

Bepaling Beschermingscontouren 2e Fase

**Resultaten voor Ameland, Terschelling, Vlieland, IJmuiden,
Vlissingen en Cadzand**

M. Boers
F.L.M. Diermanse
P.F.C. van Geer
J. van de Graaff

1200121-000

Titel

Bepaling Beschermingscontouren 2e Fase

OpdrachtgeverRijkswaterstaat -
Waterdienst**Project**

1200121-000

Kenmerk

1200121-000-HYE-0007

Pagina's

67

Trefwoorden

13 Kustplaatsen, duinafslag, inundatie, golfoverslag

Samenvatting

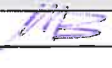
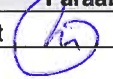
In dit rapport worden de risico's in buitendijks bebouwd gebied onderzocht voor 6 van de 13 kustplaatsen. Het betreft Ameland, Terschelling, Vlieland, Cadzand, IJmuiden en Vlissingen. Het rapport is een vervolg op de studie naar de zeven Hollandse kustplaatsen. In deze tweede fase van het project 13 Kustplaatsen komt een aantal nieuwe typen maatgevende schademechanismen voor. Het betreft inundatie van een duinvallei met bebouwing na doorbraak van een zeereep, zoals Ameland en Vlieland, inundatie van hooggelegen buitendijks gebied zonder duinwaterkering, zoals West – Terschelling, Vlieland en Oud – IJmuiden en golfoverslag bij Vlissingen.

Om de inundatiekansen in duinvalleien uit te rekenen is de VTV – procedure voor duinafslag bij hogere kansen uitgebreid. Ook zijn er vergelijkingen uitgevoerd tussen de VTV – procedure en een probabilistisch model. Voor Vlieland bleek de VTV – procedure de hoeveelheid duinafslag met meer dan 10 meter te onderschatten. Hier is bij de bepaling van de afslagkansen rekening mee gehouden. Voor de bepaling van de inundatiekansen is gebruik gemaakt van de beschikbare waterstandstatistiek [Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a)]. Voor de overschrijdingskansen op golfoverslag bij Vlissingen is geen beschikbaar toetsinstrument.

Er is beknopt aangegeven welke eventuele maatregelen kunnen worden genomen om buitendijks gebied zonder duinwaterkering te beschermen. In vrijwel alle gevallen betreft het grote ingrepen die niet eenvoudig kunnen worden aangepast aan veranderende hydraulische belastingen door klimaatswijziging.

Referenties

Subsidieproject TO 13 Kustplaatsen / TO Gebruiksfuncties Kust

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	okt. 2010	M. Boers		D.J.R. Walstra		M.R.A. van Gent	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Bepaling beschermingscontouren Kustplaatsen	1
1.2 Beschrijving van het rapport	2
2 Toepassing VTV – procedure voor de nieuwe kustplaatsen	3
2.1 Inleiding VTV – procedure voor risico's in buitendijkse duingebieden	3
2.2 VTV – procedure voor inundatie van buitendijks gebied	4
2.2.1 Stappenplan VTV – procedure voor inundatie na doorbraak van de zeereep	4
2.2.2 Uitwerking voor Vlieland	6
2.3 Inundatie van buitendijks gebied zonder zeereep	11
2.4 Probabilistische berekeningen	11
3 Kustplaatsen met een duinwaterkering	13
3.1 Ameland	13
3.2 Terschelling	15
3.2.1 Buitendijkse gebieden Terschelling	15
3.2.2 Duinwaterkering Midsland aan Zee en West aan Zee	16
3.2.3 West – Terschelling	18
3.3 Vlieland	19
3.3.1 Buitendijkse gebieden Vlieland	19
3.3.2 Dorpsuitbreiding Oost – Vlieland	21
3.3.3 Waddenkust Oost – Vlieland	22
3.3.4 Centraal Vlieland	25
3.4 Cadzand	26
4 Kustplaatsen zonder duinwaterkering	29
4.1 IJmuiden	29
4.1.1 Buitendijkse gebieden IJmuiden	29
4.1.2 Oud – IJmuiden	30
4.2 Vlissingen	33
4.2.1 Buitendijkse bebouwing op de waterkering Vlissingen	33
4.2.2 Kans op schade aan bebouwing door golfoverslag	37
5 Beschermingsmogelijkheden voor harde keringen	39
6 Conclusies en aanbevelingen	41
6.1 Conclusies rekenmethoden	41
6.2 Conclusies kustplaatsen	41
6.3 Conclusies beschermingsmogelijkheden harde keringen	43
6.4 Aanbevelingen verder onderzoek	43

Bijlage(n)

A Referenties	A-1
B Afslagberekeningen kustplaatsen 2^e fase	B-1
B.1 Inleiding	B-1
B.2 Gebruikte profielen en randvoorwaarden	B-1
B.3 Resultaat van de vergelijking Alkyon – MorphAn	B-3
C Probabilistische Berekeningen	C-1
C.1 Inleiding	C-1
C.2 Rekeninstellingen probabilistisch model	C-1
C.3 Resultaten vergelijking	C-4
D Golfoverslagberekeningen Vlissingen	D-1
E Legenda Kaarten	E-1

1 Inleiding

1.1 Bepaling beschermingscontouren Kustplaatsen

In januari 2006 heeft de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat besloten tot het behoud van het huidige buitendijkse beschermingsniveau van het historisch gegroeide aaneengesloten bebouwd gebied. Dit betekent dat de te bepalen overschrijdingskans op schade aan bebouwing in de toekomst niet mag toenemen. Als dit wel dreigt te gebeuren, wordt het beschermingsniveau op peil gehouden door uitvoering van zandsuppleties.

Rijkswaterstaat heeft opdracht gegeven aan Deltares, de Technische Universiteit Delft en ingenieursbureau Alkyon (ook wel aangeduid als Kennisalliantie Kustplaatsen) om de technische uitwerking te geven aan het begrip “het beschermingsniveau”. In de eerste fase van het project is op basis van het Technisch Rapport Duinafslag 2006 [Expertise Netwerk Waterveiligheid (2007)] een rekenmethode ontwikkeld [Deltares (2008)]. Vervolgens is deze rekenmethode toegepast op de volgende zeven Hollandse Kustplaatsen waarvoor geldt dat duinafslag het maatgevend schademechanisme is:

- Bergen
- Egmond
- Zandvoort
- Noordwijk
- Katwijk
- Scheveningen
- Kijkduin

In deze tweede fase van het project komen de kustplaatsen aan bod waarbij ook sprake kan zijn van andere maatgevende schademechanismen. Het betreft hierbij inundatie na duindoorkraak, inundatie (zonder voorliggende waterkering) en golfoverslag. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de resterende kustplaatsen met het maatgevend schademechanisme.

Kustplaats	Sublocatie	Maatgevend schademechanisme
Ameland	RSP 1320	Inundatie na duindoorkraak
Terschelling	Midsland aan Zee en West aan Zee	Duinafslag
	West – Terschelling	Inundatie
Vlieland	Dorpsuitbreiding	Inundatie na duindoorkraak
	Waddenkust	Inundatie
	Centraal Vlieland	Duinafslag
Cadzand	Hotel De Blanke Top	Duinafslag
IJmuiden	Oud – IJmuiden	Inundatie
Vlissingen	Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert	Golfoverslag

Tabel 1.1 Kustplaatsen 2^e fase met deelgebieden en het maatgevend schademechanisme

De afslagberekeningen die in dit rapport worden uitgevoerd voor de kustplaatsen Ameland, Terschelling, Vlieland en Cadzand, zijn complexer dan voor de zeven Hollandse kustplaatsen uit de eerste fase. Dit heeft een aantal oorzaken:

- Op de Waddeneilanden ligt de buitendijkse bebouwing niet op de zeereep (dat is de eerste duinregel), maar in het landwaarts gelegen duingebied. Dit betekent dat de VTV – procedure die in de eerste fase is ontwikkeld voor duinafslag in de zeereep dient te worden uitgebreid naar een situatie met een eventuele doorbraak van de zeereep.
- Door de aanwezigheid van diepe geulen en diverse duinregels is er sprake van complexere dwarsprofielen.
- Voor de Waddeneilanden en voor het Deltagebied zijn de ervaringen met probabilistische berekeningen tot op heden problematisch. Omdat deze berekeningen nodig zijn voor de controle van de hydraulische randvoorwaarden voor hogere overschrijdingskansen, dient dit op orde te worden gebracht.

1.2 Beschrijving van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de uitbreiding van de VTV – procedure voor een situatie met bebouwing achter de zeereep, het berekenen van duinafslag in situaties met complexe dwarsprofielen en de probabilistische berekeningen.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten voor de duingebieden van Ameland, Terschelling, Vlieland en Cadzand beschreven. Eerst vindt een beschrijving plaats van de buitendijkse bebouwing in de kustplaatsen, vervolgens worden de afslaglijnen bepaald voor de volgende overschrijdingskansen per jaar: 1/100, 1/500, 1/1.000, 1/4.000, 1/10.000, 1/20.000, 1/40.000, 1/100.000. De afslaglijnen met een overschrijdingskans van 1/20.000 per jaar is nieuw ten opzichte van de afslaglijnen uit de eerste fase. De reden is dat deze overschrijdingskans correspondeert met de veiligheidsnorm van de dijkkringgebieden op de Friese Waddeneilanden (1/2.000 per jaar maal een factor 1/10, zoals voorgeschreven voor duinwaterkeringen). Voor Terschelling en Vlieland geldt dat delen van het buitendijks bebouwd gebied niet worden afgeschermd door een duinwaterkering. Hier wordt in dit hoofdstuk eveneens aandacht aan geschonken.

In hoofdstuk 4 komen de kustplaatsen IJmuiden en Vlissingen aan bod. Het buitendijks bebouwd gebied dat meegenomen wordt in het project 13 kustplaatsen wordt in deze twee kustplaatsen niet afgeschermd door een duinwaterkering. Dit betekent dat de berekening van afslaglijnen voor deze twee plaatsen achterwege blijft. De tekst geeft voor deze twee kustplaatsen alleen een beschrijving van het betreffende buitendijks gebied, en de kansen op schade aan de bebouwing.

In hoofdstuk 5 wordt beknopt ingegaan op beschermingsmogelijkheden voor harde keringen. Conclusies en aanbevelingen komen in hoofdstuk 6 aan bod.

Voor alle 13 kustplaatsen zijn topografische kaarten en hoogtekaarten gemaakt. Deze zijn opgenomen in een afzonderlijke atlas. Een aantal van deze kaarten worden ook in het voorliggende rapport toegepast. De bijbehorende legenda zijn weergegeven in bijlage E.

2 Toepassing VTV – procedure voor de nieuwe kustplaatsen

2.1 Inleiding VTV – procedure voor risico's in buitendijkse duingebieden

In de eerste fase van het project 13 Kustplaatsen is een toetsmethode ontwikkeld waarmee de kans op schade voor bebouwing in de buitendijkse duingebieden kan worden berekend [Deltares (2008)]. Deze toetsmethode, die de naam “VTV – procedure” heeft gekregen, is afgeleid van de toetsmethode voor duinwaterkeringen als primaire waterkering, zoals deze is vastgelegd in het TRDA2006 [Expertise Netwerk Waterveiligheid (2007)]. Het onderliggende rekenmodel staat ook bekend als het model DUROS+, waarbij de “+” aangeeft dat rekening wordt gehouden met extra duinafslag bij een golfperiode groter dan 12 seconden.

De VTV – procedure is afgeleid voor het vaststellen van risico's in bebouwd buitendijks gebied, terwijl de officiële detailtoets uit het TRDA2006 is afgeleid voor de toets van de veiligheid van een dijkringgebied aan de wettelijke norm. Hierdoor zijn er enkele kenmerkende verschillen tussen beide toetsprocedures:

- Voor de toets van de veiligheid wordt uitgegaan van belastingen met een faalkans die 10 keer zo klein is als de norm voor de waterstand voor het dijkringgebied. Als deze norm van 1/10.000 per jaar bedraagt, betekent dit dat de faalkans van de duinwaterkering 1/100.000 per jaar bedraagt. Het beschermingsniveau in een kustplaats wordt uitgedrukt in de kans dat de buitendijkse (maatgevende) bebouwing schade ondervindt. Zowel voor de veiligheid van het achterland als voor het beschermingsniveau gaat het dus om overschrijdingskansen, zij het dat het bij het beschermingsniveau om veel hogere overschrijdingskansen kan gaan dan voor de veiligheid van het achterland. Het betreft namelijk buitendijks gebied.
- Voor de wettelijke toets van de primaire duinwaterkering met de detailtoets volgens het TRDA2006 zijn bijbehorende Hydraulische Randvoorwaarden vastgelegd in het officiële randvoorwaardenboek HR2006 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007a)]. Voor de VTV – procedure zijn deze randvoorwaarden voor de hogere overschrijdingskansen niet direct beschikbaar. Er is wel in het TRDA2006 een aanbeveling gegeven om tot bijbehorende randvoorwaarden te komen. Door een controle met probabilistische berekeningen voor een specifieke locatie wordt nagegaan of deze afgeleide randvoorwaarden voldoen.
- In afwijking van de detailtoets volgens het TRDA 2006 brengt de VTV – procedure altijd een minimum toeslag op de duinafslag van $20 \text{ m}^3/\text{m}$ boven rekenpeil in rekening.
- In afwijking van de detailtoets volgens het TRDA 2006 kent de VTV – procedure geen eis voor een doorgaand grensprofiel landwaarts van de afslagzone. Het gaat immers om de lokale risico's en niet om het overstromen van binnendijks gebied.
- De detailtoets volgens het TRDA 2006 stelt als eis dat in de meest recente 15 jaar niet meer dan 2 maal een overschrijding van het kritieke afslagpunt mag plaatsvinden. Deze procedure is “vertaald” in de VTV – procedure, waar de beschermingscontour wordt berekend. Deze berekeningen worden uitgevoerd voor de jaren 1990 – 2006 waarbij als maatgevend afslagpunt het op 2 na meest landwaartse punt wordt aangenomen. In dat geval voldoet de beschermingscontour nog juist aan het criterium van het TRDA2006.

Voor de zeven Hollandse kustplaatsen die in de eerste fase van het project zijn behandeld, bleek de VTV – procedure prima te werken. In deze kustplaatsen bevindt de bebouwing zich

namelijk op de zeereep. Bezwijken van de bebouwing is daarmee direct verbonden aan het optreden van duinafslag onder de fundering. Voor de Waddeneilanden is echter sprake van een afwijkende situatie. Hier bevindt de buitendijkse bebouwing zich meestal achter de zeereep. Als deze doorbreekt, kan de bebouwing in de lage duinvallei erachter worden overstroomd. Het maakt hierbij niet uit of de doorbraak precies ter plaatse van de bebouwing optreedt, of op een andere locatie, zolang de betreffende duinvallei nog steeds onder water loopt.

Om voor deze situaties een beschermingsniveau te kunnen bepalen, dient de VTV – procedure te worden uitgebreid voor een situatie met een doorbraak van de zeereep, met vervolgens een inundatie van de achterliggende duinvallei. De beschrijving hiervan vindt plaats in paragraaf 2.2. De inundatie van buitendijks gebied zonder zeereep wordt beschreven paragraaf 2.3. In het rapport wordt, net als in de eerste fase van het project een vergelijking gemaakt tussen de VTV – procedure en probabilistische berekeningen. Deze vergelijking wordt beschreven in paragraaf 2.4 en bijlage C.

2.2 VTV – procedure voor inundatie van buitendijks gebied

2.2.1 Stappenplan VTV – procedure voor inundatie na doorbraak van de zeereep

Voor de Waddeneilanden Ameland en Vlieland dient de VTV – procedure te worden uitgebreid om de risico's van buitendijkse bebouwing in een duinvallei met een onbebouwde zeereep te bepalen. Deze uitbreiding wordt beschreven in onderstaande processtappen. Vervolgens wordt in de volgende paragraaf deze uitbreiding als voorbeeld voor Vlieland uitgewerkt. Tot slot worden enkele kantekeningen geplaatst bij de inschatting van de inundatie van een duinvallei met bebouwing in buitendijks gebied.

1 Bepaling grenzen duinvallei met buitendijkse bebouwing

Met behulp van een hoogtekaart op basis van het AHN-1 bestand (Algemeen Hoogtebestand Nederland, www.ahn.nl) worden de grenzen van de duinvallei verkend, waarin de buitendijkse bebouwing ligt. Deze grens wordt bepaald door de hoogtecontour in het landschap met als hoogte de randvoorwaarde voor de waterstand (het rekenpeil) zoals dat is opgenomen in het HR2006 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007a)]. Het buitendijks gebied dat potentieel kan inunderen wordt als een blauw transparant vlak in de kaarten weergegeven.

In het algemeen zal het beschermingsniveau worden verbonden met een hogere overschrijdingskans dan de overschrijdingskans behorende bij de veiligheidsnorm volgens de Waterwet. Hierbij hoort een lagere waterstand, en daarmee een kleiner oppervlak duinvallei dat bij het beschermingsniveau inundeert. Dit wordt later uitgewerkt onder stap 7.

2 Bepaling te onderzoeken zeereep met bijbehorende JARKUS – raaien

Nadat de grenzen van de duinvallei met bebouwing zijn vastgesteld, wordt bepaald welk deel van de zeereep bescherming biedt aan deze duinvallei. Vervolgens worden de JARKUS – raaien geselecteerd die deze zeereep kruisen.

3 Afslagberekeningen voor de geselecteerde JARKUS – raaien

Voor de geselecteerde JARKUS – raaien worden de afslagpunten voor de periode 1990 - 2006 berekend volgens de VTV – procedure voor de volgende overschrijdingskansen

per jaar: 1/100, 1/500, 1/1.000, 1/4.000, 1/10.000, 1/20.000, 1/40.000, 1/100.000. Tussen deze afslagpunten wordt er niet geïnterpoleerd. De randvoorwaarden voor deze berekeningen zijn gegeven in bijlage B.2. Als er een doorbraak optreedt, is er geen afslagpunt. Alle berekende afslagpunten worden weergegeven in een R – t diagram.

4 **Bepaling van de maatgevende afslagpunten per JARKUS – raai**

Voor elke JARKUS – raai worden de maatgevende afslagpunten voor de verschillende overschrijdingskansen bepaald. Het maatgevende afslagpunt is het op twee na meest landwaartse afslagpunt gedurende de periode 1990 – 2006. Als er gedurende deze periode een doorbraak is berekend, wordt er geen afslagpunt vastgesteld. Bij meer dan twee doorbraken in de periode 1990 – 2006 wordt er voor de betreffende overschrijdingskans geen maatgevend afslagpunt voor de betreffende JARKUS – raai bepaald.

5 **Bepaling afslaglijnen**

De maatgevende afslagpunten voor de verschillende JARKUS – raaien worden verbonden tot een afslaglijn. Als er voor een JARKUS – raai geen maatgevend afslagpunt voor een zekere overschrijdingskans kan worden bepaald vanwege doorbraak, wordt de afslaglijn onderbroken.

6 **Bepaling meest landwaarts doorgaande afslaglijn**

Uit de afslaglijnen wordt de meest landwaartse lijn gekozen waarbij geen sprake is van een onderbreking als gevolg van een doorbraak in een JARKUS – raai.

7 **Bepaling bijbehorende waterstand**

De overschrijdingskans die hoort bij de meest landwaarts doorgaande afslaglijn bepaalt de waterstand van de inundatie na doorbraak. Deze waterstand is gelijk aan het rekenpeil die als randvoorwaarde is gebruikt bij de afslagsommen voor de meest landwaarts doorgaande afslaglijn wordt vastgelegd. De bijbehorende hoogtecontour geeft aan welk deel van de duinvallei bij bijbehorende overschrijdingskans inundeert. Dit deel wordt als een transparant rood vlak in de kaarten weergegeven.

De overschrijdingskans van het rekenpeil is 2,15 keer groter dan de berekenende afslagkans of doorbraakkans [TRDA2006]. Het rekenpeil zelf is daarmee (2/3 decimeringshoogte) lager dan de waterstand die optreedt bij deze afslagkans of doorbraakkans. Dit betekent dat voor een berekening met een afslagkans van 10^{-5} per jaar gebruik wordt gemaakt van een waterstand met een overschrijdingskans van $2,15 \cdot 10^{-5}$ per jaar. Deze aanpak is in lijn met de methode die het Basisrapport Zandige Kust adviseert voor een tweede duinregel [Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1995)].

Er wordt opgemerkt dat het rekenpeil is afgeleid uit de waterhoogtestatistiek van de peilstations. De uiteindelijke waterstand in de geïnundeerde duinvalleien kan hiervan afwijken:

- De gehanteerde randvoorwaarde voor de waterstand is bepaald voor dieper water. Lokaal kan de waterstand hiervan afwijken. Golven zorgen voor een opstuwing van de waterstand op ondiep water. Een dergelijke opstuwing treedt ook op in geval van aanlandige wind. Verlaging van de waterstand door aflandige wind kan echter ook voorkomen. Dit is bijvoorbeeld mogelijk aan de Waddenkust van de Waddeneilanden.
- Het tijdselement speelt een rol. Het kost namelijk tijd voordat een zeereep doorbreekt en voordat het laaggelegen buitendijks volledig is geïnundeerd. Als op

dat moment het hoogste punt van de waterstand reeds is gepasseerd, zal de maximale waterstand in het ondergelopen land minder hoog worden.

Vanwege bovengenoemde onzekerheden wordt er in de kaarten en begeleidende tekst geen directe relatie gelegd tussen de inundatiekans en het oppervlak geïnundeerd gebied. In plaats daarvan wordt een relatie gelegd tussen de veronderstelde waterstand en het oppervlak geïnundeerd gebied.

8 **Controle duindoorbraak tussen JARKUS - raaien**

De doorgaande afslaglijn uit stap 6 wordt vergeleken met de hoogtecontour uit stap 7. Indien de hoogtecontour de afslaglijn snijdt, betekent dit dat een doorbraak tussen de JARKUS – raaien kan worden verwacht. In dat geval worden de stappen 6 en 7 herhaald met de volgende (zeewaartse) doorgaande afslaglijn, totdat de hoogtecontour en de afslaglijn elkaar niet meer snijden.

9 **Bepaling beschermingscontour**

Het uiteindelijke resultaat uit stap 8 wordt het voorstel voor een eventuele beschermingscontour van de betreffende kustplaats.

2.2.2 Uitwerking voor Vlieland

Bovenstaande stappen worden uitgewerkt voor de dorpsuitbreiding op Oost – Vlieland, dat buitendijks ligt. Voor een aantal stappen kijken we in detail naar het duintraject tussen RSP 5289 en RSP 5329.

1 **Bepaling grenzen duinvallei met dorpsuitbreiding Oost - Vlieland**

De dorpsuitbreiding van Oost – Vlieland bevindt zich ten noordoosten van de oorspronkelijke dorpskern. Indien de zeereep bij de Noordzee bezwijkt, inundeert een deel van deze dorpskern. Figuur 2.1 laat zien waar de dorpskern zich bevindt, en welk deel inundeert indien de waterstand gelijk is aan het rekenpeil (4,3 m + NAP).

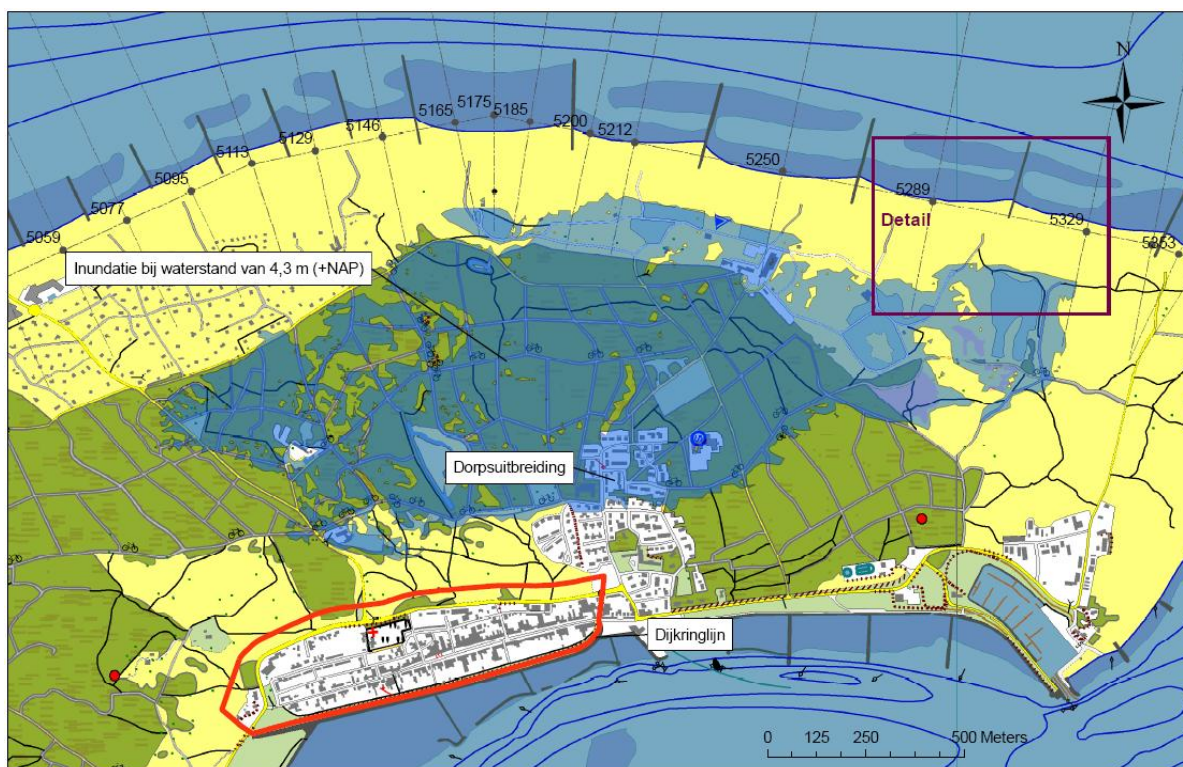
2 **Bepaling zeereep voor de dorpsuitbreiding met bijbehorende JARKUS – raaien**

Figuur 2.1 laat tevens de JARKUS – raaien zien voor het deel van de zeereep dat bescherming biedt aan de dorpskern. Dit deel ligt tussen de JARKUS – raaien RSP 5059 en RSP 5353.

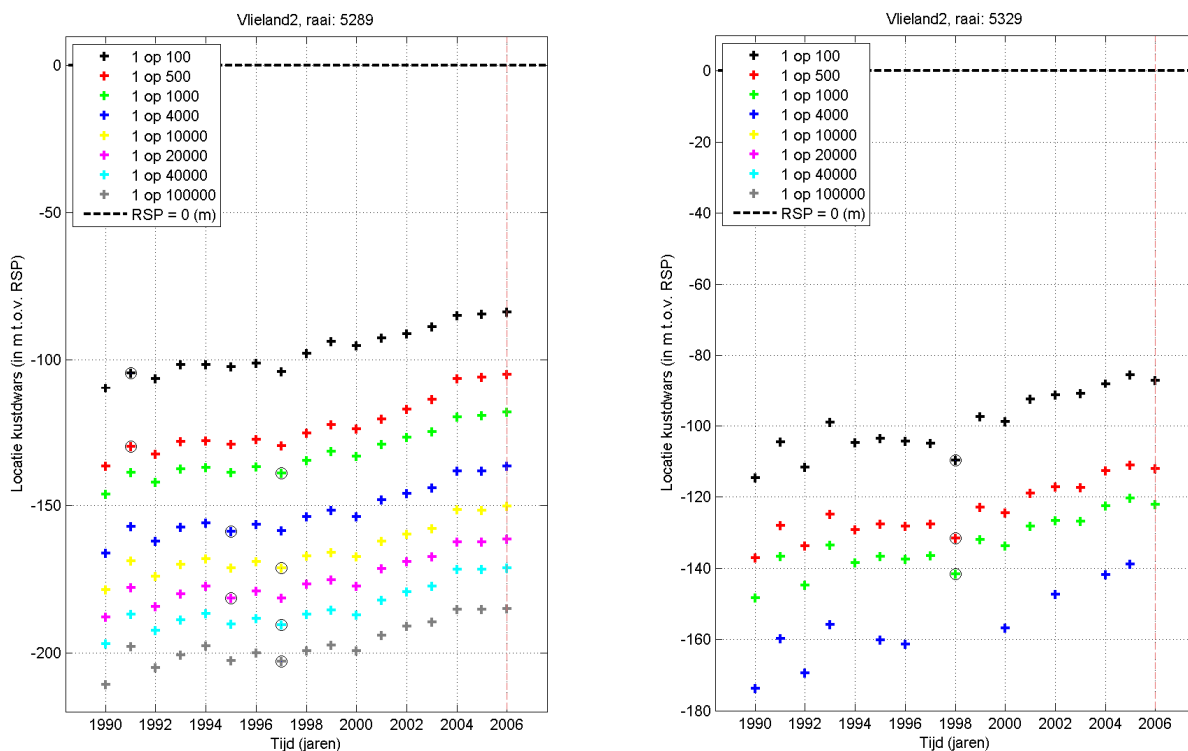
3 **Afslagberekeningen voor de JARKUS – raaien tussen RSP 5059 en RSP 5253**

Voor alle JARKUS – raaien tussen RSP 5059 en RSP 5253 worden de afslagpunten voor de periode 1990 - 2006 berekend volgens de VTV – procedure. Als voorbeeld geeft Figuur 2.2 de resultaten voor de JARKUS – raaien RSP 5289 en RSP 5329.

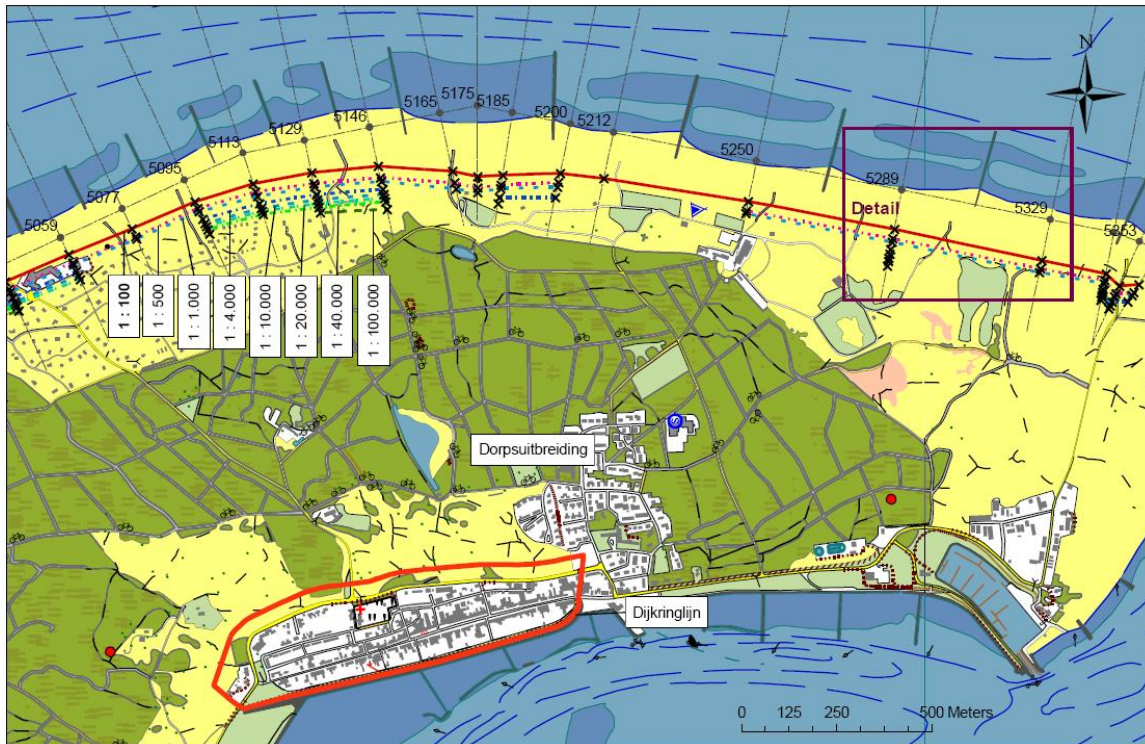
Voor JARKUS – raai RSP 5289 wordt in alle gevallen een afslagpunt berekend: er treedt blijkbaar geen doorbraak van de zeereep op in de periode 1990 – 2006 voor een overschrijdingskans groter dan 1/100.000 per jaar. Voor JARKUS – raai RSP 5329 ligt de situatie anders. Er treedt geen doorbraak op voor een overschrijdingskans groter dan 1/1.000 per jaar. Als de overschrijdingskans kleiner of gelijk is aan 1/10.000 per jaar treedt er altijd een doorbraak op. Bij een overschrijdingskans van 1/4.000 per jaar treedt een doorbraak op in 7 van de 17 jaren. De maatgevende afslagpunten zijn gedefinieerd als het op twee na meest landwaarts gelegen punt in de periode 1990 – 2006. Deze punten zijn in Figuur 2.2 omcirkeld. Voor RSP 5329 is geen maatgevend afslagpunt bepaald voor de overschrijdingskansen van 1/4.000 of kleiner, omdat er teveel keren een doorbraak optreedt.



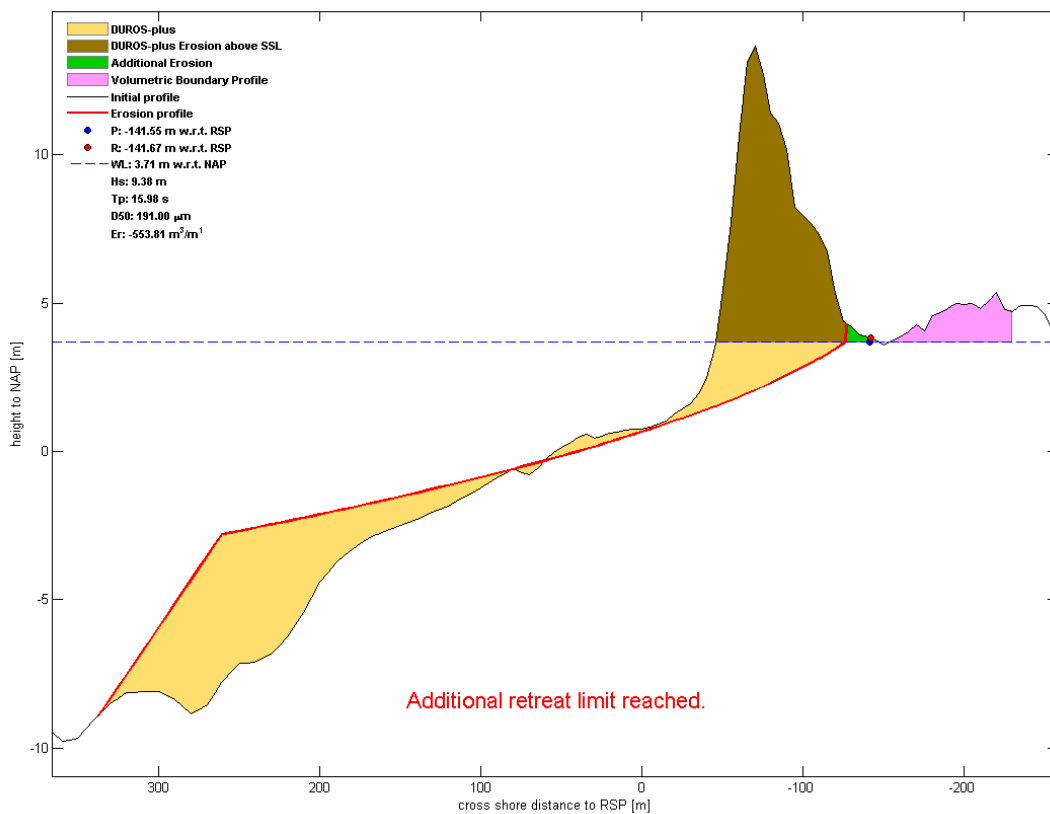
Figuur 2.1 Grenzen duinvallei met daarin dorpsuitbreiding Oost – Vlieland



Figuur 2.2 Afslagberekeningen voor de JARKUS – raaien RSP 5289 (links) en RSP 5329 (rechts)



Figuur 2.3 Afslagresultaten voor verschillende overschrijdingskansen tussen RSP 5059 en RSP 5253



Figuur 2.4 Afslagberekening RSP 5329; 1998; Overschrijdingsfrequentie 1/1.000 per jaar

4 **Bepaling van de maatgevende afslagpunten tussen RSP 5059 en RSP 5353**

Voor elke JARKUS – raai tussen RSP 5059 en RSP 5353 zijn de maatgevende afslagpunten voor de verschillende overschrijdingskansen berekend, waarbij maximaal twee keer een doorbraak mag optreden in de periode 1990 – 2006. De resultaten uit deze berekening zijn met zwarte “x”-en weergegeven in Figuur 2.3. De maatgevende afslagberekening voor RSP 5329 (jaar 1998, overschrijdingsfrequentie 1/1.000 per jaar) is weergegeven in Figuur 2.4. Het rode afslagpunt “R” correspondeert hierbij met de zwarte “x” op de kaart. Bij een overschrijdingsfrequentie van 1/4.000 per jaar passeert het afslagpunt de landwaartse grens van de zeereep (de linker bruingekleurde duinregel in Figuur 2.4). In dat geval stopt de berekening en wordt er een doorbraak verondersteld.

5 **Bepaling afslaglijnen tussen RSP 5059 en RSP 5253**

In Figuur 2.3 worden de maatgevende afslagpunten van aangrenzende JARKUS – raaien met elkaar verbonden met een afslaglijn. Er moet voor beide raaien wel een maatgevend afslagpunt zijn bepaald. Zo zijn er voor RSP 5289 afslagpunten voor de overschrijdingskansen tussen 1/4.000 en 1/100.000 per jaar. Omdat er echter in de aangrenzende raaien RSP 5250 en RSP 5329 voor deze overschrijdingskansen geen afslagpunten zijn, zijn er rondom RSP 5289 geen afslaglijnen bepaald.

6 **Bepaling meest landwaarts doorgaande afslaglijn tussen RSP 5059 en RSP 5353**

Uit de afslagberekeningen blijkt dat voor JARKUS – raai RSP 5212 alleen een maatgevend afslagpunt behorend bij een overschrijdingskans van 1/100 per jaar is bepaald. Hierdoor is de meest landwaarts doorgaande afslaglijn bepaald door de afslaglijn met een overschrijdingskans van 1/100 per jaar. Deze meest landwaarts doorgetrokken afslaglijn is in Figuur 2.3 met doorgetrokken rode lijn weergegeven.

7 **Bepaling bijbehorende waterstand voor de dorpsuitbreiding**

Bij een overschrijdingskans van 1/100 per jaar hoort een rekenpeil van 3,19 m +NAP. Omdat deze waterstand een meter lager ligt dan het rekenpeil zal een kleiner deel van de duinvallei overstromen. Voor de dorpsuitbreiding is de afname van het overstroomde oppervlak overigens gering [Figuur 2.5].

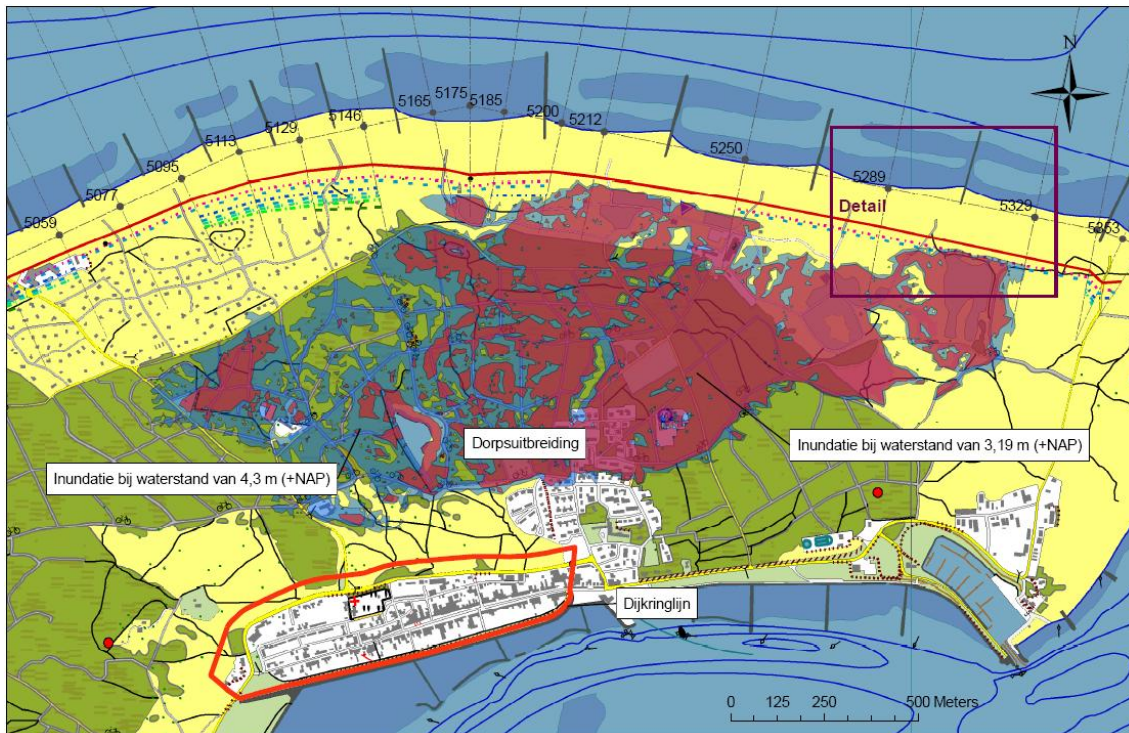
8 **Controle mogelijke doorbraak tussen de JARKUS - raaien**

Uit de vergelijking tussen de contour van het overstroomde oppervlak bij een overschrijdingskans van 1/100 per jaar en de doorgaande afslaglijn van 1/100 per jaar, blijkt dat tussen de JARKUS – raaien geen doorbraak hoeft te worden verwacht. Beide lijnen doorsnijden elkaar niet.

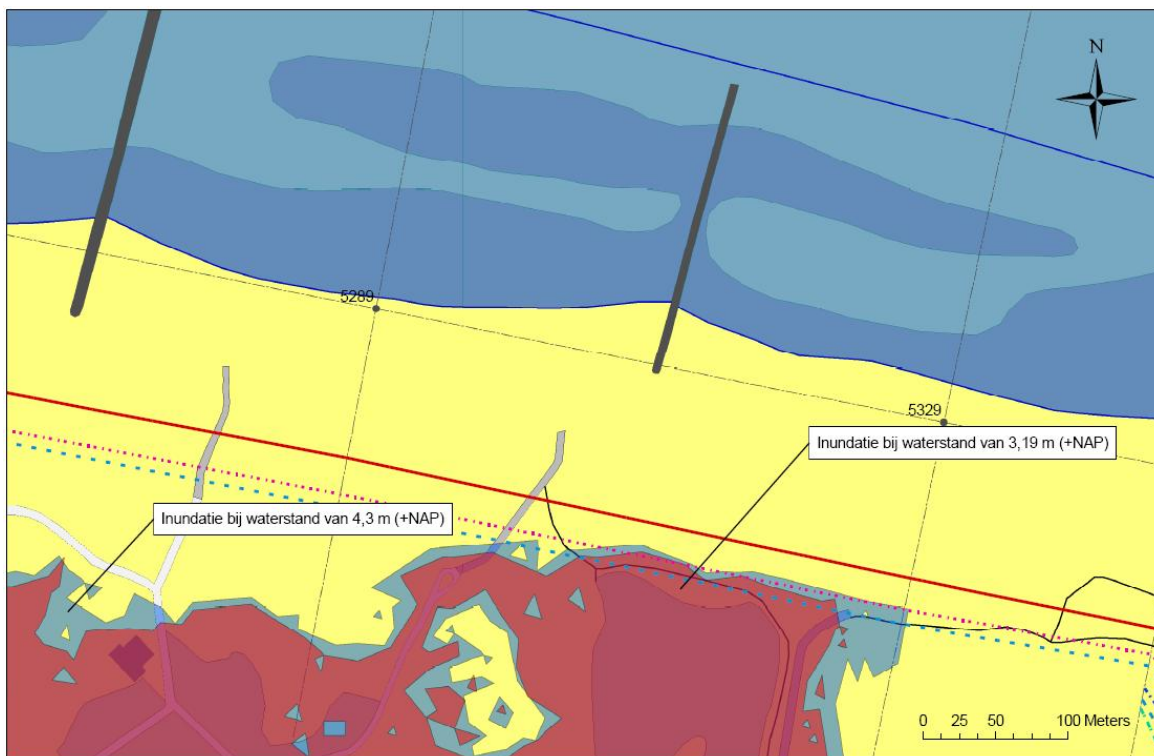
Als we naar het detailgebied tussen RSP 5289 en RSP 5323 kijken, zien we dat er afslaglijnen aanwezig zijn voor de overschrijdingskansen 1/100, 1/500 en 1/1.000 per jaar. Echter tussen deze raaien blijkt dat de contouren van het overstroomde oppervlak de afslaglijnen voor de overschrijdingskansen 1/500 en 1/1.000 per jaar doorsnijdt [Figuur 2.6]. Dit betekent dat ook voor dit deel van de zeereep de afslaglijn behorend bij een overschrijdingskans van 1/100 per jaar maatgevend is.

9 **Bepaling beschermingscontour dorpsuitbreiding**

Op grond van bovenbeschreven analyse kan als beschermingscontour de doorgaande afslaglijn bij een overschrijdingskans van 1/100 worden gekozen. De gebieden met de grootste kans op doorbraak van de zeereep liggen tussen RSP 5200 en RSP 5250, en tussen RSP 5289 en RSP 5323.



Figuur 2.5 Overstroming dorpsuitbreiding bij een waterstand behorende bij een overschrijdingskans van 1/100 per jaar



Figuur 2.6 Afslaglijnen en overstromd gebied tussen RSP 5289 en RSP 5323

2.3 Inundatie van buitendijks gebied zonder zeereep

In paragraaf 2.2.1 is in het stappenplan een inschatting inbegrepen ten aanzien van het oppervlakte geïnundeerd buitendijks gebied na doorbraak van de zeereep. In een aantal kustplaatsen met buitendijkse bebouwing is er echter geen voorliggende zeereep. Het gaat hierbij om de kustplaatsen West – Terschelling, de Waddenkust van Vlieland en IJmuiden en Vlissingen.

Ook voor deze kustplaatsen is het van belang om de kans op inundatie als functie van de overschrijdingskans in kaart te brengen. Allereerst is het van belang om, bij gegeven overschrijdingskans de waterstand te bepalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de statistiek van het meest nabij gelegen peilstation [Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a)].

Vervolgens wordt met behulp van de AHN – hoogtekaart in het programma ARCGIS inzichtelijk gemaakt welk gebied bij de gegeven waterstand zal inunderen. Hierbij is het van belang of er van kerende elementen aanwezig zijn zoals een kademuur of een dijklichaam. Deze elementen kunnen voorkómen dat er een verbinding tot stand komt tussen het buitenwater en het buitendijks gebied.

2.4 Probabilistische berekeningen

Evenals in de eerste fase van het project 13 Kustplaatsen is een vergelijking uitgevoerd tussen de VTV – procedure en een probabilistisch model voor duinafslag [bijlage C]. Doel hierbij is de beoordeling van de betrouwbaarheid van de VTV – procedure met de gehanteerde hydraulische randvoorwaarden.

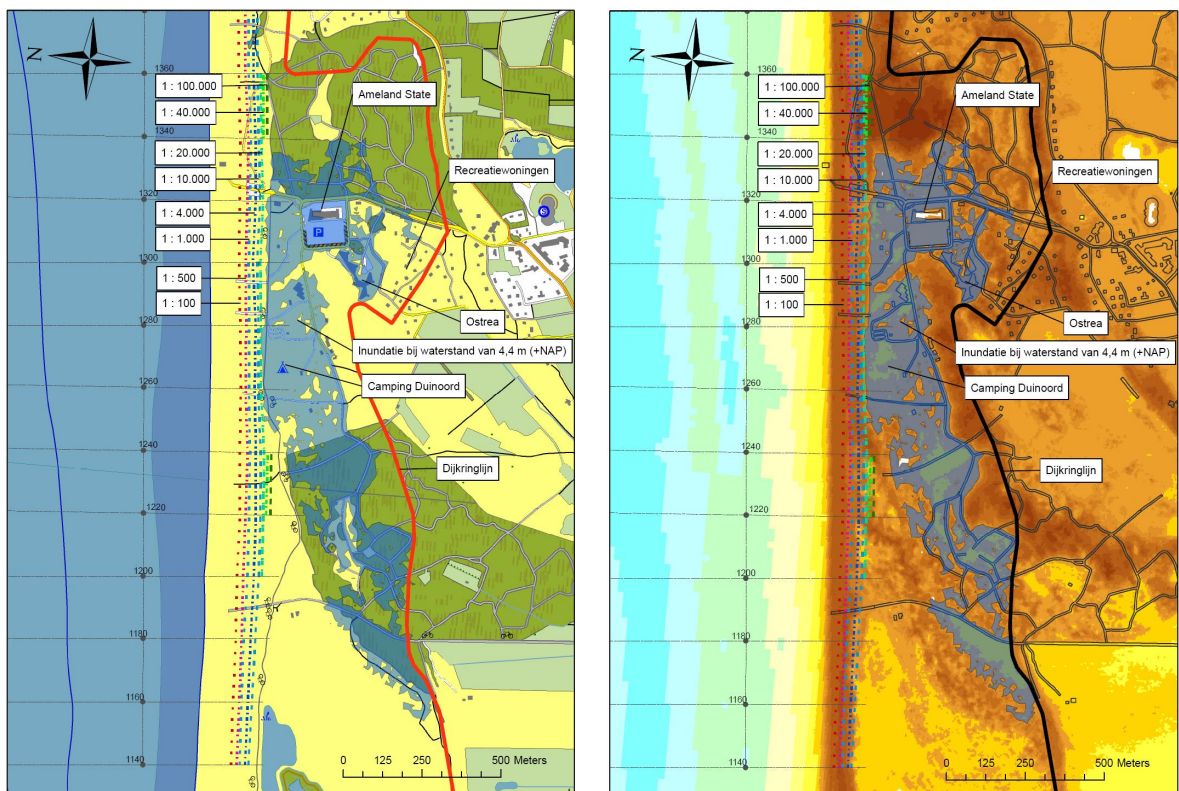
Uit de vergelijking blijkt dat met het probabilistisch model in vrijwel alle gevallen meer afslag wordt berekend dan met de VTV – procedure. Voor de locaties Ameland, Terschelling, Vlieland1 en Cadzand blijven de verschillen kleiner dan 5 meter, hetgeen vergelijkbaar is met resultaten uit de eerste fase. Voor deze locaties wordt in de analyse per kustplaats in hoofdstuk 3 geen rekening gehouden met de opgetreden verschillen. Voor de locatie Vlieland2 lopen de verschillen op tot meer dan 10 meter. (Mogelijk hangt dit samen met de aanwezigheid van een geul en een smalle zeereep, zie Figuur B.4.) Hier zal bij de analyse van deze locatie dit verschil wel worden meegenomen.

De vergelijking tussen de VTV – procedure en het probabilistisch model geven aan dat de betrouwbaarheid van de Hydraulische Randvoorwaarden voor de Waddeneilanden en Zeeland verdere aandacht behoeft. Er wordt aanbevolen om dit onderzoek op te pakken in onder andere het project SBWDuinen2 waar wordt gewerkt aan een nieuw duintoetsinstrumentarium ten behoeve van de vierde toetsronde.

3 Kustplaatsen met een duinwaterkering

3.1 Ameland

Op Ameland is bebouwing in buitendijks gebied aanwezig in het buitengebied bij RSP1320 [Figuur 3.1]. Daarom zijn binnen het project 13 Kustplaatsen afslaglijnen voor diverse overschrijdingskansen berekend. Ameland heeft een vastgestelde legger, die is afgeleid van de dijkkringlijn zoals weergegeven in Bijlage 1 van de Wet op de Waterkering. Deze wet is op 22 december 2009 vervangen door de Waterwet.



Figuur 3.1 Overzichtkaart Ameland, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart



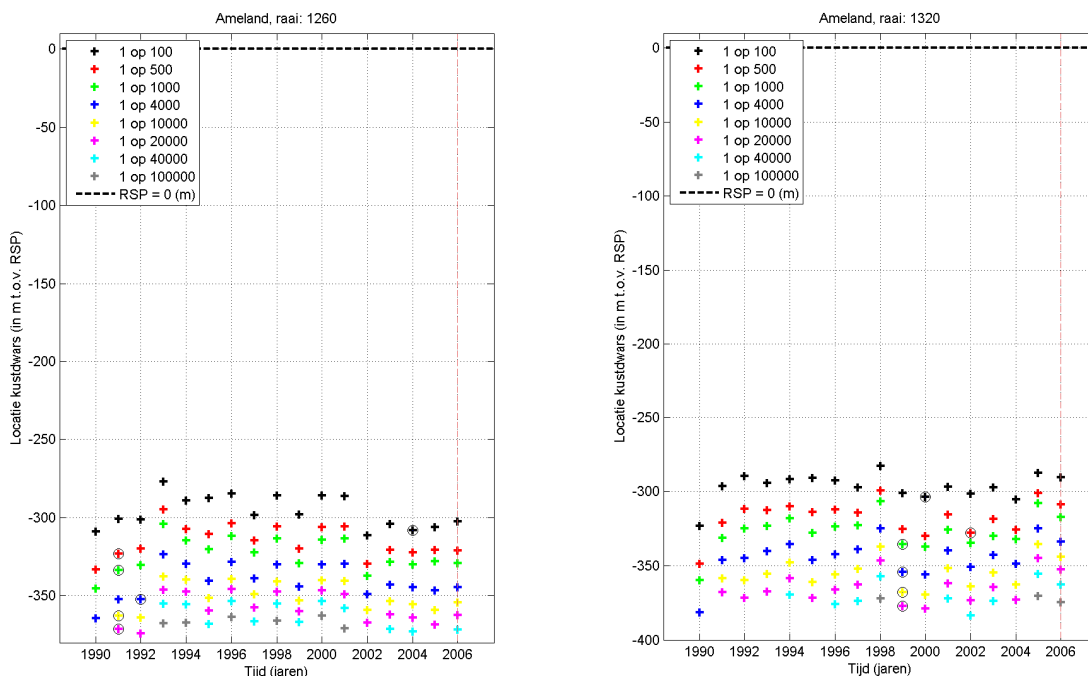
Figuur 3.2 Buitendijks gebied Ameland – Nes [www.kustfoto.nl]

De aanwezige bebouwing is weergegeven in de luchtfoto's van Figuur 3.2. Het gaat hierbij om de volgende objecten, tussen RSP 1240 en RSP 1320:

- Het appartementencomplex Ameland State (linker foto)
- Camping Duinoord (linker foto)
- Het appartementencomplex Ostrea (beide foto's)
- Verschillende vakantiewoningen (rechter foto)

Met behulp van de VTV – procedure is de afslag in de zeereep berekend, totdat er een doorbraak optreedt. Hieruit blijkt dat de overschrijdingskans op een doorbraak kleiner is dan 1/20.000 per jaar, maar groter dan 1/40.000 per jaar [Figuur 3.1, Figuur 3.3]. Dit betekent dat de zeereep sterk genoeg is om de hydraulische condities tijdens normomstandigheden te kunnen weerstaan. Er ontbreekt echter een grensprofiel in de zeereep om deze aan de toetsvoorschriften te laten voldoen. Het is ondermeer om deze reden dat op deze locatie de primaire waterkering zich uitstrekt tot de binnenduinen.

Volgens Figuur 3.1 kan bij een doorbraak van de zeereep de achterliggende duinvallei onderlopen tot tegen de achterkant van de waterkering bij RSP 1160. Volgens de kaart zullen na een duindoorkraak de camping en de twee appartementencomplexen worden getroffen. Vrijwel alle vakantiehuizen blijven droog. Hier past wel een kantekening bij. De kaart is gebaseerd op het eerste Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN-1) die is vervaardigd tussen 1996 en 2003. Sindsdien zijn er in het duingebied werkzaamheden uitgevoerd ten behoeve van de veiligheid, waardoor een kleiner deel van de duinvallei zal inunderen. Het gaat hierbij om onbebouwd gebied.



Figuur 3.3 Ontwikkeling afslaglijnen in de tijd, Ameland. Links: RSP 1260, rechts RSP 1320

Er is in het verleden veel onderhoud aan dit kustgedeelte geweest:

- Een zeewaartse duinverzwaring tussen RSP 1240 en RSP 1700 in 1990
- Een landwaartse duinverzwaring tussen RSP 1380 en RSP 1520 in 1990

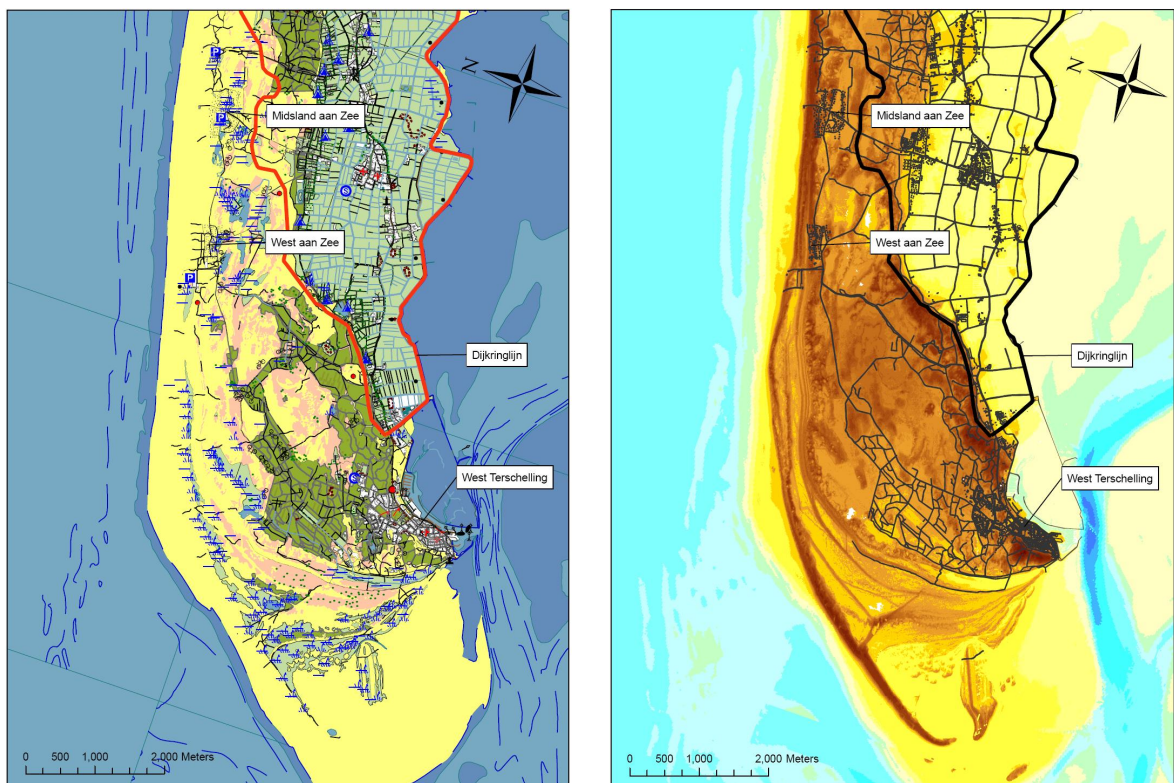
- Een duinverzwaring tussen RSP 1150 en RSP 1280 in 1992
- Een strandsuppletie tussen RSP 1150 en RSP 1960 in 1992
- Een onderwatersuppletie tussen RSP 1300 en RSP 2100 in 1998
- Een onderwatersuppletie tussen RSP 940 en RSP 1370 in 2003
- Een strandsuppletie tussen RSP 1100 en RSP 1600 in 2006
- Een onderwatersuppletie tussen RSP 1300 en RSP 1700 in 2006
- In 2010 is een nieuwe suppletie voor Ameland voorzien. Hierbij wordt tevens gedacht aan een landwaartse versterking van de zeereep bij RSP 1320.

Conclusie: Voor de kustplaats Ameland is nagegaan wat de kansen op inundatie zijn voor bebouwing in buitendijks gebied in de omgeving van RSP 1320. De kans op overstroming van het buitendijks gebied is kleiner dan 1/20.000 per jaar, waarbij naar alle waarschijnlijkheid de camping en twee appartementencomplexen zullen worden getroffen. De meeste vakantiewoningen die meer landwaarts liggen blijven droog.

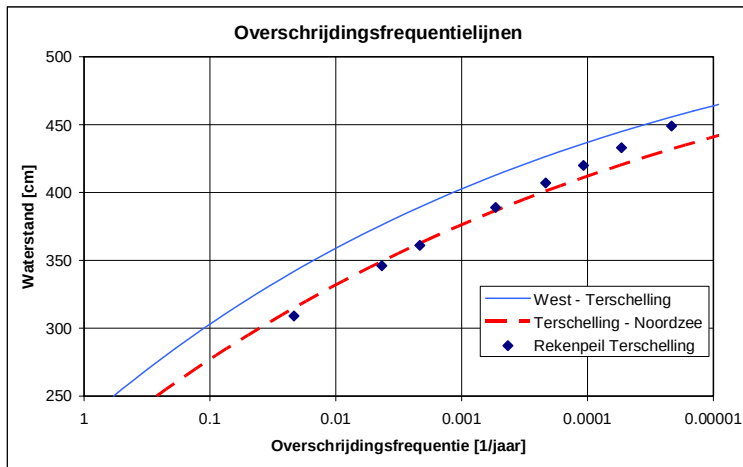
3.2 Terschelling

3.2.1 Buitendijkse gebieden Terschelling

Terschelling heeft veel bebouwing in buitendijks gebied [Figuur 3.4]. Aan de Noordzeekust liggen Midsland aan Zee en West aan Zee achter een brede zeereep. Aan de Waddenzeekust ligt het dorp West – Terschelling direct aan het water. In het kader van de vaststelling van de legger op het eiland Terschelling is een aantal varianten uitgewerkt met mogelijke tracés voor de waterkering, waarbij het binnendijks krijgen van de dorpskernen West – Terschelling, Midsland aan Zee en West aan Zee een optie is [Haskoning (2008)].



Figuur 3.4 Overzichtkaart Terschelling, links de topografische kaart, rechts de hoogtekarte

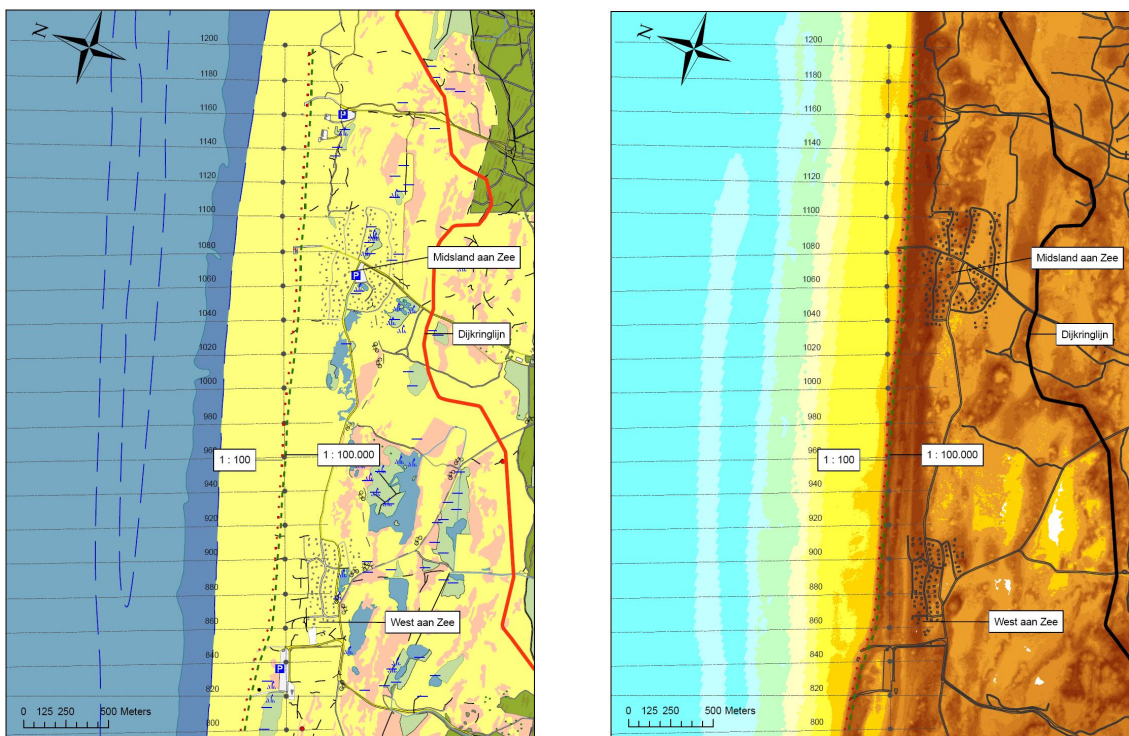


Figuur 3.5 Overschrijdingsfrequentielijnen peilstations Terschelling en het rekenpeil voor RSP 800 – 1200.

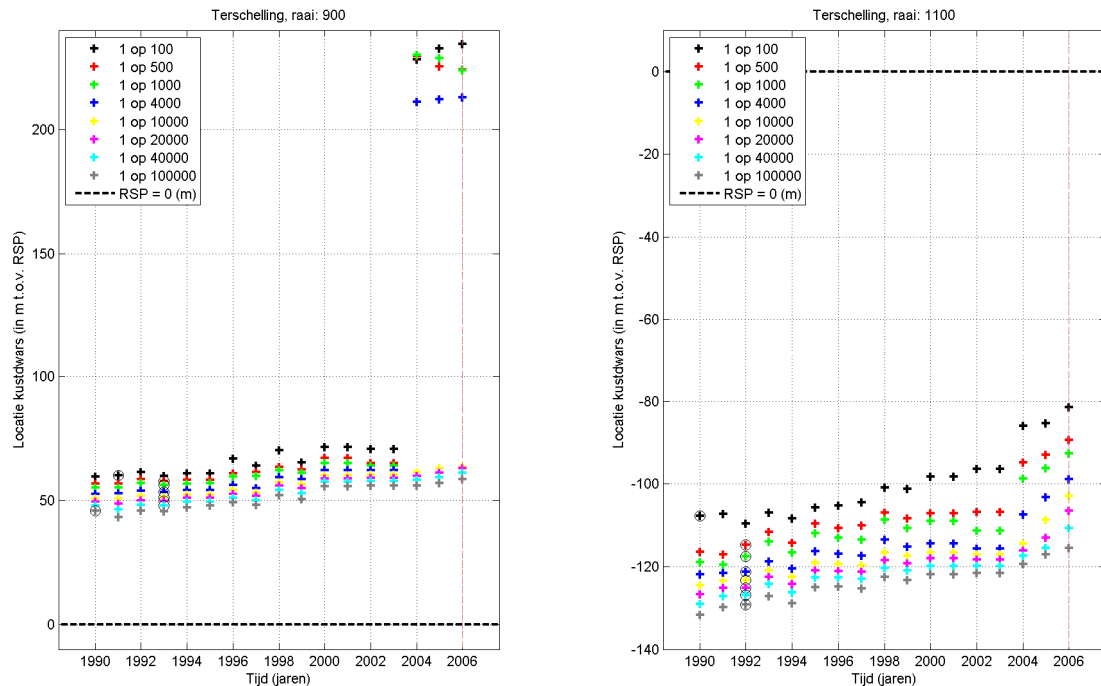
Voor de analyse van een mogelijke inundatie van de dorpskern van West – Terschelling zijn de overschrijdingsfrequentielijnen van de waterstand weergegeven in Figuur 3.5 [Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a)]. Het betreft de overschrijdingslijnen voor de peilstations Terschelling – Noordzee (ten noordoosten van Midsland aan Zee) en West – Terschelling. Ook zijn de rekenpeilen voor de duinafslagberekeningen weergegeven [bijlage B.2].

3.2.2 Duinwaterkering Midsland aan Zee en West aan Zee

Bij de duinwaterkering bij Midsland aan Zee en West aan Zee ligt de afslaglijn met een overschrijdingskans van 1/100.000 nog zodanig, dat geen er sprake is van een doorbraak van de zeereep en overstrooming van de bebouwing [Figuur 3.6, Figuur 3.7].



Figuur 3.6 Midsland aan Zee en West aan Zee, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart



Figuur 3.7 Ontwikkeling afslaglijnen in de tijd, Terschelling voor RSP 900 (links) en RSP 1100 (rechts)

Een belangrijke bijdrage aan de veiligheid wordt geleverd door de grote strandvlakte voor de zeereep, waardoor volgens de toegepaste duinafslagberekening zeer weinig duinafslag optreedt. Figuur 3.8 toont de zeereep na de storm van 1 november 2006. Er is geen steile afslagrand te zien die duidt op veel afslag op deze locatie.



Figuur 3.8 Midland aan Zee en West aan Zee na de storm van 1 november 2006 [foto's Rijkswaterstaat]

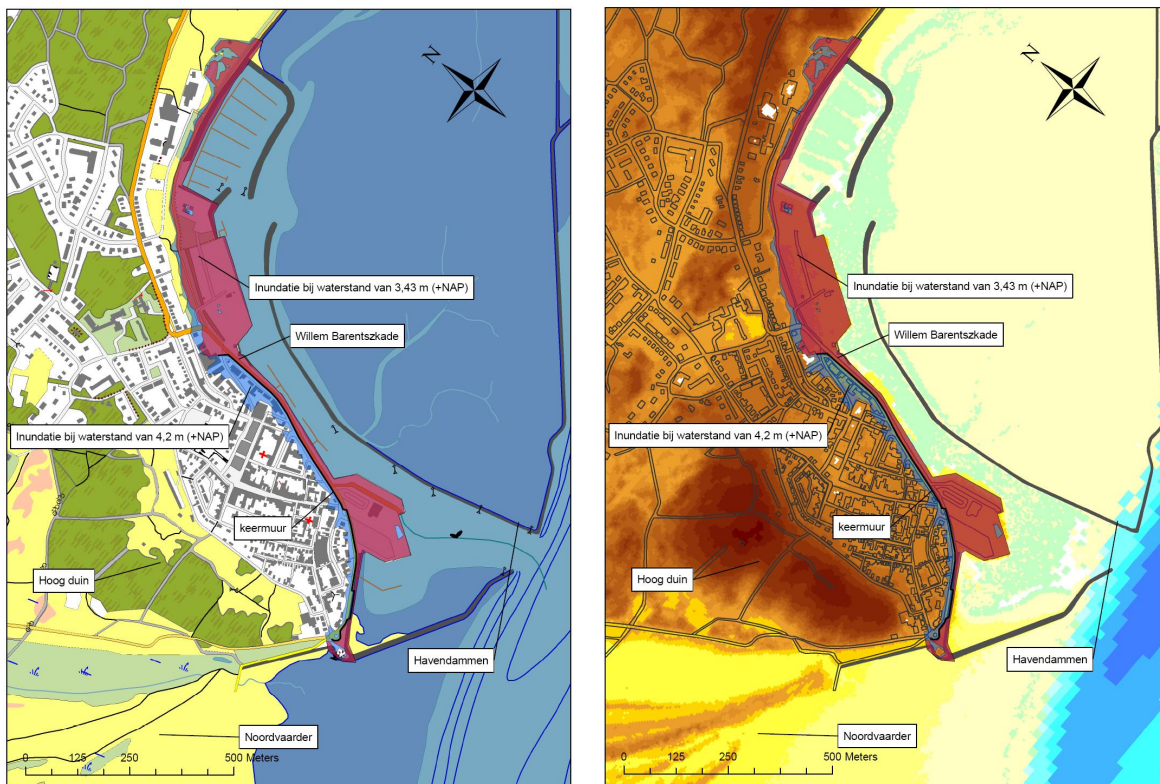
Als we naar de ontwikkeling in de tijd kijken, zien we een zeewaartse trend in de afslaglijnen. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door het aanlanden van een zandplaat aan de westkop van Terschelling. Er zijn in het gebied RSP 800 – RSP 1200 sinds 1990 geen strandsuppleties of duinverzwaringen uitgevoerd. In 1995 is de BKL tussen RSP 800 en RSP 920 over een afstand van maximaal 160 m landwaarts verschoven om meer ruimte te bieden aan de natuurlijke dynamiek.

Conclusie: Door de aanwezigheid van een grote strandvlakte treedt er voor de zeereep van Midsland aan Zee en West aan Zee weinig duinafslag op. Zelfs bij omstandigheden die zich eens per 100.000 jaar voordoen is er nog geen enkel probleem voor de aanwezige bebouwing.

3.2.3 West – Terschelling

West – Terschelling ligt volledig buitendijks [Figuur 3.9]. In het kader van de vaststelling van de legger op het eiland Terschelling is een verkenning uitgevoerd naar mogelijke tracés waar de waterkering komt te liggen [Haskoning (2008)]. Hierbij zijn ook varianten opgesteld waarbij (delen van) West – Terschelling binnendijks komen te liggen.

De kustplaats wordt beschermd door een hoge duinenrij voor dreiging vanuit de Noordzee, en is voor een deel “hoogwatervrij”. Gezien de resultaten voor Midsland aan Zee en West aan Zee sluiten we alle risico vanuit deze zijde uit. Aan de westzijde ligt de Noordvaarder, een uitgebreide strandvlakte waar jonge duinen in ontwikkeling zijn. Aan de zuidoever ligt het havengebied, met uitgebreide faciliteiten voor vervoer naar Harlingen, recreatievaart, visserij, vrachtschepen en de reddingsschepen van de KNRM. Om de haven tegen golven te beschermen is een aantal havenhoofden aanwezig [Figuur 3.10].



Figuur 3.9 Overzichtkaart West – Terschelling, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart

Voor “normale” stormen is een voorziening aangebracht op de Willem Barentszkade, namelijk een keermuur met een hoogte van circa 3,55 m + NAP [Figuur 3.11]. Deze keermuur dient zowel de waterstand, als de golfoploop te keren. Stel dat de waterstand 3,43 m + NAP is, een situatie die gemiddeld eens per 50 jaar wordt overschreden, dan resteert er nog 12 cm voor het keren van de overslaande golven. Het zal duidelijk zijn dat de kans op overslag in dat

geval vrijwel niet te vermijden zal zijn. Als de waterstand hoger wordt dan de keermuur, dan loopt het achterliggende gebied snel vol. Op basis van Figuur 3.5 blijkt dat een dergelijke toestand gemiddeld eens per 80 jaar voorkomt. De keermuur is in ieder geval te laag om een waterstand volgens het ontwerppeil (+4,2 m + NAP) te keren, zodat onder deze condities een deel van de kustplaats zal overstromen.



Figuur 3.10 Gezicht op West – Terschelling [www.kustfoto.nl]

Figuur 3.9 toont het overstroomd gebied bij een waterstand van 3,46 m + NAP en 4,2 m + NAP. Tijdens de storm van 1 november 2006 was de maximale waterstand 2,70 m + NAP, tijdens de storm van 9 november 2009 was dit 3,13 m + NAP, en was er in beide gevallen geen waterbezwaar achter de keermuur [www.waterbase.nl].



Figuur 3.11 Keermuur op de Willem Barentszkade [links: GoogleEarth, rechts: www.nufoto.nl]

Conclusie: Tijdens hoogwater kan een strook bebouwing achter de Willem Barentszkade schade ondervinden. De aanwezige keermuur zal bij een overschrijdingsfrequentie van 1/80 per jaar overstromen. Bij lagere waterstanden kan in beperkte mate golfoverslag worden verwacht.

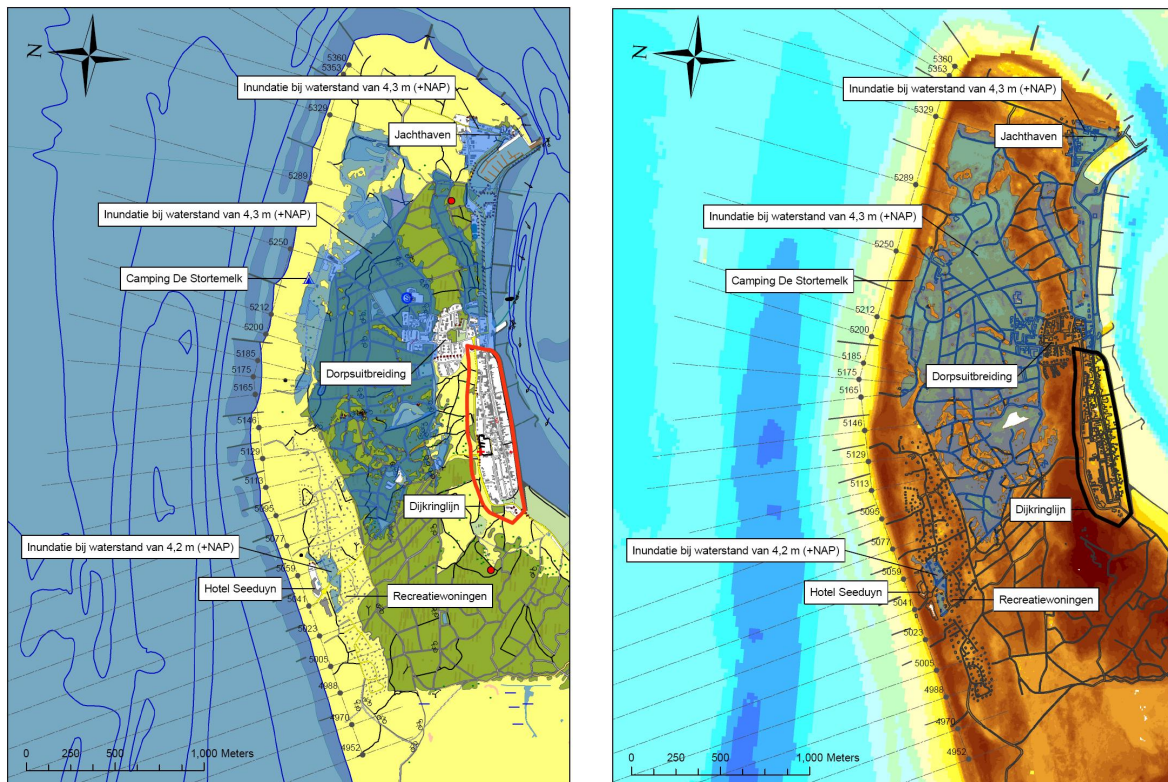
3.3 Vlieland

3.3.1 Buitendijkse gebieden Vlieland

Verreweg het grootste deel van Vlieland is buitendijks gebied, alleen de oude dorpskern ligt binnendijs. Veel bebouwing ligt daarom eveneens in buitendijks gebied. Mogelijk verandert dit in de toekomst bij de vaststelling van een nieuwe legger. [Rijkswaterstaat RIKZ (2006b)].



Figuur 3.12 Bebouwde gebieden op Vlieland; linksboven Hotel Seeduyn, rechtsboven: Camping de Stortemelk, rechtsonder: de Jachthaven, linksonder: dorpsuitbreiding Oost - Vlieland [foto's Rijkswaterstaat]



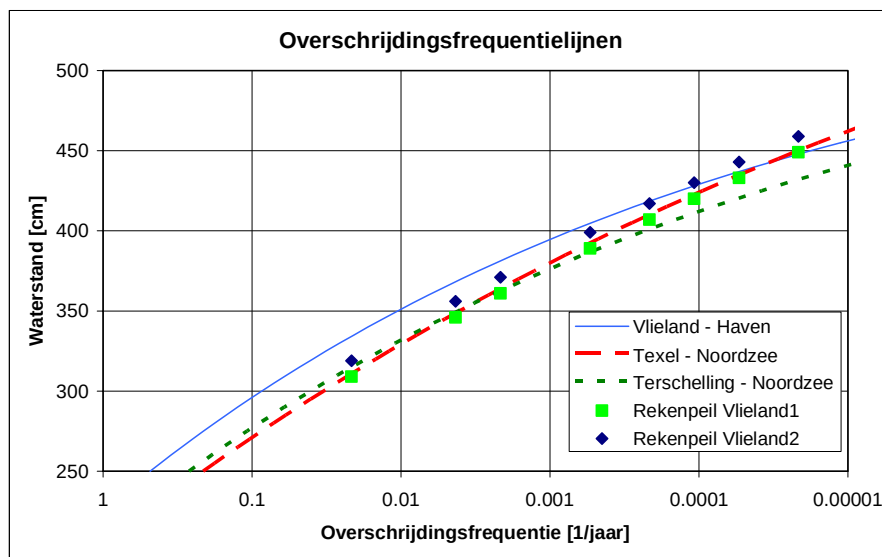
Figuur 3.13 Overzichtkaart Vlieland, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart

Buitendijks is bebouwing aanwezig in de volgende gebieden [Figuur 3.12]:

- Dorpsuitbreiding Oost – Vlieland: Ten noorden van het dorp ligt een laaggelegen polder achter een zwakke zeereep. In deze polder ligt camping De Stortemelk. Ook de buitendijkse dorpsuitbreiding ligt deels in dit gebied.
- Waddenkust Oost – Vlieland: Ten oosten van het dorp ligt de Jachthaven met het bedrijventerrein Oosterseveld. Ook ligt hier een deel van de dorpsuitbreiding ten oosten van de dorpskern.
- Centraal Vlieland: Ten noordwesten van het dorp (centraal Vlieland) bevindt zich een duingebied met verspreid een groot aantal recreatievoorzieningen, waaronder Hotel Seeduyn.

Kaarten van het oostelijk deel van Vlieland, met daarin de bebouwing in buitendijks gebied, zijn weergegeven in Figuur 3.13. Deze kaarten geven ook de duinvalleien met bebouwing weer die bij een waterstand van 4,2 m + NAP overstromen. Dit is bij benadering zowel het rekenpeil voor duinafslagberekeningen als het ontwerppeil voor de dijktoets [HR2006].

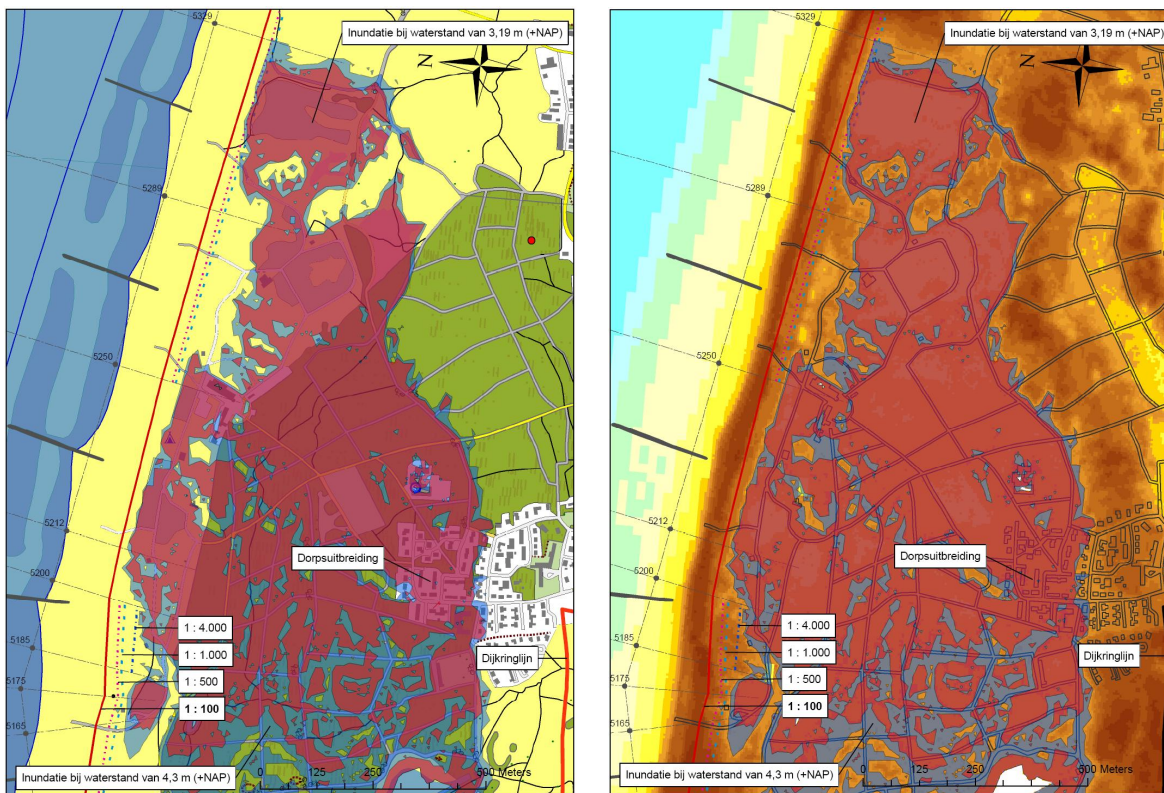
In Figuur 3.14 zijn de overschrijdingsfrequentielijnen weergegeven van een drietal peilstations in de omgeving van Oost – Vlieland [Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a)]. De stations Texel – Noordzee en Terschelling – Noordzee zijn van belang voor de waterstanden aan de Noordzeekust, terwijl het station Vlieland – Haven vooral van belang is voor de Waddenkust. In deze figuur zijn ook de rekenpeilen weergegeven die zijn gebruikt bij de duinafslagberekeningen voor Oost – Vlieland.



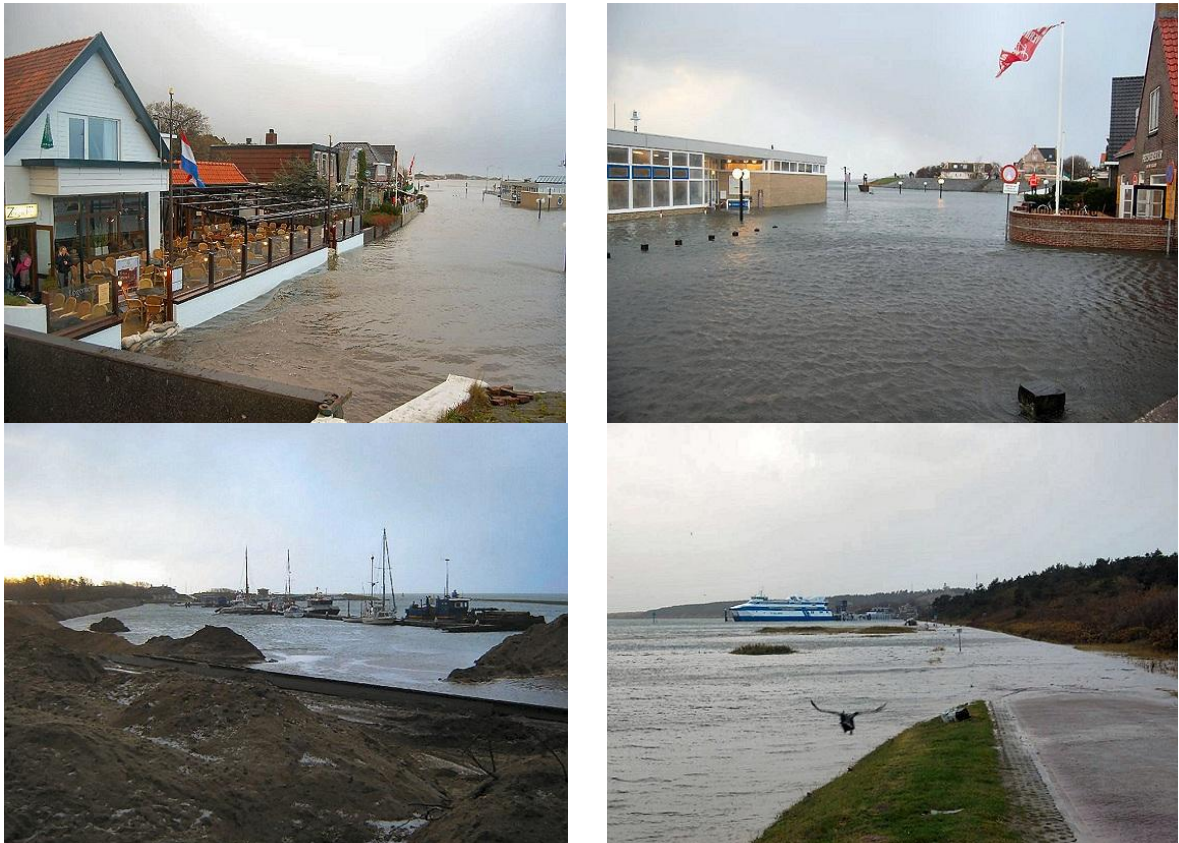
Figuur 3.14 Overschrijdingsfrequentielijnen voor peilstations in de omgeving van Vlieland en het rekenpeil voor RSP 4952 – 5185 (Vlieland1) en RSP 5200 – 5360 (Vlieland2)

3.3.2 Dorpsuitbreiding Oost – Vlieland

De berekening van de afslaglijnen en overstromingskansen van het gebied Dorpsuitbreiding Oost – Vlieland (RSP 5200 – RSP 5329) is uitgebreid beschreven in paragraaf 2.2. Hieruit blijkt dat de overschrijdingskans op een doorbraak van de zeereep een waarde heeft tussen de 1/100 en 1/1500 per jaar [Figuur 3.15].



begin van de Havenweg worden tegen hoogwater beschermd door keermuurtjes die in het beheer zijn van de bewoners. Figuur 3.16 laat de situatie op 9 november 2007 zien, toen de waterstand een maximale hoogte bereikte van 3,02 m + NAP.



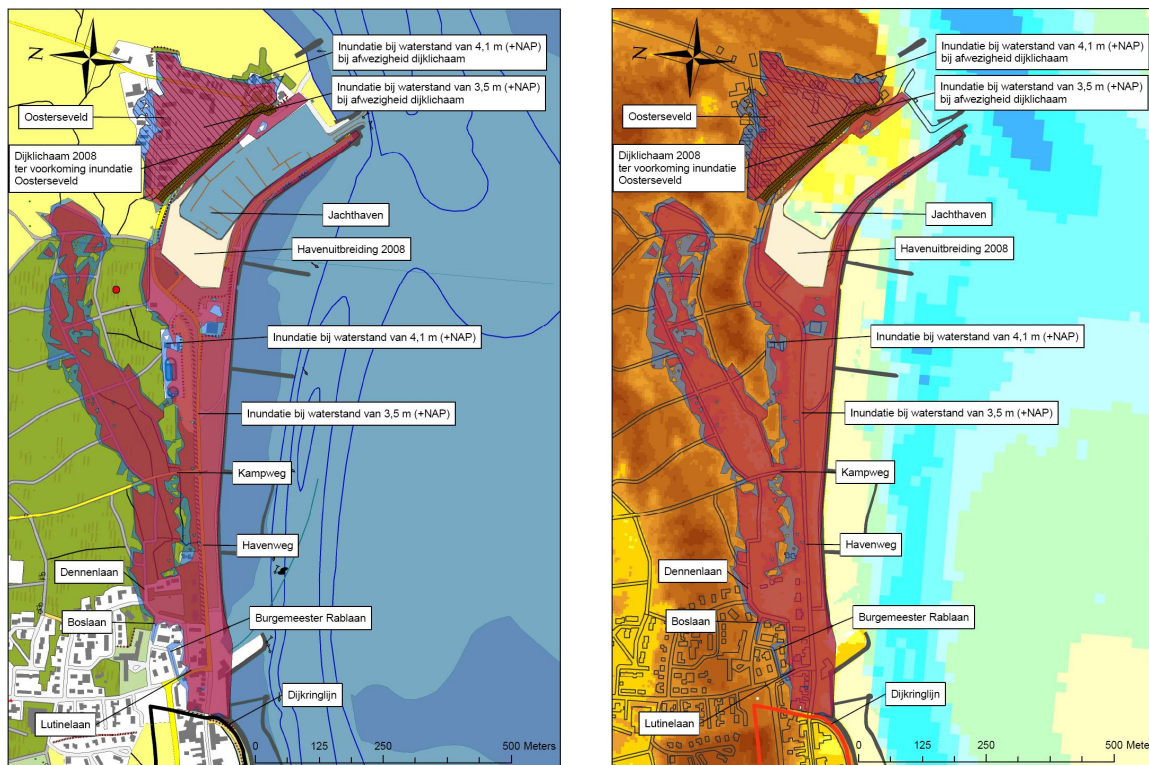
Figuur 3.16 Boven: Dorpsuitbreiding, Onder links: Jachthaven met het bedrijventerrein Oosterseveld, Onder rechts: zicht op de Havenweg vanaf de Jachthaven [www.vlieland-info.nl].

Aan de zuidoost hoek van het eiland bevindt zich de Jachthaven met aangrenzend het bedrijventerrein Oosterseveld. Dit terrein wordt tegen hoogwater beschermd door een kade. Tot 2008 had deze kade een kruinhoogte van ongeveer 4,2 m + NAP, met een coupure in het oostelijk deel. Deze situatie is weergegeven in Figuur 3.17, inclusief een inundatie voor de waterstanden 3,5 m + NAP en 4,1 m + NAP. Het is onduidelijk hoe groot de kans op inundatie werkelijk is, aangezien de coupure bij hoogwater kan worden afgesloten. In 2008 is de Jachthaven uitgebreid, waarbij tevens de aanwezige kade is verhoogd tot een aanleghoogte van 5 m + NAP [Figuur 3.16]. Hiermee benadert de kade de huidige hoogte van de dijk rond de dorpskern, die een hoogte heeft van ongeveer 5,5 m + NAP.

Het totale gebied is in kaart gebracht in Figuur 3.18, waarbij ook de kade bij het Oosterseveld en de havenuitbreiding is weergegeven. De kaarten eveneens de inundatie bij een waterstand van 3,5 m + NAP (1/100 per jaar) en 4,1 m + NAP (1/2.000 per jaar) [Figuur 3.14]. Hierbij is de inundatie van het bedrijventerrein Oosterseveld gearceerd, omdat we aannemen dat vanaf 2008 geen inundatie optreedt voor de weergegeven waterstanden. Bij de dorpsuitbreiding lopen 10 – 20 gebouwen kans op inundatie bij een overschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar. Uitgaande van een bodemligging van ongeveer 2,5 m + NAP bedraagt de inundatiediepte ongeveer 1 meter. We nemen hierbij aan dat de aanwezige keermuurtjes geen rol van betekenis spelen.



Figuur 3.17 Oosterseveld tot 2008, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart



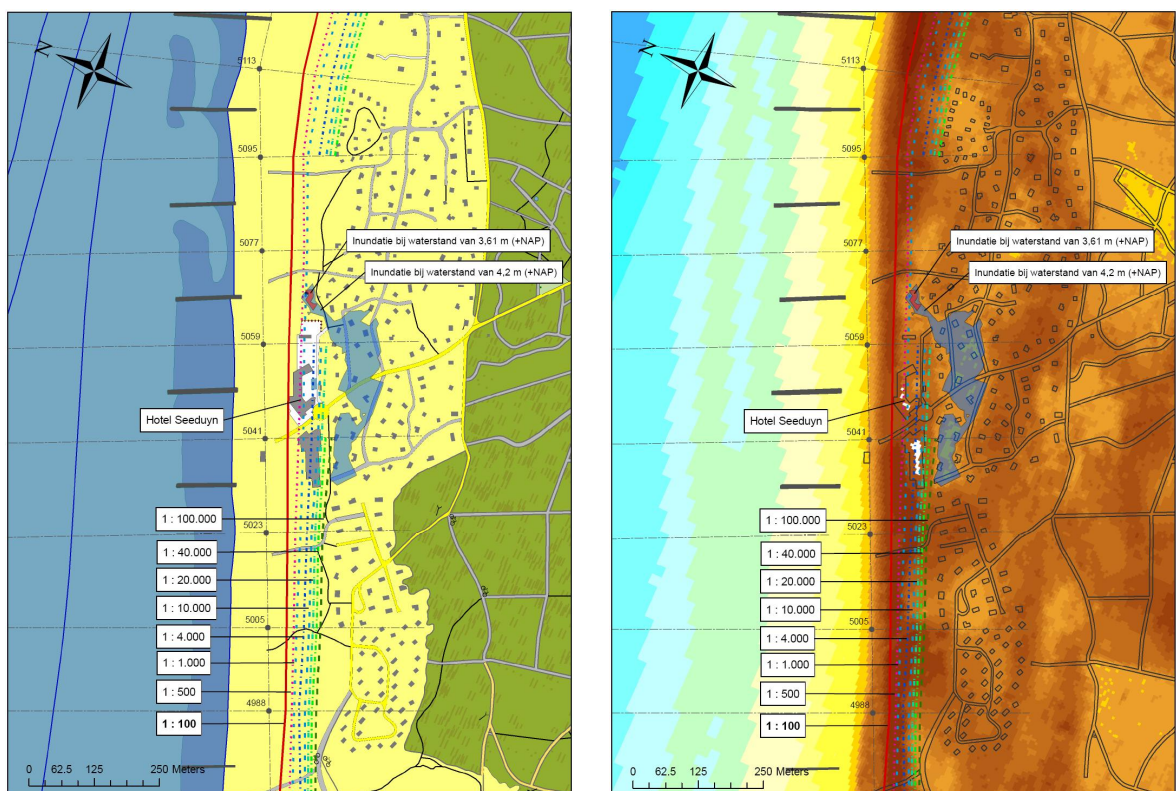
Figuur 3.18 Detailkaart Vlieland, Jachthaven, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart

Conclusie: Er zijn twee locaties met buitendijkse bebouwing aan de Waddenkust. De dorpsuitbreiding loopt kans op inundatie vanuit de Waddenzee bij een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar. Tot het jaar 2008 is een kade aanwezig met een kruinhoogte van 4,2 m + NAP en een coupure. Het is onduidelijk wat voor die omstandigheden de overschrijdingsfrequentie van de inundatie is. In 2008 is de kade versterkt. Sindsdien blijft het bedrijventerrein Oosterseveld naar verwachting droog bij waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/2.000 per jaar.

3.3.4 Centraal Vlieland

In Centraal Vlieland ligt een groot aantal recreatieverblijven waaronder Hotel Seeduyn en diverse recreatiewoningen. Figuur 3.19 geeft hiervan een overzicht, inclusief de afslaglijnen afkomstig uit de duinafslagberekeningen. Het blijkt dat er een zwakke plek in de zeereep is tussen RSP 5059 en RSP 5095. Bij een afslagkans van 1/1.000 per jaar treedt er nog geen inundatie op van de achterliggende duinvallei met recreatiewoningen (rekenpeil 3,61 m + NAP). Dit is wel het geval bij een afslagkans van 1/20.000 per jaar (rekenpeil 4,2 m + NAP). In dat geval inundeert een aantal recreatiewoningen. Het Hotel Seeduyn bevindt zich op de zeereep. Schade aan het hotel treedt op bij een overschrijdskans kleiner dan 1/100 per jaar.

In tegenstelling tot het oostelijk deel van de zeereep voor de dorpsuitbreiding, zijn voor dit deel van de kust wel twee suppleties uitgevoerd: een strandsuppletie in 2001 en een vooroeversuppletie in 2005.



Figuur 3.19 Detailkaart Centraal Vlieland, links de topografische kaart, rechts de hoogtekarte

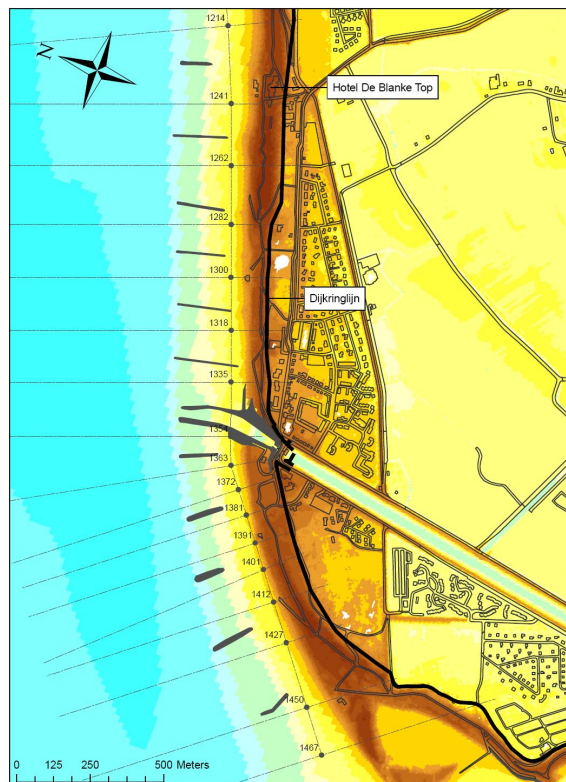
Conclusie: De duinwaterkering van Centraal Vlieland is in staat om inundatie van recreatiewoningen te voorkomen tot een overschrijdingskans van 1/1.000 per jaar. Het hotel Seeduyn dat zich op de zeereep bevindt, kan schade ondervinden met een kans kleiner dan 1/100 per jaar.

3.4 Cadzand

Het grootste deel van de bebouwing van Cadzand ligt binnendijks. Alleen Hotel “De Blanke Top” ligt in het buitendijks gebied [Figuur 3.20]. Het betreft een beperkt gebied rond Raai 1241 [Figuur 3.21].

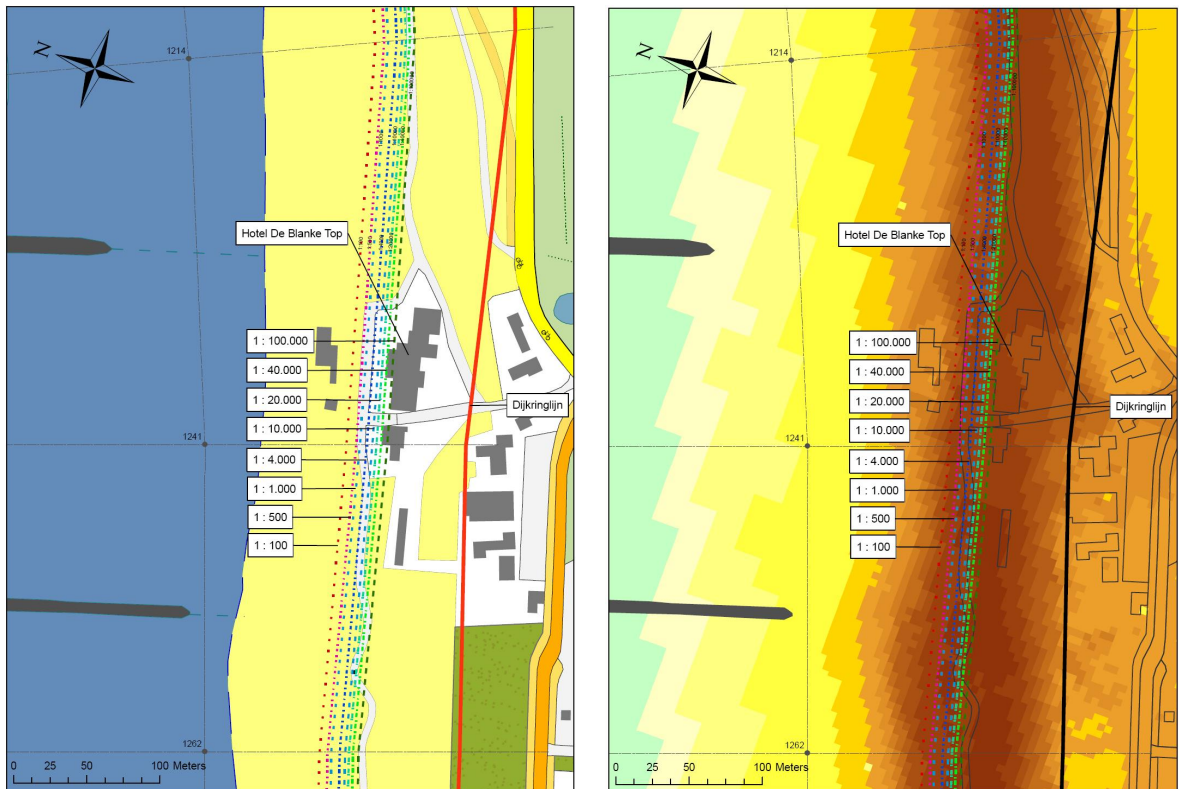


Figuur 3.20 Links: Zicht op Cadzand; Rechts: Hotel De Blanke Top [www.kustfoto.nl]



Figuur 3.21 Overzichtkaart Cadzand, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart

De berekende afslaglijnen bij Hotel De Blanke Top zijn weergegeven in Figuur 3.22. Hieruit blijkt dat de kans op schade aan Hotel De Blanke Top kleiner is dan 1/40.000 per jaar. Het kusttraject bij Hotel De Blanke Top wordt regelmatig gesuppleerd. Dit is gebeurd in 1994, 2001, 2005 en 2009.



Figuur 3.22 Afslaglijnen bij Hotel De Blanke Top; Links de topografische kaart, Rechts de hoogtekaart

Conclusie: Bij Cadzand ligt alleen Hotel De Blanke Top buitendijks. De kans op schade door duinafslag is kleiner dan 1/40.000 per jaar.

4 Kustplaatsen zonder duinwaterkering

4.1 IJmuiden

4.1.1 Buitendijkse gebieden IJmuiden

In de gemeente Velsen, waar IJmuiden onderdeel van is, komt een aantal buitendijkse gebieden met bebouwing voor rond IJmond. IJmond is de naam voor de monding van het Noordzeekanaal, de belangrijkste verbinding tussen het Amsterdamse havengebied en de Noordzee, die tussen 1865 en 1876 aangelegd. Zeewaarts bevinden zich de Havenhoofden van IJmuiden, die bescherming bieden tegen golfdoordringing in de IJmond en tegen aanzanding van de vaargeul. Deze havenhoofden blijken dringend aan renovatie toe. Volgens planning wordt in 2012 begonnen met de uitvoering hiervan. Afronding is voorzien in 2015. Enkele kilometers landinwaarts bevindt zich het sluisencomplex, bestaande uit de Zuidersluis, de Middensluis en de Noordersluis. Er zijn plannen voor uitbreiding, vanwege te toename van de scheepvaart.



Figuur 4.1 Overzichtkaart IJmond met dijkkringlijn, links de topografische kaart, rechts de hoogtekart

De dijkkringlijn die de grens vormt tussen buitendijkse en binnendijkse gebieden loopt in een grote boog om de IJmond heen [Figuur 4.1]. Als gevolg hiervan liggen de volgende gebieden buitendijks:

- Ten noorden van de IJmond ligt het industrieterrein van Corus.
- Ten zuiden van IJmond ligt het havengebied van IJmuiden met daarin de Vissershaven, de Haringhaven en de IJmondhaven.
- Midden in de IJmond ligt het Forteiland, onderdeel van de Stelling van Amsterdam.
- In de oksel van de zuidelijke pier van IJmuiden is de kust ver uitgebreid. Hier bevindt zich onder andere de Marina IJmuiden.
- Tussen de Vissershaven en de Zuiderluis bevindt zich de historische dorpskern Oud – IJmuiden [Figuur 4.2].

Over het algemeen hebben deze buitendijkse gebieden een hoge ligging, omdat het een voormalig duingebied betreft dat met de aanleg van het Noordzeekanaal is doorgraven. Een uitzondering hierop betreft de Marina welke buitengaats van de oorspronkelijke zeereep ligt.



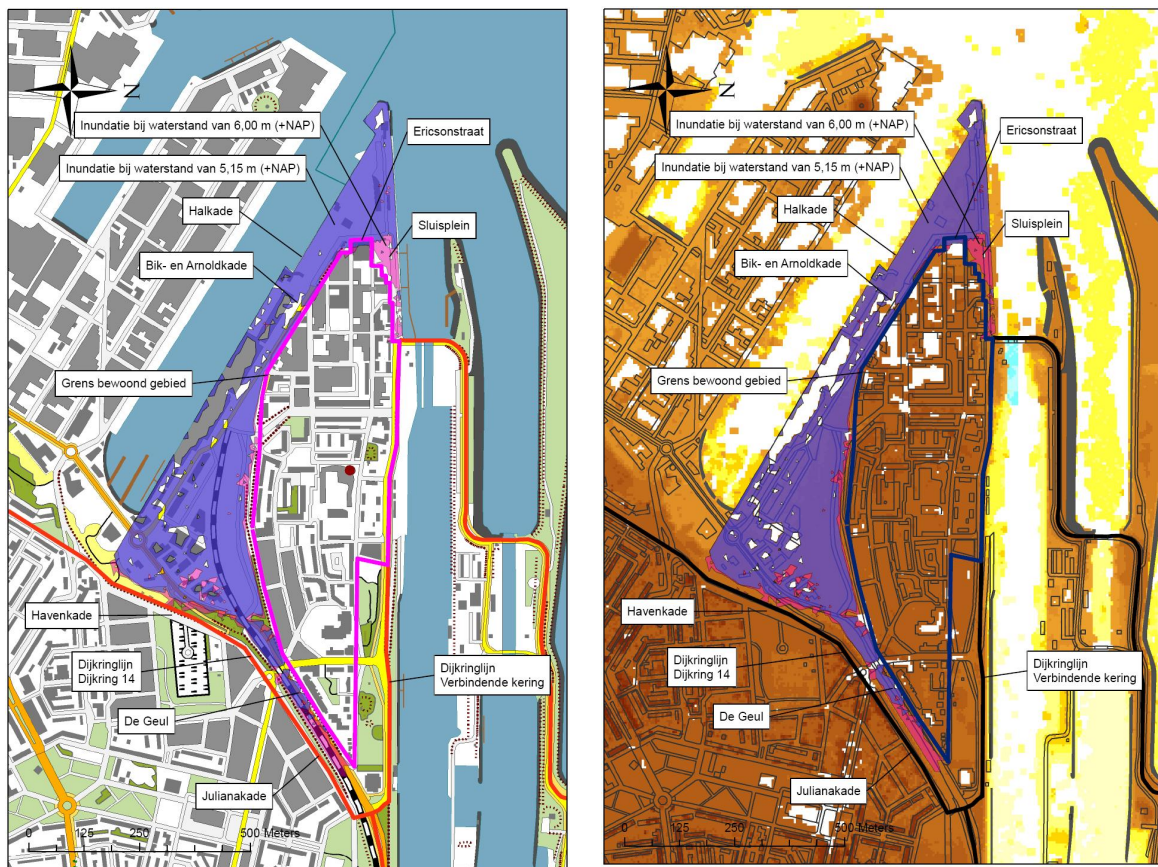
Figuur 4.2 Sluizencomplex IJmuiden (links), Oud – IJmuiden (rechts) en de ingang tot de Vissershaven (uiterst rechts) [www.kustfoto.nl]

Er zijn drie waterkeringbeheerders voor de primaire waterkering rond IJmond:

- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier beheert de waterkering aan de noordelijke oever van IJmond.
- Hoogheemraadschap Rijnland beheert de waterkering aan de zuidelijke oever van IJmond
- Rijkswaterstaat beheert het sluizencomplex als een verbindende kering tussen Dijkkringgebied 13 (Noord – Holland) en Dijkkringgebied 14 (Centraal Holland).

4.1.2 Oud – IJmuiden

Van de buitendijkse gebieden met bebouwing wordt alleen Oud – IJmuiden meegenomen in het project 13 Kustplaatsen. De primaire waterkering die in beheer is bij het Hoogheemraadschap Rijnland loopt ten oosten van Oud – IJmuiden via de Havenkade en de Julianakade door tot het Noordzeekanaal [Figuur 4.3]. De waterkering wordt hier getoetst als een duinwaterkering. De dorpskern kan worden gekarakteriseerd als “voorland” en maakt geen deel uit van de kernzone. Tussen de primaire waterkering en Oud – IJmuiden bevindt zich een depressie, met de toepasselijke naam “Geul”. Omdat een deel van de woningbouw verouderd is, worden in 2010 veel woningen gesloopt en vervangen door nieuwbouw.



Figuur 4.3 Detailkaart Oud – IJmuiden, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart

Rijkswaterstaat beheert eveneens een deel van de primaire waterkering aan de rand van Oud – IJmuiden. Het betreft de verbindende kering tussen Dijkkring 13 en Dijkkring 14. Hiervoor is op 21 december 2009 de legger vastgesteld.

Aan de zuidzijde wordt Oud – IJmuiden begrensd door de Halkade aan de Vissershaven. Hier meren de veerboten aan van rederij DFDS Seaways, die een verbinding onderhoudt met Newcastle in Groot – Brittannië. Verder bevinden zich hier bedrijven die gerelateerd zijn aan de visserij. Tijdens maatgevende omstandigheden staat deze kade onder water.

Bovenlangs de Halkade loopt de Bik- en Arnoldkade, die tijdens maatgevende omstandigheden droog blijft. Tussen de Halkade en de Bik- en Arnoldkade ligt een steil talud of een grondkerende muur die beheerd wordt door de Gemeente Velsen [Figuur 4.4]. Vanwege de stabiliteit van het grondlichaam zal deze constructie op termijn moeten worden vernieuwd of versterkt.

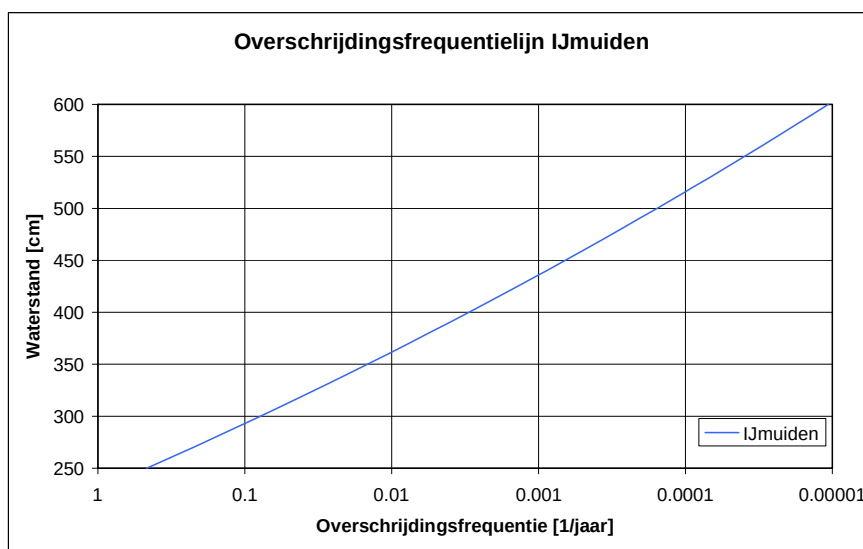
Aan de noordzijde bevindt zich het Noordzeekanaal met de Zuiderluis. Hier ligt de kade Sluisplein met gedeeltelijk een keermuur [Figuur 4.5]. Deze figuur laat ook zien dat de bebouwing op een verhoging is gebouwd, mogelijk om wateroverlast tijdens storm te voorkomen of te beperken. Deze kade komt tijdens maatgevende omstandigheden gedeeltelijk onder water te staan.



Figuur 4.4 Onder de Halkade en boven de Bik- en Arnoldkade [Provincie Noord - Holland]



Figuur 4.5 Sluisplein met links de brug over de Zuiderluis [GoogleEarth]



Figuur 4.6 Overschrijdingsfrequentielijn voor de waterstand voor peilstation IJmuiden

De overschrijdingsfrequentielijn voor IJmuiden is weergegeven in Figuur 4.6. Het ontwerppeil voor de waterkering bij IJmuiden (dit is de waterstand bij een overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar) bedraagt 5,15 m + NAP [Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a)]. Uit Figuur 4.3 komt naar voren welk deel van het buitendijks gebied hoger ligt dan dit ontwerppeil. Het betreft vrijwel alle bebouwing van Oud – IJmuiden, met uitzondering van één pand aan de Ericsonstraat. Er is eveneens gekeken welk deel van het gebied hoger ligt dan 6,0 m+ NAP. Hierbij hoort een overschrijdingsfrequentie van 1/100.000 per jaar, of een zeespiegelstijging van 85 cm. Ook in dat geval blijkt het bebouwde gebied hoger dan dit waterpeil. Alleen het Sluisplein en de Geul hebben dan meer overstroomd oppervlak. Hier bevindt zich echter geen bebouwing. Deze uitkomst sluit overigens aan bij de risico-inventarisatie die in 2005 is uitgevoerd in opdracht van de Provincie Noord – Holland [WL | Delft Hydraulics (2005)].

In bovenstaande analyse is geen rekening gehouden met golfoploop, waar de eerste rij bebouwing mee te maken kan hebben. Deze golfoploop wordt sterk gereduceerd door de havenhoofden en het Forteiland. Het is niet bekend hoeveel golfoploop er kan optreden. De HR2006 biedt hier in ieder geval geen inzicht in.

Conclusie: Vrijwel alle bebouwing van Oud – IJmuiden ligt boven het ontwerppeil van 6,00 m + NAP, wat de waterstand is met een overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar en een zeespiegelstijging van 85 cm.

4.2 Vlissingen

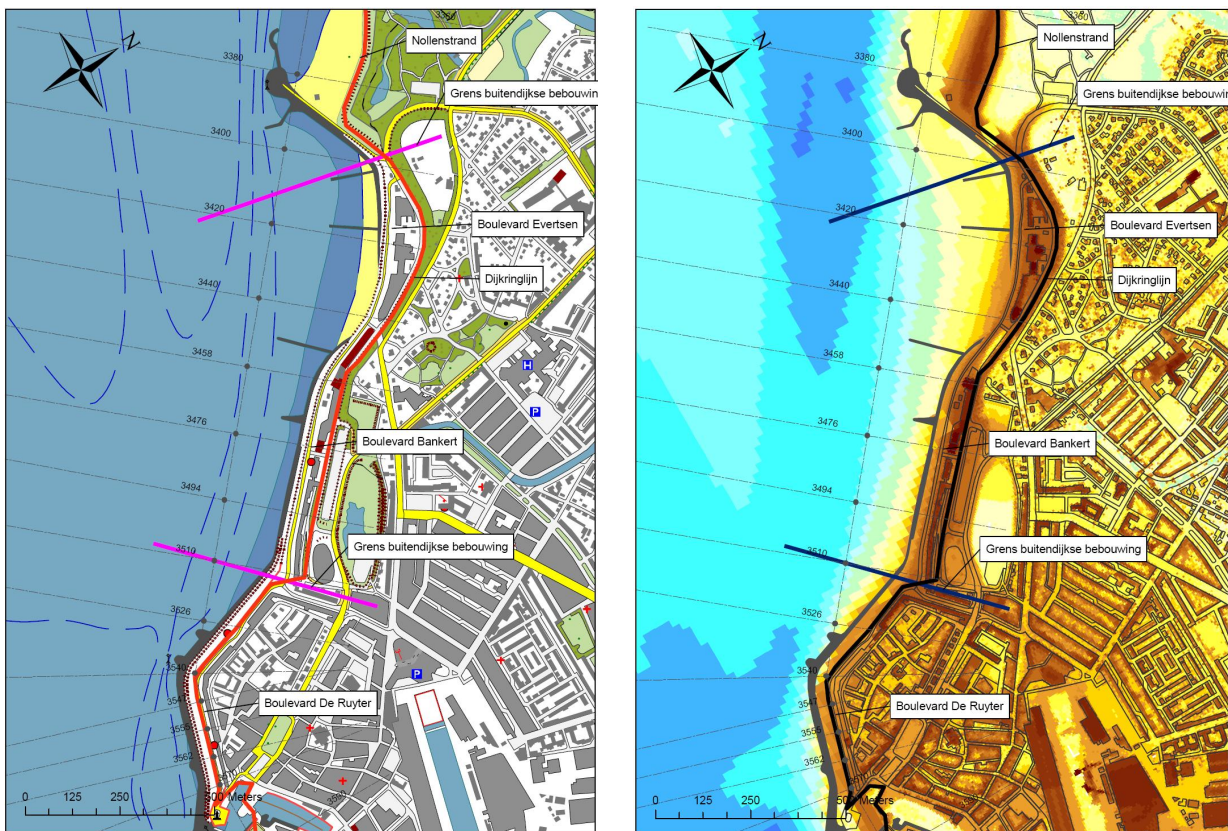
4.2.1 Buitendijkse bebouwing op de waterkering Vlissingen

De waterkering van de Vlissingen bestaat uit verschillende delen [Figuur 4.7]:

- In het westen van de stad deel bevindt zich het Nollenstrand met een duinwaterkering. Dit deel van de waterkering wordt in het kader van Zwakke Schakels versterkt.
- In het centrum bestaat de waterkering uit de Boulevard Evertsen, Boulevard Bankert en Boulevard De Ruijter.
- In het oosten van de stad ligt de waterkering achter de haven van Vlissingen (buiten de kaart).

Alleen op de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert komt aaneengesloten buitendijkse bebouwing voor. In de overige delen van de waterkering is hiervan geen sprake. Aan deze delen wordt in het rapport verder geen aandacht aan besteed.

De boulevards zullen op termijn te laag zijn om een stijgende zeespiegel in combinatie met golfoverslag te weren. Daarom zijn de boulevards in beeld geweest bij het versterkingsplan van de Zwakke Schakel Zuidwest Walcheren. Uiteindelijk is besloten hier geen voorkeursalternatief voor te ontwikkelen, maar te wachten tot er grote planologische aanpassingen aan de boulevards worden doorgevoerd (zie kader).



Figuur 4.7 Overzichtskaart Vlissingen, links de topografische kaart, rechts de hoogtekaart

Uit: Provincie Zeeland (2006)

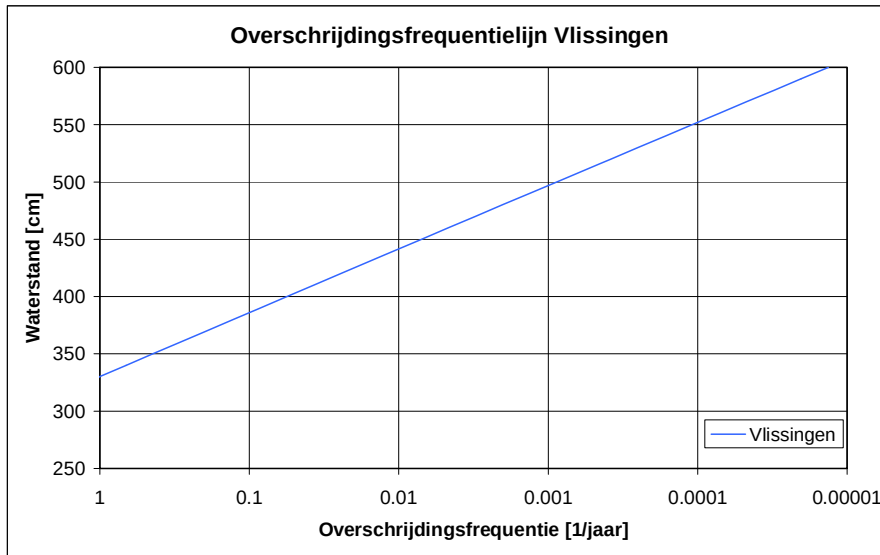
Voor dit deelgebied [De boulevards van Vlissingen] is overeen gekomen voorlopig geen voorkeursalternatief te kiezen. Hiervoor is een maatwerkoplossing nodig, waarbij een integraal plan gemaakt wordt voor de kustversterking in combinatie met de gewenste ruimtelijke ontwikkeling.

De verder in de toekomst te kiezen integrale oplossing hangt nauw samen met de ontwikkeling van de boulevard en het achterliggende stedelijke gebied. Zodra gemeente Vlissingen het initiatief wenst te nemen tot deze planontwikkeling zal dat in nauw overleg gebeuren met het Waterschap. Op deze wijze zal maatwerk geleverd worden in de vorm van een integraal en innovatief ontwerp dat recht doet aan de allure van de boulevard en haar historie, en tevens de kustveiligheid op lange termijn garandeert.

Mocht de stedenbouwkundige aanleiding er tussen 2020 en 2050 nog niet zijn (wat betwijfeld mag worden), dan zal een ingreep vanuit de veiligheid onvermijdelijk zijn.

Bovenstaand betekent nog niet dat Vlissingen voorlopig een probleem minder heeft. Grootschalige ingrepen op korte termijn zijn niet nodig maar het denkproces en de visievorming die in de planstudie gestart zijn zouden een vervolg kunnen krijgen om over een jaar of 10 tot 20 een veel duidelijker beeld te hebben van oplossingen die wel acceptabel zijn en van de te volgen strategie om die te gaan realiseren. Duidelijk is immers geworden dat eenvoudige oplossingen, om de boulevard voor de lange termijn voldoende veilig te houden, niet voorhanden zijn. Compromissen zijn ook niet aan de orde. De enorme complexiteit vraagt een lang voorbereidings- en leerproces. Vlissingen heeft een unieke positie aan de Noordzee en deze stad kan een voorbeeldfunctie gaan vervullen hoe een maritieme stad met lef en visie kan komen tot duurzame en klimaatbestendige stedenbouwkundige vernieuwing. Dat vraagt durf en vooruitzien van alle betrokken partijen.

Het ontwerppeil voor de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert, behorende bij een norm van 1/4.000 per jaar, bedraagt 5,2 m + NAP. Figuur 4.8 geeft de overschrijdingsfrequentielijn weer voor het meetstation bij Vlissingen volgens Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a).



Figuur 4.8 Overschrijdingsfrequentielijn voor de waterstand voor peilstation Vlissingen

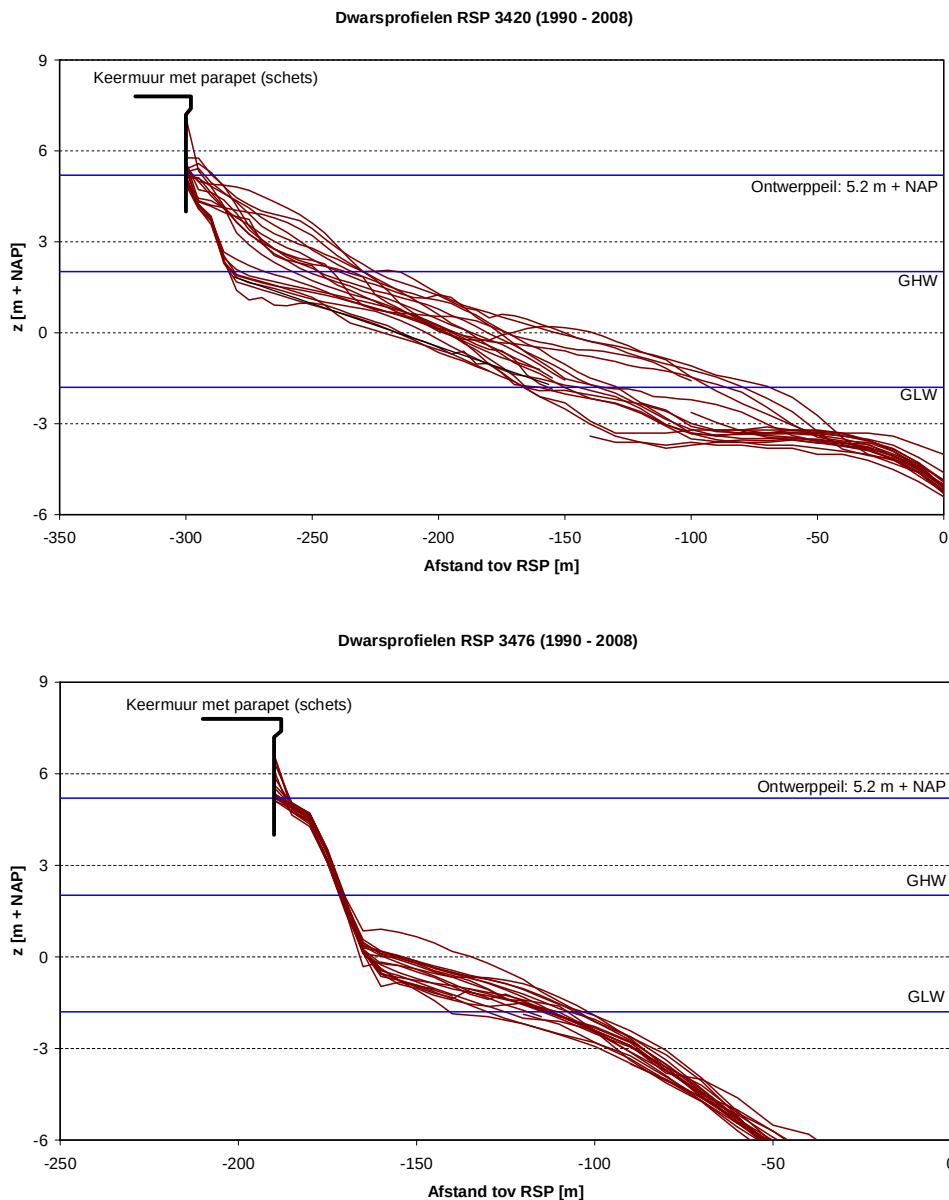
Bij de buitendijkse bebouwing op de boulevards wordt bij vergunningverlening al lange tijd rekening gehouden met een toekomstige versterking van de boulevard als gevolg van zeespiegelstijging. Dit heeft ertoe geleid dat deze boulevards als voorbeeld worden genoemd in de Beleidslijn Kust (zie kader).

Uit: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007b)

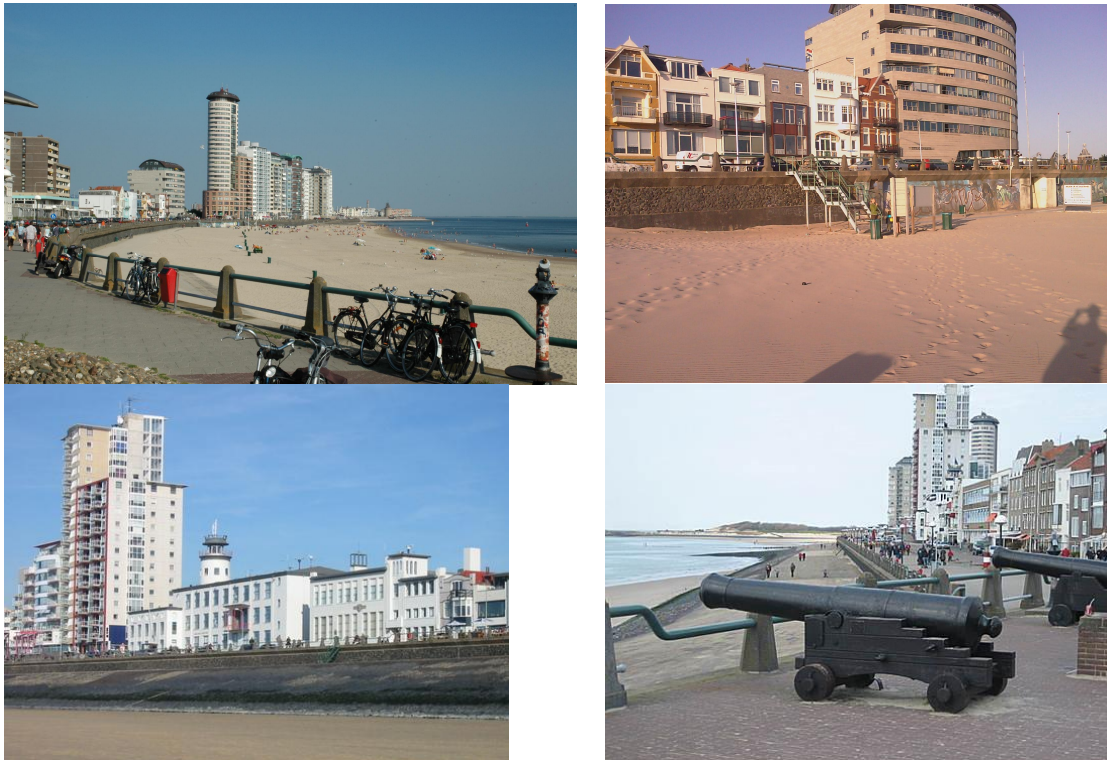
De historie van de bebouwing op de boulevards Bankert en Evertsen in Vlissingen gaat ver terug. In 1959 deelt de Provincie Zeeland mee (aan de gemeente) dat rekening moet worden gehouden met een verhoging tot omstreeks N.A.P.+10,00 meter. Na de zeewaartse versterking van beide boulevards in 1984 bepaalt de provincie dat voor nieuwbouw een verdiepinghoogte van N.A.P. +10,20 m moet worden aangehouden. In eerste instantie moet omvangrijke nieuwbouw worden voorzien van een gesloten muur tot genoemde hoogte. De kleinere tussenliggende bouwwerken mogen met een vloerhoogte van N.A.P.+9,00 meter worden uitgevoerd. Vanaf 1994 gaat het bevoegd gezag voor de waterkering over op waterschap Walcheren en nog later op het waterschap Zeeuwse Eilanden. Het beleid van de provincie wordt overgenomen. In die tijd start ook de bouw van de grote projecten op de boulevard, met hotel Arion als eerste. Vanwege de aanwezige breedte van de boulevard ter plaatse van de eerste nieuwbouw was het geen probleem om uitvoering te geven aan het beleid. Meer westwaarts, richting boulevard Evertsen, ontbrak de ruimte om een dergelijke in het stadsbeeld passende oplossing te maken. In overleg tussen de provincie en de gemeente is in 1995 de oplossing van de uitwisselbare verdiepingen geïntroduceerd. Dit houdt in dat de hoogte van vloer tot plafond op de begane grond dermate hoog is dat de vloerhoogte mee kan stijgen bij verhoging van de boulevard, alias de waterkering. Dit principe, inclusief de vloerhoogte, is in de herziening van het bestemmingsplan (1996) opgenomen. Tevens is een overeenkomst tussen het waterschap en de gemeente gesloten, waarin is opgenomen dat de gemeente de kosten draagt van het aanpassen van de betreffende panden op het moment dat de boulevards verhoogd gaan worden.

Voor de waterkering van de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert ligt een strand. Een overzicht van de dwarsprofielen voor RSP 3420 (Boulevard Evertsen) en RSP 3476

(Boulevard Bankert) is weergegeven in Figuur 4.9. De keermuur is hier schetsmatig aan toegevoegd. Deze figuur toont tevens het ontwerppeil, de Gemiddelde HoogWaterstand (GHW) en de Gemiddelde LaagWaterstand (GLW). Voor de Boulevard Evertsen heeft het strand een belangrijke toeristische functie. Ten westen van RSP 3458 wordt dit deel van de kust ook onderhouden in het kader van het programma kustlijnzorg. Sinds de strandsuppletie in 1997 ligt een deel van het strand boven de hoogwaterlijn. Deze suppletie is herhaald in 2002 en 2006. Voor de Boulevard Bankert geldt dat het strand in vrijwel alle jaren onder het hoogwaterniveau ligt. Hoewel dit deel van de kust formeel niet getoetst wordt binnen het programma kustlijnzorg, is het strand wel gesuppleerd tijdens de suppleties voor Boulevard Evertsen.



Figuur 4.9 Jarkusprofielen voor Boulevard Evertsen (RSP 3420) en Boulevard Bankert (RSP 3476)



Figuur 4.10 Linksboven: Zicht op de Boulevard Evertsen vanuit het westen. Rechtsboven: Zicht op de keermuur van Boulevard Evertsen. De onderliggende glooiing is volledig bedekt met zand. Linksonder: Zicht op boulevard Bankert met de asfaltbekleding en de keermuur. Rechtsonder: Zicht op de Boulevard Bankert vanuit het oosten [Googleearth]

De harde kering in de boulevard bestaat aan de buitenzijde uit een talud van gezette steen en asfaltbekleding. Dit deel is in 2009 versterkt. Daarboven is een verticale keermuur met een constructie om de golfoverslag te reduceren (parapet) [Figuur 4.10]. De bovenkant van de boulevard ligt op een niveau van 7,80 m + NAP. Hier bevindt zich de bestrating en de aaneengesloten bebouwing. Achter de bebouwing ligt een hogere dijk die voorkomt dat water de stad binnendringt. De bekleding en de keermuur dienen standzeker te zijn voor de veiligheidsnorm van dit dijkkringgebied (1/4000 per jaar). Dit betekent dat de boulevard en de achterliggende dijk alleen te maken hebben met golfoverslag over de keermuur.

4.2.2 Kans op schade aan bebouwing door golfoverslag

De ligging van de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert is voldoende hoog om inundatie onder normcondities met een toetspeil van 5,2 m + NAP te kunnen weerstaan. Er dient wel rekening te worden gehouden met golfoverslag over de kering, mogelijk tot tegen de buitendijkse bebouwing aan. Afhankelijk van de hoeveelheid water die een gebouw kan weerstaan, is hierbij sprake van wateroverlast of daadwerkelijke schade aan het object. Normaliter wordt een debiet van 1 l/m/s schadelijk geacht [www.overtopping-manual.com (2007)]. Omdat voor de bebouwing op de Boulevards voorzieningen zijn getroffen tegen wateroverlast, kan voor Vlissingen een hogere waarde dan 1 l/m/s worden verwacht als grens voor de schade.

De hoeveelheid golfoverslag waarmee de bebouwing te maken krijgt hangt af van een aantal factoren [Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (2002)]:

- De hydraulische condities in de Westerschelde. Het gaat hierbij om de waterstand en de golfcondities. Een stijging van de waterstand als gevolg van klimaatsveranderingen leidt tot een toename van het golfoverslagdebiet voor een gegeven overschrijdingsfrequentie.
- De ligging van de vooroever en het strand. Bij een hoge ligging vindt er meer golfbreking plaats dan bij een lage ligging. In dat geval neemt de hoeveelheid golfoverslag af.
- De vorm van de keermuur en de parapet. Door de keermuur zal een deel van de golven reflecteren, en neemt de hoeveelheid golfoverslag af.
- De hoogte van de kruin van de boulevard achter de keermuur. Hoe hoger de kruin, hoe lager de hoeveelheid golfoverslag.

Figuur 4.9 laat zien dat de ligging van strand en vooroever per jaar varieert. Om het effect op golfoverslag inzichtelijk te maken, zijn in bijlage D golfoverslagberekeningen uitgevoerd voor profiel RSP 3420 (Boulevard Evertsen). Deze berekeningen zijn uitgevoerd met het model Hydra – K, dat wordt meegeleverd met het Hydraulisch Randvoorwaardenboek HR2006. Uit de berekeningen blijkt dat een hoge vooroever in de vorm van een strand sterk kan bijdragen aan een afname van de overschrijdingskans voor golfoverslag. Het verschil tussen een kans bij een laag profiel en een hoog profiel kan voor een gegeven golfoverslagdebiet een factor tussen 150 en 350 bedragen.

Er past wel een kanttekening bij deze berekeningen, aangezien is uitgegaan van een dwarsprofiel zoals dat aanwezig is voor het begin van de storm. Naar verwachting zal het profiel tijdens de storm door afslag worden verlaagd. Hierdoor neemt de golfwerende functie van het strand af. Er bestaat nog geen geaccepteerde rekenmethode om golfoverslag te berekenen voor een hybride kering waarbij zowel de boulevard als de zandige vooroever bijdragen aan de sterkte. Zolang deze rekenmethode ontbreekt, is het niet mogelijk om vast te stellen wat de hoeveelheid golfoverslag als functie van de overschrijdingskans zal zijn.

Conclusie: De buitendijkse bebouwing bij Vlissingen bevindt zich boven op de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert. De boulevard wordt beschermd door een keermuur, die als onderdeel van de primaire waterkering aan de wettelijke toetsvoorschriften dient te voldoen. Schade aan bebouwing treedt alleen op als gevolg van golfoverslag. Het is echter niet mogelijk om de kans op schade te berekenen. Het is onduidelijk welk golfoverslagdebiet voor Vlissingen maatgevend is voor het optreden van schade aan de bebouwing. Verder is er geen rekenmethode beschikbaar voor golfoverslag, waarbij rekening wordt gehouden met erosie van het voorliggende strand tijdens een storm.

5 Beschermingsmogelijkheden voor harde keringen

In de eerste fase van het project 13 Kustplaatsen zijn de risico's voor buitendijkse bebouwing onderzocht voor zeven Hollandse kustplaatsen. In alle gevallen betrof het een kustplaats die wordt beschermd door een duinwaterkering, en waarvoor kustlijn­zorg plaatsvindt. Het handhaven van een beschermingsniveau voor deze kustplaatsen is relatief eenvoudig uit te voeren met bestaande kustsuppletietechnieken.

In de tweede fase van het project is een aantal situaties aangetroffen waarbij geen sprake is van bescherming door een duinwaterkering. Het betreft de volgende kustplaatsen:

- West – Terschelling
- Oost – Vlieland (Waddenkust)
- Oud – IJmuiden
- Vlissingen

De eerste drie locaties lopen voornamelijk kans op schade door inundatie vanwege een te hoge waterstand. Vanwege de beschutte ligging is de golfaanval relatief gering. Voor Vlissingen geldt dat vooral golfoverslag kan zorgen voor schade aan de bebouwing. De boulevard ligt hoog genoeg om de kans op inundatie te kunnen verwaarlozen.

Om buitendijkse bebouwing te beschermen tegen inundatie zijn de volgende maatregelen mogelijk:

- Aanleg van een dijklichaam voor de bebouwing. Deze oplossing is in 2008 toegepast voor het bedrijventerrein Oosterseveld in Oost – Vlieland. In veel gevallen is deze oplossing niet mogelijk omdat er onvoldoende ruimte aanwezig is. Met name in havengebieden gaat deze oplossing moeilijk samen met het scheepvaartverkeer en het vrachtverkeer.
- De aanleg van waterkerende constructies op de kade. Voorbeelden van permanente constructies hiervan zijn de keermuur op West – Terschelling en particuliere keermuurtjes voor de bebouwing van de dorpsuitbreiding van Oost – Vlieland aan de Waddenkust. Ook is het mogelijk om mobiele constructies aan te brengen die bijvoorbeeld kunnen verzinken in de kade. Een voorbeeld hiervan is beschreven door Haskoning (2008).
- Wanneer er sprake is van stadsvernieuwing met sloop van de oude bebouwing, kan ervoor worden gekozen om vóór de bouw van nieuwe woningen het terrein op te hogen.

Bovengenoemde maatregelen helpen ook om de effecten van golfoverslag te beperken. Als dit het maatgevend schademechanisme is, zijn ook de volgende twee maatregelen effectief:

- Door het voorland te verhogen neemt de hoeveelheid golfoverslag af. Dit is uitgewerkt in bijlage D voor de Boulevard Evertsen bij Vlissingen.
- Het is mogelijk om schadebeperkende voorzieningen te treffen aan de bebouwing. Hierdoor kan gerekend worden met een hoger overslagdebiet dan 1 l / m / s. Dit resulteert in een lagere overschrijdingsfrequentie voor schade aan de buitendijkse bebouwing.

Met uitzondering van het periodiek verhogen van de vooroever om golfoverslag te beperken, hebben deze maatregelen een ingrijpend effect op de ruimtelijke ordening van het gebied. De

maatregelen hebben in de meeste gevallen een incidenteel karakter, wat betekent dat het 50 tot 100 jaar kan duren voordat er weer een nieuwe maatregel te verwachten is. Als gedurende deze tijd de waterstand stijgt, zal de overschrijdingskans voor inundatie of golfoverslag toenemen. Het is verstandig om bij de (her)bouw van nieuwe gebouwen hier rekening mee te houden.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies rekenmethoden

VTV – procedure

De VTV – procedure die in de eerste fase van het project 13 Kustplaatsen is ontwikkeld, is uitgebreid voor duindoorkraak. Het is nu mogelijk om voor hogere kansen de kans op doorbraak van de zeereep te bepalen en de inundatie van een duinvallei na duindoorkraak in kaart te brengen.

Voor de kustplaatsen Ameland, Terschelling, Vlieland en Cadzand is een vergelijking gemaakt tussen de VTV – procedure en een probabilistisch model. Om deze probabilistische berekeningen succesvol te laten verlopen is het model verder ontwikkeld, waarbij aanpassingen zijn doorgevoerd in het statistisch model, en de duinafslagroutine die nu beter in staat is om te gaan met geulen en duinvalleien. De verschillen tussen het probabilistisch model en de VTV – procedure zijn in het algemeen kleiner dan 5 meter, wat vergelijkbaar is met de eerder onderzochte, zeven Hollandse Kustplaatsen. Alleen voor Vlieland is het verschil groter dan 10 m extra duinafslag. Dit is meegenomen in de bepaling van de overschrijdingskansen van duinafslag.

Inundatiekansen kustplaatsen zonder duin

De inundatiekansen voor kustplaatsen zonder duin (West – Terschelling, Oost – Vlieland Waddenkust en Oud – IJmuiden) zijn berekend met de volgende procedure. Op basis van de waterstandstatistiek volgens Rijkswaterstaat – RIKZ (2006a) is de waterstand als functie van de overschrijdingsfrequentie afgeleid. Vervolgens is in een GIS –kaart nagegaan of dit leidt tot inundatie van bebouwing in buitendijks gebied. Hierbij is rekening gehouden met de aanwezigheid van een dijklichaam of keermuur. Er wordt geen rekening gehouden een lokale afwijking van de waterstand door golven of wind.

Kans op golfoverslag Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert

Bij de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert is sprake van een ondiep voorland in de vorm van een strand met een verticale keermuur. Er bestaat geen geaccepteerde rekenmethode om de overschrijdingsfrequentie voor golfoverslag te bepalen, waarbij rekening wordt gehouden met erosie van het voorland tijdens storm.

6.2 Conclusies kustplaatsen

In de tweede fase van het project 13 Kustplaatsen zijn de risico's voor buitendijks bebouwd gebied onderzocht voor de kustplaatsen Ameland, Terschelling, Vlieland, Cadzand, IJmuiden en Vlissingen. Hierbij bleken verschillende schademechanismen maatgevend, namelijk: duinafslag, inundatie na duindoorkraak, inundatie zonder duin en golfoverslag. Tabel 6.1 geeft de overschrijdingskansen voor de kustplaatsen voor het maatgevend schademechanisme, waarbij nog net geen schade aan de bebouwing wordt verwacht. Dit is een uitbreiding van Tabel 1.1.

In de hoofdtekst is na elke locatie een korte conclusie weergegeven. We herhalen deze conclusies in deze paragraaf.

Kustplaats	Sublocatie	Maatgevend schademechanisme	Overschrijdingsfrequentie [1/jaar]
Ameland		Inundatie na duindoorbraak	1/20.000
Terschelling	Midland aan Zee en West aan Zee	Duinafslag	1/100.000
	West – Terschelling	Inundatie	1/80
Vlieland	Dorpsuitbreiding	Inundatie na duindoorbraak	1/100
	Waddenkust	Inundatie	1/100
	Centraal Vlieland	Duinafslag	1/100
Cadzand		Duinafslag	1/40.000
Oud IJmuiden		Inundatie	1/10.000
Vlissingen		Golfoverslag	Onbekend

Tabel 6.1 Kustplaatsen 2^e fase met deelgebieden en het maatgevend schademechanisme

Ameland

Voor de kustplaats Ameland is nagegaan wat de kansen op inundatie zijn voor bebouwing in buitendijks gebied in de omgeving van RSP 1320. De kans op overstroming van het buitendijks gebied is kleiner dan 1/20.000 per jaar, waarbij naar alle waarschijnlijkheid de camping en twee appartementencomplexen zullen worden getroffen. De meeste vakantiewoningen die meer landwaarts liggen blijven droog.

Terschelling

Door de aanwezigheid van een grote strandvlakte treedt er voor de zeereep van Midland aan Zee en West aan Zee weinig duinafslag op. Zelfs bij omstandigheden die zich eens per 100.000 jaar voordoen is er nog geen enkel probleem voor de aanwezige bebouwing.

Tijdens hoogwater kan een strook bebouwing achter de Willem Barentszkade schade ondervinden. De aanwezige keermuur zal bij een overschrijdingsfrequentie van 1/80 per jaar overstromen. Bij lagere waterstanden kan golfoverslag worden verwacht.

Vlieland

De kans dat de zeereep van het gebied “Dorpsuitbreiding Oost – Vlieland” faalt, ligt tussen de 1/100 en 1/500 per jaar. In dat geval zal een deel van de dorpsuitbreiding inunderen met een waterdiepte van ongeveer een halve meter.

Er zijn twee locaties met buitendijkse bebouwing aan de Waddenkust. De dorpsuitbreiding loopt kans op inundatie vanuit de Waddenzee bij een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar. Tot het jaar 2008 is een kade aanwezig met een kruinhoogte van 4,2 m + NAP en een coupure. Het is onduidelijk wat voor die

omstandigheden de overschrijdingsfrequentie van de inundatie is. In 2008 is de kade versterkt. Sindsdien blijft het bedrijventerrein Oosterseveld naar verwachting droog bij waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/2.000 per jaar.

De duinwaterkering van Centraal Vlieland is in staat om inundatie van recreatiewoningen te voorkomen tot een overschrijdingskans van 1/1.000 per jaar. Het hotel Seeduyn dat zich op de zeereep bevindt, kan schade ondervinden met een kans kleiner dan 1/100 per jaar.

Cadzand

Bij Cadzand ligt alleen Hotel De Blanke Top buitendijks. De kans op schade door duinafslag is kleiner dan 1/40.000 per jaar.

Oud – IJmuiden

Vrijwel alle bebouwing van Oud – IJmuiden ligt boven het ontwerppeil van 6,00 m + NAP, wat de waterstand is met een overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar en een zeespiegelstijging van 85 cm.

Vlissingen

De buitendijkse bebouwing bij Vlissingen bevindt zich boven op de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert. De boulevard wordt beschermd door een keermuur, die als onderdeel van de primaire waterkering aan de wettelijke toetsvoorschriften dient te voldoen. Schade aan bebouwing treedt alleen op als gevolg van golfoverslag. Het is echter niet mogelijk om de kans op schade te berekenen. Onduidelijk welk golfoverslagdebiet voor Vlissingen maatgevend is voor het optreden van schade aan de bebouwing. Verder is er geen rekenmethode beschikbaar voor golfoverslag, waarbij rekening wordt gehouden met erosie van het voorliggende strand tijdens een storm.

6.3 Conclusies beschermingsmogelijkheden harde keringen

Voor kustplaatsen zonder duin hebben aanpassingen aan de waterkering een grote impact op de omgeving. Dergelijk maatregelen zijn daarom duur en worden slechts incidenteel uitgevoerd (50 – 100 jaar). Dit betekent dat er niet op een flexibele wijze kan worden geanticipeerd op veranderende hydraulische condities.

6.4 Aanbevelingen verder onderzoek

In dit rapport zijn verschillende rekenmethode toegepast voor de mechanismen duinafslag, inundatie na duindoorbraak, inundatie zonder duin en golfoverslag. Het verdient aanbeveling om de conclusies uit paragraaf 6.1 mee te nemen bij een verdere ontwikkeling van deze rekenmethoden. Concreet betreft dit:

- De VTV – procedure met duindoorbraak kan bijdragen aan een toetsmethode voor dubbele duinenrijen.
- De ontwikkelingen van het probabilistisch model zijn van belang voor de nieuwe detailtoets duinafslag ten behoeve van het VTV2011 en de HR2011.
- Voor de kustplaatsen West – Terschelling, Oost Vlieland en Oud – IJmuiden is een rekenmethode wenselijk waarbij niet alleen wordt gekeken naar de overschrijdingskans van de waterstand op de meetstations, maar ook naar de invloed van wind en golven bij de vertaling naar de interessegebieden.
- Voor Vlissingen is behoefte aan een rekenmethode voor golfoverslag dat rekening houdt met een eroderende vooroever tijdens storm.

A Referenties

Deltares. 2008. *Bepaling beschermingscontouren kustplaatsen. Resultaten voor de zeven Hollandse kustplaatsen.* (H5016). Kennisalliantie Kustplaatsen: Deltares, Technische Universiteit Delft, Alkyon.

Expertise Netwerk Waterveiligheid. 2007. *Technisch Rapport Duinafslag 2006. Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van voorschrift toetsen op veiligheid 2006.* Ook: WL|Delft Hydraulics (H4357).

Haskoning. 2008. *Verkenning legger Terschelling; Een technisch inhoudelijke beschouwing.* Project 9T0554.A0.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007a. *Hydraulische randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen.*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007b. *Beleidslijn Kust. Toelichting.*

Provincie Zeeland. 2006. *Kustplan Zuidwest Walcheren. Uitwerking van het Omgevingsplan.*

Rijkswaterstaat RIKZ. 2006a. *Waterstanden Nederlandse kust en estuaria, Statistiek t.b.v. hydraulische randvoorwaarden 2006.* Rapport RIKZ/2006.012.

Rijkswaterstaat RIKZ. 2006b. *Duinwaterkering Vlieland; Een technisch inhoudelijke beschouwing.* Rapport RIKZ/2006.017.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 1995. *Basisrapport Zandige Kust.*

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 2002. *Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken.*

WL | Delft Hydraulics. 2005. *Risicobeheersing kustplaatsen in de Provincie Noord – Holland. Eindrapport: Bergen aan Zee, Egmond aan Zee, Zandvoort, Oud – IJmuiden.* (Z3725.61).

WL | Delft Hydraulics. 2007. *Dune erosion, Product 3: Probabilistic dune erosion prediction method.* (H4357).

www.overtopping-manual.com (2007) *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual.*

B Afslagberekeningen kustplaatsen 2^e fase

B.1 Inleiding

Als onderdeel van de ontwikkeling van MorphAn zijn binnen Deltares MATLAB functies geprogrammeerd voor het berekenen van duinafslag tijdens een extreme storm volgens de DUROS+ methode. (MorphAn is de beoogde toetssoftware voor duinwaterkeringen voor de komende toetsronde.) Deze software is reeds in de eerste fase van het project gebruikt voor de afslagberekeningen voor de zeven Hollandse Kustplaatsen. In de tweede fase wordt de toetssoftware gebruikt voor de kustplaatsen Ameland, Terschelling, Vlieland en Cadzand. Om deze berekeningen uit te kunnen voeren zijn profielgegevens en randvoorwaarden nodig. Deze worden beschreven in paragraaf B.2.

Als onderdeel van de verificatie van de geprogrammeerde functies is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van DUROS+ berekeningen gemaakt met de "MorphAn routines" en berekeningen die gemaakt zijn met het model dat bij Alkyon veel wordt gebruikt. De rekenroutines van Alkyon zijn geprogrammeerd in MS - EXCEL en heeft al geruime tijd dienst gedaan bij adviesprojecten van Alkyon. In paragraaf B.3 wordt een vergelijking gemaakt tussen het Alkyon rekenroutines en de MorphAn routines.

B.2 Gebruikte profielen en randvoorwaarden

De JARKUS – raaien waarvoor afslagberekening zijn uitgevoerd zijn weergegeven in Tabel B.1. Het betreft berekeningen op de profielen van 1990 tot en met 2006.

Ameland	Terschelling	Vlieland	Cadzand
Kustvak 3	Kustvak 4	Kustvak 5	Kustvak 17
1140	800	4952 (Vlieland1)	1046
1160	820	4970 (id)	1068
1180	840	4988 (id)	1092
1200	860	5005 (id)	1112
1220	880	5023 (id)	1136
1240	900	5041 (id)	1162
1260	920	5059 (id)	1191
1280	940	5077 (id)	1214
1300	960	5095 (id)	1242
1320	980	5113 (id)	1262
1340	1000	5129 (id)	1282
1360	1020	5146 (id)	1300
1380	1040	5165 (id)	1318
1400	1060	5175 (id)	1335
1420	1080	5185 (id)	1354
1440	1100	5200 (Vlieland2)	1372
1460	1120	5212 (id)	1381
1480	1140	5250 (id)	1391
1500	1160	5289 (id)	1401
	1180	5329 (id)	1412
	1200	5345 (id)	1427
		5353 (id)	1450
		5360 (id)	1467

Tabel B.1 JARKUS – raaien waarvan de profielen van 1990 tot en met 2006 zijn gebruikt in de huidige studie

Tabel B.2 geeft een overzicht van de randvoorwaarden waarmee de berekeningen die zijn uitgevoerd. Het betreft het rekenpeil h , de golfhoogte H_{m0} , de golfpiekperiode T_p en de korreldiameter D_{50} , voor overschrijdingskansen van 1/100, 1/500, 1/1.000, 1/4.000, 1/10.000, 1/20.000 en 1/100.000 per jaar.

Locatie	f [1/jaar]	h [m]	H_{m0} [m]	T_p [m]	D_{50} [μ m]
Vlieland1	1/100	3,09	8,19	14,28	192
Vlieland1	1/500	3,46	9,06	15,31	192
Vlieland1	1/1.000	3,61	9,41	15,72	192
Vlieland1	1/4.000	3,89	10,08	16,49	192
Vlieland1	1/10.000	4,07	10,49	16,97	192
Vlieland1	1/20.000	4,2	10,79	17,32	192
Vlieland1	1/40.000	4,33	11,08	17,66	192
Vlieland1	1/100.000	4,49	11,45	18,08	192
Vlieland2	1/100	3,19	8,14	14,47	191
Vlieland2	1/500	3,56	9,03	15,55	191
Vlieland2	1/1.000	3,71	9,38	15,98	191
Vlieland2	1/4.000	3,99	10,06	16,79	191
Vlieland2	1/10.000	4,17	10,48	17,3	191
Vlieland2	1/20.000	4,3	10,79	17,66	191
Vlieland2	1/40.000	4,43	11,09	18,01	191
Vlieland2	1/100.000	4,59	11,46	18,45	191
Terschelling	1/100	3,09	8,12	14,53	185
Terschelling	1/500	3,46	9,01	15,63	185
Terschelling	1/1.000	3,61	9,37	16,07	185
Terschelling	1/4.000	3,89	10,06	16,89	185
Terschelling	1/10.000	4,07	10,48	17,4	185
Terschelling	1/20.000	4,2	10,79	17,77	185
Terschelling	1/40.000	4,33	11,09	18,13	185
Terschelling	1/100.000	4,49	11,47	18,58	185
Ameland	1/100	3,21	7,98	15,04	157
Ameland	1/500	3,6	8,92	16,27	157
Ameland	1/1.000	3,76	9,3	16,76	157
Ameland	1/4.000	4,06	10,02	17,68	157
Ameland	1/10.000	4,26	10,47	18,25	157
Ameland	1/20.000	4,4	10,79	18,66	157
Ameland	1/40.000	4,54	11,1	19,06	157
Ameland	1/100.000	4,72	11,5	19,56	157
Cadzand	1/100	3,96	3,97	11	212
Cadzand	1/500	4,35	4,17	11,34	212
Cadzand	1/1.000	4,52	4,24	11,47	212
Cadzand	1/4.000	4,85	4,38	11,72	212
Cadzand	1/10.000	5,07	4,47	11,87	212
Cadzand	1/20.000	5,23	4,54	11,99	212
Cadzand	1/40.000	5,4	4,6	12,1	212
Cadzand	1/100.000	5,62	4,68	12,25	212

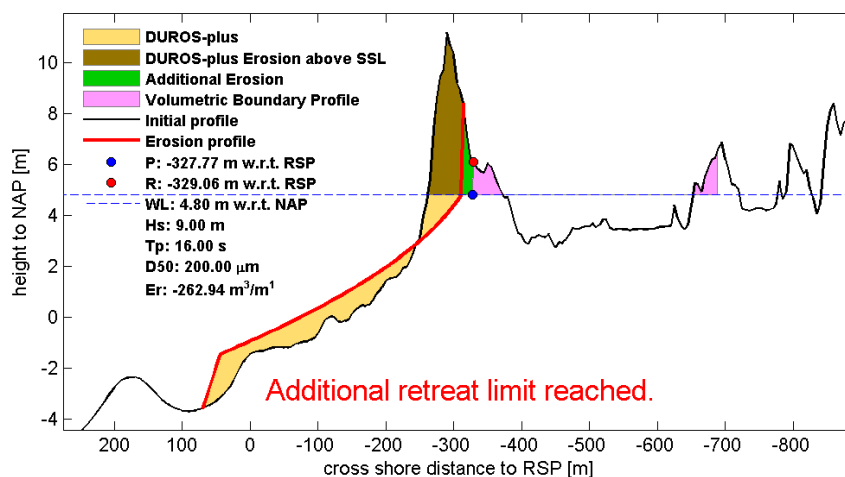
Tabel B.2 Randvoorwaarden die zijn gebruikt tijdens de vergelijking

B.3 Resultaat van de vergelijking Alkyon – MorphAn

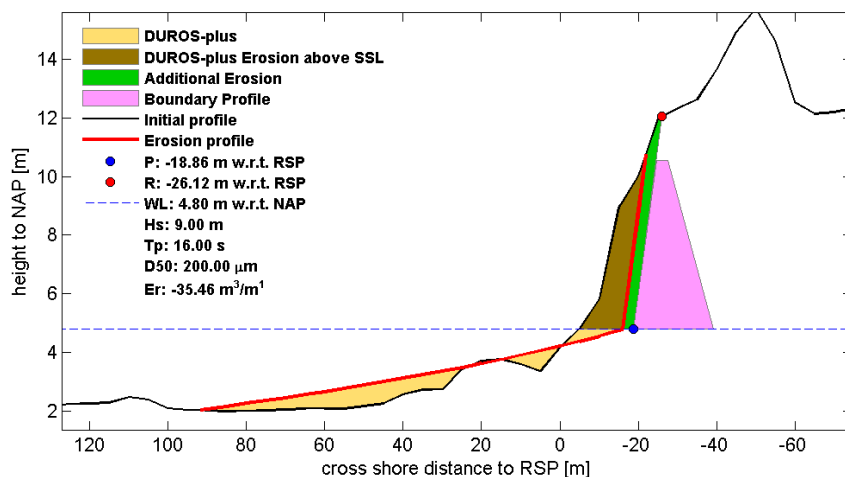
Om de consistentie van de gebruikte MorphAn rekenroutines vast te stellen, zijn vergelijkingen uitgevoerd met de rekenroutines die Alkyon gebruikt voor de berekening van duinafslag. Hiervoor zijn vijf JARKUS – raaien geselecteerd. Deze vijf raaien worden eveneens gebruikt bij de vergelijking tussen de VTV – procedure en de probabilistische berekeningen in bijlage C. Het betreffen de volgende JARKUS – raaien:

- Ameland, Raai 1320 [Figuur B.1]
- Terschelling, Raai 1000 [Figuur B.2]
- Vlieland1, Raai 5005 [Figuur B.3]
- Vlieland2, Raai 5200 [Figuur B.4]
- Cadzand, Raai 1241 [Figuur B.5]

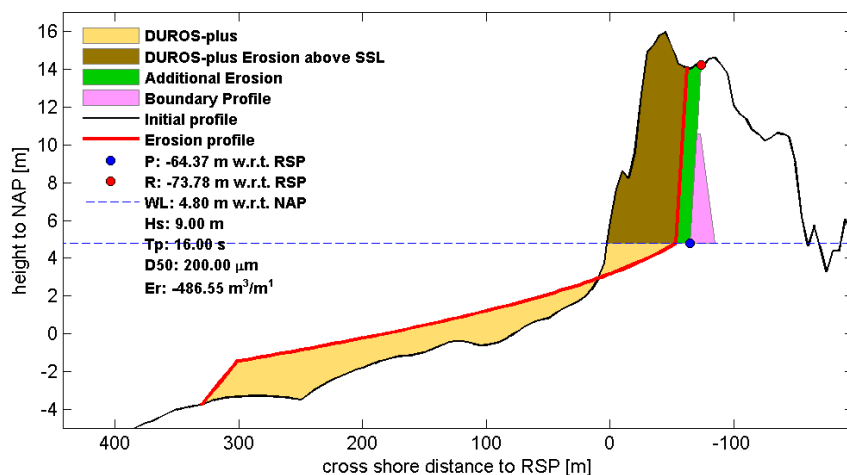
Ter illustratie is voor elke raai het resultaat van een afslagberekening weergegeven in een figuur. Alle voorbeelden zijn berekend met een golfperiode (T_p) van 16 s, een golfhoogte (H_{m0}) van 9 m, een rekenpeil (h) van 4,8 m, een korreldiameter van $D_{50} = 200 \mu\text{m}$ en het JARKUS profiel dat voor die specifieke locatie in 2006 is gemeten.



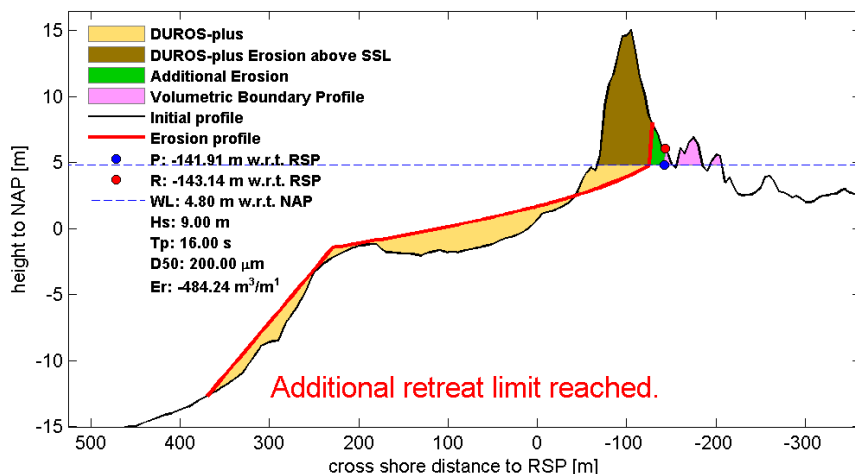
Figuur B.1 Voorbeeld berekening van raai 1320 op Ameland



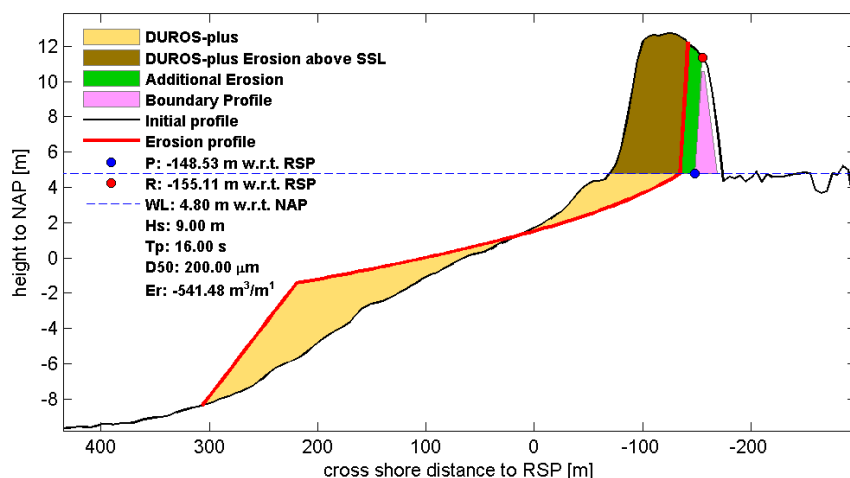
Figuur B.2 Voorbeeld berekening van raai 1000 op Terschelling



Figuur B.3 Voorbeeld berekening van raai 5005 op Vlieland



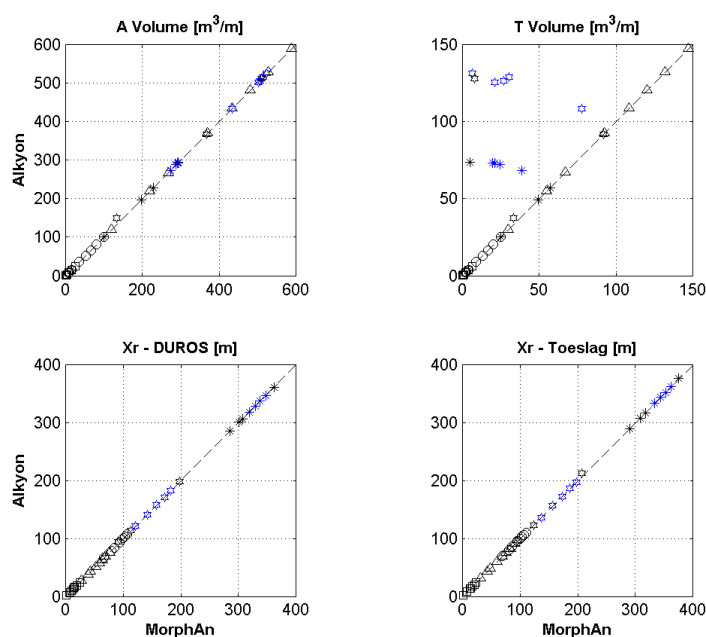
Figuur B.4 Voorbeeld berekening van raai 5200 op Vlieland



Figuur B.5 Voorbeeld berekening van raai 1241 bij Cadzand

Figuur B.6 geeft een overzicht van de vergelijking tussen resultaten van de Alkyon en MorphAn berekeningen. De vergeleken grootheden zijn het afslagvolume boven stormvloedpeil (A), het Toeslagvolume (T), de x-locatie van het afslagpunt R na de berekening volgens de DUROS+ methode (Xr-DUROS) en de x-locatie van het afslagpunt R als ook het toeslagvolume is meegenomen (Xr-Toeslag). De verschillen voor het toeslagvolume komen voort uit een verschillende definitie van dit begrip, maar hebben uiteindelijk geen gevolgen voor de uiteindelijke afslaglengte. De betekenis van het R-punt is geïllustreerd in Figuur B.5 met een rode marker. De absolute verschillen tussen de berekende grootheden met de Alkyon rekenroutines en de MorphAn code zijn eveneens opgenomen in Tabel B.3. Er kan worden geconcludeerd dat op enkele afrondingen na de meeste resultaten van de Alkyon rekenroutines en de MorphAn code overeen komen. Hierop zijn enkele uitzonderingen:

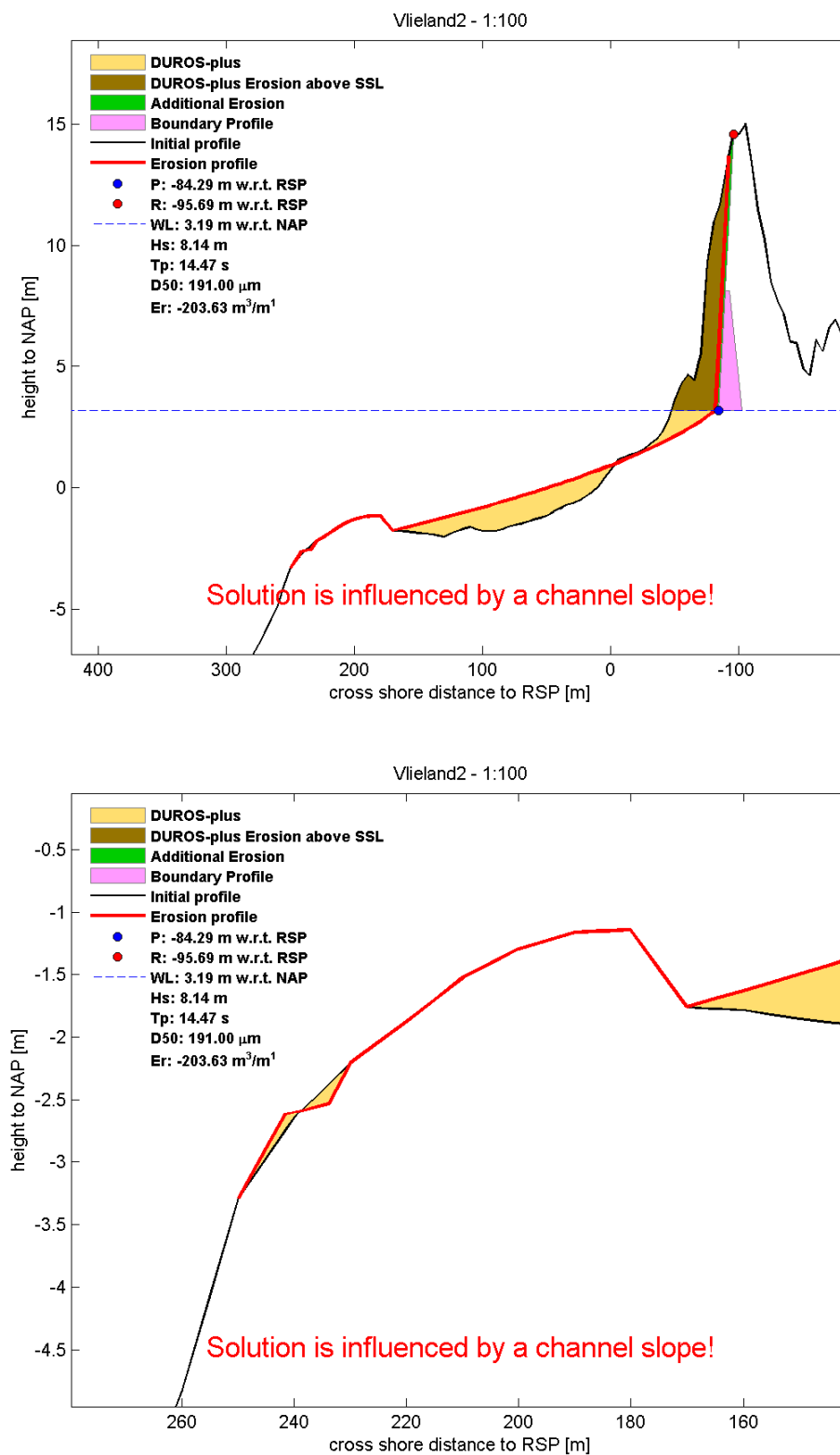
- Vlieland2, alle parameters, 1/100 Bij het Vlieland2 profiel met de 1/100 randvoorwaarden speelt de aanwezigheid van een geulrand die een sluitende volumebalans onmogelijk maakt [Figuur B.7]. Beide modellen geven (net) geen sluitende balans. In dat geval wordt voorgeschreven dat het uiteindelijke afslagprofiel op de rand van de geul aansluit. Blijkbaar gaan beide modellen hier verschillend mee om, wat resulteert in een gering verschil van het afslagpunt.
- Vlieland2 & Ameland, Toeslagvolume & Xr, 1/100.000 Bij twee berekeningen past het toeslagvolume niet geheel in de eerste duinregel. Als gevolg daarvan gaan beide modellen op zoek naar extra volume boven het rekenpeil in de tweede duinregel. Deze ligt echter verder dan 15 meter van de eerste duinregel, waardoor het toeslagvolume wordt gelimiteerd in de duinpan tussen de eerste twee duinregels. Door een verschil in presentatie van dit fenomeen (De Alkyon rekenroutines geeft een afslaglengte van Xr-DUROS + 15 meter en de MorphAn code legt het Xr-Toeslag punt op de achterkant van de eerste duinregel en dus dicht bij Xr-DUROS) ontstaat er een klein verschil in afslaglengte. De berekeningen zijn echter wel hetzelfde. Figuur B.8 en Figuur B.9 tonen een visualisatie van de berekeningen voor deze twee raaien met de MorphAn code.



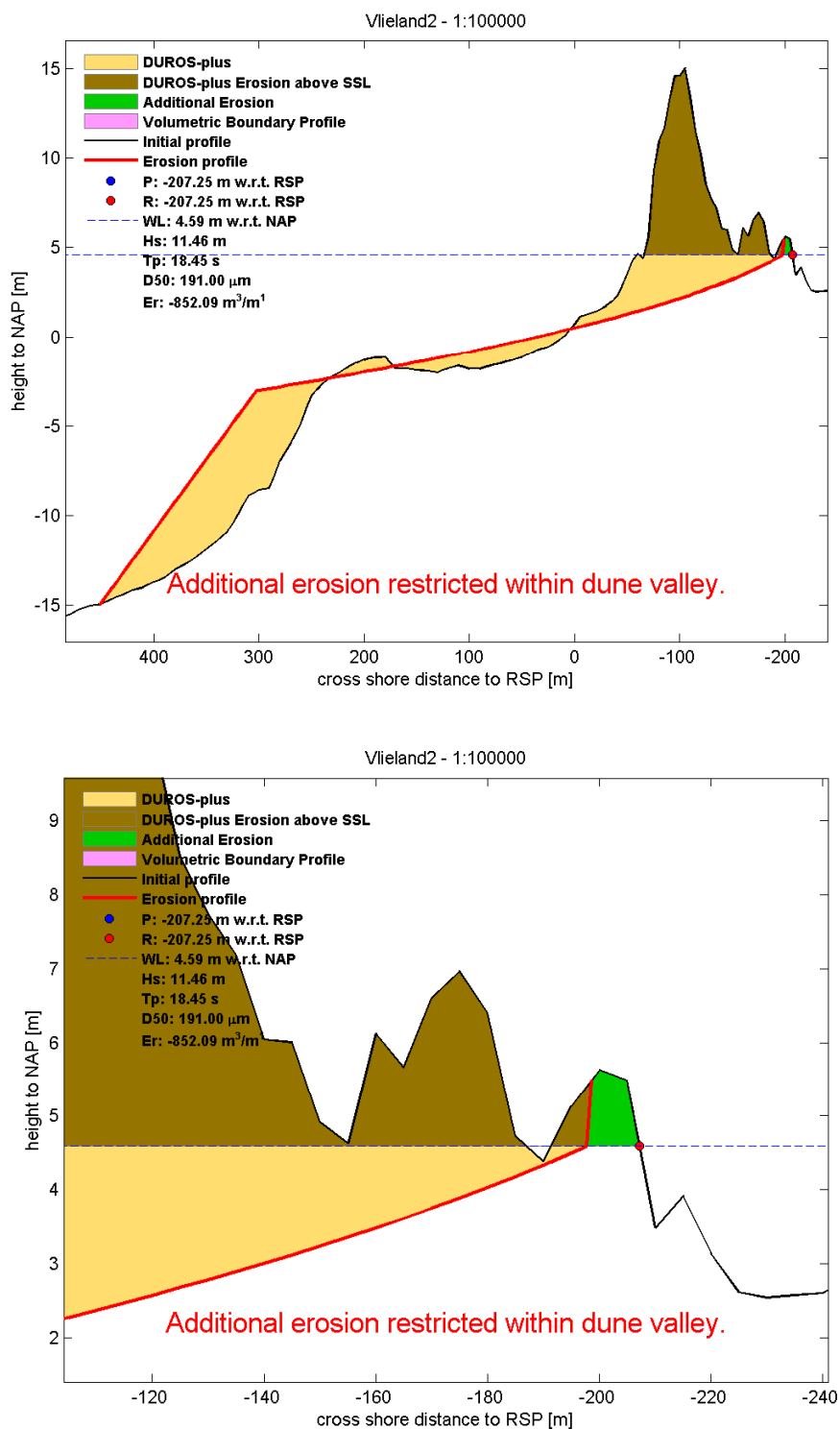
Figuur B.6 Vergelijking tussen MorphAn (horizontaal) en Alkyon (verticaal) voor verschillende grootheden

Locatie	f [1/jaar]	Xr Duros profiel [m]	Afslag volume [m ³ /m]	Xr (incl. toeslag) [m]
Vlieland1	1/100	0,0	0,0	0,0
Vlieland1	1/500	0,0	0,0	0,0
Vlieland1	1/1.000	0,0	0,0	0,0
Vlieland1	1/4.000	0,0	0,0	0,0
Vlieland1	1/10.000	0,1	0,1	0,0
Vlieland1	1/20.000	0,0	0,0	0,0
Vlieland1	1/40.000	0,0	0,1	0,0
Vlieland1	1/100.000	0,0	0,0	0,0
Vlieland2	1/100	2,2	17,4	1,9
Vlieland2	1/500	0,0	0,0	0,0
Vlieland2	1/1.000	0,0	0,0	0,1
Vlieland2	1/4.000	0,0	0,1	0,0
Vlieland2	1/10.000	0,0	0,1	0,0
Vlieland2	1/20.000	0,0	0,0	0,0
Vlieland2	1/40.000	0,0	0,1	0,0
Vlieland2	1/100.000	0,0	0,1	6,3
Terschelling	1/100	0,1	0,0	0,0
Terschelling	1/500	0,0	0,1	0,2
Terschelling	1/1.000	0,0	0,0	0,0
Terschelling	1/4.000	0,2	0,1	0,3
Terschelling	1/10.000	0,0	0,0	0,1
Terschelling	1/20.000	0,0	0,1	0,0
Terschelling	1/40.000	0,0	0,0	0,0
Terschelling	1/100.000	0,0	0,0	0,0
Ameland	1/100	0,1	0,0	0,0
Ameland	1/500	0,1	0,1	0,0
Ameland	1/1.000	0,1	0,0	0,0
Ameland	1/4.000	0,0	0,1	0,0
Ameland	1/10.000	0,0	0,0	0,0
Ameland	1/20.000	0,0	0,1	0,0
Ameland	1/40.000	0,0	0,1	0,0
Ameland	1/100.000	0,0	0,0	1,9
Cadzand	1/100	0,0	0,0	0,0
Cadzand	1/500	0,0	0,1	0,1
Cadzand	1/1.000	0,0	0,1	0,0
Cadzand	1/4.000	0,0	0,0	0,0
Cadzand	1/10.000	0,0	0,0	0,0
Cadzand	1/20.000	0,0	0,0	0,0
Cadzand	1/40.000	0,0	0,1	0,0
Cadzand	1/100.000	0,0	0,1	0,0

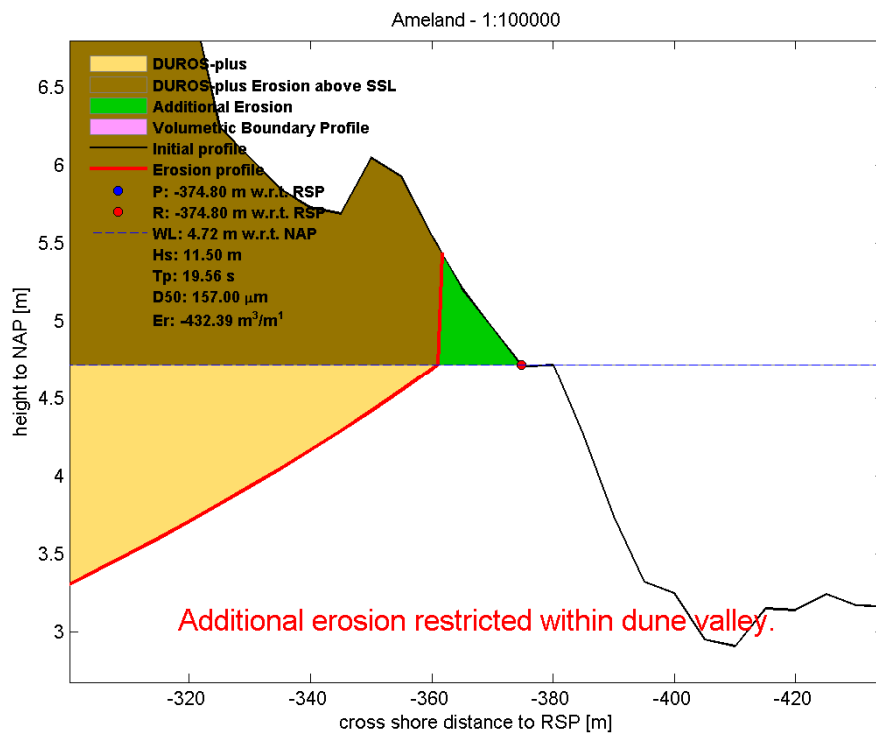
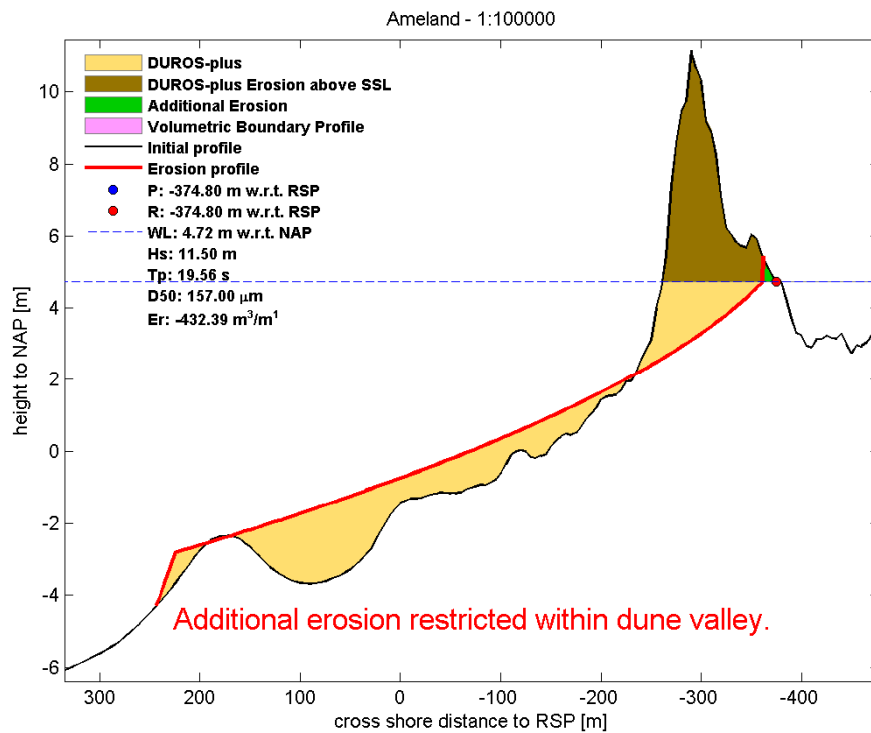
Tabel B.3 Absolute verschillen tussen de berekende grootheden met de Alkyon rekenroutines en de MorphAn code



Figuur B.7 Weergave van de berekening voor Vlieland2 (1/100) met de MorphAn code waarbij de oplossing wordt beïnvloedt door een geulrand



Figuur B.8 Weergave van de berekening voor Vlieland2 (1/100.000) met de MorphAn code waarbij het toeslagvolume niet in de eerste duinregel past. Hierdoor treedt de 15 m restrictieregel uit het TRDA2006 in werking



Figuur B.9 Weergave van de berekening voor Ameland (1/100.000) met de MorphAn code waarbij het toeslagvolume niet in de eerste duinregel past

C Probabilistische Berekeningen

C.1 Inleiding

De afslagberekeningen in dit rapport zijn uitgevoerd met de VTV – procedure zoals beschreven in Deltares (2008). Het recept om aan de bijbehorende randvoorwaarden en korreldiameters te komen staat beschreven in het TRDA2006. Overigens zijn de randvoorwaarden en korreldiameters weergegeven in bijlage B. Net als in de eerste fase van het project 13 Kustplaatsen wordt nagegaan of deze afslagberekeningen een vergelijkbare uitkomst geven als berekeningen met een probabilistisch model. Hiermee kan worden beoordeeld of de VTV – procedure samen met de toegepaste hydraulische randvoorwaarden inderdaad representatief zijn voor de betreffende duinafslagberekening.

In een eerder project SBWDuinen zijn reeds probabilistische berekeningen uitgevoerd voor een aantal locaties op de Waddeneilanden [WL | Delft Hydraulics (2007)]. Deze berekeningen leidden helaas niet altijd tot succes vanwege de gecompliceerde profielen die in dit kustgedeelte voorkomen. Voor de locatie Cadzand zijn destijds geen probabilistische berekeningen uitgevoerd. Dit betekent dat op voorhand niet zeker is dat de vergelijking tussen de VTV – procedure en de probabilistische berekeningen tot een gewenst resultaat zullen leiden. Deze bijlage beschrijft de vergelijking tussen de VTV – procedure en het probabilistisch model. Voor een uitgebreide beschrijving van de VTV – procedure en het probabilistisch model wordt verwezen naar bovengenoemde rapporten.

C.2 Rekeninstellingen probabilistisch model

Bij de berekeningen met het probabilistisch model zijn de volgende rekeninstellingen toegepast:

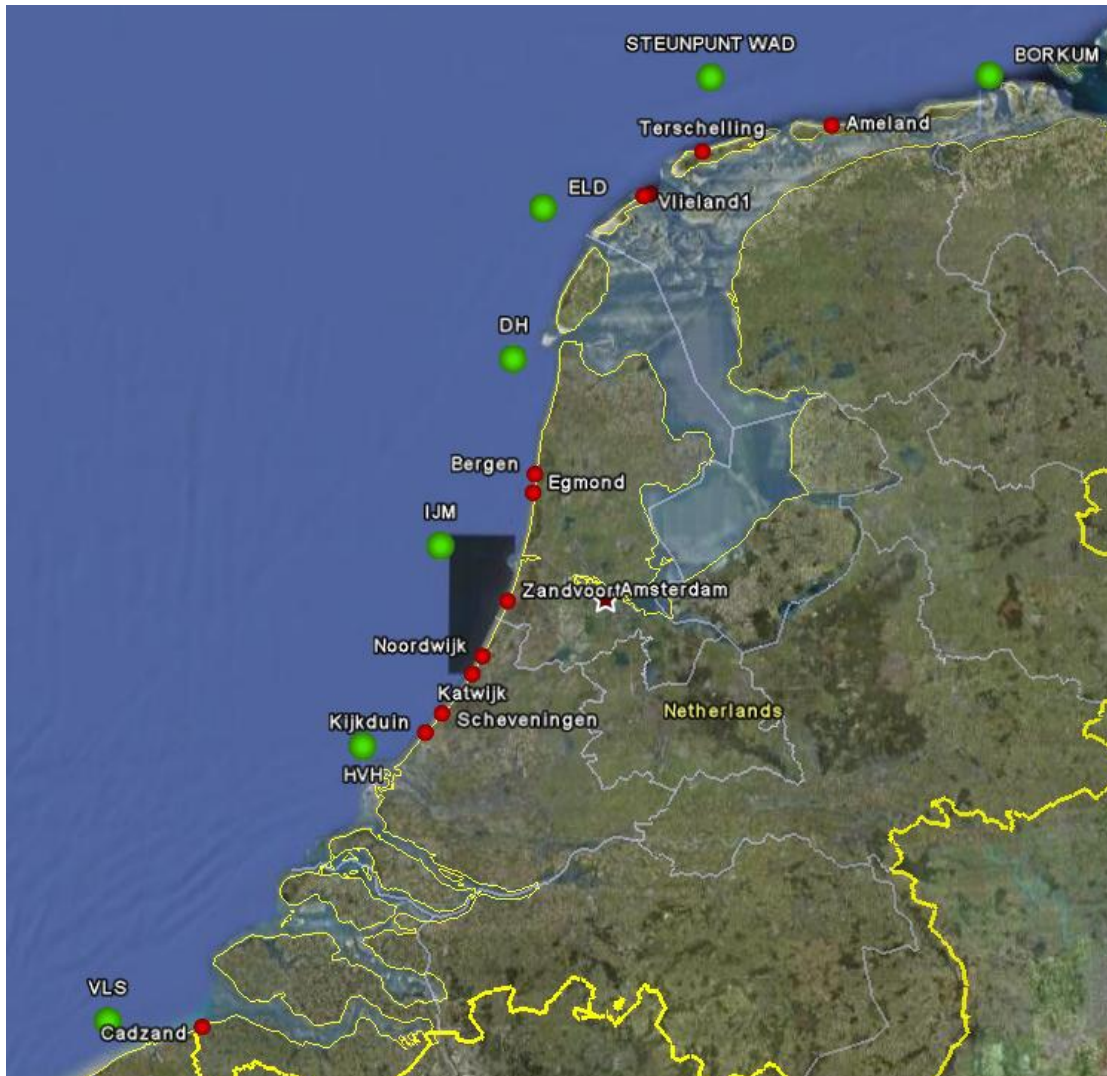
1. keuze DUROS+ module: MorphAn-programmatuur
2. keuze profiel: doorgetrokken profielen vanaf de top van de eerste duinenrij
3. De randvoorwaarde voor de waterstand wordt lineair geïnterpoleerd

[ad 1] In fase 1 van het project “13 kustplaatsen” is voor de 7 Hollandse kustplaatsen de software gebruikt van het pakket “UCIT”. In fase 2 is overgestapt op een nieuwere versie die is ontwikkeld in het kader van het project “MorphAn”. Voornaamste reden van de overstap is het feit dat laatgenoemde een betere foutafvang heeft bij “lastige profielen” (geulen, dubbele duinenrijen, flauwe vooroevers) en deze lastige profielen komen nogal eens voor bij de Waddeneilanden.

[ad 2] De FORM-methode, waarmee op probabilistische wijze afslagranden bepaald kunnen worden, loopt regelmatig vast bij voornoemde “lastige profielen”, met name als de eerste duinenrij doorbreekt. Dit kan afgevangen worden door als alternatief een Monte Carlo methode toe te passen. Echter, voor het analyseren van ontwerpapunten zijn FORM-berekeningen nodig. Door te rekenen met doorgetrokken profielen wordt tegengegaan dat de eerste duinenrij doorbreekt en dat vergroot de mate van stabiliteit.

[ad 3] Bij de vergelijking tussen de probabilistische berekeningen en de berekeningen met de VTV – procedure worden waterstanden gehanteerd die lineair zijn geïnterpoleerd tussen

zogenaamde steunpunten. In de productiesommen met de VTV – procedure wordt een niet-lineair waterstandsverloop gehanteerd, dat aansluit op de Hydraulische Randvoorwaarden volgens de HR2006 [bijlage B]. Hiermee wordt bewerkstelligd dat de waterstand bij de normfrequentie gelijk is aan het rekenpeil van het randvoorwaardenboek.



Figuur C.1 Steunpunten (groen) en kustplaatsen (rood)

Randvoorwaarden waterstanden

In Figuur C.1 worden zowel de steunpunten als de kustlocaties weergegeven. Een vergelijking tussen de lineair geïnterpoleerde randvoorwaarden en het rekenpeil volgens de HR2006 is weergegeven in Tabel C.1. Hier hoort de volgende uitleg bij:

- De eerste kolom geeft de kustplaats weer. Per kustplaats wordt één set hydraulische randvoorwaarden gebruikt, met uitzondering van Vlieland waar vanwege de lengte twee sets randvoorwaarden worden gehanteerd.
- De tweede kolom geeft de normfrequentie weer waarvoor het rekenpeil in de HR2006 betrekking heeft.
- De derde kolom geeft het rekenpeil voor de kustplaats weer, zoals deze in het HR2006 is gepubliceerd. Deze is bepaald door 2/3 decimeringshoogte op te tellen bij de waterstand volgens de normfrequentie.

- De vierde tot en met de zevende kolom geeft de locaties van de twee nabijgelegen steunpunten weer en het rekenpeil ter plaatse van deze steunpunten. Als normfrequentie is telkens de normfrequentie van de raai uit kolom 1 gekozen. Het gevolg is dat het rekenpeil in steunpunt Hoek van Holland voor de raai bij Cadzand (norm 1/4.000 per jaar) lager is dan bijvoorbeeld voor de raai bij Kijkduin (norm 1/10.000 per jaar).
- De achtste kolom bevat de interpolatiefactor λ . Dit is de weegfactor voor het eerste steunpunt bij de (lineaire) interpolatie van het rekenpeil tussen 2 steunpunten. Bijvoorbeeld de waarde 0,59 voor de raai bij Bergen geeft aan dat de waterstand bij Bergen gelijk is aan $0,59 \times$ de waterstand bij IJmuiden en $0,41 \times$ de waterstand bij Den Helder. De waarde van λ is bepaald op basis van de afstand tussen de twee steunpunten (op basis van het snijpunt van de raai met de lijn tussen de 2 steunpunten).
- De negende kolom geeft de lineair geïnterpoleerde waarde ter plaatse van de kustplaats.
- De tiende kolom geeft het verschil tussen het rekenpeil volgens het HR2006 uit kolom 3 en de lineair geïnterpoleerde waarde uit kolom 9.

De HR2006 geeft geen randvoorwaarden voor rekenpeilen met een hogere faalkans dan de wettelijke norm. De rekenpeilen voor de hogere kansen die worden gehanteerd in de productiesommen bestaan uit lineair geïnterpoleerde waarden met een correctie gelijk aan de verschilwaarde uit kolom 10 van Tabel C.1.

locatie/raai	norm	rekenpeil	steunpunt 1		steunpunt 2		λ	Waterstand	
			naam	rekenpeil	naam	rekenpeil		interpolatie	verschil
Bergen	1/10.000	5,3	IJM	5,71	DH	4,78	0,59	5,32	-0,02
Egmond	1/10.000	5,4	IJM	5,71	DH	4,78	0,67	5,40	0,00
Zandvoort	1/10.000	5,8	HvH	5,56	IJM	5,71	0,12	5,70	0,10
Noordwijk	1/10.000	5,8	HvH	5,56	IJM	5,71	0,37	5,66	0,14
Katwijk	1/10.000	5,8	HvH	5,56	IJM	5,71	0,45	5,65	0,15
Scheveningen	1/10.000	5,7	HvH	5,56	IJM	5,71	0,61	5,62	0,08
Kijkduin	1/10.000	5,7	HvH	5,56	IJM	5,71	0,76	5,60	0,10
Vlieland1	1/2.000	4,2	ELD	4,23	WAD	4,23	0,54	4,23	-0,03
Vlieland2	1/2.000	4,3	ELD	4,23	WAD	4,23	0,26	4,23	0,07
Terschelling	1/2.000	4,2	ELD	4,23	WAD	4,23	0,17	4,23	-0,03
Ameland	1/2.000	4,4	WAD	4,23	BOR	4,68	0,58	4,42	-0,02
Cadzand	1/4.000	5,4	VLS	5,65	HVH	5,25	1,00	5,65	-0,25
VLS = Vlissingen HvH = Hoek van Holland IJM = IJmuiden DH = Den Helder ELD = Eierland WAD = steunpunt Waddenzee BOR = Borkum									

Tabel C.1 Berekening van de correctie voor 12 locaties

Wat met name opvalt is de relatief hoge correctie voor locatie Cadzand. Voor deze locatie is slechts één steunpunt bepalend (Vlissingen). Het "rekenpeil" bij Vlissingen dat volgt uit de statistiek (toetspeil + $2/3 \times$ decimeringshoogte) is beduidend hoger (5,65 m+NAP) dan het

rekenpeil bij Cadzand (5,4 m+NAP). Locatie Vlissingen is dus eigenlijk niet echt representatief voor Cadzand.

C.3 Resultaten vergelijking

De vergelijking tussen de VTV – procedure en het probabilistisch model is weergegeven in Tabel C.2. Uit de tabel blijkt dat het probabilistische model voor vrijwel alle gevallen meer afslag laat zien. Het gemiddelde verschil is 4,2 m. Grote uitschieter is de locatie Vlieland2 waar verschillen groter dan 10 meter voorkomen. Met uitzondering van het resultaat van de overschrijdingskans 1/100 per jaar voor Terschelling zijn alle andere verschillen kleiner dan 5 meter. Deze waarden zijn vergelijkbaar met de resultaten die in de eerste fase van het project 13 Kustplaatsen zijn gevonden voor de Hollandse Kustplaatsen [Deltares (2008)].

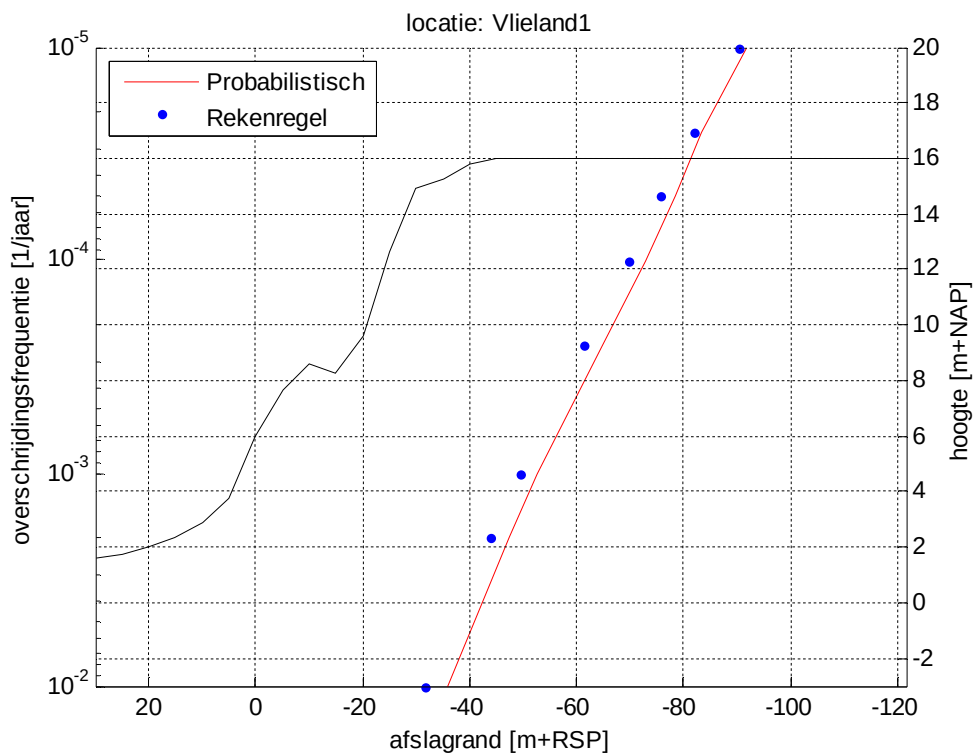
	frequentie							
Locatie	1/100	1/500	1/1.000	1/4.000	1/10.000	1/20.000	1/40.000	1/100.000
Probabilistisch model								
Vlieland1	-35,7	-47,2	-52,6	-64,7	-72,7	-78,5	-83,4	-91,6
Vlieland2	-107,8	-132,9	-143,2	-164,6	-176,4	-185,0	-192,9	-205,9
Terschelling	0,2	-1,4	-4,8	-15,5	-18,4	-20,5	-22,6	-25,7
Ameland	-295,2	-310,7	-317,2	-331,2	-342,1	-349,9	-359,7	-373,8
Cadzand	-87,3	-96,0	-99,2	-104,4	-109,1	-112,1	-114,3	-118,5
Rekenregel								
Vlieland1	-31,8	-43,9	-49,4	-61,4	-69,6	-75,8	-81,9	-90,5
Vlieland2	-94,6	-122,5	-133,5	-155,6	-167,8	-176,4	-184,8	-195,9
Terschelling	8,9	-0,6	-4,9	-16,5	-17,9	-19,4	-21,5	-24,7
Ameland	-291,0	-308,9	-316,1	-330,0	-338,9	-346,8	-355,0	-365,1
Cadzand	-86,3	-92,7	-95,8	-101,2	-104,5	-107,2	-110,4	-114,6
verschil								
Vlieland1	-3,9	-3,3	-3,2	-3,3	-3,1	-2,7	-1,5	-1,1
Vlieland2	-13,2	-10,4	-9,7	-9,0	-8,6	-8,6	-8,1	-10,0
Terschelling	-8,7	-0,8	0,1	1,0	-0,5	-1,1	-1,1	-1,0
Ameland	-4,2	-1,8	-1,1	-1,2	-3,2	-3,1	-4,7	-8,7
Cadzand	-1,0	-3,3	-3,4	-3,2	-4,6	-4,9	-3,9	-3,9

Tabel C.2 Vergelijking tussen afslagranden van de VTV - procedure en het probabilistische model

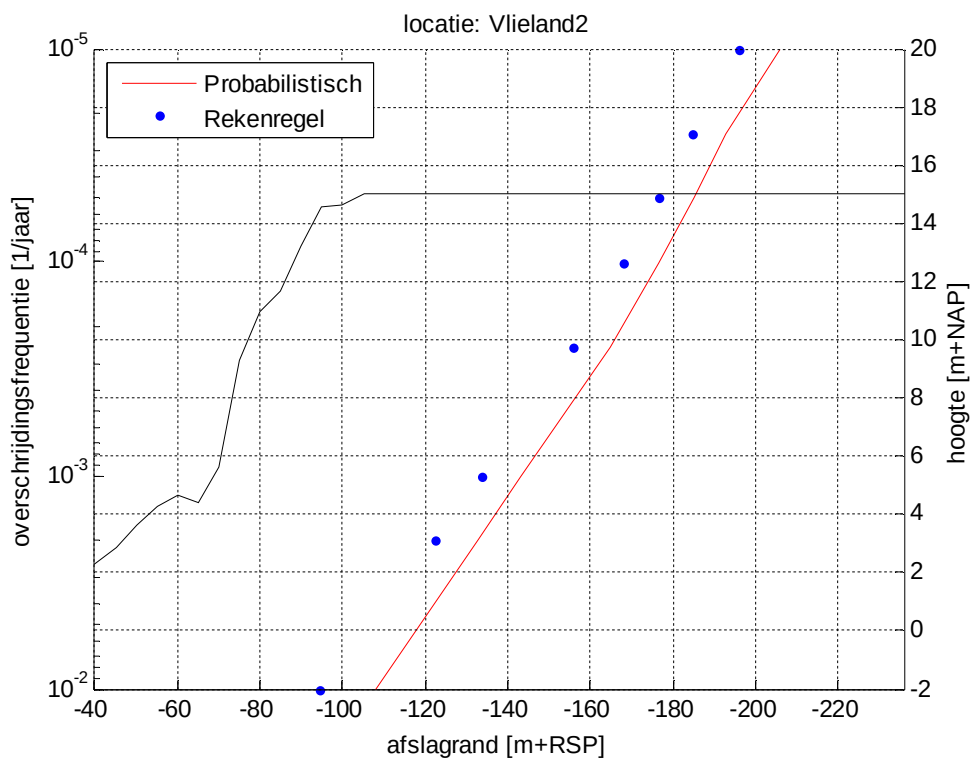
De resultaten geven aanleiding om verder onderzoek uit te voeren naar de ontwerpapunten voor de duinwaterkeringen op de Waddeneilanden en in Zeeland. Er wordt aanbevolen dit in een vervolgstudie op te pakken, bijvoorbeeld binnen het project SBWDuinen2 waarin een nieuw duintoetsinstrumentarium wordt ontwikkeld voor met name de Waddeneilanden.

De resultaten uit Tabel C.2 zijn gevisualiseerd in de volgende figuren:

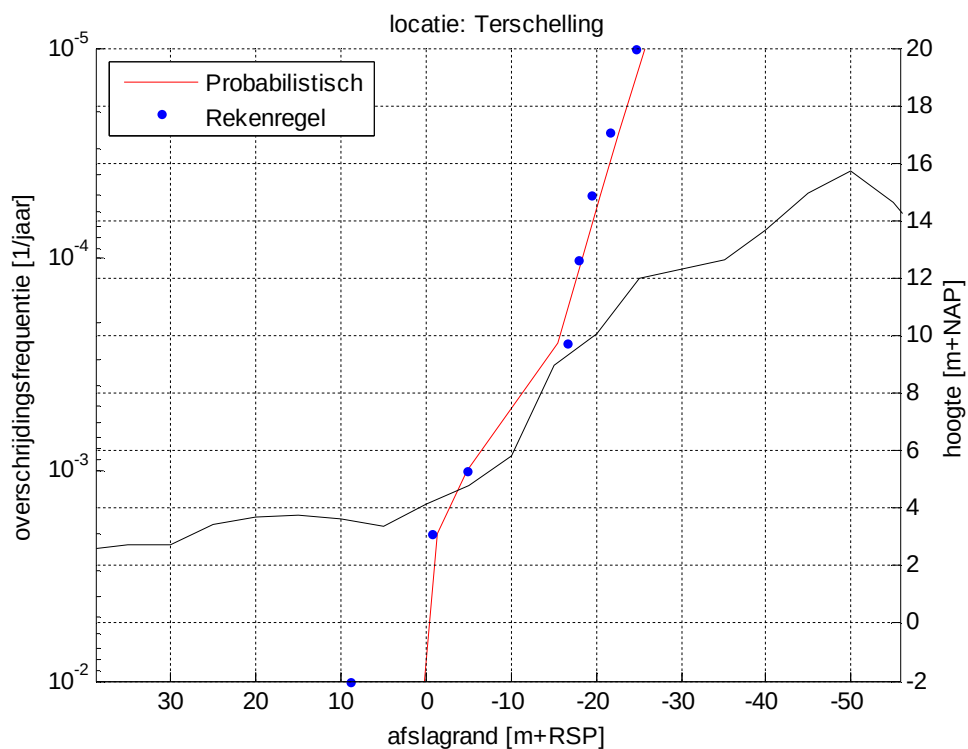
- Vlieland1 [Figuur C.2]
- Vlieland2 [Figuur C.3]
- Terschelling [Figuur C.4]
- Ameland [Figuur C.5]
- Cadzand [Figuur C.6]



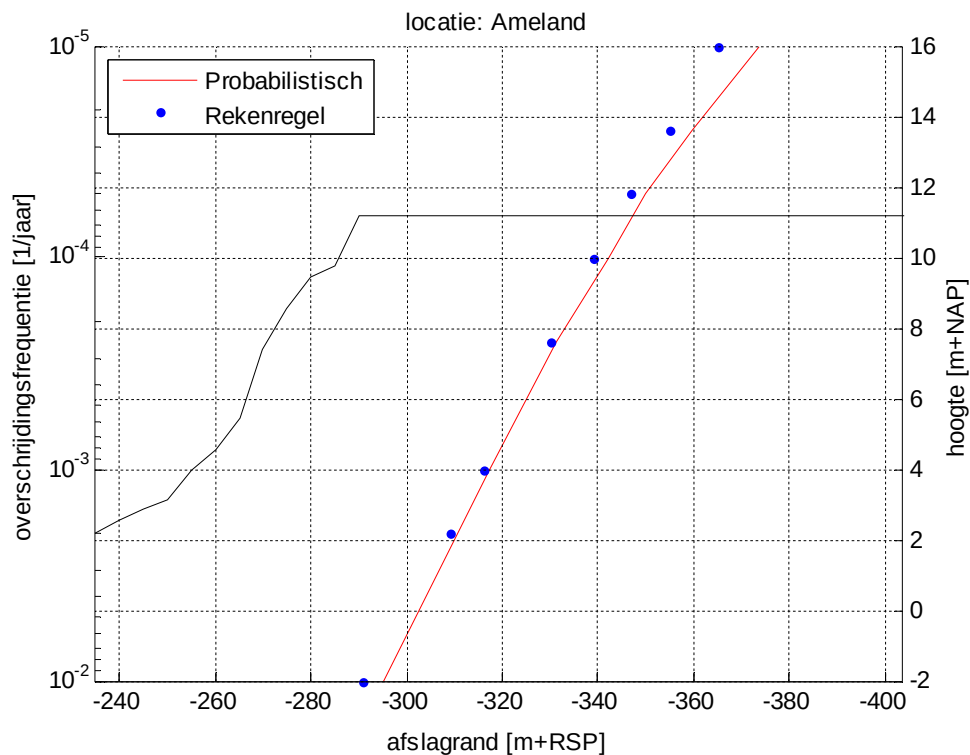
Figuur C.2 Vergelijking VTV – procedure en Probabilistisch model: Vlieland1



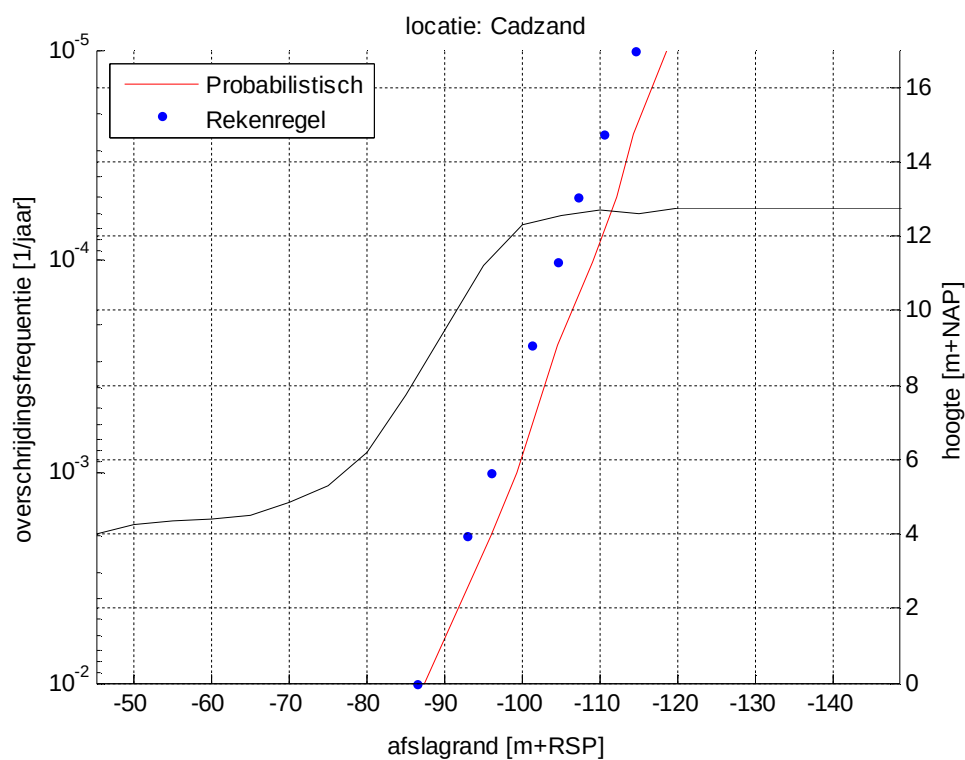
Figuur C.3 Vergelijking VTV – procedure en Probabilistisch model: Vlieland2



Figuur C.4 Vergelijking VTV – procedure en Probabilistisch model: Terschelling



Figuur C.5 Vergelijking VTV – procedure en Probabilistisch model: Ameland



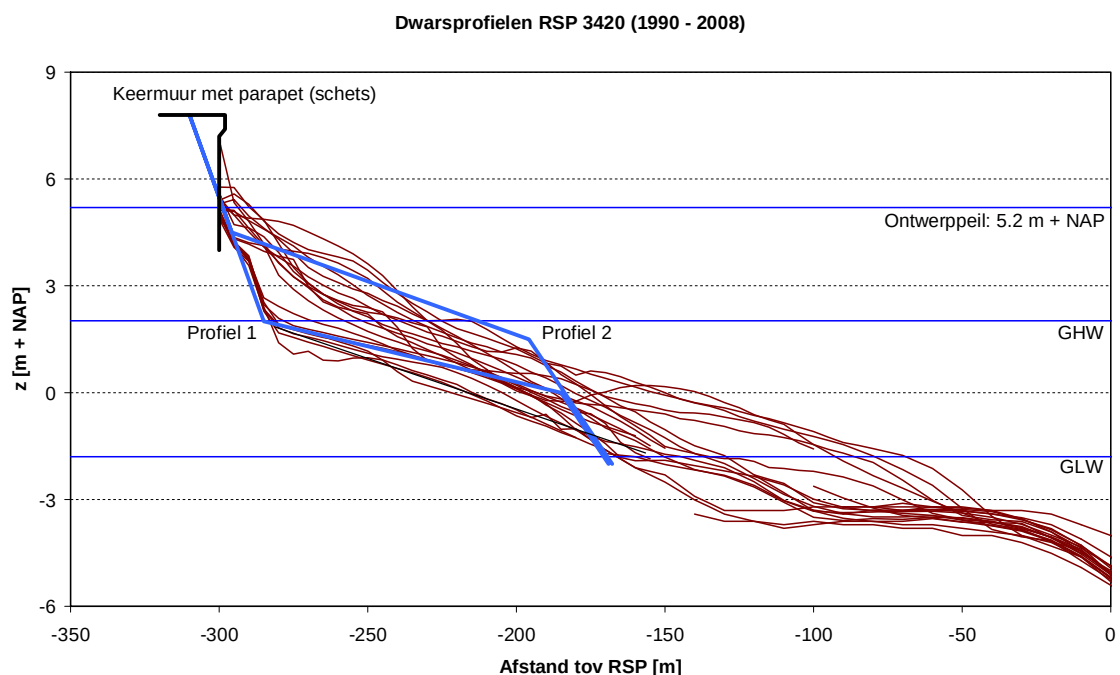
Figuur C.6

Vergelijking VTV – procedure en Probabilistisch model: Cadzand

D Golfverslagberekeningen Vlissingen

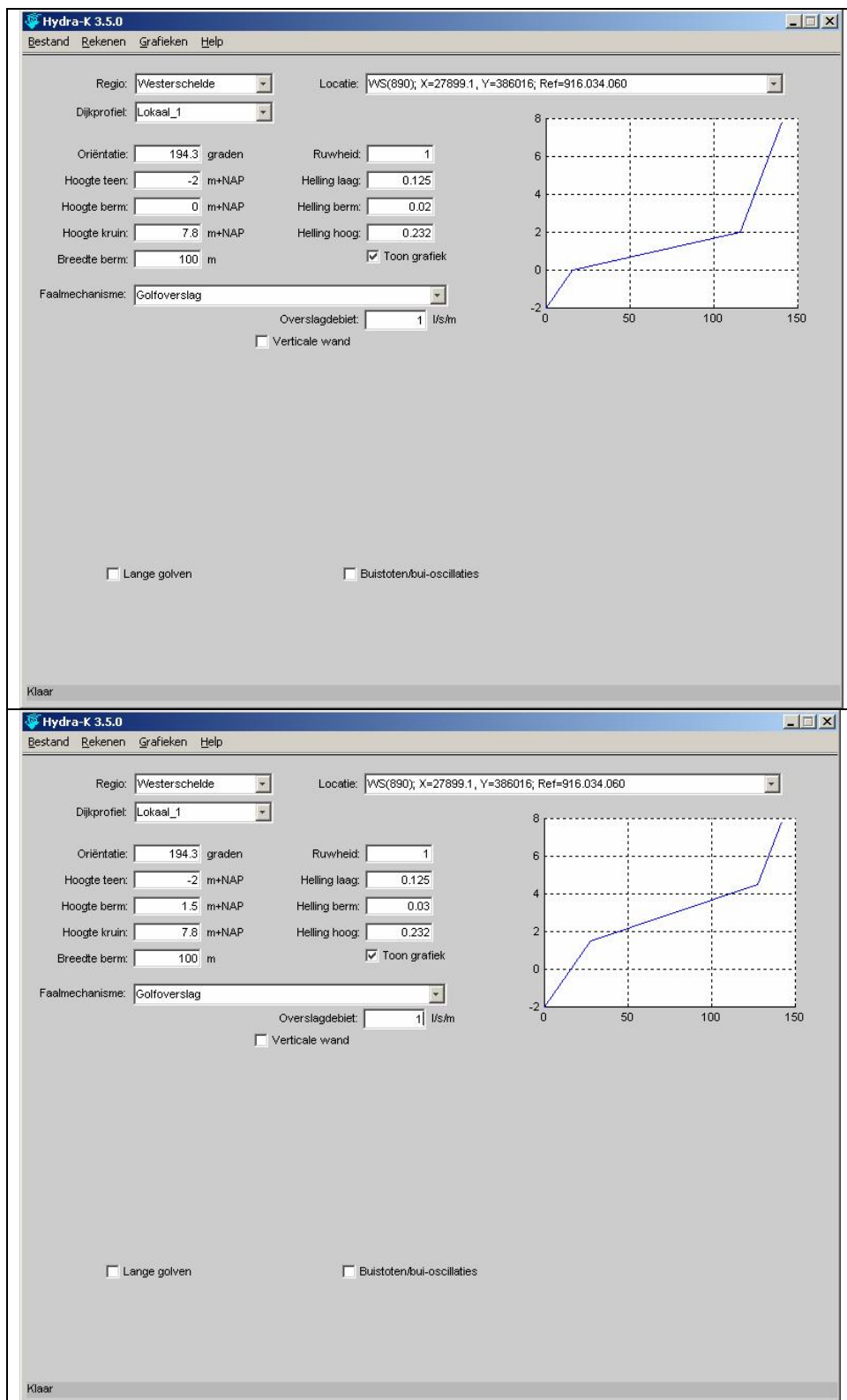
In deze bijlage gaan we na of een hogere vooroever in de vorm van een strand kan bijdragen aan reductie van de golfverslag bij de Boulevard Evertsen. Hiervoor worden berekeningen uitgevoerd met het model Hydra – K, zoals dat wordt meegeleverd met het Hydraulisch Randvoorwaardenboek HR2006. Hierbij is een aantal beperkingen opgelegd aan de invoerwaarden van het model. Dit geldt vooral het dijkprofiel.

De golfverslagberekeningen worden uitgevoerd voor RSP 3420, een dwarsraai in het centrum van Boulevard Evertsen. Het dwarsprofiel van deze raai is als gevolg van strandsuppleties na 1996 sterk verhoogd. In de golfverslagberekeningen wordt zowel de situatie vóór de strandsuppletie als na de strandsuppletie sterk geschematiseerd gemodelleerd [Figuur D.1]. In wekelijkheid bestaat de keermuur uit een verticale wand met een parapet, maar dit wordt vanwege de stapgrootte van de data (5 m) niet correct weergegeven. In Hydra – K is het wel mogelijk om met een verticale keermuur te werken, maar dan wordt er geen rekening gehouden met de ligging van de vooroever.



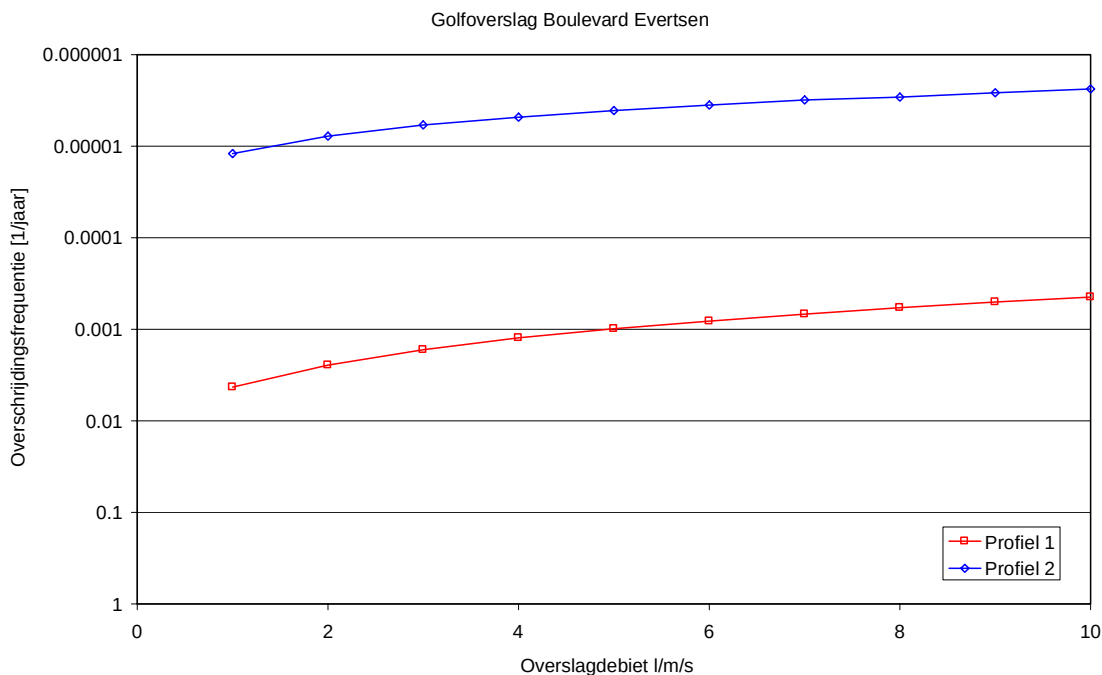
Figuur D.1 Vergelijking VTV – procedure en Probabilistisch model: Cadzand

De invoergegevens voor de modelberekeningen in Hydra – K zijn weergegeven in Figuur D.2, waarop kopieën van de invoerschermen te zien zijn. De berekeningen zijn gericht op de herhalingsstijd, waaruit de overschrijdingsfrequentie kan worden afgeleid. Hierbij zijn golfverslagdebieten opgelegd tussen de 1 l/m/s tot en met 10 l/m/s met een stapgrootte van 1 l/m/s.



Figuur D.2 Invoergegevens voor de golfoverslagberekeningen bij Boulevard Evertsen met Hydra – K.
Boven: Profiel 1, Onder: Profiel 2

De resultaten uit de berekeningen zijn gepresenteerd in Figuur D.3. Zoals verwacht neemt de overschrijdingskans af als de invoerwaarde voor het golfoverslagdebiet toeneemt. Verrassend is de invloed van een hoog voorland op de overschrijdingskans. Ten opzichte van het profiel met de lage vooroever is de overschrijdingskans een factor tussen de 150 en 350 kleiner.



Figuur D.3 Rekenresultaten golfoverslagdebiet Boulevard Evertsen

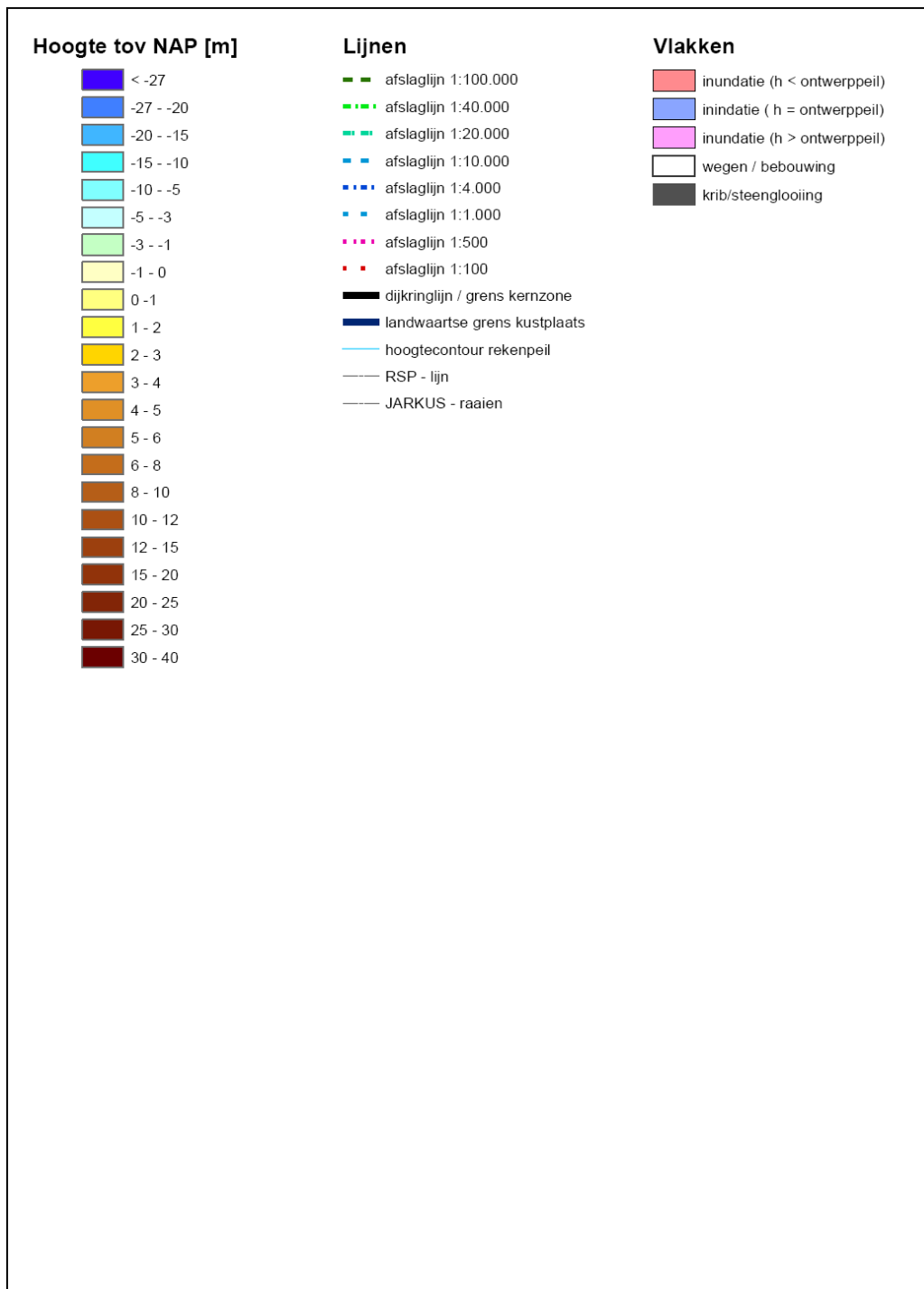
Het is de vraag of de berekende invloed van het hogere strand op de overschrijdingskans van golfoverslag mag worden meegenomen. In de golfoverslagberekeningen wordt uitgegaan van een dijklichaam waar het profiel tijdens een zware storm onveranderd blijft. Dit is echter niet het geval met het zandlichaam voor de boulevard. Er wordt verwacht dat een groot deel hiervan tijdens de storm zal afslaan, waardoor de kans op golfoverslag toeneemt. Dit mechanisme zit niet verwerkt in de uitgevoerde berekeningen.

E Legenda Kaarten

In dit rapport zijn topografische kaarten en hoogtekaarten opgenomen. Figuur E.1 toont de legenda van de topografische kaart, Figuur E.2 toont de legenda van de hoogtekaart.

Symbolen	Lijnen	Vlakken
politiebureau	afslaglijn 1:100.000	inundatie (h < ontwerppeil)
postkantoor	afslaglijn 1:40.000	inundatie (h = ontwerppeil)
gemeentehuis	afslaglijn 1:20.000	inundatie (h > ontwerppeil)
kerk zonder toren	afslaglijn 1:10.000	gebouw/huis
(kerk)toren	afslaglijn 1:4.000	hoogbouw
watertoren	afslaglijn 1:1.000	opslagtank
energiemolen	afslaglijn 1:500	bebouwing
windmolen	afslaglijn 1:100	kas/warenhuis
windmolentje	dijkkringlijn / grens kernzone	autosnelweg
watermolen	begrenzing kustgemeente	hoofdweg
gemaal	RSP - lijn	regionale weg
kapel	JARKUS - raaien	lokale weg
kruis	(voet)pad	ged. verhard / onverhard
wegwijzer	fietspad	fietspad
monument	tunnel	overige weg of straat
markant punt	veer	loofbos
vuurtoren, lichttoren	spoor	naaldbos
(grens)paal/dukdaal	tram/metro	gemengd bos
losse boom	infrastructuur in aanleg	griend
hoogspanningsmast	infrastructuur in ontwerp	bouwland
seinmast	hoogspanningleiding/kabelbaan	weiland
ja-knikker	schietbaan	populierenopstand
vlampijp	muur	boomgaard
km. paal (spoor)weg	zuivering	fruitwekerij
treinstation	heg	boomkwekerij
laadperron	bomenrij	heide
metrostation	geluidswering	zand
zendmast	talud	begraafplaats
pontveer	dijk	overig gebruik
voetveer	greppel	dok
kilometeraibord	dijk in aanleg/ontwerp	steiger
peilschaal	wal/kade	krib/steenglooing
baak	hek/afrastering	dras en riet
lichtopstand	grens enclave	droogvallende grond
dras	aanlegsteiger	water
riet	sloot	
hunnebed	hoogwater-/dieptelijn	
radiotelescoop	paalwerk/landaanwinning	
ziekenhuis		
tankstation		
parkeerterrein		
camping		
sportcomplex		

Figuur E.1 Legenda topografische kaart



Figuur E.2 Legenda hoogtekaart