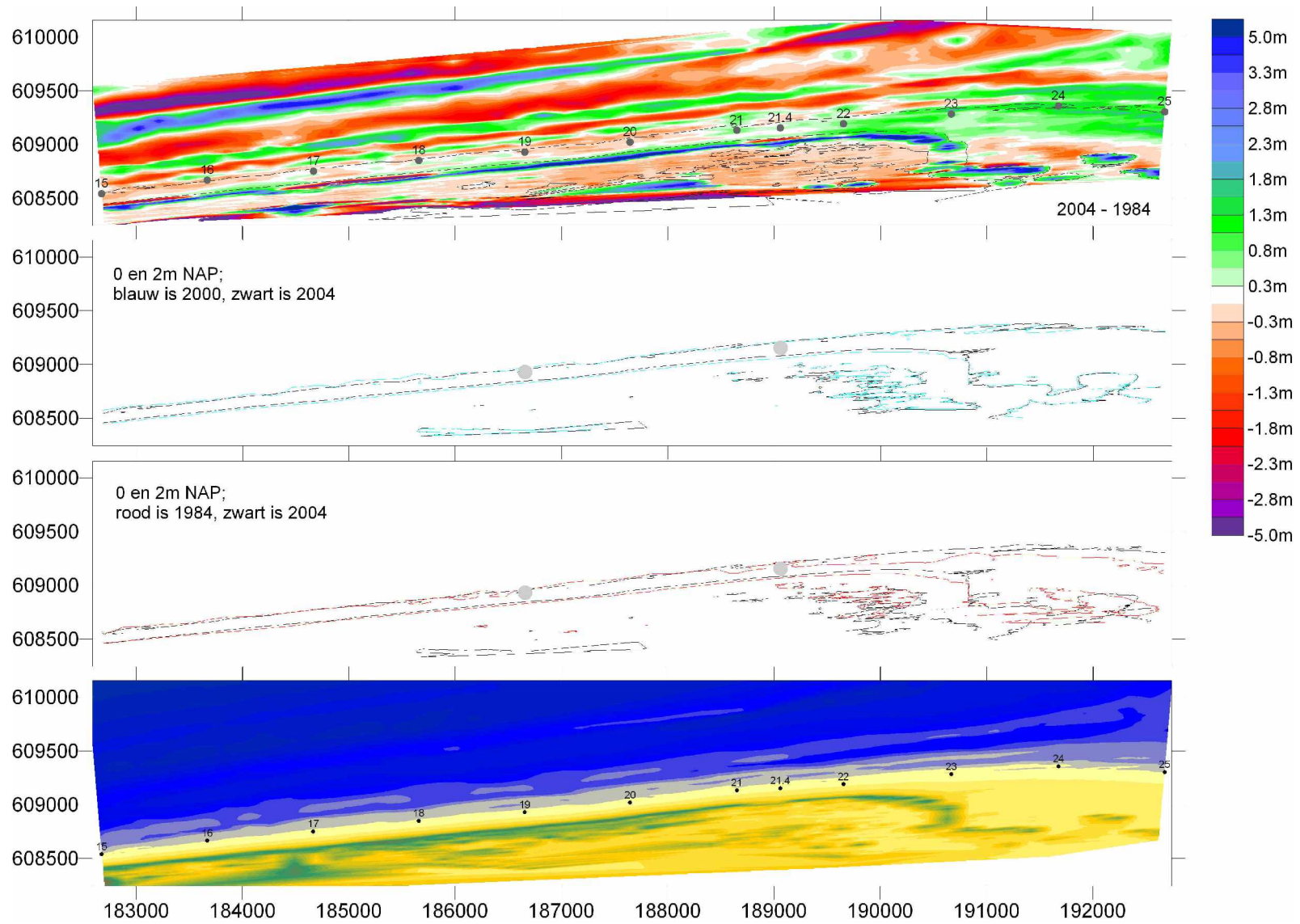
De verschilkaart voor de gehele periode 1984-2004 is gegeven in Figuur 2.13. De lange-termijnontwikkeling van het gebied is duidelijk. Op het strand afwisselend licht erosie (15, 17, 19-20) of sedimentatie (16-17, 18-19, 21-23), op de zeereep overwegend sterke accumulatie. De afslag uit de periode 1989-1994 is nog niet geheel hersteld: bij 17-18 en 21.4 is de voorkant van de zeereep, bij de duinvoet, in 2004 nog lager dan in 1984. Maar de gehele zeereep is ten opzichte van 1984 flink in volume toegenomen. Een deel van de aanwas is afkomstig van suppleties, hetzij direct in het gebied zelf, hetzij via langstransport van suppleties ten westen.

#### *2.2.3 Stabiliteit opening en benodigd onderhoud*

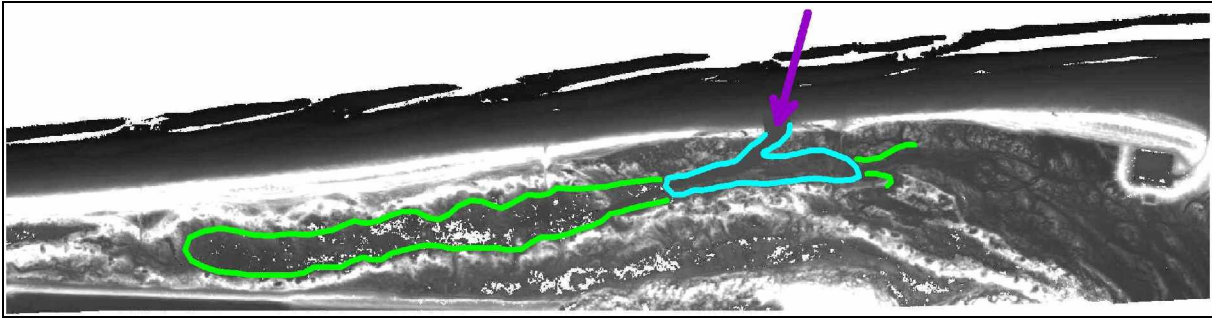
Door de grote aanstuiving van de zeereep is te verwachten dat na aanleg van een instroomopening de trend van aangroei doorzet. Daardoor zal de drempel snel ophogen, en bovendien kan een grote hoeveelheid zand door de opening naar binnen stuiven, waardoor het oppervlak hierachter in hoogte toe zal gaan nemen. Op verhogingen zal zich snel Biestarwegras en Helm vestigen, wat de bodemruwheid vergroot, en de potentie voor verder verhoging vergroot. Voor een flinke doorstroming, waarbij ook nog eens een afstand van circa 800m overbrugd moet worden om de vallei daadwerkelijk vol te zien stromen, zullen waterstanden van tenminste 2.5m NAP nodig zijn, en deze zijn zeldzaam (gemiddeld 1-2 keer per jaar). Na een jaar zonder instroming zal de drempel snel verder ophogen, waarna nog hogere waterstanden nodig zullen zijn. Overigens zal ook bij instroming in de vallei enige aanzanding gaan plaats vinden, omdat de stroomsnelheid van het binnenstromende water achter de ingang af zal nemen, waardoor sediment afgezet wordt.

Naar verwachting zal de gemiddelde aanzanding per jaar groter zijn dan de erosie bij een grote stormvloed (afslag bij de opening, geulvorming bij uitstroming). Op de lange termijn zal de ingang daarom niet stabiel zijn. Op grond van de huidige aanstuiving wordt geschat dat er jaarlijks onderhoud nodig zal zijn om de opening open te houden, en dit wordt in het kader van een natuurontwikkelingsproject, waarbij gestreefd wordt naar herstel van natuurlijke processen en gradiënten, ongewenst geacht.

Figuur 2.14 geeft een overzicht van te verwachten inundatiezones bij dit alternatief.



Figuur 2.13. Verschil tussen 1984 en 2004, en verschuiving hoogtelijnen 1984-2000-2004



Figuur 2.14. Omtrek van inundatiezones bij instroming door een doorbraak bij paal 21.4. De paarse pijl geeft het punt van instromen. Lichtblauw: incidenteel overstroomd (enkel keren per jaar); groen: zeer incidenteel overstroomd (< 1x/5jaar).

Bij instroming vanuit een inlaat bij paal 21.4 is er slechts een klein gebied dat naar verwachting (zonder dichtstuiven) enkele keren per jaar zal overstromen. Slechts incidenteel zal de rest van de vallei volstromen. De vallei zal dan gelijk helemaal vol met zout water staan. Theoretisch is stroming richting het Hon ook mogelijk, maar bij hoge waterstanden is de verwachting dat de stroming eerder de andere kant op zal zijn.

#### 2.2.4 Nadelen huidig ontwerp

- De drempel is erg 'lang'. Het water moet een vrij lange weg (800m) gaan voordat het echt de vallei in kan stromen. Dit traject van 800m ligt bovendien op een hoog niveau (2m NAP).
- Gradiënten zijn scherp; laagste deel stroomt pas vol wanneer water de drempel kan passeren; waarschijnlijk is de vallei dan in een keer vol. Er zijn binnen de vallei weinig of geen gradiënten in overstromingsfrequentie te verwachten.
- De ligging van inlaat ten opzichte van vallei is zodanig dat tijdens wester- of noordwesterstorm (de enige windrichtingen waarbij het waterpeil echt verhoogd) het water niet in de vallei wordt gestuwd, maar juist naar het oosten.
- Door aanstuiving zal de drempel snel ophogen, en zal er bovendien veel zand naar binnen stuiven, waardoor landwaarts een nieuwe/hogere drempel zou kunnen ontstaan, of in ieder geval door instuiving de komberging verder af zou nemen.
- De zeereepontwikkeling ten noorden van de vallei is zeer positief. Doorstuiving vanuit de zeereep wordt belangrijker, sinds het beheer gestaakt is (zie foto omslag). Er is een dynamische zone ontstaan die behoort tot habitatype 2110. Wanneer nu in de zeereep een depot wordt aangelegd, dan zou dit zeer ongunstig zijn voor deze ontwikkeling.
- Bij het huidige ontwerp zal wel een wash-over-situatie ontstaan, maar deze situatie is niet stabiel. De wash-over zal zonder onderhoud na verloop van tijd verzanden. Een jaarlijkse ophoging van circa 0.3m op basis van de huidige, aangroeiende trend, is te verwachten. De frequentie van onderhoud wordt geschat op jaarlijks, wat een voortdurende verstoring van een natuurlijke ontwikkeling betekent.

### 3 ALTERNATIEVE ONTWERPEN

#### 3.1 Instroming via de Hon

##### 3.1.1 Analyse van alternatief

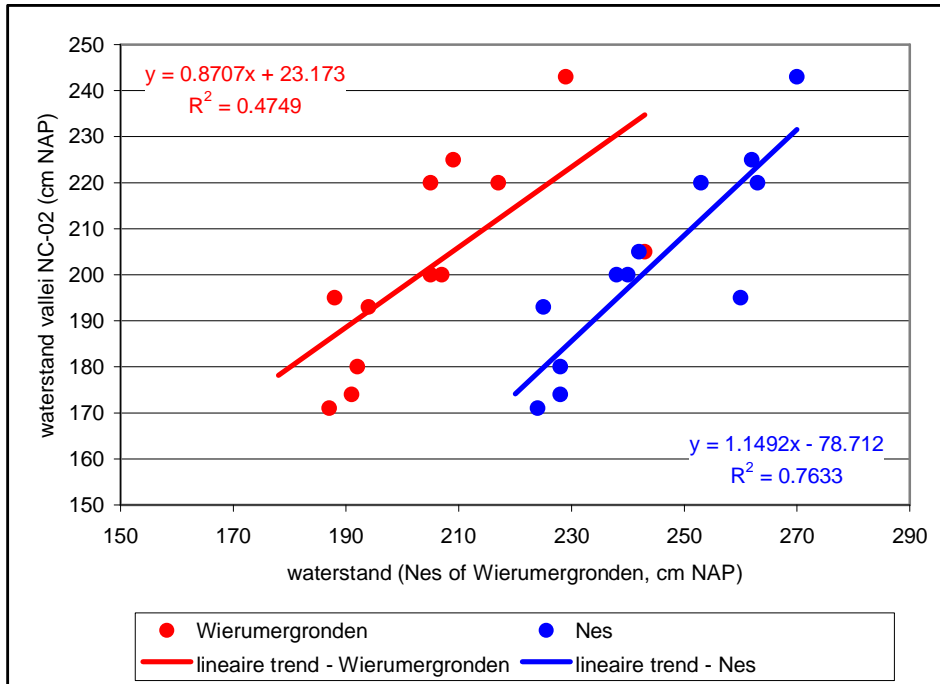
Johan Krol (Krol, 2004) heeft in het kader van het bodemdalingsonderzoek gedurende een viertal jaren gegevens verzameld van instroming en oppervlaktewaterkwaliteit op een aantal punten in valleien ten westen van de NAM-lokatie. Deze punten stromen (afhankelijk van de waterstand) onder door instroming vanaf de Hon. De gegevens geven een goed inzicht in de mate van instroming bij verschillende waterstanden, de westelijke begrenzing van de overstroming (de hoogte van het oppervlak dat overstroomt) en de verzilting van het water bij overstroming gevolgd door geleidelijke verzoeting in de periode na overstroming.

Tabel 3.1. Overstromingsdagen van de valleien ten westen van de NAM lokatie, bij overstroming vanaf de Hon. Bron: J. Krol, natuurcentrum Ameland

Datum	Nes		Wierumergronden		Hoogste stand Vallei NC02
	HW Nes	Tijd Nes	HW WG	Tijd WG	+NAP
31/10/2001	238	20,50	205	21,30	200
28/12/2001	260	19,10	188	19,10	195
29/01/2002	240	09,30	207	09,40	200
23/02/2002	253	04,50	217	04,40	220
28/10/2002	263	01,10	205	00,40	220
07/10/2003	220	07,50uur	191	08,40uur	geen instroom
09/10/2003	224	09,30uur	187	09,30uur	171
15/12/2003	242	0,30uur	243/186	0,20uur	205
21/12/2003	270	18,40uur	229	19,20uur	243
14/01/2004	225	01,00uur	194	01,10uur	193
08/02/2004	262	22,50uur	209	23,10uur	225
21/09/2004	228	14,30 uur	192	14,30 uur	180
13/11/2004	228	09,30 uur	191	09,30 uur	174
18/12/2004	240	02,20 uur	221	01,30 uur	
02/01/2005	223	13,00 u	178	14,00 u	
03/01/2005	224	01,00 u	184	01,10 u	
08/01/2005	229	18,00 u	193	18,50 u	
20/01/2005	227	17,20 u	202	17,30 u	

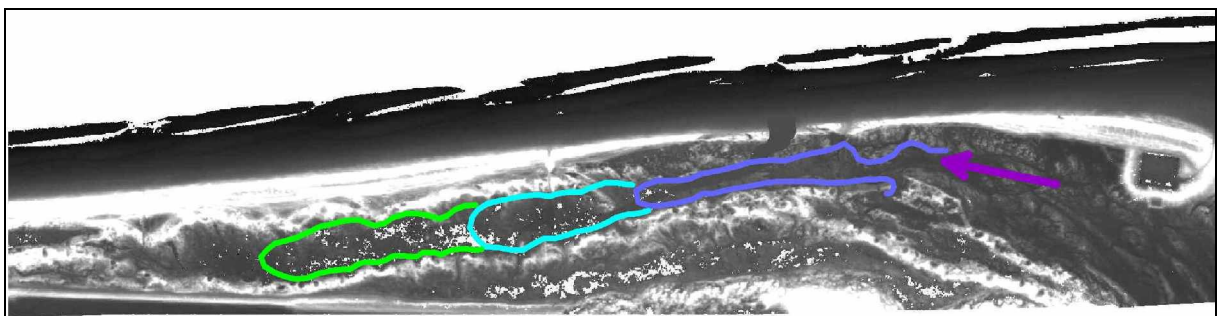
Op grond van deze data blijkt dat overstroming pas optreedt wanneer de waterstand bij Nes hoger is dan 2.20m NAP en bij Wierumergronden hoger dan 1.90m NAP. Deze hoogwaters gaan gepaard met stormen met windrichting variërend tussen 230 en 330°. De hoogte tot waar het water in de valleien stijgt, is redelijk gecorreleerd met de waterstand op zee (Figuur 3.1). De geringere correlatie tussen de waterstand bij Wierumergronden en de waterstand in de valleien is mogelijk het gevolg van een onjuiste meting. Over de waterstand voor Wierumergronden op 15 december 2003 bestaat onzekerheid; twee gegevensbronnen geven een verschillende waarde. Zonder dit punt is de correlatie voor Nes en voor Wierumergronden vrijwel gelijk.

Op grond van Figuur 3.1 kunnen we concluderen dat de waterstand in vallei NC-02 na instroming van dezelfde orde is als de maximale waterstand met hoogwater bij Wierumergronden, en lager dan de maximale waterstand bij Nes. De gevonden relatie zou gebruikt kunnen worden voor een indicatie van de historische overstromingsfrequentie van de oostelijke vallei.



Figuur 3.1. Relatie tussen waterstand op zee en waterstand in vallei NC-02

In Bijlage 1 staan voor alle overstromingen de ruimtelijke patronen van elektrische geleidbaarheid. Er is maar één overstroming waarbij zeewater tot over het fietspad aan de westkant is gestroomd (21-12-2003). Dit is de overstroming met de hoogste waterstand (2.29 m NAP bij Wierumergronden). De zoutwaterinvloed blijkt het grootst wanneer de grondwaterstand bij instroming laag is. Wanneer de grondwaterstand hoog is wordt het zoute water vermengd met het zoete oppervlaktewater in de vallei. Het valleioppervlak wordt dan waarschijnlijk effectief verhoogd, waardoor de instroming minder sterk is dan op grond van de waterstand verwacht zou mogen worden. De overstromingen die de sterkste verspreiding van zoutwater te zien geven, zijn gecombineerd met de laagste grondwaterstand.



Figuur 3.2. Omtrek van inundatiezones bij instroming vanaf de Hon. Lichtblauw: incidenteel overstromd (enkel keren per jaar); groen: zeer incidenteel overstromd (< 1x/5jaar); donkerblauw: frequent overstromd (enkele keren per jaar).

De barrière van het fietspad ligt tussen circa 1.90 en 2.60m NAP. Wanneer deze barrière verwijderd wordt kan, zonder verder aanvullende maatregelen, het zoute water circa 120m verder westwaarts stromen. Met aanvullende maatregelen (weghalen van struweel, plaggen) kan dit nog met enkele honderden meters toenemen. Alleen bij uitzonderlijk hoge waterstanden zal het water de westelijke vallei bereiken (mits de dwarsliggende duinrug

ook verwijderd wordt en het oppervlak hier voldoende verlaagd wordt). Figuur 3.2 geeft een indruk van de inundatiezones bij deze variant. De mate van instroming voor de westelijke vallei is vergelijkbaar met die voor de duindoorkraak (zie Figuur 2.8).

### 3.1.2 *Voordelen t.o.v. huidige ontwerp*

- Er ontstaat een veel langere gradiënt met meer variatie in overstroming. De westelijke helft van de vallei overstroomt alleen bij hele hoge waterstanden, waardoor er een uitgestrekte zoneringsfrequenties ontstaat.
- Dichtsterven van de opening speelt geen rol.
- Er is slechts een beperkte ingreep nodig en er hoeft veel minder zand afgevoerd te worden.
- De overstromingsfrequentie van de westelijke vallei is waarschijnlijk lager dan bij het huidige ontwerp (direct na oplevering), maar wel duurzamer.
- De instroming en overstroming van de oostelijke vallei wordt geoptimaliseerd.

### 3.1.3 *Nadelen t.o.v. huidige ontwerp*

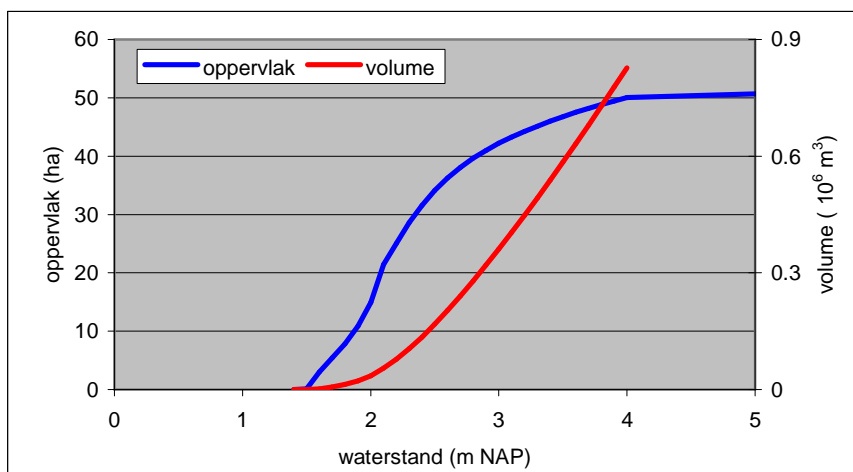
- Dezelfde nadelen als bij het huidige ontwerp spelen ook hier:
  - het meest westelijke deel stroomt ook nu bij hoge waterstanden als een badkuip vol;
  - Dicht sterven speelt geen rol, maar door vegetatieontwikkeling en invangen van sediment bij overstroming zal het oppervlak ook verhogen (maar weinig), waardoor de overstromingsfrequentie in de loop van de tijd zal afnemen, zij het minder extreem dan bij het huidige ontwerp.
- De aanvoerroute is nog langer, wat de potentie voor instroming verlaagt. Waarschijnlijk zal het westelijk deel van de vallei alleen bij uitzonderlijk hoge waterstanden onderstromen. Bij een stroomsnelheid van 0.2m/s duurt het enkele uren voor het instromende water de oostkant van de westelijke vallei heeft bereikt. Bij een hoogwater van 2.5m zal het tij alweer gekeerd zijn voordat de vallei vol kan stromen.
- Voor een zoet-zoutgradiënt in de westelijk vallei is instroming vanaf de Hon niet echt een alternatief. Wel is de aanwezige zoet-zoutgradiënt d.m.v kleine ingrepen te optimaliseren. Wanneer ook de duinrug dwars op de westelijke vallei wordt verwijderd, ontstaat een zone met een zeer lage overschrijdingskans, en dus zeer incidentele instroming (<1/10jaar). Ook dit levert overigens een waardevolle situatie.

## 3.2 Instroming via de Kooierdstuifdijk

### 3.2.1 *Analyse van alternatief*

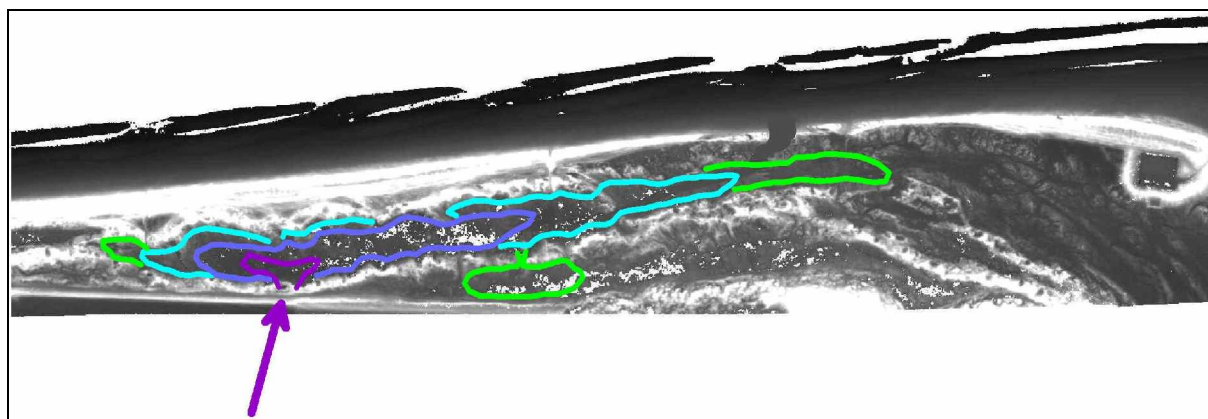
De Kooierdstuifdijk vormt in feite een onnatuurlijke scherpe begrenzing van de kwelder. Voordat deze stuifdijk werd aangelegd lag de kwelder in de luwte achter een afgesnoerde strandvlakte, hiervan afgegrensd door een onregelmatige duinenrij. Een doorbraak door de Kooierdstuifdijk herstelt deze oude situatie voor een deel, in ieder geval door de afgesnoerde strandvlakte aan de wadkant weer onder invloed van zout water te brengen. Wel moet hiervoor ook de onregelmatige duinenrij voor doorgraven worden. De meest geschikte plek ligt in het verlengde van de Oerdsloot, omdat de Kooierdstuifdijk zich hier het dichtst op de vallei bevindt, en zich hier een laagte in de achterliggende duinenrij bevindt.

De instroming in de vallei zal geleidelijk zijn, zodra de waterstand een niveau van 1.5m NAP bereikt. Bij stijgende waterstand zal het overstromde oppervlak geleidelijk toenemen (Figuur 3.3).



Figuur 3.3. Potentiële instroming in de westelijke vallei en overstromd oppervlak voor verschillende waterstanden bij instroming door de Kooierdstuifdijk

Het aanleggen van een vaste opening middels een duiker biedt mogelijkheden voor het regelen van de mate van instroom en het onder te stromen oppervlak afhankelijk van de waterstand. Bij een kleine opening zal slechts een deel van de vallei volstromen, vanaf een bepaald formaat zal de gehele vallei vol kunnen stromen. De gewenste dimensie die tot een optimaal resultaat leidt zal nader moeten worden bepaald. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de ervaringen die in de Kroon's polders op Vlieland zijn opgedaan.



Figuur 3.4. Omtrek van inundatiezones bij instroming door de Kooierdstuifdijk. Lichtblauw: incidenteel overstromd (enkel keren per jaar); groen: zeer incidenteel overstromd (< 1x/5jaar); donkerblauw: frequent overstromd (enkele keren per jaar).; paars: zeer frequent overstromd (vele keren per jaar).

Figuur 3.4 geeft een overzicht van de inundatiezones bij dit alternatief. Er is een klein oppervlak dat zeer frequent zal overstromen, in de orde van tientallen keren per jaar. De gradiënt is duidelijk, vooral in oostelijke richting: het oppervlak loopt licht op, waarbij de inundatiefrequentie afneemt. Er is een mogelijkheid dat incidenteel de vallei tussen de westelijke vallei en de Kooierdstuifdijk inundeert. Er is een kleine opening tussen beide valleien, waarschijnlijk onvoldoende voor regelmatige overstroming of geheel vollopen van de vallei.

### 3.2.2 Voordelen t.o.v. huidige ontwerp

- Een inlaat in de Kooierdstuifdijk hersteld voor een deel een oorspronkelijke, natuurlijke situatie, doordat de begrenzing van de kwelder minder scherp wordt.



- Overstroming zal bij veel lagere waterstanden gaan plaatsvinden (tussen 1.5 en 2.0m NAP), omdat het laagste deel van de vallei dan direct bij de inlaat ligt. Juist dan ontstaat een uitgestrekte zonerings van overstromingsfrequenties.
- Overstromingsfrequentie van het laagste deel zal aanmerkelijk groter zijn. Een waterstand van 1.50m NAP heeft een frequentie van 75 tot 100 keer per jaar.
- Na een overstroming zal de vallei makkelijker ontwateren, waardoor niet gedurende lange tijd een brakke of zoute plas achterblijft. Hierdoor wordt voorkomen dat supersaline omstandigheden ontstaan (vergelijk situatie Kroon's Polders, Vlieland, vóór aanpassing van de instroom).
- Dichtstuiwen van de opening speelt geen rol.
- Er is slechts een beperkte ingreep nodig en er hoeft veel minder zand afgevoerd te worden.
- Het fietspad wordt nog 'spannender' met een bruggetje over een soms flink stromende geul erbij.
- Inlaat kan eventueel in een harde constructie worden uitgevoerd (net als bij Kroon's Polders, Vlieland) en daarmee redelijk stabiel worden aangelegd.

### 3.2.3 *Nadelen t.o.v. huidige ontwerp*

- Het belangrijkste nadeel is van organisatorische aard, dat wil zeggen dat de benodigde ingreep niet onder het huidige bestek en vergunningen valt.
- Bij uitstromen van water zal zand uit de afgeplagde vallei worden afgevoerd, wat waarschijnlijk net achter de duiker (aan de kwelderkant) wordt afgezet. Mogelijk leidt dit op termijn tot een beperking van de instroming, maar de verwachting is dat dit probleem met het weer begroeid raken van de vallei steeds minder wordt.
- Er moet rekening worden gehouden met agrarisch belang, en het gebruik van de kwelder voor beweiding. De mogelijkheden hiervoor moeten niet worden aangetast.
- Er moet een maatschappelijk draagvlak voor dit alternatief worden gecreëerd.

## 3.3 Combinatie van instroming via de Hon en via de Kooioerdstuifdijk

### 3.3.1 *Analyse van alternatief*

Dit alternatief bestaat uit het in combinatie uitvoeren van én optimalisatie van instroming vanaf de Hon én een instroomopening in de Kooioerdstuifdijk. Bij dit alternatief bestaat de mogelijkheid dat een stroom vanaf de Hon, en een stroom vanuit de Kooioerdstuifdijk elkaar zullen ontmoeten. Waar is zonder detailstudie niet te voorspellen, maar het is waarschijnlijk dat het punt zich ergens net ten westen van de geplande doorbraak bij paal 21.4 bevindt. De exacte locatie zal echter afhangen van de omstandigheden bij een overstroming. Door stuwings afhankelijk van windrichting zal de locatie variëren. Onder omstandigheden met hoogwater is de windrichting meestal west of noordwest, en zal stuwings vooral de stroming vanuit de Kooioerdstuifdijk verder oostwaarts opstuwens.

### 3.3.2 *Voordelen t.o.v. huidige ontwerp*

- De zone bij paal 21.4 ligt het hoogst en zal dus het minst vaak overstromen. Zowel aan de west- als aan de oostkant hiervan ontstaat een gradiënt van overstromingsfrequenties. Over een groot gebied wordt een zoet-zoutovergang gerealiseerd.
- De twee alternatieven vullen elkaar aan. Wanneer beide worden uitgevoerd wordt de potentie voor een zoet-zoutgradiënt op oostelijk Ameland redelijk optimaal benut.
- Ten opzichte van het alternatief met uitsluitend instroming vanaf de Hon wordt door het aanleggen van een inlaat in de Kooioerdstuifdijk een drainagemogelijkheid geschapen, waardoor het negatieve 'badkuip'-effect verdwijnt.

### 3.3.3 *Nadelen t.o.v. huidige ontwerp*

- De nadelen van het gecombineerde ontwerp bestaan uit de som van de nadelen van de aparte varianten. Enig extra nadeel van deze gecombineerde variant is dat de ingrepen in het gebied waarschijnlijk in 2 fases uitgevoerd gaan worden, waardoor twee keer een interventie in het terrein zal plaatsvinden, met bijkomende verstoring etc.



Vleeskleurige orchis in vochtige duinvalleivegetatie

## 4 ANALYSE VAN SITUATIES ELDERS

Er zijn diverse gebieden met een slufteer, of slufteer-achtige situatie, gekenmerkt door een gedeeltelijk afgesloten vallei met getijdeinvloed, langs de Nederlandse kust te vinden. Echte slufteers, met een dagelijkse instroming van zeewater, zijn te vinden op Texel en bij het Zwin in Zeeuws-Vlaanderen. Slufteer-achtige situaties, met een vallei die met de zee verbonden is, zonder dat er sprake is van dagelijkse instroming zijn o.a. te vinden bij Rammekenshoek en de Kaloot, langs de Westerschelde (Walcheren), bij het Groene strand en de Noordvaarder op Terschelling en bij de Kerf bij Schoorl. Ook langs de Belgische en Noord-Franse kust zijn vergelijkbare situaties bekend. Bij Westhoek, België, zijn in 2004 twee kleine kerven, vergelijkbaar met de Kerf bij Schoorl, aangelegd, in een gebied waar dergelijke kerven, met toegang voor de zee tot achterliggende valleien, vroeger van nature voorkwamen. De Kroon's Polders op Vlieland bestaan ook uit valleien onder invloed van getijdewerking, maar de situatie is enigszins anders omdat er hier geen natuurlijke geul is, maar een kunstmatige verlaging in een vaste constructie aan de wadkant. Deze situatie is vergelijkbaar met de inlaat bij het Groene Strand op Terschelling.

In dit hoofdstuk zal kort en bondig een aantal ervaringen met onderstaande projecten worden aangestipt, en zullen voor- en nadelen (voor zover bekend) worden besproken.

Tabel 4.1. Enkele situaties met instroming van zoutwater langs de Nederlandse kust

	Texel Slufteer	Vlieland Kroon's Polder	Terschelling Noordvaarder	Ameland*	Schoorl Kerf
oppervlak onder 2.5m NAP (ha)	360	80	100	34	7
hoogte vallei (m)	0.30-1.40	0.70-1.10	1.30-1.45	1.50-2.00	1.80-2.20
drempel (m NAP)	geen	1.00	1.60	2.00	2.30
ghw (m)	0.70	0.80	0.90	1.10	0.75
gradiënt	1:4000	1:2500	1:6000	1:2000	1:1000
type helling	oplopend	oplopend	aflopend	aflopend	oplopend
badkuip-effect	nee	nee	ja?	ja	ja, door drempel
inlaat	permanente geul	permanente inlaat	twee geulen	geul??	uitlaat na volstromen
geschat volume bij waterstand 2.5m NAP (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	1700	400	250	167	50

\* de gegevens voor de vallei op Ameland zijn gebaseerd op een situatie met duindoorkraak.

### 4.1 Kentallen slufteers en slufteer-achtige situaties

Wat is een goede maat om slufteerachtige situaties te karakteriseren? Een van de belangrijkste kenmerken is de hoogteligging van het gebied, omdat dit doorslaggevend is voor de overstromingsfrequentie. De Slufteer op Texel ondergaat door zijn lage ligging een dagelijkse instroom van zeewater, de Kerf bij Schoorl stroomt door zijn hoge ligging, en de aanwezigheid van een drempel in de vorm van een strandwal met daarop embryoduinontwikkeling, nog slechts incidenteel, bij zware noordwesterstorm, vol. Het getijdeverschil is een tweede belangrijke factor. Een hooggelegen vallei in een gebied met

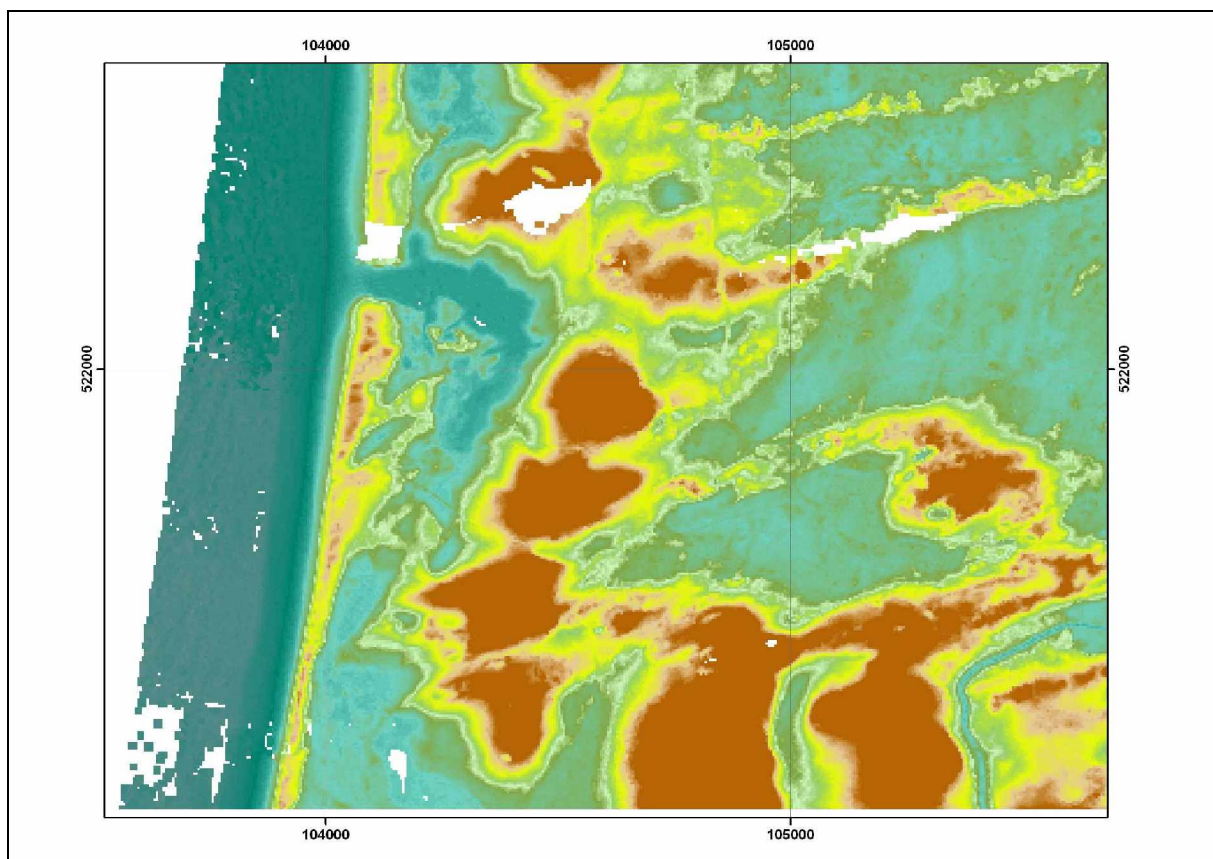
groot getijdeverschil stroomt eerder onder dan eenzelfde soort vallei in een gebied met een klein getijdeverschil.

#### 4.2 Kerf bij Schoorl

De Kerf bij Schoorl is een in 1997 gegraven doorbraak in de zeereep, die de achterliggende Parnassiavallei met de zee verbindt. De hoogte van de doorbraak was aangelegd op 1.5m NAP, waardoor de vallei het eerste jaar regelmatig volstroomde. Door aanstuiving en golfwerking is geleidelijk een drempel ontstaan, waarop vervolgens duinvorming is gestart na de vestiging van Biestarwegras. Sinds de aanleg zijn er meer dan 30 overstromingen geweest. De drempel voorkomt dat de Kerf nu nog regelmatig volstroomt. Alleen bij zware noordwesterstorm stijgt het waterpeil voldoende om de drempel te passeren. Dankzij een enorme stroom bezoekers die de drempel passeren, wordt duinvorming op de drempel gehinderd, waardoor voorkomen wordt dat de ingang geheel dicht groeit.

De instroming van zout water heeft een flinke impuls voor natuurontwikkeling in het gebied opgeleverd, met onder andere vestiging van zoutminnende vegetaties (zie ten Haaf & Kat, 2003). Bijkomend effect van de opening is dat kalkhoudend strandzand naar binnen stuift, en op honderden meters landwaarts van het strand oude, ontkalkte bodems bedekt. Aanvankelijk was de gehele vallei kaal (afgeplagd) en vond verstuiving door het gehele gebied plaats. Inmiddels zijn lage delen in de vallei begroeid geraakt, waardoor het dynamisch oppervlak binnen de vallei is afgenomen. Recentelijk is echter een deel van deze begroeiing weer geheel overstoven (H. Wondergem, pers. med.).

De combinatie van dynamiek en recreatie houdt de Kerf open en het gebied in beweging. De vraag is of zonder de grote bezoekersaantallen de inlaat open was gebleven. Tot nog toe is echter duidelijk dat de dynamiek binnen het gebied nog niet veel afgenomen is.



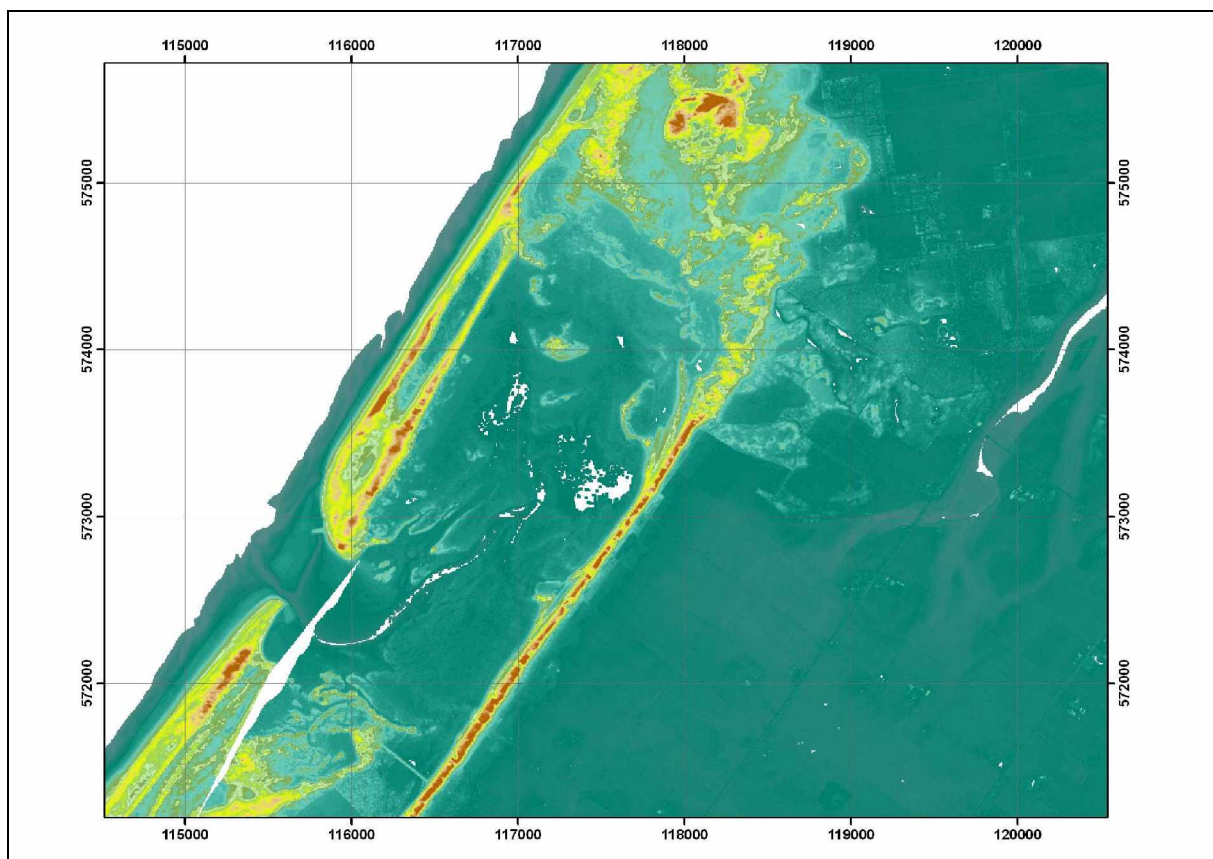
Figuur 4.1. AHN van het gebied rond de Kerf bij Schoorl. Bron: RWS.

Met betrekking tot de natuurontwikkeling op Ameland leert dit project ons dat een inlaat inderdaad dicht kan stuiven, waarna de inundatiefrequentie flink afneemt.

In 2004 is een hydrologische analyse van het grondwater bij de Kerf uitgevoerd (Bell & van 't Hullenaar, 2004). De conclusies over de zoutwaterinvloed zijn als volgt. Door periodieke overstroming met zout zeewater en vervolgens verdunning met regenwater is het ondiepe grondwater in de Kerf brak. Het noordelijk deel van het gebied is zouter dan het zuidelijk, omdat aan de noordkant het gebied het laagst ligt en het dichtst bij de inlaat met zoutwater ligt. Het zoute water infiltreert naar de ondergrond doordat het zwaarder is dan zoetwater. Langs de randen van de vallei zijn daardoor scherpe overgangen van brak naar zoetwater aanwezig. De zoute invloed na een instroming verdwijnt geleidelijk door verzoeting met regenwater. Kwel speelt hier geen rol. Een jaarlijkse overstroming aan het eind van de winter heeft daardoor veel meer effect dan een overstroming aan het begin van de herfst, omdat in het laatste geval het zoute water tegen de tijd dat de vegetatiegroei op gang komt alweer verzoet is (Bell & van 't Hullenaar, 2004).

#### 4.3 Slufter Texel

De Slufter op Texel bestaat uit een groot, landwaarts van de zeereep gelegen intergetijdegebied en aangrenzende valleien. De ligging van een deel van het oppervlak is dermate laag dat dit bij ieder hoogwater onderstroomt. Het gebied bestaat voor ca 50 ha uit duintjes en valleien boven 2.0m NAP, voor ca 270-300 ha uit vlakke, begroeide bodem tussen 0.8 en 2.0m NAP en voor ca 50-80 ha uit getijdegebied (Wintermans, 1999). Het gebied is bij uitstek een voorbeeld van morfologische en ecologische gradiënten, gerelateerd aan dynamiek en overstromingsfrequentie, variërend van dagelijks tot 5 maal per jaar tot een niveau waarbij alleen de duintjes nog boven water uitsteken. De vegetatie is zeer divers en heeft een hoge natuurwaarde (Wintermans, 1999).



Figuur 4.2. AHN van de Slufter op Texel. Bron: RWS.

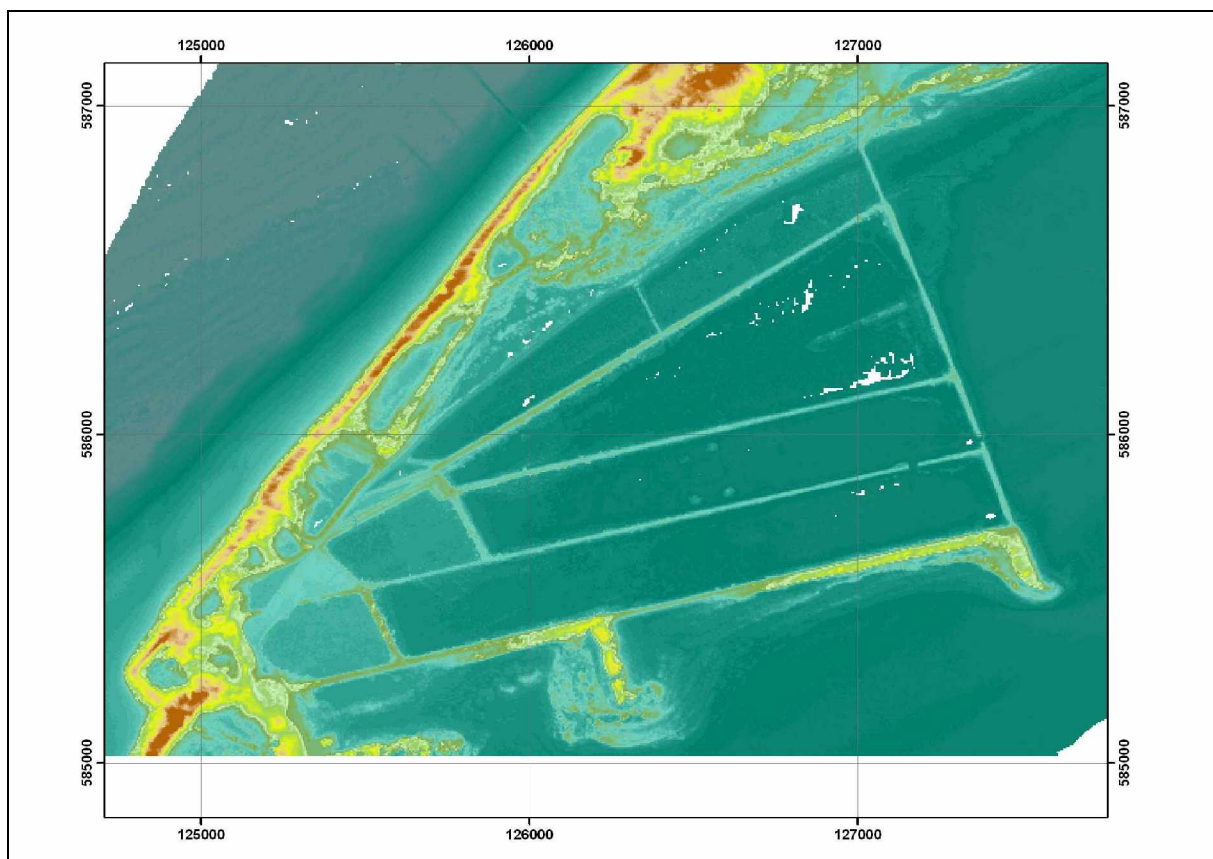
Sluftern zouden per definitie instabiel moeten zijn, omdat bij iedere vloed sediment wordt afgezet, en de komberging dus geleidelijk aan kleiner wordt. Bij de Slufter wordt dit gedeeltelijk tegengegaan door de zeespiegelstijging. Desondanks geeft de sluffermond geen enkel teken van stabilisatie. Bovendien moet de monding gemiddeld iedere vijf jaar verlegd worden, om te voorkomen dat deze noordwaarts migreert en de duinen aan de noordkant aantast. Volgens Eysink et al. (1992) zou verzanding van de Slufter nog wel enkele eeuwen kunnen duren.

Gezien het feit dat de Slufter zowel dagelijks overstroomd als een hoger deel kent dat maar zelden overstroomd is de Slufter van de hier behandelde gebieden het meest volledige en dynamisch voorbeeld van een zoet-zoutgradiënt.

Voor wat betreft het project op Ameland is duidelijk dat een dynamische situatie als bij de Slufter zich niet zal ontwikkelen, omdat de ligging van de vallei ten opzichte van gemiddeld hoog water te hoog is. Bij instroming vanaf de Kooioerdstuifdijk zal de situatie die ontstaat vergelijkbaar zijn met de hogere oppervlakken binnen de Slufter.

#### 4.4 Kroon's polders Vlieland

De Kroon's polders op Vlieland zijn tussen 1905 en 1922 ingepolderd met stuifdijken. Het oorspronkelijk oppervlak was een strandvlakte met een lage ligging. Er bestond een kleine opening in één van de stuifdijken, waardoor er al sprake was van zoutinvloed in het gebied. De inlaat was echter klein, maar bovendien hoog gelegen, waardoor het instromende water niet meer terug kon stromen. Het gevolg hiervan was dat soms door indamping super-saline omstandigheden konden ontstaan, die ongunstig zijn voor de vegetatieontwikkeling (Wolters, 1996). In 1996 is de inlaat in de derde polder (één na onderste in de figuur) vergroot, zodat de zoutwaterinvloed uitgebreid werd, maar de



Figuur 4.3. AHN van de Kroon's polders op Vlieland. Bron: RWS.

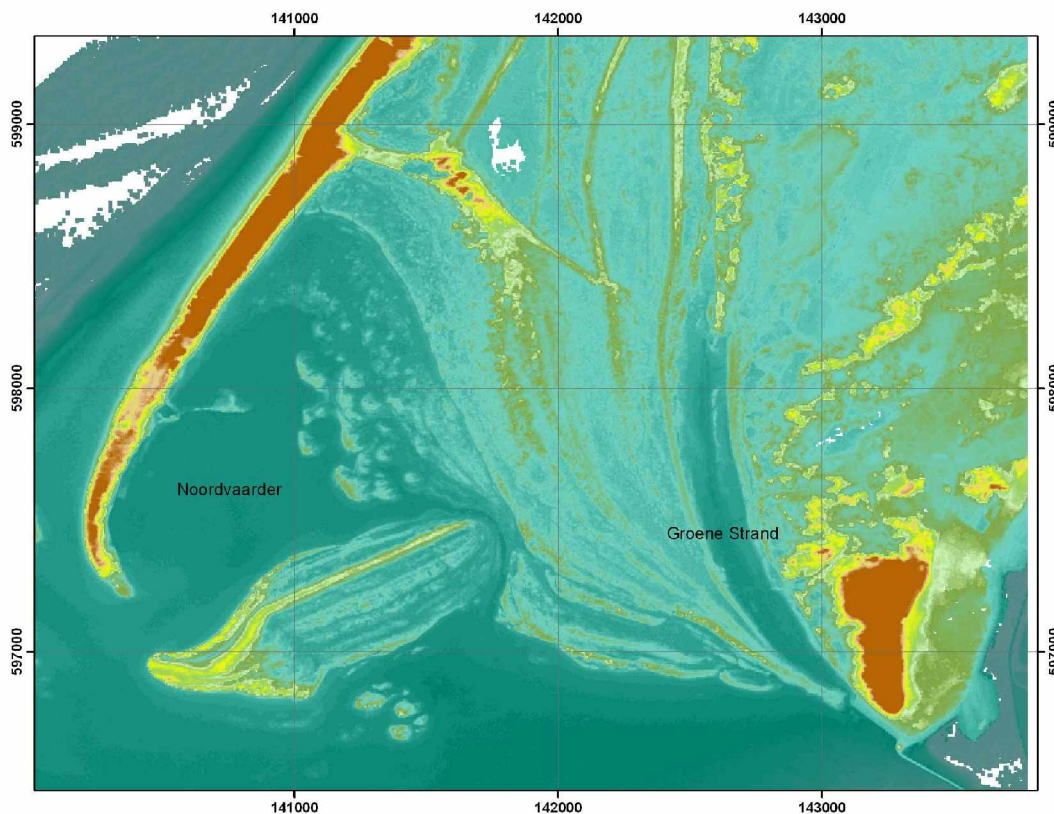
polders na een overstroming ook weer konden ontwateren. Bovendien is een verbinding gemaakt tussen de derde en vierde polder, zodat deze ook vol zou kunnen stromen.

Dit project geeft voor dit onderzoek een goed voorbeeld van het herstellen van een zoet-zoutovergang met behulp van een kunstmatige opening, in een stabiele inlaat.

#### 4.5 Noordvaarder / Groene strand Terschelling

Voor wat betreft een zoet-zoutgradiënt op Terschelling wordt steeds verwezen naar het Groene Strand. Voor deze studie lijkt de situatie op de Noordvaarder echter van groter belang (Freek Zwart, pers. meded.). Hier ligt een onvolledig afgesnoerde strandvlakte. Aan de zuidwestkant ligt een grote opening tussen twee stuifdijken. Dit gat is groot en stabiel. Aan de zuidoostkant is een geul ontstaan. De vallei heeft dus een dubbele inlaat-uitlaat. De strandvlakte is zeer vlak, en loopt naar achteren toe iets af (mogelijk heel klein badkuipeffect). Van deze situatie zijn verder geen gegevens bekend. Enig nader onderzoek aan de abiotische ontwikkeling zou waardevol zijn.

De dubbele inlaat zou voor het Ameland-project enig vergelijkingsmateriaal kunnen verschaffen met betrekking tot overstroming via Hon én Kooioerdstuifdijk.



Figuur 4.4. AHN van de Noordvaarder (links) en Groene Strand (rechts) op Terschelling. Bron: RWS

Het Groene Strand is een lage, natuurlijke vallei (voormalige strandvlakte) tussen de Noordvaarder en West-Terschelling. De natuurlijke ontwatering is hier hersteld, waardoor ook regelmatige instroming met zout water zou gaan plaats vinden. De overstromingsfrequentie valt tegen (de Leeuw & Meijer, 2003). De inlaat via een duiker is veel beperkter dan in de oorspronkelijke situatie, zodat niet verwacht mag worden dat de oude situatie van regelmatige instroming hersteld is. Aan de zeezijde van het gebied is door aanstuiving

de bodem verhoogd. De zoutinvloed is niet opvallend toegenomen, en blijken er nog geen grote ecologische veranderingen te hebben plaatsgevonden.



## 5 CONCLUSIES

- A) Zal bij de uitvoering van het huidige ontwerp (zie bijlage) een slufter of een wash-over ontstaan? Hoe gaat die eruit zien (omvang e.d.)?

*Er zal een slufter of wash-over ontstaan, maar deze is niet duurzaam. Gezien de grote mate van aanzanding in het gebied is de verwachting dat een inlaat snel zal ophogen, waardoor instroming in de loop van de tijd steeds onwaarschijnlijker wordt. Bijkomend zijn er bij dit ontwerp teveel negatieve effecten: aanleg van grote gronddepots in de zeereep waardoor de fraaie ontwikkelingen (beginnende doorstuiving) wordt verstoord, steile gradiënten in de vallei, een lange aanvoerweg van 800 meter, en een 'badkuip'-effect waardoor bij instroming een grote hoeveelheid water in het laagste deel van de vallei zal achterblijven, vanwege de lagere ligging achter een omvangrijke drempel. Bij indamping kunnen hierdoor zeer hoge zoutconcentraties ontstaan.*

- B) Blijft de slufter/wash-over na aanleg langdurig in stand, wat is naar verwachting de periode waarna weer opnieuw moet worden ingegrepen? Hierbij bezien zowel vanuit economisch perspectief als functioneel/ecologisch perspectief. Bij deze vraag ook de afname van de overstromingsfrequentie in de tijd (indien dichtstuiven van de opening of drempelvorming door instromend water optreedt) weergeven. Zie ook de bijlage *Overschrijdingswaarden*.

*De effecten van uitschuring door instromen bij een extreem hoge waterstand zijn moeilijk kwantificeerbaar zowel qua proces als qua timing. Het is vooraf niet te voorspellen wanneer een storm zich voordoet. Het is onwaarschijnlijk dat erosie (langs de wanden optredend bij volstromen, op het strand bij het weer leegstromen van de vallei) en aanstuiving in balans zullen zijn. Op basis van de groei van de duinen in de periode 1994-2004 (3.5m zand/10 jaar) is de verwachting dat tenminste 35 cm per jaar ophoging mag worden verwacht, waarschijnlijk meer, waardoor op korte termijn na aanleg van de inlaat de potentie voor overstroming al af zal gaan nemen.*

- C) Hoe groot is de inspanning die nodig is om een open slufter in stand te houden (volumes zand, indicatie van de kosten)?

*Zonder deze vraag kwantitatief te beantwoorden is de verwachting dat voor het open houden van de inlaat 1 of 2 keer per jaar onderhoud nodig is. Een dergelijke mate van (machinaal) onderhoud valt voor een natuurontwikkelings-project waarbij gestreefd wordt naar herstel van natuurlijke processen en gradiënten niet te verantwoorden.*

- D) Kan het huidige ontwerp worden verbeterd (andere locatie, uitbreiding locaties, dimensionering opening)?

*Een deel van de negatieve effecten van het huidige ontwerp kunnen ondervangen worden door een instroomopening te kiezen nabij de stuifkuil bij km 19. Deze locatie ligt gunstiger vanwege de windrichting (bij westenwind wordt de vallei vol geblazen i.p.v. leeg) en zal langer kunnen blijven bestaan bij de te verwachten west-oostmigratie van zand. De aanvoerroute naar de vallei is wat gunstiger (korter) en de gradiënt in overstromingsfrequentie is gunstiger (diepste deel stroomt eerste vol). Verschillende andere nadelen van het ontwerp, met name gevaar voor dichtstuiven, en 'badkuip'-effect blijven bestaan. Bijkomend nadeel is dat een nog grotere hoeveelheid zand afgegraven moet worden, omdat de zeereep ter hoogte van paal 19 een veel groter volume heeft. Het dichtstuiven van de opening is hier waarschijnlijk een nog groter risico. De alternatieven via de de Hon (natuurlijke weg) en/of de Kooioerdstuifdijk (zie hieronder) lijken gunstiger.*

- E) Onderzoek alternatieve oplossingen vanaf de wadzijde via De Hon of Nieuwlandsreid voor het vergroten van de zee-invloed in de duinvallei.

*Instrommogelijkheden vanaf de Hon kunnen worden bevorderd door kleinschalig af te plaggen en af te graven. Vooral het aanpassen van het fietspad zo dat het water hier kan passeren zal hier aan bijdragen. Gezien de lange transportweg is het echter onwaarschijnlijk dat instroming via de Hon tot regelmatige overstrooming van de westelijke vallei zal leiden.*

*Een alternatieve instroming via een inlaat in de Kooioerdstuifdijk wordt als de beste oplossing gezien. Deze inlaat kan duurzaam worden aangelegd. De hoogte van de opening zal aanmerkelijk lager zijn, waardoor de overstromingsfrequentie van de vallei aanmerkelijk zal worden vergroot. De mate van overstrooming van de vallei kan geregeld worden door het dimensioneren van de inlaat.*

F) Werk deze alternatieve oplossingen uit met betrekking tot de voorgenoemde vragen B) en C).

*De verwachting is dat beide alternatieven duurzaam zullen zijn en weinig tot geen onderhoud zullen vergen.*

G) Geef bij alle varianten tenminste een indicatie van het door zout water beïnvloed gebied, rekening houdend met wegzijging en stromingsweerstand. Daarbij kan worden uitgegaan van de profielen van de globale vergelijkende studie van RWS NN (GIS-kaart, in voorbereiding). Maak hierbij onderscheid tussen een eenmalige inundatie en enkele kort opeenvolgende inundaties.

*Om een echte goede indicatie te krijgen van het overstromde gebied in relatie tot waterstand zou een modelstudie moeten worden aangevoerd. Dat gaat te ver voor dit onderzoek. Voor het uiteindelijke ontwerp van een inlaat in de Kooioerdstuifdijk is het aan te bevelen een vergelijkbare studie als voor de Kroon's Polders op Vlieland uit te voeren (Wolters, 1996). Op grond van een expertbeoordeling is een inschatting gemaakt van de overstromde oppervlakken en frequenties per alternatief.*

*Bij een doorbraak bij paal 21.4 zal slechts een klein gebied enkele malen per jaar overstroom, en de overstromde zone zal zich waarschijnlijk niet uitstrekken tot de westelijke vallei zelf. Deze zal slechts incidenteel vol stromen, waarbij gelijk het gehele oppervlak onder water komt te staan.*

*Zowel bij instroming vanaf de Hon als vanaf de Kooioerdstuifdijk ontstaat een ruime gradiënt met incidenteel én frequent overstromde oppervlakken. Voor wat betreft de westelijke vallei geeft het alternatief van een inlaat bij de Kooioerdstuifdijk de beste gradiënt, met een klein oppervlak met zeer regelmatige overstrooming (enkele tientallen malen per jaar) tot een oppervlak met zeer incidentele overstrooming. Een enkele keer zou zelfs zoutinvloed in een aangrenzende vallei, die via een laagte in verbinding staat met de westelijke vallei, kunnen voorkomen. Er bestaat een zone waar stroming vanaf de Hon en vanuit de Kooioerdstuifdijk zich bij hoge waterstand elkaar zullen ontmoeten. De verwachting is dat dit circa 1 keer per jaar zal optreden.*

#### 5.1 Te verwachten natuurontwikkeling bij huidig ontwerp

De te verwachten ontwikkeling is een kort durende ontwikkeling van een zoet-zoutovergang achter een doorbraak die snel zal verzanden. Vanwege het afplaggen van de vallei zal de successie opnieuw beginnen, en ontstaat er een belangrijke impuls voor het ontstaan van duinvalleivegetaties met hoge natuurwaarden. Na het verwachte verzanden van de inlaat zal de vallei zich verder als zoete duinvallei ontwikkelen, wat op zich ook een waardevolle situatie oplevert, maar wat een zo grote ingreep in de zeereep niet rechtvaardigt. Bij instroming zal een groot deel van het zoute water in de vallei achterblijven, omdat de vallei niet kan draineren. Door indamping kunnen hier zeer hoge zoutconcentraties ontstaan, met negatieve gevolgen voor de vegetatie.

#### 5.2 Te verwachten natuurontwikkeling bij instroming via Hon

De situatie die nu bestaat aan de oostelijke vallei zal worden geoptimaliseerd. Er bestaat op dit moment een redelijk ontwikkelde zoet-zoutgradiënt, en die kan iets worden uitgebreid. Vooral het opheffen van het fietspad zal de ruimte voor de zoet-zoutontwikkeling vergroten. Door afplaggen zal hier en daar vanuit een verruigde situatie een nieuwe pioniersituatie ontstaan, en zal de doorstroming richting de westelijke vallei worden vergemakkelijkt. Het is echter niet waarschijnlijk dat hierdoor een regelmatige overstroming van deze vallei zal plaatsvinden. Een incidentele instroming met zoutwater geeft echter ook een gevarieerdere vochtige valleivegetatie en heeft daardoor ook een waardevol effect. Het effect van zo een instroming blijft circa 10-20 jaar zichtbaar. Een incidentele instroming met een herhalingsperiode van circa 10 jaar leidt daardoor ook tot een waardevolle situatie. Bij instroming met zo een lage herhalingsperiode speelt indamping geen rol.

#### 5.3 Te verwachten natuurontwikkeling bij instroming via Kooioerdstuifdijk

In de westelijke vallei zal door afplaggen de vegetatiesuccessie opnieuw beginnen. Er zijn nog verschillende vlakken aanwezig met hoge natuurwaarden. Door het creëren van een inlaat voor zoutwater ontstaat een ruime zoet-zoutgradiënt met een duidelijke gradatie in overstroming van west naar oost, en hoge overstromingsfrequentie met zout water. Deze situatie zal zich tot zeer waardevol kunnen ontwikkelen. Dergelijke situaties staan in Nederland zwaar onder druk en zijn zeldzaam. Bij dit alternatief wordt het negatief beoordeelde 'badkuip-effect' voorkomen.

#### 5.4 Te verwachten natuurontwikkeling bij instroming via Hon én Kooioerdstuifdijk

Een combinatie van de twee alternatieven levert een som van beide. Het is niet te verwachten dat in dit geval het totaal meer is dan de som der delen. Wel kan gesteld worden dat door een combinatie van beide alternatieven de potenties van het gebied voor ontwikkeling van een zoet-zout gradiënt optimaal worden benut, zonder dat hier vreselijk grote ingrepen voor nodig zijn. Ook bij combinatie van instroming vanaf Hon en door de Kooioerdstuifdijk is er geen sprake van het negatieve 'badkuip-effect'.



## 6 AANBEVELINGEN

### 6.1 Advies natuurontwikkeling Ameland

De ingrepen in het gebied ten behoeve van natuurontwikkeling zouden gericht moeten zijn op het herstellen van de zoet-zoutgradiënt in het gebied. Hiervoor zijn goede kansen. Zoet-zoutgradiënten staan in nationaal opzicht zwaar onder druk, en vertegenwoordigen bovendien hoge natuurwaarden. Herstel van een zoet-zoutgradiënt zou verkregen kunnen worden door het creëren van een inlaat door de Kooioerdstuifdijk ter hoogte van de Oerdersloot. Een inlaat door doorgraven van de zeereep bij paal 21.4 wordt niet zinvol geacht vanwege de zeer sterke aanstuiving van de zeereep die al jaren gaande is. Aan de oostkant van het gebied bevindt zich al een zoet-zoutgradiënt die vrij goed ontwikkeld is (door instroming vanaf de Hon), maar die nog enigszins verbeterd zou kunnen worden door middel van een aantal kleinschalige ingrepen.

Ingrijpen in de zeereep om grootschalige verstuingen op gang te brengen vergelijkbaar met de ontwikkeling bij Terschelling paal 15-20 wordt minder zinvol geacht. De ontwikkeling van de zeereep in de zin van ontstaan van kleinschalige dynamiek, en lichte doorstuiving naar achteren is al op gang gekomen door het staken van zeereeponderhoud. Grootschalige verstuingen zijn op dit moment moeilijk te combineren met het plannen van afplaggen in de vallei. Ontwikkelingen in de vallei bij een instroming van zout water worden waardevoller geacht.

Ingrepen aan de oostkant zouden moeten bestaan uit het opruimen van het fietspad, en eventueel vervangen door een fietspad op palen en vlonders (om de zeereep bij een hoge waterstand voor fietser/wandelaars bereikbaar te houden) en het afplaggen van laagtes met ruigtes tot aan het dwarsdijkje. Dit dwarsdijkje zou ook verwijderd moeten worden, omdat het een kunstmatig element is dat de landschappelijke structuren onderbreekt. Bovendien belemmert het eventuele doorstroming van kwelder naar Hon of omgekeerd. Afplaggen zou vooral moeten dienen voor het verwijderen van ruigte en humeus materiaal. De af te plaggen hoeveelheid is gering, de humeuze bodem is vrijwel overal tussen de 5 en 10 cm dik. De af te plaggen zones (oppervlak en diepte) zouden in het veld in detail uitgewerkt moeten worden, en bij het uiteindelijke afplaggen is het noodzakelijk dat een deskundige aanwezig is om begrenzing te begeleiden. Er zijn verschillende zones met een waardevolle vegetatie die niet afgeplagd zouden hoeven worden.

De vegetatie bestaat deels uit verruigd en grotendeels afgestorven duindoornstruweel en uit soortenarme duinrietvelden. Het gaat om rompgemeenschappen van het Duindoorn-Vlierstruweel (*Hippophae-Sambucetum*) en het Knopbies-verbond (*Caricion davalliana*). Deze vegetaties kunnen geklepeld en geplagd worden. De verruigde vegetaties worden in een mozaïekpatroon afgewisseld met vegetaties, die we kunnen rekenen tot het Verbond van Engels gras (*Armerion maritima*) en plaatselijk ook tot het Knopbies-verbond (*Caricion davalliana*). Hier groeien soorten als Zilte rus, Knopbies, Engels gras, Melkkruid, Aardbeiklaver, Parnassia, Geelhartje en Rode ogentroost. Deze zeer waardevolle vegetaties met verschillende Rode lijstsoorten moeten niet worden afgeplagd.

Ingrepen aan de westkant zouden moeten bestaan uit het creëren van een inlaat in de Kooioerdstuifdijk ter hoogte van de Oerdersloot. Op deze plaats is de verbinding tussen kwelder en vallei het meest optimaal. Door een inlaat wordt de kunstmatige, en harde begrenzing (onnatuurlijke barrière) van de kwelder door de Kooioerdstuifdijk doorbroken, en wordt een oudere situatie (namelijk die van een kwelderontwikkeling achter een zich ontwikkelende primaire duinrug) gedeeltelijk hersteld. Een zoute invloed in de vallei zou een krachtige impuls betekenen voor de ecologische ontwikkeling. De inlaat moet breed genoeg zijn om volstromen bij hoog water te verzekeren (orde 10 m), en de bodemhoogte

van de inlaat moet gelijk liggen aan het bodemniveau van vallei en aangrenzende kwelder, namelijk circa 1.50 m +NAP, om uitstromen na instromen niet te belemmeren. Een situatie waarbij het ingestroomde water na de vloed weer weg kan stromen wordt waardevoller geacht dan een situatie waar de uitstroming beperkt is, en een deel van het water in de vallei achter blijft. De inlaat zou kunnen worden uitgevoerd als een duiker onder de Kooioerdstuifdijk door, of als een laagte met een harde glooiing in de Kooioerdstuifdijk, met een bruggetje er overheen.

Naast deze inlaat is het noodzakelijk de vallei grotendeels af te plaggen om de successie terug te draaien. Bij het afplaggen moet een zo gering mogelijke bodemlaag worden weggehaald. Het grondwater ligt nu al dicht onder het oppervlak, en bij te veel afgraven zal een deel van de vallei onder water kunnen komen te staan. Het afplaggen kan al worden uitgevoerd vóórdat de inlaat wordt aangelegd. Vanwege het voorkomen van verschillende zones met een waardevolle vegetatie (onder andere Vleeskleurige Orchis) moet niet rücksichtslos de vallei in zijn geheel worden afgeplagd. De vallei is momenteel grotendeels begroeid met soortenarm Grauwe wilgenstruweel, Duindoornstruweel en Duinrietvegetaties. Het gaat om rompgemeenschappen van het Verbond der Wilgenbroekstruwelen (*Salicion cinereae*), het Duindoorn-Vlierstruweel (*Hippophae-Sambucetum*) en het Knopbies-verbond (*Caricion davallianae*). Met name deze vegetaties komen in aanmerking voor klepelen en afplaggen, waarna een gevarieerde vegetatieontwikkeling verwacht mag worden.

Plaatselijk vinden we beter ontwikkelde vegetaties die tot het Knopbies-verbond gerekend kunnen worden, met soorten als Tweerijige zegge, Duinrus, Zeegroene zegge en Vleeskleurige orchis. Dit zijn waardevolle vegetaties, die zich binnen de toekomstige zout-zoet gradiënt verder kunnen ontwikkelen. Deze vegetaties moeten niet worden afgeplagd.

De exacte begrenzing van af te plaggen delen, alsmede de afplagdiepte moet nader worden bepaald. Aanbevolen wordt om de niet af te plaggen zones op luchtfoto's te inventariseren en in het veld nader uit te karteren, waarbij een lokale deskundige meeloopt. Deze zou dan tijdens de afplagwerkzaamheden het daadwerkelijke afplaggen moeten begeleiden. Ook hier geldt dat de af te plaggen diepte vrijwel nergens de 10 cm overschrijdt. Het afplaggen moet verder zoveel mogelijk reliëfvolgend gebeuren. Ook zonder aanleg van een inlaat in de Kooioerdstuifdijk levert het afplaggen van de vallei een waardevolle situatie op. In plaats van een zoet-zoutgradient komt dan een (zoete) natte-duinvalleiontwikkeling op gang, met hoge potenties voor natuurwaarden. Combinatie met een inlaat voor zout water levert echter nog hogere natuurwaarden.

Na vaststellen van af te plaggen zones zou het totale grondverzet bepaald moeten worden. Op grond van de berekende hoeveelheden kan dan een definitief plan voor de depots worden gemaakt. De af te voeren bodem moet niet in de zeereep verwerkt worden. De zeereepontwikkeling is zodanig dat de zeereep waarschijnlijk grotendeels onder habitatype 2120 valt (aangemeld). Aanleg van depots in zeereep zou daarmee wellicht tegen de instandhoudingsdoelstelling ingaan. Er zijn in de Kooioerdstuifdijk (die op veel plaatsten uit een dubbelen reep bestaat met ertussen een lager stuk) voldoende plaatsen om het afgevoerde materiaal in weg te werken. Deze depots zullen vanuit vallei en kwelder niet of nauwelijks zichtbaar zijn, en bovendien snel begroeid raken met nu al welig tierend struweel. Op deze manier worden de depots landschappelijk optimaal ingepast. Gezien de veel geringere afplagdiepte dan vooraf gedacht, de beperking van het af te plaggen terrein en het achterwege laten van een deel van de niveauperlaging tot 2 m NAP is het totale grondverzet veel minder dan in het huidige bestek wordt aangegeven.

Het is noodzakelijk na de maatregelen een vervolfbeheer in te stellen om te voorkomen dat de successie te snel voortschrijdt, en de huidige, sterk verruigde vegetatie voortijdig

terugkeert. Dit beheer kan bestaan uit het maaien van flinke stukken van de betere ontwikkelde vallei- en zilte graslandvegetaties (Knopbiesverbond, Zilver schoonverbond) en het extensief begrazen van het gehele gebied.

## 6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Zoals hierboven reeds benadrukt werd, wordt aanbevolen om de af te plaggen delen in detail uit te karteren. Vervolgens is het noodzakelijk om de afplagwerkzaamheden door een specialist te laten begeleiden. Het handigst is hiervoor gebruik te maken van lokale deskundigheid (bij IFG of natuurcentrum). Specifieke deskundigheid voor wat betreft het afplaggen zelf zou via externe deskundigen ingehuurd moeten worden.

Voor het definitieve ontwerp van de inlaat is het nuttig met behulp van een hydrologisch model de mate van instroming in relatie tot het inlaat ontwerp te bepalen. Een vergelijkbare studie is voor de Kroon's Polders op Vlieland uitgevoerd (Wolters, 1996). Het is mogelijk hiermee de zonering van inundatiefrequentie in de vallei te 'regelen' (vanzelfsprekend afhankelijk van stormvloed).

Anticiperend op de uitwerking van de plannen voor een inlaat door de Kooioerdstuifdijk zou de waterstand op de locatie van de geplande inlaat in de komende winter gevolgd kunnen worden. Hiermee kan de relatie tussen de lokale waterstand en die bij Nes en Wierumergronden direct worden vastgesteld.

Een algemene aanbeveling voor het zoet-zoutprogramma H&I van Rijkswaterstaat is om een onderzoek uit te voeren naar de relevante abiotische parameters bij zoet-zoutovergangen. Er wordt wel aandacht besteed aan de ecologische ontwikkeling bij dergelijke projecten, echter zonder dat de abiotische randvoorwaarden voor deze ontwikkeling duidelijk worden. Voor verschillende gebieden zou een overzicht gemaakt moeten worden van hoogteligging ten opzichte van getij, gradiënten, komberging, specifieke situatie, instromende volumes in relatie tot waterstanden, verloop in hoogte en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in de tijd en in relatie tot overstromingen. Dit onderzoek kan ons inzicht verschaffen in het functioneren van zoet-zoutovergangen en aanbevelingen opleveren voor toekomstige projecten voor herstel of aanleg van zoet-zoutgradiënten. De huidige overzichten (bijvoorbeeld Esselink et al., 2003; de Leeuw & Meijer, 2003) zijn veel te globaal om hier houvast voor te bieden. Als begin zou met een pilot-project gestart kunnen worden.





## 7 LITERATUUR

- Arens, B. & van der Meulen, F., 1990. Slufters op de Waddeneilanden. In: J. Abrahamse en A. Woudstra (Edt), *Duinen in beweging*. Landelijke Vereniging voor Behoud van de Waddenzee, Harlingen, p 81-86.
- Arens, B., 2003a. De Kerf bij Schoorl; Inundaties, waterstanden en wind. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2003.02, in opdracht van Staatsbosbeheer Noord-Holland.
- Arens, B., 2003b. De Kerf bij Schoorl; Evaluatie monitoring geomorfologie 1997-2002. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2003.04, in opdracht van Staatsbosbeheer Noord-Holland.
- Asjes, J, Zegers, K., Leeuwem, P.W. van, Sleutel, A., Binsbergen, M., Bilijam, F., Wagenaar, E., Brinkman, B., Dankers, N. & Dijkema, K.S., 1993. Comparative studies on salt marsh processes, Part II - The Netherlands. Final Report Volume 1. Commission of the European Community, Directorate General for Science, Research and Development, Joint Research Centre XII-B-2C.
- Bell, J.S. en Hullenaar, J.W. van 't, 2004. Meetnetevaluatie en ecohydrologische systeemanalyse Schoorlse Duinen. Bell Hullenaar Ecohydrologisch Adviesbureau, in opdracht van Staatsbosbeheer.
- Carter, R.W. G., 1988. Coastal Environments; An introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press, London, 617 pp.
- Esselink, P., de Leeuw, C., Graveland, J. & Berg, G., 2003. Ecologische herstelmaatregelen in zoute wateren. Een ecologische evaluatie over de periode 1990-2000. Rapport RIKZ/2003.028, 57pp.
- Eysink, W.D., Hoekstra, A & Hoozemans, F.M.J., 1992. Nederlandse Slufters. Verkennende inventarisatie naar abiotische parameters. WL Delft.
- Haaf, C. ten & Kat, E., 2003. De Kerf bij Schoorl - Evaluatie monitoring vegetatie en flora 1998-2002. Ten Haaf en Bakker, Groet, in opdracht van Staatsbosbeheer.
- Krol, J., 2004. Monitoring van inundatie in duinvalleien op Oost-Ameland in 2001-2004. Natuurcentrum Ameland, in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.
- Leeuw, C. de & Meijer, M.-L., 2003. Proefgebieden herstel zoet-zout overgangen in Noord-Nederland; een beschrijving van 18 projecten. Rapport RIKZ/2003.010.
- Wintermans, G.J.M., 1999. De Slufter op Texel, verleden, heden en toekomst? WEB-rapport nr. 99-01, in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland en Staatsbosbeheer, 83 pp.
- Wolters, H.A., 1996. Inrichtingsmaatregelen in de Kroon's Polders op Vlieland. Flevobericht nr. 391, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, 120 pp.

[www.getij.nl](http://www.getij.nl)  
[www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)  
[www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl)  
[www.zoetzout.nl](http://www.zoetzout.nl)



## LIJST MET FIGUREN

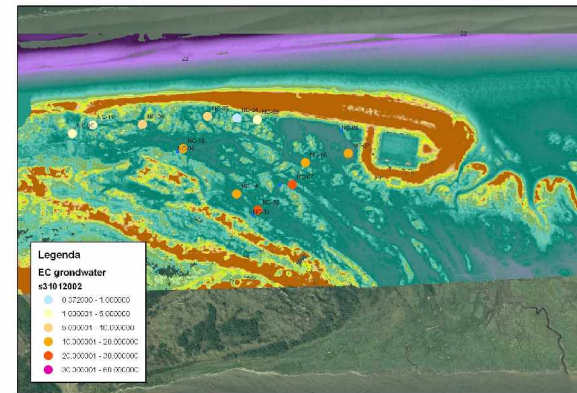
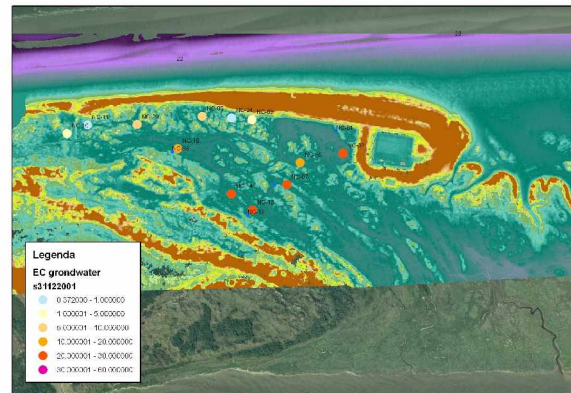
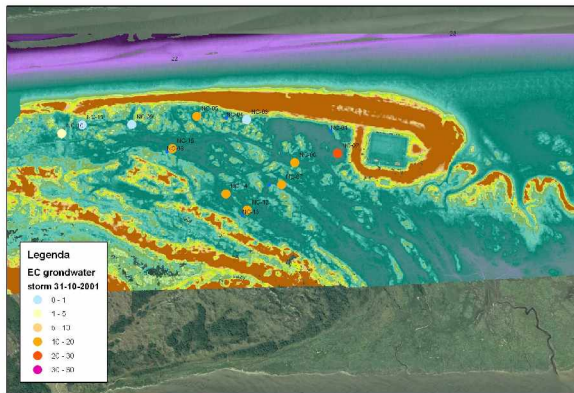
- Figuur 1.1. Overzicht van planlokatie voor duindoorbraak en mogelijke varianten (bron: RWS)
- Figuur 2.1. Waterstand bij Nes (linker-as) en windsnelheid Terschelling (rechter-as)
- Figuur 2.2. Waterstand bij Nes en Wierumergronden voor een aantal stormen. De tijd is in uren vanaf voorgaand laagwater.
- Figuur 2.3. Overzicht van verschillende meetpunten. Rood: grondwaterbuizen; geel: boringen TNO; zwart: km-aanduiding Rijks Strand Palen.
- Figuur 2.4. Ligging van de punten in de Jarkus-profielen
- Figuur 2.5. Profielontwikkeling tussen 1984 en 2004 bij 21.4 en 19.0
- Figuur 2.6. Gradiënten in de vallei en overzicht van gebruikte aanduidingen. De hoogtes in de schaalbalk zijn in cm NAP.
- Figuur 2.7. Oppervlak van de westelijke vallei voor zones met 0.1m hoogteverschil (boven) en 0.5m (onder)
- Figuur 2.8. Potentiële instroming in de westelijke vallei en overstroomd oppervlak voor verschillende waterstanden
- Figuur 2.9. Verschildkaarten volgens Jarkus (boven) en AHN (onder)
- Figuur 2.10. Netto volumeverandering per km-vak tussen 2000 en 2004 voor strand (links) en zeereep (rechts), met Jarkus en AHN
- Figuur 2.11. Relatie tussen volumeverandering per km-vak voor strand en zeereep samen voor berekening met Jarkus (X-as) en AHN (Y-as).
- Figuur 2.12. Verschildkaarten voor opeenvolgende perioden van 5 jaar
- Figuur 2.13. Verschil tussen 1984 en 2004, en verschuiving hoogtelijnen 1984-2000-20004
- Figuur 2.14. Omtrek van inundatiezones bij instroming door een doorbraak bij paal 21.4. De paarse pijl geeft het punt van instromen. Lichtblauw: incidenteel overstroomd (enkel keren per jaar); groen: zeer incidenteel overstroomd (< 1x/5jaar).
- Figuur 3.1. Relatie tussen waterstand op zee en waterstand in vallei NC-02
- Figuur 3.2. Omtrek van inundatiezones bij instroming vanaf de Hon. Donkerblauw: frequent overstroomd (enkele keren per jaar).
- Figuur 3.3. Potentiële instroming in de westelijke vallei en overstroomd oppervlak voor verschillende waterstanden bij instroming door de Kooioerdstuifdijk
- Figuur 3.4. Omtrek van inundatiezones bij instroming door de Kooioerdstuifdijk. Paars: zeer frequent overstroomd (vele keren per jaar).
- Figuur 4.1. AHN van het gebied rond de Kerf bij Schoorl. Bron: RWS.
- Figuur 4.2. AHN van de Slufter op Texel. Bron: RWS.
- Figuur 4.3. AHN van de Kroon's polders op Vlieland. Bron: RWS.
- Figuur 4.4. AHN van de Noordvaarder (links) en Groene Strand (rechts) op Terschelling. Bron: RWS

## LIJST MET TABELLEN

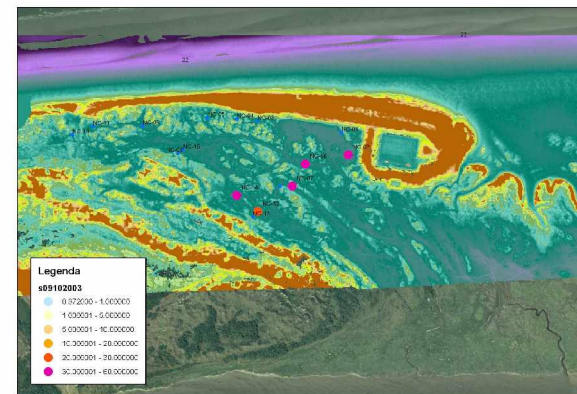
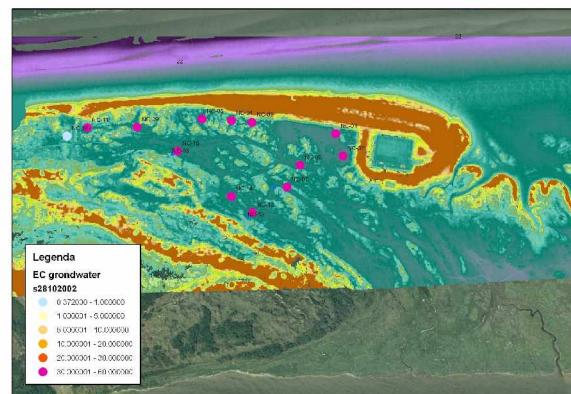
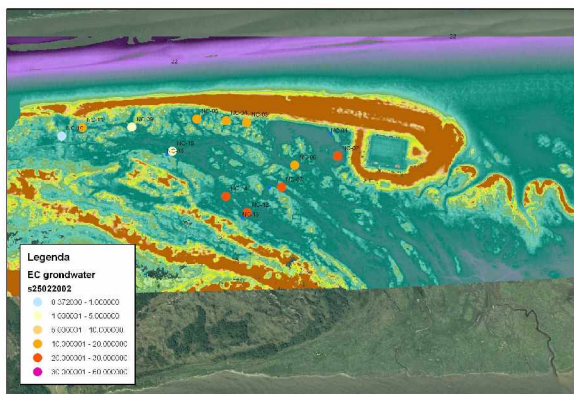
- Tabel 2.1. Overschrijdingswaarden in cm t.o.v. NAP Nes Ameland. Bron: getijtafels voor Nederland 2004 en [www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl)
- Tabel 2.2. Volumeverandering voor raaien 19.00 en 21.40
- Tabel 2.3. Netto jaarlijkse aanwas per strekkende meter tussen 2000 en 2004
- Tabel 2.4. Volumeverandering in m<sup>3</sup>/m.jaar voor strand en zeereep tussen RSP15 en 23
- Tabel 3.1. Overstromingsdagen van de valleien ten westen van de NAM lokatie, bij overstroming vanaf de Hon. Bron: J. Krol, natuurcentrum Ameland
- Tabel 4.1. Enkele situaties met instroming van zoutwater langs de Nederlandse kust



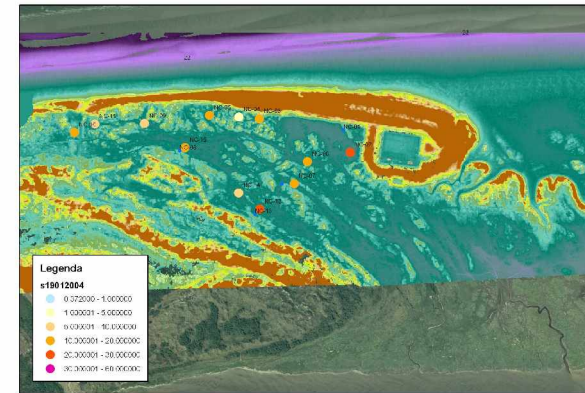
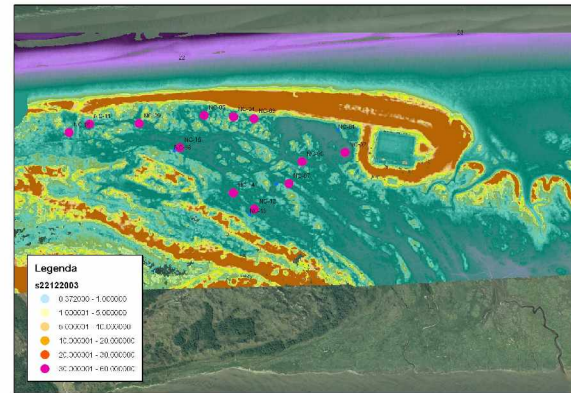
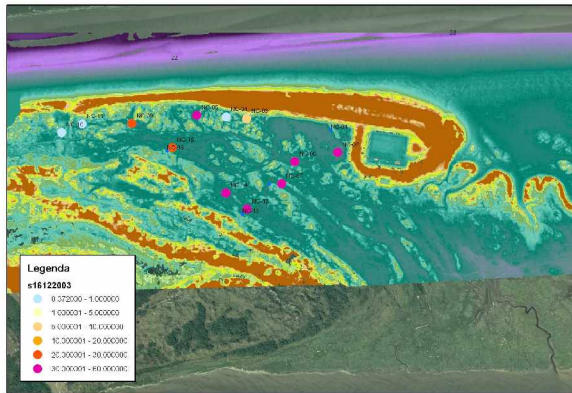
BIJLAGE 1. ELECTRISCHE GELEIDBAARHEID VAN OPPERVLAKTEWATER NA  
INSTROMING MET ZEEWATER. GEGEVENS: KROL, 2004.



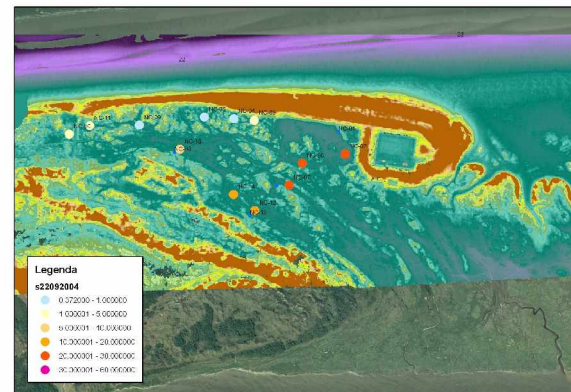
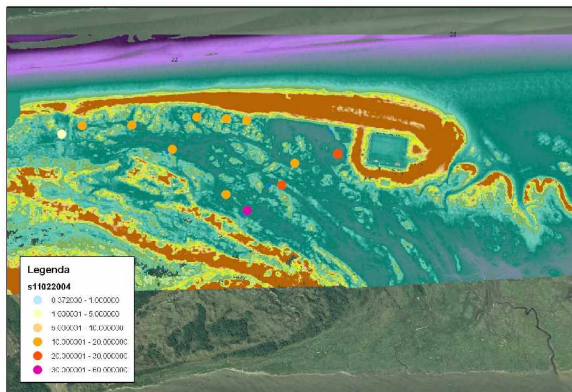
datum overstroming	31-10-2001	datum overstroming	28/12/01	datum overstroming	29/01/2002
waterstand Nes	2.38	waterstand Nes	2.60	waterstand Nes	2.40
waterstand WG	2.05	waterstand WG	1.88	waterstand WG	2.07
windrichting	280-310	windrichting	260-310	windrichting	230-240
windsnelheid	14.9	windsnelheid	20.8	windsnelheid	14.7



datum overstroming	23-02-2002	datum overstroming	28-10-2002	datum overstroming	09-10-2003
waterstand Nes	2.53	waterstand Nes	2.63	waterstand Nes	2.24
waterstand WG	2.17	waterstand WG	2.05	waterstand WG	1.87
windrichting	260-280	windrichting	280 (Lw)	windrichting	
windsnelheid	15.6	windsnelheid	10 (Lw)	windsnelheid	



datum overstrooming	15-12-2003	datum overstrooming	21-12-2003	datum overstrooming	14-01-2004
waterstand Nes	2.42	waterstand Nes	2.70	waterstand Nes	2.25
waterstand WG	2.43 (JK)/ 1.86 (WB)	waterstand WG	2.29	waterstand WG	1.94
windrichting	330 (Lw)	windrichting	293 (Lw)	windrichting	250 (Lw)
windsnelheid	13 (Lw)	windsnelheid	15 (Lw)	windsnelheid	12 (Lw)



datum overstrooming	08-02-2004	datum overstrooming	21-09-2004
waterstand Nes	2.62	waterstand Nes	2.28
waterstand WG	2.09	waterstand WG	1.92
windrichting	307 (Lw)	windrichting	281 (Lw)
windsnelheid	14 (Lw)	windsnelheid	13 (Lw)

