

Opdrachtgever:  
Deltaprogramma Kust

# Overstromingskansen voor de Nederlandse kust





HKV LIJN IN WATER

Postbus 2120

8203 AC Lelystad

Nederland

Telefoon: 0320 294242

Fax: 0320 253901

E-mail: [info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)

Internet: <http://www.hkv.nl>

Bezoekadressen:

Botter 11-29, Lelystad

Elektronicaweg 12, Delft

Opdrachtgever:  
Deltaprogramma Kust

# **Overstromingskansen voor de Nederlandse kust**

Auteurs: Vincent Vuik  
Wim van Balen



# Samenvatting

In opdracht van het Deltaprogramma Kust is in kaart gebracht hoe het gesteld is met de huidige veiligheid van de Nederlandse kust. Als maat voor de veiligheid is de *overstromingskans* van de kustverdediging genomen. Deze overstromingskans kan opgevat worden als de kans op falen van een willekeurige locatie langs de kering, zodanig dat een overstroming optreedt in binnendijks gebied.

Voor elke JarKus-raai langs de Nederlandse kust zijn voor het jaar 2011 faalkansen berekend, zowel voor *duinen* als voor *dijken*. Hiermee is als het ware een foto met hoge resolutie beschikbaar gekomen die de kustveiligheid anno nu toont.

## Positionering

Het onderzoek is sterk gerelateerd aan drie grote landelijke projecten, namelijk WaterVeiligheid 21e eeuw (WV21, tegenwoordig Deltaprogramma Veiligheid geheten), Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) en Toestand van de Kust (binnen Rijkswaterstaat Beheer & Onderhoud Kust). Dit kader is als volgt:

- WV21: Bij de WV21-studies wordt ervan uit gegaan dat de waterkeringen exact voldoen aan de huidige wettelijke norm. Deze situatie zou zich in principe voordoen na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en -programma's rond 2015-2020. In de WV21-studies is ervan uit gegaan dat de risicobijdrage van de zachte keringen langs de kust klein is vergeleken met harde keringen. In de huidige studie is die aanname gecontroleerd vanuit het perspectief van kansen.
- VNK: Bij VNK worden de actuele overstromingsrisico's per dijkkring geanalyseerd. In 2014 zullen naar verwachting alle dijktringen zijn geanalyseerd en is een landelijk beeld beschikbaar. De voorliggende studie biedt nu al dit landsdekkende beeld voor de kust, bovendien op een fijnmaziger schaal dan VNK, omdat elke individuele raai is beschouwd.
- Toestand van de Kust: binnen dit kader wordt gefocust op meerdere aspecten van de kust (bijvoorbeeld recreatie en ecologie) in relatie tot veranderingen in faalkansen. De koppeling van deze trends met zandsuppleties neemt hierbij een centrale rol in. In het voorliggende rapport is niet gekeken naar veranderingen, maar naar de veiligheid in absolute zin.

## Methodiek

Voor de berekeningen voor elke JarKus-raai is het programma PC-Ring gebruikt. Hiermee sluit dit onderzoek aan bij de werkwijze van VNK, waarbinnen dit programma standaard wordt gebruikt. Dit programma berekent een faalkans voor een bepaald faalmechanisme.

Voor *duinen* is het faalmechanisme *duinafslag* gehanteerd. Hierbij is met DUROS+ de kans berekend dat de eerste duinenrij van een duinmassief wegslaat bij een storm. De basis - DUROS+ voor de eerste duinenrij - is dus vergelijkbaar met de methode van de toetsing. Indien achter de eerste duinenrij meerdere duinenrijen aanwezig zijn, is de faalkans in waarde gecorrigeerd aan de hand van de omvang van het gehele duinmassief.

Voor *dijken* zijn de faalmechanismen *overloop* en *golfoverslag* beschouwd. Hierbij is de kans berekend dat een dijk bezwijkt door ofwel een hoge waterstand, ofwel sterke golfslag. Zoals gebruikelijk bij zeedijken, zijn de mechanismen piping en stabiliteit niet beschouwd, omdat extreme belasting bij zeedijken van relatief korte tijdsduur zijn.

Het onderzoek is van beperkte omvang geweest in vergelijking met een project als VNK en met de toetsing volgens de wettelijke normen. Daarom zijn de volgende kanttekeningen van belang

bij het interpreteren van de resultaten:

- De resultaten zijn geldig voor de *huidige situatie* (2011). De resultaten tonen als het ware een foto met een hoge resolutie, die de veiligheid van de kust op dat moment representeert. Omdat de kust onder invloed staat van verschillende natuurlijke processen en menselijke invloeden, kan de situatie na verloop van jaren op bepaalde (dynamische) plekken significant zijn gewijzigd.
- De berekening van de sterkte van *dijken en duinen* verschilt fundamenteel. Noodzakelijkerwijs is daarom ook de definitie van falen en het meenemen van eventuele reststerkte verschillend. Het vergelijken van de berekende faalkansen voor dijken en duinen dient daarom ook met de nodige voorzichtigheid te gebeuren.
- Het duinafslagmodel DUROS+ is toegepast voor *alle duinen* langs de Nederlandse kust. DUROS+ is ontwikkeld op basis van een niet gekromde zandige kust, en met name gevalideerd voor duinen met een geometrie als aanwezig langs de Hollandse kust. De nauwkeurigheid van de resultaten is dan ook beperkt bij locaties met een gekromde kustlijn, significante stroomsnelheden, zandbanken voor de kust of een grillige profielvorm.
- De methode voor het corrigeren van de faalkansen vanwege meervoudige duinenrijen houdt geen rekening met eventuele *tweedimensionale effecten* zoals achterloopsheid van de eerste duinenrij. De methode is daarom niet toegepast op locaties waar na bezwijken van de eerste duinenrij duidelijk meerdimensionale effecten een rol gaan spelen. Aangeven of zulke effecten een rol spelen is echter niet altijd zonder detailanalyse mogelijk. Op bepaalde locaties heeft de correctie daarom mogelijk tot een te lage faalkans geleid.
- De aanwezigheid van *stabiele constructies* als boulevards en kades in de duinen is genegeerd. Aangenomen is dat deze werkwijze leidt tot een conservatieve schatting van de faalkans. Er is echter onvoldoende kennis beschikbaar om deze aanname wetenschappelijk te onderbouwen.
- Bij de Waddeneilanden is op verschillende plaatsen sprake van golfreductie door relatief ver uit de kust liggende zandbanken. Deze reductie is niet meegenomen de berekeningen.

### Resultaat per raai

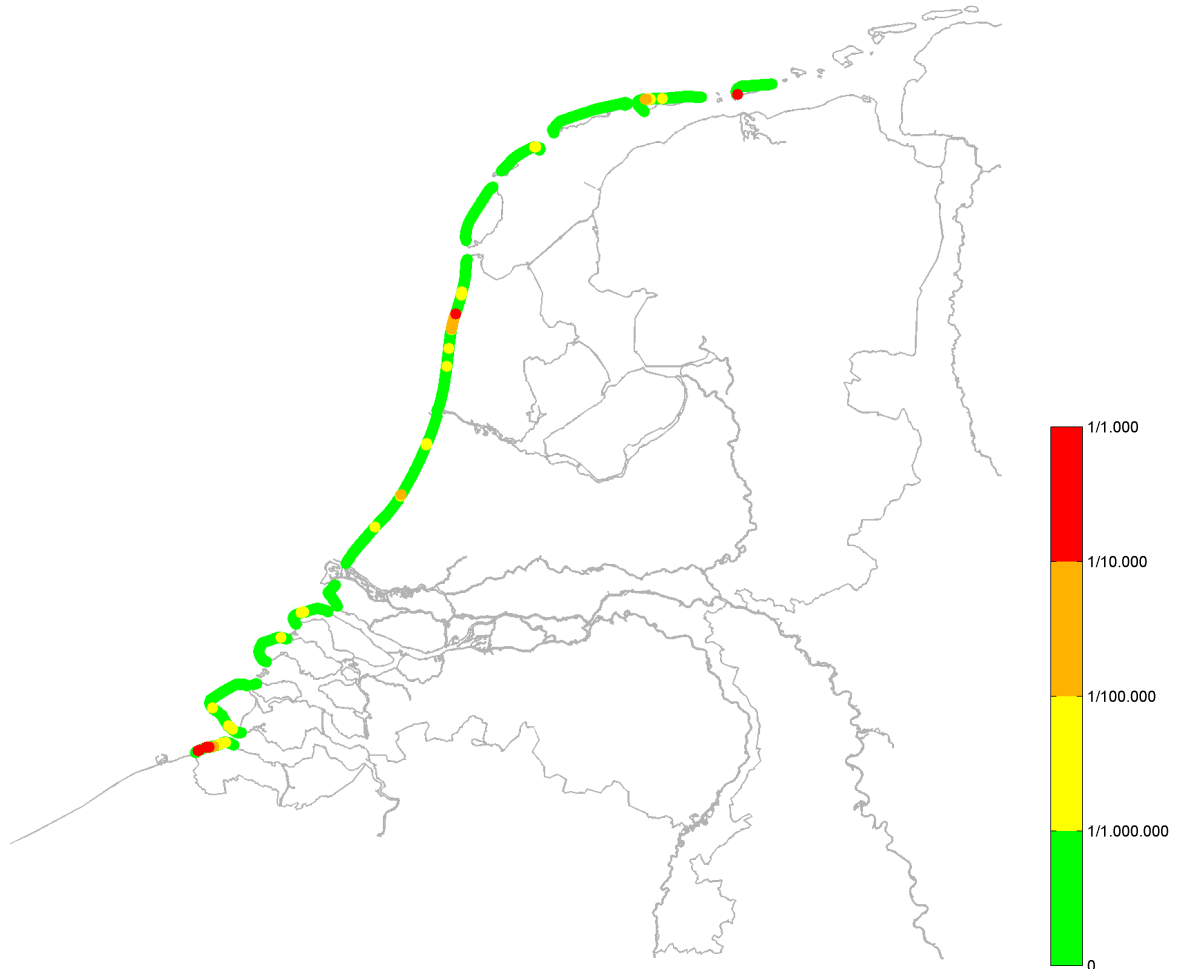
Het resultaat van de berekeningen is samengevat in de figuur op de volgende pagina. Hierbij zijn zowel duinen (het *gehele* duinmassief) als zeedijken getoond.

De hoogste overstromingskansen per JarKus-raai zijn berekend langs de Hondsbossche en Pettemer zeewering in Noord-Holland en verschillende harde zeeweringen in Zeeuws-Vlaanderen. Op beide locaties ligt direct naast de dijken ook een duinvak met een relatief hoge faalkans (rekening houdend met het gehele duinmassief). Verder is bij de westelijke eilandkop van Schiermonnikoog een faalkans van ongeveer eens per 10.000 per jaar berekend (rood weergegeven). JarKus-raaien met faalkansen tussen eens per 10.000 en 100.000 jaar (oranje weergegeven) zijn verder te vinden op Ameland (3 raaien) en bij Katwijk.

Voor het overgrote gedeelte is de faalkans van de zeewering kleiner dan één miljoenste per jaar (de 'groene gebieden'). Circa 85% van alle zeeweringen heeft zelfs een kans die kleiner is dan eens per 100 miljoen jaar. Een overstroming met deze kans van optreden kan buiten beschouwing gelaten worden: de faalkans is verwaarloosbaar.

### Resultaat per kustvak

Tevens is nagegaan hoe groot de kans is dat er ergens binnen een kustvak een overstroming optreedt en het achterliggende dijkkringgebied inundeert. Daartoe zijn de faalkansen per raai gecombineerd tot een overstromingskans per kustvak. Deze overstromingskansen kunnen vervol-



*Faalkansen langs de gehele Nederlandse kust, voor zowel duinen (het gehele duinmassief) als zeedijken, voor de situatie van 2011. De faalkansen zijn gegeven op jaarbasis (1/10.000 betekent bijvoorbeeld eens per tienduizend jaar).*

gens bijvoorbeeld worden gelegd naast een (binnen de WV21-studies ontwikkeld) scenario met overstromingskansen die gelden voor de situatie waarbij alle keringen precies aan de wettelijke norm voldoen, na uitvoering van de lopende en de tot 2020 geplande verbeterprojecten.

Hoewel de kustvakken niet volledig overeenkomen met de WV21 ringdelen, leiden de resultaten wel tot meer inzicht in de actuele veiligheidsituatie van de Noordzeekust. Daarmee geeft het onderzoek ook meer inzicht in een eventuele veiligheidsopgave met het oog op maatschappelijk aanvaardbare overstromingskansen in 2050 (welke binnen de WV21-studies zullen worden vastgesteld).

De berekende overstromingskans voor de Noordzeekust in 2011 is veelal laag tot zeer laag in vergelijking met de geschatte overstromingskansen, wanneer alle waterkering precies aan de huidige wettelijk norm voldoen:

- De overstromingskans van Schiermonnikoog, Ameland, Zuid-Holland, Goeree en Walcheren is 2.5 tot 10× lager dan de schatting.
- De overstromingskans van Vlieland en Schouwen is ongeveer 100× lager dan de schatting.
- De overstromingskans van Terschelling, Texel, Voorne en Noord-Beveland is (veel) meer dan 100× lager dan de schatting.

Alleen Noord-Holland en Zeeuws-Vlaanderen vormen hierop een uitzondering. Hier wordt de kust echter de komende jaren versterkt, waardoor de overstromingskansen naar verwachting zal afnemen.

### **Conclusies**

Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies naar voren gekomen:

1. De voor 2011 berekende faalkansen langs de Noordzeekust zijn in het algemeen laag tot zeer laag. Ongeveer 85% van de zeewering heeft een verwaarloosbare faalkans. Minder dan 1% van de waterkeringen heeft een faalkans tussen 1/10.000 per jaar en 1/1.000 per jaar. Deze trajecten zijn veelal opgenomen in de lopende of geplande verbeterprogramma's.
2. In Nederland zijn de dijken over het algemeen zwakker dan de duinen. De berekende faalkansen voor dijken zijn sterk afhankelijk van het gehanteerde kritieke overslagdebiet. De faalkans neemt vooral sterk af bij een toenemend kritiek overslagdebiet tussen 0.1 en 10 l/s/m. De waarde van 10 l/s/m is in deze studie als uitgangspunt gehanteerd.
3. De WV21-rapporten gaan ervan uit dat de zandige zeeweringen een kleine bijdrage leveren aan het overstromingsrisico vergeleken met de harde keringen. De kansen op falen van de zachte keringen zijn ook in dit onderzoek aanzienlijk kleiner gebleken dan van de harde keringen. De aanname van de WV21-rapporten is dus juist, mits de gevolgen van het falen van dijken en duinen vergelijkbaar van omvang zijn (omdat risico = kans  $\times$  gevolg).
4. Het beeld ten aanzien van zwakke plekken langs de kust komt grotendeels overeen met de huidige, veronderstelde inzichten.



# Inhoudsopgave

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Toetsing van primaire waterkeringen	1
1.2 Positionering van het onderzoek	1
1.2.1 Waterveiligheid 21e eeuw	2
1.2.2 Veiligheid Nederland in Kaart	3
1.2.3 Toestand van de kust	3
1.3 Doelstelling	4
1.4 Uitgangspunten en randvoorwaarden	4
1.5 Leeswijzer	5
1.6 Projectteam	6
<b>2 Werkwijze</b>	<b>7</b>
2.1 Dwarsprofielen	7
2.1.1 JarKus-raaien	7
2.1.2 JarKus-data	8
2.1.3 AHN-data	9
2.2 Dijken	9
2.2.1 Faalmechanisme	10
2.2.2 Probabilistische rekenmethode	12
2.3 Duinen	12
2.3.1 Faalmechanisme	13
2.3.2 Probabilistische rekenmethode	14
2.3.3 Verwijderen van meervoudige duinenrijen	15
2.3.4 Correctie faalkans op basis van volumes	16
2.4 Controle van de resultaten	19
2.5 Overstromingskansen per kustvak	20
2.5.1 Faalkans, overstromingskans en overstromingsrisico	20
2.5.2 Indeling in kustvakken	20
2.5.3 Combineren van faalkansen	21
<b>3 Waddeneilanden</b>	<b>23</b>
3.1 Schiermonnikoog	23
3.1.1 Gebiedskenmerken	23
3.1.2 Resultaten	23
3.1.3 Overstromingskans kustvak	24
3.1.4 Hoogste faalkansen	25
3.2 Ameland	25
3.2.1 Gebiedskenmerken	25
3.2.2 Resultaten	25
3.2.3 Overstromingskans kustvak	26
3.2.4 Hoogste faalkansen	27
3.3 Terschelling	27
3.3.1 Gebiedskenmerken	27
3.3.2 Resultaten	27
3.3.3 Overstromingskans kustvak	28
3.3.4 Hoogste faalkansen	28
3.4 Vlieland	29

3.4.1	Gebiedskenmerken .....	29
3.4.2	Resultaten .....	29
3.4.3	Overstromingskans kustvak .....	30
3.4.4	Hoogste faalkansen .....	31
3.5	Texel .....	31
3.5.1	Gebiedskenmerken .....	31
3.5.2	Resultaten .....	32
3.5.3	Overstromingskans kustvak .....	34
3.5.4	Hoogste faalkansen .....	34
3.6	Overzicht overstromingskansen per kustvak .....	34
<b>4</b>	<b>Hollandse kust .....</b>	<b>35</b>
4.1	Noord-Holland .....	35
4.1.1	Gebiedskenmerken .....	35
4.1.2	Resultaten .....	35
4.1.3	Dijken .....	37
4.1.4	Overstromingskans kustvak .....	37
4.1.5	Hoogste faalkansen .....	38
4.2	Rijnland .....	40
4.2.1	Gebiedskenmerken .....	40
4.2.2	Resultaten .....	40
4.2.3	Overstromingskans kustvak .....	42
4.2.4	Hoogste faalkansen .....	43
4.3	Delfland .....	44
4.3.1	Gebiedskenmerken .....	44
4.3.2	Resultaten .....	44
4.3.3	Overstromingskans kustvak .....	44
4.3.4	Hoogste faalkansen .....	45
4.4	Overzicht overstromingskansen per kustvak .....	46
<b>5</b>	<b>Zeeuwse Delta .....</b>	<b>47</b>
5.1	Voorne .....	47
5.1.1	Gebiedskenmerken .....	47
5.1.2	Resultaten .....	47
5.1.3	Overstromingskans kustvak .....	48
5.1.4	Hoogste faalkansen .....	49
5.2	Goeree .....	49
5.2.1	Gebiedskenmerken .....	49
5.2.2	Resultaten .....	50
5.2.3	Dijken .....	50
5.2.4	Overstromingskans kustvak .....	51
5.2.5	Hoogste faalkansen .....	51
5.3	Schouwen .....	51
5.3.1	Gebiedskenmerken .....	51
5.3.2	Resultaten .....	52
5.3.3	Overstromingskans kustvak .....	53
5.3.4	Hoogste faalkansen .....	53
5.4	Noord-Beveland .....	54
5.4.1	Gebiedskenmerken .....	54

5.4.2	Resultaten .....	54
5.4.3	Overstromingskans kustvak .....	54
5.4.4	Hoogste faalkansen .....	54
5.5	Walcheren .....	55
5.5.1	Gebiedskenmerken .....	55
5.5.2	Resultaten .....	56
5.5.3	Dijken .....	58
5.5.4	Overstromingskans kustvak .....	58
5.5.5	Hoogste faalkansen .....	58
5.6	Zeeuws-Vlaanderen .....	59
5.6.1	Gebiedskenmerken .....	59
5.6.2	Resultaten .....	59
5.6.3	Dijken .....	60
5.6.4	Overstromingskans kustvak .....	60
5.6.5	Hoogste faalkansen .....	60
5.7	Overzicht overstromingskansen per kustvak .....	61
<b>6</b>	<b>Synthese .....</b>	<b>63</b>
6.1	Faalkansen voor individuele JarKus-raaien .....	63
6.2	Overstromingskansen per kustvak .....	66
6.3	Aanbevelingen .....	70
<b>Bijlage A</b>	<b>Uitgewerkt voorbeeld duinberekening .....</b>	<b>73</b>
A.1	Karakteristieken .....	73
A.2	Dwarsprofiel .....	73
A.3	Stochasten .....	74
A.4	Resultaten .....	75
A.5	Controles .....	76
<b>Bijlage B</b>	<b>Uitgewerkt voorbeeld dijkberekening .....</b>	<b>79</b>
B.1	Karakteristieken .....	79
B.2	Dwarsprofiel .....	79
B.3	Stochasten .....	80
B.4	Resultaten .....	81
<b>Bijlage C</b>	<b>Systeemfaalkans volgens Ditlevsen .....</b>	<b>83</b>
C.1	Betrouwbaarheidsinterval .....	83
C.2	Voorbeeld .....	84
<b>Bijlage D</b>	<b>Berekende faalkansen per kustvak .....</b>	<b>85</b>
D.1	Schiermonnikoog .....	85
D.2	Ameland .....	86
D.3	Terschelling .....	88
D.4	Vlieland .....	90
D.5	Texel .....	91
D.6	Noord-Holland .....	94
D.7	Rijnland .....	100
D.8	Delfland .....	104
D.9	Voorne .....	107
D.10	Goeree .....	109

D.11 Schouwen .....	111
D.12 Noord-Beveland .....	114
D.13 Walcheren .....	115
D.14 Zeeuws-Vlaanderen .....	119
<b>Bijlage E Resultaten derde toetsronde .....</b>	<b>121</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>123</b>

# 1 Inleiding

Grote delen van Nederland liggen onder of rond zeeniveau. Deze gebieden worden beschermd tegen hoogwater door een zeewering, die bestaat uit duinen en zeedijken. Bij de toetsing van de keringen op veiligheid wordt onderzocht of de kering wel of geen stand houdt op het moment dat de maatgevende hydraulische belasting optreedt. Het resultaat van de toetsing is dus 'veilig genoeg' of 'niet veilig genoeg'.

Om de vraag te beantwoorden *hoe* veilig of *hoe* onveilig de zeewering is, moet zowel de onzekerheid in de belasting als de onzekerheid in de sterkte van de zeewering meegenomen worden. Dit is gebeurd in het project 'Overstromingskansen voor de Nederlandse Kust', waarvan het voorliggende rapport de resultaten presenteert. Het resultaat is de kans dat de waterkering op een bepaalde plek langs de Nederlandse kust faalt in het uitvoeren van zijn primaire taak: het beschermen van het achterland tegen overstromingen.

## 1.1 Toetsing van primaire waterkeringen

In de Waterwet is opgenomen dat elke zes jaar verslag wordt gedaan over de 'algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen'. De toetsing heeft tot doel een landelijk eenduidig beeld te geven van de veiligheid die de primaire waterkeringen tegen overstromingen bieden. De toetsing dient als startpunt voor het eventueel treffen van maatregelen ter verbetering van de primaire waterkeringen. Er zijn tot nu toe drie toetsrondes geweest: 1996 tot 2001, 2001 tot 2006 en 2006 tot 2011. De meest recente toetsing is dus de derde toetsronde ([Inspectie Verkeer en Waterstaat \(2011\)](#)).

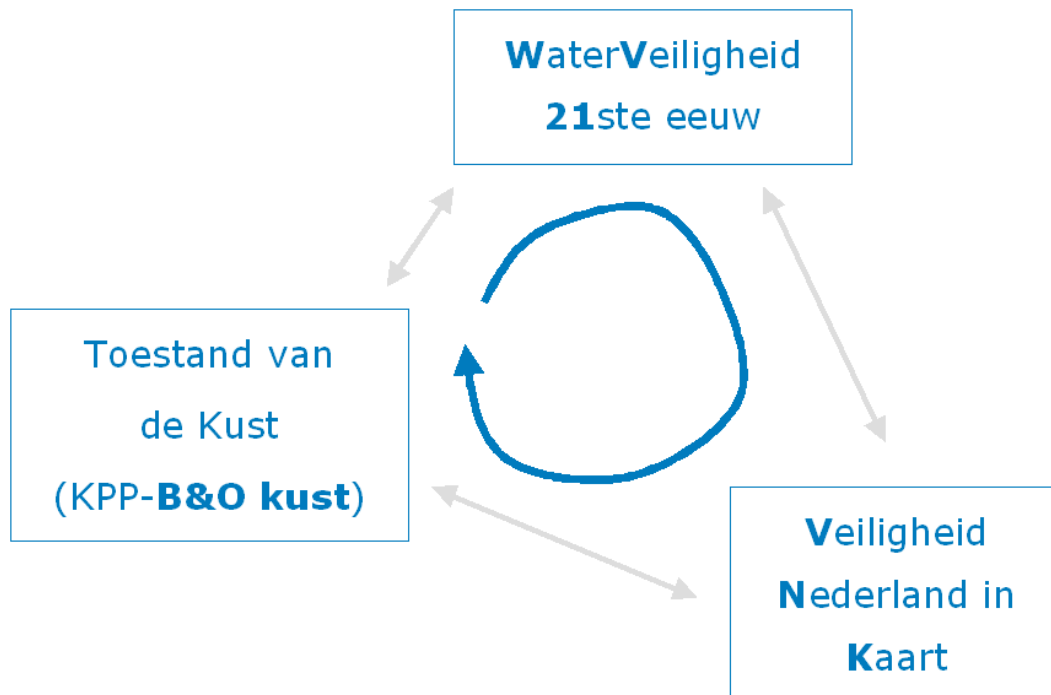
Het wettelijke toetsinstrumentarium (WTI) schrijft de toe te passen regels voor en wordt elke vijf jaar door de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat vastgesteld. Het WTI bestaat uit de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). De toetsing van een waterkering kan tot drie oordelen leiden: de waterkering 'voldoet' aan de norm, de waterkering 'voldoet niet' aan de norm of er is door onvoldoende informatie 'geen oordeel' mogelijk. Een faalkans wordt niet gegeven binnen de toetsing in het kader van de Waterwet.

De huidige normen zijn gebaseerd op de overschrijdingsfrequentie van de hydraulische belasting ter plaatse van een waterkering. De maximale overschrijdingsfrequentie is voor de Hollandse kust bij wet vastgesteld op 1/10.000 per jaar, voor Texel en de Zeeuwse delta op 1/4.000 per jaar en voor de overige Waddeneilanden op 1/2.000 per jaar.

Bij de toetsing van de waterkeringen wordt de sterkte deterministisch beschouwd. Het verschil tussen een overschrijdingskans van de hydraulische belasting op de waterkering en een faalkans van de waterkering is, dat in het laatste geval ook de onzekerheid in de sterkte van de waterkering meegenomen wordt. De sterkte wordt dan *probabilistisch* beschouwd.

## 1.2 Positionering van het onderzoek

In het voorliggende rapport worden berekende faalkansen gepresenteerd voor de Nederlandse kust. Hiermee raakt het onderzoek aan drie andere, landelijke projecten, namelijk het project 'Waterveiligheid 21e eeuw', het project 'Veiligheid Nederland in Kaart' en het project 'Toestand van de kust' (zie figuur 1-1). In deze paragraaf wordt ingegaan op de positionering van het onderzoek ten opzichte van deze drie andere projecten.



*Figuur 1-1 Drie landelijke projecten, waarin de veiligheid van de Nederlandse kust een nadrukkelijke rol speelt. De voorliggende studie raakt aan alledrie de projecten.*

### 1.2.1 Waterveiligheid 21e eeuw

Vanaf omstreeks 50 jaar geleden zijn in Nederland wettelijke normen tot stand gekomen ten behoeve van de bescherming van het laaggelegen polderland tegen grootschalige overstromingen vanuit de zee, de rivieren en de meren. In deze afgelopen 50 jaar zijn de bevolking in en de economische waarde van deze laaggelegen gebieden sterk toegenomen, waardoor de mogelijke gevolgen van een overstroming navenant zijn toegenomen.

Binnen het Deltaprogramma Veiligheid (voorheen 'WaterVeiligheid 21e Eeuw' (WV21)) wordt nagedacht over actualisering van de waterveiligheidsnormen op basis van een risicobenadering. Deze normen moeten leiden tot een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau tegen overstromingen. Daarbij worden overstromingsrisico's zowel vanuit perspectief van economische doelmatigheid als vanuit slachtofferperspectief beschouwd (individueel risico en groepsrisico).

In het kader van project WV21 zijn de afgelopen periode meerdere studies verricht, waarvan de studies van [Deltares \(2011a\)](#) en [Deltares \(2011b\)](#) de meest recente zijn. Deze rapporten vormen bouwstenen voor de discussie over maatschappelijk aanvaardbare overstromingsrisico's. Een mogelijk interessante 'beleids optie' vormt de in de MKBA berekende optimale overstromingskans. Er zijn tevens andere denkbaar, zoals een overstromingskans behorend bij een maximaal toelaatbare LIR-waarde (Lokaal Individueel Risico) van 1/100.000 jaar of die bij een bepaalde oriëntatiewaarde voor het (landelijk) groepsrisico. Het startpunt bij de WV21-studies is dat alle waterkeringen precies voldoen aan de wettelijke norm. Dit is de situatie in 2015/2020 na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en verbeterprogramma's.

In de WV21-studies zijn duinen niet beschouwd. De overwegingen hierbij zijn tweeledig geweest. Enerzijds is gesteld dat de kans op een doorbraak van een breed duingebied nihil is en anderzijds is gesteld dat bijdrage van een doorbraak van een smalle duinenrij een zeer beperkte bijdrage levert aan het totale overstromingsrisico.

De aanvullende waarde van de voorliggende studie voor de WV21-studies is, dat het de aanname controleert dat duinen voldoende veilig te zijn om buiten beschouwing gelaten te worden in risico-analyses.

### 1.2.2 Veiligheid Nederland in Kaart

Het project 'Veiligheid Nederland in Kaart' (VNK) geeft – in tegenstelling tot de WV21-studies – inzicht in de *actuele* overstromingsrisico's in een dijkkringgebied. Onderdeel van dit onderzoeksproject is het bepalen van overstromingsrisico's en het berekenen van de overstromingskansen van de waterkeringen.

Omdat de resultaten van VNK nog niet landsbreed voorhanden zijn en omdat de resultaten van de derde toetsronde geen inzicht geven in de overstromingskans, is in de WV21 rapporten een referentiesituatie gehanteerd op basis van een *inschatting* van de verwachte overstromingskansen per dijkkringdeel in 2015/2020 (na uitvoering van de lopende verbeterprojecten). Deze inschatting is gebaseerd op de inzichten uit omreken Tabellen van experts.

Aangezien de resultaten van VNK pas in 2014 landsbreed bekend zijn, ligt de aanvullende waarde van de voorliggende studie erin dat voor de kust de overstromingskansen *nu* reeds landsbreed beschikbaar zijn gekomen.

### 1.2.3 Toestand van de kust

De actualisatie van de veiligheidsnormen voor waterveiligheid raakt ook de kuststrook, die voor het overgrote gedeelte uit zandduinen bestaat. De Deltacommissie adviseert voor de Noordzeekust het *bouwen met de natuur*, ofwel bescherming en aangroei van de kust door middel van zandsuppleties.

De twee cruciale onderwerpen die hierbij spelen zijn:

- de relatie tussen de veiligheid van de zeewering en zandsuppleties,
- de relatie tussen beheer en onderhoud van de kust en besparing bij het HoogWater BeschermingsProgramma (HWBP).

Het deelprogramma 'Toestand van de kust' (onderdeel van het programma Beheer en Onderhoud Kust (KPP-B&O Kust)) richt zich onder andere op de relatie tussen de uitgevoerde zandsuppleties en de diverse functies van de Nederlandse kust, zoals recreatie, drinkwatervoorziening, natuur, ecologie, maar ook veiligheid.

Rijkswaterstaat maakt keuzes bij het vaststellen van het suppletieprogramma voor de Nederlandse kust. Die keuzes zijn gebaseerd op een combinatie van kennis en een aantal hypothesen. Binnen het project KPP-B&O Kust wordt gericht onderzoek uitgevoerd om deze hypothesen te toetsen. Het onderzoek van HKV [LIJN IN WATER](#) zoals beschreven in [HKV \[LIJN IN WATER\]\(#\) \(2011a\)](#) heeft een bijdrage geleverd aan de onderbouwing van de hypothese dat 'als gevolg van de uitgevoerde suppletie strategie er (op termijn) een positieve trendwijziging optreedt in alle indicatoren in het dwarsprofiel'.

De bijdrage van HKV [LIJN IN WATER](#) heeft bestaan uit het berekenen van de faalkansen voor duinafslag voor de eerste duinen voor het tijdvak 1965 tot en met 2010. Het jaar 2011 is daarin dus niet meegenomen. De analyse van die berekeningen heeft zich beperkt tot kustvak 7, Noord-Holland, en is gefocust geweest op de *trends* in de uitkomsten. Deze trends zijn vergeleken met de uitgevoerde suppletie strategie.

De aanvullende waarde van de voorliggende studie voor het project Toestand van de kust, is het beschikbaar komen van de faalkansen voor de *huidige* staat van de *gehele* Nederlandse kust, en

dus niet alleen van Noord-Holland.

### 1.3 Doelstelling

Gezien het feit dat binnen project VNK nog niet de gehele kust is doorgerekend en dat binnen het project Toestand van de Kust enkel kustvak 7, Noord-Holland, is geanalyseerd, heeft de wens bestaan om fijnmazig faalkansen voor de kust te berekeningen die kunnen bijdragen aan een overzicht van de huidige binnendijkse veiligheid van de Nederlandse kust.

De doelstelling van dit project is het komen tot een **overzicht van de faalkans** van de waterkering bij elke JarKus-raai langs de **gehele Nederlandse Noordzeekust** voor de meest recente set met JarKus-data (2011). De faalkansen per JarKus-raai worden gecombineerd en geclusterd tot een overstromingskans per kustvak.

Dit rapport is dus gericht op de vraag 'hoe ligt de kust er nu bij?' en kan daarmee input geven aan de vraag 'hoe veilig wil je zijn?'

### 1.4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Bij de analyse zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd:

- Om aan te sluiten bij de rekentechnische methodiek van project VNK, wordt uitgegaan van het gebruik van het pakket PC-Ring. Wat betreft duinafslag, komt dit pakket neer op een probabilistische schil om het duinafslagmodel DUROS+ heen. Deze methode DUROS+ sluit nauw aan bij de achtergronden van de gehanteerde toetsmethodiek volgens [TAW \(2007\)](#).
- De meest recente versie van PC-Ring (versie 5.3.4) is gekoppeld aan de hydraulische randvoorwaarden volgens de ThermoMeterRandvoorwaarden uit 2006, kortweg TMR2006.
- Het duinafslagmodel DUROS+ is in principe alleen in staat om een enkelvoudige duinenrij door te rekenen. Op het onderscheid tussen een enkelvoudige en een meervoudige duinenrij wordt ingegaan in het volgende hoofdstuk. Indien een duinenrij bestaat uit een evident meervoudige duinenrij is een inschatting gemaakt voor de gehele duinenrij op basis van expert judgement.
- De effectiviteit van zandsuppleties en de historische ontwikkeling van de kustmorfologie worden *niet* beschouwd binnen het voorgestelde onderzoek; het uitgangspunt is om te komen tot een visualisatie van de *huidige* staat van de Nederlandse kust.
- Ook bij nadrukkelijk complexe kustgebieden is een ééndimensionale beschouwing toegepast. Meerdimensionale aspecten, zoals achterloopsheid, komen hierbij *niet* aan de orde; dit valt buiten de scope van dit project. Bij bepaalde locaties kan een geavanceerde benadering noodzakelijk zijn. In de voorliggende rapportage zijn deze locaties slechts fragmentarisch benoemd.
- Ter plaatse van in het duinmassief gelegen bebouwing is de overstromingskans berekend voor de situatie dat het zeewater deze bebouwing bereikt. Een overstroming van het achterliggende gebied treedt in deze situatie niet op.





*Figuur 1-2 Weergave van de verdeling van de Nederlandse kust in diverse kustvakken, zowel langs de Noordzee als langs de Waddenzee. In de voorliggende studie ligt de focus op de Noordzeekust.*

## 1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de gehanteerde werkwijze, om te komen tot een faalkans per JarKus-raai en een overstromingskans per kustvak. De hoofdstukken 3 tot en met 5 geven vervolgens de resultaten van het onderzoek. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten voor de kustvakken behorend bij de Waddeneilanden (kustvakken 2 tot en met 6), hoofdstuk 4 behandelt de Hollandse kust (kustvakken 7 tot en met 9) en hoofdstuk 5 geeft de resultaten voor de Zeeuwse Delta (kustvakken 11, 12, 13, 15, 16 en 17). Het rapport eindigt met hoofdstuk 6, waarin de essentie van het onderzoek is beschreven in een synthese, en waarin conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd.

De volgende kustvakken zijn dus onderzocht:

- de Wadden: kustvakken 2-Schiermonnikoog, 3-Ameland, 4-Terschelling, 5-Vlieland, 6- Texel,
- de Hollandse kust: kustvakken 7-Noord-Holland, 8-Rijnland, 9-Delfland,
- de Zeeuwse delta: kustvakken 11-Voorne, 12-Goeree, 13-Schouwen, 15-Noord-Beveland, 16-Walcheren, 17-Zeeuwsvlaanderen.

Figuur 1-2 toont de indeling van de Nederlandse kust in kustvakken. Bij de combinatie van faalkansen voor individuele raaien naar ringdelen, wordt deze kustvakken beschouwd. Alleen strekkingen die gelegen zijn langs de Noordzeekust worden in de beschouwing meegenomen. Daardoor wijkt de indeling in kustvakken enigszins af van de indeling zoals gehanteerd binnen WV21.

## 1.6 Projectteam

Het project is uitgevoerd door Vincent Vuik en Wim van Balen in opdracht van het Deltaprogramma Kust. Durk Riedstra (Rijkswaterstaat Waterdienst, Deltaprogramma Veiligheid) is namens de opdrachtgever contactpersoon geweest.

Op 8 juni 2012 en 10 augustus 2012 heeft een bespreking plaatsgehad met een klankbordgroep, die bestond uit Niels Roode (Rijkswaterstaat Waterdienst, project VNK), Nisa Nurmohamed (Hoogheemraadschap van Delfland) en Gemma Ramaekers (Rijkswaterstaat Waterdienst, project Toestand van de Kust). Naast deze drie personen heeft tevens Quirijn Lodder (Rijkswaterstaat Waterdienst) geadviseerd over diverse aspecten van het onderzoek.

Op 17 augustus 2012 zijn de concept resultaten gepresenteerd voor de werkgroep Kust van het Expertise Netwerk Waterveiligheid. Deze bespreking van de werkwijze en de resultaten heeft niet geleid tot aanpassingen van of wijzigingen in de resultaten.

## 2 Werkwijze

De doelstelling van dit project is het komen tot een overzicht van de faalkans van de waterkering bij elke JarKus-raai langs de gehele Nederlandse kust, voor de set met JarKus-data van 2011. Dit hoofdstuk beschrijft de route van de twee belangrijkste databronnen, JarKus-data en Hydraulische Randvoorwaarden, via faalkansen per JarKus-raai naar overstromingskansen per kustvak.

### 2.1 Dwarsprofielen

De hoogteligging van de zeekering heeft voor zowel duinen als dijken de grootste invloed op de faalkans voor de betreffende locatie. De dwarsprofielen, zoals gebruikt voor de berekeningen van de faalkansen, zijn aangemaakt op basis van JarKus-data en AHN-data.

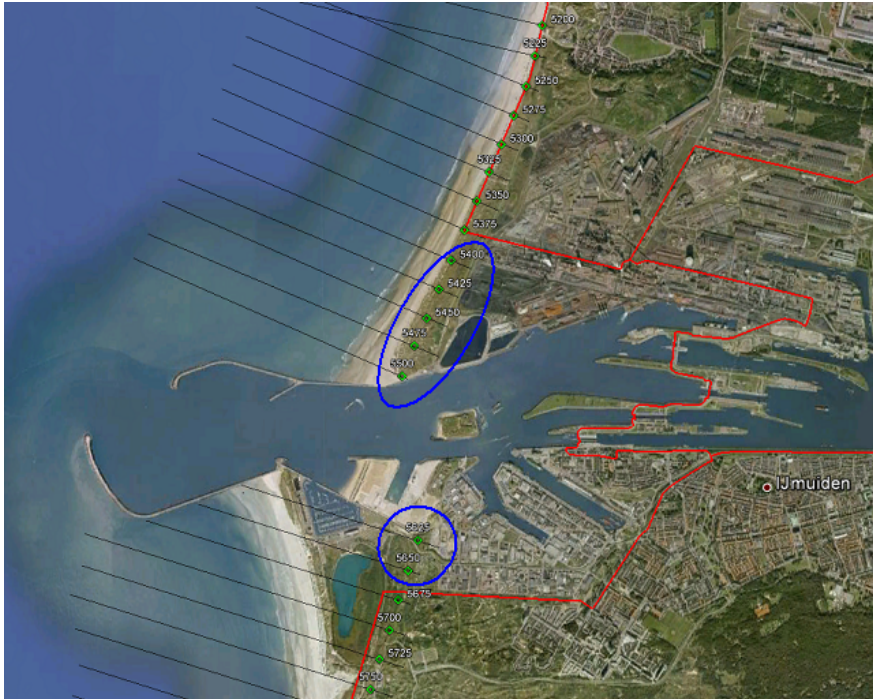
#### 2.1.1 JarKus-raaien

Rijkswaterstaat voert jaarlijks hoogtemetingen uit van het dwarsprofiel langs vastgestelde raaien langs de Nederlandse kust. Deze metingen staan bekend als JarKus-metingen (Jaarlijkse Kustmetingen). De onderlinge afstand tussen de raaien varieert veelal tussen 200 en 250 m. Figuur 2-1 toont een voorbeeld voor de JarKus-raaien langs de kust van Goeree (Zeeland). De rode lijn in deze figuur geeft de omtrek van de dijkkring aan. De groene markeringen geven de locatie aan van de Rijksstrandpalen. Elke JarKus-raai heeft zijn nulpunt bij de Rijksstrandpalenlijn.



Figuur 2-1 JarKus-raaien langs de kust van Goeree, weergegeven met de zwarte lijnen (bron: Open-EarthTools). De rode lijn geeft de omtrek van de dijkkring aan.

Alleen raaien, die de zeewering langs de dijkringen doorsnijden, zijn beschouwd. Bijvoorbeeld op de Waddeneilanden doorsnijdt een aanzienlijk deel van de raaien geen duinen, maar alleen natuurgebied. Figuur 2-2 toont een ander voorbeeld van buiten beschouwing gelaten raaien, bij de haven van IJmuiden.



Figuur 2-2 Voorbeeld van buiten beschouwing gelaten raaien (blauw gemarkeerd), die de waterkering langs de dijkring (rode lijn) niet doorsnijden.

De Nederlandse zeewering bestaat voor het grootste deel uit duinen, en voor een klein deel uit zeedijken. Voorbeelden van zeedijken zijn de Hondsbossche- en Pettemer zeewering in Noord-Holland en het Flaauwe Werk op Goeree. Zoals uit het vervolg van dit rapport zal blijken, zijn beide typen zeewering afzonderlijk beschouwd.

### 2.1.2 JarKus-data

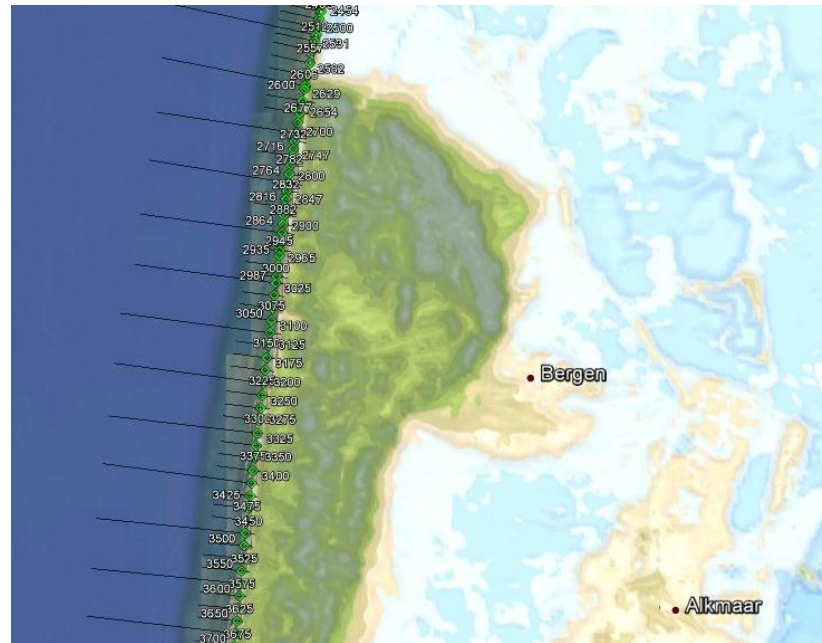
Rijkswaterstaat meet de hoogte van het droge deel van de JarKus-raaien vanuit een vliegtuig met behulp van laseraltimetrie. Het natte deel van het profiel wordt vanaf een schip met behulp van lodingen vastgelegd. Beide datasets voor 2011 zijn gescheiden aan HKV opgeleverd door de Servicedesk Water van Rijkswaterstaat. HKV heeft de beide databronnen samengevoegd tot één dwarsprofiel per JarKus-raai. De enige bewerking is het verwijderen van de overlap tussen beide metingen geweest.

De dataset van 2011 vormt het uitgangspunt voor de studie. De resultaten voor 2011 zijn vergeleken met de berekeningen uit [HKV LIJN IN WATER \(2011a\)](#) voor 2009 en 2010. Daarnaast dienen de rekenresultaten voor 2009 en 2010 als backup in het geval van leemtes in de data voor 2011 of foute uitkomsten van de berekeningen voor 2011. De profielen van 2009 en 2010 zijn afkomstig uit OpenEarth <sup>1</sup>. Het enige verschil met de originele meetdata is dat de data in OpenEarth al een samenvoeging is van de laseraltimetriedata en de lodingsdata, zodat deze bewerking niet door HKV behoefde te worden uitgevoerd.

<sup>1</sup>Zie de website <https://publicwiki.deltares.nl/display/OET/OpenEarth>

### 2.1.3 AHN-data

De JarKus-profielen zijn landwaarts aangevuld met data uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).<sup>2</sup> Figuur 2-3 geeft een weergave van het AHN voor de duinen in Noord-Holland nabij Bergen, ten noordwesten van Alkmaar. De aanvulling is uitgevoerd tot maximaal 2500 m landinwaarts van de Rijksstrandpaal van de betreffende raai. In bepaalde gevallen is over een kleinere lengte aangevuld, bijvoorbeeld in verband met het doorsnijden van bebouwde gebieden.



Figuur 2-3 Het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) voor de duinen ten noordwesten van Alkmaar.

Er is gekozen voor het aanvullen van de JarKus-profielen met AHN-data om twee redenen:

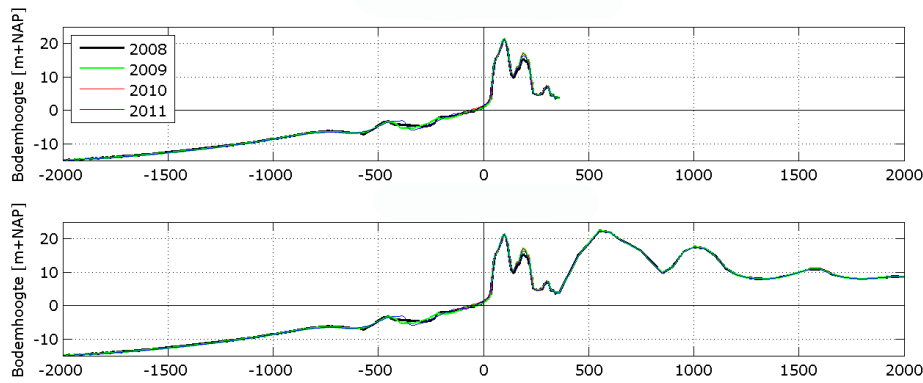
1. Het completeren van incomplete doorsneden van de eerste duinenrij. Een deel van de JarKus-metingen stopt namelijk halverwege de eerste duin.
2. Het verkrijgen van een indruk van de hoogteligging van de gebieden aan de landzijde van de eerste duinenrij. Figuur 2-4 toont een voorbeeld van een tweede duinenrij, die niet in de JarKus-data (bovenste deel van de figuur) aanwezig is. Zoals later in dit hoofdstuk aan de orde zal komen, kan duinafslag met het gebruikte instrumentarium alleen worden berekend voor een eenvoudige duinenrij. Om het resultaat van de berekeningen voor de eerste duinenrij te interpreteren, is inzicht in de hoogteligging van het complete duingebied van groot belang.

Bijlage A geeft een gedetailleerd uitgewerkt voorbeeld voor een individuele duinraai. Daarin komt ook het aanvullen met AHN-data aan de orde.

## 2.2 Dijken

In de kustvakken Noord-Holland, Goeree, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen zijn behalve duinen ook dijken aanwezig als zeewering. De maatgevende faalmechanismen van dijken zijn fundamenteel anders dan die voor duinen.

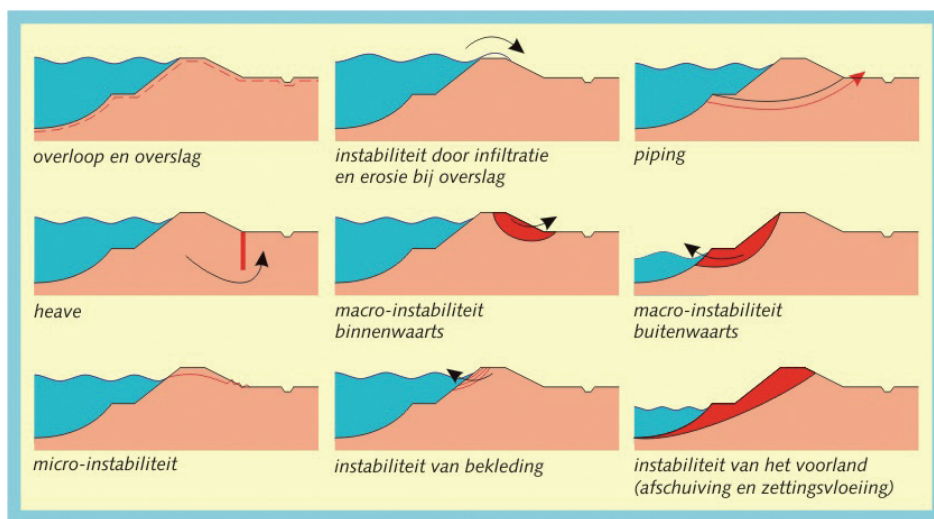
<sup>2</sup>AHN2 was voor dit project nog niet beschikbaar via OpenEarth, zodat gebruik gemaakt is van het AHN1 uit 2003.



Figuur 2-4 De Jarkus-data voor raai 7004150 in Noord-Holland (boven), en het profiel na aanvullen met AHN-data (onder).

### 2.2.1 Faalmechanisme

Bij de toetsing van dijken dient volgens het Voorschrift Toetsing op Veiligheid (VTV) rekening gehouden te worden met de faalmechanismen zoals getoond in figuur 2-5. Vanwege de kortdurige belasting van waterkeringen langs de Noordzee (getijwerking), worden voor zeedijken alleen de faalmechanismen overloop en golfoverslag beschouwd. Deze aanname wordt ondersteund door de resultaten van Mai Van et al. (2007), waarin wordt aangetoond dat de bijdrage van overloop en overslag de totale faalkans domineert.



Figuur 2-5 Faalmechanismen van dijken (overgenomen uit Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007)).

#### Overloop

Bij het mechanisme overloop is falen gedefinieerd als het overschrijden van de keringshoogte door de waterstand. De bijbehorende grenstoestandsfunctie luidt:

$$Z = h_d - h, \tag{2-1}$$

waarbij  $h_d$  de dijkhoogte (hoogste punt) representeert en  $h$  de lokale waterstand. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de aanwezige sterkte van het gras op het binnentalud.

## Golfoverslag

Bij het mechanisme golfoverslag wordt de volgende grenstoestandsfunctie gehanteerd:

$$Z = m_{qc}q_c - m_qq. \quad (2-2)$$

Hierbij representeert  $q_c$  het kritieke overslagdebiet en  $q$  het optredend overslagdebiet. De parameters  $m_{qc}$  en  $m_q$  zijn modelfactoren die modelonzekerheden in rekening brengen. Falen treedt op als het optredend overslagdebiet het kritieke overslagdebiet overschrijdt.

De sterkte, inclusief reststerkte, wordt bij het mechanisme golfoverslag volledig vervat in het kritieke overslagdebiet  $q_c$ . Dit kritieke overslagdebiet wordt uitgedrukt als debiet per strekkende meter. Falen door golfoverslag treedt op als de door de golven en de waterstand veroorzaakte hoeveelheid overslaand water groter is dan wat de kruin en het binnentalud kunnen verdragen. Er treedt in dat geval erosie op, waarna een bres kan gaan groeien en grote hoeveelheden water de polder kunnen binnenstromen.

Binnen deze studie is een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m gekozen als uitgangspunt. Het hanteren van deze waarde betekent dat ervan wordt uitgegaan dat de dijk ook daadwerkelijk doorbreekt (faalt) indien er 10 l/s/m (of meer) over de dijk slaat. Binnen het VTV2006 zijn voor de hoogte drie beoordelingssporen uitgewerkt, namelijk één voor  $q_c < 0.1$  l/s/m, één voor  $0.1 < q_c < 10$  l/s/m en één voor  $q_c > 10$  l/s/m. Het uitgangspunt van  $q_c = 10$  l/s/m past dus goed binnen het toetskader. Om gevoel te hebben voor de afhankelijkheid van de faalkans voor het kritiek overslagdebiet, zijn berekeningen uitgevoerd voor  $q_c$  variërend van 1 tot 100 l/s/m, in stappen van 1 l/s/m.

Het optreden overslagdebiet  $q$  wordt berekend aan de hand van de formule van Van der Meer volgens:

$$q = f_1 \cdot \frac{\sqrt{gH_{m0}^3}}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_1 \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-f_2 \frac{h_k - h}{H_{m0}} \frac{1}{\xi_0 \gamma_2}\right) \quad \text{als} \quad \xi_0 \leq 2 \quad (2-3)$$

$$q = f_3 \cdot \sqrt{gH_{m0}^3} \cdot \exp\left(-f_4 \frac{h_k - h}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_3}\right) \quad \text{als} \quad \xi_0 > 2. \quad (2-4)$$

Hierbij zijn  $g$  de zwaartekrachtsversnelling,  $H_{m0}$  de significante golfhoogte,  $h_k$  de hoogte van de buitenkruinlijn,  $h$  de lokale waterstand,  $\tan \alpha$  de helling van het buitentalud. De parameter  $\xi_0$  is de brekerparameter, gedefinieerd volgens:

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}, \quad (2-5)$$

waarbij  $s_0$  de golfsteilheid is, gedefinieerd als

$$s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{gT_{m-1,0}^2} \quad (2-6)$$

met  $T_{m-1,0}$  de spectrale golfperiode bij de teen van de dijk. De parameters  $\gamma_{1,2,3}$  representeren diverse invloedsfactoren die rekening houden met de situatie bij de dijk. De parameters  $f_{1,2,3,4}$  zijn modelparameters.

In deze beschrijving van het optredend overslagdebiet zijn dus de geometrie van de dijk (hoogte  $h_k$ , helling  $\tan \alpha$ ) en de belastingsstatistiek (waterstand  $h$ , golfhoogte  $H_{m0}$  en golfperiode  $T_{m-1,0}$ ) leidend.

Aan de zeezijde van de dijken langs de Noordzeekust is er sprake van een zandig, natuurlijk verloop van de bodem. Dit verloop heeft vaak een relatief flauwe helling, die een reducerende werking heeft op de golfbelasting. Om het effect van een geremde golfgroei als gevolg van het flauw verlopende 'voorland' in kaart te brengen, wordt bij het mechanisme overloop/overslag de significante golfhoogte als het ware afgetopt op de helft van de waterdiepte ter plaatse van de dijkteen, ofwel:

$$\text{indien } H_{m0} > 0.5 \cdot (h - h_t), \quad \text{dan } H_{m0} = 0.5 \cdot (h - h_t), \quad (2-7)$$

met  $h_t$  de hoogte van de dijkteen.

## 2.2.2 Probabilistische rekenmethode

De mechanismebeschrijving voor zowel overloop als golfoverslag wordt gekoppeld aan de probabilistische methode FORM (First Order Reliability Method). Binnen deze probabilistische methode wordt het punt op de lijn  $Z = 0$  (ofwel volgens uitdrukking 2-1, ofwel volgens uitdrukking 2-2) gezocht met de hoogste kansdichtheid, waarbij steeds een linearisatie van de grenstoestandsfunctie  $Z$  wordt toegepast. TNO (2003) beschrijft de details van de probabilistische rekentechniek.

Binnen de methode FORM worden onzekerheden in bepaalde stochasten meegenomen. Voor overloop/overslag wordt in deze studie onzekerheden gekoppeld aan de volgende (typen) stochasten:

- geometrische onzekerheden: de kruinhoogte  $h_k$ , de dijkhoogte  $h_d$ , de helling van het buitentalud  $\tan \alpha$ ,
- onzekerheden in de belasting: de waterstand  $h$ , de golfslag  $H_{m-0}$  en  $T_{m-1,0}$ , de wind,
- modelonzekerheden: parameters  $f_{1,2,3,4}$ ,  $m_{qc}$  en  $m_q$ ,
- onzekerheid in de sterkte: het kritieke overslagdebiet  $q_c$ .

Het resultaat van een berekening met FORM bestaat dus uit een faalkans en een ontwerp punt. Om de gevoeligheid van de uitkomsten voor variatie in de parameters te kennen, zijn diverse analyses uitgevoerd. Twee voorbeelden van een dergelijke analyse zijn:

- het bepalen van de faalkans bij een kritiek debiet dat varieert van 1 l/s/m tot 100 l/s/m, in stappen van 1 l/s/m,
- het wel of niet meenemen van golfreductie door de 'voorland'-werking van het strand.

In principe zal een kritiek debiet van 10 l/s/m als uitgangspunt dienen. Deze waarde van 10 l/s/m is gebaseerd op resultaten van zes dijkringen uit het project VNK2. Uit een recente analyse binnen VNK is gebleken dat de ontwerp puntwaarde van het kritieke overslagdebiet het vaakst in de range van 10 tot 20 l/s/m ligt<sup>3</sup>.

Bijlage B geeft een gedetailleerd uitgewerkt voorbeeld voor de berekening van de faalkans voor een willekeurige, individuele dijkraai.

## 2.3 Duinen

Het grootste deel van de Nederlandse zeewering bestaat uit duinen. De hoogte en breedte van deze natuurlijke zeewering varieert sterk langs de kust. Daarmee verschilt ook de kans dat de duinen tijdens een storm weggeslagen worden van locatie tot locatie.

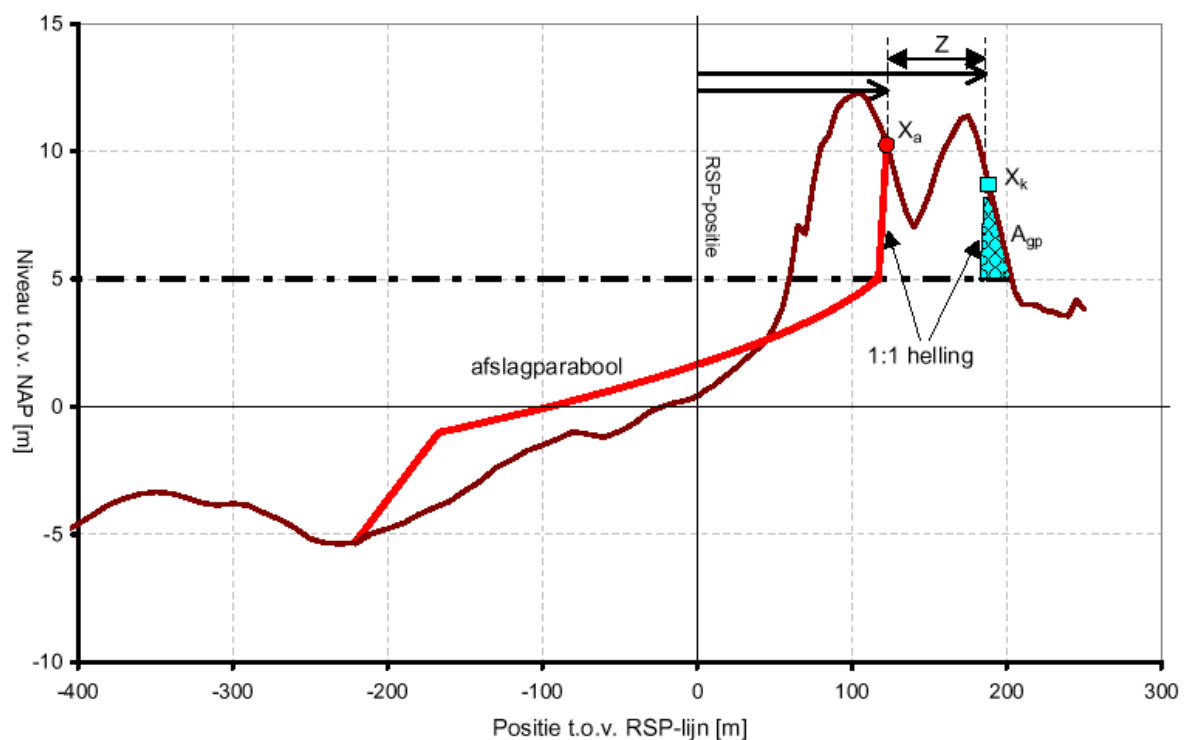
<sup>3</sup>Zie het memorandum 'Berekende overslagdebieten in VNK2' van 27 juni 2011.



### 2.3.1 Faalmechanisme

Voor duinen schrijft het VTV voor dat duinafslag als maatgevend faalmechanisme moet worden onderzocht. De aanwezigheid van stabiele constructieve elementen als boulevards en kades wordt dus genegeerd. Het uitgangspunt is dat de aanname dat het hele profiel uit zand bestaat een bovengrens voor de faalkans oplevert, wanneer zulke stabiele constructieve elementen aanwezig zijn in het zandige profiel (Jongejan (2010a)). Er is echter (nog) onvoldoende kennis beschikbaar om deze aanname wetenschappelijk te onderbouwen.

*Falen* is gedefinieerd als duinafslag, waarbij het berekende afslagpunt ten gevolge van de belastingen landwaarts komt te liggen van het kritieke afslagpunt, dat behoort bij het grensprofiel (TNO (2007)). Het grensprofiel is het profiel, dat nog precies in staat is om zijn waterkerende functie te vervullen. Figuur 2-6 toont een definitieschets. Horizontaal is de positie ten opzichte van de Rijksstrandpaal uitgezet; verticaal het bodemniveau. Op basis van de belastingen wordt het rode afslagprofiel berekend. Vergelijkingen die dit afslagprofiel beschrijven zijn te vinden in Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007). Bij het berekende afslagprofiel hoort een afslagpunt  $X_a$ . In blauw is het grensprofiel weergegeven. Het volume van het grensprofiel is afhankelijk van de berekende waterstand, zie Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007). Het afslagpunt behorend bij het grensprofiel is  $X_k$ .



Figuur 2-6 Definitieschets van het faalmechanisme duinafslag (gebaseerd op figuur uit TNO (2007)). Het berekende afslagprofiel met bijbehorende afslagpunt is weergegeven in rood; het kritieke afslagprofiel met bijbehorend kritiek afslagpunt in blauw.

De berekende positie van het afslagpunt  $X_a$  is afhankelijk van:

- het dwarsprofiel
- het stormvloedpeil  $h$
- de significante golfhoogte  $H_s$
- de mediane korrel diameter  $D_{50}$  van het duinzand

Vervolgens wordt het effect van de onzekerheden in de stormvloedduur, buien en berekeningsmethode in rekening gebracht door de mate van afslag boven de waterstand te vermenigvuldigen met een modelfactor  $m_D$  en hierbij een nieuw afslagpunt  $X_a^*$  te bepalen.

De grenstoestandsfunctie  $Z$  is dus gedefinieerd als

$$Z = X_k - X_a^*. \quad (2-8)$$

De faalkans is gedefinieerd als:

$$P(Z < 0) = P(X_k - X_a^* < 0). \quad (2-9)$$

### 2.3.2 Probabilistische rekenmethode

Het instrument waarmee duinafslag moet worden bepaald is de duinafslagmodule DUROS+. De keuze voor DUROS+ is vastgelegd in het VTV. DUROS+ berekent een afslagprofiel als functie van de vier parameters, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf. De uitkomsten van DUROS+ zijn met name gevalideerd voor duintypen, zoals deze aanwezig zijn langs de Hollandse kust.

De berekeningen worden uitgevoerd voor een dwarsprofiel, en zijn dus ééndimensionaal. Dit houdt in dat aangenomen wordt dat er geen zijdelings uitwisseling van zand plaatsvindt. Deze benadering is alleen geldig bij rechte strekkingen van de kust. Binnen dit onderzoek is DUROS+ ook toegepast bij enkele eilandkoppen, waarbij een 2D-benadering eigenlijk beter zou volstaan. Ook bij overgangen tussen zandige en harde zeeeringen en dergelijke spelen 2D-effecten een sterke rol. Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening gehouden worden met deze beperkingen.

Een berekening met DUROS+ is deterministisch: bij een bepaalde combinatie van parameters wordt één afslagprofiel, en dus ook één maatgevend afslagpunt  $X_a^*$  berekend. Het programma PC-Ring wordt ingezet als 'probabilistische schil' om DUROS+ heen.

Het stormvloedpeil  $h$ , de significante golfhoogte  $H_s$ , de mediane korreldiameter  $D_{50}$  en de modelfactor  $m_D$  worden in PC-Ring alle als stochast (ofwel onzeker) beschouwd.

1. Aan de bodemligging van het dwarsprofiel wordt een standaardafwijking van 0.1 m toegevoegd. Daarnaast wordt een 'fout in bodemligging' van 0.3 m meegenomen.
2. De kansverdelingen voor het stormvloedpeil  $h$  en de significante golfhoogte  $H_s$  zijn gebaseerd op de Hydraulische Randvoorwaarden van 2006, ofwel de TMR2006. Deze bestaan voor de zachte kust uit 6 steunpuntlocaties op zee. Door middel van interpolatie tussen de steunpunten en vervolgens projectie van deze waarden op de kuststrook, worden randvoorwaarden gekoppeld aan JarKus-raaien.
3. Er wordt verondersteld dat de mediane korreldiameter  $D_{50}$  binnen het dwarsprofiel uniform is. Er wordt een normale verdeling aangehouden, waarbij gemiddelde en standaardafwijking variëren langs de kust. Deze waarden zijn gebaseerd op metingen, die beschreven zijn in [TAW \(1984\)](#).
4. Voor de modelfactor  $m_D$  wordt een normale verdeling met gemiddelde 1 en standaardafwijking 0.25 aangehouden

Door PC-Ring wordt iteratief een set waarden uit de kansverdelingen voor de verschillende stochasten getrokken. Deze waarden worden als invoer meegegeven aan DUROS+. DUROS+ berekent vervolgens een afslagpunt bij die set waarden. Net als bij dijken, is bij duinen de methode FORM (First Order Reliability Method) ingezet als rekenmethode. Deze methode is gebaseerd op linearisatie van de grenstoestandsfunctie rond het ontwerppunt. Het ontwerppunt is het punt op

de grenstoestandsfunctie met de grootste faalkansbijdrage. TNO (2003) beschrijft de details van de probabilistische rekentechniek.

Uit de berekeningen blijkt dat de onzekerheid in de hydraulische belastingen, en dan met name in de waterstand, de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid in de grenstoestandsfunctie. Dit volgt ook uit het uitgewerkte voorbeeld voor een individuele duinraai in bijlage A.

### 2.3.3 Verwijderen van meervoudige duinenrijen

DUROS+ is ontwikkeld voor de berekening van duinafslag voor een enkelvoudige duin. Wanneer een dwarsprofiel met een meervoudige duinenrij in DUROS+ wordt ingevoerd, levert de module een onnauwkeurig of zelfs onrealistisch resultaat. Om die reden kan alleen de faalkans van de eerste duinenrij worden bepaald met PC-Ring. Het profiel, dat is ontstaan na aanvulling van de JarKus-data met AHN-data, wordt in het geval van de aanwezigheid van meerdere duinenrijen bijgesneden, zodat alleen de eerste duinenrij overblijft. Om toch een inschatting te kunnen geven voor de faalkans van de complete zeekering, is een methode ontwikkeld om op basis van expert judgment een gefundeerde inschatting te kunnen geven.

Eventuele meervoudige duinenrijen worden per profiel per jaar getraceerd en, indien aanwezig, verwijderd volgens het volgende algoritme (zie ook figuur 2-7):

1. Het (vanaf de landzijde beschouwde) laatste neerwaartse snijpunt met het niveau van  $h_{grens}$  wordt gezien als een plek op het *buitentalud van de eerste duinenrij*. We kiezen het niveau van  $h_{grens}$ , enigszins arbitrair, gelijk aan 8 m+NAP. Deze waarde is redelijk gezien de duidelijke marge met het vaak berekende stormvloedpeil (vaak 5 à 6 m+NAP). Duinen lager dan  $h_{grens}$  worden door het script op deze manier niet beschouwd als zelfstandige zeekering.
2. Daar waar het teken van de helling landinwaarts van het bij (1) gevonden snijpunt wisselt, is de *top van de eerste duinenrij* aanwezig. Deze top heeft een hoogte  $h_{top}$ .
3. Vervolgens wordt verder landinwaarts gekeken of er een *dal* aanwezig is met een hoogteligging  $h_{dal}$  zodanig dat:

$$h_{dal} < \min \begin{cases} h_{top} - \Delta h_{eis} & \text{(criterium 1)} \\ h_{top} - 0.75 \cdot (h_{top} - h_{grens}) & \text{(criterium 2)} \end{cases} \quad (2-10)$$

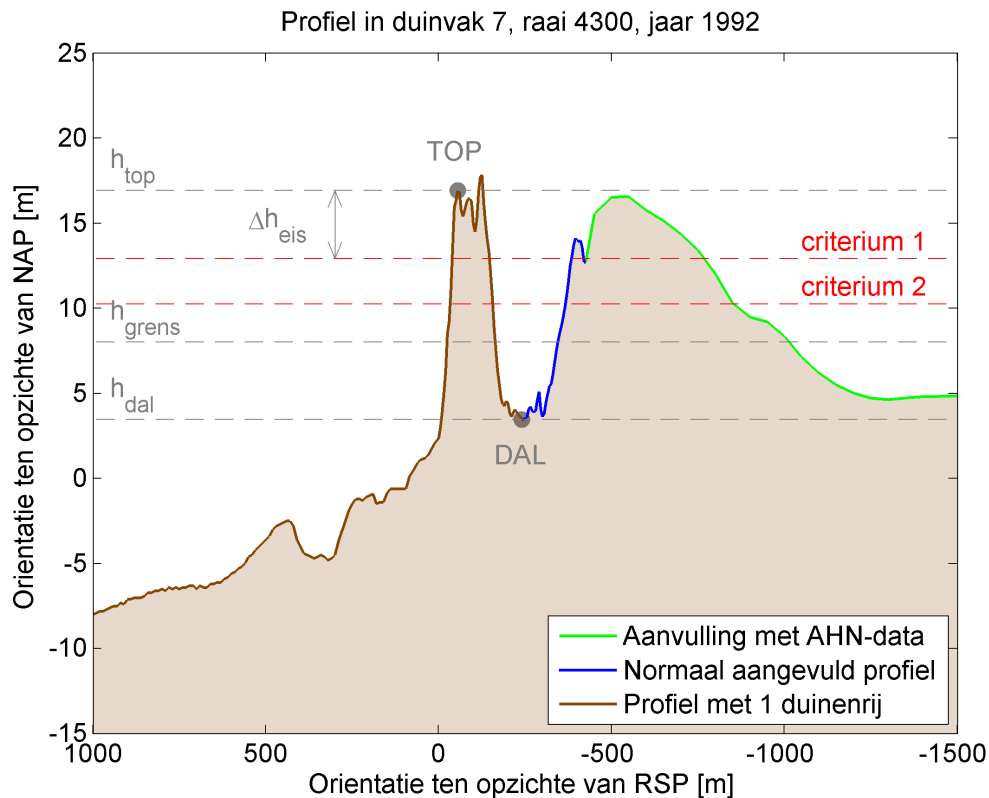
Criterium 1 is maatgevend voor duinen die niet al te ver boven  $h_{grens}$  uit komen. Voor grote duinen die ver boven  $h_{grens}$  uit komen, wordt een grotere daldiepte dan  $\Delta h_{eis}$  onder de duintop vereist (criterium 2) om de dubbele duinenrij te verwijderen. Voor  $\Delta h_{eis}$  is, enigszins arbitrair, 4 m genomen.

4. Als er zo'n dal aanwezig is, wordt er 'geknipt' in het diepste punt van het betreffende dal. Op deze manier worden alle dalen landwaarts van de eerste duinenrij afgegaan. De knip wordt gezet in het meest zeevaartse dal dat aan de voorwaarden voldoet.

Het bepalen van de verschillende locaties gebeurt op basis van profielen waar een zekere *smoothing* op is toegepast, zodat kleine discontinuïteiten in de metingen de werkwijze niet beïnvloeden. Deze enigszins abstract overkomende methodiek wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld.

In figuur 2-7 wordt een voorbeeld getoond van het verwijderen van een tweede duinenrij. We kiezen  $\Delta h_{eis}$  gelijk aan 4 m, en  $h_{grens}$  gelijk aan 8 m +NAP. Natuurlijk zijn deze gekozen waarden tamelijk arbitrair. De pragmatische methode is echter uiterst werkzaam gebleken.

De eerste duinenrij is hoger dan 8 m+NAP, en is daarom voldoende hoog. De top van de eerste



Figuur 2-7 Profielaanpassingen voor raai 4300 in kustvak 7 in het jaar 1992.

duinenrij ligt ongeveer op een hoogte van 17 m+NAP.

$$h_{dal} < \min \begin{cases} 17 - 4 & = 13 \text{ m +NAP} & \text{(criterium 1)} \\ 17 - 0.75 \cdot (17 - 8) & = 10.25 \text{ m +NAP} & \text{(criterium 2)} \end{cases}$$

Het dal landinwaarts van het dal mag maximaal een bodemligging hebben van het minimum van 13 m+NAP en 10.25 m+NAP. Omdat de top van de duin ( $h_{top} = 17 \text{ m+NAP}$ ) ver boven het grensniveau uitkomt ( $h_{grens} = 8 \text{ m+NAP}$ ), is het tweede criterium maatgevend: het dal ( $h_{dal} \approx 3.5 \text{ m+NAP}$ ) ligt aanzienlijk lager dan 10.25 m+NAP. Het deel landinwaarts van het laagte punt in het dal wordt daarom verwijderd.

Figuur 2-7 laat tevens zien dat in een deel van de gevallen de complete aanvulling met AHN-data weer teniet wordt gedaan door het verwijderen van meervoudige duinenrijen. Er zijn echter ook situaties waar het profiel zonder aanvulling met AHN-data geen complete eerste duinenrij bevat. Daarnaast geeft het profiel vóór verwijdering van dubbele duinenrijen inzicht in de hoogteligging van het gebied landwaarts van de eerste duinenrij.

### 2.3.4 Correctie faalkans op basis van volumes

Een beoogde toepassing van het voorliggende onderzoek is het vergelijken van berekende overstromingskansen met maatschappelijk aanvaardbare overstromingskansen, bijvoorbeeld op basis van de Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Daarnaast kunnen de resultaten dienen als onderbouwing voor het opstellen van een prioriteringskader voor het suppletiebeleid langs de zandige kust. Voor deze toepassingen heeft een faalkans van een eerste duinenrij weinig waarde, omdat er nog veel reststerkte aanwezig kan zijn landinwaarts van de eerste duinen-

rij. Daarom is een methode ontwikkeld om op basis van duinvolumes een faalkans in te schatten voor de complete zeekering.

Twee profielen worden vergeleken:

1. het totale profiel, inclusief aanvulling met AHN-data,
2. het aangepaste profiel dat in PC-Ring is ingevoerd, waaruit dubbele duinenrijen zijn verwijderd.

Voor beide profielen is het duinvolume  $V$  boven duinvoetniveau (3 m+NAP) bepaald, respectievelijk  $V_2$  en  $V_1$ . De faalkans voor het eerste profiel ( $P_{f1}$ ) is bekend uit de PC-Ring berekening. De faalkans voor het complete profiel ( $P_{f2}$ ) dient te worden ingeschat.

De kust is opgedeeld in drie deelgebieden: Wadden, Hollandse Kust en Zeeuwse Delta. Op deze manier zijn voldoende rekenresultaten per deelgebied beschikbaar, zonder de fundamenteel andere karakteristieken van de drie gebieden uit het oog te verliezen. Voor alle berekeningen in een deelgebied wordt de faalkans  $P_{f1}$  uitgezet tegen het duinvolume boven duinvoetniveau  $V_1$ .

Ter illustratie zijn de rekenresultaten voor de Hollandse kust getoond in figuur 2-8. De rekenresultaten voor de eerste duinenrij zijn voor de drie deelgebieden weergegeven met de blauwe punten. Opmerking: het punt met een relatief hoge faalkans bij een groot duinvolume is het gevolg van een handmatige aanpassing van het rekenresultaat op basis van analyses binnen VNK voor Katwijk aan Zee, zie § 4.2. De groene lijn toont het niveau van  $1 \cdot 10^{-8}$ . Kansen kleiner dan deze waarde kunnen als verwaarloosbaar klein worden beschouwd. De spreiding van de resultaten rond de functie is relatief klein in het gebied met de hogere faalkansen. De kwaliteit van de functie is vooral in dat domein van belang.

Door de punten wordt met niet-lineaire regressie een functie bepaald met de volgende vorm:

$$\log P_f = A(1 - e^{B \cdot V}) + C. \quad (2-11)$$

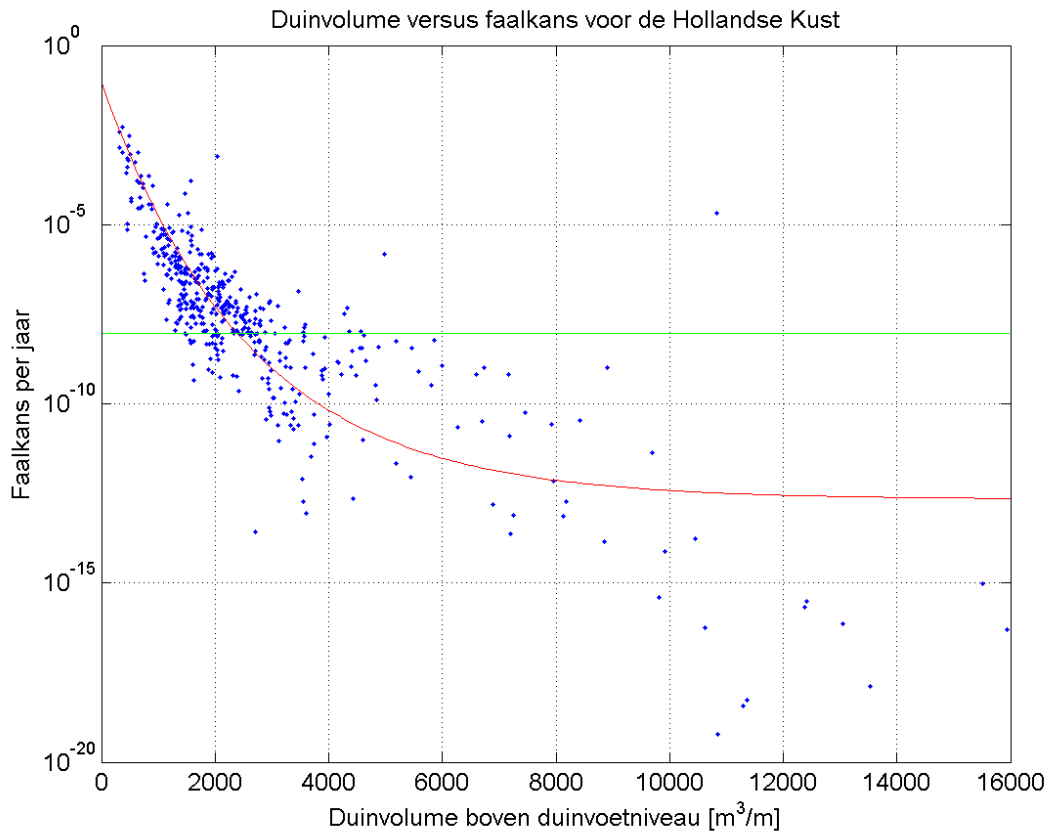
De coëfficiënt  $C$  bepaalt het snijpunt van de functie voor  $V = 0$ . De faalkans van een duin met een volume boven duinvoetniveau gelijk aan nul is te benaderen door de kans dat de waterstand het duinvoetniveau van 3 m+NAP overschrijdt. Ofwel:

$$C = \log P(h > 3). \quad (2-12)$$

Vervolgens worden *per deelgebied* de coëfficiënten  $A$  en  $B$  bepaald met behulp van niet-lineaire regressie. Dit levert de 'best fit' door de puntenwolk. Deze 'best fit' is in rood weergegeven in figuur 2-8. Voor de Wadden en de Zeeuwse delta is eenzelfde methode toegepast. Door de flauwe vooroevers en brede stranden langs de Waddeneilanden wordt bij de Wadden met een kleiner duinvolume eerder een lage faalkans gerealiseerd dan langs de Hollandse Kust en de Zeeuwse Delta.

Op basis van vergelijking 2-11 kan een inschatting gemaakt worden van de faalkans voor het complete profiel ( $P_{f2}$ ). Voor locaties met een zwakke duinenrij ten opzichte van de 'best fit' wordt een voorzigtigere inschatting gemaakt. Het gaat dan om de punten *boven* de rode lijn in figuur 2-8. De inschatting van de faalkans voor het hele profiel ( $P_{f2}$ ) wordt dan gerelateerd aan de relatief hoge faalkans van de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) via:

$$\log P_{f2} = \log P_{f1} + A(e^{b \cdot V_1} - e^{b \cdot V_2}). \quad (2-13)$$



Figuur 2-8 Duinvolume boven duinvoetniveau versus de faalkans voor de eerste duinenrij voor de Hollandse Kust. De functie voor het bepalen van de faalkans voor een meervoudige duinenrij is weergegeven in rood. De groene lijn toont het niveau van  $1 \cdot 10^{-8}$ . Kansen kleiner dan deze waarde kunnen als verwaarloosbaar klein worden beschouwd.

Een conservatieve inschatting wordt vervolgens verkregen door:

$$\log P_{f2} = \min \left\{ \begin{array}{l} \log P_{f1} \\ \max \left\{ \begin{array}{l} \text{vergelijking 2-11} \\ \text{vergelijking 2-13} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2-14)$$

Het toepassen van deze methode vraagt om de nodige voorzichtigheid, omdat de nauwkeurigheid beperkt is. Toch geeft de methode zeker een goede indicatie van de faalkans. De belangrijkste maat voor de sterkte van de duinen is namelijk het volume zand dat in het profiel aanwezig is. De methode geeft een goede onderbouwing van expert judgment. Dit is aanzienlijk beter dan ofwel het negeren van de aanwezigheid van meerdere duinenrijen, ofwel het aannemen dat de faalkans bij meervoudige duinenrijen verwaarloosbaar klein is.

Er kunnen bebouwing en gebieden met andere functies dan de waterkerende functie aanwezig zijn in de duinen, al dan niet buiten de dijkkring. Ook kunnen 2D-effecten een rol gaan spelen als de eerste duinenrij bezwijkt. In de voorliggende studie is de correctie voor meerdere duinenrijen daarom op bepaalde plaatsen niet toegepast. Een uitgebreide analyse van zowel de aanwezigheid van functies in de duinen als de rol van 2D-effecten vallen buiten de scope van dit onderzoek.

## 2.4 Controle van de resultaten

Alle faalkansberekeningen zijn op raainiveau gecontroleerd. De focus bij de controles lag bij de relatief hoge faalkansen, omdat deze uiteindelijk bepalend zullen zijn voor de overstromingskansen van een kustvak. De controles zijn onder te verdelen in drie categoriën: beoordeling van de grootte van de faalkansen, controle van de maatgevende afslagberekening door DUROS+ en controle van het verloop van de probabilistische FORM-berekening door PC-Ring.

### Controle van de faalkansen

Allereerst zijn de faalkansen van de eerste duinenrij en het complete profiel beoordeeld door de grootte van de faalkans te vergelijken met parameters als het duinvolume en de maximale duinhoogte in het profiel. Relatief sterk afwijkende resultaten zijn kritisch bekeken.

Daarnaast is een vergelijking gemaakt tussen de rekenresultaten uit dit onderzoek enerzijds en de resultaten van de derde toetsronde ([Inspectie Verkeer en Waterstaat \(2011\)](#)) of de resultaten van VNK2 (Texel, Rijnland, Delfland, Goeree) anderzijds. De vergelijking is alleen te maken voor de eerste duinenrij. Onderzocht is of relatief zwakke locaties overeenkomen in de verschillende rapporten.

Tenslotte is het mogelijk om de faalkansen te vergelijken met de faalkans zoals voor [HKV LIJN IN WATER \(2011a\)](#) berekend voor de profielen uit 2009 en 2010, zie § 2.1.2. Wanneer de profielen niet significant zijn gewijzigd als gevolg van bijvoorbeeld een strandsuppletie of een hevige storm, behoren de faalkansen wat betreft orde van grootte met elkaar overeen te komen.

### Controle van het afslagprofiel

De nauwkeurigheid van de berekeningen door DUROS+ is gecontroleerd door het afslagprofiel te beschouwen. Grillige profielen of profielen waarin ondanks het toepassen van het algoritme zoals beschreven in § 2.3.3 nog dubbele duinenrijen zijn achtergebleven, leveren vaak onnauwkeurige afslagberekeningen op.

De controle wordt uitgevoerd aan de hand van massabehoud. Zodra het afgeslagen duinvolume en het aangezande zandvolume aanzienlijk verschillen en de berekende faalkans moeilijk te rijmen is met de duinhoogte en het duinvolume, is het resultaat buiten beschouwing gelaten. De faalkans wordt dan niet meegenomen in de gecombineerde kans voor het kustvak.

### Controle van het convergentieverloop

De probabilistische FORM-berekening wordt gekenmerkt door een iteratief verloop. Op basis van convergentiecriteria wordt binnen de berekening bepaald of er een eindresultaat is bereikt. Een grillig verloop van het profiel kan aanleiding geven tot het uitblijven van convergentie. Uitkomsten van in het geheel niet geconvergeerde berekeningen zijn buiten beschouwing gelaten.

### Resultaat controles

Als het oordeel op basis van de controles is dat een berekende faalkans niet klopt, zijn er (op volgorde van voorkeur) de volgende opties:

1. het vervangen van de faalkans door de faalkans uit 2010 of 2009, wanneer deze wel correct is en het profiel uit 2011 sterke overeenkomsten vertoont met de profielen uit voorgaande jaren;
2. het vervangen van de faalkans door de faalkans van een naastgelegen raai, wanneer de berekende faalkans voor die raai wel correct is en beide profielen sterke overeenkomsten ver-

- tonen qua duinvolume en maximale duinhoogte;
3. het verwijderen van de betreffende raai, wanneer het profiel niet relatief zwak is en de ruimtelijke resolutie langs het kustvak ook na verwijderen nog voldoende hoog blijft;
  4. het uitvoeren van een profielaanpassing (indien dit tot een verbetering zal leiden) en het herhalen van de berekening voor de betreffende raai.

Bijlage A geeft een gedetailleerd uitgewerkt voorbeeld voor een individuele duinraai. Daarin komt ook het controleren van de resultaten aan de orde.

## 2.5 Overstromingskansen per kustvak

Het resultaat van de werkwijze tot zover is een faalkans per jaar per raai. Deze faalkans is representatief voor circa 250 m strekking langs de kust. Om tot een overstromingsrisico voor een compleet kustvak te kunnen komen, zijn echter overstromingskansen per kustvak nodig. Het risico is dan te bepalen door de overstromingskans voor een kustvak te vermenigvuldigen met de gevolgen van inundatie van het betreffende kustvak.

### 2.5.1 Faalkans, overstromingskans en overstromingsrisico

De huidige veiligheidsbenadering in Nederland geeft per dijkkringgebied alleen de kans aan dat het water hoger komt te staan dan de maatgevende hoogwaterstand (MHW) waarop de waterkeringen rond het betreffende dijkkringgebied ontworpen zijn. Deze kans wordt aangeduid als een **overschrijdingskans**.

Bij de beoordeling van de waterkeringen wordt getoetst of de kering stand houdt gedurende MHW. De sterkte van de dijk wordt niet probabilistisch beschouwd. Wanneer zowel belasting als sterkte probabilistisch worden beschouwd, is het mogelijk om een grenstoestandsfunctie te definiëren. Zo'n functie geeft de grens weer tussen falen en stand houden van de kering op een bepaalde locatie. Met probabilistische rekentechnieken kan dan voor een specifieke locatie een **faalkans** worden berekend voor een bepaald faalmechanisme. Combinatie van de kans van optreden voor verschillende faalmechanismen leidt tot een totale faalkans.

Een **overstromingskans** is gedefinieerd als de kans dat een gebied overstroomt, doordat de waterkering om dat gebied op één of meer plaatsen faalt. Een dijkkring is opgebouwd uit verschillende dijkvakken, kunstwerken of duinraaien. Het individueel falen van één van deze elementen kan leiden tot overstrooming van het dijkkringgebied. De overstromingskans is dus opgebouwd uit de faalkansen van deze elementen.

Tot zover zijn de gevolgen van een overstrooming niet bij de beschouwing betrokken. Wanneer dit wel gebeurt, en de overstromingskans wordt vermenigvuldigd met de gevolgen van een overstrooming, is er sprake van een risicobenadering. Het **overstromingsrisico** is dan gelijk aan kans  $\times$  gevolg. Daarbij kan gedacht worden aan economische gevolgen of verwachte slachtoffer aantallen.

Figuur 2-9 illustreert de termen overschrijdingskans, overstromingskans en overstromingsrisico.

### 2.5.2 Indeling in kustvakken

De dijkkringdelen waarvoor overstromingskansen zijn berekend, zijn vrijwel gelijk aan de complete kustvakken, overeenkomstig de indeling volgens WV21. De overstromingskansen hebben echter enkel betrekking op de aan de Noordzee grenzende delen van de dijkkringen. Hiermee wijkt de gehanteerde indeling in dijkkringdelen enigszins af van de indeling volgens WV21. Ten opzichte van de WV21 dijkkringdelen zijn in deze studie bijvoorbeeld de aan de Waddenzee gren-





Figuur 2-9 Overschrijdingskans, overstromingskans en overstromingsrisico

zende delen van de dijkringen van de Waddeneilanden niet beschouwd, net als de waterkering ten oosten van Den Helder, het noordelijk deel van Voorne, een gedeelte van Noord-Beveland langs de Oosterschelde en een gedeelte van Zeeuws-Vlaanderen langs de Westerschelde.

De indeling in kustvakken is redelijk grofmazig. In theorie zorgt een doorbraak op elke willekeurige locatie langs een dijkringdeel voor dezelfde gevolgen van de overstroming. Bij de indeling in kustvakken volgens WV21 is dit niet het geval. Bij een doorbraak bij Den Helder zal bijvoorbeeld een ander gebied inunderen dan in het geval van een doorbraak bij Heemskerk. Toch liggen beide plaatsen in hetzelfde kustvak (Noord-Holland). Een verfijnde indeling was echter niet voorhanden.

### 2.5.3 Combineren van faalkansen

Het combineren van faalkansen per raai tot overstromingskansen per kustvak (ook wel bekend als het ruimtelijk 'oprollen' van faalkansen) vraagt om informatie over de ruimtelijke correlatie tussen de verschillende raaien. Wanneer de duinen in een bepaalde raai hoog zijn, geldt dit waarschijnlijk ook voor de naastgelegen raai. Ook de waterstand langs de waterkering is sterk gecorreleerd. De ruimtelijke correlatie wordt (per stochast) tot uitdrukking gebracht met een correlatielengte  $d_c$ . De stochast duinhoogte is in sterkte mate bepalend voor de sterkte van het duin. Daarnaast is deze correlatielengte kleiner dan de correlatielengte voor de overige betrokken stochasten. De correlatielengte voor de duinhoogte is daarom als maatgevend beschouwd voor de correlatie tussen de verschillende raaien. De correlatielengte voor de duinhoogte is uniform verondersteld, en in overeenstemming met de standaard instellingen van PC-Ring gelijk aan  $d_c = 300$  m.

Wanneer de raaien onderling volledig ongecorreleerd zijn, is het falen van een afzonderlijke raai volkomen onafhankelijk van het falen van een andere raai. In dat geval wordt een bovengrens voor de overstromingskans van het kustvak gevonden, gelijk aan de som van de faalkansen voor de afzonderlijke raaien. Een ondergrens wordt gevonden bij 100% correlatie tussen alle raaien. In dat geval is de overstromingskans van het kustvak gelijk aan de faalkans van de zwakste schakel. De overstromingskans van het kustvak is

$$P_f = P(Z_1 < 0 \text{ of } Z_2 < 0 \text{ of } \dots Z_N < 0). \quad (2-15)$$

De elementaire onder- en bovengrens voor de overstromingskans  $P_f$  zijn te schrijven als

$$\max(P_i) \leq P_f \leq \sum_{i=1}^N P_i, \quad (2-16)$$

waarin  $P_i = P(Z_i < 0)$  de faalkans van een afzonderlijke raai is, met  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Met de methode [Ditlevsen \(1979\)](#) kan een smaller interval worden berekend voor de systeemfaalkans. Een beschrijving van deze methode is gegeven in bijlage C.



## 3 Waddeneilanden

Dit hoofdstuk geeft samen met de twee volgende hoofdstukken een overzicht van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek. Er is een driedeling gemaakt in Waddeneilanden, Hollandse Kust en Zeeuwse Kust vanwege de samenhang tussen de kustvakken binnen die gebieden enerzijds, en de verschillen in gebiedskarakteristieken tussen die drie gebieden anderzijds. De kustvakken Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling, Vlieland en Texel komen in dit hoofdstuk in de verschillende paragrafen aan de orde.

### 3.1 Schiermonnikoog

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 2, Schiermonnikoog.

#### 3.1.1 Gebiedskenmerken

Slechts een deel van de kustlijn van Schiermonnikoog heeft een waterkerende functie. Om die reden is in dit onderzoek ook alleen het gebied tussen de raaien 100 en 660 beschouwd. Zie de locatie van de resultaten in figuur 3-1. De raaien buiten dit gebied doorsnijden alleen het natuurgebied aan de oostzijde van het eiland.

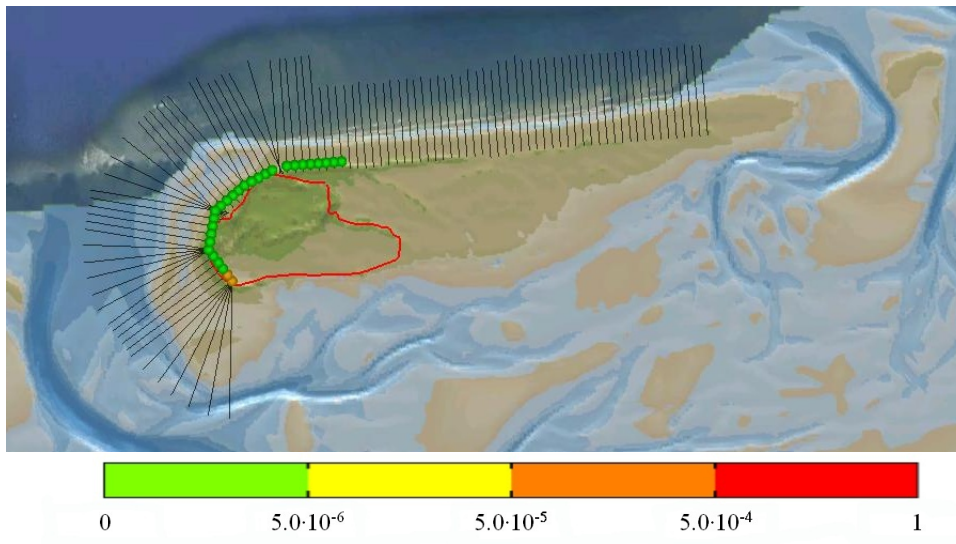
De duinen van Schiermonnikoog hebben een grillig karakter. Vaak zijn meerdere duinenrijen aanwezig. Binnen het beschouwde traject is vooral de westelijke eilandkop sterk dynamisch. Door morfologische processen veranderen de profielen binnen een relatief korte tijdschaal. De in het vervolg van deze paragraaf getoonde rekenresultaten zijn dan ook een momentopname voor 2011. Wel geeft de vergelijking met de resultaten voor 2009 en 2010 een indicatie voor de veranderingen in de faalkansen in de tijd.

#### 3.1.2 Resultaten

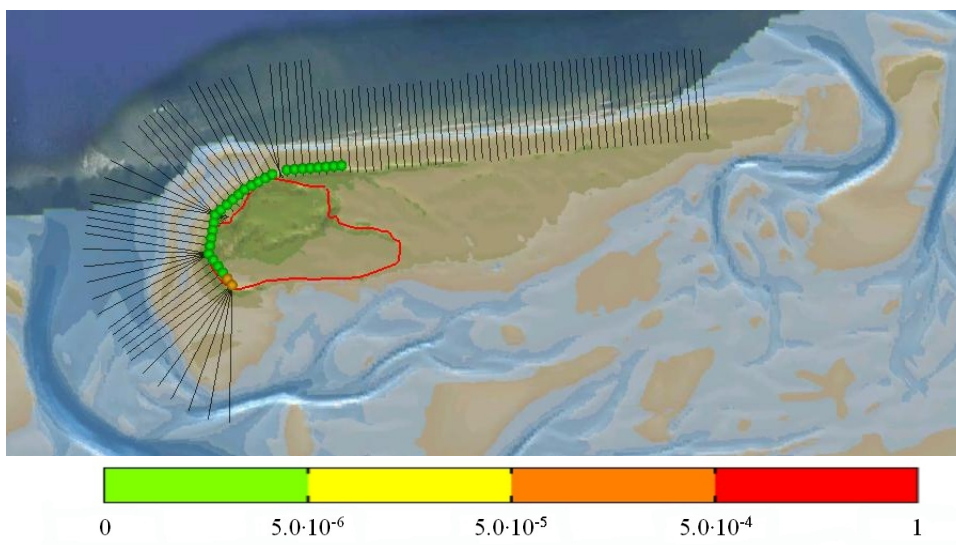
Figuur 3-1 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor Schiermonnikoog is deze gelijk aan 1/2.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 3-2 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4. De duinvolumes op Schiermonnikoog zijn overal zodanig groot, dat de berekende faalkansen van de duinen verwaarloosbaar klein zijn.

Door de grilligheid van de profielen heeft DUROS+ regelmatig moeite om een nauwkeurige afslagberekening uit te voeren. De scores voor de controle op nauwkeurigheid (zie § 2.4) zijn dan ook in veel gevallen matig tot slecht. In 4 van de 28 gevallen leidde dit tot convergentieproblemen. Voor die berekeningen is een resultaat van een voorgaand jaar (2 maal), van een nabijgelegen raai (1 maal) of op basis van het convergentieverloop van de faalkans (1 maal) gekozen, als in figuur A-5 uit bijlage A.5.

Tabel D-1 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . Voor Schiermonnikoog zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar. Bij de derde toetsronde zijn alle duinen goedgekeurd.



Figuur 3-1 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)



Figuur 3-2 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

### 3.1.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-1 gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $2.1 \cdot 10^{-4}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 4.700 jaar. Deze overstromingskans is gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied. Scenario's waarbij de dijkkring overstroomt vanuit de Waddenzee, zijn niet bij deze overstromingskans betrokken.

### 3.1.4 Hoogste faalkansen

De duinen van Schiermonnikoog zijn aan de Noordzeezijde zeer breed. De faalkansen zijn hier dan ook verwaarloosbaar klein. De overstromingskans van het kustvak wordt gedomineerd door de faalkansen van de duinen in het zuidwesten van het eiland. Deze raaien zijn oranje gemarkeerd in figuur 3-2. De duinenrij is hier relatief smal en laag (ongeveer 8 m+NAP). In de derde toetsronde zijn er geen duinen van Schiermonnikoog afgekeurd. Dit is te rijmen met de maximaal gevonden faalkans bij raai 120 van  $1.4 \cdot 10^{-4}$  per jaar. De hogere faalkansen worden gevonden bij de eilandkop, waar de kust gekromd is en sedimenttransport door stroming in de getijde-inlaat een rol speelt. Voor dergelijke raaien is DUROS+ niet bedoeld, zie § 2.3.2. Deze uitkomsten moeten dus met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

## 3.2 Ameland

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 3, Ameland.

### 3.2.1 Gebiedskenmerken

Slechts een deel van de kustlijn van Ameland heeft een waterkerende functie. Om die reden is in dit onderzoek ook alleen het gebied tussen de raaien 100 en 1860 beschouwd. De raaien buiten dit gebied doorsnijden alleen het natuurgebied aan de oostzijde van het eiland.

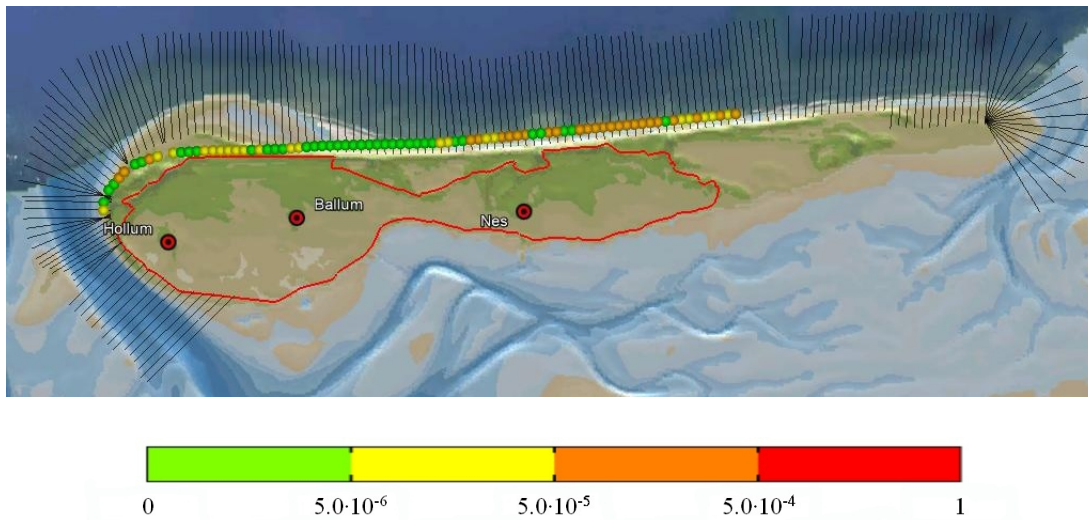
De duinen van Ameland hebben gedeeltelijk een grillig karakter, maar in mindere mate als de duinen van Schiermonnikoog. Vaak zijn meerdere duinenrijen aanwezig. Grote delen van het eiland zijn sterk dynamisch. Door morfologische processen veranderen de profielen binnen een relatief korte tijdschaal. De in het vervolg van deze paragraaf getoonde rekenresultaten zijn dan ook een momentopname voor 2011. Wel geeft de vergelijking met de resultaten voor 2009 en 2010 een indicatie voor de veranderingen in de faalkansen in de tijd.

### 3.2.2 Resultaten

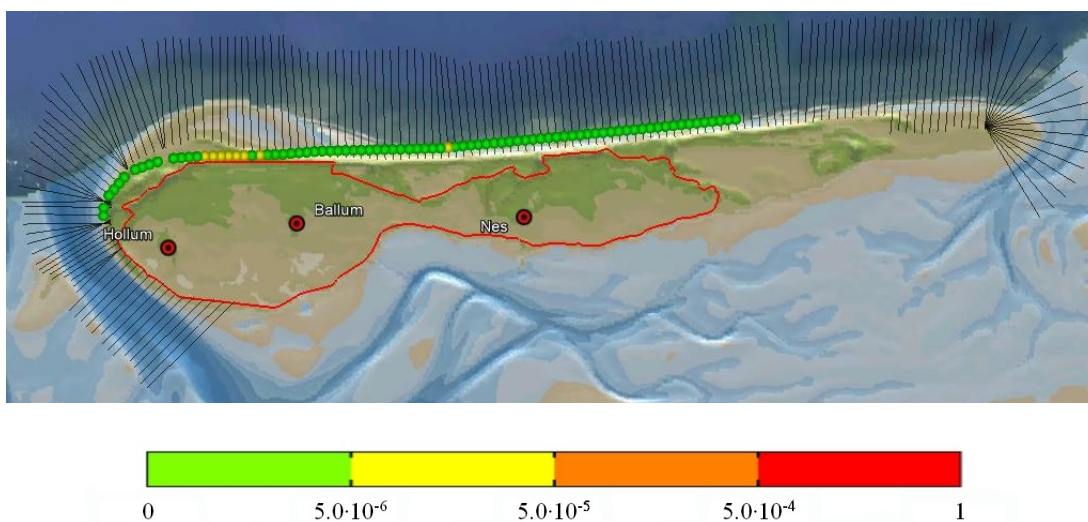
Figuur 3-3 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor Ameland is deze gelijk aan 1/2.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 3-4 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

Bij 5 van de 81 raaien leverde PC-Ring geen deugdelijke faalkans op. Voor die berekeningen is een resultaat van een voorgaand jaar (4 maal) of van een nabijgelegen raai (1 maal) aangehouden.

Tabel D-2 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen veelal sterk overeen. Alleen voor de raaien 360 tot en met 420 is voor 2011 een ordes hogere faalkans berekend dan voor 2009 en 2010. De reden is dat in 2011 een tweede duinenrij is verwijderd uit de profielen, die in 2009 en 2010 wel aanwezig was. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . De resultaten voor 2011 van de raaien 360 tot en met 420 worden hierbij ook gecorrigeerd. Voor Ameland zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar. Bij de derde toetsronde zijn alle duinen op Ameland goedgekeurd.



Figuur 3-3 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)



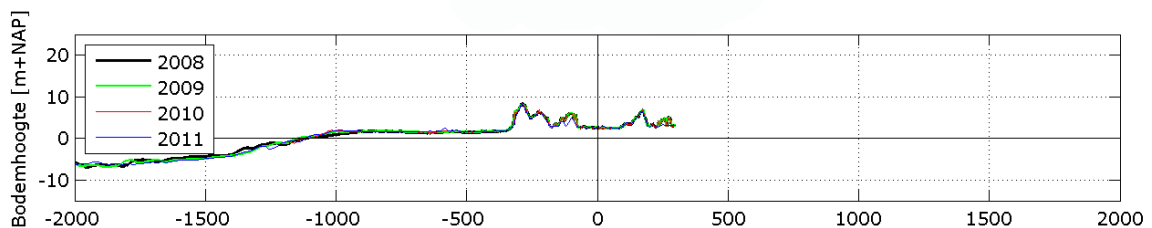
Figuur 3-4 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

### 3.2.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-2 gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $7.9 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingsstijd van 13.000 jaar. Deze overstromingskans is gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied. Wanneer alleen de eerste duinenrij wordt beschouwd, bedraagt de herhalingsstijd slechts 120 jaar. Scenario's waarbij de dijkring overstroomt vanuit de Waddenzee, zijn niet bij deze overstromingskans betrokken.

### 3.2.4 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde waren er geen afkeuringen op Ameland. Dit komt overeen met de lage berekende overstromingskans in het huidige project. Het gebied tussen de raaien 500 en 700 levert de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans. De duinen zijn hier smaller dan op andere plaatsen langs de kust van Ameland, zie figuur 3-4. De duinen hier ter plaatse hebben ook een beperkte kruinhoogte. Figuur 3-5 geeft de hoogteligging voor raai 560. De top van de duinen ligt in dit gebied op ongeveer 8 m+NAP.



Figuur 3-5 JARKUS-data voor 2008 tot en met 2009 voor de duinen bij raai 560 op Ameland

## 3.3 Terschelling

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 4, Terschelling.

### 3.3.1 Gebiedskenmerken

Slechts een deel van de kustlijn van Terschelling heeft een waterkerende functie. Om die reden is in dit onderzoek ook alleen het gebied tussen de raaien 240 en 1980 beschouwd. De raaien buiten dit gebied doorsnijden alleen het natuurgebieden aan de west- en oostzijde van het eiland.

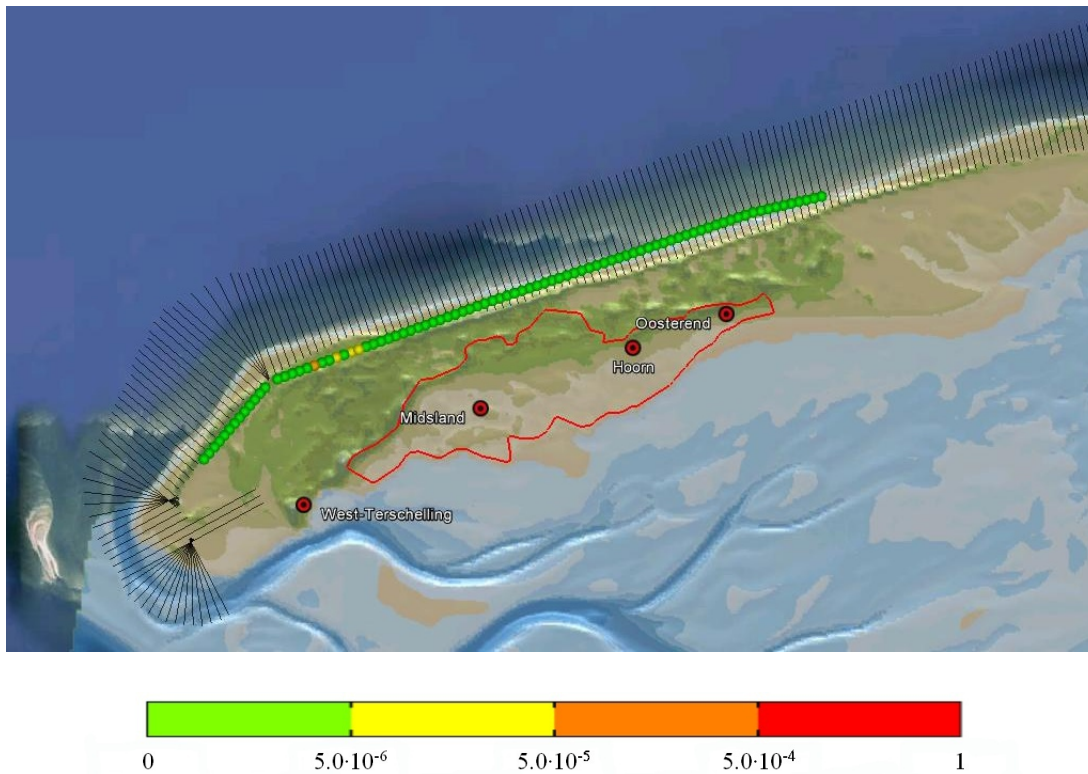
De dorpen Midland, Hoorn en Oosterend zijn de voornaamste woonplaatsen binnen de dijkkring van Terschelling. Het dorp West-Terschelling is het grootste dorp van het eiland. Dit dorp ligt echter geheel buitendijks op een hoog gelegen gedeelte (circa 6 m+NAP).

Zoals te zien is in figuur 3-6, ligt ten noorden van de bebouwing op Terschelling een breed duingebied. Ook de duinhoogte is aanzienlijk. De maximale hoogte varieert van 15 tot 30 m+NAP aan de westzijde en 15 tot 20 m+NAP in het midden van het eiland. Regelmatig zijn meerdere duinenrijen aanwezig.

### 3.3.2 Resultaten

Figuur 3-6 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor Terschelling is deze gelijk aan 1/2.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 3-7 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duningebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

De brede, vaak wat grillig ogende duinen resulteren vaak in wat onnauwkeurige afslagberekeningen. Omdat de faalkansen voor deze profielen zeer laag zijn, zijn de gevolgen hiervan echter verwaarloosbaar voor het berekenen van de overstromingskansen van de gehele dijkkring. In 2 van de 74 gevallen leverde een berekening geen bruikbaar resultaat op. In die gevallen is gekozen voor de faalkansen van een nabijgelegen, vergelijkbare raai.



Figuur 3-6 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

Tabel D-3 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen veelal sterk overeen. Daar waar significante verschillen zichtbaar waren, was dit in alle gevallen te relateren in een verschil in het verwijderen van meervoudige duinenrijen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . Voor Terschelling zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar. Bij de derde toetsronde zijn alle duinen op Terschelling goedgekeurd.

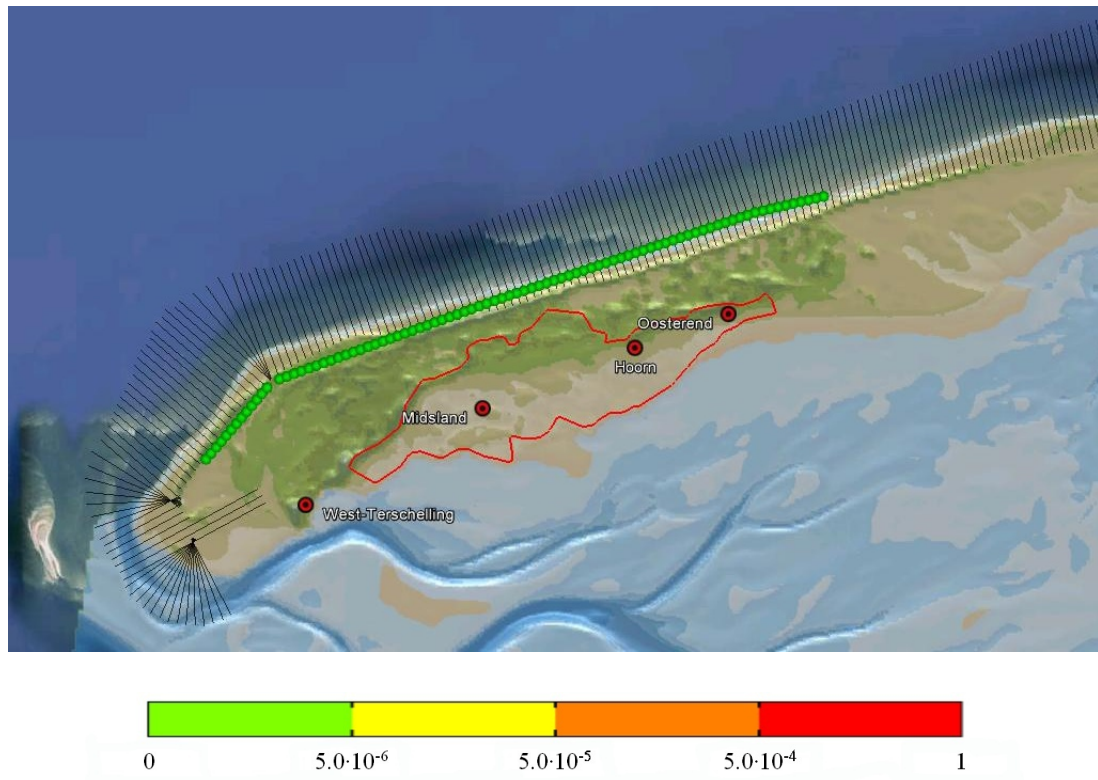
### 3.3.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-3 gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $4.4 \cdot 10^{-10}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingsstijd van 2.290.000.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied. Wanneer alleen de eerste duinenrij wordt beschouwd, bedraagt de herhalingsstijd ruim 9000 jaar. Scenario's waarbij de dijkkring overstroomt vanuit de Waddenzee, zijn niet bij de overstromingskansen betrokken.

### 3.3.4 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde zijn er geen duinen van Terschelling afgekeurd. Dit komt overeen met de zeer lage overstromingskans van  $4.4 \cdot 10^{-10}$  per jaar, zoals berekend binnen het huidige project. Een nadere analyse van hoge faalkansen is dus niet aan de orde voor Terschelling.





Figuur 3-7 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JaKus-raaien (in zwart)

## 3.4 Vlieland

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 5, Vlieland.

### 3.4.1 Gebiedskenmerken

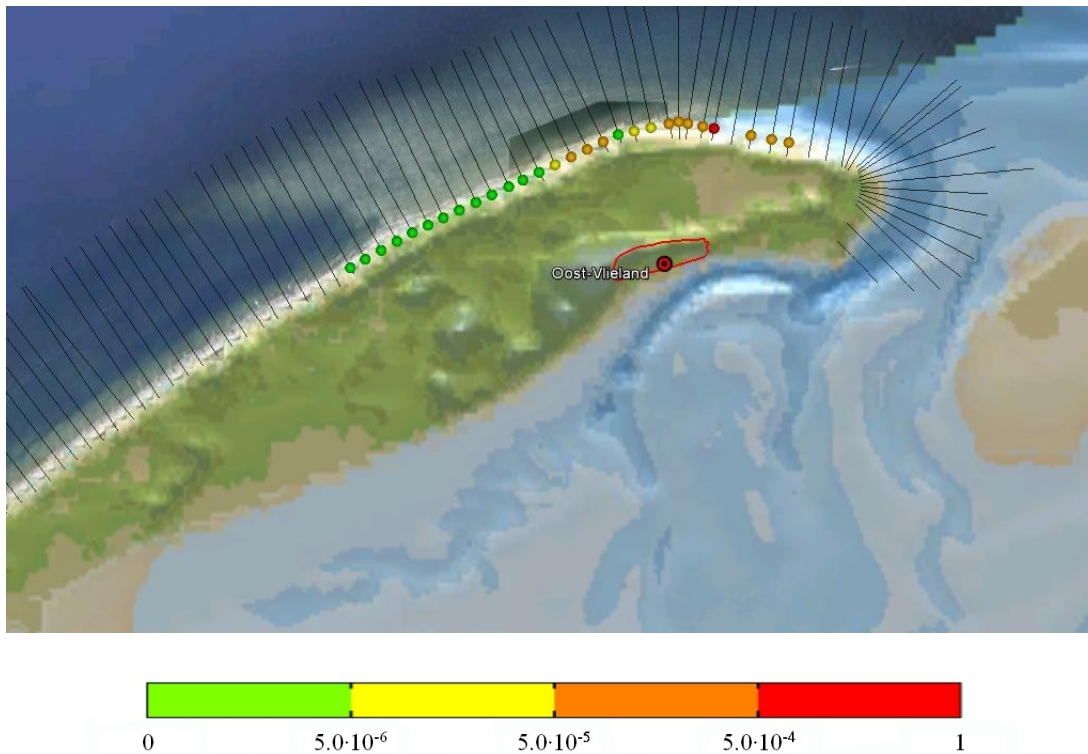
Op Vlieland is slechts een zeer beperkte bewoonde kern aanwezig: Oost-Vlieland. De dijkkring beslaat dan ook slechts een fractie van het hele eiland. Ter analyse van de kustveiligheid is het gebied tussen de raaien 4800 en 5300 onderzocht. Achter de eerste duinenrij ligt hier een relatief laag gelegen gebied. In dit gebied ligt buitendijkse bebouwing. De bebouwing *binnen* de dijkkring ligt aan de zuidzijde van het eiland, op hogere gronden.

### 3.4.2 Resultaten

Figuur 3-8 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor Vlieland is deze gelijk aan 1/2.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 3-9 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

De hoge gronden binnen de dijkkring zelf zijn niet meegenomen bij de berekening van de faalkansen voor het hele duingebied, door de profielen ter plaatse van de dijkkring ten opzichte van de Rijksstrandpaal tot maximaal 1 km landinwaarts te verlengen met AHN-data. De faalkansen van het hele duingebied zijn op die manier van toepassing op de overstroming van het gebied binnen

de dijkkring. Hiermee wordt nadrukkelijk geen overstromingskansen voor het buitendijkse gebied gepresenteerd. Hiervoor geeft de faalkans van de eerste duinenrij een betere indicatie.



Figuur 3-8 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

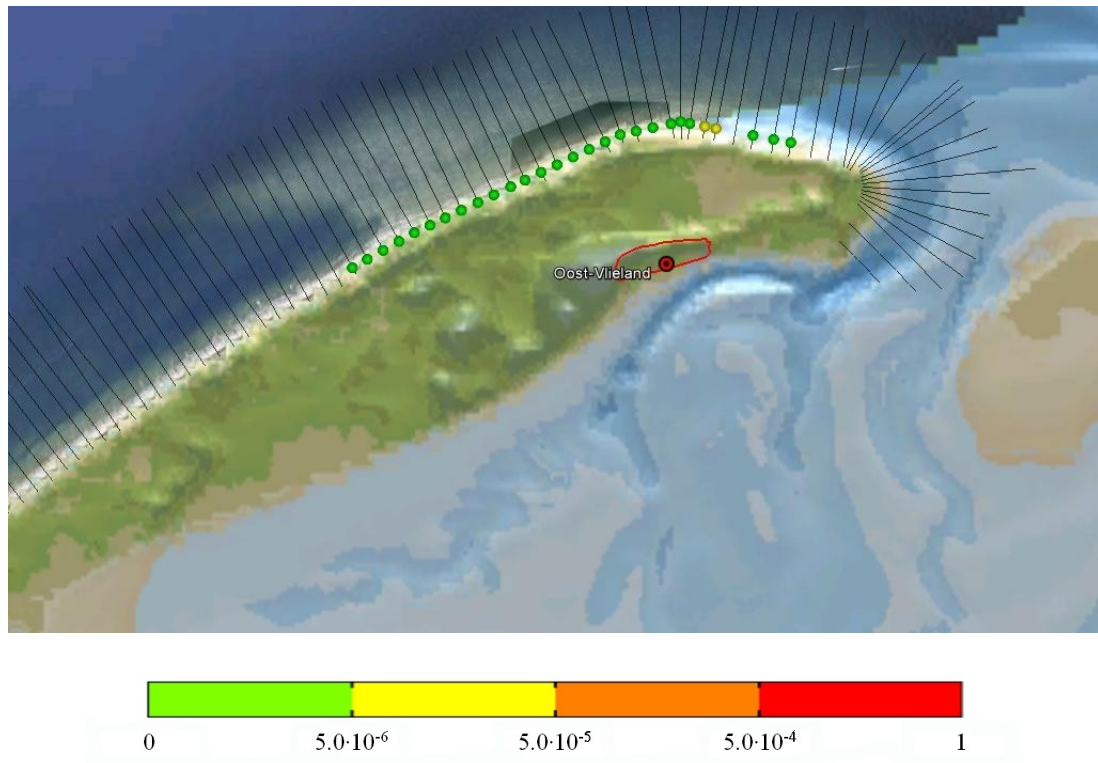
Tabel D-4 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen veelal sterk overeen. Daar waar significante verschillen zichtbaar waren, was dit in alle gevallen te relateren in een verschil in het verwijderen van meervoudige duinenrijen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . Voor Vlieland zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar. Bij de derde toetsronde zijn alle duinen op Vlieland goedgekeurd.

### 3.4.3 Overstromingskansen kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-4 gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $1.2 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingsstijd van 81.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied. Scenario's waarbij de dijkkring overstroomt vanuit de Waddenzee, zijn niet bij deze overstromingskansen betrokken.

Voor de buitendijkse bebouwing is de overstromingskans, gebaseerd op de faalkansen van de eerste duinenrij relevanter. Zowel de boven- als de ondergrens van deze overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $4.3 \cdot 10^{-3}$  per jaar, met bijbehorende herhalingsstijd van ruim 200 jaar.

Bij Vlieland is sprake van een significante reductie van de golfaanval door relatief ver uit de kust liggende zandbanken. Dit effect is niet meegenomen in de berekende kansen, waardoor de kansen mogelijk aan de conservatieve kant zijn.



Figuur 3-9 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied**, inclusief een weergave van het AHN, de dijkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

### 3.4.4 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde waren er geen afkeuringen op Vlieland. Dit komt overeen met de lage berekende overstromingskansen in het huidige project. Het gebied tussen de raaien 5165 en 5212 levert de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans. Achter de eerste duinenrij ligt hier het eerder genoemde laaggelegen gebied met buitendijkse bebouwing.

## 3.5 Texel

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 6, Texel.

### 3.5.1 Gebiedskenmerken

In tegenstelling tot bij de overige Waddeneilanden, beslaat de dijkring van Texel wel vrijwel het hele eiland. Alleen de JarKus-raaien langs de getijde-inlaten aan de noord- en zuidzijde van Texel zijn buiten beschouwing gelaten. De beschouwde raaien zijn raai 900 tot en met raai 3081. De duinen van Texel zijn veelal breed, variërend tussen 300 en 1500 m.

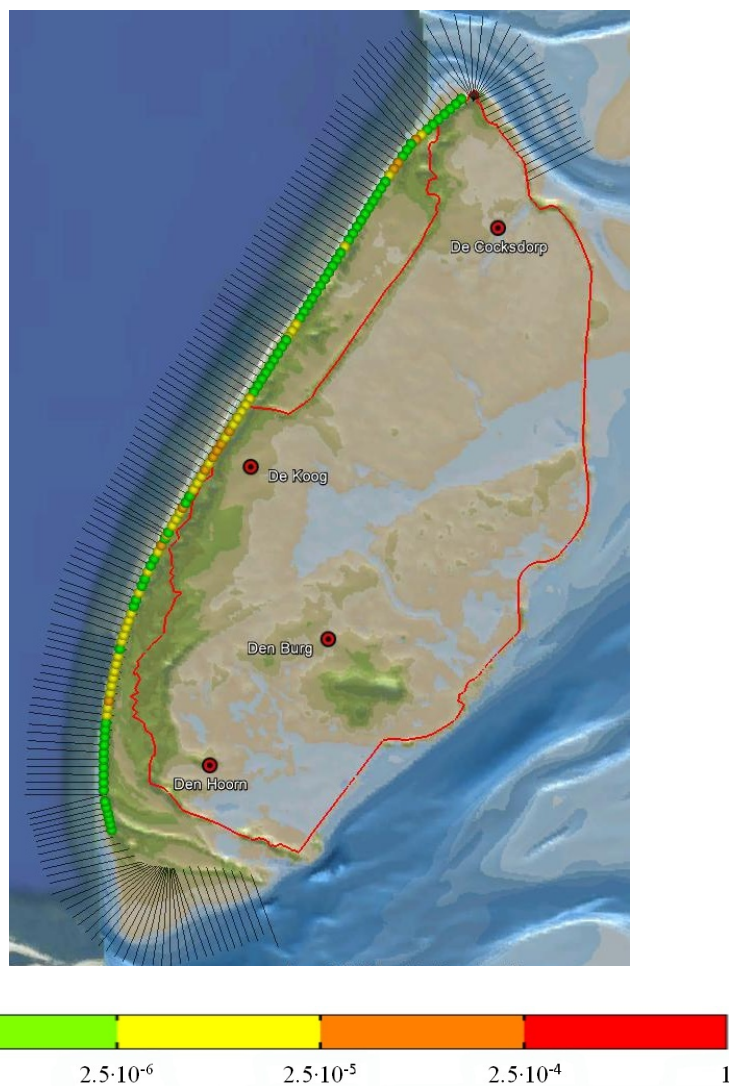
De buitenste duinenrij van Texel wordt rond raai 2500 doorbroken door de inlaat van de Slufter. Deze geul brengt het natuurgebied De Slufter in directe verbinding met het zoute zeewater, dat bij hoog water het gebied binnendringt. De Slufter ligt geheel buiten de dijkring. De dijkring wordt beschermd door een duinenrij rond de Slufter.

### 3.5.2 Resultaten

Figuur 3-10 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor Texel is deze gelijk aan  $1/4.000$  per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 3-11 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

De afslagberekeningen voor Texel verliepen voorspoedig. Slechts in 1 van de 113 berekeningen moest een faalkans uit 2010 gebruikt worden. In alle andere gevallen gaf de berekening voor 2011 een bruikbaar resultaat en veelal een nauwkeurig afslagprofiel.

Tabel D-5 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen veelal sterk overeen. Daar waar significante verschillen zichtbaar waren, was dit in alle gevallen te relateren in een verschil in het verwijderen van meervoudige duinenrijen. Na correctie van de faalkansen voor het volume



Figuur 3-10 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)



Figuur 3-11 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . Bij de derde toetsronde zijn alle duinen op Texel goedgekeurd. Alleen twee raaien ter hoogte van de Slufter (2480 en 2500) hebben het predicaat 'geen oordeel' toegewezen gekregen, omdat de profielen de instroomgeul doorsnijden, en DUROS+ daardoor niet toepasbaar is. De resultaten voor dit project geven ook voor deze raaien een lage faalkans, als gevolg van de aanvulling met AHN-data.

Binnen VNK2 zijn overstromingsrisico's voor Texel bepaald. Deze zijn gerapporteerd in een achtergrondrapportage [Maaskant \(2010\)](#). Verspreid langs de zandige kust zijn faalkansen bepaald voor 10 raaien. De uitkomsten zijn ter vergelijking opgenomen in tabel [D-5](#). De verschillen zijn een op een te relateren aan verschillen in de profielen, zoals deze in PC-Ring (en daarmee aan DUROS+) zijn ingevoerd. In [Maaskant \(2010\)](#) zijn de dubbele duinenrijen niet verwijderd, zodat consequent lagere faalkansen werden berekend. Waarschijnlijk is dit gepaard gegaan met sterk onnauwkeurige afslagprofielen, omdat DUROS+ niet met meervoudige duinenrijen om kan gaan. Omdat de faalkansen 'aannemelijk' waren, zijn de resultaten binnen VNK2 goedgekeurd. Informatie over de nauwkeurigheid van de afslagberekeningen wordt niet gegeven. Daarnaast zijn voor [Maaskant \(2010\)](#) de JarKus-metingen uit 2006 gebruikt. Vergelijken van de resultaten

bleek al met al niet zinvol te zijn.

### 3.5.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-5 gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $2.1 \cdot 10^{-8}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingsstijd van 47.000.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied. Wanneer alleen de eerste duinenrij wordt beschouwd, neemt de herhalingsstijd af tot ruim 700 jaar. Scenario's waarbij de dijkkring overstroomt vanuit de Waddenzee, zijn niet bij de berekende overstromingskansen betrokken.

### 3.5.4 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde zijn er geen duinen van Texel afgekeurd. Dit komt overeen met de zeer lage overstromingskans van  $2.1 \cdot 10^{-8}$  per jaar, zoals berekend binnen het huidige project. Een nadere analyse van hoge faalkansen is dus niet aan de orde voor Texel.

## 3.6 Overzicht overstromingskansen per kustvak

Voor de Wadden zijn de volgende overstromingskansen per kustvak (op jaarbasis) en bijbehorende herhalingsstijden (in jaren) berekend:

Kustvak nummer	Kustvak naam	Overstromingskans	Herhalingsstijd
2	Schiermonnikoog	$2.1 \cdot 10^{-4}$	4.700
3	Ameland	$7.9 \cdot 10^{-5}$	13.000
4	Terschelling	$4.4 \cdot 10^{-10}$	2.290.000.000
5	Vlieland	$1.2 \cdot 10^{-5}$	81.000
6	Texel	$2.1 \cdot 10^{-8}$	47.000.000

Tabel 3-1 Overstromingskansen en bijbehorende herhalingsstijd voor elk kustvak in het Waddengebied.

Een lijst met faalkansen, naar individuele raai, is gegeven in bijlage D.

## 4 Hollandse kust

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek voor de Hollandse Kust. Dit gebied beslaat de kustvakken Noord-Holland, Rijnland en Delfland, en strekt zich daarmee uit van Den Helder tot Hoek van Holland. De drie kustvakken komen in de drie paragrafen van dit hoofdstuk aan de orde.

### 4.1 Noord-Holland

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 7, Noord-Holland. Dit kustvak strekt zich uit van Den Helder tot aan de haven van IJmuiden. De zeewering van Noord-Holland bestaat behalve uit duinen ook uit zeedijken, de zeedijk bij Den Helder en de Hondsbossche en Pettemer zeewering.

#### 4.1.1 Gebiedskenmerken

De zeewering van Noord-Holland bestaat van noord naar zuid uit de volgende delen:

- een zeedijk bij Den Helder;
- een duingebied tussen Huisduinen en Petten, met een smal gedeelte nabij Callantsoog;
- de Hondsbossche en Pettemer zeewering;
- een zeer breed duingebied tussen Camperduin en de haven van IJmuiden, het Noordhollands Duinreservaat.

De raaien 5400 t/m 5500 doorsnijden een buitendijks gebied, dat niet bijdraagt aan de waterveiligheid binnen de dijkkring. Deze raaien zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

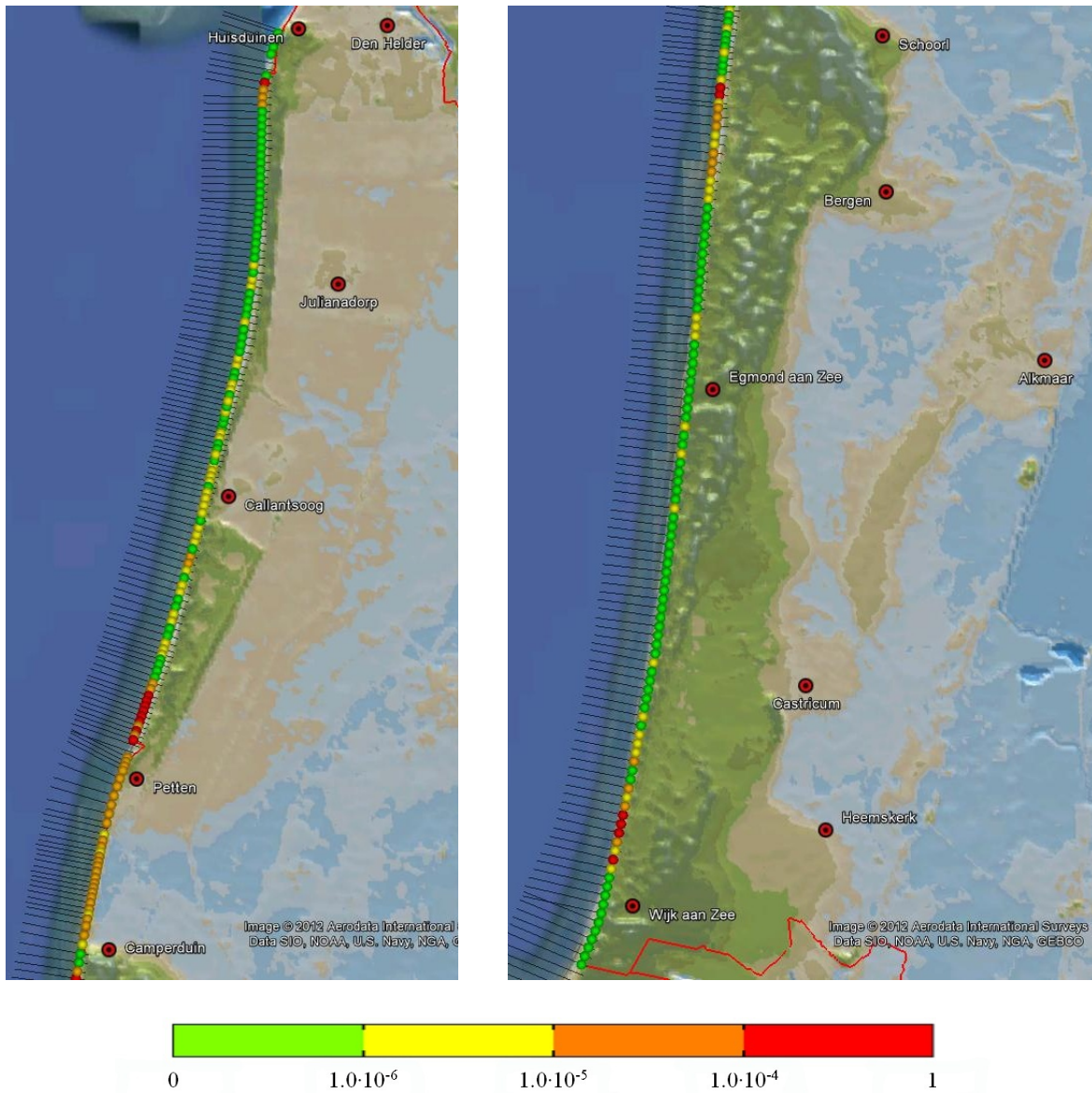
In § 4.1.2 staan de berekeningen voor de duinen centraal, en § 4.1.3 reflecteert op de rekenresultaten voor de dijken.

#### 4.1.2 Resultaten

Figuur 4-1 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Hollandse Kust is deze gelijk aan 1/10.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Ook de resultaten voor de dijken zijn in deze figuren opgenomen. Een beschrijving van het totstandkomen van de berekende faalkansen voor de dijken is te vinden in § 4.1.3. Figuur 4-2 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

De correctie is *niet* toegepast op locaties waar de met AHN-data aangevulde raaien bebouwing doorsnijden. Dit is het geval bij de raaien 3250 t/m 3375 (Bergen aan Zee), 3725 t/m 3875 (Egmond aan Zee), 5125 t/m 5250 (Wijk aan Zee).

Wanneer hier de eerste duinenrij bezwijkt, treedt er schade op in deze woonplaatsen. Mogelijk is dit ook het geval bij het bezwijken van raaien aan weerszijden van de genoemde trajecten, in combinatie met 2D-effecten. Hier is in deze studie geen uitgebreid onderzoek naar gedaan. De gevolgen zijn echter altijd lokaal. Een overstroming van de gehele dijkkring treedt in deze situaties *niet* op. De achterliggende duinen voorkomen namelijk dat het binnendringende water zich verder kan verspreiden. Bij enkele raaien ten noorden van Petten is de aanvulling over een beperkte lengte uitgevoerd, met het oog op 2D-effecten.



Figuur 4-1 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** en de zeedijk in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

De berekeningen langs de Hollandse Kust scoorden veelal redelijk tot goed op convergentie en nauwkeurigheid van de berekeningen, zie § 2.4. Bij 8 van de 220 raaien leverde de berekening geen bruikbare faalkans op. In die gevallen is het resultaat van een omliggende, vergelijkbare raai of een voorgaand jaar gekozen.

Tabel D-6 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . Voor Noord-Holland zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar. De resultaten van de derde toetsronde tonen enkele afgekeurde trajecten langs de Noord-Hollandse kust. Deze komen aan de orde in § 4.1.5.



### 4.1.3 Dijken

Als uitgangspunt bij de berekening voor overloop/golfoverslag bij dijken is een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m gehanteerd, ingegeven door de resultaten vanuit project VNK<sup>1</sup>. Er is gerekend met golfreductie door de voorlandwerking van het aanwezige zand.

Aan de kop van Noord-Holland is alleen gerekend aan de dijken die direct aan de kust gelegen zijn (raaien 0 t/m 90). De dijken direct noordwaarts van Den Helder, gelegen aan het Marsdiep, vallen buiten de scope van het onderzoek. Voor de dijken ter plaatse van raaien 0 t/m 90 worden faalkansen lager dan eens per miljoen jaar berekend.

De faalkansen voor de Hondsbossche Zeewering zijn aanmerkelijk hoger. De hoogste faalkans wordt berekend voor raai 2123, namelijk  $3.88 \cdot 10^{-5}$ . Om de invloed van het kritiek overslagdebiet en de invloed van golfreductie in kaart te brengen, zijn in tabel 4-1 resultaten van aanvullende berekeningen getoond voor deze raai.

$q_c$ [l/s/m]	Zonder golfreductie	Met golfreductie
1	$1.20 \cdot 10^{-2}$	$6.50 \cdot 10^{-4}$
10	$1.51 \cdot 10^{-3}$	$3.88 \cdot 10^{-5}$
50	$1.53 \cdot 10^{-4}$	$2.52 \cdot 10^{-6}$
100	$4.26 \cdot 10^{-5}$	$6.00 \cdot 10^{-7}$

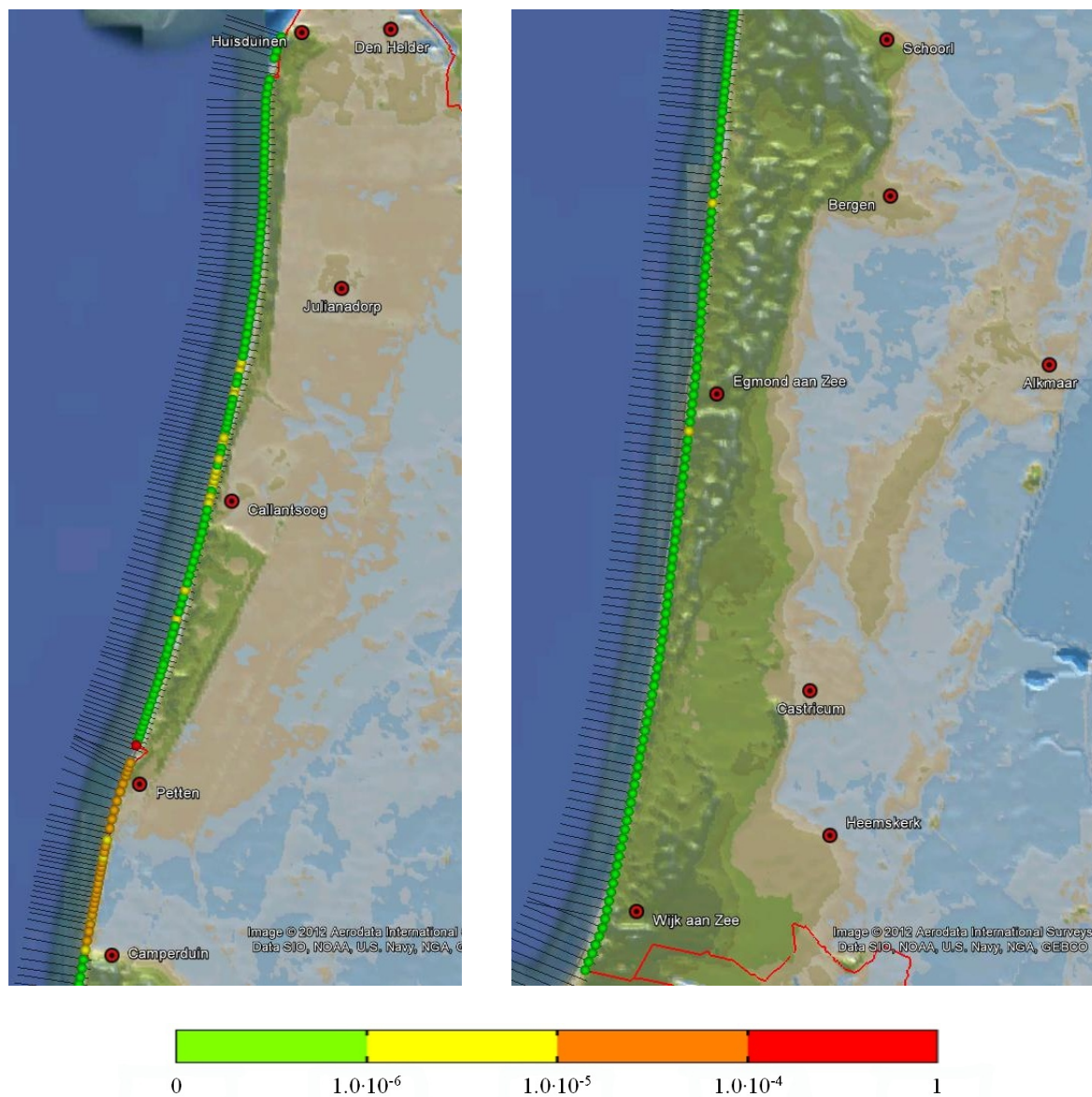
Tabel 4-1 Resultaten voor de faalkans (op jaarbasis) bij overloop/golfoverslag bij raai 2123 in kustvak 7 (Hondsbossche Zeewering) bij vier verschillende kritieke debieten, zowel in het geval dat golfreductie niet en wel is toegepast. Het blauwgedrukte getal wordt gehanteerd in de analyses.

Tabel 4-1 laat zien dat het meenemen van golfreductie een factor 100 verlaging van de faalkans oplevert. De faalkansen zijn wat betreft de waarden vergelijkbaar met de waarde van de normfrequentie van eens in de 10.000 jaar.

### 4.1.4 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-6 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $7.2 \cdot 10^{-4}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 1.400 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied, en de faalkansen van de zeedijken bij een vast kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m.

<sup>1</sup>Zie het memorandum 'Berekende overslagdebieten in VNK2' van 27 juni 2011.



Figuur 4-2 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** en de zeedijk in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

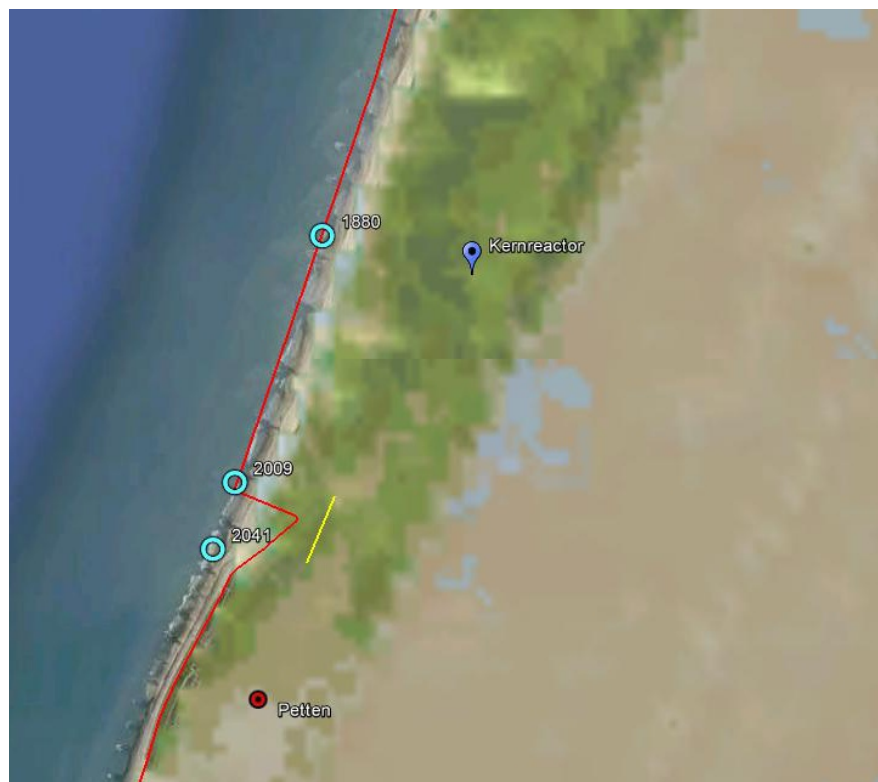
#### 4.1.5 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde zijn de volgende trajecten langs de Noord-Hollandse kust afgekeurd:

1. **De zeedijk bij den Helder.** Bij een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m zijn de berekende faalkansen in de orde van  $10^{-7}$  per jaar. Bij een reductie van het toelaatbare overslagdebiet tot slechts 1 l/s/m nemen de faalkansen toe tot orde  $10^{-5}$  per jaar. Hoe via een beheerdersoordeel tot de afkeuring binnen de derde toetsronde is gekomen, is niet bekend.
2. **De duinen bij Callantsoog.** De duinen zijn hier relatief smal. De binnen dit onderzoek berekende faalkansen zijn kleiner dan  $1 \cdot 10^{-5}$  per jaar. De afkeuring is het gevolg van het beschouwen van de sterkte over langere perioden. In de periode vóór 2006 was dit gebied aanzienlijk zwakker. Dit gebied is in [Ministerie van VROM \(2004\)](#) dan ook aangewezen als prioritaire zwakke schakel. De komende jaren zal het strand bij Callantsoog worden ver-

breed<sup>2</sup>.

3. **De duinen ten noorden van Petten.** De berekende faalkansen voor de eerste duinenrij zijn hoger dan de norm. Waarschijnlijk is de toetsing hierop gebaseerd. Na correctie voor meerdere duinenrijen worden de faalkansen echter zeer klein. De kernreactor (aangegeven in figuur 4-3) ligt op en landwaarts van een hoog duinmassief, waardoor de correctie met AHN-data voor de reactor gerechtvaardigd is. Alleen in het zuidelijk deel van dit gebied kon de correctie voor meerdere duinenrijen slechts over een lengte van ongeveer 500 m uitgevoerd worden, met het oog op 2D-effecten. Zie de gele begrenzing in figuur 4-3. Hierdoor is de berekende faalkans hier relatief hoog:  $2.4 \cdot 10^{-4}$  per jaar. Deze faalkans levert de grootste bijdrage aan de overstromingskans van het kustvak. De komende jaren zal het strand bij Petten worden verbreed.



*Figuur 4-3 Geometrie van de duinen ten noorden van Petten volgens het AHN. De rode lijn toont de dijk-ring, de gele lijn de lokale beperking van de aanvulling met AHN-data (raai 2009). De blauwe marker geeft de locatie van de kernreactor in het duingebied. Ten zuiden van raai 2041 begint de Pettemer zeewering.*

4. **De Hondsbossche en Pettemer zeewering.** Bij een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m zijn de faalkansen in de orde van  $10^{-5}$  per jaar; bij 1 l/s/m wordt dit in de orde van  $10^{-4}$  per jaar. Welk kritiek overslagdebiet is gehanteerd bij de toetsing, is niet bekend. De zeedijk is in [Ministerie van VROM \(2004\)](#) aangewezen als prioritaire zwakke schakel. Sindsdien zijn enkele kleinschalige versterkingen uitgevoerd, zoals de plaatsing van een damwand op de Pettemer zeewering.
5. **De duinen ongeveer 1,5 km ten noorden van Wijk aan Zee.** De rekenresultaten voor de eerste rij komen overeen met deze afkeuring. Na correctie voor het grote duinvolume landinwaarts van de eerste duinenrij ontstaan echter verwaarloosbaar kleine faalkansen. Het natuurgebied in het Noordhollands Duinreservaat bevat geen functies die deze correctie on-

<sup>2</sup><http://nos.nl/artikel/383317-kust-bij-petten-versterkt.html>

toelaatbaar maken. Ook 2D-effecten lijken geen rol te kunnen spelen.

## 4.2 Rijnland

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 8, Rijnland. Dit kustvak strekt zich uit van de haven van IJmuiden tot aan het noorden van Scheveningen.

### 4.2.1 Gebiedskenmerken

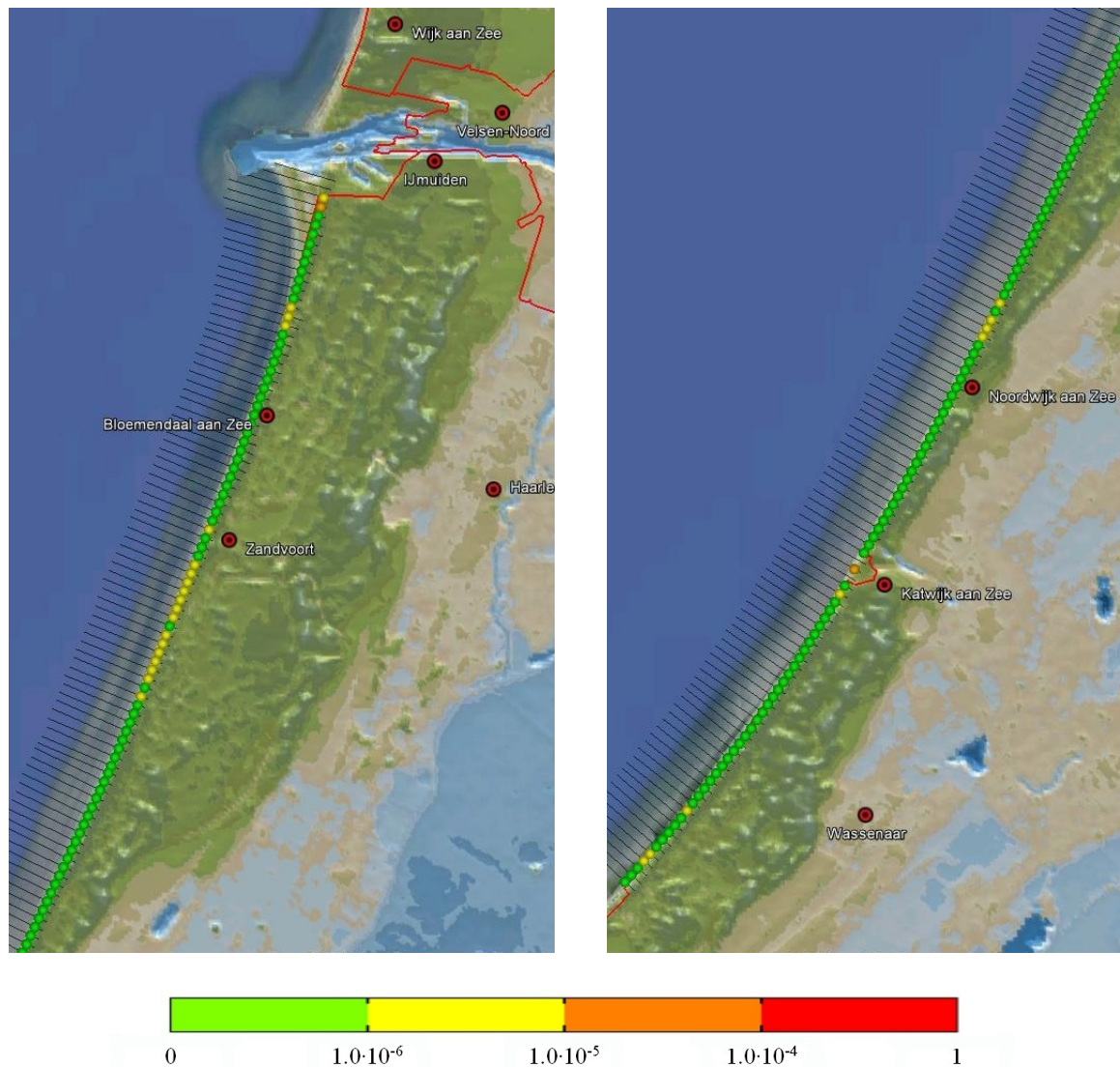
De zeewering van Rijnland bestaat geheel uit duinen. In het noordelijk deel (bij Zandvoort) en het zuidelijk deel van Rijnland (bij Wassenaar) zijn de duinen meerdere kilometers breed. Wel liggen er bebouwde kernen in deze duingebieden. Het middelste deel (rond Noordwijk aan Zee) bestaat uit een smaller duingebied.

### 4.2.2 Resultaten

Figuur 4-4 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Hollandse Kust is deze gelijk aan 1/10.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkring (rode lijn) opgenomen.

Figuur 4-5 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4. De correctie is *niet* toegepast op locaties waar de met AHN-data aangevulde raaien bebouwing doorsnijden. Dit is het geval bij de raaien 6225 t/m 6750 (Bloemendaal aan Zee en Zandvoort) en 8050 t/m 8800 (Noordwijk aan Zee en Katwijk aan Zee). Wanneer hier de eerste duinenrij bezwijkt, treedt er schade op in deze woonplaatsen. Een overstroming van de gehele dijkring treedt in deze situaties mogelijk *niet* op.

De convergentie van de probabilistische berekeningen voor Rijnland verliep veelal moeizaam. Dit is het gevolg van de aanwezigheid van grote duinen met soms meerdere toppen. Slechts bij 4 van de 164 raaien was het eindresultaat niet bruikbaar. In die gevallen is het resultaat van een omliggende, vergelijkbare raai of een voorgaand jaar gekozen.

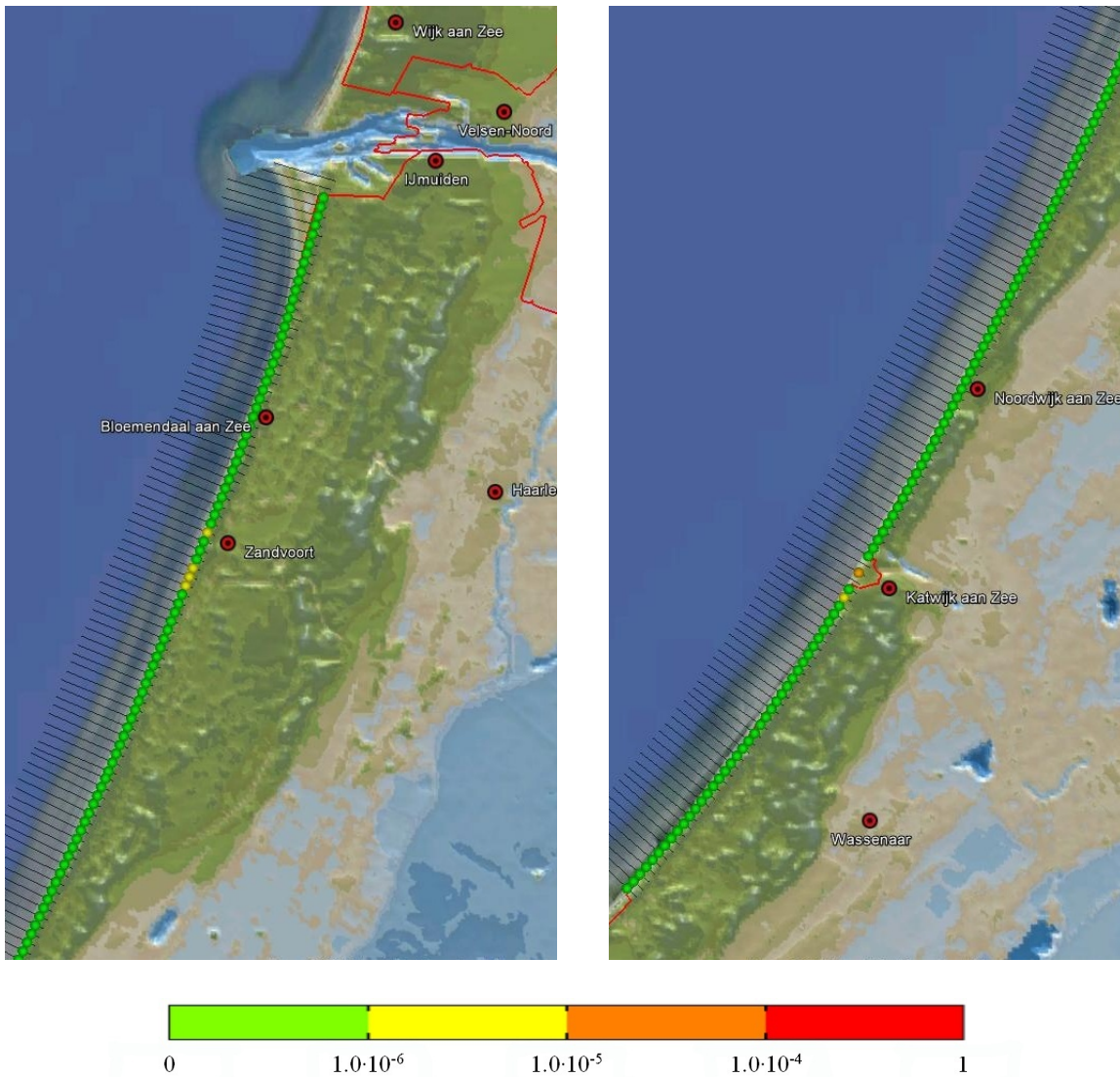


Figuur 4-4 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

Tabel D-7 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

Binnen VNK2 zijn overstromingsrisico's voor dijkkring 14 (Zuid-Holland) bepaald. Deze dijkkring bevat de kustvakken Rijnland en Delfland. Deze zijn gerapporteerd in een achtergrondrapportage Jongejan (2010b). Verspreid langs de zandige kust van deze twee kustvakken zijn faalkansen bepaald voor 21 raaien. De uitkomsten zijn ter vergelijking opgenomen in tabel D-7 in bijlage D. De resultaten komen overal zeer goed overeen met de resultaten uit het voorliggende onderzoek.

Bij Katwijk aan Zee is de situatie zeer complex. Katwijk is deels buitendijks gelegen. De landwaartse grens van de (primaire) waterkering ligt op sommige plaatsen circa 500 m vanaf de zeevaartse rand van de duinen. Bebouwd gebied maakt daar deel uit van de waterkering. De waterkering bestaat uit een (relatief smalle) duinregel met landwaarts daarvan het bebouwde gebied.



Figuur 4-5 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

In Jongejan (2010b) en Van Dongeren et al. (2008) is deze locatie in detail onderzocht. Omdat de diepgang van dat onderzoek voor die locatie aanzienlijk groter was dan binnen het voorliggende onderzoek, is besloten om de faalkans van  $2.13 \cdot 10^{-5}$  per jaar uit Jongejan (2010b) over te nemen. Deze faalkans is geldig voor het traject dat bestaat uit de raaien 8675, 8700 en 8725. Merk op dat deze faalkans is berekend op basis van de geometrie van 2006, en niet van 2011.

De resultaten van de derde toetsronde tonen enkele afgekeurde trajecten langs de kust van Rijnland. Deze komen aan de orde in § 4.2.4.

### 4.2.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-7 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $3.0 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 33.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied.

#### 4.2.4 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde zijn de volgende trajecten langs de Noord-Hollandse kust afgekeurd:

1. **Duinen ten noorden van Bloemendaal aan Zee.** De resultaten voor de eerste duinenrij geven met faalkansen in de orde van  $10^{-6}$  geen aanleiding tot een afkeuring. De reden van dit verschil is niet bekend. Mogelijk heeft het beheerdersoordeel betrekking op een beperkt gedeelte van het dwarsprofiel.
2. **Duinen ten noorden van Noordwijk aan Zee.** Ook deze afkeuring is niet terug te zien in de berekende faalkansen. De reden van dit verschil is niet bekend. De waterkering van Noordwijk is in [Ministerie van VROM \(2004\)](#) aangewezen als een van de prioritaire zwakke schakels langs de Nederlandse kust. De dijk-in-duin-constructie hier ter plaatse is in 2008 reeds versterkt.<sup>3</sup>
3. **Katwijk aan Zee.** Bij Katwijk Baai wordt ook in dit onderzoek de faalkans gevonden met de grootste bijdrage aan de overstromingskans van geheel Rijnland. De waterkering van Katwijk is in [Ministerie van VROM \(2004\)](#) aangewezen als een van de prioritaire zwakke schakels langs de Nederlandse kust. Een kustversterking bevindt zich op dit moment in de planfase.<sup>4</sup>

<sup>3</sup>[http://www.kustvisie.nl/zwakke\\_schakels/index.html](http://www.kustvisie.nl/zwakke_schakels/index.html)

<sup>4</sup><http://www.kustwerkkatwijk.nl/public/index.php>

## 4.3 Delfland

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 9, Delfland. Dit kustvak strekt zich uit van Scheveningen tot aan Hoek van Holland.

### 4.3.1 Gebiedskenmerken

De kust tussen Scheveningen en Hoek van Holland bestaat uit een combinatie van duinen, boulevard en dijk-in-duin constructies. Alle profielen zijn ter bepaling van de faalkans als geheel zandig beschouwd. Deze aanname wordt in het geval van stabiele constructieve elementen als boulevards en kades als conservatief beschouwd (Jongejan (2010b)).

### 4.3.2 Resultaten

Figuur 4-6 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Hollandse Kust is deze gelijk aan 1/10.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 4-7 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

De correctie op basis van volumes is alleen uitgevoerd in het noordelijk deel van de Delflandse kust. Vanwege de bebouwing van Scheveningen, Den Haag en Hoek van Holland is ten zuiden van raai 9875 de faalkans van de eerste duinenrij aangehouden als faalkans voor de zeevering.

Voor 6 van de 70 raaien van Delfland berekende PC-Ring geen (bruikbare) faalkans. Bij 3 raaien is daarom het resultaat van 2010 aangehouden, bij 2 raaien het resultaat van een nabijgelegen, vergelijkbare raai. Alleen bij raai 11825 moest terug gegaan worden tot 2004 om een correcte faalkans te verkrijgen. Aangezien er rond deze raai een megasuppletie is uitgevoerd in de afgelopen periode, is de faalkans uit 2004 ( $1.7 \cdot 10^{-8}$ ) aan te houden als conservatief resultaat.

Tabel D-8 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

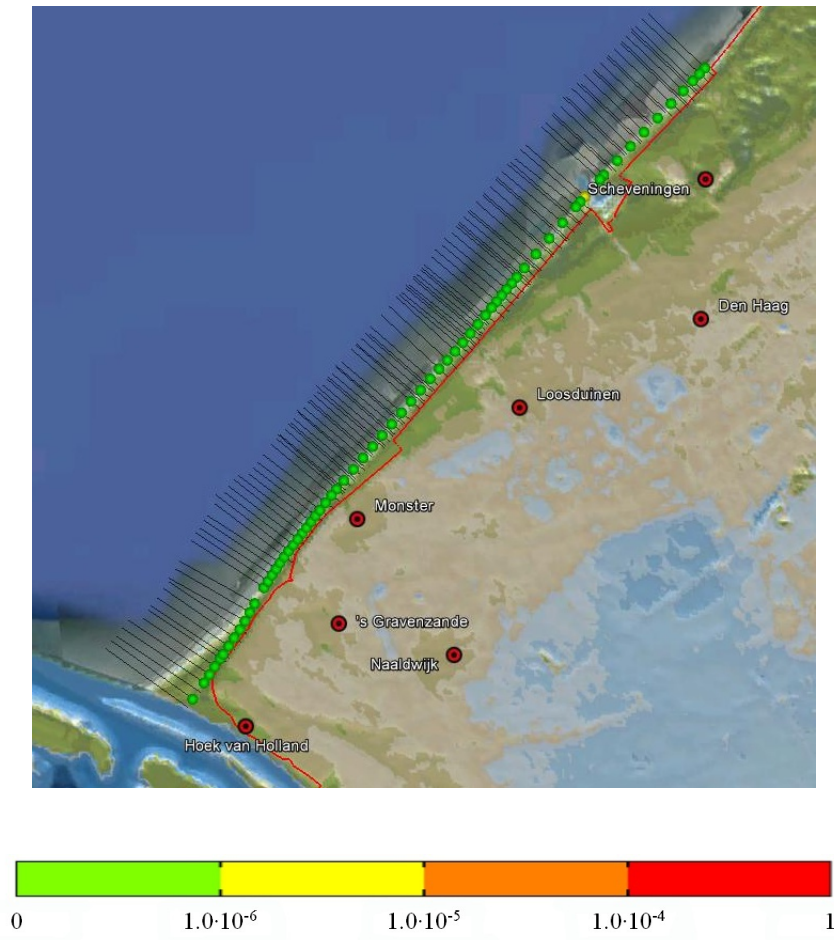
Bij de derde toetsronde is de gehele kust van Delfland goedgekeurd (met uitzondering van 'geen oordeel' op een locatie waar het modelinstrumentarium niet toepasbaar was).

Binnen VNK2 zijn overstromingsrisico's voor dijkkring 14 (Zuid-Holland) bepaald. Deze dijkkring bevat de kustvakken Rijnland en Delfland. Deze zijn gerapporteerd in een achtergrondrapportage Jongejan (2010b). Verspreid langs de zandige kust van Rijnland en Delfland zijn faalkansen bepaald voor 23 raaien. De uitkomsten zijn ter vergelijking opgenomen in tabel D-8 in bijlage D. De resultaten van VNK2 en de huidige studie komen veelal goed overeen. Verschillen zijn meestal direct te relateren aan verschillen in de definitie van de profielen. Daarnaast is de studie van VNK2 gebaseerd op de situatie van 2006, vóór de grootschalige versterking van de kust van Delfland.

### 4.3.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-8 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $6.7 \cdot 10^{-6}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 150.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkan-





Figuur 4-6 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

sen van het gehele duingebied.

#### 4.3.4 Hoogste faalkansen

De hoogste berekende faalkans in de huidige studie is slechts  $4.9 \cdot 10^{-6}$  per jaar. Bij de derde toetsronde zijn dan ook geen gedeeltes van de kust van Delfland afgekeurd.

In [Ministerie van VROM \(2004\)](#) zijn de waterkering van Scheveningen en het kustvak Hoek van Holland tot Kijkduin aangewezen als prioritaire zwakke schakels van de Nederlandse kust. Inmiddels is de kust hier bij Scheveningen versterkt. Ook is er bij de Boulevard van Scheveningen een dijk-in-boulevard-constructie aangelegd ([Jongejan \(2010a\)](#)). Voor het kustvak Hoek van Holland tot Kijkduin is een megasuppletie aangebracht in de afgelopen jaren, als versterking van de kust en ter compensatie voor de negatieve ecologische effecten van de aanleg van de tweede Maasvlakte. Het strand is vanaf Rijksstrandpaal 13800 ('s Gravenzande) tot en met Hoek van Holland ongeveer een meter opgehoogd en tot wel 200 meter uitgebouwd. Hierdoor is inmiddels geen sprake meer van zwakke schakels langs de kust van Delfland.



Figuur 4-7 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

### 4.4 Overzicht overstromingskansen per kustvak

Voor de Hollandse kust zijn de volgende overstromingskansen per kustvak (op jaarbasis) en bijbehorende herhalingsjaren (in jaren) berekend:

Kustvak nummer	Kustvak naam	Overstromingskans	Herhalingsjaar
7	Noord-Holland	$7.2 \cdot 10^{-4}$	1.400
8	Rijnland	$3.0 \cdot 10^{-5}$	33.000
9	Delfland	$6.7 \cdot 10^{-6}$	150.000

Tabel 4-2 Overstromingskansen en bijbehorende herhalingsjaar voor elk kustvak van de Hollandse kust.

Een lijst met faalkansen, naar individuele raai, is gegeven in bijlage D.

## 5 Zeeuwse Delta

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek voor de Zeeuwse Delta. Dit gebied beslaat de kustvakken Voorne, Goeree, Schouwen, Noord-Beveland, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen en strekt zich daarmee uit van Oostvoorne in Zuid-Holland tot aan de grens met België. De zes kustvakken komen in de zes paragrafen van dit hoofdstuk aan de orde.

### 5.1 Voorne

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 11, Voorne. Voorne is een voormalig eiland, behorend tot de provincie Zuid-Holland. Het is aan de noordzijde ingesloten door de Maasvlakte en aan de zuidzijde door het Haringvliet.

#### 5.1.1 Gebiedskenmerken

Vanaf de Maasvlakte tot aan Rockanje strekt zich een breed duingebied uit. Alleen over het korte traject tussen Rockanje en de Haringvlietdam is het duingebied smaller.

#### 5.1.2 Resultaten

Figuur 5-1 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij van de kustvakken 11 én 12, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Zeeuwse Delta is deze gelijk aan 1/4.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 5-2 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

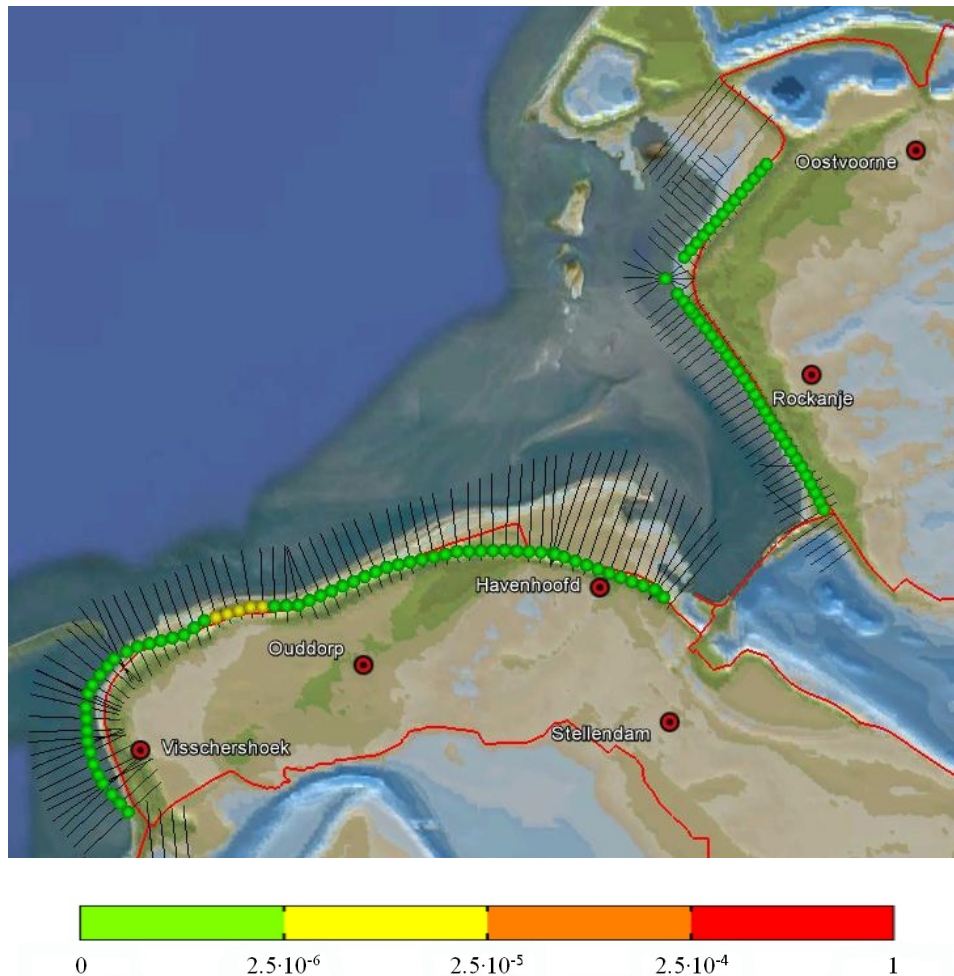
De JarKus-raaien 620 tot en met 660 lopen over het strand in de baai ten zuiden van de Maasvlakte. DUROS+ kan geen deugdelijke afslagberekeningen uitvoeren voor deze raaien.

De kwaliteit van de rekenresultaten was voor een aanzienlijk deel van de raaien matig tot slecht. Vaak was dit het gevolg van de aanwezigheid van brede duinen, duinen met een grillig verloop of een langgerekt voorland. Bij 12 van de 44 raaien leverde de PC-Ring berekening geen bruikbaar eindresultaat op. Als oplossing is gekozen:

- de voor 2009 berekende faalkans (5x);
- de faalkans van een omliggende, vergelijkbare raai (4x);
- een inschatting van de faalkans op basis van het convergentieverloop van de faalkans, als in figuur A-5 uit bijlage A.5 (3x).

Er is ondanks de matige resultaten niet gekozen voor het herhalen van de berekeningen met aangepaste profielen. Dit omdat de berekende faalkansen in alle gevallen aangepast werden op basis van het volume van meerdere duinenrijen. De resulterende faalkansen zijn buitengewoon laag.

Het zuidelijk deel van Voorne kent de hoogste faalkansen, omdat de duinenrij hier relatief smal is. De maximale faalkans is hier  $1.0 \cdot 10^{-6}$  per jaar.



Figuur 5-1 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** en de zeedijken in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijinglijijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

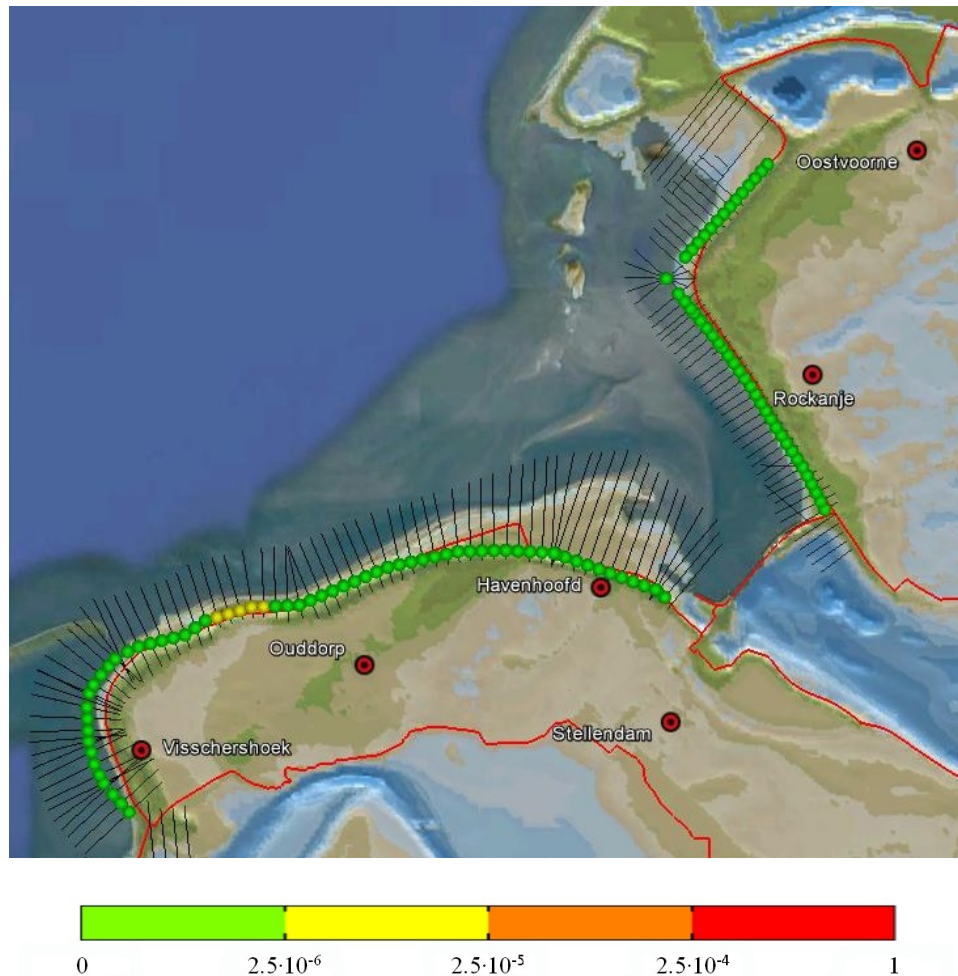
Tabel D-9 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009 en 2011 komen sterk overeen. Voor 2010 zijn geen JarKus-metingen beschikbaar op Goeree. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

Voor Voorne zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar.

De derde toetsronde heeft geen afkeuringen opgeleverd voor de zeevering van Voorne. Dit is in overeenstemming met de lage berekende faalkansen.

### 5.1.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-9 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $1.2 \cdot 10^{-6}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 854.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied.



Figuur 5-2 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** en de zeedijken in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

### 5.1.4 Hoogste faalkansen

De gehele zeewering langs de kust van Voorne heeft een lage faalkans. Relatief gezien zijn de berekende faalkansen van de duinen tussen Rockanje en het Haringvliet het hoogst. Deze berekende faalkansen zijn met waarden kleiner dan één vierhonderdduizendste nog steeds laag.

## 5.2 Goeree

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 12, Goeree. Goeree is het Zeeuwse eiland, dat wordt omsloten door het Haringvliet aan de noordzijde, en de Grevelingen aan de zuidzijde. De zeewering bestaat behalve uit duinen ook uit een zeedijk, het Flauwe Werk.

### 5.2.1 Gebiedskenmerken

De zeewering van Goeree bestaat grotendeels uit duinen. Alleen tussen de raaien 1150 en 1275 is een zeedijk aanwezig, het Flauwe Werk. De zeedijk heeft een kern van zand en een bekleding van asfalt. Deze bekleding is weer deels bedekt met zand, waardoor sprake is van een dijk-in-duin-constructie.

## 5.2.2 Resultaten

Figuur 5-1 in § 5.1.2 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij van de kustvakken 11 (Voorne) en 12 (Goeree), zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Zeeuwse Delta is deze gelijk aan 1/4.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Ook de resultaten voor de dijken zijn in deze figuren opgenomen. Een beschrijving van het totstandkomen van de berekende faalkansen voor de dijken is te vinden in § 5.2.3. Figuur 5-2 in § 5.1.2 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

De kwaliteit van de rekenresultaten was voor een aanzienlijk deel van de raaien matig tot slecht. Vaak was dit het gevolg van de aanwezigheid van brede duinen, duinen met een grillig verloop of een langgerekt voorland. Bij 11 van de 66 raaien leverde de PC-Ring berekening geen bruikbaar eindresultaat op. Als oplossing is gekozen:

- de voor 2009 of 2010 berekende faalkans (7x);
- de faalkans van een omliggende, vergelijkbare raai (2x);
- een inschatting van de faalkans op basis van het convergentieverloop van de faalkans, als in figuur A-5 uit bijlage A.5 (2x).

Het natuurreservaat 'de Kwade Hoek' in het noordwesten van Goeree (raaien 500 t/m 800) levert diverse afkeuringen op door discontinuïteiten in het voorland. In het zuidwesten is ook een langgerekt voorland aanwezig, de zogenaamde 'Aardappelenbult'. In combinatie met een grillig verloop van de duinen in dit traject (raaien 1500 t/m 1700) leverde dit diverse onbruikbare berekeningen op. Om verschillende redenen zijn de berekeningen niet opnieuw uitgevoerd met profielaanpassingen.

- Bij het vervangen van de faalkans door het resultaat voor een omringende vergelijkbare raai blijft nog steeds een relatief hoge resolutie over.
- Voor de 'probleemraaien' werd in 2009 of 2010 vaak wel een betrouwbaar resultaat berekend.
- De betrouwbare berekeningen leverden in alle gevallen lage faalkansen op. Er is op basis van duinvolumes en -hoogtes geen reden om een significant hogere faalkans te verwachten voor één van de 'probleemraaien'.

Tabel D-10 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

In de beginfase van VNK2 is onderzoek gedaan naar de overstromingsrisico's van Goeree. De resultaten zijn gerapporteerd in [Projectbureau VNK2 \(2009\)](#). Voor de duinen is de conclusie uit [Projectbureau VNK2 \(2009\)](#) dat de faalkansen laag zijn ( $<1.0 \cdot 10^{-6}$  per jaar) en geen bijdrage leveren aan de overstromingsrisico's voor Goeree. Ook dit komt overeen met de lage berekende faalkansen voor de duinen.

De derde toetsronde heeft geen afkeuringen opgeleverd voor de zeewering van Goeree. Dit is in overeenstemming met de lage berekende faalkansen.

## 5.2.3 Dijken

Voor het Flauwe Werk zijn binnen het project VNK2 faalkansen bepaald tussen  $2.0 \cdot 10^{-6}$  en  $4.0 \cdot 10^{-6}$  per jaar. Binnen het voorliggende onderzoek zijn faalkansen van de orde  $10^{-6}$  bere-

kend. De hoogste faalkans is berekend ter plaatse van raai 1225 met een waarde van  $9.37 \cdot 10^{-6}$ . De berekende faalkansen komen dus goed overeen met de waarden vanuit VNK2.

Om de invloed van het kritiek overslagdebiet en de invloed van golfreductie in kaart te brengen, zijn in tabel 5-1 resultaten van aanvullende berekeningen getoond. Tabel 5-1 laat zien dat het meenemen van golfreductie een sterke verlaging van de faalkansen oplevert.

$q_c$ [l/s/m]	Zonder golfreductie	Met golfreductie
1	$1.73 \cdot 10^{-2}$	$1.03 \cdot 10^{-4}$
10	$1.11 \cdot 10^{-3}$	$9.37 \cdot 10^{-6}$
50	$7.80 \cdot 10^{-5}$	$1.04 \cdot 10^{-6}$
100	$2.10 \cdot 10^{-5}$	$3.29 \cdot 10^{-7}$

Tabel 5-1 Resultaten voor de faalkansen (op jaarbasis) bij overloop/golfoverslag bij raai 1225 in kustvak 12 (Flauwe Werk) bij vier verschillende kritieke debieten, zowel in het geval dat golfreductie niet en wel is toegepast. Het blauwgedrukte getal wordt gehanteerd in de analyses.

## 5.2.4 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-10 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $2.8 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 36.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied, en de faalkansen van de zeedijk het Flauwe Werk bij een vast kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m.

## 5.2.5 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde zijn geen locaties afgekeurd langs de kust van Goeree. Uit het huidige onderzoek kwamen geen locaties naar voren met een aanzienlijke faalkans. In Ministerie van VROM (2004) is de zeedijk het Flauwe Werk nog aangewezen als prioritaire zwakke schakel langs de Nederlandse kust. Dit heeft geleid tot een versterkingsprogramma voor deze dijk. Eind 2008 zijn de werkzaamheden afgerond. De dijk is ongeveer 3 meter hoger en 30 meter breder geworden<sup>1</sup>. De zeedijk blijft nog wel het traject met de grootste bijdrage aan de overstromingskans van het gehele kustvak.

## 5.3 Schouwen

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 13, Schouwen. Schouwen is het Zeeuwse eiland, dat wordt omsloten door het Grevelingen aan de noordzijde, en de Oosterschelde aan de zuidzijde. De zeewering van Schouwen bestaat geheel uit duinen.

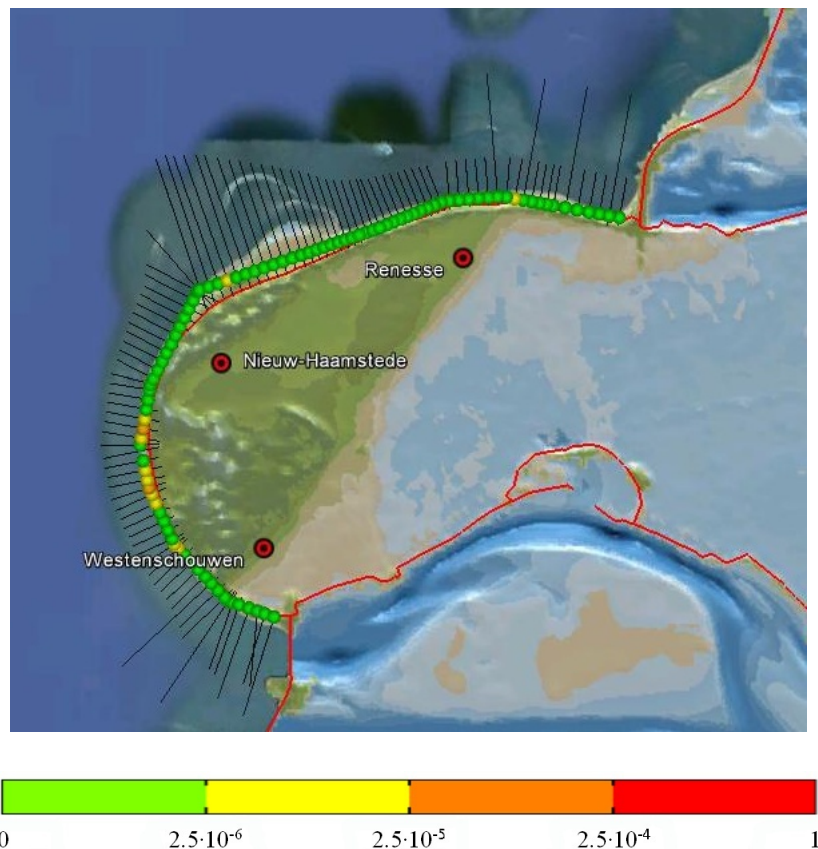
### 5.3.1 Gebiedskenmerken

De duinen van Schouwen zijn over het grootste deel van de kust zeer breed (tot ruim 3 km) en robuust (met hoogtes ruim boven 25 m+NAP). In dit duingebied is wel enige bebouwing aanwezig, en dan vooral in het dorp Nieuw-Haamstede. Aan de noordzijde van het eiland, tussen de Brouwersdam en Renesse, is het duingebied aanzienlijk smaller. Hetzelfde geldt voor het zuidelijk deel van de kust, tussen Westenschouwen en de Oosterscheldekering.

<sup>1</sup>[http://www.wshd.nl/dijkversterkingsprogramma/dijkversterkingen/flauwe\\_werk](http://www.wshd.nl/dijkversterkingsprogramma/dijkversterkingen/flauwe_werk)

### 5.3.2 Resultaten

Figuur 5-3 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Zeeuwse Delta is deze gelijk aan  $1/4.000$  per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 5-4 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.



Figuur 5-3 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

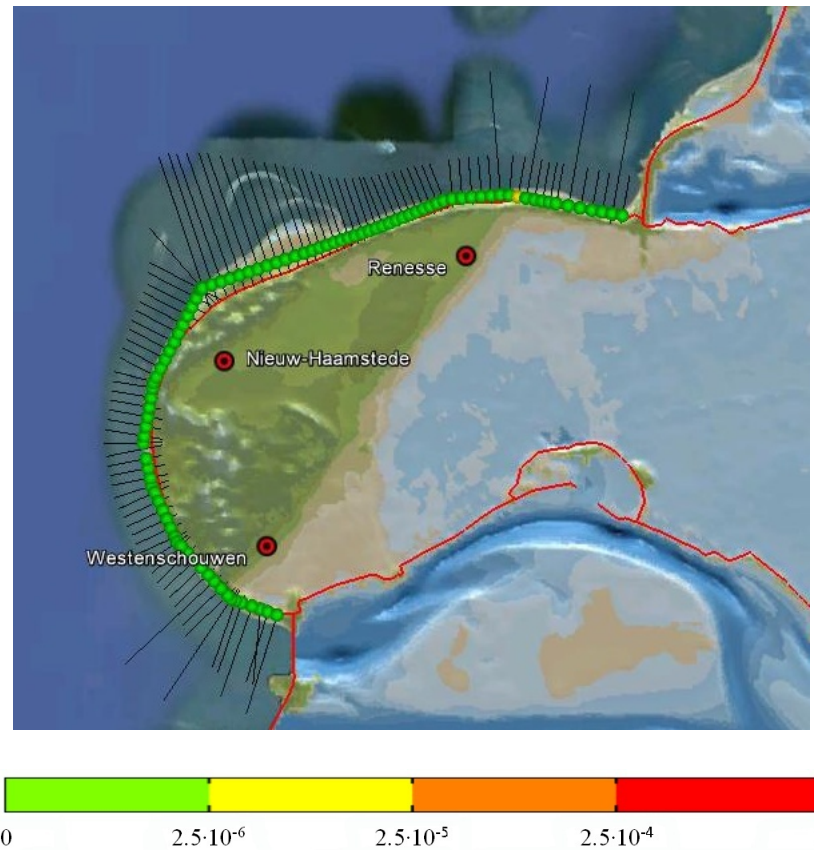
De nauwkeurigheid van de berekeningen voor Schouwen was veelal goed te noemen. Slechts in 3 van de 94 gevallen leverde een PC-Ring berekening geen bruikbaar eindresultaat. In die situaties is telkens de faalkans uit 2010 gebruikt.

Tabel D-11 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

Voor Schouwen zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar.

In de derde toetsronde is een kort traject in het noorden (rond raai 148) en een losse raai in het zuiden van Schouwen afgekeurd. In de huidige berekeningen zijn voor deze beide trajecten geen faalkansen berekend met aanzienlijke waarden. De oorzaak van dit verschil is niet bekend. De locatie van deze afkeuringen is indicatief aangegeven in tabel D-11 in bijlage D.





Figuur 5-4 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

### 5.3.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-11 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $4.4 \cdot 10^{-6}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingsstijd van 228.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied.

### 5.3.4 Hoogste faalkansen

Er zijn geen trajecten waarbij de rekenresultaten hoge faalkansen tonen. Dit is consistent met de geringe overstromingskans voor het gehele kustvak.

Nabij het afgekeurde traject in de derde toetsronde is het duinprofiel van raai 148 het minst robuust. Voor deze raai is een faalkans van (slechts)  $5.6 \cdot 10^{-7}$  per jaar berekend. Op basis van het volume boven duinvoetniveau van  $527 \text{ m}^3/\text{m}$  is de inschatting van de orde van grootte van de faalkans (als resultaat van de vergelijkingen in § 2.3.4)  $6 \cdot 10^{-6}$  per jaar. De door PC-Ring berekende faalkans is dus wat aan de lage kant ten opzichte van deze globale schatting, maar ook op basis van het duinvolume lijkt er geen reden te zijn om deze raai als onveilig aan te duiden. Mogelijk spelen sterke meerdimensionale effecten hier een nadrukkelijke rol. Hier wordt momenteel (juni 2012) binnen VNK2 uitgebreid onderzoek naar gedaan.

## 5.4 Noord-Beveland

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 15, Noord-Beveland. Noord-Beveland is een Zeeuws eiland dat wordt begrensd door de Oosterschelde aan de noordzijde en het Veerse Meer aan de zuidzijde. Voor 2011 was er geen JarKus-data beschikbaar voor dit kustvak. Daarom is de data uit 2010 als uitgangspunt gebruikt.

### 5.4.1 Gebiedskenmerken

De waterkering van Noord-Beveland ligt slechts over enkele kilometers langs de Noordzee. De korte zeewering van Noord-Beveland bestaat geheel uit duinen.

### 5.4.2 Resultaten

Figuur 5-7 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij voor de kustvakken 15 (Noord-Beveland) en 16 (Walcheren), zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Zeeuwse Delta is deze gelijk aan  $1/4.000$  per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 5-8 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.

Alle eindresultaten van PC-Ring waren bruikbaar, hoewel de berekening voor raai 240 een onnauwkeurig afslagprofiel vertoonde. Vergelijking van de faalkans met de eigenschappen van het profiel enerzijds en de faalkansen van omliggende raaien anderzijds bleek kwalitatief correct.

Tabel D-12 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009 en 2010 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ . De maximale faalkans (bij raai 200) bedraagt slechts  $8.6 \cdot 10^{-7}$  per jaar.

Voor Noord-Beveland zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar.

De derde toetsronde heeft geen afkeuringen opgeleverd voor de zeewering van Noord-Beveland. Dit is in overeenstemming met de lage berekende faalkansen.

### 5.4.3 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-12 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $9.9 \cdot 10^{-7}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 1.010.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied.

### 5.4.4 Hoogste faalkansen

Er zijn geen relatief hoge faalkansen berekend voor de zeewering van Noord-Beveland.

## 5.5 Walcheren

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 16, Walcheren. Walcheren is een Zeeuws eiland dat wordt begrensd door het Veerse Meer en de Oosterschelde aan de noordzijde en de Westerschelde aan de zuidzijde.

### 5.5.1 Gebiedskenmerken

De zeewering van Walcheren bestaat uit duinen, een zeedijk bij Westkapelle en een boulevard bij Vlissingen. De duinen zijn breder ten noorden van Westkapelle dan ten zuiden van deze plaats. Bij Westkapelle bestaat de zeewering uit een zeedijk met een met gras bekleed binnentalud, zie figuur 5-5.



*Figuur 5-5 Panoramaweeergave van Westkapelle (bron: wikimedia.org)*

Vlissingen wordt beschermd tegen het zeewater door een boulevard, zie figuur 5-6. De boulevard is geheel met asfalt en steen bekleed, en de bebouwing maakt onderdeel uit van de zeewering. Omdat PC-Ring geen functionaliteit bevat om het falen van dergelijke boulevards te berekenen, is de boulevard van Vlissingen geheel buiten beschouwing gelaten.



*Figuur 5-6 De boulevard van Vlissingen (bron: nederland-in-beeld.nl)*

## 5.5.2 Resultaten

Figuur 5-7 in § 5.4.2 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij voor de kustvakken 15 (Noord-Beveland) en 16 (Walcheren), zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Zeeuwse Delta is deze gelijk aan  $1/4.000$  per jaar. Ook de resultaten voor de dijken zijn in deze figuren opgenomen. Een beschrijving van het totstandkomen van de berekende faalkansen voor de dijken is te vinden in § 5.5.3. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Figuur 5-8 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.



Figuur 5-7 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** en de zeedijken in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaiën (in zwart)



Figuur 5-8 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** en de zeedijken in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

De faalkansberekeningen voor de duinen van Walcheren leverden voor 4 van de 127 duinraaien geen deugdelijke faalkans op. Bij drie raaien leverde 2010 een goed alternatief, en bij één raai is het convergentieverloop van de faalkans gebruikt, als in figuur A-5 uit bijlage A.5.

Tabel D-13 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

De derde toetsronde heeft twee afkeuringen opgeleverd voor de zeekering van Walcheren. De eerste afkeuring betrof de duinen direct ten zuiden van Westkapelle. Deze wordt besproken in § 5.5.5 De andere locatie ligt langs de boulevard van Vlissingen. Deze is buiten beschouwing gebleven in het voorliggende onderzoek. De locatie van deze afkeuringen is indicatief aangegeven in tabel D-13 in bijlage D. Voor Walcheren zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar.

### 5.5.3 Dijken

Voor de zeedijk bij Westkappelle (raaien 1814 t/m 2185) zijn faalkansen berekend die aanzienlijk kleiner zijn dan  $10^{-6}$ . Zelfs bij de meest conservatieve situatie, waarbij een kritiek debiet van 1 l/s/m wordt gehanteerd en golfreductie buiten beschouwing wordt gelaten, wordt een faalkans van de orde  $10^{-5}$  berekend.

Voor de raaien 3400 t/m 3750 zijn geen faalkansen berekend voor de waterkering, aangezien voor het type waterkering over deze strekking geen geschikte faalmodule in PC-Ring voorhanden is. Een nadrukkelijk onderdeel van deze strekking is de boulevard van Vlissingen (figuur 5-6).

### 5.5.4 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-13 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $1.9 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingsstijd van 54.000 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied, en de faalkansen van de zeedijk bij Westkappelle bij een vast kritiek overslagdebet van 10 l/s/m.

### 5.5.5 Hoogste faalkansen

In de derde toetsronde is de zeewering afgekeurd bij enkele raaien direct ten zuiden van Westkappelle. De berekende faalkansen zijn echter laag (orde  $10^{-7}$  per jaar). De zwakste plek in dit traject lijkt raai 2195 te zijn. Op basis van het duinvolume ( $373 \text{ m}^3/\text{m}$ ) en de duinhoogte (9 m+NAP) lijkt de berekende faalkans voor deze raai wel wat te laag te zijn. Mogelijk wordt de golfaanval op de duinen onderschat in PC-Ring vanwege de zeer steile vooroever. Enige voorzichtigheid is hier dus gepast.

De rekenresultaten vertonen nergens een echt zwakke plek. De zeedijk van Westkappelle is robuust, en de berekende faalkansen van de duinen zijn maximaal in de orde van  $10^{-6}$  per jaar. Deze zeedijk werd in Ministerie van VROM (2004) nog als prioritaire zwakke schakel langs de Nederlandse kust aangewezen. De combinatie van een versterkingsprogramma, dat in 2010 is afgerond<sup>2</sup>, en voortschrijdend inzicht over de sterkte van grasbekledingen, heeft ertoe geleid dat de zeedijk nu ruim voldoet aan de veiligheidsnormen.

Direct ten noorden van Vlissingen is half 2010 een versterkingsprogramma afgerond voor de duinen bij Nolle-Westduin. Dit gaat ruwweg om de raaien 3150 tot en met 3400. De duinen bij Nolle-Westduin zijn tussen de veertig en tachtig meter breder gemaakt. De Nolledijk kreeg daarnaast een nieuwe bekleding van asphalt aan de binnenkant zodat de dijk overslagbestendig werd. Het asphalt is afgedekt met een laag zand zodat er sprake is van een dijk-in-duinconstructie. De faalkansberekeningen van 2009 gaven dan ook nog faalkansen in de orde van  $10^{-5}$  per jaar voor dit traject. Voor 2010 en 2011 zijn de faalkansen gereduceerd tot de orde van  $10^{-6}$  en  $10^{-7}$  per jaar. Omdat uitgegaan is van een volledig zandig profiel, zijn de berekende faalkansen te zien als een bovengrens (Jongejan (2010a)).

<sup>2</sup><http://www.kustversterking.nl/projecten/westkappelle>

## 5.6 Zeeuws-Vlaanderen

Deze paragraaf presenteert de resultaten voor kustvak 17, Zeeuws-Vlaanderen. Zeeuws-Vlaanderen ligt in het zuiden van Nederland, tussen de Westerschelde en de Belgische grens.

### 5.6.1 Gebiedskenmerken

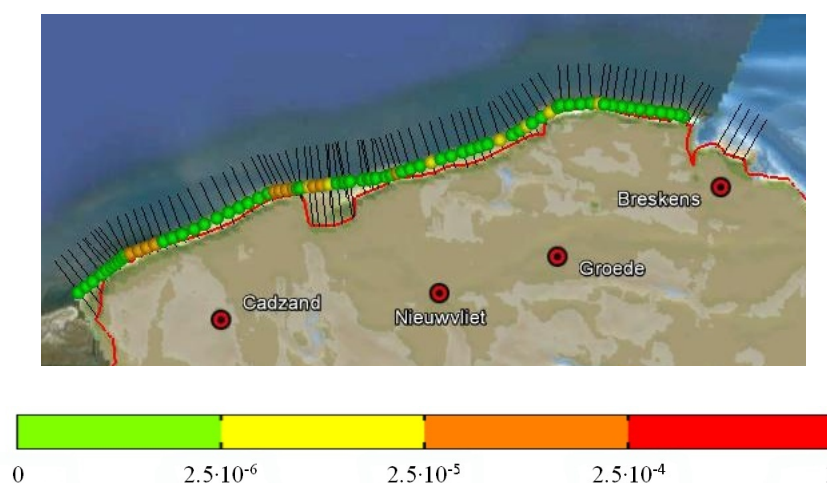
De zeewering van Zeeuws-Vlaanderen bestaat uit een afwisseling van dijken en duinen. De volgende raai-indeling is gehanteerd:

- een dijk bij Breskens, raai 146 t/m 188,
- duinen bij Breskens, raai 208 t/m 251,
- een dijk bij Breskens, raai 271 t/m 441,
- een kort traject met duinen nabij park Molecaten, rond raai 461,
- een dijk ter hoogte van Groede en Nieuwvliet, raai 483 t/m 802,
- duinen bij Nieuwvliet, raai 822 t/m 877,
- een dijk rond de 'Verdronken Zwarte Polder', tussen Nieuwvliet en Cadzand, raai 886 t/m 1032,
- duinen ter hoogte van Cadzand, raai 1046 t/m 1282,
- een dijk bij Cadzand-Bad, raai 1300 t/m 1335,
- duinen tussen Cadzand-Bad en het Zwin, raai 1354 t/m 1487.

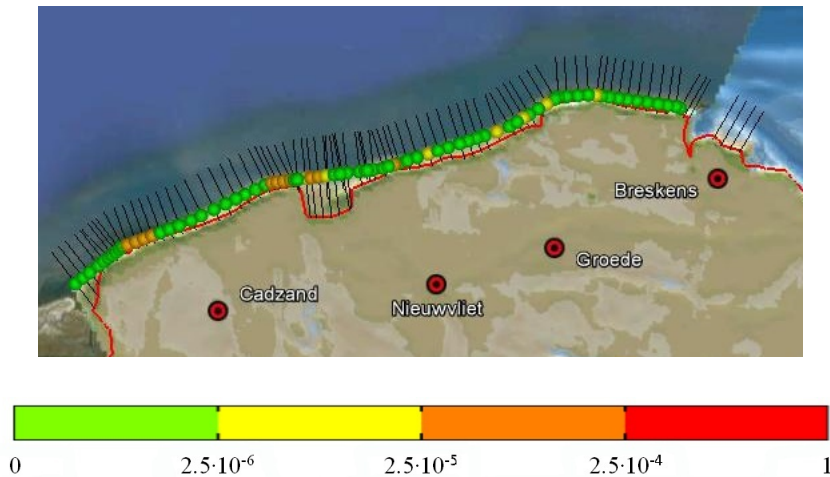
Deze nummering zal in het vervolg van deze paragraaf terugkomen.

### 5.6.2 Resultaten

Figuur 5-9 toont de faalkansen voor de eerste duinenrij, zoals die door PC-Ring zijn berekend. In de kleurschaalverdeling is de norm voor de hydraulische belasting verwerkt. Voor de Zeeuwse Delta is deze gelijk aan 1/4.000 per jaar. In deze figuur zijn ook het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de dijkkring (rode lijn) opgenomen. Ook de resultaten voor de dijken zijn in deze figuren opgenomen. Een beschrijving van het totstandkomen van de berekende faalkansen voor de dijken is te vinden in § 5.6.3. Figuur 5-10 toont dezelfde figuur, maar dan voor de faalkansen van het complete duingebied. Deze faalkansen ontstaan na correctie van de resultaten voor de eerste duinenrij met de methode volgens § 2.3.4.



Figuur 5-9 Faalkansen per raai en per jaar van **de eerste duinenrij** en de zeedijken in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)



Figuur 5-10 Faalkansen per raai en per jaar van **het hele duingebied** en de zeedijken in het jaar 2011, inclusief een weergave van het AHN, de dijkkringlijn (in rood) en de JarKus-raaien (in zwart)

Tabel D-14 in bijlage D toont een overzicht van alle rekenresultaten. De resultaten van PC-Ring voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) van 2009, 2010 en 2011 komen sterk overeen. Na correctie van de faalkansen voor het volume van het totale duingebied ontstaat  $P_{f2}$ .

Voor Zeeuws-Vlaanderen zijn nog geen resultaten binnen VNK2 beschikbaar.

De derde toetsronde heeft enkele afkeuringen opgeleverd voor de zeekering van Zeeuws-Vlaanderen. Deze worden besproken in § 5.6.5. De locatie van deze afkeuringen is indicatief aangegeven in tabel D-14 in bijlage D.

### 5.6.3 Dijken

Langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen is het type waterkering moeilijk te kwalificeren als een strikte dijk of als een strikte duin. Vaak is er sprake van een soort hybride constructie. Toch zijn bepaalde vakken als dijk doorgerekend (zie § 5.6.1). Voor de dijken die zijn beschouwd is voor het grootste gedeelte een faalkans lager dan  $10^{-5}$  berekend. De aanwezigheid van een zandig voorland is meegenomen door het toepassen van een golfreductie.

Voor de raaien 936 t/m 951, de raaien 1007 t/m 1032 en de raaien 1300 t/m 1335 worden relatief hoge faalkansen berekend, met waarden tussen de  $10^{-4}$  en  $10^{-3}$ .

### 5.6.4 Overstromingskans kustvak

Met behulp van de methode als beschreven in § 2.5.3 zijn de faalkansen uit tabel D-14 in bijlage D gecombineerd tot een overstromingskans voor het gehele kustvak. Zowel de boven- als de ondergrens van de overstromingskans bedraagt volgens Ditlevsen  $2.0 \cdot 10^{-3}$  per jaar. Dit komt overeen met een herhalingstijd van 500 jaar. Deze waarden zijn gebaseerd op de faalkansen van het gehele duingebied, en de faalkansen van de verschillende zeedijken bij een vast kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m.

### 5.6.5 Hoogste faalkansen

Over drie strekkingen zijn vakken als onvoldoende uit de derde toetsronde gekomen. Het betreft hier het gebied van raai 58 tot en met 171, het gebied van raai 1007 tot en met 1032 en het gebied van raai 1300 tot en met 1354. Voor het eerste twee gebieden resulteren de berekenin-



gen niet in hoge faalkansen, voor het derde gebied wel. Voor raai 1300 tot en met 1354 worden faalkansen tussen  $10^{-4}$  en  $10^{-3}$  berekend. Mogelijk is het hybride karakter van de kering een verklaring voor de mismatch.

Voor raaien 1007 tot en met 1032 worden relatief hoge faalkansen berekend (orde  $10^{-4}$ ), terwijl deze strekking als goedgekeurd door de derde toetsronde is gekomen. Ook hier speelt mogelijk het hybride karakter van de kering een rol.

## 5.7 Overzicht overstromingskansen per kustvak

Voor de Zeeuwse delta zijn de volgende overstromingskansen per kustvak (op jaarbasis) en bijbehorende herhalingstijden (in jaren) berekend:

Kustvak nummer	Kustvak naam	Overstromingska	Herhalingstijd
11	Voorne	$1.2 \cdot 10^{-6}$	854.000
12	Goeree	$2.8 \cdot 10^{-5}$	36.000
13	Schouwen	$4.4 \cdot 10^{-6}$	228.000
15	Noord-Beveland	$9.9 \cdot 10^{-7}$	1.010.000
16	Walcheren	$1.9 \cdot 10^{-5}$	54.000
17	Zeeuws-Vlaanderen	$2.0 \cdot 10^{-3}$	500

Tabel 5-2 Overstromingskans en bijbehorende herhalingstijd voor elk kustvak in de Zeeuwse delta.

Een lijst met faalkansen, naar individuele raai, is gegeven in bijlage D.



## 6 Synthese

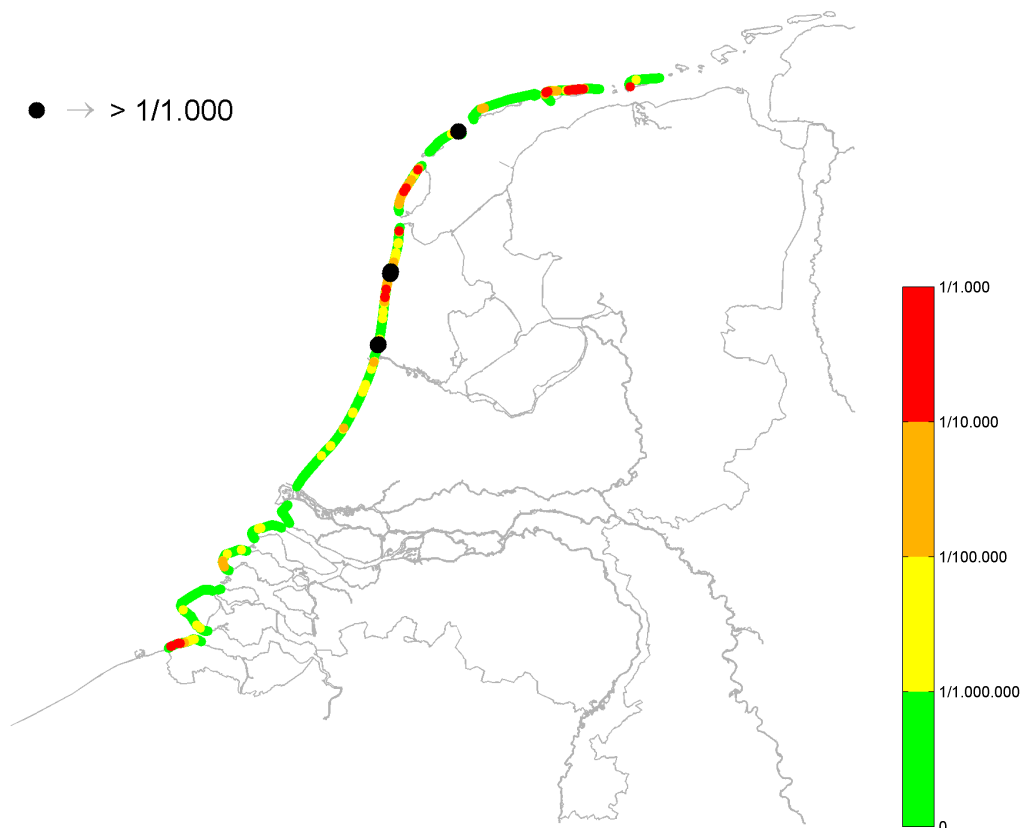
Het voorliggende rapport geeft een overzicht van de resultaten die zijn geboekt inzake overstromingskansen voor de Nederlandse kust. Het onderzoek is een spin-off van het project Toestand van de Kust, hanteert de methode van Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) en sluit aan bij het project WaterVeiligheid 21e eeuw (WV21).

De voornaamste doelstelling van dit project was het geven van een overzicht van de faalkans van de waterkering bij elke JarKus-raai langs de gehele Nederlandse kust voor de meest recente set met JarKus-data (2011). Hiermee is als het ware een foto met hoge resolutie beschikbaar gekomen, die de actuele veiligheidssituatie toont. De faalkansen per JarKus-raai zijn vervolgens gecombineerd en geclusterd tot een overstromingskans per kustvak volgens de WV21-indeling.

Binnen het onderzoek zijn zowel duinen als dijken beschouwd, aangezien langs de kust beide typen waterkeringen aanwezig zijn. Voor duinen is het mechanisme duinafslag onderzocht, en voor dijken de mechanismen overloop en golfoverslag. Er is daarnaast voor meervoudige duinenrijen een methode ontwikkeld om op basis van expert judgment een schatting te geven voor de faalkans van het gehele duinmassief.

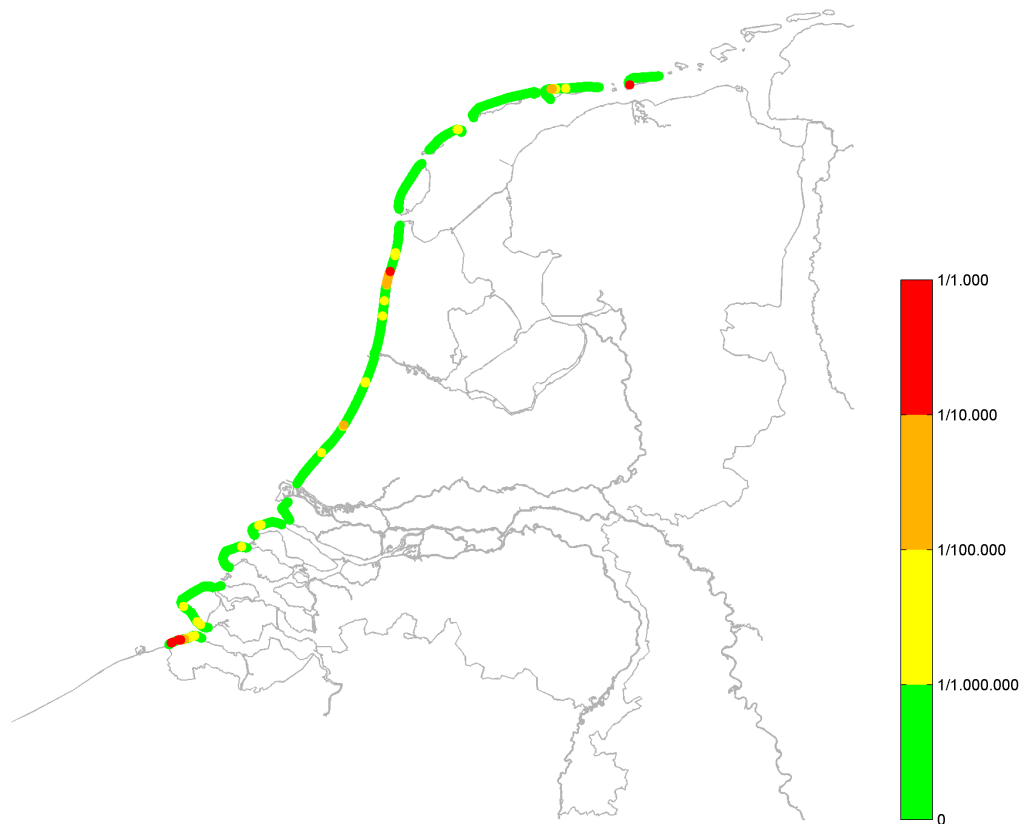
### 6.1 Faalkansen voor individuele JarKus-raaien

Voor nagenoeg elke JarKus-raai langs de kust is een faalkans berekend voor die individuele locatie. De faalkansen voor de *eerste duinenrij* zijn getoond in figuur 6-1.



Figuur 6-1 Faalkansen langs de gehele Nederlandse kust, voor zowel duinen (alleen de eerste duinenrij) als zeedijken, in de huidige situatie (2011). De faalkansen zijn gegeven op jaarbasis.

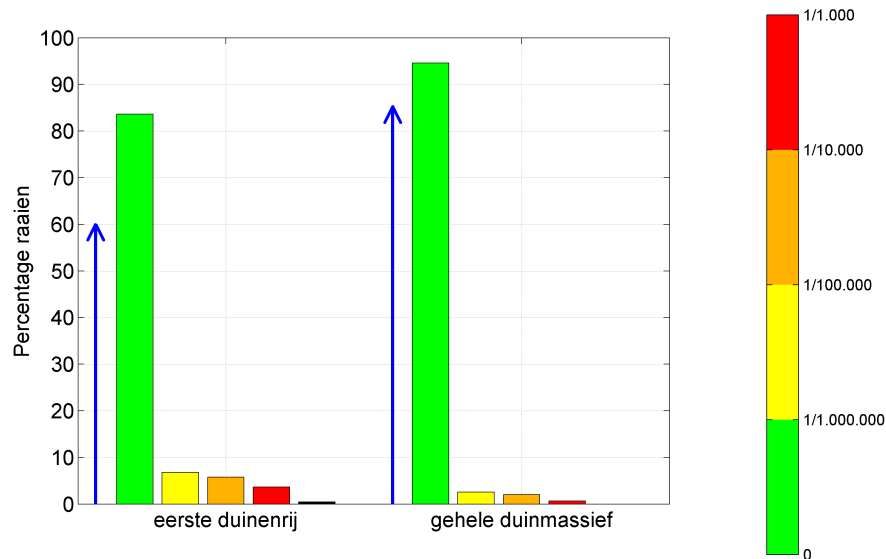
De faalkansen voor het *gehele duinmassief* zijn weergegeven in figuur 6-2. De faalkansen voor het gehele duinmassief (figuur 6-1) laten uiteraard een duidelijk veiliger beeld zien dan de faalkansen voor enkel de eerste duinenrij.



*Figuur 6-2 Faalkansen langs de gehele Nederlandse kust, voor zowel duinen (het gehele duinmassief) als zeedijken, in de huidige situatie (2011). De faalkansen zijn gegeven op jaarbasis.*

De hoogste overstromingskansen per JarKus-raai zijn berekend langs de Hondsbossche en Pette-mer zeewering in Noord-Holland en verschillende harde zeeweringen in Zeeuws-Vlaanderen. Op beide locaties ligt direct naast de dijken ook een duinvak met een relatief hoge faalkans (rekening houdend met het gehele duinmassief). Verder is bij de westelijke eilandkop van Schiermonnikoog een faalkans van ongeveer 1/10.000 per jaar berekend (weergegeven in rood). JarKus-raaien met faalkansen tussen 1/10.000 en 1/100.000 per jaar (weergegeven in oranje) zijn verder te vinden op Ameland (3 raaien) en bij Katwijk.

Figuur 6-3 toont eveneens het verschil tussen de eerste duinenrij en het gehele duinmassief. In deze figuur zijn percentages weergegeven van het aantal JarKus-raaien, waarbij een verdeling van faalkansen in verschillende klassen is toegepast. De kleuren uit figuur 6-3 corresponderen direct met de kleuren zoals gebruikt in figuren 6-1 en 6-2. De kleur groen komt dus overeen met kansen kleiner dan eens per miljoen jaar. Figuur 6-3 laat zien dat 95% van de JarKus-raaien een faalkans kleiner dan eens per miljoen jaar heeft. Nadere studie van de resultaten heeft laten zien dat circa 85% van de JarKus-raaien een faalkans heeft die kleiner is dan eens per 100 miljoen jaar (weergegeven met de blauwe pijlen in de figuur). Aangezien een dergelijke faalkans als verwaarloosbaar mag worden beschouwd, is dus een overgrote meerderheid van de JarKus-raaien als 'zeer veilig' te kwalificeren.



*Figuur 6-3 Verdeling van het aantal JarKus-raaien naar berekende faalkans, weergegeven in percentages. De kleuren corresponderen met de kleuren uit figuren 6-1 en 6-2. De blauwe pijlen geven het percentage raaien aan met een faalkans kleiner dan  $10^{-8}$ , wat als verwaarloosbaar klein is te beschouwen.*

De resultaten leiden tot de volgende conclusies:

1. De voor 2011 berekende faalkansen langs de Noordzeekust zijn in het algemeen laag tot zeer laag. Ongeveer 95% van de JarKus-raaien heeft een faalkans kleiner dan eens per miljoen jaar, en ongeveer 85% van de zeewering heeft een verwaarloosbare faalkans ( $<10^{-8}$ ). Minder dan 1% van de waterkeringen heeft een faalkans tussen 1/10.000 per jaar en 1/1.000 per jaar. Deze trajecten zijn veelal opgenomen in de lopende of geplande verbeterprogramma's.
2. In Nederland zijn de dijken over het algemeen zwakker dan de duinen. De berekende faalkansen voor dijken zijn sterk afhankelijk van het gehanteerde kritieke overslagdebiet. De faalkans neemt vooral sterk af bij een toenemend kritiek overslagdebiet tussen 0.1 en 10 l/s/m. De waarde van 10 l/s/m is in deze studie als uitgangspunt gehanteerd.
3. De WV21-rapporten gaan ervan uit dat de zandige zeeweringen een kleine bijdrage leveren aan het overstromingsrisico vergeleken met de harde keringen. De kansen op falen van de zachte weringen zijn ook in dit onderzoek aanzienlijk kleiner gebleken dan van de harde keringen. De aanname van de WV21-rapporten is dus juist, mits de gevolgen van het falen van dijken en duinen vergelijkbaar van omvang zijn (omdat risico = kans  $\times$  gevolg).
4. Het beeld ten aanzien van zwakke plekken langs de kust komt grotendeels overeen met de huidige, veronderstelde inzichten.

## 6.2 Overstromingskansen per kustvak

Alle faalkansen per raai zijn vervolgens gecombineerd tot overstromingskansen per kustvak. De resultaten voor de overstromingskansen en bijbehorende herhalingstijden *per kustvak* zijn gegeven in respectievelijk tabel 6-1 en tabel 6-2. De waarden in de tabellen zijn gebaseerd op het gehele duinmassief.

Kustvak nummer	Kustvak	Duinen	Duinen + dijken		
			(1 l/s/m)	(10 l/s/m)	(100 l/s/m)
2	Schiermonnikoog	$2.1 \cdot 10^{-4}$			
3	Ameland	$7.9 \cdot 10^{-5}$			
4	Terschelling	$4.4 \cdot 10^{-10}$			
5	Vlieland	$1.2 \cdot 10^{-5}$			
6	Texel	$2.1 \cdot 10^{-8}$			
7	Noord-Holland	$2.8 \cdot 10^{-4}$	$5.4 \cdot 10^{-3}$	$7.2 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$
8	Rijnland	$3.0 \cdot 10^{-5}$			
9	Delfland	$6.7 \cdot 10^{-6}$			
11	Voorne	$1.2 \cdot 10^{-6}$			
12	Goeree	$3.1 \cdot 10^{-7}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$2.8 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
13	Schouwen	$4.4 \cdot 10^{-6}$			
15	Noord-Beveland	$9.9 \cdot 10^{-7}$			
16	Walcheren	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$
17	Zeeuws-Vlaanderen	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$4.9 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$

Tabel 6-1 Overstromingskansen per jaar per kustvak langs de Nederlandse kust bij combineren van alleen duinen of combineren van zowel duinen als dijken met een bepaald kritiek overslagdebiet.

Kustvak nummer	Kustvak	Duinen	Duinen + dijken		
			(1 l/s/m)	(10 l/s/m)	(100 l/s/m)
2	Schiermonnikoog	4.700			
3	Ameland	13.000			
4	Terschelling	2.290.000.000			
5	Vlieland	81.100			
6	Texel	46.700.000			
7	Noord-Holland	3.600	200	1.400	3.400
8	Rijnland	33.000			
9	Delfland	150.000			
11	Voorne	854.000			
12	Goeree	3.180.000	3.400	36.000	763.000
13	Schouwen	228.000			
15	Noord-Beveland	1.010.000			
16	Walcheren	54.000	48.000	54.000	54.000
17	Zeeuws-Vlaanderen	8.800	21	500	7.200

Tabel 6-2 Herhalingstijd in jaren per kustvak langs de Nederlandse kust bij combineren van alleen duinen of combineren van zowel duinen als dijken met een bepaald kritiek overslagdebiet.

In de derde kolom van deze tabellen is het resultaat per dijkkring opgenomen wanneer alleen duinen worden beschouwd. In de laatste drie kolommen zijn ook de faalkansen van dijken bij de berekende overstromingskans betrokken. Vanwege de sterke invloed van het kritieke overslagdebiet op de berekende faalkans van dijken, zijn hier de getallen voor een kritiek overslagdebiet van 1, 10 en 100 l/s/m gepresenteerd. 10 l/s/m is als uitgangspunt gehanteerd, ingegeven door de resultaten vanuit project VNK.<sup>1</sup> De vijfde kolom uit de tabellen (met 10 l/s/m) is relevant voor de vergelijking met tabellen 3-1, 4-2 en 5-2.

---

*Een voorbeeld. De overstromingskans voor Noord-Holland bedraagt  $2.8 \cdot 10^{-4}$  per jaar, wanneer alleen de bijdrage van de duinen wordt beschouwd. De bijbehorende herhalingsstijd is gelijk aan 3600 jaar. Wanneer ook dijken worden meegenomen, komt (uitgaand van een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m) de overstromingskans op  $7.2 \cdot 10^{-4}$  per jaar. De bijbehorende herhalingsstijd is gelijk aan 1400 jaar.*

---

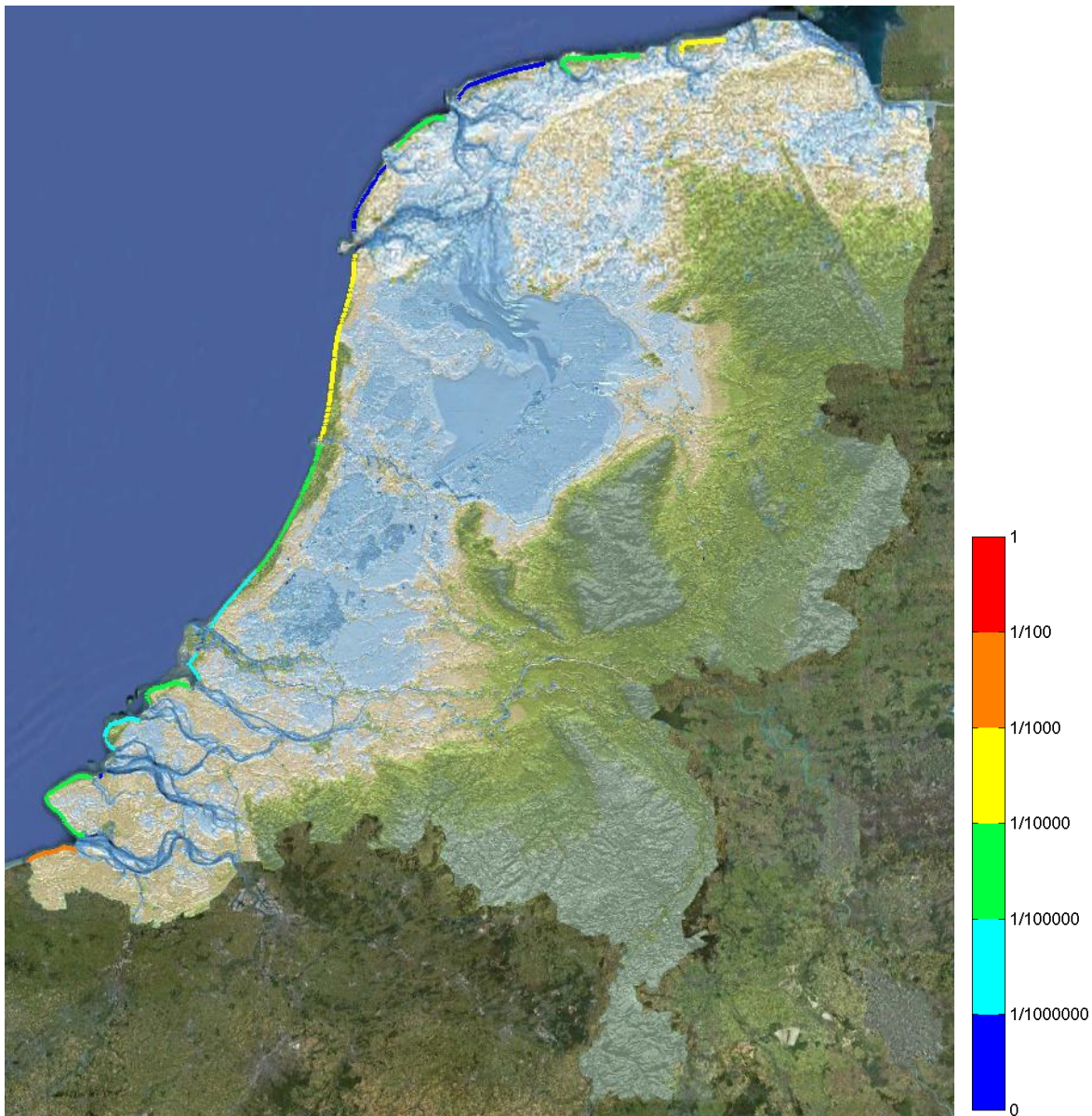
De bijdrage van dijken aan de totale overstromingskans van het ringdeel kan uitgedrukt worden als een percentage. Uit de resultaten blijkt dat de faalkansbijdrage van dijken voor Noord-Holland gelijk is aan 65%, voor Goeree 99%, voor Walcheren 1% en voor Zeeuws-Vlaanderen 95%. De dijken blijken over het algemeen dus zwakker te zijn dan de duinen, behalve voor Walcheren.

De herhalingsstijd van overstroming per kustvak zijn tevens gevisualiseerd in figuur 6-4. Deze figuur zou naast een bepaalde beleidsoptie met gewenste overstromingskansen gelegd kunnen worden. Met deze vergelijking zou kan een inschatting gemaakt kunnen worden van de mogelijk aanwezige veiligheidsopgave op basis van die beleidsoptie.

Het resultaat voor de opschaling naar WV21-ringdelen is getoond in het staafdiagram van figuur 6-5. In deze figuur worden, ter illustratie, de overstromingskansen vergeleken met de situatie waarbij de waterkeringen precies aan de huidige wettelijke norm voldoen (de zgn. 'tweede referentiesituatie', de situatie na uitvoering van de huidige en in 2015/2020 geplande verbeterprojecten). Indien deze beleidsoptie gekozen zou worden, zou dat dus betekenen dat er een veiligheidsopgave ligt voor Noord-Holland en Zeeuws-Vlaanderen. Hoewel de kustvakken niet volledig overeenkomen met de WV21 ringdelen, leiden de resultaten wel tot meer inzicht in de actuele veiligheidsituatie van de Noordzeekust. Daarmee geeft het onderzoek ook meer inzicht in een eventuele veiligheidsopgave met het oog op maatschappelijk aanvaardbare overstromingskansen in 2050 (welke binnen de WV21-studies zullen worden vastgesteld).

---

<sup>1</sup>Zie het memorandum 'Berekende overslagdebieten in VNK2' van 27 juni 2011.



Figuur 6-4 Overstromingskansen op jaarbasis voor elk kustvak langs de Nederlandse, zandige kust.

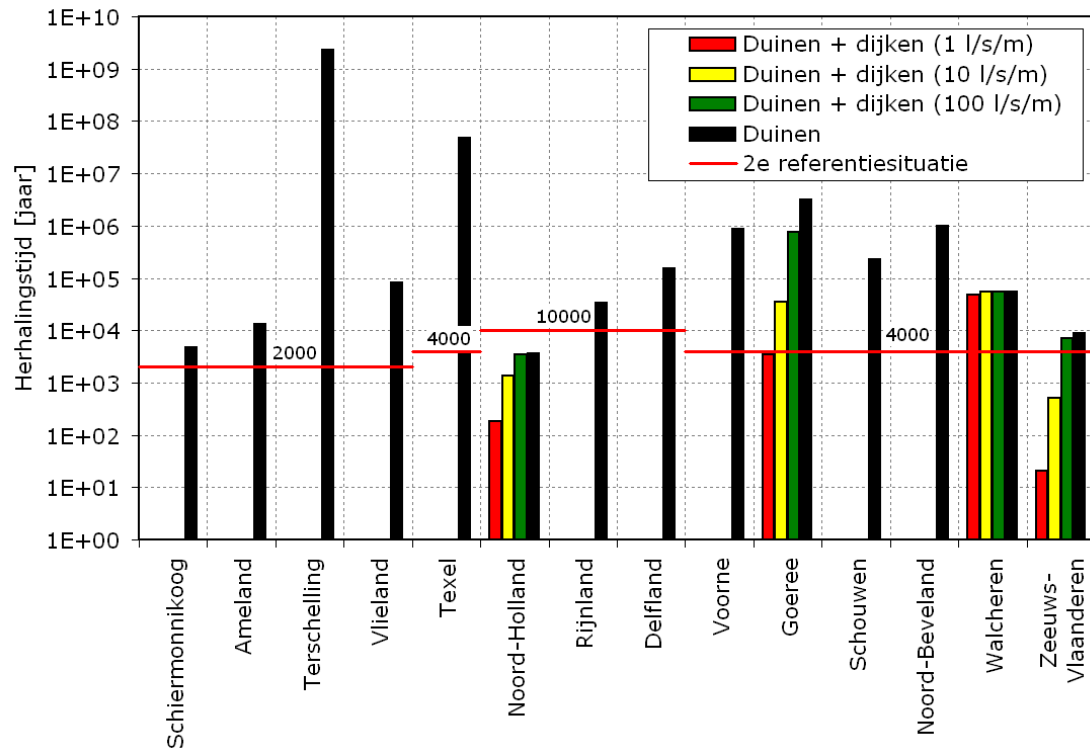
De voor 2011 berekende overstromingskansen voor de Noordzeekust zijn veelal laag tot zeer laag in vergelijking tot de geschatte overstromingskansen, wanneer alle waterkering precies aan de huidige wettelijk norm voldoen:

- De overstromingskansen van Schiermonnikoog, Ameland, Zuid-Holland, Goeree en Walcheren is 2.5 tot 10× lager dan de schatting.
- De overstromingskansen van Vlieland en Schouwen is ongeveer 100× lager dan de schatting.
- De overstromingskansen van Terschelling, Texel, Voorne en Noord-Beveland is (veel) meer dan 100× lager dan de schatting.

Alleen Noord-Holland en Zeeuws-Vlaanderen vormen hierop een uitzondering. Hier wordt de kust echter de komende jaren versterkt, waardoor de overstromingskansen naar verwachting zal afnemen.

De voorliggende studie heeft op een fijnmazig niveau de veiligheid van de Nederlandse kust in





*Figuur 6-5* Vergelijking voor elk kustvak van de berekende **herhalingstijd** van overstroming (in jaren) met in rood de situatie waarbij de waterkeringen precies aan de huidige wettelijke norm voldoen (de zogenaamde 'tweede referentiesituatie', de situatie na uitvoering van de huidige verbeterprojecten en verbeterprogramma's, in 2015/2020), vanuit de WV21-studies. Grotere herhalingstijden duiden op een grotere mate van veiligheid tegen overstromingen. De beschouwde kustvakken wijken enigszins af van de indeling volgens WV21, zie § 2.5.

kaart gebracht. Dit wil echter niet zeggen dat nu alles omtrent de kust op een fijnmazig niveau bekend is. Daarvoor is de huidige kennis te beperkt, en was de studie te beperkt van omvang. De volgende kanttekeningen zijn daarom van belang bij het interpreteren van de resultaten:

- De resultaten zijn geldig voor de *huidige situatie* (2011). De resultaten tonen als het ware een foto met een hoge resolutie, die de veiligheid van de kust op dat moment representeert. Omdat de kust onder invloed staat van verschillende natuurlijke processen en menselijke invloeden, kan de situatie na verloop van jaren op bepaalde (dynamische) plekken significant zijn gewijzigd.
- De berekening van de sterkte van *dijken en duinen* verschilt fundamenteel. Noodzakelijkerwijs is daarom ook de definitie van falen en het meenemen van eventuele reststerkte verschillend. Het vergelijken van de berekende faalkansen voor dijken en duinen dient daarom ook met de nodige voorzichtigheid te gebeuren.
- Het duinafslagmodel DUROS+ is toegepast voor *alle duinen* langs de Nederlandse kust. DUROS+ is ontwikkeld op basis van een niet gekromde zandige kust, en met name gevalideerd voor duinen met een geometrie als aanwezig langs de Hollandse kust. De nauwkeurigheid van de resultaten is dan ook beperkt bij locaties met een gekromde kustlijn, significante stroomsnelheden, zandbanken voor de kust of een grillige profielvorm.
- De methode voor het corrigeren van de faalkansen vanwege meervoudige duinenrijen houdt geen rekening met eventuele *tweedimensionale effecten* als achterloopsheid van de eerste duinenrij. De methode is daarom niet toegepast op locaties waar na bezwijken van de eerste

duinenrij duidelijk meerdimensionale effecten een rol gaan spelen. Aangeven of zulke effecten een rol spelen is echter niet altijd zonder detailanalyse mogelijk. Op bepaalde locaties heeft de correctie daarom mogelijk tot een te lage faalkans geleid.

- De aanwezigheid van *stabiele constructies* als boulevards en kades in de duinen is genegeerd. Aangenomen is dat deze werkwijze leidt tot een conservatieve schatting van de faalkans. Er is echter onvoldoende kennis beschikbaar om deze aanname wetenschappelijk te onderbouwen.
- Bij de Waddeneilanden is op verschillende plaatsen sprake van golfreductie door relatief ver uit de kust liggende zandbanken. Deze reductie is niet meegenomen de berekeningen.

### 6.3 Aanbevelingen

Afhankelijk van de locatie, kan een meer geavanceerde methodiek meer licht werpen op de toestand van de kust ter plekke. Het aanreiken van algemene aanbevelingen tot nader onderzoek voor specifieke locaties kan, gezien de scope van dit onderzoek, niet gedaan worden op basis van dit onderzoek. Wèl wordt aanbevolen om locaties met een relatief hoge, berekende faalkans aan een nader onderzoek te onderwerpen, indien er gerede twijfel is aan de toepasbaarheid van de methodiek. Hetzelfde geldt voor locaties die in de derde toetsronde afgekeurd zijn, en waarvoor binnen dit onderzoek voldoende lage faalkansen zijn berekend.

In de toekomst zal de focus naar verwachting verschuiven van overschrijdingskansen van belastingen naar overstromingsrisico's voor het achterland. Dit onderzoek geeft invulling aan de kansbijdrage van de risico's. We bevelen aan om de bevindingen te combineren met een studie naar de **gevolgen** van een overstroming. Op basis van de gevolgen en maatschappelijk aanvaardbare overstromingsrisico's kan dan een wenselijke overstromingskans per kustvak worden bepaald. Vergelijking van actuele en wenselijke kansen leidt tot (prioritering binnen) een versterkingsprogramma voor de kust. Deze benadering van de veiligheid van de kust is fundamenteel anders dan de op dit moment gangbare benadering.

Programma's als PC-Ring kunnen als **ontwerpinstrument** ingezet worden, zodat op interactieve wijze kan worden onderzocht met welke maatregelen de overstromingskansen voldoende gereduceerd kunnen worden. Zowel het effect van harde als van zachte maatregelen (suppleties) kan worden meegenomen. Daarnaast kunnen ook zachte maatregelen de veiligheid van harde constructies vergroten door reductie van de golfbelasting. We bevelen aan om pilotstudies te definiëren, om het effect van diverse typen maatregelen op de overstromingsrisico's inzichtelijk te maken.

Binnen het recente onderzoek als beschreven in [HKV LIJN IN WATER \(2012\)](#) is gekwantificeerd hoe de veiligheid van de kust wordt beïnvloed door zowel strandsuppleties en vooroeversuppleties. Ook de natuurlijke invloeden op de veiligheid en vertraagde effecten van vooroeversuppleties zijn beschouwd. In het voorliggende onderzoek is een overzicht berekend van de overstromingskansen van de gehele Nederlandse kust. Daarmee geeft het onderzoek handvatten bij het bepalen van welke locaties prioriteit hebben binnen het suppletieprogramma. Met behulp van [HKV LIJN IN WATER \(2012\)](#) kan vervolgens beter gekwantificeerd worden welk suppletievolume en welk suppletie-type geschikt zijn om de gewenste verhoging van de veiligheid te bewerkstelligen. Op deze manier vullen beide onderzoeken elkaar aan.

## **Bijlage(n)**



# A Uitgewerkt voorbeeld duinberekening

Ter illustratie van de werkwijze geeft deze bijlage een volledig uitgewerkt voorbeeld voor raai 8005950, ofwel raai 5950 in kustvak 8, Rijnland.

## A.1 Karakteristieken

Figuur A-1 toont de locatie van de voorbeeldraai. De raai bevindt zich ongeveer drie kilometer ten zuiden van de haven van IJmuiden. In de figuur is ook het AHN opgenomen. Uit de hoogtegegevens van het AHN is af te leiden dat het duingebied nabij deze raai bijna vijf kilometer breed is. In de duinen direct achter de raai ligt geen noemenswaardige bebouwing. Twee kilometer zuidelijk van de raai ligt het dorp Bloemendaal aan Zee in de duinen.



Figuur A-1 De locatie van raai 5950 in kustvak 8, Rijnland, inclusief de JarKus-raaien (zwarte lijnen) en een weergave van het AHN.

De foto in figuur A-2 geeft een impressie van de duinen ter plaatse tijdens een storm.

## A.2 Dwarsprofiel

Figuur A-3 toont het dwarsprofiel voor deze raai. Het bovenste deel van de figuur toont de JarKus-metingen voor de jaren 2008 tot en met 2011. Horizontaal is de afstand ten opzichte van



Figuur A-2 De duinen bij Bloemendaal tijdens een storm (bron: <http://www.panoramio.com>).

het nulpunt van de raai, de Rijksstrandpaal, uitgezet. Uit de metingen blijkt dat de bodemligging niet noemenswaardig is veranderd in deze periode. Alleen op de vooroever is enige beweging van zandbanken zichtbaar.

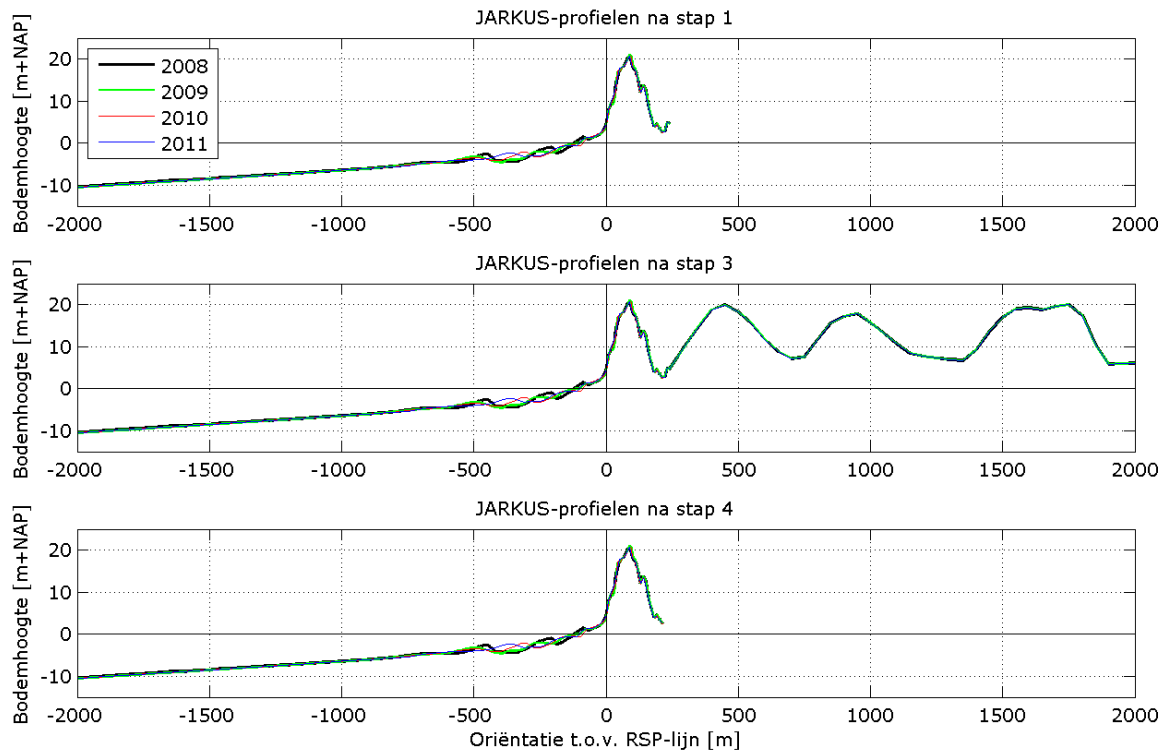
De JarKus-metingen stoppen achter de eerste duinenrij. Hierdoor geven ze geen informatie over de hoogteligging van het gebied landinwaarts van de eerste duin. Om die reden is een aanvulling met AHN-data uitgevoerd. Het resultaat is zichtbaar in het middelste deel van figuur A-3. In totaal zijn vier massieve duinenrijen zichtbaar, met een hoogte tot ongeveer 20 m+NAP.

Omdat DUROS+ niet met meervoudige duinenrijen om kan gaan, is het profiel vervolgens weer bijgesneden in het diepste punt in het dal landinwaarts van de eerste duinenrij. Het resultaat is weergegeven in het onderste deel van figuur A-3. Dit profiel wordt gebruikt in de PC-Ring berekening. In dit geval geeft de aanvulling met AHN alleen inzicht in het complete profiel, en is er geen effect op het profiel waarop de berekeningen worden gebaseerd. Er zijn echter ook raaien, waarbij de JarKus-metingen niet ver genoeg landwaarts lopen, om de complete eerste duinenrij in kaart te kunnen brengen. In een dergelijke situatie verbetert de aanvulling met AHN-data ook de berekening van de faalkans van de eerste duinenrij.

### A.3 Stochasten

Door interpolatie is de mediane korreldiameter  $D_{50}$  ter plaatse verkregen; deze bedraagt 262  $\mu m$ , met een standaardafwijking is 20  $\mu m$ . De modelfactor  $m_d$  (zie paragraaf §2.3.2) heeft 1 als gemiddelde en 0.25 als standaardafwijking. Overige stochasten hebben minder van invloed op de uitkomsten, zodat binnen dit rapport hieraan voorbij wordt gegaan.

Voor de hydraulische randvoorwaarden wordt de statistiek van HQ-station 3600240 gebruikt. Deze statistiek is gebaseerd op de Hydraulische Randvoorwaarden 2006, ofwel de TMR2006.



Figuur A-3 Het dwarsprofiel van raai 5950 in kustvak 8 (Rijnland) volgens de JarKus-metingen van 2008 tot en met 2011 (boven), na aanvullen met AHN-data (midden) en na verwijderen van dubbele duinenrijen (onder).

## A.4 Resultaten

PC-Ring berekent met FORM een faalkans van  $4.31 \cdot 10^{-8}$  per jaar voor 2011. Deze faalkans geldt voor de eerste duinenrij. Uit het middelste deel van figuur A-3 blijkt dat een correctie op zijn plaats is, wanneer gezocht wordt naar de faalkans van het complete duingebied ter plaatse van deze raai. Op basis van de methode zoals beschreven in § 2.3.4 wordt een inschatting gegeven voor de faalkans van het hele duingebied.

Het volume boven duinvoetniveau (3 m+NAP) van de eerste duinenrij ( $V_1$ ) bedraagt  $1967 \text{ m}^3/\text{m}$ . Het volume boven duinvoetniveau van het complete duingebied ( $V_2$ ) is  $22128 \text{ m}^3/\text{m}$ . Voor de Hollandse Kust is na niet-lineaire regressie de volgende vergelijking voor de 'best fit' gevonden:

$$\log P_f = -12.15 \left( 1 - e^{-3.57 \cdot 10^{-4} \cdot V} \right) - 1.018$$

Invullen van  $V_1$  geeft een faalkans van  $7.11 \cdot 10^{-8}$ . De door PC-Ring berekende faalkans is dus iets kleiner dan de faalkans zoals berekend op basis van het volume. We houden vergelijking 2-14 aan en gebruiken daarom vergelijking 2-11 om de faalkans voor het hele duingebied ( $P_{f2}$ ) in te schatten.

$$\log P_{f2} = \log P_{f1} - 12.15 \left( e^{-3.57 \cdot 10^{-4} \cdot V_1} - e^{-3.57 \cdot 10^{-4} \cdot V_2} \right)$$

Invullen van beide volumes levert een faalkans  $P_{f2}$  voor het hele duingebied van  $6.82 \cdot 10^{-14}$ . De kwantitatieve waarde van deze faalkans moet met de nodige voorzichtigheid beschouwd worden. De waarde berust op de aannames dat 2D-effecten geen rol spelen, en dat een extrapolatie van

enkelvoudige naar meervoudige duinen op basis van volumes gerechtvaardigd is. Uit figuur A-1 blijkt dat 2D-effecten mogelijk een rol gaan spelen als de eerste duinenrij bezwijkt. In elk geval blijft staan dat meerdere duinmassieven moeten bezwijken, voordat er sprake is van falen van het gehele duingebied. Voor deze locatie is het aanhouden van een zeer lage faalkans daarom verantwoord.

## A.5 Controles

Deze paragraaf beschrijft enkele controles, zoals die voor alle faalkansberekeningen zijn uitgevoerd.

### Dwarsprofiel

Het dwarsprofiel, zoals gebruikt voor de faalkansberekening voor raai 8005950 in 2011, is het profiel dat is weergegeven in het onderste deel van figuur A-3. De volgende conclusies zijn getrokken op basis van de controles van dit dwarsprofiel:

- Het profiel bevat een volledige duin;
- Het profiel bevat geen dubbele duinenrijen;
- Het profiel kent een glad verloop.

Op basis van deze conclusies is het waarschijnlijk dat DUROS+ goed in staat zou moeten zijn om een realistisch afslagprofiel te berekenen.

### Faalkans

De berekende faalkans op jaarbasis voor 2011 is  $4.31 \cdot 10^{-8}$ . Het volume boven duinvoetniveau (3 m+NAP) van de eerste duinenrij ( $V_2$ ) bedraagt  $1967 \text{ m}^3/\text{m}$ . Uit vergelijking 2-11 volgt  $7.11 \cdot 10^{-8}$  als schatting van de faalkans bij dit duinvolume. De berekende faalkans is van dezelfde orde van grootte.

Voor 2009 en 2010 werd respectievelijk een faalkans van  $4.23 \cdot 10^{-8}$  en  $5.54 \cdot 10^{-8}$  per jaar berekend. Dit komt overeen met de geringe profielwijzigingen die zichtbaar zijn in figuur A-3.

De profielen van de naastgelegen raai 5925 is sterk vergelijkbaar met het profiel van raai 5950. De berekende faalkans voor raai 5925 is  $8.98 \cdot 10^{-9}$ . Deze lagere faalkans is te verklaren uit het feit dat het volume boven duinvoetniveau voor raai 5925 groter is dan voor raai 5950:  $2323 \text{ m}^3/\text{m}$  versus  $1967 \text{ m}^3/\text{m}$ . De hoogte van beide (eerste) duinen is vrijwel gelijk, maar de breedte van de duin in raai 5925 is groter.

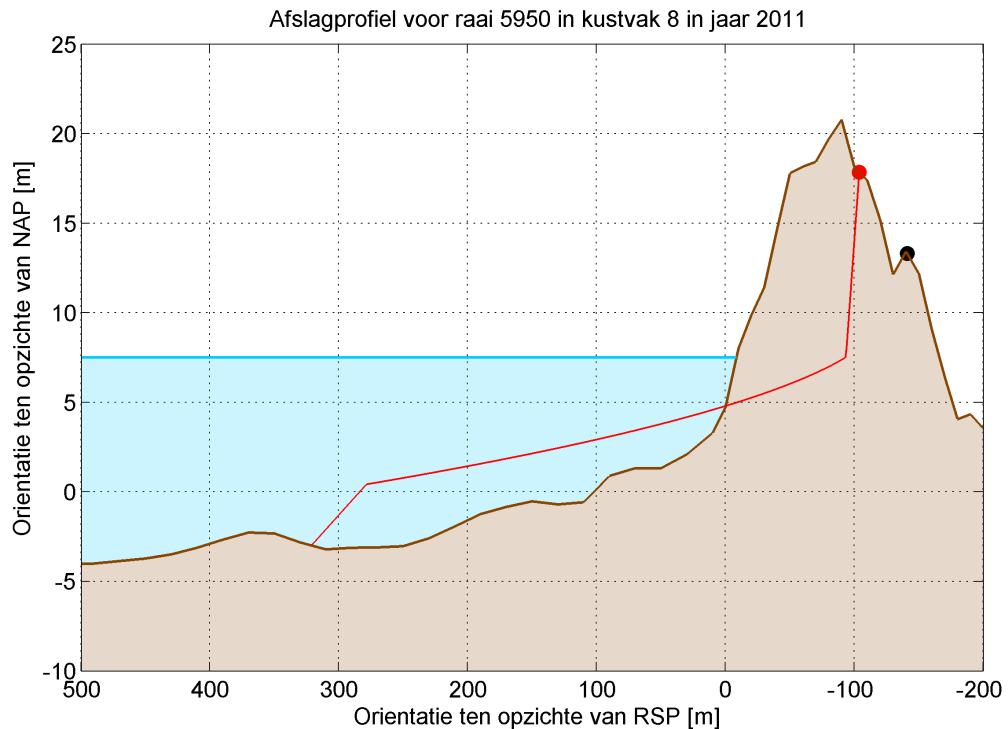
Vergelijking van de berekende faalkans met de profielkarakteristieken, met voorgaande jaren en met naastgelegen raaien geeft vertrouwen in de berekende faalkans.

### Afslagprofiel

Figuur A-4 toont het maatgevende afslagprofiel voor raai 5950, behorend bij falen. Het rode punt geeft het bijbehorende afslagpunt. Na meenemen van onzekerheden ontstaat het maatgevende afslagpunt, getoond in zwart.

Het verschil tussen het afgeslagen volume en het aangezande volume is 3%. Dit is voldoende nauwkeurig om vertrouwen te hebben in de berekende faalkans.





Figuur A-4 Het berekende afslagprofiel van raai 8005950 voor 2011

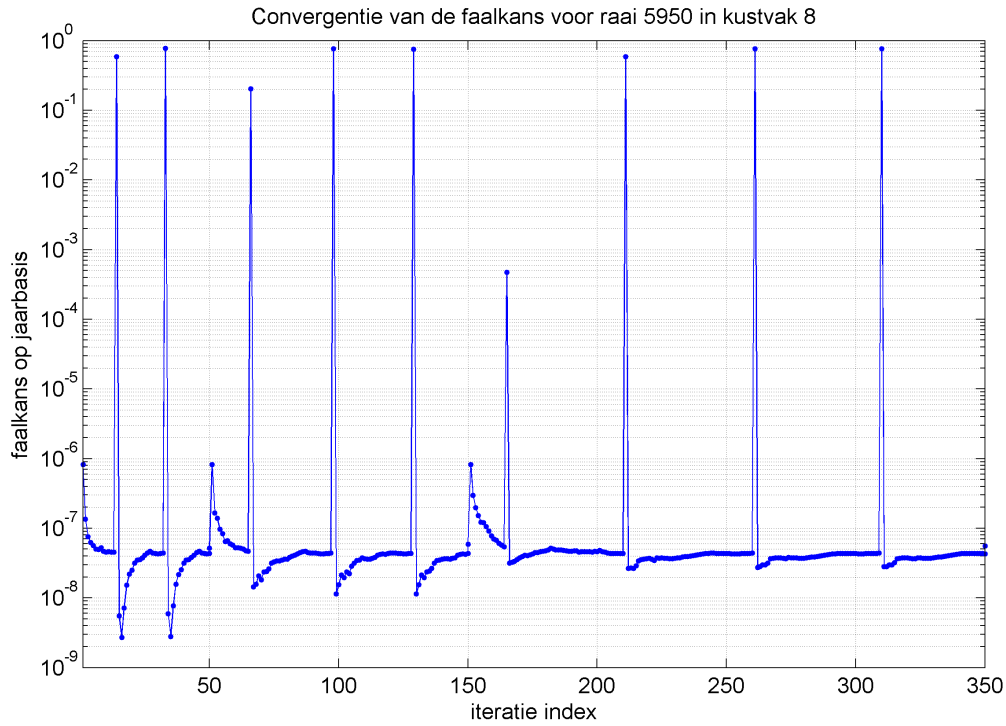
## Probabilistische berekening

Figuur A-5 toont het convergentieverloop van de faalkans, ofwel het verloop van de faalkans over de iteraties. Te zien is dat de faalkans telkens convergeert naar een waarde van ongeveer  $4 \cdot 10^{-8}$  per jaar, maar dat een losse iteratie regelmatig een onrealistisch resultaat oplevert. Een regelmatig terugkerende oorzaak is dat het maatgevende afslagpunt buiten het profiel komt te liggen. Het zoeken naar de oorzaak voor deze specifieke raai valt echter buiten de scope van dit project. Op basis van het convergentieverloop is de uiteindelijk berekende faalkans van  $4.31 \cdot 10^{-8}$  per jaar aannemelijk.

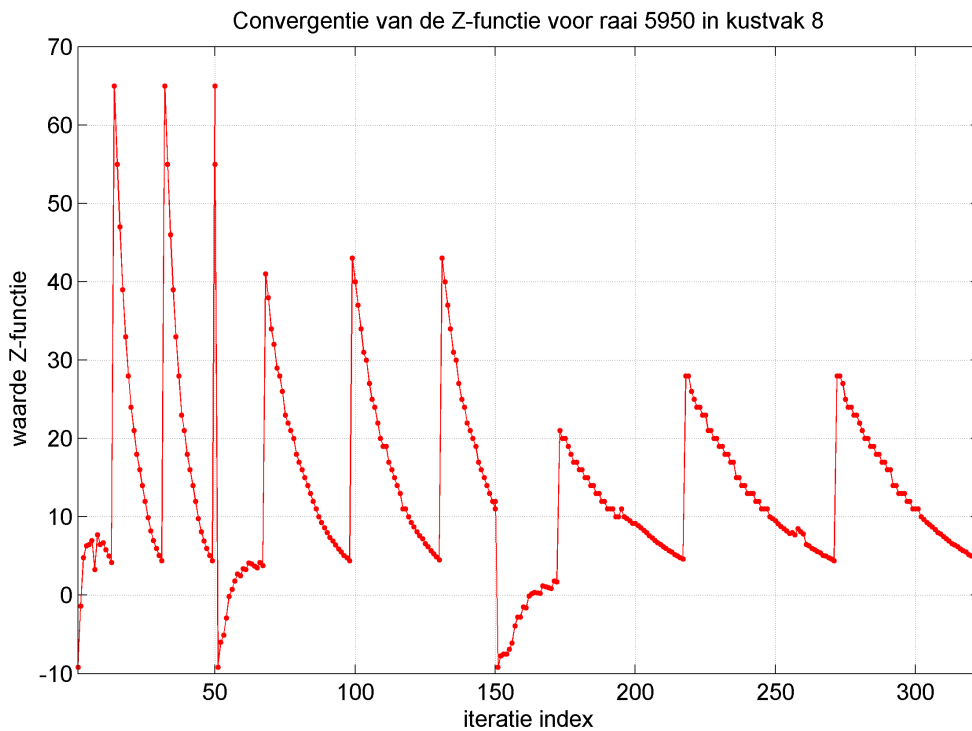
Figuur A-5 toont het convergentieverloop van de grenstoestandsfunctie  $Z$ , ofwel het verloop van de  $Z$ -waarde over de iteraties. Gezocht wordt naar  $Z = 0$ , een combinatie van sterkte en belasting waarbij de duin precies faalt. En meer specifiek *die* combinatie resulterend in  $Z = 0$ , die de grootste kans van optreden heeft, het ontwerppunt. In figuur A-5 is te zien dat de waarde van  $Z$  richting nul gaat aan het eind van het iteratieve proces. De eindwaarde van  $Z$  is ongeveer 4 m. De nauwkeurigheid van het berekende afslagpunt is dan eveneens in die orde van grootte. Dit is voldoende voor het nauwkeurig berekenen van een faalkans.

## Conclusie

De berekende faalkans van  $4.31 \cdot 10^{-8}$  per jaar voor raai 8005950 in 2011 is een betrouwbaar resultaat.



*Figuur A-5 Convergentie van de faalkans van raai 8005950 voor 2011. Het verloop van de berekende faalkans is uitgezet tegen de iteraties.*



*Figuur A-6 Convergentie van de waarde van de grenstoestandsfunctie van raai 8005950 voor 2011. Het verloop van de Z-waarde is uitgezet tegen de iteraties.*

## B Uitgewerkt voorbeeld dijkberekening

Ter illustratie van de werkwijze geeft deze bijlage een volledig uitgewerkt voorbeeld voor raai 12001250, ofwel raai 1250 in kustvak 12, Goeree. Het betreft hier zeekering het Flauwe Werk.

### B.1 Karakteristieken

Figuur B-1 toont de omgeving van de voorbeeldraai. De raai bevindt zich op de kop van Goeree, ongeveer drie kilometer ten noordwesten van Ouddorp.



*Figuur B-1 De omgeving van zeedijk het Flauwe Werk. De zeedijk zelf is bovenaan in het rode vak in de figuur te zien (ter plaatse van de gekromde asphaltstrook). Bron: <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/420098>.*

In de figuur is te zien dat er uitgebreide plaatvorming aanwezig is. Deze plaatvorming is zeer geprononceerd nabij de duinen ten zuidwesten van het Flauwe Werk, maar ook vóór het Flauwe Werk zelf is de plaatvorming duidelijk te zien.

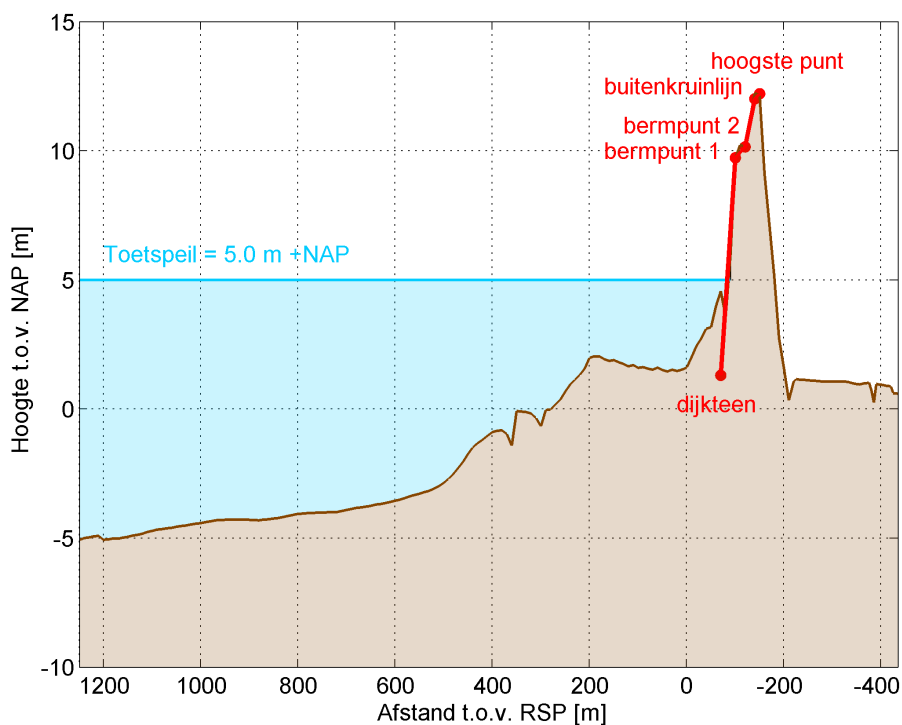
### B.2 Dwarsprofiel

Van het dwarsprofiel is de ligging bekend, aangezien ook van de dijken een JarKus-meting beschikbaar is. Het profiel voor raai 1250 is getoond in figuur B-2. Binnen de user-interface van PC-Ring is het mogelijk om geautomatiseerd een geschematiseerd profiel op te stellen ten behoeve van de faalkansberekening. In veruit de meeste gevallen, behoeft dit automatisch geschematiseerde profiel een handmatige aanpassing.

Voor het geschematiseerde profiel zijn zes typering van profielpunten beschikbaar:

- het hoogste punt (verplicht): deze is relevant voor de overloopberekening,
- de buitenkruinlijn (verplicht): deze is relevant voor de golfverslagberekening,
- een knikpunt (optioneel): als er een duidelijke knik in het profiel zit, kan er optioneel een knikpunt worden opgegeven, deze kan relevant zijn voor de golfverslagberekening,
- een berm punt (optioneel): indien er een berm aanwezig is, kan deze gemarkeerd worden met twee punten, deze zijn relevant voor de golfverslagberekening,
- een tweede berm punt (optioneel): het tweede punt dat hoort bij de berm,
- de dijkteen (verplicht): de locatie van de teen van de dijk.

Schematisatie van het JarKus-profiel is getoond in figuur B-2 met behulp van de rode lijn. Hierbij is geen knikpunt gebruikt, maar we twee berm punten.



Figuur B-2 Het geschematiseerde dijksprofiel (in rood) op basis van de JarKus-metingen. De blauwe lijn geeft het toetspeil aan.

Met het relatief vlakke gedeelte tussen 0 en 200 m +RSP laat figuur B-2 een gedeelte van de plaatvorming zien. Deze plaat zal een golfgroei remmende werking hebben.

### B.3 Stochasten

Voor de mechanismes overloop en golfverslag zijn diverse stochasten van belang. De volledige lijst met stochasten is gegeven in tabel B-1. Er zijn twee stochasten met betrekking tot de grassterkte, namelijk de ruwheid van het binnentalud en de erosiebestendigheid van gras. Deze doen niet ter zake, aangezien er een vast kritiek overslagdebiet wordt opgegeven, en zijn daarom grijs gemaakt in de tabel.

Van de in totaal 12 windrichtingen zijn er 8 'uitgezet'. Dit 'uitzetten' van windrichtingen is gedaan, omdat 6 windrichtingen aflagdig zijn, en 2 windrichtingen een dermate kleine hoek met de

	$\mu$	$\sigma$	$V$	cor.lengte
Dijkhoogte $h_d$ [m]		0.1		300
Buitenbermhoogte $h_B$ [m]		0.1		300
Buitenbermbreedte $B$ [m]		0.15		300
Buitenteenhoogte $h_t$ [m]		0.2		300
Helling buitentalud boven knik berm $\tan \alpha_{u,b}$			0.05	150
Helling buitentalud onder knik berm $\tan \alpha_{u,o}$			0.05	150
Helling binnentalud $\tan \alpha_i$	0.5		0.05	150
Modelfactor kritiek overslagdebiet $m_{qc}$	1	0.5		1500
Ruwheid binnentalud $k$ [m]	0.015		0.25	300
Factor voor bepaling $f_2$	5.2	0.55		
Factor voor bepaling $f_4$	2.6	0.35		
Modelfactor optredend overslagdebiet $m_q$	1	0.5		
Kritiek overslagdebiet $q_c$ [l/s/m]	1			
Erosiebestendigheid gras $c_g$ [ms]	$10^6$			
Deel tijd golfoverslag $P_t$	1			
Fout in bodemligging [m]		0.3		900
Modelfactor Bretschneider voor $H_s$	1	0.15		900
Modelfactor Bretschneider voor $T_s$	1	0.15		900
Modelfout in lokale waterstand [m]	0	0		6000
Stormduur $t_s$ [uur]	7.5		0.25	

Tabel B-1 Stochasten voor de mechanismes overloop en golfoverslag bij raai 1250 in kustvak 12; 'cor.lengte' staat voor correlatielengte en is gegeven in meters. De twee stochasten met betrekking tot de grassterkte doen niet ter zake en zijn daarom grijs gemaakt.  $\mu$  is het gemiddelde,  $\sigma$  de standaardafwijking en  $V$  de variatiecoëfficiënt ( $V = \sigma/\mu$ ).

kustlijn maken dat numerieke problemen zich voor kunnen doen. De windrichting die actief zijn, zijn Noord, N.N.O., W.N.W. en N.N.W.

Verder is in PC-Ring de optie geactiveerd om golven te reduceren tot maximaal een half maal de waterdiepte ter plaatse van de dijkteen. Hiermee wordt de golfgroei door het aanwezige 'voorland' (de zandplaat) geremd.

## B.4 Resultaten

Het resultaat van PC-Ring ten aanzien van de faalkans voor het mechanisme overloop/golfoverslag is getoond in tabel B-2 bij vier verschillende kritieke debieten, zowel in het geval dat golfreductie niet en wel is toegepast.

$q_c$ [l/s/m]	Zonder golfreductie	Met golfreductie
1	1/204	1/23.041
10	1/3.559	1/285.714
50	1/54.054	1/3.048.780
100	1/210.526	1/10.989.011

Tabel B-2 Resultaten voor de faalkans (op jaarbasis) bij overloop/golfoverslag bij raai 1250 in kustvak 8 (Flauwe Werk) bij vier verschillende kritieke debieten, zowel in het geval dat golfreductie niet en wel is toegepast. Het blauwgedrukte getal wordt gehanteerd in de analyses.

Tabel B-2 laat zien dat de invloed van de golfreductie aanzienlijk is: de faalkans valt tot 100 maal lager uit bij het toepassen van deze golfreductie, tot zeker acceptabele waarden van orde  $10^{-5}$  op jaarbasis.

## C Systeemfaalkans volgens Ditlevsen

Deze bijlage beschrijft de methodiek om de overstromingskans voor een kustvak te berekenen op basis van de faalkansen voor verschillende vakken langs het kustvak.

### C.1 Betrouwbaarheidsinterval

Langs een kustvak zijn de faalkansen  $P_i = P(Z_i < 0)$  van de  $N$  deeltrajecten bekend. Elk deeltraject wordt gekarakteriseerd door een dwarsprofiel van een JarKus-raai. De systeemfaalkans, ofwel de overstromingskans van het kustvak, is de kans dat de zeewering bij één van de raaien faalt:

$$P_f = P(Z_1 < 0 \text{ of } Z_2 < 0 \dots \text{ of } Z_N < 0). \quad (\text{C-1})$$

Deze systeemfaalkans ligt tussen de volgende elementaire grenzen:

$$\max(P_i) \leq P_f \leq \sum_{i=1}^N (P_i), \quad (\text{C-2})$$

De ondergrens van de faalkans is van toepassing bij 100% correlatie tussen de raaien. De bovengrens wordt gevonden bij 0% correlatie tussen de raaien. Het betrouwbaarheidsinterval is gedefinieerd als de ruimte tussen deze twee grenzen.

[Ditlevsen \(1979\)](#) geeft een smaller betrouwbaarheidsinterval op basis van partiële correlatie tussen de verschillende raaien.

$$\sum_{i=1}^N \left[ P_i - \sum_{j<i} P_{ij} \right] \leq P_f \leq \sum_{i=1}^N \left[ P_i - \max_{j<i} P_{ij} \right], \quad (\text{C-3})$$

waarin  $P_{ij} = P(Z_i < 0 \text{ en } Z_j < 0)$ . Deze gezamenlijke faalkans is te benaderen door:

$$P(Z_i < 0 \text{ en } Z_j < 0) = \Phi_N(-\beta_i) \Phi_N(-\beta_j^*) + \Phi_N(-\beta_i^*) \Phi_N(-\beta_j), \quad (\text{C-4})$$

waarin  $\Phi_N$  de verdelingsfunctie voor de standaard normale verdeling is,  $\beta_i$  de betrouwbaarheidsindex behorend bij  $Z_i < 0$ , en  $\beta_i^*$  gegeven wordt door:

$$\beta_i^* = \frac{\beta_i - \rho_{ij} \beta_j}{\sqrt{1 - \rho_{ij}^2}}. \quad (\text{C-5})$$

Hierin is  $\rho_{ij}$  de correlatie tussen de betrouwbaarheidsfuncties van de twee segmenten  $i$  en  $j$ . De mate van correlatie is afhankelijk van de verhouding tussen de onderlinge afstand tussen de raaien  $\Delta L$  en de correlatielengte  $d_c$ :

$$\rho_{ij} = \rho(Z_i, Z_j) = \exp \left[ - \left( \frac{\Delta L}{d_c} \right)^2 \right] \quad (\text{C-6})$$

## C.2 Voorbeeld

Een kustvak bestaat uit vijf deeltrajecten. Elk deeltraject wordt gekarakteriseerd door een dwarsprofiel langs een meetraai. De faalkansen van de deeltrajecten zijn berekend:  $1 \cdot 10^{-6}$ ,  $1 \cdot 10^{-6}$ ,  $4 \cdot 10^{-6}$ ,  $4 \cdot 10^{-6}$  en  $5 \cdot 10^{-6}$ . De elementaire onder- en bovengrens voor de overstromingskansen van het kustvak zijn volgens vergelijking C-2.

$$5 \cdot 10^{-6} \leq P_f \leq 1.5 \cdot 10^{-5}.$$

De onderlinge afstand tussen de raaien bedraagt 250 m. De correlatielengte  $d_c$  is uniform en gelijk aan 300 m. Met deze informatie is de onderlinge correlatie tussen de betrouwbaarheidsfuncties van de verschillende segmenten te bepalen op basis van vergelijking C-6. De gezamenlijke faalkansen van de verschillende raaien volgen uit de vergelijkingen C-5 en C-4. Met de getalswaarden voor de gezamenlijke faalkansen zijn vervolgens de grenzen volgens Ditlevsen (vergelijking C-3) te bepalen. Voor dit voorbeeld zijn deze gelijk aan:

$$1.4893 \cdot 10^{-5} \leq P_f \leq 1.4894 \cdot 10^{-5}.$$

Dit betrouwbaarheidsinterval is aanzienlijk smaller dan het interval volgend uit de elementaire grenzen. Te zien is dat voor dit voorbeeld de elementaire bovengrens van de faalkansen een goede benadering is. De segmenten zijn onderling niet sterk gecorreleerd, omdat de onderlinge afstand tussen de raaien van dezelfde orde van grootte is als de correlatielengte. Wanneer de onderlinge afstand tussen de raaien slechts 50 m bedraagt, ligt het interval volgens Ditlevsen dichterbij de elementaire ondergrens:

$$5.6645 \cdot 10^{-6} \leq P_f \leq 8.4569 \cdot 10^{-6}.$$



## D Berekenende faalkansen per kustvak

Deze bijlage geeft per kustvak de met PC-Ring berekende faalkansen voor de eerste duinenrij voor 2009, 2010 en 2011. Voor 2011 is daarnaast een indicatie voor de faalkans van het hele duingebied toegevoegd. Ter vergelijking zijn tenslotte eventueel beschikbare resultaten vanuit VNK en de uitkomsten van de derde toetsronde in de tabellen opgenomen. Met name de orde van grootte (bijv.  $10^{-7}$ , geschreven als E-07) is relevant; de decimalen kunnen ten onrechte een hoge nauwkeurigheid suggereren.

### D.1 Schiermonnikoog

Tabel D-1 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF2 2009	PF2 2010	PF2 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
100	4.8E-05	3.8E-05	7.6E-05	7.6E-05		oke
120	1.1E-04	1.2E-04	1.4E-04	1.4E-04		oke
140	4.4E-07		4.4E-07	4.4E-07		oke
160	8.5E-08	1.2E-07	1.2E-07	1.2E-07		oke
180	5.0E-10	5.5E-10	1.6E-09	1.6E-09		oke
200	5.3E-12	4.9E-12	2.5E-13	1.1E-13		oke
220	2.3E-11	2.0E-11	5.7E-11	1.5E-17		oke
240	5.4E-11	4.8E-11	4.4E-11	5.9E-18		oke
260	2.7E-10	2.0E-10	1.3E-09	3.8E-18		oke
280	1.0E-09	1.0E-09	7.5E-10	3.1E-18		oke
300	3.3E-12	3.2E-12	2.7E-12	2.6E-14		oke
320	1.0E-14	1.0E-14	4.2E-17	1.9E-17		oke
340	3.9E-11	5.1E-11	6.6E-11	1.6E-17		oke
360			1.8E-08	1.5E-16		oke
380	2.1E-11	2.0E-11	2.8E-10	1.6E-16		oke
400	9.3E-10	7.5E-10	7.7E-10	1.3E-16		oke
420	9.1E-10	5.2E-10	6.2E-10	5.4E-17		oke
440	1.8E-09	1.4E-09	2.0E-09	6.8E-17		oke
460	7.0E-11	3.4E-09	2.7E-09	4.9E-17		oke
480	9.0E-10	7.3E-10	4.3E-11	1.6E-12		oke
500	1.3E-08	1.1E-08				oke
502	1.5E-09	1.7E-09				oke
520	8.1E-08	8.7E-08	2.5E-07	1.3E-17		oke
540	4.0E-09	6.1E-09	1.8E-08	3.3E-17		oke
560	2.3E-07	2.0E-07	4.4E-07	7.6E-17		oke
580	9.1E-08	8.0E-08	2.0E-07	2.0E-16		oke
600	9.8E-08	8.4E-08	1.8E-07	8.6E-18		oke
620	3.9E-07	3.0E-07	1.4E-06	1.9E-17		oke
640	5.7E-08	3.5E-08	1.3E-07	4.2E-14		oke
660	8.1E-08	7.3E-08	1.1E-07	2.2E-12		oke

## D.2 Ameland

Tabel D-2 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
120	9.5E-06	3.4E-05	2.6E-05	6.2E-12		oke
140	1.3E-08	4.9E-08	8.2E-09	6.9E-14		oke
220	3.5E-07	1.0E-06	6.2E-07	5.6E-14		oke
240	7.1E-08	1.4E-07	9.7E-08	3.3E-13		oke
320	7.6E-12	8.1E-12	1.6E-21	1.6E-21		oke
340	2.9E-09	2.5E-09	2.5E-09	1.2E-09		oke
360	7.2E-10	5.3E-10	5.0E-04	2.6E-15		oke
380	9.9E-10	5.3E-10	3.6E-05	1.2E-16		oke
420	2.5E-10	2.9E-07	4.9E-05	3.8E-12		oke
440	6.2E-10	5.4E-10	5.4E-10	5.4E-10		oke
460	2.1E-10	2.0E-10	1.7E-10	4.4E-13		oke
480	9.8E-08	2.3E-08	9.8E-08	1.2E-11		oke
500	1.7E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05		oke
520	1.7E-05	1.4E-05	5.2E-06	5.2E-06		oke
540	2.6E-05	2.5E-05	1.6E-05	1.6E-05		oke
560	1.7E-05	1.7E-05	2.1E-05	2.1E-05		oke
580	8.5E-06	8.5E-06	4.6E-06	4.6E-06		oke
600	9.2E-06	8.8E-06	5.3E-06	5.3E-06		oke
620	4.8E-06	4.6E-06	2.3E-06	2.3E-06		oke
640	4.6E-06	4.8E-06	3.0E-06	3.0E-06		oke
660	1.8E-06	1.7E-06	9.5E-07	9.5E-07		oke
680	8.6E-07	8.8E-07	1.0E-06	1.0E-06		oke
700	1.6E-06	1.3E-06	1.1E-06	1.1E-06		oke
720	5.2E-06	5.0E-06	3.0E-06	5.1E-12		oke
740	1.6E-05	1.5E-05	1.3E-05	1.0E-11		oke
760	8.0E-07	7.6E-07	5.1E-07	4.5E-12		oke
780	9.2E-07	8.7E-07	2.4E-07	1.6E-12		oke
800	6.1E-07	5.4E-07	8.9E-08	5.7E-13		oke
820	1.3E-08	1.1E-08	1.4E-08	2.2E-13		oke
840	1.7E-09	1.6E-09	1.7E-09	8.4E-12		oke
860	6.2E-10	5.0E-10	7.3E-10	7.3E-10		oke
880	2.5E-09	1.8E-09	1.8E-09	1.8E-09		oke
900	6.5E-09	6.2E-09	4.3E-09	4.3E-09		oke
920	7.1E-13	8.4E-13	7.3E-11	1.6E-13		oke
940	1.4E-08	1.1E-08	5.4E-09	5.4E-09		oke
960	4.4E-08	4.0E-08	6.4E-08	9.6E-12		oke
980	4.0E-08	3.8E-08	3.4E-08	2.7E-13		oke
1000	3.2E-08	2.9E-08	2.0E-08	2.0E-08		oke
1020	3.5E-07	1.2E-07	1.1E-07	1.1E-07		oke
1040	3.5E-06	8.4E-07	5.5E-07	5.5E-07		oke
1060	2.1E-06	3.8E-07	8.1E-08	8.1E-08		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1080	5.7E-06	1.7E-06	8.9E-07	3.2E-10		oke
1100	2.3E-05	1.1E-05	4.4E-06	1.1E-09		oke
1120	1.2E-05	4.1E-06	4.0E-06	4.0E-06		oke
1140	9.9E-05	3.9E-05	4.8E-07	4.8E-07		oke
1160	9.4E-05	5.9E-05	4.8E-07	4.8E-07		oke
1180	3.5E-04	1.8E-04	7.1E-05	3.0E-12		oke
1200	6.1E-04	4.9E-04	1.8E-04	4.0E-16		oke
1220	4.5E-05	4.2E-05	3.9E-05	3.2E-15		oke
1240	1.1E-05	1.0E-05	5.2E-06	3.4E-15		oke
1260	3.7E-04	2.5E-04	1.1E-04	5.2E-15		oke
1280	2.1E-04	1.7E-04	8.5E-05	4.4E-15		oke
1300	2.9E-04	2.5E-04	5.5E-05	9.3E-14		oke
1320			8.5E-05	2.0E-12		oke
1340	4.7E-10	3.5E-10	2.0E-16	2.0E-16		oke
1360	6.3E-09	5.0E-09	7.2E-12	7.2E-12		oke
1380	3.8E-07	3.4E-07	3.2E-04	2.4E-13		oke
1400	8.2E-04	8.5E-04	4.9E-04	6.5E-12		oke
1420	1.2E-06	1.0E-06	5.1E-07	3.7E-11		oke
1440	7.7E-07	7.0E-07	2.2E-07	1.4E-12		oke
1460	2.0E-03	2.1E-03	3.8E-04	1.0E-13		oke
1480	2.6E-03	2.7E-03	7.3E-04	8.2E-11		oke
1500	4.5E-09	5.6E-09	3.3E-04	3.3E-12		oke
1520			2.2E-04	1.2E-11		oke
1540	3.0E-03	3.0E-03	7.2E-04	2.2E-12		oke
1560	6.5E-04	8.0E-04	6.9E-04	4.1E-11		oke
1580	1.8E-03	1.8E-03	5.5E-04	2.8E-10		oke
1600	6.6E-04	5.6E-04	3.7E-04	9.0E-12		oke
1620	9.0E-04	7.2E-04	6.4E-04	8.7E-11		oke
1640	4.6E-04	3.7E-04	1.7E-04	1.8E-10		oke
1660	2.0E-03	1.9E-03	7.0E-04	2.5E-12		oke
1680	1.5E-09	1.6E-09	1.3E-13	1.2E-13		oke
1700	5.1E-04	4.6E-04	3.5E-04	1.5E-12		oke
1720	2.1E-05	1.8E-05	1.1E-05	2.2E-12		oke
1740	4.6E-05	4.2E-05	3.9E-05	2.8E-12		oke
1760	9.9E-05	9.9E-05	7.1E-05	2.3E-11		oke
1780	2.5E-05	2.6E-05	1.5E-05	1.9E-11		oke
1800	1.5E-05	1.5E-05	1.1E-05	7.2E-09		oke
1820	1.1E-04	1.1E-04	1.0E-04	6.2E-10		oke
1840	5.0E-05	5.6E-05	4.9E-05	1.3E-10		oke
1860	8.7E-05	9.9E-05	8.8E-05	7.1E-09		oke

## D.3 Terschelling

Tabel D-3 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
240	1.0E-10	1.3E-10	1.6E-10	4.3E-14		oke
260	6.6E-11	3.8E-11	5.8E-11	1.0E-14		oke
280	7.6E-12	6.7E-12	8.2E-12	1.8E-17		oke
300	6.9E-10	6.9E-10	6.6E-10	6.0E-16		oke
320	4.9E-10	1.3E-10	6.2E-11	2.2E-11		oke
340	5.5E-10	3.0E-10	1.0E-10	9.9E-16		oke
360	7.5E-10	1.8E-10	3.3E-11	1.1E-16		oke
380	8.6E-11	4.6E-11	2.7E-11	1.9E-17		oke
400	6.5E-12	4.7E-12	3.3E-12	8.1E-18		oke
420	3.5E-13	6.8E-13	4.3E-13	8.6E-18		oke
440	1.6E-13	2.4E-13	2.1E-13	5.4E-18		oke
460	4.7E-13	2.4E-13	2.2E-13	4.5E-18		oke
480	1.7E-12	8.4E-13	9.2E-13	4.6E-18		oke
520	8.4E-11		5.2E-11	2.4E-17		oke
540	3.2E-08	2.7E-08	2.2E-08	6.4E-18		oke
560	4.2E-10	5.9E-10	7.4E-10	6.2E-18		oke
580	2.8E-08	3.2E-08	3.4E-08	3.0E-18		oke
600	4.3E-09	5.6E-09	1.9E-07	2.2E-18		oke
620	3.0E-08	3.1E-08	6.4E-05	2.1E-18		oke
640	8.5E-07	1.6E-06	2.0E-06	2.1E-18		oke
660	2.7E-07	5.8E-07	5.5E-07	2.2E-18		oke
680	1.2E-06	1.7E-06	2.9E-06	2.0E-18		oke
700	5.2E-07	1.5E-06	1.4E-06	3.3E-17		oke
720	2.1E-06	5.6E-06	2.6E-06	2.4E-17		oke
740	6.3E-07	3.1E-07	3.6E-05	2.1E-18		oke
760	1.9E-07	2.4E-07	2.5E-07	2.1E-18		oke
780	1.9E-08	2.3E-08	1.8E-08	2.1E-18		oke
800	7.0E-09	9.6E-09	1.0E-08	2.2E-18		oke
820	4.6E-09	4.6E-09	3.1E-09	3.1E-18		oke
840	7.4E-08	1.4E-07	6.1E-08	5.7E-18		oke
860	2.0E-10	2.4E-10	1.6E-08	1.9E-17		oke
880	4.2E-12	5.3E-12	2.7E-12	5.3E-17		oke
900	4.2E-12	8.7E-12	4.8E-12	3.8E-17		oke
920	6.3E-13	8.1E-13	4.9E-13	1.1E-16		oke
940	1.0E-15	1.0E-15	2.1E-16	4.5E-17		oke
960			6.4E-18	6.4E-18		oke
980			6.7E-17	3.7E-18		oke
1000			4.5E-17	7.2E-18		oke
1020			1.4E-16	3.1E-17		oke
1040			5.4E-17	2.2E-17		oke
1060			4.0E-17	4.0E-17		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1080	2.2E-13	2.0E-13	7.3E-15	6.4E-18		oke
1100	1.9E-13	3.2E-13	1.4E-13	5.9E-18		oke
1120	3.0E-15	4.0E-15	2.8E-15	5.5E-18		oke
1140	6.0E-15	1.4E-14	1.1E-14	1.3E-17		oke
1160	1.6E-13	4.3E-13	5.4E-13	1.1E-17		oke
1180	6.0E-13	8.9E-13	6.2E-13	2.8E-17		oke
1200	7.0E-15	6.0E-15	1.0E-15	1.0E-15		oke
1220	3.7E-12	2.2E-12	2.0E-14	2.0E-14		oke
1240	1.2E-11	9.6E-12	1.3E-14	1.3E-14		oke
1260	1.0E-15	1.0E-15	2.1E-14	2.1E-14		oke
1280	1.5E-11	2.6E-11	8.3E-14	8.3E-14		oke
1300	5.8E-11	8.7E-11	1.5E-12	1.5E-12		oke
1320	1.1E-11	2.4E-11	1.6E-12	1.6E-12		oke
1340	4.2E-11	4.6E-11	4.3E-12	4.3E-12		oke
1360	5.3E-11	6.8E-11	4.7E-11	2.6E-17		oke
1380	4.8E-12	7.5E-12	3.8E-12	7.7E-18		oke
1400	5.3E-12	6.6E-12	3.2E-12	8.1E-17		oke
1420	2.4E-11	1.6E-11	7.3E-12	1.7E-17		oke
1440	2.9E-11	6.3E-12	2.6E-12	9.7E-18		oke
1460	1.4E-10	1.0E-10	7.8E-11	7.4E-18		oke
1480	4.4E-11	3.5E-11	1.9E-11	3.7E-17		oke
1500	2.4E-11	1.6E-11	1.5E-13	1.5E-13		oke
1520	6.7E-11	7.0E-11	3.4E-11	2.7E-17		oke
1540	2.7E-10	2.2E-10	1.4E-10	1.3E-17		oke
1560	6.0E-15	1.1E-14	6.7E-15	1.3E-17		oke
1580	4.1E-10	3.7E-10	2.0E-10	9.0E-18		oke
1600			1.3E-08	1.9E-17		oke
1620	2.3E-07	1.8E-06	1.6E-34	1.6E-34		oke
1640	2.8E-06	5.4E-06	4.2E-26	4.2E-26		oke
1660			2.1E-24	2.1E-24		oke
1680			2.0E-10	1.6E-17		oke
1700		3.6E-03	2.1E-08	3.8E-17		oke
1720	3.1E-07	3.6E-07	2.1E-08	3.8E-17		oke
1740	1.4E-11	1.8E-11	7.6E-12	5.5E-18		oke
1760	1.7E-09	1.8E-09	1.6E-09	1.2E-17		oke
1780	1.4E-08	1.1E-08	6.5E-09	1.2E-16		oke
1800			5.9E-49	5.9E-49		oke
1820	9.0E-13	6.5E-13	2.4E-13	4.3E-16		oke
1840		6.3E-06	3.8E-25	3.8E-25		oke
1860	2.0E-11	3.4E-11	7.3E-12	7.3E-12		oke
1880		5.7E-06	4.0E-10	4.0E-10		oke
1900	5.0E-09	8.3E-09	3.5E-11	1.9E-15		oke
1920	1.1E-12	1.6E-12	7.4E-17	7.4E-18		oke
1940	1.6E-09	2.0E-09	8.9E-10	1.1E-17		oke
1960	4.2E-09	4.4E-09	3.0E-09	1.5E-17		oke
1980			5.9E-12	1.1E-13		oke

## D.4 Vlieland

Tabel D-4 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
4808	1.4E-08	2.6E-08	1.3E-08	4.9E-14		oke
4825	1.7E-08	6.7E-08	7.1E-08	2.8E-16		oke
4844	3.3E-09	4.5E-08	5.1E-08	2.6E-15		oke
4862	1.0E-08	9.3E-08	5.5E-08	5.9E-16		oke
4880	2.3E-08	1.7E-07	1.5E-07	3.9E-16		oke
4898	7.6E-07	1.8E-06	2.0E-06	8.8E-17		oke
4915	4.8E-06	2.8E-06	1.5E-06	1.4E-17		oke
4933	4.1E-07	6.8E-08	3.9E-08	5.0E-16		oke
4952	5.3E-10	4.3E-11	2.7E-11	1.3E-16		oke
4970	8.7E-06	5.0E-07	1.7E-07	2.4E-18		oke
4988	3.6E-06	4.5E-07	1.4E-07	1.5E-17		oke
5005	8.2E-07	3.2E-07	2.7E-07	1.2E-16		oke
5023	1.5E-08	2.0E-08	1.8E-08	1.4E-15		oke
5041	8.5E-06	1.5E-05	1.6E-05	2.3E-17		oke
5059	8.8E-05	1.5E-04	1.6E-04	4.1E-16		oke
5077	2.8E-05	2.9E-05	8.2E-04	1.2E-13		oke
5095	5.5E-05	6.1E-05	6.1E-05	1.3E-10		oke
5113	8.9E-05	8.4E-05	4.3E-07	6.5E-08		oke
5129	3.2E-05	3.0E-05	3.3E-06	4.7E-07		oke
5146	6.9E-06	1.3E-05	1.3E-05	2.0E-08		oke
5165	2.3E-04	2.4E-04	2.6E-04	1.3E-06		oke
5175	2.1E-04	2.9E-04	2.7E-04	1.9E-06		oke
5185	1.0E-04	1.1E-04	9.1E-05	1.8E-06		oke
5200	5.2E-04	5.1E-04	5.3E-04	4.6E-06		oke
5212	2.0E-03	1.7E-03	1.5E-03	2.7E-06		oke
5227						oke
5231	6.1E-04	5.4E-04				oke
5250	3.5E-04	3.1E-04	2.6E-04	6.0E-10		oke
5267						oke
5271	6.8E-04	6.4E-04	6.4E-04	8.5E-12		oke
5289	1.5E-04	1.4E-04	1.1E-04	2.0E-12		oke

## D.5 Texel

Tabel D-5 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
900	5.8E-09	4.3E-09	3.6E-09	1.4E-15		oke
915	3.3E-08	1.5E-08	1.3E-08	4.4E-16		oke
930	1.3E-12	1.1E-13	1.5E-13	1.7E-16		oke
945	9.6E-10	6.5E-10	7.2E-10	9.3E-14		oke
960	7.7E-08	5.8E-08	5.9E-08	2.7E-16		oke
976	8.1E-08	2.7E-08	3.9E-08	6.9E-17		oke
1000	1.5E-09	5.6E-10				oke
1001	2.0E-08	1.1E-08				oke
1013	2.2E-08	5.4E-09	3.4E-07	2.9E-17		oke
1033	4.9E-10	3.7E-10	3.8E-10	3.4E-18		oke
1053	2.4E-07	1.2E-07	1.3E-07	3.5E-17		oke
1073	6.0E-08	6.3E-08	4.2E-08	1.1E-15		oke
1093	2.3E-08	2.1E-08	7.8E-09	7.8E-09		oke
1108	2.7E-08	3.9E-08	3.6E-08	1.0E-15		oke
1128	7.7E-07	4.7E-07	4.0E-07	3.6E-16		oke
1148	3.1E-07	4.2E-07	3.6E-07	9.8E-09		oke
1168	5.2E-07	7.6E-07	9.7E-13	9.7E-13		oke
1190	8.6E-07	2.1E-06	1.8E-14	1.8E-14		oke
1210	5.2E-06	4.6E-06	4.2E-06	4.2E-16		oke
1230	1.8E-05	1.3E-05	1.1E-05	4.6E-16		oke
1249	3.3E-05	3.3E-05	2.9E-05	2.1E-16		oke
1269	8.8E-06	1.2E-05	1.2E-05	2.5E-15		oke
1289	4.3E-06	4.1E-06	2.2E-06	2.7E-16		oke
1298	1.7E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.6E-15	1.6E-09	oke
1312	1.2E-05	1.4E-05	1.2E-05	4.4E-16		oke
1332	1.2E-05	1.9E-05	1.3E-05	2.4E-16		oke
1352	6.0E-06	5.0E-06	4.7E-06	2.3E-16		oke
1372	8.1E-07	1.1E-06	8.9E-07	2.0E-15	2.5E-08	oke
1392	1.3E-05	1.3E-05	4.0E-06	3.5E-15		oke
1410	6.8E-06	5.1E-06	5.3E-06	7.1E-16		oke
1430	4.7E-06	3.7E-06	3.5E-06	8.8E-16		oke
1450	1.8E-06	4.9E-06	3.2E-06	1.3E-15		oke
1470	4.4E-06	3.1E-06	2.6E-06	9.0E-15		oke
1490	5.6E-07	1.1E-06	7.7E-07	3.4E-15		oke
1506	1.3E-08	1.4E-08	1.3E-08	8.6E-14		oke
1526	7.0E-06	1.2E-05	1.2E-05	6.5E-17		oke
1546	3.1E-10	6.2E-10	5.3E-10	6.1E-16		oke
1566	2.8E-10	4.1E-10	3.7E-10	1.1E-15		oke
1586	3.4E-06	4.0E-06	2.9E-06	5.1E-15		oke
1604	2.0E-12	2.8E-12	2.5E-12	8.0E-16		oke
1624	2.9E-10	3.5E-10	1.4E-07	2.1E-14		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1644	1.1E-06	1.6E-06	1.2E-06	2.1E-14		oke
1664	3.0E-05	2.6E-05	3.7E-05	1.4E-14	2.7E-08	oke
1684	7.4E-07	7.5E-07	9.3E-07	7.1E-15		oke
1694			1.0E-05	1.2E-15		oke
1703	4.8E-06	7.2E-06	7.2E-07	6.1E-15		oke
1723	1.1E-05	1.3E-05	1.7E-05	1.5E-14		oke
1743	2.6E-11	3.7E-11	1.0E-05	1.8E-14		oke
1763	5.9E-07	1.3E-06	1.3E-06	1.4E-14		oke
1778	7.2E-07	1.0E-06	2.5E-04	1.9E-14		oke
1793	3.6E-07	4.3E-07	4.7E-07	1.4E-14		oke
1813	4.1E-07	4.1E-07	3.2E-07	4.5E-15		oke
1833	4.7E-06	3.9E-06	4.8E-06	6.0E-15		oke
1853	6.3E-06	4.7E-06	4.7E-06	9.5E-14		oke
1873	2.0E-05	1.4E-05	8.2E-06	2.7E-14		oke
1893	2.2E-05	3.5E-05	2.7E-05	1.2E-12	1.5E-08	oke
1912	1.2E-05	1.2E-05	1.1E-05	2.2E-13		oke
1932	9.3E-05	1.2E-04	1.2E-04	7.4E-12		oke
1952	3.7E-05	4.6E-05	6.0E-05	7.0E-11		oke
1972	2.0E-05	3.0E-05	3.6E-05	5.4E-13		oke
1992	1.2E-06	2.0E-06	2.3E-06	2.6E-13		oke
2011	3.7E-05	5.2E-05	5.6E-05	1.7E-13		oke
2031	2.4E-05	1.7E-05	1.7E-05	3.0E-13		oke
2051	3.1E-05	1.7E-05	1.6E-05	6.9E-14		oke
2071	1.1E-05	1.1E-05	8.0E-06	3.7E-14		oke
2091	2.1E-05	2.5E-05	1.8E-05	3.6E-14	2.8E-10	oke
2111	3.7E-06	5.0E-06	3.7E-06	1.0E-16		oke
2131	5.4E-07	4.4E-07	5.5E-07	5.2E-16		oke
2151	6.8E-07	8.3E-07	5.8E-08	2.3E-14		oke
2171	5.3E-07	4.1E-07	7.4E-09	1.2E-14		oke
2191	3.2E-07	2.6E-07	2.2E-07	8.4E-16		oke
2211	1.9E-07	1.7E-07	1.4E-07	1.8E-15		oke
2231	1.3E-07	2.3E-07	1.8E-07	5.4E-15		oke
2251	8.0E-08	2.2E-07	2.0E-07	5.4E-15		oke
2271	2.8E-07	3.8E-07	4.3E-07	3.5E-15		oke
2291	4.8E-07	7.8E-07	6.2E-07	3.5E-15		oke
2300	9.1E-07	1.3E-06	1.2E-06	9.5E-15		oke
2320	3.2E-06	2.5E-06	1.9E-05	1.6E-16	8.1E-09	oke
2340	2.7E-06	3.9E-06	2.1E-05	6.4E-17		oke
2360	1.0E-06	8.6E-07	7.7E-07	3.7E-16		oke
2380	1.0E-07	8.7E-08	1.4E-07	1.3E-16		oke
2400	2.2E-09	2.7E-09	1.1E-09	4.7E-12		oke
2420	2.2E-09	2.5E-09	5.5E-11	2.8E-13		oke
2440	5.9E-10	7.3E-10	1.3E-09	1.1E-15		oke
2460	3.0E-07	4.2E-07	4.7E-07	8.1E-13		oke
2480			3.6E-20	3.6E-20	9.3E-06	geen oordeel
2500			2.6E-17	2.6E-17		geen oordeel



<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
2520			1.5E-11	2.9E-13		oke
2540	5.2E-13	2.8E-13	2.1E-13	3.4E-15		oke
2560	1.4E-10	1.4E-10	2.6E-07	5.0E-14		oke
2580	5.2E-06	2.6E-06	3.1E-06	2.7E-13		oke
2600	3.2E-07	4.2E-07	3.3E-07	3.6E-14		oke
2620	2.4E-07	9.2E-07	3.2E-07	3.4E-13		oke
2640	7.3E-07	2.7E-07	1.9E-07	3.6E-09		oke
2660	7.7E-08	8.4E-08	7.5E-08	8.9E-14		oke
2680	2.1E-07	1.5E-07	1.4E-07	4.4E-14		oke
2700	1.2E-06	5.8E-07	3.9E-07	2.3E-13		oke
2720	3.5E-09	1.2E-08	3.0E-07	4.4E-13	6.8E-08	oke
2740	5.3E-09	1.7E-09	1.9E-09	1.7E-13		oke
2760	5.2E-07	1.1E-07	6.7E-08	5.7E-13		oke
2780	1.9E-05	1.2E-06	6.6E-07	1.8E-16	3.2E-08	oke
2800	3.1E-05	1.6E-05	7.7E-06	3.8E-17		oke
2820	1.5E-09	1.7E-09	8.9E-05	1.1E-15		oke
2840	1.3E-10	1.4E-10	4.0E-04	1.7E-16		oke
2860	6.1E-10	1.2E-09	9.0E-10	1.3E-16		oke
2880	9.9E-09	1.5E-08	1.5E-08	4.5E-17		oke
2900	1.0E-15	2.7E-14	2.7E-14	2.7E-14	3.0E-11	oke
2901	5.0E-10	9.2E-10				oke
2917	2.9E-12		4.9E-05	5.8E-17		oke
2937		6.0E-15	7.4E-06	7.2E-15		oke
2957	1.8E-07	4.9E-07	2.6E-07	3.1E-12		oke
2977	8.0E-09	5.6E-09	3.9E-09	3.9E-15		oke
3001			5.7E-18	5.7E-18		oke
3021			1.4E-21	1.4E-21		oke
3041	1.0E-15	1.0E-15	5.1E-16	5.1E-16	1.6E-08	oke
3061			2.3E-16	2.3E-16		oke
3081	1.0E-15	1.0E-15	8.7E-16	3.7E-16		oke

## D.6 Noord-Holland

Tabel D-6 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
30			8.0E-10	8.0E-10		afgekeurd
50			4.2E-07	4.2E-07		afgekeurd
70			1.2E-07	1.2E-07		afgekeurd
90			1.2E-07	1.2E-07		afgekeurd
110						afgekeurd
130						afgekeurd
150	1.1E-03	8.5E-04	2.9E-09	2.9E-09		oke
170	5.8E-04	9.9E-04	8.1E-04	1.6E-10		oke
190	2.4E-04	2.2E-04	1.7E-04	8.4E-09		oke
210	8.7E-05	7.5E-05	7.3E-05	4.1E-09		oke
230	5.7E-05	5.3E-05	2.1E-05	1.5E-09		oke
249	7.7E-10	6.6E-10	6.0E-10	6.0E-10		oke
269	1.6E-06	2.0E-06	2.8E-08	8.1E-10		oke
289	1.7E-11	2.1E-11	2.5E-11	2.5E-11		oke
308	1.7E-13	1.6E-13	1.8E-13	1.8E-13		oke
328	1.6E-11	2.4E-11	2.6E-11	2.6E-11		oke
348	6.7E-12	9.0E-12	7.7E-12	7.7E-12		oke
369	4.0E-10	4.4E-10	2.6E-10	1.6E-10		oke
390	1.2E-13	2.7E-13	2.2E-13	2.2E-13		oke
409	2.9E-12	3.8E-12	3.4E-12	3.4E-12		oke
429	4.1E-11	8.0E-11	1.2E-10	1.2E-10		oke
449	1.4E-12	3.1E-12	2.5E-11	2.5E-11		oke
469	2.6E-10	3.2E-10	3.8E-10	2.3E-10		oke
489	2.8E-10	4.3E-10	8.3E-10	2.4E-10		oke
508	5.2E-09	6.1E-09	1.2E-08	1.2E-09		oke
528	1.5E-11	2.7E-11	6.1E-11	6.1E-11		oke
548	1.9E-07	1.8E-07	2.0E-11	2.0E-11		oke
568	2.9E-12	3.1E-12	3.9E-11	3.9E-11		oke
588	3.0E-12	3.9E-12	7.9E-11	7.9E-11		oke
608	3.5E-11	4.6E-11	4.7E-11	4.7E-11		oke
628	7.8E-11	7.7E-11	6.1E-11	6.1E-11		oke
648	5.7E-14	1.1E-12	2.6E-14	2.6E-14		oke
668	7.5E-14	7.2E-14	1.3E-06	4.7E-10		oke
689	2.5E-12	1.2E-12	8.6E-14	8.6E-14		oke
708	7.3E-06	6.3E-06	1.6E-06	4.6E-10		oke
728	5.5E-06	5.7E-06	5.5E-07	1.3E-10		oke
748	3.5E-07	1.6E-07	2.7E-08	3.7E-10		oke
768	1.1E-06	6.0E-07	6.2E-08	2.9E-08		oke
789	1.5E-08	1.5E-08	1.0E-08	2.8E-09		oke
808	4.3E-09	6.2E-09	5.0E-09	2.6E-09		oke
827	1.7E-06	2.4E-06	6.5E-07	8.2E-09		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
848	1.6E-06	1.0E-06	2.3E-07	3.4E-09		oke
869	1.1E-07	4.7E-08	3.9E-07	3.2E-09		oke
889	1.3E-07	1.2E-07	6.7E-08	1.4E-08		oke
908	1.8E-06	1.8E-06	6.4E-08	6.4E-08		oke
928	1.4E-06	3.0E-06	5.9E-07	5.9E-07		oke
948	1.5E-06	2.0E-06	6.0E-07	6.0E-07		oke
968	3.5E-07	4.3E-07	2.4E-07	2.4E-07		oke
984	1.5E-07	1.4E-07	4.7E-08	4.7E-08		oke
1000	8.1E-07	9.6E-07	4.7E-07	4.7E-07		oke
1016	8.4E-07	6.2E-07	5.1E-07	5.1E-07		oke
1031	8.8E-08	1.2E-07	1.2E-07	1.2E-07		oke
1047	5.4E-07	5.8E-07	7.7E-07	3.5E-07		oke
1062	7.5E-08	1.2E-07	1.1E-08	1.1E-08		oke
1078	1.2E-09	1.5E-09	1.7E-06	1.7E-07		oke
1093	1.8E-08	2.0E-08	8.6E-09	8.6E-09		oke
1108	1.5E-08	1.9E-08	5.5E-08	5.5E-08		oke
1123	2.5E-07	2.1E-07	4.1E-07	4.1E-07		oke
1137	3.3E-07	3.6E-07	8.5E-07	8.5E-07		oke
1152	1.5E-07	2.5E-07	6.5E-07	6.5E-07		oke
1167	1.0E-07	5.0E-08	2.1E-07	2.1E-07		oke
1182	1.5E-08	1.7E-08	4.0E-08	4.0E-08		oke
1197	2.2E-07	3.3E-07	1.7E-06	1.7E-06		afgekeurd
1213	1.1E-08	1.4E-08	8.8E-08	8.8E-08		afgekeurd
1228	1.4E-07	1.9E-07	1.0E-06	1.0E-06		afgekeurd
1243	1.1E-06	1.2E-06	7.0E-06	7.0E-06		afgekeurd
1258	1.2E-06	1.1E-06	5.3E-06	5.3E-06		afgekeurd
1273	7.0E-06	4.8E-06	2.7E-06	2.7E-06		afgekeurd
1288	3.3E-07	3.9E-07	2.5E-07	2.5E-07		afgekeurd
1303	8.2E-06	6.6E-06	4.2E-06	4.2E-06		afgekeurd
1320	1.5E-05	1.4E-05	5.9E-06	5.9E-06		afgekeurd
1340	4.8E-06	6.0E-06	2.2E-06	3.9E-07		afgekeurd
1360	1.6E-05	1.5E-05	5.8E-06	3.5E-07		afgekeurd
1381	6.3E-10	8.2E-10	2.8E-10	1.3E-12		oke
1401	1.8E-06	2.3E-06	5.7E-07	1.6E-12		oke
1421	1.7E-06	2.6E-06	7.7E-07	3.6E-12		oke
1442	4.7E-09	7.2E-09	4.8E-07	4.1E-11		oke
1462	8.0E-09	7.8E-09	8.5E-09	6.1E-12		oke
1483	3.2E-05	3.9E-05	2.7E-05	5.4E-11		oke
1503	3.7E-05	5.4E-05	3.6E-05	1.5E-11		oke
1524	8.6E-06	1.5E-05	8.5E-06	4.5E-10		oke
1544	2.9E-08	2.9E-08	1.6E-08	1.6E-08		oke
1565	1.7E-06	1.6E-06	6.6E-07	6.6E-07		oke
1585	1.7E-08	2.5E-08	4.1E-06	2.0E-11		oke
1606	2.2E-08	2.2E-08	7.9E-09	7.9E-09		oke
1626	9.9E-09	1.8E-08	4.7E-09	4.7E-09		oke
1647	2.3E-06	8.3E-07	7.3E-07	7.3E-07		oke
1668	1.5E-05	7.0E-06	2.3E-06	1.4E-10		oke
1688	1.3E-07	6.5E-08	8.0E-08	9.3E-12		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1708	1.4E-07	1.5E-07	1.5E-07	7.4E-12		oke
1729	1.3E-07	7.7E-08	2.1E-06	1.3E-11		oke
1748	2.9E-06	1.4E-06	1.7E-06	7.2E-12		oke
1763	5.6E-07	5.8E-07	8.0E-07	1.5E-11		oke
1777	1.0E-07	6.2E-08	9.9E-08	3.8E-12		oke
1791	4.8E-13	3.0E-13	8.0E-13	8.0E-13		oke
1808	2.7E-11	2.7E-11	3.7E-11	8.9E-12		oke
1827	2.9E-10	1.6E-10	1.4E-10	1.4E-11		oke
1844	2.0E-12	9.9E-13	2.8E-05	8.2E-12		oke
1862	1.3E-04	6.0E-05	5.7E-05	5.8E-12		oke
1880	7.6E-11	9.3E-11	2.7E-04	5.4E-11		oke
1896	2.9E-03	1.5E-03	1.4E-03	4.3E-11		oke
1910	1.6E-03	1.0E-03	1.0E-03	5.4E-11		oke
1925	3.9E-03	4.0E-03	3.9E-03	3.4E-11		oke
1940	8.6E-04	6.8E-04	8.9E-04	4.2E-10		oke
1955	3.8E-04	3.9E-04	5.5E-04	1.1E-10		oke
1969	6.7E-04	9.9E-04	3.6E-05	6.4E-10		oke
1983	4.4E-05	1.6E-05	1.6E-03	2.0E-09		afgekeurd
1996	9.6E-05	9.7E-05	1.4E-04	3.1E-09		afgekeurd
2009	3.2E-03	4.2E-03	5.2E-03	2.4E-04		afgekeurd
2058			1.3E-05	1.3E-05		afgekeurd
2071			1.5E-05	1.5E-05		afgekeurd
2083			1.2E-05	1.2E-05		afgekeurd
2100			2.8E-05	2.8E-05		afgekeurd
2123			3.9E-05	3.9E-05		afgekeurd
2146			2.0E-05	2.0E-05		afgekeurd
2173			1.4E-05	1.4E-05		afgekeurd
2200			2.1E-05	2.1E-05		afgekeurd
2225			1.6E-05	1.6E-05		afgekeurd
2251			1.1E-05	1.1E-05		afgekeurd
2283			6.4E-06	6.4E-06		afgekeurd
2300			1.3E-05	1.3E-05		afgekeurd
2317			1.6E-05	1.6E-05		afgekeurd
2332			7.6E-06	7.6E-06		afgekeurd
2345			1.6E-05	1.6E-05		afgekeurd
2358			2.2E-05	2.2E-05		afgekeurd
2371			1.8E-05	1.8E-05		afgekeurd
2386			1.8E-05	1.8E-05		afgekeurd
2400			1.8E-05	1.8E-05		afgekeurd
2415			1.8E-05	1.8E-05		afgekeurd
2427			1.8E-05	1.8E-05		afgekeurd
2440			2.1E-05	2.1E-05		afgekeurd
2454			2.4E-05	2.4E-05		afgekeurd
2469			2.2E-05	2.2E-05		afgekeurd
2487			2.0E-05	2.0E-05		afgekeurd
2500			8.0E-06	8.0E-06		afgekeurd
2512			1.2E-05	1.2E-05		afgekeurd
2531			1.6E-05	1.6E-05		afgekeurd

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
2557			1.5E-05	1.5E-05		afgekeurd
2582			8.0E-06	8.0E-06		oke
2606	1.7E-07	6.2E-08	5.0E-08	4.2E-13		oke
2629	6.0E-08	6.6E-08	3.5E-08	2.9E-12		oke
2654	1.9E-04	1.4E-04	1.7E-04	4.1E-13		oke
2677	3.9E-04	5.3E-04	6.3E-04	4.1E-13		oke
2700	5.9E-11	5.4E-11	5.5E-11	4.1E-13		oke
2716	4.0E-11	2.4E-11	2.3E-09	4.1E-13		oke
2732	9.7E-06	2.9E-06	6.3E-06	4.1E-13		oke
2747	3.7E-04	2.6E-04	8.6E-08	4.1E-13		oke
2764	3.5E-09	8.8E-09	8.8E-09	1.1E-12		oke
2782	3.5E-06	2.9E-06	5.2E-06	4.1E-13		oke
2800	2.2E-08	3.5E-08	3.2E-08	4.1E-13		oke
2816	2.8E-10	4.3E-10	5.2E-10	4.1E-13		oke
2832	3.6E-08	3.0E-08	3.5E-08	8.1E-13		oke
2847	1.1E-05	7.9E-06	7.2E-06	4.1E-13		oke
2864	2.1E-12	1.7E-12	4.6E-08	4.1E-13		oke
2882	1.6E-04	6.5E-05	9.1E-12	4.1E-13		oke
2900	4.0E-05	2.1E-05	6.0E-10	4.1E-13		oke
2923	8.3E-04	1.2E-03	1.6E-06	4.1E-13		oke
2945	4.6E-04	8.1E-04	4.1E-04	4.1E-13		oke
2965	1.1E-03	9.3E-04	7.0E-04	4.2E-13		oke
2987	1.0E-05	1.2E-05	7.9E-06	4.3E-13		oke
3000	1.5E-04	1.7E-04	1.4E-04	5.0E-13		oke
3025	1.4E-05	1.4E-05	1.0E-05	4.5E-13		oke
3050	9.6E-06	6.8E-06	3.2E-05	6.4E-13		oke
3075	7.2E-06	4.3E-06	4.2E-06	4.4E-13		oke
3100	3.1E-06	2.2E-06	1.5E-06	4.3E-13		oke
3125	8.0E-15	8.0E-15	4.4E-05	4.1E-13		oke
3150	1.3E-04	9.6E-05	5.2E-05	4.1E-13		oke
3175	5.8E-05	7.3E-05	2.8E-05	4.1E-13		afgekeurd
3200	1.4E-05	1.3E-05	4.6E-06	4.1E-13		oke
3225	3.8E-06	2.9E-06	1.3E-06	4.1E-13		oke
3250	3.6E-06	7.0E-06	2.1E-06	2.1E-06		oke
3275	2.2E-06	2.4E-06	2.6E-07	2.6E-07		oke
3300	2.5E-08	3.4E-08	1.7E-08	1.7E-08		oke
3325	5.6E-08	5.9E-08	5.9E-08	5.9E-08		oke
3350	3.7E-07	3.9E-07	2.3E-07	2.3E-07		oke
3375	1.0E-08	7.6E-09	5.0E-09	5.0E-09		oke
3400	7.9E-07	7.2E-07	3.1E-07	4.1E-13		oke
3425	7.2E-08	8.6E-08	4.6E-08	4.1E-13		oke
3450	7.1E-08	7.7E-08	7.5E-08	4.1E-13		oke
3475	3.6E-07	4.0E-07	3.2E-07	4.1E-13		oke
3500	1.6E-07	1.2E-07	8.6E-08	4.1E-13		oke
3525	4.2E-08	3.0E-08	5.8E-08	5.8E-13		oke
3550	1.3E-06	1.2E-06	4.3E-07	4.1E-13		oke
3575	7.8E-06	7.7E-06	5.2E-06	4.1E-13		oke
3600	1.4E-06	1.2E-06	1.3E-06	4.1E-13		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
3625	5.0E-07	5.3E-07	4.9E-07	4.1E-13		oke
3650	1.0E-05	7.9E-06	1.2E-08	4.1E-13		oke
3675	1.1E-07	1.2E-07	1.2E-07	4.1E-13		oke
3700	5.3E-07	5.0E-07	4.2E-07	4.1E-13		oke
3725	1.8E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08		oke
3750	4.4E-08	5.0E-08	5.1E-08	5.1E-08		oke
3775	8.1E-10	6.4E-10	6.4E-10	6.4E-10		oke
3800	4.4E-06	4.3E-06	6.4E-10	6.4E-10		oke
3825	8.3E-10	6.4E-10	6.4E-10	6.4E-10		oke
3850	4.1E-10	4.2E-10	4.2E-10	4.2E-10		oke
3875	5.9E-07	5.9E-07	1.1E-06	1.1E-06		oke
3900	9.7E-10	1.2E-09	1.4E-09	4.5E-13		oke
3925	6.4E-07	7.7E-07	1.2E-07	5.4E-13		oke
3950	2.6E-07	4.0E-07	4.7E-07	6.3E-13		oke
3975	8.9E-08	4.2E-08	5.6E-08	9.1E-13		oke
4000	2.1E-09	2.3E-09	1.6E-09	9.4E-13		oke
4025	3.7E-07	3.2E-07	2.7E-07	4.1E-13		oke
4050	2.2E-08	2.0E-08	1.9E-08	1.5E-12		oke
4075	1.0E-08	7.8E-09	8.7E-09	1.3E-12		oke
4100	1.1E-06	4.7E-07	6.0E-07	1.2E-12		oke
4125	5.6E-08	7.7E-08	7.4E-08	8.2E-13		oke
4150	2.8E-06	3.3E-06	5.0E-08	4.3E-12		oke
4175	1.4E-07	1.4E-07	2.1E-07	3.4E-12		oke
4200	1.4E-07	8.8E-08	6.7E-08	1.5E-12		oke
4225	9.2E-08	8.1E-08	9.4E-08	1.2E-12		oke
4250	7.0E-08	6.7E-08	4.9E-08	7.0E-13		oke
4275	2.0E-07	2.3E-07	2.6E-07	4.1E-12		oke
4300	3.9E-07	3.6E-07	2.6E-07	9.5E-13		oke
4325	5.0E-08	5.4E-08	7.4E-08	3.3E-12		oke
4350	6.2E-08	5.4E-08	5.7E-08	2.2E-12		oke
4375	4.4E-07	2.8E-07	2.3E-07	7.6E-13		oke
4400	2.7E-07	5.3E-07	1.8E-07	2.5E-12		oke
4425	3.0E-07	3.5E-07	3.1E-07	6.7E-13		oke
4450	6.1E-07	3.8E-07	3.8E-07	1.4E-12		oke
4475	2.5E-09	2.7E-09	2.4E-14	2.4E-14		oke
4500	8.6E-07	6.2E-07	3.3E-07	2.4E-12		oke
4525	9.8E-07	6.1E-07	6.4E-07	9.3E-12		oke
4550	8.8E-09	5.5E-09	3.6E-09	3.8E-10		oke
4575	5.8E-07	4.7E-07	4.3E-07	1.4E-12		oke
4600	2.7E-07	2.5E-07	1.0E-07	3.7E-12		oke
4625	1.7E-07	1.6E-07	3.8E-09	7.5E-10		oke
4650	6.5E-07	6.3E-07	3.5E-09	3.5E-09		oke
4675	5.8E-07	6.3E-07	6.0E-07	5.4E-12		oke
4700	2.2E-07	2.2E-07	1.8E-07	3.8E-12		oke
4725	5.9E-06	6.3E-06	6.4E-06	1.6E-12		oke
4750	3.6E-07	4.7E-07	5.2E-07	2.3E-12		oke
4775	6.2E-07	5.9E-07	5.6E-07	6.9E-12		oke
4800	1.2E-04	1.7E-04	1.1E-04	5.0E-13		afgekeurd

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
4825	1.3E-06	1.5E-06	1.1E-07	5.8E-13		afgekeurd
4850	2.5E-03	9.2E-04	7.9E-08	4.2E-13		afgekeurd
4875	4.1E-05	3.1E-05	3.7E-05	2.9E-12		afgekeurd
4900	6.1E-06	7.5E-06	7.3E-06	1.8E-11		afgekeurd
4925	1.0E-04	9.8E-05	1.2E-04	1.6E-12		afgekeurd
4950	2.8E-03	3.4E-03	3.0E-03	1.4E-12		afgekeurd
4975	9.0E-04	9.3E-04	1.0E-03	1.7E-12		afgekeurd
5000	2.2E-04	2.4E-04	2.3E-04	1.7E-12		afgekeurd
5025	1.6E-05	2.0E-05	1.9E-05	4.9E-12		oke
5050	6.6E-06	7.2E-06	6.7E-06	2.4E-12		oke
5075	2.8E-04	1.9E-04	2.2E-04	5.6E-13		oke
5100	8.0E-05	1.1E-04	3.5E-06	3.1E-12		oke
5125	4.1E-06	3.5E-06	2.8E-08	2.8E-08		oke
5150	1.2E-06	1.1E-06	9.5E-16	9.5E-16		oke
5175	9.4E-08	8.4E-08	1.8E-07	1.8E-07		oke
5200	7.0E-11	6.2E-11	1.3E-11	1.3E-11		oke
5225	8.3E-13	7.4E-13	6.9E-13	6.9E-13		oke
5250	7.5E-09	1.0E-09	1.9E-09	1.9E-09		oke
5275	4.6E-09	4.8E-09	1.0E-09	4.7E-10		oke
5300	2.9E-09	2.3E-09	1.2E-08	3.7E-09		oke
5325	2.0E-10	2.1E-10	2.7E-11	2.7E-11		oke
5350	7.2E-10	5.5E-10	5.0E-11	5.0E-11		oke
5375	5.4E-08	5.3E-08	2.2E-08	2.2E-08		oke

## D.7 Rijnland

Tabel D-7 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
5650	2.1E-07	2.4E-07			x	oke
5675	6.1E-10	7.4E-10	7.1E-06	4.1E-13		oke
5700	1.1E-09	9.9E-10	1.1E-05	4.1E-13		oke
5725	1.4E-10	2.1E-10	1.8E-10	4.1E-13		oke
5750	2.3E-10	2.5E-10	2.3E-10	4.1E-13		oke
5775	9.0E-10	1.0E-09	7.6E-10	4.1E-13		oke
5800	4.3E-09	3.9E-09	1.4E-10	3.9E-12		oke
5825	9.1E-09	4.9E-09	6.9E-09	4.1E-13		oke
5850	5.4E-11	5.4E-11	5.0E-11	4.1E-13		oke
5875	9.0E-11	8.7E-11	1.1E-10	4.1E-13		oke
5900	4.3E-10	5.2E-10	5.0E-10	4.1E-13		oke
5925	3.9E-09	7.1E-09	9.0E-09	4.1E-13		oke
5950	4.2E-08	5.5E-08	4.3E-08	4.1E-13		afgekeurd
5975	7.9E-07	1.0E-06	1.1E-06	4.1E-13		afgekeurd
6000	1.2E-06	1.2E-06	9.6E-07	4.1E-13		afgekeurd
6025	1.6E-06	1.8E-06	1.6E-06	4.1E-13		afgekeurd
6050	1.8E-05	1.7E-05	9.0E-13	4.1E-13		oke
6075	2.1E-08	1.7E-08	1.3E-08	1.2E-12		oke
6100	8.5E-08	9.7E-08	5.5E-08	1.0E-12	9.0E-08	oke
6125	7.8E-07	9.6E-07	3.4E-08	4.1E-13		oke
6150	5.0E-10	4.3E-10	4.7E-10	2.0E-12		oke
6175	6.5E-07	4.8E-07	2.0E-08	1.2E-10	1.4E-07	oke
6200	1.6E-06	1.0E-06	1.1E-07	6.5E-11		oke
6225	3.5E-07	8.8E-07	3.5E-07	3.5E-07		oke
6250	2.5E-08	2.1E-08	2.4E-08	2.4E-08		oke
6275	1.1E-07	1.5E-07	1.4E-07	1.4E-07		oke
6300	2.0E-08	2.0E-08	2.2E-08	2.2E-08		oke
6325	1.0E-07	9.5E-08	5.2E-08	5.2E-08		oke
6350	1.2E-07	1.9E-07	1.8E-07	1.8E-07		oke
6375	3.4E-08	5.9E-08	3.2E-08	3.2E-08		oke
6400	1.7E-08	1.8E-08	1.6E-08	1.6E-08		oke
6425	1.9E-08	8.6E-09	7.8E-09	7.8E-09		oke
6450	6.1E-08	4.8E-08	4.5E-08	4.5E-08		oke
6475	5.2E-07	4.8E-07	5.3E-08	5.3E-08		oke
6500	1.1E-07	1.2E-07	9.3E-08	9.3E-08		oke
6525	1.3E-07	1.5E-07	6.4E-10	6.4E-10	7.3E-07	oke
6550	1.0E-07	1.1E-07	4.7E-08	4.7E-08		oke
6575	7.3E-08	5.3E-08	9.8E-09	9.8E-09		oke
6600	7.0E-07	7.3E-07	7.8E-07	7.8E-07		oke
6625	6.7E-08	6.1E-08	1.0E-09	1.0E-09		oke
6650	2.4E-07	2.3E-07	3.3E-08	3.3E-08		oke



<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
6675	1.2E-07	1.0E-07	7.0E-09	7.0E-09		oke
6700	1.7E-06	5.1E-07	1.5E-06	1.5E-06		oke
6725	1.3E-06	1.3E-06	1.5E-06	1.5E-06		oke
6750	2.2E-06	4.0E-06	2.1E-06	2.1E-06		oke
6775	2.9E-06	2.5E-06	1.6E-06	9.6E-12		oke
6800	2.5E-06	9.2E-07	1.5E-06	7.2E-12		oke
6825	1.1E-06	5.6E-07	5.9E-07	2.5E-12		oke
6850	7.3E-06	3.2E-06	2.6E-06	2.7E-12		oke
6875	4.4E-07	3.9E-07	2.7E-07	6.4E-12	1.1E-06	oke
6900	9.8E-07	9.8E-07	6.3E-07	2.6E-12		oke
6925	1.1E-06	5.7E-07	5.8E-07	5.6E-12		oke
6950	6.5E-06	7.8E-06	8.7E-06	8.2E-12		oke
6975	1.0E-06	1.5E-06	1.5E-06	3.2E-12		oke
7000	1.3E-06	1.2E-06	1.3E-06	9.9E-12		oke
7025	2.8E-06	1.2E-06	1.1E-06	6.7E-12		oke
7050	3.5E-07	3.7E-07	4.3E-07	7.9E-12		oke
7075	3.2E-07	4.2E-07	4.8E-07	2.3E-11		oke
7100	8.8E-07	1.4E-06	1.3E-07	2.0E-10		oke
7125	1.4E-07	1.6E-07	1.5E-07	9.4E-12		oke
7150	3.8E-07	3.7E-07	2.8E-07	6.1E-12		oke
7175	4.2E-06	2.6E-06	3.8E-08	5.7E-12		oke
7200	6.8E-08	7.7E-08	1.0E-09	4.9E-10		oke
7225	1.4E-08	1.4E-08	3.7E-09	5.9E-11		oke
7250	1.1E-08	1.3E-08	8.2E-10	5.1E-11		oke
7275	1.3E-07	9.5E-08	6.6E-08	2.2E-11		oke
7300	2.2E-08	1.5E-08	5.9E-09	4.9E-10		oke
7325	3.9E-08	2.8E-08	4.2E-12	2.5E-12		oke
7350	4.9E-09	5.0E-09	5.0E-09	4.5E-12		oke
7375	1.2E-08	1.3E-08	9.5E-08	9.4E-12		oke
7400	1.7E-09	2.1E-09	3.3E-10	2.6E-11		oke
7425	4.0E-09	4.5E-09	6.7E-10	5.6E-12		oke
7450	3.3E-09	3.6E-09	1.3E-10	3.2E-12	1.3E-10	oke
7475	1.1E-08	1.6E-08	1.1E-09	1.1E-10		oke
7500	2.6E-08	1.1E-08	9.9E-09	2.7E-12		oke
7525	5.3E-08	1.1E-07	7.2E-08	1.5E-12		oke
7550	4.7E-09	5.2E-09	9.8E-10	4.5E-12		oke
7575	4.1E-08	2.6E-08	2.5E-09	7.1E-12		oke
7600	7.3E-08	5.0E-08	5.0E-08	1.6E-12		oke
7625	3.7E-08	3.1E-08	3.5E-08	3.0E-12		oke
7650	1.2E-06	8.3E-07	2.0E-07	2.5E-12		oke
7675	2.9E-08	6.2E-08	4.7E-08	2.3E-12		oke
7700	5.6E-08	5.7E-08	6.4E-08	3.0E-12		oke
7725	8.2E-09	6.0E-09	7.5E-09	1.2E-12		oke
7750	1.0E-08	1.0E-08	9.9E-09	6.9E-13		oke
7775	1.8E-07	1.4E-07	2.5E-07	4.3E-12	1.3E-07	oke
7800	1.3E-08	1.3E-08	1.7E-08	4.5E-12		oke
7825	9.0E-09	5.6E-09	2.6E-09	2.0E-12		oke
7850	1.9E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.7E-12		afgekeurd

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
7875	1.3E-09	1.8E-09	1.9E-10	1.6E-12		afgekeurd
7900	5.7E-07	4.2E-07	5.7E-07	1.5E-12		afgekeurd
7925	3.1E-07	2.1E-07	2.3E-07	1.2E-11		oke
7950	1.6E-06	1.3E-06	1.2E-06	1.5E-12		oke
7975	1.2E-06	7.7E-07	5.3E-07	1.8E-12		oke
8000	2.8E-06	1.6E-06	1.7E-06	4.0E-12		oke
8025	4.4E-07	6.5E-07	3.7E-07	9.0E-13		oke
8050	3.7E-08	5.8E-08	3.7E-08	3.7E-08		oke
8075	9.1E-08	9.2E-08	8.9E-08	8.9E-08		oke
8100	3.8E-08	5.2E-08	6.1E-08	6.1E-08		oke
8125	2.4E-07	1.7E-07	4.7E-08	4.7E-08		oke
8150	7.6E-07	6.2E-07	1.0E-08	1.0E-08	O(1E-07)	oke
8175	5.0E-06	4.5E-06	1.0E-08	1.0E-08		oke
8200	1.2E-08	1.2E-08	9.8E-09	9.8E-09		oke
8225	3.2E-10	2.9E-10	2.6E-10	2.6E-10		oke
8250	6.4E-11	1.0E-11	3.8E-19	3.8E-19		oke
8275	2.4E-10	2.7E-10	6.0E-20	6.0E-20		oke
8300	4.0E-09	4.5E-09	5.7E-17	5.7E-17		oke
8325	4.4E-10	3.8E-10	3.0E-22	3.0E-22		oke
8350	6.0E-11	5.0E-11	1.7E-14	1.7E-14		oke
8375	1.2E-10	5.9E-11	7.4E-15	7.4E-15		oke
8400	2.8E-09	2.7E-09	5.4E-19	5.4E-19		oke
8425	4.8E-08	6.3E-08	4.2E-08	4.2E-08		oke
8450	9.5E-09	7.9E-09	3.0E-16	3.0E-16		oke
8475	1.3E-09	2.6E-09	4.1E-16	4.1E-16		oke
8500	4.3E-10	8.0E-10	1.4E-14	1.4E-14		oke
8525	2.4E-08	2.0E-08	1.8E-08	1.8E-08		oke
8550	1.4E-08	6.4E-09	1.0E-08	1.0E-08		oke
8575	5.1E-08	4.2E-08	4.9E-08	4.9E-08	1.0E-08	oke
8600	1.5E-07	1.6E-07	1.0E-11	1.0E-11		oke
8625	3.4E-08	3.3E-08	2.9E-08	2.9E-08		oke
8650	3.3E-08	3.1E-08	5.1E-09	5.1E-09		oke
8675	4.5E-05	2.7E-05				afgekeurd
8700	8.9E-04	6.3E-04	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	afgekeurd
8725	1.6E-07	1.4E-07				afgekeurd
8750	7.5E-09	2.0E-08	4.9E-17	4.9E-17		oke
8775	1.7E-06	1.7E-06	1.3E-06	1.3E-06		oke
8800	1.5E-07	1.5E-07	1.8E-07	1.8E-07		oke
8825	5.1E-09	6.9E-09	5.0E-09	3.9E-12		oke
8850	2.5E-09	3.2E-09	3.3E-11	5.5E-12		oke
8875	2.7E-08	2.3E-08	9.3E-09	5.3E-12		oke
8900	5.7E-08	3.2E-08	5.6E-08	1.5E-12		oke
8925	3.3E-08	1.9E-08	1.4E-08	1.0E-12		oke
8950	2.0E-08	8.2E-09	3.4E-10	7.8E-12	3.2E-09	oke
8975	3.6E-08	3.6E-08	2.0E-08	4.0E-12		oke
9000	3.6E-08	3.7E-08	4.1E-08	1.3E-11		oke
9025	1.3E-08	1.0E-08	6.0E-09	1.1E-12		oke
9050	2.0E-08	3.5E-08	3.0E-08	2.0E-12		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
9075	2.9E-08	2.3E-08	2.6E-08	1.5E-12	3.7E-08	oke
9100	8.4E-09	1.7E-08	9.0E-09	1.5E-12		oke
9125	2.1E-08	1.7E-08	1.7E-08	2.3E-12		oke
9150	5.1E-09	6.5E-09	5.6E-09	1.0E-12		oke
9175	5.7E-10	7.5E-10	1.0E-09	1.0E-12		oke
9200	1.2E-09	8.6E-10	1.7E-09	4.1E-13		oke
9225	1.5E-08	9.0E-09	1.9E-08	4.1E-13		oke
9250	9.4E-10	8.2E-10	1.1E-08	4.6E-13		oke
9275	7.8E-09	3.0E-09	3.1E-09	8.8E-12		oke
9300	5.7E-09	6.4E-09	5.1E-09	6.8E-13		oke
9325	1.2E-08	1.1E-08	8.6E-09	4.3E-13		oke
9350	1.2E-08	7.1E-09	5.6E-09	2.1E-10		oke
9375	3.9E-08	1.7E-08	8.9E-09	5.8E-13		oke
9400	4.6E-08	4.2E-08	3.8E-08	1.7E-12		oke
9425	1.7E-07	3.5E-07	1.7E-07	7.0E-13		oke
9450	2.0E-08	1.6E-08	7.3E-17	7.3E-17		oke
9475	9.9E-07	7.5E-07	5.5E-07	1.2E-12		oke
9500	2.8E-08	3.1E-08	2.1E-08	2.2E-12		oke
9525	1.2E-07	7.4E-08	1.1E-07	1.2E-12	7.4E-07	oke
9550	6.4E-09	2.4E-09	2.7E-11	2.7E-11		oke
9575	1.7E-08	1.9E-08	1.1E-08	5.3E-13		oke
9600	7.5E-05	6.5E-05	8.9E-08	8.9E-13		oke
9625	4.5E-06	4.1E-06	3.7E-06	4.4E-13		oke
9650	4.1E-06	3.8E-06	8.2E-06	7.6E-13		oke
9675	1.2E-04	1.2E-04	1.1E-09	1.2E-11		oke
9700	1.8E-06	1.0E-06	1.3E-08	2.6E-11		oke
9725	4.4E-09	3.8E-09	1.4E-09	1.0E-11		oke

## D.8 Delfland

Tabel D-8 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
9740						oke
9750			1.3E-08	1.3E-08		oke
9770	4.9E-09	1.8E-09	1.5E-09	1.1E-11		oke
9795	3.0E-09	3.4E-09	1.6E-09	2.7E-11		oke
9807		2.7E-09				oke
9813	1.8E-09	2.2E-09				oke
9830	2.3E-09	1.1E-09	1.1E-09	1.4E-12	1.2E-11	oke
9847	3.8E-10	4.1E-10				oke
9853	9.8E-10	9.3E-10				oke
9875	3.7E-09	3.3E-09	3.7E-09	3.7E-09		oke
9897	7.0E-07	3.4E-07				oke
9903	8.4E-08	7.0E-08				oke
9925	1.1E-07	9.1E-08	1.7E-08	1.7E-08	5.4E-12	oke
9947						oke
9953						oke
9975	1.3E-07	4.2E-08	1.2E-11	1.2E-11		oke
9997	5.3E-06	2.3E-07				oke
10003	5.2E-06	4.6E-07				oke
10025	2.9E-07	2.5E-08	9.4E-09	9.4E-09	O(1E-7)	oke
10047						oke
10053	6.8E-04					oke
10075	2.8E-07	1.7E-08	8.0E-09	8.0E-09	3.7E-08	oke
10097	3.6E-07	1.6E-08				oke
10103						oke
10125	1.4E-05	8.5E-07	4.3E-07	4.3E-07		geen oordeel
10140	6.8E-06	5.1E-07	2.8E-07	2.8E-07	x	geen oordeel
10193						geen oordeel
10200	6.5E-06	8.5E-06	4.9E-06	4.9E-06		oke
10217	4.4E-11	3.9E-11	3.4E-11	3.4E-11		oke
10235	1.3E-10	1.6E-10	5.8E-11	5.8E-11		oke
10258	1.6E-11	2.4E-11				oke
10264	9.9E-12	1.8E-11				oke
10288	8.4E-08	7.4E-08	2.5E-08	2.5E-08		oke
10309	5.0E-06	3.5E-06				oke
10315	1.8E-05	1.0E-05				oke
10338	2.7E-11	3.4E-11	2.1E-16	2.1E-16	4.6E-11	oke
10361	4.3E-05	2.6E-05				oke
10367		1.3E-05				oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
10391	2.0E-09	1.8E-09	1.3E-18	1.3E-18		oke
10414	3.1E-09	3.0E-09				oke
10420	3.6E-09	7.8E-09				oke
10437	1.2E-08	1.7E-08	7.9E-14	7.9E-14		oke
10455	3.6E-03	2.5E-03				oke
10461	1.4E-04	3.8E-05				oke
10468	1.1E-10	5.6E-11	1.6E-13	1.6E-13		oke
10488	1.4E-11	1.5E-11	1.9E-13	1.9E-13		oke
10507	1.2E-11	1.1E-11	7.3E-14	7.3E-14		oke
10527	4.3E-10	4.0E-11	2.2E-11	2.2E-11		oke
10547	2.2E-10	2.0E-12	2.1E-12	2.1E-12		oke
10567	2.0E-09	5.3E-10	5.3E-10	5.3E-10		oke
10592	9.1E-07	1.0E-08	5.7E-09	5.7E-09		oke
10605		1.9E-08				oke
10611	3.3E-06	2.2E-08				oke
10623	3.3E-07	3.1E-09	5.9E-09	5.9E-09		oke
10635	2.1E-06	1.7E-08				oke
10641	3.3E-06					oke
10653	1.5E-07	4.7E-09	8.6E-10	8.6E-10		oke
10665						oke
10671	3.6E-07	4.2E-09				oke
10683		3.7E-10	6.3E-10	6.3E-10		oke
10695	2.5E-07	7.1E-09				oke
10701						oke
10713	1.9E-07	3.5E-08	3.1E-09	3.1E-09		oke
10725	7.9E-07					oke
10731	1.2E-07					oke
10743	3.0E-07	2.1E-07	2.0E-09	2.0E-09		oke
10755	7.8E-08					oke
10761	1.6E-07					oke
10773	3.1E-07	3.5E-07	7.3E-08	7.3E-08		oke
10785	5.9E-05					oke
10791	1.0E-04					oke
10807	1.6E-06	1.3E-06	1.0E-08	1.0E-08		oke
10823	4.6E-05	9.1E-06				oke
10829	6.8E-05	1.1E-05				oke
10845			7.7E-08	7.7E-08		oke
10861	1.1E-05	3.1E-06				oke
10867	1.4E-05	3.3E-06				oke
10883	4.5E-08	2.1E-08	9.5E-09	9.5E-09		oke
10898	8.4E-06					oke
10904	7.7E-06					oke
10920	2.1E-07	1.9E-07	8.6E-09	8.6E-09	4.0E-08	oke
10936	2.8E-07	1.6E-07				oke
10942	7.9E-06	1.7E-06				oke
10958	6.3E-07	2.4E-07	1.5E-07	1.5E-07		oke
10974	4.8E-06	1.5E-06				oke
10980	2.3E-07	6.8E-08				oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
10996	4.5E-07	1.7E-07	9.7E-09	9.7E-09		oke
11012	3.8E-05	3.0E-06				oke
11018	3.0E-07	1.1E-07				oke
11034	5.4E-08	9.1E-09	3.0E-09	3.0E-09		oke
11050	3.4E-08	9.0E-09				oke
11056	5.3E-07	1.9E-08				oke
11072	5.7E-07	7.2E-09	7.4E-09	7.4E-09		oke
11088	1.1E-07	3.6E-09				oke
11094	1.7E-07	2.3E-09				oke
11109	2.3E-07	1.9E-08	5.8E-09	5.8E-09		oke
11125		4.6E-09				oke
11131	1.1E-07	7.6E-09				oke
11147	1.8E-06	3.2E-08	2.9E-08	2.9E-08		oke
11163	2.1E-06	4.9E-08				oke
11169		5.1E-08				oke
11176	2.7E-06	3.8E-08	4.2E-08	4.2E-08		oke
11196	5.9E-07	2.0E-08	2.5E-08	2.5E-08		oke
11221	3.7E-07	4.2E-08	4.2E-08	4.2E-08		oke
11244	9.3E-08	6.2E-08	6.5E-08	6.5E-08		oke
11263	2.0E-07	1.1E-07	1.1E-07	1.1E-07		oke
11282	1.6E-08	1.3E-08	1.5E-08	1.5E-08		oke
11301	3.6E-08		6.8E-08	6.8E-08		oke
11319	7.1E-09	1.3E-08	1.4E-08	1.4E-08	5.3E-08	oke
11338	1.0E-08	2.4E-08	2.2E-08	2.2E-08		oke
11356	1.3E-08	2.4E-08	2.7E-08	2.7E-08		oke
11375	2.1E-08	3.7E-08	4.5E-08	4.5E-08		oke
11394	8.2E-09	1.4E-08	1.7E-08	1.7E-08		oke
11412	6.6E-09	1.4E-08	1.9E-08	1.9E-08		oke
11431	5.1E-09	8.5E-09	1.1E-08	1.1E-08	4.1E-08	oke
11450	3.4E-09	4.9E-09	5.6E-09	5.6E-09		oke
11469	5.6E-09	1.0E-08	2.2E-08	2.2E-08		oke
11488	3.0E-09	4.0E-09	4.9E-09	4.9E-09		oke
11510	1.3E-09				3.4E-09	oke
11535	7.4E-10	3.5E-10	4.6E-10	4.6E-10		oke
11560	3.5E-09	3.4E-09	3.6E-09	3.6E-09		oke
11586	1.3E-09	1.3E-09	1.6E-09	1.6E-09		oke
11611	3.8E-09	4.7E-09	3.2E-09	3.2E-09		oke
11636	1.3E-09	7.6E-10	8.9E-10	8.9E-10		oke
11662	2.7E-09	9.7E-10	1.2E-09	1.2E-09		oke
11687		3.8E-09	1.7E-08	1.7E-08		oke
11700	4.5E-09	2.3E-09	2.3E-09	2.3E-09		oke
11725			4.5E-09	4.5E-09		oke
11750	3.1E-09	5.0E-09	4.5E-09	4.5E-09		oke
11775	1.6E-09	2.0E-09	1.8E-09	1.8E-09		oke
11825			1.7E-08	1.7E-08		oke

## D.9 Voorne

Tabel D-9 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
620						oke
640						oke
660						oke
680			2.5E-10	1.7E-13		oke
700			1.7E-09	4.9E-13		oke
720			1.0E-08	6.3E-12		oke
740	3.9E-10		3.9E-10	1.5E-12		oke
760	2.0E-10		1.6E-09	1.2E-12		oke
780	5.1E-10		1.7E-09	1.4E-12		oke
800	1.8E-10		1.4E-10	1.0E-12		oke
820	2.7E-11		3.2E-11	4.7E-13		oke
840			3.2E-11	1.2E-11		oke
860			2.3E-08	1.0E-11		oke
880	3.8E-10		3.8E-10	1.4E-13		oke
900	3.5E-09		2.0E-09	4.5E-13		oke
920	7.5E-08		2.3E-08	3.0E-12		oke
940			2.3E-08	1.4E-11		oke
960	1.2E-07					oke
980						oke
1000	1.8E-07					oke
1001	1.0E-06					oke
1002	5.2E-07					oke
1003						oke
1004	1.3E-07		1.0E-09	1.3E-11		oke
1020						oke
1040	8.4E-08		8.4E-08	1.1E-09		oke
1060	1.2E-07		1.2E-07	1.2E-10		oke
1080			7.0E-10	6.8E-10		oke
1100	2.8E-08		1.0E-09	1.0E-09		oke
1120	7.4E-09		6.8E-10	1.3E-13		oke
1140	5.7E-09		1.5E-09	1.5E-09		oke
1160	1.5E-07		1.0E-08	1.0E-08		oke
1180	1.1E-08		1.7E-09	1.7E-09		oke
1200	3.1E-09		4.6E-10	4.6E-10		oke
1220	1.4E-09		4.6E-10	3.9E-12		oke
1240	4.0E-09		5.8E-10	5.8E-10		oke
1260	1.1E-08		4.6E-09	4.6E-09		oke
1280	1.7E-07		1.9E-08	1.9E-08		oke
1300	1.6E-08		4.9E-09	2.4E-12		oke
1320	1.6E-08		2.2E-09	2.7E-12		oke
1340	2.4E-09		8.1E-10	8.1E-10		oke

---

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1360	1.0E-09		3.5E-10	3.5E-10		oke
1380	3.2E-09		2.4E-10	2.4E-10		oke
1400	2.1E-09		2.2E-09	3.5E-13		oke
1420	7.0E-10		1.9E-10	3.9E-13		oke
1440	9.3E-10		3.6E-10	3.6E-10		oke
1460	8.8E-10		3.0E-10	6.7E-13		oke
1480	1.3E-09		5.0E-10	2.7E-12		oke
1500	5.2E-09		5.2E-09	1.1E-12		oke
1520	1.5E-09		6.3E-10	2.4E-11		oke
1540	1.6E-08		3.1E-08	3.1E-08		oke
1560	6.1E-08		1.0E-07	1.0E-07		oke
1580			1.0E-06	1.0E-06		oke
1600			4.6E-09	4.6E-09		oke

---



## D.10 Goeree

Tabel D-10 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
300	6.9E-10	1.2E-10	6.8E-10	6.8E-10		oke
320	1.8E-12	8.8E-13	1.5E-12	1.5E-12		oke
325	9.6E-13	6.2E-13	1.0E-12	1.0E-12		oke
330	8.5E-13	5.0E-13				oke
350	2.4E-11	3.9E-12	2.6E-11	2.6E-11		oke
375	3.7E-11	1.7E-11	2.4E-11	1.7E-12		oke
400	5.7E-10	3.8E-10	5.7E-10	5.7E-10		oke
425	4.7E-10	4.0E-11	5.4E-10	5.4E-10		oke
450	4.9E-10	2.3E-10	4.1E-10	4.1E-10		oke
475	1.0E-08	2.1E-09	6.9E-09	6.9E-09		oke
500	4.4E-09	1.1E-09	3.0E-09	3.0E-09		oke
525	2.5E-09	3.1E-10	3.1E-10	3.1E-10		oke
545	2.1E-09	8.1E-11	8.1E-11	8.1E-11		oke
550		3.1E-10	3.1E-10	3.1E-10		oke
555	1.8E-09	6.1E-11				oke
575	1.9E-09	7.6E-11	1.6E-09	1.6E-09		oke
600	5.7E-09	1.6E-09	5.1E-09	5.1E-09		oke
625	2.6E-09	1.1E-09	2.6E-09	2.6E-09		oke
650	1.3E-07	4.4E-08	1.1E-07	1.1E-07		oke
675	8.0E-09	9.5E-09	1.4E-08	1.4E-08		oke
700	9.6E-09	4.9E-09	4.9E-09	7.2E-12		oke
725	3.5E-09	2.5E-09	2.5E-09	2.5E-09		oke
750	5.5E-07	1.8E-07	5.6E-09	1.2E-11		oke
775	9.4E-07	2.0E-07	3.6E-09	4.6E-12		oke
800	5.4E-10	5.8E-10	5.8E-10	1.1E-12		oke
825	8.7E-11	3.9E-11	9.0E-11	9.0E-11		oke
850	2.0E-10	2.3E-10	7.4E-10	2.7E-13		oke
875	2.8E-10	9.0E-11	1.2E-10	1.2E-10		oke
900	8.0E-10	5.7E-10	1.3E-09	8.3E-13		oke
925	5.3E-12	2.2E-10	1.5E-09	9.3E-13		oke
950	3.0E-13	9.2E-10	2.3E-09	3.3E-12		oke
975		2.2E-10	1.5E-09	2.4E-12		oke
1000	5.3E-09	1.2E-09	4.2E-09	8.1E-12		oke
1025	2.1E-09	4.8E-10	4.8E-10	4.7E-10		oke
1050	2.8E-09		2.8E-09	1.1E-09		oke
1075	7.2E-12	5.2E-10	5.2E-10	4.1E-10		oke
1100	7.3E-08		1.8E-07	3.2E-11		oke
1125	1.4E-08	9.2E-08	1.9E-08	8.4E-11		oke
1150			8.1E-08	8.1E-08		oke
1150			8.1E-08	8.1E-08		oke
1200			7.0E-06	7.0E-06	4.0E-06	oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1225			9.4E-06	9.4E-06		oke
1250			3.5E-06	3.5E-06		oke
1275			2.2E-06	2.2E-06	2.0E-06	oke
1300	4.5E-10	1.2E-10	7.7E-10	5.9E-11		oke
1325		1.8E-10	2.6E-09	4.2E-10		oke
1350	9.4E-08	3.3E-08	1.0E-07	1.1E-09		oke
1375	2.4E-08	1.2E-08	1.6E-08	1.6E-08		oke
1400	2.1E-08		1.8E-08	1.8E-08		oke
1425	9.4E-09		1.4E-08	4.5E-09		oke
1450	3.5E-10	1.3E-10	5.4E-10	5.4E-10		oke
1475	1.1E-07	1.9E-08	2.1E-13	2.1E-13		oke
1500						oke
1501						oke
1502			1.0E-09	1.0E-09		oke
1525	1.2E-07	4.0E-09	1.6E-08	1.6E-08		oke
1550	1.3E-07		1.6E-08	1.6E-08		oke
1575	3.0E-09	4.3E-10	4.3E-10	4.3E-10		oke
1600		2.1E-10	2.1E-10	2.1E-10		oke
1601	1.0E-09	2.0E-10				oke
1602						oke
1625	5.4E-10	2.4E-10	1.8E-07	5.4E-11		oke
1650			2.2E-07	1.2E-10		oke
1675			1.0E-10	9.7E-11		oke
1700	1.3E-09	2.7E-10				oke
1701	3.0E-09	8.5E-10	6.9E-09	6.9E-09		oke
1702	3.0E-09	5.3E-10				oke
1725	9.7E-14	7.8E-14	1.2E-13	1.2E-13		oke
1750	3.9E-13		6.0E-07	7.2E-13		oke
1775	1.7E-07	5.0E-08	1.3E-07	1.3E-12		oke
1800	2.6E-07	8.2E-08	2.2E-07	3.9E-12		oke
1801	1.2E-07	8.2E-08				oke
1802		1.4E-07				oke
1825	4.8E-08		5.8E-08	9.9E-12		oke
1850	2.2E-08	1.2E-08	1.4E-08	6.4E-11		oke
1875	4.2E-10	1.1E-10	1.1E-10	6.2E-12		oke
1900						oke

## D.11 Schouwen

Tabel D-11 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
74						oke
84	1.3E-08	9.6E-09	7.9E-09	7.9E-09		oke
95						oke
106	9.2E-07	5.8E-07	5.8E-07	5.8E-07		oke
117						oke
126	1.1E-06	7.5E-07	6.2E-07	6.2E-07		afgekeurd
133						afgekeurd
141						afgekeurd
148	1.1E-06	7.2E-07	5.6E-07	5.6E-07		afgekeurd
155						oke
162						oke
172	1.9E-07	1.7E-07	1.2E-07	1.2E-07		oke
184						oke
197	6.6E-08	4.7E-08	3.2E-08	3.2E-08		oke
209						oke
222	2.7E-08	3.2E-08	1.3E-08	1.3E-08		oke
236	4.2E-08	2.7E-08	5.0E-08	5.0E-08		oke
251	3.2E-08	6.6E-08	4.6E-08	4.6E-08		oke
267	7.9E-08	1.2E-07	1.5E-07	1.5E-07		oke
284	5.0E-07	6.2E-07	6.4E-07	6.4E-07		oke
301	1.8E-06	1.3E-06	1.4E-06	1.4E-06		oke
319	6.5E-08	7.2E-08	2.5E-08	2.5E-08		oke
337	3.2E-08	3.2E-08	3.2E-08	3.2E-08		oke
357	1.4E-09	1.3E-09	9.5E-10	9.5E-10		oke
377	8.3E-11	8.6E-11	7.9E-11	7.9E-11		oke
397	1.2E-10	1.4E-10	1.3E-10	1.3E-10		oke
417	5.3E-11	8.4E-11	1.5E-10	1.5E-10		oke
437	8.9E-12	1.3E-11	9.3E-12	9.3E-12		oke
454	2.5E-11	3.1E-11	3.0E-11	3.0E-11		oke
469	2.0E-11	2.2E-11	1.8E-11	1.8E-11		oke
484	1.7E-11	1.4E-11	9.8E-12	9.8E-12		oke
499	2.4E-11	3.1E-11	2.0E-11	2.0E-11		oke
514	7.3E-10	9.5E-10	6.6E-10	1.6E-10		oke
529	8.3E-10	1.0E-09	6.0E-10	2.9E-10		oke
544	1.3E-11	1.5E-11	1.1E-11	1.1E-11		oke
559	3.2E-12	3.8E-11	2.7E-11	2.7E-11		oke
574	1.8E-10	2.0E-10	1.5E-10	1.5E-10		oke
589	3.5E-11	4.1E-11	2.8E-11	1.6E-13		oke
604	2.4E-10	2.3E-10	1.9E-10	1.9E-10		oke
619	5.5E-10	5.4E-10	6.0E-10	1.4E-13		oke
634	3.8E-10	4.2E-10	3.3E-10	1.4E-13		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
649	3.0E-09	3.1E-09	2.2E-09	1.5E-13		oke
664	3.8E-09	3.3E-09	3.4E-09	1.5E-13		oke
679	3.4E-09	5.4E-09	3.5E-09	1.6E-13		oke
694	2.7E-10	2.9E-10	2.2E-10	1.9E-13		oke
710	1.2E-09	1.2E-09	1.0E-09	2.3E-13		oke
726	3.4E-09	3.1E-09	3.4E-09	4.1E-13		oke
742	1.8E-09	1.8E-09	1.9E-09	3.5E-13		oke
759	1.5E-09	1.9E-09	1.3E-09	4.0E-13		oke
779	7.8E-11	5.9E-11	8.6E-11	1.8E-13		oke
799	4.6E-12	4.7E-12	4.9E-12	1.3E-13		oke
819	2.0E-15	6.0E-15	4.2E-15	4.2E-15		oke
839	7.9E-08	8.5E-08	5.8E-14	5.8E-14		oke
859	1.5E-14	1.4E-14	1.3E-14	1.3E-14		oke
879	8.0E-08	8.0E-08	3.3E-10	7.1E-13		oke
899	5.0E-10	5.2E-10	5.9E-07	1.3E-13		oke
919	9.4E-14	8.7E-14	1.4E-06	5.7E-12		oke
939	1.0E-07	1.3E-07	7.3E-08	2.6E-13		oke
959	7.8E-08	5.7E-08	5.2E-08	1.3E-13		oke
979	5.0E-08	4.1E-08	4.1E-08	1.3E-13		oke
982	1.3E-07	1.0E-07	1.0E-07	1.3E-13		oke
984	1.0E-07	5.3E-08	4.2E-08	1.3E-13		oke
1004	2.7E-07	1.5E-07	1.3E-07	1.3E-13		oke
1024	4.0E-08	5.7E-08	4.5E-08	1.3E-13		oke
1044	2.3E-08	3.3E-08	3.6E-08	1.3E-13		oke
1064	1.3E-09	1.5E-09	1.5E-09	1.3E-13		oke
1084	2.8E-10	3.7E-10	6.0E-10	2.2E-13		oke
1104	6.3E-13	6.2E-13	6.1E-13	1.3E-13		oke
1124			2.5E-17	2.5E-17		oke
1144			1.1E-18	1.1E-18		oke
1164			4.7E-17	4.7E-17		oke
1184	1.0E-15	1.0E-15	7.8E-16	7.8E-16		oke
1196	1.0E-15	1.0E-15	6.5E-16	6.5E-16		oke
1208			2.8E-17	2.8E-17		oke
1228			1.1E-17	1.1E-17		oke
1248	1.7E-08	1.3E-08	1.6E-08	3.4E-12		oke
1268	1.8E-06	1.7E-06	2.3E-06	2.5E-13		oke
1288	4.6E-05	3.2E-05	4.5E-05	2.0E-13		oke
1308	1.7E-06	1.4E-06	2.1E-06	3.0E-13		oke
1322	6.6E-10	8.7E-10	9.8E-10	6.5E-12		oke
1335	7.4E-10	6.3E-10				oke
1355	1.0E-08	2.1E-08	2.0E-08	1.3E-11		oke
1375	3.1E-06	3.3E-06	1.9E-06	1.3E-11		oke
1395	1.6E-05	2.7E-05	1.5E-05	3.6E-11		oke
1411	2.9E-05	3.1E-05	3.9E-05	9.8E-11		oke
1425	8.5E-06	1.4E-05	1.4E-05	2.8E-13		oke
1445	2.7E-06	4.8E-06	5.9E-06	5.5E-10		oke
1465	4.3E-08	6.4E-08	8.0E-07	9.1E-11		oke
1485	1.0E-15	1.0E-15	5.3E-17	5.3E-17		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1505	1.8E-07	2.2E-07	2.2E-07	3.7E-10		oke
1525	2.1E-07	2.9E-07	3.3E-07	8.0E-12		oke
1537	5.2E-06	6.3E-06	6.0E-06	3.0E-11		oke
1548	1.0E-05	1.7E-05	1.5E-05	1.8E-10		oke
1568	2.0E-08	1.9E-08	8.1E-08	1.8E-10		oke
1588	6.0E-07	1.3E-06	2.2E-22	2.2E-22		oke
1608	5.4E-09	5.4E-09	1.6E-09	8.1E-13		oke
1628			2.3E-16	2.3E-16		oke
1648	2.4E-14	2.2E-14	2.4E-14	2.4E-14		oke
1668	2.0E-09	1.9E-09	2.2E-09	2.2E-09		oke
1688	4.1E-08	5.7E-08	7.6E-08	7.6E-08		oke
1697	4.1E-09	7.4E-09	3.9E-09	3.9E-09		oke
1706	8.9E-09		6.6E-09	6.6E-09		oke
1719	3.8E-09	1.7E-09	1.4E-09	1.4E-09		oke
1733						oke
1742	4.5E-10	4.5E-10	2.0E-10	2.0E-10		afgekeurd
1750						oke
1760	3.2E-08	6.2E-08	3.9E-08	3.9E-08		oke
1770						oke
1781	9.2E-08	7.9E-08	7.9E-08	7.9E-08		oke
1800	4.6E-08	3.1E-08	3.1E-08	3.1E-08		oke

## D.12 Noord-Beveland

Tabel D-12 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
200	5.0E-07	8.6E-07	8.6E-07	8.6E-07		oke
220		8.3E-08	8.3E-08	8.3E-08		oke
240	5.1E-08	1.3E-09	1.3E-09	1.3E-09		oke
260	2.1E-09	5.2E-10	5.2E-10	4.1E-11		oke
280	2.4E-08	8.0E-09	8.0E-09	1.8E-11		oke
300	1.2E-07	5.4E-08	5.4E-08	5.4E-08		oke

## D.13 Walcheren

Tabel D-13 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
560	1.7E-11	1.4E-11	1.8E-11	1.8E-11		oke
580	1.7E-13	2.7E-13	1.5E-09	1.5E-09		oke
600	2.7E-12	1.9E-12	5.5E-13	5.5E-13		oke
620	6.8E-11	6.3E-11	4.4E-11	4.4E-11		oke
640	2.9E-11	2.7E-11	2.8E-11	6.0E-13		oke
660	2.7E-11	2.4E-11	1.9E-11	2.0E-13		oke
670	1.2E-09	4.9E-10	4.4E-10	4.6E-13		oke
680	1.5E-09	9.7E-10	5.8E-10	6.7E-13		oke
700	2.6E-08	1.4E-08	5.6E-08	6.9E-13		oke
720	1.3E-09	1.2E-09	5.8E-09	2.1E-13		oke
740	9.1E-13	4.5E-12	2.9E-12	1.9E-13		oke
760	8.9E-10	1.1E-09	6.3E-09	1.6E-13		oke
780	1.5E-11	1.0E-11	3.8E-11	2.0E-13		oke
800	1.3E-09	1.8E-09	1.5E-08	3.4E-13		oke
820	7.6E-12	6.1E-12	7.8E-12	3.0E-13		oke
840			3.3E-17	3.3E-17		oke
860	3.0E-11	3.0E-11	4.3E-11	1.7E-13		oke
880	5.3E-10	4.7E-10	6.3E-10	1.4E-13		oke
900	1.8E-10	8.1E-11	1.1E-10	1.3E-13		oke
920	1.9E-09	1.9E-09	2.2E-09	1.7E-13		oke
940	6.9E-13	8.0E-13	1.9E-19	1.9E-19		oke
950			6.2E-23	6.2E-23		oke
965	1.0E-10	8.5E-11	3.2E-12	1.3E-13		oke
985	7.2E-10	3.9E-10	5.6E-10	1.6E-13		oke
1005	1.2E-09	2.1E-09	1.8E-09	1.5E-13		oke
1025	4.1E-09	6.7E-09	3.9E-09	2.0E-13		oke
1045	7.2E-10	3.6E-10	3.2E-10	2.6E-13		oke
1065	8.9E-11	3.7E-11	3.2E-11	3.2E-13		oke
1085	5.0E-10	3.6E-10	3.5E-10	3.5E-10		oke
1105	8.7E-10	5.5E-10	8.2E-10	8.2E-10		oke
1125	9.2E-09	5.2E-09	4.5E-09	8.6E-10		oke
1145	1.2E-09	8.9E-10	4.0E-10	4.0E-10		oke
1165	8.6E-09	5.9E-09	5.4E-09	5.4E-09		oke
1185	1.6E-08	5.6E-09	7.9E-09	7.9E-09		oke
1205	6.7E-12	3.4E-12	4.1E-12	4.1E-12		oke
1225	3.7E-08	5.3E-09	3.9E-09	1.8E-10		oke
1245	9.3E-08	6.1E-08	4.8E-08	5.8E-11		oke
1265	4.4E-12	4.9E-12	8.0E-13	8.0E-13		oke
1286	3.9E-12	3.8E-12	3.5E-12	3.5E-12		oke
1306	6.2E-08	5.8E-08	1.7E-08	1.7E-08		oke
1326	5.4E-11	2.3E-11	3.2E-11	3.2E-11		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
1346	1.7E-10	1.7E-10	1.5E-10	1.5E-10		oke
1366	1.3E-07	4.6E-08	4.9E-08	4.9E-08		oke
1386	3.6E-09	3.1E-09	3.6E-09	3.6E-09		oke
1406	5.2E-11	8.0E-11	3.7E-11	3.7E-11		oke
1428	1.6E-09	1.2E-09	5.1E-10	5.1E-10		oke
1448	1.9E-12	1.5E-12	1.6E-12	1.6E-12		oke
1469	4.9E-13	5.4E-13	3.1E-13	3.1E-13		oke
1489	6.1E-12	5.0E-12	7.2E-12	7.2E-12		oke
1509	2.9E-07	2.7E-07	2.8E-07	2.8E-07		oke
1530	9.4E-08	2.0E-07	2.2E-07	2.2E-07		oke
1550	1.1E-07	8.1E-08	5.6E-08	5.6E-08		oke
1571	1.2E-11	1.3E-11	1.9E-11	1.9E-11		oke
1591	1.6E-08	1.7E-08	3.5E-08	1.3E-10		oke
1612	1.9E-08	2.0E-08	1.9E-08	1.9E-10		oke
1632	3.8E-08	3.3E-08	2.9E-08	2.9E-08		oke
1653	1.3E-07	1.1E-07	1.3E-07	1.3E-07		oke
1673	1.8E-07	1.1E-07	1.6E-07	1.6E-07		oke
1694	9.3E-08	5.0E-08	3.7E-08	3.7E-08		oke
1714	4.5E-08	1.4E-08	1.4E-08	1.4E-08		oke
1735	1.3E-08	1.1E-08	1.4E-08	1.4E-08		oke
1755	2.6E-10	2.9E-10	3.7E-10	3.7E-10		oke
1775	6.0E-10	6.5E-10	1.1E-09	1.1E-09		oke
1795						oke
1814			3.7E-15	3.7E-15		oke
1832			5.9E-11	5.9E-11		oke
1850			1.3E-11	1.3E-11		oke
1870			1.5E-11	1.5E-11		oke
1883			1.6E-11	1.6E-11		oke
1905			4.6E-12	4.6E-12		oke
1927			5.7E-10	5.7E-10		oke
1948			1.1E-09	1.1E-09		oke
1970			2.4E-10	2.4E-10		oke
1990			6.9E-09	6.9E-09		oke
2000			6.9E-09	6.9E-09		oke
2015			1.3E-12	1.3E-12		oke
2030			1.3E-12	1.3E-12		oke
2040			9.7E-12	9.7E-12		oke
2060			9.7E-12	9.7E-12		oke
2080			6.3E-09	6.3E-09		oke
2100			3.0E-12	3.0E-12		oke
2120			2.2E-11	2.2E-11		oke
2133			6.5E-11	6.5E-11		oke
2153			6.0E-09	6.0E-09		oke
2165			9.2E-10	9.2E-10		oke
2180			1.9E-11	1.9E-11		oke
2185			1.9E-11	1.9E-11		oke
2195			8.7E-07	8.7E-07		afgekeurd
2215	9.5E-09	8.8E-09	8.8E-09	8.8E-09		afgekeurd



<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
2225						afgekeurd
2235		5.0E-09	6.2E-09	6.2E-09		afgekeurd
2255	5.8E-05	7.5E-07	7.5E-07	7.5E-07		oke
2275	1.3E-06	1.5E-06	6.8E-07	6.8E-07		oke
2287	7.5E-07	2.0E-07	4.3E-07	4.3E-07		oke
2300		5.8E-09	1.4E-08	1.4E-08		oke
2312		1.0E-08	9.2E-09	9.2E-09		oke
2325	6.0E-05	1.2E-07	2.9E-07	2.9E-07		oke
2337	1.6E-04	3.2E-07	1.2E-06	1.2E-06		oke
2349	1.2E-04	2.0E-07	7.5E-07	7.5E-07		oke
2362		2.6E-09	3.6E-09	3.6E-09		oke
2374	1.3E-05	1.1E-09	1.6E-09	1.6E-09		oke
2386	3.7E-04	1.4E-08	2.9E-08	2.9E-08		oke
2397	4.4E-04	7.1E-09	1.1E-08	1.1E-08		oke
2408		1.6E-09	2.2E-09	2.2E-09		oke
2419		2.8E-08	3.7E-08	3.7E-08		oke
2430	1.0E-04	2.6E-07	1.9E-07	1.9E-07		oke
2443	4.4E-08	9.8E-10	2.5E-09	2.5E-09		oke
2456	5.6E-08	3.8E-09	3.2E-09	3.2E-09		oke
2470	1.7E-09	7.5E-09	6.6E-09	6.6E-09		oke
2484	3.1E-08	9.3E-08	7.1E-08	7.1E-08		oke
2499	3.7E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08		oke
2513	2.6E-08	2.8E-08	9.1E-08	9.1E-08		oke
2527	5.5E-08	3.1E-08	7.0E-08	7.0E-08		oke
2541	5.4E-08	4.1E-08	1.1E-07	1.1E-07		oke
2555	5.1E-08	8.3E-08	1.4E-07	1.4E-07		oke
2569	2.9E-09	4.6E-09	5.2E-09	5.2E-09		oke
2583	4.1E-08	2.5E-08	2.5E-08	2.5E-08		oke
2677	5.3E-09	3.8E-09	1.1E-08	1.1E-08		oke
2694	1.1E-12	6.9E-13	1.5E-12	1.5E-12		oke
2713			6.6E-21	6.6E-21		oke
2730	1.0E-15	1.0E-15	8.0E-16	8.0E-16		oke
2750			4.1E-18	4.1E-18		oke
2770			1.1E-16	1.1E-16		oke
2790	5.6E-14	6.8E-14	2.3E-14	2.3E-14		oke
2810	5.0E-15	1.2E-14	5.9E-15	5.9E-15		oke
2830	4.6E-12	1.6E-12	4.3E-12	4.3E-12		oke
2850			1.6E-16	1.6E-16		oke
2870	1.0E-15	1.0E-15	4.3E-16	4.3E-16		oke
2890			1.0E-16	1.0E-16		oke
2910	5.0E-15	2.0E-15	2.8E-15	2.8E-15		oke
2930	5.1E-12	5.4E-12	2.0E-13	2.0E-13		oke
2950	1.7E-10	5.0E-11	3.6E-11	3.6E-11		oke
2970	4.6E-12	2.1E-12	5.0E-12	5.0E-12		oke
2990			8.5E-16	8.5E-16		oke
3010	1.6E-14	1.4E-14	3.1E-14	3.1E-14		oke
3033	5.6E-13	4.8E-13	1.1E-12	1.1E-12		oke
3059	4.0E-10	1.7E-10	2.2E-10	2.2E-10		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
3084	1.5E-09	2.2E-09	2.8E-09	2.8E-09		oke
3110	2.8E-10	1.2E-10	3.4E-10	3.4E-10		oke
3134	1.3E-11	1.9E-11	1.5E-11	1.5E-11		oke
3153	4.6E-07	2.4E-07	2.1E-07	2.1E-07		oke
3165	3.2E-07	9.2E-08	9.7E-08	9.7E-08		oke
3177	3.8E-07	3.9E-08	7.4E-08	7.4E-08		oke
3189	9.8E-06	2.7E-06	2.5E-06	5.0E-08		oke
3202	6.5E-05	3.1E-06	4.8E-06	4.8E-06		oke
3215	3.3E-05	3.0E-07	3.8E-07	3.8E-07		oke
3226	4.4E-05	3.8E-07	4.4E-07	4.4E-07		oke
3239	1.6E-08	4.9E-09	5.8E-09	5.8E-09		oke
3251	3.2E-09	1.8E-09	2.0E-09	3.1E-10		oke
3264	7.4E-09	3.7E-09	4.8E-09	4.8E-09		oke
3360	9.3E-07	6.8E-07	9.4E-07	9.4E-07		oke
3380	3.8E-05	1.0E-05	5.6E-06	5.6E-06		oke
3400						oke
3420						oke
3440						oke
3458						oke
3476						oke
3494						afgekeurd
3510						afgekeurd
3526						afgekeurd
3540						afgekeurd
3547						oke
3562						oke
3570						oke
3590						afgekeurd
3610						afgekeurd
3630						oke
3650						oke
3670						oke
3690						oke
3710						oke
3730						oke
3750						oke

## D.14 Zeeuws-Vlaanderen

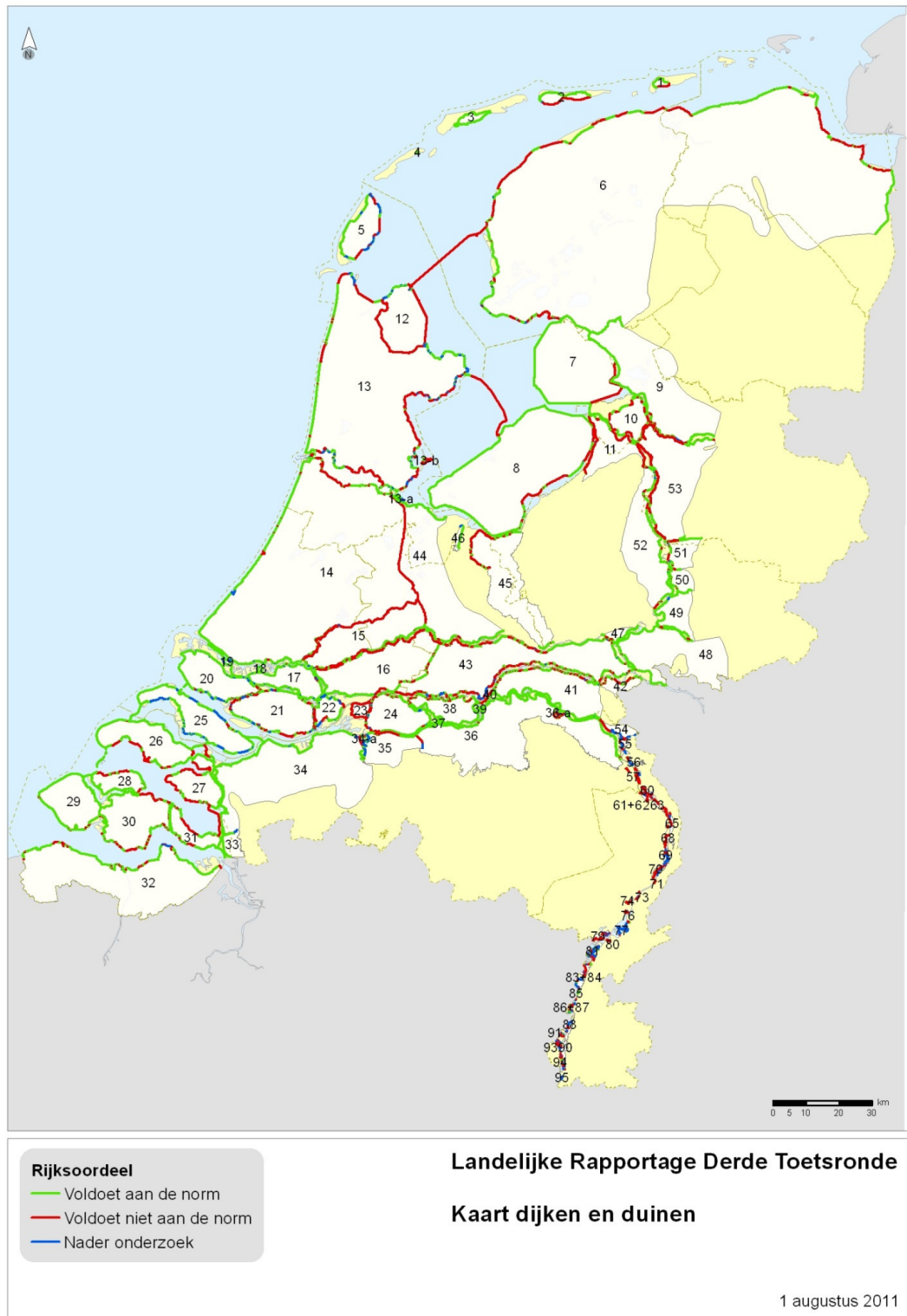
Tabel D-14 Faalkansen per raai voor de eerste duinenrij ( $P_{f1}$ ) voor 2009, 2010 en 2011 (tweede tot en met vierde kolom), en voor het gehele duingebied ( $P_{f2}$ ) voor 2011 (vijfde kolom). Daarnaast zijn eventueel beschikbare resultaten van VNK (zesde kolom) en de resultaten van de derde toetsronde (laatste kolom) opgenomen.

raai	PF1 2009	PF1 2010	PF1 2011	PF2 2011	VNK	Toetsing
11						oke
31	1.3E-10	8.5E-11				oke
47						oke
51	1.3E-09	4.9E-10				oke
58						afgekeurd
71	4.4E-07	3.3E-07				afgekeurd
146						afgekeurd
161			3.3E-09	3.3E-09		afgekeurd
171			2.5E-07	2.5E-07		afgekeurd
188			7.9E-10	7.9E-10		oke
208	9.9E-08	1.1E-07	4.3E-08	4.3E-08		oke
230	9.6E-08	9.0E-08	2.6E-08	2.6E-08		oke
251	4.5E-08	6.4E-08	1.0E-08	1.0E-08		oke
271			1.1E-09	1.1E-09		oke
290			7.5E-09	7.5E-09		oke
308			1.1E-08	1.1E-08		afgekeurd
324			2.8E-07	2.8E-07		afgekeurd
336			2.2E-06	2.2E-06		afgekeurd
352			5.7E-09	5.7E-09		afgekeurd
373			3.9E-08	3.9E-08		afgekeurd
396			7.2E-09	7.2E-09		afgekeurd
413			1.1E-07	1.1E-07		afgekeurd
421			9.7E-07	9.7E-07		afgekeurd
441			2.3E-06	2.3E-06		afgekeurd
461	1.5E-07	1.0E-08	6.6E-09	6.6E-09		afgekeurd
483			4.1E-08	4.1E-08		afgekeurd
496			1.4E-06	1.4E-06		afgekeurd
512			2.8E-11	2.8E-11		oke
530			3.7E-10	3.7E-10		oke
558			4.1E-06	4.1E-06		oke
584			3.1E-12	3.1E-12		oke
602			1.9E-12	1.9E-12		oke
619			2.4E-08	2.4E-08		oke
638			6.7E-08	6.7E-08		oke
663			5.6E-13	5.6E-13		oke
684			7.9E-09	7.9E-09		oke
705			1.6E-06	1.6E-06		oke
730			8.4E-12	8.4E-12		oke
751			2.3E-09	2.3E-09		oke
768			2.6E-07	2.6E-07		oke
778			3.6E-05	3.6E-05		oke

<b>raai</b>	<b>PF1 2009</b>	<b>PF1 2010</b>	<b>PF1 2011</b>	<b>PF2 2011</b>	<b>VNK</b>	<b>Toetsing</b>
791			1.3E-10	1.3E-10		oke
802			4.9E-07	4.9E-07		oke
822	3.3E-09	1.0E-09	1.4E-09	1.4E-09		oke
834	1.2E-08		2.2E-09	2.2E-09		oke
838	2.0E-05	5.5E-07	7.2E-12	7.2E-12		oke
851	4.1E-08	2.3E-09	1.3E-09	1.3E-09		oke
877	2.5E-09	1.3E-11	2.5E-10	2.5E-10		oke
886			2.1E-09	2.1E-09		oke
890			1.9E-09	1.9E-09		oke
903			6.6E-11	6.6E-11		oke
916						oke
920			2.2E-05	2.2E-05		oke
936			2.8E-04	2.8E-04		oke
951			2.8E-04	2.8E-04		oke
962			2.2E-05	2.2E-05		oke
979			1.3E-09	1.3E-09		oke
985			8.1E-12	8.1E-12		oke
993			4.3E-05	4.3E-05		oke
1007			1.3E-04	1.3E-04		oke
1021			3.5E-04	3.5E-04		oke
1032			4.9E-04	4.9E-04		oke
1046	6.5E-07	4.3E-07	4.5E-08	4.5E-08		oke
1068	6.9E-07	5.0E-08	3.3E-08	3.3E-08		oke
1092	1.5E-07	2.7E-08	1.1E-08	1.1E-08		oke
1112	3.6E-08	3.3E-09	1.9E-09	1.9E-09		oke
1136	5.9E-09	6.0E-10	4.6E-10	4.6E-10		oke
1162	1.3E-08	6.8E-10	3.0E-10	3.0E-10		oke
1191	5.0E-09	8.1E-10	2.6E-10	2.6E-10		oke
1214	3.1E-08	2.6E-09	1.7E-09	1.7E-09		oke
1241	7.4E-08	1.2E-08	2.2E-09	2.2E-09		oke
1262	5.6E-09	7.3E-10	4.4E-10	4.4E-10		oke
1282	8.5E-08	8.5E-09	5.2E-09	5.2E-09		oke
1300			1.9E-04	1.9E-04		afgekeurd
1318			3.2E-04	3.2E-04		afgekeurd
1335			1.6E-04	1.6E-04		afgekeurd
1354		9.7E-02	1.1E-04	1.1E-04		afgekeurd
1363	1.8E-06	8.0E-07	3.0E-07	3.0E-07		oke
1372	1.6E-07	2.2E-08	1.0E-10	1.0E-10		oke
1381	1.5E-07	2.3E-08	4.0E-09	4.0E-09		oke
1391	3.5E-07	1.5E-08	1.3E-08	1.3E-08		oke
1401	9.5E-07	4.3E-08	2.5E-08	2.5E-08		oke
1412	1.9E-07	2.0E-08	2.5E-09	2.5E-09		oke
1427	7.9E-09		1.5E-10	1.5E-10		oke
1450	1.1E-09	4.7E-11	5.8E-11	5.8E-11		oke
1467	2.5E-12		1.6E-07	1.4E-08		oke
1487	5.0E-10	1.7E-10	2.0E-08	2.7E-11		oke

## E Resultaten derde toetsronde

De resultaten van de derde toetsronden zijn getoond in figuur E-1.



Figuur E-1 Resultaten van de derde toetsronde, overgenomen uit *Inspectie Verkeer en Waterstaat (2011)*.



## Bibliografie

- Deltares (2011a), *Gevolgen van overstromingen - Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid in de 21e eeuw*, K. de Bruijn en M. van der Doef, 1204144-004.
- Deltares (2011b), *Samenvatting van analyse van slachtofferrisico's en maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw*, H. van der Most, 1204144-005.
- Ditlevsen, O. (1979), *Narrow reliability bounds for structural systems*, Journal of Structural Mechanics, Vol. 1, No. 4.
- HKV LIJN IN WATER (2011a), *Indicatoren voor kustlijnzorg - Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie*, W. van Balen, V. Vuik en S. van Vuren, PR2063.20.
- HKV LIJN IN WATER (2012), *Indicatoren voor kustlijnzorg - Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid*, V. Vuik, W. van Balen en A.J. Paarlberg, PR2063.30.
- Inspectie Verkeer en Waterstaat (2011), *Derde toets primaire waterkeringen.*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Landelijke toets 2006-2011.
- Jongejan, R. (2010a), *Overstromingsrisico dijkring 14 Zuid-Holland: Hoofdrapport VNK2.*, Veiligheid Nederland in Kaart 2.
- Jongejan, R. (2010b), *Overstromingsrisico dijkring 14 Zuid-Holland: Achtergrondrapport VNK2.*, Veiligheid Nederland in Kaart 2.
- Maaskant, B. (2010), *Overstromingsrisico dijkring 5 Texel: Achtergrondrapport VNK2.*, Veiligheid Nederland in Kaart 2.
- Mai Van et al. (2007), *Failure mechanisms of sea dikes; inventory and sensitivity analysis*, COPRI-ASCE, Coastal Structures 2007, International Conference, July 2-4, 2007 Venice, Italy, C. Mai Van, P.H.A.J.M. Van Gelder en J.K. Vrijling.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007), *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen.*, ISBN 978-90-369-5762-5.
- Ministerie van VROM (2004), *Nota Ruimte*, Vastgesteld in de Ministerraad d.d. 23 april 2004.
- Projectbureau VNK2 (2009), *Overstromingsrisico dijkring 25 Goeree: Achtergrondrapport VNK2.*, J. Van Spengen en E. Fiktorie, Veiligheid Nederland in Kaart 2.
- TAW (1984), *Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering*, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Den Haag, Nederland.
- TAW (2007), *Technische Rapport Duinafslag - Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006.*, WL | Delft Hydraulics, TUDelft en Alkyon, H4357.
- TNO (2003), *Theoriehandleiding PC-Ring Versie 4.0 Deel C: Rekentechnieken.*, A.C.W.M. Vrouwenvelder en H.M.G.M. Steenbergen, 2003-CI-R0022.
- TNO (2007), *Theoriehandleiding PC-Ring Versie 5.0 Deel A: Mechanismenbeschrijvingen.*, H.M.G.M. Steenbergen, A.C.W.M. Vrouwenvelder en T. Koster, 2007-D-Rxxxx/A.
- Van Dongeren et al. (2008), *Bepaling Beschermingscontouren Kustplaatsen; Resultaten voor de zeven Hollandse kustplaatsen*, Dongeren, A.R. van, Boers, M., Diermanse, F.L.M., Van de Graaff, J., Koningsveld, M. van, Steetzel, H.J.



Bezoekadressen Botter 11-29  
Lelystad  
Elektronicaweg 12  
Delft

Postadres Postbus 2120  
8203 AC Lelystad

Telefoon 0320 294242  
Fax 0320 253901  
E-mail [info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)  
Internet [www.hkv.nl](http://www.hkv.nl)