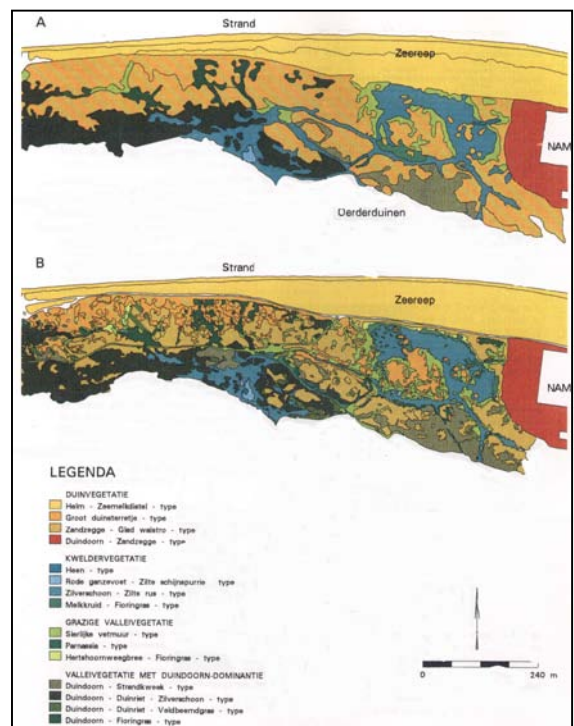
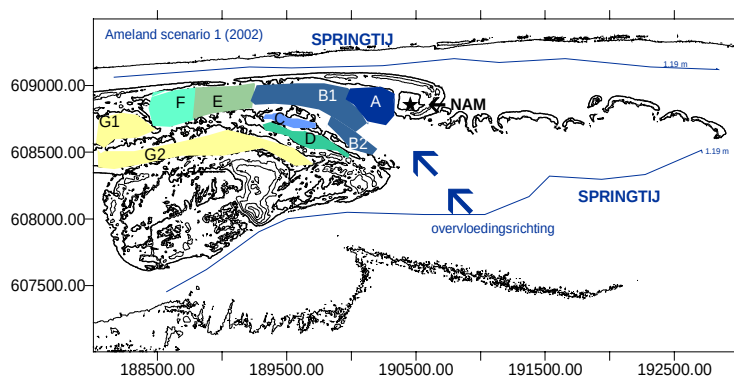


Overstromingsrisico duinvalleien

Ameland-Oost

Door: Dymph Schouten



December 1999

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Universiteit Utrecht

Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in de vorm van een afstudeerstage bij de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) in Assen. Het resultaat is deze scriptie in het kader van mijn opleiding Milieukunde aan de Universiteit Utrecht.

In opdracht van de NAM heb ik me verdiept in de gevolgen van bodemdaling door gaswinning op Ameland-Oost. Ik heb me hierbij gericht op de toename in overstromingsrisico van duinvalleien met een open verbinding naar zee die zich bevinden in het bodemdalingsgebied en op de successie van de vegetatie in deze valleien. Op basis van verschillende scenario's voor bodemdaling en zeespiegelstijging zijn voorspellingen gemaakt voor de toekomst.

Ik heb hierbij veel steun gehad van de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland. Ik wil hier vooral Pieter Slim van het IBN en de Albert Prakken van Rijkswaterstaat voor bedanken. De bezoeken aan het IBN en aan Rijkswaterstaat en de vele aanwijzingen van Pieter Slim heb ik als zeer nuttig ervaren.

Tenslotte wil ik mijn begeleider Joop Marquenie van de NAM bedanken voor de zeer enthousiaste begeleiding en de goede ideeën voor het onderzoek en de afdeling XGM voor de leuke tijd die ik er het afgelopen half jaar gehad heb.

Assen, 7 juli 1999

Inhoudsopgave

VOORWOORD	1
INHOUDSOPGAVE	3
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING.....	9
1.1 AANLEIDING ONDERZOEK	9
1.2 DOEL, VRAAGSTELLING EN AANPAK	9
1.3 MILIEUKUNDIGE RELEVANTIE	10
1.4 LEESWIJZER.....	10
2. GEBIEDSBESCHRIJVING.....	11
2.1 LOCATIE.....	11
2.2 GEOMORFOLOGIE.....	11
2.2 HOOGTELIKKING	12
2.3 ZEESPIEGELSTIJGING	17
2.4 BODEM	18
2.4.1 Zoutgehalte.....	18
2.4.2 Opslibbing.....	19
2.5 VEGETATIE.....	20
3. AUTONOME ONTWIKKELING	23
3.1 HOOGTELIKKING	23
3.2 ZEESPIEGELSTIJGING EN OVERVLOEDINGSFREQUENTIE	24
3.3 VEGETATIE.....	28
4. ONTWIKKELING IN SCENARIO'S	31
4.1 ZEESPIEGELSTIJGING	31
4.2 PROGNOSES VOOR BODEMDALING.....	32
4.3 BODEMDALINGSSCENARIO'S.....	32
4.4 OVERVLOEDINGSFREQUENTIE	35
4.5 OVERSTROMINGRISICO	37
4.5.1 Oppervlakte en volume valleien	37
4.5.2 Risico-analyse	39
5. VEGETATIE.....	43
5.1 VEGETATIE-ONTWIKKELING	43
5.1.1 Effecten bodemdaling op vegetatie-successie.....	43
5.1.2 Successies in de valleien	44
5.2 REGENERATIEMOGELIJKHEDEN IN DE DUINVALLEIEN	49
5.3 BELEID.....	49
6. DISCUSSIE.....	53
6.1 BETROUWBAARHEID ABIOTISCHE GEGEVENS.....	53
6.2 VEGETATIE-VOORSPELLINGEN.....	54
6.3 GEVOLGEN VOOR MILIEU	55
6.4 MONITORING	56
7. CONCLUSIES	57
REFERENTIES.....	59
BIJLAGEN.....	61
BIJLAGE A: CONTOURLIJNEN BODEMDALING	63
BIJLAGE B: FORMULES BASISPEILENRAPPORT	65
BIJLAGE C: BEPALEN ZOUTGEHALTE	71
BIJLAGE D: BEPALEN SLIBGEHALTE	77
BIJLAGE E: OPVULLING VALLEIEN	83
BIJLAGE F: VEGETATIEKAARTEN.....	89

Samenvatting

In opdracht van de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. is onderzoek gedaan naar het toenemen van het overstromingsrisico op Ameland-Oost als een gevolg van de bodemdaling door de gaswinning aldaar.

In het onderzoek zijn de effecten van zowel bodemdaling als zeespiegelstijging onderzocht en is gekeken hoe de vegetatie zich zal ontwikkelen naar aanleiding van een aantal gekozen scenario's.

Voor de bodemdaling geldt een huidige eindprognose van 28 cm daling in 2020 in het centrum van de bodemdalingsschotel. Deze eindprognose is opgesteld met behulp van een prognose-model op basis van gesteente-eigenschappen en gesteentemechanica dat een relatie legt tussen de druk in een veld en de bodemdaling.

Op basis van jaarlijkse metingen van de opgetreden hoogteverschillen in het bodemdalingsgebied is een model opgesteld dat de daling beschrijft van 1986 tot 1998. Uit de metingen blijkt dat er tot nu toe een constante daling in het centrum optreedt van 2 cm. per jaar. Door drukafname in het gasveld zal de productie steeds langzamer verlopen; ook de bodemdalingssnelheid zal afnemen. In dit onderzoek is een constante bodemdalingssnelheid verondersteld; er is gebruik gemaakt van 2 bodemdalingsscenario's:

- Scenario 1: Voorspelling van de situatie in het jaar 2002, bij een veronderstelde constante bodemdaling. Dit scenario komt uit op een daling van 28 cm in het centrum.
- Scenario 2: Voorspelling van de situatie in het jaar 2007 bij een veronderstelde constante bodemdaling. Dit scenario beschrijft een overdreven situatie waardoor eventuele zwakke plekken zichtbaar worden; de uiteindelijke daling is in dit scenario 38 cm in het centrum.

In het gebied rondom de boorlocatie heeft de zee vrij toegang. Het gebied staat daarom onder invloed van de zeespiegelstijging. Sinds het begin van deze eeuw is de zeespiegel met ongeveer 20 centimeter gestegen.

Om in te spelen op de zeespiegelstijging in de toekomst is in dit onderzoek gebruik gemaakt van 2 zeespiegelstijgingsscenario's:

- 25 cm per eeuw
- 50 cm per eeuw

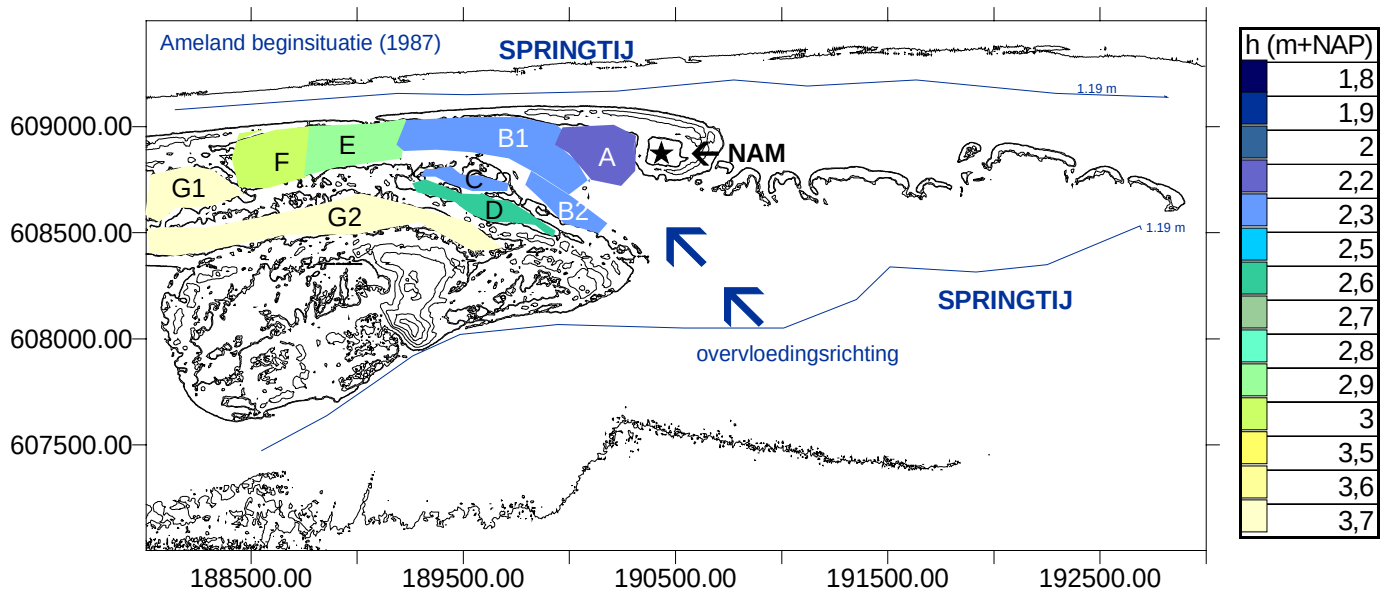
Als een gevolg van zeespiegelstijging en bodemdaling hebben de lage delen van het gebied rondom de boorlocatie te maken met een groeiende kans op overstroming.

Om deze kansen te kunnen bepalen is het allereerst van belang over accurate hoogtegegevens van het gebied te beschikken, zodat de lage delen gelokaliseerd kunnen worden.

Deze hoogtegegevens zijn voor dit onderzoek afgeleid van laseraltimetriedata die opgenomen zijn in 1997. Deze data zijn aangepast met behulp van het eerder beschreven bodemdalingsmodel. Zo zijn voor de verschillende bodemdalingsscenario's hoogtekaarten ontwikkeld. Ook voor de beginsituatie in 1987 (voor de aanvang van de bodemdaling) is een hoogtekaart ontwikkeld door de reeds opgetreden daling bij de laseraltimetriedata op te tellen.

In het gebied zijn negen duinvalleien aanwezig, die van elkaar gescheiden zijn met drempels. De hoogte van deze drempels is bepalend voor de hoogte dat een hoogwater moet bereiken voordat een bepaalde vallei overstroomt. Door Rijkswaterstaat wordt bijgehouden hoeveel maal per jaar een bepaald hoogwater wordt overschreden. Deze overschrijdingsfrequentie kan ook toegepast worden op de duinvalleien; er kan dan bepaald worden hoe vaak per jaar de hoogte van de drempel door een hoogwater wordt overschreden.

De volgende figuur brengt de verschillende duinvalleien in het gebied in beeld, waarbij voor elke vallei is aangegeven bij welke hoogte van hoogwater deze in de beginsituatie overstroomt.



Figuur S.1: Oost-Ameland voor de aanvang van bodemdaling (1987) met de verschillende duinvalleien en de hoogte waarbij deze overstromen.

De daling van de drempels rondom de duinvalleien als een gevolg van de bodemdaling en de groeiende kans op extreme hoogwaters door de stijging van de zeespiegel zorgen ervoor dat de kans toeneemt dat de verschillende duinvalleien vaker per jaar overstromen. De overloedingsfrequentie neemt dan vooral toe in de duinvalleien nabij het centrum van de bodemdalingschotel.

Hoe de overloedingsfrequentie voor alle duinvalleien verandert op basis van de gekozen scenario's kan worden afgelezen in onderstaande tabel.

Tabel S.A: Toename van overloedingsfrequenties (f) voor de scenario's van zeespiegelstijging en bodemdaling vanaf de beginsituatie (1987). Zss= zeespiegelstijging, h= hoogwater waarbij valleien overstromen:

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

h (m+NAP)

1,8
1,9
2
2,2
2,3
2,5
2,6
2,7
2,8
2,9
3
3,5
3,6
3,7

Het risico voor overstromen van het totale gebied neemt op grond van bovenstaande getallen toe. Om het aandeel van de bodemdaling in deze toename van overstromingsrisico te bepalen is alleen de daling van de drempels rondom de valleien meegenomen en is de stijging van de zeespiegel buiten beschouwing gelaten. De hoogte van de drempels voor de

verschillende bodemdalingsscenario's is naast de overschrijdingsfrequenties van hoogwaters uit 1987 gelegd.

Op eenzelfde manier kan ook de autonome ontwikkeling van het gebied in termen van overstromingsrisico worden bepaald. De bodemdaling die in het gebied is opgetreden en nog zal optreden wordt dan buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat de hoogte van de drempels rondom de valleien op het niveau blijft van 1987 en dat alleen de groeiende kans op extreme hoogwaters als een gevolg van de zeespiegelstijging meegenomen wordt.

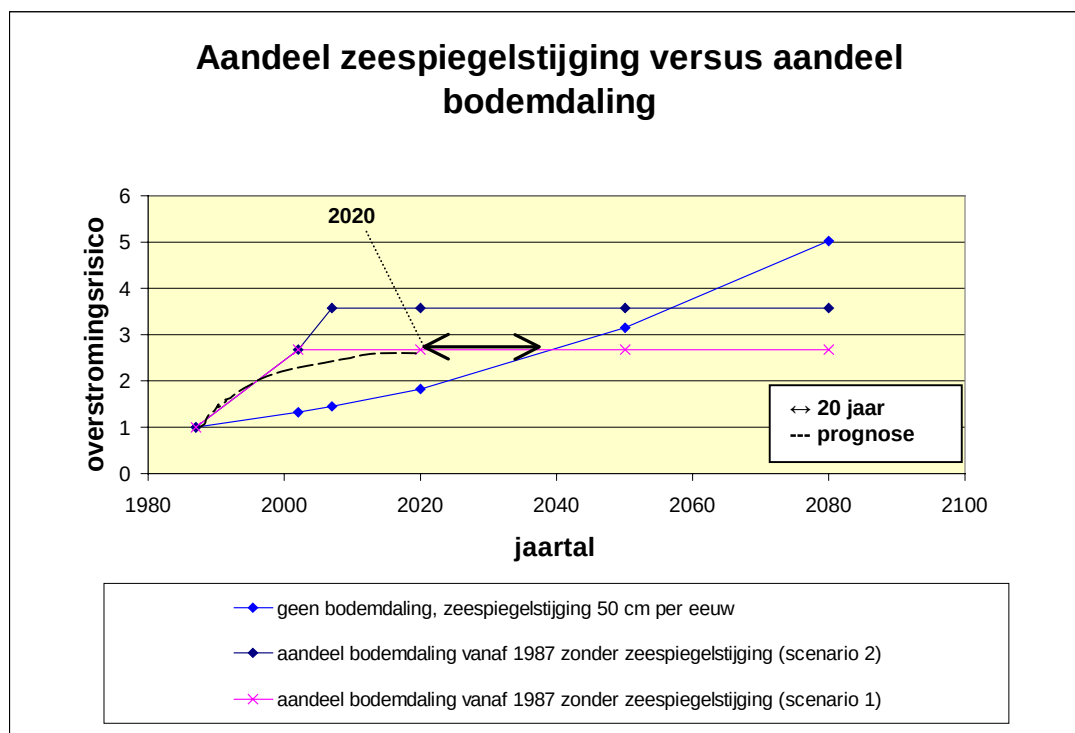
De overstromingsrisico's zijn vervolgens voor beide gevallen bepaald door het oppervlak dat overstroomt in de duinvalleien te vermenigvuldigen met de frequentie waarmee elke vallei per jaar overstroomt. Het overstromingsrisico (frequentie maal oppervlakte) in 1987 is op 1 gesteld. Het aandeel bodemdaling in de totale toename van de overvloedsfrequentie in de duinvalleien kan nu worden bepaald.

Het blijkt dat voor scenario 1 van bodemdaling het overstromingsrisico 3,5 keer zo groot wordt in vergelijking met de beginsituatie. Bij alleen bodemdaling zonder zeespiegelstijging zou dit 2,5 keer zo groot zijn.

Scenario 2 van bodemdaling heeft een totale toename in overstromingsrisico van 5 maal de beginsituatie. Het aandeel bodemdaling hierin is 3,5 maal de beginsituatie.

Na het bepalen van het aandeel van de bodemdaling in de toename van het overstromingsrisico is bepaald hoe de stijging van het overstromingsrisico verloopt in het geval van een autonome ontwikkeling met alleen zeespiegelstijging. Dit verloop is naast het aandeel van de bodemdaling gelegd en dan kan worden afgelezen wanneer de toename van overstromingsrisico in een autonome ontwikkeling van het gebied hetzelfde niveau bereikt als deze toename in een situatie met alleen bodemdaling. Hierbij moet wel bedacht worden dat de eindprognose van de bodemdaling in 2020 wordt bereikt.

Dit resulteert in de onderstaande grafiek, waaruit afgeleid kan worden dat als een gevolg van de bodemdaling op Ameland-Oost het proces van het toenemen van overstromingsrisico door de zeespiegelstijging 20 jaar wordt versneld.



Figuur S.2: De autonome ontwikkeling in de toename van het overstromingsrisico vergeleken met de twee bodemdalingsscenario's.

Samenvattend heeft deze toename in overvloedingsfrequentie in de duinvalleien als een gevolg van de bodemdaling en de zeespiegelstijging de volgende effecten op de bodemcondities die van belang zijn voor de vegetatie:

- langdurige anaërobe situaties in de meest overstroomde valleien (A, B1 en B2)
- vernatting (brakke condities)
- toename zoutgehalte bodem en grondwater (verzilting)
- stijging van pH
- opslibbing in de valleien die het meest frequent overstroomd

Als een gevolg van drempels rondom de duinvalleien blijft na een extreem hoogwater water achter in de valleien. Dit leidt tot langdurige anaërobe situaties in de valleien, waardoor vegetatiesterfte kan optreden. Tevens vindt er een vernatting van de bodem plaats. Vaker overstroomd van een duinvallei doet het zoutgehalte in de bodem toenemen en er treedt geen kalkverarming van de bodem op. Tenslotte is er voldoende tijd voor bezinken van het slib meegebracht vanaf de kwelders, doordat water blijft staan in de vallei. De zoutgehaltes en slibgehaltes in de valleien nemen af naarmate de overvloedingsfrequentie van de valleien lager wordt.

Bovenstaande factoren staan een normale vegetatiesuccessie in de weg. Er vindt eigenlijk een regressie plaats richting meer zoutminnende soorten vooral in de lage delen van de valleien. Veel van deze zoutminnende soorten hebben een hoge waardering in termen van zeldzaamheid en internationaal voorkomen; ze behoren tot de Rode-Lijst soorten.

In de valleien nabij de boorlocatie heeft de vegetatie zich reeds ontwikkeld van een grazige vegetatie naar een meer gevarieerde vegetatie van zoutminnende soorten. Het duindoornstruweel is hier grotendeels vervangen door vegetatie uit de overgangszone tussen de kwelders en jonge duinen. Deze zone is een gesloten grasland met o.a. fioringras, aardbeiklaver, zilte zegge, kattedoorn , rode bies en zeerus en komt voor in gebieden die onregelmatig overspoeld worden door zeewater. Ze bevat de meest soortenrijke typen van de kwelder. Door de verdere toename in de overvloedingsfrequentie van deze valleien zal er vaker water achterblijven in deze valleien en zal er meer opslibbing plaatsvinden. Als een gevolg van deze opslibbing en vernatting zullen soortenrijke type vervangen worden door een vegetatie met soorten van de hoge kwelder. Er zullen tevens plassen ontstaan waar zelfs soorten van de lage kwelder zich kunnen vestigen. Als regeneratiemogelijkheid voor deze valleien lijkt verwijderen van de valleidrempels de enige optie, maar in een natuurgebied met natte duinvalleien zoals op Ameland-Oost brengt dit waarschijnlijk meer schade toe aan de aanwezige vegetatie dan "niets doen".

In de valleien met een geringe toename van overvloediging speelt opslibbing nog nauwelijks een rol. Hier is grazige vegetatie en duindoornstruweel nog dominant, maar deze vegetatie begint door vernatting en toename van het zoutgehalte te verdwijnen. Als regeneratiemogelijkheden zou je hier kunnen denken aan het aanleggen van enkele kreken zodat het water niet stagneert in deze valleien en opslibbing zo klein mogelijk blijft. Door een toename van het zoutgehalte en de vochtigheid van de bodem zou zich hier dan een overgangszone tussen kwelder en jonge duinen kunnen vestigen met soorten die een hoge waardering hebben in termen van zeldzaamheid en internationaal voorkomen.

Monitoring van de vegetatie-ontwikkeling hier kan inzicht geven in de veranderingen die op langere termijn in andere gebieden, waar de zee vrij toegang heeft, kunnen gaan plaatsvinden als een gevolg van de stijgende zeespiegel. Het bepalen van overstromingsrisico's door het lokaliseren van lage delen met behulp van laseraltimetriedata is wellicht ook in andere gebieden toepasbaar.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

Wisselende prognoses voor bodemdaling door een steeds betere kennis van de ondergrond en het feit dat trends in kustontwikkeling, vegetatie en fauna pas in de loop der jaren zichtbaar worden maakt het noodzakelijk de ontwikkelingen in het gebied goed te monitoren. Voor het begeleiden van deze monitoring is een begeleidingscommissie ingesteld met vertegenwoordigers van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Rijkswaterstaat, de Friese natuurbeschermingsorganisatie It Fryske Gea (tevens beheerder van een deel van het betreffende gebied), de gemeente Ameland en de NAM. De monitoring wordt uitgevoerd door het Instituut voor Bos en Natuuronderzoek te Wageningen en het Waterloopkundig Laboratorium te Delft.

Tussen 1990 en 1992 vond een grote sterfte plaats van het duindoornstruweel op de oostpunt van Ameland binnen de dalingsschotel van de tot dan toe gerealiseerde bodemdaling. Deze waarneming is binnen de commissie besproken en vervolgens is door de NAM aan het IBN verzocht een vooronderzoek te doen naar de oorzaken van deze sterfte.

Gezien de hoogteligging van de afgestorven struiken, de gelijke hoogtegrens voor de begrenzing van het sterftegebied, de optredende hoogwaters en de gevoeligheid van de duindoorn voor overspoeling van zeewater (Weeda et al, 1987) is het aannemelijk dat verzilting en/of vernatting door overspoeling van zeewater de oorzaak van de sterfte is. Ook op andere eilanden, zoals Schiermonnikoog, zijn sterftegevallen vastgesteld onder gelijke condities.

Eventuele andere oorzaken voor de sterfte zijn ook onderzocht, maar gaven een negatieve uitkomst. De oorzaak lag bijvoorbeeld niet in de veroudering van het struweel, omdat er levende en dode struiken van gelijke leeftijd gevonden zijn. Ook de bodemgesteldheid bleek geen bepalende factor te zijn: er zijn weinig verschillen te vinden tussen de groeiplaatsen van afgestorven en levende duindoornstruiken. Aantasting door plantparasitaire aaltjes is niet waarschijnlijk door het voorkomen van wisselende aantallen bij zowel levende als afgestorven duindoorn. Verder is er slechts lokale aantasting door insecten gevonden en is vraat van konijn en ree uitgesloten. De oorzaak is ook niet te wijten aan een smalle genetische basis, omdat er afzonderlijk uit zaad gevestigde individuen zijn. Tenslotte lijkt een doorbraak van de zee aan de westzijde van het sterftegebied geen effect te hebben gehad (Slim, 1997).

Uit bovenstaande tekst blijkt dat overstroming tijdens extreme hoogwaters een bepalende factor is voor de natuurlijke ontwikkeling van het duindoornstruweel. Bodemdaling kan dit effect eerder of vaker doen optreden.

In het kader van deze eerdere uitkomsten van onderzoek wordt in dit onderzoek gekeken welke gevolgen bodemdaling en zeespiegelstijging hebben op de overvloedingsfrequentie in het bodemdalinggebied en wat dit betekent voor de aanwezige vegetatie.

1.2 Doel, vraagstelling en aanpak

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een overstromingsrisicomodell voor het bodemdalinggebied rondom de boorlocatie op Ameland-Oost. De centrale vraag die hierbij een rol speelt is:

Welke gevolgen hebben bodemdaling en zeespiegelstijging op de overvloedingsfrequentie in het bodemdalinggebied en hoe reageert de vegetatie hierop?

Er is hierbij ook gekeken naar de autonome ontwikkeling die in het gebied zou plaatsvinden als er vanaf 1987 geen bodemdaling opgetreden was. Het gebied wordt dan alleen beïnvloed door de zeespiegelstijging.

In het onderzoek worden vervolgens de effecten op de vegetatie voor de volgende bodemdalingsscenario's uitgewerkt.

- Scenario 1: Voorspelling van de situatie in het jaar 2002, waarbij de snelheid van bodemdaling constant blijft.
- Scenario 2: Voorspelling van de situatie in het jaar 2007 bij een veronderstelde constante bodemdaling. Dit scenario beschrijft een overdreven situatie waardoor eventuele zwakke plekken in het model zichtbaar worden.

Het model geeft inzicht in het risico op optredende veranderingen in de vegetatie, gegeven de scenario's voor bodemdaling door gaswinning en de overstromingstatistieken. Om in te spelen op de toekomstige stijging van de zeespiegel zal in het onderzoek een normale en een extreme stijging als scenario worden meegenomen.

Op basis van de bovengenoemde scenario's zullen risicogebieden worden aangegeven en zal er worden gekeken hoe in de verschillende gebieden de overvloedingsfrequentie in de toekomst toeneemt.

Een belangrijk deel van het onderzoek zal bestaan uit het bepalen hoe de vegetatie in de aangegeven risicogebieden ten westen van de boorlocatie reageert op de verandering in overvloedingsfrequentie per gebied en welk aandeel bodemdaling door gaswinning hierin heeft.

Vervolgens zal worden bepaald in hoeverre de eventueel optredende ecologische veranderingen ook werkelijk een schade aan het milieu betekenen.

1.3 Milieukundige relevantie

Het is belangrijk om de gevolgen van gaswinning aan de oppervlakte van te voren in te kunnen schatten. Dit is onder andere noodzakelijk in het kader van de MER-plicht (gewijzigd MER-besluit 1999), maar biedt ook de mogelijkheid om in een vroeg stadium mitigerende maatregelen te nemen en zo de schade aan het milieu zoveel mogelijk te beperken.

Het opstellen van een overstromingsrisicomodel heeft als voordeel dat optredende veranderingen makkelijk in beeld kunnen worden gebracht en dat gebieden kunnen worden aangewezen die in de toekomst extra aandacht nodig hebben.

Het uitwerken van verschillende scenario's geeft inzicht in de effecten die daadwerkelijk aan het winnen van gas kunnen worden toegeschreven en welke een gevolg zijn van de natuurlijke variaties die optreden in het waddengebied (vgl. de beginsituatie en scenario 1). Het meenemen van een extreme situatie maakt gebieden, die in de toekomst intensiever gemonitord moeten worden, nog beter zichtbaar (scenario 2).

De resultaten kunnen verder worden gebruikt om voor eventuele nieuwe boringen in het waddengebied van te voren een betere inschatting van de gevolgen voor het milieu te kunnen maken.

1.4 Leeswijzer

Na een beschrijving van het bestudeerde gebied volgt een beschrijving van de autonome ontwikkeling die opgetreden zou zijn als er geen bodemdaling in het gebied zou plaatsvinden (hoofdstuk 2 en 3).

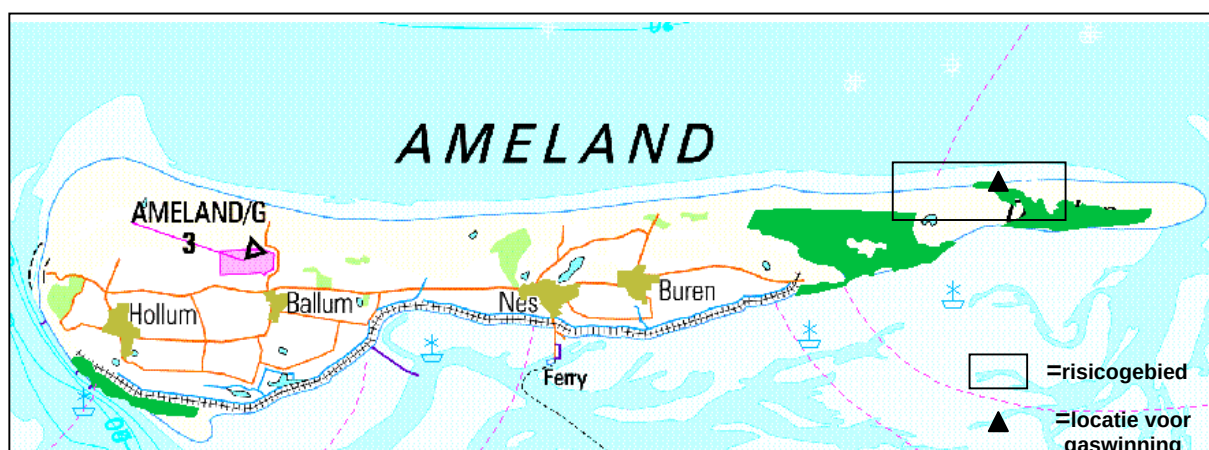
In het daarop volgende abiotische deel komt de ontwikkeling op basis van scenario's voor zeespiegelstijging en bodemdaling aan de orde en wordt beschreven hoe deze thema's het optreden van overvloedingen beïnvloeden (hoofdstuk 4).

Het biotische deel beschrijft de vegetatieveranderingen die op grond van de eerder uitgewerkte abiotische factoren te verwachten zijn (hoofdstuk 5).

2. Gebiedsbeschrijving

2.1 Locatie

Centraal staat het gebied rondom de boorlocatie op Ameland -Oost. Dit is een gebied met verschillende duinvalleien waar de zee vrij toegang heeft. Figuur 2.1 geeft de locatie van het gebied aan.



Figuur 2.1: Topografische kaart van Ameland met daarop aangegeven het bestudeerde gebied en de NAM-locatie.

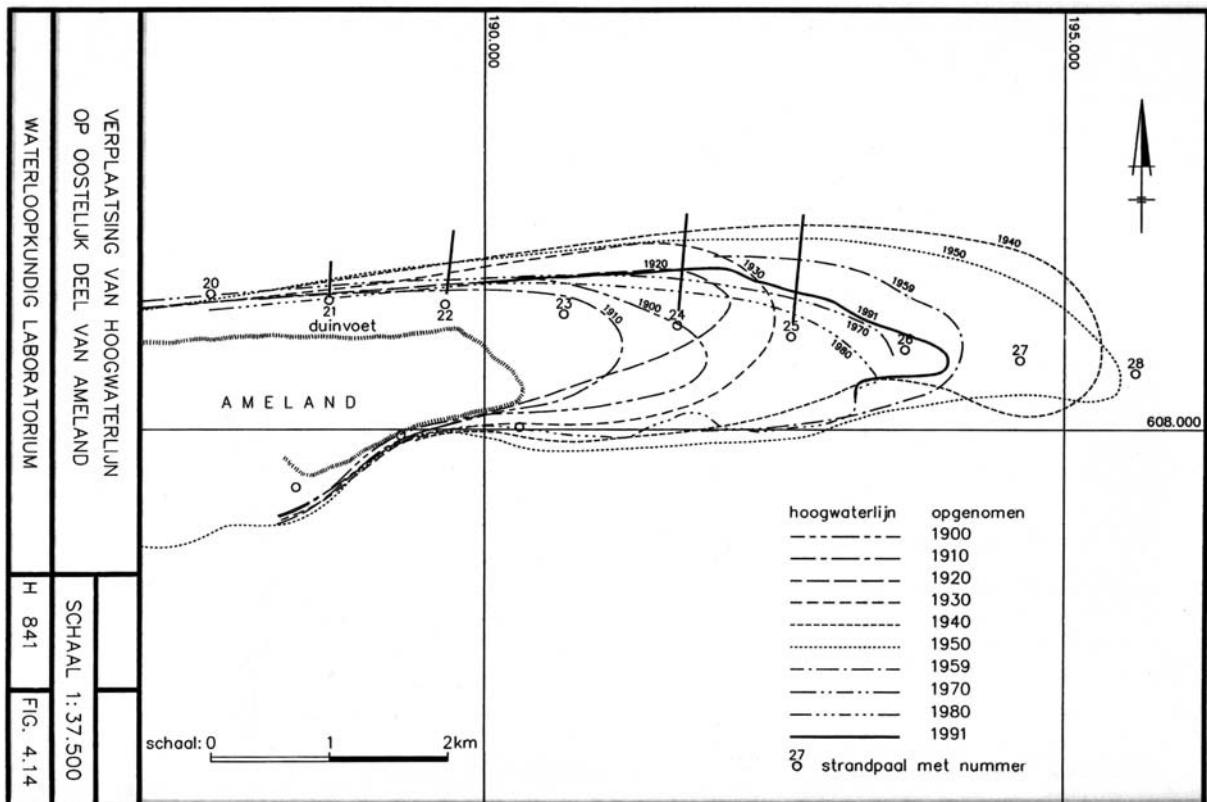
Het gebied valt onder het beheer van It Fryske Gea en de zeereep ten noorden van de vallei wordt beheerd door Rijkswaterstaat. De zeereep wordt niet meer onderhouden. Dit is in de lijn met het beheer van Rijkswaterstaat om hier de natuur zijn gang te laten gaan.

2.2 Geomorfologie

De positie van Ameland is net als de meeste waddeneilanden niet constant geweest in de tijd. De westkust ondervindt sterke erosie van de Borndiep-inlet en aan de oostkant is de kustlijn sinds 1731 al 5,5 km in oostwaartse richting verschoven (Ehlers, 1988). Om verdere erosie aan de westkant tegen te gaan wordt deze door kustverdedigingswerken kunstmatig in stand gehouden; de ontwikkeling van de oostkust wordt vrij gelaten. Hoe deze zich in de loop der jaren ontwikkeld heeft is te zien in figuur 2.2. In deze figuur wordt de verplaatsing van de hoogwaterlijn gegeven, wat een goede indicatie is voor het gedrag van de oostpunt.

De Oerderduinen, die ten zuidwesten van de boorlocatie liggen, bestonden vroeger uit een enkele duinboog, waarbinnen een vlakte lag met duinmeertjes. Aan de zuidzijde is deze duinboog voor een groot deel weggeslagen en verstoven, maar aan de noordzijde vond de afgelopen honderd jaar juist veel duinvorming plaats.

De duinvalleien die ten noorden van Het Oerd liggen, hebben zich gevormd tijdens deze duinvorming achter duinringen die zijn ontstaan door opstuiving. De eerste grote duinring is gevormd in 1910 waarbij het hele Oerderduinencomplex werd omsloten. Door deze duinring werd een langwerpige vallei afgesloten van zee. Vervolgens zijn door het ontstaan van verschillende duinringen in 1928 en 1933 de overige duinvalleien in het gebied van zee afgesloten (Westhoff en Van Oosten,1991).



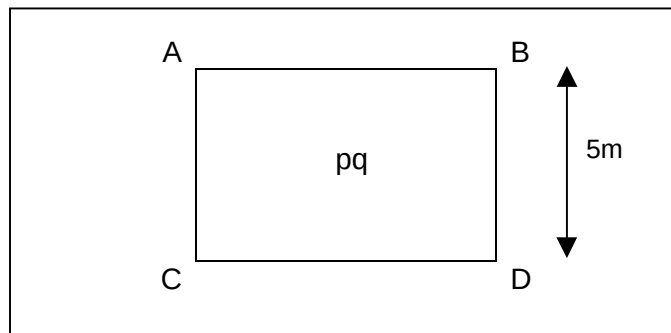
Figuur 2.2: Verplaatsing van hoogwaterlijn op oostelijk deel van Ameland (Eysink et al, 1995)

2.2 Hoogteligging

De hoogteligging van het betreffende gebied is vrij nauwkeurig bepaald met behulp van laseraltimetrie. Dit is een methode waarbij in een vliegtuig de hoogten van een gebied worden bepaald in een 5 bij 5 meter grid. Voor dit onderzoek zijn laseraltimetriedata van Ameland uit 1997 gebruikt.

Voor de nauwkeurigheidsbepaling van de laseraltimetriedata van Ameland is een vergelijking gemaakt met in het veld gemeten hoogten op het Nieuwlandsreid. Deze hoogten worden gemeten aan de hand van pq's; dit staat voor permanente quadraten en zijn in het veld gemarkeerde plaatsen middels in het zand verankerde palen. Deze palen worden gebruikt als referentiepunt voor hoogtemetingen van vegetatieopnamen die gedurende afgelopen 13 jaar zijn uitgevoerd. De laseraltimetriedata zijn gecorrigeerd voor bodemdaling tot het tijdstip van de pq-meting. Er is gekozen om de vergelijking te maken op het Nieuwlandsreid en niet op de Hon, dat dicht bij het centrum van bodemdaling ligt, omdat het Nieuwlandsreid een minder dynamisch gebied is.

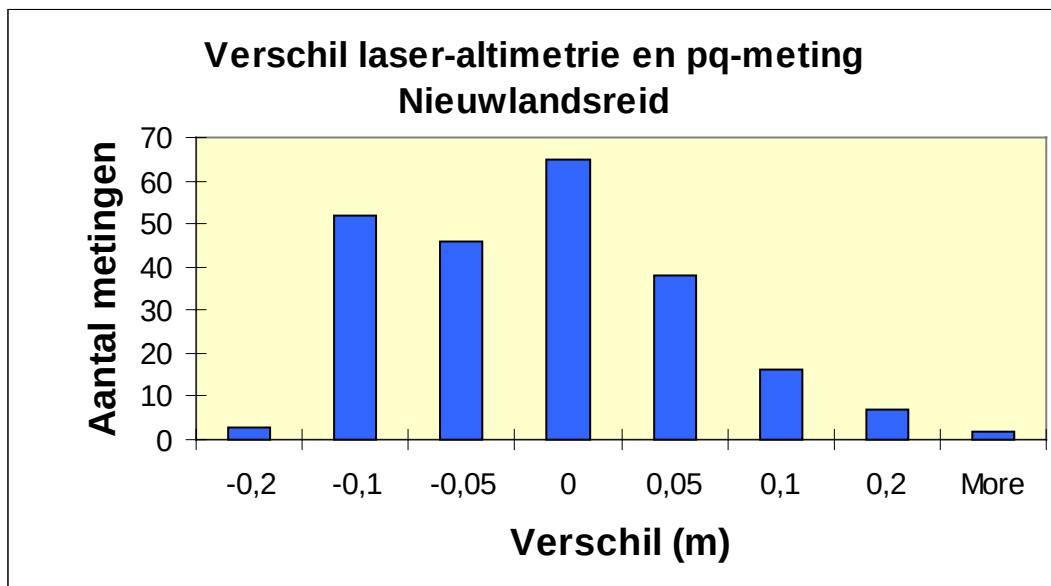
Laseraltimetriedata worden geschoten in een 5 bij 5 meter grid en daarom is er geen goed passende vergelijking te maken met de pq-punten. Figuur 2.3 verduidelijkt dit.



Figuur 2.3: Pq en laseraltimetriepunten

De hoogteverschillen tussen de laserpunten rondom elk gemeten punt in het veld zijn bepaald en alleen die laserpunten die maximaal 20 cm onderling hoogteverschil hebben zijn gebruikt om te vergelijken met de pq-punten.

Door een relatief vlak gebied te nemen zijn de gemiddelden die berekend worden van de laseraltimetriedata goed te vergelijken met de pq-punten. In figuur 2.4 is te zien dat het merendeel van de data binnen een onzekerheid liggen van –10 en +5 cm.



Figuur 2.4: Frequentie van hoogteverschillen tussen laseraltimetriedata en pq-metingen op Nieuwlandsreid te Ameland.

De laseraltimetrie geeft op basis van bovenstaande figuur dus een lichte onderschatting van de hoogte. Deze geringe afwijking kan veroorzaakt zijn door de vegetatie in het gebied of door het feit dat de punten gemeten met laseraltimetrie simpelweg niet exact overeenkomen met de ligging van de pq-punten. Op grond van bovengenoemde overwegingen is besloten om de laseraltimetriedata te gebruiken als een betrouwbare hoogtemeting van Ameland.

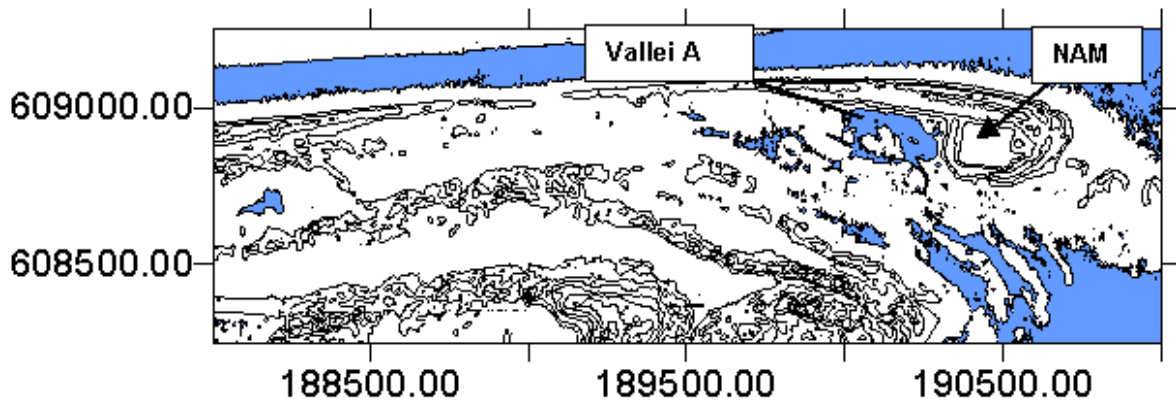
De laseraltimetriedata zijn vervolgens met het software pakket Surfer van de NAM bewerkt en omgezet in een hoogte-contourlijnenkaart van Ameland-Oost.

In dit pakket is het mogelijk om potentiële waterhoogtes aan te geven op bovengenoemde contourlijnenkaart. Op deze manier wordt duidelijk zichtbaar dat er zich tussen hoger gelegen duintjes verscheidene duinvalleien bevinden. De hoger gelegen duintjes rondom een duinvallei kunnen gezien worden als drempels die de valleien van elkaar scheiden. De hoogteligging van deze drempels geeft aan welke hoogte er minimaal bij een stormvloed of extreem hoogwater bereikt moet worden voordat een bepaalde vallei onder water loopt.

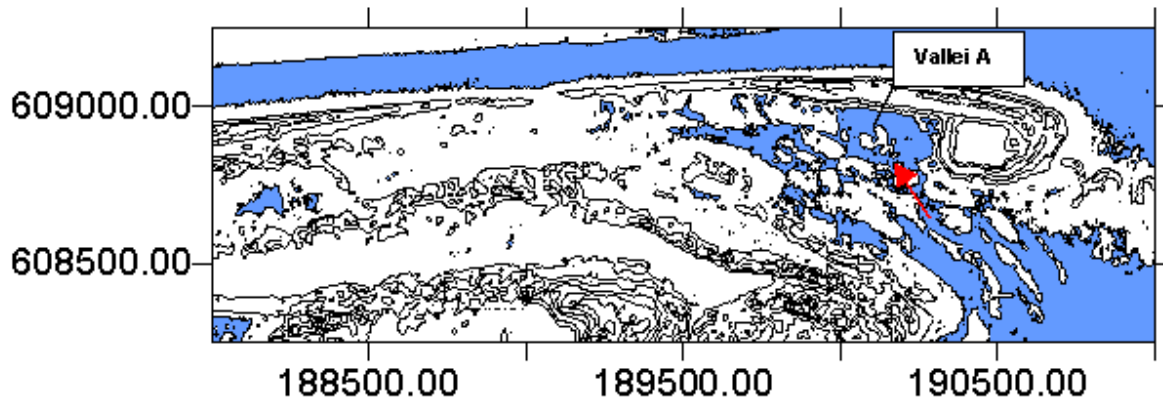
De volgende figuren geven aan hoe de locaties van de valleien bepaald zijn door middel van het variëren van waterhoogtes.

De blauwe kleur geeft hier elk punt aan dat zich tussen NAP en de aangegeven hoogte van het hoogwater bevindt. Dit betekent dat een gebied of in dit geval een duinvallei alleen overstroomt indien er een connectie bestaat tussen de vallei en de zee.

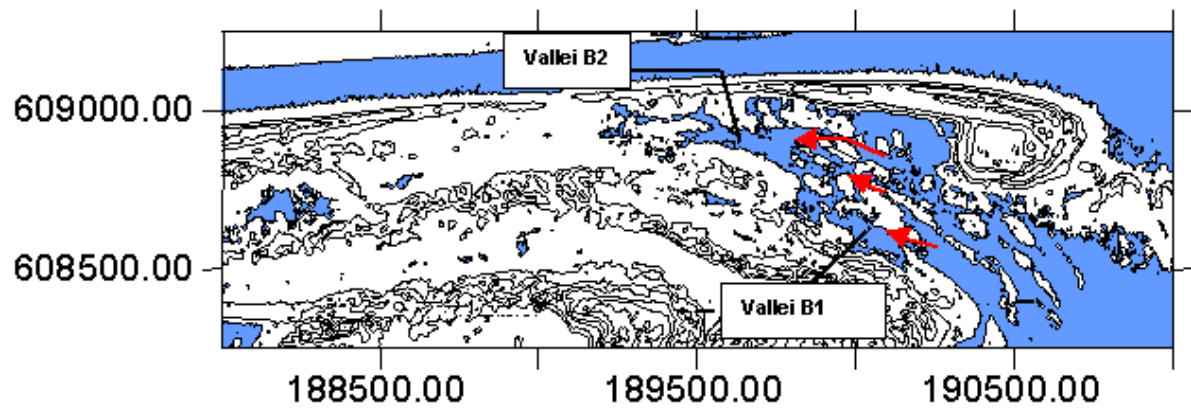
- Hoogwater van 1,8 m+NAP: Er is geen verbinding tussen het overstroomde gebied en vallei A, vallei A loopt niet onder.



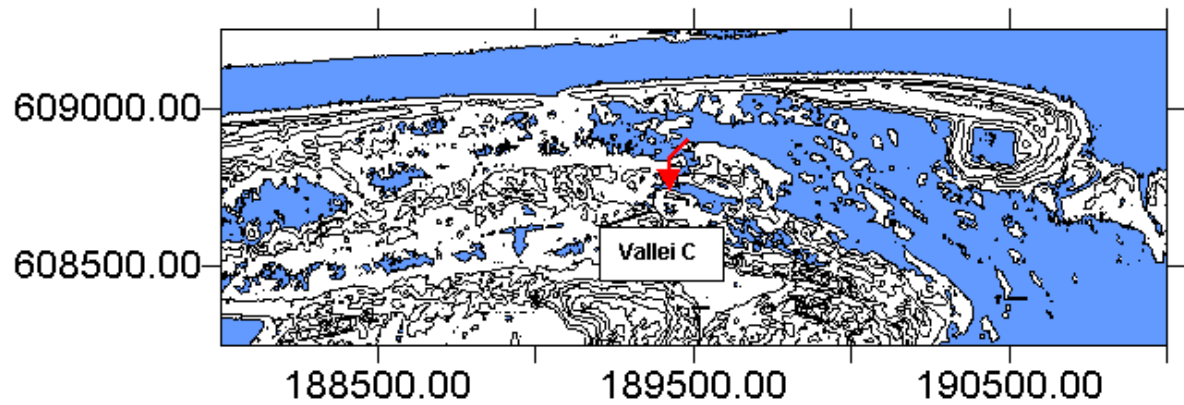
- Hoogwater van 2,0 m+NAP: Er is een verbinding tussen het overstroomde gebied en vallei A, vallei A stroomt bij dit hoogwater over.



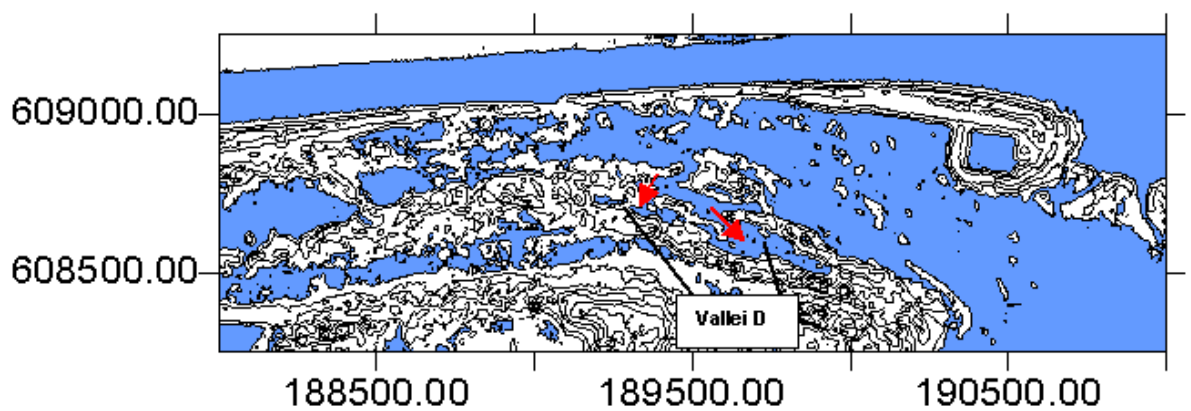
- Hoogwater van 2,1 m+NAP: Twee nieuwe valleien krijgen instroommogelijkheden. Vallei B1 en B2 stromen over.



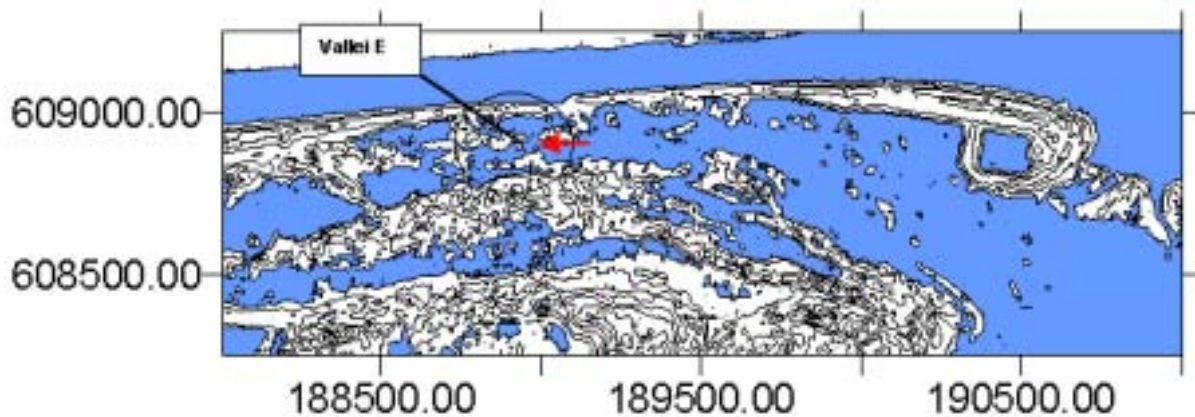
- Hoogwater van 2,4 m+NAP: Het water kan via de noordkant in vallei C stromen.



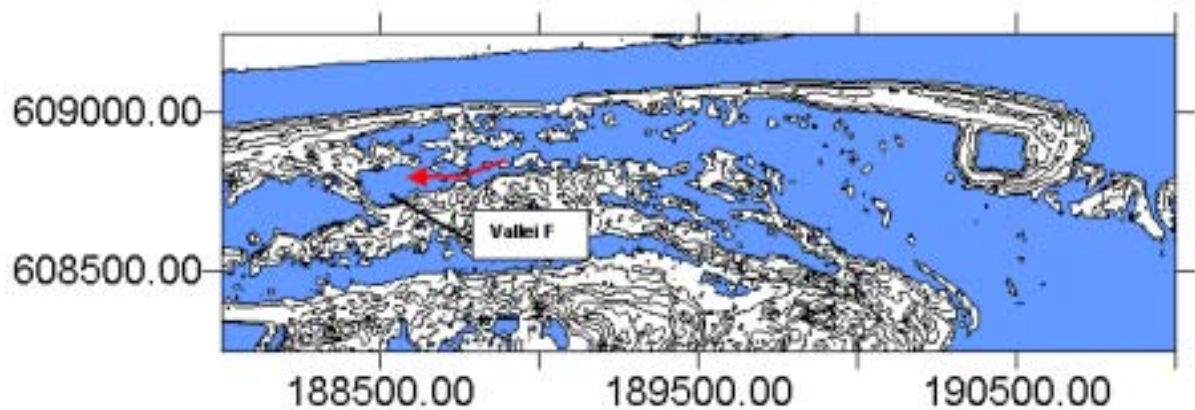
- Hoogwater van 2,7 m+NAP: Vanuit vallei C ontstaan twee doorstroommogelijkheden naar vallei D.



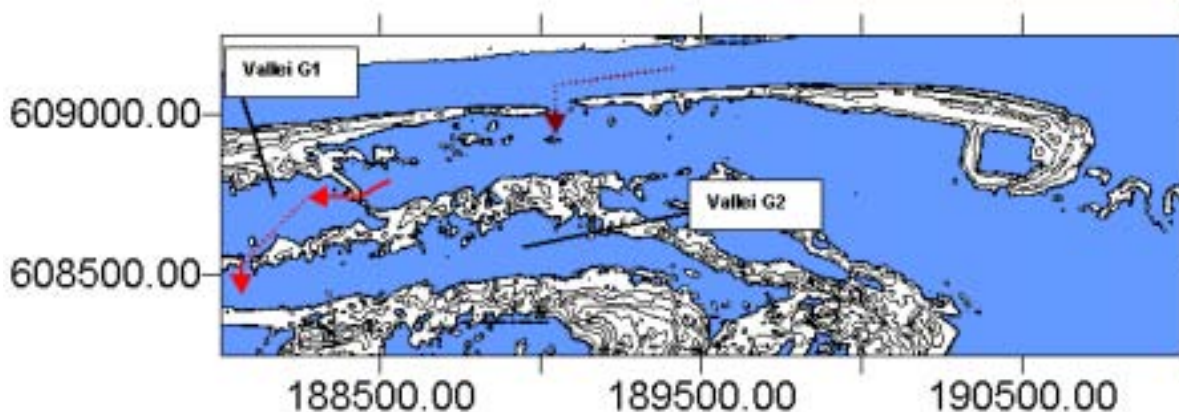
- Hoogwater van 2,8 m+NAP: Er ontstaat een duidelijke doorstroommogelijkheid vanuit vallei B2. Het water kan verder de lage delen van vallei E instromen.



- Hoogwater van 2,9 m+NAP: Het water heeft onderin vallei E een verbinding naar vallei F.



- Hoogwater van 3,6 m+NAP: Bij een hoogte van dit extreme hoogwater lopen ook de meest naar achter gelegen valleien onder water; vallei G1 en G2. Ten noorden van vallei B1 en vallei E zal dan ook een doorbraak ontstaan van de Noordzee (donkerrode pijl); dit heet een wash-over en gaat vaak gepaard met aanzienlijke zandtransporten, mede door golfwerking en verschil in waterniveau.



Door het variëren van de hoogwaters zijn dus in totaal 9 deelgebieden aangewezen. De aangegeven hoogten zijn gebaseerd op de laseraltimetrie uit 1997.

2.3 Zeespiegelstijging

Uit de figuren van de vorige paragraaf voor het bepalen van de hoogteligging van de drempels van de duinvalleien en de plaatsbepaling van de valleien zelf blijkt dat de zee vrij toegang heeft tot het gebied van Oost-Ameland. Het gebied staat daarom onder invloed van de zeespiegelstijging.

Sinds het begin van deze eeuw is de zeespiegel met ongeveer 20 centimeter gestegen. De toename van broeikasgassen leidt tot een stijging van de temperatuur op aarde, waardoor het zeewater is uitgezet. In Noord-Nederland stijgt de zeespiegel nog iets sneller door de natuurlijke bodemdaling ten gevolge van het kantelen van de aardschol waar Nederland op ligt.

Als een gevolg van deze zeespiegelstijging hebben de lage delen van het gebied, de duinvalleien, te maken gehad met een groeiende kans op overstroming.

De stijging van de zeespiegel zal in de toekomst nog sterker toenemen. Met deze stijging wordt in het onderzoek rekening gehouden. Een verdere beschrijving vindt plaats in hoofdstuk 4: Ontwikkeling in Scenario's.

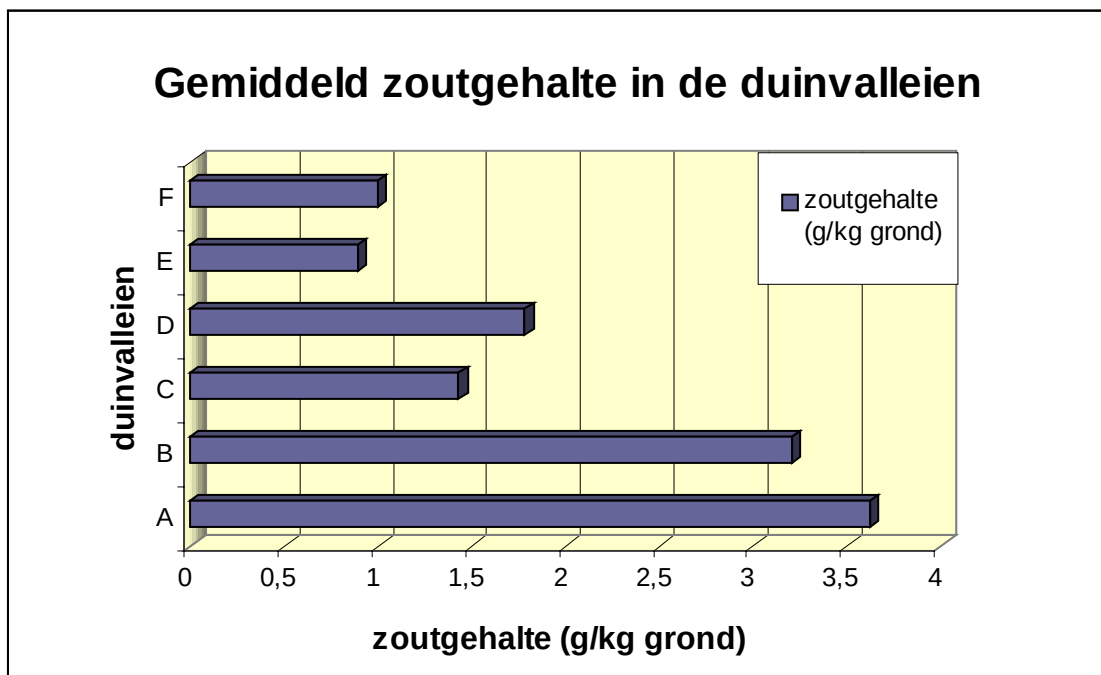
2.4 Bodem

In het kader van dit onderzoek is op Ameland veldwerk verricht naar het zoutgehalte en het slibgehalte van de bodem. In de verschillende eerder aangewezen duinvalleien op Ameland-Oost (paragraaf 2.2) zijn bodemmonsters genomen die vervolgens in het laboratorium verder onderzocht zijn.

2.4.1 Zoutgehalte

De gehanteerde methode waarmee van alle bodemmonsters het zoutgehalte bepaald is, is gegeven in bijlage C. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de resultaten van de metingen. De meetwaarden worden eveneens gegeven in bijlage C.

Uit de resultaten kan afgeleid worden dat de valleien die het dichtst bij de zee liggen en dus vaker overstroomd worden een hoger zoutgehalte hebben dan de valleien die zich verder van de zee bevinden. De volgende figuur geeft de gemiddelden van de gemeten zoutgehalten voor elke duinvallei.



Figuur 2.5: Het gemiddelde zoutgehalte in gram chloride per kilo grond in de verschillende duinvalleien.

Er is zoveel mogelijk in de lage delen van de valleien gemeten, omdat hier daadwerkelijk water blijft staan na een extreem hoogwater. Dit is te zien op de bijgevoegde foto (figuur 2.6) van vallei A. In het midden is er na het verstrijken van een extreem hoogwater nog steeds water in de vallei aanwezig.

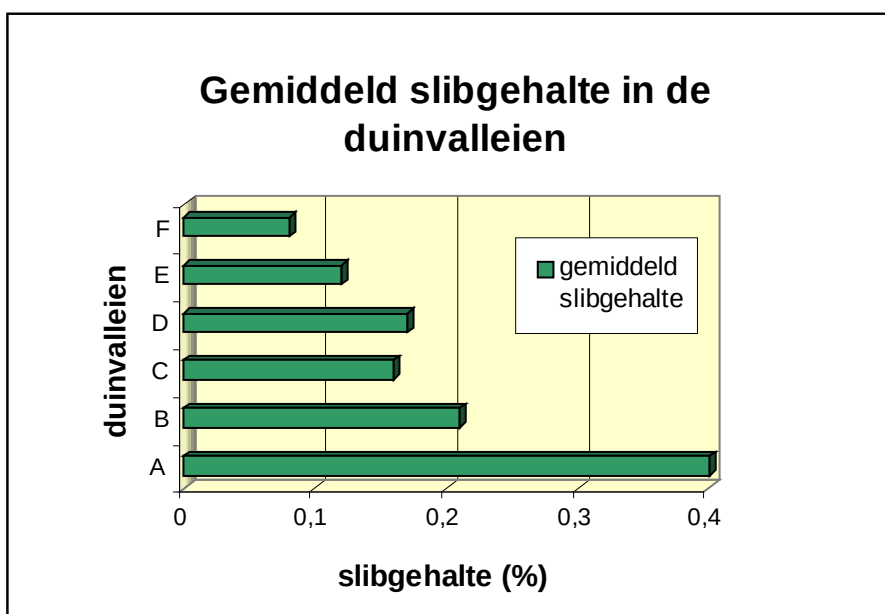


Figuur 2.6: Opname van Vallei A enkele weken na het optreden van een extreem hoogwater (april 1999).

2.4.2 Opslibbing

De methode die gebruikt is om het slibgehalte te bepalen in de genomen grondmonsters wordt gegeven in bijlage D. De methode is gebaseerd op de korrelgrootte-verdeling van de bodem; de deeltjes met een grootte tot en met $16\ \mu\text{m}$ zijn genomen als de slibfractie van de bodem. De berekende slibfracties zijn vermeld in bijlage D.

Voor elke duinvalei is vervolgens een gemiddelde bepaald van het slibgehalte; deze gemiddelden zijn weergegeven in figuur 2.7.



Figuur 2.7: Gemiddelde waarden van het slibgehalte per duinvalei.

Ook voor het slibgehalte is een mooi verloop te zien van een hoog slibgehalte in de valleien die het snelst overstromen naar een laag gehalte voor de valleien waarbij dit minder snel gebeurt.

2.5 Vegetatie

De strandvlakte ten noorden van Het Oerd bestaat uit hogere delen met duinvegetatie, lagere delen met kwelder- en valleivegetatie en de overgangen hiertussen. In het gebied zijn verschillende milieugradiënten aanwezig: een zout-zoet en kalkrijk-kalkarm gradiënt van oost naar west en een nat-droog gradiënt van lagere naar hogere delen. Deze gradiëntsituaties leiden tot waardevolle vegetatietypen en plantensoorten.

Het gebied heeft zich reeds ontwikkeld in de richting van een soortenarme en verruigde vegetatie, gedomineerd door struiken en grove grassen (duindoorn en duinriet). Dit is mogelijk bevorderd door verzuring en verrijking van de bodem door ophoping van organisch materiaal en mogelijk door eutrofiering uit de atmosfeer (Janssen et al, 1996).

De aanwezige informatie van voorkomende planten in de duinvalleien boven Het Oerd is beperkt, veelal zijn slechts de gemeenschappen weergegeven op de vegetatiekaartenkaarten.

Als informatie is onder andere gebruikt gemaakt van:

- Een vegetatiekaart van Oost-Ameland op basis van luchtfoto's 1988 (bron: Rijkswaterstaat). De aangegeven vegetatie op deze kaart is als representatief voor de beginsituatie genomen (voor de aanvang van gaswinning, 1987), omdat er nog nauwelijks bodemdaling opgetreden was in de tussenliggende periode.
- Vegetatieopnamen gemaakt in vallei A, B1 en B2 (Janssen et al, 1996) gebaseerd op luchtfoto's uit 1993 en 1994. Dit is gebeurd in het kader van een onderzoek naar de geschiktheid van remote sensing voor het maken van vegetatiekaarten (methodologisch rapport)
- De vegetatiekartering van Ameland-Oost gebaseerd op luchtfoto's uit 1993 (Meulmeester et al, 1998)

De gescande versies van deze kaarten bevinden zich in Bijlage F.

De soorten die in het gebied voorkomen, kunnen globaal ingedeeld worden in de volgende vegetatieklassen:

- Cakillitea maritimae
- Ammophiletea
- Asteretea tripolii
- Saginetea maritimae

Een uitgebreide beschrijving van deze vegetatieklassen is gegeven in het kader op de volgende bladzijde. De informatie in dit kader is een samenvatting van de beschrijving gegeven in : "De vegetatie van Nederland" (Schaminée et al, 1998).

- ***Cakilitea maritimae***

Klasse der vloedmerkgemeenschappen:

Begroeiingen van vloedmerken aangetroffen langs zeekusten en aan oevers van estuaria. Soortenarme, natuurlijke gemeenschappen met eenvoudige vegetatiestructuur en groot aandeel van eenjarige planten. Tijdens najaar- en winter stormen weggeslagen, in het voorjaar weer nieuwe groeiplaatsen. Alleen soorten met bijzondere aanpassingen overleven door extreme milieumomstandigheden.

Voorwaarde om te kunnen kiemen is een vochtig vloedmerk en een hoge mineralisatiesnelheid van de organische stof. Typerend voor vloedmerkplanten is het vermogen stikstof snel op te nemen. Er vindt meestal geen successie plaats door het wegvagen van de vloedmerkgemeenschappen door de najaar- en winterstormen.

De *Cakilitea maritimae* zijn natuurlijke pioniergemeenschappen die zich steeds weer opnieuw vestigen en behoeven daarom geen beheer. Ze zouden zich verder kunnen verbreiden indien het vloedmerk niet wordt opgeruimd in verband met recreatie.

- ***Ammophiletea***

Soortenarme pioniergemeenschappen op plaatsen met aanstuivend zand. Bij voldoende aanvoer van zand vormen zijn een zeereep en zijn daarom van groot belang voor de kustbescherming. Komen ook voor in verder landinwaarts gelegen duinen. Ze zijn afhankelijk van regenwater dat zich ophoopt boven het zwaarder zoutere water.

Ontstaan op kaal zand of uit vloedmerkbegroeiingen. In nabijheid van kwelders of aan de landzijde van de zeereep gaan ze over in het *Saginitea maritimae*, de *Asteretea tripolii*, de *Rhamno-Prunetea* en het *Koelerio-Coryneporetea*

De *Ammophiletea* maken deel uit van de weinige natuurlijke begroeiingstypen in ons land en zijn van groot belang voor de kustverdediging.

- ***Asteretea tripolii***

Plantengemeenschappen van merendeels overblijvende planten die worden aangetroffen op zilte en brakke gronden. Het best ontwikkeld op buitendijkse terreinen waar ze incidenteel worden overspoeld door het hoogwater. Van net onder de hoogwaterlijn tot de plekken die bij stormvloed nog net onder water komen. Ze zijn betrekkelijk soortenarm en worden door enkele soorten gedomineerd.

Ze worden gekenmerkt door een groot aantal algen en cyanobacteriën. De verspreiding van deze algen wordt bepaald door het microreliëf, de beschaduwing door hogere planten, de luchtcirculatie in het vegetatiedek, het waterhoudend vermogen, de accumulatie van aanspoeling en eventuele begrazing van de vegetatie. Algen zijn vooral van belang voor invangen en vasthouden van sediment.

De bodem is kleiig of bestaat uit zand dat met een laag slib is overdekt; de vochttoestand varieert van vochtig tot permanent nat.

Op plaatsen waar de neerslag de overspoeling door zeewater gaat overtreffen leidt dit in jonge duinvalleien (zonder begrazing) tot het *Centauro-Saginetum* of het *Parnassia-Juncetum*. Bij verdere successie (verruiging) gaan deze weer over in struweel van duindoorn en kruipwilg. (Zie schema in Janssen et al)

In gebieden met een zeer kleine getijde-invloed bevinden zich contactgemeenschappen die tot andere klassen worden gerekend. De contactzone met de xeroserie wordt ondergebracht bij de *Saginetea maritima* en de contactzone met de hygroserie grotendeels in het *Lolio-Potentillion anserinae*.

Nederlandse kwelders vormen een landschap van internationale betekenis, behoud is daarom een primaire beleidsdoelstelling, zoals ook aangegeven in het beheersplan voor de waddenzee. Beweiding leidt op hoge kwelder tot een vergroting van de biodiversiteit (sliblaag > 15 cm), op de lage kwelder echter tot de overheersing van het *Puccinellietum maritima* (kweldergras).

- ***Saginetea maritima***

Pioniergemeenschappen die in het kustgebied op de grens van zoet-droog en zout-nat voorkomen. Deze kleinschalige gemeenschappen weten in korte tijd open plekken in de vegetatie te koloniseren (ijle begroeiing tussen oorspronkelijke vegetatie). Ze komen voor bij een afwisselend zoutgehalte en een sterk fluctuerend vochtgehalte aan de voet van duintjes, op strandwallen op achterduinse strandvlakten en plaatkwelders, en in jonge primaire of secundaire duinvalleien. Aangetroffen op een zandige en voedselarme bodem in de contactzone tussen de halo- en de xeroserie.

Karakteristiek zijn plaatsen waar na overspoeling een periode van droogte volgt, waarna de zoutconcentratie dermate hoog oploopt dat het aanwezige plantendek verzengt. Hier ontstaan dan kale plekken in de vegetatie, waar annuelen en andere concurrentiezwakke soorten hun kans grijpen.

Bij sommige soorten vindt vruchtdimorfisme plaats om de kans op uitsterven van een populatie te verkleinen (bijvoorbeeld Hertshoornweegbree).

Tijdens de najaar- en winterstormen worden de standplaatsen van de *Saginetea maritima* opnieuw gecreëerd; van progressieve successie is hier geen sprake. Pendelsuccessie is de naam van dit verschijnsel, waarbij de plaats in de gradiënt en de breedte van de zone die de desbetreffende gemeenschappen innemen van jaar tot jaar verschillen.

De belangrijkste contactgemeenschappen in ons land zijn de zilte graslanden van het *Asteretea tripolii* en de droge graslanden van het *Koelerio-Corynephoretea* als ook de helmduinen van de *Ammophiletea*.

De *Saginetea maritima* bevatten veel bijzondere soorten, waaronder verscheidene Rode-Lijstsoorten (natuurdoeltypen). Het toelaten van meer dynamiek in de kuststreek zou het voorkomen van de klasse ten goede komen, omdat najaarstormen en hoge waterstanden in de winter ieder jaar weer tot het ontstaan van geschikte vestigingsplaatsen leiden.

Al het bovenstaande: (Schaminée et al, 1998)

3. Autonome ontwikkeling

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling van het gebied beschreven als er geen bodemdaling door gaswinning zou plaatsvinden.

3.1 Hoogteligging

Een ontwikkeling zonder bodemdaling betekent dat er in het gebied een constante hoogteligging aangenomen kan worden; de drempels van de eerder aangegeven duinvalleien blijven op constante hoogte.

De daling van de bodem als een gevolg van aardgaswinning is begonnen in 1987. Om de ontwikkeling vanaf dit tijdstip te beschrijven is het nodig om de hoogtegegevens van de laseraltimetrie aan te passen voor de beginsituatie in 1987.

Door bij de laseraltimetriedata uit 1997 de reeds opgetreden daling (10 jaar) op te tellen kan een accurate hoogtekaart van deze beginsituatie worden gemaakt.

Bodemdaling door gaswinning is een zeer regelmatig en geleidelijk verschijnsel, doordat gaswinning plaatsvindt op grote diepte. Dit maakt dat de waarnemingen zich goed lenen voor een wiskundige beschrijving. De reeds opgetreden daling op Ameland-Oost is aldus gemodelleerd door Houtenbos (Houtenbos, 1998). Dit H-model is gebaseerd op in het veld gemeten peilmerken van 1986 tot en met 1998. Recentere metingen geven aan dat de bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingsschotel nog steeds met een constante waarde van 2 cm. per jaar daalt. De vorm van de schotel blijft echter uiterst stabiel. Het bodemdalingmodel ziet er in formulevorm als volgt uit:

Bodemdaling z op tijdstip t voor een punt (x,y) :

$$Z(x,y,t) = z' \cdot \max(t-t_0, 0) \cdot e^{-(u^2+v^2)}$$

$$u = ((x-x_0)\sin\alpha + (y-y_0)\cos\alpha)/a$$
$$v = ((x-x_0)\cos\alpha - (y-y_0)\sin\alpha)/b$$

waar:

t_0 = datum van start bodemdaling

(x_0, y_0) = x, y coördinaten van het centrum van de bodemdalingsschotel

a, b = afstand centrum tot 37% maximale daling langs lange, korte schotelas

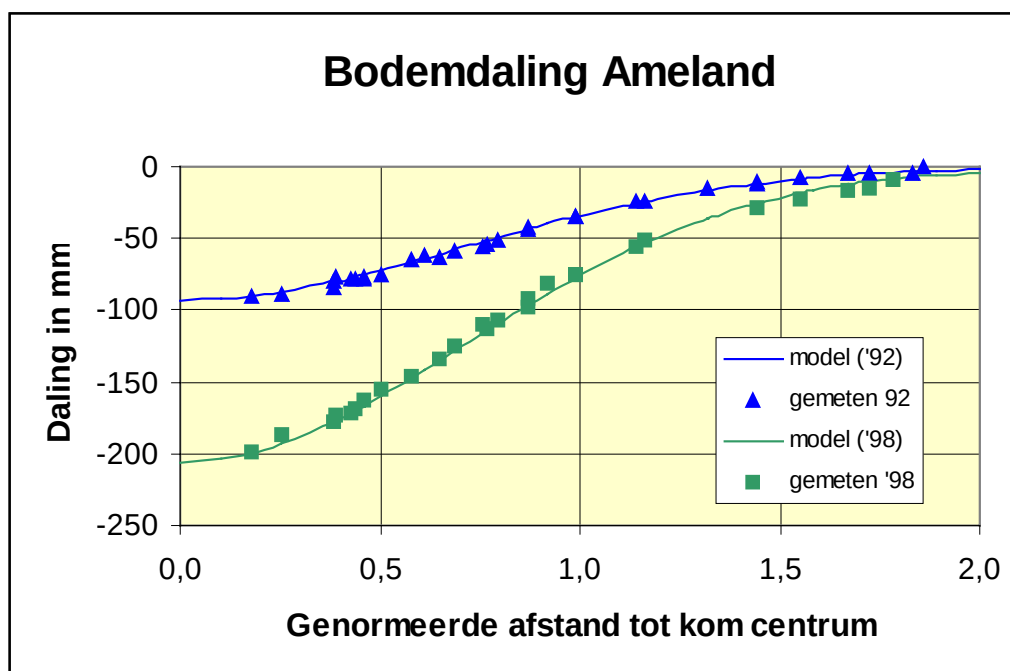
α = kaarthoek van de lange schotelas

z' = bodemdalingssnelheid van het centrum van de bodemdalingsschotel in mm/jaar (dz/dt)

De parameters van het H-model voor Ameland zijn:

Veldnaam	t_0	X_0	y_0	a	b	dz/dt	sd
Ameland	12-01-1987	189957	609579	2575	2575	-18.60	3.7

Dit model is geen prognosemodel, maar een beschrijving van de reeds opgetreden daling. Op het verschil hiertussen wordt verder ingegaan in het volgende hoofdstuk. Onderstaand figuur laat zien dat de in het veld gemeten waarden vrijwel op eenzelfde lijn liggen met het bodemdalingmodel.



Figuur 3.1: Het H-model vergeleken met in het veld gemeten peilmerken.

De hoogtegegevens uit 1997 kunnen nu aangepast worden voor de situatie in 1987 met behulp van bovenstaand model. In het programma Surfer is voor elk punt de opgetreden daling van 1987 tot 1997 berekend en vervolgens opgeteld bij de reeds bekende hoogtes van de laseraltimetrie uit 1997.

3.2 Zeespiegelstijging en overvloedingsfrequentie

In de autonome situatie (zonder bodemdaling) is de zeespiegelstijging de belangrijkste factor voor de overstromingsfrequentie van de duinvalleien.

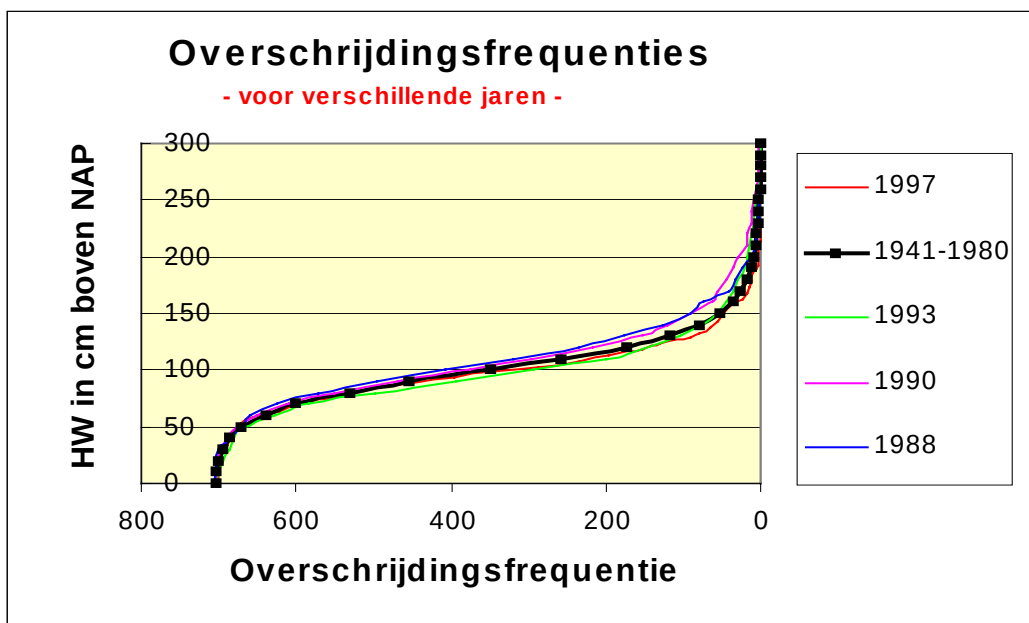
Door deze stijging van de zeespiegel zullen de eerder aangegeven duinvalleien vaker gaan overstromen. Het aantal malen per jaar dat een bepaald gebied overstroomt, wordt aangeduid als de overvloedingsfrequentie.

Door Rijkswaterstaat wordt continu bijgehouden hoe groot deze overvloedingsfrequentie is.

Voor het berekenen van de kans op overschrijding van hoogwaters onder de 282 cm is gebruik gemaakt van gegevens van Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium. Hoogwaters hoger dan 282 cm komen minder frequent voor en kunnen berekend worden met een formule die de kans op overschrijding berekent.

Rijkswaterstaat heeft over een periode van 39 jaar (1941-1980) de gegevens van de overschrijdingsfrequenties op Nes gemiddeld. Deze gemiddelden zijn voor recente jaren goed toepasbaar (Eysink et al, 1995; tabel 3.1 en figuur 3.10).

In bovenstaande literatuurverwijzing geeft tabel 3.1 naast de gemiddelden van de lange reeks metingen ook de overschrijdingsfrequenties van later jaren. Deze gegevens zijn uitgezet in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Lange reeks overvloedingsfrequenties (=overschrijdingsfrequentie) van Rijkswaterstaat vergeleken met recente metingen. De overschrijdingsfrequentie is gegeven in aantal per jaar.

De overschrijdingsfrequenties die gemiddeld zijn over de periode 1941-1980 zijn dus ook representatief voor later jaren. Om de reeks te gebruiken als basis voor de beginsituatie in 1987 is een correctie noodzakelijk.

Het betreft hier een gemiddelde van 1941 tot 1980, dus moeten de hoogwaters gecorrigeerd worden voor zeespiegelstijging vanaf 1960 tot 1987. Er is tot 1987 rekening gehouden met een stijging van de zeespiegel van 1,7 mm per jaar (Eysink et al,1995). De reeks is vervolgens aangepast door deze stijging bij de hoogwaters op te tellen. De reeks en de aanpassingen zijn verwerkt in tabel B.1 uit bijlage B.

Voor hoogwaters van 282 cm en hoger kunnen de kansen op overschrijding bepaald worden met behulp van de formules voor de overschrijdingsfrequentie en de kans op overschrijding uit het basispeilenrapport van het RIKZ (Philipart et al,1995). Deze formules zijn beschreven in bijlage B.

De gegevens in dit basispeilenrapport zijn afgeleid voor de toestand in 1985. Om de kansen op overschrijding ook in de toekomst te kunnen voorspellen moet rekening gehouden worden met de relatieve zeespiegelstijging en de getijverandering vanaf 1985. Als een gevolg hiervan stijgen de gemiddelde hoogwaterstanden.

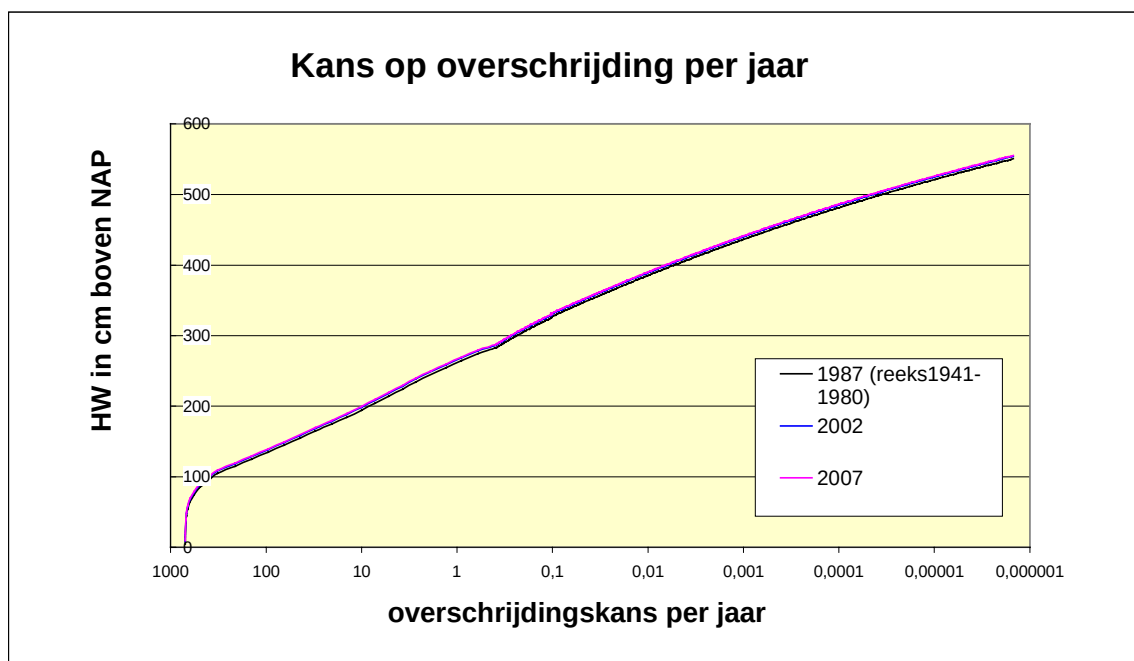
De gegevens in het basispeilen rapport zijn eerst weer aangepast tot het moment van de aanvang van bodemdaling in 1987 (de beginsituatie). Hierbij is rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 1,7 mm per jaar. Dit is dezelfde waarde, waarmee Rijkswaterstaat de reeks metingen van overschrijdingfrequenties van 1941 tot 1980 aangepast heeft (Eysink et al, 1995, tabel 3.1). Het resultaat van deze aanpassing samen met de uitkomsten van de formules staan in tabel B.2 in bijlage B.

In een autonome ontwikkeling van het gebied is genoemd dat de zeespiegelstijging de enige factor is in het hoger worden van het risico tot overstrooming van de duinvallen. De overvloedingsfrequenties zullen dus aangepast moeten worden voor alleen zeespiegelstijging in de toekomst.

Voor de stijging van het gemiddelde zeeniveau geldt een waarde van 20 cm per eeuw, maar voor de stijging van het gemiddelde hoogwater wordt een waarde van 25 cm per eeuw aangehouden. Dit wordt ook aanbevolen in het Basispeilen rapport van het RIKZ (Phillipart et al,1995). In dit rapport wordt vermeld dat voor de gehele Noordzeekust en Waddenzeekust

een stijging van de gemiddelde hoogwaterstand aangenomen kan worden van 25 cm per eeuw.

De berekende overschrijdingsfrequenties van de hoogwaters in Nes voor de beginsituatie in 1987 moeten aangepast worden met deze stijging van 25 cm per eeuw. Zie figuur 3.3.



Figuur 3.3: Kans op overschrijding in de toekomst bij een stijging van de hoogwaters van 25 cm. per eeuw.

De autonome ontwikkeling voor de duinvalleien in termen van overvloedingsfrequentie is gegeven in tabel 3A. In deze tabel staan de overvloedingsfrequenties voor de duinvalleien voor het jaar 2002 en 2007 gegeven. Dit zijn dezelfde getallen die gekozen zijn voor de bodemdalingsscenario's (Hoofdstuk 4) om later een vergelijking mogelijk te maken tussen beide.

Tabel 3A: Toename van overvloedingsfrequentie in een autonome ontwikkeling.
HW=hoogwater, f=frequentie, zss=zeespiegelstijging:

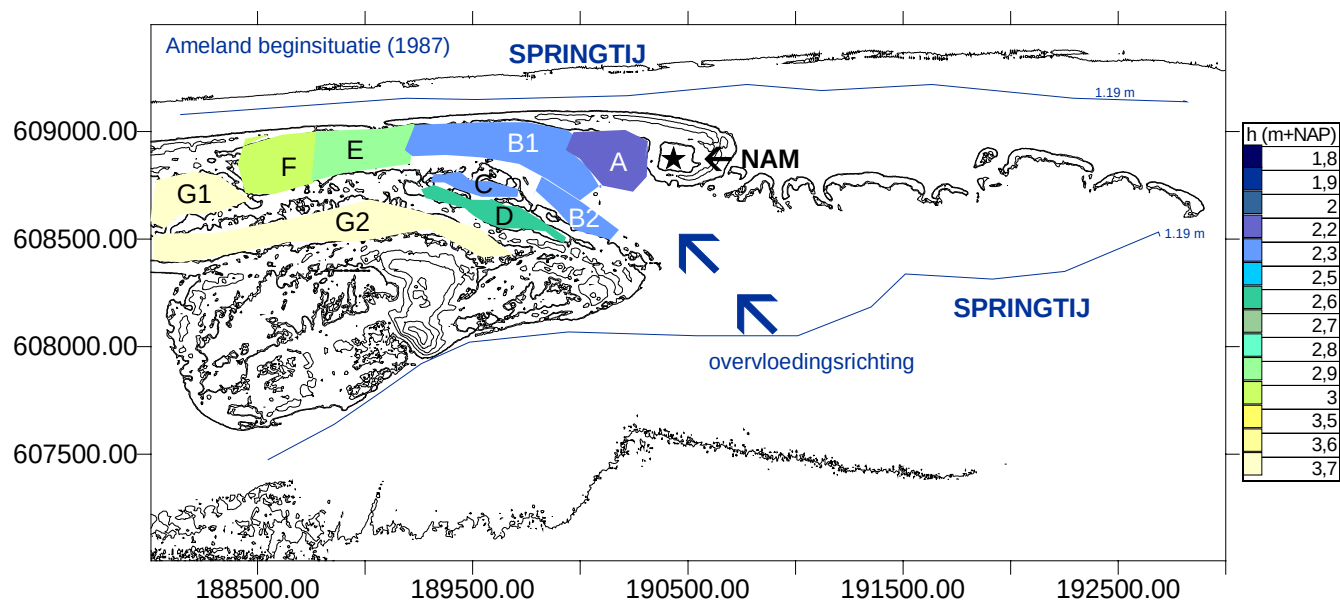
Vallei	HW (cm+NAP)	beginsituatie	zss scenario 25 cm	
		f (1987)/jaar	f (2002)/jaar	f (2007)/jaar
A	220	4	5	5
B1	230	3	3	4
B2	230	3	3	4
C	250	2	2	2
D	280	0,5	1	1
E	290	0,3	0,4	0,4
F	300	0,2	0,3	0,3
G1	370	0,02	0,02	0,02
G2	370	0,02	0,02	0,02

Om de ontwikkeling tot verder in de toekomst te volgen zijn ook voor de jaren 2020, 2050 en 2080 de overschrijdingsfrequenties berekend. Er is om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen een stijging van 50 cm per eeuw voor de hoogwaters gebruikt.

Tabel 3B: Toename van overvloedsfrequentie met een hoogwaterstijging van 50 cm per eeuw. HW=hoogwater, f=frequentie, zss=zeespiegelstijging:

Vallei	HW (cm+NAP)	zss scenario 50 cm				
		f (2002)/jaar	f (2007)/jaar	f (2020)/jaar	f (2050)/jaar	f (2080)/jaar
A	220	6	6	8	13	20
B1	230	4	5	5	9	15
B2	230	4	5	5	9	15
C	250	2	2	3	5	7
D	280	1	1	1	2	3
E	290	0,5	0,5	1	1	2
F	300	0,3	0,4	0,4	1	1
G1	370	0,03	0,03	0,04	0,07	0,1
G2	370	0,03	0,03	0,04	0,07	0,1

De hoogwaters waarbij de aangewezen duinvalleien overstroomd in de beginsituatie 1987 zijn uitgezet op een hoogte-contourlijnenkaart. De kleuren van de verschillende valleien geven de hoogte van dit hoogwater aan. In een autonome ontwikkeling van het gebied zullen deze hoogtes constant blijven (figuur 3.4).



Figuur 3.4: Oost-Ameland in de beginsituatie met de verschillende duinvalleien en de hoogtes waarbij deze overstroomd.

3.3 Vegetatie

De normale ontwikkeling van een duinvalei, van open zand tot dicht struweel, duurt ongeveer 35 tot 45 jaar afhankelijk van de grootte van de vallei.

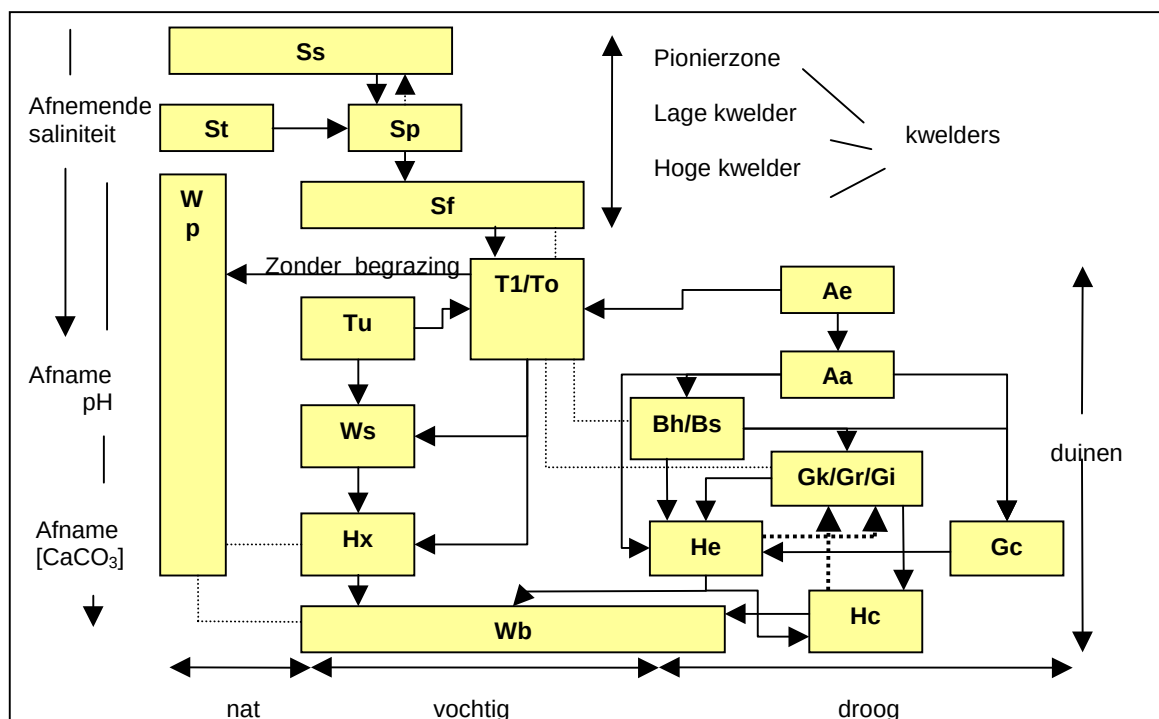
Vegetatieontwikkeling vindt het beste plaats in een vallei die tot het grondwater uitstuift; hier staat het grondwater nog tijdens het vegetatiesseizoen boven het maaiveld. Na een jaar of 10 zijn in een dergelijke duinvalei alle verschillende stadia van successie aanwezig. Er bevinden zich dan verschillende plantengemeenschappen door het voorkomen van reliëfverschillen en de variatie in de verstuiwingdynamiek. De plantengemeenschappen die dan over het algemeen voorkomen in de duinvalleien behoren tot de volgende klassen:

- *Cakilitea maritimae*: Vloedmerkgemeenschap.
- *Ammophiletea*: Soortenarme pioniergemeenschappen op plaatsen met aanstuivend zand.
- *Asteretea tripolii*: Plantengemeenschappen van merendeels overblijvende planten die worden aangetroffen op zilte en brakke gronden.
- *Saginetea maritimae*: Pioniergemeenschappen die in het kustgebied op de grens van zoet/droog en zout/nat voorkomen.

De uitgebreide beschrijving van deze soorten is te vinden aan het einde van hoofdstuk 2.

Door het voedselarmer en droger worden van de vallei kunnen veel soorten niet tot bloei komen en bevinden zich soms nog enkele waardevolle soorten (zoals Moeraswespenorchis of Rondbladvig wintergroen) als een ondergroei van opkomende duindoorns. Hierna verloopt de successie binnen 10 tot 15 jaar tot dicht struweel en later bos.

De normale successie die optreedt in duinvalleien is gegeven in het volgende schema.



Figuur 3.5: Successiereeksen op o.a. duinen, kwelders en in duinvalleien op de waddeneilanden. Verklaring van symbolen: Aa, Ae: Zeereep, Bh, Bs: Duinstruwelen, Gk, Gc, Gi, Gr: Duingraslanden, He, Hc, Hx: Duinheiden, Wp, Ws, Wb: Duinvalleien, Tu, To, T1: Zout-zoet overgang, Ss, St, Sp, Sf: Kwelders. Uit: Dijkema en Wolff, 1983.

Door zeespiegelstijging kan deze ontwikkeling niet plaatsvinden. In tabel 3A uit de vorige paragraaf is uitgewerkt hoe de overvloedingsfrequentie zou veranderen als zeespiegelstijging de enige factor van invloed is.

Er zal bij de autonome ontwikkeling dus een toename zijn in het aantal overvloedingen van de duinvalleien. Een normale ontwikkeling als het droger en voedselarmer worden van de duinvalleien zal niet opgaan. Het zoutgehalte van de bodem zal toenemen en de bodem zal vochtiger worden. Er zal opslibbing plaatsvinden in de valleien die het meest frequent overstromen.

Opgemerkt wordt dat veranderingen in textuur (toename slibgehalte van de bodem) in relatie tot de overstromingsfrequentie niet is beschouwd door Dijkema en Wolff, terwijl dit van wezenlijke invloed kan zijn in de vegetatie-ontwikkeling.

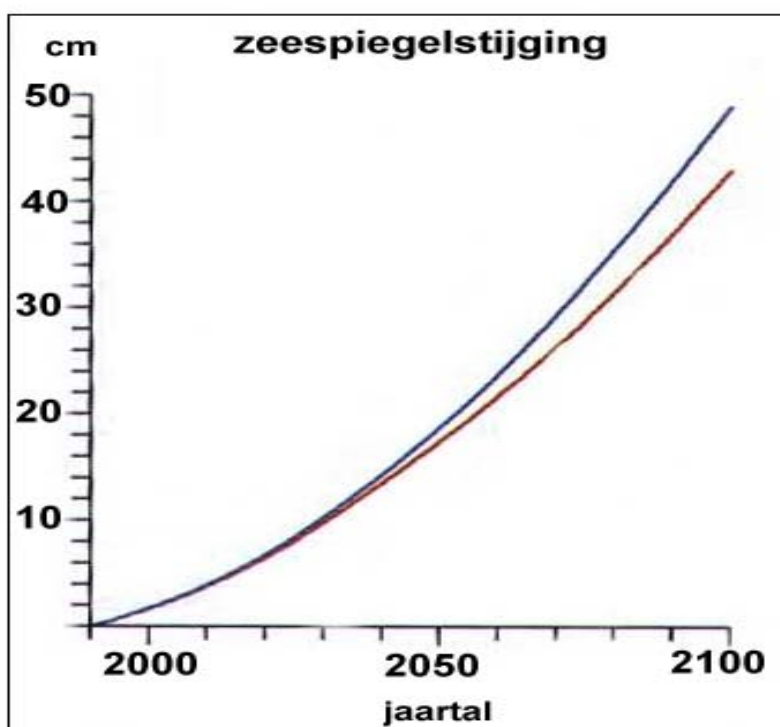
De toename in overvloedingsfrequentie onder de invloed van de zeespiegelstijging is echter dermate langzaam (tabel 3A) dat tot op dit moment de autonome ontwikkeling benaderd had kunnen worden met het bovenstaande successieschema. De factor opslibbing is dan niet meegenomen in de veronderstelde ontwikkeling.

In figuur 3.5 is af te lezen dat door een uitbreiding van het overstromingsgebied de duindoorn vegetatie (Bh/Bs) waarschijnlijk zal verschuiven in de richting van T0 /T1 (richting nat/zout); dit is de overgangszone tussen de kwelders en de jonge duinen. Deze zone is een gesloten grasland met o.a. fioringras, aardbeiklaver, zilte zegge, kattedoorn, rode bies en zeerus en komt voor in gebieden die onregelmatig overspoeld worden door zeewater. Ze bevat de meest soortenrijke typen van de kwelder (Dijkema en Wolff,1983).

4. Ontwikkeling in scenario's

4.1 Zeespiegelstijging

Zoals al beschreven bij de autonome ontwikkeling van het gebied is sinds het begin van deze eeuw de zeespiegel met bijna 20 centimeter gestegen. Deze stijging is onder meer een gevolg van de normale stijging van de temperatuur op aarde, waardoor het zeewater uitzet. In Noord-Nederland stijgt de zeespiegel nog iets sneller door de natuurlijke bodemdaling ten gevolge van het kantelen van de aardschol waar Nederland op ligt. Het is niet uitgesloten dat in de komende eeuw de zeespiegel met ongeveer een halve meter zal gaan stijgen.



Figuur 4.1: Zeespiegelstijging voor de baseline A en C scenario's van het IPCC; de figuur geeft aan hoe voor de scenario's de uitwerp van broeikasgassen kan leiden tot een mondiale stijging van de gemiddelde zeespiegel.

Het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) heeft onderzocht, hoe op basis van scenario's de uitstoot van broeikasgassen de temperatuur- en zeespiegelstijging zal beïnvloeden (Nationale milieuverkenning 4). In figuur 4.1 zijn de verwachtingen voor de komende eeuw in beeld gebracht.

Om in te spelen op deze zeespiegelstijging in de toekomst is in dit onderzoek gebruik gemaakt van 2 scenario's voor de stijging van het gemiddelde hoogwater :

- 25 cm per eeuw
- 50 cm per eeuw

Zoals al eerder vermeld wordt in het Basispeilen rapport van het RIKZ (Phillipart et al,1995) genoemd dat voor de gehele Noordzeekust en Waddenzeekust een stijging van de gemiddelde hoogwaterstand aangenomen kan worden van 25 cm per eeuw.

Je moet echter om in te spelen op snellere stijging door temperatuursverhoging (klimaatverandering) ook rekening houden met een scenario van 50 cm per eeuw. Dit is ook aangegeven in figuur 4.1, waar op basis van de scenario's van het IPCC een stijging van de zeespiegel voorspeld wordt van ongeveer 50 cm tot 2100. Deze scenario's zijn anders dan de scenario's 18, 60 en 100 cm per eeuw, die gehanteerd zijn in de Integrale Bodemdalingstudie(1998). In dit rapport wordt namelijk gekeken naar de jaartallen 2002 en 2007, en voor dit korte tijdsbestek is het voldoende om uit te gaan van een stijging van 50 cm per eeuw als maximum (Rijkswaterstaat).

De bovenstaande scenario's zullen in het vervolg zeespiegelstijgingsscenario's genoemd worden, omdat het gedrag van het hoogwater direct wordt bepaald door de zeespiegelstijging. Dit om de verwarring te voorkomen dat het hier gaat om twee verschillende processen.

De stijging van de zeespiegel heeft effecten op het aantal overschrijdingen van hoogwaters: de overschrijdingsfrequentie per hoogwater neemt toe.

4.2 Prognoses voor bodemdaling

In 1985 maakte de NAM een prognose van de verwachte bodemdaling door de gaswinning op Oost-Ameland. Er werd een uiteindelijke daling voorspeld van 26 ± 5 cm in het centrum van de bodemdalingschotel.

In 1991 is die prognose bijgesteld omdat de kennis van het gedrag van de ondergrond groter was. Een betere schatting van de gesteentecompressie maakte dat de NAM haar prognose bijstelde in een uiteindelijke daling van 18 ± 4 cm voor het centrum van de bodemdalingschotel. Metingen van 1994 toonden echter aan dat de snelheid waarmee de bodem in de buurt van de NAM-locatie daalt, groter was dan in 1991 werd voorspeld. De dalingssnelheid kwam zelfs vrijwel exact overeen met de voorspelling van 1985.

In 1998 werd een nieuwe prognose opgesteld. In deze prognose werd ook de kennis over het gedrag van de bovenliggende lagen betrokken. De uiteindelijke daling in het dalingscentrum zal nu tussen de 28 en 32 cm bedragen, wat overeenkomt met de prognose uit 1985. De voorspelling van de uiteindelijke grootte (inhoud) van de dalingschotel bedraagt 50% ten opzichte van 1985, wat goed overeenkomt met de werkelijk gemeten waarden. De reden voor deze nieuwe prognose was een verdere uitbreiding van kennis inzake productiegegevens, nieuw uitgevoerde boringen en het gedrag van zoutlagen die zich onder de boorlocatie bevinden. Het blijkt dat dit zoutpakket een laag dragend vermogen heeft waardoor het de meeste druk van het bovenliggende gesteentepakket wegneemt en er hierdoor een grotere daling in het centrum bereikt wordt, terwijl de totale omvang van de bodemdalingschotel kleiner is.

4.3 Bodemdalingsscenario's

De bodemdaling die optreedt in het gebied rondom de boorlocatie leidt tot een vergroting van het gebied dat periodiek overstroomd. Voor dit onderzoek is op twee momenten in de toekomst gekeken naar de effecten die mede door de bodemdaling veroorzaakt worden. Om een vergelijking mogelijk te maken is ook de beginsituatie beschreven.

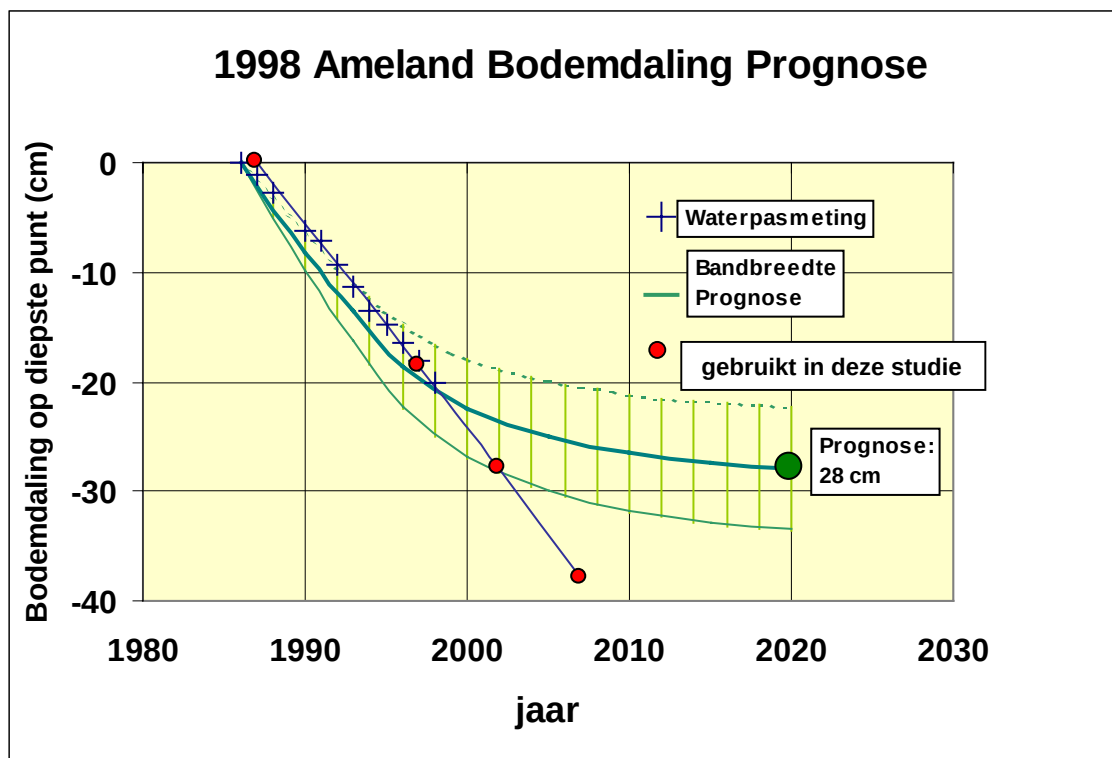
De snelheid van de bodemdaling in de toekomst is onbekend en daarom is gekozen voor een worst case benadering: lineair voortgaande bodemdaling tot het bereiken van de voorspelde gemiddelde eindwaarde voor de daling van het centrum (28 cm) en een waarde die 5 jaar verder in de tijd ligt. Voorts is aangenomen dat de vorm van de schotel onveranderd blijft. Het digitaal terreinmodel (de laseraltimetrie) kan nu eenvoudig worden aangepast met het H-model.

Voor de beginsituatie en de gekozen scenario's geldt:

- Beginsituatie: Beschrijving van de beginsituatie voor de aanvang van de gaswinning op Oost-Ameland. Als jaartal is gekozen voor 1987. De productie is weliswaar eerder gestart maar de werkelijke daling van de bodem begint pas op dat moment (Houtenbos,1998). Door de beginsituatie mee te nemen in dit onderzoek zijn de effecten die optreden tengevolge van de gaswinning te scheiden van de effecten die opgetreden zouden zijn als er geen gaswinning had plaatsgevonden (zie hoofdstuk 2: Autonome ontwikkeling).
- Scenario 1: Voorspelling van de situatie in het jaar 2002, waarbij de snelheid van bodemdaling constant blijft.
- Scenario 2: Voorspelling van de situatie in het jaar 2007 bij een veronderstelde constante daling. Dit scenario is eigenlijk een overschatting ten behoeve van een gevoeligheidsanalyse die aangeeft welke effecten er zouden kunnen optreden bij een daling die in het huidige tempo doorgaat tot 2007. Bij deze voorspelling wordt de eindschatting met ongeveer 10 cm overschreden.

In figuur 4.2 (Bodemdalingsprognose, 1998) is te zien dat constante daling voor scenario 2 niet overeenstemt met de prognose voor de bodemdaling. Een constante daling in de tijd, waarop de scenario's gebaseerd zijn, is niet realistisch omdat de druk in een aangeboord veld langzaam afneemt, waardoor de productiesnelheid lager komt te liggen. Logischerwijs zal dan ook de dalingssnelheid afnemen.

Voor het maken van prognoses voor de uiteindelijke bodemdaling van een veld wordt gebruik gemaakt van een model op basis van gesteente-eigenschappen en gesteentemechanica dat een relatie legt tussen de druk in een veld en de bodemdaling. Het scenario 2 is dus eigenlijk een worst case scenario dat gebruikt kan worden om eventuele zwakke plekken in het gebied zichtbaar te maken.



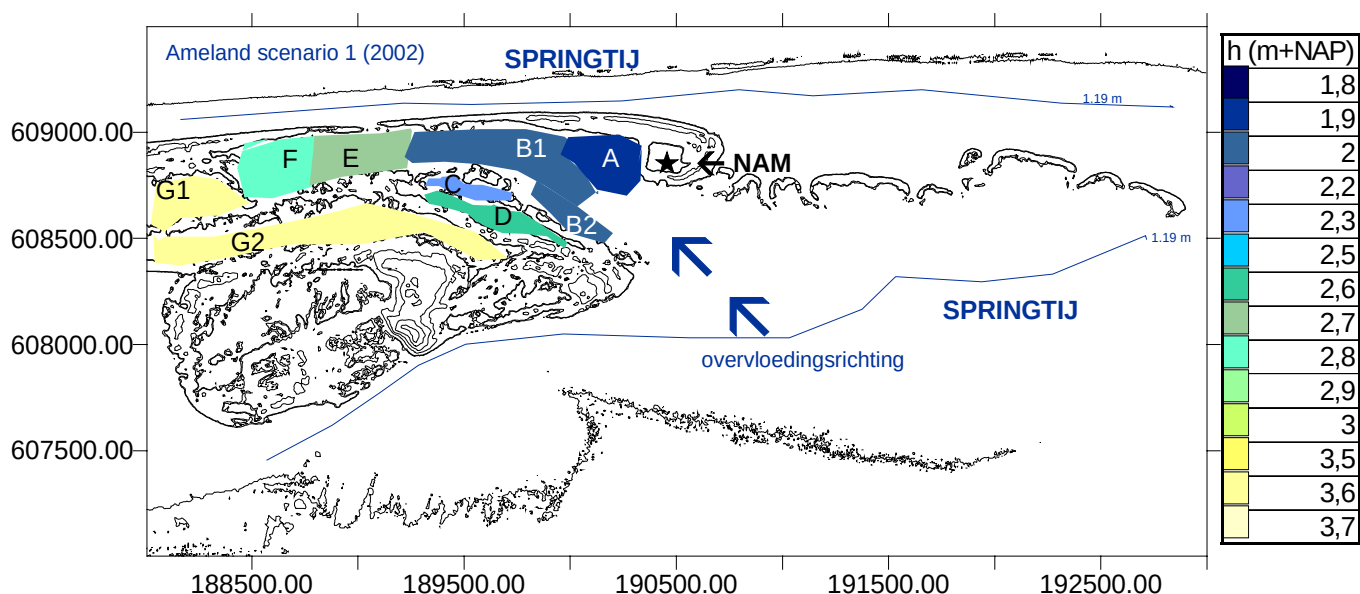
Figuur 4.2: Plaatje verwacht bodemdalingsverloop prognose 1998

Voor bovenstaande scenario's voor bodemdaling zijn vervolgens met behulp van het programma Surfer hoogtekaarten ontwikkeld. Hierbij is gebruik gemaakt van het eerder beschreven bodemdalingmodel.

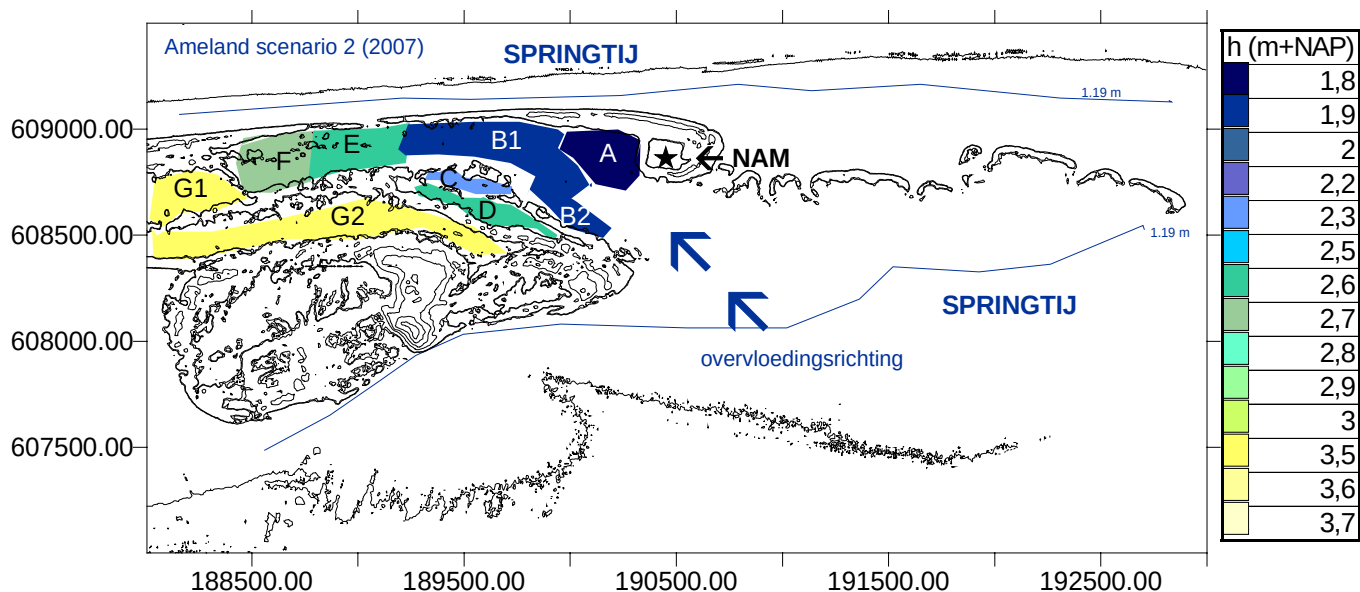
Met de laseraltimetriedata uit 1997 als uitgangspunt kan de volgens de scenario's nog op te treden daling van de dataset afgetrokken worden. In het model werd voor scenario 1 en 2 respectievelijk 5 en 10 jaar daling ingevuld.

De kaarten in bijlage A laten de contourlijnen voor de bodemdaling op Ameland zien op basis van bovengenoemde scenario's.

Nu er voor scenario 1 en 2 hoogtekaarten ontwikkeld zijn kan er door middel van het variëren van waterhoogtes worden gekeken bij welke hoogte van een hoogwater de verschillende duinvalleien in dit geval overstroomd. In de volgende figuren is voor elk van de negen risicogebieden aangegeven bij welke hoogte dit gebeurt:



Figuur 4.3: Ameland-Oost bij bodemdalingsscenario 1 (28 cm in 2002) met de verschillende duinvalleien en de hoogte waarbij deze overstroomd.



Figuur 4.4: Ameland-Oost bij bodemdalingsscenario 2 (38 cm in 2007) met de verschillende duinvalleien en de hoogte waarbij deze overstroomd. NB: Dit is een overdreven situatie ten behoeve van een gevoeligheidsanalyse.

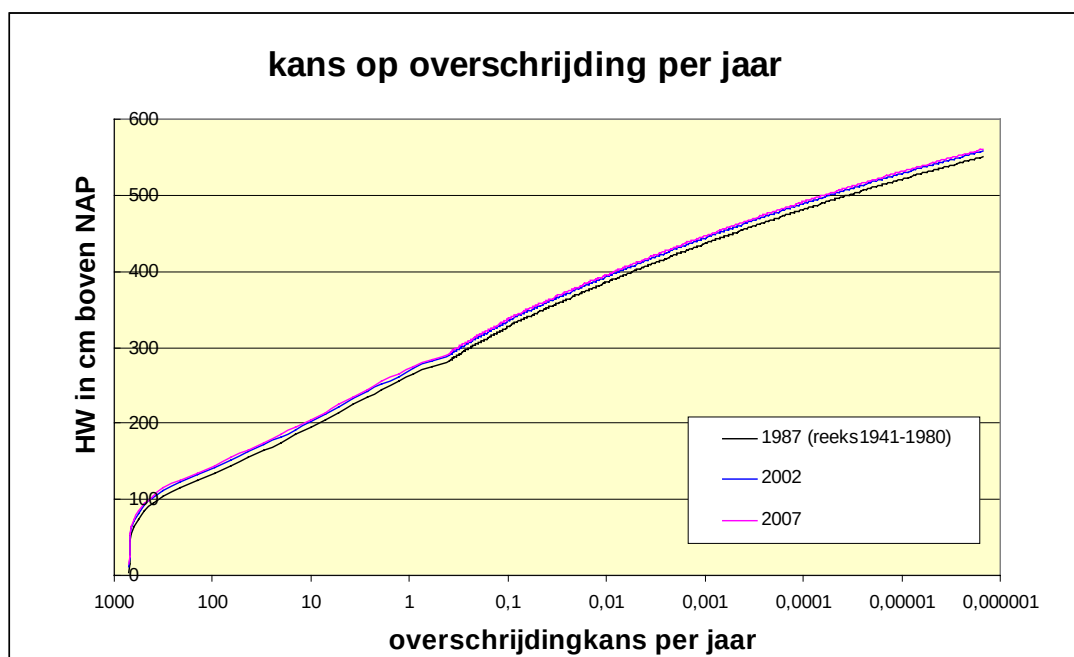
4.4 Overvloedingsfrequentie

De zeespiegelstijging en de bodemdaling zorgen er samen voor dat de duinvalleien vaker gaan overstromen of een vergrootte kans krijgen om te overstromen. De bodemdaling heeft als gevolg dat de eerder bepaalde hoogte van de drempels rondom de valleien lager wordt. Dit is te zien op de hoogte-kaarten van Ameland-Oost voor de beide bodemdalingsscenario's; de hoogte waarbij de valleien overstromen daalt. De zeespiegelstijging vergroot de kans op het optreden van extreme hoogwaters. De frequentie waarmee de valleien overstromen (de overvloedingsfrequentie) neemt door beide factoren toe.

In het vorige hoofdstuk is alleen rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 25 cm. per eeuw in de toekomst. In dit hoofdstuk is als tweede zeespiegelstijgingsscenario een waarde van 50 cm per eeuw meegenomen, omdat in dit onderzoek onder andere de toename in overstromingsrisico bepaald wordt. Het scenario van 50 cm per eeuw is dan een extreem scenario.

De kansen op overschrijding van een hoogwater moeten dan ook aangepast worden voor een stijging van 50 cm per eeuw. Dit is op eenzelfde manier gedaan als voor de reguliere stijging van 25 cm per eeuw in hoofdstuk 2.

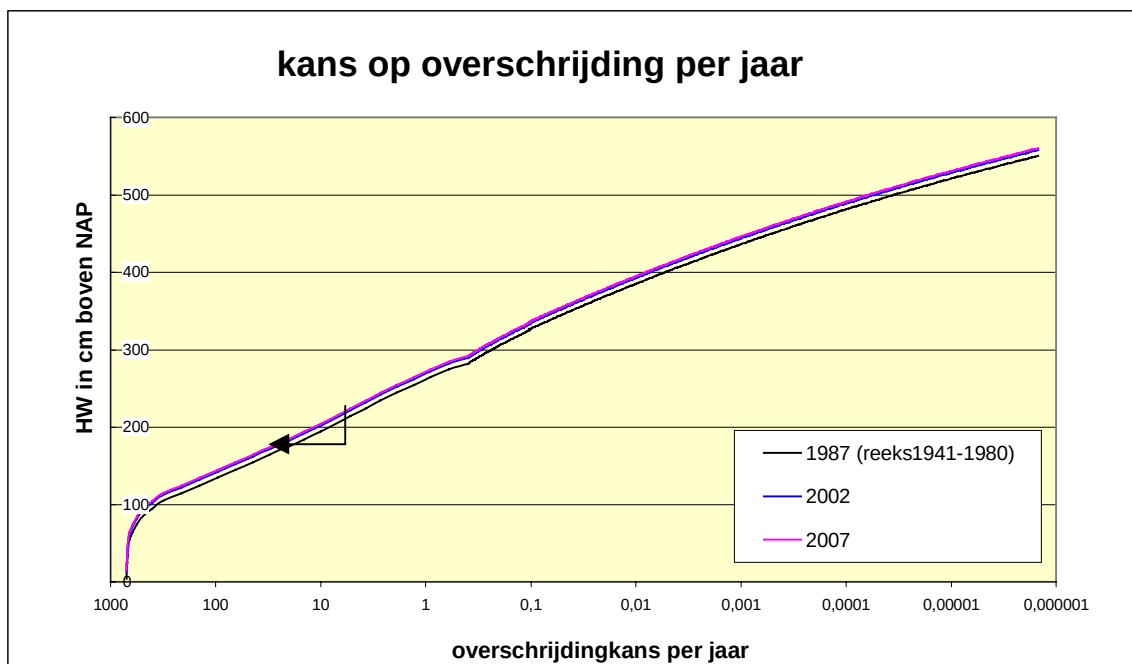
Dit resulteert in de volgende relatie tussen hoogwaterstanden en overschrijdingskansen (figuur 4.5).



Figuur 4.5: Kans op overschrijding voor de beginsituatie en scenario's van bodemdaling bij een zeespiegelstijging van 50 cm per eeuw. Vgl. figuur 3.2 uit hoofdstuk 3.

In deze figuur is te zien dat de invloed van de zeespiegelstijging, zelfs het extreem van 50 cm per eeuw, weinig invloed heeft op de overschrijdingfrequentie. De invloed van de bodemdaling is groter, omdat de hoogwaters waarbij bepaalde valleien overstromen door de daling afnemen. De overschrijdingslijn verschuift dan eigenlijk nog verder naar links. In de volgende figuur is aangegeven hoe de overvloedingsfrequentie verandert voor vallei A met 1987 als beginsituatie en scenario 2 van bodemdaling als eindsituatie. Vallei A overstroomt in 1987 bij een hoogwater van 2,2 m+NAP; hier hoort een overvloedingsfrequentie bij van 4 maal per jaar. Als een gevolg van de bodemdaling daalt

het hoogwater benodigd voor overstroomen. Vallei A overstroomt in het extreme scenario voor bodemdaling bij een hoogwater van 1,8 m+NAP met een bijbehorende overvloedsfrequentie van 20 maal per jaar (bij een gewone zeespiegelstijging).



Figuur 4.6: De pijl geeft de toename in overvloedsfrequentie van vallei A aan van de beginsituatie tot scenario 2 van bodemdaling.

Vervolgens is voor elke vallei bepaald met welke waarde het aantal overschrijdingen per jaar van een vallei toeneemt als een gevolg van de zeespiegelstijging en de bodemdaling. De resultaten voor alle scenario's staan in tabel 4A.

Tabel 4A: Toename van overvloedsfrequenties (f) voor de scenario's van zeespiegelstijging en bodemdaling. Zss= zeespiegelstijging, h= hoogwater waarbij valleien overstroomen:

vallei	zss scenario 25 cm			zss scenario 50 cm		h (m+NAP)
	f (1987)	f (2002)	f (2007)	f (2002)	f (2007)	
A	4	13	20	15	25	1.8
B	3	9	14	11	17	1.9
C	2	3	5	4	6	2
D	0,5	1	2	1	2	2.2
E	0,3	1	1	1	2	2.3
F	0,2	0,5	1	0,5	1	2.5
G	0,02	0,03	0,05	0,04	0,06	2.6
						2.7
						2.8
						2.9
						3
						3.5
						3.6
						3.7

Uit de tabel en de grafieken blijkt dat vooral de laagste valleien (A, B en in mindere mate C en D) het meeste risico lopen om vaker te overstromen. Hier zijn ook de grootste effecten voor de vegetatie te verwachten als een gevolg van de bodemdaling en de stijging van de zeespiegel. Voor de verder landinwaarts gelegen valleien (E, F en G) verschilt de kans op overspoeling nauwelijks in vergelijking met de beginsituatie. Overspoeling met zeewater van deze valleien treedt slechts sporadisch op. Er zal gekeken worden of ook een kleine toename in de overvloedingsfrequentie, van enkele malen per eeuw tot een enkele keer per jaar, extra negatieve effecten met zich meebrengt.

In Hoofdstuk 5 zal beschreven worden welke gevolgen de toename van overfloeding op de aanwezige vegetatie in de verschillende duinvalleien heeft. De overvloedingsfrequentie neemt voor vallei G1 en G2 nauwelijks toe als een gevolg van bodemdaling en zeespiegelstijging; de valleien worden wel meegenomen in de risico-analyse voor overstroming, maar niet in de voorspelling van vegetatieveranderingen. De reden hiervoor is dat eventueel optredende vegetatieveranderingen in de toekomst in deze valleien niet te wijten zijn aan de opgetreden bodemdaling. Een vergroot risico op overstromen kan voor een deel wel toegeschreven worden aan de bodemdaling.

4.5 Overstromingsrisico

Het risico voor overstromen van het totale gebied neemt op grond van de stijging van de overvloedingsfrequentie toe. Het overstromingsrisico kan bepaald worden door het oppervlak dat overstroomt in de duinvalleien te vermenigvuldigen met de frequentie waarmee elke vallei per jaar overstroomt.

In deze paragraaf is, naast de toename in overstromingsrisico op basis van de scenario's van bodemdaling en zeespiegelstijging, ook het aandeel van de bodemdaling in deze toename bepaald. Dit aandeel kan worden bepaald door de stijging van de zeespiegel buiten beschouwing te laten en alleen de daling van de drempels rondom de valleien als bepalende factor mee te nemen in de berekening; voor de kans op het optreden van hoogwaters wordt dan gebruik gemaakt van de gegevens uit 1987 (Bijlage B). De hoogte van de drempels voor de verschillende bodemdalingsscenario's wordt naast de overschrijdingsfrequenties van hoogwaters uit 1987 gelegd en de overvloedingsfrequenties van de valleien kunnen voor bovengenoemde situatie bepaald worden.

Op een vergelijkbare manier is ook de autonome ontwikkeling van het gebied in termen van overstromingsrisico bepaald. Voor deze berekening wordt de bodemdaling die in het gebied is opgetreden en nog zal optreden buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat de hoogte van de drempels rondom de valleien op het niveau blijft van 1987 en dat alleen de groeiende kans op extreme hoogwaters als een gevolg van de zeespiegelstijging meegenomen wordt.

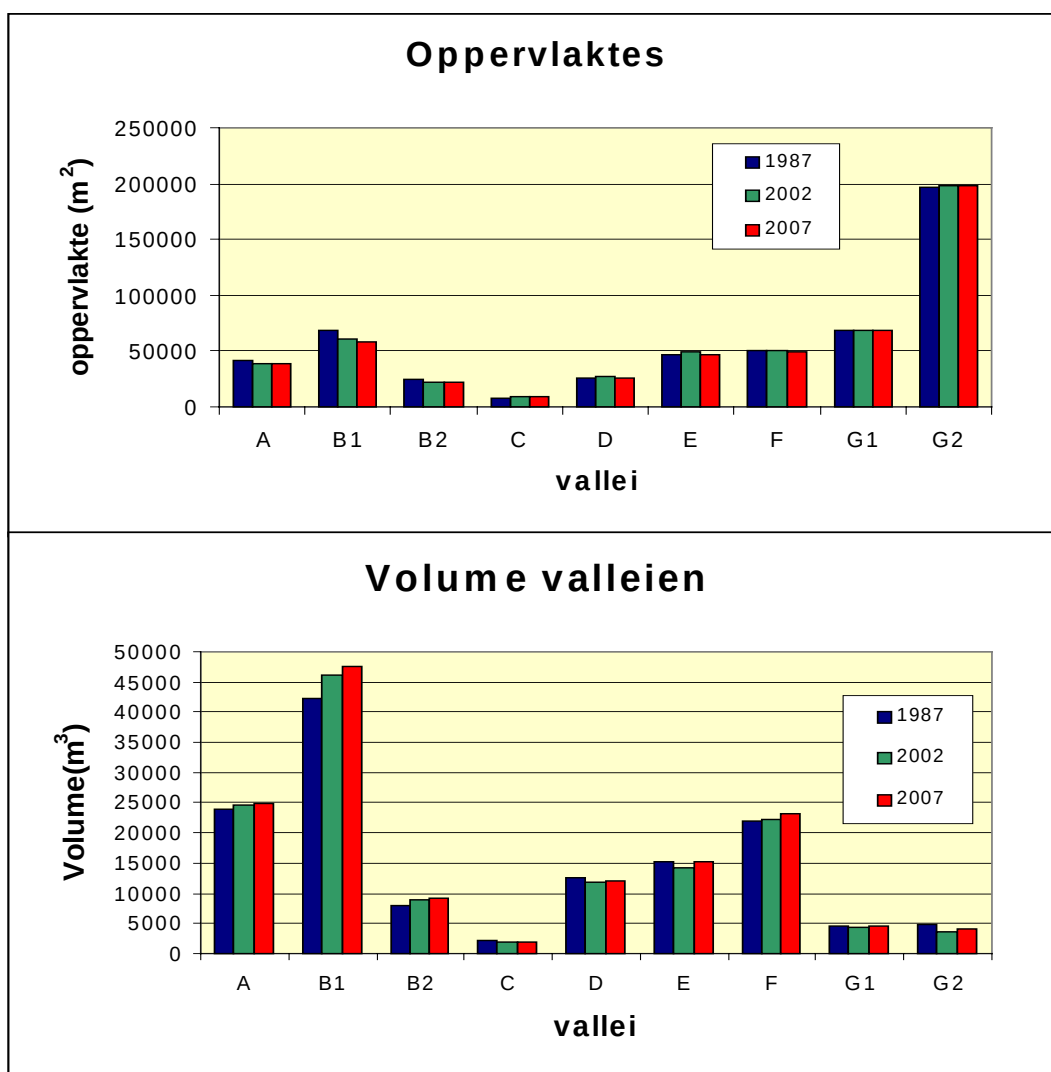
Voordat de hierboven beschreven risico-analyse uitgevoerd kan worden zullen eerst de oppervlaktes van de verschillende valleien berekend moeten worden. Vervolgens is gekeken of het kritieke hoogwater waarbij een vallei onderloopt wel voldoende hoog is om een totale opvulling van de betreffende vallei te bewerkstelligen; hiervoor zijn de volumes van de valleien berekend.

4.5.1 Oppervlakte en volume valleien

Ervan uitgaande dat het onder water blijven staan van de valleien de grootste invloed heeft op de flora en fauna, is voor de oppervlakte van de valleien de oppervlakte genomen die na overstroming onder water blijft staan. De minimale hoogte van de omringende drempels is gelijk verondersteld aan de hoogte dat het water kan bereiken in de vallei vlak na

overstroming. Op deze manier kan voor de beginsituatie en de twee bodemdalingsscenario's bepaald worden welke oppervlakte gevaar loopt bij overstroming. De zeespiegelstijgingsscenario's zijn geen bepalende factor in de hoogte dat het water bereikt in de vallei; zij zeggen alleen iets over de toename in de overvloedingsfrequentie. Een onderscheid op grond van de zeespiegelstijgingsscenario's is derhalve niet nodig. De berekende oppervlaktes zijn gegeven in figuur 4.7. Vervolgens is per bodemdalingsscenario aangegeven hoe groot het maximale volume water is dat na overstromen in de vallei blijft staan. De volume/oppervlakte ratio van een vallei is hier een graadmeter van de duur van het onder-water-blijven-staan van de valleien. Hoe groter deze ratio, hoe langer de vallei onder water blijft staan. De volumes zijn ook weergegeven in figuur 4.7.

Bovenstaande oppervlaktes en volumes zijn berekend met behulp van het programma Surfer, waarin verschillende lagen van elkaar afgetrokken kunnen worden. Als aan een laag een constante hoogte gegeven wordt kan deze laag op een hoogtekaart geplaatst worden en kan de oppervlakte van het gebied bepaald worden dat onder deze laag ligt en evenzo het volume. Als deze laag nu de waarde krijgt van de hoogte waarbij een vallei overstroomt kan bepaald worden welk oppervlakte na overstroming onder water blijft staan en hoe groot het volume water is dat na een overstroming achterblijft.



Figuur 4.7: Oppervlaktes van valleien die na overstromen onder water blijven staan (boven) en maximaal volume water dat na overstromen in de valleien achterblijft (onder).

Bovenstaande tekst samenvattend kan globaal worden gezegd dat de hoeveelheid water die maximaal in de valleien kan blijven staan na een eventuele overstroming en de oppervlakte dat dit water beslaat niet groter wordt of is geworden sinds het begin van de bodemdaling.

Van belang is wel of de duur van de hoogwaters lang genoeg is om de aangenomen maximale opvulling van de valleien te bewerkstelligen. In bijlage E is hier een berekening voor uitgevoerd op basis van enkele aannames voor de lengte van de valleidrempels, de duur van een hoogwater en de stroomsnelheid.

Uitkomsten van deze berekening zijn dat voor het totaal opvullen van een vallei het hoogwater ongeveer 10 cm hoger moet zijn dan de hoogte van de drempel van een vallei.

Gezien de vele aannames die gebruikt zijn is het berekende hoogwater dat benodigd is voor de totale opvulling van een vallei slechts een ruwe inschatting van de situatie. De uitkomsten geven dergelijke kleine verschillen tussen het kritisch hoogwater en het hoogwater benodigd voor maximale opvulling dat in hierop volgende berekeningen toch is uitgegaan van de maximale oppervlaktes en de oorspronkelijke overvloedingsfrequenties.

In de volgende paragraaf wordt een inschatting van de overstromingsrisico's gegeven op basis van de oorspronkelijk berekende overvloedingsfrequenties.

4.5.2 Risico-analyse

De daling van de drempels vergroot (zoals eerder genoemd) de overvloedingsfrequentie van de valleien. Het aandeel bodemdaling ligt niet alleen in de toename van overstroomde oppervlakte, maar ook in de toename van de overvloedingsfrequentie. Het aandeel bodemdaling is dus niet alleen weer te geven in termen van oppervlakte.

Voor een betere vergelijking kan de jaarlijkse overvloedingsfrequentie het beste vermenigvuldigd worden met de oppervlakte van elke individuele vallei om een soort totaal oppervlak van jaarlijks overstroomd land te krijgen. Hierbij is de volgende formule gebruikt:

$$\sum_{n=A}^{n=G2} f_n(j) * A_n = A_{\text{totaal}}$$

Waar, f= overvloedingsfrequentie

n= vallei op Ameland-Oost (A t/m G2)

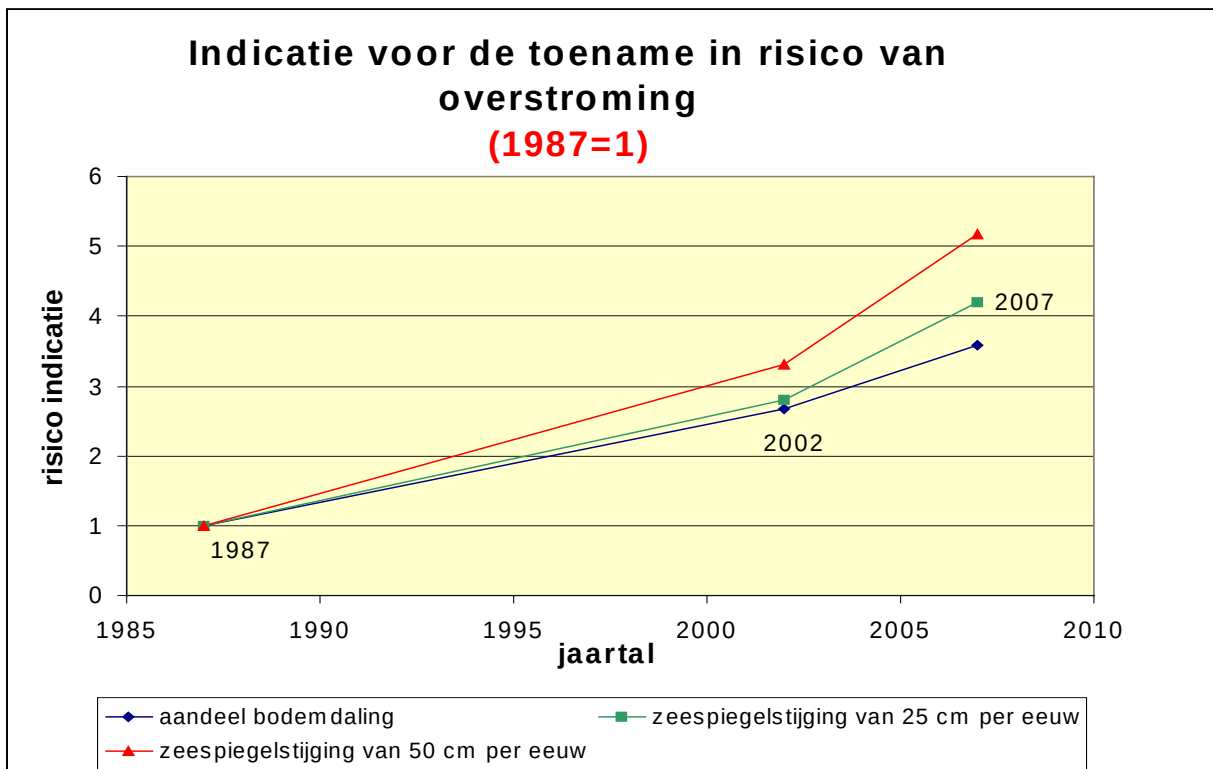
j= jaartal (1987, 2002 en 2007 op basis van bodemdalingsscenario's)

A_n= oppervlakte overstroomde deel van vallei

A_{totaal} = totaal jaarlijks overstroomd oppervlak

Deze totaaloppervlakte kan vervolgens gedeeld worden door het beginoppervlak van jaarlijkse overstroming in 1987. De uitkomsten geven dan een toename in overstromingsrisico.

Dit is verder uitgewerkt voor alle bodemdaling- en zeespiegelstijgingsscenario's. Het aandeel van de bodemdaling in de toename van het overstromingsrisico is bepaald door de overvloedingsfrequenties uit 1987 te gebruiken en deze aan te passen voor de hoogwaters waarbij de valleien overstroomd in de toekomst. Figuur 4.8 geeft dit in grafiekvorm weer:



Figuur 4.8: Toename van overstromingsrisico op basis van de verschillende bodemdalingsscenario's en zeespiegelstijgingsscenario's.

Door de bodemdaling neemt het overstromingsrisico respectievelijk 2,5 keer en 3,5 keer toe voor de bodemdalingsscenario's van 2002 en 2007.

Er is ook gekeken hoe de natuurlijke ontwikkeling, namelijk de autonome ontwikkeling met alleen zeespiegelstijging, bijdraagt aan het overstromingsrisico. Hiertoe is vanaf de beginsituatie aangenomen dat de zeespiegel stijgt met 50 cm per eeuw zonder dat de bodem daalt. De hoogtes waarbij de valleien in 1987 overstromden zijn als uitgangspunt genomen en de frequenties van overfloeding veranderen dan alleen als een gevolg van de zeespiegelstijging.

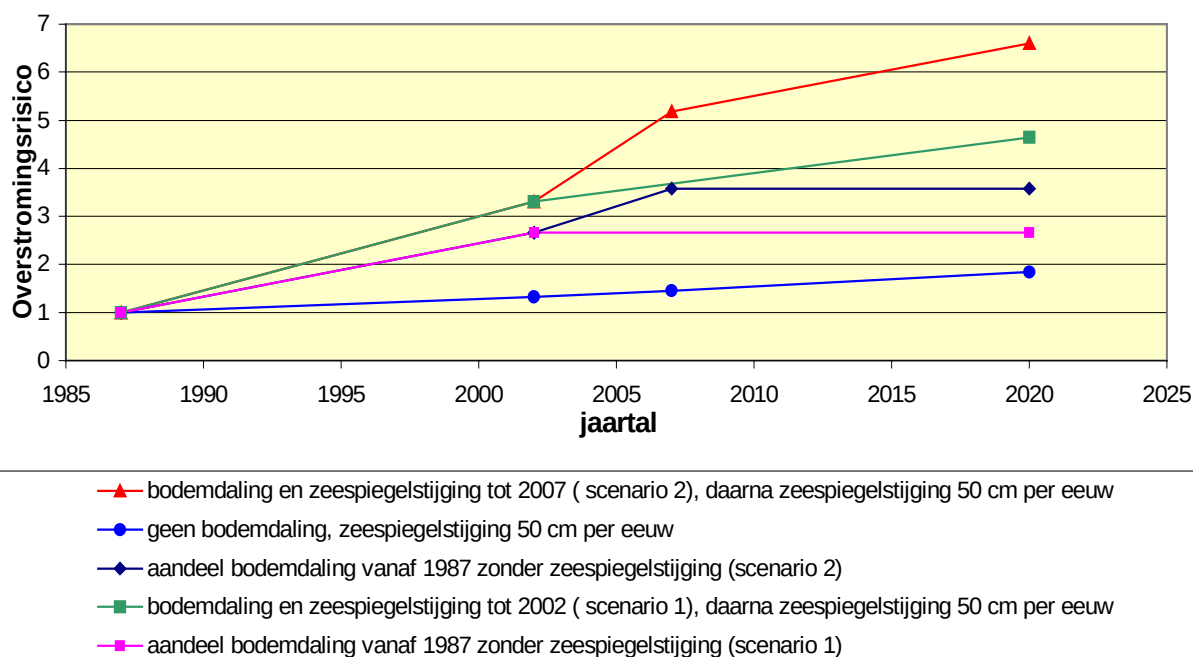
Om de natuurlijke ontwikkeling in het toenemen van de overstromingsrisico's na het eind van gaswinning in te kunnen schatten zijn scenario 2 en 3 als fictieve eindmomenten van gaswinning genomen. De eventuele naijling van de bodemdaling is buiten beschouwing gelaten.

In figuur 4.9 is te zien hoe de toename in overstromingsrisico verloopt voor deze verschillende gevallen.

Deze figuur maakt duidelijk dat de invloed van alleen zeespiegelstijging langzaam de invloed van de bodemdaling inhaalt. In hoofdstuk 2 is al bepaald hoe de overvloedingsfrequenties zouden toenemen in het geval van een autonome ontwikkeling. Op grond van deze getallen is eenzelfde berekening gemaakt voor het bepalen van de toename in overstromingsrisico. De toename in overstromingsrisico voor de autonome ontwikkeling is vervolgens doorgetrokken tot het jaartal 2080.

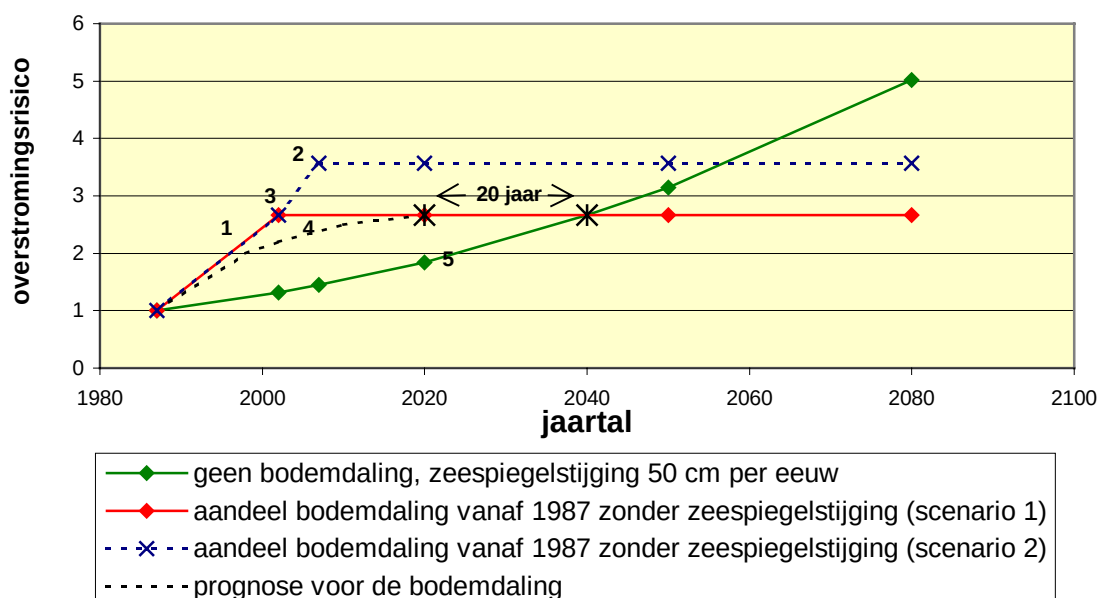
Dit is verder uitgewerkt in figuur 4.10 waarin is af te lezen wanneer in een autonome ontwikkeling met alleen de invloed van de zeespiegelstijging de risico's op overstroming eenzelfde niveau bereiken als in de reële situatie met bodemdaling.

Risico op overstroming met en zonder bodemdaling



Figuur 4.9: Toename van het overstromingsrisico in 5 verschillende combinaties van de scenario voor bodemdaling en zeespiegelstijging.

Aandeel zeespiegelstijging versus aandeel bodemdaling



Figuur 4.10: De autonome ontwikkeling in de toename van het overstromingsrisico vergeleken met twee bodemdalingsscenario's (verklaring van nummer 1 tot en met 5 op volgende pagina).

Verklaring van de nummers bij fig. 4.10:

In deze grafiek geeft lijn 1 (rode lijn) aan de toename van het risico op overstromen als een gevolg van alleen bodemdaling tot het jaartal 2002. Dit is voor scenario 1 het eindtijdstip van daling, vanaf dat moment heeft bodemdaling geen invloed meer op de toename in het overstromingsrisico. De waarde blijft constant.

Lijn 2 (blauwe lijn) loopt nog door tot 2007. Dit is voor scenario 2 het eindtijdstip van daling en de lijn heeft vanaf dat moment een constante waarde.

Tussen lijn 1 en 2 bevindt zich een knikpunt (3) in de toename van het overstromingsrisico; dit is als volgt te verklaren. Het toename van overstromingsrisico wordt bepaald door de overvloedingsfrequentie; deze overvloedingsfrequenties vertonen geen niet-lineair verloop met de hoogwaters.

Lijn 4 geeft aan hoe volgens de prognose voor de bodemdaling met 2020 als eindtijdstip het risico verloopt: het risico dat volgens scenario 1 in 2002 bereikt wordt, wordt eigenlijk pas in 2020 bereikt als de daling in het centrum van de dalingsschotel 28 cm bedraagt.

De autonome ontwikkeling wordt weergegeven door lijn 5; voor de zeespiegelstijging is 50 cm per eeuw aangehouden, omdat hier op de lange termijn voorspeld wordt.

De voorspelde toename in de risico's van overstroming op basis van de bodemdalingsscenario's waren door de invloed van alleen zeespiegelstijging zonder bodemdaling in de toekomst ook bereikt, maar treden nu eerder en in een sneller tempo op. Hierbij moet wel bedacht worden dat het eindpunt 2002 of 2007 voor de bodemdaling een fictief jaartal is. Al eerder is gewezen op het feit dat het gebruikte model voor bodemdaling een constante daling in het centrum van de bodemdalingsschotel veronderstelt. Op grond van de prognoses voor de maximum bodemdaling wordt dit eindpunt pas bereikt in het jaartal 2020.

Uit bovenstaande grafiek valt dan af te lezen dat als een gevolg van de bodemdaling op Ameland-Oost het proces van het toenemen van overstromingsrisico door de zeespiegelstijging 20 jaar versneld wordt.

De effecten van deze versnelde toename in overstromingsrisico voor de aanwezige flora en fauna komt in het biotische deel aan bod.

5. Vegetatie

In dit hoofdstuk wordt gekeken wat de te verwachten vegetatie-ontwikkeling is uitgaande van de scenario's voor bodemdaling en zeespiegelstijging. Tevens worden aanwijzingen gegeven voor eventuele regeneratiemogelijkheden en wordt beoordeeld of de te verwachten ontwikkelingen ook daadwerkelijk een schade voor het milieu betekenen.

5.1 Vegetatie-ontwikkeling

Om een voorspelling te kunnen maken van de vegetatieveranderingen die in het gebied zouden kunnen optreden is het noodzakelijk de vegetatie-ontwikkelingen die tot nu toe in het gebied plaatsgevonden hebben te kennen.

Bij de gebiedsbeschrijving is al een groot deel van deze ontwikkeling beschreven. Tevens is in hoofdstuk 3 gekeken hoe de ontwikkeling in een autonome situatie zou zijn.

5.1.1 Effecten bodemdaling op vegetatie-successie

Net als bij de autonome ontwikkeling waarbij alleen zeespiegelstijging een rol speelt is het successieschema uit hoofdstuk 3 in het geval van de gecombineerde effecten van zeespiegelstijging en bodemdaling niet geheel van toepassing op de situatie in de duinvalleien op Ameland-Oost.

Ten eerste treedt, door de toename in overstromingen, vegetatiesterfte op (bijvoorbeeld duindoornsterfte). Dit leidt tot een versterkte mineralisatie van de bodem, door de ophoping van organisch materiaal. Dit heeft weer verzuuring tot gevolg, waarbij algemeen voorkomende ruigte wordt bevooroordeeld (o.a. brandnetels).

Een volgend probleem is dat er door het stagneren van water in de valleien anaërobie optreedt en extreem natte situaties. Hier zou dan eerder een vegetatie van de onder kwelder ontwikkelen dan de overgangssituatie tussen duin en kwelder (T0/T1), zoals aangegeven in bovengenoemd successieschema.

Ten derde verdwijnt -naast verdamping- het meeste water uit de valleien via infiltratie door de bodem. Het zoutgehalte van de bodem neemt toe; het water in de bodem wordt brak.

Door de stijging van het zoutgehalte in de bodem stijgt tevens de pH van de bodem

Tenslotte nemen hoge vloedwaterstanden veel slib mee dat in de valleien kan bezinken (opslibbing) als het water blijft staan. De vorming van een sliblaag op zandgrond heeft gevolgen voor het soort vegetatie dat kan voorkomen. Het slib zorgt er ook nog eens voor dat meer zout door de bodem vastgehouden kan worden.

Op basis van het zouter en natter worden van de duinvalleien kan een voorspelling gemaakt worden in het schema; in het schema is echter geen factor opslibbing meegenomen.

De opslibbing in de valleien leidt tot een andere bodemsituatie. Vocht en zout worden door het slib langer vastgehouden zodat in de natste valleien eerder een ontwikkeling naar lage kweldertypen te verwachten is.

Samenvattend zijn de effecten van bodemdaling op Ameland en zeespiegelstijging, die belangrijk zijn voor de vegetatie, als volgt:

- langdurige anaërobe situaties in de meest overstroomde valleien (A, B1 en B2)
- vernatting (brakke condities)
- toename zoutgehalte bodem en grondwater (verzilting)
- stijging van pH
- opslibbing in de valleien die het meest frequent overstroomd worden

In de literatuur wordt vermeld dat de effecten van bodemdaling door gaswinning op de duinvalleien zijn: een overgang naar een kalkrijk, basisch milieu, vernatting en verzilting (Janssen et al, 1996, Tabel 3.5). Hierbovenop komt dan extra de factor opslibbing.

5.1.2 Successies in de valleien

In deze paragraaf wordt in grote lijnen beschreven in welke richting de vegetatie zich zal ontwikkelen gebaseerd op de gekozen scenario's.

De valleien die in hun ontwikkeling veel op elkaar lijken zullen samen besproken worden. Tevens zal getracht worden de vegetatieveranderingen aan te geven in successieschema's. Hierbij moet nogmaals bedacht worden dat de ontwikkeling die nu plaats vindt in de duinvalleien op Oost-Ameland niet ondergebracht kan worden in conventionele successieschema's, omdat hier extra factoren van invloed zijn.

Eventuele mogelijkheden voor regeneratie in de duinvalleien zal in een aparte paragraaf besproken worden (5.2).

- Vallei A, B1 en B2

Deze valleien worden met elkaar besproken omdat zij in termen van hoogteligging, bodemdaling, overvloedingsfrequentie, opslibbing en zoutgehalte erg op elkaar lijken. Dit geldt ook voor de overige bij elkaar gekozen valleien.

Abiotische ontwikkeling

De valleien A, B1 en B2 maken, zoals al eerder beschreven in het hoofdstuk scenario's, een ontwikkeling door van sporadisch overstroomde valleien in de beginsituatie naar valleien die gedurende het stormseizoen frequent overspoeld gaan worden. Dit als een gevolg van het verlagen van de drempels rondom de valleien door de optredende bodemdaling en van de stijging van de zeespiegel.

Sommige delen van de valleien blijven hierdoor tijdens het stormseizoen permanent overstroomd. Dit is nu al waargenomen in vallei A. Als een gevolg van het stagneren van zeewater in de valleien neemt het zoutgehalte en de vochtigheid van de bodem toe. Tevens ontstaat door het toenemende aantal overvloedingen een sliblaag op de bodem.

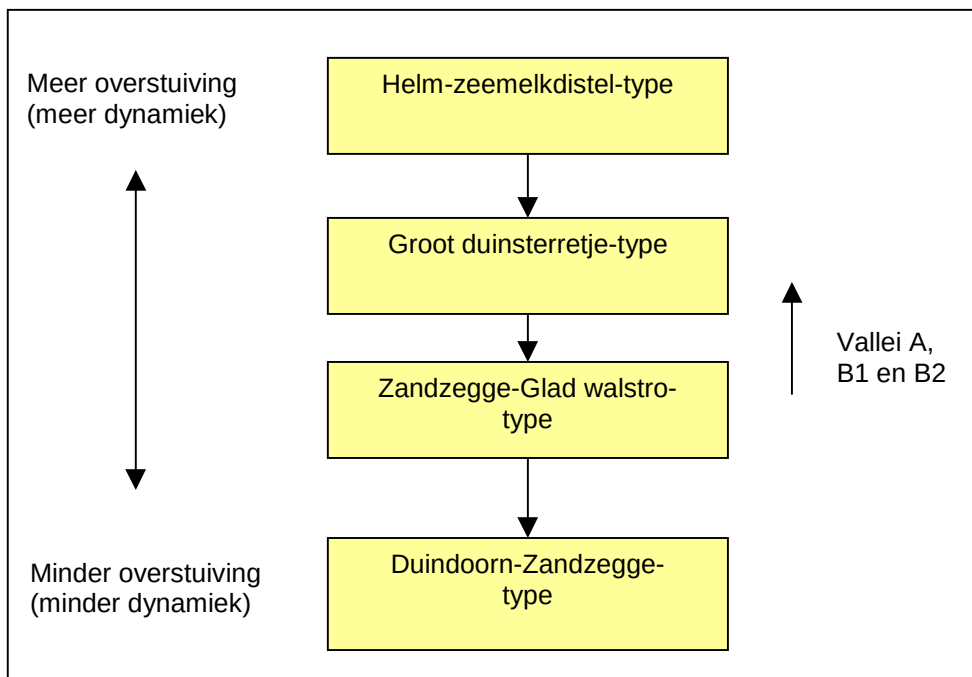
Vegetatieontwikkeling

Tot nu toe heeft de vegetatie in de valleien zich ontwikkeld van een grazige vegetatie naar een meer gevarieerde vegetatie van zoutminnende soorten. Door het stagneren van water in de lage delen van de valleien en de veranderde bodemsituatie (o.a. opslibbing) zullen zich hier meer watersoorten en soorten van de lage kwelder gaan vestigen. Er zullen plassen ontstaan.

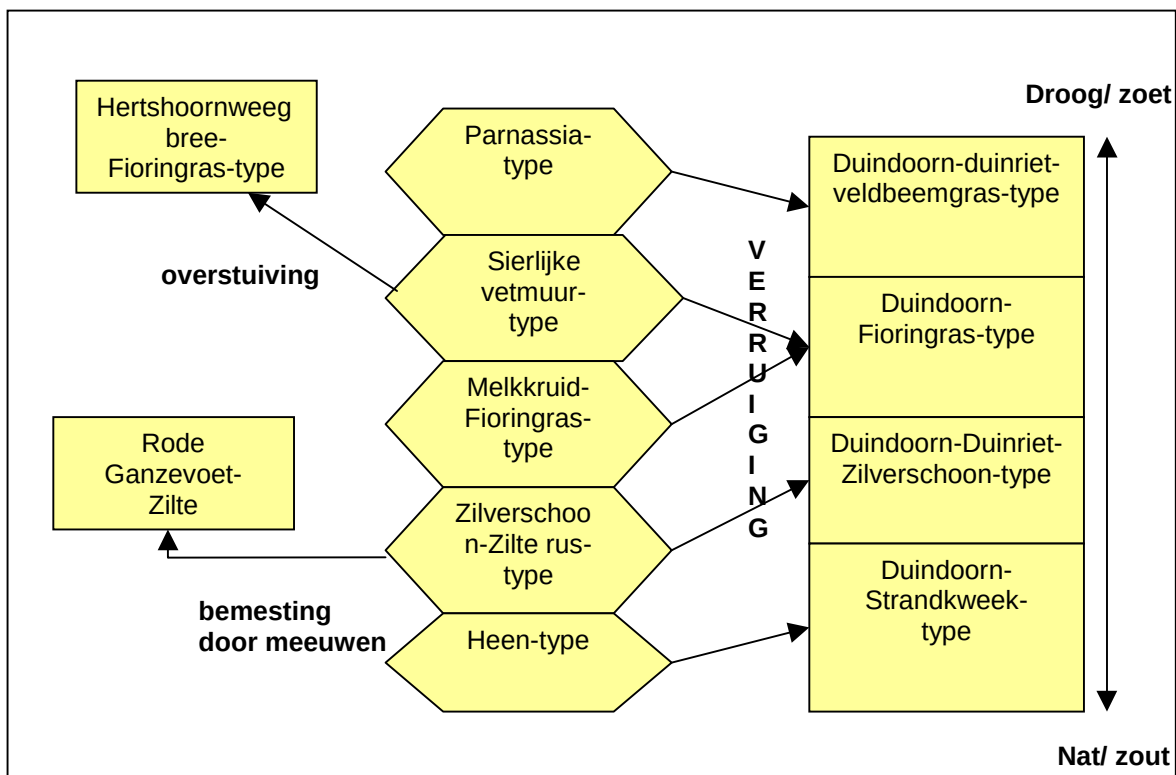
Er zijn voor de situatie in deze valleien al verschillende successieschema's opgesteld die veranderingen aangeven in de vegetatie op grond van overstuiving door zeewater en het natter en zouter worden van de bodem (Janssen et al, 1996).

In figuur 5.1 zijn vegetatietypen gegeven die indicatief zijn voor overstuiving. In de valleien vindt een ontwikkeling plaats van zandzegge-glad walstro-type naar groot duinsterretje-type en helm-zeemelkdistel-type.

Figuur 5.2 geeft de ontwikkeling aan die indicatief is voor overstroming en verruiging van het duindoornstruweel, zoals deze is waargenomen in de valleien. De eerder opgetreden ontwikkeling in de valleien richting soortenarmere en verruigde typen gedomineerd door struiken en grove grassen (duindoorn, duinriet en strandkweek) is veranderd in een ontwikkeling richting parnassia en sierlijke vetmuur en verder richting zilverschoon en zilte rus door toenemende vernatting en verzilting van de bodem.



Figuur 5.1: Vegetatiesuccessie als een gevolg van overstuiwing door zeewater. Uit: Janssen et al, 1996.



Figuur 5.2: Vegetatie-ontwikkeling die indicatief is voor overstroming en verruiging van het duindoornstruweel in de valleien A, B1 en B2. Uit: Janssen et al, 1996.

De vegetatietypen met parnassia en sierlijke vetmuur bevatten veel waardevolle soorten, waaronder Rode Lijst-soorten. Op basis van de gebruikte informatie zijn de volgende zeldzame en Rode Lijst-soorten gevonden in de valleien A, B1 en B2:

Tabel 5A: Zeldzame soorten en Rode Lijst-soorten aangetroffen in de valleien A, B1 en B2 op Ameland-Oost:

vallei	Wetensch. naam	ndl. naam
A,B1,B2	Carex distans	zilte zegge
A,B1,B2	Centaurium littorale	strandduizendguldenkruid
A,B1,B2	Juncus maritimus	zeerus
A,B1,B2	Limonium vulgare	lamsoor
A,B1,B2	Liparis loeselii	groenknolorchis
A,B1,B2	Sagina nodosa	sierlijke vetmuur
A,B1,B2	Schoenus nigricans	knopbies

Zoals eerder genoemd vindt er in deze valleien een overgang plaats naar zilverschoon en zilte rus-type. Door verdere vernatting, verzilting en opslibbing in de valleien zal de vegetatie in de lage delen zich moeten aanpassen aan de nieuwe condities. In een globaal schema zal aangegeven worden hoe de valleien zich ontwikkeld hebben en hoe deze ontwikkeling op basis van de gegevens in de toekomst zal zijn:

Vallei: A, B1 en B2		topografie		
		"hoog"		"laag"
jaartal	frequentie	Secundaire duintjes	Verruigde duinvallei	Jonge duinvallei
1987	3 tot 4	Aa	Bh/Bs	T1/T0
		overstuiving: zandzegge-glad walstro ↓ groot duinsterretje	overstuiving: duindoornsterfte	opslibbing/ verzilting: parnassia/sierlijke vetmuur ↓ zilverschoon/zilte rus
1993	7 tot 10	Aa	T1/T0	T1/T0 Sf
		laag: vernatting/verzilting hoog: meer overstuiving	laag: opslibbing/stagneren van zeewater hoog: vernatting/verzilting	opslibbing/ stagneren van zeewater
scenario 1	13 tot 15	Aa T1/T0	T1/T0 Sf	Sp Ss
		daling: groter oppervlak waar vernatting/verzilting/overstuiving plaatsvindt	overschrijdingsfrequentie richting hoge kwelder	langdurig stagneren van zeewater
scenario 2	20 tot 25	Aa T1/T0	Sf	Ss

Figuur 5.3: Verwachte vegetatiesuccessie in vallei A, B1 en B2. Zie figuur 3.4 voor uitleg symbolen. Frequentie is hier de overvloedingsfrequentie. Scenario 1 en 2; bodemdalingsscenario's.

In de lage delen van de valleien zal dus een ontwikkeling naar kweldertypen plaatsvinden. Typen van de lage kwelder in de delen waar het zeewater langdurig stagneert en hoge kweldertypen op de hogere delen die frequent gaan overstromen. De overvloedingsfrequentie op de hoge kwelder ligt ongeveer tussen de 10 en 50 maal per jaar (Dankers et al 1987). In bovenstaand schema wordt deze conditie bereikt bij scenario 1 voor

bodemdaling; samen met de eerder aangetoonde opslibbing in deze valleien kunnen er op de delen die wel frequent overstroomd, maar waar geen zeewater langdurig stagneert hoge kweldersoorten vestigen. Zilte rus is een van deze hoge kweldersoorten en is reeds aangetroffen in de valleien (zie bijlage F).

- Vallei C en D

Abiotische ontwikkeling

De overvloedingsfrequentie in deze valleien neemt niet zo sterk toe als in de valleien A, B1 en B2. Als een gevolg van de bodemdaling (scenario 1) dalen de drempels om de valleien met ongeveer 20 cm, dit resulteert in een toename in de kans van overstroomd van ongeveer 1 tot ongeveer 4 maal per jaar. De uitkomsten van de metingen naar zoutgehalte en opslibbing liggen in deze valleien dan ook lager. Als de valleien overstroomd bij een extreem hoogwater duurt het enkele weken voordat het stagnerende water via inundatie het grondwater bereikt. Dit zorgt voor een toenemend zoutgehalte in de lage delen.

Vegetatieontwikkeling

In de valleien was tijdens de start van de bodemdaling een karakteristieke valleivegetatie (Ws) aanwezig die voorkomt in vochtige kalkrijke duinvalleien. Ook het duindoornstruweel was dominant aanwezig. Op de hogere delen in de vallei bevinden zich duingraslanden (Gk). Door het optreden van extreme hoogwaters zijn de duindoorns die in de lage delen van de valleien groeiden afgestorven door het stagneren van water in de vallei (zie boven). Door het natter en zouter worden zal zich in de valleien een vegetatie vestigen die voorkomt op de overgang van een zoet naar een zout milieu. De verder te verwachten vegetatie ontwikkelingen is in typen aangegeven in het volgende schema:

Vallei: C en D		topografie			
		"hoog"		"laag"	
jaartal	frequentie	Duingraslanden		Verruigde duinvallei	Vochtige kalkrijke vallei
1987	0.5 tot 2	Gk		Bh/Bs	Ws
		laag: overstuiving leidt tot duindoornsterfte hoog: verruiging naar duingraslanden		vernatting/ verzilting laag: stagneren van zeewater geeft vegetatie uit overgang kwelder/duinvallei	
1993	1 tot 3	Gk	Gk	Bh/Bs †	Ws T1/T0
		laag: meer overstuiving	laag: vernatting/verzilting, verdwijnen duindoorn hoog: overstuiving, van verruiging naar vallei vegetatie		laag: opslibbing/stagneren van zeewater
scenario 1	1 tot 4	Gk		Ws	T1/T0
		hoog: waardevolle vallei-vegetatie kan blijven bestaan laag: door daling groter overstromingsgebied		doorgaande opslibbing en verzilting geeft vegetatie uit overgang kwelder/duinvallei	
scenario 2	2 tot 6	Gk		Ws T1/T0	T1/T0

Figuur 5.4: Verwachte vegetatiesuccessie in vallei C en D.

In het schema bereikt de overvloedingsfrequentie nog niet de condities waaronder hoge kweldersoorten kunnen bestaan. Het optreden van anaërobe situaties (als een gevolg van een slibhoudende bodem zal het zeewater nog langer stagneren) zal leiden tot meer vegetatiesterfte en verdere mineralisatie van organisch materiaal.

- Vallei E en F

Abiotische ontwikkeling

De kans op overstroming van deze valleien was in de beginsituatie theoretisch eens in de 3 à 5 jaar. Deze zal toenemen tot ongeveer eenmaal per jaar voor de voorspelde eindprognose van bodemdaling.

Opslibbing vindt tot het moment van dit schrijven nauwelijks plaats en zal ook tot de eindprognose van bodemdaling een geringe rol spelen op basis van het kleine volume en oppervlak van overstroming in de valleien. Dit heeft als een gevolg dat hier wellicht nog regeneratiemogelijkheden of een ontwikkeling naar een meer rijke vegetatie mogelijk zijn. Dit wordt beschreven in de volgende paragraaf.

Vegetatieontwikkeling

De vegetatie in vallei E en F is niet ingesteld op sporadische overspoeling door zeewater. De verandering in overvloedingsfrequentie leidt hier tot vegetatieveranderingen. Grazige vegetatie en duindoornstruweel is hier nog dominant, maar deze vegetatie begint door vernatting en toename van het zoutgehalte te verdwijnen. Op sommige plaatsen wordt hier al een vochtige vallei-vegetatie aangetroffen. Dit is VVk1 op de vegetatiekaart van de Meetkundige Dienst gebaseerd op luchtfoto's uit 1993 (De Meulmeester, 1998). De verwachte successie is als volgt:

Vallei: E en F		topografie			
		"hoog"		"laag"	
jaartal	frequentie	Secundaire duintjes		Verruigde duinvallei	
1987	0.2 tot 0.3	Aa		Bh/Bs/Ws	
		laag:verruiging naar duingrasland		laag: overstuiving geeft duindoornsterfte hoog: verruiging naar duingrasland	
1993	0.3 tot 0.5	Aa	Gk	Gk Bh/Bs† Ws	
		laag:overstuiving		verzilting en vernatting; van verruiging naar brakke zone	
scenario 1	0.5 tot 1	Aa		T1/T0	
scenario 2	1 tot 2	Aa		T1/T0	

Figuur 5.5: Verwachte vegetatiesuccessie in vallei E en F.

In deze valleien is duindoornsterfte waargenomen; deze sterfte zal zich als de valleien een kans krijgen om tot eenmaal per jaar te overstromen verder doorzetten. Er vindt dus een ontwikkeling plaats die tegengesteld is aan de al opgetreden verruiging. Opslibbing speelt nog een kleine rol; op basis van het natter en zouter worden van de vallei kan het

successieschema uit hoofdstuk 3 aangehouden worden (Figuur 3.4). De struweelvegetatie (Bh/Bs) zal overgaan naar de zout-zoet overgang (T1/T0).

5.2 Regeneratiemogelijkheden in de duinvalleien

Voor vallei A, B1 en B2 is eigenlijk de meest voor de hand liggende optie voor regeneratie het verwijderen van de drempels rondom de valleien waardoor het zeewater vrij in en uit kan stromen. Deze ingreep is echter niet wenselijk in een natuurgebied zoals deze oostpunt van Ameland. De maatregel zou wel met zich meebrengen dat in deze valleien een meer natuurlijke ontwikkeling richting hoge kwelder kan plaatsvinden.

De toename in het aantal overvloedingen betekent dat bij de voorgestelde maatregel er nog steeds opslibbing plaatsvindt.

Al eerder is genoemd dat door de stijging van de zeespiegel een dergelijke situatie in deze valleien ook bereikt was. De veranderingen die hier plaatsvinden, in een sneller tempo door de extra invloed van bodemdaling, kunnen een aanwijzing zijn voor wat er met andere gebieden gaat gebeuren die onder invloed staan van een stijgende zeespiegel.

Vallei E en F hebben een geringe toename van overfloeding, hier speelt opslibbing nauwelijks een rol. Als regeneratiemogelijkheden zou je hier kunnen denken aan het aanleggen van enkele kreken zodat het water niet stagneert in deze valleien. Het successieschema uit hoofdstuk 3 (figuur 3.5) zou hier dan wel opgaan. Er zou zich dan een meer soortenrijke vegetatie kunnen vestigen die een hoge waardering heeft in termen van zeldzaamheid en internationaal voorkomen. De vegetatie zal dan verschuiven in de richting van T1/T0. Dit is de vegetatie op de overgangszone tussen een zoet en zout milieu.

5.3 Beleid

Belangrijk in de bespreking van ecologische veranderingen zijn de zeldzame soorten die zich in een gebied bevinden. Als blijkt dat bij een ecologische verandering soorten verdwijnen, die op grond van zeldzaamheid, internationale betekenis of een dalende trend zijn aangewezen als doelsoorten, is dit als schadelijk voor het milieu te bestempelen (Bal et al, 1995). Deze doelsoorten zijn beschermd.

Er zijn anderzijds ook ecologische veranderingen te bedenken die een verrijking voor het milieu betekenen, zoals een ontwikkeling in de richting van meer zeldzame soorten waarbij meer algemene soorten verdwijnen. De volgende soorten, die voorkomen in duinvalleien, zijn aangewezen als natuurdoeltypen (tabel 5B).

Tabel 5B: Zeldzame soorten en Rode Lijst-soorten van duinvallei-vegetaties.

UFK: Uurhokfrequenties (nationale zeldzaamheid), 1= uiterst zeldzaam, 2= zeer zeldzaam, 3= zeldzaam, 4= vrij zeldzaam, 5= minder algemeen, 6= vrij algemeen. Rode lijst: 1= zeer sterk bedreigd, 2= sterk bedreigd, 3= bedreigd, 4= potentieel bedreigd.

Wetensch. naam	Nederlandse naam	UFK	Rode-lijst
<i>Potamogeton coloratus</i>	doorschijnende fonteinkruid	1	2
<i>Carex hartmanii</i>	schellingerzegge	1	4
<i>Carex punctata</i>	stippelzegge	1	4
<i>Juncus Capitatus</i>	koprus	2	1
<i>Cicendia filiformis</i>	draadgentiaan	3	1
<i>Gymnadenia conopsea</i>	grote muggenorchis	3	1
<i>Herminium monorchis</i>	honingorchis	3	1
<i>Juncus pygmaeus</i>	dwergrus	3	1
<i>Anagallis tenella</i>	teer guichelheil	3	2
<i>Gentianella amarella</i>	slanke duingentiaan	3	2
<i>Monotropa hypopithys</i>	kaal stofzaad	3	2
<i>Juncus arcticus</i>	noordse rus	3	3

Latijnse naam	Nederlandse naam	UFK	Rode-lijst
<i>Vaccinium uliginosum</i>	rijsbes	3	3
<i>Deschampsia setacea</i>	moerassmele	4	1
<i>Hammarbya paludosa</i>	malaxis	4	1
<i>Anagallis minima</i>	dwergbloem	4	2
<i>Antennaria dioica</i>	rozenkransje	4	2
<i>Carex pulicaris</i>	vlozegge	4	2
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	armbloemige waterbies	4	2
<i>Equisetum variegatum</i>	bonte paardestaart	4	2
<i>Liparis loeselii</i>	groenknolorchis	4	2
<i>Orchis morio</i>	harlekijn	4	2
<i>Radiola linoides</i>	dwergvas	4	2
<i>Carex oederi</i> spp. <i>pulchella</i>	dwergzegge	4	3
<i>Pilularia globulifera</i>	pilvaren	4	3
<i>Potamogeton polygonifolius</i>	duizendknoopfonteinkruid	4	3
<i>Pyrola minor</i>	klein wintergroen	4	3
<i>Schoenus nigricans</i>	knopbies	4	3
<i>Carex trinervis</i>	drienvervige zegge	4	
<i>Juncus alpinoarticulatus</i>	duinrus	4	
<i>Echinodorus ranunculoides</i>	stijve moerasweegbree	5	2
<i>Littorella uniflora</i>	oeverkruid	5	2
<i>Botrychium lunaria</i>	maanvaren	5	3
<i>Centaurium pulchellum</i>	fraai duizendguldenkruid	5	3
<i>Claudium mariscus</i>	galigaan	5	3
<i>Epipactus palustris</i>	moeraswespenorchis	5	3
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	vleeskleurige orchis	5	3
<i>Lycopodium inundatum</i>	moeraswolfsklauw	5	3
<i>Oenanthe lachenalii</i>	zilt torkruid	5	3
<i>Parnassia palustris</i>	parnassia	5	3
<i>Pedicularis palustris</i>	moeraskartelblad	5	3
<i>Platantera bifolia</i>	welriekende nachtorchis	5	3
<i>Potamogeton gramineus</i>	ongelijkbladig fonteinkruid	5	3
<i>Pyrola rotundifolia</i>	rondbladig wintergroen	5	3
<i>Carex diandra</i>	ronde zegge	5	
<i>Centaurium littorale</i>	strandduizendguldenkruid	5	
<i>Cirsium dissectum</i>	spaanse ruiter	6	2
<i>Centaurium erythraea</i>	echt duizendguldenkruid	6	3
<i>Dactylorhiza maculata</i>	gevlekte orchis	6	3
<i>Dactylorhiza majalis</i>	breedbladige orchis	6	3
<i>Sagina nodosa</i>	sierlijke vetmuur	6	3

In het duinvalleien-gebied op Ameland-Oost zijn enkele van deze soorten aangetroffen (tabel 5B). De volgende zeldzame soorten zijn aangetroffen :

Tabel 5C: Zeldzame soorten en Rode Lijst-soorten aangetroffen in de duinvalleien op Ameland-Oost:

vallei	Wetensch. naam	Nederlandse naam
A,B1,B2	<i>Carex distans</i>	zilte zegge
A,B1,B2	<i>Centaurium littorale</i>	strandduizendguldenkruid
C	<i>Epipactus palustris</i>	moeraswespenorchis
A,B1,B2	<i>Juncus maritimus</i>	zeerus
A,B1,B2	<i>Limonium vulgare</i>	lamsoor
A,B1,B2	<i>Liparis loeselii</i>	groenknolorchis
A,B1,B2	<i>Sagina nodosa</i>	sierlijke vetmuur
A,B1,B2	<i>Schoenus nigricans</i>	knopbies

Op basis van de voorspelde veranderingen voor vallei A, B1 en B2 zullen bovenstaande soorten verdwijnen of zich naar hogere delen van de valleien verplaatsen waar geen slib-aanvoer plaatsvindt en geen zeewater stagneert. De condities waaronder deze typen kunnen voorkomen gaan veranderen en de kwelder zal zich uitbreiden. Dit gaat hier dan wel ten koste van waardevolle valleivegetatie.

In vallei E en F zijn nog mogelijkheden voor een ontwikkeling richting een vegetatie met natuurdoeltypen, maar dit vergt als eerder genoemd enkele beheersmaatregelen.

In het trilateraal beleid en beheer van kwelders van de Waddenzee uit de Verklaring van Stade staat als uitgangspunt vermeld dat waar mogelijk het natuurlijk areaal aan kwelders zal worden uitgebreid.

Voor duinen en stranden staan in het plan de volgende doelen geformuleerd:

- Grotere natuurlijke dynamiek van de stranden, primaire duinen, strandvlakten en primaire duinvalleien in relatie tot de kustwateren.
- Een grotere aanwezigheid van een complete natuurlijke successie van vegetatie.
- Gunstige omstandigheden voor trekkende en broedende vogels.

De werkelijke schade voor het milieu is op grond van deze ruim omschreven doelen of op grond van het verlies aan natuurdoeltypen moeilijk te bepalen.

In verband met een lopend onderzoek naar de waardering van de vegetatie in het gebied wordt in dit onderzoek slechts ingegaan op de negatieve danwel positieve effecten van de gekozen scenario's; er worden geen uitspraken gedaan over de veranderingen in natuurwaarde.

Dit komt verder aan bod in het volgende hoofdstuk.

6. Discussie

Tot nu toe is beschreven dat de verschillende duinvalleien die zich op Ameland-Oost bevinden meer kans krijgen om te overstromen, zowel in een autonome ontwikkeling als in een ontwikkeling gebaseerd op zeespiegelstijgings- en bodemdalingsscenario's. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de betrouwbaarheid van de gebruikte gegevens, ondersteuning van de bevindingen in de literatuur en verantwoording voor het gebruiken van bepaalde informatie voor zover dit nog niet eerder in het verslag genoemd is. Er worden enkele kanttekeningen geplaatst bij de voorspelling van de vegetatieveranderingen in de toekomst en als conclusie zullen de verschillende scenario's naast elkaar gelegd worden met een bespreking over de effecten voor het milieu op de lange termijn.

6.1 Betrouwbaarheid abiotische gegevens

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van veel verschillende gegevens en datasets die weer aangepast zijn zodat zij in scenario's te gebruiken zijn om voorspellingen te doen voor de toekomst. Deze voorspellingen voor de toekomst kunnen alleen serieus genomen worden als zij gebaseerd zijn op betrouwbare gegevens.

Laseraltimetrie

Voor het beschrijven van de bodemdaling is, zoals eerder genoemd, gebruik gemaakt van een model gebaseerd op gemeten waarden in het veld. Dit model beschrijft de bodemdaling die tot nu toe is opgetreden. In het onderzoek wordt met behulp van dit model geëxtrapoleerd naar de toekomst. Er wordt dan wel uitgegaan van een constante daling in de tijd.

In het rapport "Bodemdaling Ameland 1986-1998" (Houtenbos, 1998) is gekeken naar de voorspellingsnauwkeurigheid van het model dat opgesteld is in 1998. Het rapport vermeldt dat tot het midden van 2002 de nauwkeurigheid van elk punt in de dalingskom beter is dan 1 cm. Uitgaande van een constante daling zijn de berekende hoogtes in het gebied op basis van het model zeer nauwkeurig.

De berekende hoogtes hebben als uitgangssituatie de laseraltimetriedata uit 1997. In het hoofdstuk Gebiedsbeschrijving is de nauwkeurigheid van deze data al bepaald op -10 tot +5 cm. Dit is een normale afwijking voor een gebied met veel struikbegroeiing.

Samengenomen geven de hoogtegegevens berekend uit data van de laseraltimetrie en het bodemdalingsmodel een goede weergave van de hoogte-ontwikkelingen in het gebied die optreden bij een verdere bodemdaling.

Dit wordt bevestigd in een verslag van een veldexcursie uit 1990. Tijdens de excursie zijn er in de valleien vloedmerken gevonden na een overstroming en zijn de hoogtes hiervan gemeten (Wiertz en Kieviet, 1990). Dit is gebeurd in maart 1990 na een aantal uitzonderlijk hoge zeewaterniveaus.

Het hoogste hoogwater bedroeg 3,60 m+NAP en bereikte vallei A tot en met F. In vallei G zijn geen vloedmerken gevonden, wat overeen komt met de in dit onderzoek berekende hoogte van de drempel voor vallei G. De hoogte van de drempel voor vallei G is berekend op 3,70 m+NAP voor 1987. De drempel van vallei G ligt ver van het centrum van de bodemdaling dus de daling in 1990 is maar enkele centimeters. Het hoogwater zou ook op grond van de hoogtegegevens de vallei niet bereiken. Dit geeft weer de betrouwbaarheid van de gebruikte hoogtegegevens aan.

Extreme hoogwaters

De kans op het voorkomen van extreme hoogwaters is voorspeld met behulp van een lange reeks metingen van Rijkswaterstaat. Ook dit is al eerder aan bod gekomen in het hoofdstuk Autonome ontwikkeling. De reeks is na correctie voor de opgetreden zeespiegelstijging vergeleken met de uitkomsten voor afzonderlijke recente jaren en blijkt daar goed mee overeen te stemmen (Hoofdstuk 3, figuur 3.1).

Het optreden van extreme hoogwaters is echter geen regelmatigheid; daarom wordt ook gesproken van de kans op het optreden van een hoogwater.

Toename overschrijdingsfrequenties en gevolgen

Om de toename in overstromingen te bepalen is in het onderzoek gebruik gemaakt van de overschrijdingsfrequenties van de hoogwaters op jaarbasis. Het voorkomen van extreme hoogwaters is echter vooral gebonden aan het stormseizoen dat loopt van medio oktober tot medio april. De gevolgen van de hoogwaters op de conditie van de bodem zijn buiten het groeiseizoen echter ook belangrijk voor de vegetatie.

Voor de valleien is als een gevolg van omringende drempels en hoogteligging een verschillend aantal overvloedingsfrequenties per jaar voorspeld. Dit wordt ondersteund door de relatie tussen opslibbing en de overvloedingsfrequentie die is gevonden. De opslibbing neemt duidelijk af van valleien die vaak overstromen naar valleien die een lagere overvloedingsfrequentie kennen. Figuur 2.7 uit het hoofdstuk 2 geeft daarom weer een verdere ondersteuning voor het feit dat zeewater stagneert in de valleien en dat de verschillende valleien omringt zijn door drempels.

De opslibbing die tot nu toe heeft plaatsgevonden in de valleien is dus het hoogst in de valleien die het dichtst bij zee liggen. In vallei A, met de meeste opslibbing, is het huidige opslibbingspercentage 0.4% gemeten in de bovenste 10 cm van de bodem. Dit betekent een maximale opslibbing van 0.4 cm in 13 jaar (bodemdaling van 1986 tot 1999).

Deze sedimentatiesnelheid komt overeen met de snelheid die hoort bij een gebied met een hoogte van ongeveer 2 meter (Dijkema, 1994, fig. 3.7-2); dit is tevens de hoogte van de drempels die zich rondom vallei A bevinden.

De bodemdaling in vallei A bedraagt op dit moment ongeveer 20 cm; de opslibbing in de valleien is derhalve niet compenserend voor de bodemdaling.

De uitkomsten van de metingen naar het zoutgehalte wijzen ook op een verschil in overvloedingsfrequentie per vallei. De valleien die het meest overstromen hebben het hoogste zoutgehalte.

6.2 Vegetatievoorspellingen

Opslibbing en toename van het zoutgehalte en zelfs anaërobe situaties door het stagneren van zeewater in valleien heeft blijvende gevolgen voor de vegetatie.

De anaërobe situatie heeft gevolgen voor wortels van sommige planten; de toename in zoutgehalte laat alleen zoutminnende soorten toe en opslibbing leidt tot een heel ander soort vegetatie die kan groeien op kleibodems. Opslibbing versterkt ook nog eens vernatting en verzilting van de bodem doordat fijne deeltjes meer vocht kunnen vasthouden.

Met behulp van vegetatiekaarten uit 1998 en 1993 konden vegetatie veranderingen die zich tot nu toe hebben voorgedaan in typen worden bestudeerd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat zich een verandering voordoet in de richting van meer zoutminnende typen.

Om voorspellingen te maken voor de toekomst op basis van de scenario's is gebruik gemaakt van de uitkomsten van de metingen van slibgehalte en zoutgehalte en de berekende overvloedingsfrequenties van de valleien in de toekomst.

De situatie die zich in de duinvalleien op Oost-Ameland voordoet is niet te beschrijven met behulp van al eerder gemaakte successieschema's. De ontwikkeling wijst zoals al genoemd in hoofdstuk 5 op een regressie met een extra invloed van opslibbing.

Op basis van de relatie tussen de kwelderindeling (hoog, midden, laag en pionier) en de overvloedingsfrequentie kunnen wel voorspellingen worden gemaakt voor de valleien waar de meeste opslibbing plaatsvindt (Dankers et al, 1987).

Vallei A, B1 en B2 vertonen een dergelijke toename in het aantal overvloedingen per jaar dat er voor deze valleien op basis van de bovengenoemde relatie een voorspelling te maken valt van de vegetatie-ontwikkeling. Zoals al genoemd in hoofdstuk 5 ligt de

overvloedingsfrequentie op de hoge kwelder tussen de 10 en 50 maal per jaar, wat bij de eindsituatie van de bodemdaling (scenario 1) in de valleien A, B1 en B2 gehaald wordt. Dit geldt dan voor de wat hogere delen die wel regelmatig overspoeld worden, maar niet op de lagere delen waar het zeewater na een overspoeling langere tijd stagneert. Bij de valleien waar nog nauwelijks opslibbing plaatsvindt kan nog worden vastgehouden aan het schema in hoofdstuk 3 (fig. 3.5) dat successiereeksen voor kwelder- en duinvegetatie geeft op basis van saliniteit en vochtigheid (zie Dijkema en Wolff, 1983). Verdere voorspellingen in de valleien worden bemoeilijkt doordat er vrij weinig gegevens bekend zijn van de situatie voor de aanvang van de bodemdaling.

Referentiegebieden

De gegeven voorspellingen van de vegetatie geven slechts een richting aan van de veronderstelde ontwikkeling. Gebieden waar zich soortgelijke veranderingen voordoen zijn nog niet voorhanden. De bodemdaling die sinds 13 jaar op Ameland plaatsvindt heeft de overvloedingsfrequenties in de duinvalleien op een niveau gebracht dat op andere waddeneilanden, die alleen onder invloed staan van de zeespiegelstijging of waar de bodemdaling kleiner is, nog niet is bereikt.

In het kader van de duindoornsterfte in 1991 is ook op Schiermonnikoog en Terschelling onderzoek gedaan (Slim, 1997). Hier bevinden zich vergelijkbare duinvalleien met struweel begroeiing, maar deze staan alleen onder de invloed van zeespiegelstijging. Deze eilanden kunnen in zoverre als referentiegebied gebruikt worden om de gevolgen van een langzame stijging van de overstromingsfrequentie door de zeespiegelstijging te vergelijken met de gevolgen op Ameland-Oost door een versnelde toename van de overstromingsfrequentie. Met behulp van laseraltimetrie zou op Terschelling en Schiermonnikoog eenzelfde methode kunnen worden toegepast om de toename in overvloedingsfrequentie te berekenen. Op de waddeneilanden in Duitsland en Denemarken vindt geen gaswinning plaats, waardoor ook hier geen referentiegebieden aan te wijzen zijn.

Ongeveer 70 km noordwaarts van de kust van het Duitse Cuxhaven wordt wel olie gewonnen op een kunstmatig eiland, maar hier worden geen metingen verricht naar bijvoorbeeld opslibbing. De ondergrond van Denemarken is ongeschikt voor de winning van zowel gas als olie.

In vergelijkbare kweldergebieden of frequent overspoelde gebieden zijn studies vooral gericht op sedimentatiesnelheden en deze beperken zich bovendien op de delen in een gebied die frequent overstromen en niet op het gebied rondom de grens van de hoogwaterlijn, wat voor dit onderzoek interessant zou zijn.

Een van de studies naar sedimentatiesnelheden (Dijkema, 1994, fig. 3.7-2) geeft de relatie tussen de hoogte van hoogwater, de sedimentatiesnelheid (opslibbing) en het aantal overvloedingen per jaar op het Nieuwlandsreid. De sedimentatiesnelheid neemt rechtlijnig toe met het aantal overvloedingen per jaar, wat overeenkomt met de in dit onderzoek gevonden toename in opslibbing van verder van de zee gelegen valleien naar de valleien die dicht bij zee liggen (A, B1 en B2).

Aan de zuidoostkust van Texas vindt een verlies aan kwelderareaal plaats als een gevolg van de toename in overvloedingsfrequentie. Dit is hier geïnduceerd door bodemdaling als een gevolg van breukbeweging in de ondergrond (White en Morton, 1997). De ecologie en de getijdynamiek is echter zo verschillend dat een vergelijking met Ameland-Oost niet maken is.

6.3 Gevolgen voor milieu

Belangrijk is nu om vast te stellen welke invloed zeespiegelstijging en bodemdaling op het milieu hebben; met andere woorden of er sprake is van schadelijke gevolgen voor de vegetatie.

In het hoofdstuk vegetatie is hier bij de vegetatievoorspellingen van de verschillende valleien al kort op ingegaan.

De belangrijkste factor om te bepalen of de waarde van de natuur achteruit gaat is of er in het gebied een verlies aan natuurdoeltypen plaatsvindt. In de verschillende opgestelde schema's voor de veronderstelde vegetatie-ontwikkeling in de toekomst is te zien dat alleen in vallei A, B1 en B2 een negatieve ontwikkeling is te verwachten voor de rijke vegetatie die voorkomt in een overgang van een zoet naar zout milieu. In het aangegeven type T1/T0 bevinden zich de meest waardevolle soorten.

Op de korte termijn kan de ontwikkeling van vallei C en D nog positief genoemd worden gezien de ontwikkeling van waardevolle soorten (T1/T0) door vernatting en verzilting van de vallei. Op de lage delen waar nu een aantal malen per jaar water zal blijven staan als een gevolg van stijgende overvloedingsfrequenties is de ontwikkeling negatief voor vegetatie-ontwikkeling.

Voor vallei E en F zijn nog mogelijkheden voor de ontwikkeling van waardevolle typen mits ervoor gezorgd wordt dat er geen water kan stagneren door het aanleggen van enkele kreken.

Dit verlies aan natuurdoeltypen is niet geheel te wijten aan de bodemdaling; al eerder is genoemd dat de bodemdaling een versnelling in de toename van het overstromingsrisico veroorzaakt. De effecten van deze toename in overstromingsrisico die in het rapport beschreven staan, zouden uiteindelijk ook in een autonome ontwikkeling met alleen zeespiegelstijging opgetreden zijn. Het risico ligt natuurlijk wel vanaf nu op een hoger niveau. Als negatief effect kan worden genoemd dat veranderingen in de bodemconditie van de valleien nu minder geleidelijk verlopen, waardoor de vegetatie zich minder goed kan aanpassen aan de nieuwe situatie en vegetatiesterfte optreedt. Dit geldt dan vooral voor de valleien die in de beginsituatie nog nauwelijks door zeewater overspoeld werden. De valleien die dicht bij zee liggen, vallei A, B1 en B2, zouden ook zonder daling te maken krijgen met een redelijke toename in overvloedingen die gepaard gaan met onder andere slib-aanvoer en anaërobe omstandigheden. In dat geval zou er ook niet gesproken kunnen worden van een geleidelijke overgang in bijvoorbeeld bodemconditie.

De uiteindelijke beoordeling in termen van schade voor het milieu is op basis van de uitkomsten van dit onderzoek dat de kans op overspoeling van de duinvalleien op een hoger niveau komt te liggen, maar dat de hierdoor optredende vegetatieverandering in het algemeen als een versnelde, maar natuurlijke ontwikkeling beschouwd kan worden.

6.4 Monitoring

Het blijven monitoren van de vegetatieveranderingen in de duinvalleien is van belang, omdat op deze manier nieuwe successieschema's gemaakt kunnen worden voor duinvalleien die in open verbinding met de zee staan en die alleen een toename in overvloedingsfrequentie ondervinden als een gevolg van de zeespiegelstijging.

Monitoring van de vegetatie vindt nu iedere 3 jaar plaats in het duingebied. Om de vegetatieontwikkelingen beter te volgen moeten in vallei A jaarlijks vegetatieopnamen gemaakt worden. Vallei A heeft namelijk de grootste toename in overvloedingsfrequentie en loopt dus in vegetatieveranderingen voor op de andere valleien.

Zoals al eerder genoemd in het rapport speelt de opslibbing een grote rol in de toekomstige vegetatie ontwikkeling. De monitoring van opslibbing op de kwelder zou eigenlijk uitgebreid moeten worden naar de duinvalleien die aan de hoge kwelder grenzen (vallei A, B1 en B2).

Monitoring van deze vegetatieontwikkeling en daarbij de opslibbing zou nuttig zijn voor vergelijkbare situaties die in de toekomst in deze ecosystemen zouden kunnen optreden als een gevolg van de zeespiegelstijging (zie ook Eysink et al, 1995).

7. Conclusies

Het effect van zeespiegelstijging en bodemdaling is vergelijkbaar. De zeespiegelstijging zorgt enerzijds voor het vergroten van de kans op het overschrijden van bepaalde niveaus tijdens hoogwater en de bodemdaling anderzijds voor het relatief verlagen van de drempels rondom duinvalleien. Het gevolg hiervan is dat de duinvalleien op Ameland-Oost met een open verbinding naar zee, jaarlijks frequenter gaan overstromen. Bodemdaling en zeespiegelstijging zijn dus additief. De valleien, die het dichtst bij het centrum van de bodemdaling liggen, zullen hierdoor relatief sterker beïnvloed worden.

In de oorspronkelijk zandige valleien leidt dit proces tot vernatting, verzilting en slib-aanvoer. Na overstromen van een vallei blijft zeewater achter in de vallei wat alleen via infiltratie door de bodem de vallei kan verlaten. Dit leidt tot een langdurig anaërobe situatie waarbij vegetatiesterfte optreedt. De metingen naar het zoutgehalte en slibgehalte van de bodem geven een duidelijke relatie met de overvloedingsfrequenties van de afzonderlijke valleien. De toename in overstromingsrisico door de zeespiegelstijging en de bodemdaling kan uitgedrukt worden in de overvloedingsfrequentie van een vallei maal het oppervlak dat per keer overstroomd. In een hypothetische situatie waar de toename in overstromingsrisico alleen afhangt van de stijging van de zeespiegel is het risico op overstromen in de helft van de volgende eeuw ongeveer 3 keer zo groot in vergelijking tot het beginjaar van de bodemdaling (1987). Het additieve effect van bodemdaling is een versnelling in de toename van het overstromingsrisico. De bovengenoemde situatie zal 20 jaar eerder optreden. Bodemdaling leidt dus tot het versneld bereiken van een situatie die zich in een autonome ontwikkeling op een later tijdstip zal voordoen.

Voordat zeespiegelstijging en bodemdaling invloed hadden op het gebied was in de valleien een ontwikkeling te zien naar een soortenarme en verruigde vegetatie met struiken en grove grassen. Het duindoornstruweel was op de meeste plaatsen de dominante begroeiing. De afgelopen jaren heeft de vegetatie zich als een gevolg van vernatting en verzilting in de meest overstroomde valleien ontwikkeld richting parnassia, sierlijke vetmuur, zilverschoon en zilte rus. Deze verandering richting meer zoutminnende soorten zal door een toename in overstromingsrisico in meer duinvalleien plaatsvinden. In de valleien met de grootste toename in overvloedingsfrequentie zullen zich tevens door het langdurig stagneren van zeewater en de bijbehorende opslibbing condities gaan voordoen waaronder op blijvend natte plaatsen zelfs soorten van de lage kwelder zich kunnen vestigen. Conventionele successieschema's (Dijkema en Wolff, 1983) gaan hierbij niet op, omdat in deze geen rekening is gehouden met de factor opslibbing. Deze schema's geven een ontwikkeling waarbij duinvalleien steeds droger en kalkarmer worden. Door het weer natter en zouter worden van de valleien vindt er geen successie maar regressie plaats. Waardevolle soorten, waaronder veel Rode Lijst-soorten, die voorkomen in de overgang van een zout naar zoet milieu kunnen zich in enkele valleien weer vestigen of uitbreiden. Bovenstaande ontwikkeling gaat ten koste van de nu aanwezige verruigde vegetatie gedomineerd door struiken en grove grassen (duindoorn en duinriet).

Dit gebeurt niet in de valleien die zeer frequent overstromen en waar veel opslibbing plaatsvindt. De opslibbing en vernatting leiden hier tot de ontwikkeling van lage kweldersoorten in de delen die langdurig onder water blijven staan en tot de ontwikkeling van hoge kwelder in delen die frequent overstromen.

In de valleien waar opslibbing nog geen grote rol speelt zijn goede condities aanwezig voor de ontwikkeling van de eerder genoemde waardevolle Rode-Lijst soorten mits er voor gezorgd wordt dat er bij het optreden van een extreem hoogwater geen zeewater langdurig in de valleien stagneert.

De verschillen tussen het bodemdalingsscenario waarbij daling gelijk is aan de eindprognose en het extreme scenario waarbij deze prognose met 10 cm wordt overschreden zijn niet groot en leiden derhalve niet tot effecten die ver uit elkaar lopen. Monitoring dient zich dus te

richten op de valleien A en B nabij het centrum van de bodemdaling waar natuurlijke processen versneld kunnen worden waargenomen en bestudeerd.

In de valleien E en F, ver van het centrum van de bodemdaling en waar opslibbing nog geen grote rol speelt, moet door middel van het toepassen van beheersmaatregelen als het aanleggen van kreken geprobeerd worden een natuurlijke ontwikkeling richting waardevolle soorten te stimuleren. Deze zou hier plaats kunnen vinden omdat er dan geen zeewater stagneert in de valleien en het natter en zouter worden leidt tot de ontwikkeling van soorten die in de overgangszone van een zout naar een zoet milieu voorkomen. Deze zone bevat veel soortenrijke typen, waaronder natuurdoeltypen.

Monitoring in het gebied zou op een aantal punten dus uitgebreid moeten worden. In vallei A waar de vegetatie-ontwikkelingen als een gevolg van toenemende overvloedingsfrequentie versneld kunnen worden waargenomen zou jaarlijks een vegetatie-opname plaats moeten vinden in plaats van de huidige drie-jaarlijkse monitoring. De monitoring van de opslibbing op de kwelder zou zich moeten uitstrekken tot de specifieke duinvalleien die grenzen aan de hoge kwelder en een hoge overvloedingsfrequentie hebben. Tevens zouden metingen naar het zoutgehalte van de bodem moeten plaatsvinden.

Op basis van dit onderzoek kan een beoordeling gegeven worden van de schade voor het milieu op de lange termijn.

De kans op overspoeling van de duinvalleien wordt groter, waardoor de valleien steeds natter en zouter worden. Echter de hierdoor optredende vegetatieverandering kan in het algemeen beschouwd worden als een versnelde, maar natuurlijke ontwikkeling.

Met een natuurlijke ontwikkeling wordt bedoeld de stimulering van bepaalde Rode lijst-soorten door het steeds natter en zouter worden van de valleien als een gevolg van een "versnelde" zeespiegelstijging. Dit gaat ten koste van de nu aanwezige verruigde vegetatie gedomineerd door struiken en grove grassen (duindoorn en duinriet).

Referenties

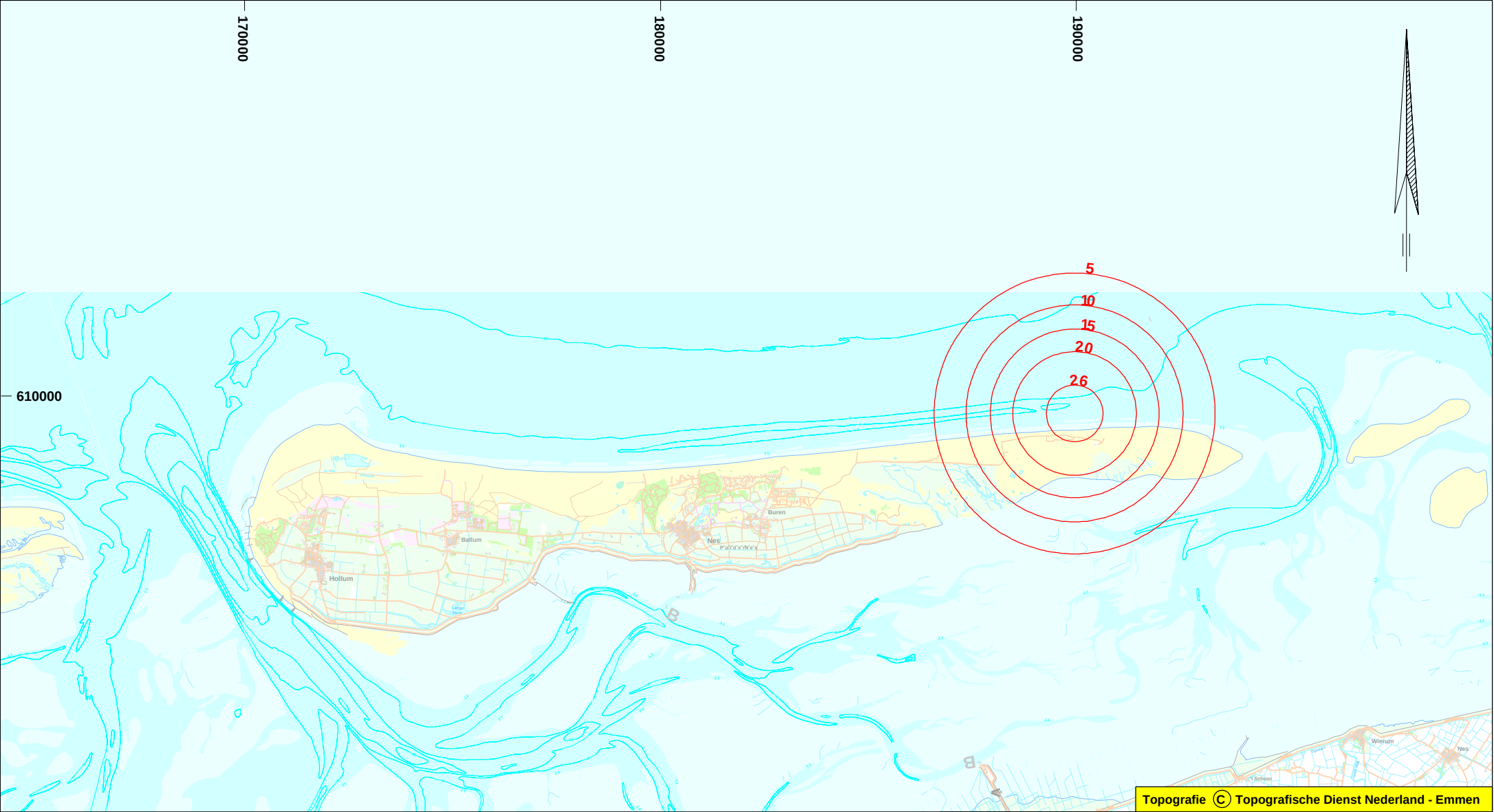
1. Bal, D., Beijer, H.M., Hoogeveen, Y.R., Jansen, S.R.J. en Reest, P.J.,1995. Handboek natuurdoeltypen in Nederland, IKC Natuurbeheer, LNV, Wageningen.
2. Bodemdalingsprognose van Ameland –Bodemdaling door Aardgaswinning- status rapport 1998. NAM-rapport 1998.09.000394.
3. Bossinade et al,1993. De invloed van wind op het jaargemiddelde hoogwater langs de Friese en Groninger waddenkust. Rijkswaterstaat, Directie Groningen/IBN, Groningen, 22p.
4. Dankers, N.,Dijkema, K.S., Londo, G. en P.A. Slim,1987. Ecologische effecten van bodemdaling op Ameland, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, rapport 87/14, Texel.
5. Dankers, N. en Wintermans, G.J.M., 1996. Exploratieboringen en ecologie, IBN-DLO Rapport 214, Wageningen.
6. Dijkema, K.S. en Wolff, W.F.,1983. Flora and vegetation of the Wadden Sea islands and coastal areas, Stichting Veth tot steun aan Waddenonderzoek, Leiden.
7. Dijkema, K.S.,1994. Auswirkung des Meeresspiegelanstieges auf die Salzwiesen, Uit:, Warnsignale aus dem Wattenmeer, (red: J.L. Lozán, E. Rachor, K. Reise, H. Westerhagen en W. van Lenz), Blackwell Wissenschafts-verlag, Berlin, pg 196-200.
8. Dijkema, K., 1997. Impact prognosis for salt marshes from subsidence by gas extraction in the wadden-sea, IBN Texel-rapport.
9. Duin, W.E. van en Dijkema, K.S.,1998. Effect van veranderingen in de maaiveldhoogte op de kwelder pq's van de Hon op Ameland, IBN-DLO, Wageningen.
10. Duin, W.E. van, Dijkema, K.S. en Zegers, J., 1997. Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen, IBN-DLO, Wageningen.
11. Ehlers, J.,1988. The morphodynamics of the Wadden sea, A.Balkema, Rotterdam.
12. Eysink, W.D. et al,1995. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost, WL/IBN-DLO, Delft/Wageningen.
13. Grootjans, A.P., Lammerts, E.J. en Beusekom, F. van, 1995. Kalkrijke duinvalleien op de waddeneilanden, KNNV , Utrecht.
14. Houtenbos, A.P.E.M.,1998. Bodemdaling Ameland 1986-1998, NAM-rapport 1998.03.000426.
15. Janssen, J.A.M., Kloosterman, E.H., Van den Berghs, J., Zonneveld, L.M.L.,1996. Het Ameland Schalenrapport- De mogelijkheden van remote sensing technieken voor vegetatiemonitoring ten behoeve van het natuurbeheer, Beleidscommissie Remote Sensing.
16. Klimaatverandering, vergaderjaar 1990-1991, 22 232, nrs.1-2, Ministerie van VROM.
17. Kwakernaak, C. et al,1998. Ruimtelijke gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling. Rapport 618,SC-DLO, Wageningen.
18. Leentvaart, J., 1991. Zeespiegelstijging, kustbeheer en waterbeheer in Nederland, in: Veranderend wereldklimaat , DELWEL, 's-Gravenhage.
19. McCartney, M.,1997. Is the ocean at the helm, Nature, vol 388.
20. Meulmeester, A.M. de, Janssen, J.A.M. en Gutter, M.J.,1998. Toelichting bij de vegetatiekartering van Ameland-Oost 1993 op basis van false colour luchtfoto's 1:5000, Meetkundige dienst, Directoraat generaal Rijkswaterstaat.
21. Nationaal milieubeleidsplan 3, 1998. Ministerie van VROM, LNV, EZ, V&W, Financiën en Ontwikkelingssamenwerking, 's-Gravenhage.
22. Nota milieu en economie,1997. Ministerie van VROM, EZ, LNV en V&W, 's-Gravenhage.
23. Oost, A.P., Dijkema, K.S.,1993. Effecten bodemdaling door gaswinning in de waddenzee, IBN rapport 025.
24. Philippart, M.E., Dillingh, D., Pwa, S.T.,1995. De basispeilen langs de Nederlandse kust, de ruimtelijke verdeling en de overschrijdingslijnen, rapport RIKZ-95.008.
25. Postma, H., 1954. Hydrography of the Dutch Wadden Sea, Arch. Neerl. Zool., 10: 405-511.
26. RIVM,1997. Nationale milieuverkenning 4 1997-2020, Samson, Alphen aan den Rijn.
27. Schaminée, J.H.J., Weeda, E.J., Westhoff, V.,1998. De Vegetatie van Nederland, deel 1, 2 en 4, Opulus, Uppsala.

28. Schils, C. ,Launspach, W., 1973. Vegetatiekartering en –beschrijving van de oostpunt van Ameland, RIN-rapport, Leersum.
29. Slim, P.A.,1997. Vooronderzoek duindoornsterfte duingebied Oost-Ameland, Rapport 295, IBN, Wageningen.
30. De Vleet, Ecomare: www.waddenzee.nl.
31. Vogel- en habitatrichtlijn en Wetland Conventie, vragen en antwoorden, 1999, Ministerie van LNV en Directie Natuurbeheer.
32. De waddenzee, op weg naar het volgende millenium, 1998. LNV (verkorte uitgave van het Waddenzee Plan).
33. Weeda, E.J., Westra, R., Westra, C. en T. Westra, 1987. Nederlandse oecologische flora; wilde planten en hun relaties. Deel 2, p188-192, IVN, Amsterdam.
34. Westhoff, V. en M.F. van Oosten,1991. De plantengroei van de Waddeneilanden, Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
35. White, W.A. en R.A. Morton, 1997. Wetland Losses Related to Fault Movement and Hydrocarbon Production, Southeastern Texas Coast, Journal of Coastal Research, Vol. 13, No. 4, 1997, p. 1305-1320.
36. Wiertz, J. en R.T. Kiewiet, 26-9-90. Verslag excursie Ameland-oost, rapport Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.

Bijlagen

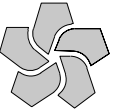
- A Contourlijnen bodemdaling**
- B Formules Basispeilenrapport**
- C Bepalen zoutgehalte**
- D Bepalen slibgehalte**
- E Opvulling valleien**
- F Vegetatiekaarten**

Bijlage A: Contourlijnen bodemdaling



— BEREKENDE CONTOUR
-10 BODEMDALING IN CM



Gewijzigd	 NAM	Topografie © Topografische Dienst Nederland - Emmen		
		BUSINESS UNIT EXPLORATIE		
		BODEMDALING AMELAND CONTOURLIJNEN 2002 (SCENARIO 1)		
		Schaal 1 : 125000		
		Projectie sys.: RD	Datum : 25-03-1999	Tekening nr. : X9901486
		Bijlage :	Laatste wijziging:	

Bijlage B: Formules Basispeilenrapport

B. Formules Basispeilenrapport

Uit het basispeilenrapport (Philipart et al, 1995) zijn 2 formules gebruikt om de overschrijdingsfrequenties voor hoogwaters boven de 282 cm boven NAP te berekenen.

Voor de kanswaarde tussen de 0.5 en 0.1 is de kans op de overschrijding berekend met formule A1 uit het basispeilenrapport:

$$p_x = 1 - e^{-q_u \{ 1 + \gamma ((x-u)/\sigma_u) \}^{-1/\gamma}}$$

Voor overschrijdingsfrequenties van 0.1 en lager is de kans bij benadering gelijk aan de frequentie zelf en dus is hiervoor de formule gebruikt voor de overschrijdingsfrequentie:

$$q_x = 0.5 \{ 1 + \gamma ((x-u)/\sigma_u) \}^{-1/\gamma}, \text{ voor } x-u \geq 0$$

In bovenstaande functies is:

x = het beschouwde hoogwaterniveau

q_x = gemiddeld aantal keren per jaar dat een hoogwaterstand niveau x bereikt of overschrijdt

p_x = de kans dat in een jaar een hoogwaterstand bereikt of overschreden wordt

σ_u = schaalparameter van de GPV-verdeling van de boven drempel u uitstekende delen van de hoogwaterstanden

γ = vormparameter van deze GPV-verdeling

De waarden van de parameters voor de bovengenoemde GPV-verdeling zijn voor het peilmeetstation Nes:

station	u (cm)	σ_u (cm)	γ
Nes	282	29,20	-0,05449

De keuze van het getal 0.5 heeft te maken met de gekozen verdelingsfunctie in de afleiding van de formule. Boven een drempel van 282 cm gemiddeld hoogwater (in het geval van Nes op Ameland) kan de verdeling goed benaderd worden door de GPV-verdeling. Dit is de gegeneraliseerde Pareto-verdeling. De gedetailleerde informatie over de keuze van verdelingsfunctie en de afleiding van de functies is te vinden in het RIKZ-rapport Basispeilen.

Bovenstaande berekeningen resulteren in reeksen van overschrijdingsfrequenties met bijbehorende hoogwaters voor verschillende jaren en scenario's van zeespiegelstijging. De uitkomsten staan gegeven in de tabel op de volgende bladzijden. Deze tabel bevat ook de hoogwaters onder de 282 cm met bijbehorende overschrijdingsfrequenties met de correcties voor de zeespiegelstijging.

Tabel B.1: De reeks van Rijkswaterstaat met hoogwaters en bijbehorende overschrijdingsfrequentie voor verschillende jaren en zeespiegelstijgingsscenario's. (hw= hoogwater, f= overschrijdingsfrequentie, zss= zeespiegelstijging):

reeks Rijkswaterstaat (Nes):		Correctie hoogwaters voor zeespiegelstijging				
1941- 1980	f (gemiddeld)	17 cm per eeuw	25 cm per eeuw		50 cm per eeuw	
		(zss 1960-1987)	(zss 1987- 2002)	(zss 1987- 2007)	(zss 1987- 2002)	(zss 1987- 2007)
hw		hw	hw	hw	hw	hw
0	703	4,59	8,34	9,59	12,09	14,59
10	701	14,59	18,34	19,59	22,09	24,59
20	698	24,59	28,34	29,59	32,09	34,59
30	691	34,59	38,34	39,59	42,09	44,59
40	681	44,59	48,34	49,59	52,09	54,59
50	660	54,59	58,34	59,59	62,09	64,59
60	622	64,59	68,34	69,59	72,09	74,59
70	565	74,59	78,34	79,59	82,09	84,59
80	495	84,59	88,34	89,59	92,09	94,59
90	400	94,59	98,34	99,59	102,09	104,59
100	321	104,59	108,34	109,59	112,09	114,59
110	212	114,59	118,34	119,59	122,09	124,59
120	141	124,59	128,34	129,59	132,09	134,59
130	95	134,59	138,34	139,59	142,09	144,59
140	65	144,59	148,34	149,59	152,09	154,59
150	44	154,59	158,34	159,59	162,09	164,59
160	30,5	164,59	168,34	169,59	172,09	174,59
170	20,5	174,59	178,34	179,59	182,09	184,59
180	14,3	184,59	188,34	189,59	192,09	194,59
190	10	194,59	198,34	199,59	202,09	204,59
200	7,2	204,59	208,34	209,59	212,09	214,59
210	5,2	214,59	218,34	219,59	222,09	224,59
220	3,7	224,59	228,34	229,59	232,09	234,59
230	2,7	234,59	238,34	239,59	242,09	244,59
240	1,9	244,59	248,34	249,59	252,09	254,59
250	1,3	254,59	258,34	259,59	262,09	264,59
260	0,9	264,59	268,34	269,59	272,09	274,59
270	0,6	274,59	278,34	279,59	282,09	284,59
280	0,4	284,59	288,34	289,59	292,09	294,59
290	0,3	294,59	298,34	299,59	302,09	304,59
300	0,2	304,59	308,34	309,59	312,09	314,59

Tabel B.2: Berekende overschrijdingsfrequenties met formules uit basispeilenrapport. De bijbehorende hoogwaters voor verschillende jaren zijn gecorrigeerd voor de zeespiegelstijging (hw= hoogwater, f= overschrijdingsfrequentie, zss= zeespiegelstijging):

Basispeilenrapport: (Nes)		correctie hoogwaters voor zeespiegelstijging					
		17 cm per eeuw	25 cm per eeuw		50 cm per eeuw		
1985		(zss 1985- 1987)	(zss 1987- 2002)	(zss 1987- 2007)	(zss 1987- 2002)	(zss 1987- 2007)	
hw	f	hw	hw	hw	hw	hw	
282	0,39	282,34	286,09	287,34	289,84	292,34	
283	0,38	283,34	287,09	288,34	290,84	293,34	
284	0,37	284,34	288,09	289,34	291,84	294,34	
285	0,36	285,34	289,09	290,34	292,84	295,34	
286	0,35	286,34	290,09	291,34	293,84	296,34	
287	0,34	287,34	291,09	292,34	294,84	297,34	
288	0,33	288,34	292,09	293,34	295,84	298,34	
289	0,32	289,34	293,09	294,34	296,84	299,34	
290	0,32	290,34	294,09	295,34	297,84	300,34	
291	0,31	291,34	295,09	296,34	298,84	301,34	
292	0,30	292,34	296,09	297,34	299,84	302,34	
293	0,29	293,34	297,09	298,34	300,84	303,34	
294	0,28	294,34	298,09	299,34	301,84	304,34	
295	0,27	295,34	299,09	300,34	302,84	305,34	
296	0,26	296,34	300,09	301,34	303,84	306,34	
297	0,26	297,34	301,09	302,34	304,84	307,34	
298	0,25	298,34	302,09	303,34	305,84	308,34	
299	0,24	299,34	303,09	304,34	306,84	309,34	
300	0,23	300,34	304,09	305,34	307,84	310,34	
301	0,23	301,34	305,09	306,34	308,84	311,34	
302	0,22	302,34	306,09	307,34	309,84	312,34	
303	0,21	303,34	307,09	308,34	310,84	313,34	
304	0,21	304,34	308,09	309,34	311,84	314,34	
305	0,20	305,34	309,09	310,34	312,84	315,34	
306	0,19	306,34	310,09	311,34	313,84	316,34	
307	0,19	307,34	311,09	312,34	314,84	317,34	
308	0,18	308,34	312,09	313,34	315,84	318,34	
309	0,18	309,34	313,09	314,34	316,84	319,34	
310	0,17	310,34	314,09	315,34	317,84	320,34	
311	0,16	311,34	315,09	316,34	318,84	321,34	
312	0,16	312,34	316,09	317,34	319,84	322,34	
313	0,15	313,34	317,09	318,34	320,84	323,34	
314	0,15	314,34	318,09	319,34	321,84	324,34	
315	0,14	315,34	319,09	320,34	322,84	325,34	
316	0,14	316,34	320,09	321,34	323,84	326,34	
317	0,13	317,34	321,09	322,34	324,84	327,34	
318	0,13	318,34	322,09	323,34	325,84	328,34	
319	0,13	319,34	323,09	324,34	326,84	329,34	
320	0,12	320,34	324,09	325,34	327,84	330,34	
321	0,12	321,34	325,09	326,34	328,84	331,34	
322	0,11	322,34	326,09	327,34	329,84	332,34	
323	0,11	323,34	327,09	328,34	330,84	333,34	
324	0,11	324,34	328,09	329,34	331,84	334,34	
325	0,10	325,34	329,09	330,34	332,84	335,34	
326	0,10	326,34	330,09	331,34	333,84	336,34	
327	0,10	327,34	331,09	332,34	334,84	337,34	
328	0,10	328,34	332,09	333,34	335,84	338,34	
329	0,09	329,34	333,09	334,34	336,84	339,34	
330	0,09	330,34	334,09	335,34	337,84	340,34	
331	0,09	331,34	335,09	336,34	338,84	341,34	

Vervolg tabel B.2:

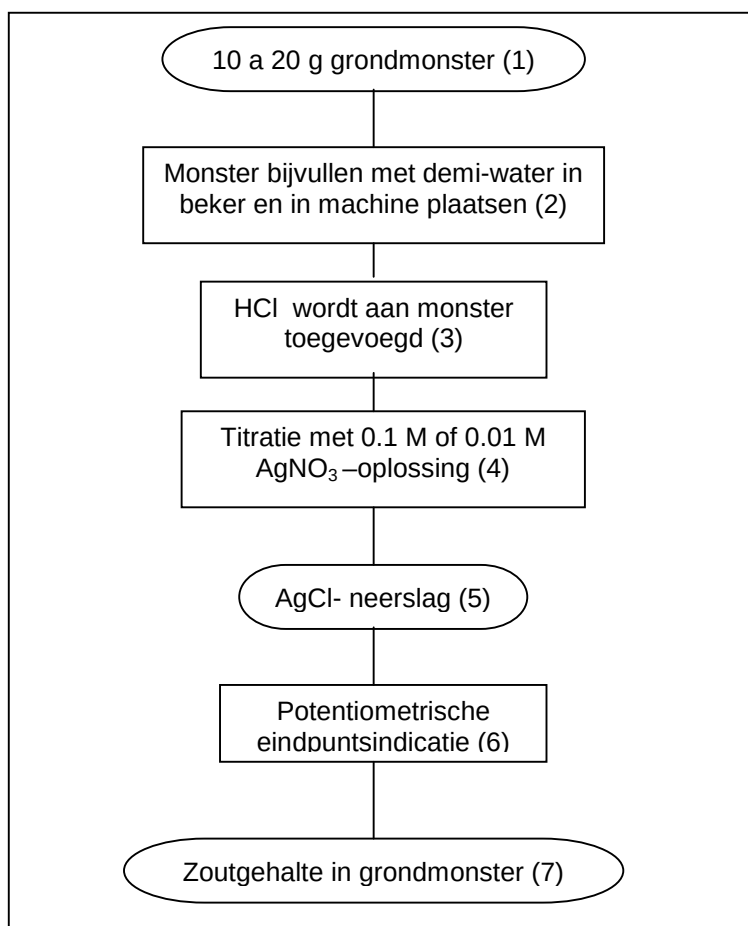
1985		17 cm per eeuw	25 cm per eeuw		50 cm per eeuw	
		(zss 1985-1987)	(zss 1987-2002)	(zss 1987-2007)	(zss 1987-2002)	(zss 1987-2007)
hw	f	hw	hw	hw	hw	hw
332	0,08	332,34	336,09	337,34	339,84	342,34
333	0,08	333,34	337,09	338,34	340,84	343,34
334	0,08	334,34	338,09	339,34	341,84	344,34
335	0,07	335,34	339,09	340,34	342,84	345,34
336	0,07	336,34	340,09	341,34	343,84	346,34
337	0,07	337,34	341,09	342,34	344,84	347,34
338	0,07	338,34	342,09	343,34	345,84	348,34
339	0,06	339,34	343,09	344,34	346,84	349,34
340	0,06	340,34	344,09	345,34	347,84	350,34
341	0,06	341,34	345,09	346,34	348,84	351,34
342	0,06	342,34	346,09	347,34	349,84	352,34
343	0,05	343,34	347,09	348,34	350,84	353,34
344	0,05	344,34	348,09	349,34	351,84	354,34
345	0,05	345,34	349,09	350,34	352,84	355,34
346	0,05	346,34	350,09	351,34	353,84	356,34
347	0,05	347,34	351,09	352,34	354,84	357,34
348	0,04	348,34	352,09	353,34	355,84	358,34
349	0,04	349,34	353,09	354,34	356,84	359,34
350	0,04	350,34	354,09	355,34	357,84	360,34
351	0,04	351,34	355,09	356,34	358,84	361,34
352	0,04	352,34	356,09	357,34	359,84	362,34
353	0,04	353,34	357,09	358,34	360,84	363,34
354	0,04	354,34	358,09	359,34	361,84	364,34
355	0,03	355,34	359,09	360,34	362,84	365,34
356	0,03	356,34	360,09	361,34	363,84	366,34
357	0,03	357,34	361,09	362,34	364,84	367,34
358	0,03	358,34	362,09	363,34	365,84	368,34
359	0,03	359,34	363,09	364,34	366,84	369,34
360	0,03	360,34	364,09	365,34	367,84	370,34
361	0,03	361,34	365,09	366,34	368,84	371,34
362	0,03	362,34	366,09	367,34	369,84	372,34
363	0,02	363,34	367,09	368,34	370,84	373,34
364	0,02	364,34	368,09	369,34	371,84	374,34
365	0,02	365,34	369,09	370,34	372,84	375,34
366	0,02	366,34	370,09	371,34	373,84	376,34
367	0,02	367,34	371,09	372,34	374,84	377,34
368	0,02	368,34	372,09	373,34	375,84	378,34
369	0,02	369,34	373,09	374,34	376,84	379,34
370	0,02	370,34	374,09	375,34	377,84	380,34
371	0,02	371,34	375,09	376,34	378,84	381,34
372	0,02	372,34	376,09	377,34	379,84	382,34
373	0,02	373,34	377,09	378,34	380,84	383,34
374	0,02	374,34	378,09	379,34	381,84	384,34
375	0,02	375,34	379,09	380,34	382,84	385,34
376	0,01	376,34	380,09	381,34	383,84	386,34
377	0,01	377,34	381,09	382,34	384,84	387,34
378	0,01	378,34	382,09	383,34	385,84	388,34
379	0,01	379,34	383,09	384,34	386,84	389,34
380	0,01	380,34	384,09	385,34	387,84	390,34
381	0,01	381,34	385,09	386,34	388,84	391,34
382	0,01	382,34	386,09	387,34	389,84	392,34
383	0,01	383,34	387,09	388,34	390,84	393,34
384	0,01	384,34	388,09	389,34	391,84	394,34
385	0,01	385,34	389,09	390,34	392,84	395,34
386	0,01	386,34	390,09	391,34	393,84	396,34

Bijlage C: Bepalen zoutgehalte

C. Bepalen van het zoutgehalte

De werkwijze voor het bepalen van het zoutgehalte in de monsters is afgeleid van NEN 6476. Deze beschrijft een methode voor de titrimetrische bepaling van het chloridegehalte in water met behulp van een potentiometrische eindpuntsindicatie. Er is gebruik gemaakt van een hiervoor uitgeruste titroprocessor.

Het proces verloopt als volgt:



Figuur C.1: Stroomschema voor het bepalen van het zoutgehalte met behulp van een titroprocessor.

Het proces bestaat uit bovenstaande 7 stappen:

10 a 20 g grondmonster:

Een goede hoeveelheid monster afwegen zodat het voldoende chloride bevat voor de processor om te kunnen detecteren.

Monster bijvullen met demi-water in beker en in machine plaatsen:

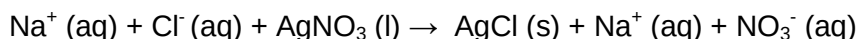
Door het monster met demiwater aan te vullen en te roeren gaan zouten uit het monster in oplossing. Het demiwater werd hiervoor verwarmd.

HCl wordt aan monster toegevoegd:

De processor voegt standaard 10 ml van een 1M-oplossing HCl toe, om contaminaties door onder andere sulfide te voorkomen. De zuurtegraad van de oplossing daalt tot een pH van ongeveer 2.

Titratie met 0.1 M of 0.01 M AgNO₃-oplossing:

Het chloride in de oplossing wordt getitreerd met zilvernitraat waarbij zilverchloride neerslaat. De reactie die hierbij plaatsvindt is:



De keuze voor de 0.1M of 0.01M-oplossing hangt af van de hoeveelheid chloride in de oplossing. De processor titreert maximaal 20 ml; voor sommige monsters is dus een meer, voor andere een minder sterke oplossing nodig.

AgCl- neerslag:

De uitkomst van bovenstaande reactie is een neerslag van AgCl. De hoeveelheid toegevoegde zilvernitraat is een maat voor de hoeveelheid chloride die in de oplossing aanwezig was.

Potentiometrische eindpuntsindicatie:

In de oplossing wordt de potentiaal gemeten met een gecombineerde zilverelectrode. De potentiaal is een maat voor de zilverionenconcentratie van de oplossing.

Als alle zilverionen met de chloride zijn neergeslagen vertoont de gemeten potentiaal een duidelijke sprong.

Het aantal milliliter AgNO₃ dat op dit moment is toegevoegd rekent de processor om naar het aantal milligram chloride dat oorspronkelijk in het grondmonster aanwezig was.

Zoutgehalte in grondmonster:

De processor geeft als uitkomst het aantal milligram chloride per gram grondmonster. De gevonden uitkomsten staan in tabel E.1. In de tabel is tevens het gewicht van het grondmonster en de gebruikte oplossing van zilvernitraat gegeven.

De berekende zoutgehalten in tabel E.1 zijn per vallei niet zeer consistent, maar er is wel een dalende trend van vallei A naar vallei F.

De monsters die in vallei C genomen zijn vertonen geen duidelijke sprong in de gemeten potentiaal, de berekende chloride gehalten zijn daarom niet geheel betrouwbaar. In de tabel is te zien dat de verschillende waarden in vallei C veel van elkaar verschillen.

monster	gewicht monster (g)	M AgNO ₃	zoutgehalte (g/kg)
A1.1	11,093	0,1	4,08
A2.1	11,983	0,1	3,26
A3.1	11,239	0,1	4,68
A4.1	11,669	0,1	2,44
B1.1.1	11,095	0,1	3,35
B1.2.1	10,047	0,1	5,54
B1.3.1	9,561	0,1	2,41
B2.1.1	9,439	0,1	5,14
B2.3.1	9,326	0,1	3,84
B2.4.1	10,101	0,1	1,02
B2.5.1	9,323	0,1	0,58
B2.6.1	9,627	0,1	3,75
C1.2	18,314	0,01	1,59
C2.1	19,812	0,01	0,42
C3.1	19,292	0,01	1,12
C4.1	18,527	0,01	2,58
D1.1	18,943	0,1	1,91
D2.1	12,093	0,1	2,84
D3.1	11,684	0,1	1,52
D4.1	11,757	0,1	0,83
E2.1	35,040	0,01	0,47
E3.1	19,848	0,1	1,9
E4.1	20,034	0,1	0,25
E4.1	19,301	0,1	0,29
F1.1	19,329	0,1	0,09
F2.1	20,173	0,01	2,78
F3.1	19,192	0,01	0,13

Tabel C.1: Zoutgehalten berekend in verschillende grondmonsters uit de duinvalleien op Ameland-Oost.

De monsters in bovenstaande tabel hebben als eerste letter de naam van de vallei en als eerste nummer de plaats in de vallei. Op elke plaats zijn twee monsters genomen; de eerste monsters zijn gebruikt voor het bepalen van het zoutgehalte en de tweede voor de korrelgrootte-verdeling (paragraaf 2.4.2).

De monsters zijn genomen in de bovenste 5cm van de bodem. Ze zijn bepaald als massapercentage van de hoeveelheid gemeten grond.

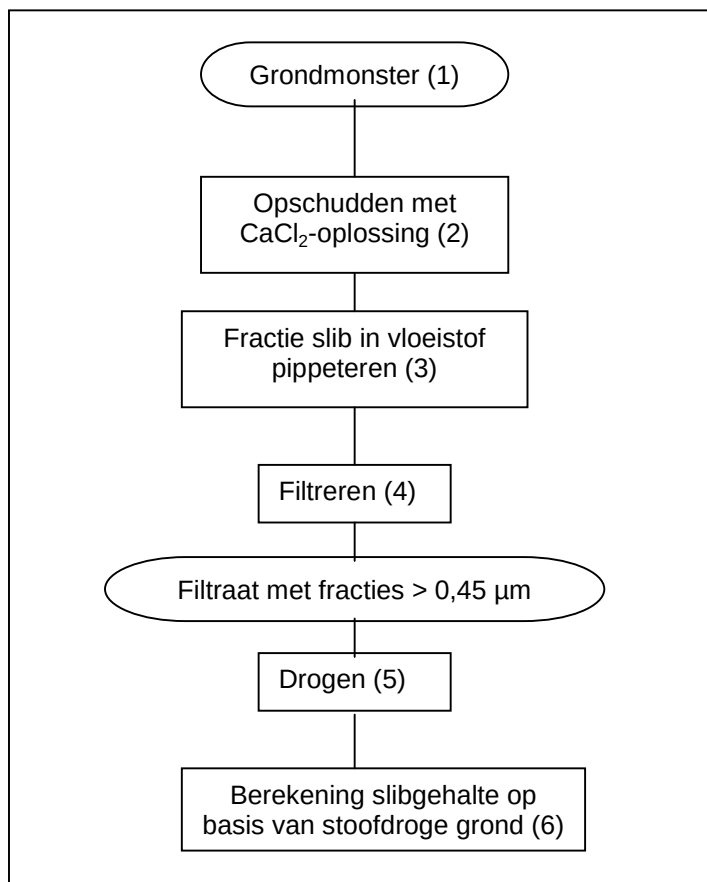
Bijlage D: Bepalen slibgehalte

D. Bepalen van het slibgehalte

In de verschillende duinvalleien op Ameland-Oost zijn monsters genomen om te onderzoeken of er opslibbing plaatsvindt in deze valleien.

De methode die hierbij gehanteerd is, is afgeleid uit de NEN 5753 (Nederlandse norm, 1994): Bodem, bepaling van lutumgehalte en korrelgrootte van grondmonsters met behulp van zeef en pipet.

Het volgende schema is gevolgd:



Figuur D.1: Stroomschema bepaling slibgehalte

De bovenstaande figuur is opgedeeld in 6 stappen. Hieronder wordt per stap beschreven welke werkwijze is gevolgd:

(1) Grondmonster

De in het veld genomen monsters zijn voordat met verdere bewerking is begonnen eerst 24 uur gedroogd in een oven bij 105°C . Vervolgens zijn de monsters goed gemengd om een goede verdeling van de verschillende fracties te krijgen.

(2) Opschudden met CaCl_2 -oplossing

De monsters zijn vervolgens geschud in een $0,01 \text{ M}$ CaCl -oplossing. Het CaCl is hier gebruikt als coagulatiemiddel. De coagulatie van deeltjes heeft gevolgen voor de korrelgrootte-verdeling. Dit wordt hier voorkomen.

(3) Fractie slib in vloeistof pippeteren

De monsters (6 g van elk) zijn gedurende 30 minuten geschud in een kolom van deze vloeistof (0.01M CaCl₂ –oplossing) van 15 cm lengte. Deze tijd voor bezinken is gebaseerd op de Wet van Stokes voor de bezinkingssnelheid van deeltjes. Voor slib is een deeltjesgrootte genomen vanaf 2 t/m 8 µm, zoals vermeld wordt in de NEN 5753.

Deze Wet van Stokes luidt:

$$v = \frac{2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot \eta}$$

waarin:

v is de bezinkingsnelheid van een deeltje, in m/s

ρ_s is de dichtheid van de vaste stof, in kg/m³ (2600 kg/m³)

ρ_l is de dichtheid van de vloeistof, in kg/m³ (1000 kg/m³)

g is de versnelling van de zwaartekracht (9,81 m/s²)

r is de straal van het deeltje, in m (slib; r= 4 µm)

η is de viscositeit van de vloeistof, in kg/(ms) (0,001009 kg/(ms))

Met aanname van bovenstaande getallen is de bezinkingssnelheid voor een deeltje van 8 µm, 69,8·10⁻⁶ m/s. De kolom moet dus gepippeteerd worden voordat deze deeltjes de bodem bereikt hebben. In een kolom van 15 cm vloeistof duurt het dan ongeveer 35 minuten voordat deze deeltjes bezinken. De vloeistof is na 30 minuten al van de reeds bezonken grond gepippeteerd, omdat er een laagje vocht achterblijft op de bezonken grond. Dit kan niet meer gepippeteerd worden zonder de deeltjes weer in beweging te brengen.

(4) Filtreren

De gepippeteerde vloeistof is gefiltreerd met een millipore-filter van 0,45 µm. Alle niet opgeloste deeltjes blijven achter op het filter en dat is hier de slibfractie.

(5) Drogen

De filters zijn gedurende 45 minuten gedroogd op een horlogeglas in een oven bij 105°C. Voor het afkoelen is een exsiccator gebruikt om vocht in de filtraten te voorkomen. De monsters zijn hierna gewogen op een analytische balans om het slibgehalte te berekenen.

(6) Berekening slibgehalte op basis van stoofdroge grond

Het gewicht van de deeltjes kleiner dan 8 µm is nu bekend. Het begingewicht van de monsters waarmee geschud is is ongeveer 6 g. Het slibgehalte, uitgedrukt als massapercentage, is nu te berekenen:

$$\text{Slibgehalte (\%)} = \frac{m_{\text{slib}}}{m_{\text{grond}}} \cdot 100$$

De uitkomsten van de verschillende stappen staan gegeven in de tabel op de volgende pagina:

Tabel D.1: Uitkomsten van de bepaling van het slibgehalte van bodemonsters in de duinvalleien op Ameland-Oost.

monster	gewicht grond (g)	gewicht slib (g)	slibgehalte (%)
A.1.2	6,01	0,013	0,22
A.2.2	5,99	0,012	0,20
A.3.2	6,00	0,066	1,10
A.4.2	6,08	0,005	0,08
B1.1.2	6,00	0,008	0,13
B1.2.2	6,00	0,013	0,22
B1.3.2	6,01	0,006	0,10
B2.1.2	5,98	0,017	0,28
B2.3.2	6,00	0,012	0,20
B2.4.2	6,00	0,018	0,30
C2.2	6,02	0,012	0,20
C3.2	6,04	0,006	0,10
C4.2	6,00	0,01	0,17
D1.2	6,02	0,018	0,30
D2.2	6,01	0,005	0,08
D3.2	6,01	0,009	0,15
D4.2	6,00	0,008	0,13
E1.2	6,07	0,006	0,10
E2.2	6,02	0,013	0,22
E3.2	6,02	0,004	0,07
E4.2	6,02	0,006	0,10
F1.2	6,00	0,005	0,08
F2.2	6,01	0,005	0,08
F3.2	6,01	0,004	0,07
F4.2	6,00	0,004	0,07

De monsters in bovenstaande tabel hebben als eerste letter de naam van de vallei en als eerste nummer de plaats in de vallei. Op elke plaats zijn twee monsters genomen; dit is het laatste nummer. Voor het bepalen van het slibgehalte zijn alle tweede monsters per plek genomen; de eerste monsters zijn gebruikt voor het bepalen van het zoutgehalte (zie bijlage D).

De slibgehalten zijn bepaald in de bovenste 5 cm van de bodem. Er is zoveel mogelijk in de lage delen van de valleien gemeten, omdat hier daadwerkelijk water blijft staan na een extreem hoogwater.

Bijlage E: Opvulling valleien

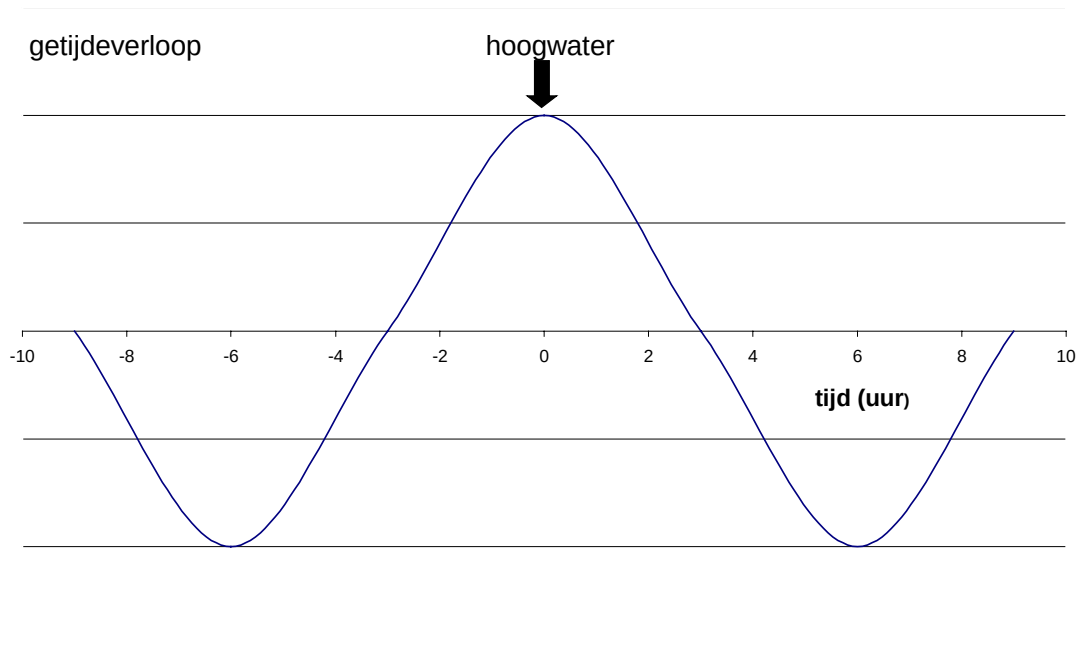
E. Opvulling valleien

De minimaal vereiste hoogte van het hoogwater dat ervoor kan zorgen dat een vallei maximaal overstroomt hangt af van het volume van de betreffende vallei. Al eerder is genoemd dat de volumes van de verschillende duinvalleien niet veel veranderen in de loop van de tijd; deze worden hier dan ook constant verondersteld.

Het berekenen deze hoogte geeft enkele problemen. Ten eerste is de precieze geometrie van de drempels niet bekend. De drempels zijn niet overduidelijk in het landschap aanwezig en het water kan vaak via verschillende laag gelegen delen een vallei binnenstromen. Ten tweede kunnen bij een toename in de hoogte van het water zelfs meer instroommogelijkheden ontstaan. Tenslotte is de stroomsnelheid waarmee het zeewater over een drempel een vallei kan binnenstromen afhankelijk van het verloop en de duur van het hoogwater.

Het gemiddeld verloop van een hoogwater kan benaderd worden door een sinusvorm. In figuur 3.1 van het rapport monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost is te zien dat het verloop van laagwater naar hoogwater voor normale getijden ongeveer in een sinusvorm verloopt. Het hoogste punt is het hoogwater dat bereikt wordt; dit is dan de maximale situatie. Hierna neemt de hoogte weer snel af. De hoogwaters die de overstrooming van de valleien veroorzaken komen echter maar een paar keer per jaar voor en meestal in extreme situaties tijdens stormen: de aanname van een sinusvorm geeft geen exact beeld van de werkelijkheid.

Schematisch ziet het verloop van een getijde er als volgt uit:



Figuur E.1: Schematisch verloop van een hoogwater benaderd door een sinusvorm.

Het hoogwater is duidelijk een momentopname en om ervoor te zorgen dat een vallei geheel onderloopt zal een hoogwater hoger moeten zijn dan de drempel. Er is nu aangenomen dat als het hoogwater net hoog genoeg is om over de drempel te gaan dat de vallei dan maximaal overstroomd. Hieronder is met behulp van enkele aannames uitgezocht hoe hoog het hoogwater per vallei ongeveer moet zijn om te zorgen dat de betreffende vallei maximaal overstroomd.

Het benodigde hoogwater voor maximale opvulling, het volume van de vallei, de stroomsnelheid en de lengte van de drempel hangen als volgt samen:

$$HW = \frac{V_{\text{vallei}}}{t_{\text{HW}} * U * L_d} + HW_k$$

Waar, HW= benodigd hoogwater voor maximale overstroming van vallei

V= Volume van de vallei

t_{HW} = tijd dat hoogwater boven de drempel van de vallei staat

U=stroomsnelheid

L_d =lengte van de drempel

HW_k =hoogwater waarbij drempel overschreden wordt

Voor de drempel is een rechthoekige vorm veronderstelt, zodat voor het debiet gezegd kan worden:

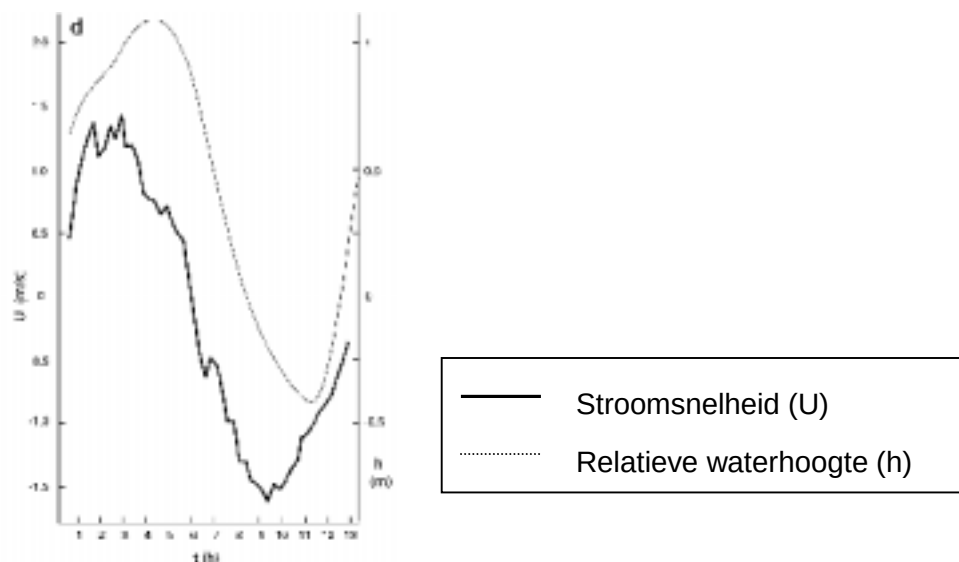
$$\text{Debiet} = U * L_d * (HW - HW_k)$$

Waar, Debiet= de hoeveelheid zeewater die per seconden over de drempel stroomt

De lengte van de drempel, de stroomsnelheid en de tijd dat het hoogwater boven de drempel staat zijn constant verondersteld.

De lengtes van de drempels van de afzonderlijke valleien zijn geschat op het moment van onderlopen van de vallei. Deze konden tegelijkertijd met het aanwijzen van de risicogebieden (zie hoofdstuk 2) bepaald worden. Gezien de eerder genoemde problemen is dat voor dit doel nauwkeurig genoeg. De gevonden waarden staan in tabel G.1

De stroomsnelheid is gesteld op 0,5 m/s; op grond van de volgende figuur en omdat het hier gaat om een ruwe inschatting lijkt dit een acceptabele inschatting.



Figuur E.2: Stroomsnelheidsprofiel (U in m/s) en relatieve waterhoogte (h in m) tegen de tijd (t in uren) in een zeegat (Postma,1954).

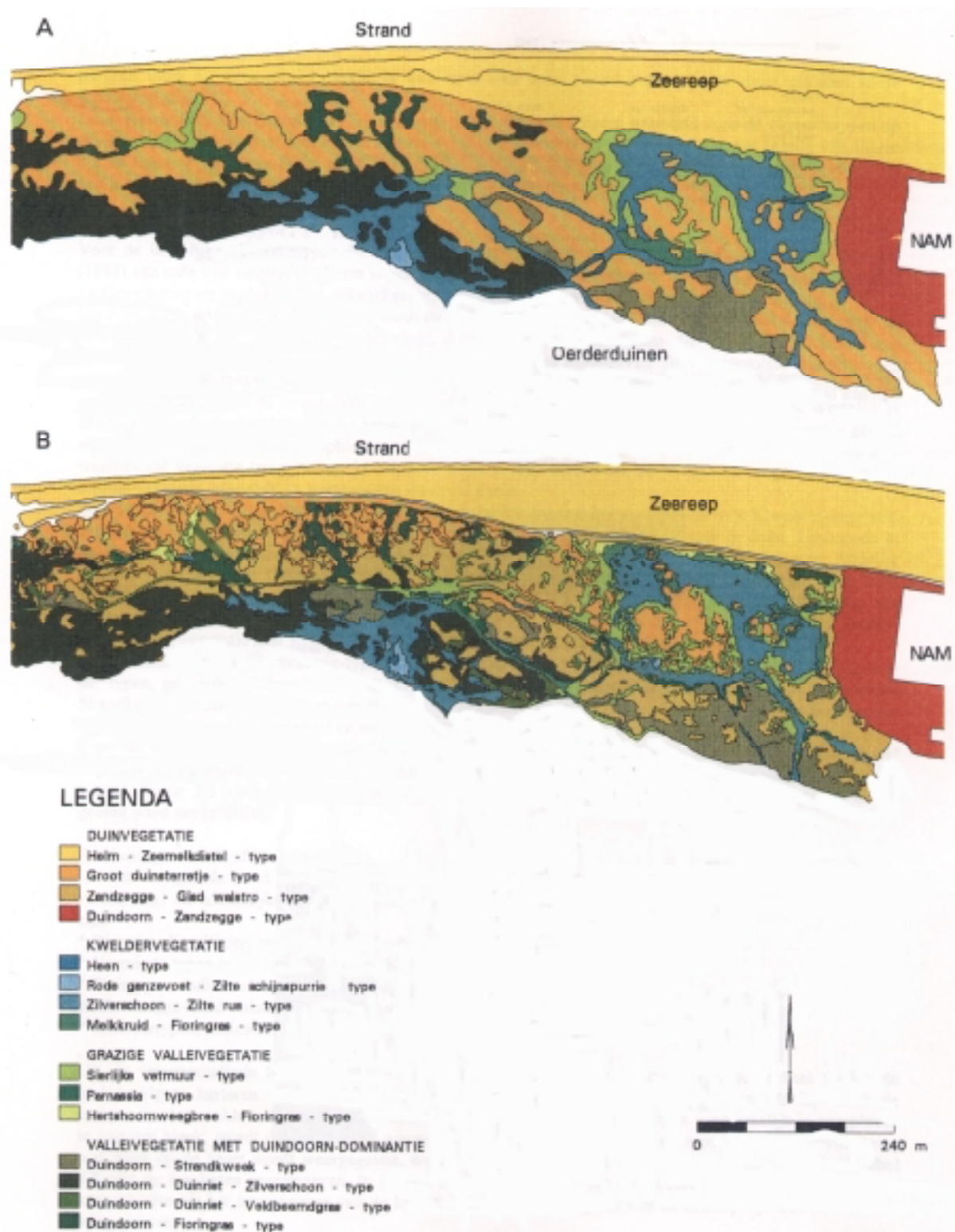
In de volgende tabel zijn de uitkomsten weergegeven en is te zien dat het kritieke hoogwater en het hoogwater benodigd voor maximale opvulling niet veel verschillen voor de meeste valleien.

Uitzonderingen zijn vallei B1, C en F; hier zal het hoogwater ongeveer 20 cm boven de drempel moeten staan om te zorgen dat de vallei maximaal overstroomd. Dit betekent dat de oppervlakte die overstroomt in deze valleien bij het kritieke hoogwater iets kleiner is dan de oppervlakte die maximaal kan overstromen.

Tabel E.1: Hoogwater benodigd voor maximale opvulling van de valleien (in laatste kolom). Voor uitleg van de overige symbolen zie de formules voor opvulling en debiet :

vallei	$V_{\text{vallei}} \text{ (m}^3\text{)}$	$HW_k \text{ (m+NAP)}$	$t_{HW} \text{ (s)}$	$U \text{ (m/s)}$	$L_d \text{ (m)}$	$HW \text{ (m+NAP)}$
A	24656	1.9	10800	0.5	60	1.98
B1	46185	2	10800	0.5	38	2.23
B2	8821	2	10800	0.5	27	2.06
C	25076	2.3	10800	0.5	21	2.52
D	2428	2.6	10800	0.5	30	2.61
E	14302	2.7	10800	0.5	30	2.79
F	22240	2.8	10800	0.5	30	2.94

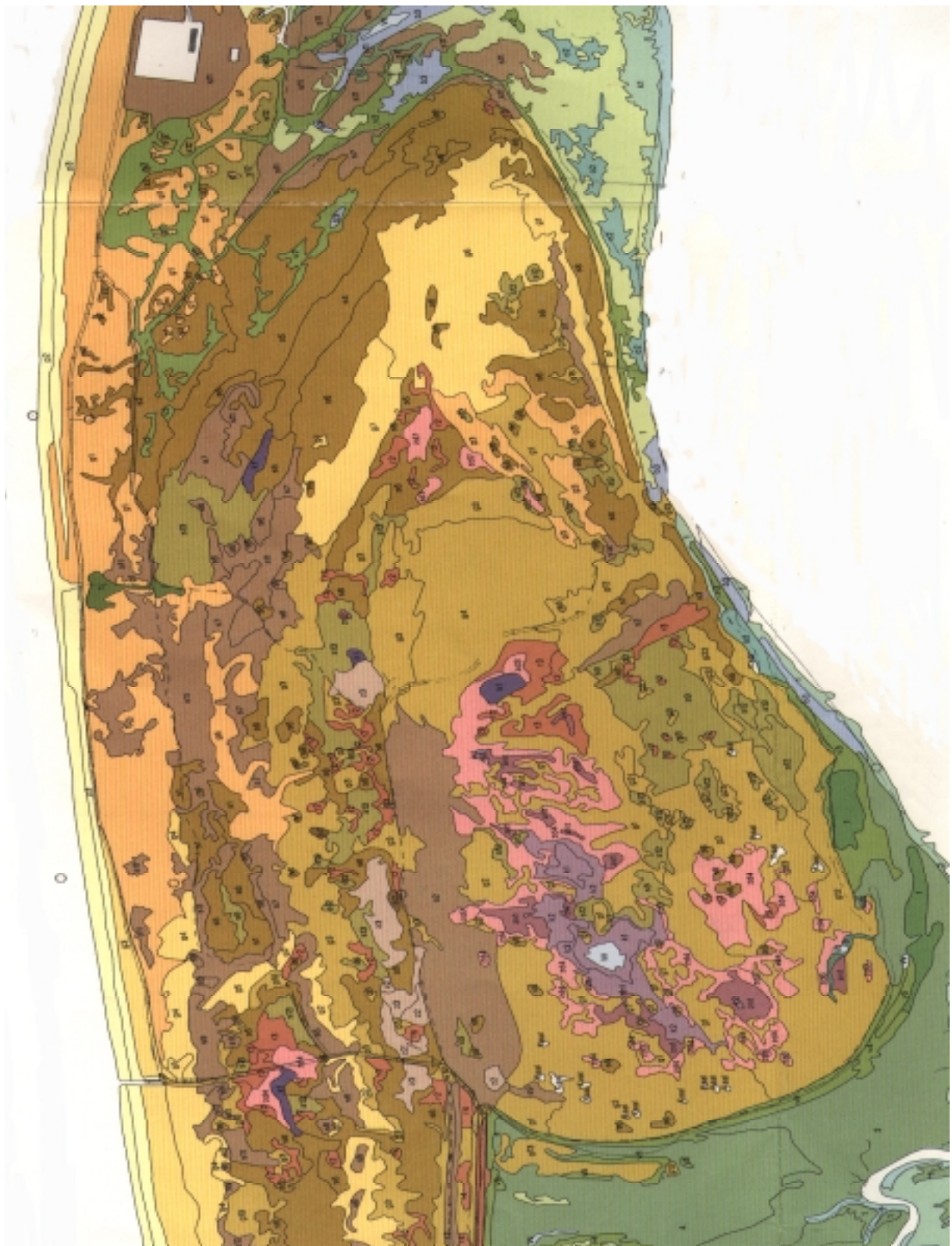
Bijlage F: Vegetatiekaarten



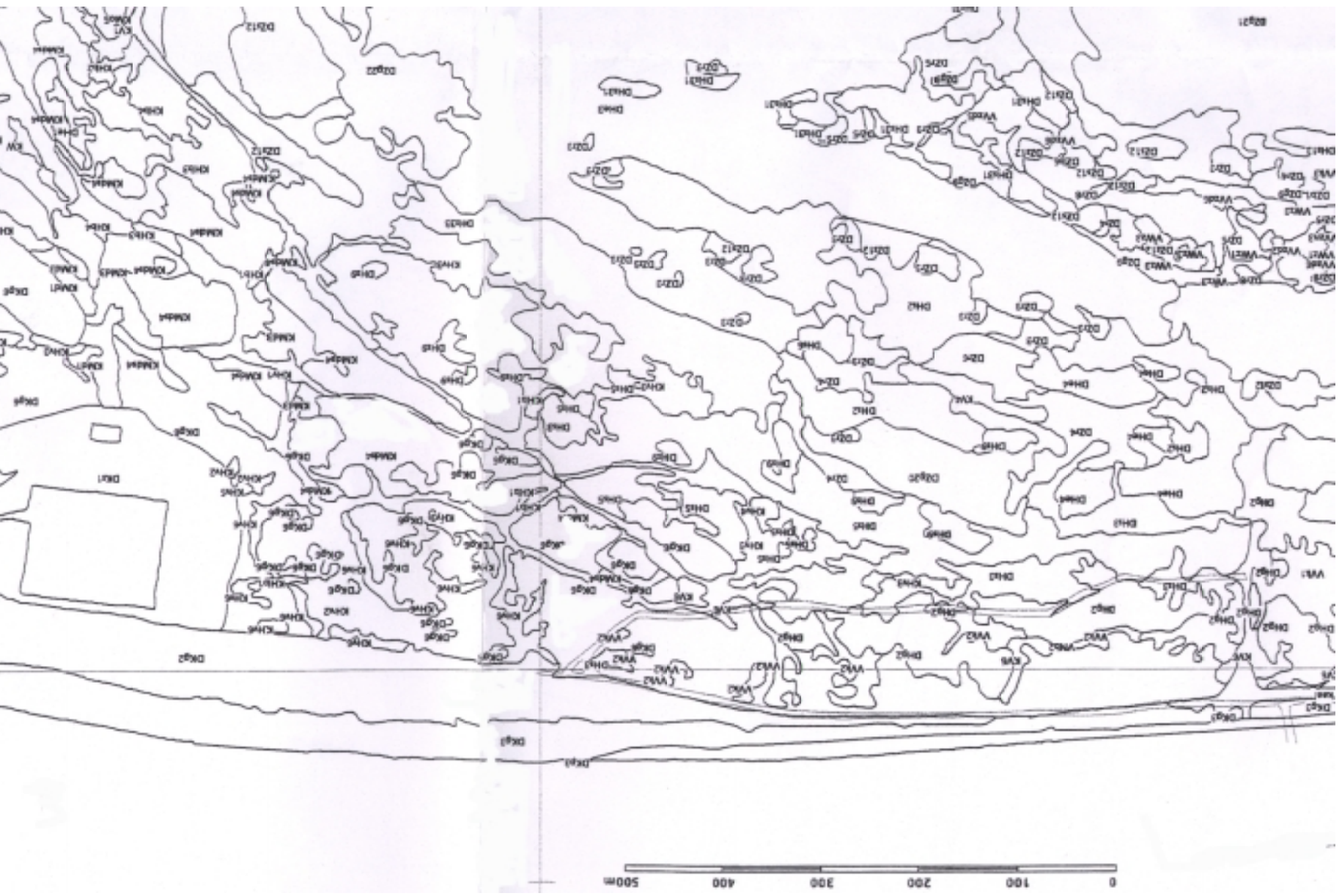
Vegetatiekaart Ameland-Oost: gebaseerd op false-colour luchtfoto's met schaal 1:5000 (A) en 1:2000 (B). Bron: Janssen et al, 1996.

Duinmatrix		Kweldermatrix		Valleimatrix	
	Kalkarme duinen met bosopslag en aanplant		Pionier kwelder		Water
	Kalkarme duinen met heide vegetatie		Lage kwelder		Natte brakke valleien
	Kalkarme duinen met ruigte vegetatie		Middelhoge kwelder		Natte zoete valleien
	Kalkarme duinen met struweelvegetatie		Hoge kwelder		Zure valleien met wisselende waterstand
	Kalkhoudende duinen met struweelvegetatie		Overgang kwelder-duin		Zure vochtige valleien met drogere soorten
	Kalkarme duinen met grazige vegetatie		Overgang hoge kwelder-vallei		Zure vochtige valleien met vochtige soorten
	Kalkarme duinen met mos vegetatie		Overgang kwelder-vallei		Kalkrijke vochtige valleien
	Kalkhoudende duinen met grazige vegetatie		Instabiele plekken op hoge kwelder		Kalkrijke valleien met wisselende waterstanden
	Kalkrijke duinen en droge valleien met struweelvegetatie				Overgang vallei-kwelder
	Kalkrijke duinen met soortenrijke grazige vegetatie				Betreden en/of bemeste valleien
	Kalkrijke duinen met pioniervegetatie				Zure vochtige valleien met heide vegetatie

Legenda bij de vegetatiekaart van Ameland-Oost gebaseerd op luchtfoto's uit 1988.
Bron: Rijkswaterstaat, MeetkundigeDienst.



Vegetatietiekaart van Ameland-Oost op basis van luchtfoto's uit 1988.
Bron: Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst.



Vegetatiekaart van Ameland Oost gebaseerd op false-colour luchtfoto's met schaal 1:5000 uit 1993. Bron: Rijkswaterstaat, Meekundige Dienst.



Vegetatiekaart van Ameland Oost gebaseerd op false-colour luchtfoto's met schaal 1:5000 uit 1993. Bron Rijkswaterstaat, Meekundige Dienst.