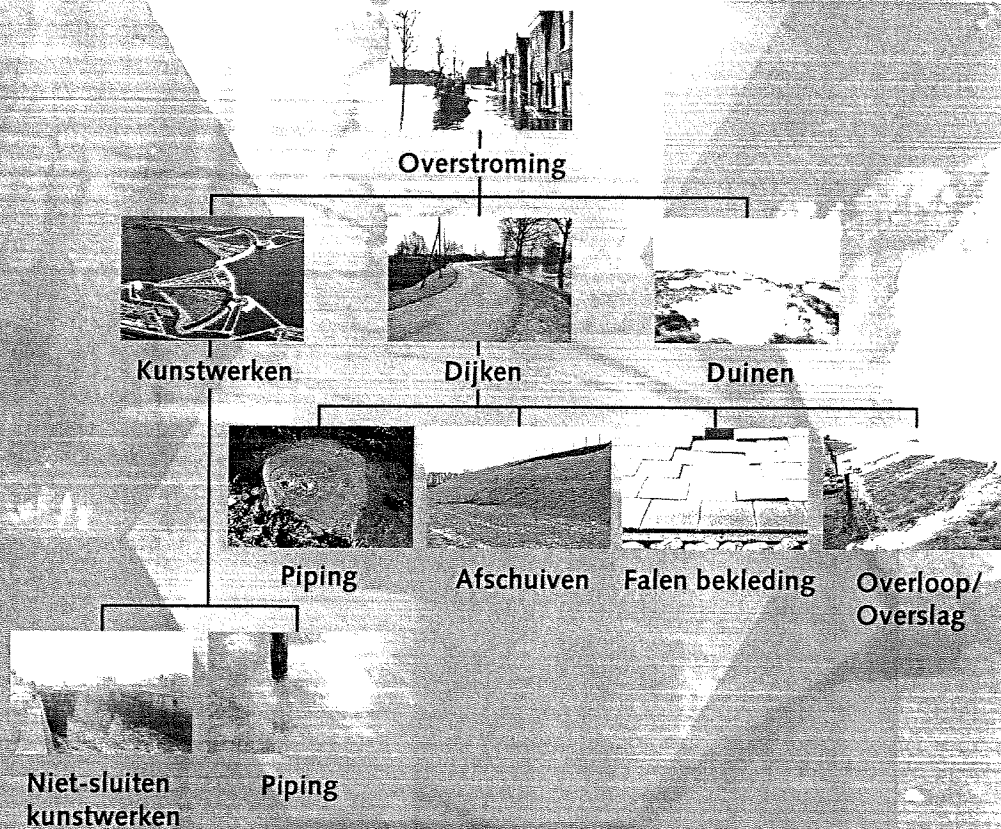


Hoofdrapport

Investeren om te reduceren

Een probabilistisch model waarmee het verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie kan worden bepaald



T Delft

Technische Universiteit Delft

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Investeren om te reduceren

Een probabilistisch model waarmee het verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie kan worden bepaald

december 2000

Hoofdrapport
W-DWW-2000-091

Investeren om te reduceren

**Een probabilistisch model waarmee het verband tussen
de investeringskosten en een overstromingskansreductie
kan worden bepaald**

december 2000

Hoofdrapport
W-DWW-2000-091

Afstudeerrapportage B.I.Thonus

Begeleiders:

Prof. Drs. Ir. J.K.Vrijling (TUDelft)

Prof. Ir. A.C.W.M.Vrouwenvelder (TNO-Bouw/TUDelft)

Ir. R.E. Jorissen (RWS-DWW)

Drs. A. Roos (RWS-DWW)

Ir. H.G. Voortman (TUDelft)

Studienummer: (9)829721

TUDelft
Delft University of Technology
Faculty of Civil Engineering and Geosciences
Hydraulic and Offshore Engineering section

Voorwoord

Voor u ligt het eindverslag van mijn afstudeeronderzoek; het sluitstuk van mijn studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit te Delft.

Nu ik de laatste hand leg aan deze rapportage kan ik stellen dat er bijna een einde is gekomen aan een boeiende periode van mijn studie. Deze periode begon bijna een jaar geleden toen ik op zoek ging naar een uitdagend onderwerp voor mijn afstudeeronderzoek. Ik had mezelf voorgenomen een onderwerp te zoeken dat voldeed aan een tweetal criteria. Ten eerste moest het onderwerp te maken hebben met de probabilistiek en ten tweede moest het een actueel onderwerp zijn, omdat de oplossing van een actueel probleem vaak praktijkgericht is en daardoor de maatschappij meer aanspreekt.

Bij het opstellen van deze criteria gingen mijn gedachten uit naar een opmerking, die geplaatst werd door Richard Jorissen tijdens het college Waterkeringen. Tijdens dit college vertelde hij dat bij de Rijkswaterstaat een probabilistisch model in ontwikkeling was waarmee de veiligheid van de Nederlandse waterkeringen in kaart kan worden gebracht. Als ik in mijn afstudeeronderzoek een bijdrage zou kunnen leveren aan deze ontwikkeling zou ik aan beide voorgenomen criteria voldoen. In eerste instantie omdat de veiligheid van de Nederlandse waterkeringen een actueel onderwerp is met een behoorlijke maatschappelijke impact (*denk aan de recente problemen rond de hoogwaters van 1993 en 1995*) en ten tweede omdat het gaat om de ontwikkeling van een probabilistisch model.

Na een gesprek met Richard Jorissen was het dan ook snel beklonken. Ik zou gaan afstuderen bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, een specialistisch adviesorgaan van de Rijkswaterstaat en ik zou me gaan bezighouden met het in ontwikkeling zijnde model met betrekking tot de veiligheid van de Nederlandse waterkeringen. Nu bijna tien maanden later kan ik stellen dat mijn afstudeeronderzoek inderdaad heeft gebracht wat ik er van verwacht had, al zijn er een aantal momenten geweest dat ik het even niet zag zitten.

Er zijn een aantal mensen die ik graag zou willen bedanken voor hun bijdrage aan of begeleiding van dit onderzoek. In eerste instantie wil ik de leden uit mijn afstudeercommissie Prof. Drs. Ir. J.K.Vrijling (TUDelft), Prof. Ir. A.C.W.M. Vrouwenfelder (TUDelft en TNO-Bouw), Ir. R.E. Jorissen (DWW), Drs. A. Roos (DWW) en Ir. H.G. Voortman (TUDelft) bedanken voor de tijd, die zij aan besteed hebben en de vaak nuttige tips die zij mij gegeven hebben tijdens mijn afstuderen. In het bijzonder zou ik Alex Roos willen bedanken. Vaak als ik het even niet zag zitten wist hij mij met zijn ontembare energie en enthousiasme weer te motiveren, waardoor het eindresultaat is geworden tot wat ik voor ogen had.

In tweede instantie wil ik mijn dank betuigen aan Ir. H.M.G.M. Steenbergen (TNO-Bouw). Zonder zijn aanwijzingen met betrekking tot het programma PC_RING, was het niet gelukt om dit afstudeeronderzoek tot een goed einde te brengen.

In derde instantie wil ik mijn collega's van de afdeling Waterkeren bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde bedanken. Zij hebben er voor gezorgd dat de tijd, gedurende de momenten dat ik (even niet) aan het afstuderen was, erg gezellig is geweest. In het bijzonder wil ik Saskia van Vuren bedanken voor de gezelligheid die zij meebracht als mijn kamergenoot tijdens deze afstudeerperiode.

Tenslotte wil ik bedanken: mijn vriendin Jolanda, voor het begrip dat zij getoond heeft gedurende de perioden waarin ik het erg druk had en voor de aanmoedigingen om maar vooral goed door te gaan, mijn familie voor de onvoorwaardelijke steun die zij boden en natuurlijk alle andere personen die ik op een of andere manier niet genoemd heb, maar wel een bijdrage hebben geleverd aan de tot standkoming van dit afstudeeronderzoek.

Bart Thonus

Samenvatting

Kader

Nederland ligt grotendeels onder de zeespiegel. Zonder beschermende maatregelen van dammen, duinen en dijken zal een groot deel van Nederland onder water komen te liggen. Aanhoudende bodemdaling, toenemende neerslaghoeveelheden en zeespiegelstijging als gevolg van klimaatveranderingen zorgen ervoor dat de belastingen op de waterkeringen in de loop van de tijd zullen toenemen. Daarnaast zullen in de loop van de tijd ook in de te beschermen belangen van het achterland veranderingen optreden. Gedacht kan worden aan het aantal inwoners, de LNC-waarden en/of de economische activiteiten in een gebied. Door deze continu veranderende ontwikkelingen zal de door waterkeringen geboden veiligheid in de toekomst steeds opnieuw beoordeeld moeten worden.

Naast de fysieke omstandigheden is in de loop van de tijd ook de kennis en het inzicht van de veiligheidsbenadering ten aanzien van de Nederlandse waterkeringen voortdurend veranderd. De op dit moment toegepaste veiligheidsbenadering staat bekend als de overbelastingsbenadering per dijkvak. In deze benadering wordt de veiligheid van het achterland gekoppeld aan de kans op overschrijding van een toelaatbaar geachte hydraulische belasting als gevolg van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Deze benadering wordt toegepast op het niveau van een dijkvak. Met een dergelijke veiligheidsbenadering krijgt men echter geen inzicht in de werkelijke kans op een overstroming van een dijkkringgebied, met de daarbij behorende gevolgen in termen van schade en slachtoffers. In de toekomst wil men daarom overstappen op een veiligheidsbenadering die is gebaseerd op overstromingsrisico's.

Om deze overstap voor te bereiden is in de jaren negentig een nieuw onderzoekprogramma opgestart. In de eerste fase van dit onderzoek is met behulp van de nieuwste inzichten op probabilistisch gebied een methode ontwikkeld, waarmee het mogelijk is om de overstromingskansen van een dijkkringgebied te bepalen, waarbij rekening wordt gehouden met zowel falen als gevolg van het faalmechanisme 'overloop/overslag', alsmede falen als gevolg van alle overige faalmechanismen van een waterkering.

Met behulp van deze nieuwe methode is een studie gedaan, gericht op het geven van inzicht in de overstromingskansen van de 'actuele dijk' en de gevolgen hiervan in termen van schade en slachtoffers. De TAW (*Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen*) heeft op basis van dit onderzoek een aantal conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan omtrent het vervolg van het onderzoek. De TAW concludeert dat de technische mogelijkheden er zijn om overstromingskansen te berekenen, waarbij alle faalwijzen van waterkeringen op een gelijkwaardige manier worden beschouwd. Daarnaast kan met behulp van de nieuwe methode inzichtelijk gemaakt worden wat de zwakke schakels in de dijkkring zijn. De TAW beveelt o.a. aan om op korte termijn voor alle 53 dijkkringgebieden in Nederland de overstromingskansen te berekenen, zodat een eerste inzicht ontstaat in de zwakke schakels en de kennislacunes voor alle dijkkringgebieden. Daarnaast wordt aanbevolen het onderzoek verder voort te zetten zodat de methode verder kan worden uitgewerkt.

Probleemanalyse

Op basis van de hierboven geschetste conclusies en aanbevelingen is voorgesteld, enerzijds de nieuw ontwikkelde methode, waarmee overstromingskansen kunnen worden bepaald en aangegeven kan worden wat de zwakke schakels in een dijk-

ring zijn, in dit afstudeeronderzoek toe te passen en anderzijds de nieuwe methode te evalueren en aan te geven waar verbeteringen mogelijk zijn, zodat de nieuwe methode geïntroduceerd kan worden bij een grotere groep gebruikers die (nog) weinig of geen ervaring hebben met de methode. Deze introductie is noodzakelijk omdat de politiek, op basis van de eerder genoemde aanbevelingen van de TAW, in een tijdsbestek van twee jaar vraagt om een landelijk beeld van de overstromingskansen. Hetgeen inhoudt dat in een kort tijdsbestek, grote hoeveelheden overstromingskansberekeningen (voor alle 53 dijkkringgebieden) uitgevoerd moeten gaan worden, onvermijdelijk deels door personen die geen of nauwelijks ervaring hebben met de methode.

Met behulp van de nieuwe methode (in het vervolg aangeduid als PC_RING) en de resultaten uit het SPRINT onderzoek naar de grootte van de 'actuele' overstromingskansen, kan bepaald worden hoe groot de investeringskosten zouden moeten zijn, om de overstromingskans van een dijkkringgebied te reduceren tot een bepaald (maatschappelijk/politiek gewenst) veiligheidsniveau (normstelling).

Voor zo'n benadering is het echter noodzakelijk te beschikken over een gevoeligheidsanalyse van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak. De huidige versie van PC_RING is op dit moment (nog) niet in staat om op een snelle en efficiënte manier deze zogenaamde ontwerpparameterinvloeden te bepalen, zodat een beeld van de grootte van de investeringskosten dan ook nog ontbreekt.

Doelstellingen

(1) Het ontwikkelen van een rekenprocedure waarmee de invloed van investeringskosten van verschillende soorten verbeteringsmaatregelen op de overstromingskans van een dijkkringgebied zichtbaar kan worden gemaakt om vervolgens een voorstel te doen om op een optimale manier de overstromingskans van een dijkkringgebied te reduceren tot een bepaald veiligheidsniveau.

(2) Het ontwikkelen van nieuwe 'informatieverschaffende' modules, in aanvulling op het huidige model PC_RING, zodanig dat de werkbaarheid van het model verbeterd wordt, waardoor het model makkelijker toegankelijk wordt voor gebruikers met (nog) geen of nauwelijks ervaring met de programmatuur.

Modelopzet

De opzet van het nieuwe model bestaat uit een basis, bestaande uit de huidige programmatuur van PC_RING en de invoergegevens uit het SPRINT onderzoek. Deze basis is aangevuld met nieuwe modules (zowel reken als weergavemodules) aan de hand waarvan de benodigde berekeningen kunnen worden uitgevoerd en de resultaten overzichtelijk kunnen worden weergegeven. Het model moest in ieder geval in staat zijn om op een efficiënte manier voor een groot aantal verschillende dijkvakken de invloed van de verschillende ontwerpparameters zowel op de kosten als op de faalkans van het dijkvak te bepalen.

Omdat op dit moment een veiligheidsnorm op basis van overstromingskansen ontbreekt wordt in dit afstudeeronderzoek volstaan met een stapsgewijze reductie van de overstromingskans, waarbij telkens de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring worden verbeterd. Deze 'zwakste' schakel(s) worden gevormd door de dijkvakken met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans.

Afbakeningen

(1) Uit de vier beschikbare dijkkringgebieden van het SPRINT onderzoek: 'Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard', 'Centraal Holland', 'Hoeksche Waard' en 'Groningen en Friesland', is één dijkkringgebied gekozen dat in dit onderzoek is beschouwd. Gekozen is voor het dijkkringgebied "Groningen en Friesland".

(2) De investeringskosten zijn in dit onderzoek benaderd door een grootte, waarvan verondersteld is dat deze een sterke relatie vertoont met de kosten. Gekozen is voor het volume per strekkende meter.

(3) Van de in PC_RING beschikbare faalmechanismen zijn in dit onderzoek alleen de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping' beschouwd.

(4) Voorgaande afbakeningen hebben geresulteerd in een lijst met zes verschillende ontwerpparameters, welke kunnen worden gevarieerd met behulp van het nieuw ontwikkelde model (PC_RINGSCHIL) en waarvan de invloed op zowel de kosten als op de overstromingskans bepaald kan worden.

Model

Het model is opgebouwd uit vier verschillende basiseenheden, met elk een eigen functie en toepassingsmogelijkheid. Onderscheiden kunnen worden:

1. een basiseenheid met de randvoorwaarden;
2. een basiseenheid voor de presentatie en analyse van de randvoorwaarden;
3. een basiseenheid met de rekenmodules van PC_RING, voor de ontwerpparametervariëaties en voor de investeringskosten;
4. een basiseenheid voor de presentatie en analyse van de berekeningsresultaten.

In elk van de genoemde basiseenheden kunnen weer verschillende soorten modules onderscheiden worden. Basiseenheid 1 is opgebouwd uit een viertal invoermodules elk voor een specifieke groep van invoergegevens. Gekozen is de indeling van de invoerbestanden in grote lijn gelijk te houden aan de indeling die in PC_RING gehanteerd is zodat op een betrekkelijk eenvoudige manier de invoergegevens benodigd voor PC_RINGSCHIL afgeleid kunnen worden uit de invoergegevens van PC_RING. In basiseenheid 2 zijn een aantal analyse- en presentatiemodules opgenomen waarmee de invoergegevens (*randvoorwaarden*) nader kunnen worden geanalyseerd of op eenvoudige wijze kunnen worden gecontroleerd. Gekozen is o.a. voor de mogelijkheid om een nadere analyse te doen van de golf- en waterstandgegevens en de maatgevende belastingen per dijkvak. In basiseenheid 3 zijn alle rekenmodules verenigd. Hierin zijn de reeds bestaande rekenmodules van PC_RING (*onveranderd m.u.v. de aanpassing van een programmeerfout in het overslagmodel*) geïmplementeerd, de rekenmodule voor de bepaling van de kosten (*gebaseerd op een volume per strekkende meter*) en de rekenmodule voor de uitvoering van de ontwerpparametervariëaties. In basiseenheid 4 zijn tenslotte verschillende presentatie- en analysemodules opgenomen waarmee de rekenresultaten van het model PC_RINGSCHIL kunnen worden geanalyseerd. Gekozen is om de resultaten te splitsen in overstromingskansresultaten gegenereerd door de PC_RING rekenmodules en de resultaten van de ontwerpparametervariëaties. De PC_RING rekenresultaten kunnen worden geanalyseerd op een viertal verschillende detailniveau's (*dijkkring, dijkvak, belangrijkste (ontwerp)parameters en in detail per parameter*). De resultaten van de ontwerpparametervariëaties worden weergegeven in lijngrafieken waarin de invloed van alle parameters kan worden uitgezet.

Het model is zo opgebouwd dat getracht is de structuur helder en eenvoudig te houden zodat op betrekkelijk eenvoudige wijze modules kunnen worden aangepast, vervangen en/of worden toegevoegd.

Stapsgewijs verbeteren van de dijkkring

Het stapsgewijs reduceren van de overstromingskans van een dijkkringgebied is een cyclisch proces waarin steeds de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit een dijkkring verbeterd moeten worden. In elke cyclus van het verbeteringsproces kunnen een vijftal stappen worden onderscheiden:

1. het analyseren van de overstromingskans(verdelingen), het lokaliseren van de 'zwakste' schakel(s) en het bepalen van het maatgevende faalmechanisme;
2. het bepalen van de maximaal haalbare reductie in de faalkans van het 'zwakste' dijkvak;

3. het inventariseren van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van de 'zwakste' dijkvak(ken) en op de investeringskosten zodat een inschatting gemaakt kan worden van de goedkoopste verbeteringsmaatregel;
4. het kiezen van een beste verbeteringsmaatregel voor de 'zwakste' dijkvak(ken), waarmee de grootste faalkansreductie wordt behaald tegen de kleinste investeringskosten;
5. het bepalen van het rendement van de verbeteringsmaatregel uitgedrukt in een overstromingskansreductie versus de investeringskosten.

In dit onderzoek is als gevolg van de beperkte tijd slechts tweemaal bovenstaande cyclus doorlopen, mede omdat het in dit onderzoek meer ging om de procedure dan om de resultaten.

Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van de voorgestelde rekenprocedure in combinatie met het ontwikkelde model PC_RINGSCHIL is het mogelijk een verband te bepalen tussen een overstromingskansreductie en de investeringskosten. Daarnaast geeft PC_RINGSCHIL een eerste indicatie voor een eventuele user interface voor PC_RING. Het ontwikkelde model PC_RINGSCHIL is echter nog lang niet af. Als gevolg van eerder genoemde afbakeningen is het model beperkt gebleven, maar er is ruimte vrij gehouden voor een eventuele uitbreiding. Gedacht kan worden aan een uitbreiding met meerdere faalmechanismen of een uitbreiding van de rekenmodule voor investeringskosten.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gemaakt:

- de voorgestelde rekenprocedure dient meerdere malen doorlopen te worden dan de twee keer in dit onderzoek, zodat het verband tussen een overstromingskansreductie en de investeringskosten duidelijker wordt;
- het model PC_RINGSCHIL dient verder uitgewerkt te worden. Gedacht kan worden aan een uitbreiding met meerdere faalmechanismen en een meer gedetailleerde rekenmodule voor de investeringskosten, zodat de resultaten nauwkeuriger worden;
- het model toe te passen op een ander dijkkringgebied, zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen de resultaten;
- op korte termijn een user interface te ontwikkelen, waardoor het gebruiksgemak van de programmatuur verbeterd wordt.

Deze rapportage is opgesplitst in een hoofdrapport en een bijlagerapport. Het hoofdrapport bestaat uit vijf hoofdstukken genummerd van 1 t/m 5. Bij elk hoofdstuk uit het hoofdrapport is in het bijlagerapport een bijlage hoofdstuk opgenomen. Deze hoofdstukken zijn genummerd met Romeinse cijfers I t/m V. Binnen elk bijlage hoofdstuk worden de bijlagen onderscheiden door letters.

Hoofdstuk 1 uit het hoofdrapport begint met een inleidend verhaal. In eerste instantie wordt het kader besproken waarbinnen dit afstudeeronderzoek geplaatst kan worden. Aan de hand van deze kaderbeschrijving is een probleemanalyse opgesteld welke uitmondt in een tweetal probleemstellingen. Vervolgens worden de doelstellingen van dit onderzoek geformuleerd. Aansluitend wordt een eerste opzet van het model besproken en wordt aangegeven welke afbakeningen gemaakt zijn opdat het onderzoek behapbaar zou blijven.

In hoofdstuk 2 wordt vervolgens een overzicht gegeven van de randvoorwaarden en de uitgangspunten van dit onderzoek. Het hoofdstuk begint met een beschrijving van het dijkkringgebied en de indeling van de dijkvakken. Vervolgens komen de belastingen aan de orde, gevolgd door de sterkte-eigenschappen. Tenslotte wordt in dit hoofdstuk een nadere toelichting gegeven op, de in dit onderzoek gebruikte versie van PC_RING.

Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het in dit onderzoek ontwikkelde model PC_RINGSCHIL. In eerste instantie wordt een toelichting gegeven op de componenten waaruit het model is opgebouwd. Vervolgens worden een aantal tests doorlopen waarmee de werkwijze van het model is gecontroleerd. Aansluitend worden twee verschillende toepassingsmogelijkheden toegelicht en wordt het hoofdstuk afgesloten met een beschrijving van een eventuele overstap naar overstromingsrisico's en de gevolgen hiervan voor het model.

Hoofdstuk 4 bespreekt één van de eerder toegelichte toepassingsmogelijkheden, namelijk het stapsgewijs reduceren van de overstromingskans van een dijkkringgebied. Een rekenprocedure wordt toegelicht waarmee het verband tussen de reductie in overstromingskans en de investeringskosten bepaald kan worden. Dit proces heeft een cyclisch karakter en van de eerste cyclus wordt elke stap uitgebreid toegelicht. De tweede cyclus wordt besproken in het bijlagerapport. Tenslotte wordt het hoofdstuk beëindigd met een weergave van de rekenresultaten. Het hoofdrapport wordt afgesloten met een uiteenzetting van de conclusies en aanbevelingen.

Voorafgaand aan het rapport dient een tweetal opmerkingen geplaatst te worden.

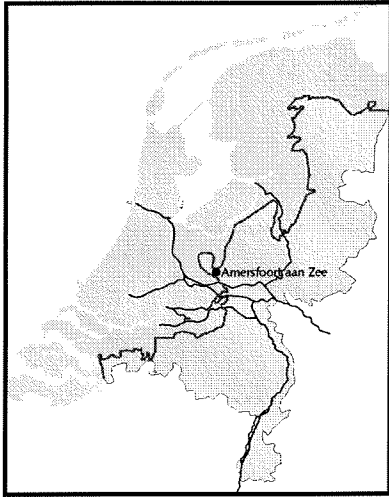
- (1) In het rapport komt herhaaldelijk de term 'zwakste' schakel aan de orde. Diverse malen is in de tekst aangegeven dat dit niet de juiste terminologie is maar dat het beter is te spreken over het vak met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans. In andere rapporten wordt toch meestal de term 'zwakste' schakel toegepast, vandaar dat deze term ook in dit rapport herhaaldelijk genoemd wordt. Onthouden dient echter te worden dat dit niet helemaal correct is.
- (2) In aanvulling op het resultaat van dit onderzoek dient opgemerkt te worden dat vergeten is de lengten van de verschillende dijkvakken mee te nemen in de investeringsgrafieken. Er is gebruik gemaakt van de kosten per strekkende meter. Hierbij is vergeten dat de verschillende dijkvakken verschillen in lengte en dat daardoor de kosten per dijkvak zullen variëren.

Inhoudsopgave

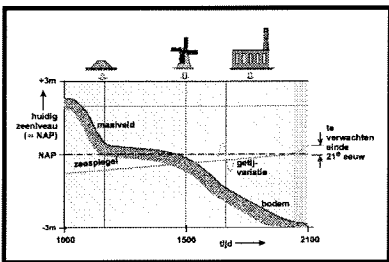
Voorwoord	I
Samenvatting	II
Leeswijzer	III
Inhoudsopgave	IV
Hoofdstuk 1. Inleiding	V
Hoofdstuk 2. Randvoorwaarden en uitgangspunten	VI
Hoofdstuk 3. Modelbeschrijving	VII
Hoofdstuk 4. Stapsgewijs verbeteren van de dijkkring	VIII
Hoofdstuk 5. Conclusies en aanbevelingen	IX
Literatuur	X

Hoofdstuk 1. Inleiding

Hoofdstuk 1. Inleiding	V
1.1 Beschrijving kader van het onderzoek	1
1.2 Probleemanalyse	4
1.2.1 Algemeen	4
1.2.2 Toepassing ontwikkelde kennis	4
1.2.3 Grootschalige inzet nieuwe methodiek	4
1.3 Probleemstelling	5
1.4 Doelstelling	5
1.5 Modelopzet	5
1.6 Afbakening	7
1.6.1 Algemeen	7
1.6.2 Dijkringgebied	7
1.6.3 Investeringskosten	10
1.6.4 Faalmechanismen	11
1.6.5 Ontwerpparameters	12
Bijlagen	
I.A Brieven staatssecretaris drs. J.M. de Vries	
I.B Wet op de Waterkering	
I.C Resultaten SPRINT onderzoek	
I.D Uitgebreide kaderbeschrijving	
I.E Citaat Ir. R.E. Jorissen (maart 2000)	



.....**Figuur 1.1.**.....
Nederland zonder beschermende maatregelen van dijken, duinen en dammen (DWW)



.....**Figuur 1.2.**.....
Bodemdaling en zeespiegelstijging als functie van de tijd; aangegeven is wat de invloed van de verschillende technische ontwikkelingen is op de bodemdaling (DWW)



.....**Figuur 1.3.**.....
De stormvloedramp van 1953 eiste 1835 mensenlevens en inundeerde 200.000 ha land (ANTONISSE, 1986)

.....**Toelichting¹**.....
Een kosten-baten analyse

.....**Toelichting²**.....
Het begrip 'volledig veilig' werd nader uitgewerkt in ontwerpregels, waarbij een veiligheidsmarge werd voorgeschreven ten behoeve van onzekerheden in belasting en sterkte

1.1 Beschrijving kader van het onderzoek

Nederland, door de Fransen niet voor niets 'Les Pays Bas' (*de lage landen*) genoemd, ligt grotendeels onder de zeespiegel. Dit betekent dat zonder beschermende maatregelen van dijken, duinen en dammen, een groot gedeelte van Nederland onder water zou komen te liggen. Geen Zeeland, geen Zuid- en Noord-Holland, geen Friesland, maar slechts enkele uitstekende duinrijen zouden de huidige kustlijn kenmerken. Amersfoort zou, zonder beschermende maatregelen van dijken en duinen, een populaire kustplaats kunnen zijn. Nederlanders staan echter niet of nauwelijks stil bij het feit dat zij hun leven leiden onder de voortdurende bedreiging van overstromingen. In februari 1953 werd de bevolking, op wrede wijze herinnerd aan dit feit, toen de watersnoodramp honderden levens eiste en voor miljoenen schade aanrichtte. Vrij recent, in 1993 en 1995 beleefde de bevolking opnieuw kritieke momenten, toen Rijn en Maas grote hoeveelheden regenwater afvoerden en het water de stabiliteit van de nog niet versterkte dijken bedreigde. Een grootscheepse evacuatie werd nodig geacht om de veiligheid van de bevolking te kunnen waarborgen.

Aanhoudende bodemdaling, toenemende neerslaghoeveelheden en zeespiegelstijging als gevolg van klimaatveranderingen zorgen ervoor dat de belastingen op de waterkeringen in de loop van de tijd zullen toenemen. Behalve veranderende belastingen treden er ook veranderingen op in de te beschermen belangen van het achterland. Gedacht kan worden aan een verandering in het aantal inwoners van een gebied maar ook aan een toe- of afname van economische activiteiten en/of LNC-waarden van het achterland. Door deze continu veranderende ontwikkelingen zal de door waterkeringen geboden veiligheid in de toekomst steeds opnieuw beoordeeld moeten worden.

Behalve bovenstaande, continu in de tijd veranderende factoren, zijn in de loop van de tijd ook de inzichten en kennis met betrekking tot de veiligheidsbenadering veranderd. In onderstaande alinea wordt een kort overzicht gegeven van de belangrijkste veranderingen in deze denkwijze.

In de periode vóór de watersnoodramp van 1953 werden de dijken ontworpen op basis van de tot dusver hoogst voorgekomen waterstand. De watersnoodramp van februari 1953 was aanleiding voor een verandering in deze denkwijze. Nog in dezelfde maand dat de ramp zich voltrok werd de Deltacommissie geïnstalleerd. Zij kreeg de opdracht na te gaan welke waterstaattechnische voorzieningen getroffen zouden moeten worden met betrekking tot de door stormvloed geteisterde gebieden, om een ramp zoals die van februari 1953 te voorkomen. Aan de basis van het onderzoek lag de opvatting dat dijkversterkingen niet meer op basis van de tot dusver hoogst voorgekomen waterstand uitgevoerd moesten worden, maar dat rekenschap gehouden moest worden met de in de toekomst te verwachten waterstanden, waarbij voor elk gebied een aanmerkelijk economisch en sociaal verantwoorde mate van beveiliging werd verzekerd. (DELTA COMMISSIE, 1960) De Deltacommissie heeft in eerste instantie voor Centraal Holland een econometrische beschouwing opgesteld, waarin een econometrisch optimaal veiligheidsniveau werd bepaald¹. Zo'n beschouwing is gebaseerd op een kans op een dijkdoorbraak. In 1960 was de kennis echter nog onvoldoende ontwikkeld dat men ook daadwerkelijk deze kans kon bepalen en daarom werd gekozen voor een andere benadering. De Deltacommissie stelde dat een waterkering, bij een waterstand gelijk aan een ontwerppeil, nog 'volledige veiligheid' tegen doorbreken moest bezitten². De hoogte van dit ontwerppeil werd bepaald aan de hand van een basispeil, een door de Deltacommissie voorspelde maximale stormvloedstand bij Hoek van Holland, gecorrigeerd met zogenaamde economische reductiefactoren, waarvan de grootte afhankelijk werd gesteld van de economische waarde van het achterliggende gebied. In 1977 achtte de Commissie Becht een kleinere veiligheidsnorm (*dan de veiligheidsnorm voorgesteld door de Deltacommissie*) toelaatbaar in het (boven)rivierengebied.

Reden hiervoor waren een aantal, hier niet nader te noemen (zie bijlage I.D), verzachtende omstandigheden ten opzichte van het door stormvloed geteisterde gebied, waarvoor de Deltacommissie haar veiligheidsnorm had afgeleid. In de jaren tachtig werd voorgesteld de ontwerpregel voor de toegepaste extra waakhoogte ten behoeve van het faalmechanisme 'overslag' aan te passen. De tot dusver gehanteerde 2%-golfoploophoogte werd vervangen door een maximaal toelaatbaar geacht overslagdebiet, een zogenaamde limietwaarde voor de hoeveelheid overslaand water.

In 1996 werd na het gereedkomen van verschillende dijkversterkingsronden en de Deltawerken besloten om de tot dusver verworven veiligheid en de handhaving hiervan, een wettelijk basis te geven. Hiertoe werd in de Wet op de Waterkering (WoW) per dijkkringgebied de overschrijdingskans van de ontwerpwaterstand vastgelegd. Deze veiligheidsnorm wordt in Artikel 3 van deze wet omschreven als: 'Op een bij deze wet behorende bijlage II is voor elk dijkkringgebied de veiligheidsnorm aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans – per jaar – van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren¹. (TAW, januari 1998)

.....**Verwijzing**¹.....

In bijlage I.B wordt een overzicht gegeven van de overschrijdingskansen behorende bij de verschillende dijkkringgebieden volgens de Wet op de Waterkering

Bovengenoemde veiligheidsbenadering staat bekend als de overbelastingsbenadering per dijkvak. In deze benadering wordt de veiligheid van het achterland gekoppeld aan een kans op overschrijding van een toelaatbaar geachte hydraulische belasting (waterstand/golven) voor het faalmechanisme 'overloop/overslag', op het niveau van een dijkvak. Op het niveau van een dijkvak wil zeggen, dat deel van de waterkering met uniforme eigenschappen (sterkte) en omstandigheden (belastingen). In de praktische uitwerking betekent dit dat de kruinhoogte van een dijkvak gelijk wordt gesteld aan het MHW (Maatgevend Hoog Water) vermeerderd met een extra waakhoogte, afhankelijk van een maximaal toelaatbaar geacht overslagdebiet².

.....**Toelichting**².....

Bijbehorende veiligheidseisen:

1. *de kans op overschrijden van een kritiek overslagdebiet q_c mag voor elk dijkvak niet groter zijn dan de norm die in de WoW voor het betreffende dijkkringgebied is genoemd*
2. *bij waterstanden gelijk aan of lager dan MHW mag de kans op falen door andere oorzaken dan het mechanisme 'overloop/overslag' niet meer dan 10% van de in punt 1. genoemde norm bedragen*

De belangrijkste tekortkoming van deze thans toegepaste benadering is dat geen inzicht geboden wordt in de kans op een overstroming van een dijkkringgebied, met de daarbij behorende gevolgen in termen van schade en slachtoffers. Daarnaast houdt de huidige benadering geen rekening met het feit dat een dijkkring bestaat uit een groot aantal onafhankelijke elementen en dat het falen van elk element afzonderlijk kan leiden tot een overstroming. Bovendien is het niet mogelijk om te komen tot een evenwichtig ontwerp ten aanzien van de verschillende faalmechanismen. Tenslotte kan opgemerkt worden dat in de op dit moment toegepaste veiligheidsbenadering alleen rekening gehouden wordt met de onzekerheid in de waterstanden, terwijl er nog tal van andere onzekerheden bestaan, waar rekening mee gehouden zou moeten worden.

.....**Toelichting**³.....

Overstromingsrisico wordt uitgedrukt in een kans op een overstroming vermenigvuldigd met de gevolgen van een overstroming in termen van schade en slachtoffers

In de toekomst zou men daarom willen overstappen op een veiligheidsbenadering die gebaseerd is op overstromingsrisico's³, waarin bovengenoemde tekortkomingen worden aangevuld. Met zo'n veiligheidsbenadering wordt het tevens mogelijk om risico's van overstromingen, vergelijkbaar te maken met alledaagse risico's in bijvoorbeeld het verkeer en de industrie waardoor een risicobenadering zich beter leent voor communicatie met de maatschappij.

.....**Toelichting**⁴.....

Het tweede deelproject valt buiten de scope van dit afstudeerproject

In dit kader is in opdracht van Rijkswaterstaat onder auspiciën van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) in de jaren negentig het Marsroute onderzoekprogramma gestart. In dit onderzoekprogramma worden de mogelijkheden van de overstap naar een nieuwe veiligheidsbenadering gebaseerd op overstromingsrisico's onderzocht. Inmiddels is het Marsroute onderzoekprogramma overgegaan in het project Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen.

Het Marsroute project werd opgedeeld in twee deelprojecten. Het eerste deelproject richtte zich op de overstap van de overbelastingsbenadering per dijkvak naar de overstromingskansbenadering. Het tweede deelproject moet zich gaan richten op de overstap van overstromingskansen naar overstromingsrisico's⁴.

.....**Toelichting**¹.....
'Actuele dijk' tussen aanhalingstekens omdat voor sommige ontbrekende invoergegevens schattingen van expert judgement zijn gebruikt en omdat de kunstwerken zijn behandeld alsof ze voldoen aan de vigerende leidraden omdat de vaak oude kunstwerken in een slechte staat verkeren en gegevens meestal ontbreken (TAW, juni 2000)

.....**Verwijzing**².....
In bijlage I.A wordt de brief van de TAW aan de staatssecretaris en de reactie van de staatssecretaris op deze brief aan de kamer weergegeven

.....**Verwijzing**³.....
In bijlage I.D wordt een uitgebreide beschrijving van het kader van dit onderzoek weergegeven. De bijlage is opgebouwd als een chronologisch overzicht met weergegeven de verschillende ontwikkelingen in de veiligheidsbenadering voor de waterkeringen

Gedurende het eerste deelproject is met behulp van de nieuwste inzichten op probabilistisch gebied een nieuwe methode ontwikkeld, waarmee het mogelijk is om de overstromingskans van een dijkkringgebied te bepalen, waarbij rekening gehouden wordt met zowel falen als gevolg van het mechanisme 'overloop-/overslag', alsmede falen als gevolg van alle overige faalmechanismen van een waterkering, zoals bijvoorbeeld afschuiven, piping, etc.

Invallende is met het nieuwe model een tweetal studies uitgevoerd. De eerste studie richtte zich op de technische haalbaarheid van de nieuwe methodiek en de nauwkeurigheid van de resultaten. Deze studie staat bekend als de IJpunt casestudies en omvat een achttal dijkkringgebieden. De wens om de huidige intrinsieke veiligheid (*nog*) niet ter discussie te stellen (*trendbreuk*) gold als belangrijkste uitgangspunt bij deze studie. Na afloop van de studie werd geconcludeerd dat een overstromingskansberekening technisch haalbaar was en dat de resultaten goed aansloten op de huidige ontwerppraktijk.

De tweede studie richtte zich op het geven van inzicht in de overstromingskansen van de 'actuele dijk' en de gevolgen van een overstroming in termen van schade en slachtoffers'. Daarnaast is met behulp van gevoeligheidsberekeningen onderzocht hoe de overstromingskans verandert als gevolg van de te verwachte zeespiegelstijging en/of afvoervergroting. De studie werd uitgevoerd voor een viertal dijkkringgebieden: 'Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard', 'Centraal Holland', 'Hoeksche Waard' en 'Groningen en Friesland'. De resultaten van deze studie zijn gerapporteerd in het rapport 'Van overschrijdingskans naar overstromingskans' en met een brief voorgelegd aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat².

De belangrijkste conclusies die de TAW trekt uit het onderzoek zijn:

- ✓ dat de technische mogelijkheden er zijn om overstromingskansen te berekenen, waarbij alle faalwijzen van waterkeringen op een gelijkwaardige manier worden beschouwd en onzekerheden, systematisch en controleerbaar in de berekening worden verdisconteerd;
- ✓ dat met behulp van de nieuwe methode, waarmee de overstromingskans van een dijkkringgebied bepaald wordt, inzichtelijk gemaakt kan worden wat de zwakke schakels in een dijkkring zijn. Voor het stapsgewijs verbeteren van de waterkering kunnen op basis van de berekende overstromingskansen prioriteiten beter gesteld worden en kan het beschikbare geld efficiënter worden gebruikt;
- ✓ dat de kunstwerken extra aandacht vragen;
- ✓ dat de kennis verder uitgebreid moet worden, zowel in diepgang als in schaal (*landsdekkend onderzoek*) (TAW, juni 2000).

Op basis van de resultaten van het onderzoek beveelt de TAW aan om:

- ✓ op korte termijn voor alle 53 dijkkringgebieden in Nederland de overstromingskans te berekenen, zodat een eerste inzicht in zwakke schakels en kennislacunes ontstaat voor alle dijkkringgebieden;
- ✓ op korte termijn nader onderzoek uit te voeren naar de sterkte en de bedrijfszekerheid van de kunstwerken, omdat hier de grootste onzekerheden bestaan;
- ✓ nader onderzoek uit te voeren naar de grootte van onzekerheden, zodat de berekende overstromingskans de werkelijke overstromingskans beter benadert. (TAW, juni 2000)³

1.2 Probleemanalyse

.....Toelichting¹.....

Citaat Ir. R.E. Jorissen: 'Opties voor het vervolg van het MARSroute onderzoek' (zie bijlage I.E)

0. niets doen, noch wat betreft vervolgonderzoek, noch wat betreft beleidsvoorbereiding
1. het instrumentarium verder ontwikkelen en de beleidsmatige toepassing voorlopig parkeren
2. het instrumentarium verder ontwikkelen en tegelijk een aantal 'no-regret' maatregelen formuleren op basis van het nu beschikbare instrumentarium
3. het instrumentarium verder ontwikkelen en tegelijk een nieuw veiligheidsbeleid tegen overstromingen formuleren op basis van het beoogde instrumentarium

Voorstel: op de korte termijn biedt optie 2 de meeste voordelen. De onevenwichtigheden worden uit het huidige systeem gehaald, zonder dat de fundamentele discussie over een nieuwe wijze van normering hoeft te worden gevoerd.

.....Toelichting².....

Zwakke schakels in een dijkkring zijn die dijkvakken die de grootste bijdrage leveren aan de overstromingskans

1.2.1 Algemeen

Uit de voorgaande paragraaf en ook uit de brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de kamer, blijkt dat meer onderzoek benodigd is voordat de overstromingskansbenadering geaccepteerd kan worden als wettelijke veiligheidsbenadering. Dit afstudeeronderzoek probeert een steentje bij te dragen aan dit onderzoek. Uit het slot van de vorige paragraaf blijkt tevens dat het niet gaat om onderzoek in één bepaalde richting maar dat er op een aantal verschillende vlakken onderzoek zal moeten plaatsvinden. Het is daarom ook onzinnig om alle, nu gerezen vragen, in één onderzoek te proberen te beantwoorden. Met dit in het achterhoofd in combinatie met de gedachtegang van Ir. R.E. Jorissen met betrekking tot het vervolg van het Marsroute onderzoekprogramma¹, is besloten om in dit afstudeeronderzoek enerzijds te proberen de reeds ontwikkelde kennis daadwerkelijk toe te passen en anderzijds te proberen met behulp van dit onderzoek een bijdrage te leveren aan het vervolgonderzoek waar de TAW om vraagt. Deze bijdrage zal hoofdzakelijk bestaan uit aanbevelingen omtrent de bruikbaarheid en de toepasbaarheid van het overstromingskansmodel. De probleemstelling voor dit afstudeerproject is dus tweedelig. Getracht is om beide problemen binnen één oplossing aan te pakken.

1.2.2 Toepassing ontwikkelde kennis

In het rapport 'Van overschrijdingskans naar overstromingskans' wordt geconcludeerd dat met de nieuwe methode inzichtelijk kan worden gemaakt wat de zwakke schakels in een dijkkring zijn². Daarnaast kunnen voor het stapsgewijs verbeteren van de waterkering op basis van de berekende overstromingskansen prioriteiten beter gesteld worden en kan het beschikbare geld efficiënter worden gebruikt. (TAW, juni 2000) Met behulp van de nieuwe methode en de resultaten uit voorgaande onderzoeken is het mogelijk om te bepalen hoe groot de investeringskosten zouden worden om de overstromingskans van een dijkkringgebied terug te brengen naar een aangegeven (politiek/maatschappelijk gewenst) veiligheidsniveau. Voor zo'n benadering is het echter noodzakelijk te beschikken over een gevoeligheidsanalyse van de invloed van verschillende ontwerpparameters op de overstromingskans. De huidige versie van het ontwikkelde model is echter niet in staat om op een snelle en efficiënte manier deze zogenaamde ontwerpparameterinvloeden te bepalen. Op dit moment ontbreekt het dan ook nog aan inzicht in de grootte van de investeringskosten van verschillende verbeteringsmaatregelen waarmee een overstromingskansreductie gerealiseerd kan worden.

1.2.3 Grootschalige inzet nieuwe methodiek

De staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat vraagt in een reactie op de brief van de TAW om landelijk inventarisatie van de overstromingskansen van alle dijkkringgebieden binnen een tijdsduur van twee jaar. Dit betekent dat er op korte termijn, grote hoeveelheden overstromingskansberekeningen gemaakt zullen gaan worden. Op dit moment zijn er echter maar een paar experts die de achtergrond van het model kennen en adequaat kunnen omgaan met de programmatuur. Het is hierdoor onvermijdelijk dat berekeningen uitgevoerd zullen moeten gaan worden door personen, die nog geen of nauwelijks ervaring hebben met, of kennis van het nieuwe model. Daarbij komt nog dat de huidige versie van het model waarmee de overstromingskansberekeningen uitgevoerd moeten worden, zeer gebruiksonvriendelijk is, hetgeen in combinatie met het gebrek aan kennis van de achtergronden van het model zal leiden tot grote vertragingen in de uitvoering. Gezien de al krappe tijdsduur waarin de politiek vraagt om een landelijk beeld van de overstromingskansen, zal dit onvermijdelijk tot problemen leiden.

1.3 Probleemstelling

Op dit moment ontbreekt het aan inzicht omtrent de grootte van de investeringskosten die benodigd zijn om de overstromingskans van een dijkkringgebied te reduceren tot een bepaald (*politiek/maatschappelijk gewenst*) veiligheidsniveau. Met de huidige versie van het nieuw ontwikkelde model is het (*nog*) niet mogelijk om op een efficiënte wijze, een inschatting te maken van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de overstromingskans. Daarnaast is de huidige versie (*nog*) onvoldoende geschikt om gebruikt te worden door personen die geen of nauwelijks kennis hebben van de achtergronden en de werkwijze van de programmatuur.

1.4 Doelstelling

- (1) Het ontwikkelen van een rekenprocedure waarmee de invloed van investeringskosten van verschillende soorten verbeteringsmaatregelen op de overstromingskans van een dijkkringgebied zichtbaar kan worden gemaakt om vervolgens een voorstel te doen om de overstromingskans van een dijkkringgebied stapsgewijs te reduceren tot een bepaald (*politiek/maatschappelijk gewenst*) veiligheidsniveau, tegen de minste kosten. Dit betekent dat een geautomatiseerd model gekoppeld moet worden aan het huidige overstromingskansmodel, zodanig dat de invloed van verschillende ontwerpparameters op de overstromingskans bepaald kan worden.
- (2) Het ontwikkelen van nieuwe informatieverschaffende modules, in aanvulling op het huidige model, zodanig dat de werkbaarheid van het bestaande model verbeterd wordt, zodat het model makkelijker toegankelijk wordt voor mensen met (*nog*) geen of nauwelijks ervaring met de programmatuur.

1.5 Modelopzet

Basis

Het huidige model is in staat om op basis van een aantal benodigde invoergegevens, met behulp van probabilistische rekentechnieken een overstromingskans van een dijkkringgebied te bepalen. Daarnaast is het ook mogelijk om voor elk van de afzonderlijke faalmechanismen, per dijkvak, de faalkans te bepalen. In het huidige model zijn de volgende faalmechanismen geïmplementeerd: 'overslag/overloop', 'afschuiven', 'opbarsten en piping', 'beschadiging bekleding en erosie dijklichaam', 'piping bij kunstwerken', 'niet sluiten kunstwerken' en 'duinafslag' (*TNO-Bouw, september 1999*). In het onderzoek, voorafgaand aan het rapport 'Van overschrijdingskans naar overstromingskans' zijn overstromingskansberekeningen uitgevoerd voor vier verschillende dijkkringgebieden. De invoergegevens die in dit onderzoek zijn gebruikt, zullen ook worden toegepast in dit afstudeeronderzoek. Deze invoergegevens zijn gebaseerd op de 'actuele' situatie van de dijk (*zie toelichting¹ op pagina 3*). De bestaande programmatuur, waarmee de overstromingskansberekeningen uitgevoerd worden (*in het vervolg aangeduid als PC_RING*) en de invoergegevens uit het SPRINT onderzoek vormen gezamenlijk de basis van het, in dit onderzoek te ontwikkelen model.

Invloed ontwerpparameters op de overstromingskans

Zoals reeds eerder aangeduid, is PC_RING (*nog*) niet in staat om op een efficiënte manier de invloed van verschillende ontwerpparameters op de overstromingskans van een dijkkring te bepalen. Deze invloed dient echter wel bekend te zijn, als men een beeld wil krijgen van de investeringskosten van verschillende soorten verbeteringsmaatregelen als functie van de overstromingskans. In dit kader zal rondom de basis van het model (*PC_RING en invoergegevens*) een schil ontworpen worden, waarin verschillende ontwerpparameters gevarieerd kunnen worden en de invloed van deze variaties op de overstromingskans kan worden bepaald¹.

.....**Toelichting¹**.....
Welke ontwerpparameters in dit afstudeeronderzoek meegenomen zullen worden, zal besproken worden in paragraaf 1.6.5

.....**Toelichting**¹.....
 Op welke wijze de kostenmaat in dit afstudeeronderzoek zal worden toegepast, zal besproken worden in paragraaf 1.6.3

Effectiviteit ontwerpparametervariaties

Wanneer een beeld is ontstaan van de overstromingskans als functie van de verschillende ontwerpparameters, kunnen de verschillende ontwerpparametervariaties onderling vergelijkbaar gemaakt worden door de invoering van een kostenmaat¹. Dit moet uiteindelijk resulteren in een overzicht van de overstromingskans als functie van een kostenmaat per ontwerpparameter. Op basis van deze functies kan een inschatting gemaakt worden van de effectiviteit van de verschillende ontwerpparametervariaties. Deze effectiviteit kan uitgedrukt worden als een overstromingskansreductie als functie van een kostenmaat.

Opstellen verbeteringsopties

Op basis van de effectiviteit van de verschillende ontwerpparametervariaties kunnen verschillende verbeteringsopties afgeleid worden. Hierbij wordt uitgegaan van de dijk zoals hij er nu ligt (*randvoorwaarden SPRINT onderzoek*). Gezocht moet worden naar die verbeteringsoptie (*wellicht bestaande uit meerdere ontwerpparametervariaties*), die tegen de kleinste investeringskosten een overstromingskansreductie oplevert, waarbij de overstromingskans voldoet aan een (*politiek/maatschappelijk gewenst*) veiligheidsniveau (*normering*).

Stapsgewijze verbetering

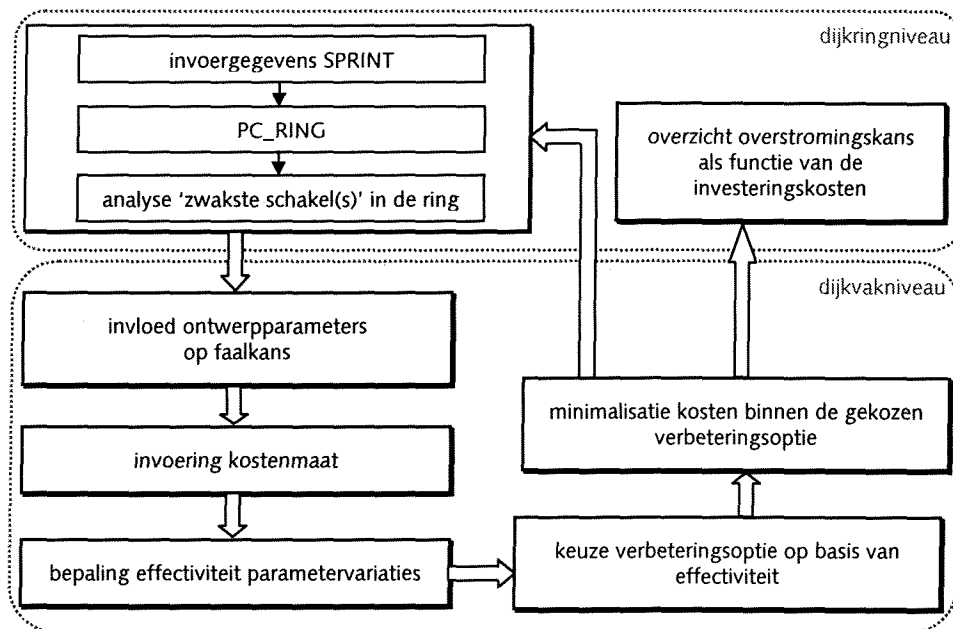
Omdat een politiek/maatschappelijk gewenst veiligheidsniveau op basis van overstromingskansen op dit moment nog niet bestaat zal in dit onderzoek een beeld gegenereerd worden van de investeringskosten waarbij de overstromingskans van een dijkkringgebied stapsgewijs wordt gereduceerd, door telkens de dijkvak(ken) met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans (*vaak 'ten onrechte' aangeduid als de zwakste schakel(s)*) te verbeteren. Uit het SPRINT onderzoek is immers gebleken dat de overstromingskans van een dijkkringgebied meestal bepaald wordt door de faalkans van deze dijkvakken². Bij een steeds strengere veiligheidseis zullen steeds meer dijkvakken verbeterd moeten worden en zal het rendement van de investeringen afnemen. De overstromingskans als functie van de investeringskosten zal dan ook een sprongsgewijs verloop krijgen³. In een later stadium als de politiek/maatschappelijke discussie omtrent een gewenst veiligheidsniveau is gevoerd kan alsnog bepaald worden hoe groot de investeringskosten zijn, behorende bij dit veiligheidsniveau.

.....**Verwijzing**².....
 Zie bijlage I.C Resultaten SPRINT onderzoek, maar ook (TAW, juni 2000). Dit gegeven is niet algemeen geldig. In paragraaf 1.6.1 zal een nadere toelichting gegeven worden

.....**Verwijzing**³.....
 In paragraaf 1.6.1 zal het principe van stapsgewijze verbetering uitgebreider worden toegelicht

Grafische voorstelling

.....**Figuur 1.4**.....
 Grafische weergave van de modelopzet



1.6 Afbakening

1.6.1 Algemeen

De beschikbare tijd voor dit afstudeeronderzoek is beperkt, waardoor het noodzakelijk is, het onderzoek zo af te bakenen dat het niet te groot wordt. Dit betekent in eerste instantie dat uit de vier dijkkringgebieden die onderzocht zijn in het SPRINT onderzoek, één dijkkringgebied gekozen zal worden, welke onderwerp wordt van dit afstudeeronderzoek¹. In tweede instantie zal een afbakening gemaakt worden in de nauwkeurigheid van de te bepalen investeringskosten. Afgewogen wordt of de investeringskosten tot in detail bepaald zullen worden of dat de kosten zullen worden benaderd door een kosten bepalende grootheid. Vervolgens zal een beperking worden gemaakt in het aantal te beschouwen faalmechanismen. Soms veroorzaakt door het ontbreken van een faalmechanisme in een dijkkringgebied, soms door vereenvoudigingen gemaakt in voorgaande studies, soms als gevolg van eerder gemaakte keuzes in de afbakening en soms als gevolg van technische beperkingen. Tenslotte zal op basis van de keuze van de kostenmaat en de faalmechanismen een selectie gemaakt worden van de in dit afstudeeronderzoek te variëren ontwerpparameters.

1.6.2 Dijkkringgebied

In het onderzoek dat aan de basis ligt van dit afstudeeronderzoek (*het SPRINT onderzoek*) is reeds een selectie gemaakt uit de Nederlandse dijkkringgebieden. Bij deze keuze zijn toendertijd de volgende criteria gehanteerd:

- ✓ de gebieden moesten representatief zijn voor de huidige veiligheidsnorm;
- ✓ de gebieden moesten verschillen in grootte;
- ✓ de gebieden moesten onder verschillende belastingregimes vallen.

Op basis van deze criteria is gekozen voor de dijkkringgebieden:

1. 'Groningen en Friesland' (*dijkkring 6*)
2. 'Centraal Holland' (*dijkkring 14*)
3. 'Hoeksche Waard' (*dijkkring 21*)
4. 'Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard' (*dijkkring 43*)

In dit onderzoek wordt een keuze gemaakt uit deze, eerder gemaakte selectie van dijkkringgebieden. Hieraan licht een praktische reden ten grondslag, namelijk dat van deze dijkkringgebieden de benodigde invoergegevens ten behoeve van de overstromingskansberekeningen reeds beschikbaar zijn.

Op basis van de resultaten uit het SPRINT onderzoek is het mogelijk om een eerste inschatting te maken van de effectiviteit van eventuele verbeteringsmaatregelen². Er zal immers altijd een afweging gemaakt moeten worden tussen de kosten van eventuele verbeteringsmaatregelen die leiden tot een overstromingskansreductie en de te realiseren vergroting van de veiligheid. Wanneer de resultaten van het SPRINT onderzoek worden beschouwd, kan opgemerkt worden dat de totale overstromingskans van een dijkkringgebied meestal bepaald wordt door één of enkele zwakke dijkvakken³ (*de dijkvakken met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans*). In eerste instantie kan de verbetering van deze zogenaamde 'zwakke schakel(s)' resulteren in een aanzienlijke vermindering van de totale overstromingskans tegen geringe investeringskosten. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de verbetering van een 'zwakke schakel' slechts nuttig is tot een overstromingskansniveau waarbij een ander dijkvak of andere dijkvakken het predikaat 'zwakke schakel' verdienen. De mate van overstromingskansreductie en de daarmee samenhangende effectiviteit van eventuele verbeteringsmaatregelen is daarom niet alleen afhankelijk van de grootte van de faalkans van het 'zwakste' dijkvak, maar ook van de verdeling van de faalkans over de overige dijkvakken uit de beschouwde dijkkring.

.....Toelichting¹.....

De vier dijkkringgebieden die onderzocht zijn in de SPRINT studie zijn:

- Groningen en Friesland (*dijkkring 6*)
- Centraal Holland (*dijkkring 14*)
- Hoeksche Waard (*dijkkring 21*)
- Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard (*dijkkring 43*)

(zie ook bijlage I.B WoW en bijlage I.D)

.....Verwijzing².....

De resultaten van het SPRINT onderzoek worden weergegeven in bijlage I.C

.....Toelichting³.....

Deze benadering is niet altijd geldig. Wanneer de overstromingskans steeds gelijkmatiger over de verschillende dijkvakken verdeeld is zal de totale overstromingskans steeds meer afwijken van de faalkans van de dijkvakken met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans (a.g.v. het correlatie effect)

.....**Toelichting¹**.....
 De betrouwbaarheidsindex (β) en de faalkans ($P[Z < 0]$) zijn aan elkaar gekoppeld via:
 $P[Z < 0] = \Phi(-\beta)$

Het voorgaande wordt duidelijker wanneer de resultaten uit het SPRINT onderzoek beschouwd worden. In bijlage I.C.1-4 zijn voor de vier, in het SPRINT onderzoek beschouwde dijkkringgebieden, per faalmechanisme en per dijkvak, de verschillende betrouwbaarheidsindices weergegeven¹. In bijlage I.C worden tevens, per dijkkringgebied een viertal grafieken weergegeven, waarin de verdeling van de faalkans en de verdeling van de betrouwbaarheidsindices per dijkvak en per faalmechanisme zijn weergegeven.

Beschouw in eerste instantie het dijkkringgebied 'Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard'. Uit figuur I.C.13-16 in bijlage I.C.4 blijkt dat de totale overstromingskans van het dijkkringgebied 'Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard' voornamelijk bepaald wordt door de faalkans van dijkvak 23 als gevolg van het faalmechanisme 'overslag/overloop'.

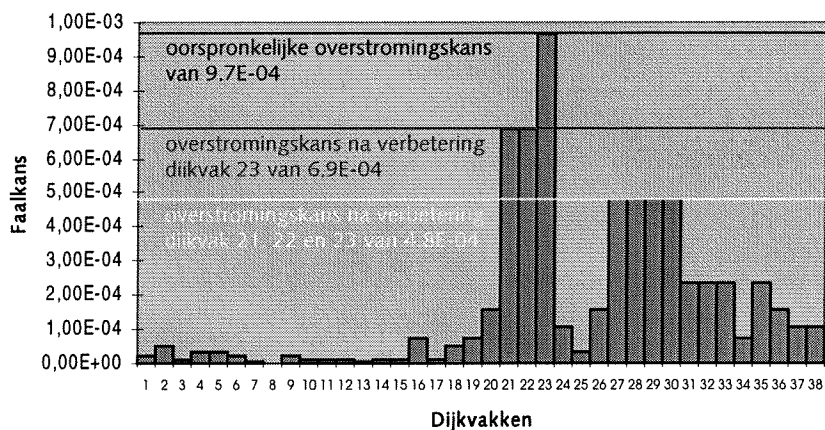
Stel nu dat door een aantal verbeteringsmaatregelen (*gedacht kan worden aan het vergroten van de kruinhoogte, of het vergroten van de kwaliteit van de grasmat op het binnentalud*) de faalkans van dijkvak 23 aanzienlijk gereduceerd kan worden. Als gevolg van deze reductie in faalkans van dijkvak 23, het 'zwakste' dijkvak, zal de totale overstromingskans van het gehele dijkkringgebied afnemen. Stel dat door de voorgestelde maatregelen de faalkans van dijkvak 23 afneemt tot $6,9 \cdot 10^{-4}$. Er kan dan gesteld worden dat de totale overstromingskans van de dijkkring ongeveer in gelijke mate² afneemt tot $6,9 \cdot 10^{-4}$.

Een grotere reductie van de faalkans van dijkvak 23 heeft geen extra reducerende invloed meer op de totale overstromingskans omdat de dijkvakken 21 en 22 tezamen met dijkvak 23 de grootste bijdrage leveren aan de totale overstromingskans (zie ook paragraaf 4.3). Slechts door verbetering van de dijkvakken 21, 22 en 23 tezamen kan de totale overstromingskans van het dijkkringgebied verder afnemen tot ongeveer² $4,8 \cdot 10^{-4}$.

.....**Toelichting²**.....
 De totale faalkans van een dijkkring wordt bepaald met de in bijlage II.O.4 besproken methode voor systeemfaalkansen. Het is echter verantwoord om bij kleine faalkansen te stellen dat de systeemfaalkans bij een eerste ruwe benadering gelijk is aan de grootste element-faalkans (elementaire ondergrens benadering), mits de faalkans niet te gelijkmatig verdeeld is over de dijkvakken

.....**Figuur 1.5**.....
 Verdeling van de totale overstromingskans over de dijkvakken van het dijkkringgebied Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard. Aangegeven zijn de geschatte overstromingskansen bij verbetering van respectievelijk 'vak 23' en 'vak 21, 22 en 23' tezamen

Kansverdeling over de dijkvakken

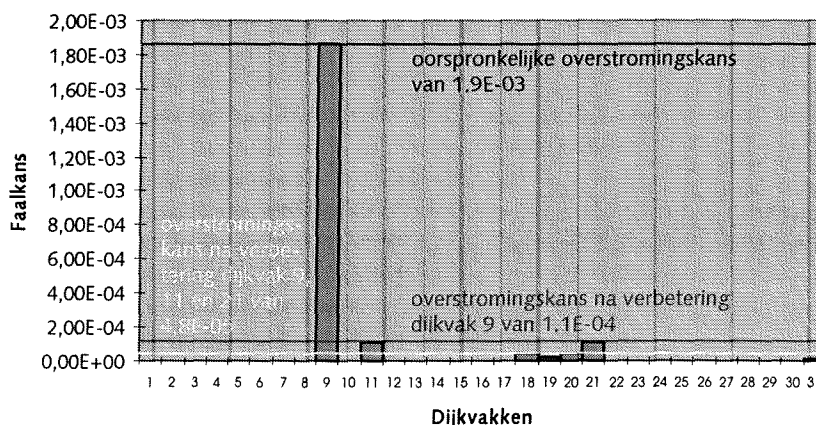


Dit proces van verbeteringsmaatregelen kan steeds weer herhaald worden, waarbij opgemerkt dient te worden dat bij elke verbeteringslag steeds meer dijkvakken verbeterd zullen moeten worden om een reductie in de totale overstromingskans te realiseren. Dit betekent dan ook dat de kosten bij elke nieuwe verbeteringslag sneller zullen toenemen. Gedurende dit verbeteringsproces wordt de overstromingskans steeds regelmatig verdeeld over de dijkvakken uit de dijkkring waardoor de benadering dat de ringfaalkans ongeveer gelijk is aan de faalkans van het 'zwakste' dijkvak steeds slechter wordt. De ringfaalkans zal dan een orde hoger komen te liggen.

Beschouw eveneens het dijkringgebied 'Groningen en Friesland'. Uit figuur I.C.1-4 in bijlage I.C.1 blijkt dat de totale overstromingskans van het dijkringgebied 'Groningen en Friesland' voornamelijk bepaald wordt door de faalkans van dijkvak 9 als gevolg van het faalmechanisme 'afschuiven'. Stel dat door verbeteringsmaatregelen (*gedacht kan worden aan het aanbrengen van een stabiliteitsberm op het talud*) de faalkans van dit dijkvak gereduceerd wordt tot $1,1 \cdot 10^{-4}$. Als gevolg van de reductie in faalkans van dijkvak 9 zal de totale overstromingskans ongeveer in gelijke mate¹ afnemen tot ongeveer $1,1 \cdot 10^{-4}$. Een grotere reductie van alleen de faalkans van dijkvak 9 heeft geen extra reducerende invloed meer op de totale overstromingskans omdat dan de dijkvakken 9, 11 en 21 tezamen bepalend te zijn voor de totale overstromingskans, als gevolg van respectievelijk de faalmechanismen 'afschuiven', 'piping' en 'overslag/overloop'. Slechts door de toepassing van verschillende (*of gecombineerde*) verbeteringsmaatregelen op alle drie de dijkvakken kan de totale overstromingskans verder afnemen tot ongeveer¹ $4,8 \cdot 10^{-5}$.

.....**Toelichting¹**.....
 De totale faalkans van een dijkkring wordt bepaald met de in bijlage II.O.4 besproken methode voor systeemfaalkansen. Het is echter verantwoord om bij kleine faalkansen te stellen dat de systeemfaalkans bij een eerste ruwe benadering gelijk is aan de grootste element-faalkans (elementaire ondergrens benadering), mits de faalkans niet te gelijkmatig verdeeld is over de dijkvakken

Kansverdeling over de dijkvakken



.....**Figuur I.6**.....
 Verdeling van de totale overstromingskans over de dijkvakken van het dijkringgebied Groningen en Friesland. Aangegeven zijn de geschatte overstromingskansen bij verbetering van respectievelijk 'vak 9' en 'vak 9, 11, en 21' tezamen

.....**Toelichting²**.....
 In de toekomst zal dit een risico gebaseerde afweging worden

Ten behoeve van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat naarmate de overstromingskans regelmatig verdeeld is over de dijkvakken, het economisch minder aantrekkelijk is om de overstromingskans te reduceren². Er moet dan immers een groot aantal dijkvakken verbeterd worden om een geringe reductie in overstromingskans te realiseren. (*Deze aantrekkelijkheid is echter ook afhankelijk van het soort verbeteringsmaatregelen dat getroffen moet worden om de overstromingskans te reduceren, hetgeen weer afhankelijk is van het maatgevende faalmechanisme*)

Beschouw bijlage I.C.5 waarin de verdelingen van betrouwbaarheidsindices over de dijkvakken van alle dijkringgebieden worden weergegeven. Het dijkringgebied waarin het meeste verbeteringsrendement (*uitgedrukt in overstromingskansreductie versus investeringskosten*) te behalen is, is dat dijkringgebied waar de verdeling van de betrouwbaarheidsindices het ongelijkmatigst is. Met andere woorden, dat dijkringgebied waar, door aanpassing van een klein aantal dijkvakken de meeste overstromingskansreductie gerealiseerd kan worden. In bijlage I.C.6 wordt geprobeerd dit zo goed mogelijk weer te geven, door voor alle dijkringgebieden een overzicht te geven van de afwijking van de gemiddelde waarde van de betrouwbaarheidsindices per dijkringgebied. Positieve afwijkingen van de gemiddelde waarde komen in deze figuren overeen met lage betrouwbaarheidsindices, dus hoge faalkansen en vice versa. Aangegeven is hoeveel dijkvakken verbeterd zouden moeten worden om een bepaalde overstromingskansreductie ten opzichte van de gemiddelde waarde van de betrouwbaarheidsindices te realiseren (*zie de gekleurde lijnen en extra informatie*).

.....**Toelichting**¹.....
In de figuren is dit te zien als een grote sprong tussen twee achtereenvolgende horizontale lijnen, waarbij het aantal staafbalkjes dat de onderste lijn doorsnijdt ten opzichte van het aantal staafbalkjes dat de bovenste lijn doorsnijdt niet al te snel toeneemt

De figuren uit bijlage C.1.6 laten duidelijk zien dat in de dijkkringgebieden 'Groningen en Friesland' en 'Centraal Holland' in tegenstelling tot in de dijkkringgebieden 'Hoeksche Waard' en 'Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard' de meeste overstromingskansreductie te realiseren is, waarbij een zo klein mogelijk aantal dijkvakken verbeterd moet worden¹.

Zowel het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' als het dijkkringgebied 'Centraal Holland' blijken dus geschikt te zijn om als onderzoeksobject te dienen voor dit afstudeeronderzoek. De uiteindelijke keuze voor het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' wordt gebaseerd op het feit dat de faalkans van de zogenaamde 'zwakste schakel(s)' in dit dijkkringgebied veroorzaakt wordt door meerdere verschillende faalmechanismen (*afschuiven: vak 9; piping: vak 11; en overloop/overslag: vak 21*). Als gevolg hiervan zal gedurende dit onderzoek gezocht moeten worden naar verschillende soorten verbeteringsmaatregelen en zal hiervan het effect bepaald worden op de totale overstromingskans. Hierdoor krijgt het onderzoek een iets bredere basis en kan onderzocht worden hoe verschillende faalmechanismen in het model geïntegreerd kunnen worden. Omdat de nadruk van dit onderzoek ligt op de ontwikkeling van een algemene methodiek heeft de beperking tot één dijkkringgebied in dit stadium van het onderzoek geen nadelig effect op het resultaat. In een later stadium kan de ontwikkelde methodiek alsnog toegepast worden op meerdere gebieden met verschillende soorten belastingregimes en gebiedskenmerken en kunnen de resultaten onderling vergeleken worden, zodat een beeld ontstaat van de invloed van de verschillende belastingregimes en de verschillende gebiedskenmerken op het stapsgewijze verbeteringsproces.

.....**Verwijzing**².....
Zie paragraaf 1.5 Modelopzet

1.6.3 Investeringskosten

In de modelopzet is reeds aangeduid dat de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de overstromingskans vergelijkbaar gemaakt kan worden door alle ontwerpparametervariaties uit te drukken in één overeenkomstige grootte. Als overeenkomstige grootte worden de investeringskosten genomen die benodigd zijn voor de verschillende verbeteringsmaatregelen. De verbeteringsmaatregelen die in dit onderzoek worden voorgesteld bestaan uit een combinatie van verschillende ontwerpparameters, welke leiden tot een reductie in de totale overstromingskans van een dijkkringgebied. Er zal echter een keuze gemaakt moeten worden over het detailniveau waarmee de investeringskosten worden bepaald. Er kan onderscheid gemaakt worden in een drietal verschillende detailniveau's. In eerste instantie een niveau waarbij de kosten tot in detail worden bepaald (*nauwkeurig*). Een niveau lager (*minder nauwkeurig*) op basis van een schatting van het benodigde materiaal en toegepaste eenheidsprijzen. En tenslotte op een niveau (*minst nauwkeurig*) waarin de kosten worden vervangen door een grootte die een sterke relatie vertoont met de kosten. De tijd, benodigd voor het uitvoeren van onderzoek naar de kosten neemt toe met de nauwkeurigheidsgraad van de kosten. Gezien het feit dat de tijdsduur van dit afstudeeronderzoek beperkt is en de nadruk van het onderzoek ligt op het principe van de methode en niet op de nauwkeurigheid van de resultaten wordt gekozen om de kosten te vervangen door een grootte die een sterke relatie heeft met de kosten (*minst nauwkeurig, maar ook minst tijdrovend*). In principe kan in vervolgonderzoek altijd nog gekozen worden om de kosten nauwkeuriger te bepalen.

Verondersteld wordt dat de kosten een sterke relatie hebben met het dijkvolume per strekkende meter en/of het ruimtebeslag. In gebieden waar de claim op de ruimte nog niet zo groot is, zal het ruimtebeslag van ondergeschikt belang zijn aan het dijkvolume per strekkende meter. In een relatief dunbevolkte dijkkringgebied als 'Groningen en Friesland' is dit het geval.

.....**Verwijzing**¹.....
zie bijlage II.U

Dit is zeker het geval in de nabije omgeving van de waterkeringen¹. Uitzondering hierop vormen de stedelijk gebieden direct grenzend aan de waterkering zoals bijvoorbeeld Harlingen, Delfzijl en Lemmer. Ten behoeve van het in dit onderzoek beschouwde dijkkringgebied wordt geconcludeerd dat de kosten een één op één relatie hebben met het dijkvolume per strekkende meter. In dit afstudeeronderzoek worden de kosten van verbeteringsmaatregelen dan ook vervangen door een maat, die de kosten uitdrukt in een extra benodigd volume per strekkende meter dijk. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden, dat in de afweging tussen de verschillende verbeteringsopties, rekening gehouden moet worden met overige kostenbepalende factoren. Het is aannemelijk dat het openbreken van een stenen buitenbekleding, omdat bijvoorbeeld een verflauwing van het buitentalud moet worden toegepast, veel duurder is dan het verwijderen van een grasbekleding op het binnentalud om bijvoorbeeld een binnenberm aan te leggen. Deze afwegingen zullen kwalitatief worden gedaan, zoals in het voorbeeld hierboven is geschetst.

1.6.4 Faalmechanismen

Met de huidige versie van PC_RING is het mogelijk de volgende faalmechanismen te betrekken in de overstromingskansberekeningen:

- ✓ overloop/overslag;
- ✓ afschuiven (*vraagt om een aparte MPROSTAB berekening*);
- ✓ opbarsten en piping;
- ✓ beschadiging bekleding en erosie dijklichaam;
- ✓ piping bij kunstwerken;
- ✓ niet sluiten kunstwerken;
- ✓ duinafslag.

In dit onderzoek zal een beperking gemaakt worden in het aantal te beschouwen faalmechanismen. Op basis van verschillende soorten argumenten wordt deze afbakening in onderstaande paragraaf onderbouwd.

In paragraaf 1.6.2 is gekozen om het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' als onderzoeksonderwerp te beschouwen. In dit dijkkringgebied komen echter geen duinen voor als waterkering. Het is dan ook niet relevant om het mechanisme 'duinafslag' in dit onderzoek te betrekken. Omdat het te ontwikkelen model in een later stadium echter wel toepasbaar moet zijn op andere, dan het hier gekozen dijkkringgebied, zal rekening gehouden moeten worden met de mogelijkheid tot uitbreiding van het model met het mechanisme 'duinafslag'.

.....**Toelichting**².....
Reden hiervoor was dat de huidige staat van de vaak oude kunstwerken over het algemeen slecht is en dat de benodigde invoergegevens meestal ontbreken. Dit leidt tot grote onzekerheden in de berekening en resulteert in hoge faalkansen

De basis van dit onderzoek wordt naast PC_RING gevormd door de resultaten uit het SPRINT onderzoek. Zoals al eerder aangeduid zijn de kunstwerken in deze studie beschouwd alsof ze voldeden aan de vigerende leidraden². In de brief van de TAW aan de staatssecretaris wordt bovendien geadviseerd de huidige staat van de kunstwerken eerst grondig te onderzoeken alvorens deze mee te nemen in een nieuwe overstromingskansbenadering.

Op basis van dezelfde argumenten die zijn toegepast in het SPRINT onderzoek, worden de kunstwerken ook in dit afstudeeronderzoek buiten beschouwing gelaten³. In een later stadium als de gegevens van de kunstwerken beter in kaart zijn gebracht moet het echter wel mogelijk zijn om het in dit onderzoek te ontwikkelen model uit te breiden met de faalmechanismen van de kunstwerken.

.....**Verwijzing**³.....
zie (TAW, juni 2000)

Op basis van de SPRINT resultaten van het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' kan geconcludeerd worden dat het mechanisme 'beschadiging bekleding en erosie dijklichaam' minder relevant is voor dit afstudeeronderzoek dan de overige (*overgebleven*) faalmechanismen. Uit tabel I.C.1 en figuur I.C.4 blijkt dat de betrouwbaarheidsindices van het mechanisme 'beschadiging bekleding en erosie dijklichaam' aanzienlijk groter zijn dan de betrouwbaarheidsindices van de overige faalmechanismen⁴.

.....**Verwijzing**⁴.....
zie bijlage I.C.1

Dit betekent dat bij het stapsgewijs verbeteren van de zogenaamde 'zwakste' dijkvakken, het faalmechanisme 'beschadiging bekleding en erosie dijklichaam' in eerste instantie niet maatgevend zal zijn. Pas na verbetering van een groot aantal dijkvakken (*waarbij de overige faalmechanismen maatgevend zijn*) zal het faalmechanisme 'beschadiging bekleding en erosie dijklichaam' een keer maatgevend worden. Het verbeterproces zit dan echter in een fase waarbij een groot aantal dijkvakken verbeterd moet worden om een geringe reductie in de overstromingskans te realiseren. Dit deel van de investeringsgrafiek is minder interessant dan het deel waarbij met een geringe investering een aanzienlijke overstromingskansreductie gerealiseerd kan worden.

Tenslotte moet geconcludeerd worden dat ook het faalmechanisme 'afschuiven' niet zal worden meegenomen in dit afstudeeronderzoek. Op dit moment moet dit faalmechanisme namelijk nog los van PC_RING berekend worden met behulp van het programma MPROSTAB. De resultaten van de MPROSTAB berekening moeten met de hand overgehaald worden naar PC_RING, waarna het mogelijk is om de overstromingskans te berekenen inclusief het effect van afschuiven. In dit onderzoek wordt echter een automatisering van de PC_RING berekeningen nagestreefd, omdat dan op een efficiënte manier voor een groot aantal verschillende dijkvakken bepaald kan worden welke verbeteringsmaatregelen het meest rendementvol zijn. Met de huidige opbouw van MPROSTAB is het op dit moment echter (*nog*) niet mogelijk om een geautomatiseerde koppeling te maken met PC_RING.

Na de, in deze paragraaf gemaakte afwegingen is het aantal faalmechanismen, dat relevant wordt geacht voor dit onderzoek, afgenomen tot:

1. overloop/overslag
2. opbarsten en piping

1.6.5 Ontwerpparameters

Tot slot wordt in deze paragraaf onderbouwd welke ontwerpparameters in dit onderzoek beschouwd zullen worden. Deze keuze is afhankelijk van eerder gedane afwegingen met betrekking tot het aantal in dit onderzoek te beschouwen faalmechanismen en de manier waarop de investeringskosten worden benaderd.

In voorgaande paragraaf is beargumenteerd dat alleen de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping' in dit onderzoek zullen worden betrokken. Logischerwijs zal dan het aantal te beschouwen ontwerpparameters beperkt worden tot de ontwerpparameters behorende bij deze faalmechanismen (*parameters volgens PC_RING zie TNO-Bouw, september 1999*).

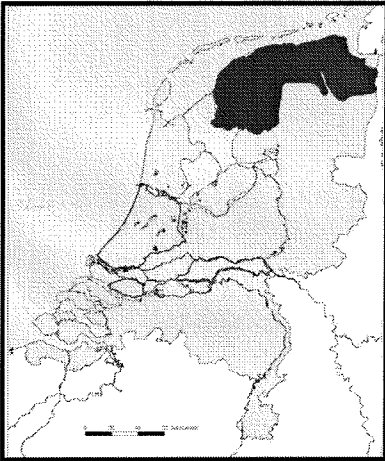
Daarnaast heeft de keuze voor een vereenvoudigde behandeling van de investeringskosten een extra consequentie op de te beschouwen ontwerpparameters. De variatie van de gekozen ontwerpparameters moet immers rechtstreeks tot uitdrukking kunnen worden gebracht in de gekozen kostenmaat. Aangezien gekozen is voor een volume per strekkende meter, zullen de ontwerpparameters een directe relatie moeten hebben met het volume per strekkende meter. Dit betekent dat alleen de parameters die de geometrie van de dijk bepalen tot de ontwerpparameters zullen worden gerekend. Wanneer voldaan wordt aan beide voorwaarden reduceert het aantal ontwerpparameters tot de volgende geometrieparameters:

✓ de kruinhoogte	h_k	[meter t.o.v. NAP]
✓ de kruinbreedte	B_k	[meter]
✓ de helling van het buitentalud	$\tan(\alpha_{u,b}), \tan(\alpha_{u,o})$	[-]
✓ de helling van het binnentalud	$\tan(\alpha_i)$	[-]
✓ de berm/knikhoogte buiten	h_b / h_{kn}	[meter t.o.v. NAP]
✓ de bermbreedte buiten	B_b	[meter]

.....**Toelichting**¹.....
 Tot de ontwerpparameters behoren die parameters welke gevarieerd mogen worden in het ontwerp van een dijklichaam

Hoofdstuk 2. Randvoorwaarden en uitgangspunten

Hoofdstuk 2. Randvoorwaarden en uitgangspunten	V
2.1 Algemene beschrijving dijkkringgebied	13
2.2 Indeling dijkvakken	13
2.3 Belastingen	13
2.3.1 Waterstanden op de Waddenzee (en Eems-Dollard)	13
2.3.2 Waterstanden op het IJsselmeer	14
2.3.3 Golven (algemeen)	16
2.3.4 Golven Waddenzee	16
2.3.5 Golven en op- en afwaaiing IJsselmeer	17
2.3.6 Wind	18
2.4 Sterkte-eigenschappen	18
2.4.1 Afbakening	18
2.4.2 Geometrie	18
2.4.3 Overloop/overslag	18
2.4.4 Piping	19
2.5 PC_RING	19
2.5.1 Algemene beschrijving	19
2.5.2 Werkwijze programmatuur PC_RING	21
2.5.3 Overstap versie 1.01 naar versie 2.00	21
2.5.4 Aanpassing overslagmodel	22
Bijlage II.A	Dijkvakindeling (volgens SPRINT)
Bijlage II.B	Verdeling 10^{-4} kwantiel Waddenzee (Eems-Dollard)
Bijlage II.C	Waterstanden Waddenzee als functie van overschrijdingsfrequenties
Bijlage II.D	Gecombineerde wind-waterstandstatistiek Waddenzee
Bijlage II.E	IJsselmeerpeil als functie van overschrijdingsfrequenties
Bijlage II.F	Meerpeilstatistiek
Bijlage II.G	Formules van Bretschneider
Bijlage II.H	Strijk lengten en bodemdiepten
Bijlage II.I	Golfhoogten volgens PC_RING (schematisatie SPRINT)
Bijlage II.J	Windstatistiek Waddenzee
Bijlage II.K	Dijkprofielen
Bijlage II.L	Bepaling representatieve taludhelling
Bijlage II.M	Cöordinatenkoppels (volgens SPRINT)
Bijlage II.N	Parametergegevens PC_RING
Bijlage II.O	Literatuuronderzoek: Probabilistische rekentechnieken
Bijlage II.P	Mechanisme 'overloop/overslag'
Bijlage II.Q	Mechanisme 'piping'
Bijlage II.R	Aanpassing overslagmodel
Bijlage II.S	Vergelijkbaarheid versie 1.01 – versie 2.00
Bijlage II.T	Vergelijking overslagmodel 3 en 7
Bijlage II.U	Fieldtrip Waddenzeedijken Friesland



.....**Figuur 2.1**.....
 De ligging van het dijkringgebied 'Groningen en Friesland' binnen Nederland (DWW)

.....**Toelichting¹**.....
 Ter vergelijking: het landelijk gemiddelde lag in 1993 op 449 inwoners per km²

.....**Toelichting²**.....
 Om een indruk te krijgen van het studiegebied wordt in bijlage II.U een beschrijving en een fotoreportage gegeven van een fieldtrip naar de Waddenzee van Friesland

.....**Verwijzing³**.....
 De dijkvakindeling wordt weergegeven in bijlage II.A



.....**Figuur 2.2**.....
 De Waddenzee is een dynamisch hydraulisch systeem bestaande uit diepe geulen en ondiepe platen met een getijgedreven waterbeweging (LANDSAT, internet)

2.1 Algemene beschrijving dijkringgebied

Het dijkringgebied 'Groningen en Friesland' ligt in het noordelijkste deel van Nederland en omvat het grootste deel van de provincies Groningen en Friesland en een klein gedeelte van Drenthe. Het dijkringgebied wordt in het noorden begrensd door de Waddenzee, de Eems en de Dollard, in het westen door het IJsselmeer, in het zuiden en het oosten door hoge gronden. Het gebied kan gekarakteriseerd worden als een relatief dunbevolkt gebied met een landelijke karakter. Uitzondering hierop vormen de grote steden zoals Groningen, Leeuwarden, Sneek, Drachten, Heerenveen, Winschoten, Hoogezand Sappemeer en de iets kleinere steden zoals Harlingen, Delfzijl en Dokkum. Het gemiddelde aantal inwoners in het gebied per vierkante kilometer op 1 januari 1993 varieert van minder dan 150 tot 300, met uitzondering van het stedelijk gebied van Groningen en Leeuwarden¹. (WOLTERS-NOORDHOFF, 1996) Het bodemgebruik wordt gekenmerkt door overwegend akkerland en grasland. Het dijkringgebied bestrijkt een totale oppervlakte van zo'n 493.000 ha en is daarmee het grootste dijkringgebied van Nederland².

2.2 Indeling dijkvakken

Een dijkkring kan opgedeeld worden in zogenaamde dijkvakken. Tot een dijkvak wordt gerekend een sectie van de dijkkring waarbinnen de (*sterkte*)eigenschappen en de (*belastings*)omstandigheden constant verondersteld kunnen worden. Zo'n dijkvakindeling blijft echter altijd een schematisatie van de werkelijkheid. Zowel de belastingen als de eigenschappen van een dijk zullen binnen een kleine afstand langs de dijk variëren. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld variatie van de geometrie eigenschappen en grondopbouw, maar ook aan de variatie van de oriëntatie van een dijk of van de waterdiepte voor een dijk, welke van invloed zijn op de grootte van bijvoorbeeld de golfbelasting. Wanneer voldaan wordt aan de theoretische definitie van een dijkvak, zal het aantal onderscheiden dijkvakken erg groot worden. In de praktijk wordt echter ten behoeve van de hanteerbaarheid gestreefd naar een niet al te groot aantal dijkvakken. Dit betekent dat een grotere dijkvaklengte wordt aangehouden dan volgens de theoretische definitie wordt voorgesteld. De aanwezige variatie binnen een dijkvak wordt vervolgens gecorrigeerd met behulp van een lengte-effect.

Omdat de resultaten van het SPRINT onderzoek de basis vormen van dit onderzoek en omdat deze resultaten afhankelijk zijn van de gehanteerde dijkvakindeling, is in dit onderzoek, de dijkvakindeling volgens SPRINT gehanteerd³. De achtergrond omtrent de keuze van de dijkvakindeling in het SPRINT onderzoek wordt hier niet nader toegelicht, omdat dit deel uitmaakt van een complex vraagstuk op zich. (zie TAW, juni 2000)

2.3 Belastingen

2.3.1 Waterstanden op de Waddenzee (en Eems-Dollard)

De Waddenzee is een estuarium, een dynamisch hydraulisch systeem bestaande uit diepe geulen en ondiepe platen, met een getijgedreven waterbeweging. De waterbeweging, onder niet extreme omstandigheden, wordt voornamelijk bepaald door de geometrie (*diepte en horizontale afmetingen*) van het estuarium en het getijverschil. Bij elke getijwisseling stroomt door de zeegaten afwisselend een hoeveelheid water het estuarium in of uit waardoor ondiepe platen tijdelijk droogvallen respectievelijk onder water lopen.

Tijdens extreme omstandigheden worden de waterstanden op de Waddenzee volledig bepaald door de waterstanden op de Noordzee. Als gevolg van de wrijving van de wind met het wateroppervlak zullen de waterstanden op de Noordzee, tijdens een storm worden opgestuwd. De waterstanden op de Waddenzee volgen dan in grote lijn de waterstanden op de Noordzee, nauwelijks gehinderd door de aanwezigheid van de Waddeneilanden.

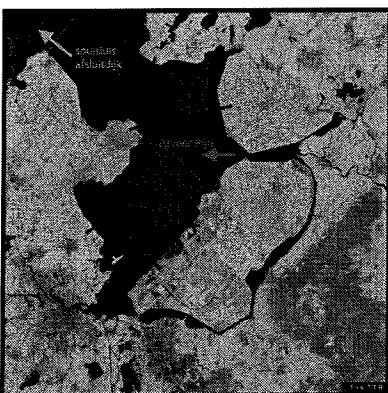
Geconcludeerd kan dus worden dat de zeegaten voldoende capaciteit bieden om de waterstand in de Waddenzee, de waterstand in de Noordzee te doen laten volgen. Alleen tijdens de beginfase van de opbouw van de opzet hebben de Waddeneilanden een verlagende invloed op de waterstand direct achter de eilanden. Als gevolg van de (trechter)vorm van de Waddenzee en aansluitend de Eems-Dollard nemen de waterstanden langs de Groningse kust in het bekken onder extreme omstandigheden toe van noordwest naar zuidoost, waarbij de invloed van dieptes, ondieptes en eilanden verwaarloosbaar klein is.

.....**Toelichting¹**.....
Basipeil: de waterstand waarbij een overschrijdingsfrequentie van 10^{-4} per stormseizoen hoort

Het RIKZ heeft in navolging van de Deltacommissie in 1985 onderzoek gedaan naar de hoogte van basispeilen en overschrijdingslijnen langs de Nederlandse kust, inclusief het Waddengebied¹. De resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd in het rapport 'De basispeilen langs de Nederlandse kust; de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen' (RIKZ, mei 1995). Tijdens dit onderzoek zijn de meest recente meetreeksen van o.a. de waterstanden op de Waddenzee geanalyseerd met behulp van de modernste statistische inzichten. Het onderzoek is verbreed met een onderzoek naar de fysische samenhang van de stormvloedstanden langs de kust en met het gebruik van fysisch-mathematische modellen, waarmee de waterbeweging kan worden gesimuleerd onder tot nu toe nooit voorgekomen, extreme meteorologische condities. Het onderzoek heeft o.a. geresulteerd in basispeilen behorende bij de peilstations Harlingen en Delfzijl met bijbehorende overschrijdingsfrequentielijnen en in 10^{-4} kwantielschattingen van de waterstanden op de Waddenzee en de Eems-Dollard.

.....**Toelichting²**.....
Opgemerkt dient te worden dat bijlage II.C een vertekend beeld geeft van de waterstandstoename omdat de geografische afstand tussen de stations niet overal gelijk is. Als gevolg hiervan is de gradient langs de kust niet constant. De gradient tussen Nieuwe Statenzijl en Delfzijl is veel groter dan de gradient tussen Lauwersoog en Eemshaven omdat de geografische afstand tussen Nieuwe Statenzijl en Delfzijl kleiner is dan de geografische afstand tussen Lauwersoog en Eemshaven

In bijlage II.B is de verdeling van het 10^{-4} kwantiel van de Waddenzee en de Eems-Dollard weergegeven. Uit de kwantielschattingen blijkt dat ze langs de kust van Friesland vrijwel even hoog zijn, met uitzondering van de dijkvakken ten zuiden van Harlingen, waar de kwantielschattingen een fractie hoger liggen als gevolg van het opstuwende effect van de lokale vernauwing. Langs de kust van Groningen nemen de kwantielschattingen tot Eemshaven zeer geleidelijk toe, om vervolgens in de Eems-Dollard sneller toe te nemen als gevolg van het opstuwende effect van de vernauwende trechtervorm van het estuarium. In bijlage II.C is het verloop van de waterstanden langs de waddenkust weergegeven als functie van de overschrijdingsfrequentie. Ook hier is duidelijk het stijgende verloop van de (extreme) waterstanden langs de Groningse Waddenkust van noordwest naar zuidoost waar te nemen². Duidelijk waarneembaar is ook dat voor de stations langs de Friese Waddenkust, nagenoeg gelijke waterstanden worden voorspeld bij gelijke overschrijdingsfrequenties. In bijlage II.D wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste gecombineerde wind-waterstandstatistiek op de Waddenzee, afgeleid op basis van bovengenoemde gegevens.



.....**Figuur 2.3**.....
Het meerpeil wordt beïnvloed door de afvoer van de IJssel (Rijn), de afwatering van het omliggende gebied rond het IJsselmeer en de afwatering van spuisluizen in de afsluitdijk op de Waddenzee (LANDSAT, internet)

2.3.2 Waterstanden op het IJsselmeer

De waterstand op het IJsselmeer wordt bepaald aan de hand van de vullingsgraad van het meer, gecombineerd met lokale effecten, voornamelijk de lokale op- en afwaaiing als gevolg van een storm. De vullingsgraad, uitgedrukt in een gemiddeld vullingsniveau, wordt het gemiddelde meerpeil genoemd.

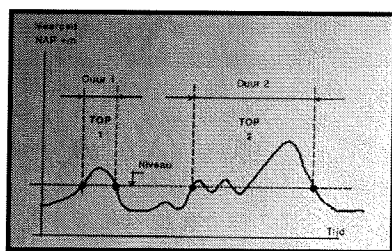
De hoogte van dit gemiddelde meerpeil is afhankelijk van:

- ✓ verschillende stuwen in de Rijn (deze beïnvloeden het debiet van de IJssel);
- ✓ de afwatering van water uit het gebied rondom het IJsselmeer en Markermeer op het IJsselmeer;
- ✓ de afwatering van water uit het IJsselmeer op de Waddenzee via de spuisluizen in de Afsluitdijk (Den Oever en Kornwederzand).

Op basis van een afvoer van de IJssel (*regelbaar aan de hand van stuwen*), de afwatering van het gebied rondom het IJsselmeer en een gekozen spuidebiet wordt een bepaald (*gewenst*) meerpeil nagestreefd, het zogenaamde streefpeil. Onder normale omstandigheden ligt dit streefpeil in de zomer op 0,20 meter -NAP en in de winter op 0,40 meter -NAP.

Extreme waterstanden op het IJsselmeer worden meestal veroorzaakt door een hoog meerpeil gecombineerd met sterke opwaaiing als gevolg van een storm. Hoge meerpeilen, voornamelijk veroorzaakt door veel neerslag in het stroomgebied van de Rijn en in mindere mate door de afwatering van het omliggende gebied, duren relatief lang (*van dagen tot weken*). Deze lange duur is vaak het gevolg van een verhinderde afwatering op de Waddenzee als gevolg van een hoge, door een noord tot noordoostelijke wind opgestuwde, waterstand op de Waddenzee.

De scheefstand van het IJsselmeer, veroorzaakt door de wrijving van de wind met het wateroppervlak is meestal van korte duur (*van uren tot een dag*). Deze scheefstand resulteert in opwaaiing aan de benedenwindse zijde van het IJsselmeer en in afwaaiing aan de bovenwindse zijde van het IJsselmeer en neemt toe naarmate de waterdiepte afneemt.



.....**Figuur 2.4**.....
Een schematische voorstelling van de analyse van de verschillende meerpeilen (RIZA, 1999)

Het RIZA heeft onlangs onderzoek gedaan naar de grootte van de hydraulische randvoorwaarden langs de IJsselmeerkust. Dit onderzoek maakt deel uit van een groter onderzoek, gerapporteerd in het rapport 'Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied' (RIZA, maart 1999). Tijdens dit onderzoek is de hoogte van het gemiddelde IJsselmeerpeil beschreven door een statistische analyse te maken van een reeks van beschikbare metingen gecombineerd met een reeks van, door een model gesimuleerde, meerpeilen. Vervolgens is bepaald wanneer een overschrijding van een gekozen meerpeilniveau begint en weer eindigt (zie figuur 2.4 voor een schematische voorstelling van dit proces). De gemiddelde overschrijdingsfrequentie per jaar is vervolgens gelijkgesteld aan het aantal keren per jaar dat een bepaald meerpeil opwaarts wordt doorsneden. De gemiddelde duur is gelijk gesteld aan het gemiddelde verschil tussen een opwaartse en neerwaartse doorsnijding. Tijdens het onderzoek is bewust onderscheid gemaakt tussen het zomer en winterseizoen omdat verhoogde meerpeilen vaak optreden als gevolg van hoge afvoeren van de IJssel en/of westelijke stormen, welke vrijwel alleen voorkomen in het winterseizoen en nauwelijks in het zomerseizoen. Op basis van de onderzoeksresultaten is geconcludeerd dat de meerpeilen in het zomerseizoen nauwelijks bijdragen aan de overschrijdingskansen van de hogere meerpeilen. De meerpeilstatistiek is vervolgens dan ook alleen gebaseerd op de meerpeilenreeks uit een winterhalfjaar.

Tenslotte is, om de overschrijdingsfrequenties te bepalen van de gemiddelde meerpeilen die nog nooit zijn voorgekomen, gebruik gemaakt van een extrapolatiemethode. Hierbij is een extreme-waarde-verdeling gefit op de jaarmaxima van de gemeten en de gesimuleerde meerpeilen. Het onderzoek heeft uiteindelijk geresulteerd in een overschrijdingsfrequentielijn voor het gemiddelde IJsselmeerpeil tussen 0,40 meter -NAP en 1,80 meter +NAP.

In bijlage II.E is het verloop van het gemiddelde IJsselmeerpeil als functie van de overschrijdingsfrequentie weergegeven. In dit gemiddelde meerpeil wordt het effect van lokale opwaaiing en/of afwaaiing niet weergegeven, waardoor de overschrijdingslijn geldig is voor het gehele IJsselmeer. Lokale opwaaiing en/of afwaaiing zijn wind en locatie afhankelijk en worden besproken in de paragraaf 2.3.5, waarin ook de windafhankelijke golven worden besproken.

In bijlage II.F wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste meerpeilstatistiek van het IJsselmeer, afgeleid op basis van bovengenoemde gegevens.

2.3.3 Golven (algemeen)

Het golfklimaat wordt in het algemeen bepaald door de frequentie, de richting en duur van windsnelheden, de strijklengte waarover de wind invloed uitoefent op het wateroppervlak en de waterdiepte. De waterdiepte is afhankelijk van enerzijds de bodemligging en anderzijds de lokale waterstand. In het algemeen geldt dat de golfhoogte toeneemt als de waterdiepte, de strijklengte of de windsnelheid toeneemt.

Omdat metingen relatief duur zijn, worden golfcondities meestal slechts op een beperkt aantal locaties gemeten. Windgedreven natuurlijke processen zijn echter ook met behulp van fysisch-empirische modellen te voorspellen. Met behulp van deze modellen wordt het mogelijk de gemeten golfcondities te reproduceren. Met het fysisch-empirische model is het mogelijk om van nooit waargenomen extreme weersomstandigheden voorspellingen te doen over de te verwachten golfcondities, zolang de toepassing binnen het geldigheidsgebied van het model ligt.

Omdat PC_RING de golfcondities op de Waddenzee en op het IJsselmeer op twee verschillende manieren benaderd zal in de volgende paragrafen onderscheid gemaakt worden in de beschrijving van het golfklimaat op de Waddenzee en het golfklimaat op het IJsselmeer.

2.3.4 Golven Waddenzee

De golfcondities op de Waddenzee worden in PC_RING bepaald met behulp van de golfgroeiformules van Bretschneider voor ondiep water¹.

De golfhoogte en de golfperiode nemen toe als de afstand waarover de wind energie op de golven kan overbrengen groter wordt. Deze afstand wordt de strijklengte, ook wel de fetch genoemd. Op basis van deze veronderstelling zou men kunnen verwachten dat de golfhoogte en golfperiode oneindig groot kunnen worden, mits de strijklengte maar voldoende groot is. Dit is echter niet het geval. Behalve de energie-input van de wind, gaat er ook energie verloren als gevolg van breking (*whitecapping*) van golven. Na een voldoende lange strijklengte zal zich uiteindelijk een 'volledig ontwikkelde' toestand voordoen, waarbij evenwicht is ontstaan tussen de energie-input van de wind en het energieverlies als gevolg van whitecapping. De golfhoogte als functie van de fetch (*met constante windsnelheid en waterdiepte*) wordt weergegeven in bijlage II.G figuur II.G.1. De 'volledig ontwikkelde' toestand is te herkennen aan het horizontale verloop van de grafiek; de golfhoogte neemt niet meer toe bij toenemende strijklengte, omdat de energie input gelijk is aan het energieverlies.

Behalve dat de golfhoogte en de golfperiode beperkt worden door whitecapping, is ook de waterdiepte een beperkende factor voor de golfgroei. Als de waterdiepte afneemt zal het energieverlies als gevolg van bodemwrijving toenemen. Hierbij moet opgemerkt worden, dat de waterdiepte beschouwd dient te worden ten opzichte van de golflengte. In figuur II.G.2 wordt de invloed van de waterdiepte op de golfhoogte als functie van de fetch weergegeven. Bij korte strijklengten is de waterdiepte relatief groot ten opzichte van de nog maar kleine golflengten en is de beperkende invloed gering. Bij toenemende fetch (*grotere golflengten en een kleinere waterdiepte/golflengte verhouding*) neemt de invloed van de waterdiepte steeds meer toe. In figuur II.G.2 is tevens waar te nemen dat bij een zelfde strijklengte, de golfhoogte steeds minder snel toeneemt bij toenemende waterdiepte.

In figuur II.G.3 in bijlage II.G is tenslotte de invloed van de windsnelheid op de golfhoogte weergegeven als functie van de strijklengte. Op te merken valt dat de golfhoogte logischerwijs toeneemt bij toenemende windsnelheid maar ook

.....Verwijzing¹.....
De in PC_RING toegepaste golfgroeiformules van Bretschneider voor ondiep water worden weergegeven in bijlage II.G

dat de 'volledig ontwikkelde' toestand bij grote windsnelheden, over een kortere strijklengte wordt gerealiseerd dan bij kleine windsnelheden. Dit is te verklaren uit het feit dat bij grote windsnelheden over vrij korte fetch, hoge golfhoogte worden gerealiseerd die snel zullen breken. Hierdoor zal in een relatief korte tijd, een evenwicht ontstaan tussen de energie input en het verlies. Bij kleine windsnelheden worden pas na grote strijklengten, golven hoog genoeg gerealiseerd, dat ze zullen breken waarna een 'volledig ontwikkelde' toestand gerealiseerd kan worden.

.....Verwijzing¹.....
Zie bijlage II.H

.....Verwijzing².....
Bijlage II.I geeft (alleen) de resultaten voor de windrichtingen W tot NNO weer. In het PC_RINGSCHIL model (zie hoofdstuk 3) kan voor elke windrichting een dergelijke grafiek worden gegenereerd

PC_RING maakt bij de bepaling van de golfhoogte en golfperiode gebruik van een schematisatie van de geometrie van de Waddenzee. Voor elk dijkvak zijn per strijkende windrichting één of meerdere strijkvakken gedimensioneerd, bestaande uit een constante bodemligging en een bepaalde strijklengte¹. Met behulp van de Bretschneider golfgroeiformules is per windrichting, de golfhoogte als functie van de windsnelheid te bepalen. Bijlage II.I geeft een overzicht van de golfhoogte per windrichting langs de gehele Waddenkust als functie van de windsnelheid². Af te lezen is dat de grootste golven (orde 2 a 2,5 meter bij een lokale waterstand van 5 a 6 meter en een windsnelheid van 40 m/s) voorkomen aan de NW kop van Friesland en dat golfhoogten geleidelijk afnemen langs de kust van Groningen tot uiteindelijk de kleinste golven (orde 0,4 a 1,2 meter bij een lokale waterstand van 5 a 6 meter en een windsnelheid van 40 m/s) in de Eems-Dollard.

2.3.5 Golven en op- en afwaaiing IJsselmeer

Voor het bepalen van de golfcondities en de lokale waterstand op het IJsselmeer maakt PC_RING gebruik van de resultaten van het rekenmodel (HISWA *HIn*cast of *Shallow water Waves*). Het HISWA model berekent op een bepaalde locatie voor een bepaalde windrichting, bij een bepaalde waarde van het meerpeil en de windsnelheid, de lokale waterstand (*meerpeil plus op- of afwaaiing*), de golfhoogte en de golfperiode. Het meerpeil is zoals eerder aangegeven onafhankelijk van de windrichting en de windsnelheid, dit in tegenstelling tot de lokale waterstand, de golfhoogte en de golfperiode.

.....Toelichting³.....
Dit is te vergelijken met de situatie dat iemand op het middelpunt van een wip gaat staan.

.....Toelichting⁴.....
Voorbeeld: in het geval van een westenwind zal de rotatielijns door het middelpunt van het IJsselmeer van noord naar zuid lopen

.....Verwijzing⁵.....
Deze invloed kan waargenomen worden in grafieken waarin de lokale waterstand en/of de golfhoogte uitgezet worden als functie van de windsnelheid en windrichting. In het PC_RINGSCHIL model (zie hoofdstuk 3) kan voor elke windrichting een dergelijke grafiek worden gegenereerd

Op- en/of afwaaiing ontstaan doordat als gevolg van de wrijving tussen de wind en het wateroppervlak, een scheefstand van het wateroppervlak wordt gerealiseerd. Er ontstaat een nieuw evenwicht tussen de wrijvingskracht van de wind met het wateroppervlak en de verandering in potentiële energie. Aan de bovenwindse zijde daalt het waterniveau, dit is afwaaiing, terwijl aan de benedenwindse zijde het waterniveau stijgt, dit is opwaaiing. De grootte van de op- of afwaaiing is voornamelijk afhankelijk van de windsnelheid maar ook van de geometrie van het meer. In het middelpunt van het IJsselmeer is de invloed van op- en afwaaiing voor alle windrichtingen nauwelijks merkbaar, als gevolg van het feit dat dit het zogenaamde rotatiepunt van het wateroppervlak is³. Voor één windrichting wordt dit rotatiepunt uitgebreid tot een rotatielijns, waarlangs de invloed van op- en afwaaiing nauwelijks merkbaar zijn⁴.

De brontermen van het HISWA model zijn gebaseerd op dezelfde Bretschneider golfgroeiformules zoals eerder besproken. Dit betekent dat dezelfde verbanden zoals beschreven zijn in bijlage II.G, ook hier van toepassing zijn. De golfhoogte is dus afhankelijk van de strijklengte, de windsnelheid en de waterdiepte. De waterdiepte is afhankelijk van de bodemligging en de lokale waterstand. Omdat de lokale waterstand ook afhankelijk is van de windrichting en de windsnelheid, kan het voorkomen dat bij bepaalde windrichtingen de golfhoogte extra toeneemt als gevolg van een toegenomen lokale waterstand bij die windrichting⁵.

.....**Toelichting**¹.....
 Volgens het model van Rijkoord en Wierenga

2.3.6 Wind

Voor de windstatistiek van de Waddenzeedijken in het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' wordt gebruik gemaakt van waarnemingen gedaan op Schiphol. Deze meetresultaten zijn gefit met een Gumbelverdeling, die vervolgens getransformeerd zijn voor de locatie Den Helder¹. In bijlage II.J wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste windstatistiek voor het Wadden-zeegebied.

2.4 Sterkte-eigenschappen

2.4.1 Afbakening

De sterkte van een dijk is afhankelijk van verschillende soorten eigenschappen, meestal gekoppeld aan een faalmechanisme. Zo wordt de sterkte van een dijk voor het mechanisme 'falen bekleding' bepaald door bijvoorbeeld de dikte en de relatieve dichtheid van een steenzetting. De sterkte van een dijk voor het mechanisme 'overloop/overslag' is daarentegen veel meer afhankelijk van bijvoorbeeld de helling van het buitentalud, de sterkte van de grasmat op het binnentalud en/of de kruinhoogte van een dijk.

In paragraaf 1.6 is besproken dat dit afstudeeronderzoek zich beperkt tot onderzoek naar de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping'. In combinatie met de gemaakte vereenvoudiging met betrekking tot de behandeling van de investeringskosten heeft dit geleid tot een beperkt aantal ontwerpparameters, de zogenaamde geometrie-eigenschappen. Alle overige parameters die van invloed zijn op de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping' zullen gedurende het onderzoek gelijk worden gehouden aan de waarde cq de verdeling volgens het SPRINT onderzoek².

.....**Verwijzing**².....
 In paragraaf 2.4.3 en 2.4.4 wordt aangegeven om welke parameters het hier gaat

2.4.2 Geometrie

De ontwerpparameters die in dit onderzoek beschouwd zullen worden zijn³:

✓ de kruinhoogte	h_k	[meter t.o.v. NAP]
✓ de kruinbreedte	B_k	[meter]
✓ de helling van het buitentalud	$\tan(\alpha_{u,b}), \tan(\alpha_{u,o})$	[-]
✓ de helling van het binnentalud	$\tan(\alpha_i)$	[-]
✓ de berm/knikhoogte buiten	h_b / h_{kn}	[meter t.o.v. NAP]
✓ de bermbreedte buiten	B_b	[meter]

Een dijkprofiel wordt beschreven door een verzameling coördinatenkoppels, variërend in aantal, afhankelijk van de aanwezigheid van een knik of een berm in het buitentalud. Elk van bovenstaande ontwerpparameters kan uitgedrukt worden in deze coördinatenkoppels. In bijlage II.K wordt weergegeven op welke wijze, afhankelijk van het aantal coördinatenkoppels, dit gebeurt. Tevens wordt in deze bijlage weergegeven op welke wijze het ruimtebeslag van de dijk en het dijkvolume per strekkende meter bepaald kan worden. In bijlage II.M wordt een overzicht gegeven van de coördinatenkoppels behorende bij de dijkvakken van het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' (volgens SPRINT).

.....**Verwijzing**³.....
 Zie bijlage II.N voor alle gegevens behorende bij deze parameters. Voor een verdere toelichting op het gebruik van de parameters in de modellen van PC_RING wordt verwezen naar bijlage II.P en II.Q

2.4.3 Overloop/overslag

Naast bovengenoemde ontwerpparameters bestaan de overige parameters behorende bij het faalmechanisme 'overloop/overslag' uit⁴:

Deterministische variabelen

✓ de stormduur	t_e	[uren]
✓ de graskwaliteitsfactor	f_g	[-]

Stochastische variabelen

✓ de ruwheid van het binnentalud	k	[m]
✓ de fitparameter voor brekende golven	f_b	[-]
✓ de fitparameter voor niet-brekende golven	f_n	[-]
✓ de modelfactor voor kritiek overslagdebiet	m_{qc}	[-]
✓ de modelfactor voor optredend overslagdebiet	m_{qo}	[-]

.....**Verwijzing**⁴.....
 Zie bijlage II.N voor alle gegevens behorende bij deze parameters. Voor een verdere toelichting op het gebruik van de parameters in de modellen van PC_RING wordt verwezen naar bijlage II.P

.....Verwijzing¹.....
 Zie bijlage II.N voor alle gegevens behorende bij deze parameters. Voor een verdere toelichting op het gebruik van de parameters in de modellen van PC_RING wordt verwezen naar bijlage II.Q

2.4.4 Piping

Naast bovengenoemde ontwerpparameters bestaan de overige parameters behorende bij het faalmechanisme 'piping' uit¹:

Stochastische variabelen

✓ de binnenwaterstand	h_{bin}	[m tov NAP]
✓ de dikte van de afsluitlaag	d	[m]
✓ het volumegewicht van de opbarstende grond	γ_k	[kN/m ³]
✓ het volumegewicht van zand	γ_p	[kN/m ³]
✓ de dikte van de zandlaag	D	[m]
✓ de factor C_{bear}	C_{bear}	[-]
✓ de uniformiteit van het materiaal	d_{70}/d_{10}	[-]
✓ de rolweerstandshoek	θ	[graden]
✓ de korrelgrootte	d_{70}	[m]
✓ de constante van White	η	[-]
✓ de modelfactor voor opbarsten	m_o	[-]
✓ de modelfactor voor piping	m_p	[-]
✓ de modelfactor voor demping	m_h	[-]

2.5 PC_RING

2.5.1 Algemene beschrijving

Met behulp van het programma PC_RING kan voor een vastgestelde periode de faalkans van één dijkvak of een samenstel van dijkvakken berekend worden. Hierbij is falen het gevolg van één of meerdere optredende faalmechanismen. De algemene procedure in PC_RING is opgesplitst in twee delen. In het eerste deel wordt de faalkans per mechanisme en per dijkvak bepaald. In het tweede deel worden de gevonden faalkansen per mechanisme en per dijkvak gecombineerd tot een samengestelde faalkans over alle dijkvakken en faalmechanismen.

Een faalkansberekening vereist een drietal ingrediënten:

1. een probabilistische rekenmethode
2. gegevens voor de deterministische en de stochastische variabelen
3. een model voor de beschrijving van de faalmechanismen

ad 1. De beschikbare probabilistische rekenmethoden kunnen opgedeeld worden in drie verschillende niveau's (CUR, maart 1997):

- ✓ Een niveau III berekeningsmethode bepaalt de faalkans, waarbij de kansverdeling van alle parameters van sterkte en belasting meegenomen worden.
- ✓ Een niveau II berekeningsmethode bepaalt de faalkans, waarbij de betrouwbaarheidsfunctie wordt gelineariseerd in een vooraf gekozen ontwerppunt. Bij deze methoden wordt de kansverdeling van alle variabelen benaderd door een standaard normale verdeling.
- ✓ Een niveau I berekeningsmethode bepaalt geen faalkans, maar geeft een ontwerpnorm, waarbij een element voldoende betrouwbaar wordt geacht, als er een bepaalde marge tussen de representatieve waarde van de belasting en sterkte aanwezig is. Deze marge wordt tot stand gebracht door gebruik te maken van zogenaamde partiële veiligheidsfactoren.

In bijlage II.O wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING beschikbare en een aantal andere probabilistische rekenmethoden².

ad 2. De in dit onderzoek gebruikte gegevens van sterkte en belasting zijn overgenomen uit het SPRINT onderzoek en zijn reeds besproken in de paragrafen 2.2 tot 2.4. Er kan onderscheid gemaakt worden in twee soorten invoergegevens: enerzijds deterministische en anderzijds stochastische variabelen. Een grootheid wordt als determinist geïdentificeerd als deze maar één vastgestelde waarde kan aannemen. Een grootheid wordt een stochast genoemd als de exacte waarde niet bekend is en de waarde van de grootheid wordt beschreven door een kansverdeling³.

.....Verwijzing².....
 In bijlage II.O wordt het resultaat van literatuuronderzoek naar verschillende probabilistische rekenmethoden weergegeven. De bijlage is opgedeeld in drie delen. Het eerste gedeelte behandelt de basisbegrippen uit de probabilistiek. Het tweede deel geeft een beschrijving van de verschillende methoden waarmee de faalkans van een element bepaald kan worden. Het derde en laatste deel geeft een overzicht van de methoden die beschikbaar zijn voor de bepaling van een systeemfaalkans. Getracht is om de stof overzichtelijk te maken door herhaaldelijk eerst de algemene toepassing te bespreken en vervolgens een meer op PC_RING toegepaste uitwerking van de begrippen en rekenmethoden weer te geven

.....Verwijzing³.....
 zie ook bijlage II.O.2

Een grootheid wordt dus als stochast beschouwd als de waarde niet met zekerheid te bepalen cq te voorspellen is. Er kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen aan deze onzekerheid. In principe worden drie soorten onzekerheid onderscheiden:

- (a) Intrinsieke onzekerheid: deze onzekerheid is het gevolg van het feit dat natuurlijke processen onvoorspelbare fluctuaties laten zien. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de wind en de lokale waterstand.
- (b) Modelonzekerheid: met behulp van een mathematisch model wordt geprobeerd het falen van een dijk te beschrijven. Het is echter onmogelijk om een exacte beschrijving van de complexe werkelijkheid te geven. Daarom worden in een model altijd afbakening en aannames gemaakt. Wanneer in een mathematisch model gebruik wordt gemaakt van fysische relaties, die zijn afgeleid met behulp van modelproeven, wordt in feite extra onzekerheid aan het model toegevoegd. In de modelproeven worden immers altijd schematisaties gemaakt¹. De fout die op deze wijze gemaakt wordt is nooit precies bekend, maar er kan een inschatting gemaakt worden door de uitkomsten van het model te vergelijken met waarnemingen. Een bijkomend probleem is echter dat van de meest interessante situaties (*extreme situatie*) vaak geen waarnemingen beschikbaar zijn, om te vergelijken met de modeluitkomsten.
- (c) Statistische onzekerheid: deze onzekerheid is het gevolg van het feit dat men meestal beschikt over relatief weinig waarnemingen, waarmee statistische modellen worden opgesteld waarmee de intrinsieke en modelonzekerheden worden beschreven. Men wil bijvoorbeeld een dijk ontwerpen met een faalkans van eens per duizend jaar, maar beschikt maar over honderd jaar metingen. De beschikbare meetgegevens worden meestal in grote mate geëxtrapoleerd.²

.....**Toelichting**¹.....
Een voorbeeld van zo'n relatie is bijvoorbeeld de fysische relatie tussen het dimensieloze overslagdebiet en de dimensieloze kruinhoogte; zie bijlage II.P

.....**Verwijzing**².....
Zo ook in de beschrijving van de waterstanden op de Waddenzee en het IJsselmeer; zie (RIKZ, mei 1995) en (RIZA, maart 1999)

Door natuurlijke grootheden en modelfactoren te beschouwen als stochast kunnen de hierboven genoemde onzekerheden worden meegenomen in een faalkansberekening. Hoe groter de onzekerheden worden ingeschat des te hoger zal de faalkans komen te liggen. Of de onzekerheden juist worden ingeschat is sterk afhankelijk van de ervaring en kennis van de personen die deze inschatting maken. Dit is met name het geval bij de derde categorie onzekerheden. Door het vergroten van kennis en inzichten in de gebruikte modellen zullen in de toekomst de onzekerheden verkleind kunnen worden en zal ook de faalkans afnemen. Dit verandert echter niets aan de huidige veiligheid van de dijken, er wordt immers fysiek niets aan de dijken veranderd.

ad 3. Per faalmechanisme zijn in PC_RING één of meerdere modellen beschikbaar. Omdat dit onderzoek zich beperkt tot de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping' zullen alleen deze modellen worden besproken. Het mechanisme 'overloop/overslag' treedt op, als op een bepaalde plaats, de door golven en/of waterstand veroorzaakte hoeveelheid overslaand of overlopend water, groter is dan wat de kruin en het binnentalud kunnen verdragen. Kleine overslagdebieten kunnen afgevoerd worden via het reguliere waterstelsel, mits de bekleding van het binnentalud voldoende sterk is. Wanneer het reguliere waterstelsel het overslaand water niet meer kan verwerken of wanneer het binnentalud en/of de kruin bezwijken als gevolg van het overslaand water, spreken we van falen.

In dit onderzoek is gekozen, gebruik te maken van het overslagmodel 'Van der Meer (*herzien*)' (*model 3 in PC_RING*). Reden hiervoor is dat dit model de grootste stabiliteit bezit van alle, in PC_RING beschikbare overslagmodellen³ en dat dit het meest recent geaccepteerde overslagmodel is. Voor een uitgebreide beschrijving van dit overslagmodel, opgesteld aan de hand van (*TNO-bouw, september 1999*) en (*WL, juni 1997*), wordt verwezen naar bijlage II.P.



.....**Figuur 2.5**.....
Het faalmechanisme 'overloop/overslag' (DWW)

.....**Toelichting**³.....
Uitspraak op basis van gesprek met Ir. H.M.G.M. Steenbergen (TNO-Bouw)



.....**Figuur 2.6**.....
Het faalmechanisme 'opbarsten/piping'
(DWW)

Het faalmechanisme 'piping' bestaat uit twee zogenaamde deelmechanismen: het deelmechanisme 'opbarsten van de ondoorlatende kleilaag' en het deelmechanisme 'piping'. Het deelmechanisme 'piping' kan alleen optreden als het deelmechanisme 'opbarsten' heeft plaatsgevonden. Het falen van de dijk wordt uiteindelijk veroorzaakt doordat zand onder de dijk wegspoelt, waardoor de dijk ondermijnd raakt en bezwijkt.

De waterdichte kleilaag boven de watervoerende zandlaag zal in eerste instantie het transport van zand tegenhouden. Als gevolg van een hoge buitenwaterstand en een lage binnenwaterstand zal een drukverschil over de ondoorlatende kleilaag ontstaan. Wanneer de kleilaag onvoldoende dikte heeft zal zij door het drukverschil op de zwakste plek (*meestal ter plaatse van een berm-sloot, maar soms ook op een andere locatie achter de dijk*) opbarsten. Als gevolg van het opbarsten van de kleilaag is een directe verbinding tussen het achterland en het buitenwater tot stand gekomen en zal door het drukverschil, water van voor de dijk, het dijkringgebied binnenstromen. Omdat deze grondwaterstroming nogal wat weerstand ondervindt van de zandkorrels in de watervoerende laag, zullen er geen schrikbarende grote debieten ontstaan, die zouden kunnen leiden tot een waterbezwaar in de dijkring.

Hetgeen echter wel tot gevaar kan leiden, is dat door de stroming langs het grensvlak van de ondoorlatende kleilaag en de loskorrelige zandlaag op den duur zandkorrels getransporteerd zullen gaan worden. Als gevolg hiervan zullen zogenaamde 'pipes' in de zandlaag ontstaan. In eerste instantie breiden de 'pipes' zich langzaam uit in lengterichting. Als de lengte van een 'pipe' de breedte van de waterkering heeft bereikt dan verergert het proces zich snel. Als het drukverschil over de dijk voldoende lang aanhoudt, zullen de 'pipes' inderdaad een lengte gelijk aan de breedte van de waterkering krijgen en zal de stabiliteit van het dijklichaam in gevaar komen, met als resultaat dat de dijk bezwijkt en de dijkring overstroomt.

Voor een uitgebreide beschrijving van dit model, opgesteld aan de hand van (TNO-bouw, september 1999), wordt verwezen naar bijlage II.Q.

2.5.2 Werkwijze programmatuur PC_RING

De werkwijze van de programmatuur van PC_RING wordt in dit rapport niet nader toegelicht. Voor een uitgebreide beschrijving van de werkwijze van de programmatuur wordt verwezen naar de verschillende handleidingen van PC_RING (TNO-Bouw, september 1999) en de cursus PC_RING (TNO-Bouw, april 1999).

2.5.3 Overstap versie 1.01 naar versie 2.00

De resultaten van het SPRINT onderzoek (*zie bijlage I.C*) zijn verkregen met PC_RING versie 1.01 (*model 98*). In juni 2000 is door TNO-Bouw echter een nieuwe versie van PC_RING (*versie 2.00*) vrijgegeven. Deze nieuwe versie is een uitbreiding op versie 1.01, met als voornaamste wijziging de mogelijkheid om het programma te gebruiken als ontwerptool.

Het in dit onderzoek ontwikkelde model is uiteindelijk gekoppeld aan de nieuwe versie van PC_RING (2.00). Voordat deze koppeling gemaakt kon worden moest bewezen worden dat met de nieuwe versie van PC_RING, dezelfde resultaten als in het SPRINT onderzoek (*verkregen met PC_RING versie 1.01*) gerealiseerd konden worden. De SPRINT resultaten vormen immers de basis van dit onderzoek en ook de afbakening van dit onderzoek berust op de resultaten verkregen met behulp van PC_RING versie 1.01. Om de continuïteit in het onderzoek te kunnen waarborgen is in bijlage II.S uiteengezet wat de veranderingen van de nieuwe versie van PC_RING zijn ten opzichte van de oude versie van PC_RING en met welke instellingen in de nieuwe versie van PC_RING de SPRINT resultaten kunnen worden gereproduceerd.

2.5.4 Aanpassing overslagmodel

Tijdens dit afstudeeronderzoek is het overslagmodel (*model 3 Van der Meer [herzien]*) vervangen door een nieuwe overslagmodel (*model 7*). Gedurende het afstudeeronderzoek kwam namelijk een programmeerfout aan het licht. Het wijzigen van deze programmeerfout (*resultierend in overslagmodel 7*) heeft er toe geleid dat een deel van de convergentieproblemen van PC_RING (*de convergentieproblemen die ontstonden bij dijkprofielen met een berm in het buitentalud*) zijn opgelost. Als een direct gevolg hiervan is de rekentijd van de overstromingskansberekeningen van een aantal dijkringen fors gedaald. In bijlage II.R wordt een uitgebreidere toelichting geven op de manier waarop de fout is ontdekt, hoe deze fout is hersteld en wat de gevolgen zijn.

Hoofdstuk 3. Modelbeschrijving

Hoofdstuk 3. Modelbeschrijving	VII
3.1 Inleiding	23
3.2 Opbouw van het model	23
3.2.1 E1 Randvoorwaarden	24
3.2.2 E2 Presentatie en analyse randvoorwaarden	26
3.2.3 E3 Rekenmodules	27
3.2.4 E4 Presentatie en analyse van de rekenresultaten	31
3.3 Modeltests	33
3.4 Toepassingsmogelijkheden	35
3.5 Perspectief overstromingskansen, gevolgen en risico's	36
Bijlage III.A Grafisch overzicht van het model PC_RINGSCHIL	
Bijlage III.B Dijkvakgegevens	
Bijlage III.C Strijk lengtegegevens	
Bijlage III.D Geometriegegevens	
Bijlage III.E Waterstandgegevens Waddenzeedijken	
Bijlage III.F Waterstandgegevens IJsselmeerdijken	
Bijlage III.G Presentatiemodules randvoorwaarden	
Bijlage III.H Analyse Randvoorwaarden	
Bijlage III.I Parametervariaties	
Bijlage III.J Presentatie rekenresultaten	
Bijlage III.K Modeltests	

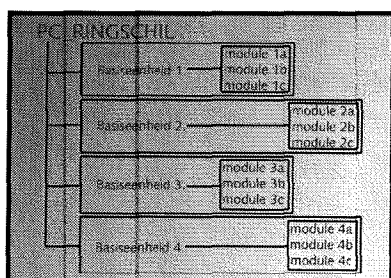
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het in dit afstudeeronderzoek ontwikkelde model. In het vervolg van deze rapportage wordt dit model aangeduid als het model PC_RINGSCHIL. Deze naam is zo gekozen omdat het nieuwe model gezien kan worden als een uitbreidings-'schil' rondom het bestaande model PC_RING.

Zoals in de modelopzet (zie paragraaf 1.5) reeds ter sprake is geweest, is het model PC_RINGSCHIL gefundeerd op twee basiscomponenten; enerzijds het bestaande model PC_RING en anderzijds de invoergegevens zoals deze zijn toegepast in het SPRINT onderzoek (zie TAW, juni 2000 en hoofdstuk 2).

Op basis van een drietal modeldoelstellingen is het bestaande model PC_RING uitgebreid met meerdere componenten tot het model PC_RINGSCHIL. Toegevoegd zijn componenten waarmee randvoorwaarden overzichtelijk weergegeven en geanalyseerd kunnen worden, componenten waarmee ontwerpparametervariëaties en de bijbehorende kosten berekend kunnen worden en componenten waarmee de resultaten van de door PC_RING uitgevoerde overstroomingskansberekeningen gevisualiseerd en geanalyseerd kunnen worden.

In dit hoofdstuk worden de verschillende componenten van het model nader toegelicht. In eerste instantie wordt PC_RINGSCHIL op basis van de modeldoelstellingen, ingedeeld in vier basiseenheden. Elk van deze basiseenheden heeft een eigen functie, variërend van het uitvoeren van berekeningen tot het presenteren en analyseren van invoergegevens en/of berekeningsresultaten. In onderstaande paragrafen wordt per basiseenheid een toelichting gegeven op de functie, de opbouw (een beschrijving van de verschillende modules waaruit de basiseenheid is opgebouwd) en de gebruiks- en/of uitbreidingsmogelijkheden. In figuur 3.1 wordt een schematische van de structuur van PC_RINGSCHIL weergegeven.



.....**Figuur 3.1**.....
De geschematiseerde structuur van PC_RINGSCHIL

3.2 Opbouw van het model

Op basis van de algemene doelstelling van dit afstudeeronderzoek en de in paragraaf 1.6 gemaakte keuzes in de afbakening, kunnen een drietal modeldoelstellingen ten aanzien van het ontwerp van PC_RINGSCHIL opgesteld worden.

1. PC_RINGSCHIL is enerzijds bedoeld om, op een zo efficiënt mogelijk wijze, voor een groot aantal dijkvakken en verschillende ontwerpparameters, de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak te bepalen.
2. Anderzijds is PC_RINGSCHIL bedoeld om het gebruik van het bestaande model PC_RING te vereenvoudigen en om een efficiënte en duidelijke presentatie van de resultaten, van de met PC_RING gemaakte overstroomingskansberekeningen te geven.
3. Behalve dat het model werkzaam moet zijn binnen de in dit afstudeeronderzoek gemaakte afbakening, moet het mogelijk zijn om het model bijvoorbeeld uit te breiden met meerdere faalmechanismen en/of met behulp van kleine aanpassingen toe te passen op andere dijkkringgebieden.

Om aan de doelstellingen ten aanzien van het ontwerp van PC_RINGSCHIL te voldoen (met name aan de derde doelstelling), is gekozen om een strikte scheiding te maken tussen de verschillende soorten modules. Onderscheiden kunnen worden: invoermodules, rekenmodules, en presentatie- en analysemodules. Op basis van dit onderscheid kan PC_RINGSCHIL ingedeeld worden in vier verschillende basiseenheden, elk met een eigen functie en toepassingsmogelijkheid:

- E1 een basiseenheid met randvoorwaarden;
- E2 een basiseenheid voor de presentatie en analyse van de randvoorwaarden;
- E3 een basiseenheid met de rekenmodules van PC_RING, voor de ontwerpparametervariëaties en voor de investeringskosten;
- E4 een basiseenheid voor de presentatie en analyse van de berekeningsresultaten.

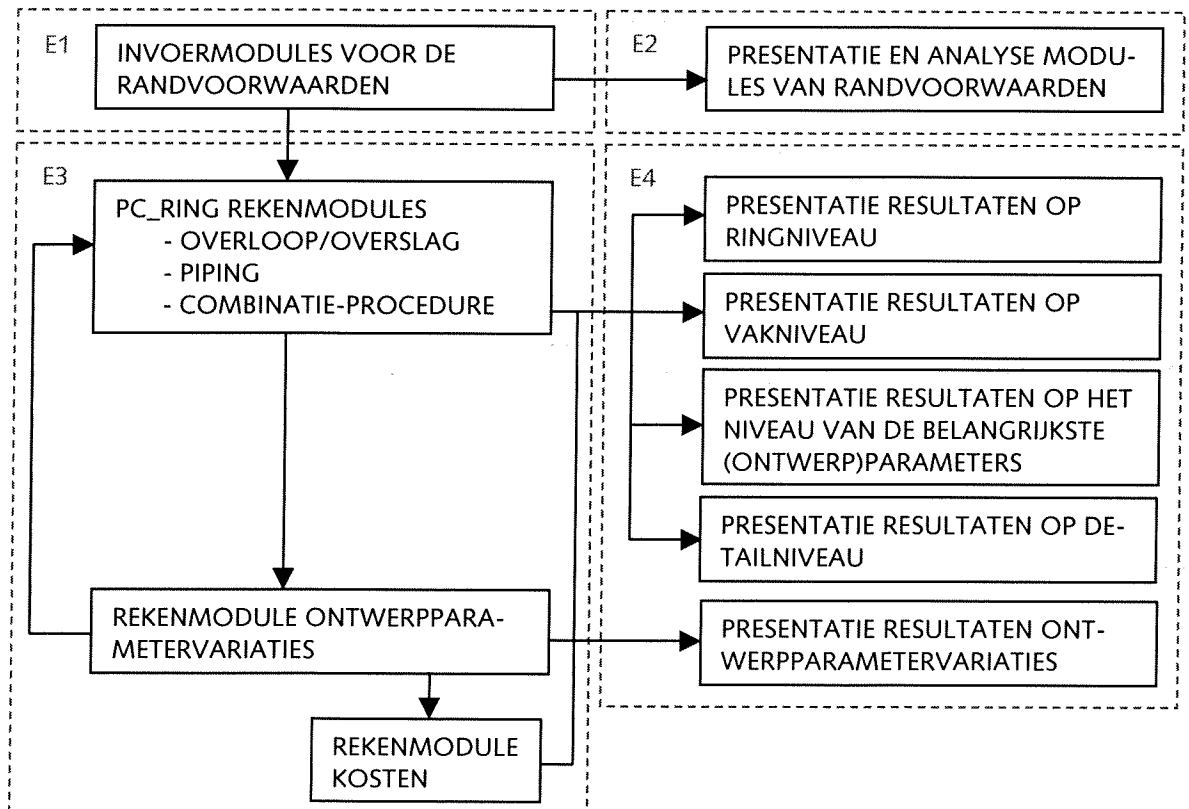
Elk van de basiseenheden is opgebouwd uit verschillende soorten modules. Basiseenheid E1. is opgebouwd uit een viertal invoermodules waarin de verschillende randvoorwaarden van het onderzoeksgebied opgegeven moeten worden. Aan de hand van een aantal analyse- en presentatiemodules uit basiseenheid E2 kunnen de randvoorwaarden uit basiseenheid E1 worden weergegeven en geanalyseerd. Alle benodigde rekenmodules zijn samengevoegd in basiseenheid E3 Deze basiseenheid bestaat uit de rekenmodules van PC_RING (voor het faalmechanisme 'overloop/overslag', 'piping' en de combinatie procedure), de rekenmodule voor het bepalen van de investeringskosten en de rekenmodule voor het uitvoeren van de ontwerpparametervariaties. De verschillende rekenmodules worden zo gekoppeld dat het mogelijk wordt de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak te bepalen als functie van de investeringskosten. Basiseenheid E4 bestaat tenslotte uit een aantal verschillende presentatie- en analysemodules, waarmee op verschillende detailniveau's, berekeningsresultaten (zowel van de overstromingskansberekeningen als van de ontwerpparametervariaties) kunnen worden weergegeven en/of worden geanalyseerd. Er worden vier detailniveau's onderscheiden:

- ✓ presentatie op ringniveau (faalkans en betrouwbaarheidsindex van de gehele ring en de verdeling over de dijkvakken);
- ✓ presentatie op vakniveau (faalkans en betrouwbaarheidsindex van een gekozen dijkvak en de verdeling over de windrichtingen);
- ✓ presentatie op het niveau van de belangrijkste (ontwerp)parameters (grootte van de belangrijkste (ontwerp)parameters in het ontwerp punt voor een gekozen dijkvak en windrichting);
- ✓ presentatie op detailniveau (grootte van alle parameters uit de berekening in het ontwerp punt voor een gekozen dijkvak en windrichting).

Daarnaast bevat basiseenheid E4 een module voor de presentatie van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van een gekozen dijkvak als functie van de investeringskosten.

.....Verwijzing¹.....
 Bijlage III.A geeft een meer gedetailleerd
 overzicht van de verschillende basiseenheden
 en modules

Onderstaand schema geeft een beeld van de verschillende basiseenheden en de belangrijkste modules¹.



Van alle vier de basiseenheden wordt in onderstaande paragrafen toegelicht wat de functie is, hoe de opbouw is (*bestaande uit verschillende modules*) en welke gebruiks- en/of uitbreidingsmogelijkheden er zijn.

3.2.1 E1 Randvoorwaarden

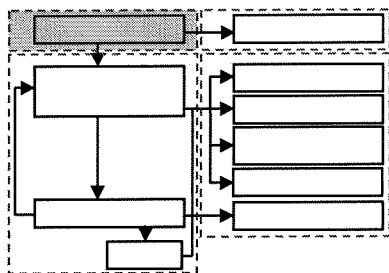
Functie

Deze basiseenheid is ontworpen voor het invoeren en inlezen van de verschillende randvoorwaarden van het onderzoeksgebied in het model PC_RINGSCHIL (zowel de (*hydraulische*) belastingen als de *sterkte eigenschappen van de waterkering*).

Opbouw

Deze basiseenheid is opgebouwd uit vier verschillende invoermodules:

- I. een invoermodule met dijkvakgegevens;
- II. een invoermodule met strijklengtegegevens;
- III. een invoermodule met geometriegegevens;
- IV. een invoermodule met waterstandgegevens.



.....**Figuur 3.2**.....
Basiseenheid E1 Randvoorwaarden

.....**Toelichting¹**.....
Bijvoorbeeld met 'notepad' of 'wordpad'

Aan de hand van de vier invoermodules worden de randvoorwaarden uit meerdere beschikbare invoerbestanden in het model PC_RINGSCHIL ingelezen. De randvoorwaarden worden opgeslagen als txt-bestanden welke geopend of gewijzigd kunnen worden met behulp van een eenvoudige text-editor¹.



.....**Figuur 3.3**.....
Invoerbestanden

De randvoorwaarden worden ingelezen uit vier verschillende txt-bestanden:

I. Dijkvakken.txt: Informatie over de dijkvakken

Het betreft hier de naam, het locatienummer, de lengte en de oriëntatie van de verschillende dijkvakken. In bijlage III.B wordt aangegeven hoe het invoerbestand met de dijkvakgegevens is opgebouwd.

II. Strijklengten.txt: Informatie over de strijklengten

Ten behoeve van de Bretschneider golfberekeningen moeten gegevens met betrekking tot de lengte en de diepte van de strijkvakken opgegeven worden. Aangegeven kan worden welke windrichtingen bijdragen aan het mechanisme 'overslag' en welke windrichtingen bijdragen aan het mechanisme 'overloop'. In bijlage III.C wordt aangegeven hoe het invoerbestand met de strijklengtegegevens is opgebouwd.

III. Geometrie.txt: Informatie over de geometrie van de dijkvakken

Het betreft hier een verzameling coördinatenkoppels (*max. 8*) bestaande uit een X-coördinaat en een Y-coördinaat, voor alle dijkvakken. Het aantal coördinatenkoppels is afhankelijk van de aanwezigheid van een knik of een berm in het buitentalud (*zie ook bijlage II.K*). In bijlage III.D wordt aangegeven hoe het invoerbestand met de geometriegegevens is opgebouwd.

IV. Waterstand.txt: Informatie over de waterstanden (en ook golven)

Afhankelijk van het feit of gerekend wordt met een Waddenzeedijk of een IJsselmeerdijk zijn er twee verschillende waterstand randvoorwaarden beschikbaar. Voor de Waddenzeedijken is een verzameling van ZWENDLtabellen beschikbaar. Voor elk ZWENDLpunt wordt één tabel gegeven, met daarin de lokale waterstand als functie van de waterstand in Harlingen en Delfzijl². In bijlage III.E wordt aangegeven welke ZWENDLtabellen beschikbaar zijn voor de Waddenzeedijken. Voor de IJsselmeerdijken is voor elk dijkvak een HISWAtabel opgesteld. In deze tabellen wordt als functie van de windsnelheid, de windrichting en het IJsselmeerpeil een waarde gegeven van de lokale waterstand, de golfhoogte, de golfperiode en de hoek van golfval. In bijlage III.F wordt een voorbeeld gegeven van één van de beschikbare invoerbestanden voor de IJsselmeerdijken.

.....**Toelichting²**.....
Het ZWENDLmodel is oorspronkelijk een riviermodel. Gekozen is echter om de invoerbestanden van PC_RING zo uniform mogelijk te houden. Daarom worden alle punten met bekende waterstandgegevens gedefinieerd als zogenaamde ZWENDLpunten en is de opbouw en de structuur van de invoerbestanden gelijk voor bijvoorbeeld het Waddenzeegebied en het rivierengebied

Gebruiks- en/of uitbreidingsmogelijkheden

Gekozen is de indeling van de invoermodules in grote lijn gelijk te houden aan de indeling van de invoerbestanden van PC_RING. Men kan dan op een betrekkelijk eenvoudige wijze de invoerbestanden van het model PC_RINGSCHIL afleiden uit de bestaande invoerbestanden van PC_RING. Met een klein aantal aanpassingen is het dan mogelijk om PC_RINGSCHIL toe te passen op een ander dijkkringgebied dat het in dit afstudeeronderzoek besproken dijkkringgebied 'Groningen en Friesland'.

Omdat gekozen is de invoerbestanden weg te schrijven als txt-bestanden is het mogelijk om snel en eenvoudig de inhoud van de invoerbestanden te controleren en eventueel te wijzigen.

3.2.2 E2 Presentatie en analyse randvoorwaarden

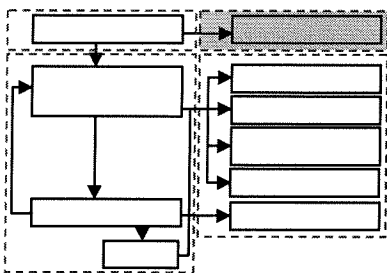
Functie

De invoerbestanden van PC_RINGSCHIL (maar ook die van PC_RING) bestaan veelal uit een grote verzameling onoverzichtelijke gegevensreeksen¹. Om een beter beeld te krijgen van de verschillende randvoorwaarden per dijkvak is het model uitgebreid met een basiseenheid, waarin de randvoorwaarden per dijkvak op een efficiënte en overzichtelijke manier worden gepresenteerd en kunnen worden geanalyseerd.

Opbouw

De modules in deze basiseenheid kunnen ingedeeld worden in twee soorten, elk met een eigen functie. Enerzijds een groep modules bedoeld voor het presenteren van de ingelezen randvoorwaarden, anderzijds een groep modules bedoeld voor het analyseren van de randvoorwaarden. In onderstaande paragrafen wordt een toelichting gegeven op beide groepen modules.

.....Verwijzing¹.....
Zie bijlage III.B - F



.....Figuur 3.4.....
Basiseenheid E2 Presentatie en analyse randvoorwaarden

.....Verwijzing².....
In bijlage III.G wordt van elk van de presentatiemodules een voorbeeld weergegeven

Er kunnen vier presentatiemodules voor het weergeven van de ingelezen randvoorwaarden onderscheiden worden²:

- I. een presentatiemodule met een bovenaanzicht van het dijkkringgebied, met hierop aangegeven de dijkvakindeling (zie ook bijlage II.A);
- II. een presentatiemodule met de weergave van het dijkprofiel per vak, inclusief een overzicht van de coördinatenkoppels en de bepalende profielkenmerken, zoals bijvoorbeeld de kruinhoogte, de berm breedte, etc.;
- III. een presentatiemodule met de grafische weergave van de strijkvakken per dijkvak (alleen voor de Waddenzeedijken³);
- IV. een presentatiemodule met de weergave van alle invoerdata per dijkvak, bestaande uit:

.....Toelichting³.....
De dijkvakken langs het IJsselmeer maken geen gebruik van een Bretschneider golfberekening, waardoor geen strijklengte gedefinieerd hoeft te worden

- o de locatie van het bestand met de dijkvakgegevens en de inhoud van dit bestand voor het opgegeven dijkvak;
- o de locatie van het bestand met de geometriegegevens en de inhoud van dit bestand voor het opgegeven dijkvak;
- o de locatie van het bestand met de strijklengtegegevens en de inhoud van dit bestand voor het opgegeven dijkvak.

Voor de Waddenzeedijken:

- o de locatie van het eerste bestand met waterstandgegevens en de inhoud van dit bestand voor het opgegeven dijkvak;
- o de locatie van het tweede bestand met waterstandgegevens en de inhoud van dit bestand voor het opgegeven dijkvak.

Voor de IJsselmeerdijken:

- o de locatie van het bestand met waterstand/golfgegevens en de inhoud van dit bestand voor het opgegeven dijkvak per windrichting.

Naast de genoemde presentatiemodules bevat deze basiseenheid ook een aantal analysemodules waarmee een nadere analyse van de randvoorwaarden per dijkvak gemaakt kan worden. Gekozen is voor een viertal analyses:

- ✓ een analyse van de golfhoogte op de Waddenzee (*Bretschneider formules*);
- ✓ een analyse van de golfhoogte op het IJsselmeer (*HISWA tabel*);
- ✓ een analyse van de waterstand op het IJsselmeer (*HISWA tabel*);
- ✓ een analyse van de maatgevende hydraulische belasting per dijkvak.

Ten behoeve van bovengenoemde analyses zijn in PC_RINGSCHIL een viertal analysemodules opgenomen¹:

- I. een analysemodule waarmee de invloed van de windsnelheid per dijkvak en/of per windrichting op de golfhoogte in het Waddenzeegebied tot uitdrukking kan worden gebracht (*op basis van de Bretschneider formules*);
- II. een analysemodule waarmee de invloed van de windsnelheid per dijkvak en/of per windrichting op de golfhoogte in het IJsselmeergebied tot uitdrukking kan worden gebracht (*op basis van de HISWA tabellen*);
- III. een analysemodule waarmee de invloed van de windsnelheid per dijkvak en/of per windrichting op de lokale waterstand in het IJsselmeergebied tot uitdrukking kan worden gebracht (*op basis van de HISWA tabellen*);
- IV. een analysemodule waarmee de maatgevende hydraulische belasting per dijkvak bepaald kan worden.

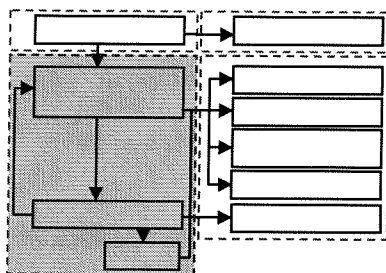
.....**Verwijzing**¹.....
 In bijlage III.H wordt van elk van de analysemodules een voorbeeld gegeven. Bij module IV wordt een extra toelichting gegeven

Gebruiks- en uitbreidingsmogelijkheden

De verschillende presentatiemodules zijn bedoeld om een beter beeld krijgen van de, in PC_RINGSCHIL ingelezen en in de berekeningen toegepaste randvoorwaarden. Gekozen is de randvoorwaarden per dijkvak te presenteren en niet per soort, om zo een efficiëntere analyse van de berekeningsresultaten per dijkvak te kunnen maken. Getracht is zoveel mogelijk te visualiseren, omdat dit vaak het meest overzichtelijk is.

In de verschillende presentatiemodules uit deze basiseenheid zijn geen aanpassingen vereist als PC_RINGSCHIL op een ander dijkringgebied, dan het in dit afstudeeronderzoek behandelde dijkringgebied, zou worden toegepast. Uitgangspunt hierbij is wel dat de invoerbestanden zoals beschreven in paragraaf 3.2.1 zijn aangepast volgens de in bijlage III.B tot III.F beschreven eisen.

De verschillende analysemodules in deze basiseenheid zijn bedoeld om de gebruiker extra inzicht te geven in de verschillende randvoorwaarden. Met name de vierde analysemodule van de maatgevende hydraulische belasting per dijkvak, kan de gebruiker bij het uitvoeren van de verschillende ontwerpparametervariëaties, vooraf een indicatie geven van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans. Het is immers voor te stellen dat een dijkvak waarbij de waterstand, de maatgevende hydraulische belasting vormt, het aanleggen van een berm op het buitentalud niet veel reducerende invloed op de overslagkans zal hebben. Daarentegen zal het aanleggen van een berm op het buitentalud van een dijkvak in een golven gedomineerd gebied wel degelijk een reducerende invloed moeten hebben op de overslagkans van het beschouwde dijkvak. In bijlage III.H zal aan de hand van een tweetal voorbeelden een toelichting gegeven worden op dit principe.



.....**Figuur 3.5**.....
 Basiseenheid E3 Rekenmodules

3.2.3 E3 Rekenmodules

Functie

In deze basiseenheid zijn alle rekenmodules samengevoegd die nodig zijn om de diverse berekeningen uit te voeren. Onder deze berekeningen vallen de overstromingskansberekeningen (*PC_RING*), de berekeningen waarmee de investeringskosten bepaald worden en de berekeningen die benodigd zijn voor de verschillende ontwerpparametervariëaties.

Opbouw

Deze basiseenheid is opgebouwd uit vijf verschillende rekenmodules:

- I. een PC_RING rekenmodule voor de berekening van het faalmechanisme 'overloop/overslag';
- II. een PC_RING rekenmodule voor de berekening van het mechanisme 'piping';
- III. een PC_RING rekenmodule voor de combinatie procedure berekening;
- IV. een rekenmodule voor de bepaling van de investeringskosten;
- V. een rekenmodule voor het uitvoeren van de ontwerpparametervariaties;

In het vervolg van deze paragraaf zullen in eerste instantie de verschillende rekenmodules nader worden toegelicht, gevolgd door een beschrijving van de te volgen rekenprocedure, waarin de diverse rekenmodules aan elkaar worden gekoppeld.

I, II en III PC_RING rekenmodules

In het huidige model zijn drie rekenmodules van PC_RING geïmplementeerd. Een rekenmodule voor de bepaling van de faalkans a.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag', een rekenmodule voor de bepaling van de faalkans a.g.v. het faalmechanisme 'piping' en een rekenmodule voor de bepaling van de gecombineerde faalkans van alle dijkvakken uit de dijkring en bovengenoemde faalmechanismen. Er is gebruik gemaakt van PC_RING versie 2.00 en overslagmodel 7. Voor een uitgebreide toelichting op de verschillende PC_RING rekenmodules wordt verwezen naar hoofdstuk 2. en bijlage II.O, II.P en II.Q.

IV Rekenmodule investeringkosten

In paragraaf 1.6.3 is reeds besproken dat de investeringskosten in dit afstudeeronderzoek worden benaderd door een grootte die een sterke relatie vertoont met de investeringskosten. In het algemeen kan gesteld worden dat de kosten een sterke relatie vertonen met het dijkvolume per strekkende meter en het ruimtebeslag van een dijk. Ten behoeve van het dijkringgebied 'Groningen en Friesland', waar de claim op de ruimte nog niet erg groot is, is gekozen de investeringskosten te benaderen met een volume per strekkende meter. In andere dijkringgebieden kan het voorkomen dat niet het volume per strekkende meter kostenbepalend is, maar dat als gevolg van intensief grondgebruik nabij de waterkering, het ruimtebeslag kostenbepalend is. In de rekenmodule voor de kosten wordt daarom niet alleen het volume per strekkende meter berekend, maar wordt ook het ruimtebeslag van de dijk bepaald. In de presentatiemodule van de rekenresultaten kan de gebruiker uiteindelijk zelf kiezen welke kostenmaat gehanteerd moet worden.

V Rekenmodule ontwerpparametervariaties

In paragraaf 1.6.5 is beschreven welke parameters als ontwerpparameters zijn gekozen, mede als gevolg van eerder gemaakte afbakeningen in dit afstudeeronderzoek. Naast het feit dat met PC_RINGSCHIL de invloed van de variatie van één ontwerpparameter op de faalkans van een dijkvak te bepalen is, is in het model PC_RINGSCHIL de mogelijkheid opgenomen om ook de invloed van een combinatie van twee ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak te bepalen. Hierdoor wordt het bijvoorbeeld mogelijk de invloed van een eventuele berm, bestaande uit een bermhoogte en een berm breedte, op de faalkans van een dijkvak te bepalen.

Omdat tijdens de ontwerpparametervariatie berekeningen alleen de invloed van de te variëren ontwerpparameters in de faalkans van een dijkvak tot uitdrukking mag komen, worden alle overige ontwerpparameters gelijk gehouden aan de waarde van de oorspronkelijke situatie (*uitgangssituatie*). Dit heeft tot gevolg dat bijvoorbeeld het verhogen van de kruin niet alleen van invloed is op de hoogte van de dijk, maar ook op de breedte van het dijkprofiel¹.

.....Verwijzing¹.....
In bijlage III.I wordt weergegeven op welke wijze dit voor alle ontwerpparameters in PC_RINGSCHIL is verwerkt

.....**Toelichting**¹
De gebruiker kan zelf het aantal stappen dat de ontwerpparameter moet worden gevarieerd opgeven met een maximum van acht

Een ontwerpparameter kan gevarieerd worden door een minimale waarde en een stapgrootte op te geven. Dit betekent dat de gebruiker zelf kan bepalen in welk gebied en op welk detailniveau een berekening uitgevoerd moet worden. Omdat tijdens de berekeningen, alle tussenresultaten worden opgeslagen in een array, om zo na afloop van de berekeningen een analyse te kunnen maken van alle tussenstappen, is het maximaal aantal stappen dat gemaakt kan worden beperkt tot acht¹. Wanneer gekozen wordt om twee ontwerpparameters gecombineerd te variëren is het maximaal aantal te berekenen stappen gelijk aan vierenzestig. Een toename van het aantal stappen betekent automatisch een toename van de rekentijd en een toename van het benodigde interne geheugen van de computer.

Rekenprocedure

De rekenprocedure geeft weer hoe de verschillende rekenmodules aan elkaar worden gekoppeld, zodat de gewenste berekeningen kunnen worden gemaakt. Omdat het effect van de variatie van één of twee ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak bepaald moet kunnen worden, zal de rekenprocedure een cyclisch karakter krijgen. Gedurende elke cyclus, waarin de ontwerpparameter(s) een bepaalde waarde krijgen, zal bepaald moeten worden wat de grootte van faalkans is en hoe groot de bijbehorende investeringskosten zijn. Gedurende elke cyclus zullen alle berekende grootheden worden opgeslagen in een array, zodat na afloop van de berekening, de resultaten tot in detail kunnen worden geanalyseerd. De verschillende rekenmodules worden in een lus geplaatst, waarin achtereenvolgens vijf verschillende handelingen worden uitgevoerd²:

.....**Verwijzing**²
Zie bijlage III.A

1. het aanpassen van de randvoorwaarden zodat voldaan wordt aan de waarde van de gevarieerde ontwerpparameter(s); in dit onderzoek het aanpassen van de geometriekenmerken van een dijkvak;
2. het wegschrijven van de nieuwe randvoorwaarden naar de invoerbestanden van PC_RING; in dit onderzoek de (*geometrie*)coördinatenkoppels;
3. het bepalen van de investeringskosten; in dit onderzoek gelijk aan het volume per strekkende meter;
4. het aanroepen van de PC_RING executables, afhankelijk van het gekozen faalmechanisme;
5. het inlezen van de resultaten van de faalkansberekening van PC_RING, bestaande uit een faalkans per dijkvak, een faalkans gecombineerd over alle dijkvakken en de ontwerpwaarden van de stochasten uit de berekening.

.....**Verwijzing**³
Met als uitzondering de gedane aanpassing zoals beschreven in paragraaf 2.5.2

N.B. in PC_RINGSCHIL is niets veranderd aan de al bestaande PC_RING modules³.

De rekenprocedure resulteert uiteindelijk in een grote verzameling gegevens. Deze gegevens worden gerangschikt per gevarieerde waarde van de ontwerpparameter(s). Tenslotte kunnen de resultaten met behulp van, de in de volgende paragraaf besproken presentatie- en analysemodules worden geïnterpreteerd.

Gebruiks- en uitbreidingsmogelijkheden

De rekenmodules en rekenprocedure uit PC_RINGSCHIL zijn zo ontworpen en toegepast, dat er ruimte is voor uitbreiding en ontwikkeling van het model. Zowel de ontwikkeling als de uitbreiding van het model plaats vinden op verschillende raakvlakken. In deze paragraaf zal aangegeven worden welke ontwikkelingen en uitbreidingen verwacht kunnen worden en op welke wijze bij het ontwerpen en toepassen van de rekenmodules en de rekenprocedure hiermee rekening is gehouden. Achtereenvolgens zal besproken worden de ontwikkeling van de PC_RING modules, de uitbreiding van het model met meerdere PC_RING modules en de uitbreiding van de kostenmodule met de hieraan gekoppelde uitbreiding van de ontwerpparametervariaties.

Ontwikkeling PC_RING modules

De in deze versie van PC_RINGSCHIL geïmplementeerde PC_RING modules zijn op dit moment algemeen geaccepteerd. Dit wil niet zeggen dat het onderzoek naar verbeteringen en aanpassingen van de modules niet verder gaat. Er zijn op dit moment bijvoorbeeld al meerdere 'overloop/overslag' modules beschikbaar. En ook deze worden aan de hand van overleg met experts voortdurend aangepast en verbeterd. Het is dan ook hoogstwaarschijnlijk dat in de nabije toekomst, de huidige PC_RING modules zijn verouderd en moeten worden vervangen door nieuwe¹.

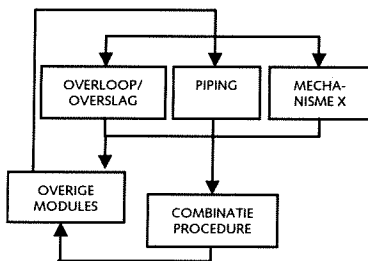
.....**Toelichting**¹.....
In dit onderzoek is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van PC_RING model 98, inmiddels is ook model 2000 al beschikbaar

Daarom is in het ontwerp van PC_RINGSCHIL gekozen om de PC_RING modules niet te integreren, maar los aan het model te hangen. Doormiddel van het aanroepen van een executable worden de PC_RING modules opgestart en de resultaten worden vervolgens ingelezen uit de standaard uitvoerfiles van PC_RING. Op deze manier zijn de PC_RING modules eenvoudig te vervangen, mits natuurlijk de uitvoerroutine van PC_RING ongewijzigd blijft.

Uitbreiding PC_RINGSCHIL met meerdere PC_RING modules

In de huidige versie van PC_RINGSCHIL zijn twee verschillende faalmechanismen geïmplementeerd². Gezien de beperkte tijdsduur en overige beperkingen (zie paragraaf 1.6.4) is het niet mogelijk geweest om alle faalmechanismen in de huidige versie van PC_RINGSCHIL te implementeren. In het ontwerp van de rekenprocedure is echter wel rekening gehouden met de uitbreiding met andere faalmechanismen. De verschillende PC_RING rekenmodules zijn zo in de rekenprocedure geplaatst dat ze elk afzonderlijk aangestuurd kunnen worden (ten behoeve van de berekening per faalmechanisme) maar ook dat ze achtereenvolgens aangestuurd worden, gevolgd door de combinatieprocedure (ten behoeve van de bepaling van de gecombineerde faalkansen). Doordat de modules los aan het model zijn gehangen kan simpelweg een nieuw faalmechanisme worden toegevoegd zonder dat al te veel aanpassingen gemaakt moeten worden. N.B. een klein aantal aanpassingen in de rekenmodules is onvermijdelijk.

.....**Toelichting**².....
'Overloop/overslag' en 'piping'



.....**Figuur 3.6**.....
Uitbreiding meerdere faalmechanismen

Uitbreiding kostenmodule

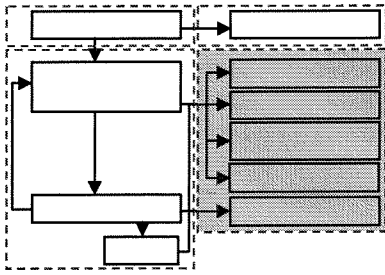
In dit onderzoek is gekozen de investeringskosten te benaderen met een volume per strekkende meter. Zoals eerder genoemd is in PC_RINGSCHIL de mogelijkheid opgenomen om de investeringskosten ook te benaderen met het ruimtebeslag. Hierdoor wordt het mogelijk PC_RINGSCHIL toe te passen op andere dijkkringgebieden dan het in dit onderzoek behandelde dijkkringgebied. Het zou natuurlijk beter zijn als de investeringskosten niet worden benaderd met een kostenbepalende grootte, maar 'echt' worden begroot. Deze mogelijkheid is opgehouden door de kosten in een aparte rekenmodule te laten berekenen. De rekenmodule voor de kosten kan altijd aangepast worden of vervangen worden door een kostenmodule die de kosten daadwerkelijk bepaalt. Wanneer een dergelijke uitbreiding wordt ingevoerd, zal PC_RINGSCHIL geschikt worden, voor het uitvoeren van variaties van meerdere ontwerpparameters dan de parameters die het dijkprofiel bepalen. In paragraaf 1.6.5 is immers aangeduid dat door de gedane afbakening in de benadering van de investeringskosten alleen die parameters gevarieerd kunnen worden welke bepaald worden door de geometrie van een dijklichaam. Anders zou het niet mogelijk zijn om de invloed van de ontwerpparameters uit te drukken in de investeringskosten. Door een uitbreiding van het model met een nauwkeurige kostenmodule wordt het mogelijk om ook andere ontwerpparameters te variëren, zolang deze zijn uit te drukken in de investeringskosten of een gekozen kostenmaat.

Bovenstaande overwegingen maken duidelijk dat het in dit onderzoek ontwikkelde model nog lang af is, maar dat in het ontwerp rekening is gehouden met verschillende mogelijkheden waarop het model kan worden verbeterd.

3.2.4 E4 Presentatie en analyse van de rekenresultaten

Functie

In deze basiseenheid zijn verschillende presentatie- en analysemodules gegroepeerd, waarmee de rekenresultaten die verkregen zijn in basiseenheid E3 op een overzichtelijke manier kunnen worden weergegeven. In deze basiseenheid kunnen twee soorten resultaten onderscheiden worden. Enerzijds de resultaten van de PC_RING faalkansberekeningen en anderzijds de resultaten van de ontwerpparametervariaties.



.....**Figuur 3.7**.....
Basiseenheid E4 Presentatie en analyse
rekenresultaten

Opbouw

Zoals genoemd kan een tweedeling gemaakt worden tussen de resultaten van de PC_RING faalkansberekeningen en de resultaten van de ontwerpparametervariaties. In deze paragraaf wordt in eerste instantie een toelichting gegeven op de manier waarop de resultaten van de PC_RING faalkansberekeningen beschouwd en geanalyseerd kunnen worden. Vervolgens wordt besproken hoe de resultaten van de verschillende ontwerpparametervariaties hierop aansluiten en/of afwijken.

Gekozen is de resultaten van de PC_RING faalkansberekeningen te presenteren op een viertal verschillende detailniveau's:

- I. het niveau van een dijkkring
- II. het niveau van een dijkvak
- III. het niveau van de belangrijkste (*ontwerp*)parameters (*belasting en sterkte*)
- IV. het detailniveau

Met behulp van de hier voorgestelde indeling in detailniveau's kan de gebruiker zelf bepalen tot welk detailniveau hij een faalkansberekening wil analyseren. Voor algemene toepassingen (*waarvan er één besproken wordt in hoofdstuk 4.*) zal volstaan worden met een presentatie van de kansverdeling over de dijkvakken. Wanneer men echter wil bepalen welke oorzaken ten gronden liggen aan bijvoorbeeld de hoogte van de faalkans van het 'zwakste' dijkvak, kunnen de resultaten in gedetailleerdere niveau's geanalyseerd worden. Bekeken kan bijvoorbeeld worden welke windrichting de meeste bijdrage levert aan de faalkans van het dijkvak. Vervolgens kan bij deze windrichting geanalyseerd worden wat de waarde is van de belangrijkste parameters in het ontwerp punt. Tenslotte kan tot in detail nagegaan worden hoe de waarde van deze parameters wordt berekend. N.B. Dit is een goede controle berekening op de juistheid van de geprogrammeerde formules in het model PC_RING (*zie ook paragraaf 2.5.4*).

I. het niveau van een dijkkring

PC_RINGSCHIL presenteert op dit niveau de resultaten in een grafisch overzicht met de verdeling van de ringfaalkans over de verschillende dijkvakken¹. Wanneer gekozen is voor een berekening met het faalmechanisme 'overloop/overslag' is dit de verdeling van de 'overloop/overslag' kans, is gekozen voor een faalkansberekening met het faalmechanisme 'piping' is dit de verdeling van de 'piping' kans en voor de combinatie procedure de verdeling van de totale overstromingskans ten gevolge van de genoemde faalmechanismen. Gekozen kan worden de faalkansverdeling te vervangen door een verdeling van de betrouwbaarheidsindex over de dijkvakken. Voor elk dijkvak kan de precieze waarde van de faalkans en van de betrouwbaarheidsindex afgelezen worden. In bijlage III.J.1 worden een aantal voorbeelden van de uitvoer op dit niveau weergegeven.

II. het niveau van een dijkvak

PC_RINGSCHIL presenteert op dit niveau de rekenresultaten in een grafisch overzicht met de verdeling van de faalkans van een dijkvak over de verschillende windrichtingen.

.....**Verwijzing**¹.....
Op een zelfde wijze als in bijlage I.C

Dezelfde overwegingen als genoemd in I. zijn hier ook van toepassing. Voor elke windrichting kan de precieze waarde van de faalkans en van de betrouwbaarheidsindex afgelezen worden. In bijlage III.J.3 wordt een voorbeeld van de uitvoer op dit niveau weergegeven.

III. het niveau van de belangrijkste (ontwerp)parameters

Dit presentatieniveau is alleen van toepassing op de berekeningen per faalmechanisme en niet op de combinatie procedure. Per faalmechanisme, gekozen dijkvak en gekozen windrichting wordt de grootte van de 'belangrijkste' (ontwerp)parameters in het ontwerppunt weergegeven.

Voor het faalmechanisme 'overloop/overslag' zijn dit:

- ✓ de lokale waterstand in meter t.o.v. NAP;
- ✓ de golfhoogte in meter;
- ✓ de golfperiode in seconde;
- ✓ het kritieke overslagdebiet in kubieke meter per strekkende meter;
- ✓ het optredende overslagdebiet in kubieke meter per strekkende meter;
- ✓ het dijkvolume in kubiek meter per strekkende meter;
- ✓ het ruimtebeslag in meter.

Voor het faalmechanisme 'piping' zijn dit:

- ✓ de lokale waterstand in meter t.o.v. NAP;
- ✓ de kritieke waterstand voor opbarsten in meter t.o.v. NAP;
- ✓ de kritieke waterstand voor piping in meter t.o.v. NAP;
- ✓ het dijkvolume in kubiek meter per strekkende meter;
- ✓ het ruimtebeslag in meter.

Daarnaast wordt op dit niveau een grafisch overzicht gegeven van het dijkprofiel, met daarin aangegeven de (lokale en kritieke) waterstanden en de golfhoogte in het ontwerppunt (afhankelijk van het gekozen faalmechanisme). Ook dit grafische overzicht is afhankelijk van het gekozen dijkvak en de gekozen windrichting. In bijlage III.J.3 wordt een voorbeeld gegeven van de uitvoer van PC_RINGSCHIL op dit detailniveau.

IV. het detailniveau

Van elke grootheid, uit de 'overloop/overslag' of de 'piping' berekeningen kan op dit niveau de waarde in het ontwerppunt afgelezen worden. Er wordt niets anders gepresenteerd dan de resultaten van alle formules van de in PC_RINGSCHIL toegepaste rekenmodules (zie bijlage II.P en II.Q). Behalve dat dit een goede controle is op de juistheid van de in PC_RING(SCHIL) geprogrammeerde formules (controle van het ontwerppunt volgens PC_RING met de resultaten van PC_RINGSCHIL), kan met behulp van dit niveau inzicht verkregen worden in de grootte van alle berekende parameters in het ontwerppunt. Bijlage III.J.4 geeft een aantal voorbeelden van de uitvoer van PC_RINGSCHIL.

Tot nu toe is een toelichting gegeven op de presentatiemodules van de faalkansberekeningen, welke uitgevoerd worden met behulp van de PC_RING rekenmodules. Deze presentatiemodules zijn ontworpen om de gebruiker van het model PC_RINGSCHIL op eenvoudige wijze inzicht te verschaffen in de totstandkoming van de faalkans van een dijkkring en/of dijkvak.

Naast een presentatie van de resultaten van de faalkansberekeningen worden in deze basiseenheid ook de resultaten van de ontwerpparametervariëaties gepresenteerd. Aan de hand van deze resultaten kan een inschatting gemaakt worden van de effectiviteit van eventuele verbeteringsmaatregelen. Deze effectiviteit kan uitgedrukt worden in een overstromingskansreductie versus de benodigde investeringskosten. In de volgende paragraaf zal een toelichting gegeven worden op de manier waarop de resultaten van de ontwerpparametervariëaties worden gepresenteerd en kunnen worden geanalyseerd.

De resultaten van de ontwerpparametervariaties worden gepresenteerd in een lijn-grafiek waarbij de gebruiker zelf de mogelijkheid heeft om de grootheden langs de assen te kiezen.

Het voornaamste resultaat dat gepresenteerd wordt met behulp van deze grafiek is de invloed van de gevarieerde ontwerpparameter op de faalkans van het gekozen dijkvak. De gebruiker kan kiezen dit resultaat weer te geven als functie van de gevarieerde ontwerpparameter zelf, maar ook als functie van de investeringkosten. In de huidige versie van PC_RINGSCHIL, het volume per strekkende meter of het ruimtebeslag. Op basis van een dergelijke presentatie kan een inschatting gemaakt worden van de effectiviteit van de verschillende ontwerpparametervariaties. De effectiviteit kan bepaald worden als functie van de faalkans, maar ook als functie van de betrouwbaarheid van het dijkvak¹. Bijlage III.J.5 geeft een aantal voorbeelden van dergelijke presentaties.

.....**Toelichting**¹.....
Zowel op het niveau van een dijkvak als per windrichting

Behalve dat met behulp van deze presentatiemodule de effectiviteit en de invloed van de gevarieerde ontwerpparameter op de faalkans kan worden weergegeven, is deze module ook bedoeld als een analyse-tool van de toegepaste rekenmodules. In PC_RINGSCHIL is de mogelijkheid opgenomen om elke berekende parameter uit de toegepaste formules (zie bijlage II.P en II.Q) uit te zetten in de lijn-grafiek. Hierdoor kan bepaald worden op welke wijze een geselecteerde parameter beïnvloed wordt door de gevarieerde ontwerpparameter. In paragraaf 2.5.4 is het nut van een dergelijke analyse reeds aangetoond. In deze paragraaf is bewezen dat het oude overslagmodel (*overslagmodel 3*) een fout bevatte in de bepaling van de bermreductiefactor. Met behulp van de presentatiemodule kan een grafiek worden gegeneerd waarin het verloop van de bermreductiefactor uitgezet wordt tegen de variatie van bijvoorbeeld de bermhoogte en de bermbreedte. Bewezen kan worden dat het verloop van de bermreductiefactor (*volgens het gecorrigeerde overslagmodel*) nu wel voldoet aan het voorgeschreven verloop volgens de theorie. In bijlage III.J.6 wordt dit voorbeeld weergegeven.

Behalve dat op deze wijze de juistheid van de formules kan worden gecontroleerd, geven dergelijke analyses ook extra informatie omtrent de resultaten die volgen uit de faalkansberekeningen².

.....**Verwijzing**².....
In hoofdstuk 4 zal een toepassing van het model PC_RINGSCHIL besproken worden en zal blijken dat dit inderdaad het geval is

Tenslotte moet opgemerkt worden dat de vier analyse mogelijkheden (*op verschillende detailniveau's*) zoals besproken zijn in de paragraaf van de faalkansberekeningen ook op de resultaten van de ontwerpparametervariaties van toepassing zijn³. De lijn-grafiek met het verband tussen de faalkans en de ontwerpparameters, is in principe opgebouwd uit een aaneenschakeling van faalkansberekeningen. Elk berekend punt uit de grafiek kan op dezelfde wijze zoals eerder besproken geanalyseerd worden.

.....**Verwijzing**³.....
In bijlage III.J.7 wordt een voorbeeld gegeven

3.3 Modeltests

Gedurende de ontwikkeling van PC_RINGSCHIL zijn een aantal tests uitgevoerd waarmee de juistheid van de uitgevoerde modelberekeningen is gecontroleerd. Deze modeltest kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën:

- ✓ controle geïmplementeerde formules;
 - t.a.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' (zie bijlage II.P)
 - t.a.v. het faalmechanisme 'piping' (zie bijlage II.Q)
- ✓ controle rekenmodule voor de kosten;
- ✓ controle PC_RING rekenmodules.

In onderstaande paragrafen zal een korte toelichting gegeven worden op het karakter van de uitgevoerde testberekeningen en zullen de resultaten besproken worden.

Controle geïmplementeerde formules

De in PC_RINGSCHIL geïmplementeerde formules ten aanzien van de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping' zijn getest met behulp van een zogenaamde ontwerp punt berekening. Het principe van een ontwerp punt berekening is dat de verdelingen van alle stochasten uit de probabilistische benadering worden vervangen door één deterministische waarde, namelijk de waarde van de stochasten in het zogenaamde ontwerp punt¹. Met behulp van de ontwerp punt waarden van alle stochasten kunnen de waarden van de grootheden uit de betrouwbaarheidsfunctie in het ontwerp punt bepaald worden. Eén van de uitgevoerde modeltests bestaat uit een vergelijking van de resultaten van ontwerp punt berekeningen gemaakt met het model PC_RINGSCHIL, met de designpunt (=ontwerppunt) uitvoer van PC_RING en de resultaten van handberekeningen zoals deze gemaakt zijn in bijlage II.P.

.....Verwijzing¹.....

Het ontwerp punt in een probabilistische benadering is dat punt in de faalruimte met de grootste gezamenlijke kansdichtheid. Zie bijlage II.O

Bijlage III.K.1 geeft een overzicht van de resultaten van de modeltest van de formules t.a.v. het mechanisme 'overloop/overslag'. Er is voor drie verschillende dijkvakken een ontwerp punt controle berekening gemaakt. Voor dijkvak 9 't Schoor – Paesens, een profiel zonder berm of knik, voor dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, een profiel met een knik in het buitentalud, onder en boven de knik twee verschillende taludhellingen en voor dijkvak 18 Dijk Zeehavenkanaal, een profiel met een berm in het buitentalud. Getracht is door drie verschillen dijkprofielen te kiezen, alle formules uit het overslagmodel in de modeltest te doorlopen. Op basis van de testresultaten (zie bijlage III.K.1) kan geconcludeerd worden dat zowel de handberekening als de PC_RING designpunt uitvoer, als de modelresultaten overeenkomen en dat formules ten aanzien van het faalmechanisme 'overloop/overslag' dus op correcte wijze in het model PC_RING(SCHIL) zijn geïmplementeerd.

Bij het maken van de testberekening van de formules t.a.v. het faalmechanisme 'piping' kwam er een onverwacht probleem aan het licht. Het bleek namelijk dat in de uitvoer van de PC_RING module voor het faalmechanisme 'piping' voor twee stochasten een ontwerp punt waarde van 0,000 weergegeven werd. Deze waarden zijn in werkelijkheid geen nul, maar als gevolg van het feit dat in de uitvoer van PC_RING een standaard opmaak is aangehouden (uitvoer in drie decimalen) in combinatie met een verkeerde eenheidskeuze lijkt het wel alsof deze waarden nul zijn.

Aangezien PC_RINGSCHIL de ontwerp punt waarden van de stochasten inleest uit de uitvoerbestanden van PC_RING, wordt voor de stochasten een waarde gelijk aan nul ingelezen. In de ontwerp punt berekening wordt vervolgens verder gerekend met deze waarde, hetgeen resulteert in foutieve resultaten. Omdat het dus niet mogelijk is om een goede ontwerp punt berekening te maken, wordt in dit onderzoek afgezien van de controle van de formules ten aanzien van het faalmechanisme 'piping'².

.....Toelichting².....

N.B. Aanbevolen wordt de uitvoerbestanden van PC_RING zo op te maken dat de getallen worden weergegeven in de wetenschappelijke notatie

Controle kostenmodule

In de rekenmodule van de kosten wordt per dijkvak op basis van een verzameling coördinatenkoppels, het volume per strekkende meter dijk en het ruimtebeslag bepaald³. Ter controle van de PC_RINGSCHIL berekeningen, worden in bijlage III.K.2 een aantal modelresultaten vergeleken met de resultaten van een handberekening. Het blijkt dat de modelresultaten overeenkomen met de resultaten van de handberekening, op een aantal afrondingsfouten na. Geconcludeerd kan dus worden dat de rekenmodule voor de investeringskosten de juiste berekeningen uitvoert.

.....Verwijzing³.....

Aan de hand van de formules uit bijlage II.K

Controle PC_RING rekenmodules

De laatste controle van het model PC_RINGSCHIL bestaat uit een controle van de juistheid van de gemaakt faalkansberekeningen. Omdat de bestaande PC_RING rekenmodules in PC_RINGSCHIL niet zijn aangepast, is het alleen noodzakelijk de geautomatiseerde procedure waarmee de verschillende PC_RING executables aangeroepen worden, te controleren. Aangezien het model PC_RING zeer gevoelig is voor onjuist- en onvolkomenheden in de stuur- en invoerbestanden zal de procedure foutloos moeten verlopen, opdat de juiste resultaten worden gegenereerd. In de huidige versie van PC_RINGSCHIL zijn twee verschillende faalmechanismen en een combinatie procedure geïmplementeerd. Ten behoeve van de faalkansberekeningen zijn twee verschillende executables gekoppeld aan het model PC_RINGSCHIL. Eén executable voor de faalkansberekeningen van de twee faalmechanismen en één executable voor de combinatie procedure. De executables worden aangestuurd met behulp van verschillende stuurbestanden. De geautomatiseerde procedure voor het aanroepen van de PC_RING executables in het model PC_RINGSCHIL kan gecontroleerd worden door een vergelijking te maken van de modelresultaten en de resultaten van faalkansberekeningen gemaakt met het model PC_RING (*los van PC_RINGSCHIL*).

In bijlage III.K.3 wordt zo'n vergelijking van de resultaten weergegeven. Naast elkaar zijn gezet, de rekenresultaten uit de SPRINT studies (*nog berekend met het oude overslagmodel, waardoor een kleine afwijking in de betrouwbaarheid van dijkvakken met een berm geconstateerd zal worden*) en de modelresultaten op basis van de uitgangssituatie (*invoerbestanden van SPRINT en het gecorrigeerde overslagmodel*). De resultaten van beide faalkansberekeningen voor zowel het faalmechanisme 'overloop/overslag', 'piping' als voor de combinatie procedure, m.u.v. de dijkvakken met een berm (*zie eerdere opmerking*), blijken overeen te komen. Geconcludeerd kan worden dat de procedure voor het aanroepen van de PC_RING executables op correcte wijze is geïmplementeerd.

3.4 Toepassingsmogelijkheden

Met behulp van het nieuwe model PC_RINGSCHIL is het mogelijk geworden om op een efficiënte manier de invloed van verschillende ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak te bepalen. Wat voorheen voor één dijkvak een tijdrovend proces was (*voor alle punten uit de lijn-grafiek zoals bijvoorbeeld is weergegeven in bijlage III.J figuren III.J.16-19, moest een aparte berekening met PC_RING gemaakt worden*), is met behulp van PC_RINGSCHIL in een relatief kort tijdsbestek mogelijk voor een groot aantal verschillende dijkvakken. Met behulp van deze snel beschikbare informatie kunnen nieuwe toepassingsgebieden van PC_RING verkend worden. In onderstaande paragraaf zullen twee nieuwe toepassingsmogelijkheden kort toegelicht worden.

Stapsgewijs verbeteren van de dijkkring

Een van deze toepassingsmogelijkheden is het stapsgewijs verbeteren van een dijkkring, door de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring tegen minimale kosten te versterken. Hierbij wordt optimaal uitgedrukt als de grootste overstromingskansreductie versus de laagst benodigde investeringskosten. Met behulp van het model PC_RINGSCHIL is eenvoudig aan te geven, wat de 'zwakke' schakel(s) in een dijkkring zijn. Deze 'zwakke' schakels geven de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans van een dijkkringgebied¹. Met behulp van een analyse van de 'zwakste' dijkvakken kan bepaald worden welk faalmechanisme (*per dijkvak*) de grootste bijdrage levert aan de faalkans. Vervolgens kan door gebruik te maken van de verschillende ontwerpparameter variaties uit PC_RINGSCHIL berekend worden welke verbeteringsmogelijkheden het meeste rendement bieden. Dit is uiteraard afhankelijk van de soort belastingen en de eigenschappen van een dijkvak.

.....¹Verwijzing'
Zie ook paragraaf 1.6.2

Het is immers voor te stellen dat in een golven gedomineerd gebied, een berm meer rendement oplevert dan in een gebied waar de waterstand dominant is. Door dit proces te herhalen en steeds de 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring te verbeteren kan een inschatting gemaakt worden van de investeringskosten die nodig zijn om een bepaald geaccepteerd veiligheidsniveau te bereiken.

Ontwerp optimaal dijkvakprofiel

Behalve dat PC_RINGSCHIL toegepast kan worden op bestaande dijkkringen, is het mogelijk om het model toe te passen op een fictieve dijkkring. Een voorwaarde hierbij is wel, dat alle invoergegevens opgesteld en ingevoerd moeten worden. Wanneer niet uitgegaan wordt van een bestaand profiel van een dijkvak, kan met behulp van de ontwerpparametervariaties uit PC_RINGSCHIL gezocht worden naar het meest optimale profiel van een dijkvak. Optimaal wordt uitgedrukt als dat profiel (*ontwerp*) waarbij de betrouwbaarheid van het dijkvak maximaal is en de kosten voor de aanleg van het dijkvak minimaal¹. Vervolgens kan geanalyseerd worden hoe de verschillende faalmechanismen (*in de huidige versie van PC_RINGSCHIL nog maar twee, maar deze toepassing wordt pas echt interessant als meerdere faalmechanismen zijn geïmplementeerd*) bijdragen aan de faalkans van dit optimale ontwerp. Deze uitkomst zou vergeleken kunnen worden met de, in de appendices van de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 – Benedenrivierengebied (TAW, oktober 1989) voorgestelde bijdrage per faalmechanisme aan de faalkans van een dijkvak. Onderzocht kan worden of deze voorgestelde kansverdeling, op basis van ervaring, overeenkomt met de modelresultaten van PC_RINGSCHIL.

.....**Toelichting**¹.....
In de huidige versie van PC_RINGSCHIL uitgedrukt in een volume per strekkende meter of een ruimtebeslag

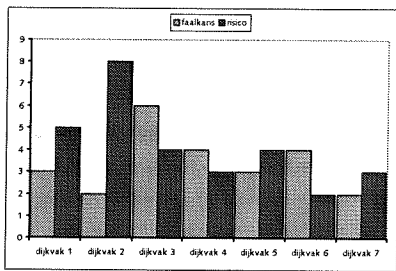
3.5 Perspectief overstromingskansen, gevolgen en risico's

PC_RINGSCHIL bepaald de effectiviteit van verschillende verbeteringsopties aan de hand van faalkansen en investeringskosten. Zoals in de beschrijving van het kader van dit onderzoek (*zie paragraaf 1.1*) reeds is aangeduid wil men in de toekomst overstappen op een veiligheidsbenadering gebaseerd op overstromingsrisico's. De vraag is nu, in hoeverre het model PC_RINGSCHIL mee kan gaan in deze voorgenomen ontwikkeling. Is het mogelijk om PC_RINGSCHIL in de toekomst aan te passen zodat niet meer gerekend wordt met behulp van faalkansverdelingen maar met een verdeling van kans en gevolg of een risico-verdeling?

De manier waarop de effectiviteit van de verschillende ontwerpparameters in het model PC_RINGSCHIL wordt bepaald, is niet zo zeer afhankelijk van gekozen eenheid. Het is heel goed mogelijk om bijvoorbeeld de kansen te vervangen door kansen en gevolgen of risico's. De effectiviteit wordt dan wel in een andere eenheid uitgedrukt. Er zal ten behoeve van deze aanpassing wel een extra rekenmodule toegevoegd moeten worden, waarin bijvoorbeeld de gevolgen van een dijkdoorbraak worden bepaald. In de aangepaste versie van het model zal niet alleen een berekening gemaakt moeten worden van de faalkans van de dijkvakken, maar zal ook per dijkvak bepaald moeten worden wat de gevolgen zijn van een dijkdoorbraak. Deze gevolgen zullen per dijkvak sterk verschillen, afhankelijk van de kenmerken van het achterliggende land². Tenslotte kan door het vermenvuldigen van kans en gevolg een risico worden bepaald.

Wanneer PC_RINGSCHIL is aangepast zodat de gevolgen van een dijkdoorbraak, per dijkvak bepaald kunnen worden, blijft het nog steeds mogelijk om de eerder genoemde toepassingmogelijkheden te verkennen. De algemene opzet van de toepassingen veranderen niet, alleen de randvoorwaarden zullen aangepast moeten worden. Ter illustratie wordt in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk aangegeven hoe de eerder besproken toepassing van PC_RINGSCHIL, waarbij de faalkans van een dijkkring stapsgewijs wordt gereduceerd door de 'zwakste' schakels uit de dijkkring te verbeteren, zich laat vertalen naar kansen en gevolgen.

.....**Toelichting**².....
Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld de hoogte van het achterliggende land ten opzicht van de waterstand, de hoeveelheid mensen woonachtig in het gebied, de economische waarde van het gebied, etc. Maar niet vergeten moet worden dat ook de vorm en de ligging van de polder bepalend kunnen zijn. Wanneer bijvoorbeeld een polder wordt voorgesteld met een sterk bodemverhang van noord naar zuid, kan het voor de gevolgen van een dijkdoorbraak nogal wat uitmaken of een dijk doorbreekt in het noorden dan wel het zuiden van de dijkkring.



.....**Figuur 3.8**.....
 Stel voor een fictieve dijkkring bestaande uit 7 dijkvakken. De lichte kleur balken geeft de verdeling van de totale faalkans over de vakken weer. Dijkvak 3 kan gezien worden als de zogenaamde 'zwakste' schakel uit de ring (grootste bijdrage aan de totale faalkans). Het 'sterkste' dijkvak wordt gevormd door dijkvak 2 (kleinste bijdrage aan de totale faalkans). De donkere kleur balken geeft de verdeling van het risico over de vakken weer. Dijkvak 2 vormt nu de 'zwakste' schakel (grootste bijdrage aan het totale risico). Blijkbaar zijn de gevolgen van een dijkdoorbraak van dijkvak 2 zo groot dat het dijkvak van 'sterkste' in kansbenadering naar 'zwakste' in risicobenadering gaat (risico = kans maal gevolg).

De berekening van de overstromingskans van een dijkkring zal vervangen worden door een berekening van het risico van een dijkkring (*kans x gevolg*). Dit risico wordt op dezelfde wijze als bij een faalkans opgebouwd uit verschillende bijdragen per dijkvak. Het ene dijkvak zal meer bijdragen aan het totale risico dan een ander dijkvak. Dit kan enerzijds veroorzaakt worden doordat de faalkans van een dijkvak hoog is, maar anderzijds ook doordat de gevolgen van een dijkdoorbraak van het dijkvak groot zijn. In principe wordt de faalkansverdeling over de dijkvakken, zoals deze bijvoorbeeld in bijlage II.C.1 grafiek I.C.2 wordt weergegeven voor het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' vermenigvuldigd met een factor die de gevolgen van een dijkdoorbraak per dijkvak weergeeft. Het kan dan zijn dat de zogenaamde 'zwakste' schakel op basis van alleen de faalkansen, doordat de gevolgen van een doorbraak bij dit dijkvak erg klein zijn, niet meer de 'zwakste' schakel is op basis van risico's. Omgekeerd is het ook mogelijk dat een 'sterk' dijkvak op basis van faalkansen, doordat de gevolgen van een dijkdoorbraak van dit dijkvak groot zijn, overgaat in een 'zwakke' schakel op basis van risico's. De verdeling over de dijkvakken wordt dus gewijzigd, omdat andere eenheden worden gehanteerd (zie figuur 3.8).

Het principe van het reduceren van de faalkans, in de toekomst dus risico, van de dijkkring door het stapsgewijs verbeteren van de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring wordt hierdoor niet gewijzigd. De definitie van de 'zwakste' schakel(s) is alleen aangepast omdat een andere eenheid wordt gehanteerd.

Met een risicobenadering kan in meerdere oplossingsrichtingen gezocht worden naar verbeteringsmaatregelen. Niet alleen verbeteringen van de sterkte van het dijkvak, waardoor de faalkans reduceert, maar ook verbeteringen waardoor de gevolgen van een dijkdoorbraak afnemen, kunnen leiden tot een reductie in risico. De verschillende verbeteringsmaatregelen kunnen vervolgens in kosten uitgedrukt worden, waarna het mogelijk is om per dijkvak een verbeteringsmaatregel te kiezen tegen de minste kosten.

Nogmaals, het principe van de toepassing van PC_RINGSCHIL is niet veranderd, er moeten echter wel een aantal aanpassingen gemaakt worden in het model zodat de gevolgen van een dijkdoorbraak bepaald kunnen worden met als gevolg dat de eenheid van de bepalende grootheid verandert (*van kans naar risico*) waarmee een nieuwe verdeling over de dijkvakken ontstaat.

Hoofdstuk 4. Stapsgewijs verbeteren van de dijkkring

Hoofdstuk 4. Stapsgewijs verbeteren van de dijkkring	VIII
4.1 Inleiding	38
4.2 Stap 1 analyse overstromingskans en lokaliseren 'zwakke' schakel(s)	39
4.3 Stap 2 grens faalkansreductie	40
4.4 Stap 3 inventarisatie parametervariaties	41
1. Ontwerpparameter kruinhoogte	42
2. Ontwerpparameter kruinbreedte	43
3. Ontwerpparameter helling binnentalud	44
4. Ontwerpparameter knikhoogte	46
5. Ontwerpparameter bermbreedte	48
6. Ontwerpparameter helling van het buitentalud boven de knik	49
7. Ontwerpparameter helling van het buitentalud onder de knik	51
4.5 Stap 4 optimale verbeteringsmaatregel	53
4.6 Stap 5 rendement verbeteringsmaatregel	57
4.7 Overzicht resultaten verschillende cycli	57
Bijlage IV.A Uitgangspunt eerste cyclus	
Bijlage IV.B Voorbeeld grens faalkansreductie	
Bijlage IV.C Inventarisatie ontwerpparametervariaties	
Bijlage IV.D Resultaten inventarisatie dijkvak 21	
Bijlage IV.E Maatgevende belasting dijkvak 21	
Bijlage IV.F Resultaat optimale verbeteringsmaatregel dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk	
Bijlage IV.G Resultaat eerste verbeteringsmaatregel	
Bijlage IV.H Weergave tweede cyclus	
Bijlage IV.I Resultaat tweede verbeteringsmaatregel	

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat met behulp van het model PC_RINGSCHIL een aantal nieuwe toepassingsmogelijkheden van PC_RING verkend kan worden. In dit hoofdstuk wordt één van deze nieuwe toepassingsmogelijkheden nader uitgewerkt. Het gaat hierbij om het reduceren van de overstromingskans van een dijkkringgebied, door stapsgewijs de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit de ring te versterken. Met behulp van het model PC_RINGSCHIL is het mogelijk om aan te geven wat de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) in de ring zijn, te analyseren welke faalmechanismen maatgevend zijn en te bepalen op welke manier deze dijkvakken tegen de minste kosten kunnen worden versterkt.

.....**Toelichting**¹.....
Zie ook bijlage IV.B

De totale overstromingskans wordt meestal bepaald door de grootste faalkansbijdrage van het 'zwakste' dijkvak. In het geval dat niet één, maar meerdere dijkvakken kunnen worden onderscheiden, als zijnde het dijkvak met de grootste bijdrage, zal de overstromingskans van de dijkkring (als gevolg van het correlatie-effect) iets hoger komen te liggen dan de faalkans van die dijkvakken¹. Door de 'zwakste' dijkvak(ken) (vak(ken) met de grootste bijdrage) uit een dijkkring te versterken kan de overstromingskans van een dijkkringgebied worden gereduceerd. In dit afstudeeronderzoek is gekozen voor een stapsgewijze reductie van de overstromingskans van de dijkkring omdat op dit moment het inzicht in de grootte van een eventuele overstromingskansnorm ontbreekt. Het is dan nu ook nog niet mogelijk om aan te geven wat de benodigde investeringskosten zouden moeten zijn om de 'actuele' overstromingskans van een dijkkringgebied te reduceren tot een bepaalde norm (mits de 'actuele' overstromingskans natuurlijk hoger is dan een voorgestelde norm). In dit onderzoek wordt dan ook volstaan met een stapsgewijze reductie van de overstromingskans van een dijkkring waarbij steeds de faalkans van de 'zwakste' dijkvak(ken) uit een dijkkring wordt verlaagd tot een faalkansniveau van het op één na 'zwakste' dijkvak. Op deze manier ontstaat een beeld van de benodigde investeringskosten behorende bij een bepaald overstromingskansniveau zonder dat een norm gespecificeerd hoeft te worden².

.....**Toelichting**².....
In paragraaf 1.6.2 is en in paragraaf 4.2 zal dit principe nader worden toegelicht

N.B. In eventueel vervolgonderzoek kan met behulp van het in dit afstudeeronderzoek gegenereerde verband tussen de investeringskosten en de overstromingskans, in combinatie met een schatting van de schade van een overstroming, een overstromingskansnorm afgeleid worden (Voortman, 2000).

Het stapsgewijs reduceren van de overstromingskans van een dijkkringgebied is een cyclisch proces waarin steeds de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit een dijkkring verbeterd moeten worden. In elke cyclus van het verbeteringsproces kunnen een vijftal stappen worden onderscheiden:

1. het analyseren van de overstromingskans(verdelingen), het lokaliseren van de 'zwakste' schakel(s) en het bepalen van het maatgevende faalmechanisme;
2. het bepalen van de maximaal haalbare reductie in de faalkans van het 'zwakste' dijkvak³;
3. het inventariseren van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van de 'zwakste' dijkvak(ken) en op de investeringskosten zodat een inschatting kan worden gemaakt van de goedkoopste verbeteringsmaatregel;
4. het kiezen van een beste verbeteringsmaatregel voor de 'zwakste' dijkvak(ken), waarmee de grootste faalkansreductie wordt behaald tegen de kleinste investeringskosten;
5. het bepalen van het rendement van de verbeteringsmaatregel uitgedrukt in overstromingskansreductie versus de investeringskosten.

.....**Toelichting**³.....
Reductie van de faalkans van de 'zwakste' dijkvak(ken) tot een faalkansniveau van de op één na 'zwakste' dijkvak(ken)

In paragraaf 4.2 tot 4.6 zal een toelichting gegeven worden op het doorlopen van bovengenoemde cyclus. In paragraaf 4.7 zullen de resultaten van de verschillende cycli worden samengevat in een grafiek waarin de overstromingskansreductie wordt uitgezet tegen de benodigde investeringskosten.

Om te voorkomen dat in dit hoofdstuk een wirwar van informatie wordt weergegeven, is besloten om hier alleen een beschrijving te geven van de eerste cyclus. Bij elke stap uit deze cyclus zal een toelichting worden gegeven op de aanpak, de toepassing en de resultaten. De hierna volgende cycli zullen in de bijlagen worden weergegeven. De toelichting bij de verschillende stappen zal beknopter zijn, met uitzondering van die gevallen waarbij de resultaten sterk afwijken van de in dit hoofdstuk beschreven cyclus.

4.2 Stap 1 analyse overstromingskans en lokaliseren 'zwakke' schakel(s)

Aanpak

In de eerste stap van een cyclus moet de totale overstromingskans van een dijk-
ringgebied geanalyseerd worden. In deze analyse is met name de verdeling van
de overstromingskans over de verschillende dijkvakken en de verdeling over de
verschillende faalmechanismen van belang. Aan de hand van de resultaten van
deze analyse kan aangegeven worden welke dijkvak(ken) de grootste bijdrage
leveren aan de overstromingskans van het hele dijkringgebied (*de zogenaamde*
'zwakke' schakels uit de dijkkring) en welk faalmechanisme hierbij maatgevend is.

Uitvoering

De resultaten van het SPRINT onderzoek (*TAW, juni 2000*) vormen het uitgangspunt van de eerste cyclus. Met behulp van de invoergegevens uit bijlage III.B tot III.E (*afgeleid van de invoerbestanden van PC_RING gebruikt in het SPRINT onderzoek*) en het nieuwe model PC_RINGSCHIL zijn de resultaten van het SPRINT onderzoek gereproduceerd. Achtereenvolgens zijn uitgevoerd:

- ✓ een berekening van de faalkans per vak, voor alle dijkvakken uit de dijkkring, voor het faalmechanisme 'overloop/overslag';
- ✓ een berekening van de faalkans per vak, voor vier dijkvakken uit de dijkkring, voor het faalmechanisme 'piping';
- ✓ een combinatie procedure berekening, waarin alle berekende faalkansen per vak, voor alle dijkvakken uit de dijkkring, worden gecombineerd.

Deze berekeningen hebben geresulteerd in een overzicht van de faalkansen per vak en per faalmechanisme, de over de faalmechanismen gecombineerde faalkans per vak, de over alle dijkvakken gecombineerde faalkans per faalmechanisme en de totale overstromingskans van het dijkringgebied (*gelijk aan de gecombineerde faalkans over alle dijkvakken en alle faalmechanismen*).

Bijlage IV.A.1 geeft overzicht van de PC_RINGSCHIL modelresultaten voor het dijkringgebied 'Groningen en Friesland'. Ter vergelijking worden in bijlage IV.A.2 de resultaten van het SPRINT onderzoek nogmaals gepresenteerd.

Wanneer grafiek IV.A.2 uit bijlage IV.A.1 beschouwd wordt is af te lezen dat dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk de grootste gecombineerde faalkans heeft, en derhalve ook de grootste bijdrage zal leveren aan de totale overstromingskans van het dijkringgebied. De gecombineerde faalkans van dijkvak 21 wordt volledig bepaald door de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Een berekening van de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' kan voor dit dijkvak niet uitgevoerd worden, omdat de invoergegevens voor deze berekening niet beschikbaar zijn. Dit faalmechanisme kan daardoor dus ook geen bijdrage leveren aan de gecombineerde faalkans van dit dijkvak.

Resultaten

In stap 1 worden de volgende resultaten gekwantificeerd:

- ✓ De totale overstromingskans van het dijkringgebied 'Groningen en Friesland' voordat verbeteringsmaatregelen zijn uitgevoerd bedraagt $2,46 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,485$)
- ✓ De 'zwakste' schakel uit de dijkkring wordt gevormd door dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij het faalmechanisme 'overloop/overslag' maatgevend is.

- ✓ De faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge het faalmechanisme 'overloop/overslag' bedraagt $1,316 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,651$)
- ✓ De gecombineerde faalkans van dijkvak 21 is gelijk aan de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' (dit als gevolg van het ontbreken van een faalkansberekening ten gevolge van het faalmechanisme 'piping') en bedraagt derhalve ook $1,316 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,651$)

4.3 Stap 2 grens faalkansreductie

Aanpak

In deze tweede stap uit de cyclus wordt bepaald tot welk faalkansniveau, de faalkans van de dijkvak(ken) met de grootste bijdrage aan de totale kans kan worden gereduceerd. Uitgangspunt hierbij is dat de faalkans van de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring gereduceerd mag worden tot een faalkansniveau van de op één na 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring.

De gedachtegang achter deze 'reductie'grens vindt zijn oorsprong in het uitgangspunt dat een reductie van de faalkans van het 'zwakste' dijkvak uit een dijkkring slechts een reducerende invloed heeft op de totale overstromingskans van een dijkkringgebied tot een faalkansniveau waarbij andere dijkvakken ook het predikaat 'zwakste' schakel verdienen. Reductie van de faalkans van het dijkvak met de oorspronkelijk hoogste bijdrage aan de overstromingskans voorbij het faalkansniveau van de op één na zwakste schakel(s) uit de dijkkring heeft geen reducerende invloed meer op de totale overstromingskans omdat dan de op één na 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring, de grootte van de overstromingskans bepaalt.

Dit principe is niet voor niets aangeduid als een uitgangspunt. In werkelijkheid is het namelijk zo dat niet alleen de 'zwakste' schakel uit de dijkkring de grootte van de overstromingskans bepaalt, maar is het zo dat ook de iets minder 'zwakke' schakels voor een deel de grootte van de overstromingskans bepalen. Dit betekent dat een reductie van de faalkans van de 'zwakste' schakel voorbij het niveau van de op één na 'zwakste' schakel(s) nog steeds een reducerende invloed zal hebben op de grootte van de totale overstromingskans.

Omdat niet eenvoudig is aan te geven tot welk faalkansniveau de faalkans van de oorspronkelijk 'zwakste' schakel(s) invloed heeft op de grootte van de totale overstromingskans, kan het voorkomen dat een dijkvak wordt verbeterd, zodanig dat de faalkans van dit dijkvak wordt gereduceerd voorbij het niveau waar de faalkans nog invloed heeft op de totale overstromingskans. Dit zou betekenen dat extra investeringskosten worden gemaakt zonder dat dit een reducerende invloed heeft op de totale overstromingskans van een dijkkringgebied. Het rendement van deze investering is dan dus gelijk aan nul. Omdat dit voorkomen moet worden, is gekozen voor het uitgangspunt dat de totale overstromingskans alleen gereduceerd kan worden door een reductie van de faalkans van de dijkvak(ken) met de hoogste bijdrage aan de overstromingskans tot een faalkansniveau van de op één na 'zwakste' schakel(s) uit dijkkring. Aan de hand van een voorbeeld in bijlage IV.B wordt bovenstaande redenatie nader toegelicht.

Uitvoering

Nog steeds vormen de resultaten van het SPRINT onderzoek (TAW, juni 2000) het uitgangspunt van de cyclus. Met behulp van de invoergegevens uit bijlage III.B tot III.E en het nieuwe model PC_RINGSCHIL zijn de resultaten van het SPRINT onderzoek gereproduceerd (zie bijlage IV.A.1). In grafiek IV.A.2 is af te lezen dat dijkvak 11 Ommelanderzeedijk de op één 'zwakste' schakel uit de dijkkring is.

De gecombineerde faalkans wordt voornamelijk bepaald door de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'piping'. Duidelijk is te zien dat het in de vorige paragraaf toegelichte principe ook hier speelt. De gecombineerde faalkans is bij benadering gelijk aan de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'piping', maar net niet helemaal. De faalkans ten gevolge van faalmechanisme 'overloop /overslag' heeft nog een klein beetje invloed op de grootte van de gecombineerde faalkans.

Resultaten

In stap 2 worden de volgende resultaten gekwantificeerd:

- ✓ De op één na 'zwakste' schakel uit de dijkkring wordt gevormd door dijkvak 11 Ommelanderzeedijk, waarbij het faalmechanisme 'piping' maatgevend is.
- ✓ De faalkans van dijkvak 11 Ommelanderzeedijk ten gevolge het faalmechanisme 'piping' bedraagt $1,18 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,678$)
- ✓ De faalkans van dijkvak 11 Ommelanderzeedijk ten gevolge het faalmechanisme 'overloop/overslag' bedraagt $1,61 \cdot 10^{-6}$ ($\beta = 4,657$)
- ✓ De gecombineerde faalkans van dijkvak 11 is bij benadering gelijk aan de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' en bedraagt $1,19 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,675$)

4.4 Stap 3 inventarisatie parametervariaties

Aanpak

In deze derde stap uit de cyclus zal de invloed bepaald worden van een de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van de 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring. Met deze 'zwakste' schakel(s) worden de dijkvak(ken) bedoeld, welke zijn beschreven in paragraaf 4.2. Met behulp van het model PC_RINGSCHIL is het mogelijk om van de verschillende ontwerpparameters de invloed op de faalkans van de 'zwakste' schakel(s) te bepalen. Afhankelijk van de belastingen en de eigenschappen van het dijkvak zal de invloed van de verschillende ontwerpparameters variëren. Zoals beschreven in paragraaf 1.6.5 beperkt dit onderzoek zich tot die parameters, die de geometrie van een dijkvak beschrijven. Deze parameters zijn:

- ✓ de kruinhoogte
- ✓ de kruinbreedte
- ✓ de taludhelling van het binnentalud
- ✓ de taludhelling van het buitentalud (*taludhelling onder en boven een eventueel aanwezige knik of een berm in het buitentalud*)
- ✓ de berm/knikhoogte
- ✓ de bermbreedte

Een aantal van deze ontwerpparameters mag alleen gevarieerd worden binnen vooraf vastgestelde grenzen. Dit is het gevolg van de geldigheid van de, in de PC_RINGSCHIL toegepaste formules ten aanzien van het faalmechanisme 'overloop/overslag' of als gevolg van de definitie van de parameters. In bijlage II.P paragraaf II.P.2 wordt een aantal van deze definities weergegeven. Bij elk van de ontwerpparametervariaties wordt in eerste instantie bepaald wat de grenzen zijn waarbinnen de ontwerpparameter gevarieerd mag worden.

De invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak kan onderling vergelijkbaar gemaakt worden door van elke parametervariatie de investeringskosten te bepalen. In dit afstudeeronderzoek worden de investeringskosten benaderd door een volume per strekkende meter¹. Met behulp van het model PC_RINGSCHIL kan de gevarieerde waarde van de verschillende ontwerpparameters omgerekend worden naar een volume per strekkende meter dijk. Met het model kan vervolgens de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak weergegeven als functie van het volume per strekkende meter.

.....Verwijzing'
Zie paragraaf 1.6.3

Tenslotte kunnen de resultaten per ontwerpparameter in één grafiek geplott worden en kan bepaald worden welke verbeteringsmaatregel het meeste rendement oplevert. Hierbij wordt het rendement uitgedrukt in een faalkansreductie versus een toename van het volume per strekkende meter.

Uitvoering

In deze paragraaf wordt per ontwerpparameter vastgesteld wat de grenzen zijn, waarbinnen de ontwerpparameter gevarieerd mag worden, wat de waarde van de ontwerpparameter is volgens de vorige cyclus (*in de eerste cyclus gelijk aan de uitgangssituatie volgens SPRINT*), hoe de faalkans van de beschouwde dijkvak(ken) afhangt van de ontwerpparameter en hoe groot de investeringskosten (*uitgedrukt in en volume per strekkende meter dijk*) zijn behorende bij elke gevarieerde waarde van de ontwerpparameter.

1. Ontwerpparameter kruinhoogte **Grenzen**

De kruinhoogte wordt niet begrensd door een definitie noch door de gebruikte formules voor het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Een maximale grens wordt echter wel opgelegd door de rekenprocedure. De rekenprocedure in de PC_RING module voor de berekening van de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' blijkt bij grote waarden van de kruinhoogte (*globaal groter dan 20 meter t.o.v. NAP*) niet te convergeren, waardoor onjuiste resultaten worden gegenereerd.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (uitgangssituatie)

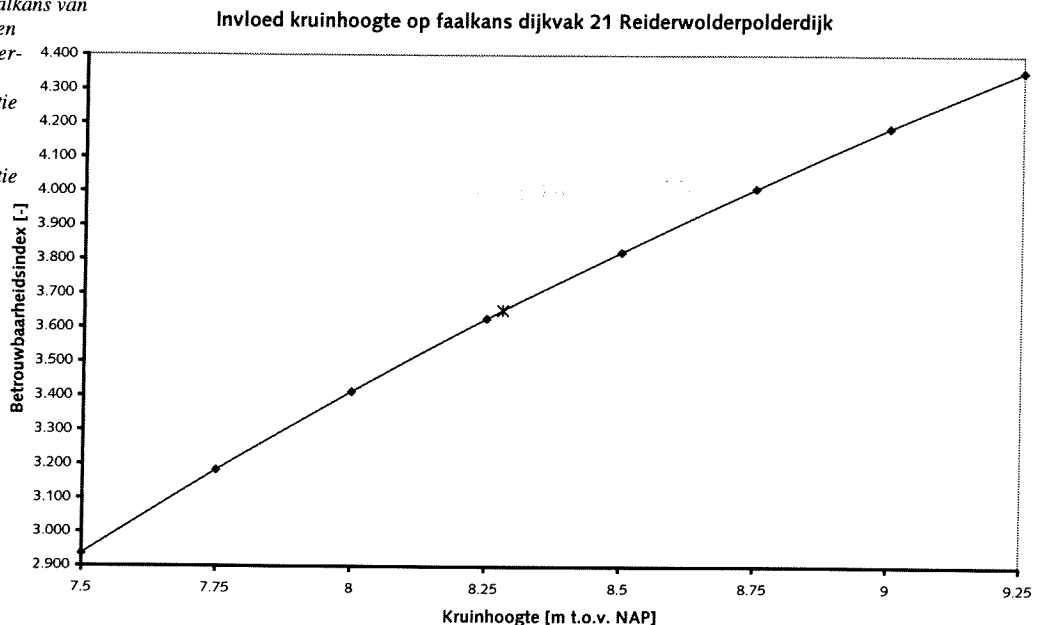
De kruinhoogte van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk volgens de uitgangssituatie (*TAW, juni 2000*) bedraagt 8,28 meter t.o.v. NAP (*zie bijlage II.M*).

Invloed faalkans – ontwerpparameter

Met behulp van het model PC_RINGSCHIL kan de kruinhoogte gevarieerd worden door een minimale waarde op te geven en vervolgens aan te geven met welke stapgrootte deze minimale waarde, maximaal acht keer verhoogd moet worden¹. In grafiek 4.1 wordt de invloed weergegeven van de kruinhoogte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de kruinhoogte oploopt van een minimale waarde van 7,5 meter t.o.v. NAP en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 0,25 meter. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT (*zie bijlage II.M*).

.....**Toelichting'**.....
Indien meer nauwkeurigheid gewenst wordt kan gekozen worden om de berekening een aantal keer achter elkaar uit te voeren, gebruikmakend van een kleinere stapgrootte

.....**Grafiek 4.1**.....
Invloed van de kruinhoogte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Met een sterretje is de uitgangssituatie weergegeven. Bijlage IV.C.1 grafiek IV.C.1 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans



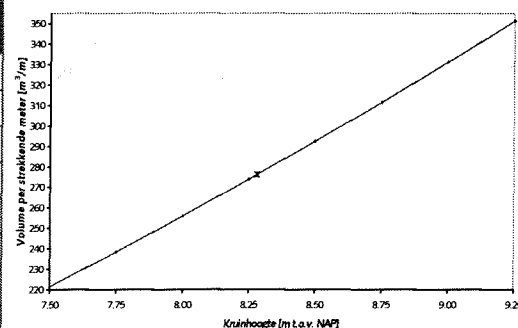
Uit grafiek 4.1 blijkt dat bij een toename van de kruinhoogte de betrouwbaarheid van dijkvak 21 stijgt (*equivalent aan een daling van de faalkans*). Dit is logisch want door een verhoging van de kruin zal er steeds minder water over de kruin heen lopen of slaan. De betrouwbaarheid van het dijkvak wordt bepaald door het verschil tussen het optredende en het kritieke overslagdebiet (*belasting en sterkte, zie paragraaf II.P.3*). Het optredende overslagdebiet neemt af door een verhoging van de kruin, terwijl er niets verandert aan het kritieke overslagdebiet (*geen wijziging in de parameters die het kritieke overslagdebiet bepalen, zie paragraaf II.P.4*), hetgeen resulteert in een toename van de betrouwbaarheid.

Investeringskosten

Bij elke waarde van de kruinhoogte is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Ook hier geldt dat de waarde van de overige ontwerpparameters gelijk is gehouden aan de Ausgangssituatie. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven. Het blijkt dat de investeringskosten (*uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk*) bij benadering lineair toenemen met de kruinhoogte. Dit betekent dat als de invloed van de ontwerpparameter op de faalkans van dijkvak 21 als functie van de investeringskosten wordt weergegeven, een zelfde soort verloop ontstaat als in grafiek 4.1. Bijlage IV.C.1 grafiek IV.C.2 geeft dit verloop weer.

.....Tabel 4.1.....

Kruinhoogte [m t.o.v. NAP]	Volume per strekkende meter [m ³ /m]
7,50	221,4
7,75	238,4
8,00	255,9
8,25	274,0
8,50	292,5
8,75	311,6
9,00	331,3
9,25	351,4



2. Ontwerpparameter kruinbreedte

Grenzen

De kruinbreedte wordt niet begrensd door een definitie noch door de gebruikte formules voor het faalmechanisme 'overloop/overslag'.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (*uitgangssituatie*)

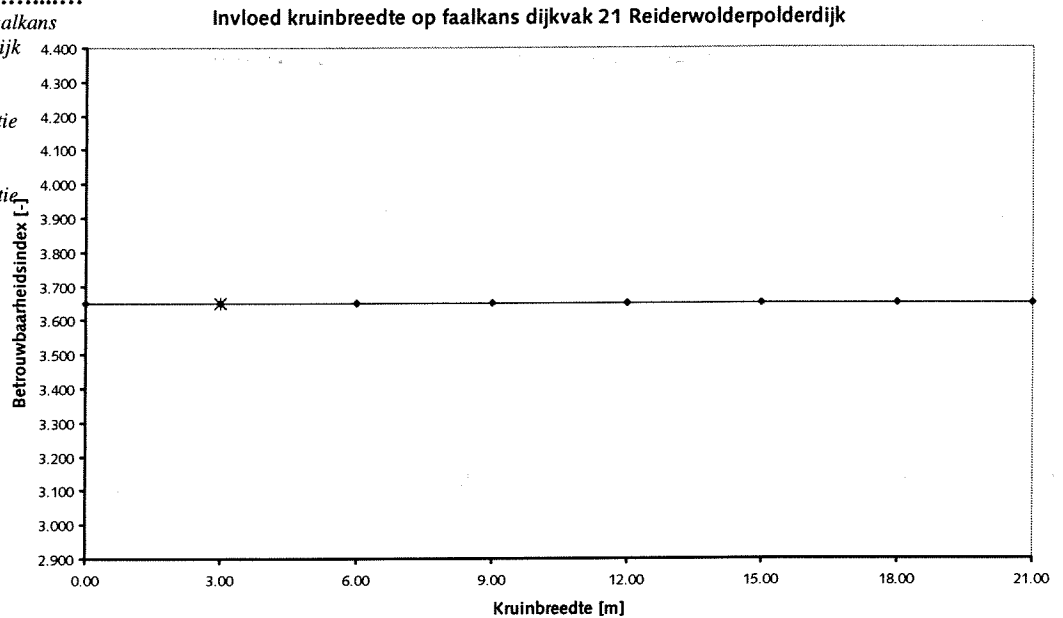
De kruinbreedte van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk volgens het uitgangspunt (TAW, juni 2000) bedraagt 3,00 meter (*zie bijlage II.M*).

Invloed faalkans – ontwerpparameter

Met behulp van het model PC_RINGSCHIL kan de kruinbreedte gevarieerd worden door een minimale waarde op te geven en vervolgens aan te geven met welke stapgrootte deze minimale waarde, maximaal acht keer verhoogd moet worden. In grafiek 4.2 wordt de invloed weergegeven van de kruinbreedte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de kruinbreedte oploopt van een minimale waarde van 0,00 meter en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 3,00 meter. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT¹. Uit grafiek 4.2 blijkt dat de kruinbreedte geen invloed heeft op de betrouwbaarheid van dijkvak 21. Dit ligt in het verwachtingspatroon want de kruinbreedte heeft in de geïmplementeerde rekenmodules voor het faalmechanisme 'overloop/overslag' geen invloed op de hoeveelheid water die over de dijk slaat.

.....Verwijzing'.....
Zie bijlage II.M

.....**Grafiek 4.2**.....
 Invloed van de kruinbreedte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechisme 'overloop/overslag'. Met een sterretje is de uitgangssituatie weergegeven. Bijlage IV.C.2 grafiek IV.C.3 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans

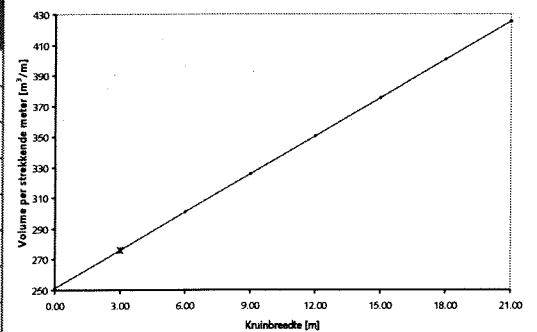


Investeringskosten

Bij elke waarde van de kruinbreedte is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Ook hier geldt dat de waarde van de overige ontwerpparameters gelijk is gehouden aan de uitgangssituatie. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven. Het blijkt dat de investeringskosten (uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk) lineair toenemen met de kruinbreedte. Dit betekent dat als de invloed van de ontwerpparameter op de faalkans van dijkvak 21 als functie van de investeringskosten wordt weergegeven, een zelfde soort verloop ontstaat als in grafiek 4.2. Bijlage IV.C.2 grafiek IV.C.4 geeft dit verloop weer.

.....**Tabel 4.2**.....

Kruinbreedte [m]	Volume per strekkende meter [m ³ /m]
0,00	251,3
3,00	276,2
6,00	301,0
9,00	325,8
12,00	350,7
15,00	375,5
18,00	400,4
21,00	425,2



3. Ontwerpparameter helling binnentalud
Grenzen

In de definitie van een talud wordt een boven- en ondergrens gegeven aan de waarde van de taludhelling. De definitie van een talud zegt: tot een talud worden gerekend, die delen van het dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:8 (WL, juni 1997). Dit betekent dat de helling van het binnentalud (in het model in te voeren als $\tan[\alpha]$) mag variëren van minimaal 0,125 tot maximaal 1,000.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (uitgangssituatie)

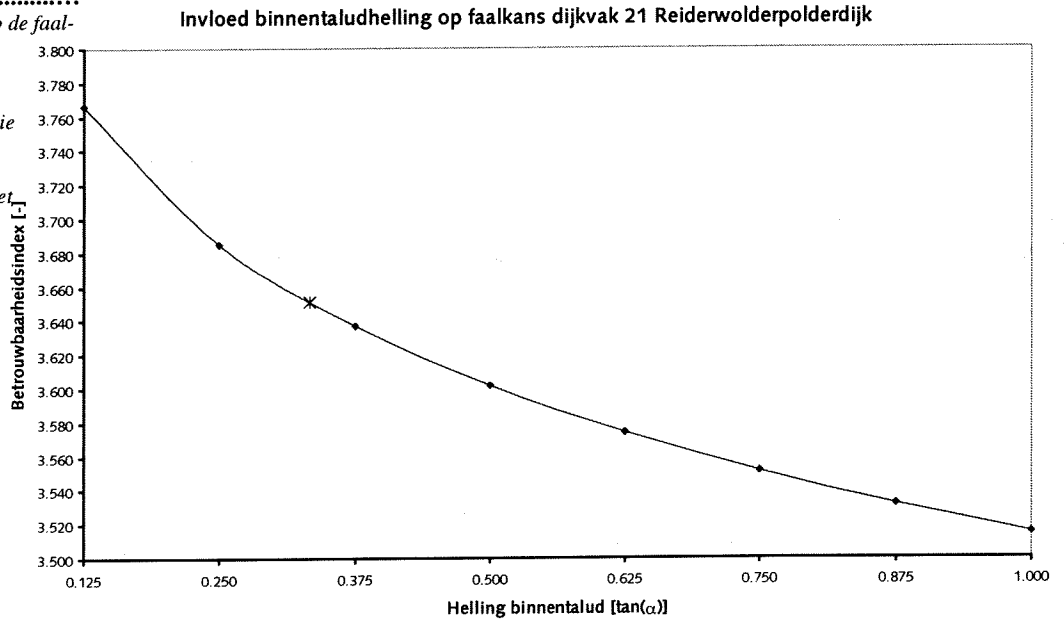
De helling van het binnentalud (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$) van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk volgens het uitgangspunt (TAW, juni 2000) bedraagt 0,333¹.

.....**Verwijzing**.....
 Zie bijlage II.M

Invloed faalkans – ontwerpparameter

In grafiek 4.3 wordt de invloed weergegeven van de helling van het binnentalud op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de helling oploopt van een minimale waarde van 0,125 en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 0,125. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT (zie bijlage II.M).

.....**Grafiek 4.3**.....
 Invloed van de binnentaludhelling op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Met een sterretje is de Ausgangssituatie weergegeven. Opgemerkt dient te worden dat steile taludhelling (vanaf 0,75) eigenlijk niet verantwoord zijn i.v.m. stabiliteits-eisen. Bijlage IV.C.3 grafiek IV.C.5 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans



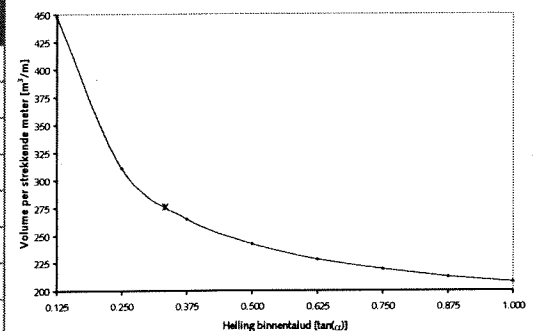
Uit grafiek 4.3 blijkt dat bij een steile helling van het binnentalud een lagere betrouwbaarheid (*dus hogere faalkans*) hoort dan bij een flauwe helling van het binnentalud. Dit kan verklaard worden uit het feit dat een steil binnentalud een kleiner kritiek overslagdebiet kent. Hoe steiler het binnentalud hoe eerder het talud zal bezwijken als gevolg van het water wat over de dijk heen loopt of slaat. De betrouwbaarheid van het dijkvak wordt bepaald door het verschil tussen het optredende en het kritieke overslagdebiet (*belasting en sterkte, zie paragraaf II.P.3*). Het kritieke overslagdebiet neemt af bij een steilere helling van het binnentalud, terwijl het optredende overslagdebiet gelijk blijft (*alle andere ontwerpparameters blijven immers ongewijzigd*), hetgeen resulteert in een afname van de betrouwbaarheid.

Investeringskosten

Bij elke waarde van de kruinhoogte is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Tabel 4.3 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven.

.....**Tabel 4.3**.....

Helling binnentalud [tan(α)]	Volume per strekkende meter [m ³ /m]
0,125	447,6
0,250	310,4
0,375	264,7
0,500	241,9
0,625	228,2
0,750	219,0
0,875	212,5
1,000	207,6



Het blijkt dat de investeringskosten (uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk) een omgekeerd evenredig verband kennen met de helling van het binnentalud (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$). Dit is logisch want een steiler binnentalud (grotere waarde van $\tan[\alpha]$) kent een kleiner volume per strekkende meter. Als gevolg van dit omgekeerd evenredige verband zal de invloed van de ontwerpparameter op de faalkans van dijkvak 21 uitgedrukt in investeringskosten, tegengesteld zijn aan het verloop van grafiek 4.3. Dit betekent dat een toename van het volume per strekkende meter leidt tot een stijging van de betrouwbaarheid van het dijkvak (equivalent aan een daling van de faalkans). Bijlage IV.C.3 grafiek IV.C.6 geeft dit verloop weer.

4. Ontwerpparameter knikhoogte

Grenzen

De knikhoogte (en ook de bermhoogte) wordt niet begrensd door een definitie of door de toegepaste formules ten aanzien van het faalmechanisme 'overloop / overslag'. Zij wordt echter wel begrensd door de formules waarmee het model de profielkenmerken van een dijkvak bepaalt. Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven kan het model PC_RINGSCHIL omgaan met drie verschillende dijkprofielen. Een profiel zonder berm of knik, bestaande uit 5 coördinatenkoppels, een profiel met een knik in het buitentalud, bestaande uit 6 coördinatenkoppels en een profiel met een berm in het buitentalud bestaande uit 7 coördinatenkoppels. Aan de hand van het aantal coördinatenkoppels bepaalt het model de profielkenmerken van een dijkvak (zie bijlage II.K). Wanneer echter een profiel wordt ingevoerd waar de knikhoogte (of de bermhoogte) hoger is dan de kruinhoogte of lager dan de teenhoogte dan voldoen de formules uit bijlage II.K niet en zal het model onjuiste antwoorden genereren. De knikhoogte (en ook de bermhoogte) heeft dus een ondergrens gelijk aan de teenhoogte en een bovengrens gelijk aan de kruinhoogte.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (uitgangssituatie)

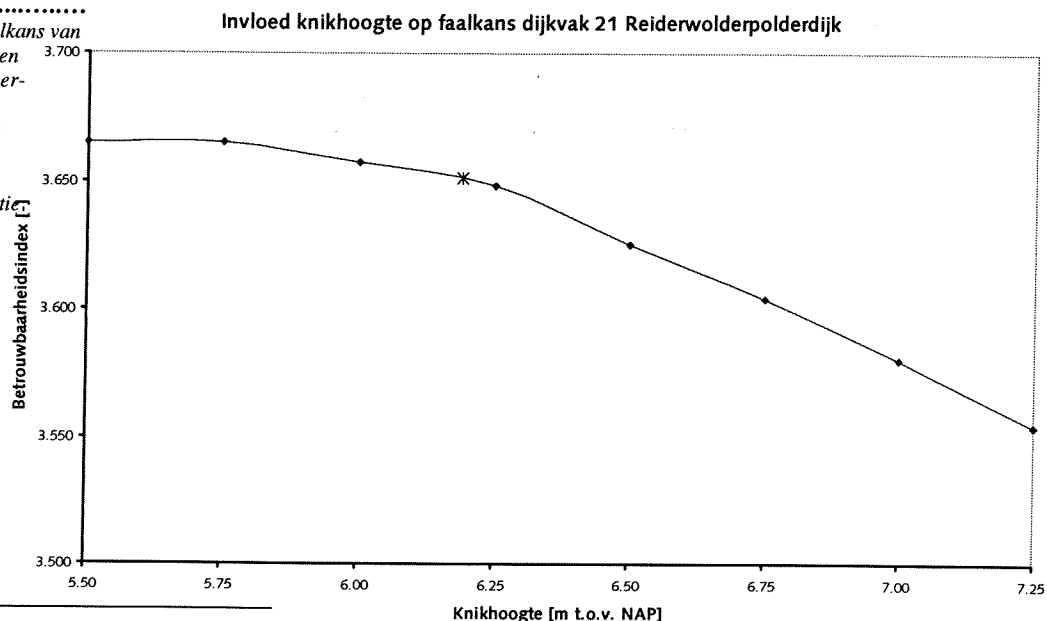
De knik van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ligt volgens het uitgangspunt (TAW, juni 2000) op een hoogte van 6,19 meter t.o.v. NAP (zie bijlage II.M).

Invloed faalkans – ontwerpparameter

In grafiek 4.4 wordt de invloed weergegeven van de knikhoogte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de knikhoogte oploopt van een minimale waarde van 5,50 meter t.o.v. NAP en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 0,25 meter. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT (zie bijlage II.M).

.....Grafiek 4.4.....

Invloed van de knikhoogte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Met een sterretje de uitgangssituatie weergegeven. Bijlage IV.C.4 grafiek IV.C.7 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans

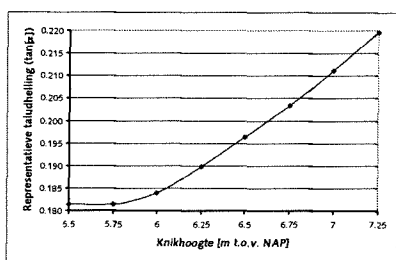


Uit grafiek 4.4 blijkt dat de betrouwbaarheid van dijkvak 21 afneemt naarmate de knikhoopte groter wordt. Dit dalende verloop wordt veroorzaakt doordat de waarde van de representatieve taludhelling van het buitentalud wijzigt als gevolg van de variatie in de knikhoopte. De toegepaste overslagformules kunnen namelijk niet omgaan met twee verschillende waarden van de helling van het buitentalud (onder en boven de knik). Om deze reden wordt op basis van de waarde van de taludhelling boven en onder de knik een soort gemiddelde (representatieve) waarde van de taludhelling bepaald. (zie bijlage II.P)

In bijlage II.L is weergegeven dat afhankelijk van de lokale waterstand en de golfhoogte, verschillende formules worden toegepast voor de bepaling van de representatieve taludhelling. Als de knikhoopte valt binnen de grens van anderhalf maal de golfhoogte onder of boven de lokale waterstand, wordt de representatieve taludhelling bepaald door de waarde van zowel de taludhelling boven als onder de knik. Valt de knikhoopte boven respectievelijk onder deze grens dan is de representatieve taludhelling gelijk aan de helling van het buitentalud onder respectievelijk boven de knik (in bijlage II.L wordt een gedetailleerde beschrijving van deze formules gegeven).

De afname van de betrouwbaarheid van dijkvak 21 wordt veroorzaakt doordat bij een toename van de knikhoopte de representatieve taludhelling steeds meer bepaald wordt door de waarde van de taludhelling onder de knik ($\tan(\alpha)$ gelijk aan 0,2940) en steeds minder door de waarde van de taludhelling boven de knik ($\tan(\alpha)$ gelijk aan 0,1825). De representatieve taludhelling zal dus toenemen en hierdoor ook het optredende overslagdebiet, waardoor de betrouwbaarheid van het dijkvak afneemt.

In grafiek 4.5 is het verloop van de representatieve taludhelling in het ontwerp punt (windrichting NW) uitgezet tegen de knikhoopte. Het blijkt dat de representatieve taludhelling inderdaad toeneemt bij een toename van de knikhoopte. Uit de grafiek is ook af te lezen dat voor een knikhoopte van 5,00 en 5,25 meter t.o.v. NAP dezelfde representatieve taludhelling geldt. Gesteld kan worden dat beide knikhooften beneden anderhalf maal de golfhoogte onder de lokale waterstand liggen, waardoor de representatieve taludhelling alleen bepaald wordt door de helling van het talud boven de knik, gelijk aan 0,1815. Voor beide profielen zou een zelfde mate van betrouwbaarheid moeten gelden (zie figuur 4.4).



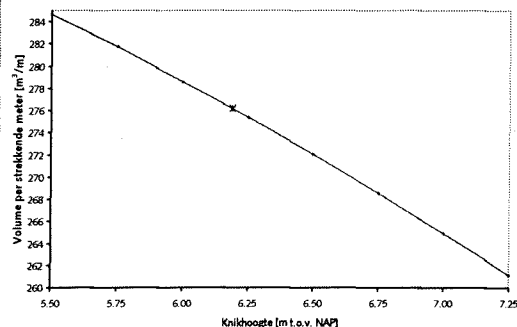
.....Grafiek 4.5.....
Verloop representatieve taludhelling als functie van de knikhoopte in het ontwerp punt voor windrichting NW

Investeringskosten

Bij elke waarde van de knikhoopte is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Ook hier geldt dat de waarde van de overige ontwerp parameters gelijk is gehouden aan de uitgangssituatie. Tabel 4.4 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven. Het blijkt dat de investeringskosten (uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk) bij benadering lineair afnemen met de knikhoopte. Dit betekent dat als de invloed van de ontwerp parameter op de faalkans van dijkvak 21 als functie van de investeringskosten wordt weergegeven, het verloop omgekeerd is aan het verloop uit grafiek 4.4. Bijlage IV.C.4 grafiek IV.C.8 geeft dit verloop weer.

.....Tabel 4.4.....

Knikhoopte [m t.o.v. NAP]	Volume per strekkende meter [m ³ /m]
5,50	284,7
5,75	281,7
6,00	278,6
6,25	275,4
6,50	272,0
6,75	268,5
7,00	264,9
7,25	261,1



5. Ontwerpparameter bermbreedte

Grenzen

De bermbreedte mag volgens de definitie uit bijlage II.P paragraaf II.P.2.2 niet groter worden dan een kwart van de golflengte¹. Bij een bermbreedte van nul meter is er sprake van een knik in het talud, mits de helling onder en boven de knik ongelijk zijn aan elkaar.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (uitgangssituatie)

In het oorspronkelijke profiel van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk is volgens het uitgangspunt (TAW, juni 2000) geen berm aanwezig². Er zit wel een knik in het profiel, welke gezien kan worden als en berm met een breedte van nul meter.

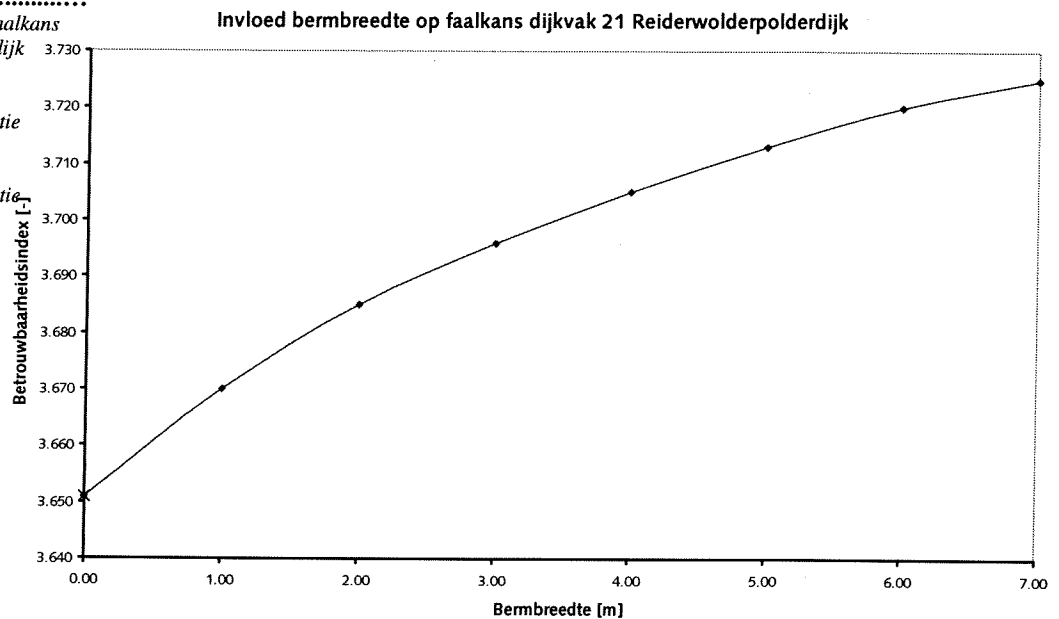
Invloed faalkans – ontwerpparameter

In grafiek 4.6 wordt de invloed weergegeven van de bermbreedte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de bermbreedte oploopt van een minimale waarde van 0,00 meter en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 1,00 meter. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT. Extra opgemerkt wordt dat door dit uitgangspunt de bermhoogte dus automatisch gelijk wordt gehouden aan de knikhogte, welke 6,19 meter t.o.v. NAP bedraagt.

.....**Toelichting**¹.....
Als de bermbreedte groter wordt dan een kwart van de golflengte dan valt een berm onder de definitie van een voorland

.....**Verwijzing**².....
Zie bijlage II.M

.....**Grafiek 4.6**.....
Invloed van de bermbreedte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Met een sterretje is de uitgangssituatie weergegeven.
Bijlage IV.C.5 grafiek IV.C.9 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans



.....**Toelichting**³.....
Gecontroleerd is of bij de grootste waarde van de bermbreedte (7,00 meter) de grens van een kwart maal de golflengte niet is overschreden. De golfperiode in het ontwerppunt bij deze bermbreedte voor de maatgevende windrichting bedraagt 5,08 seconde. De golflengte op diep water is dan ongeveer gelijk aan 40 meter ($gT^2/2\pi$). Een kwart van de golflengte komt overeen met 10 meter, hetgeen groter is dan de maximale bermbreedte. De grens wordt dus niet overschreden

Uit figuur 4.6 is af te lezen dat bij een toename van de bermbreedte de betrouwbaarheid van dijkvak 21 toeneemt, equivalent aan een daling van de faalkans³. Dit is volgens verwachting, want bij een toename van de bermbreedte zal de golfoploop meer gereduceerd worden, waardoor de hoeveelheid overslaand water zal afnemen en het optredend overslagdebiet kleiner wordt. Ten aanzien van het kritieke overslagdebiet is niets veranderd, waardoor de betrouwbaarheid van het dijkvak toe zal nemen.

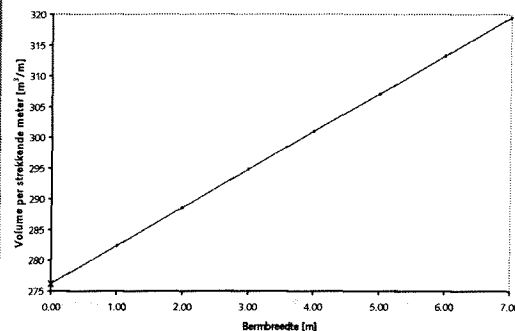
Investeringskosten

Bij elke waarde van de bermbreedte is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Ook hier geldt dat de waarde van de overige ontwerpparameters gelijk is gehouden aan de uitgangssituatie. Tabel 4.5 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven (zie volgende pagina).

Het blijkt dat de investeringskosten (uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk) lineair toenemen met de bermbreedte. Dit betekent dat als de invloed van de ontwerpparameter op de faalkans van dijkvak 21 als functie van de investeringskosten wordt weergegeven, het verloop gelijk is aan het verloop uit grafiek 4.6. Bijlage IV.C.5 grafiek IV.C.10 geeft dit verloop weer.

.....Tabel 4.5.....

Bermbreedte [m]	Volume per strekkende meter [m ³ /m]
0,00	276,1
1,00	282,4
2,00	288,5
3,00	294,7
4,00	300,9
5,00	307,1
6,00	313,3
7,00	319,5



6. Ontwerpparameter helling van het buitentalud boven de knik Grenzen

In de definitie van een talud wordt een boven- en ondergrens gegeven aan de waarde van de taludhelling. De definitie van een talud zegt: tot een talud worden gerekend, die delen van het dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:8 (WL, juni 1997). Dit betekent dat de helling van het buitentalud (in het model in te voeren als $\tan[\alpha]$) mag variëren van minimaal 0,125 tot maximaal 1,000.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (uitgangssituatie)

De helling van het buitentalud boven de knik (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$) van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk volgens het uitgangspunt (TAW, juni 2000) heeft een waarde gelijk aan 0,1815 (zie bijlage II.M).

Invloed faalkans – ontwerpparameter

In grafiek 4.7 wordt de invloed weergegeven van de helling van het buitentalud boven de knik op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de helling oploopt van een minimale waarde van 0,125 en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 0,125. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT (zie bijlage II.M).

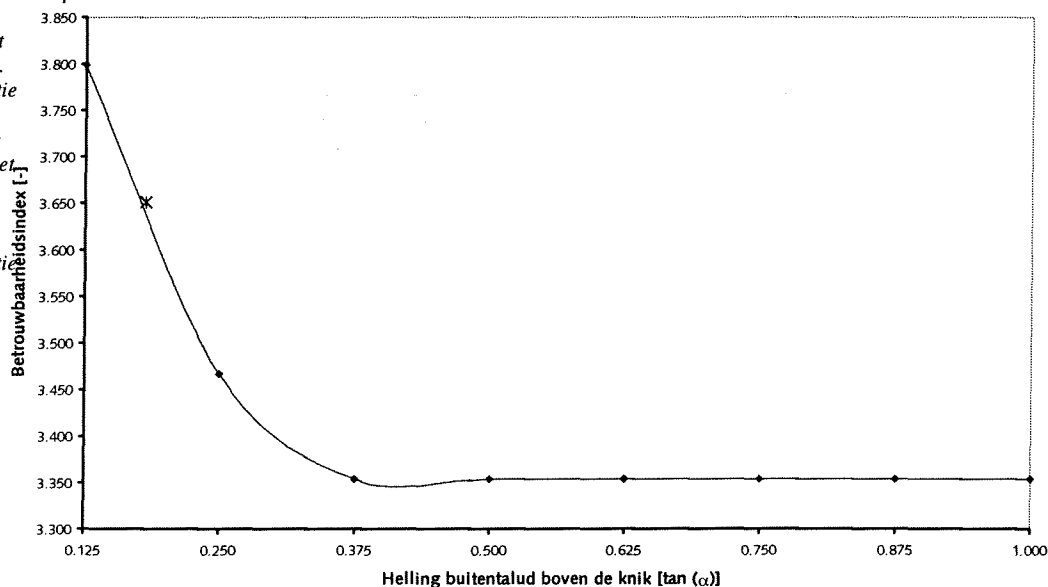
.....Grafiek 4.7.....

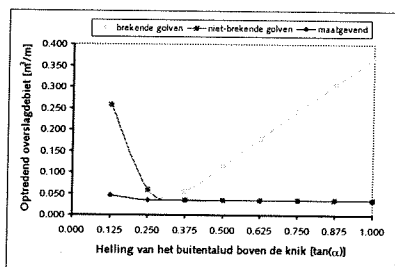
Invloed van de helling van het buitentalud op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Met een sterretje is de uitgangssituatie weergegeven. Opgemerkt dient te worden dat steile taludhelling (vanaf 0,75) eigenlijk niet verantwoord zijn i.v.m. stabiliteits-eisen. Bijlage IV.C.6 grafiek IV.C.11 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans

.....Opmerking.....

Als gevolg van het trekken van een vloeiende lijn door een klein aantal punten wordt het verloop van de grafiek beïnvloedt

Invloed buitentaludhelling boven knik op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk





.....**Grafiek 4.8**.....
Verloop optredend overslagdebiet (zowel voor brekende als niet-brekende golven) als functie van de helling van het buitentalud boven de knik in het ontwerppunt voor windrichting WNW¹

.....**Toelichting¹**.....
Genoemd is dat het optredende overslagdebiet bij niet-brekende golven onafhankelijk is van de taludhelling van het buitentalud. Wanneer men figuur 4.8 beschouwd valt echter op dat voor een waarde van de taludhelling kleiner dan 0,375, het optredende overslagdebiet bij niet-brekende golven wel degelijk veranderd als functie van de taludhelling. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij deze waarden van de taludhelling zoals genoemd, het optredend overslagdebiet voor brekende golven maatgevend is. Het ontwerppunt wordt dan ook bepaald op basis van dit optredend overslagdebiet. Aangezien het berekende optredende overslagdebiet voor niet-brekende golven bij deze waarde van de taludhelling afhankelijk is van de waterstand en de golfhoogte, die op hun beurt weer afhankelijk zijn van het berekende ontwerppunt, zal de waarde hier niet overeenkomen met de waarde die berekend worden voor een taludhelling groter dan 0,375. Bij deze waarde van de taludhelling is het optredend overslagdebiet voor niet-brekende golven maatgevend en wordt het ontwerppunt bepaald aan de hand van die waarde. De waterstand en golfhoogte voldoen aan het juiste ontwerppunt en het verloop is constant.

Net als bij de ontwerpparameter knikhoopte, wordt het verloop van grafiek 4.7 bepaald door de waarde van de representatieve taludhelling. Bij een knikhoopte van 6,19 meter t.o.v. NAP wordt de representatieve taludhelling hoofdzakelijk bepaald door de helling van het talud boven de knik (zie de beschrijving van de ontwerpparameter knikhoopte en bijlage II.L). Bij een toename van de taludhelling boven de knik zal de representatieve taludhelling dus in dezelfde orde grootte toenemen. Een steilere representatieve taludhelling leidt tot een stijging van het optredend overslagdebiet, waardoor de betrouwbaarheid van dijkvak 21 daalt.

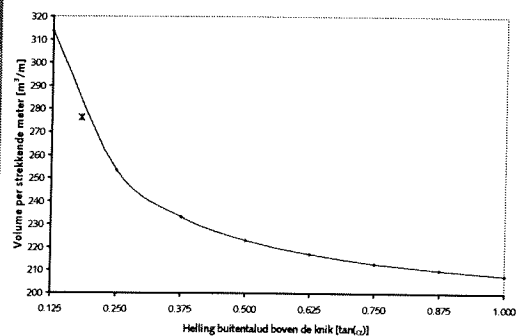
Het dalende verloop, zoals hierboven beschreven, zet zich echter niet door. In figuur 4.7 is af te lezen dat vanaf een helling van het buitentalud boven de knik (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$) van 0,375, de betrouwbaarheid van dijkvak 21 gelijk blijft. Dit veranderende verloop is het gevolg van het feit dat in de berekening van het optredende overslagdebiet twee verschillende situaties maatgevend kunnen zijn. Afhankelijk van een situatie met brekende golven of een situatie met niet-brekende golven worden verschillende formules toegepast, waarmee het optredende overslagdebiet bepaald wordt (in bijlage II.P wordt een beschrijving gegeven van de in het model toegepaste formules). De grootte van het optredende overslagdebiet bij brekende golven is onder meer afhankelijk van de representatieve taludhelling. De grootte van het optredende overslagdebiet bij niet-brekende golven is echter onafhankelijk van de representatieve taludhelling, en dus ook onafhankelijk van de helling van het buitentalud boven de knik. Grafiek 4.8 geeft het verloop van het optredende overslagdebiet weer (blauwe lijn). Het blijkt dat het optredende overslagdebiet in eerste instantie afneemt maar vanaf een waarde van de helling van het buitentalud boven de knik van 0,375 constant blijft. Gesteld kan worden dat voor waarden van de taludhelling kleiner dan 0,375 het optredende overslagdebiet bepaald wordt met de formules voor brekende golven en voor waarden groter dan 0,375 met de formules voor niet-brekende golven (zie grafiek 4.8).

Investeringskosten

Bij elke waarde van de helling van het buitentalud boven de knik is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Ook hier geldt dat de waarde van de overige ontwerpparameters gelijk is gehouden aan de uitgangssituatie. Tabel 4.6 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven. Het blijkt dat de investeringskosten (uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk) een omgekeerd evenredig verband kennen met de helling van het buitentalud boven de knik. Dit is logisch want een steiler talud (grotere waarde van $\tan[\alpha]$) kent een kleiner volume per strekkende meter. Als gevolg van dit omgekeerd evenredige verband zal de invloed van de ontwerpparameter op de faalkans van dijkvak 21 uitgedrukt in investeringskosten, tegengesteld zijn aan het verloop van grafiek 4.7. Dit betekent dat een toename van het volume per strekkende meter leidt tot een stijging van de betrouwbaarheid van het dijkvak (equivalent aan en daling van de faalkans). Bijlage IV.C.6 grafiek IV.C.12 geeft dit verloop weer.

.....**Tabel 4.6**.....

Taludhelling boven knik [tan (α)]	Volume per strekkende meter [m³/m]
0,125	313,8
0,250	253,3
0,375	233,2
0,500	223,1
0,625	217,0
0,750	213,0
0,875	210,1
1,000	208,0



7. Ontwerpparameter helling van het buitentalud onder de knik Grenzen

In de definitie van een talud wordt een boven- en ondergrens gegeven aan de waarde van de taludhelling. De definitie van een talud zegt: tot een talud worden gerekend, die delen van het dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:8 (WL, juni 1997). Dit betekent dat de helling van het buitentalud (in het model in te voeren als $\tan[\alpha]$) mag variëren van minimaal 0,125 tot maximaal 1,000.

Waarde ontwerpparameter voorgaande cyclus (uitgangssituatie)

De helling van het buitentalud onder de knik (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$) van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk volgens het uitgangspunt (TAW, juni 2000) heeft een waarde gelijk aan 0,2940 (zie bijlage II.M).

Invloed faalkans – ontwerpparameter

In grafiek 4.9 wordt de invloed weergegeven van de helling van het buitentalud onder de knik op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij de helling oploopt van een minimale waarde van 0,125 en acht keer is verhoogd met een stapgrootte van 0,125. Alle overige ontwerpparameters worden tijdens deze berekening gelijk gehouden aan de waarde uit de vorige cyclus, in dit geval dus gelijk aan de waarde van het uitgangspunt volgens SPRINT (zie bijlage II.M).

.....Grafiek 4.9.....

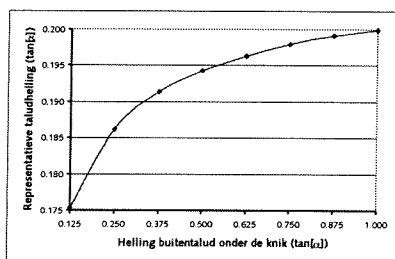
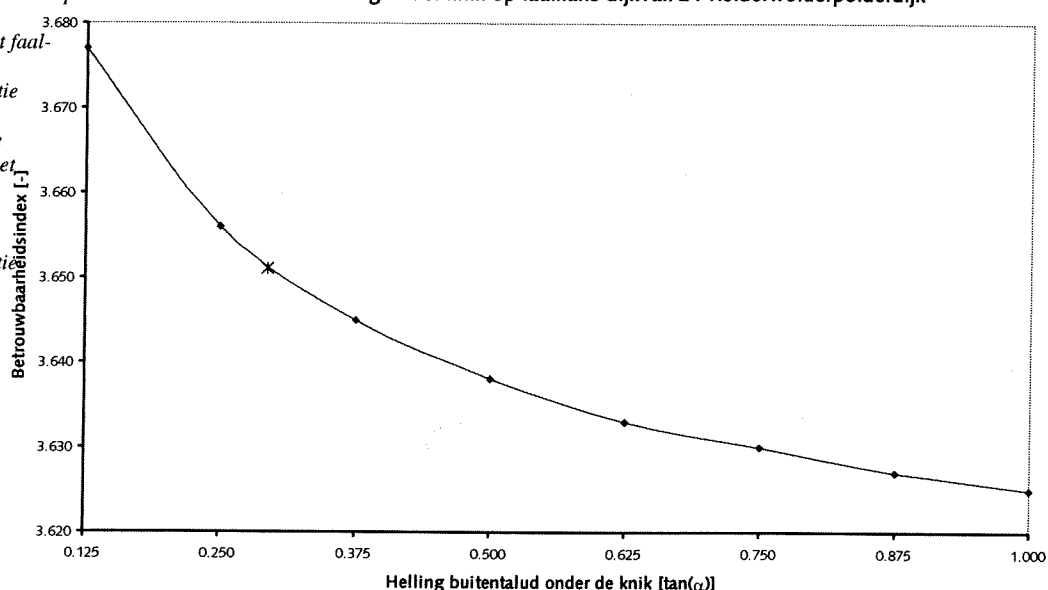
Invloed van de helling van het buitentalud op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'.

Met een sterretje is de uitgangssituatie weergegeven.

Opgemerkt dient te worden dat steile taludhelling (vanaf 0,75) eigenlijk niet verantwoord zijn i.v.m. stabiliteits-eisen.

Bijlage IV.C.7 grafiek IV.C.13 geeft hetzelfde verband maar dan als functie van de faalkans

Invloed buitentaludhelling onder knik op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



.....Grafiek 4.10.....

Verloop representatieve taludhelling als functie van de helling van het buitentalud onder de knik in het ontwerp punt voor windrichting NW

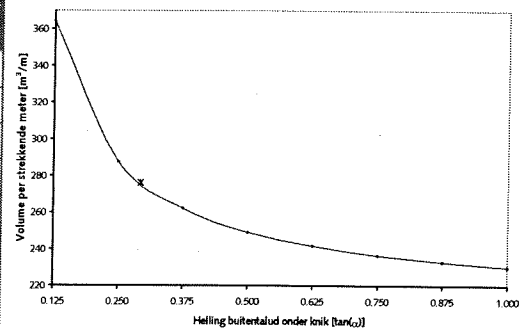
Uit grafiek 4.9 blijkt dat bij een toename van de helling van het buitentalud onder de knik de betrouwbaarheid van dijkvak 21 afneemt. Net als beschreven in de paragraaf behorende bij de variatie van de knikhogte, wordt door het variëren van de helling van het buitentalud onder de knik, de waarde van de representatieve taludhelling beïnvloed. Afhankelijk van de grootte van de golfhoogte en lokale waterstand in het ontwerp punt wordt de waarde van de representatieve taludhelling beïnvloed door alleen de helling van het talud onder de knik, alleen de taludhelling boven de knik, of door beide. Figuur 4.10 geeft het verloop van de representatieve taludhelling weer in het ontwerp punt. Af te lezen valt dat de representatieve taludhelling groter wordt naarmate de helling van het talud onder knik toeneemt. Bij een toename van de representatieve taludhelling (het talud wordt steiler) zal het optredende overslagdebiet groter worden en zal de betrouwbaarheid van het dijkvak afnemen. Dit komt overeen met het verloop uit grafiek 4.9.

Investeringskosten

Bij elke waarde van de helling van het buitentalud onder de knik is het volume per strekkende meter dijk bepaald. Ook hier geldt dat de waarde van de overige ontwerpparameters gelijk is gehouden aan de uitgangssituatie. Tabel 4.7 geeft een overzicht van de resultaten. In de grafiek behorende bij deze tabel is het verband tussen beide grootheden weergegeven. Het blijkt dat de investeringskosten (uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk) een omgekeerd evenredig verband kennen met de helling van het buitentalud onder de knik. Dit is logisch want een steiler talud (grotere waarde van $\tan[\alpha]$) kent een kleiner volume per strekkende meter. Als gevolg van dit omgekeerd evenredige verband zal de invloed van de ontwerpparameter op de faalkans van dijkvak 21 uitgedrukt in investeringskosten, tegengesteld zijn aan het verloop van grafiek 4.7. Dit betekent dat een toename van het volume per strekkende meter leidt tot een stijging van de betrouwbaarheid van het dijkvak (equivalent aan een daling van de faalkans). Bijlage IV.C.7 grafiek IV.C.14 geeft dit verloop weer.

.....Tabel 4.7.....

Taludhelling onder knik [$\tan(\alpha)$]	Volume per strekkende meter [m^3/m]
0,125	364,3
0,250	287,6
0,375	262,1
0,500	249,3
0,625	241,7
0,750	236,5
0,875	232,9
1,000	230,2

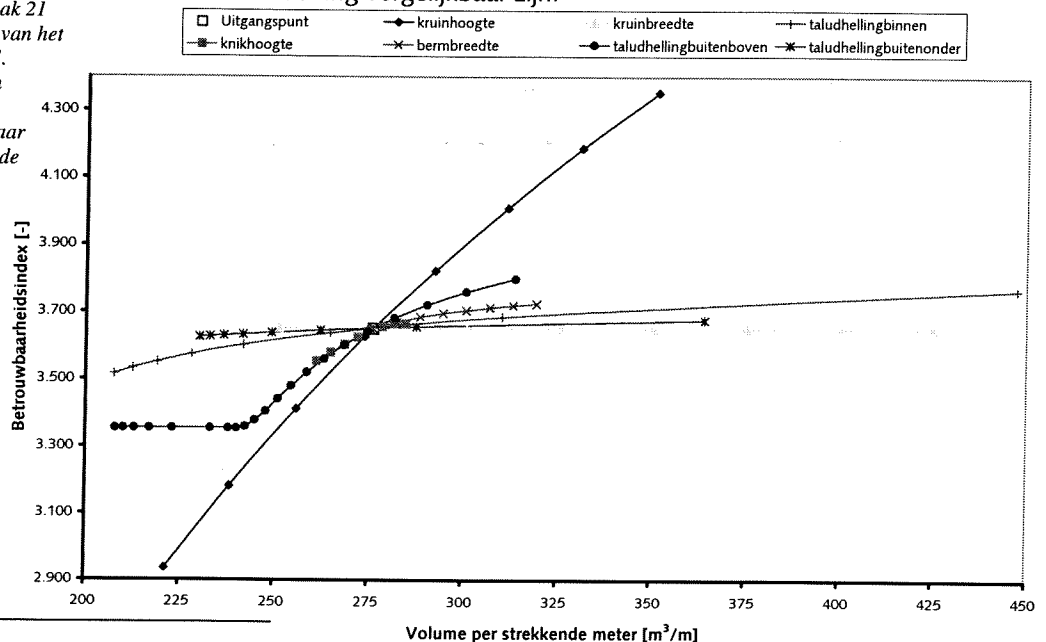


Resultaten

Op dit moment is het nog erg moeilijk om aan de hand van de geschetste verbanden tussen de verschillende ontwerpparameters en de faalkans van dijkvak 21 een beeld te vormen van de verschillen in de grootte van de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat in de grafieken niet is gekozen voor uniforme range tussen de minimale en maximale waarde van de betrouwbaarheidsindex. De verschillen in de invloed op de faalkans kunnen overzichtelijk gemaakt worden door de resultaten van de verschillende ontwerpparametervariaties uit te zetten in één grafiek. Grafiek 4.11 geeft deze resultaten weer. De invloed van de verschillende ontwerpparametervariaties wordt uitgezet als functie van het volume per strekkende meter, zodat de resultaten onderling vergelijkbaar zijn.

.....Grafiek 4.11.....

Invloed van de verschillende ontwerpparametervariaties op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. In bijlage IV.D wordt deze grafiek in een iets groter formaat afgebeeld en is hetzelfde verband weergegeven maar dan als functie van de faalkans i.p.v. de betrouwbaarheidsindex. Behalve dat de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans is weergegeven is ook de oorspronkelijke faalkans van dijkvak 21 en het bijbehorende volume per strekkende meter volgens het SPRINT onderzoek aangeduid



Grafiek 4.11 geeft het rendement aan van de verschillende ontwerpparameter-varianties. Dit rendement wordt uitgedrukt in een faalkansreductie (of toename van de betrouwbaarheidsindex) versus de benodigde investeringskosten, uitgedrukt in een toename van het volume per strekkende meter dijk. Hoe steiler het verband, hoe meer faalkansreductie behaald kan worden tegen de minste investeringskosten. Een steil verband kan enerzijds veroorzaakt worden doordat de gevarieerde ontwerpparameter weinig extra volume per strekkende meter genereert en anderzijds doordat de gevarieerde ontwerpparameter een grote toename in de betrouwbaarheid van het dijkvak veroorzaakt.

Uit grafiek 4.11 blijkt dat een vergroting van de kruinhoogte van dijkvak 21 het meeste rendement oplevert. Dit kan verklaard worden uit het gegeven dat dijkvak 21 is gelegen in een gebied waar de waterstand maatgevend is. Dijkvak 21 is het meest oostelijke dijkvak van de provincie Groningen en grenst aan de Dollard. Als gevolg van de vorm van het estuarium worden in dit gebied de waterstanden extra opgestuwd¹. De golven in dit gebied zijn relatief klein, omdat het gebied waarover de wind golven kan opwekken relatief klein is en de bodemdiepte vrij gering². Men kan verwachten dat in dit gebied de waterstand dan ook de maatgevend hydraulische belasting zal zijn. In bijlage IV.E wordt het resultaat weergegeven van een analyse van de hydraulische randvoorwaarden gedaan met behulp van het model PC_RINGSCHIL. Aangegeven is het verschil in de betrouwbaarheid per dijkvak als een faalkansberekening wordt uitgevoerd t.g.v het faalmechanisme 'overloop/overslag' met strijklengten respectievelijk zonder strijklengten. Indien het verschil tussen beide faalkansberekeningen gering is kan gesteld worden dat de waterstand maatgevend is. Indien het verschil groot is kan gesteld worden dat de golven maatgevend zijn³. Uit grafiek IV.E.1 in bijlage IV.E blijkt dat het verschil tussen beide faalkansberekeningen van dijkvak 21 gering is en kan gesteld worden dat de waterstand maatgevend is. Een ander belangrijk feit dat uit grafiek 4.11 af te lezen is, is dat de bij een variatie in de taludhelling (zowel binnen als buiten) de meeste faalkansreductie (toename van de betrouwbaarheidsindex) te behalen is bij zeer flauwe hellingen, maar dat als gevolg van diezelfde flauwe taludhellingen het volume snel groter wordt, waardoor het rendement van de variaties klein is.

.....Verwijzing¹.....
Zie hoofdstuk 2. paragraaf 2.3.1

.....Verwijzing².....
Zie bijlage II.1. paragraaf 2.3.4

.....Verwijzing³.....
Zie ook bijlage III.H

4.5 Stap 4 optimale verbeteringsmaatregel

Aanpak

Op basis van de in stap 3 opgestelde grafiek met het verband tussen de verschillende ontwerpparametervarianties en de faalkans van de in stap 1 geselecteerde dijkvak(ken), kan bepaald worden welke verbeteringsmaatregel optimaal is. Optimaal wordt gedefinieerd als, de verbeteringsmaatregel met het meeste rendement, dus de grootste toename in betrouwbaarheid tegen de minste investeringskosten, uitgedrukt in een volume per strekkende meter.

Behalve dat met behulp van het nieuwe model PC_RINGSCHIL geanalyseerd kan worden wat de invloed is van de variatie van één ontwerpparameter op de faalkans van een dijkvak is het ook mogelijk om de invloed te bepalen van de variatie van twee ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak (ook hierbij geldt dat de waarde van de overige ontwerpparameters gelijk wordt gehouden aan de oorspronkelijke waarde). Op deze manier kan onderzocht worden of een combinatie van twee rendementvolle ontwerpparameters kan leiden tot een meer optimale verbeteringsmaatregel.

Het feit dat in dit afstudeeronderzoek een afbakening is gemaakt in de manier waarop de investeringskosten worden bepaald, heeft tot gevolg dat bij een faalkansberekening, waarbij een combinatie van ontwerpparameters wordt gevarieerd, rekening gehouden worden met een aanvullende 'beperkende' profieelis.

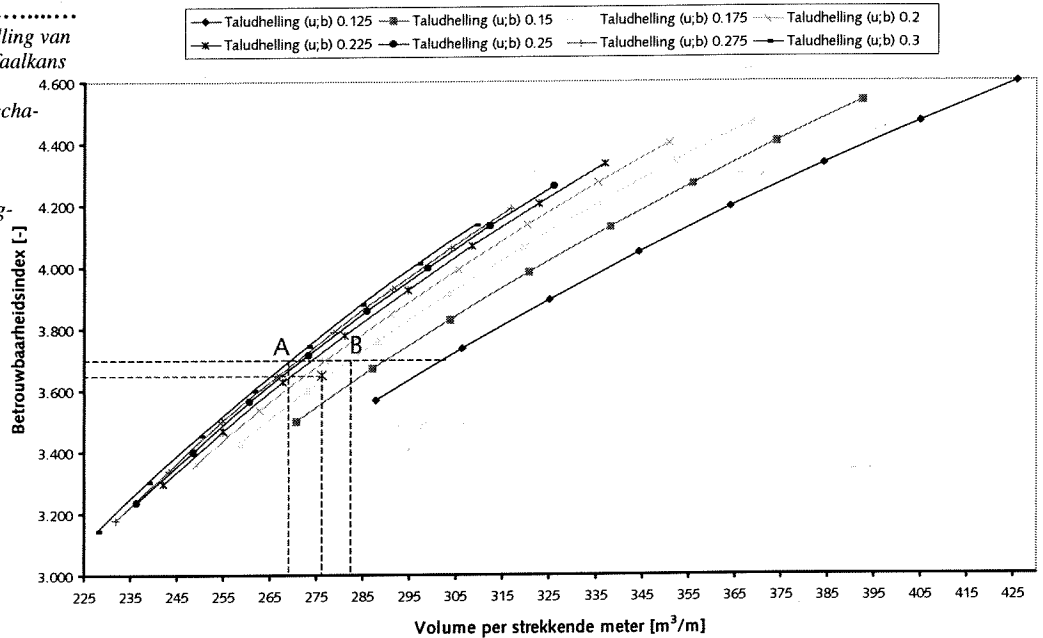
Intermezzo

Aan de hand van een voorbeeld zal besproken worden welke aanvullende eis dit is en waarom deze moet worden toegepast.

In stap 3 is geconcludeerd dat een toename van de kruinhoogte van dijkvak 21 het meeste rendement oplevert. In dit voorbeeld wordt bekeken wat de invloed is op de faalkans van dijkvak 21 van de variatie van zowel de kruinhoogte als van de helling van het buitentalud boven de knik¹. In grafiek 4.12 wordt het resultaat weergegeven van een faalkansberekening van dijkvak 21 waarbij de kruinhoogte is gevarieerd tussen 8,00 en 9,40 meter t.o.v. NAP en de helling van het buitentalud boven de knik van 0,125 tot 0,300 (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$).

.....**Toelichting¹**.....
De helling van het buitentalud boven de knik is de ontwerpparameter met het op één na steilste verband (bij een helling tussen 0,125 en 0,300) zie grafiek 4.11 en bijlage IV.D

.....**Grafiek 4.12**.....
Invloed van de kruinhoogte en de helling van het buitentalud boven de knik op de faalkans van dijkvak 21 als functie van het volume per strekkende meter (faalmechanisme 'overloop/overslag')
In de legenda is aangegeven hoe de variatie in de helling van het talud verloopt. Per lijn neemt de kruinhoogte van beneden naar boven toe, met een minimale waarde gelijk aan 8,0 meter t.o.v. NAP en stapjes van 0,2 meter. Met een (rood) sterretje is de waarde van de faalkans en het volume per strekkende meter aangegeven volgens het huidige profiel



.....**Toelichting²**.....
Zie stap 1
Stel dat in dit voorbeeld de huidige betrouwbaarheid van dijkvak 21 (betrouwbaarheidsindex gelijk aan 3,651², aangegeven met de horizontale onderste stip-pellijn) verhoogd moet worden naar een betrouwbaarheidsindex van 3,700 (aangegeven met de bovenste horizontale lijn). Uit grafiek 4.12 blijkt dat zo'n verhoging van de betrouwbaarheidsindex bereikt kan worden met een volume kleiner dan het oorspronkelijke volume van het dijkvak (verticale lijn A). In dit punt is zowel de waarde van de kruinhoogte als van de taludhelling toegenomen (steiler talud). Een toename van de kruinhoogte leidt tot een toename van de betrouwbaarheid (zie paragraaf 4.3 ontwerpparameter 1) en een toename van de taludhelling leidt tot een afname van de betrouwbaarheid (zie paragraaf 4.3 ontwerpparameter 6). De toegenomen betrouwbaarheid ten gevolge van de vergroting van de kruinhoogte compenseert blijkbaar de afname van de betrouwbaarheid als gevolg van de toename van de taludhelling en wel in zo'n maat dat de netto waarde voldoende groot is dat voldaan wordt aan de betrouwbaarheidseis (horizontaal bovenste lijn). Het volume per strekkende meter neemt door het verhogen van de kruin toe en een vergroting van de taludhelling (steiler talud) leidt tot een afname van het volume per strekkende meter. In het aangeduide punt is de afname van het volume blijkbaar groter dan de toename, waardoor het volume per strekkende meter netto daalt. Zo is het mogelijk dat een hogere betrouwbaarheid van dijkvak 21 bereikt wordt met minder volume. Dit zou betekenen dat het huidige profiel van dijkvak 21 afgegraven zou moeten worden om een hogere betrouwbaarheid te bereiken. Aan de hand van een tweetal overwegingen wordt in de volgende paragraaf beargumenteerd dat dit 'optimale' punt uit grafiek 4.12 in werkelijkheid waarschijnlijk niet optimaal zal zijn.

1. Als gevolg van de keuze, om in dit afstudeeronderzoek de kosten direct te koppelen aan een volume per strekkende meter, leidt het afgraven van een dijklichaam (volume vermindering) tot een reductie in investeringskosten. Dit komt echter niet overeen met de werkelijkheid. In de praktijk zal ook het afgraven van een dijklichaam investeringskosten met zich meebrengen. Hierdoor zal het optimale punt in grafiek 4.12 naar rechts verschuiven, voorbij het punt van de oorspronkelijk situatie.
2. Men zou kunnen veronderstellen, aan de hand van de gepresenteerde rekenresultaten, dat het huidige profiel van de dijk overgedimensioneerd is. Men moet echter bedenken dat in de huidige versie van PC_RINGSCHIL slechts twee faalmechanismen zijn geïmplementeerd. Het faalmechanisme 'overloop/overslag' en het faalmechanisme 'piping'. In het geval van dijkvak 21 is zelfs alleen een berekening van de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' gemaakt. Een steiler buitentalud kan dan wel gunstig uitvallen voor de gemaakte berekening ten gevolge van dit faalmechanisme, maar het effect op het mechanisme 'piping' (verkorting van de kwelweg) en het mechanisme 'afschuiven' (vergroting instabiliteit talud) is nooit bepaald. Als gevolg van de voorgestelde versteiling van het talud zal de faalkans ten gevolge van deze faalmechanismen hoogstwaarschijnlijk toenemen, waardoor ook de gecombineerde dijkvakken uiteindelijk niet de beoogde betrouwbaarheid zal bereiken.
N.B. Het oorspronkelijke dijkprofiel is op basis van meerdere faalmechanismen opgesteld. Er kan gesteld worden dat de huidige helling van het buitentalud zo is gekozen dat bijvoorbeeld de stabiliteit van het talud niet in gevaar komt. Het hoeft dus helemaal niet zo te zijn dat het huidige profiel overgedimensioneerd is.

.....**Toelichting¹**.....
De directe koppeling tussen investeringskosten en het volume per strekkende meter en het implementeren van slechts twee faalmechanismen

Bovenstaande overwegingen laten zien dat het in grafiek 4.12 gevonden 'optimale' punt zonder de in dit afstudeeronderzoek gemaakte afbakeningen¹, waarschijnlijk niet optimaal zal zijn. Om te voorkomen dat deze 'optimale' punten wel door PC_RINGSCHIL gegenereerd worden, zal in dit onderzoek een aanvullende profieleis opgesteld worden.

Bij het bepalen van een optimale verbeteringsmaatregel is het niet toegestaan de ontwerpparameters zo te variëren, dat een volume vermindering optreedt². Hiermee wordt voorkomen dat 'optimale' verbeteringsmaatregelen ontstaan, als gevolg van een combinatie van ontwerpparametervariaties, waarbij de investeringskosten negatief zijn maar waarmee toch een vergroting van de betrouwbaarheid wordt bereikt, hetgeen niet overeenkomt met de werkelijkheid.

.....**Toelichting²**.....
Dit geldt zowel voor de helling van het bintentalud, voor het buitentalud onder en boven een berm of knik, voor de representatieve taludhelling, dus de berm/knikhoogte als voor de bermbreedte

Aan de hand van deze aanvullende profieleis kan een nieuwe analyse van de resultaten uit grafiek 4.12 gemaakt worden. De oorspronkelijke waarde van de helling van het buitentalud boven de knik bedraagt 0,1815. Uit de aanvullende profieleis volgt dat de helling niet steiler mag worden, hetgeen betekent dat de waarde van de taludhelling (uitgedrukt in $\tan[\alpha]$) alleen mag afnemen.

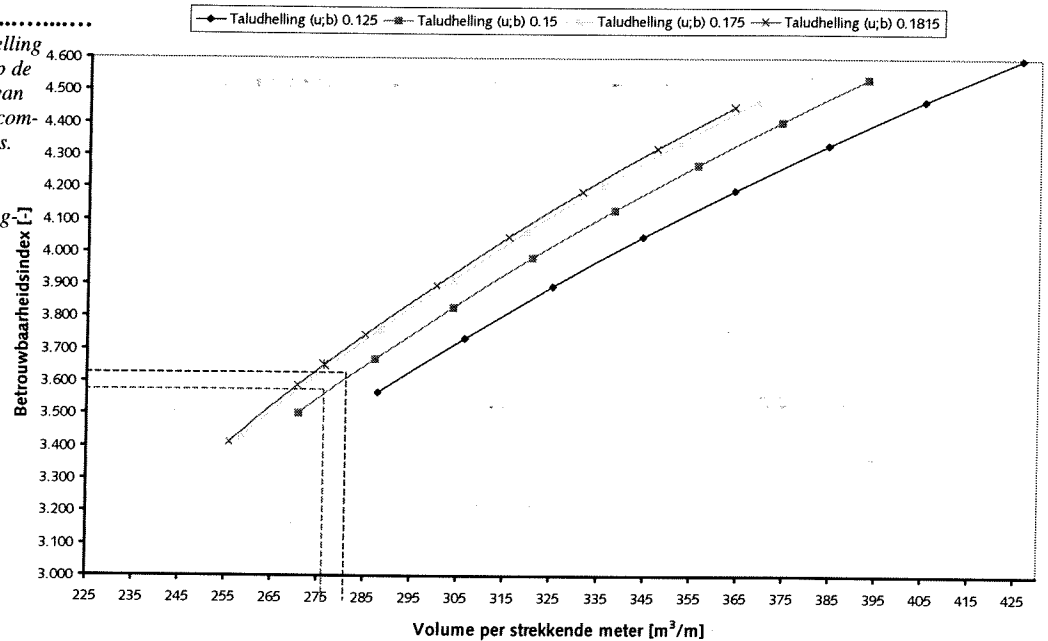
Grafiek 4.13 (zie volgende pagina) geeft het resultaat van de berekening weer, waarbij de aanvullende profieleis is toegepast. Wat opvalt is dat het optimale punt (punt met minimaal volume per strekkende meter behorende bij een betrouwbaarheidsindex van 3,700) gevonden wordt bij een taludhelling gelijk aan de waarde volgens het uitgangspunt. Geconcludeerd kan worden dat een faalkansberekening waarbij twee ontwerpparameters worden gevarieerd, in combinatie met de aanvullende profieleis geen hoger rendement oplevert.

N.B. Opgemerkt dient te worden dat dit alleen het geval is, wanneer uitgegaan wordt van een bestaande dijk. In het geval er nog geen dijk is (fictieve dijkring), is het wel mogelijk om aan de hand van twee ontwerpparametervariaties (of meerdere als het model PC_RINGSCHIL wordt uitgebreid) te komen tot een optimaal ontwerp van een dijk³.

.....**Toelichting³**.....
Met behulp van een multidimensionale optimalisatie kan een profiel met een minimaal volume per strekkende meter, behorende bij een willekeurig betrouwbaarheidsniveau, bepaald worden

.....**Grafiek 4.13**.....

Invloed van de kruinhoogte en de helling van het buitentalud boven de knik op de faalkans van dijkvak 21 als functie van het volume per strekkende meter in combinatie met de aanvullende profieleis. In de legenda is aangegeven hoe de variatie in de helling van het talud verloopt. Per lijn neemt de kruinhoogte van beneden naar boven toe, met een minimale waarde gelijk aan 8,0 meter t.o.v. NAP en stapjes van 0,2 meter. Met een (rood) sterretje is de waarde van de faalkans en het volume per strekkende meter aangegeven volgens het huidige profiel



Samenvattend kan gesteld worden dat in stap 4 een optimale verbeteringsmaatregel bepaald moet worden aan de hand van de in stap 3 gemaakte inventarisatie van de invloed van verschillende ontwerpparametervariëaties op de faalkans, van de in stap 1 bepaalde dijkvak(ken). Hierbij moet rekening gehouden worden met een aanvullende profieleis (noodzakelijk als gevolg van de in dit afstudeeronderzoek gemaakte afbakeningen), als uitgegaan wordt van een al bestaande situatie, welke voorschrijft dat alleen die ontwerpparametervariëaties toegestaan zijn waarbij het volume per strekkende meter niet afneemt. Dit houdt in dat alleen gekeken hoeft te worden naar de invloed van één ontwerpparameter op de faalkans van een dijkvak.

Uitvoering

Op basis van de resultaten uit stap 3 (zie grafiek 4.11 of bijlage IV.D) kan gesteld worden dat een vergroting van de kruin van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, het meeste rendement oplevert. Dit is de ontwerpparameter met de grootste faalkansreductie (stijging in betrouwbaarheidsindex) tegen de minste investeringskosten, uitgedrukt in een volume per strekkende meter.

Met behulp van het model PC_RINGSCHIL is onderzocht bij welke waarde van de kruinhoogte, de (gecombineerde) betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk gelijk is aan 3,675¹. Dit is de waarde van de gecombineerde betrouwbaarheidsindex van het op één na 'zwakste' dijkvak uit de dijk-ring. (zie stap 2) Bijlage IV.F geeft de modelresultaten weer. Geconcludeerd kan worden dat bij een kruinhoogte van 8,31 meter t.o.v. NAP de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 gelijk is aan 3,675.

.....**Toelichting¹**.....

De gecombineerde betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 zal gelijk zijn aan de betrouwbaarheidsindex t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag', omdat een berekening t.g.v. het faalmechanisme 'piping' niet uitgevoerd kan worden als gevolg van het ontbreken van invoergegevens

Resultaten

In stap 4 worden de volgende resultaten gekwantificeerd:

- ✓ Bij een kruinhoogte van 8,31 meter t.o.v. NAP bedraagt de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' 3,675. De faalkans is dan gelijk aan $1,19 \cdot 10^{-4}$.
- ✓ De gecombineerde faalkans van dijkvak 21 is gelijk aan de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' (dit als gevolg van het ontbreken van een faalkansberekening ten gevolge van het faalmechanisme 'piping') en bedraagt derhalve ook $1,19 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,675$).

- ✓ Het volume per strekkende meter behorende bij een kruinhoogte van 8,31 meter t.o.v. NAP bedraagt 278,4 m³/m (zie bijlage IV.F).

4.6 Stap 5 rendement verbeteringsmaatregel

Aanpak

In deze laatste stap uit de eerste cyclus wordt bepaald hoe groot het rendement van de in stap 4 beschreven verbeteringsmaatregel is. Dit rendement wordt uitgedrukt als een overstromingskansreductie (*faalkans gecombineerd over alle dijkvakken en alle faalmechanismen*) versus de benodigde investeringskosten, uitgedrukt in een extra benodigd volume per strekkende meter.

Uitvoering

Met behulp van het model PC_RINGSCHIL is een nieuwe overstromingskansberekening uitgevoerd, waarbij de geometrie van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk is aangepast volgens de in stap 4 beschreven verbeteringsmaatregel. De resultaten van deze berekening worden weergegeven in bijlage IV.G.

Resultaten

In stap 5 worden de volgende resultaten gekwantificeerd:

- ✓ De totale overstromingskans van het dijkgebied 'Groningen en Friesland' na de eerste verbeteringsstap bedraagt $2,35 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,497$) en is ten opzichte van de Ausgangssituatie gereduceerd met $0,11 \cdot 10^{-4}$ (*gelijk aan een toename van de betrouwbaarheidsindex van 0,013*);
- ✓ Het volume per strekkende meter dijk is door het aanpassen van de kruinhoogte van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk toegenomen van 276,16 m³/m naar 278,37 m³/m, een toename van 2,19 m³/m.

.....**Toelichting'**.....
 Omdat de nadruk in dit afstudeeronderzoek meer ligt om de procedure waarmee de resultaten verkregen worden dan op de resultaten zelf zal het aantal door te rekenen cycli beperkt worden tot twee.

Om het overzicht in dit hoofdstuk niet te verliezen is gekozen om de volgende cyclus in bijlage IV.H weer te geven¹. De weergave zal veel beknopter zijn en daar waar de resultaten wezenlijk verschillende van hetgeen besproken is in dit hoofdstuk zal een nader toelichting gegeven worden. De resultaten van de twee berekende cycli worden weergegeven in paragraaf 4.7.

4.7 Overzicht resultaten verschillende cycli

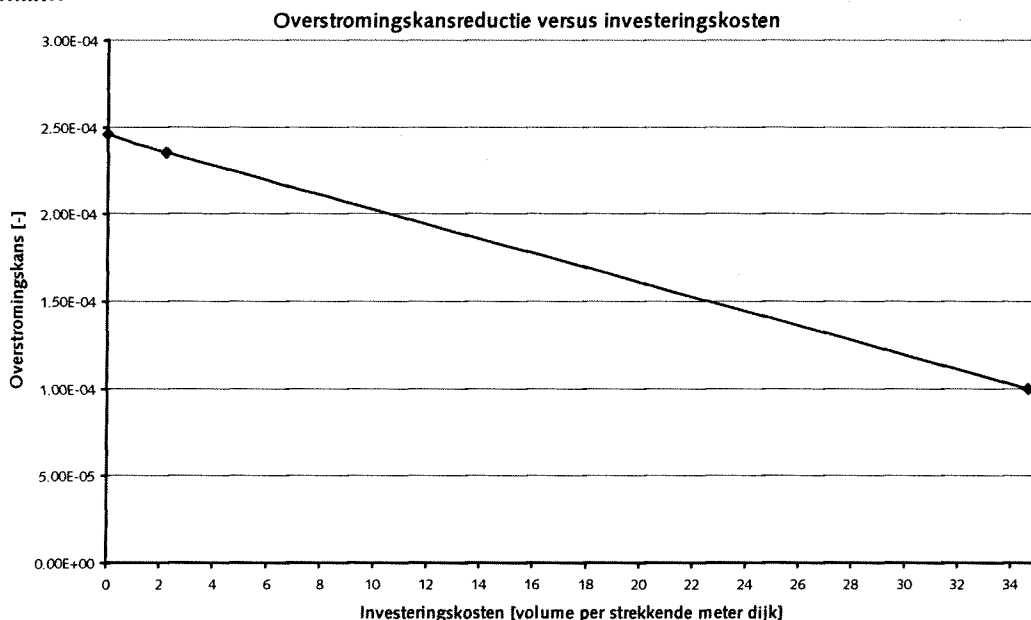
De resultaten uit de berekende cycli kunnen uiteindelijk uitgezet worden in een grafiek waardoor een verband ontstaat tussen de overstromingskansreductie en de investeringskosten, uitgedrukt in een volume per strekkende meter.

.....**Grafiek 4.14**.....

Uitgangssituatie:
 Overstromingskans: $2,46 \cdot 10^{-4}$
 Extra benodigd volume: 0 m³/m

Eerste cyclus::
 Overstromingskans: $2,35 \cdot 10^{-4}$
 Extra benodigd volume: 2,19 m³/m

Uitgangssituatie:
 Overstromingskans: $1,00 \cdot 10^{-4}$
 Extra benodigd volume: 34,61 m³/m



Hoofdstuk 5. Conclusies en aanbevelingen

Hoofdstuk 5. Conclusies en aanbevelingen	IX
5.1 Perspectief	58
5.2 Conclusies	59
5.2 Aanbevelingen	60

5.1 Perspectief

Stand van zaken

In dit afstudeeronderzoek is een rekenprocedure ontwikkeld waarmee de invloed van de investeringskosten van verschillende soorten verbeteringsmaatregelen op de overstromingskans van een dijkkringgebied bepaald kan worden. Eén van de belangrijkste eigenschappen van de rekenprocedure is het cyclisch karakter, dat ontstaat als gevolg van het feit dat een overstromingskansnorm (*nog*) niet bestaat en dat daarom gekozen is voor een stapsgewijze verbetering van de dijkvakken met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans. In elke cyclus uit de rekenprocedure kan een vijftal verschillende stappen onderscheiden worden:

1. het analyseren van de overstromingskans van een dijkkringgebied, het lokaliseren van de zogenaamde 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring en het bepalen van het maatgevende faalmechanisme. De 'zwakste' schakel uit de dijkkring is het dijkvak met de grootste kansbijdrage aan de totale overstromingskans;
2. het bepalen van de maximaal haalbare faalkansreductie van het 'zwakste' dijkvak, afhankelijk van de grootte van de faalkans van het dijkvak met de op één na grootste bijdrage aan de totale overstromingskans;
3. het inventariseren van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van de 'zwakste' schakel(s) en op de investeringskosten;
4. het kiezen van een 'optimale' verbeteringsmaatregel, waarbij optimaal is uitgedrukt als de grootste faalkansreductie tegen de kleinste investeringskosten;
5. het bepalen van het rendement van de verbeteringsmaatregel uitgedrukt in een reductie van de totale overstromingskans tegen de benodigde investeringskosten.

De voorgestelde rekenprocedure is in de praktijk alleen uitvoerbaar in combinatie met, het in dit afstudeeronderzoek ontwikkelde model PC_RINGSCHIL, waarmee op efficiënte wijze in een kort tijdsbestek de invloed van verschillende ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak kan worden bepaald. Het model is daarnaast uitgerust met verschillende presentatie- en analyse modules, waarmee de invoergegevens (*benodigd voor de overstromingskansberekeningen*) en de berekeningsresultaten (*zowel van de overstromingskansberekeningen als van de ontwerpparametervariaties*) op een overzichtelijk manier kunnen worden weergegeven. PC_RINGSCHIL kan hierdoor model staan voor de eventuele ontwikkeling van een user interface voor het reeds bestaande model PC_RING.

Beperkingen

In dit afstudeeronderzoek zijn een aantal afbakeningen gemaakt die van invloed zijn op de uitkomsten en de werkwijze van de voorgestelde rekenprocedure.

- in dit afstudeeronderzoek is gekozen de investeringskosten te benaderen met een volume per strekkende meter waarvan verondersteld wordt dat deze een bijna één op één relatie heeft met de kosten. Als gevolg van deze afbakening is een aanvullende profiel-eis noodzakelijk bij het bepalen van de 'optimale' verbeteringsmaatregel. Wanneer de kostenmodule zou worden uitgebreid met een gedetailleerdere procedure voor het bepalen van de investeringskosten komt deze aanvullende profiel-eis te vervallen.
- In het model PC_RINGSCHIL zijn slechts twee van de in het totaal zeven beschikbare faalmechanismen uit PC_RING geïmplementeerd. Dit zijn de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping'. Uitbreiding van het model PC_RINGSCHIL met meerdere faalmechanismen zal betekenen dat de rekkentijd per cyclus aanzienlijk toeneemt.

In plaats van de nu maximaal twee uitgevoerde inventarisaties van de invloed van ontwerpparameters op de faalkans van een dijkvak (per faalmechanisme één), zal bij elk toegevoegd faalmechanisme een extra berekening gemaakt moeten worden.

Door de uitbreiding van het model met meer faalmechanismen zullen de resultaten van dit onderzoek zeker veranderen. Wanneer de gecombineerde faalkans van een dijkvak steeds meer afhankelijk wordt van verschillende faalmechanismen, zal de 'optimale' verbeteringsmaatregel steeds meer een compromis worden. Aan de voorgestelde rekenprocedure waarmee het verband tussen de overstromingskans en de investeringskosten bepaald kan worden, verandert overigens niets.

- In dit onderzoek is slechts tweemaal de voorgestelde cyclus uit de rekenprocedure doorlopen. Het resultaat van deze berekeningen representeert slechts een deel van het verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie.

Toekomst

Dit onderzoek is nog lang niet af. Ook PC_RINGSCHIL is nog lang niet af. Reeds aangegeven is dat het model op tal van manieren kan worden verbeterd cq uitgebreid (zie voorgaande paragraaf).

Bij het ontwerpen van de structuur van PC_RINGSCHIL is bij voorbaat rekening gehouden met de mogelijkheid het model verder uit te breiden of breder toe te passen.

Zo is bijvoorbeeld de opbouw van de invoerbestanden van PC_RINGSCHIL voor een groot deel gelijk gehouden aan de opbouw van de invoerbestanden van PC_RING. Hierdoor zijn de invoergegevens benodigd voor het model PC_RINGSCHIL op eenvoudige wijze te herleiden uit de al bestaande invoerbestanden van PC_RING, waardoor het model zonder al te veel aanpassingen kan worden toegepast op een ander dijkkringgebied.

Zoals in het onderzoekskader is aangeduid wil men in de toekomst uiteindelijk overstappen op een veiligheidsbenadering gebaseerd op overstromingsrisico's. De resultaten uit dit onderzoek kunnen gebruikt worden in het verdere onderzoek naar een veiligheidsbenadering gebaseerd op overstromingsrisico.

5.2 Conclusies

Aan de hand van het ontwikkelde model in combinatie met de voorgestelde rekenprocedure is het mogelijk om een verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie te bepalen. Op basis van het in dit onderzoek behaalde resultaat kan echter nog niet met zekerheid geconcludeerd worden dat dit verband correct is. Hiertoe zouden meerdere cycli doorlopen moeten worden.

Het model PC_RINGSCHIL is een aanvulling op de huidige versie van PC_RING, waarin de invoergegevens en de resultaten op een gestructureerde manier kunnen worden weergegeven of worden geanalyseerd. De opzet van de programmatuur kan als indicatie gelden voor een eventuele user interface. Opgemerkt dient wel te worden dat slechts een deel van de mogelijkheden van PC_RING in het PC_RINGSCHIL zijn opgenomen.

Het in PC_RING geïmplementeerde overslagmodel (*model 3 Van der Meer herzien*) bevat een programmeerfout. De aanpassing van deze fout heeft een deel van de convergentieproblemen van het model PC_RING opgelost, waardoor een aanzienlijke winst in rekentijd is geboekt.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van dit onderzoek wordt aanbevolen:

- de voorgestelde rekenprocedure meerdere malen te doorlopen zodat bekeken kan worden of het resultaat voldoet aan de verwachting dat het rendement van de investering steeds minder wordt doordat steeds meer dijkvakken verbeterd moeten worden en de reductie in overstromingskans steeds kleiner wordt;
- het model verder uit te breiden met meerdere faalmechanismen en met een meer gedetailleerde kostenmodule, zodat de resultaten nauwkeuriger worden. Dit houdt impliciet in dat veel (nu nog) onbekende invoergegevens verzameld zullen moeten worden;
- het model toe te passen op een ander dijkkringgebied dan het in dit onderzoek behandelde dijkkringgebied, zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen de verschillende resultaten;
- op korte termijn een user interface te ontwikkelen voor PC_RING waardoor de introductie van PC_RING bij een grotere groep gebruikers snel en efficiënt kan verlopen (*nadere uitwerking PC_RINGSCHIL*).

Daarnaast wordt op basis van de in dit onderzoek opgedane ervaring aanbevolen:

- de probabilistische rekenmethode (*met name de niveau II berekeningsmethode*) op een of andere manier te visualiseren zodat meer inzicht in de werkwijze van deze methode ontstaat;
- de getallen in de uitvoerbestanden van PC_RING weer te geven in de wetenschappelijke notatie, zodat voorkomen wordt dat waarden gelijk aan nul worden uitgevoerd terwijl dit niet het geval is;
- een studie uit te voeren naar het 'optimale' ontwerp (*optimaal in de zin van een zo klein mogelijke faalkans tegen de minste kosten*) van een fictief dijkvak, zodat een beeld ontstaat van de kansbijdrage van de verschillende faalmechanismen aan de overstromingskans. Dit resultaat zal dan vergeleken moeten worden met de voorgestelde verdeling in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel II appendices.

Literatuur

- (ANTONISSE, 1986); *De kroon op het Deltaplan stormvloedkering Oosterschelde, het grootste waterbouwproject aller tijden*; R. Antonisse; Tweede druk; Elsevier, Amsterdam / Brussel, 1986.
- (CALLE & WEIJERS, 1994); *Technisch rapport voor de controle op het mechanisme piping*; E. Calle en J. Weijers; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Delft, 1994.
- (CUR, maart 1997); *CUR 190 Kansen in de civiel techniek Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in theorie*; CUR, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving; Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (DWW, BD); Eerste druk, maart 1997, Gouda; ISBN 90376 01022
- (DELTACOMMISSIE, 1960); *Rapport Deltacommissie Eindverslag en Interimadviezen deel 1*; Deltacommissie; Staatdrukkerij en uitgeverijbedrijf; 's-Gravenhage, 1960.
- (DELTACOMMISSIE, 1960); *Rapport Deltacommissie Deel 3 Beschouwingen over stormvloed en getijbewegingen*; Deltacommissie; Staatdrukkerij en uitgeverijbedrijf; 's-Gravenhage, 1960.
- (DWW, 1999); *Samenvattend rapport case-studies*; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (RWS, DWW); 9 juli 1999.
- (HOUBEN et al, januari 1991); *Veiligheidsbenadering waterkeringen*; R.J. Houben, P.F. de Swart, L. de Bruyn, P. Struik, B.J. Kouwenhoven, P.J. van Kleunen; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Bouwdienst (RWS, BD), Dienst Weg- en Waterbouwkunde (RWS, DWW), Hoofdafdelingen Waterbouw, Vakgroep Risico-analyse; Utrecht, januari 1991.
- (KUIJPER ET AL); *Waterkeringen, Collegedictaat t.b.v. het HTS onderwijs*; Ir. H. Kuijper, Ir. R.J.P. de Gaaij en ing. M. Paverd; juli 1993.
- (RIKZ, mei 1995); *De basispeilen langs de Nederlandse kust; De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen*; Rapport RIKZ-95.008; M.E. Philippart, D. Dillingh, S.T. Pwa; Mei 1995, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijkstinstituut voor Kust en Zee.
- (RIZA, maart 1999); *Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied; Een ontwerpmethodiek*; R. Westphal en J. Hartman; Lelystad : RWS, RIZA, 25 maart 1999; Ministerie van Verkeer en Waterstaat Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS, RIZA).
- (RIZA, 1999); *Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied: deelrapport 2: meerpeilstatistiek*; E.J. Blaakman, H. Buiteveld, H.C. van Twuiver, A. van Agthoven; Lelystad : RWS, RIZA rapport 99.039, 1999; Ministerie van Verkeer en Waterstaat Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS, RIZA) ISBN 9036952638.
- (ROOS ET AL); *Gevoel voor kansen en gevolgen, onderzoeksrapport SPRINT*; A. Roos, M. Jak, K. Slijkhuis en B. Lassing m.m.v. TNO-Bouw. GeoDelft en Fugro; 3 februari 2000.
- (SELLMEIJER, 1988); *On the mechanism of piping under impervious structures*; J.B. Seijlmeijer; Proefschrift TU Delft

-
- (TAW, september 1985); *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 – bovenrivierengebied*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, september 1985; ISBN 90 12 05169 X.
- (TAW, 1984); *Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Staatsuitgeverij 's-Gravenhagen, 1984; ISBN 90 12 04746 3.
- (TAW, oktober 1989); *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 – benedenrivierengebied*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Uitgeverij Waltman Delft; 's-Gravenhage, oktober 1989.
- (TAW, maart 1994); *Water tegen de dijk 1993. De toestand van de rivierdijken tijdens het hoogwater van december 1993*; Technische Adviescommissie voor de waterkeringen.
- (TAW, augustus 1995); *Druk op de dijken 1995. De toestand van de rivierdijken tijdens het hoogwater van januari-februari 1995*; Technische Adviescommissie voor de waterkeringen;
- (TAW, september 1996); *Veiligheid van waterkeringen, de nieuwe visie volgens het onderzoeksprogramma TAW MARSroute*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Drukkerij van Roessel Amsterdam; Delft, september 1996.
- (TAW, juni 1997); *Leidraad waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Juni 1997.
- (TAW, januari 1998); *Grondslagen voor waterkeringen*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; A.A. Balkema Uitgevers B.V., Rotterdam; ISBN 90 369 373 5 3.
- (TAW, juni 2000); *van Overschrijdingskans naar Overstromingskans*; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Juni 2000.
- (TNO-Bouw, september 1999); *THEORIEHANDLEIDING PC_RING Deel: A Mechanismebeschrijvingen*; Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder, Ir. H.M.G.M. Steenbergen, Ir. K.A.H. Slijkhuis (RWS); TNO-Rapport 98-CON-R1430; TNO-Bouw, september 1999.
- (TNO-Bouw, september 1999); *THEORIEHANDLEIDING PC_RING Deel: B Statistische modellen*; Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder, Ir. H.M.G.M. Steenbergen, Ir. K.A.H. Slijkhuis (RWS); TNO-Rapport 98-CON-R1431; TNO-Bouw, september 1999.
- (TNO-Bouw, september 1999); *THEORIEHANDLEIDING PC_RING Deel: C Rekentechnieken*; Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder; TNO-Rapport 98-CON-R1204; TNO-Bouw, september 1999.
- (TNO-Bouw, september 1999); *GEBRUIKERSHANDLEIDING PC_RING*; Ir. H.M.G.M. Steenbergen en Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder; TNO-Rapport 98-CON-R1559; TNO-Bouw, september 1999.
- (TNO-Bouw, april 1999); *Cursus PC_RING*; Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder en Ir. H.M.G.M. Steenbergen; TNO-Rapport 99-CON-R0036; TNO-Bouw, april 1999
- (VOORTMAN, januari 2000); *Een risico-gebaseerde optimalisatiemethode voor dijkeringen, Jaarrapport 1999 van project "Ontwerp- en optimalisatiemethoden voor dijkeringen"*; H.G. Voortman; Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Hydraulic and Offshore Engineering section; januari 2000

(VRIJLING, november 1996); Probabilistisch ontwerpen in de waterbouwkunde; Prof. Drs. Ir. J.K. Vrijling; Technische universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep waterbouwkunde, sectie waterbouwkunde; november 1996 (voorlopige uitgave)

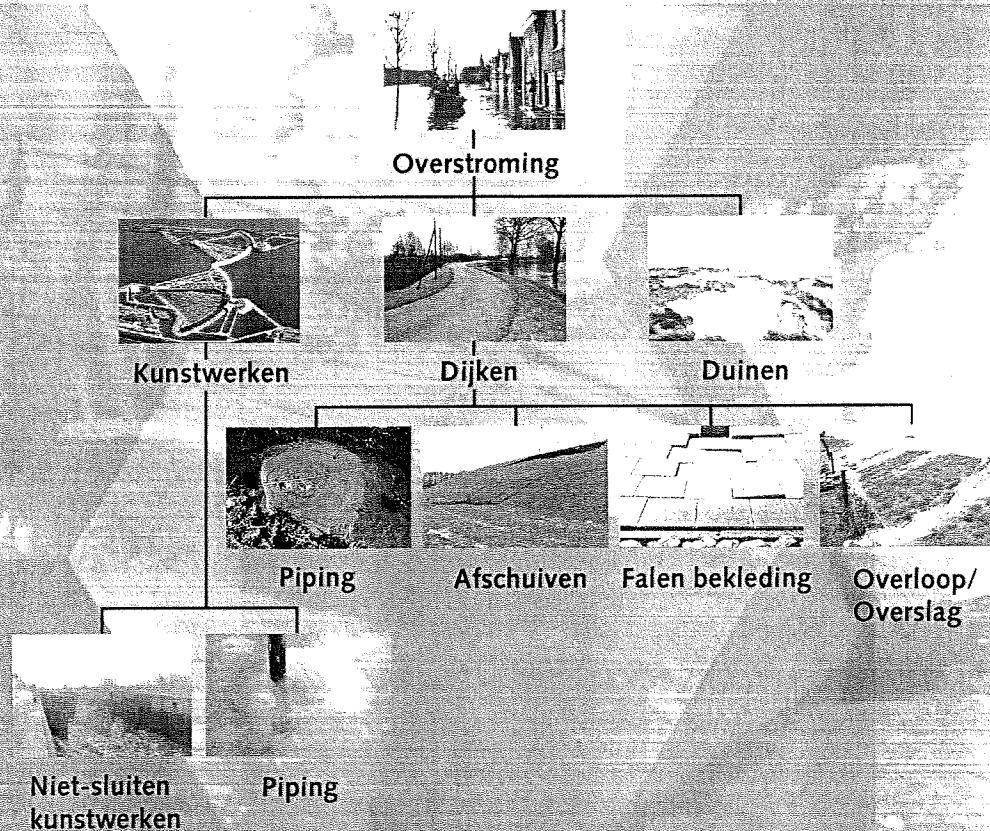
(WL, juni 1997); *Golfoploop en golfoverslag bij dijken*; J.W. van der Meer; Waterloopkundig laboratorium WL, juni 1997; Document nummer: H 2458/ H 3051.

(WOLTERS-NOORDHOF, 1996); *De Grote Bosatlas voor mavo/havo/vwo Extra: Basisstatistiek, Gemeentenkaart*; 51^e editie, tweede oplage 1996; Wolters-Noordhoff Atlasproducties, Groningen.

Bijlagenrapport

Investeren om te reduceren

Een probabilistisch model waarmee het verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie kan worden bepaald



TU Delft

Technische Universiteit Delft

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Investeren om te reduceren

Een probabilistisch model waarmee het verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie kan worden bepaald

december 2000

Bijlagerapport
W-DWW-2000-091

Investeren om te reduceren

**Een probabilistisch model waarmee het verband tussen
de investeringskosten en een overstromingskansreductie
kan worden bepaald**

december 2000

Bijlagerapport
W-DWW-2000-091

Afstudeerrapportage B.I.Thonus

Begeleiders:

Prof. Drs. Ir. J.K.Vrijling (TUDelft)

Prof. Ir. A.C.W.M.Vrouwenvelder (TNO-Bouw/TUDelft)

Ir. R.E. Jorissen (RWS-DWW)

Drs. A. Roos (RWS-DWW)

Ir. H.G. Voortman (TUDelft)

Studienummer: (9)829721

TUDelft
Delft University of Technology
Faculty of Civil Engineering and Geosciences
Hydraulic and Offshore Engineering section

Bijlage I.A Brieven staatssecretaris drs. J.M. de Vries

TAW brief aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat (30 juni 2000)

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen
secretariaat:- Johan de Wittlaan 3, Den Haag
postadres: Postbus 20906, 2500 EX DEN HAAG
tel.: 070 - 351809713519002
fax: 070 - 3518760

Aan:
de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat,
Mevrouw drs. J.M. de Vries
Postbus 20901
2500 EX DEN HAAG

contactpersoon
ir. L. van Asperen

doorkiesnummer
015-2518 442

datum
30 juni 2000

bijlage
2 (adviesrapport met
achtergrondrapport)

ons kenmerk
TAW 00.65

uw kenmerk

Onderwerp
Overstromingsrisico's

Geachte mevrouw De Vries,

In de afgelopen jaren is onder leiding van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) een methode ontwikkeld om overstromingskansen van dijkkringgebieden te berekenen. Deze methode is op bruikbaarheid getoetst in vier gebieden in Nederland. Hierbij bied ik u de resultaten aan, gebundeld in het rapport "*Van Overschrijdingskansen naar Overstromingskansen*" en het bijbehorend achtergrondrapport.

Onderzoeksprogramma 'Overstromingsrisico's; een studie naar kansen en gevolgen'

In 1992 is de TAW gestart met het onderzoeksprogramma 'Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen' (voorheen Marsroute geheten), waarvan nu de eerste bevindingen voorliggen. In de Wet op de waterkering (1996), de 4e nota Waterhuishouding (1999) en in de rijksbegroting 1999 (HXII 2.20.01) wordt reeds aan deze studie gerefereerd.

Aanleiding voor het onderzoeksprogramma ligt in het advies van de Deltacommissie (1960). Deze commissie die de grondslagen voor de huidige veiligheidsbenadering tegen overstromingen heeft ontwikkeld, merkte destijds al op dat een veiligheidsbenadering bij voorkeur gebaseerd zou moeten zijn op overstromingsrisico's. Daarbij worden kansen op en gevolgen van overstromingen in samenhang beschouwd. Tot 1992 ontbrak de kennis om hieraan verder invulling te geven, reden waarom de huidige waterkeringen worden ontworpen op grond van overschrijdingskansen van waterstanden.

Overstromingskansen versus overschrijdingskansen

Waar een overschrijdingskans een maat is voor een hoogwaterstand die een dijkvak veilig moet kunnen keren, geeft een overstromingskans de kans aan dat een gebied overstroomt door het bezwijken van één of meer waterkeringen rondom het gebied. De methode voor het bepalen van overstromingskansen onderscheidt zich van de huidige benadering op drie punten:

- de overgang van een dijkvak- naar een dijkkringbenadering, waarmee de sterkte van een dijkkring, opgebouwd uit dijken, kunstwerken en duinen, als geheel kan worden berekend.
- het gelijkwaardig rekening houden met verschillende typen faalwijzen van een dijkkring. Dit is een verschil met de huidige benadering, waarin de faalwijze overloop en overslag van water domineert.
- het vooraf, systematisch en controleerbaar verdisconteren van alle onzekerheden in de overstromingskansberekening. In de huidige benadering worden onzekerheden merendeels achteraf verdisconteerd door een extra veiligheidsmarge in te bouwen.

Eerste bevindingen toepassen methode

De methode is getoetst op vier dijkkringgebieden, te weten Centraal Holland, Groningen-Friesland, de Hoeksche Waard en de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden. Voor de testberekeningen is gebruik gemaakt van een selectie van dijkvakken en gegevens. De test laat zien dat de methode werkt. Voorts blijkt dat voor een dijkkring geldt dat de keten zo sterk is als zijn zwakste schakel. Zwakke schakels in een ring kunnen worden opgespoord, wat de mogelijkheid biedt voor een stapsgewijze verbetering van de waterkeringen, waarbij prioriteiten beter gesteld kunnen worden. Ook het effect van lacunes in onze kennis worden met deze methode zichtbaar.

Het resultaat kan worden gelezen als een actieplan voor de toekomst, omdat de berekende overstromingskans knelpunten, in volgorde van belangrijkheid, zichtbaar maakt. Zo kunnen de beschikbare middelen voor de waterkeringszorg en voor kennisontwikkeling in principe zo efficiënt mogelijk worden ingezet.

Uit de resultaten blijkt verder dat kunstwerken extra aandacht behoeven. Er is een gebrek aan kennis over de constructie van met name oudere bouwwerken en over de betrouwbaarheid van handbediening van kunstwerken. Dit gebrek aan kennis vertaalt zich in een grotere berekende overstromingskans. Kunstwerken kunnen ook feitelijk een zwakke schakel in de dijkkring zijn. Gelet op het voorgaande adviseert de TAW u om de kunstwerken op korte termijn aan een nader onderzoek te onderwerpen, zodat beter vastgesteld kan worden in hoeverre kunstwerken daadwerkelijk gevaarlijke situaties opleveren.

Daarnaast adviseert de TAW om in de komende jaren van alle 53 dijkkringgebieden in Nederland de overstromingskans te laten bepalen, zodat in alle dijkkringen de zwakke schakels kunnen worden opgespoord.

De TAW constateert dat er kennistekorten zijn, met name op het vlak van onzekerheden. Het gaat dan om onzekerheden die er zijn door de grilligheid van de natuur, modelonzekerheden en een gebrek aan meetgegevens. Het verkleinen van onzekerheden zal betekenen dat de berekende overstromingskans de werkelijke overstromingskans beter zal benaderen. De TAW is van plan hier in de komende jaren extra aandacht aan te besteden. Deze bevindingen van de commissie zullen ook doorwerken in de adviezen die de TAW uitbrengt over het onderzoeksprogramma Waterkeren van Rijkswaterstaat.

Vervolg

Met dit advies rondt de TAW de eerste fase af van het onderzoeksprogramma 'Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen'. Naast de aandacht voor de overstromingskansen van de 53 dijkkringgebieden zal de TAW de komende twee jaren samen met andere betrokkenen aandacht schenken aan de bepaling van de schade ten gevolge van een overstroming. Kennis vanuit disciplines als de economie, ruimtelijke ordening, landbouwkunde, psychologie, cultuurhistorie en natuurbeheer zal hierbij nodig zijn. In de loop van het onderzoek zal er steeds meer inzicht komen in overstromingskansen van dijkkringgebieden en mogelijke gevolgen van overstromingen. In feite zijn dan de denkstappen die de Deltacommissie - zoals

zij zelf reeds aangaf - op onvolkomen wijze in 1960 zette, volgens de nieuwste inzichten herhaald. Met die nieuwe inzichten zullen straks de kosten en baten van hoogwaterbeschermingsmaatregelen beter inzichtelijk gemaakt kunnen worden. Deze maatregelen kunnen liggen op het vlak van versterking en verhoging van de waterkering, verlaging van waterstanden en golfhoogten en beperking van gevolgen van een overstroming door technische en bestuurlijke maatregelen. Hiermee reikt de TAW kennis aan voor de steeds terugkerende politiek-maatschappelijke afweging over de gewenste bescherming tegen overstromingen. De TAW acht het haar taak om deze kennis aan te reiken ter ondersteuning van een pro-actief veiligheidsbeleid. Het resultaat van de eerste onderzoeksfase biedt inzichten, die reeds nu in de praktijk toepasbaar zijn. De resultaten van deze studie moeten overigens niet geïnterpreteerd worden als een nadere invulling van art. 3.2 van de Wet op de waterkering. In dit wetsartikel wordt gerefereerd aan de mogelijkheid om de huidige overschrijdingskansen op termijn te wijzigen in overstromingskansen. Op basis van de nu voorliggende resultaten acht de TAW zich thans nog niet in staat u te adviseren over het gebruik van de overstromingskansen als maat voor de bescherming tegen overstromingen.

Samenvattend

De TAW heeft een methode ontwikkeld voor het bepalen van overstromingskansen en met succes de bruikbaarheid getoetst op vier dijkkringgebieden. Op basis hiervan adviseert de TAW u om in een periode van twee jaar de overstromingskansen van alle 53 dijkkringgebieden te laten berekenen en de meest urgente kunstwerken aan een nadere inspectie te laten onderwerpen. Daarmee wordt het inzicht in zwakke schakels aanzienlijk verdiept en verbreed. Omdat de beheerders hiervoor gegevens beschikbaar zullen moeten stellen, adviseer ik u om hierover op korte termijn met de beheerders in overleg te treden. De TAW is tevens voornemens de komende twee jaar samen met andere betrokkenen voor heel Nederland een eerste schatting te maken van de potentiële schade van een overstroming en om meer aandacht te besteden aan onzekerheden, teneinde de berekende overstromingskansen een betere benadering te laten zijn van de werkelijke overstromingskansen.

Ik ga er vanuit u met dit adviesrapport voldoende geïnformeerd te hebben over de eerste bevindingen van de TAW van het onderzoek 'Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen'.

Hoogachtend,

ir. W. van der Kleij

Voorzitter van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

Brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de kamer (14 juli 2000)

Aan
de voorzitter van de Tweede Kamer
der Staten-Generaal
Binnenhof 4
2513 AA DEN HAAG

Contactpersoon

-

Doorkiesnummer

-

Datum

14 juli 2000

Bijlage(n)

2

Ons kenmerk

HKWIAK 200019084

Uw kenmerk

-

onderwerp

Advies van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Geachte voorzitter,

Veiligheid tegen overstromingen is speerpunt van mijn beleid. In de ontwikkeling van het veiligheidsbeleid zie ik meer en meer een pro-actieve houding ontstaan terwijl het scala aan maatregelen om de veiligheid te verbeteren dan wel de potentiële schade te beperken steeds diverser is geworden. Deze ontwikkeling is van eminent belang, ook met het oog op de verwachte effecten van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling die tijdig opgevangen moeten kunnen worden.

De waterkeringen zullen nu en in de toekomst een belangrijke rol blijven spelen in het veiligheidsbeleid, ze zijn in feite de eerste lijnszorg. Nog dit jaar zullen de meeste waterkeringen op sterkte zijn, conform de Wet op de Waterkering. In 2001 zullen ook de resultaten van de eerste 5-jaarlijkse toetsingsronde beschikbaar zijn.

Naast visie, beleidsontwikkeling, uitvoering en handhaving is er voor de vormgeving van het veiligheidsbeleid kennis nodig. In de afgelopen jaren heeft de kennisontwikkeling op het gebied van de waterkeringen niet stil gestaan. Onder leiding van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) is er een methode ontwikkeld en getest om overstromingskansen van dijkringen te berekenen. Hierbij bied ik u, conform de eerdere toezegging van mijn voorganger, de onderzoeksresultaten en de adviesbrief van de TAW aan, gebundeld in het rapport "Van Overschrijdingskans naar Overstromingskans".

Met dit onderzoek sluit de TAW de eerste fase af van het onderzoeksprogramma "Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen". In de Wet op de Waterkering (1996), de 4^e nota Waterhuishouding (1999) en in de rijksbegroting 1999 (HXII 2.20.01) wordt reeds aan dit onderzoek gerefereerd. De resultaten van deze studie moeten overigens niet geïnterpreteerd worden als een nadere invulling van art. 3.2 van de Wet op de Waterkering. In dit wetsartikel wordt gerefereerd aan de mogelijkheid om de huidige overschrijdingskansen op termijn te wijzigen in overstromingskansen. Op basis van de nu voorliggende resultaten acht de TAW zich nog niet in staat te adviseren over het gebruik van de overstromingskans als maat voor de gewenste bescherming tegen overstromingen.

De TAW constateert in haar advies dat:

- De technische mogelijkheden er zijn om overstromingskansen van een dijkkringgebied te berekenen, waarbij alle faalwijzen van waterkeringen op een gelijkwaardige manier worden beschouwd en onzekerheden vooraf, systematisch en controleerbaar in de berekening worden verdisconteerd. Dit acht de TAW een belangrijke aanvulling op de huidige veiligheidsbenadering waarin het ontwerp van een dijkvak gebaseerd is op de overschrijdingskans van de maatgevende hoogwaterstand.
- De keten zo sterk is als zijn zwakste schakel. Zwakke schakels in een dijkkring kunnen met deze methode zichtbaar gemaakt worden, waardoor stapsgewijze verbetering van de ring mogelijk wordt. Dit opent wegen om doelmatiger te investeren in de waterkeringen.
- De kunstwerken op korte termijn extra aandacht vragen. De TAW constateert dat er een kennistekort is, met name over de constructie van historische bouwwerken en over de betrouwbaarheid van (hand)bediening van een kunstwerk. Voorts is gebleken dat kunstwerken, constructief gezien, zwakke schakels kunnen zijn.
- De kennis over overstromingskansen verder dient te worden uitgebouwd, zowel in technische zin (omgaan met onzekerheden bijvoorbeeld) als wat betreft de schaal (landsdekkend onderzoek naar overstromingskansen van alle dijkringen). Voorts kondigt de TAW aan dat de volgende fase in dit onderzoeksprogramma zich specifiek zal richten op het bepalen van de gevolgen van een overstroming.

Ik heb met waardering kennis genomen van de onderzoeksresultaten en het advies van de TAW over overstromingskansen. De berekening van overstromingskansen waarbij zwakke schakels in een dijkkring zichtbaar worden, lijkt een zeer bruikbaar handvat in de praktijk van het waterkeringbeheer. De TAW constateert dat de resultaten van deze studie gelezen kunnen worden als een actieplan voor de toekomst, waarbij de beschikbare middelen efficiënter kunnen worden ingezet. Hoewel de methode en vooral de wijze waarop met onzekerheden wordt omgegaan nog afrondend onderzoek vraagt, zijn de resultaten tot nu toe veelbelovend. Vooral het feit dat het nu mogelijk is geworden zwakke schakels in een dijkkring op te sporen en te rangschikken van groot naar klein, spreekt mij zeer aan.

Ik ben voornemens om voor alle dijkringen in Nederland overstromingskansen te laten berekenen, zodat er uiterlijk in 2002 voor elke dijkkring inzicht bestaat in zwakke schakels. In combinatie met de eerste toetsingsresultaten geeft dit een stevige basis om de komende jaren de waterkeringen goed te beheren en waar nodig plaatselijk te versterken. Met het oog op de planstudie inzake Ruimte voor de Rivier verwacht ik medio 2001 al de eerste resultaten voor het rivierengebied.

De TAW heeft voorts bijzondere aandacht gevraagd voor de kunstwerken. Met name historische bouwwerken en handbediende kunstwerken lijken zwakke schakels te zijn in dijkringen. Er is in de eerste plaats sprake van een kennistekort. Het komend jaar zal ik, in overleg met de provincies en Waterschappen, starten met onderzoek hiernaar. Ook de aandacht die de TAW vraagt voor de smalle duingebieden neem ik ter harte.

De TAW stelt vast dat met deze resultaten de eerste fase van het onderzoeksprogramma "Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen" nagenoeg is afgerond. De volgende fase zal zich meer specifiek richten op het bepalen van de gevolgen van een overstroming, waardoor er zicht ontstaat op zowel de kosten als de baten van hoogwaterbeschermingsmaatregelen. De TAW constateert dat na afronding van het onderzoeksprogramma de denkstappen van de Deltacommissie (1960) volgens de nieuwste inzichten zijn herhaald. Ik onderschrijf de wenselijkheid van het voorgestelde vervolgonderzoek. Ik wil dit najaar met de TAW van gedachten wisselen over de opzet daarvan. Het advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw zal daarbij betrokken moeten worden. Ik heb de Commissie geïnformeerd over de uitkomsten van de TAW studie naar overstromingskansen.

Ik ga er van uit dat ik met uw Kamer de komende maanden meermalen in gesprek zal komen over veiligheid en de bescherming tegen overstromingen. Van die gelegenheid wil ik graag gebruik maken om met u van gedachten te wisselen over het onderzoek van de TAW. Ik zal de resultaten van het onderzoek over overstromingskansen met IPO, Unie van Waterschappen en VNG bespreken, waarbij ik ook de medewerking van hen zal vragen om zo spoedig mogelijk gegevens ter beschikking te stellen voor de berekening van overstromingskansen voor alle dijkkringgebieden in Nederland. De TAW heb ik inmiddels op de hoogte gesteld van mijn standpunt over het onderzoek "Van Overschrijdingskans naar Overstromingskans".

Hoogachtend,

DE STAATSSECRETARIS VAN VERKEER EN WATERSTAAT,

drs J.M. de Vries

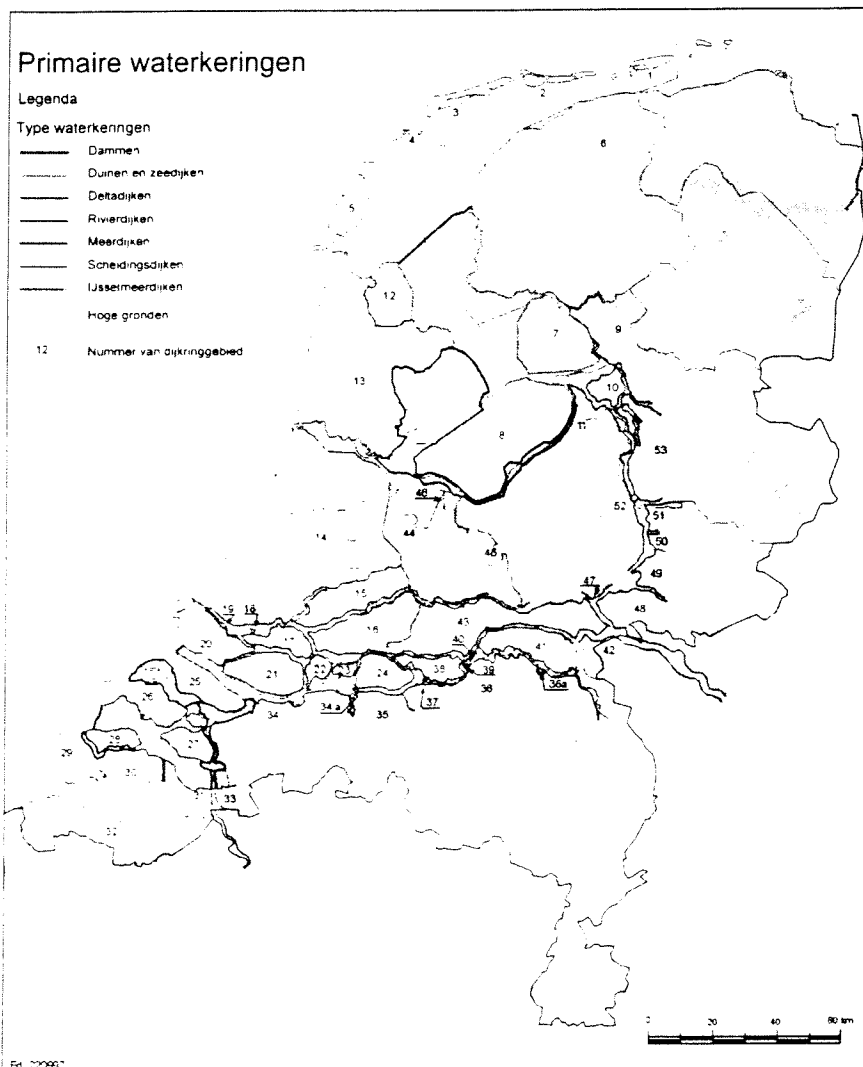
Bijlage I.B Wet op de Waterkering

Artikel 3 (lid 1 tot en met 3)

- 1 Op een bij deze wet behorende bijlage II is voor elk dijkninggebied de veiligheidsnorm aangegeven als gemiddelde overschrijdingskans – per jaar – van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
- 2 In overeenstemming met en ter vervanging van de overschrijdingskans in de zin van het eerste lid, wordt bij algemene maatregel van bestuur voor elk dijkninggebied de veiligheidsnorm nader aangegeven als de gemiddelde kans per jaar op een overstroming door het bezwijken van een primaire waterkering.
- 3 Primaire waterkeringen, niet bestemd tot directe kering van het buitenwater, moeten, zolang voor het dijkninggebied waartoe zij behoren geen veiligheidsnorm krachtens het tweede lid is vastgesteld, tenminste gelijke veiligheid bieden als op de datum van inwerkingtreding van deze wet.

Bijlage I Overzicht primaire waterkering in Nederland

Bijlage II als bedoeld in artikel 3: dijkninggebieden en veiligheidsnormen



Dijkninggebied nummer)	overschrijdingskans (gemiddeld per jaar)
1.	1/2.000
2.	1/2.000
3.	1/2.000
4.	1/2.000
5.	1/4.000
6.	1/4.000
7.	1/4.000
8.	1/4.000
9.	1/1.250
10.	1/2.000
11.	1/2.000
12.	1/4.000
13.	1/10.000
14.	1/10.000
15.	1/2.000
16.	1/2.000
17.	1/4.000
18.	1/10.000
19.	1/10.000
20.	1/4.000
21.	1/2.000
22.	1/2.000
23.	1/2.000
24.	1/2.000
25.	1/4.000
26.	1/4.000
27.	1/4.000
28.	1/4.000
29.	1/4.000
30.	1/4.000
31.	1/4.000
32.	1/4.000
33.	1/4.000
34.	1/2.000
34a	1/2.000
35.	1/2.000
36.	1/1.250
36a	1/1.250
37.	1/1.250
38.	1/1.250
39.	1/1.250
40.	1/1.250
41.	1/1.250
42.	1/1.250
43.	1/1.250
44.	1/1.250
45.	1/1.250
46.	1/1.250
47.	1/1.250
48.	1/1.250
49.	1/1.250
50.	1/1.250
51.	1/1.250
52.	1/1.250
53.	1/1.250

Bijlage I.C Resultaten SPRINT onderzoek

- Bijlage I.C.1 Dijkringgebied Groningen en Friesland
- Bijlage I.C.2 Dijkringgebied Centraal Holland
- Bijlage I.C.3 Dijkringgebied Hoeksche Waard
- Bijlage I.C.4 Dijkringgebied BTC
- Bijlage I.C.5 Overzicht A: dijkringgebieden β
- Bijlage I.C.6 Overzicht B: dijkringgebieden afwijking β

Bijlage I.C.1 Dijkringgebied Groningen en Friesland

Overzicht van de betrouwbaarheidsindices en overstromingskansen volgend uit het SPRINT onderzoek voor het dijkringgebied Groningen en Friesland.
(Hierbij is gerekend met het model 98 (PC_RING) en zijn de kunstwerken behandeld alsof ze voldoen aan de vigerende leidraden)

.....Tabel I.C.1.....

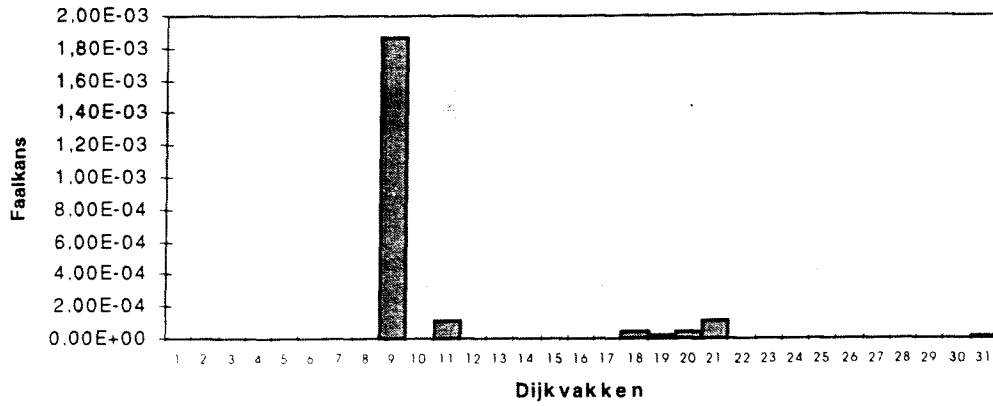
1. Overslag / Overloop
2. Afschuiven
3. Piping
4. Falen bekleding en onderliggende lagen
5. Piping bij kunstwerken
6. Niet sluiten kunstwerken
7. Duinafslag

vak	hmp	locatie	1	2	3	4	5	6	7	tot
1	4,4	Kop Afsluitdijk - Harlingen (zuid)	5,1							5,1
2	2	Harlingen (noord) - Koehool	5,1				4,5	4,5		4,4
3	11,4	Koehool - Westhoek	5,6			5,5				5,4
4	19	Westhoek - Zwarte Haan	5,2							5,2
5	20,4	Zwarte Haan - Noorderleeg	5,1				4,5	4,5		4,4
6	34,2	Noorderleeg - Westholwerdepolder	5,4							5,4
7	39	Westholwerdepolder - Opdijk Oostholwerdepolder	5,6							5,6
8	44	Opdijk Oostholwerdepolder - 't Schoor	5,1							5,1
9	49,9	't Schoor - Paesens	5,0	2,9	4,6					2,9
10	58,4	Paesens - Lauwersoog	4,5							4,5
11	63	Ommelanderzeedijk	4,7		3,7					3,7
12	55	Emmapolderdijk (west)	5,1							5,1
13	50	Emmapolderdijk (oost)	5,2			6,8				5,2
14	47	Eemshaven (west)	4,5							4,5
15	43	Eemshaven (oost)	5,1							5,1
16	35	Hoogwatum	4,9				4,5	4,5		4,4
17	27	Delfzijl (noord)	4,4							4,4
18	20	Dijk Zeehavenkanaal	3,9							3,9
19	15	Termunten	4,1							4,1
20	11	Dollardijk	3,9		5,4					3,9
21	0	Reiderwolderpolderdijk	3,7							3,7
22	30A	Kop Afsluitdijk - Makkum	5,8	6,5	6,2					5,8
23	28D	Makkum - Workum	6,4				4,5	4,5		4,4
24	27A	Workum - Hindelopen	7,1			6,5				6,5
25	25C	Hindelopen - Stavoren	7,0				4,5	4,5		4,4
26	25A	Stavoren - Roode Klif	6,8							6,8
27	24C	Roode Klif - Mirnser Klif	6,9							6,9
28	24A	Mirnser Klif - Spitsbergen	6,7							6,7
29	23D	Hooge Grazen - Zandvoorderhoek	6,2							6,2
30	22C	Zandvoorderhoek - Margrietsluis	4,8							4,8
31	20A	Margrietsluis - Lemmer	4,4				4,5			4,3
		Ring	3,6	2,9	3,7	5,5	4,2	4,2		2,9

- In onderstaande figuren worden respectievelijk weergegeven:
1. de verdeling van de overstromingskans over de dijkvakken
 2. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de dijkvakken
 3. de verdeling van de overstromingskans over de mechanismen
 4. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de mechanismen

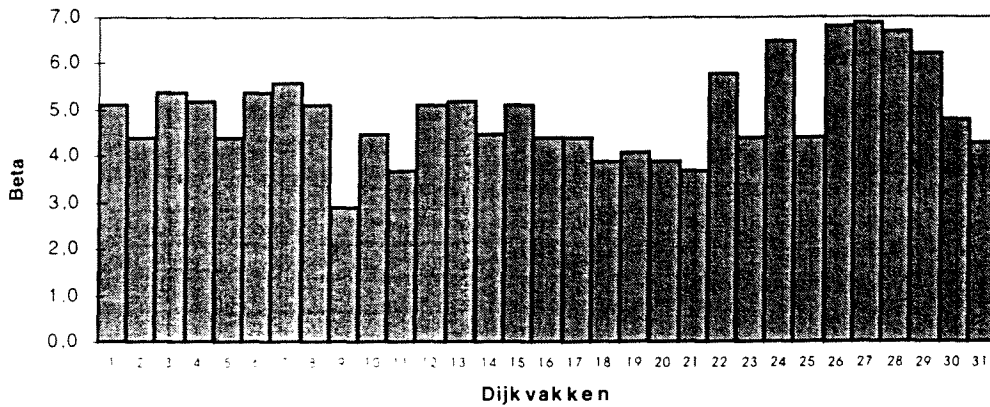
Kansverdeling over de dijkvakken

.....Figuur 1.C.1.....



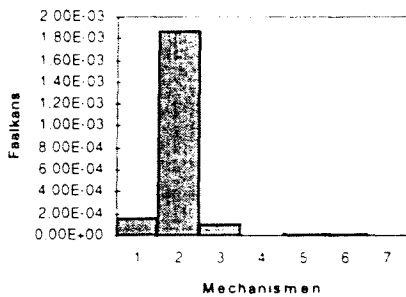
Beta-verdeling over de dijkvakken

.....Figuur 1.C.2.....



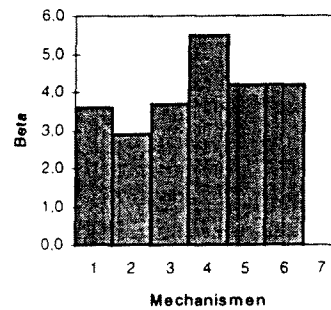
Kansverdeling over de mechanismen

.....Figuur 1.C.3.....
figuur links



Beta-verdeling over de mechanismen

.....Figuur 1.C.4.....
figuur rechts



Bijlage I.C.2 Dijkringgebied Centraal Holland

Overzicht van de betrouwbaarheidsindices en overstromingskansen volgend uit het SPRINT onderzoek voor het dijkringgebied Centraal Holland.
(Hierbij is gerekend met het model 98 (PC_RING) en zijn de kunstwerken behandeld alsof ze voldoen aan de vigerende leidraden)

.....Tabel I.C.2.....

1. Overslag / Overloop
2. Afschuiven
3. Piping
4. Falen bekleding en onderliggende lagen
5. Piping bij kunstwerken
6. Niet sluiten kunstwerken
7. Duinafslag

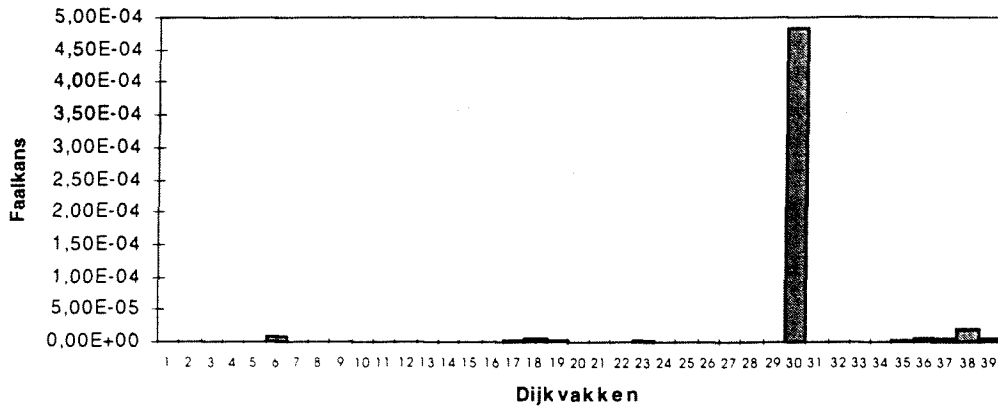
vak	locatie	1	2	3	4	5	6	7	Tot
1	hmp 51	5,0	6,6	8,2	5,7				5,0
2	Bochtafsnijding de Es	5,1							5,1
3	Honigerdijk	5,2	12,9	9,7					5,2
4	Maasboulevard	4,8			12,0				4,8
5	Westzeedijk	4,7							4,7
6	km 1002+800	4,4				4,8	4,8		4,3
7	Hudsonstraat	4,8							4,8
8	km 1006+600	4,7							4,7
9	Havendijk	4,7							4,7
10	Wilhelminahaven dp 3+50	5,0							5,0
11	Wilhelminahaven dp 4+50	5,0							5,0
12	dp 24+50	5,1							5,1
13	dp 58	5,0							5,0
14	Delflandsedijk hmp 11,2	5,3							5,3
15	Delfland dp 122	5,5				4,8	4,8		4,7
16	dp 147	5,2							5,2
17	Nw Waterweg km 1026+800	4,5							4,5
18	Nw Waterweg km 1027+900	4,4	11,4	8,1					4,4
19	Nw Waterweg km 1029+300	4,6	8,5	7,2	5,7				4,6
20	Hy hmp 85	5,4							5,4
21	Hy hmp 96,7	5,5							5,5
22	Hy hmp 110	6,2							6,2
23	Hy hmp 119,5	4,9				4,8	4,8		4,6
24	Hy hmp 139	5,9							5,9
25	Hy hmp 144	5,6			6,7				5,6
26	Hy hmp 158	5,2							5,2
27	Hy hmp 173	5,4							5,4
28	Hy hmp 188,3	5,5							5,5
29	Hy hmp 198,3	5,8					4,8		4,8
30	Hy hmp 210	5,6	6,1	3,3					3,3
31	Hy hmp 222	5,6							5,6
32	Hy dp 4 rijnland	5,0							5,0
33	Hy dp 26+5 rijnland	5,0							5,0
34	Spaarnedammerdijk		5,1						5,1
35	Katwijk					4,8	4,8		4,6
36	Duin 10807							4,4	4,4
37	Duin 1095+C68						4,8	4,4	4,4
38	Duin 11109							4,1	4,1
39	Duin 11469							4,4	4,4
	Ring	4,3	5,1	3,3	5,6	4,5	4,4	4,1	3,3

In onderstaande figuren worden respectievelijk weergegeven:

1. de verdeling van de overstromingskans over de dijkvakken
2. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de dijkvakken
3. de verdeling van de overstromingskans over de mechanismen
4. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de mechanismen

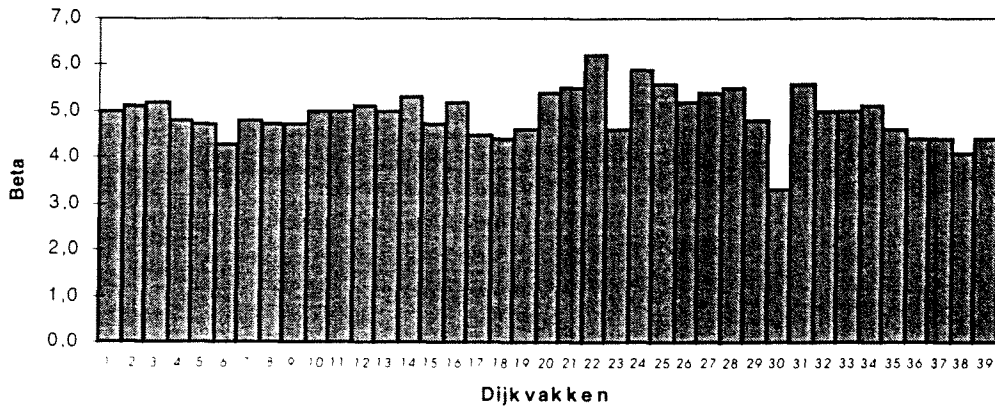
Kansverdeling over de dijkvakken

.....Figuur I.C.5.....



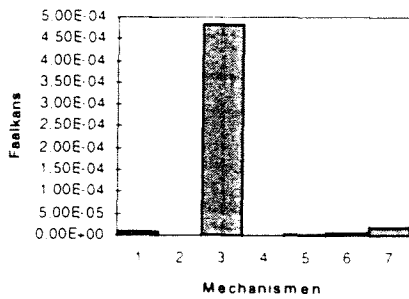
Beta-verdeling over de dijkvakken

.....Figuur I.C.6.....



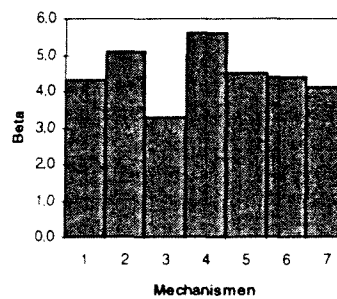
Kansverdeling over de mechanismen

.....Figuur I.C.7.....
figuur links



Beta-verdeling over de mechanismen

.....Figuur I.C.8.....
figuur rechts



Bijlage I.C.3 Dijkringgebied Hoeksche Waard

Overzicht van de betrouwbaarheidsindices en overstromingskansen volgens uit het SPRINT onderzoek voor het dijkringgebied Hoeksche Waard.
(Hierbij is gerekend met het model 98 (PC_RING) en zijn de kunstwerken behandeld alsof ze voldoen aan de vigerende leidraden)

.....Tabel I.C.3.....

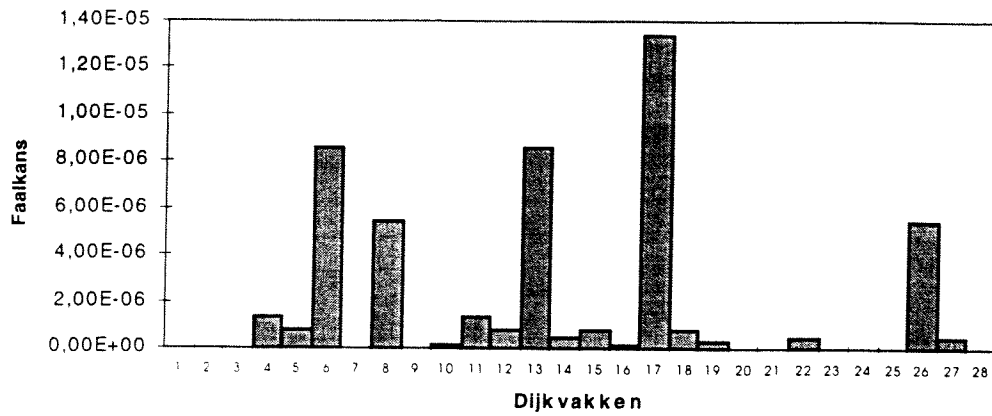
1. Overslag / Overloop
2. Afschuiven
3. Piping
4. Falen bekleding en onderliggende lagen
5. Piping bij kunstwerken
6. Niet sluiten kunstwerken
7. Duinafslag

vak hmp locatie			1	2	3	4	5	6	7	tot
1	0,1	Spuidijk (west)	5,5							5,5
2	0,4	Spuidijk (oost)	5,7							5,7
3	1,6	Bossedijk (west)	6,9							6,9
4	2,2	Bossedijk (oost)	4,7							4,7
5	3,2	Buitendijk van het dorp	4,8							4,8
6	4,3	Buitendijk van de Oud-Heinenoordse gorzen	5,2			5,9	4,4	4,4		4,3
7	4,6	Dijk van de oost- en west-zomerlanden	5,8	5,7	8,6					5,6
8	12,4	Weverseinde	6,1				4,4			4,4
9	13,2	Weverseinde / Gorretje	5,6							5,6
10	14,0	Buitendijk van het nieuveland	5,1							5,1
11	16,4	Mijldijk	4,7							4,7
12	22,2	Dijk van de Kilpolder en Beversoord	5,0	4,9	6,9					4,8
13	26,2	Dijk van de Mariapolder	5,4				4,4	4,4		4,3
14	27,4	Dijk van de Mariapolder	4,9							4,9
15	34,9	Dijk van de Hogezaandse polder	5,6	5,3	4,8	6,4				4,8
16	35,4	Dijk van de Hogezaandse polder	5,1							5,1
17	40,8	Dijk van de Westerse polder (oost)	4,5			6,0	4,4	4,4		4,2
18	43,3	Dijk van de Westerse polder (west)	4,8							4,8
19	46,8	Buiten- en Nieuwendijk van de Eendragtspolder	5,0							5,0
20	52,0	Buiten- en Nieuwendijk van de Eendragtspolder	5,7	6,7	10,5					5,7
21	54,8	Buiten- en Nieuwendijk van de Eendragtspolder	5,4			6,6				5,4
22	55,9	West- of Hollaarsdijk	4,9			6,4				4,9
23	58,8	Molendijk	5,8							5,8
24	59,2	Spuidijk van de Noordpolder van Goudswaard	5,4							5,4
25	60,8	Spuidijk van de Noordpolder van Piershil	5,4							5,4
26	62,4	Spuidijk van Klein-Piershil	5,2					4,4		4,4
27	63,6	Spuidijk van Nieuwe-Beijerland en Nieuw-Piershil	5,0	5,1	7,3					4,9
28	66,7	Spuidijk van Nieuwe-Beijerland en Nieuw-Piershil	5,6							5,6
Ring			4,5	4,8	4,8	5,8	4,1	4,1		3,9

- In onderstaande figuren worden respectievelijk weergegeven:
1. de verdeling van de overstromingskans over de dijkvakken
 2. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de dijkvakken
 3. de verdeling van de overstromingskans over de mechanismen
 4. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de mechanismen

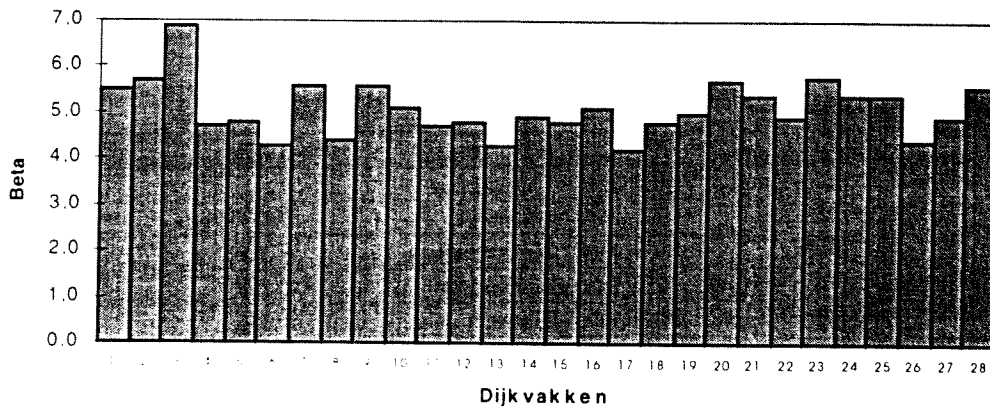
Kansverdeling over de dijkvakken

.....Figuur 1.C.9.....



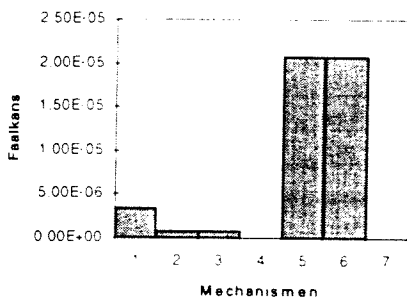
Beta-verdeling over de dijkvakken

.....Figuur 1.C.10.....



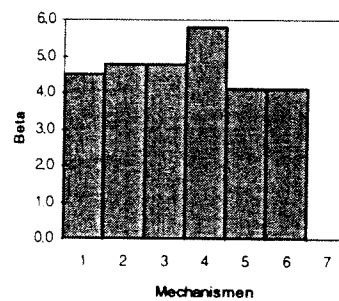
Kansverdeling over de mechanismen

.....Figuur 1.C.11.....
figuur links



Beta-verdeling over de mechanismen

.....Figuur 1.C.12.....
figuur rechts



Bijlage I.C.4 Dijkringgebied BTC

Overzicht van de betrouwbaarheidsindices en overstromingskansen volgend uit het SPRINT onderzoek voor het dijkringgebied Betuwe, Tielervwaard en Culemborgervwaard.

(Hierbij is gerekend met het model 98 (PC_RING) en zijn de kunstwerken behandeld alsof ze voldoen aan de vigerende leidraden)

.....Tabel I.C.4.....

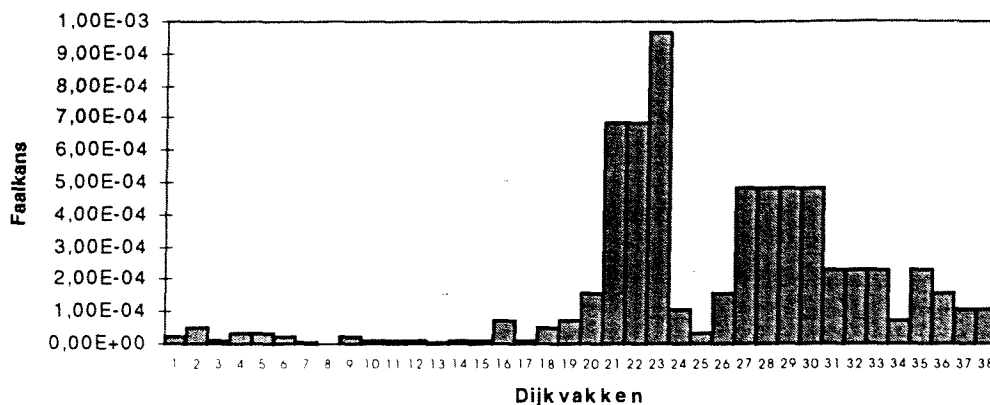
1. Overslag / Overloop
2. Afschuiven
3. Piping
4. Falen bekleding en onderliggende lagen
5. Piping bij kunstwerken
6. Niet sluiten kunstwerken
7. Duinafslag

vak	hmp	locatie	1	2	3	4	5	6	7	tot
1	33o	Angeren	4,1							4,1
2	63o	Angeren	3,9							3,9
3	76o	Het Zand	4,3							4,3
4	93o	Huissen	4,0							4,0
5	114o	IJsselkop	4,0							4,0
6	148o	Malbursedam	4,1							4,1
7	181o	Elden	4,5	4,6						4,4
8	219o	Driel	4,9							4,9
9	302o	Heteren - Lakemond	4,7				4,3	4,3		4,1
10	0n	Lakemond	4,7		4,3					4,3
11	33n	Opheusden	4,3		5,6					4,3
12	169n	Eck en Wiel	4,3		5,2					4,3
13	197n	Maurik	4,5							4,5
14	224n	Maurik - Rijswijk	4,3	4,7						4,3
15	281n	Ravenswaai	4,5							4,3
16	29	Culemborg	3,8							3,8
17	68	Millingen	4,4	4,6						4,3
18	6o	Doornenburg	3,9							3,9
19	22o	Hulhuizen	3,8							3,8
20	35o	Gendt	3,6							3,6
21	90o	Haalderen	3,2	4,3		4,5				3,2
22	178o	Oosterhout	3,2							3,2
23	203o	Brug bij Ewijk	3,1							3,1
24	26n	Dodewaard	3,7							3,7
25	80n	Eldik	4,0							4,0
26	112n	Ochten	3,6		5,1					3,6
27	125n	IJzendoorn	3,3							3,3
28	176n	Echteld	3,3							3,3
29	209n	A.R. kanaal, Tiel	3,3			15,4	4,3	4,3		3,3
30	2	Ophemertse dijk, Tiel	3,3				4,3			3,3
31	26	Passewaaij	3,5				4,3			3,5
32	61	Ophemert	3,5							3,5
33	77	Varik	3,5							3,5
34	129	Heeselt	3,8							3,8
35	167	Opijnen	3,5	4,7						3,5
36	36	Hellouw	3,6							3,6
37	358	Vuren	3,7							3,7
38	411	Dalem	3,7							3,7
		Ring	3,1	4,2	4,3	4,5	4,0	4,2		3,1

- In onderstaande figuren worden respectievelijk weergegeven:
1. de verdeling van de overstromingskans over de dijkvakken
 2. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de dijkvakken
 3. de verdeling van de overstromingskans over de mechanismen
 4. de verdeling van de betrouwbaarheidsindices over de mechanismen

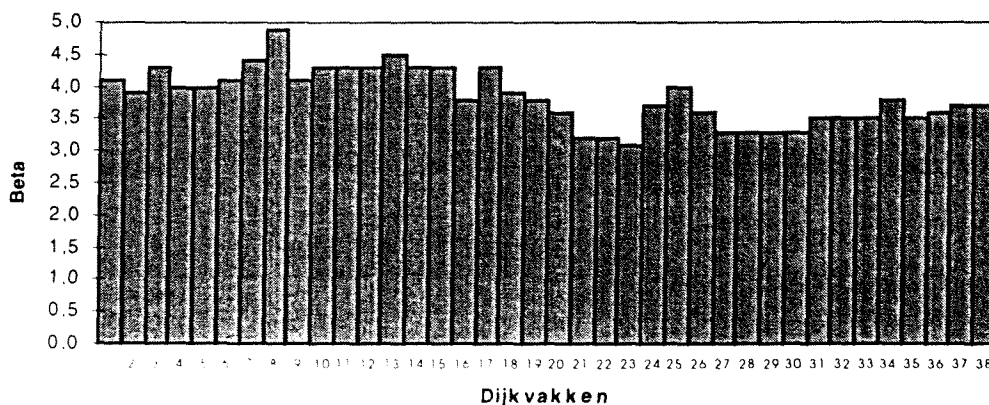
Kansverdeling over de dijkvakken

.....Figuur I.C.13.....



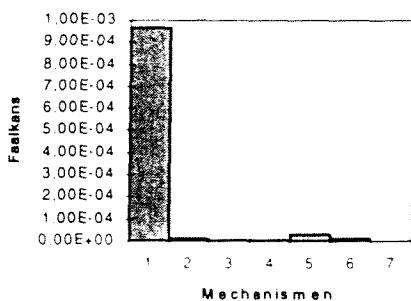
Beta-verdeling over de dijkvakken

.....Figuur I.C.14.....



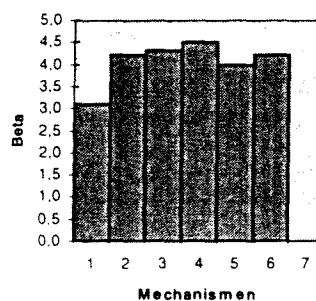
Kansverdeling over de mechanismen

.....Figuur I.C.15.....
figuur links



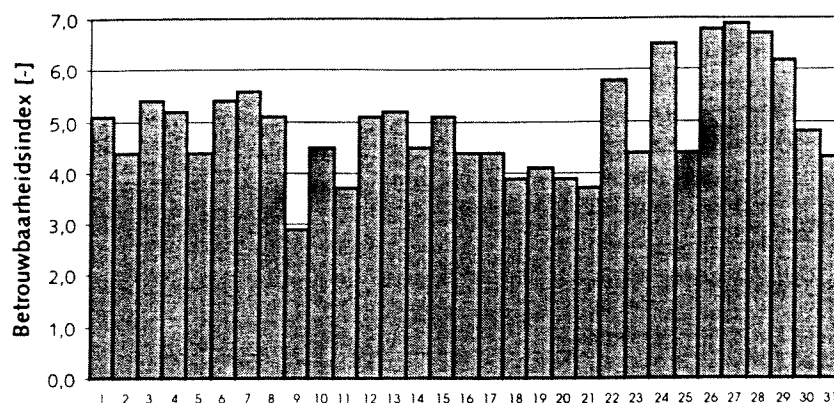
Beta-verdeling over de mechanismen

.....Figuur I.C.16.....
figuur rechts

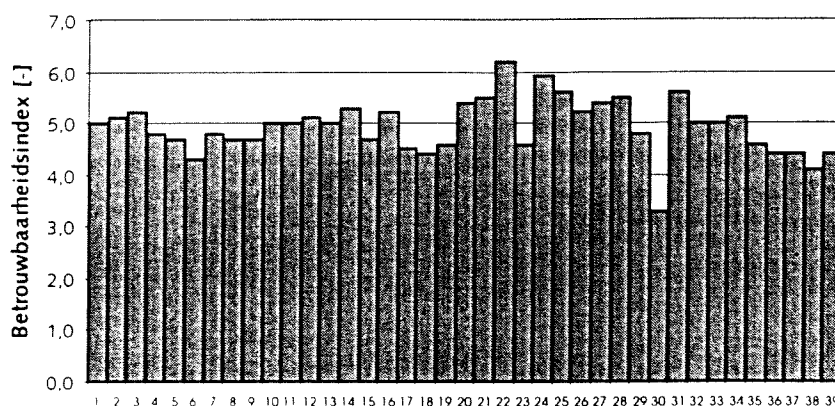


Bijlage I.C.5 Overzicht A: dijkringgebieden β

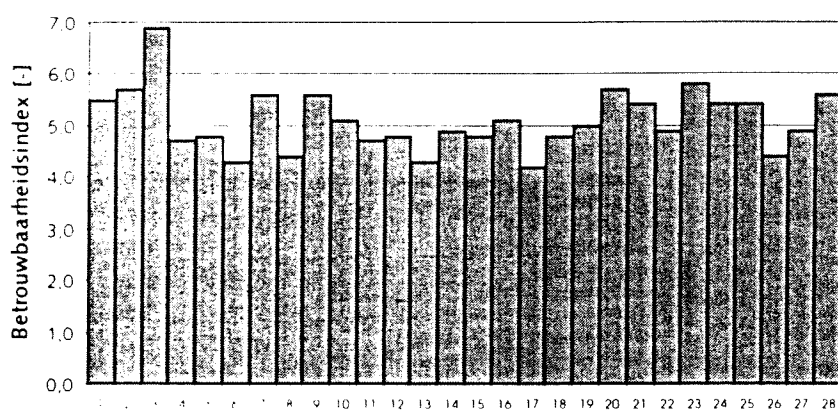
Groningen en Friesland



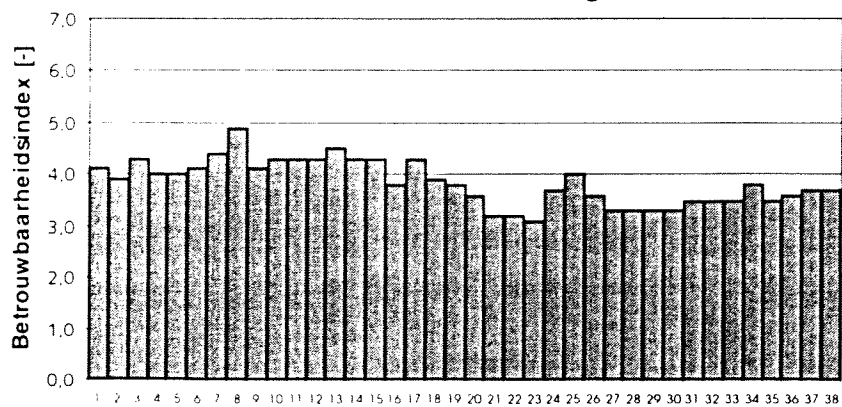
Centraal Holland



Hoeksche Waard



Betuwe, Tielerwaard en Culemborgerwaard



Bijlage I.C.6 Overzicht B: dijkringgebieden afwijking β

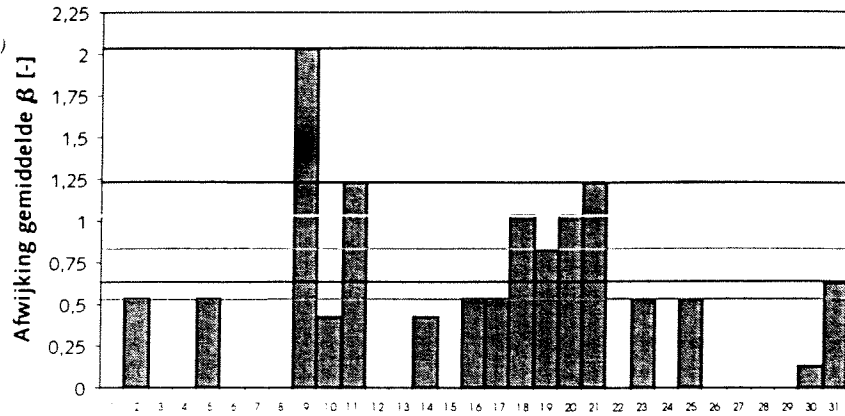
Groningen en Friesland

gemiddelde waarde $\beta = 4,929$

(komt overeen met afwijking gelijk aan nul)

- $\beta_{af} = 2,03$ nul verbeteringen
- $\beta_{af} = 1,23$ een verbeteringen
- $\beta_{af} = 1,03$ drie verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,83$ vijf verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,63$ zes verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,53$ zeven verbeteringen

daarna dertien verbeteringen voor winst



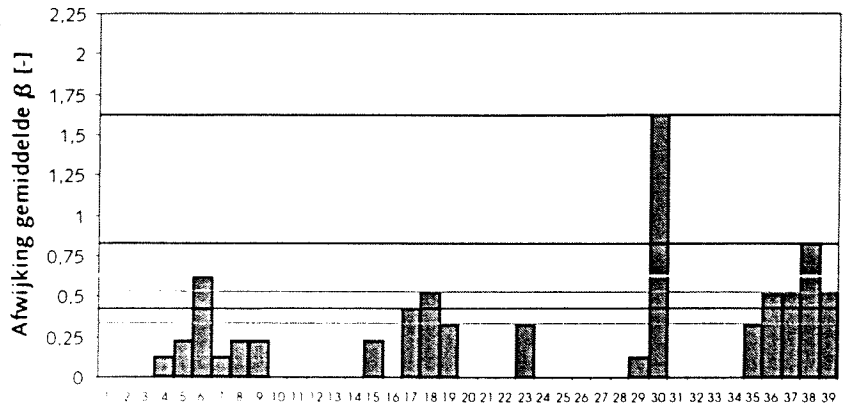
Centraal Holland

gemiddelde waarde $\beta = 4,926$

(komt overeen met afwijking gelijk aan nul)

- $\beta_{af} = 1,63$ nul verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,83$ één verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,63$ twee verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,53$ drie verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,43$ zeven verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,33$ acht verbeteringen

daarna elf verbeteringen voor winst



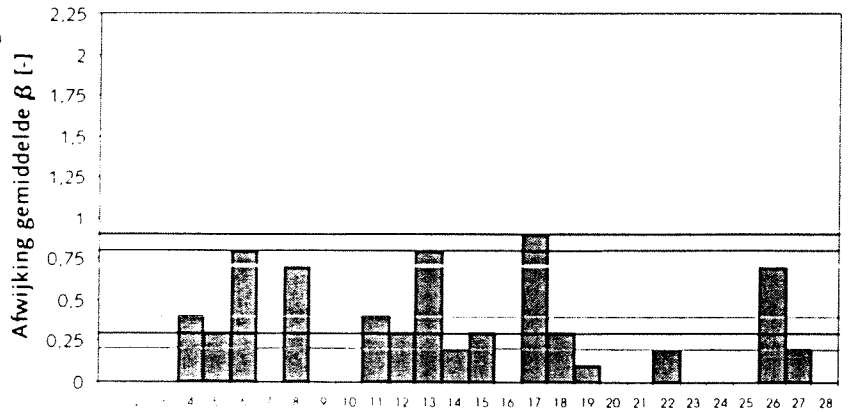
Hoeksche Waard

gemiddelde waarde $\beta = 5,096$

(komt overeen met afwijking gelijk aan nul)

- $\beta_{af} = 0,90$ nul verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,80$ één verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,70$ drie verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,40$ vijf verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,30$ zeven verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,20$ elf verbeteringen

daarna veertien verbeteringen voor winst



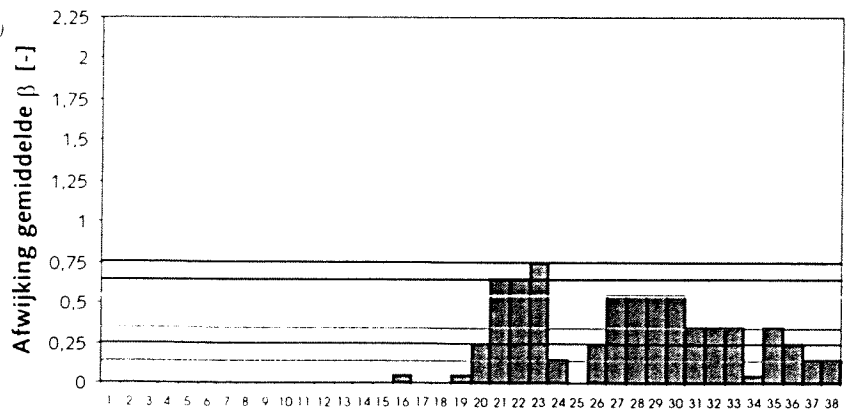
Betuwe, Tielerswaard en Culemborgerwaard

gemiddelde waarde $\beta = 3,842$

(komt overeen met afwijking gelijk aan nul)

- $\beta_{af} = 0,74$ nul verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,64$ één verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,54$ drie verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,34$ zeven verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,24$ elf verbeteringen
- $\beta_{af} = 0,14$ veertien verbeteringen

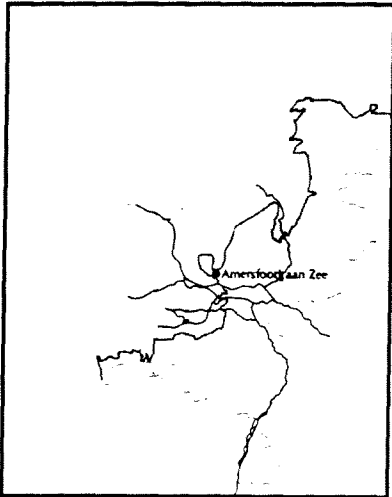
daarna zeventien verbeteringen voor winst



Bijlage I.D Uitgebreide kaderbeschrijving

- I.D.1 Inleiding
- I.D.2 Historische achtergrond
- I.D.3 Commissies
- I.D.4 Technische leidraden
- I.D.5 Wetgeving
- I.D.6 Onderzoek

I.D.1 Inleiding



.....**Figuur I.D.1**.....
Nederland zonder beschermende maatregelen
van dijken, duinen en dammen (DWW)

Hedendaagse veiligheid Nederlandse waterkeringen

Nederland, door de Fransen niet voor niets 'Les Pays Bas' (*de lage landen*) genoemd, ligt grotendeels onder de zeespiegel. Dit betekent dat zonder beschermende maatregelen van dijken, duinen en dammen, een groot gedeelte van Nederland onder water zou komen te liggen. Geen Zeeland, geen Zuid- en Noord-Holland, geen Friesland, maar slechts enkele uitstekende duinrijen zouden de huidige kustlijn kenmerken. Amersfoort zou, zonder beschermende maatregelen van dijken en duinen, een populaire kustplaats kunnen zijn. Nederlanders staan echter niet of nauwelijks stil bij het feit dat zij hun leven leiden onder de voortdurende bedreiging van overstromingen. In februari 1953 werd de bevolking, op wrede wijze herinnerd aan dit feit, toen de watersnoodramp honderden levens eiste en voor miljoenen schade aanrichtte. Vrij recent, in 1993 en 1995 beleefde de bevolking opnieuw kritieke momenten, toen Rijn en Maas grote hoeveelheden regenwater afvoerden en het water de stabiliteit van de nog niet versterkte dijken bedreigde. Een grootscheepse evacuatie werd nodig geacht om de veiligheid van de bevolking te kunnen waarborgen.

Wet op de Waterkering

Sinds 1996 is de bescherming tegen overstromingen vastgelegd in de Wet op de Waterkering, waarin gestreefd wordt naar een duurzame handhaving van de tot dusver gerealiseerde veiligheid. In deze wet worden in grote lijnen de toekomstige ontwikkelingen van de veiligheidsfilosofie met betrekking tot de waterkeringen uiteengezet. Het uitgangspunt van deze toekomstige ontwikkelingen, is vastgelegd in het Deltarapport uit 1960, wat werd opgesteld naar aanleiding van de watersnoodramp in 1953. De Deltacommissie pleitte hierin voor een meer wetenschappelijke benadering van de veiligheidsfilosofie, rekeninghoudend met de technische beperkingen.

Onderzoek

Op dit moment is men volop bezig met onderzoek naar een meer wetenschappelijke aanpak van de veiligheidsfilosofie met betrekking tot de Nederlandse waterkeringen. De voornaamste doelstelling van dit onderzoek, uitgevoerd in opdracht van de Rijkswaterstaat (*Dienst Weg- en Waterbouwkunde*) onder auspiciën van TAW (*Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen*), is te komen tot een veiligheidsbenadering gebaseerd op overstromingsrisico's. Na een aantal jaar van voorbereidend onderzoek is onlangs een advies afgegeven aan de overheid, met betrekking tot de haalbaarheid van deze overstap.

Waterkeringen

Nederland kent een uitgebreid stelsel van waterkeringen. Tot de primaire waterkeringen worden gerekend die waterkeringen, die beveiliging bieden tegen overstromingen door de Noordzee, de Waddenzee, de grote rivieren Rijn, Maas en Westerschelde, de Oosterschelde en het IJsselmeer, doordat deze ofwel behoren tot het stelsel dat een dijkkringgebied, al dan niet met hoge gronden omsluit, ofwel voor een dijkkringgebied zijn gelegen (TAW, januari 1998).

Langs de grote rivieren, de Waddenkust en het IJsselmeer bestaan de primaire waterkeringen vooral uit dijken, terwijl langs de Noordzeekust voornamelijk duinen functioneren als primaire waterkeringen. Het stelsel van primaire waterkeringen bevat ook een aantal grote dammen en bijzondere constructies, zoals de stormvloedkering in de Oosterschelde en de stormvloedkering in de Nieuwe Maas.

De veiligheidseisen die gesteld worden aan de primaire waterkeringen zijn onder meer afhankelijk van de aard van de bedreigingen en de omvang van de mogelijk schade in een gebied en worden daarom onafhankelijk per dijk-ringgebied vastgesteld. In de huidige benadering (*Wet op de Waterkering*) wordt de norm gelijkgesteld aan de overschrijdingsfrequentie van de waterstand die de dijk moet kunnen keren. Op grond van deze zogenaamde ontwerppeilen worden de constructieve eisen ten aanzien van de kerende hoogte, de stabiliteit en de bekleding afgeleid.

Voor een duurzame handhaving van de veiligheid geboden door waterkeringen is het beheer cruciaal. Het dagelijks beheer van de waterkeringen is in handen van waterschappen, welke verplicht zijn om de technische toestand van de waterkeringen te toetsen aan de geldende veiligheidseisen. De provincies fungeren als toezichthouder en het rijk als oppertoezichthouder. Het rijk is verantwoordelijk voor het opstellen en verschaffen van informatie over waterstanden, golven en andere natuurverschijnselen, die nodig is voor het ontwerp en de toetsing van de waterkeringen. Rijkswaterstaat beheert een aantal specifieke waterkeringen zoals de stormvloedkering in de Oosterschelde en doet in samenwerking met de provincies onderzoek naar toekomstige verbeteringen ten aanzien van de veiligheidsfilosofie. De TAW adviseert de minister van Verkeer en Waterstaat over de invulling van dit onderzoek.



.....**Figuur 1.D.2**.....
Door foutieve bediening of niet tijdige bediening van kunstwerken loopt de veiligheid van het achterland gevaar (DWW)

De voornaamste bedreiging van waterkeringen wordt gevormd door hoge waterstanden, maar ook weersomstandigheden, menselijke en biologische factoren kunnen de veiligheidsfunctie van waterkeringen aantasten. Het falen van een waterkering treedt op wanneer de functie, waterkeren, niet meer vervuld kan worden. De grootste bedreiging voor de duinen langs de Noordzeekust wordt gevormd door de combinatie van hoge waterstanden en golven op de Noordzee. Schade aan duinen wordt veroorzaakt door erosie en is voornamelijk afhankelijk van de stormduur. Wanneer een duin onvoldoende zand bevat, kan een doorbraak plaats vinden. De bedreigingen bij dijken en dammen worden hoofdzakelijk veroorzaakt door golfoverslag en bij extreem hoge waterstanden door golfoverloop (*huidige beeld*). De kracht van stromend (*grond*)water leidt tot de aantasting van de afmetingen van de dijk, waardoor instabiliteit kan optreden. Instabiliteit kan veroorzaakt worden door verschillende mechanismen, zoals bijvoorbeeld piping, afschuiven van binnen- of buitentalud, erosie, etc. Bij bijzondere constructies met beweegbare onderdelen gaat de grootste dreiging uit van het menselijk handelen. Door foutieve bediening of niet tijdige bediening loopt de veiligheid van het achterland gevaar.

De veiligheid van een dijkringgebied

Een dijkringgebied wordt gedefinieerd als een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van één van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan (*TAW, januari 1998*). In een dijkringgebied kan het waterkeringsysteem bestaan uit verschillende soorten waterkeringen, welke ook weer op verschillende manieren kunnen worden bedreigd, zoals al aangegeven werd in de definitie van een dijkringgebied. Een dijkringgebied wordt daarom opgedeeld in dijkvakken, waarbinnen de sterkten en belastingeigenschappen nauwelijks variëren. De veiligheid van een dijkringgebied wordt dan bepaald door de gezamenlijk veiligheid van de dijkvakken. Het falen of bezwijken van één dijkvak, kan het falen of bezwijken van de gehele dijkkring tot gevolg hebben.

Geen enkele waterkering kan absolute zekerheid garanderen. De veiligheid tegen overstromingen wordt immers altijd bepaald door natuurverschijnselen, waarvan de extreme waarden niet te voorspellen zijn.

In de nieuw te ontwikkelen veiligheidsfilosofie streeft men dan ook naar het terugbrengen van het overstromingsrisico tot een aanvaardbaar niveau. Dit niveau zou vergelijkbaar moeten zijn met risico's waar men dagelijks aan bloot staat, zoals bijvoorbeeld in de industrie en in het verkeer. Het verbeteren van de sterkte van waterkeringen gaat echter altijd gepaard met maatschappelijke offers. Onder deze offers vallen niet alleen financiële offers, maar ook offers ten aanzien van het landschap, de cultuur en de natuur. Er dient altijd een afweging gemaakt te worden ten aanzien van de te bereiken veiligheid en de offers die hieraan ten grondslag liggen.

I.D.2 Historische achtergrond

Klimaatverandering

Twee miljoen jaar geleden werd Nederland nog niet gekenmerkt door zijn lage ligging ten opzichte van de zeespiegel. Het landijs vanuit het noorden en de grote rivieren vanuit het zuiden en het oosten, voerden grote hoeveelheden klei, zand en grind aan. Nederland kwam in deze tijd steeds hoger te liggen. Ongeveer tienduizend jaar geleden liep deze ijstijd echter ten einde, hetgeen gepaard ging met grote klimatologische veranderingen. De temperatuur steeg in een relatief korte periode met een aantal graden, en de ijsmassa nam snel af. Door grote hoeveelheden smeltwater steeg de zeespiegel in kort tijd enkele tientallen meters en grote delen van Nederland liepen onder water.



.....**Figuur I.D.3**.....
Een artist impression van een van de vele overstromingsrampen die onze vaderlandse geschiedenis rijk is



.....**Figuur I.D.4**.....
De watersnoodramp van 1953 eiste 1835 mensenlevens en inundeerde 200.000 ha land (ANTONISSE, 19856)

Overstromingsrampen

In de geschreven geschiedenis van Nederland worden veel meldingen gemaakt van grote overstromingen. De oudste melding van een grote watersnoodramp dateert uit 333 na Christus, waarbij een twintigtal dorpen werd verslonden door de zee. In de dertiende en veertiende eeuw zouden respectievelijk zestien en twintig grote vloedden hebben plaatsgevonden. Zo werd in 1280 na Christus, door een overstroming tussen Groningen en Friesland, de Lauwerszee gevormd en werd Zeeland in 1288 getroffen door de St. Aagtenvloed. In de eeuwen die volgden waren overstromingen een regelmatig terugkerend fenomeen. Na een overstroming werd de schade hersteld en werd het land weer herwonnen van de zee. Soms gingen stukken land voorgoed verloren, zoals de stad Reimerswaal die in 1530 als gevolg van de St. Felixvloed voorgoed ten onder ging. De meest recente grote overstromingsramp dateert uit 1953, die bij menig Nederlander nog vers in het geheugen ligt. 1835 mensen vonden de dood en grote delen van zuidwest Nederland kwamen onder water te staan. Het water veroorzaakte voor miljoenen gulden aan schade.

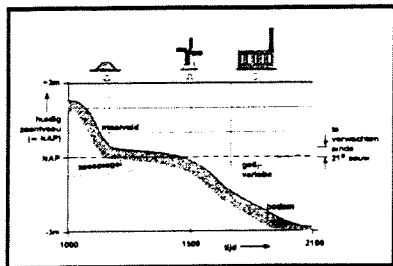
Verdediging tegen het water

De Nederlandse geschiedenis wordt regelmatig geassocieerd met het gevecht tegen het water. In eerste instantie was er echter nog geen sprake van een echte strijd tegen het water. Vluchten was meestal de enige uitkomst voor, de door het water bedreigde inwoners van ons land. Vanaf 500 voor Christus werden de eerste terpen aangelegd, waarop de verblijfplaatsen van de inwoners werden gebouwd, opdat deze in tijden van vloed droog zouden blijven. De bevolking langs de kust ging op de hoger gelegen duingebieden wonen, terwijl de bevolking langs de rivieren een veilige plek vond op de hogere oeverwallen. Door de sterke toename van de bevolking werden, naar verloop van tijd, ook de lager gelegen gebieden gebruikt voor leef- en landbouwdoel-einden. Ter bescherming van deze woon- en landbouwgebieden werden in deze tijd de eerste dijken aangelegd. In eerste instantie alleen nog als aanvulling op de natuurlijk aanwezige oeverwallen later ook voor de aanleg van droogleggingen en inpolderingen.

Gevolgen van de verdediging

In het begin van de Middeleeuwen had de zee vrij spel en traden de rivieren regelmatig buiten hun oevers. Dit had relatief weinig gevolgen, omdat de bevolking op de hoger gelegen delen leefde. De overstromingen zorgden er bovendien voor, dat op het land, slib werd afgezet, zodat de bodem, de van nature aanwezige zeespiegelstijging kon volgen. De aanleg van dijken leidde er echter toe dat afzetting van slib alleen nog maar plaats vond in de rivierbedding en het gebied voor de dijken, waardoor deze in hoogte toenamen ten opzichte van het land achter de dijken, met als gevolg dat de waterstanden in de rivieren toename ten opzichte van het achterland.

De lager gelegen landbouwgronden werden na verloop van tijd ontwaterd voor efficiënter gebruik en grote veengebieden werden ontgraven ten behoeve van brandstofgebruik en zoutwinning. Dit had grootschalige bodemdaling tot gevolg, waardoor de overstromingen steeds grotere problemen veroorzaakten. Door verbeterde afwatering van de laaggelegen gebieden, met de in gebruik name van de windmolen in eerste instantie en later de mechanische gemalen, werd het proces van bodemdaling alleen nog maar verder versneld. In de kustgebieden werd de invloed van de zee steeds groter als gevolg van de, door de gemiddelde temperatuurstijging, aangedreven zeespiegelstijging. Dit gehele proces van zeespiegelstijging, rivierwaterstandstoename en bodemdaling had tot gevolg dat de waterkeringen regelmatig verbeterd moesten worden.



.....**Figuur I.D.5**.....
Bodemdaling en zeespiegelstijging als functie van de tijd: aangegeven is wat de invloed van de verschillende technische ontwikkelingen is op de bodemdaling (DWW)

I.D.3 Commissies

Deltacommissie 1953

Vaak zijn het, rampen of bijna rampen geweest, die de aanleiding vormde voor belangrijke ontwikkelingen op waterbouwkundig gebied. Zo was de grote overstroming van 1916 de drijfveer voor de aanleg van de afsluitdijk, en vormde de watersnoodramp van 1 februari 1953 de aanleiding voor het opstellen van het Deltaplan.

Na de watersnoodramp van 1 februari 1953 werd op 18 februari 1953, door de toenmalige Minister van Verkeer en Waterstaat, de Deltacommissie geïnstalleerd. De Deltacommissie kreeg de opdracht na te gaan welke waterstaat-technische voorzieningen getroffen dienden te worden met betrekking tot de door de stormvloed geteisterde gebieden (HOUBEN et al, januari 1991). Later kreeg de commissie ook de opdracht om zich uit te spreken over de waterstanden van het overige kustgebied, die als basis voor de hoofdwaterkeringen zouden moeten dienen, en dat zij richtlijnen zou verschaffen voor verbeteringen.



.....**Figuur I.D.6**.....
De installatie van de Deltacommissie op 18 februari 1953

Uitgangspunten

Aan de basis van het onderzoek stond de opvatting dat het uitgangspunt van dijkversterking niet meer op basis van de tot dusver voorgekomen hoogste stormvloedstanden uitgevoerd diende te worden, maar dat er rekenschap gehouden moest worden met de in de toekomst te verwachte waterstanden, waarbij voor elk gebied een aannemelijk economisch en sociaal verantwoorde mate van beveiliging werd verzekerd (HOUBEN et al, januari 1991). De commissie richtte de aandacht vooral op het centrale deel van Nederland (Zuid-Holland en de aangrenzende lage gebieden van Noord-Holland en Utrecht). Dit gebied was in het verleden minder vaak getroffen door grote overstromingsrampen, maar de noodzaak van het vergroten van de veiligheid werd hier groter geacht dan elders in het land. De redenen hiervoor waren, dat er een aantal zeer zwakke plekken in de hoofdkering waren gevonden en het gebied, dat door deze kering beschermd werd, zeer laag gelegen was, vier miljoen inwoners huisvestte, plaats bood aan het regeringscentrum en een zeer belangrijke economische bedrijvigheid bezat.

Basispeil en ontwerppeilen

Voordat er plannen ter verbetering of voor de aanleg van waterkeringen opgesteld konden worden, moesten eerst de stormvloedstanden vastgesteld worden. Deze dienen immers als uitgangspunt voor de bepaling van de afmetingen van een waterkering. De Deltacommissie koos Hoek van Holland als uitgangspunt voor het onderzoek naar deze stormvloedstanden. Op basis van de gegevens van de stormvloed van 1953 en de overwegingen met betrekking tot de eigenschappen die een stormvloed beïnvloeden, zoals het astronomisch hoogwater, de windopzet, de kracht van de depressie de stormduur en bui-oscilaties, heeft de commissie een maximale stormvloedstand van 5 meter +NAP toegeschreven aan Hoek van Holland¹. Vervolgens werd een statistisch, meteorologische en mathematisch onderzoek gedaan naar de kans van optreden van deze waterstand bij Hoek van Holland. Met behulp van de tot dan toe verzamelde waterstandgegevens kon men een overschrijdingslijn opstellen, waarmee de overschrijdingsfrequentie, behorende bij een waterstand van 5 meter +NAP, te bepalen was. De overschrijdingsfrequentie behorende bij de waterstand van 5 meter +NAP bedroeg 1% per eeuw oftewel 10^{-4} per jaar. Voor verdere beschouwingen van de commissie werden deze waarden als uitgangspunt aanvaard. Vijf meter +NAP werd het basispeil genoemd en daarmee werd de overschrijdingsfrequentie van het basispeil per definitie gelijk gesteld aan 10^{-4} per jaar.

Omdat het achterland dat door de waterkeringen beschermd moest worden, vaak verschilt in omvang en karakter, heeft de commissie besloten om uit het basispeil de zogenaamde ontwerppeilen af te leiden. Heeft het achterland grote economische belangen dan kan gekozen worden voor een ontwerppeil groter dan het basispeil, heeft het achterland weinig economische belangen dan kan gekozen worden voor een lager ontwerppeil. Op deze manier wordt het basispeil gecorrigeerd met zogenaamde economische reductiefactoren.

Econometrische analyse

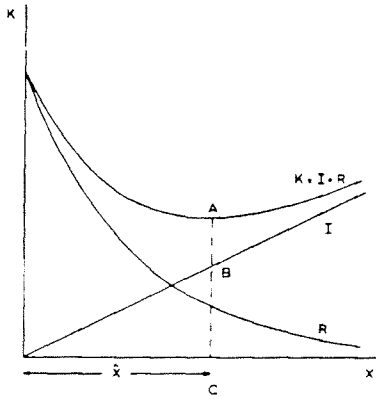
Behalve langs bovenstaande weg heeft de commissie ook getracht ontwerppeilen vast te stellen met behulp van econometrische berekeningen. Ingenieur Dantzig heeft, in opdracht van de Deltacommissie, een econometrische beschouwing opgesteld van Centraal Holland. In deze beschouwing worden de kosten voor de aanleg van een dijkverhoging (bestaande uit initiatiekosten en variabele kosten als functie van de kruinhoogte) vergeleken met de contante waarde van het risico (het risico is gelijk aan de te verwachte rampschade vermenigvuldigd met de kans op inundatie en dus ook afhankelijk van de kruinhoogte). De totale kosten bestaan dan uit de som van de kosten voor een dijkverhoging en de contante waarde van het verzekerde risico. Wanneer deze grootheden worden weergegeven in een grafiek als functie van de kruinhoogte, kan men de optimale kruinhoogte bepalen (het punt waar de totale kosten minimaal zijn).

Het econometrisch optimale punt voor Centraal Holland lag volgens deze beschouwing op 5,85 meter +NAP² met een bijbehorende overschrijdingsfrequentie van eens in de 125.000 jaar oftewel $8 \cdot 10^{-6}$.

Definitie veiligheidsnorm

Uiteindelijk koos de Deltacommissie toch voor de eerste benadering, waarbij een basispeil met reductiefactoren werd aanbevolen. De redenen lagen in het feit dat de econometrische beschouwing afhankelijk was van tal van onzekerheden. Het voornaamste probleem was dat er onvoldoende inzichten waren in de bezwijkmechanismen, die de kans op doorbreken van een dijk zouden bepalen en dat het effect van compartimering in een dijkkringgebied op de schade onbekend was.

.....Toelichting¹.....
De stormvloed die bereikt werd bij de watersnoodramp van 1953 bedroeg 3,85 m +NAP



Figuur 3.1.1 Totale kosten K bij dijkverhoging met x meter

.....Figuur 1.D.7.....
De optimale dijkhoogte in een econometrische beschouwing (Deltacommissie, 1960)

.....Toelichting².....
Bij de schaderaming werd alleen de economische schade meegenomen en niet de schade als gevolg van verlies van mensenlevens

De definitie van de veiligheidsnorm werd in de Deltawet als volgt weergegeven (DELTA COMMISSIE, 1960):

Bij een waterstand, gelijk aan het ontwerppeil, dient de waterkering nog de 'volledige veiligheid' tegen doorbreken te bezitten.

Het ontwerppeil is gelijk aan het basispeil minus de economische reductie, die varieert over het land.

.....Tabel I.D.1.....

- (1) overschrijdingsfrequentie expliciet vermeld
- (2) overschrijdingsfrequentie afgeleid met behulp van economische reductiefactoren
- (3) het basispeil in HvH

Kustgebied	Economische reductiefactor [m]	Overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil [/jaar]
Zeeland, Zuid-Hollandse eilanden en Texel	0,3	1/4.000 (1)
HvH tot Den Helder	0,0	1/10.000 (3)
Den Helder tot A'dijk	0,4	1/2.700 (2)
Afsluitdijk	0,6	1/1.430 (2)
Friesland	0,2 a 0,3	1/4.000 (1)
Groningen	0,2	1/4.000 (1)
Overige waddeneilanden	0,5	1/1700 a 1/2.000 (2)

Het begrip 'volledig veilig' werd verder uitgewerkt in ontwerpregels, waarbij een marge diende te worden aangehouden in verband met onzekerheden in onder andere de waterstanden, golfaanval, grond- en materiaaleigenschappen en het gedrag van waterkerende constructies.

.....Toelichting¹.....

- de waarde van 2 en 3 samen wordt de minimale waakhogte genoemd
- de waarde van 4 en 5 samen wordt de overhoogte genoemd
- de totale waakhogte bestaat uit de sommatie van de minimale waakhogte en overhoogte

De ontwerpregel voor de aanleghoogte werd als volgt voorgesteld:

De aanleghoogte moet gelijk zijn aan de som van:

1. het ontwerppeil, volgend uit het basispeil en de economische reductiefactoren
2. de 2%-golfoploopregel
3. een toeslag voor buistoten en bui-oscillaties (richtgetallen)
4. de NAP-daling gedurende de planperiode
5. de kruindaling gedurende de planperiode¹

Commissie Becht 1977

In 1977 werd de commissie Rivierdijken (commissie Becht) ingesteld als reactie op de maatschappelijke weerstand tegen de dijkverhogingen in het (boven) rivierengebied. De bevindingen van de Deltacommissie (1960) waren eigenlijk alleen van toepassing op de dijken in het gebied dat beïnvloed werd door de zee. Voor het bovenrivierengebied werd daarom in 1972 op basis van de bevindingen van de Deltacommissie, de zogenaamde Gelderse richtlijn opgesteld. De richtlijn kwam neer op het feit, dat de dijken zo ontworpen moesten worden dat ze bestand waren tegen een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/3.000 per jaar².

.....Toelichting².....

Een overschrijdingsfrequentie van 1/3.000 per jaar komt overeen met een afvoer van 18.000 m³/s in Lobith

Verzachtende maatregelen

De commissie Becht achtte echter een kleinere veiligheid toelaatbaar. De 'verzachtende omstandigheden' in het rivierengebied ten opzichte van de kust werden gezien in het feit dat:

- in het rivierengebied de dreiging van golfaanval ontbreekt;
- de gevolgen van een overstroming met zout water veel ernstiger zouden zijn dan de gevolgen van een overstroming met zoet water;
- een hoogwater op de rivieren veel beter te voorspellen is dan een hoogwater op zee;
- het landelijke karakter van het rivierengebied tot een kleinere schade leidt dan bij een overstroming van het economische industriële Centraal Holland;
- er in het rivierengebied geen getij invloed merkbaar is, zodat het uitschuren van gaten in dijk beperkt blijft.



.....**Figuur I.D.8**.....
*LNC-waarden in het riviergebied staan voor
 landschap-, natuur- en cultuurwaarden
 (DWW)*

Aanbevelingen

Aan de hand van bovenstaande overwegingen heeft de commissie Becht de aanbeveling gedaan, de rivierdijken in het bovenrivierengebied te ontwerpen op een Rijnafoer bij Lobith van $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afvoer heeft een overschrijdingsfrequentie van 1/1.250 per jaar. Tevens stelde de commissie dat bij het ontwerp en de uitvoering van rivierdijken, de nodige zorgvuldigheid diende te worden betracht met betrekking tot de in het rivierengebied aanwezige landschappelijke, natuurwetenschappelijke en cultuurtechnische waarden. De commissie pleitte voor een 'uitgekiend ontwerp' van dijkversterkingen, waarin werd gekozen voor een zorgvuldige omgang met de LNC-waarden en een zo gering mogelijk ruimtebeslag om milieuwaarden te sparen. Bij het ontwerp moest zo nodig gebruik gemaakt worden van bijzondere constructies om de LNC-waarden te waarborgen.

I.D.4 Technische leidraden

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel I 1985

Om te komen tot de uitgekiende ontwerpen die voorgesteld werden door de commissie Becht in 1977, werd het noodzakelijk geacht de aanwezige, maar wijd verspreid voorkomende kennis te bundelen en te operationaliseren. De minister van Verkeer en Waterstaat heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) verzocht een leidraad op te stellen, om deze kennis te bundelen. De nieuwe leidraad werd primair gericht op het ontwerpen van rivierdijkverbeteringen voor het bovenrivierengebied.

Er werd bewust gekozen voor een tweedeling van de leidraden omdat voor het ontwerpen van dijken duidelijke verschillen zijn tussen het bovenrivierengebied en het benedenrivierengebied. De belangrijkste verschillen bevinden zich in de hydraulische en grondmechanische randvoorwaarden:

- verschillen in overschrijdingsfrequenties en ontwerpwaterstanden;
- verschillen in richting en grootte van de in rekening te brengen windsnelheid bij ontwerpomstandigheden;
- het meer of minder ontwikkelen van hoge waterstanden in de grond, afhankelijk van de snelheid van rivierwaterstandstijging of -daling en van de geologische opbouw van de ondergrond;
- verschillen in schadefactoren in grondmechanische berekeningen, afhankelijk van de nagestreefde veiligheid.

Uitgangspunten

De aanbevelingen van de commissie Becht vormden het uitgangspunt voor deze nieuwe leidraad. De dijken in het bovenrivierengebied moesten voortaan ontworpen worden op een overschrijdingsfrequentie van 1/1.250 per jaar, wat overeenkomt met een Rijnafoer bij Lobith van $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$. Hierbij diende echter rekening gehouden te worden met nieuwe inzichten:

- de waterstanden bij de gegeven afvoer zijn niet exact, maar bevatten een zekere spreiding;
- de belastingen op de dijk worden niet alleen bepaald door de waterstand maar ook door andere verschijnselen (bv golfaanval);
- er moeten veiligheidsmarges worden aangehouden omdat de ontwerpen en uitvoeringstechnieken geen honderd procent garantie geven voor sterkte en stabiliteit.

Definitie ontwerpeis

Op grond van de bovenstaande overwegingen zijn de volgende ontwerpeisen opgesteld:

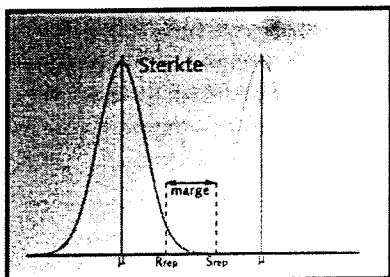
- de dijkhoogte moet gelijk zijn aan de maatgevende hoogwaterstand, vermeerderd met een zekere waakhoogte¹;

.....**Toelichting¹**.....
*De waakhoogte werd in eerste instantie
 bepaald met behulp van het 2%-golfloop-
 criterium. Later werd deze regel vervangen
 door een nieuwe regel, die een limietwaarde
 geeft voor de hoeveelheid overslaand water*

.....**Toelichting**¹.....
 Dit is een veiligheidsbenadering op vakniveau. De wind werd echter al op ringniveau benaderd door de invoering van een windroos. (zie verder)

- de hoogte en de constructie van de dijk moeten voldoen aan de voorwaarde dat in een dijkkringgebied de kans op doorbraak door golfoverslag, gezien over alle hoogwatertoppen beneden MHW (maatgevend Hoog Water), niet meer bedraagt dan 10% van de kans dat MHW wordt overschreden¹;
- bij waterstanden gelijk of lager dan MHW dient de kans op een doorbraak door andere oorzaken, zoals afschuiving of interne erosie, verwaarloosbaar klein zijn.

Het dijkprofiel werd vervolgens bepaald aan de hand van stabiliteiteisen.



.....**Figuur I.D.9**.....
 Een kansverdeling van sterkte en belasting
 (Bart Thonus)

Semi-probabilistische benadering

Bij de beoordeling van de veiligheid wordt de sterkte (R) vergeleken met de belasting (S). Wanneer de belastingen en de sterkte exact te bepalen zijn, geldt dat bezwijken uitblijft wanneer $S > R$. Wanneer er echter geen exacte bepaling van S en R mogelijk is, omdat er bijvoorbeeld natuurlijke variaties bestaan, dan moet er rekening gehouden worden met onzekerheden. S en R worden dan stochastische grootheden en krijgen een kansverdeling. Falen treedt op wanneer R groter is dan S. Het ontwerp moet nu zo gekozen worden dat de kansverdelingen van S en R zover mogelijk uit elkaar liggen, zodat de kans op bezwijken acceptabel wordt. Dit is een zogenaamde niveau I (semi-probabilistische) benadering, waarbij ontwerpwaarden voor belasting en sterkte afgeleid worden uit representatieve (karakteristieke) waarden met behulp van partiële veiligheidsfactoren. Deze representatieve waarden geven de kansverdeling beter weer dan de gemiddelde waarden, en worden bepaald aan de hand van een statistische analyse².

.....**Verwijzing**².....
 Zie ook bijlage II.O Literatuuronderzoek:
 Probabilistische rekentechnieken

Definitie veiligheidsnorm

De definitie van de veiligheidsnorm werd in de leidraad als volgt weergegeven (TAW, september 1985): *De dijken in het bovenrivierengebied dienen waterstanden behorende bij een maatgevende Rijnafvoer bij Lobith van $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$ te kunnen keren. Deze afvoer heeft een overschrijdingsfrequentie van ongeveer 1/1.250 per jaar.*

Deze ontwerpwijze staat tegenwoordig bekend als de 'overbelastingsbenadering' per dijkvak. De term 'overbelastingsbenadering' geeft aan dat de mate van veiligheid is gekoppeld aan de kans op overschrijding van een toelaatbaar geachte hydraulische belasting voor het mechanisme overloop en overslag. De term 'dijkvak' geeft aan dat het ontwerp betrekking heeft op het niveau van een dijkvak, dat wil zeggen een sectie van de waterkering met uniforme eigenschappen en omstandigheden.

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel II 1989

Deze Leidraad werd in eerste instantie gezien als aanvulling op het reeds eerder uitgebrachte eerste deel, maar dan toegespitst op het benedenrivierengebied. Deze Leidraad werd echter ook meteen gebruikt ter voorbereiding op de overstap naar een nieuwe veiligheidsbenadering, de zogenaamde 'overbelastingsbenadering per dijkkringgebied'. Deze methode werd gezien als een logische tussenstap naar het uiteindelijke doel: 'een risicoanalyse waarin alle betrokken factoren in rekening worden gebracht, en die resulteert in de bepaling van een overstromingskans voor een gehele dijkkring'.

Overbelastingsbenadering per dijkkring

In een 'overbelastingsbenadering per dijkkringgebied' gaat het om de kans dat er ergens langs een dijkkring meer water over de dijk slaat dan een toelaatbaar geacht overslagdebiet. Dit is niet noodzakelijkerwijs dezelfde kans als de kans volgend uit een overbelastingsbenadering per dijkvak.

Langs een dijkvak heersen uniforme omstandigheden terwijl de omstandigheden langs een dijkkring vaak variëren als gevolg van een verschillende ligging ten opzichte van de wind of als gevolg van het feit dat een dijkkring zowel door hoge rivierwaterstanden als hoge zeestanden wordt belast. Met deze benadering werd het mogelijk om een meer evenwichtiger dijkontwerp te maken, omdat de dijken in onderlinge samenhang ontworpen konden worden. Het werd mogelijk om versterkingsscenario's op te stellen met een minimale schade aan gevestigde belangen en die toch de beoogde verbetering in de veiligheid opleverde.

In de dijkkringbenadering worden de dijkvakken als een seriesysteem aaneengeschakeld en daardoor zal ten gevolge van het lengte-effect van de belastingen, de overbelastingfrequentie van de dijkkring altijd groter zijn dan de ontwerp-frequenties van de afzonderlijke dijkvakken. Om dit verschil te compenseren werd een verruiming in de overslagnormen voorgesteld. Er werd overgestapt van het 2% -golfploopcriterium naar een maximaal toelaatbaar overslagdebiet.

Definitie veiligheidsnorm

In de leidraad werd de volgende definitie van de veiligheidsnorm gehanteerd: *Voor iedere dijk wordt, gerelateerd aan de constructie van kruin en binnentalud, een maximale hoeveelheid overslaand water of golven bepaald. Volgens dienen de kruinhoogten zo bepaald te worden dat de frequentie waarmee ergens langs de dijkkring overbelasting optreedt, kleiner of gelijk is aan de door de wet aangegeven dijkkringfrequentie¹ (TAW, oktober 1989).*

.....*Toelichting*¹.....
De dijkkringfrequentie werd gelijk gesteld aan de overschrijdingsfrequenties van de ontwerppeilen volgens de Deltawet

Continuïteit

Uit proefberekeningen bleek dat de, volgens de nieuwe benadering berekende dijklichamen gemiddeld nagenoeg gelijk bleven aan de berekende dijklichamen volgens de oude methode, zodat in hoofdlijnen werd voldaan aan de continuïteit van het dijkversterkingsbeleid.

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 (appendices)

De tot nu toe besproken rekenregels en veiligheidsbenaderingen voor het ontwerp van waterkeringen zijn gebaseerd op hydraulische omstandigheden (*overschrijdingsfrequentie van een ontwerppeil*). Er zijn echter ook andere omstandigheden die kunnen leiden tot het falen van dijklichaam. In de appendices wordt een voorbereidend verhaal weergegeven ten aanzien van de overstap naar een inundatiebenadering voor dijkkringgebieden, waarin alle factoren, die leiden tot falen van dijkkring, worden meegenomen.

Tekortkomingen overbelastingsbenadering

In de overbelastingsbenadering werden de volgende tekortkomingen gesignaleerd:

- de verschillende vakken of trajecten van een dijkkring geven niet a-priori eenzelfde mate van veiligheid;
- per dijkvak is geen sprake van een evenwichtig ontwerp ten aanzien van de verschillende bezwijkmechanismen (*het is niet bekend welk mechanisme de grootste bijdrage geeft aan de kans op falen van het dijkvak*);
- de totale lengte van de dijkkring heeft op enkele uitzonderingen na geen invloed op het ontwerp per dijkvak;
- de omvang van de schade heeft geen invloed op het dijkontwerp;
- de werkelijke inundatiekans van het door een dijkkring beschermde gebied is niet bekend.

Inundatierisico

Om een dijkringgebied te kunnen beoordelen op eisen van veiligheid en economie, moet een risicoanalyse worden uitgevoerd. Een risicoanalyse wordt gedefinieerd als de verzameling van activiteiten gericht op het kwantificeren van de kans op optreden van een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen van het optreden van die gebeurtenis. (*risico = kans x gevolg*) De verschillende onzekerheden worden dan uitgedrukt in termen van waarschijnlijkheid. Eén van de voordelen bij zo'n benadering is dat er inzicht wordt verkregen in de gevoeligheid van de faalkans van het systeem voor de diverse onzekerheden. In de appendices werd echter niet meteen de stap gemaakt naar een risicobenadering, maar is volstaan met een kansbenadering, waarbij de schade in alle studies gelijk werd gesteld aan het totaal geïnvesteerde vermogen.

faalmechanismen

In de inundatiekansbenadering gaat het om de kans dat ergens in het dijk-ringgebied falen optreedt. Onder falen wordt hier verstaan het verlies van de belangrijkste functie, het keren van water. Falen kan optreden als gevolg van verschillende faalmechanismen:

.....Tabel 1.D.2.....
Faalmechanismen

overloop	zetting
overslag	afschuiven van het buitentalud
afschuiven van het binnentalud	coupures
micro-instabiliteit	kruierend ijs
piping	aanvaringen
pijpleidingen	erosie van het buitentalud
bebouwing, beplanting	erosie van het voorland

Definitie veiligheidsnorm

De veiligheidsnorm kan worden afgeleid uit een individueel geaccepteerd risiconiveau, het maatschappelijk geaccepteerd (*groeps*)risico of een econometrische beschouwing, waarin mensenlevens in geld worden uitgedrukt. *Individueel geaccepteerd risiconiveau*: nieuwe bedreigingen van welke aard dan ook mogen ten aanzien van het individueel risico niet leiden tot een merkbare verhoging (10-100%) van de kans op overlijden. *Maatschappelijk geaccepteerd (groeps)risico*: het aantal slachtoffers per tijdsperiode moet met grote betrouwbaarheid onder een bepaalde waarde blijven. (*een meer dan evenredige afname van de faalkans met het aantal slachtoffers*)

Hetgeen beschreven staat in de appendices van de leidraad was nog niet voldoende geaccepteerd (*in 1989*) om opgenomen te worden als ontwerpтекст. Nader onderzoek moest uitwijzen of het mogelijk was de overstap te maken van de overbelastingsbenadering naar een overstromingsrisicobenadering.

Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen 1984

De beoordeling van de veiligheid van de duinen is gebaseerd op de eerste bevindingen uit 'Richtlijn voor de berekening van duinafslag ten gevolge van een stormvloed', welke was opgesteld door de TAW in 1972. In combinatie met nieuwe inzichten is deze kennis gecombineerd tot een nieuwe leidraad. In de leidraad wordt de ligging van het duinprofiel getoetst aan de ligging van het grensprofiel. Het grensprofiel is dat profiel dat geen reserve veiligheid meer heeft en de situatie weergeeft van juist niet doorbreken. Wanneer landwaarts niet meer dan het grensprofiel aanwezig is, voldoet het betreffende profiel niet meer aan de gestelde veiligheidsnorm (TAW, 1984).

Definitie veiligheidsnorm

Bij het bereiken van het ontwerppeil dient er nog een 'volledige veiligheid' tegen bezwijken aanwezig te zijn. Dit houdt in dat de bezwikkans een factor 10 kleiner moet zijn dan de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil. Dit houdt in dat de bezwijkfrequentie van duin ligt bij 10^{-5} per jaar.

Leidraad waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies 1997

In deze leidraad, ter vervanging van 'de leidraad voor het ontwerp, beheer en onderhoud van constructies en vreemde objecten in, op en nabij waterkeringen' wordt de veiligheid van kunstwerken en bijzondere constructies behandeld. De leidraad richt zich op de beoordeling van het waterkerend vermogen van kunstwerken en bijzondere constructies. De eisen die aan het waterkerend vermogen gesteld worden, zijn afgeleid uit de overbelastingsbenadering per dijkvak (een kunstwerk wordt gezien als een apart dijkvak). Het gewenste veiligheidsniveau wordt bepaald door de overschrijdingsfrequentie per jaar van de hoogwaterstand, waarop de waterkering moet zijn berekend.

Definitie veiligheidsnorm

Indien het overslagdebiet terechtkomt op een onverdedigd binnentalud van de waterkering komt het toelaatbaar overslagdebiet tijdens maatgevende omstandigheden overeen met de bepaling in de leidraad Rivierdijken. Indien het overslagdebiet terechtkomt in een waterbassin en indien voorzieningen zijn getroffen zodat het kunstwerk en de aansluitingen een groter debiet kunnen verwerken, wordt het toelaatbaar overslagdebiet bepaalde door de beschikbare komberging en door het verloop van de waterstand tijdens hoogwater.

De kans op niet sluiten van de kering mag maximaal 0,1 maal de normfrequentie bedragen en de kans op verlies van sterkte en stabiliteit dient een orde kleiner te zijn dan de kans op niet sluiten van een kering en dus 0,01 maal de normfrequentie (TAW, juni 1997).

I.D.5 Wetgeving

Wet op de Waterkering 1996

De Wet op de Waterkering werd in het leven geroepen om na het gereedkomen van de Deltawerken en de rivierdijkversterkingen de verworven veiligheid en de handhaving daarvan, een wettelijke basis te geven. De wet heeft betrekking op alle, door hoogwater bedreigde gebieden in Nederland. Deze gebieden zijn ingedeeld in 53 dijkvakken¹. De wet geldt alleen voor de primaire waterkeringen in ons land.

Definitie veiligheidsnorm

De veiligheidsnorm werd als volgt gedefinieerd: Voor elk dijkkringgebied is de overschrijdingskans (per jaar) van de hoogste hoogwaterstand vastgesteld waarop de, tot directe kering van buitenwater bestemde, primaire waterkeringen moeten zijn berekend, mede gelet op andere waterkerend vermogen bepalende factoren. Primaire waterkeringen, niet bestemd tot directe kering van het buitenwater, moeten tenminste gelijke veiligheid bieden als op de datum van inwerkingtreding van deze wet.

Toetsen op veiligheid

De Wet op de Waterkering is opgesteld om een duurzame handhaving van de veiligheid te waarborgen en dit een wettelijke basis te verschaffen. Om tot een duurzame handhaving van de veiligheid te komen is het essentieel de veiligheid van de waterkering regelmatig te beoordelen. In de Wet op de Waterkering is dan ook vastgelegd dat de waterkeringen worden onderworpen aan een vijfjaarlijkse veiligheidstoetsing.

.....Toelichting¹.....
Zie bijlage 1 B

Als instrument voor deze toetsing wordt door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen de leidraad 'Toetsen op veiligheid' aangereikt. In deze leidraad worden rekenregels gepresenteerd waarmee de toestand van de dijken kan worden getoetst aan de norm. De gehanteerde norm volgt uit de Wet op de Waterkering.

Hydraulische randvoorwaarden

In de Wet op de Waterkering is vastgelegd dat de hydraulische randvoorwaarden, welke benodigd zijn voor de toetsing van waterkeringen, om de vijf jaar worden geactualiseerd en door de minister van V&W worden vastgesteld¹.

I.D.6 Onderzoek

In 1992 werd tijdens een TAW-workshop in Zoutelande besloten een nieuw onderzoekprogramma (*MARSroute*) op te starten om tot een uniforme beoordelingswijze voor alle waterkeringen in Nederland te komen. Dit onderzoekprogramma in opdracht van de Rijkswaterstaat DWW (*Dienst Weg- en Waterbouwkunde*) onder auspiciën van de TAW (*Technische Advies Commissie voor de waterkeringen*), bestudeert de toekomstige visie van de veiligheid van waterkeringen.

Uitgangspunt

De voornaamste doelstelling van het onderzoek is te komen tot een veiligheidsbenadering op basis van overstromingsrisico's. Het uitgangspunt van het onderzoek wordt gevormd door de aanbevelingen uit het rapport van de Deltacommissie naar aanleiding van de watersnoodramp van 1953 (*DELTA-COMMISSIE, 1960*). Hierin pleit de commissie voor een meer wetenschappelijke benadering van de veiligheidsfilosofie, met in acht neming van de technische beperkingen. Door tal van nieuwe technische ontwikkelingen, is het mogelijk geworden deze wetenschappelijke benadering in toenemende mate in praktijk te brengen.

Tekortkomingen overbelastingsbenadering

Volgens de huidige veiligheidsbenadering (*Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2*) dienen de dijkvakken een vastgestelde ontwerpwaterstand te kunnen keren. Hierbij wordt elk dijkvak afzonderlijk getoetst aan de geldende faalmechanismen. Deze overbelastingsbenadering biedt echter weinig inzichten in de kans op overstromingen, met de daarbij behorende gevolgen, hetgeen veroorzaakt wordt doordat:

- de waterkering wordt geacht de ontwerpwaterstand veilig te kunnen keren; een iets hogere waterstand betekent echter niet onmiddellijk instabiliteit en leidt niet direct tot het falen of bezwijken van de waterkeringen;
- het mogelijk is dat de waterkering bij lagere waterstanden dan de ontwerpwaterstand faalt; ter voorkoming hiervan worden volgens de huidige veiligheidsbenadering aanvullende constructieve eisen gesteld aan de waterkering; het is echter nog niet mogelijk om deze constructieve eisen te vertalen in faalkansen en de extra kans op overstroming;
- een dijkringgebied overstroomt bij het falen van een enkel vak van het waterkeringsstelsel. De huidige veiligheidsbenadering is gericht op afzonderlijk vakken, waardoor onvoldoende bekend is over de samenhang tussen het falen van de verschillende vakken van het waterkeringsstelsel.

De kans op een overstroming is dus niet a-priori gelijk aan de kans op overschrijden van een ontwerpbelasting. De kans op overstroming kan kleiner uitvallen als gevolg van aanvullende constructieve eisen, die aan de waterkering worden gesteld. De kans kan echter ook groter uitvallen als gevolg van de onderlinge samenhang tussen het falen van verschillende vakken in een waterkeringsstelsel.

.....**Toelichting**¹.....
De hydraulische randvoorwaarden bestaan uit de bij de ontwerp frequenties behorende waterstanden, resp. de hele overschrijdingslijnen, alsmede de overige voor het waterkerend vermogen belangrijke factoren

.....**Toelichting**.....
Artikel 3.2 in de Wet op de Waterkering geeft aan dat de huidige normen indertijd vervangen mogen worden door normen uitgedrukt in overstromingskansen

Overstap naar overstromingsrisico via overstromingskansen

De overstap naar een nieuwe veiligheidsfilosofie is opgedeeld in twee deelprojecten:

- de overstap van de overbelastings- naar de overstromingskansenbenadering. Het project bestaat uit het berekenen van de overstromingskansen, behorende bij de huidige veiligheidsnormen. In de Wet op de Waterkering is dit deeltraject reeds opgenomen¹;
- de overstap van overstromingskansen naar overstromingsrisico. Overstromingsrisico wordt gedefinieerd als de kans op een overstroming vermenigvuldigd met de gevolgen van die overstroming.

In de overstromingsrisicobenadering wordt rekening gehouden met het feit dat de gevolgen van een overstroming van doorbraakpunt tot doorbraakpunt kunnen verschillen en dat in de dimensionering van de verschillende onderdelen van de dijk dit tot uitdrukking mag komen. Hierdoor kunnen dijkvakken waarbij de gevolgen van een overstroming beperkt zijn, lichter gedimensioneerd worden dan andere dijkvakken waar de gevolgen groter zijn. De overstap naar overstromingsrisico's wordt gemaakt omdat:

- risico's zich het best lenen voor de communicatie met de maatschappij over de veiligheid tegen overstromingen;
- risico's geven de beleidsmaker, de ontwerpen en de beheerder maximale vrijheid om optimale beschermingen tegen overstromingen te bieden;
- risico's zijn een goede basis voor de vergelijking met andere sectoren, zoals transport en industrie.

Onderzoek: ontwikkeling en toepassing nieuwe methodiek

Om tot een nauwkeurige veiligheidsfilosofie te komen, richt het onderzoek zich op een zestal onderzoeksterreinen:

- randvoorwaarden en belastingen;
- sterkte van waterkeringen en faalmechanismen;
- bresgroei en overstromingsrisico;
- schade en slachtoffers;
- case-studies;
- afweging en normstelling.

In het eerste deel van het onderzoek is een methode ontwikkeld waarmee overstromingskansberekeningen kunnen worden uitgevoerd. Deze nieuwe methode moest het mogelijk maken om de overstromingskans van een dijkkringgebied te bepalen, rekening houdend met zowel falen als gevolg van het mechanisme overloop/overslag als met andere manieren waarop een kering kan falen (bv *piping*, *kunstwerken*, *duinafslag*, *afschuiven*, etc.). Hierbij is het belangrijk dat:

- de berekende overstromingskansen van de verschillende dijkkringgebieden vergelijkbaar zijn door de keuze van een uniforme grondslag;
- de huidige intrinsieke veiligheid een belangrijk uitgangspunt is voor de keuze van de uniforme grondslag;
- de methode inzicht in de betrouwbaarheid van de berekende overstromingskansen biedt;

Een uniforme grondslag is nodig vanwege de wettelijk vereiste continuïteit tussen de overbelastingsbenadering per dijkkring (*Wet op de Waterkering*) en de overstromingskansenbenadering.

Uitwerking en beproeving methodiek m.b.v. casestudies

In de volgende fase van het onderzoek is de methodiek nauwkeurig uitgewerkt en beproefd. De beproeving van de methodiek is gebeurd aan de hand van een achttal casestudies, waarin de nieuwe methode wordt gekalibreerd aan de bestaande veiligheid. (*Ijkpunt studies*).

De acht casestudies staan model voor acht representatieve gebieden in Nederland zodat een goed beeld ontstaat van de verschillende typen gebieden en waterkeringen. De casestudies hadden het doel om inzicht te geven in de technische haalbaarheid van de overstromingskansbenadering en de nauwkeurigheid van de berekeningen. Tevens hadden zij tot doel een eerste inzicht te verschaffen in de overstromingskansen van de onderzochte dijkkringgebieden.

Resultaten Ijkpunt casestudies

Tabel I.D.3 geeft een overzicht van de resultaten (overstromingskansen) van de casestudies in vergelijking met de resultaten van de huidige veiligheidsbenadering.

.....Tabel I.D.3.....
 Een vergelijkend overzicht van overstromingskansen. Voor de Ijkpunt waarden zijn een p van 0.1 en een ξ van 0.01 toegepast. Dit zijn een soort calibratiefactoren, waarmee de continuïteit werd gewaarborgd. Deze vergelijking mag eigenlijk niet gemaakt worden omdat twee verschillende maatstaven worden vergeleken

	Huidig	Ijkpunt
	gebiedsfrequentie voor ontwerp overbelasting dijkvak	overstromingskans dijkkring
Alblasserwaard	1 / 2.000	1 / 1.100 (p=0.3)
Betuwe, Tieler- en Culemborger waard	1 / 1.250	1 / 2.000 (p=0.3)
Groningen en Friesland	1 / 4.000	1 / 3.000
Hoeksche Waard	1 / 2.000	1 / 1.500
Terschelling	1 / 2.000	1 / 3.000
Polder Mastenbroek	1 / 1.250	1 / 1.500
Centraal Holland	1 / 10.000	1 / 6.000
Noord-Beveland	1 / 4.000	1 / 2.000

Op basis van de resultaten werden de volgende conclusies getrokken:

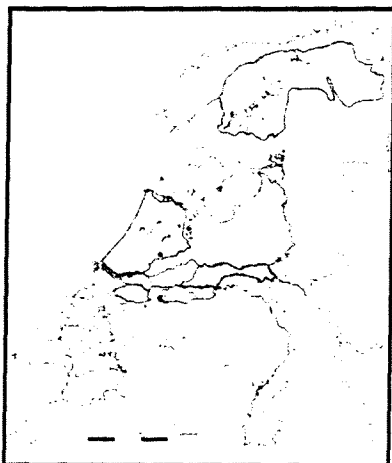
- het was technisch haalbaar om met de nieuwe methodiek, overstromingskansen te berekenen;
- de nieuwe methodiek bleek goed aan te sluiten op de huidige ontwerp-praktijk;
- de resultaten gaven inzicht in de bijdrage van de verschillende faalmechanismen aan de totale faalkans van een dijkvak, en in de bijdrage van het falen van verschillende dijkvakken aan de overstromingskans;
- het faalmechanisme overslag/overloop levert in het algemeen de meeste bijdrage aan de overstromingskans;
- de overstromingskans wordt meestal bepaald door één of een paar dijkvakken;
- de nauwkeurigheid van de nieuwe methode is nagenoeg gelijk aan de nauwkeurigheid van de huidige methode, alleen zijn de onzekerheden in de nieuwe methode duidelijk zichtbaar te maken.

Aanbevelingen naar aanleiding van de casestudies

Na het testen van de casestudies zijn er een aantal aanbevelingen gedaan omtrent het vervolg van het onderzoeksprogramma MARSroute.

- de exacte waarde van p en ξ dienen bepaald te worden voordat de nieuwe methode toegepast kan worden voor ontwerp en toetsen van dijken;
- de programmatuur dient geschikt gemaakt te worden om ontwerpers te ondersteunen in het vormgeven van dijkkringen en om waterkeringsbeheerders te ondersteunen in het toetsen van hun keringen;
- er zal een proeftoetsing plaats moeten vinden om inzicht te krijgen in de praktische werkbaarheid van de methode en programmatuur, en in de consequenties van het invoeren van de methode;
- de onzekerheden dienen beter in kaart gebracht te worden en waar mogelijk dienen zij verkleind te worden.

.....Toelichting¹.....
'Actuele dijk' staat hier tussen aanhalings-
tekens omdat niet alle gegevens zijn geba-
seerd op de actuele situatie.



.....Figuur 1.D.10.....
De ligging van de in de SPRINT studie
beschouwde dijkkringgebieden (DWW)

Tussenresultaat: Rapport 'van Overschrijdingskans naar Overstromingskans'

Behalve het onderzoek naar de nieuwe methodiek is het adviseren van de staatssecretaris over het verloop, één van de activiteiten binnen het MARS-route onderzoek. In het onderzoeksrapport SPRINT werd dit advies voorbereid. In juni 2000 is het advies over de voortgang en het verdere verloop van het Marsroute onderzoek aan de staatssecretaris overhandigd worden. De belangrijkste doelstelling van het SPRINT onderzoek was het geven van inzicht in de grootte van de overstromingskans van de 'actuele dijk', en in de gevolgen van een overstroming in termen van schade en slachtoffers¹. Met behulp van gevoeligheidsberekeningen is bekeken hoe de overstromingskans verandert als gevolg van de te verwachte zeespiegelstijging en/of afvoer-
groting. In het onderzoeksrapport SPRINT zijn vier gebieden bestudeerd, welke zijn gekozen op basis van verschillende argumenten. De gebieden moesten verspreid over Nederland liggen, verschillen in afmetingen en eerder zijn bestudeerd in de casestudies om na afloop een vergelijking van de resultaten te kunnen maken.

Er werd uiteindelijk gekozen voor de volgende vier gebieden:

- Hoeksche Waard
- Centraal Holland
- Groningen en Friesland
- Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaard

Bij de berekening van de overstromingskansen is gebruik gemaakt van een selectie van dijkvakken. Gegevens zijn ter beschikking gesteld door beheerders aan de TAW. Zo zijn ongeveer 30% van de dijkvakken in de berekeningen betrokken, waaronder, naar het oordeel van de beheerders, de meest kwetsbare dijkvakken.

Conclusies

De resultaten en het verloop van het SPRINT onderzoek zijn verwoord in het rapport 'van Overschrijdingskans naar Overstromingskans' (TAW, juni 2000). Op grond van de berekeningen en de resultaten zijn de volgende conclusie en aanbevelingen opgesteld:

- De overschrijdingskans van de huidige methode en de overstromingskans van de nieuwe methode kunnen niet één op één met elkaar vergeleken worden. In de overstromingskans zijn in tegenstelling tot in de huidige benadering verschillende faalwijzen geïntegreerd en zijn vooraf de onzekerheden verdisconteerd.
- Met de nieuwe benadering wordt het mogelijk de zwakke schakels in een dijkkring op te sporen. Er kan duidelijk gemaakt worden welke (zwakke) schakels de grootste bijdrage leveren aan de overstromingskans van een dijkkring. De knelpunten kunnen verschillend van aard zijn. Enerzijds door de zwakte van de dijken, anderzijds ook door gebrek aan kennis. De methode geeft een zoekrichting voor oplossingen, waarin stapsgewijs vooruitgang geboekt kan worden. De oplossing van het grootste knelpunt zal het grootste effect hebben op de reductie van de overstromingskans. Daarmee is de methode een veelbelovend hulpmiddel voor het versterken van waterkeringen.
- Het ontbreken van gegevens van de veelal oude kunstwerken en daarnaast het feit dat de kunstwerken meestal opereren onder handbediening leidt tot grote onzekerheden in de berekening van de faalkansen van kunstwerken met als gevolg dat de faalkansen toenemen. Kunstwerken vormen dan ook meestal de zwakke schakels in dijkkringgebieden, enerzijds dus veroorzaakt door kennis te kort, anderzijds door de bedieningswijze. De resultaten van deze studie moeten een aanzet vormen voor een nadere inspectie van de kunstwerken.

-
- Omdat niet alle dijkvakken in de overstromingskansberekening zijn betrokken bestaat de kans dat ook niet alle zwakke schakels in de berekening zijn meegenomen. Wanneer dit het geval is betekent dit dat de berekende overstromingskans te rooskleurig is. Het principe van stapsgewijze verbetering van de zwakke schakels verandert hierdoor echter niet!

De vier gebieden die zijn onderzocht tijdens de SPRINT studie (zie figuur 1.10.D) verschillen door hun ligging in het gevaar tegen overstromingen: vanuit zee, rivier, overstroming door zoet of zout water en met verschillende waarschuwingstijden. Daarnaast verschillen de gebieden ook in inwoneraantallen en economische bedrijvigheid. Zowel het gevaar als de eventuele schade als gevolg van een overstroming verschillen per gebied. Op basis van de nieuwe overstromingskansberekeningen kan geconcludeerd worden dat de rangvolgorde van de gebieden ongewijzigd blijft. Het dijkkringgebied 'Hoeksche Waard' vormt hier een uitzondering doordat de berekende overstromingskans klein is door een feitelijke verhoogte van de dijkvakken als gevolg van de voltooiing van de Deltawerken.

Op basis van de gevoeligheidsberekeningen van de effecten van klimaatveranderingen kan geconcludeerd worden dat voor een dijkvak de faalkans toeneemt met een factor 4 bij een zeespiegelstijging van 50 cm per eeuw en een factor 15 bij een zeespiegelstijging van 100 cm per eeuw. Voor een duinvak is dit respectievelijk een factor 2,5 en 6. Bij een rivierdebiettoename van 15.000 m³ naar 16.000 m³ neemt de faalkans toe van 1/1.000 per jaar to 1/400 per jaar.

Aanbevelingen TAW naar aanleiding van SPRINT onderzoek

Op basis van de resultaten tot nu toe, beveelt de TAW aan om:

1. op korte termijn voor alle 53 dijkkringengebieden in Nederland de overstromingskans te berekenen, zodat een eerste inzicht in zwakke schakels en kennislacunes ontstaat voor alle dijkkringen;
2. op korte termijn nader onderzoek uit te voeren naar de sterkte en bedrijfszekerheid van kunstwerken, omdat hier de grootste onzekerheden bestaan;
3. nader onderzoek uit te voeren naar de grootte van onzekerheden, zodat de berekende overstromingskans de werkelijke overstromingskans beter benadert. (TAW, juni 2000)

.....**Toelichting**.....
De naam van het onderzoekprogramma
MARStoute is overgegaan in 'Overstromings-
risico's: een studie naar kansen en gevolgen'

In het vervolg van het onderzoekprogramma 'Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen' wil de TAW gezamenlijk met alle andere betrokkenen de schade als gevolg van overstromingen in kaart brengen¹. Wanneer dat gedaan is, wordt het mogelijk om de kosten en de baten van het hele scala aan maatregelen door te rekenen. In het vervolg van het onderzoek zal gekeken worden of het mogelijk is de kansen en gevolgen van overstromingen uit te drukken in maten die in andere velden van risicobeleid toegepast worden.

Bijlage I.E Citaat Ir. R.E. Jorissen (maart 2000)

Opties voor het vervolg van het Marsroute onderzoek

.....Citaat.....
Ir. R.E. Jorissen

Het onderzoek en de resultaten geven aanleiding tot het ontwikkelen van een aantal opties voor het vervolg, zowel wat betreft het vervolgonderzoek als de beleidsmatige toepassing van de resultaten en/of het ontwikkelde instrumentarium. De volgende opties worden hierbij onderscheiden:

0. Niets doen, noch wat betreft vervolgonderzoek noch wat betreft beleidsvoorbereiding;
1. Het instrumentarium verder ontwikkelen en de beleidsmatige toepassing voorlopig parkeren;
2. Het instrumentarium verder ontwikkelen en tegelijk een aantal 'no-regret' maatregelen formuleren op basis van het nu beschikbare instrumentarium;
3. Het instrumentarium verder ontwikkelen en tegelijk een nieuw veiligheidsbeleid tegen overstromingen formuleren op basis van het beoogde instrumentarium.

De optie 0 (*Niets doen*) is in wezen al achterhaald. Zowel de stand van het onderzoek als de communicatie naar de meest betrokken partijen (*wetenschap, waterschappen, provincies en Rijkswaterstaat*) is te ver gevorderd om nu af te zien van alle regie en aansturing van het proces. Bij deze optie bestaat het reële gevaar om achter de feiten aan te lopen.

Tenminste is er nader onderzoek nodig om het instrumentarium verder te ontwikkelen (opties 1,2 en 3). Dit onderzoek zal zich primair moeten richten op het verkleinen van onzekerheden, het verwerken van nieuwe inzichten in het gedrag van waterkeringen onder extreme omstandigheden en de gevolgen van een overstroming.

Wat betreft de beleidsmatige toepassing van de resultaten en/of het instrumentarium zijn er drie opties mogelijk:

Optie 1. (*Voorlopig geen beleidsmatige toepassing*) lijkt een veilige oplossing, waarbij de onderzoekers de praktijk van beleid en uitvoering niet of nauwelijks voor de voeten zullen lopen. Bij deze optie wordt echter wel een belangrijke kans gemist. Het waterkeringsveld is momenteel sterk in beweging (*Ruimte voor de rivier, retentiegebieden*), waarbij de dijken als sluitstuk van de beveiliging worden gezien. Van dit sluitstuk zijn zowel de geboden veiligheid als de bijbehorende risico's onvoldoende. Onevenwichtige maatregelen kunnen dan leiden tot hogere investeringen dan noodzakelijk of juist hogere risico's dan wenselijk.

Optie 2. (*'No regret' maatregelen formuleren en toepassen*) is erop gericht een deel van de ontwikkelde kennis op relatief korte termijn (zeg 2 tot 5 jaar) daadwerkelijk toe te passen. Dit deel heeft betrekking op de berekende overstromingskansen. Het blijkt namelijk dat de overstromingskans van een dijk- en ringgebied bepaald wordt door de huidige veiligheidsnorm van het dijk- en ringgebied, het aantal dijkvakken, het aantal typen waterkeringen (*dijken, duinen en kunstwerken*) en de mate waarin deze waterkeringen onafhankelijk van elkaar kunnen bezwijken. Zo zal een groot dijk- en ringgebied met veel verschillende typen waterkeringen en een relatief grote mate van onafhankelijkheid in het bezwijkgedrag, een (veel) hogere overstromingskans hebben dan een klein dijk- en ringgebied met een zelfde veiligheidsnorm.

Dit systeemgedrag van de waterkeringen rondom een dijkkringgebied is - zeker in vergelijkende zin - goed te beschrijven. Een 'no regret'-beleid is erop gericht om door selectieve maatregelen (*verbetering van sluitprocedures van kunstwerken, verzamelen van geotechnische gegevens, lokale dijkversterkingen, ..*) de onevenwichtigheden volgend uit de huidige veiligheidsbenadering weg te nemen.

De effectiviteit van de maatregelen kan worden uitgedrukt in de vermindering van overstromingskans of desgewenst de risico-reductie versus de kosten van de verbeteringsmaatregel. Met een gelijktijdige classificering van de overstromingskansen voor de verschillende dijkkringgebieden is er tevens een basis voor de overstap van artikel 3.1 naar 3.2 van de Wet op de Waterkering. Deze overstromingskansen bieden verder de mogelijkheid met name het nut en de noodzaak van ingrijpende maatregelen achter de dijken, zoals retentie in de huidige dijkkringgebieden aan te tonen.

Tenslotte is optie 3 (*Formulering nieuw veiligheidsbeleid*) voor de korte termijn ook geen reële mogelijkheid. Technisch kleven er nog (*te*) veel bezwaren aan het ontwikkelde instrumentarium en bovendien is er ook nog geen overeenstemming over een eenduidige grondslag voor de wijze van normering (*kansen, risico's, gevolgen, potentiële gevolgen*).

Voorstel: Voor de korte termijn biedt optie 2 (*'No regret' maatregelen formuleren en toepassen*) de meeste voordelen. De onevenwichtigheden worden uit het huidige systeem gehaald, zonder dat een fundamentele discussie over een nieuwe wijze van normering hoeft te worden gevoerd. Er worden alleen maatregelen uitgevoerd met een hoog *rendement* (*reductie overstromingskans of -risico*). Het inzicht in de overstromingskansen is bovendien ondersteunend aan het gekozen beleid om naast Ruimte voor de rivier ook maatregelen te treffen achter de dijken. Bovendien kan gedurende de uitvoeringstermijn van de maatregelen (*zeg 5 tot 10 jaar*) het instrumentarium verder worden ontwikkeld en kan een eenduidige grondslag voor de toekomstige wijze van normering worden geformuleerd.

Bijlage II.A Dijkvakindeling (volgens SPRINT)

Een dijkkring kan opgedeeld worden in zogenaamde dijkvakken. Tot een dijkvak wordt gerekend een sectie van de dijkkring waarbinnen de (*sterkte*)eigenschappen en (*belasting*)omstandigheden constant verondersteld kunnen worden. Zo'n dijkvakindeling blijft echter altijd een schematisatie van de werkelijkheid. Zowel de belastingen als de sterkte-eigenschappen van een dijk zullen binnen een kleine afstand langs de dijk variëren. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld variatie van de geometrie eigenschappen en grondopbouw, maar ook aan de variatie van de oriëntatie van een dijk en van de waterdiepte voor een dijk, welke van invloed zijn op de grootte van bijvoorbeeld de golfbelasting. Omdat deze theoretische schematisatie leidt tot een groot aantal dijkvakken wordt in de praktijk gewerkt met grotere vaklengte en wordt de aanwezige variatie binnen een dijkvak gecorrigeerd met een lengte-effect.

Dijkvak nummer	Hmp	Dijkvaknaam	Locatie-nummer	Lengte (meter)	Richting dijk-normaal
1	4,4	Kop Afsluitdijk - Harlingen (zuid)	31 32 50	9.000	280°
2	2	Harlingen (noord) - Koehool / Slachte	32 33 94	7.800	300°
3	11	Koehool / Slachte - Westhoek	32 33 75	5.800	325°
4	19	Westhoek - Zwarte Haan	32 33 60	7.000	325°
5	20	Zwarte Haan - Noorderleeg	32 33 45	6.500	350°
6	34	Noorderleeg - Westholwerderpolder	32 33 10	12.300	345°
7	39	Westholwerderpolder - Opdijk Oostholwerderpolder	33 34 92	4.700	345°
8	44	Opdijk Oostholwerderpolder - 't Schoor	33 34 80	5.000	340°
9	50	't Schoor - Paesens	33 34 55	7.400	15°
10	58	Paesens - Lauwersoog	33 34 15	4.400	340°
11	63	Ommelanderzeedijk	34 35 40	20.000	345°
12	55	Emmapolderdijk (west)	34 35 25	6.500	345°
13	50	Emmapolderdijk (oost)	34 35 10	4.000	20°
14	47	Eemshaven (west)	34 35 05	3.500	325°
15	43	Eemshaven (oost)	35 36 88	6.000	40°
16	35	Hoogwatum	35 36 50	8.000	80°
17	27	Delfzijl (noord)	35 36 01	7.500	30°
18	20	Dijk Zeehavenkanaal	36 37 85	6.000	20°
19	15	Termunten	36 37 65	4.000	345°
20	11	Dollardijk	36 37 50	5.000	83°
21	0	Reiderwolderpolderdijk	36 37 00	9.500	354°
22	30A	Kop Afsluitdijk - Makkum	81 81 00	4.800	250°
23	28D	Makkum - Workum	82 82 00	9.300	251°
24	27A	Workum - Hindelopen	83 83 00	5.900	255°
25	25C	Hindelopen - Stavoren	84 84 00	7.900	313°
26	25A	Stavoren - Roode Klif	85 85 00	4.000	220°
27	24C	Roode Klif - Mirnser Klif	86 86 00	4.400	189°
28	24A	Mirnser Klif - Spitsbergen	87 87 00	1.800	206°
29	23D	Hooge Grazen - Zandvoorderhoek	88 88 00	5.700	169°
30	22C	Zandvoorderhoek - Margrietsluis	89 89 00	6.800	161°
31	20A	Margrietsluis - Lemmer	90 90 00	4.200	188°

Grafisch overzicht dijkvakindeling (SPRINT maart 2000)



Bijlage II.B Verdeling 10^{-4} kwantiel Waddenzee

10^{-4} kwantiel (RIKZ, mei 1995)

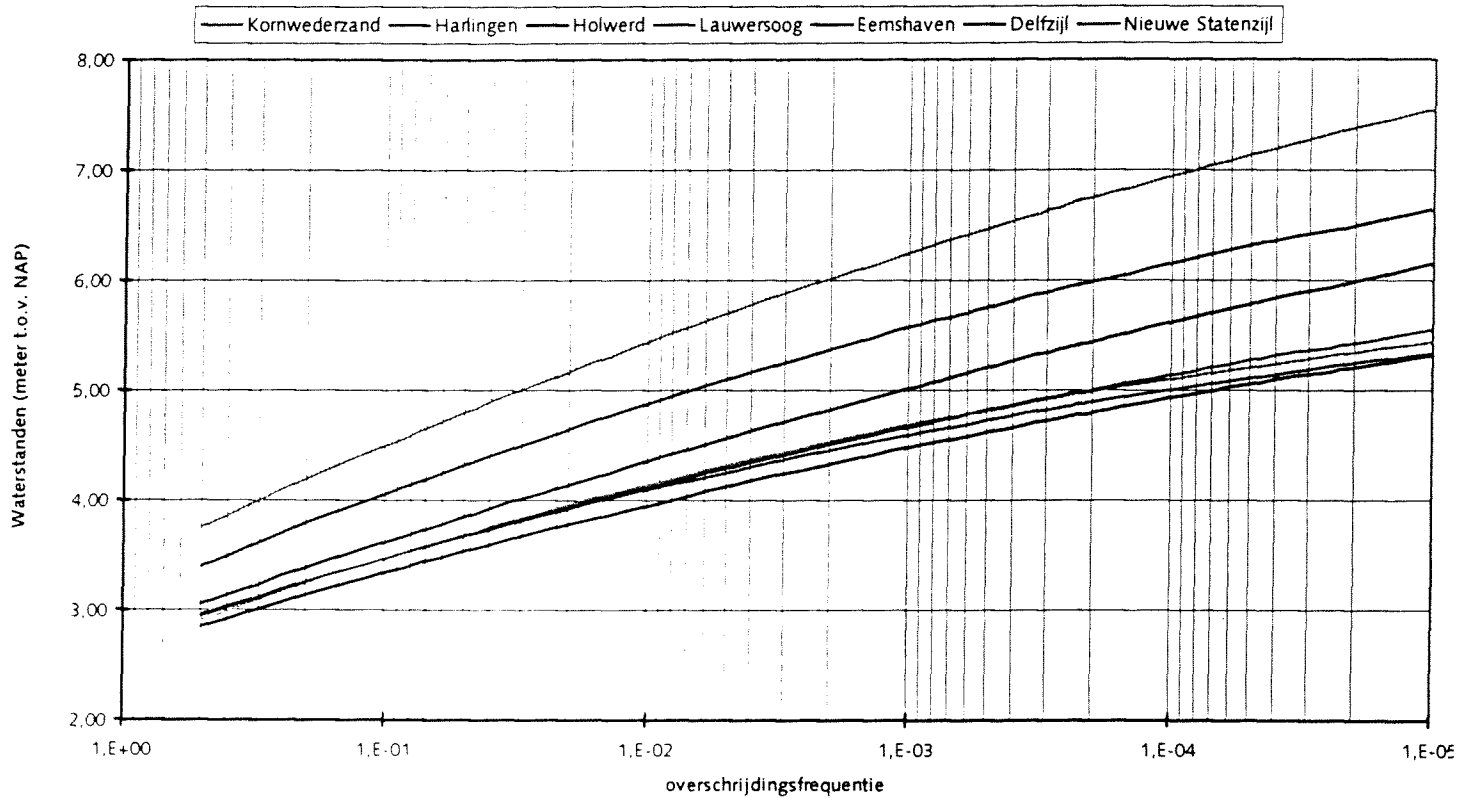
Locatie	10^{-4} kwantiel
Kornwederzand	510 cm t.o.v. NAP
Harlingen	500 cm t.o.v. NAP
Holwerd	493 cm t.o.v. NAP
Lauwersoog	514 cm t.o.v. NAP
Eemshaven	561 cm t.o.v. NAP
Delfzijl	615 cm t.o.v. NAP
Nieuwe Statenzijl	695 cm t.o.v. NAP



Bijlage II.C Waterstanden Waddenzee als functie van overschrijdingsfrequenties

Opgesteld op basis van gegevens uit het rapport 'De basispeilen langs de Nederlandse kust; de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen'. (RIKZ, 1995)

Waterstanden langs de Waddenzee kust als functie van de overschrijdingsfrequenties



Bijlage II.D Gecombineerde wind-waterstandstatistiek Waddenzee

In deze bijlage wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste gecombineerde wind-waterstandstatistiek voor het Waddenzeegebied.
(TNO-Bouw, september 1999)

Uitgangspunt voor de gecombineerde wind-waterstandstatistiek is dat op een bepaalde locatie de marginale wind- en waterstandstatistiek bekend zijn. Als voor de staarten van de verdelingen exponentiële functies worden aangenomen, is het voldoende voor het vastleggen van de afzonderlijke verdelingen dat een enkel fractiel en de nepereringshoogte bekend zijn. Wanneer het fractiel en de nepereringshoogte voor extreme omstandigheden worden bepaald, blijft de fout die gemaakt wordt als de 'echte' verdeling afwijkt van de aangenomen exponentiële verdeling klein.

Waterstand

Voor de waterstand h op een bepaalde locatie wordt uitgegaan van een exponentiële verdeling volgens:

$$h = a + bx \quad (\text{II.D.1})$$

hierin is:

- a een verschuivingsconstante
- b een nepereringshoogte
- x een standaard exponentieel verdeelde variabele met $P(X > x) = \exp(-x)$

Als de nepereringshoogte b bekend is volgt de schaalconstante a (per jaar of per 12 uur) uit:

$$P(h > \text{MHW}) = \exp\left(-\frac{\text{MHW} - a}{b}\right) \quad (\text{II.D.2})$$

Voor de locatie Harlingen kan afgeleid worden:

.....Tabel II.D.1.....
12 uur waarden, gegeven de windrichting
Zie ook grafiek II.D.1 en II.D.2

Windrichting Harlingen	$P(h > 4,59\text{m})$	Nepereringshoogte [m]	a [m]	b [m]
WZW	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,135	2,27	0,135
W	$5,6 \cdot 10^{-5}$	0,157	2,53	0,157
WNW	$3,1 \cdot 10^{-4}$	0,175	2,65	0,175
NW	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,181	2,63	0,181
NNW	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,183	2,54	0,183
N	$9,8 \cdot 10^{-6}$	0,167	2,19	0,167

Voor de locatie Delfzijl kan afgeleid worden:

.....Tabel II.D.2.....
12 uur waarden, gegeven de windrichting
Zie ook grafiek II.D.3 en II.D.4

Windrichting Delfzijl	$P(h > 5,57\text{m})$	Nepereringshoogte [m]	a [m]	b [m]
WZW	$6,0 \cdot 10^{-7}$	0,180	2,36	0,180
W	$5,2 \cdot 10^{-5}$	0,218	2,70	0,218
WNW	$5,6 \cdot 10^{-4}$	0,255	2,89	0,255
NW	$1,9 \cdot 10^{-4}$	0,237	2,85	0,237
NNW	$1,9 \cdot 10^{-4}$	0,245	2,76	0,245
N	$8,4 \cdot 10^{-6}$	0,220	2,38	0,220

Wind

Voor de statistiek van de windsnelheid wordt hier eveneens uitgegaan van een exponentiële verdeling volgens:

$$V = A + By \quad (\text{II.D.3})$$

hierin is:

- A een verschuivingsconstante
- S een neperingsnelheid
- y een standaard exponentieel verdeelde variabele met $P(Y > y) = \exp(-y)$

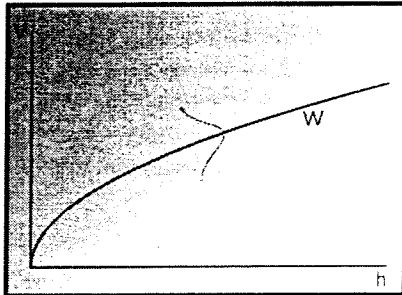
In het vervolg wordt $x = (h-a)/b$ aangeduid als de gereduceerde waterstand en $y = (V-A)/B$ als de gereduceerde windsnelheid.

Voor het correlatiemodel wordt aangenomen dat bij een bepaalde gereduceerde waterstand x de bijbehorende gereduceerde windsnelheid y kan worden beschouwd als zijnde normaal verdeeld met een gemiddelde van $x + y_0$ en een standaardafwijking s . (zie figuur II.D.1) Er geldt dan:

$$y = y_0 + x + us \quad (\text{II.D.4})$$

hierin is:

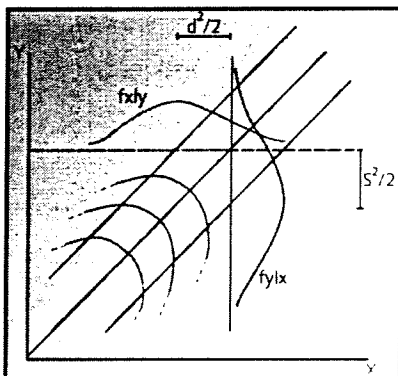
- y_0 een constante
- u een standaard normaal verdeelde variabele



.....Figuur II.D.1.....
Model Volker voor de windsnelheid (TNO-Bouw, september 1999)

Aangetoond kan worden dat voor de staart van de verdeling van y geldt: (zie TNO-Bouw, september 1999)

$$P(Y > y) = \exp\left[-\left(y - y_0 - \frac{s^2}{2}\right)\right] \quad (\text{II.D.5})$$



.....Figuur II.D.2.....
Gezamenlijke kansdichtheid van x en y (TNO-Bouw, september 1999)

Hieruit volgt dat het aangenomen correlatiemodel (althans asymptotisch) niet strijdig is met de eerder veronderstelde exponentiële verdeling van y . Hierbij moet kennelijk wel aangenomen worden $y_0 = -s^2/2$. De correlatie-betrekking gaat hierdoor over in (zie figuur II.D.2):

$$y = x + us - \frac{s^2}{2} \quad (\text{II.D.6})$$

Volgens een notitie van Volker (RWS, 10-04-1995) is de verschuivingsterm in de 10^{-4} kwantiel van de windsnelheid bij MHW ongeveer gelijk aan 4 m/s. Hiermee kan s worden bepaald volgens:

$$s = \sqrt{2 \frac{V}{B}} = 1,6 \quad (\text{II.D.7})$$

Het voorgaande is geldig voor één locatie. Wanneer een model wordt opgesteld voor de gehele kust zal het voorgaande model voor elk dijkvak langs de Waddenkust moeten gelden. Het is dan echter zinvol om de correlatievergelijking om te keren en de waterstand uit te drukken in de windsnelheid.

$$x(i) = y + u(i)d - \frac{d^2}{2} \quad (\text{II.D.8})$$

Hierin is:

- d gelijk aan s (symmetrie, zie figuur II.D.2)
- i het dijkvaknummer

De correlatie van de waterstanden langs de kust wordt bepaald door de correlatie van de parameters $u(i)$. Als $u(i)$ volledig gecorreleerd wordt verondersteld, zullen de waterstanden $h(i)$ ook volledig gecorreleerd zijn. Dit betekent dat een waterstand van eens in de honderd jaar, gelijktijdig in bijvoorbeeld Harlingen en Delfzijl optreedt. Wanneer de correlatie tussen de $u(i)$ nul wordt verondersteld, is de correlatie tussen de waterstanden niet meer volledig maar ook niet nul. De gedeeltelijke correlatie die overblijft is het gevolg van de correlatie van alle waterstanden met de wind.

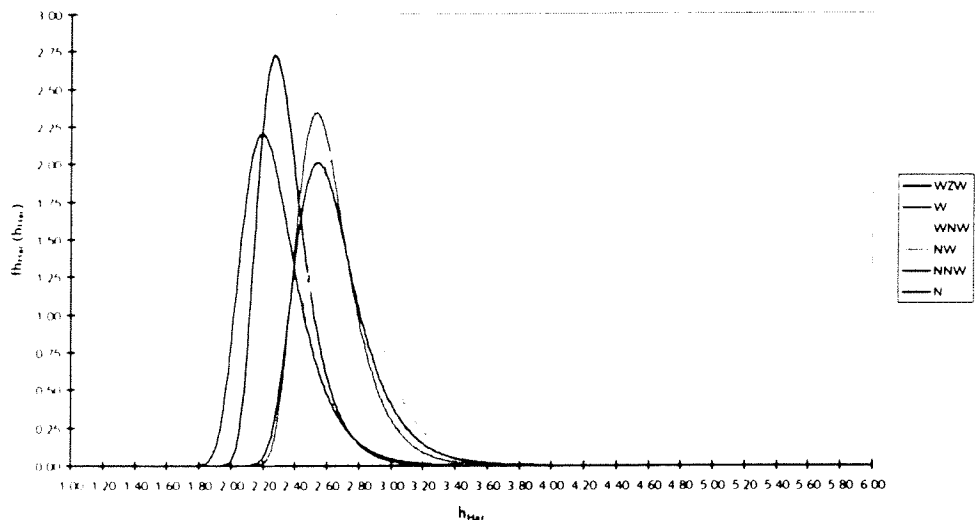
Wanneer de correlatie tussen de locaties waar de waterstand bepaald moet worden, bekend zijn, kan met behulp van de gezamenlijke kansdichtheid de waterstand bepaald worden.

In PC_RING worden voor het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' de locaties Harlingen en Delfzijl beschouwd. Voor de overige locaties langs de Waddenkust worden de waterstanden lineair geïnterpoleerd¹. Voor de schatting van de correlatie tussen de waterstanden bij Harlingen (1) en Delfzijl (2) wordt aangenomen dat het verschil tussen het hoogwater van Harlingen en Delfzijl niet groter is dan dh onder een vergelijkbaar kwantiel. (Bijvoorbeeld: een waterstand van MHW bij Harlingen gaat gemiddeld gepaard met een MHW minus 1 m bij Delfzijl, dh is dan één) De verwachtingswaarde van dit verschil kan bepaald worden met een probabilistische som.

Op basis van het 10 jaren overzicht valt te achterhalen dat in de periode van 1981 tot 1990 dh gemiddeld gelijk was aan ca. 0.30 meter bij waterstanden rond de 3 meter en 0.60 meter bij waterstanden rond de 6 meter. Op basis van deze gegevens kan afgeleid worden dat de correlatiecoëfficiënt gelijk is aan 0,2.

Hieronder worden de kansverdelingen van de waterstand op basis van de gegevens uit tabel II.D.1 en II.D grafisch weergegeven. In eerste instantie voor de waterstand in Harlingen, vervolgens voor de waterstand in Delfzijl.

Overzicht kansverdelingen waterstand Harlingen per windrichting

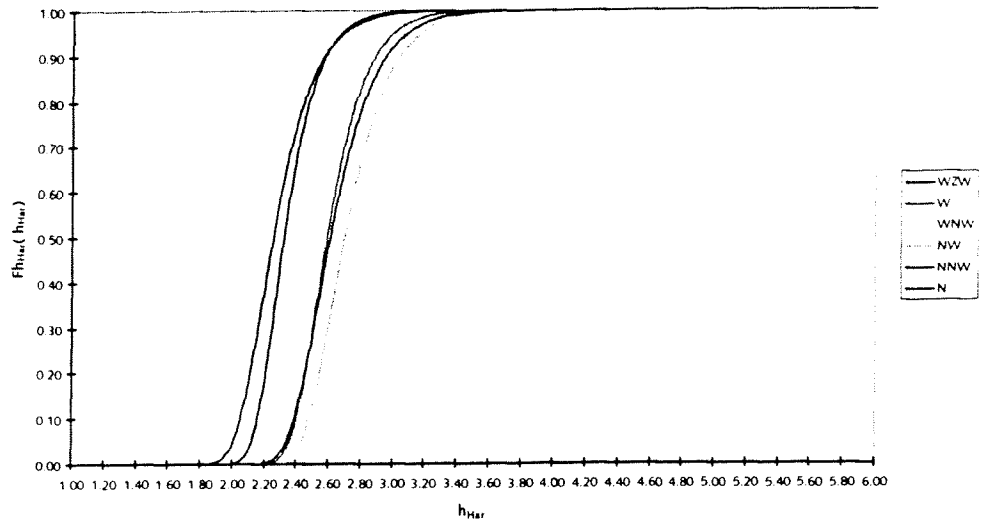


.....Verwijzing'.....
 Zie bijlage II.P.4 voor de interpolatieprocedure

.....Grafiek II.D.1.....
 Kansdichtheden waterstand bij Harlingen per windrichting (h_{Har} in meter t.o.v. NAP)

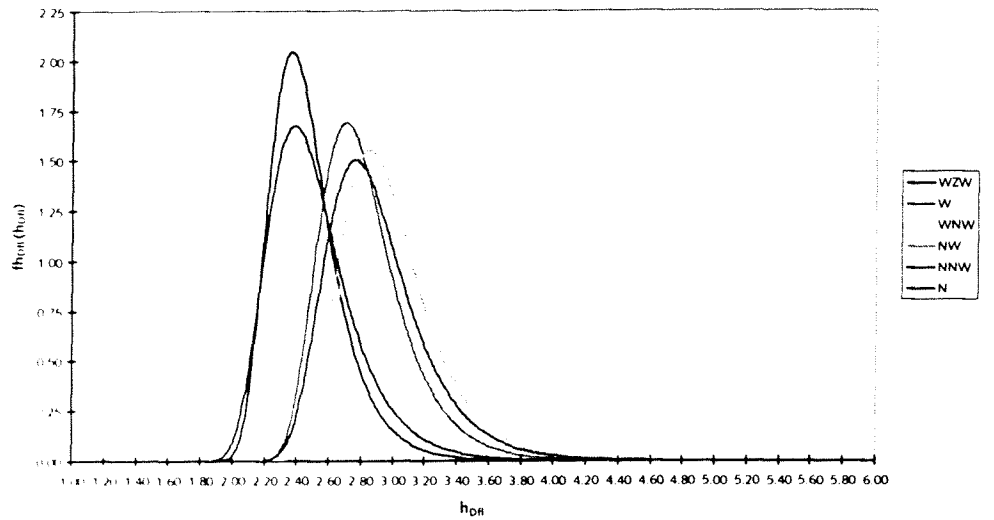
Overzicht verdelingsfuncties waterstand Harlingen per windrichting

.....Grafiek II.D.2.....
 Verdelingsfuncties waterstand bij Harlingen
 per windrichting (h_{Har} in meter t.o.v. NAP)



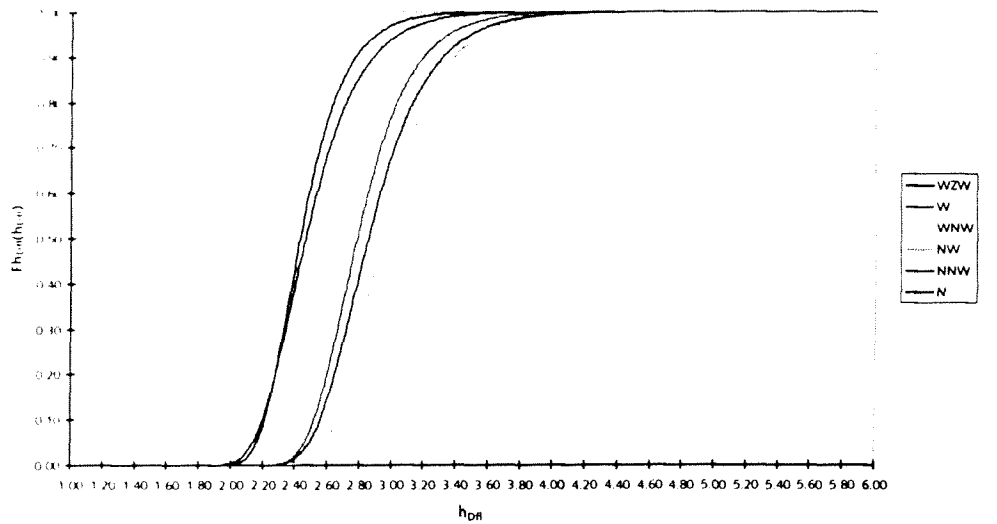
Overzichtkansverdelingen waterstand Delfzijl per windrichting

.....Grafiek II.D.3.....
 Kansdichtheden waterstand bij Delfzijl per
 windrichting (h_{Dfz} in meter t.o.v. NAP)



Overzicht verdelingsfuncties waterstand Delfzijl per windrichting

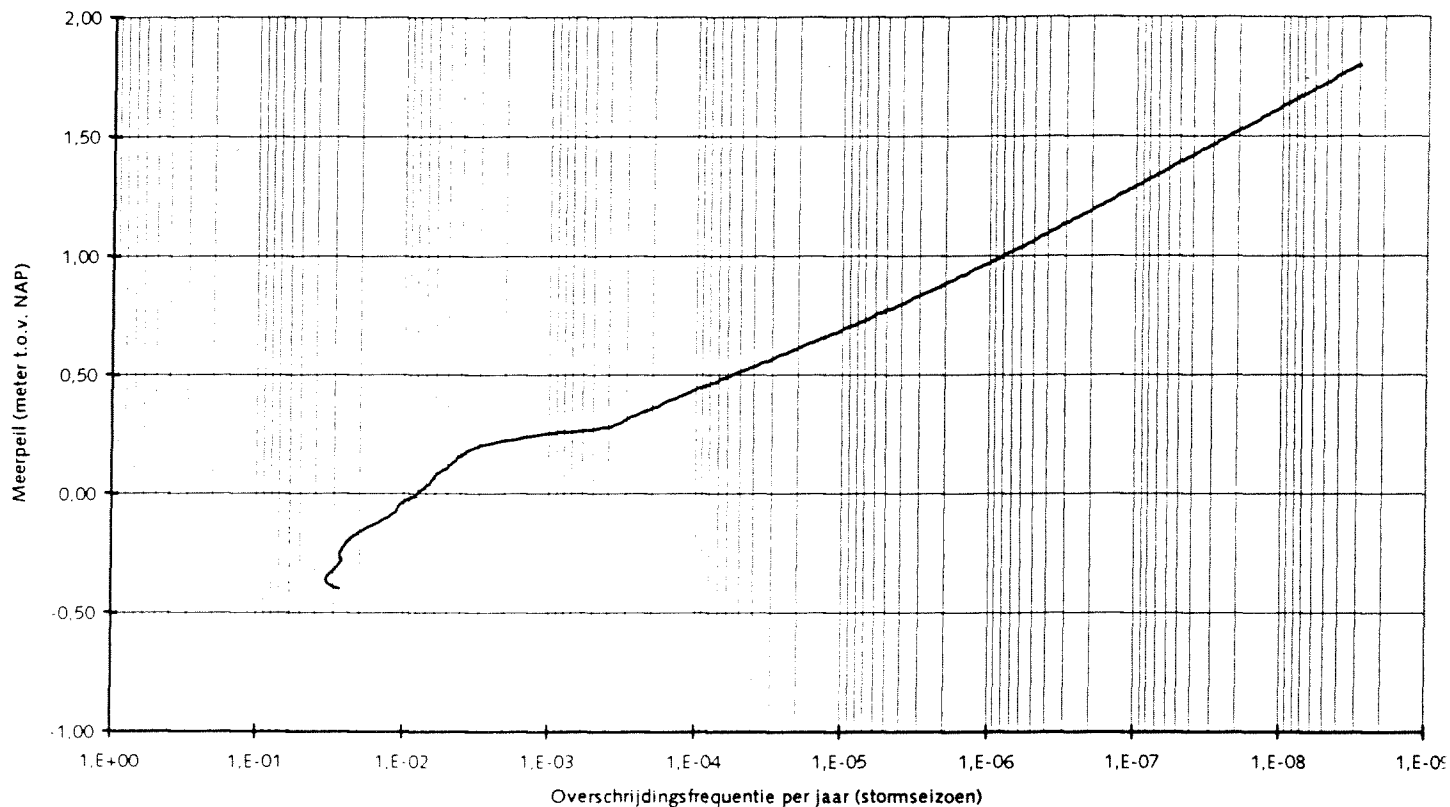
.....Grafiek II.D.4.....
 Verdelingsfuncties waterstand bij Delfzijl per
 windrichting (h_{Dfz} in meter t.o.v. NAP)



Bijlage II.E IJsselmeerpeil als functie van overschrijdingsfrequenties

Opgesteld op basis van gegevens uit het rapport 'Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied' Deelrapport 2: Meerpeilstatistiek'. (RIZA, 1999)

Meerpeil langs de IJsselmeerkust als functie van de overschrijdingsfrequenties



Bijlage II.F Meerpeilstatistiek

In deze bijlage wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste meerpeilstatistiek voor het IJsselmeergebied. (TNO-Bouw, september 1999)

De lokale waterstand ergens langs het IJsselmeer wordt bepaald op basis van:

- de gemiddelde waterstand van het IJsselmeer (h_m)
- de windsnelheid (v)

(deze worden als onafhankelijk beschouwd)

Voor de gemiddelde waterstand op het IJsselmeer is een Gumbelverdeling gefit:

$$F_{h_m}(h_m) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{h_m - A}{B}\right)\right] \quad (\text{II.F.1})$$

hierin is:

A een coëfficiënt van de Gumbelverdeling = -0,55 [m]

B een coëfficiënt van de Gumbelverdeling = 0,11 [m]

voor een willekeurige periode van 12 uur

Deze verdeling is gekalibreerd met:

⇒ $h_m = 0,52$ meter met een overschrijdingsfrequentie van 0,01072 per jaar
en een overschrijdingsduur van 0,01074 dagen per jaar

dit duidt op een gemiddelde duur van 1 dag

⇒ $h_m = 0,78$ meter met een overschrijdingsfrequentie van 0,01053 per jaar
en een overschrijdingsduur van 0,00726 dagen per jaar

dit duidt op een gemiddelde duur van 0,7 dag

Een goede benadering voor de duur van het meerpeil is dus:

$$\text{duur meer peil} = \frac{a}{h_m} \leq 10 \text{ dagen} \quad (\text{II.F.2})$$

hierin is:

a 0,5 dag/m

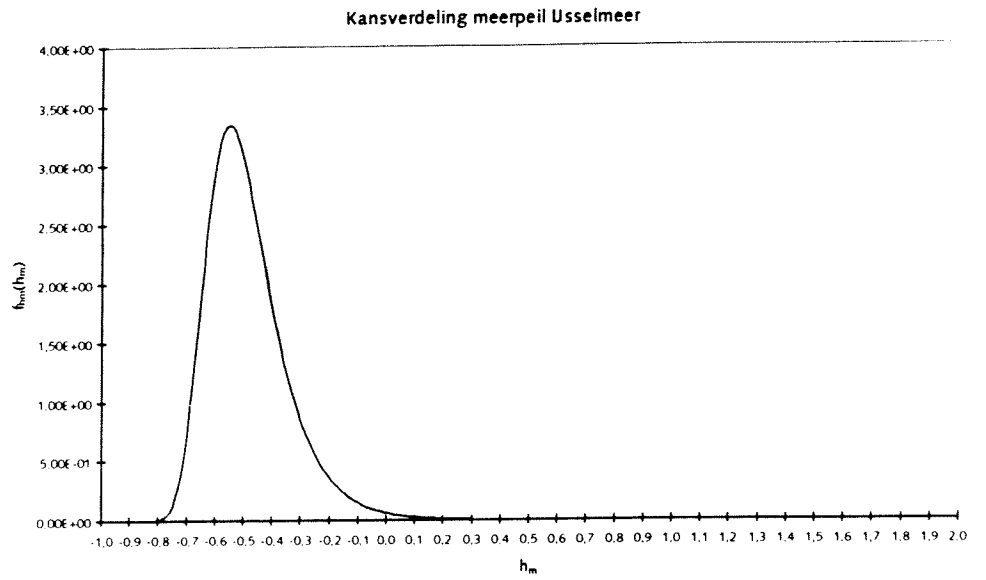
Uit nadere analyses is echter ook gebleken dat de duur, richtingsafhankelijk is. Bij oostenwind en voor een windsnelheid groter dan 11 m/s is de duur van de waterstand veel kleiner dan het gemiddelde. Omdat het lastig is om deze richting te integreren in de berekening wordt verondersteld dat geldt:

➤ westenwind ⇒ duur 1,5 dag

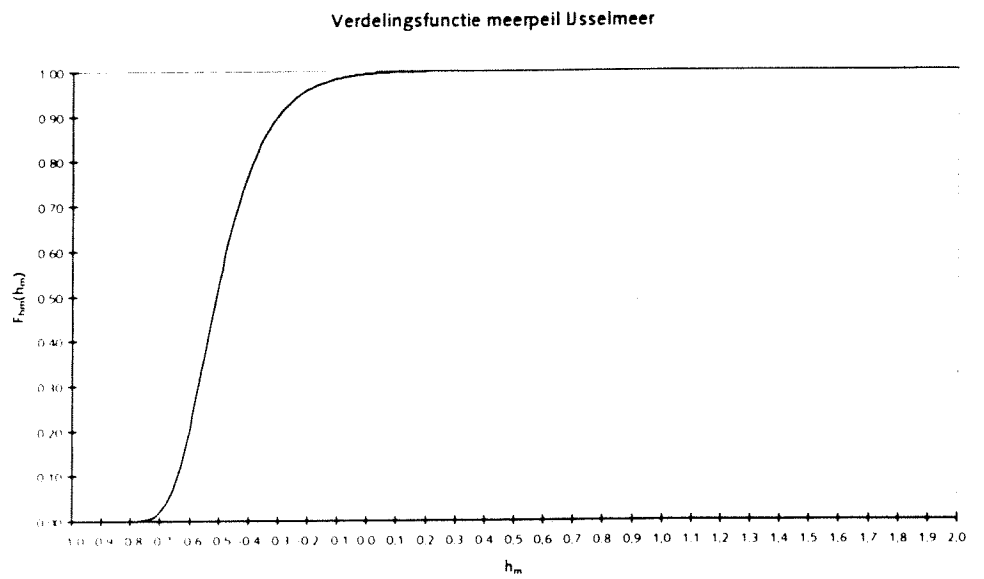
➤ oostenwind ⇒ duur 0,5 dag

Op de volgende pagina wordt zowel de kansverdeling als de verdelingsfunctie van het meerpeil grafisch weergegeven.

.....Grafiek II.F.1.....
Kansdichtheid meerpeil IJsselmeer
(h_m in meter t.o.v. NAP)



.....Grafiek II.F.2.....
Verdelingsfunctie meerpeil IJsselmeer
(h_m in meter t.o.v. NAP)



Bijlage II.G Formules van Bretschneider

De formule van Bretschneider voor de significante golfhoogte:

$$H_s = m_{gH} \frac{V^2}{g} 0,283 \tanh \left[0,530 \left(\frac{gd}{V^2} \right)^{0,750} \right] \tanh \left[\frac{0,0125 \left(\frac{gF}{V^2} \right)^{0,42}}{\tanh \left[0,530 \left(\frac{gd}{V^2} \right)^{0,750} \right]} \right]$$

hierin is:

m_{gH}	de modelfactor voor het golfgeneratiemodel	[-]
V	de windsnelheid	[m/s]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
d	de waterdiepte van de sectie	[m]
F	de strijklengte van de sectie	[m]

De formule van Bretschneider voor de significante golfperiode:

$$T_s = m_{gT} 2\pi \frac{V}{g} 1,2 \tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{V^2} \right)^{0,375} \right] \tanh \left[\frac{0,077 \left(\frac{gF}{V^2} \right)^{0,25}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{V^2} \right)^{0,375} \right]} \right]$$

hierin is:

m_{gT}	de modelfactor voor het golfgeneratiemodel	[-]
V	de windsnelheid	[m/s]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
d	de waterdiepte van de sectie	[m]
F	de strijklengte van de sectie	[m]

Opmerkingen:

- de formules zijn alleen toepasbaar voor één strijksectie
- om de onzekerheid in het model te laten weerspiegelen worden de uitkomsten vermenigvuldigd met modelfactoren (m_{gT} en m_{gH})
- om de geremde golfgroei als gevolg van een ondiep voorland te verrekennen, wordt de significantie golfhoogte begrensd door:

$$\text{als } H_s > 0,5 h_d \quad \text{dan } H_s = 0,5 h_d$$

hierin is:

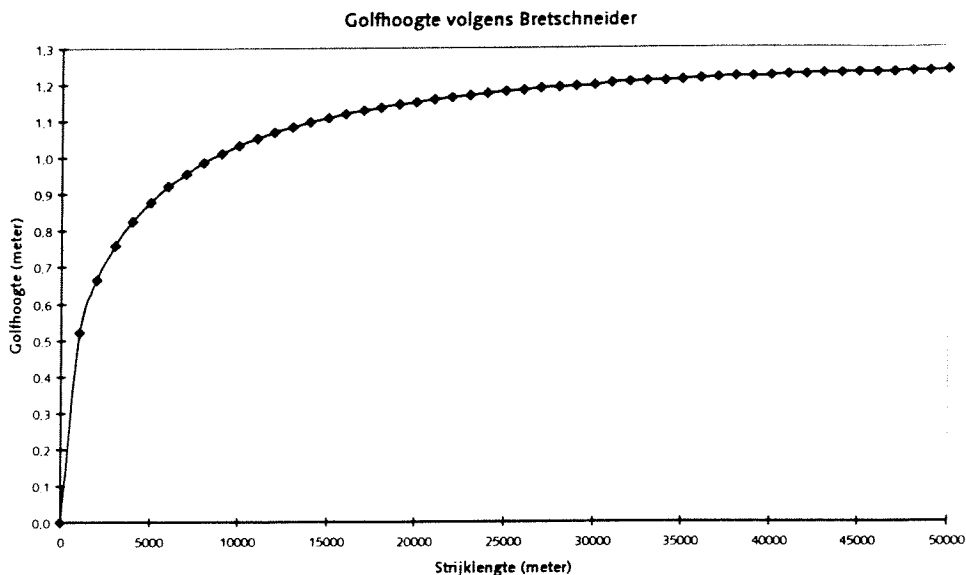
h_d de waterdiepte bij de teen van de dijk ten opzichte van de lokale waterstand zonder golven

$$h_d = h - h_t$$

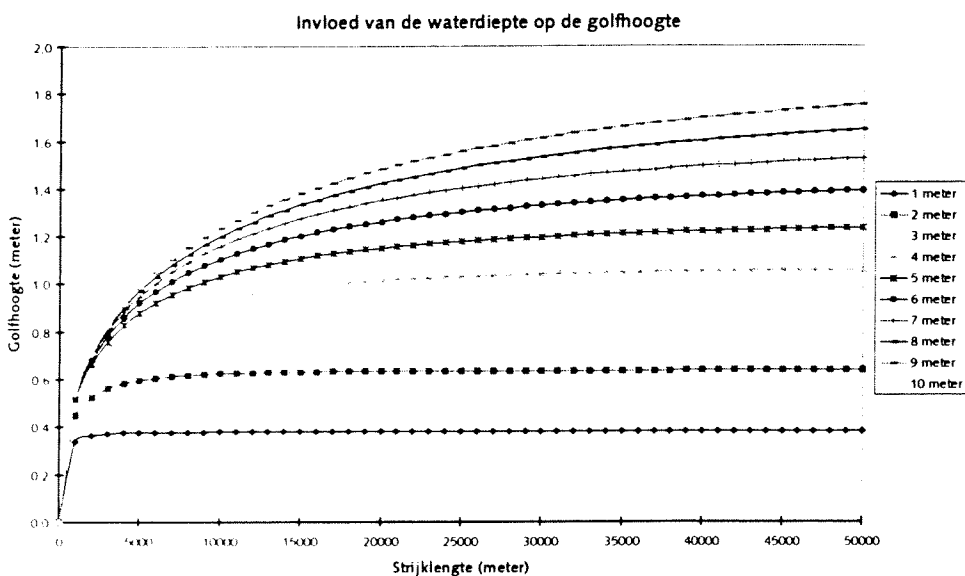
hierin is:

h	de lokale waterstand	[m]
h_t	de hoogte van de teen	[m]

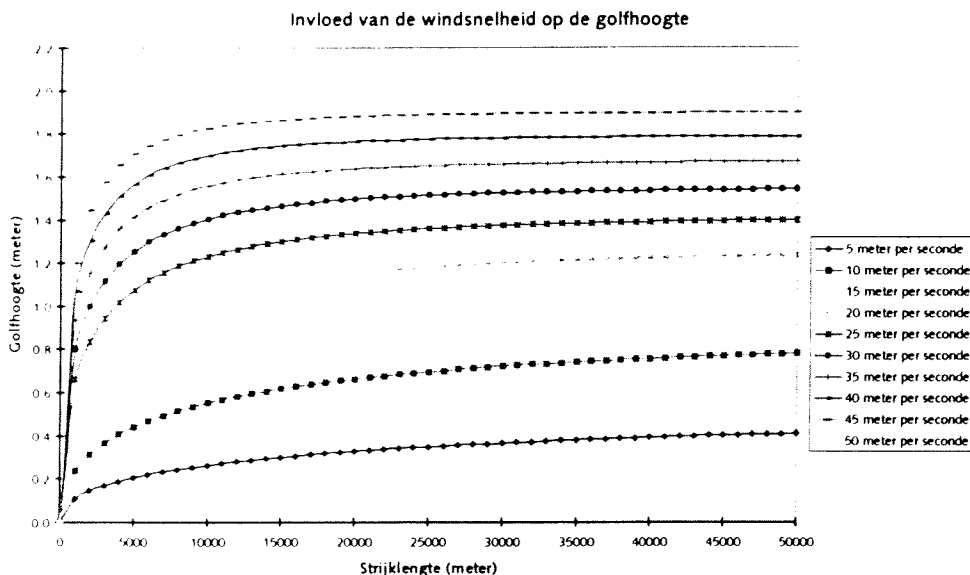
.....**Grafiek II.G.1**.....
 Golfhoogte verloop als functie van de
 strijklengte (ook wel fetch genoemd)



.....**Grafiek II.G.2**.....
 De invloed van de waterdiepte op de golf-
 hoogte als functie van de strijklengte.
 Duidelijk waarneembaar in de grafiek is dat
 de waterdiepte ten opzichte van de golflengte
 moet worden genomen. Bij kleine strijklengten
 (0-2000 meter) zijn de ontstane golven vrij
 klein en hebben dus tevens een korte golflengte.
 Een geringe waterdiepte t.o.v. een korte
 golflengte is dus alsnog relatief diep. De golf-
 hoogte wordt dan ook nog nauwelijks be-
 perkt. Dit fenomeen is vooral goed waarneem-
 baar bij kleine waterdiepten (1-2 meter). De
 grafiek kent een steil begin gevolgd door een
 nagenoeg horizontaal verloop. Dit in tegen-
 stelling tot grotere waterdiepten waar het
 verloop veel vloeiender is.



.....**Grafiek II.G.3**.....
 De invloed van de windsnelheid op de golf-
 hoogte als functie van de strijklengte.



Bijlage II.H Striijklengten en bodemdiepten

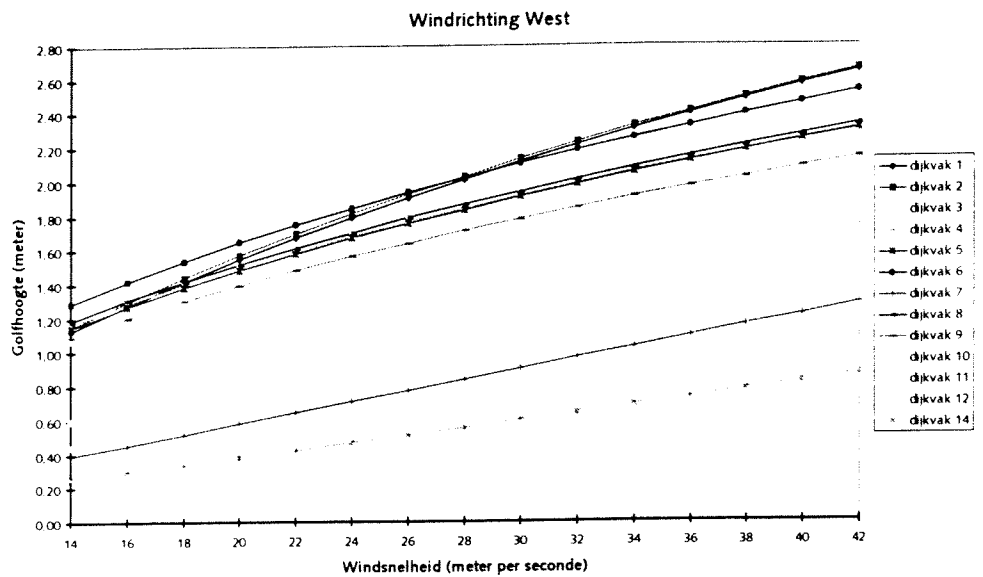
Vak	Wind-richting	Striijklengte	Diepte (m)	K _k	Vak	Wind-richting	Striijklengte	Diepte (m)	K _k	Vak	Wind-richting	Striijklengte	Diepte (m)	K _k
1	N	31.000	-5	0,9	7	N	7.500	-1	1,1	13	N	12.000	-5	0,7
	ZW	6.250	-5	0,9		NNO	10.000	-1	1,1		NNO	12.000	-5	0,7
	WZW	42.500	-5	0,9		NO	11.000	-1	1,1		NO	12.000	-5	0,7
	W	33.000	-5	0,9		ONO	21.000	-1	1,1		ONO	12.000	-5	0,7
	WNW	32.500	-5	0,9		W	1.000	-1	1,1		O	12.000	-5	0,7
	NW	28.000	-5	0,9		WNW	2.000	-1	1,1		WNW	12.000	-5	0,7
	NNW	24.000	-5	0,9		NW	9.000	-1	1,1		NW	16.000	-5	0,7
2	N	22.000	-5	0,9	NNW	8.000	-1	1,1	14	N	14.000	-5	0,7	
	NNO	25.000	-5	0,9	N	7.500	-1	1,1		NNO	14.000	-5	0,7	
	ZW	40.000	-5	0,9	NNO	7500	-1	1,1		NO	14.000	-5	0,7	
	WZW	40.000	-5	0,9	NO	13.000	-1	1,1		NO	14.000	-5	0,7	
	W	36.000	-5	0,9	ONO	19.000	-1	1,1		WZW	1.000	-5	0,7	
	WNW	22.000	-5	0,9	W	40.000	-1	1,1		W	1.000	-5	0,7	
	NW	22.000	-5	0,9	WNW	11.000	-1	1,1		WNW	14.000	-5	0,7	
NNW	21.000	-5	0,9	NW	8.000	-1	1,1	NW	17.000	-5	0,7			
3	N	18.000	-5	0,85	NNW	8.000	-1	1,1	15	N	13.000	-5	0,7	
	NNO	22.000	-5	0,85	N	6.500	-1	1		NNO	13.000	-5	0,7	
	NO	23.000	-5	0,85	NNO	9.000	-1	1		NO	13.000	-5	0,7	
	ZW	45.000	-5	0,85	NO	9.000	-1	1		NO	13.000	-5	0,7	
	WZW	42.000	-5	0,85	ONO	21.000	-1	1		ONO	13.000	-5	0,7	
	W	34.000	-5	0,85	W	42.000	-1	1		O	13.000	-5	0,7	
	WNW	24.000	-5	0,85	WNW	12.000	-1	1		OZO	13.000	-5	0,7	
NW	20.000	-5	0,85	NW	7.000	-1	1	NW	17.000	-5	0,7			
NNW	19.000	-5	0,85	NNW	14.000	-1	1	NNW	13.000	-5	0,7			
4	N	17.000	-1	1,1	10	N	7.000	-5	0,8	16	N	40.000	-5	0,4
	NNO	19.000	-1	1,1		NNO	8.000	-5	0,8		NNO	20.000	-5	0,4
	WZW	49.000	-1	1,1		NO	13.000	-5	0,8		NO	11.000	-5	0,4
	W	37.000	-1	1,1		ONO	25.000	-5	0,8		ONO	9.000	-5	0,4
	WNW	23.000	-1	1,1		W	3.000	-5	0,8		O	8.000	-5	0,4
	NW	18.000	-1	1,1		WNW	14.000	-5	0,8		OZO	8.000	-5	0,4
	NNW	16.000	-1	1,1		NW	16.000	-5	0,8		ZO	12.000	-5	0,4
5	N	12.500	-1	1,1	NNW	7.000	-1	0,8	17	ZZO	5.000	-5	0,4	
	NNO	15.000	-1	1,1	N	13.000	-1	0,7		NNW	12.000	-5	0,4	
	NO	19.000	-1	1,1	NNO	13.000	-1	0,7		N	40.000	-5	0,5	
	ONO	2.000	-1	1,1	NO	13.000	-1	0,7		NNO	16.000	-5	0,5	
	W	33.000	-1	1,1	ONO	1.000	-1	0,7		NO	7.500	-5	0,5	
	WNW	21.000	-1	1,1	W	13.000	-1	0,7		ONO	5.500	-5	0,5	
	NW	16.000	-1	1,1	WNW	13.000	-1	0,7		O	20.000	-5	0,5	
NNW	18.000	-1	1,1	NW	24.000	-1	0,7	OZO	15.000	-5	0,5			
6	N	9.000	-1	1,2	NNW	13.000	-1	0,7	ZO	2.500	-5	0,5		
	NNO	10.500	-1	1,2	12	N	12.000	-1	0,7	NNW	20.000	-5	0,5	
	NO	15.000	-1	1,2		NNO	12.000	-1	0,7	18	N	4.000	-5	0,6
	ONO	5.000	-1	1,2		NO	12.000	-1	0,7		NNO	4.000	-5	0,6
	WZW	3.000	-1	1,2		ONO	12.000	-1	0,7		NO	5.000	-5	0,6
	W	39.000	-1	1,2		W	12.000	-1	0,7		ONO	9.000	-5	0,6
	WNW	19.000	-1	1,2		WNW	12.000	-1	0,7		O	13.000	-5	0,6
NW	11.000	-1	1,2	NW		17.000	-1	0,7	NNW		21.000	-5	0,6	
NNW	10.000	1	1,2	NNW	12.000	-1	0,7							

Vervolg Tabel II.H.1 Strijklengten en bodemdiepten

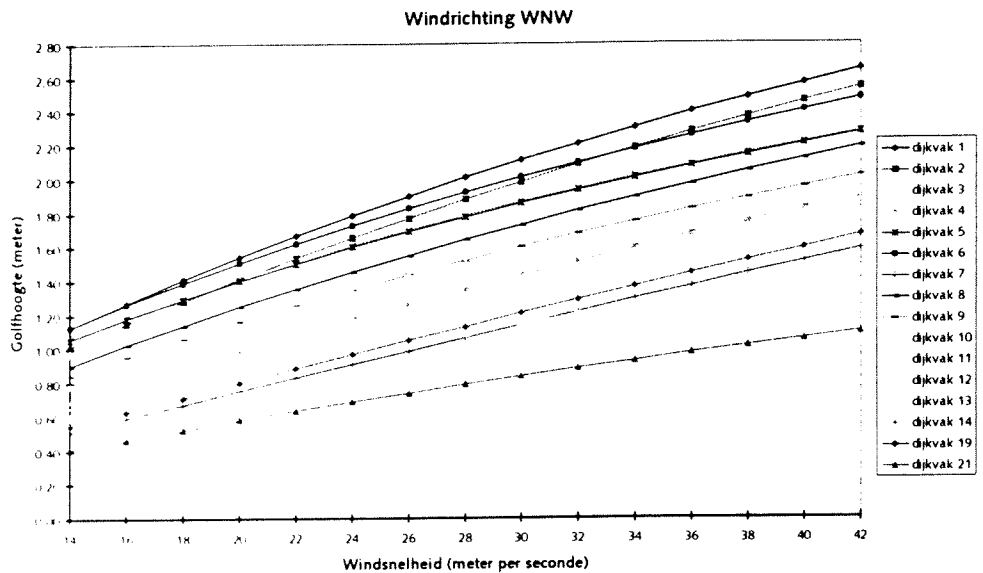
vak	wind-richting	strijk-lengte	diepte (m)	K,k	vak	wind-richting	strijk-lengte	diepte (m)	K,k	vak	wind-richting	strijk-lengte	diepte (m)	K,k		
19	N	4.000	-5	0,7	25	N	11	-1	1	31	OZO	11	-1	1		
	NNO	5.000	-5	0,7		NNO	11	-1	1		ZO	11	-1	1		
	NO	6.000	-5	0,7		ZW	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		
	ONO	10.000	-5	0,7		WZW	11	-1	1		Z	11	-1	1		
	WNW	7.000	-5	0,7		W	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		
	NNW	24.000	-5	0,3		WNW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		
20	N	1.000	-1	0,3	NW	11	-1	1	NW	11	-1	1	WZW	11	-1	1
	NNO	7.000	-1	0,3	NNW	11	-1	1	W	11	-1	1	W	11	-1	1
	NO	9.000	-1	0,3	26	ZO	11	-1	1	27	OZO	11	-1	1		
	ONO	11.000	-1	0,3		ZZO	11	-1	1		ZO	11	-1	1		
	O	10.000	-1	0,3		Z	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		
	OZO	10.000	-1	0,3		ZZW	11	-1	1		Z	11	-1	1		
	ZO	8.000	-1	0,3		ZW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		
	ZZO	4.000	-1	0,3		WZW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		
	Z	3.000	-1	0,3		W	11	-1	1		WZW	11	-1	1		
	NW	16.000	-1	0,3		WNW	11	-1	1		W	11	-1	1		
NNW	5.000	-1	0,3	21		N	11.000	-1	0,5		ZO	11	-1	1		
21	NNO	7.000	-1			0,5	ZZO	11	-1		1	Z	11	-1	1	
	NO	2.000	-1		0,5	Z	11	-1	1	ZZW	11	-1	1			
	ONO	1.000	-1		0,5	ZZW	11	-1	1	ZW	11	-1	1			
	WNW	9.000	-1		0,5	ZW	11	-1	1	WZW	11	-1	1			
	NW	20.000	-1		0,5	WZW	11	-1	1	W	11	-1	1			
	NNW	12.000	-1	0,5	W	11	-1	1	WNW	11	-1	1				
22	Z	11	-1	1	28	ZO	11	-1	1	29	O	11	-1	1		
	ZZW	11	-1	1		ZO	11	-1	1		OZO	11	-1	1		
	ZW	11	-1	1		Z	11	-1	1		ZO	11	-1	1		
	WZW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		
	W	11	-1	1		Z	11	-1	1		Z	11	-1	1		
	WNW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		
	NW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		
	NNW	11	-1	1		WZW	11	-1	1		WZW	11	-1	1		
23	Z	11	-1	1	29	O	11	-1	1	30	O	11	-1	1		
	ZZW	11	-1	1		OZO	11	-1	1		OZO	11	-1	1		
	ZW	11	-1	1		ZO	11	-1	1		ZO	11	-1	1		
	WZW	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		
	W	11	-1	1		Z	11	-1	1		Z	11	-1	1		
	WNW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		
	NW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		
	NNW	11	-1	1		WZW	11	-1	1		WZW	11	-1	1		
24	Z	11	-1	1	30	O	11	-1	1	30	O	11	-1	1		
	ZZW	11	-1	1		OZO	11	-1	1		OZO	11	-1	1		
	ZW	11	-1	1		ZO	11	-1	1		ZO	11	-1	1		
	WZW	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		ZZO	11	-1	1		
	W	11	-1	1		Z	11	-1	1		Z	11	-1	1		
	WNW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		ZZW	11	-1	1		
	NW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		ZW	11	-1	1		
	NNW	11	-1	1		WZW	11	-1	1		WZW	11	-1	1		

Bijlage II.I Golfhoogten volgens PC_RING (schematisatie SPRINT)

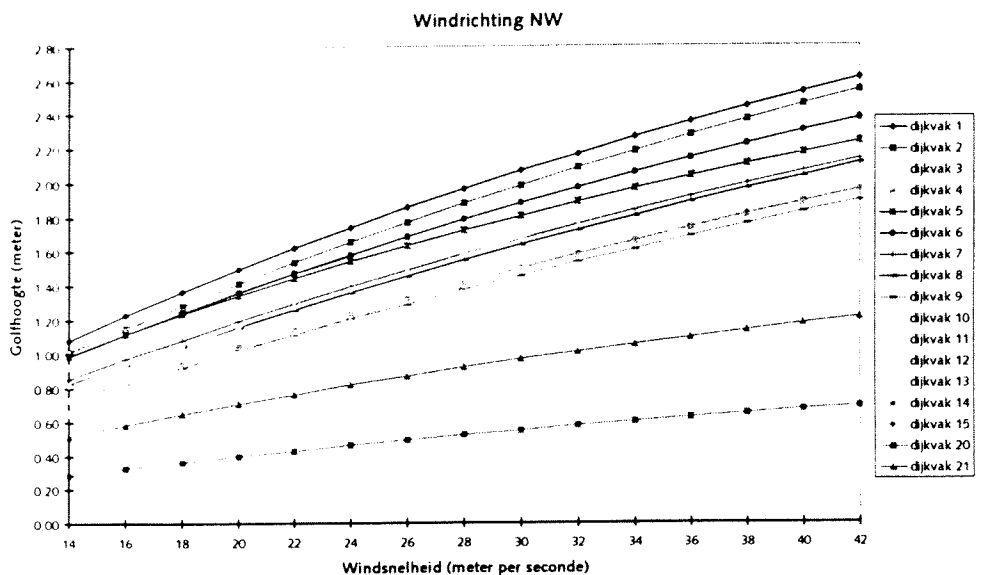
.....Grafiek II.I.1.....
 Golfhoogten bij windrichting west als functie van de windsnelheid



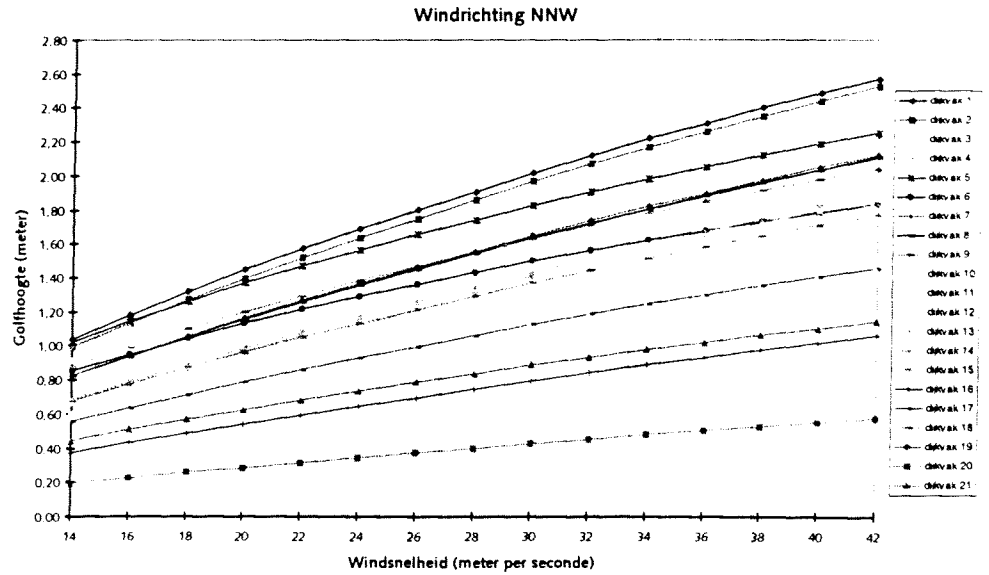
.....Grafiek II.I.2.....
 Golfhoogten bij windrichting WNW als functie van de windsnelheid



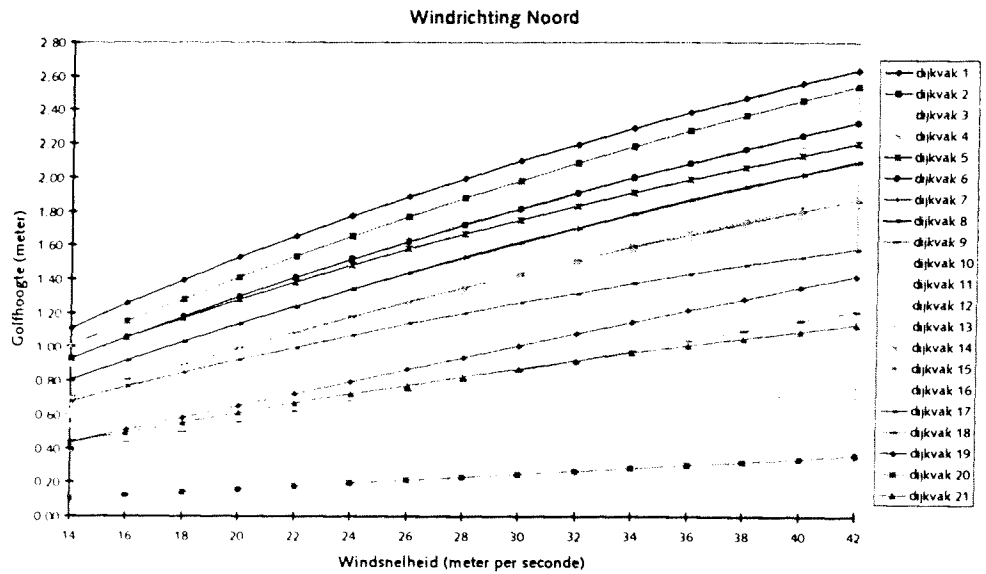
.....Grafiek II.I.3.....
 Golfhoogten bij windrichting NW als functie van de windsnelheid



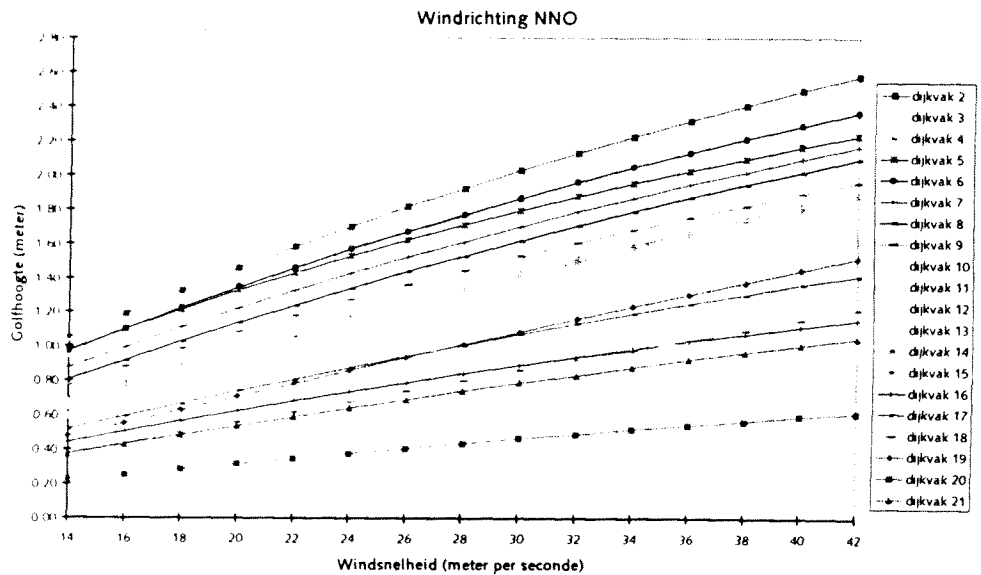
.....Grafiek II.1.3.....
 Golfhoogten bij windrichting NNW als functie
 van de windsnelheid



.....Grafiek II.1.4.....
 Golfhoogten bij windrichting Noord als
 functie van de windsnelheid



.....Grafiek II.1.5.....
 Golfhoogten bij windrichting NNO als
 functie van de windsnelheid



Bijlage II.J Windstatistiek Waddenzee

In deze bijlage wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste windstatistiek voor het Waddenzegebied. (TNO-Bouw, september 1999)

Voor de wind, gegeven een bepaalde windrichting φ wordt een Gumbel-verdeling aangehouden:

$$F_v(v|\varphi) = \exp\left[-\exp\left(\frac{v - A_\varphi}{B_\varphi}\right)\right] \quad (II.J.1)$$

De kansverdeling in 12 uur ongeacht de windsnelheid volgt uit:

$$F_v(v) = \sum F_v(v|\varphi)P(\varphi) \quad (II.J.2)$$

hierbij wordt gesommeerd over 12 of 16 windrichtingen. De wind wordt in de tijd gemodelleerd als een Borges Castanheta model, waarin aangenomen wordt dat de wind elke 12 uur een nieuwe onafhankelijke waarde aanneemt. Het jaarmaximum ongeacht de windrichting volgt dan uit¹:

$$F_{v \text{ jaar}}(v) = F_{v \text{ 12 uur}}(v)^{360} \quad (II.J.3)$$

.....Toelichting¹.....
Hierbij is uitgegaan dat alleen een winter-haljaar bijdraagt aan de kans op grote jaarmaxima

In PC_RING wordt de windstatistiek ontleend aan een meetstation op Schiphol. (voor andere dijkkringgebieden is ook de meetlocatie Deelden beschikbaar.) De getalwaarden voor A en B voor de locatie Schiphol, behorende bij een periode van twaalf uur, worden weergegeven in tabel II.J.3. Voor de locatie Den Helder worden de windsnelheden met een herhalingstijd van 10 jaar (3600 getijden) gelijk gehouden aan die van Schiphol, terwijl de nepereringshoogte met 0,8 wordt vermenigvuldigd².

$$B_{\text{Den Helder}} = 0,8 * B_{\text{Schiphol}} \quad (II.J.4)$$

$$A_{\text{Den Helder}} = A_{\text{Schiphol}} + (B_{\text{Schiphol}} - B_{\text{Den Helder}}) * \ln(3600)$$

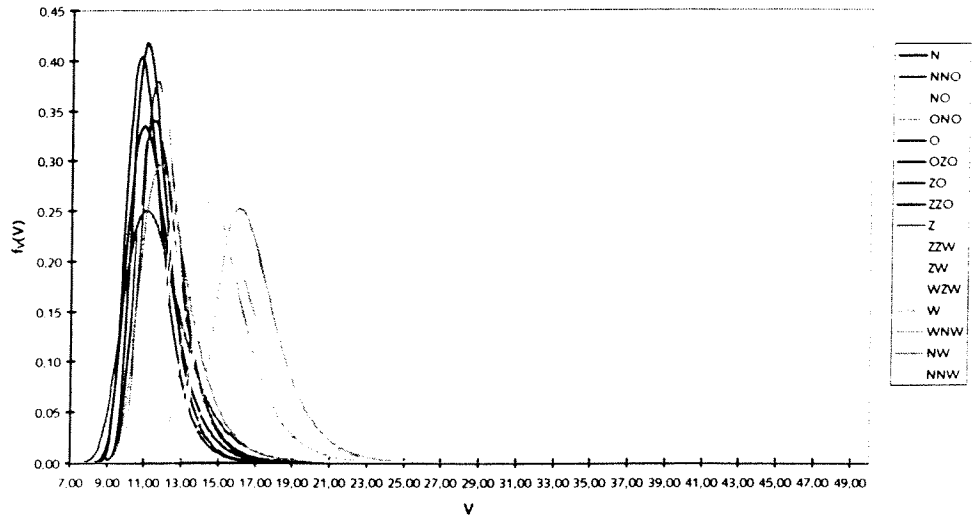
.....Toelichting².....
Conform het model van Rijkooord en Wierenga

.....Tabel II.J.3.....
Windstatistiek Schiphol en Den Helder
12 uur waarden, gegeven de windrichting
Zie ook grafiek II.J.1 en II.J.2

Windrichting	Schiphol			Den Helder	
	φ [°]	P(φ)	A [m/s]	B [m/s]	A [m/s]
0,0 N	0,0470	9,19	1,35	11,401	1,08
22,5 NNO	0,0450	9,60	1,21	11,582	0,97
45,0 NO	0,0560	9,61	1,10	11,412	0,88
67,5 ONO	0,0645	9,25	1,10	11,052	0,88
90,0 ONO	0,0576	9,21	1,10	11,012	0,88
112,5 OZO	0,0415	8,82	1,14	10,687	0,91
135,0 ZO	0,0445	8,02	1,83	11,017	1,46
157,5 ZZO	0,0583	8,64	1,37	10,882	1,10
180,0 Z	0,0746	9,19	1,55	11,728	1,24
202,5 ZZW	0,0908	10,70	1,60	13,321	1,28
225,0 ZW	0,0961	12,45	1,65	15,152	1,32
247,5 WZW	0,0910	12,16	1,85	15,190	1,48
270,0 W	0,0760	11,74	2,07	15,130	1,66
292,5 WNW	0,0576	13,07	1,82	16,051	1,46
315,0 NW	0,0509	11,55	1,77	14,449	1,42
337,5 NNW	0,0496	10,62	1,52	13,109	1,22

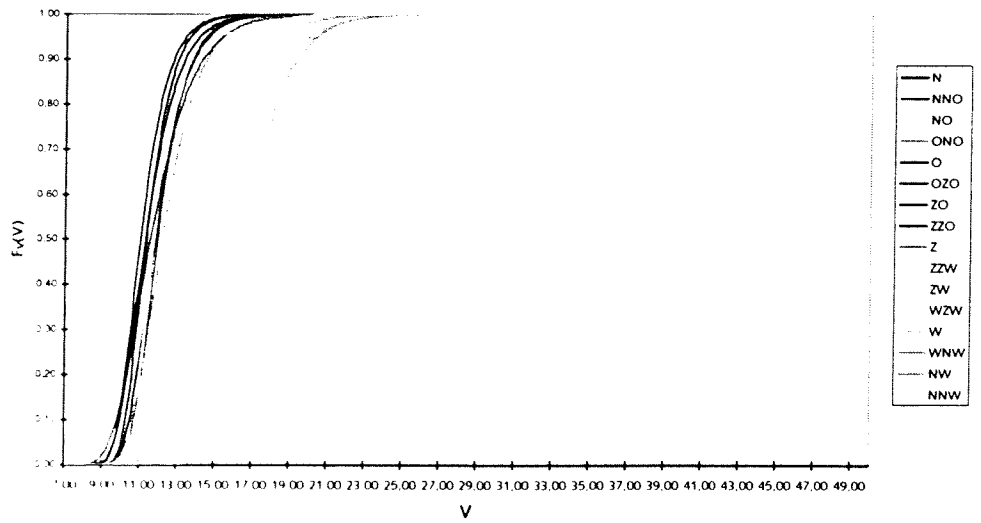
Overzicht kansverdelingen windsnelheden per windrichting

.....Grafiek II.J.1.....
 Kansdichtheden van de windsnelheid in Den Helder per windrichting (V in meter per seconde)



Overzicht verdelingsfuncties windsnelheid per windrichting

.....Grafiek II.J.2.....
 Verdelingsfuncties van de windsnelheid in Den Helder per windrichting (V in meter per seconde)



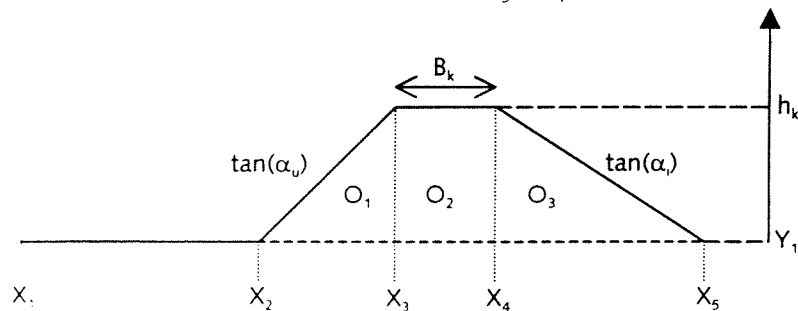
Bijlage II.K Dijkprofielen

Een dijkprofiel wordt beschreven door een verzameling van coördinatenkoppels, variërend in aantal (n), afhankelijk van de aanwezigheid van een knik of berm in het talud. In dit onderzoek wordt het aantal mogelijke dijkprofielen beperkt door de behandelingscapaciteit van PC_RING. In het onderstaande overzicht worden de bruikbare dijkprofielen weergegeven.

1. $n = 5$

Kenmerken dijkprofiel:

- Kruinhoogte: $h_k = Y_3$
- Kruinbreedte: $B_k = X_4 - X_3$
- Teenhoogte: $h_t = Y_1$
- Helling buitentalud: $\tan(\alpha_u) = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2}$
- Helling binnentalud: $\tan(\alpha_i) = \frac{Y_4 - Y_5}{X_5 - X_4}$



- Ruimtebeslag dijk: $X_{\text{ruimtebeslag}} = X_5$

- Oppervlakte dijklichaam: $O_{\text{totaal}} = \sum_{i=1}^3 O_i$ met

$$O_1 = \frac{1}{2} \frac{h_k^2}{\tan(\alpha_u)}$$

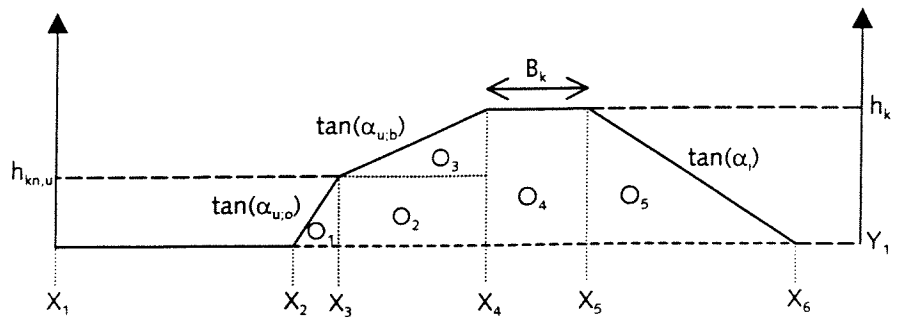
$$O_2 = h_k B_k$$

$$O_3 = \frac{1}{2} \frac{h_k^2}{\tan(\alpha_i)}$$

2. $n = 6$

Kenmerken dijkprofiel:

- Kruinhoogte: $h_k = Y_4$
- Kruinbreedte: $B_k = X_5 - X_4$
- Teenhoogte: $h_t = Y_1$
- Knikhoogte: $h_{kn,u} = Y_3$
- Helling buitentalud boven: $\tan(\alpha_{u,b}) = \frac{Y_4 - Y_3}{X_4 - X_3}$
- Helling buitentalud onder: $\tan(\alpha_{u,o}) = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2}$
- Helling binnentalud: $\tan(\alpha_i) = \frac{Y_5 - Y_6}{X_6 - X_5}$



➤ Ruimtebeslag dijk: $X_{\text{ruimtebeslag}} = X_6$

➤ Oppervlakte dijklichaam: $O_{\text{totaal}} = \sum_{i=1}^5 O_i$ met

$$O_1 = \frac{1}{2} \frac{h_{kn,u}^2}{\tan(\alpha_{u,o})}$$

$$O_2 = h_{kn,u}(X_4 - X_3)$$

$$O_3 = \frac{1}{2} \frac{(h_k - h_{kn,u})^2}{\tan(\alpha_{u,b})}$$

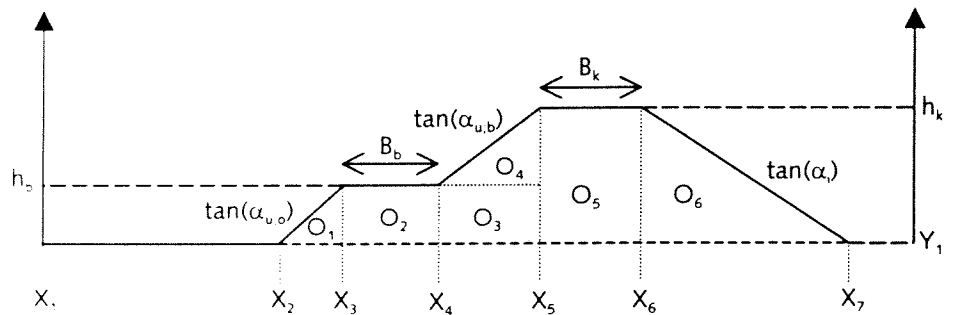
$$O_4 = h_k B_k$$

$$O_5 = \frac{1}{2} \frac{h_k^2}{\tan(\alpha_i)}$$

.....**Toelichting**.....
 Wanneer de helling boven en onder een berm op het buitentalud verschillen, moet de representatieve taludhelling bepaald worden. Bijlage II.L geeft een overzicht van de verschillende mogelijke situaties

3. $n = 7$
 Kenmerken dijkprofiel:

- Kruinhoogte: $h_k = Y_5$
- Kruinbreedte: $B_k = X_6 - X_5$
- Teenhoogte: $h_t = Y_1$
- Bermhoogte: $h_b = Y_3$
- Bermbreedte: $B_b = X_4 - X_3$
- Helling buitentalud boven: $\tan(\alpha_{u,b}) = \frac{Y_5 - Y_4}{X_5 - X_4}$
- Helling buitentalud onder: $\tan(\alpha_{u,o}) = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2}$
- Helling binnentalud: $\tan(\alpha_i) = \frac{Y_6 - Y_7}{X_7 - X_6}$



➤ Ruimtebeslag dijk: $X_{\text{ruimtebeslag}} = X_7$

➤ Opp: $O_{\text{totaal}} = \sum_{i=1}^6 O_i$ met

$$O_1 = \frac{1}{2} \frac{h_b^2}{\tan(\alpha_{u,o})}$$

$$O_2 = h_b B_b \quad O_3 = h_b (X_5 - X_4)$$

$$O_4 = \frac{1}{2} \frac{(h_k - h_b)^2}{\tan(\alpha_{u,b})}$$

$$O_5 = h_k B_k \quad O_6 = \frac{1}{2} \frac{h_k^2}{\tan(\alpha_i)}$$

Bijlage II.L Bepaling representatieve taludhelling

.....**Toelichting!**.....
 SWL staat voor Stil Water Lijn

De representatieve taludhelling komt overeen met de gemiddelde helling in de zone tussen 1,5 maal de golfhoogte onder de SWL en anderhalf maal de golfhoogte boven de SWL¹. De eventueel aanwezige helling van een berm wordt niet meegerekend. Als de kruinhoogte of de teenhoogte binnen de grenzen van 1,5 maal de golfhoogte boven respectievelijk onder de SWL vallen, dan moet de taludhelling doorgetrokken worden. De representatieve taludhelling is gelijk aan:

$$\tan(\alpha_{rep}) = \frac{3H_s}{L_{talud} - B_{berm}} \quad (II.L.1)$$

hierin is:

α_{rep}	de representatieve taludhelling	[-]
H_s	de golfhoogte	[m]
L_{talud}	de taludlengte	[m]

De volgende situaties kunnen zich voordoen:

1. Talud zonder knik of berm:

$$L_{talud} = \frac{3H_s}{\tan(\alpha_b)} \quad \text{figuur II.L.1}$$

2. Talud met knik ter hoogte van de lokale waterstand:

$$L_{talud} = \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_o)} + \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_b)} \quad \text{figuur II.L.2}$$

3. Talud met knik onder de lokale waterstand binnen de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

$$L_{talud} = \frac{1,5H_s - (h_{loc} - h_{kn})}{\tan(\alpha_o)} + \frac{h_{loc} - h_{kn}}{\tan(\alpha_b)} + \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_b)} \quad \text{figuur II.L.3}$$

4. Talud met knik onder de lokale waterstand buiten de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

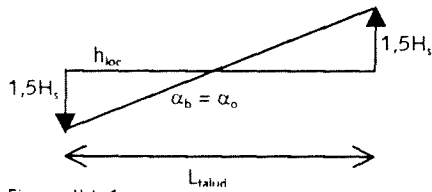
$$L_{talud} = \frac{3H_s}{\tan(\alpha_o)} \quad \text{figuur II.L.4}$$

5. Talud met knik boven de lokale waterstand binnen de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

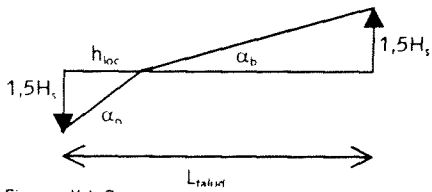
$$L_{talud} = \frac{1,5H_s - (h_{kn} - h_{loc})}{\tan(\alpha_b)} + \frac{h_{kn} - h_{loc}}{\tan(\alpha_o)} + \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_o)} \quad \text{figuur II.L.5}$$

6. Talud met knik boven de lokale waterstand buiten de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

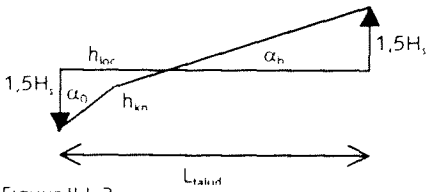
$$L_{talud} = \frac{3H_s}{\tan(\alpha_o)} \quad \text{figuur II.L.6}$$



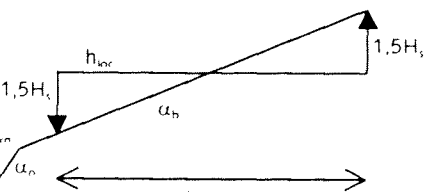
Figuur II.L.1



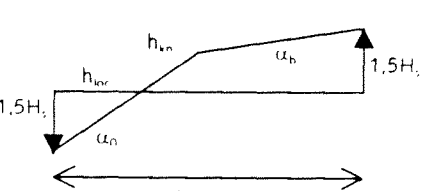
Figuur II.L.2



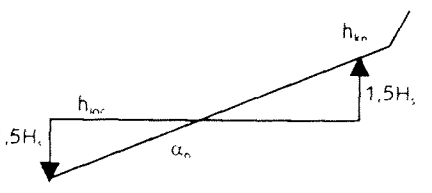
Figuur II.L.3



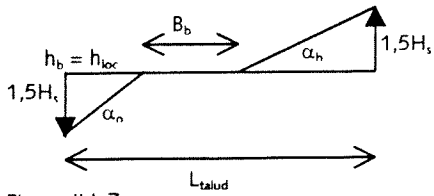
Figuur II.L.4



Figuur II.L.5



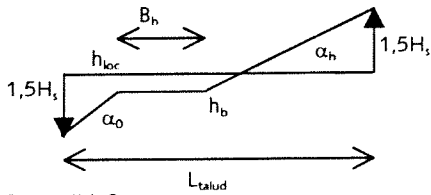
Figuur II.L.6



Figuur II.L.7

7. Talud met berm ter hoogte van de lokale waterstand:

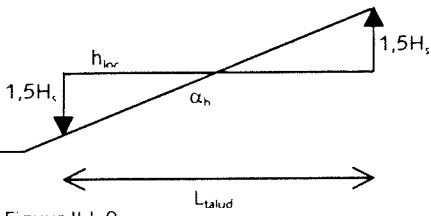
$$L_{\text{talud}} = \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_o)} + \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_b)} + B_b \quad \text{figuur II.L.7}$$



Figuur II.L.8

8. Talud met berm onder de lokale waterstand binnen de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

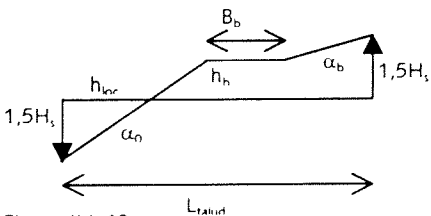
$$L_{\text{talud}} = \frac{1,5H_s - (h_{\text{loc}} - h_b)}{\tan(\alpha_o)} + \frac{h_{\text{loc}} - h_b}{\tan(\alpha_b)} + \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_b)} + B_b \quad \text{figuur II.L.8}$$



Figuur II.L.9

9. Talud met berm onder de lokale waterstand buiten de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

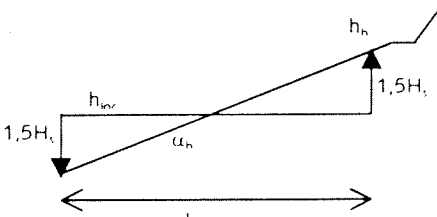
$$L_{\text{talud}} = \frac{3H_s}{\tan(\alpha_b)} \quad \text{figuur II.L.9}$$



Figuur II.L.10

10. Talud met berm boven de lokale waterstand binnen de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

$$L_{\text{talud}} = \frac{1,5H_s - (h_b - h_{\text{loc}})}{\tan(\alpha_b)} + \frac{h_b - h_{\text{loc}}}{\tan(\alpha_o)} + \frac{1,5H_s}{\tan(\alpha_o)} + B_b \quad \text{figuur II.L.10}$$



Figuur II.L.11

11. Talud met knik boven de lokale waterstand buiten de grens van anderhalf maal de golfhoogte:

$$L_{\text{talud}} = \frac{3H_s}{\tan(\alpha_o)} \quad \text{figuur II.L.11}$$

Bijlage II.M Coördinatenkoppels (volgens SPRINT)

Tabel II.M.1 Coördinatenkoppels

vak	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	X ₄	Y ₄	X ₅	Y ₅	X ₆	Y ₆	X ₇	Y ₇
1	-100	-0,250	0	-0,250	47,550	9,260	50,550	9,260	78,330	0,000				
2	-100	-1,000	0	-1,000	45,795	9,650	48,795	9,650	77,745	0,000				
3	-100	1,500	0	1,500	36,707	9,310	39,707	9,310	67,637	0,000				
4	-100	-1,000	0	-1,000	46,436	8,880	49,436	8,880	76,076	0,000				
5	-100	2,000	0	2,000	28,380	8,600	31,380	8,600	57,180	0,000				
6	-100	1,500	0	1,500	45,920	8,060	48,920	8,060	73,100	0,000				
7	-100	0,000	0	0,000	35,960	8,990	38,960	8,990	65,930	0,000				
8	-100	0,000	0	0,000	36,335	8,450	39,335	8,450	64,685	0,000				
9	-100	0,000	0	0,000	33,080	8,270	36,080	8,270	60,890	0,000				
10	-100	0,250	0	0,250	30,599	8,520	33,599	8,520	59,159	0,000				
11	-100	0,000	0	0,000	35,200	8,800	38,200	8,800	64,600	0,000				
12	-100	0,000	0	0,000	45,000	9,000	48,000	9,000	75,000	0,000				
13	-100	0,000	0	0,000	45,000	9,000	48,000	9,000	75,000	0,000				
14	-100	0,000	0	0,000	34,400	8,600	37,400	8,600	63,200	0,000				
15	-100	0,000	0	0,000	36,000	9,000	39,000	9,000	66,000	0,000				
16	-100	0,000	0	0,000	40,000	8,000	43,000	8,000	67,000	0,000				
17	-100	0,000	0	0,000	24,300	8,100	27,300	8,100	51,600	0,000				
18	-100	0,000	0	0,000	18,600	6,200	25,200	6,200	31,500	8,300	34,500	8,300	59,400	0,000
19	-100	0,000	0	0,000	41,500	8,300	44,500	8,300	69,400	0,000				
20	-100	2,000	0	2,000	16,531	7,440	19,531	7,440	41,851	0,000				
21	-100	2,330	0	2,330	13,128	6,190	24,645	8,280	27,645	8,280	52,485	0,000		
22	-100	0,000	0	0,000	11,790	2,620	23,130	4,510	26,130	4,510	39,660	0,000		
23	-100	0,000	0	0,000	2,860	1,430	18,804	4,300	21,804	4,300	34,704	0,000		
24	-100	0,000	0	0,000	3,200	1,600	16,400	1,600	33,040	4,160	36,040	4,160	48,520	0,000
25	-100	-1,500	0	-1,500	13,675	1,700	29,273	4,180	32,273	4,180	44,813	0,000		
26	-100	0,000	0	0,000	13,120	3,280	17,250	3,870	20,250	3,870	31,860	0,000		
27	-100	1,100	0	1,100	6,538	1,950	13,577	3,780	16,577	3,780	27,917	0,000		
28	-100	0,300	0	0,300	13,300	1,250	23,914	3,670	26,914	3,670	37,924	0,000		
29	-100	-3,500	0	-3,500	72,354	0,520	83,954	0,520	97,677	3,570	100,667	3,570	111,377	0,000
30	-100	-0,380	0	-0,380	31,222	3,090	34,222	3,090	43,492	0,000				
31	-100	0,000	0	0,000	7,840	1,960	14,340	1,960	22,620	3,340	25,520	3,340	35,540	0,000

Opmerking: In het SPRINT onderzoek is telkens voor de laatste X-coördinaat de waarde 75 aangehouden. In dit onderzoek is dit aangepast zodat de binnentaludhelling automatisch te herleiden is uit de coördinatenkoppels.

Bijlage II.N Parametergegevens PC_RING

In deze bijlage wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING gebruikte gegevens behorende bij de verschillende (ontwerp)parameters van de mechanismen 'overloop/overslag' en 'piping'. (TNO-Bouw, september 1999)

Ontwerpparameters

Stochasten (tabel II.N.1)

X	Eenheid	Verdelingstype	Gemiddelde	Spreiding	d _x [m]	ρ _x	Δ _t	ρ _t
h _k	m + NAP	normaal	nominaal	σ = 0,10 m	300	0	-	-
h _t	m + NAP	normaal	nominaal	σ = 0,20 m	300	0	-	-
tan(α _{u,b})	-	normaal	nominaal	V = 0,05	150	0	-	-
tan(α _{u,o})	-	normaal	nominaal	V = 0,05	150	0	-	-
tan(α _t)	-	normaal	nominaal	V = 0,05	150	0	-	-
B _b	m	normaal	nominaal	σ = 0,15 m	300	0	-	-
h _b	m + NAP	normaal	nominaal	σ = 0,20 m	300	0	-	-

Opmerking: d_x is de correlatieafstand en ρ_x de correlatiecoëfficiënt

Opmerking: De nominale waarden van de gemiddelden worden afgeleid uit de coördinatenkoppels zoals is weergegeven in bijlage II.K.

Mechanisme overloop/overslag

Deterministen

Stormduur t_s = 7,5 uren

Graskwaliteitsfactor f_g = 1,000 (voor alle dijkvakken)

Stochasten (tabel II.N.2)

X	Eenheid	Verdelingstype	Gemiddelde	Spreiding	d _x [m]	ρ _x	Δ _t	ρ _t
k	m	lognormaal	0,015 m	V = 0,25	300	0,5	-	-
f _b	-	normaal	5,2	σ = 0,55 m	-	-	-	-
f _n	-	normaal	2,6	σ = 0,35 m	-	-	-	-
m _{qc}	-	lognormaal	1,0	σ = 0,50 m	1500	0,4	-	-
m _{qo}	-	lognormaal	1,0	σ = 0,50 m	vak	0,7	-	-

Opmerking: de onzekerheden in de parameters f_b en f_n zijn afgeleid uit waargenomen spreidingen in overslagproeven (zie ook bijlage II.P paragraaf II.P.5)

Mechanisme piping

Stochasten (tabel II.N.3)

X	Eenheid	Verdelingstype	Gemiddelde	Spreiding	d _x [m]	ρ _x	Δ _t	ρ _t
h _{pin}	m + NAP	normaal	nominaal	σ = 0,10 m	-	-	48 uur	0
d	m	lognormaal	nominaal	V = 0,30	300	0	-	-
γ _k	KN/m ³	normaal	nominaal	V = 0,05	300	0	-	-
γ _p	KN/m ³	normaal	nominaal	V = 0,05	300	0	-	-
B	m	lognormaal	nominaal	V = 0,10	3000	0	-	-
D	m	lognormaal	nominaal	V = 0,10	300	0	-	-
C _{bear}	(ms) ⁻¹	lognormaal	nominaal	V = 0,15	450	0	-	-
d ₇₀ /d ₁₀	-	lognormaal	nominaal	V = 0,15	750	0	-	-
θ	°	lognormaal	54°	σ = 3°	750	0	-	-
d ₇₀	m	lognormaal	nominaal	V = 0,15	180	0	-	-
η	-	lognormaal	0,3	V = 0,15	-	-	-	-
m _o	-	lognormaal	1,2	V = 0,10	-	-	-	-
m _p	-	lognormaal	0,7	V = 0,10	-	-	-	-
m _h	-	lognormaal	nominaal	V = 0,10	-	-	-	-

Opmerking: De nominale waarden van de gemiddelden worden op de volgende pagina weergegeven

De nominale waarden van de gemiddelden kunnen opgedeeld worden in twee categorieën. De eerste categorie waarden is verschillend per dijkvak. De tweede categorie is gelijk voor alle dijkvakken.

Nominale waarden van de gemiddelden uit tabel II.N.3 per dijkvak (tabel II.N.4)

Vak	Dikte van de afsluitlaag [m]	Dikte van de zandlaag [m]	Breedte van de waterkering [m]	Binnen-waterstand [m tov NAP]	Relatief gewicht afsluitlaag	Relatief gewicht zandlaag	Demping [-]
9	0,0	3,0	65	-1,10	2,7	1,6	0,8
11	0,0	13,0	73	-0,40	2,7	1,6	0,8
20	1,2	4,0	92	-1,00	2,7	1,7	0,8
22	0,0	3,0	35	-1,00	2,7	1,5	0,8

Nominale waarden van de gemiddelden uit tabel II.N.3 voor alle dijkvakken (tabel II.N.5)

	Rolweerstandshoek [°]	C_{bear}	d_{70} [m]	d_{70}/d_{10}
Gemiddelde	54	0,0009	0,00025	2,5
Spreiding	3	0,15	0,15	0,15
Correlatieafstand	750	450	180	750

Bijlage II.O Literatuuronderzoek: Probabilistische rekentechnieken

Bijlage II.O.1 Inleiding

II.O.1.1 Algemeen

II.O.1.2 Uitgebreide Leeswijzer

Bijlage II.O.2 Basisbegrippen uit de probabilistiek

II.O.2.1 Faalkans, stochasten, kansmassa, kansdichtheid en kansverdeling

II.O.2.2 Falen, bezwijken en faalmechanismen

II.O.2.3 Sterkte, belastingen en grenstoestand

Bijlage II.O.3 Faalkans van een element

II.O.3.1 Niveau-indeling berekeningsmethoden

II.O.3.2 Niveau III methoden

II.O.3.3 Niveau II methoden

II.O.3.4 Vergelijking Niveau II en Niveau III methoden

II.O.3.5 Niveau I methode

Bijlage II.O.4 Faalkans van een systeem

II.O.4.1 Systemen

II.O.4.2 Faalkans van een seriesysteem

II.O.4.3 Faalkans van een parallelsysteem

II.O.4.4 Systeem combinatie procedures in PC_RING

Bijlage II.O.5 Rekenvoorbeeld 1: Monte Carlo / DS

Bijlage II.O.6 Rekenvoorbeeld 2: Niveau II lineaire Z

Bijlage II.O.7 Rekenvoorbeeld 3: Niveau II niet-lineaire Z

Bijlage II.O.8 Rekenvoorbeeld 4: Niveau II niet-normaal verdeelde basisvariabelen

Bijlage II.O.9 Rekenvoorbeeld 5 en 6: Niveau I

Bijlage II.O.10 Rekenvoorbeeld 7: Combinatie-procedure

Bijlage II.O.1 Inleiding

II.O.1.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de algemene begrippen en algemene rekenmethoden uit de probabilistiek beschreven. Het hoofdstuk moet gezien worden als een weergave van bestaande literatuur en dient als achtergrond beschouwd te worden bij dit afstudeeronderzoek. Het hoofdstuk is samengesteld op basis van de literatuur stukken: (*CUR, maart 1997*) en (*TNO-Bouw, september 1999*). Herhaaldelijk wordt eerst algemene informatie omtrent de probabilistische begrippen en rekenmethode weergegeven, gevolgd door een meer op PC_RING toegepaste uitwerking van de begrippen en rekenmethoden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de algemene informatie niet volledig is, maar ook al deels is afgestemd op de toepassing in PC_RING.

II.O.1.2 Uitgebreide Leeswijzer

In bijlage II.O.2 worden de basisbegrippen uit de probabilistiek uiteengezet. In eerste instantie worden in paragraaf II.O.2.1 aan de hand van een voorbeeld van het gooien met een dobbelsteen, begrippen als 'kans', 'uitkomstenruimte', 'kansdefinitie van Laplace' en 'faalkans' toegelicht. Gevolgd door een toelichting op de begrippen 'discrete' en 'continue stochasten'. Aansluitend worden aan de hand van formules en figuren begrippen als kansmassa-, kansdichtheid en verdelingsfunctie toegelicht. Ook hier wordt het verschil tussen discrete en continue stochastische variabelen benadrukt. Paragraaf II.O.2.1 wordt afgesloten met een overzicht van standaard verdelingstypen die regelmatig toegepast worden binnen de probabilistiek.

Paragraaf II.O.2.2 begint met een uiteenzetting van het verschil tussen falen en bezwijken. Aangegeven wordt dat falen en bezwijken meestal tegelijkertijd optreden, maar dat ze ook onafhankelijk van elkaar kunnen voorkomen. Vervolgens wordt een toelichting gegeven op het begrip faalmechanisme, gevolgd door een opsomming van veel voorkomende faalmechanismen. De paragraaf wordt afgesloten met een toelichting op het begrip foutenboom en een voorbeeld van zo'n foutenboom.

In paragraaf II.O.2.3 worden de begrippen sterkte en belasting besproken. Aangegeven wordt dat hydraulische belastingen de belangrijkste bedreiging voor waterkeringen vormen. Vervolgens worden de begrippen 'grenstoestand', 'betrouwbaarheidsfunctie', en 'faalruimte' toegelicht. Aan de hand van een figuur met daarin een gezamenlijke kansverdeling van belasting en sterkte en een betrouwbaarheidsfunctie, wordt het begrip 'ontwerppunt' geïntroduceerd als het punt met de grootste kansdichtheid binnen de faalruimte.

In bijlage II.O.3 worden verschillende probabilistische rekentechnieken uiteengezet waarmee de faalkans van een enkel element bepaald kan worden. De verschillende rekentechnieken kunnen onderverdeeld worden in een drietal niveau's, welke worden ingeleid in paragraaf II.O.3.1. In paragraaf II.O.3.2 worden de niveau III rekenmethoden toegelicht. In eerste instantie wordt de fundamentele oplossing van een niveau III berekening uiteengezet. Deze oplossing geeft een goed beeld van de essentie van een niveau III berekening. De fundamentele oplossing is te benaderen met behulp van een numerieke integratie methode of een Monte Carlo Simulatie. Van deze methoden worden de uitgangspunten, de voor- en nadelen en de nauwkeurigheid van de oplossing besproken.

Vervolgens wordt de Importance Sampling procedure, waarmee de nauwkeurigheid van de methoden vergroot kan worden, kort toegelicht. Tenslotte wordt een definitie van het ontwerppunt in een niveau III berekening gegeven. In navolging van de algemene regels van de niveau III berekeningsmethode wordt een toelichting gegeven op de in PC_RING toegepaste Monte Carlo methode gecombineerd met een Directional Sampling procedure. De werkwijze van de methode wordt verhelderd aan de hand van een rekenvoorbeeld, die weergegeven wordt in bijlage II.O.5.

Paragraaf II.O.3.3 bespreekt de niveau II berekeningsmethoden. Achtereenvolgens worden besproken de niveau II methode voor 'een lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde basisvariabelen', 'een niet lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde basisvariabelen', 'onafhankelijke niet-normaal verdeelde basisvariabelen' en 'stochastisch afhankelijke basisvariabelen'. In bijlage II.O.6 t/m II.O.8 worden rekenvoorbeelden behorende bij de verschillende mogelijkheden weergegeven. Herhaaldelijk komen begrippen als 'lineaire betrouwbaarheidsfunctie', 'gemiddelde en standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie' en 'betrouwbaarheidsindex' naar voren. De niveau II berekeningsmethoden kunnen uitgevoerd worden op basis van de oorspronkelijke verdeling van de basisvariabelen (*in X-space*) of op basis van, naar standaard normaal verdeelde getransformeerde variabelen (*in U-space*). Wanneer de betrouwbaarheidsfunctie lineair is, kan de exacte faalkans vrij eenvoudig bepaald worden. Als de betrouwbaarheidsfunctie niet lineair is of de basisvariabelen niet normaal verdeeld zijn, wordt de faalkans benaderd door het gebruik van een eerste orde benadering respectievelijk door transformaties van variabelen. Vervolgens wordt het verschil weergegeven tussen een FORM en SORM procedure en welke extra waarde een SORM procedure toevoegt aan de FORM procedure.

Paragraaf II.O.3.3 eindigt tenslotte met een uiteenzetting van de in PC_RING toegepaste FORM en SORM procedure. Uitgangspunt voor beide is dat de procedure in PC_RING altijd plaatsvindt in de U-werkruimte. Er wordt een zogenaamde gestandaardiseerde vorm van de betrouwbaarheidsfunctie opgesteld en er wordt een opsomming van de berekende uitvoerparameters gegeven.

Paragraaf II.O.3.4 geeft op basis van een vijftal criteria een vergelijking tussen de niveau III en niveau II berekeningsmethoden. De vergelijking vindt plaats op basis van 'het aantal variabelen', 'de gewenste nauwkeurigheid', 'de vorm van de faalruimte', 'de stochastische afhankelijkheid van de variabelen' en 'de stochastische afhankelijkheid van de betrouwbaarheidsfunctie'.

In paragraaf II.O.3.5 wordt ter afsluiting van de rekenmethoden voor de berekening van de faalkans van een element een beschrijving gegeven van de niveau I methode. Uitgelegd wordt dat de stochastische variabelen worden vervangen door representatieve waarden van belastingen en sterkte. De betrouwbaarheid wordt bepaald met behulp van zogenaamde partiële veiligheidsfactoren. De grootte van deze factoren is te bepalen door een aansluiting te maken met de niveau II methoden in de definitie van het ontwerppunt. Tenslotte worden twee complicaties genoemd die optreden bij de praktische uitwerking van deze methode. Ook deze methode wordt verhelderd met een rekenvoorbeeld, die terug is te vinden in bijlage II.O.9.

In bijlage II.O.4 worden de rekenmethoden weergegeven voor de bepaling van een systeemfaalkans. Paragraaf II.O.4.1 geeft een korte inleiding op de definitie van systemen, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen serie- en parallelsystemen. De paragraaf eindigt met het doel van een systeemanalyse, waarbij de foutenboom nogmaals wordt toegelicht. Paragraaf II.O.4.2 bespreekt hoe de faalkans van een systeem bestaande uit twee discrete elementen, bepaald kan worden. Afgeleid wordt dat de systeemfaalkans van dit systeem wordt begrensd door een elementaire onder- en bovengrens.

De ondergrens wordt bepaald door de grootste element-faalkans en de bovengrens door de sommatie van de element faalkansen. Aangegeven wordt dat Ditlevesen nauwere grenzen heeft opgesteld waaraan de systeemfaalkans moet voldoen. Aansluitend worden dezelfde grenzen (*elementaire en Ditlevsen grenzen*) opgesteld voor een seriesysteem bestaande uit n elementen. In bijlage II.O.10 wordt een rekenvoorbeeld weergegeven, waarin de werkwijze van de verschillende grenzen wordt verhelderd. Ter afsluiting van de paragraaf wordt de correlatiefunctie weergegeven, welke benodigd is bij het bepalen van de correlatieafstand, wanneer er sprake is van continu seriesysteem.

In paragraaf II.O.4.3 wordt de faalkans van een parallelsysteem besproken. Aangegeven wordt dat In tegenstelling tot een een seriesysteem een parallelsysteem pas faalt als alle schakels falen.

Paragraaf II.O.4.4 geeft tenslotte een overzicht van de in PC_RING toegepaste combinatie procedures, waarmee de systeemfaalkans bepaald wordt. De paragraaf begint met een uiteenzetting van de algemene berekeningsopzet van PC_RING. De verschillende combinatie procedures worden toegelicht aan de hand van een rekenschema, waarin ook de toegepaste rekenmethoden zijn aangegeven. Vervolgens wordt een korte inleiding gegeven op de 'oprol'-procedure, die in PC_RING wordt toegepast. PC_RING maakt gebruik van de methode Hohenbichler om de kans $P(Z_1 < 0 \text{ EN } Z_2 < 0)$ te bepalen. Aangegeven wordt hoe deze kans wordt vervangen door een voorwaardelijk kans en hoe met behulp van een getransformeerde betrouwbaarheidsfunctie Z_1 deze voorwaardelijke kans vervangen kan worden door een onvoorwaardelijk kans. De onvoorwaardelijke kans kan berekend worden met een standaard FORM procedure. Met behulp van deze kennis wordt een procedure gegeven waarmee de faalkans van een seriesysteem bestaande uit twee elementen kan worden bepaald. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de equivalente invloedscoefficienten en betrouwbaarheidsindex behorende bij de nieuwe faalkans bepaald kunnen worden. De procedure wordt gegeven voor zowel volledige correlatie als voor niet volledige correlatie. Aansluitend wordt de werkwijze gegeven voor een seriesysteem bestaande uit n elementen.

Ter verduidelijking van het rekenproces wordt ter afsluiting een toelichting gegeven op de 'oprol'-procedure over de windrichtingen en de combinatie procedure voor mechanismen en dijkvakken. De wind wordt behandeld als een soort tijdseffect, door aan te nemen dat de wind waait gedurende een bepaald tijd uit een bepaalde windrichting. In principe wordt door deze procedure een extra stochastische variabele toegevoegd aan het systeem.

In de laatste alinea's wordt de rekenprocedure voor de combinatie van dijkvakken en mechanismen toegelicht. Uitgelegd wordt waarom de voorkeur uit gaat naar eerst het combineren van de mechanismen gevolgd door de combinatie van dijkvakken. Afgesloten wordt met de opmerking dat er een tekortkoming in deze procedure zit opgesloten. Deze tekortkoming ligt in het feit dat er geen volledige analyse per windrichting gemaakt wordt.

Bijlage II.O.2 Basisbegrippen uit de probabilistiek

.....*Toelichting*¹.....
Met een zuivere dobbelsteen wordt bedoeld een dobbelsteen, waarbij elke uitkomst een gelijke kans van voorkomen heeft

.....*Toelichting*².....
De 'zuiverheid' van de dobbelsteen bepaald of dit aantal rond de duizend ligt, of dat er sprake is van een afwijking

II.O.2.1 Faalkans, stochasten, kansmassa, kansdichtheid en kansverdeling *Faalkans*

Een kans kan voorgesteld worden als een maat voor de waarschijnlijkheid dat een bepaalde gebeurtenis wel of juist niet zal plaatsvinden. Ter verduidelijking van het 'kans' begrip, zal een voorbeeld besproken worden, waarin het gooien met een 'zuivere' dobbelsteen beschouwd wordt¹. Wanneer gegooid wordt met een zuivere dobbelsteen, kunnen de uitkomsten één, twee, drie, vier, vijf of zes gerealiseerd worden. Alle mogelijke uitkomsten worden verzameld in een zogenaamde uitkomstenruimte (*weergegeven met het symbool Ω*). De kans, oftewel de mate van waarschijnlijkheid, dat de uitkomst van een worp één zal zijn, is net zo groot als de kans dat de uitkomst van een worp twee, drie, vier, vijf, of zes zal zijn. (*er werd immers uitgegaan van een 'zuivere dobbelsteen'*) De grootte van de kans op een bepaalde uitkomst, kan bepaald worden door een groot aantal keer (*zeg zesduizend keer*) met de dobbelsteen te gooien. Wanneer na elke worp de uitkomst genoteerd wordt, zal achteraf blijken dat elke uitkomst uit de uitkomstenruimte, ongeveer duizend keer is voorgekomen². Er kan nu geconcludeerd worden dat zowel de kans op een 'één', als op een 'twee', als op een 'drie', etc., gelijk is aan:

$$P(X_i) = \frac{\text{aantal specifieke uitkomsten } X_i}{\text{totaal aantal uitkomsten}} = \frac{1(000)}{6(000)} \quad (\text{II.O.2.1})$$

hierin is:

- P de kans op een bepaalde uitkomst
(*kansdefinitie van Laplace*)
- X_i een element uit de uitkomstenruimte
(*$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ voor de dobbelsteen*)

De kans kan dus geïnterpreteerd worden als een zogenaamde relatieve frequentie. Dit betekent dat de kans op de totale uitkomstenruimte (Ω) altijd gelijk is aan:

$$P(\Omega) = 1 \quad (\text{II.O.2.2})$$

Een kans ligt altijd tussen nul en één. Wanneer de uitkomst van een gebeurtenis altijd dezelfde is, wordt gesproken van een kans 'één' op deze gebeurtenis ($P[\text{gebeurtenis}] = 1$) en wanneer een uitkomst nooit gerealiseerd wordt, wordt gesproken van een kans 'nul' op deze gebeurtenis ($P[\text{gebeurtenis}] = 0$). Een faalkans kan tenslotte gedefinieerd worden als de kans van optreden van een bepaalde gebeurtenis, die leidt tot het falen van een constructie of een element.

Stochasten

Een variabele kan opgevat worden als een stochast, wanneer alle mogelijke uitkomsten van een experiment, in de vorm van getallen, wordt toegekend aan deze variabele. Een stochastische variabele wordt gekenmerkt door een functie (*kansdichtheidsfunctie of kansmassafunctie*) die de waarschijnlijkheid (*kans*) van de uitkomsten van een experiment beschrijft. Afhankelijk van de uitkomsten van het experiment kan deze functie discreet of continu zijn. Consequent wordt dan ook gesproken van discrete of continu stochastische variabelen.

Kansmassafunctie

Met behulp van een kansmassafunctie is het mogelijk om de kans te definiëren dat een discrete stochastische variabele een bepaalde waarde zal aannemen.

De kansmassafunctie $p_X(X)$ heeft de gedaante van:

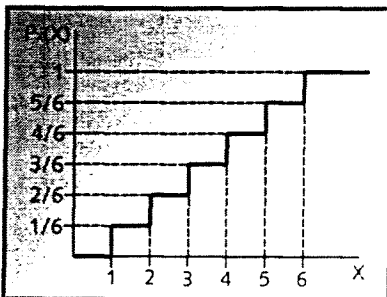
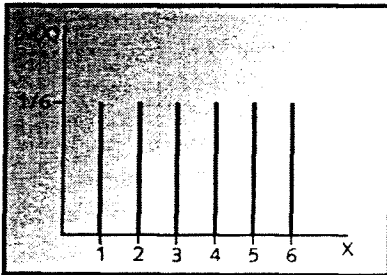
$$p_X(X) = P(X = X) \quad (II.O.2.3)$$

Tevens kan gesteld worden:

$$0 \leq p_X(X) \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^n p_X(X_i) = 1 \quad (II.O.2.4)$$

$$P(a < X \leq b) = \sum_{X_i < b} p_X(X_i) - \sum_{X_i < a} p_X(X_i)$$



.....**Figuur II.O.2.1**.....
De kansverdelings- en kansmassafunctie van een zuivere dobbelsteen

.....**Tabel II.O.2.1**.....
Kansmassafunctie en kansverdelingsfunctie van een zuivere dobbelsteen

Discrete kansverdelingsfunctie

De kansverdelingsfunctie wordt gedefinieerd als de functie van een stochastisch variabele, die de kans geeft dat deze variabele kleiner dan of gelijk is aan een bepaalde waarde X . Voor een discrete stochastische variabele wordt de kansverdelingsfunctie $P_X(X)$ voorgesteld als:

$$P_X(X) = P(X \leq X) = \sum_{X_i \leq X} p_X(X_i) \quad (II.O.2.5)$$

In het voorbeeld van het gooien met een zuivere dobbelsteen kunnen de uitkomsten van een dobbelsteenworp voorgesteld worden als een discrete stochastische variabele. (er kunnen immers zes verschillende discrete uitkomsten gerealiseerd worden; tussenliggende waarden worden niet gerealiseerd) De kansmassafunctie is dan gelijk aan (zie ook figuur II.O.2.1):

$$p_X(X) = P(X = X) = \frac{1}{6} \quad X \in [1,6] \quad (II.O.2.6)$$

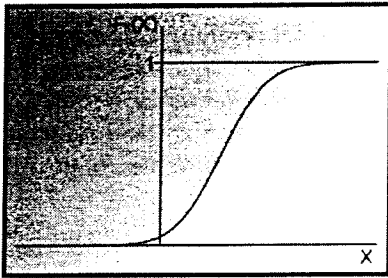
De kansverdelingsfunctie is dan gelijk aan (zie ook figuur II.O.2.1):

$$P_X(X) = P(X \leq X) = \sum_{X_i \leq X} p_X(X_i) = \frac{1}{6} X_i \quad X \in [1,6] \quad (II.O.2.7)$$

X_i	$P_X(X)$	$p_X(X_i)$
1	1/6	1/6
2	2/6 = 1/3	1/6
3	3/6 = 1/2	1/6
4	4/6 = 2/3	1/6
5	5/6	1/6
6	6/6 = 1	1/6

Continue verdelingsfunctie

Behalve gebeurtenissen waarbij de uitkomstenruimte bestaat uit een aantal discrete waarden, zijn er ook gebeurtenissen waarbij de uitkomstenruimte bestaat uit continue waarden. (vooral natuurlijke variabelen zullen een continu verloop kennen) Een continue stochastische variabele kan oneindig veel waarden aannemen. De kans dat een continue stochastische variabele een bepaalde waarde aanneemt is hierdoor altijd gelijk aan nul. Het is dus niet mogelijk om een kansmassafunctie op te stellen.



.....**Figuur II.O.2.2**.....
 De kansverdelingsfunctie van een continue stochastische variabele

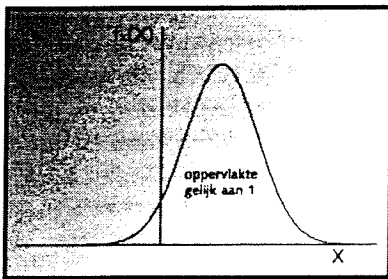
De kansverdelingsfunctie krijgt een continu verloop, welke weergegeven wordt door een vloeiende lijn.

$$F_X(X) = P(X \leq X) \quad (II.O.2.8)$$

Hierbij geldt:

$$\begin{aligned} F_X(\infty) &= 1 \\ F_X(-\infty) &= 0 \end{aligned} \quad (zie\ figuur\ II.O.2.2)$$

$F_X(X)$ is monotoon niet dalend



.....**Figuur II.O.2.3**.....
 De kansdichtheidsfunctie van een continue stochastische variabele

Kansdichtheidsfunctie

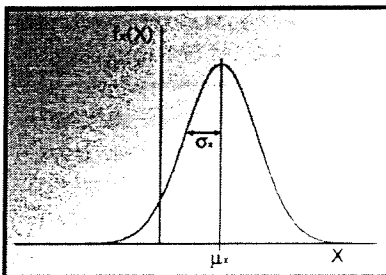
De afgeleide van de verdelingsfunctie wordt de kansdichtheidsfunctie genoemd:

$$f_X(X) = \frac{dF_X(X)}{dX} \quad (II.O.2.9)$$

Hierbij geldt:

$$\begin{aligned} f_X(\infty) &= 0 \\ f_X(-\infty) &= 0 \end{aligned} \quad (zie\ figuur\ II.O.2.3)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_X(X) dX = 1$$



.....**Figuur II.O.2.4**.....
 De kansdichtheidsfunctie van een normaal verdeelde stochastische variabele

De kansdichtheidsfunctie van een continue stochastische variabele kan door iedere willekeurige positieve functie met een oppervlak gelijk aan één beschreven worden. Meestal wordt echter gerekend met een aantal bekende, vooraf gedefinieerde kansdichtheidsfuncties. Voorbeelden zijn de lognormale, de uniforme, de exponentiële, de Gumbel, de Pareto en de meest bekende de normale verdeling. De kansdichtheidsfunctie van de normale verdeling heeft een Gaussisch verloop en wordt gegeven door (zie figuur II.O.2.4):

$$f_X(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_X} \exp\left(-\frac{(X - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right) \quad (II.O.2.10)$$

hierin is:

- μ_X het gemiddelde van de verdeling
- σ_X de standaardafwijking van de verdeling

Wanneer het gemiddelde μ_X gelijk is aan nul en de standaardafwijking σ_X gelijk aan één, spreekt men van een standaard normale verdeling.

II.O.2.2 Falen, bezwijken en faalmechanismen

Falen of bezwijken

Om een adequate beoordeling van de veiligheid van de waterkeringen te kunnen maken, is het noodzakelijk om eerst het onderscheid tussen de begrippen falen en bezwijken aan te geven. *Falen* treedt op wanneer een waterkering, één of meerdere functies niet meer kan vervullen. *Bezwijken* treedt op wanneer door grote geometrische vervormingen, de samenhang van de constructie verloren gaat.

Falen en bezwijken zullen vaak tegelijkertijd optreden, maar kunnen ook onafhankelijk van elkaar optreden. Een waterkering faalt zonder te bezwijken, als de buitenwaterstand de kruinhoogte overschrijdt (*aangeduid als het faalmechanisme overloop*). De functie waterkeren kan niet meer vervuld worden, er loopt immers water over de kruin; er dus treedt falen op. Er zijn echter geen grote vervormingen opgetreden, zodat de samenhang van de constructie niet verloren is gegaan. In dit geval is er dus geen sprake van bezwijken.



.....**Figuur II.O.2.5**.....
 Een waterkering faalt zonder te bezwijken als de functie waterkeren niet meer vervuld kan worden, zonder dat er grote deformaties zijn opgetreden (DWW)

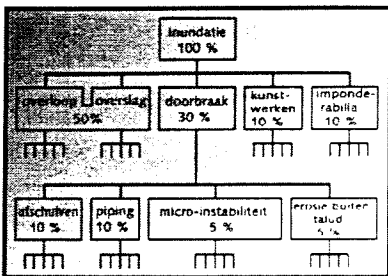


.....**Figuur II.O.2.6**.....
 Een waterkering bezwijkt zonder te falen als er grote vervormingen zijn opgetreden zodat de samenhang van de constructie verloren gaat zonder dat de functie waterkeren verloren gaat (DWW)

Het tegenovergestelde, bezwijken zonder falen is echter ook mogelijk. Als een schip in aanvaring komt met een waterkering bij een relatief lage waterstand, ondergaat deze waterkering grote vervormingen; er treedt bezwijken op. Als er echter geen overstroming plaatsvindt, omdat de waterkering nog steeds in staat is om de lage waterstand te keren, is er geen sprake van functieverlies. In dit geval kan dus niet gesproken worden van een falen.

Faalmechanismen

De manier waarop een waterkering van een situatie waarin hij goed functioneert overgaat naar een situatie waarin sprake is van falen, wordt gedefinieerd als zijnde het faalmechanisme. Er kunnen een verschillende faalmechanismen onderscheiden worden. In het verleden waren overslag en overloop de twee belangrijkste mechanismen, omdat de kennis over de andere faalmechanismen nog onvoldoende was. Tegenwoordig is deze kennis wel beschikbaar en worden de volgende faalmechanismen onderscheiden: falen als gevolg van macro-instabiliteit (o.a. *afschuiven van binnen- of buitentalud, zettingsvloeiing en piping*), micro-instabiliteit, erosie van voorland, erosie van het buitentalud en de zogenaamde imponderabilia. Onder de imponderabilia wordt verstaan het falen als gevolg van aanvaringen van de scheepvaart, als gevolg van muskusratten en konijnenholen in de dijk, als gevolg van kruierend ijs en falen als gevolg van menselijk handelen.



.....**Figuur II.O.2.7**.....
 Foutenboom met topgebeurtenis falen

Voor de uiteindelijke beoordeling van de veiligheid is niet alleen de wijze waarop falen kan optreden belangrijk, maar ook de onderlinge samenhang tussen de verschillende faalmechanismen is van belang. Deze samenhang kan worden weergegeven in een zogenaamde foutenboom. De foutenboom geeft een logische opeenvolging van alle gebeurtenissen weer die leiden tot één ongewenste (top)gebeurtenis. Toegepast op waterkeringen, zou deze topgebeurtenis kunnen staan voor de overstroming van het achterland, en vormen de verschillende faalmechanismen de gebeurtenissen, die leiden tot deze (top)gebeurtenis.

.....**Toelichting**¹.....

- *Permanente belastingen: belastingen die langdurig aanwezig zijn en in de tijd niet of nauwelijks variëren. bv. eigengewicht*
- *Veranderlijke belastingen: belastingen die variëren in de tijd en ook gedurende een deel van de tijd afwezig kunnen zijn bv. waterstand-, golf- en windbelasting*
- *Bijzondere belastingen: overige belastingen zoals aanvaringen, aardbevingen en ijsbelastingen*

II.O.2.3 Sterkte, belastingen en grenstoestand

Sterkte en belastingen

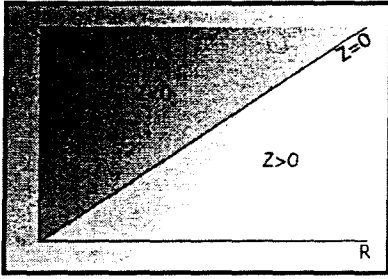
Het al dan niet falen en/of bezwijken van een waterkering wordt aan de ene kant bepaald door de geometrie en de materiaaleigenschappen van de waterkering, de zogenaamde sterkte van de waterkering, en aan de andere kant door de belastingen en bedreigingen.

De belastingen kunnen worden onderverdeeld in permanente belastingen, veranderlijke belastingen en bijzondere belastingen¹. De belangrijkste bedreigingen voor waterkeringen worden gevormd door de hydraulische belastingen zoals een langdurig hoge waterstand, sterke bochtstromingen en golfbewegingen veroorzaakt door wind en scheepvaart.

De sterkte van een waterkering kan worden gedefinieerd als het vermogen om weerstand te bieden aan de belastingen, zodanig dat (*juist*) geen bezwijken of falen optreedt. Zowel de belasting als de sterkte kunnen verschillen per faalmechanisme en per belastingssituatie.

Grenstoestand

Ten behoeve van de beoordeling en de dimensionering van de sterkte van waterkeringen en andere systemen is het begrip grenstoestand ingevoerd. De grenstoestand wordt gedefinieerd als de toestand waarbij nog juist geen falen optreedt. De betrouwbaarheid wordt gedefinieerd als de kans dat deze grenstoestand niet wordt overschreden. Met behulp van deze grenstostanden is het mogelijk om voor alle faalmechanismen een zogenaamde betrouwbaarheidsfunctie (*grenstoestandsfunctie*) te definiëren.



.....**Figuur II.O.2.8**.....
 De algemene gedaante van de betrouwbaarheidsfunctie

De algemene gedaante van zo'n betrouwbaarheidsfunctie wordt weergegeven door:

$$Z = R - S \quad (\text{II.O.2.11})$$

hierin is:

- R de 'sterkte' (resistance)
- S de 'belasting' (solicitation)

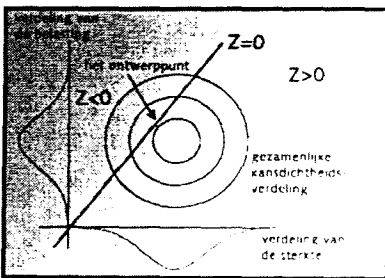
De betrouwbaarheidsfunctie is zo gedefinieerd dat de lijn $Z = 0$ de grenstoestand weergeeft, de waarden kleiner dan '0' overeenkomen met falen en de waarden groter dan '0' overeenkomen met niet falen. De faalruimte wordt gedefinieerd als dat gedeelte in het RS-vlak waar geldt $Z < 0$. De faalkans P_f is gelijk aan de kans dat de belastingen groter zijn dan de sterkte.

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(S \geq R) \quad (\text{II.O.2.12})$$

De betrouwbaarheid is gelijk aan de kans dat de grenstoestand niet wordt overschreden en is dus gelijk aan het complement van de faalkans.

$$P(Z > 0) = 1 - P_f \quad (\text{II.O.2.13})$$

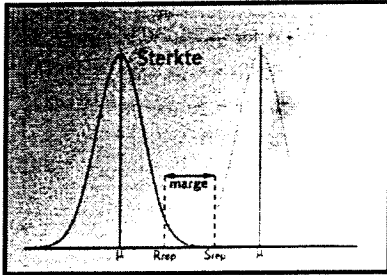
Zowel de sterkte als de belasting in de betrouwbaarheidsfunctie kunnen afhankelijk zijn van één of meerdere verschillende parameters. Deze parameters kunnen bestaan uit deterministische variabelen maar in een probabilistische benadering worden deze parameters meestal geschematiseerd met behulp van stochastische variabelen. Dit betekent dat de exacte waarde van de variabele niet bekend is, maar dat er een kansverdeling bestaat, die de kans geeft dat een variabele kleiner is dan een bepaalde waarde. De onzekerheid in de exacte waarde van een variabele wordt meestal veroorzaakt door natuurlijke variatie en modelonzekerheden.



.....**Figuur II.O.2.9**.....
 Een gezamenlijke kansverdeling van sterkte en belasting met daarin aangegeven de faalruimte en het ontwerp punt

Alle mogelijke combinaties in het RS-vlak, waarbij de belasting groter is dan de sterkte (*punten in de faalruimte*), dragen bij aan de faalkans van een element. Voor de berekening van de faalkans is het dan ook noodzakelijk de kansverdelingen van sterkte en belasting te combineren tot een gezamenlijke kansverdeling. De gezamenlijke kansverdeling van sterkte en belasting kan grafisch worden weergegeven in de vorm van een zogenaamde 'kansberg' waarin de hoogtelijnen de punten van gelijke kansdichtheid met elkaar verbinden. Het punt in de faalruimte met de grootste gezamenlijke kansdichtheid wordt het ontwerp punt genoemd. Meestal ligt dit punt op de grens tussen het veilige en onveilige gebied.

Bijlage II.O.3 Faalkans van een element



.....**Figuur II.O.3.1**.....
 De mate van betrouwbaarheid van een element is afhankelijk van de marge tussen sterkte en belasting

II.O.3.1 Niveau-indeling berekeningsmethoden

Zoals reeds eerder aangegeven wordt de betrouwbaarheid van een element gedefinieerd als de kans dat de grenstoestand van een element niet wordt overschreden. Omdat deze grenstoestand bepaald wordt door de sterkte-eigenschappen van een element en de belastingen op een element, kan gesteld worden dat ook de betrouwbaarheid van een element afhankelijk is van deze factoren. De mate van betrouwbaarheid wordt dan ook bepaald door de marge tussen de weerstand tegen falen, *de sterkte*, en de factoren die het falen van een element bevorderen, *de belastingen*. De marge tussen sterkte en belasting kan met behulp van een aantal verschillende methoden bepaald worden. De hiervoor beschikbare berekeningsmethoden kunnen opgedeeld worden in een drietal niveaus:

- Niveau III berekeningsmethoden; deze methoden berekenen de faalkans, waarbij de kansverdeling van alle parameters van de sterkte en de belastingen in aanmerking worden genomen. De betrouwbaarheid van een element is direct gekoppeld aan de faalkans.
- Niveau II berekeningsmethoden; deze methoden berekenen de faalkans, waarbij de betrouwbaarheidsfunctie gelineariseerd wordt in een vooraf gekozen ontwerppunt. Bij deze methoden wordt de kansverdeling van elke variabele benaderd door een standaard normale verdeling.
- Niveau I berekeningsmethoden; deze methoden berekenen geen faalkans. Op dit niveau wordt ontworpen op basis van normen, waarbij een element voldoende betrouwbaar wordt geacht, als er een bepaalde marge tussen de representatieve waarde van de sterkte en de belastingen aanwezig is. Deze marge wordt tot stand gebracht door gebruik te maken van partiële veiligheidsfactoren. (zie figuur II.O.3.1)

II.O.3.2 Niveau III methoden

De fundamentele oplossing van een niveau III berekening

In een niveau III berekening wordt gestreefd naar een wiskundige formulering van de faalruimte, waarbij falen optreedt als geldt dat de waarde van de betrouwbaarheidsfunctie Z kleiner is dan nul.

Wanneer de gezamenlijke kansdichtheidsfunctie van sterkte en belasting $f_{R,S}(R,S)$ bekend is, kan door integratie onder de voorwaarde dat falen optreedt, de faalkans berekend worden met:

$$P_f = \int\int_{Z < 0} f_{R,S}(R,S) dR dS = \int\int_{-\infty-\infty}^{\infty S} f_{R,S}(R,S) dR dS \quad (II.O.3.1)$$

hierin is:

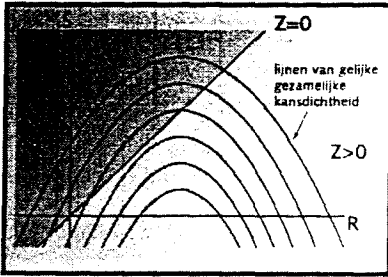
- P_f de faalkans
- $f_{R,S}(R,S)$ de gezamenlijke kansdichtheidsfunctie van sterkte en belasting

.....**Toelichting**.....
 Stochasten zijn onafhankelijk te beschouwen indien de kans op een uitkomst van stochast A niet beïnvloed wordt door de waarde van stochast B

Wanneer de belasting en de sterkte als stochastisch onafhankelijk beschouwd kunnen worden, dan wordt de faalkans benaderd door¹:

$$P_f = P(R < S) = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(S) f_S(S) dS$$

$$P_f = P(S > R) = \int_{-\infty}^{\infty} [1 - F_S(R)] f_R(R) dR \quad (II.O.3.2)$$



.....Figuur II.O.3.2.....
De convolutie-integraal

De integraal uit II.O.3.2 staat bekend als de convolutie-integraal. De betekenis van deze integraal kan worden verduidelijkt aan de hand van figuur II.O.3.2. De overgang tussen het lichte en het donkere gebied kan worden voorgesteld als de grenstoestand, waarvoor geldt $Z = 0$. Het donkere gebied is dan de faalruimte, er geldt hier immers $Z < 0$. De parabolen in de figuur zijn de zogenaamde hoogtelijnen van de 'kansberg' en verbinden punten van gelijke gezamenlijke kansdichtheid van sterkte en belasting. De totale faalkans wordt berekend door de kansbijdrage van alle punten in de faalruimte bij elkaar op te tellen. Deze kans kan verkregen worden door eerst de kansverdeling van de sterkte te integreren van min oneindig naar S (tot de grenstoestand $R = S$) en vervolgens de kansverdeling van de belasting vermenigvuldigd met het complement van het resultaat van de eerste integratie, te integreren van min oneindig naar plus oneindig.

Omdat zowel de sterkte als de belasting meestal functies zijn van één of meerdere stochastische variabelen, kan de betrouwbaarheidsfunctie voorgesteld worden als:

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (\text{II.O.3.3})$$

hierin is:

- Z de betrouwbaarheidsfunctie
- g een willekeurige functie
- X_i de stochastische variabelen ($i = 1, 2, \dots, n$)

Wanneer dit het geval is moet de convolutie-integraal aangepast worden zodat geïntegreerd wordt over alle stochastische variabelen. De faalkans kan dan berekend worden met behulp van:

$$P_f = \int \int \dots \int_{Z < 0} f_{X_1, X_2, \dots, X_n}(X_1, X_2, \dots, X_n) dX_1 dX_2 \dots dX_n \quad (\text{II.O.3.4})$$

De oplossing van deze integraal kan zelden analytisch bepaald worden en dient dus meestal opgelost te worden met behulp van numerieke integratie methoden.

Numerieke integratie methoden

Met behulp van numerieke integratie methoden kan de faalkans (onder de veronderstelling dat de variabelen stochastisch onafhankelijk zijn) benaderd worden door:

$$P_f = \int_{Z < 0} dF_X(X) = \int_0^1 \mathbf{1}(Z) dF_X(X) \quad (\text{II.O.3.5})$$

hierin is:

$$dF_X(X) = f_X(X) dX_1 dX_2 \dots dX_n$$

de kansdichtheidsfunctie voor alle variabelen

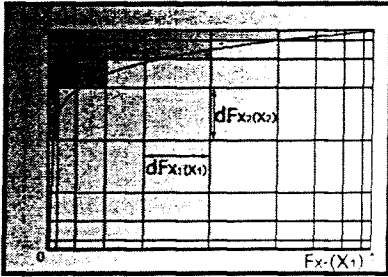
$$\mathbf{1}(Z) \quad \text{de indicatorfunctie:} \quad \mathbf{1}(Z) = 1, \text{ als } Z < 0$$

$$\mathbf{1}(Z) = 0, \text{ als } Z \geq 0$$

De faalkans is gelijk aan de integraal van de (gezamenlijke) kansdichtheidsfunctie vermenigvuldigd met een indicatorfunctie. Deze indicatorfunctie geeft aan wanneer een gedeelte van het integratievlak bijdraagt aan de faalkans en wanneer dit niet het geval is.

Riemann-procedure

Een eenvoudige manier om een numerieke integratie uit te voeren is met behulp van de Riemann-procedure. In deze procedure wordt het integratieoppervlak en dus ook de faalruimte, in een raster geplaatst.



.....Figuur II.O.3.3.....
 Het numerieke integratieoppervlak van de
 Riemann-procedure

De grootte van de rasterhokjes wordt bepaald door de ruimtelijke kansdichtheidsverdeling. De stapgrootte Δx , wordt constant gehouden, wat betekent dat $dF_X(X)$ variabel is. In gebieden met een kleine kansdichtheid zijn de stapgrootte $dF_X(X)$ kleiner dan in gebieden met een grotere kansdichtheid. Rasterhokjes in een gebied met een grote kansdichtheid krijgen hierdoor een groter oppervlak dan rasterhokjes in een gebied met een kleinere kansdichtheid. Stap voor stap wordt vervolgens voor elk hokje de oppervlakte (de kansdichtheidsbijdrage) en de Z-waarde bepaald. Wanneer de waarde van de betrouwbaarheidsfunctie Z kleiner is dan nul, wordt de kansdichtheidsbijdrage opgeteld aan de totale faalkans. Is de waarde van Z groter dan nul dan wordt de kansdichtheidsbijdrage niet toegevoegd aan de faalkans.

In figuur II.O.3.3 is te zien dat door gebruikmaking van de rechthoekige rasterhokjes, bepaalde delen ten onrechte worden toegevoegd aan de faalkans (aangegeven met een plus), maar dat ook bepaalde delen ten onrechte niet worden toegevoegd aan de faalkans (aangegeven met een min). De optelling van deze oppervlakken resulteert in een absolute fout in de berekening van de faalkans.

Monte Carlo methode

Een andere veel toegepaste niveau III methode is de Monte Carlo methode. Deze methode maakt gebruik van het uitgangspunt dat de onderschrijdingskans van een willekeurige stochastische variabele uniform verdeeld is tussen nul en één, ongeacht de verdeling van deze variabele. In formulevorm:

$$F_X(X) = X_u \quad (\text{II.O.3.6})$$

hierin is:

$$\begin{aligned} X_u & \text{ een uniform verdeelde variabele tussen nul en één} \\ F_X(X) & = P(X < X) \end{aligned}$$

Voor een willekeurig gekozen stochastisch variabele X geldt nu:

$$X = F_X^{-1}(X_u) \quad (\text{II.O.3.7})$$

hierin is:

$$F_X^{-1}(X_u) \text{ de inverse van de kansverdelingsfunctie van X}$$

Met behulp van vergelijking II.O.3.7 kan door middel van het trekken van een getal X_u uit de uniforme verdeling, een random getal X gegenereerd worden uit een willekeurig verdeling $F_X(X)$. Op dezelfde manier kunnen de basisvariabelen van een stochastische vector worden getrokken uit een bekende gezamenlijke kansverdelingsfunctie van sterkte en belasting. De gezamenlijke kansverdelingsfunctie moet dan wel geformuleerd worden als het product van de voorwaardelijke kansverdelingen van de basisvariabelen van de stochastische vector:

$$\begin{aligned} F_X(X) & = F_{X_1}(X_1) * F_{X_2|X_1}(X_2|X_1) \dots \\ & \dots F_{X_m|X_1, X_2, \dots, X_{m-1}}(X_m|X_1, X_2, \dots, X_{m-1}) \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.8})$$

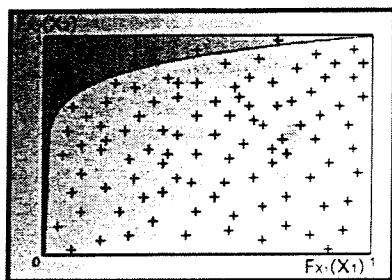
Voor elke basisvariabele X_i kan een waarde bepaald worden door m trekkingen te doen uit een uniforme kansverdeling tussen nul en één.

$$\begin{aligned} X_1 & = F_{X_1}^{-1}(X_{u_1}) \\ X_2 & = F_{X_2|X_1}^{-1}(X_{u_2}|X_1) \\ X_m & = F_{X_m|X_1, X_2, \dots, X_{m-1}}^{-1}(X_{u_m}|X_1, X_2, \dots, X_{m-1}) \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.9})$$

Als alle variabelen stochastisch onafhankelijk zijn dan vereenvoudigd vergelijking II.O.3.9 tot¹:

$$X_i = F_{X_i}^{-1}(X_{u_i}) \quad (\text{II.O.3.10})$$

.....**Toelichting**¹.....
 Vergelijking II.O.3.10 is van dezelfde gedaante als vergelijking II.O.3.7



.....**Figuur II.O.3.4**.....
 Voorbeeld Monte Carlo simulatie

Voor de verkregen vector (X_1, X_2, \dots, X_m) moet door middel van invulling in de betrouwbaarheidsfunctie worden nagegaan of deze in de faalruimte of in het veilige gebied ligt.

Herhaling van deze procedure levert een schatting van de faalkans op.

$$P_f \approx \frac{n_f}{n} \quad (\text{II.O.3.11})$$

hierin is:

- n het totaal aantal simulaties
- n_f de simulaties waarbij falen optreedt ($Z < 0$)

In figuur II.O.3.4 is een voorbeeld resultaat weergegeven Monte Carlo simulatie procedure met een tweedimensionale stochastische vector. Van de honderd simulaties blijken er zes in de faalruimte te liggen. De faalkans wordt dan geschat op zeshonderdste.

De fout ϵ die gemaakt wordt bij de simulatie is gelijk aan:

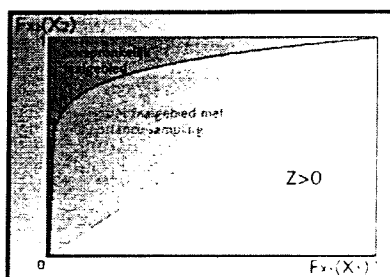
$$\epsilon = \frac{\frac{n_f}{n} - P_f}{P_f} \quad (\text{II.O.3.12})$$

De grootte van de fout ϵ hangt dus af van het aantal simulaties n . Naarmate het aantal simulaties groter wordt zal de fout steeds kleiner worden. Behalve dat de grootte van de fout afhankelijk is van het aantal simulaties blijkt deze ook afhankelijk te zijn van de grootte van de faalkans.

Importance Sampling

Wanneer er sprake is van een relatief klein faalgebied ten opzichte van het totale integratiegebied, kan de nauwkeurigheid van de numerieke integratie methoden verbeterd worden door het faalgebied kunstmatig te vergroten. De berekende faalkans zal dan echter wel groter worden dan de werkelijk faalkans. Deze fout kan gecorrigeerd worden door bij elke integratiestap een correctie toe te passen, die omgekeerd evenredig is met de kunstmatige vergroting van het faalgebied. Deze benadering staat bekend als de 'Importance Sampling' benadering

Met behulp van de Importance Sampling procedure is het mogelijk om het aantal simulaties in een Monte Carlo procedure te beperken en tevens de nauwkeurigheid voor het schatten van de faalkans te behouden.



.....**Figuur II.O.3.5**.....
 Importance Sampling

Ontwerppunt

Het ontwerppunt, gedefinieerd als het punt met de grootste gezamenlijke kansdichtheid in de faalruimte, kan gevonden worden door in elk punt in de iteratie (*integratie methode*) of in elk gesimuleerd punt (*Monte Carlo methode*) de kansdichtheid en de Z-waarde te bepalen. Het punt met de grootste kansdichtheid en een negatieve Z-waarde vormt uiteindelijk het ontwerppunt.

De in PC_RING gebruikte Monte Carlo / Directional Sampling methode
 In PC_RING wordt de Monte Carlo simulatie gecombineerd met een Directional Sampling methode. In een standaard Monte Carlo-Sampling bestaat elke trekking uit een set U_i -waarden. De faalkans wordt berekend door de frequentie te bepalen van de trekkingen die in het faalgebied zijn gelegen. In de Directional Sampling procedure wordt een willekeurige trekking $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ gedeeld door de lengte van de vector U en vermenigvuldigd met λ , zodanig dat geldt:

$$Z\left(\frac{\lambda u}{|u|}\right) = 0 \quad (\text{II.O.3.13})$$

De som van de kwadraten $R^2 = \sum_{i=1}^n U_i^2$ heeft een chi-kwadraat verdeling met n vrijheidsgraden. De kans op falen (als λ in alle richtingen constant zou zijn) is dan gelijk aan:

$$P(F) = -\chi^2(\lambda, n) \quad (\text{II.O.3.14})$$

Deze trekking wordt N keer herhaald en de faalkans wordt geschat met:

$$P(F) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [1 - \chi^2(\lambda_i, n)] \quad (\text{II.O.3.15})$$

hierin is:

- N het aantal trekkingen
- i het nummer van de trekking
- λ_i de λ -waarde behorende bij trekking i

Om de werking van deze methode in PC_RING nader te verduidelijken is in de bijlage II.O.5 een voorbeeldberekening opgenomen.

II.O.3.3 Niveau II methoden

Lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde basisvariabelen

Een lineaire betrouwbaarheidsfunctie heeft de gedaante van:

$$Z = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + b \quad (\text{II.O.3.16})$$

hierin is:

- X een stochastische basisvariabele
- a en b een willekeurig getal

Wanneer alle basisvariabelen X_1, X_2, \dots, X_n normaal verdeeld zijn, is ook de betrouwbaarheidsfunctie Z normaal verdeeld. De faalkans $[P(Z < 0)]$ kan dan worden berekend met behulp van de standaard normale verdeling:

$$P(Z < 0) = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \quad (\text{II.O.3.17})$$

.....Toelichting¹..... hierin is:

De waarde van de standaard normale verdeling $\Phi(X)$ kan uit tabellen gehaald worden of berekend worden met het programma 'betaalkans' (TNO-Bouw)

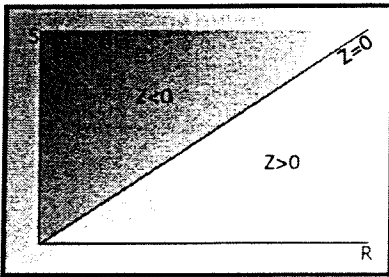
- μ_Z het gemiddelde van de betrouwbaarheidsfunctie
- σ_Z de standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie
- Φ de standaard normale verdeling¹

De verwachtingswaarde en de standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie kunnen bepaald worden met behulp van de volgende formules:

$$\begin{aligned}\mu_Z &= a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + \dots + a_n\mu_n + b \\ \sigma_Z &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j \text{COV}(X_i, X_j)}\end{aligned}\quad (\text{II.O.3.18})$$

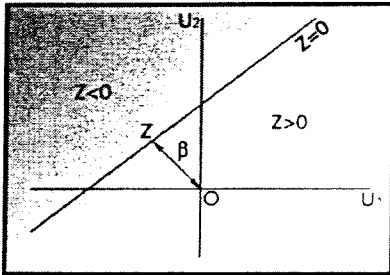
Er kan een zogenaamde betrouwbaarheidsindex ingevoerd worden, welke gedefinieerd wordt als het quotiënt van de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \quad (\text{II.O.3.19})$$



Het is dus betrekkelijk eenvoudig om de faalkans uit te rekenen van een lineaire betrouwbaarheidsfunctie met normaal verdeelde basisvariabelen. Het is echter ook mogelijk om de faalkans te bepalen door de normaal verdeelde basisvariabelen in de betrouwbaarheidsfunctie (onder de voorwaarde dat ze stochastisch onafhankelijk zijn) te transformeren naar standaard normaal verdeelde variabelen. De transformatie vindt plaats met behulp van:

$$U_i = \frac{X_i - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}} \quad (\text{II.O.3.20})$$



Een betrouwbaarheidsfunctie van de gedaante $Z = R - S$ verandert door de transformatie in:

$$Z = (\mu_R + \sigma_R U_1) - (\mu_S + \sigma_S U_2) \quad (\text{II.O.3.21})$$

De faalruimte wordt getransformeerd van $R - S < 0$ naar:

$$\sigma_R U_1 - \sigma_S U_2 + \mu_R - \mu_S < 0 \quad (\text{II.O.3.22})$$

De loodlijn (zie figuur II.O.3.6) van de betrouwbaarheidsfunctie door de oorsprong van het assenstelsel wordt beschreven door:

$$\sigma_S U_1 - \sigma_R U_2 = 0 \quad (\text{II.O.3.23})$$

De afstand van de faalruimte tot de oorsprong langs deze lijn is gelijk aan:

$$OZ = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \beta \quad (\text{II.O.3.24})$$

.....Figuur II.O.3.6.....
De faalruimte als functie van normaal verdeelde basisvariabelen en als functie van standaard normaal verdeelde variabelen

.....Toelichting'.....
Deze definitie van de betrouwbaarheidsindex staat bekend als de definitie volgens Hasofer en Lind

Deze afstand OZ is dus gelijk aan de definitie van de betrouwbaarheidsindex¹. Het ontwerppunt wordt gevormd door het punt op de rand van het faalgebied met de grootste gezamenlijke kansdichtheid van U_1 en U_2 .

De coördinaten van het ontwerp punt worden gegeven door:

$$(u_1, u_2) = (\alpha_1 \beta, \alpha_2 \beta) \quad (\text{II.O.3.25})$$

Hierin is:

- α_1 de zogenaamde invloedscoëfficiënt, die de bijdrage van de variabelen aan de faalkans weergeeft
- β de betrouwbaarheidsindex, die de grootte van de faalkans weergeeft

In het RS-vlak worden het ontwerp punt weergegeven door:

$$\begin{aligned} R^* &= \mu_R + \alpha_1 \beta \sigma_R \\ S^* &= \mu_S + \alpha_1 \beta \sigma_S \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.26})$$

Deze niveau II berekening met een lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde basisvariabelen wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeldberekening in bijlage II.O.6. In eerste instantie wordt de berekening opgezet voor normaal verdeelde basisvariabelen en vervolgens voor getransformeerde standaard normaal verdeelde basisvariabelen.

Niet lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde variabelen

Als de betrouwbaarheidsfunctie geen lineair verband kent, maar nog wel bestaat uit een aantal normaal verdeelde basisvariabelen kan men niet meer stellen dat ook de betrouwbaarheidsfunctie normaal verdeeld is. De functie zal benaderd moeten worden door de eerste twee lineaire termen van een Taylor polynoom:

$$Z = g(X) \approx g(X_0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial g}{\partial X_i}(X_0)(X_i - X_{0i}) \quad (\text{II.O.3.27})$$

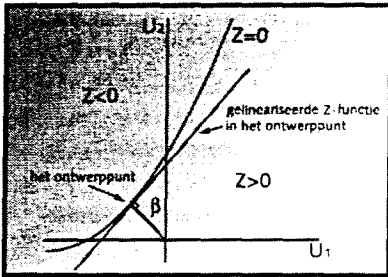
hierin is:

- X_0 een vooraf gekozen ontwerp punt

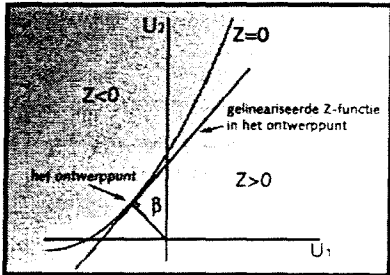
De gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie kan nu wel weer normaal verdeeld verondersteld worden. Zowel de verwachtingswaarde als de standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie zijn nu te benaderen met de verwachtingswaarde en standaardafwijking van de gelineariseerde Z-functie. Vervolgens kan een betrouwbaarheidsindex bepaald worden door de verwachtingswaarde te delen door de standaardafwijking. Wanneer de betrouwbaarheidsindex gelineariseerd wordt in het punt $X_0 = (\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n})$ dan reduceert de vergelijking voor de betrouwbaarheidsindex tot:

$$\beta \approx \frac{g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i}(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}) \sigma_{X_i} \right)^2}} \quad (\text{II.O.3.28})$$

Deze benadering van de betrouwbaarheidsindex in een vooraf gekozen punt, staat bekend als de Mean Value benadering. Deze benadering geeft een goed inzicht in de essentie van de niveau II berekeningsmethoden, namelijk het bepalen van de bijdrage van de spreiding in basisvariabelen aan de spreiding van de betrouwbaarheidsfunctie. In principe wordt er een gewogen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.



.....Figuur II.O.3.7.....
De afhankelijkheid van het linearisatiepunt op de betrouwbaarheidsindex



.....Figuur II.O.3.8.....
Het ontwerp punt in de Mean Value benadering

De gevoeligheid van de oplossing $Z = 0$ voor een kleine variatie in de waarde van de basisvariabelen wordt bepaald door de partiële differentiatie. Daarna vindt er een weging plaats door de gevoeligheid te vermenigvuldigen met de standaardafwijking van de basisvariabelen.

Het blijkt dat de benadering van de betrouwbaarheidsindex β afhankelijk is van het punt waarin de functie wordt gelineariseerd. Figuur II.O.3.7 laat duidelijk zien dat de linearisatie van de Z -functie in verschillende punten leidt tot verschillende waarden voor de benadering van de betrouwbaarheidsindex β .

Het punt op de rand van de faalruimte met de kleinste afstand tot de oorsprong is het ontwerp punt. Dit punt heeft de kleinste betrouwbaarheidsfunctie. Uit de figuur II.O.3.8 blijkt dat de benadering van de betrouwbaarheidsindex met behulp van een gelineariseerde Z -functie precies de afstand is van de oorsprong tot aan de rand van de faalruimte, indien de Z -functie is gelineariseerd in dit ontwerp punt. Het vinden van dit punt is dan ook een iteratief proces. Er zijn een aantal verschillende methoden beschikbaar om het ontwerp punt te bepalen.

Hieronder worden twee methoden om het ontwerp punt te bepalen nader toegelicht:

- De eerste methode is gebaseerd op de normering van de betrouwbaarheidsfunctie, dat wil zeggen dat alle basisvariabelen worden getransformeerd naar standaard normaal verdeelde variabelen. Het ontwerp punt wordt dan weergegeven door:

$$\begin{aligned} (U_1^*, U_2^*, \dots, U_n^*) &= (\alpha_1 \beta, \alpha_2 \beta, \dots, \alpha_n \beta) \\ X_i^* &= \mu_{X_i} + U_i^* \sigma_{X_i} \end{aligned} \quad (II.O.3.29)$$

Het ontwerp punt en de β worden gevonden door het iteratief oplossen van het volgende stelsel vergelijkingen:

$$\alpha_i = - \frac{\frac{\partial Z}{\partial U_i}(\bar{\alpha}\beta)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial U_j}(\bar{\alpha}\beta) \right)^2}} \quad (II.O.3.30)$$

$$f(\alpha_1 \beta, \alpha_2 \beta, \dots, \alpha_n \beta) = 0$$

- De tweede methode behoeft geen transformatie van de betrouwbaarheidsfunctie naar een functie met standaard normaal verdeelde variabelen. In een bepaald punt wordt de betrouwbaarheidsindex bepaald, waarmee vervolgens weer een nieuw punt, waarin de betrouwbaarheidsfunctie wordt gelineariseerd, bepaald wordt. De alfa-waarden worden berekend met:

$$\alpha_i = - \frac{\frac{\partial Z}{\partial X_i} g(X^*) \sigma_{X_i}}{\sigma_Z} \quad (II.O.3.31)$$

Het nieuwe ontwerp punt wordt bepaald door:

$$X_i^* = \mu_{X_i} + \alpha_i \beta \sigma_{X_i} \quad (II.O.3.32)$$

Beide methoden blijken even snel te convergeren naar het ontwerp punt. De tweede methode heeft echter als nadeel ten opzichte van de eerste methode dat er meer berekeningen per iteratiestap uitgevoerd moeten worden. Daarentegen heeft de tweede methode weer het voordeel dat deze makkelijker te programmeren is.

De hierboven besproken methoden worden toegelicht aan de hand van een voorbeeldberekening in bijlage II.O.7 van een niet-lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde basisvariabelen.

onafhankelijke niet-normaal verdeelde basisvariabelen

Als de basisvariabelen in de betrouwbaarheidsfunctie niet-normaal verdeeld zijn, dan is het aannemelijk dat ook de betrouwbaarheidsfunctie niet normaal verdeeld is. Om toch een niveau II berekening uit te kunnen voeren, moeten de basisvariabelen getransformeerd worden naar normaal verdeelde basisvariabelen.

De meest eenvoudige transformatie, is die van niet-normaal naar standaard normaal verdeelde variabelen. In het ontwerp punt moet dan gelden:

$$F_X(X^*) = \Phi(U^*) \quad (II.O.3.33)$$

Uit vergelijking II.O.3.33 kan afgeleid worden:

$$\begin{aligned} U^* &= \Phi^{-1}(F_X(X^*)) \\ X^* &= F_X^{-1}(\Phi(U^*)) \end{aligned} \quad (II.O.3.34)$$

hierin is:

- Φ^{-1} de inverse van de standaard normale verdeling
- F^{-1} de inverse van de kansverdeling van X

Rackwitz en Fiessler hebben vervolgens een transformatie voorgesteld, waarbij een variabele, met een willekeurige verdeling kan worden getransformeerd naar een normale verdeling. Het uitgangspunt bij deze transformatie is dat de waarden van de werkelijke en van de benaderde kansdichtheids- en verdelingsfuncties aan elkaar gelijk moeten zijn. Dit betekent dat moet gelden:

$$\begin{aligned} F_X(X^*) &= \Phi\left(\frac{X^* - \mu'_X}{\sigma'_X}\right) \\ f_X(X^*) &= \frac{1}{\sigma'_X} \varphi\left(\frac{X^* - \mu'_X}{\sigma'_X}\right) \end{aligned} \quad (II.O.3.35)$$

hierin is:

- φ de standaard normale kansdichtheidsfunctie

Oplossing van het stelsel vergelijkingen uit II.O.3.35 leidt tot:

$$\begin{aligned} \sigma'_X &= \frac{\varphi(\Phi^{-1}(F_X(X^*)))}{f_X(X^*)} \\ \mu'_X &= X^* - \Phi^{-1}(F_X(X^*)) \sigma'_X \end{aligned} \quad (II.O.3.36)$$

Het blijkt dat de waarden van de standaardafwijking en het gemiddelde van de benaderde verdeling afhankelijk zijn van de X-waarde in het ontwerp punt. Daarom moeten bij iedere iteratiestap, waarin het ontwerp punt wordt bepaald, de standaardafwijking en het gemiddelde opnieuw bepaald worden.

In bijlage II.O.8 wordt deze methode toegelicht aan de hand van een voorbeeld berekening van een betrouwbaarheidsfunctie met basisvariabelen waarvan er één, niet normaal, maar exponentieel verdeeld is.

stochastisch afhankelijke basisvariabelen

Als de basisvariabelen niet als onafhankelijk beschouwd kunnen worden, moeten deze getransformeerd worden naar onafhankelijke variabelen om zo een niveau II berekening te kunnen maken. Als er een duidelijk verband bestaat tussen de afhankelijke variabelen, is het waarschijnlijk mogelijk om de betrouwbaarheidsfunctie zo te formuleren, dat er basisvariabelen geëlimineerd worden. Vervolgens kunnen de variabelen meestal wel als onafhankelijk beschouwd worden. Wanneer dit verband echter niet exact bekend is, dan is er sprake van stochastische afhankelijkheid. De basisvariabelen dienen dan getransformeerd te worden met gebruikmaking van bijvoorbeeld de Rosenblatt-transformatie:

$$\begin{aligned} U_1 &= \Phi^{-1}(F_1(X_1)) \\ U_2 &= \Phi^{-1}(F_2(X_2|X_1)) \\ &\vdots \\ U_n &= \Phi^{-1}(F_n(X_n|X_1, \dots, X_{n-1})) \end{aligned} \tag{II.O.3.37}$$

Voor de transformatie van de afhankelijke variabelen uit de betrouwbaarheidsfunctie naar onafhankelijke variabelen is de inverse van de transformatie uit vergelijking II.O.3.37 benodigd:

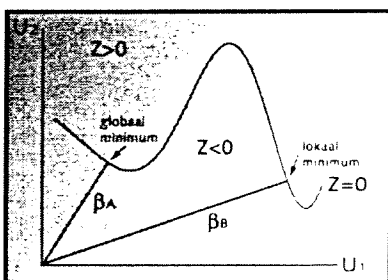
$$\begin{aligned} X_1 &= F_1^{-1}(\Phi^{-1}(U_1)) \\ X_2 &= F_2^{-1}(\Phi^{-1}(U_2|X_1)) \\ &\vdots \\ X_n &= F_n^{-1}(\Phi^{-1}(U_n|X_1, \dots, X_{n-1})) \end{aligned} \tag{II.O.3.38}$$

FORM en SORM methode

De afkortingen FORM en SORM staan voor respectievelijk First Order Reliability Method en Second Order Reliability Method.

De term 'First Order' in FORM, geeft aan dat de methode berust op een linearisering van de betrouwbaarheidsfunctie. Deze linearisering is reeds uitgebreid beschreven bij niet-lineaire betrouwbaarheidsfuncties in voorgaande paragraaf. De FORM procedure is een bijzonder snelle methode om de faalkans te bepalen, maar er zijn een aantal nadelen aan het gebruik van deze methode verbonden:

1. er treedt soms geen convergentie op;
2. het resultaat is onnauwkeurig als de betrouwbaarheidsfunctie sterk gekromd is;
3. men vindt in de minimaliseringsprocedure soms een lokaal in plaats van een globaal minimum. (zie figuur II.O.3.9)



.....Figuur II.O.3.9.....
 Het verschil tussen een lokaal en een globaal minimum in de FORM procedure

Het derde probleem is op te lossen door de berekening uit te voeren, uitgaande van verschillend gekozen (*random*) startwaarden. De eerste twee problemen zijn te compenseren door een aanvullende SORM berekening te doen. De term 'Second Order' in SORM geeft aan dat de methode berust op een tweede orde correctie van de gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie uit de FORM berekening.

De gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie in het ontwerp punt uit de FORM procedure werd weergegeven door (zie vergelijking II.O.3.27):

$$Z = g(X_0) \approx g(X_0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial g}{\partial X_i}(X_0)(X_i - X_{0i}) = A \quad (\text{II.O.3.39})$$

In de SORM procedure wordt de betrouwbaarheidsfunctie aangevuld met een tweede orde term:

$$Z \approx A + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 g}{\partial X_i \partial X_j}(X_0)(X_i - X_{0i})(X_j - X_{0j}) \quad (\text{II.O.3.40})$$

hierin is:

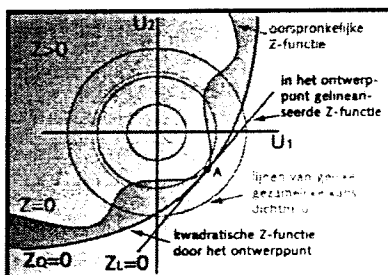
X_0 het ontwerp punt

Een transformatie naar standaard normaal verdeelde variabelen geeft:

$$Z \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial Z}{\partial U_i}(U_i - U_{di}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 Z}{\partial U_i \partial U_j}(U_i - U_{di})(U_j - U_{dj}) \quad (\text{II.O.3.41})$$

hierin is:

U_d het ontwerp punt



.....Figuur II.O.3.10.....
Het verschil tussen de FORM procedure en de SORM procedure

In figuur II.O.3.10 wordt de essentie en het verschil van de FORM en de SORM procedure weergegeven. In een FORM procedure wordt de betrouwbaarheidsfunctie benaderd door een eerste orde polynoom, welke weergegeven wordt door de recht lijn $Z_L = 0$ in de figuur. Het ontwerp punt (A) wordt vervolgens gevormd door dat punt op de gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie ($Z_L = 0$) met de hoogste kansdichtheid. Het faalgebied wordt gevormd door het gedeelte onder de Z_L -functie, waar geldt $Z < 0$. De faalkans wordt tenslotte benaderd door:

$$P(Z_L < 0) = \Phi(-\beta) \quad (\text{II.O.3.42})$$

De SORM procedure benaderd de betrouwbaarheidsfunctie met een tweede orde polynoom, weergegeven als $Z_Q = 0$. Deze tweede orde benadering wordt opgesteld in het ontwerp punt A, dat reeds in de FORM procedure bepaald was. Het faalgebied wordt nu gevormd door het gebied beneden de Z_Q -functie. De faalkans in een SORM procedure kan bepaald worden met:

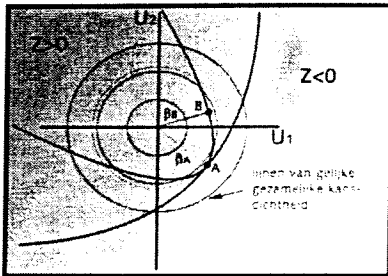
$$P(Z_Q < 0) = \Phi(-\beta) \prod_{i=1}^{n-1} (1 - \beta \kappa_i)^{-1/2} \quad (\text{II.O.3.43})^1$$

.....Toelichting'.....
Formule II.O.3.43 wordt weergegeven zonder enige voorafgaande afleidingen

hierin is:

κ_i een vector met de hoofdkrommingen

Het verschil tussen de SORM en de FORM procedure weerspiegelt zich uiteindelijk in de nauwkeurigheid van de berekende faalkans.



.....**Figuur II.O.3.11**.....
 Door sterk gekromde tweede orde benaderingen van de betrouwbaarheidsfunctie kan een nieuwe ontwerp punt gegenereerd worden

Met de SORM procedure kan een grotere nauwkeurigheid gerealiseerd worden dan met een FORM procedure. Zoals vergelijking II.O.3.43 laat zien wordt de faalkans van de SORM procedure bepaald door de faalkans uit de FORM procedure gecorrigeerd met een factor waarin de kromming van de tweede orde Z-functie is verwerkt. De grotere nauwkeurigheid is ook weer te geven in figuur II.O.3.10, waarin het faalgebied onder de oorspronkelijke Z-functie nauwkeuriger benaderd wordt door het faalgebied onder de Z_0 -functie dan door het faalgebied onder de Z_L -functie.

Er moeten echter wel twee opmerkingen geplaatst worden bij het gebruik van de SORM procedure:

1. Het feit dat de SORM procedure verder rekest met het, in de FORM procedure gevonden ontwerp punt (A), heeft als gevolg dat de krommingen van de tweede orde benadering moeten voldoen aan bepaalde voorwaarden, zodat het punt A wel het ontwerp punt blijft. Het is immers voor te stellen dat wanneer de krommingen van de tweede orde benadering zo groot zijn geworden, er een punt B op de lijn $Z_0 = 0$, te vinden is, met een grotere gezamenlijk kansdichtheid dan het ontwerp punt A uit de FORM procedure. (zie figuur II.O.3.11) Dit zou betekenen dat het punt A niet langer het ontwerp punt is.
2. Er kan afgeleid worden dat de stappen die genomen worden om te komen tot vergelijking II.O.3.43 (niet weergegeven), alleen geldig zijn voor hele kleine krommingen. In de huidige SORM procedures wordt hier geen rekening mee gehouden.

De in PC_RING toegepaste FORM procedure

De in PC_RING gebruikte FORM procedure gaat uit van een werkruimte bestaande uit een set van standaard normaal verdeelde variabelen (U). Alle variabelen U_i hebben per definitie een gemiddelde gelijk aan nul en een standaardafwijking gelijk aan één. Verder wordt verondersteld dat de variabelen onafhankelijk zijn.

$$\mu(U_i) = 0, \sigma(U_i) = 1 \text{ en } \rho(U_i U_j) = 0 \quad (\text{II.O.3.44})$$

De fysische variabelen X kunnen met behulp van een transformatie omgezet worden naar de werkruimte-variabelen U. Voor een normaal verdeelde variabele X is de transformatie te schrijven als:

$$X = \mu_x + U \sigma_x \quad (\text{II.O.3.45})$$

Voor een variabele X met een willekeurige verdeling $F_x(X)$ volgt de transformatie uit de gelijkstelling van de overschrijdingskansen.

$$F_x(X) = \Phi(U) \quad (\text{II.O.3.46})$$

De gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie Z_L is te schrijven als:

$$Z_L = B + A_1 U_1 + A_2 U_2 + \dots + A_n U_n \quad (\text{II.O.3.47})$$

De betrouwbaarheidsindex is te vinden met behulp van:

$$\mu(Z_L) = B \text{ en } \sigma(Z_L) = \sqrt{\sum A_i^2}$$

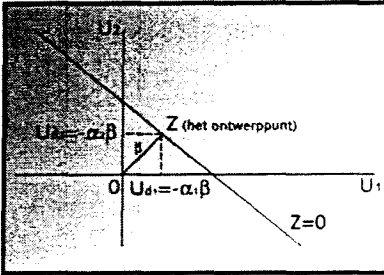
$$\beta = \frac{\mu(Z_L)}{\sigma(Z_L)} = \frac{B}{\sqrt{\sum A_i^2}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{II.O.3.48})$$

De faalkans is dan gelijk aan:

$$P(Z < 0) \approx P(Z_L < 0) = \Phi(-\beta) \quad (\text{II.O.3.49})$$

Het ontwerp punt in de U-werkruimte is gedefinieerd als het punt op de lijn $Z=0$, dat het dichtst bij de oorsprong ligt (*grootste gezamenlijk kansdichtheid*). Met behulp van de meetkunde is dit punt te bepalen als: (zie figuur II.O.3.12)

$$U_{d,i} = -\frac{A_i B}{\sum A_j^2} \quad (\text{II.O.3.50})$$



.....**Figuur II.O.3.12**.....
Het ontwerp punt en de betrouwbaarheidsindex in het U-vlak

Wanneer de gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie gedeeld wordt door $\sqrt{\sum A_j^2}$ ontstaat een gestandaardiseerde vorm voor de betrouwbaarheidsfunctie.

$$Z_1 = \beta + \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \dots + \alpha_n U_n \quad (\text{II.O.3.51})$$

hierin is:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{\sqrt{\sum A_j^2}} \text{ de invloedscoëfficiënt}$$

Het ontwerp punt is dan te schrijven als:

$$U_{d,i} = -\alpha_i \beta \quad (\text{II.O.3.52})$$

Controle meetkundige waarde van β : (zie figuur II.O.3.12)

$$\|OZ\|^2 = \sum (U_{d,i})^2 = \sum (\alpha_i \beta)^2 = \beta^2 \sum \alpha_i^2 = \beta^2 \quad (\text{II.O.3.53})$$

hierin is:

$$\sum \alpha_i^2 \text{ altijd gelijk aan één}$$

Het ontwerp punt in waarden van X_i wordt gevonden door:

$$X_{d,i} = F^{-1}\Phi(U_{d,i}) = F^{-1}\Phi(\alpha_i \beta) \quad (\text{II.O.3.54})$$

De uiteindelijke uitvoer van de FORM procedure in PC_RING bestaat uit:

- een standaarduitdrukking voor de betrouwbaarheidsindex Z_i
- een betrouwbaarheidsindex β
- een set van invloedscoëfficiënten α_i
- een faalkans P_f
- het ontwerp punt X_d of U_d

De in PC_RING toegepaste SORM procedure

Ook de SORM procedure wordt uitgevoerd in de U-werkruimte en voegt een tweede orde correctie term toe aan de gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie. De in het ontwerp punt gelineariseerde betrouwbaarheidsfunctie uit de FORM procedure werd gegeven door (vergelijking II.O.3.51):

$$\begin{aligned} Z_L &= Z(U_d) + \sum \alpha_i (U_i - U_{d,i}) = \dots \\ &\dots 0 + \sum \alpha_i U_i - \sum -\alpha_i^2 \beta = \beta + \sum \alpha_i U_i \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.55})$$

Toevoeging van de tweede orde benadering van de betrouwbaarheidsfunctie levert:

$$Z_Q = \beta + \sum \alpha_i U_i + \frac{1}{2} \sum \sum \frac{\partial^2 Z}{\partial U_i \partial U_j} (U_i - U_{i,d})(U_j - U_{j,d}) \quad (\text{II.O.3.56})$$

Met behulp van een rotatie-transformatie naar een nieuwe assenstelsel waarbij de x-as van het nieuwe assenstelsel door het ontwerp punt gaat, kan de kromming van grenstoestand benaderd worden. De faalkans wordt uiteindelijk gegeven door:

$$P(Z_Q < 0) = \Phi(-\beta) \prod_{i=1}^{n-1} (1 - \beta \kappa_i)^{-1/2} \quad (\text{II.O.3.57})$$

hierin is:

κ_i een vector met de hoofdkrommingen

Uit deze faalkans kan vervolgens een nieuwe betrouwbaarheidsindex β afgeleid worden.

$$P(Z_Q < 0) = \Phi(-\beta) \quad (\text{II.O.3.58})$$

De invloedscoëfficiënten α_i worden afgeleid volgens de FORM procedure. Er zijn wel correctie methoden voor de invloedscoëfficiënten beschikbaar, maar deze zijn niet in PC_RING toegepast.

II.O.3.4 Vergelijking Niveau II en Niveau III methoden

Hieronder volgt een vergelijking van de besproken berekeningsmethoden op basis van een vijftal kenmerken.

a. De invloed van het aantal variabelen;

Bij gebruikmaking van numeriek integratie methoden (*niveau III*) heeft het aantal variabelen een grote invloed op de benodigde rekentijd. Het toevoegen van een extra variabele leidt tot een vergroting van de rekentijd met een factor die ongeveer gelijk is aan het aantal integratiestappen. De invloed van het aantal variabelen bij niveau II berekeningsmethoden (*FORM en SORM*) is een stuk kleiner. De rekentijd neemt hier lineair toe met de toename van het aantal variabelen. Bij het toepassen van een Monte Carlo simulatie (*niveau III*) is de invloed van de vergroting van het aantal variabelen nauwelijks merkbaar.

Naast de negatieve effecten op de rekentijd als gevolg van de vergroting van het aantal variabelen heeft de vergroting van het aantal variabelen bij niet-normaal verdeelde basisvariabelen, een gunstige invloed op de nauwkeurigheid van de berekende faalkans. (*Centrale limiet Stelling*)

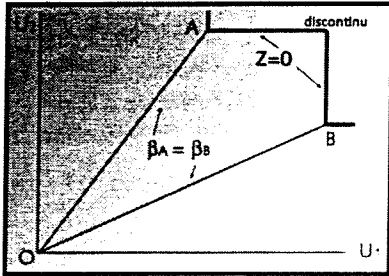
b. De gewenste nauwkeurigheid van de faalkansberekening;

Een niveau II berekening met een lineaire betrouwbaarheidsfunctie en onafhankelijk normaal verdeelde basisvariabelen geeft de exacte faalkans. Als gevolg van niet-lineariteit en/of niet-normaal verdeelde basisvariabelen neemt de nauwkeurigheid af door de toegepaste benaderingen. Niveau III methoden gaan uit van de oorspronkelijke verdelingen van de basisvariabelen. Een analytische integratie geeft de exacte oplossing maar is meestal te gecompliceerd en te tijdrovend. Bij numeriek integratie methoden wordt de nauwkeurigheid bepaald door de integratiestapgrootte of het aantal simulaties. De nauwkeurigheid kan worden vergoot door toepassing van bijvoorbeeld een Importance Sampling procedure.

c. De vorm van de faalruimte;

De vorm van de faalruimte, met name de grens van de faalruimte (deze grens wordt gevormd door de betrouwbaarheidsfunctie) heeft een grote invloed op de nauwkeurigheid van de berekende faalkans. Zo zal een lineaire betrouwbaarheidsfunctie in een niveau II berekening leiden tot de exacte faalkans en zo zal bij gelineariseerde functies (afhankelijk van de oorspronkelijke vorm van de niet-lineaire functie) de nauwkeurigheid afnemen. Ook bij numerieke integratiemethoden is de vorm van de betrouwbaarheidsfunctie van belang voor de nauwkeurigheid. Deze onnauwkeurigheden worden veroorzaakt doordat het integratieoppervlak wordt opgedeeld in rechthoekige hokjes. (Figuur II.O.3.3. geeft een schematisatie van de gemaakte fout bij een Riemann-procedure)

Discontinuïteiten in de definitie van de faalruimte geven bij niveau III berekeningsmethoden geen problemen, echter bij niveau II methoden kunnen de discontinuïteiten leiden tot grote onnauwkeurigheden in de berekende faalkans. In figuur II.O.3.13 is zo'n discontinue betrouwbaarheidsfunctie uitgezet. Er zijn twee ontwerpapunten te vinden, A en B. Een niveau II berekening zal echter maar één van de twee ontwerpapunten lokaliseren. Dit probleem kan worden opgelost door de discontinue betrouwbaarheidsfunctie op te delen in meerdere continue functies, om vervolgens met behulp van een combinatieprocedure (systeemfaalkans berekening, zie bijlage O.II.4) de faalkans te berekenen.



.....Figuur II.O.3.13.....
Discontinuïteiten in de betrouwbaarheidsfunctie kunnen leiden tot grote onnauwkeurigheden bij niveau II berekeningen

d. De stochastische afhankelijkheid van de basisvariabelen;

Wanneer er sprake is van stochastisch afhankelijk basisvariabelen is het mogelijk om, zowel met behulp van niveau II als met niveau III berekeningsmethoden, de faalkans te bepalen. Een voorwaarde bij beide methode is echter wel dat de voorwaardelijke kansverdelingen van de basisvariabelen bekend moeten zijn. Een nadeel bij het gebruik van niveau II methoden ten opzichte van niveau III methoden, is dat, door het moeten toe passen van de Rosenblatt-transformatie, de rekentijd aanzienlijk groter wordt.

e. De stochastische afhankelijkheid van de betrouwbaarheidsfuncties;

Wanneer er sprake is van een discontinue betrouwbaarheidsfunctie kan deze opgedeeld worden in verschillende continue functies (zie ook punt c). In zo'n geval is echter bijna altijd sprake van stochastische afhankelijkheid van de betrouwbaarheidsfunctie. Deze afhankelijkheid wordt veroorzaakt doordat dezelfde variabelen in de verschillende functies voorkomen of als gevolg van de stochastische afhankelijkheid van de variabelen zelf (zie punt d). Niveau III methoden hebben geen moeite met deze afhankelijkheid omdat deze uitgaan van de definitie van de totale faalruimte. Niveau II methoden daarentegen gaan uit van de definitie van de betrouwbaarheidsfunctie. Omdat deze bestaat uit meerdere functies zal een combinatie procedure de uiteindelijke faalkans moeten bepalen. (zie bijlage O.II.4)

II.O.3.5 Niveau I methode

Naast de tot nu toe besproken niveau III en niveau II berekeningsmethoden is er ook een niveau I berekeningsmethode beschikbaar. Deze methode is in het verleden vaak toegepast door ontwerpers omdat ze gebruik maakt van ontwerp richtlijnen en voorschriften. De niveau I methode is gebaseerd op een zogenaamde semi-probabilistische benadering. Bij een semi-probabilistische benadering worden de stochastische variabelen vervangen worden door representatieve waarden van de variabelen. De representatieve waarden van de sterkte en de belasting variabelen worden bepaald met behulp van:

$$\begin{aligned} R_{rep} &= \mu_R + k_R \sigma_R \\ S_{rep} &= \mu_S + k_S \sigma_S \end{aligned} \tag{II.O.3.59}^1$$

.....Toelichting¹.....
 k_R en k_S zijn afhankelijk van het gekozen onderschrijdingspercentage van sterkte en belasting

Om op een veilige manier te kunnen ontwerpen worden de representatieve waarden van de sterkte en de belasting gecorrigeerd met een bepaalde factor. De representatieve waarde van de sterkte wordt vermenigvuldigd met een factor kleiner dan één en de representatieve waarde van de belasting vermenigvuldigd met een factor groter dan één. Om falen te voorkomen moet gelden:

$$\gamma_R R_{\text{rep}} > \gamma_S S_{\text{rep}} \quad (\text{II.O.3.60})$$

Deze factoren staan bekend als de zogenaamde partiële veiligheidsfactoren en worden aangereikt in voorschriften en richtlijnen voor de meest gangbare belasting- en sterkteparameters.

De Niveau I berekeningen sluiten aan op de niveau II berekeningen in de definitie van het ontwerppunt. Het ontwerppunt is dat punt in de faalruimte ($Z < 0$), met de grootste gezamenlijke kansdichtheid van de sterkte en belasting. Het is daarom goed te begrijpen dat de waarden van sterkte en belasting op het moment van falen dicht bij de waarde van het ontwerppunt liggen. De waarden van het ontwerppunt zijn:

$$\begin{aligned} R^* &= \mu_R + \alpha_R \beta \sigma_R = \mu_R (1 + \alpha_R \beta V_R) \\ S^* &= \mu_S + \alpha_S \beta \sigma_S = \mu_S (1 + \alpha_S \beta V_S) \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.61})$$

hierin is:

$$\begin{aligned} V_R & \text{ de variatiecoëfficiënt voor de sterkte} = \sigma_R / \mu_R \\ V_S & \text{ de variatiecoëfficiënt voor de belasting} = \sigma_S / \mu_S \end{aligned}$$

Als algemene veiligheidseis kan aangehouden worden $R^* > S^*$. In combinatie met vergelijking II.O.3.59 resulteert vergelijking II.O.3.61 in een tweetal vergelijkingen voor de partiële veiligheidsfactoren van sterkte en belasting.

$$\begin{aligned} \gamma_R &= \frac{R_{\text{rep}}}{R^*} = \frac{1 + k_R V_R}{1 + \alpha_R \beta V_R} \\ \gamma_S &= \frac{S^*}{S_{\text{rep}}} = \frac{1 + \alpha_S \beta V_S}{1 + k_S V_S} \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.62})$$

Op basis van deze vergelijkingen kan geconcludeerd worden dat een partiële veiligheidsfactor groter wordt als:

- de absolute waarde van de invloedscoëfficiënten α , groter is
- de gewenste betrouwbaarheidsindex β hoger is
- de variatiecoëfficiënt V_i groter is

De invloedscoëfficiënten worden bepaald met:

$$\begin{aligned} \alpha_R &= -\frac{\sigma_R}{\sigma_Z} = -\frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_R^2}} \\ \alpha_S &= \frac{\sigma_S}{\sigma_Z} = \frac{\sigma_S}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_R^2}} \end{aligned} \quad (\text{II.O.3.63})$$

De grootte van de partiële factoren is sterk afhankelijk van de invloedscoëfficiënten, welke op hun beurt weer afhankelijk zijn van de spreiding in zowel sterkte als belasting. (zie vergelijking II.O.3.62)

Met behulp van niveau II of niveau III methoden is het dus mogelijk om voor alle basisvariabelen, partiële veiligheidsfactoren te bepalen.

Bij de praktische uitwerking van deze methode moet echter rekening gehouden worden met een aantal complicaties. Er is een zogenaamde 'code theorie' opgesteld, met hierin een aantal algemeen geaccepteerde regels ter oplossing van deze complicaties. Twee van deze complicaties met bijbehorende oplossingen zijn:

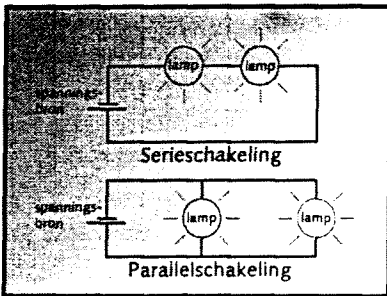
- 1) Als voor elke stochastische variabele een partiële veiligheidsfactor wordt gedefinieerd, wordt het aantal factoren veel te groot. Het aantal factoren moet beperkt worden door de variabelen samen te nemen en daarvoor één partiële veiligheidsfactor te berekenen.
- 2) De grootte van de partiële veiligheidsfactoren is afhankelijk van de standaardafwijking van alle, in de betrouwbaarheidsfunctie voorkomende basisvariabelen. Het is daarom niet mogelijk om een veiligheidsfactor te berekenen, die onafhankelijk is van de betrouwbaarheidsfunctie. De factoren in de voorschriften zijn daarom vaak gemiddelden van een groot aantal referentiegevallen.

In bijlage II.O.9 wordt de niveau I methode en de aansluiting op de niveau II methoden toegelicht aan de hand van een voorbeeldberekening.

Bijlage II.O.4 Faalkans van een systeem

II.O.4.1 Systemen

Een systeem kan worden gedefinieerd als een groep elementen of processen met een gezamenlijk doel en verschillende onderlinge relaties. Er kunnen twee soorten systemen onderscheiden worden: seriesystemen en parallelsystemen.



.....Figuur II.O.4.1.....
Een elektronische serie- en parallelschakeling van lampen

Ter verduidelijking van deze twee begrippen kan een elektronische schakeling van lampen voorgesteld worden. Als de lampen geschakeld worden zoals in de kerstboomverlichting, zal het gehele systeem (de kerstboomverlichting) falen als één enkel element (één lampje) faalt. In zo'n geval wordt er gesproken van een seriesysteem. Er kan gesteld worden dat de sterkte van een seriesysteem bepaald wordt door het zwakste element (volgens het principe: 'de ketting is zo sterk als de zwakste schakel'). In tegenstelling tot de kerstboomverlichting zullen niet alle straatlantaarns uitgaan, wanneer er één lamp doorbrandt. De lampen in zo'n schakeling zijn een onderdeel van een parallelsysteem. Het falen van een enkel element (één lantaarnlamp) in een parallelsysteem, leidt niet automatisch tot falen van het gehele systeem (de gehele straatverlichting).

Systemen komen niet alleen voor in elektronische schakelingen maar ook andere fysische processen of componenten kunnen in systemen onderverdeeld worden. Zo kunnen bijvoorbeeld de verschillende faalmechanismen van een dijkvak voorgesteld worden als de elementen van het systeem 'dijkvak'. Maar ook de dijkvakken kunnen op hun beurt weer voorgesteld worden als de elementen van het systeem 'dijkkring'. Het element 'dijkvak' vormt dan een zogenaamd subsysteem.

Door de werking van een systeem, inclusief de subsystemen, te analyseren, is het mogelijk om de kleinste verzameling gebeurtenissen op te stellen, die leiden tot het falen van het systeem. Deze verzameling gebeurtenissen wordt de verzameling van minimale sneden genoemd. Als alle componenten uit deze verzameling achtereenvolgens falen, zal het gehele systeem falen. De verzameling gebeurtenissen die kunnen leiden tot het falen van een systeem kunnen weergegeven worden in een zogenaamde foutenboom. De topgebeurtenis van de foutenboom wordt gevormd door het falende systeem. Ook de onderlinge relaties tussen de verschillende gebeurtenissen die leiden tot falen, kunnen weergegeven worden in deze foutenboom (zie figuur II.O.2.7).

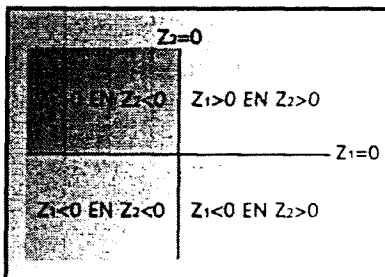
II.O.4.2 Faalkans van een seriesysteem

Seriesysteem bestaande uit twee discrete elementen

Stel een seriesysteem voor bestaande uit twee elementen. Het systeem zal falen als één van de twee elementen faalt. In een seriesysteem geldt immers dat 'de ketting zo sterk is als de zwakste schakel'.

E_1 wordt gedefinieerd als de gebeurtenis dat het eerste element faalt en E_2 als de gebeurtenis dat het tweede element faalt. De kans dat het systeem faalt is gelijk aan de kans dat één van de twee gebeurtenissen E_1 OF E_2 optreedt.

$$P_f = P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1 \cap E_2) \quad (II.O.4.1)$$



.....Figuur II.O.4.2.....
Faalkans van een seriesysteem

De bij vergelijking II.O.4.1 horende faalruimte wordt weergegeven in figuur II.O.4.2. In deze figuur komt duidelijk de werking van vergelijking II.O.4.1 naar voren. De faalkans wordt gevormd door het gebied waar geldt $Z_1 < 0$ of $Z_2 < 0$.

Wanneer dit in een figuur weergegeven wordt dan blijkt dat het gebied waar zowel het eerste als het tweede element faalt, dubbel wordt meegeteld. In vergelijking II.O.4.1 wordt dan ook deze teveel meegetelde faalruimte afgetrokken van de faalkans. De faalkans uit vergelijking II.O.4.1 kan omgeschreven worden tot een voorwaardelijke faalkans.

$$P_f = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1)P(E_2|E_1) \quad (\text{II.O.4.2})$$

Uit vergelijking II.O.4.2 blijkt dat de faalkans dus niet alleen afhankelijk is van de faalkansen van de afzonderlijke elementen, maar ook van een voorwaardelijke kans. Dit betekent dat de stochastische afhankelijkheid van het falen van de elementen van belang is. Wanneer men stochastische onafhankelijkheid verondersteld gaat vergelijking II.O.4.2 over in:

$$P_f = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1)P(E_2) \quad (\text{II.O.4.3})$$

Als er niet mag worden uitgegaan van stochastische onafhankelijkheid wordt de faalruimte van een seriesysteem gedefinieerd door:

$$(R_1 < S) \cup (R_2 < S) \quad (\text{II.O.4.4})$$

.....*Verwijzing'*.....
Zie bijlage II.O.3

Met behulp van numerieke integratie methoden of een Monte Carlo simulatie is het mogelijk om direct de faalkans van zo'n systeem te bepalen¹. Maakt men echter gebruik van niveau II berekeningsmethoden, dan dient eerst de faalkans per element bepaald te worden. Deze faalkans is te bepalen met:

$$P(E_i) = P(R_i < S) \quad (\text{II.O.4.5})$$

hierin is:

E_i de gebeurtenis dat het i^{de} element faalt ($i=1,2$)

Voor de faalkans van een seriesysteem met afhankelijke elementen kunnen twee elementaire grenzen opgesteld worden. De elementaire bovengrens wordt toegepast wanneer de gebeurtenissen E_1 en E_2 elkaar uitsluiten. Vergelijking II.O.4.1 reduceert dan in:

$$P_f = P(E_1) + P(E_2) \quad (\text{II.O.4.6})$$

De elementaire ondergrens wordt toegepast wanneer het falen van het ene element het falen van het andere element impliceert. De faalkans wordt dan bepaald door:

$$P_f = \max [P(E_1), P(E_2)] \quad (\text{II.O.4.7})$$

In het algemeen kan gesteld worden dat alle gevallen waarbij de afhankelijkheid van de elementen onbekend is, de faalkans ligt tussen de elementaire onder- en bovengrens.

$$\max [P(E_1), P(E_2)] \leq P_f \leq P(E_1) + P(E_2) \quad (\text{II.O.4.8})$$

Ditlevsen heeft een benaderingsmethode ontwikkeld, waarmee nauwere grenzen bepaald kunnen worden, waartussen de faalkans van een systeem met afhankelijke elementen zal liggen.

De benaderingsmethode gaat ervan uit dat:

- de correlatie tussen de elementen is bekend in de vorm van een correlatiecoëfficiënt ρ
- de betrouwbaarheidsfuncties normaal verdeeld zijn

De Ditlevsen grenzen worden dan bepaald door:

$$\Phi(-\beta_1^*)\Phi(-\beta_2) \leq P(E_1 \cap E_2) \leq \Phi(-\beta_1)\Phi(-\beta_2^*) + \Phi(-\beta_2)\Phi(-\beta_1^*) \quad (\text{II.O.4.9})$$

hierin is:

$$\beta_i = -\Phi^{-1}(P(E_i))$$

$$\beta_1^* = \frac{\beta_2 - \rho\beta_1}{\sqrt{1-\rho^2}}$$

$$\beta_2^* = \frac{\beta_1 - \rho\beta_2}{\sqrt{1-\rho^2}}$$

De correlatiecoëfficiënt kan in combinatie met een niveau II berekening bepaald worden door:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \alpha_{1i} \alpha_{2i} \rho_i \quad (\text{II.O.4.10})$$

hierin is:

- α_{1i} de α -waarde voor alle X_i , volgens de niveau II berekening van $Z_1 < 0$;
- α_{2i} de α -waarde voor alle X_i , volgens de niveau II berekening van $Z_2 < 0$;
- ρ_i de correlatie van X_i in het element E_1 en X_i in het element E_2
- n het aantal basisvariabelen (*in deze paragraaf is n gelijk aan twee*)

Een seriesysteem bestaande uit n discrete elementen

In een seriesysteem bestaande uit n discrete elementen wordt de faalruimte gedefinieerd door:

$$R_1 < S_1 \cup R_2 < S_2 \cup R_3 < S_3 \cup \dots \cup R_n < S_n \quad (\text{II.O.4.11})$$

Wanneer gebruik gemaakt wordt van een niveau III berekeningsmethode, is de faalkansberekening van een seriesysteem met n elementen niet anders dan de faalkansberekening van een seriesysteem met twee elementen. Door de toename van het aantal elementen neemt alleen de rekentijd toe. Wanneer gebruik gemaakt wordt van een niveau II berekeningsmethode wordt de faalkans begrensd door de volgende elementaire grenzen (zie vergelijking II.O.4.8):

$$\max(P(R_i < S_i)) \leq P_f \leq \sum_{i=1}^n P(R_i < S_i) \quad (\text{II.O.4.12})$$

Volgens deze grenzen is de faalkans dus altijd kleiner dan de som van alle elementfaalkansen maar groter dan de faalkans van het meest onveilige element.

Ditlevsen heeft ook voor een systeem bestaande uit n afhankelijke elementen nauwere grenzen opgesteld waarbinnen de faalkans zal liggen.

Ondergrens:

$$P(R_1 < S_1) + \sum_{i=2}^n \max \left[\left(P(R_i < S_i) - \sum_{j=1}^{i-1} P(R_i < S_i \cap R_j < S_j) \right), 0 \right] \leq P_f$$

Bovengrens:

$$P_f \geq \sum_{i=1}^n P(R_i < S_i) - \max_{j < i} P(R_i < S_i \cap R_j < S_j)$$

(II.O.4.13)

De toepassing van de elementaire en de Ditlevsen onder- en bovengrenzen wordt toegelicht in bijlage II.O.10 aan de hand van een voorbeeld van een seriesysteem bestaande uit twee tot tien afhankelijke elementen.

Een nog nauwkeuriger schatting van de faalkans kan verkregen worden met de onder- en bovengrensbepaling van Hohenbichler en Rackwitz. In deze benadering dienen de niet normaal verdeelde stochastische afhankelijke basisvariabelen getransformeerd te worden naar standaard normaal verdeelde onafhankelijke basisvariabelen. Deze transformaties zijn reeds ter sprake gekomen bij de bepaling van de faalkans van een enkel element. De methode Hohenbichler zal in paragraaf II.O.4.4 nader worden toegelicht.

Continu seriesysteem (lengte effecten)

Naast seriesystemen bestaande uit n discrete elementen komen meestal continu seriesystemen voor. Een dijkkring is een voorbeeld van zo'n continu systeem. De sterkte van elk punt in een continue seriesysteem kan beschreven worden door een stochastische variabele met een gemiddelde en een standaardafwijking. De sterkte tussen de verschillende punten zal doorgaans gecorreleerd zijn. De mate van correlatie is onder meer afhankelijk van de afstand tussen de beschouwde punten. Een zogenaamde correlatiefunctie beschrijft de relatie tussen de correlatie en de afstand tussen de beschouwde punten.

$$\rho(R_x, R_{x+\Delta x}) = \exp \left(- \left(\frac{\Delta x}{d} \right)^2 \right) \quad (\text{II.O.4.14})$$

hierin is:

$$\frac{\rho(R_x, R_{x+\Delta x})}{d} \quad \begin{array}{l} \text{de correlatie tussen de sterkte op locatie } x \text{ en } x+\Delta x \\ \text{de zogenaamde correlatie-afstand} \end{array}$$

De correlatieafstand wordt gedefinieerd als de afstand waarover de statistische eigenschappen van de betrouwbaarheidsfunctie geacht worden volledig gecorreleerd te zijn.

Als elke punt dezelfde betrouwbaarheidsindex heeft, dan kan de faalkans van een seriesysteem benaderd worden met:

$$P_f = \Phi(-\beta) \left(1 + \alpha_R \frac{\beta L}{\sqrt{\pi d}} \right) \quad (\text{II.O.4.15})$$

hierin is:

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

L de lengte van het seriesysteem

II.O.4.3 Faalkans van een parallelsysteem

Een parallelsysteem hoeft in tegenstelling tot een seriesysteem niet meteen te falen als één van de elementen faalt. Het is mogelijk dat één element het falen van een ander element kan compenseren. Een zuiver parallelsysteem faalt pas als alle elementen van het systeem gefaald zijn. De faalruimte van een zuiver parallelsysteem wordt beschreven door:

$$E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n \quad (\text{II.O.4.16})$$

hierin is:

E_i de gebeurtenis van het falen van het i^{de} element ($i=1,2,\dots,n$)

De faalkans van een parallelsysteem kan bepaald worden met:

$$P_f = P(E_1)P(E_2|E_1)P(E_3|E_2, E_1)\dots P(E_n|E_{n-1}\dots E_1) \quad (\text{II.O.4.17})$$

Wanneer de gebeurtenissen als onafhankelijk kunnen worden verondersteld, vereenvoudigd vergelijking II.O.4.17 tot:

$$P_f = P(E_1)P(E_2)P(E_3)\dots P(E_n) \quad (\text{II.O.4.18})$$

Het falen van een parallelsysteem kan ook gedefinieerd worden als het complement van niet-falen. Er kan verondersteld worden dat een parallelsysteem niet faalt zolang er minstens één element niet faalt.

$$P_f = 1 - P(\bar{E}_1 \cup \bar{E}_2 \cup \dots \cup \bar{E}_n) \quad (\text{II.O.4.19})$$

II.O.4.4 Systeem combinatie procedures in PC_RING

Algemene berekeningsopzet PC_RING

Met behulp van het programma PC_RING is mogelijk om de faalkans van een dijkkring, bestaande uit een groot aantal onderdelen, die elk via verschillende faalmechanismen kunnen falen, te berekenen. Het programma maakt gebruik van de volgende algemene berekeningsprocedure:

1. Bepaal de kans op falen voor één jaar (of een andere willekeurige tijdsperiode), voor elk mechanisme en voor elk onderdeel (dijkvak, duinraai of kunstwerk) afzonderlijk. (elementberekening)
2. Combineer de resultaten via de verschillende combinatie-procedures tot een kans op falen voor de gehele dijkkring. (systeemberekening)

Omdat er rekening gehouden moet worden met fluctuaties in ruimte en tijd van de verschillende stochastische variabelen, moet de eerste stap uit de algemene berekeningsprocedure opgedeeld worden in een aantal kleinere stappen.

- De berekening van de faalkans moet in eerste instantie uitgevoerd worden voor één 'enkel getij' en voor één 'enkele doorsnede' van een dijkvak, duinraai of kunstwerk. Met behulp van lengte- en tijdseffecten kunnen de resultaten vervolgens 'opgerekt' worden naar de beschouwde tijdsperiode en de vooraf gedefinieerde vaklengte.
- Bij windafhankelijke mechanismen moet de berekening van de faalkans voor een 'enkel getij' en een 'enkele doorsnede' eerst uitgevoerd worden per windrichting, waarna de resultaten gecombineerd kunnen worden tot een faalkans over de verschillende windrichtingen.
- De mechanismen die bestaan uit meerdere deelmechanismen, moeten in eerste instantie gecombineerd worden tot één hoofdmechanisme¹.

.....Toelichting¹

Een voorbeeld van zo'n mechanisme, is het mechanisme piping, welke bestaat uit de deelmechanismen opbarsten en piping. Piping kan niet optreden voordat het mechanisme opbarsten is opgetreden

.....Figuur II.O.4.3.....

Rekenschema PC_RING

- stap 1. Bereken de kans voor elke doorsnede, getij, deelmechanisme, gegeven de windrichting
- stap 2. Combineer de deelmechanismen
- stap 3. Verwerk de kans op de windrichting
- stap 4. Bereken de kans voor het hele vak
- stap 5. Sommeer over alle windrichtingen
- stap 6. Bereken de kans voor de beschouwde periode
- stap 7. Combineer de mechanismen
- stap 8. Combineer de dijkvakken

stap 1	stap 2	stap 3-6	stap 7	stap 8
FORM procedure aanvullend met SORM of Monte Carlo (DS) procedure		oprollen over de windrichtingen	combinatie procedure mechanismen	combinatie dijkvakken
	overslag	overslag	dijkvak 1.	dijkring
	afschuiven	afschuiven		
opbarsten	opbarsten & piping	opbarsten & piping	dijkvak 2.	
piping				
bekleding	doorbraak	doorbraak	dijkvak n	
reststerkte	duindooraak	doorbraak	duinraai 1.	
			duinraai 2.	
	piping kunstwerk	piping kunstwerk	duinraai m	
	onvoldoende berging	inundatie door niet sluiten	kunstw. 1.	
	niet sluiten kunstwerk		kunstw. 2.	
			kunstw. p	
			kunstw. 1.	
			kunstw. 2.	
			kunstw. p	

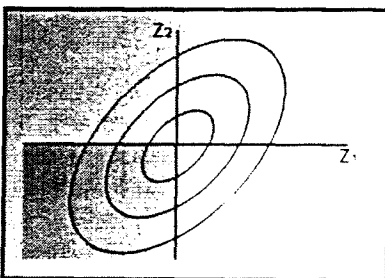
Stap 1 wordt in PC_RING standaard uitgevoerd met een FORM berekening (First Order Reliability Method). Eventuele correcties zijn mogelijk met een aanvullende SORM berekening (Second Order Reliability Method) of een Monte Carlo/Directional Sampling berekening. De algemene werkwijze van deze berekeningen is reeds besproken in paragraaf II.O.3.

De stappen twee tot en met acht bestaan uit combinatie- of systeemberekeningen. PC_RING gebruikt hiervoor de techniek van het 'oprollen' van een systeem.

Beschouw een systeem met n elementen, waarbij een 'element' staat voor een 'doorsnede', 'getij', 'windrichting', 'vak', 'mechanisme', etc. De elementen van het systeem worden dan in de procedure steeds twee aan twee gecombineerd tot één enkel 'equivalent vervangend element'. Het oorspronkelijk aantal elementen n is dan verminderd tot n-1. Herhaling van deze procedure leidt tot het zogenaamd 'oprollen' van het systeem, waarmee het aantal elementen uit het systeem teruggebracht wordt tot één.

.....Verwijzing'.....

zie ook figuur II.O.4.8



.....Figuur II.O.4.4.....

Faalruimte voor een parallelsysteem met twee elementen

Methode Hohenbichler voor een parallelsysteem met twee elementen

Het programma PC_RING gebruikt de methode Hohenbichler voor het berekenen van de kans $P(Z_1 < 0 \text{ EN } Z_2 < 0)$. Deze kans is gelijk aan de faalkans van een parallelsysteem bestaande uit twee elementen. Net als in vergelijking II.O.4.2 kan deze kans vervangen worden door het product van een kans en een voorwaardelijke kans.

$$P(Z_1 < 0 \cap Z_2 < 0) = P(Z_1 < 0)P(Z_2 < 0 | Z_1 < 0) \quad (II.O.4.20)$$

De methode Hohenbichler is gebaseerd op een transformatie van de basisvariabelen naar standaard normaal verdeelde onafhankelijke basisvariabelen. PC_RING gaat uit van de situatie, bekend uit de FORM procedure:

- β_1 de betrouwbaarheidsindex van Z_1
- β_2 de betrouwbaarheidsindex van Z_2
- ρ de correlatiecoëfficiënt van Z_1 en Z_2

De correlatiecoëfficiënt ρ is te bepalen met:
$$\rho = \sum_{i=1}^n \alpha_{1i} \alpha_{2i} \quad (\text{II.O.4.21})$$

hierin is:

- n het aantal elementen (*twee*)
- i het indexnummer van de stochasten

Stel nu dat geldt: $\beta_1 > \beta_2$
 De betrouwbaarheidsfuncties in de gestandaardiseerde vorm: $Z_1 = \beta_1 - u$ en $Z_2 = \beta_2 - v$
 (u en v standaard normaal verdeeld)

Omdat de betrouwbaarheidsindices als constant beschouwd kunnen worden moet gelden:

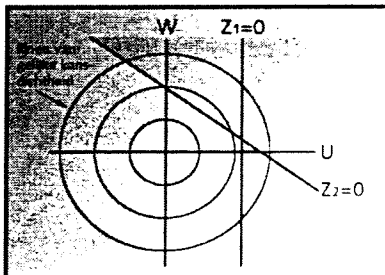
$$\rho(Z_1 Z_2) = \rho(uv) = \rho \quad (\text{II.O.4.22})$$

De afhankelijke variabelen u en v kunnen vervangen worden door onafhankelijke variabelen u en w (ook standaard normaal verdeeld). De betrouwbaarheidsfunctie Z_1 blijft ongewijzigd en Z_2 wordt opgedeeld in een afhankelijk deel u en een onafhankelijk deel w .

$$Z_2 = \beta_2 - \rho u - w \sqrt{1 - \rho^2} \quad (\text{II.O.4.23})$$

Als uitdrukking II.O.4.23 correct is moet voldaan worden aan de volgende drie voorwaarden:

1. gemiddelde $\mu(Z_2) = \beta_2$
2. standaardafwijking $\sigma^2(Z_2) = \left(\frac{\partial Z_2}{\partial u}\right)^2 \sigma_u^2 + \left(\frac{\partial Z_2}{\partial w}\right)^2 \sigma_w^2 = \dots$
 $\dots = \rho^2 + (1 - \rho^2) = 1$
3. correlatie $\text{Cov}(Z_1 Z_2) = E[(Z_1 - \mu(Z_1))(Z_2 - \mu(Z_2))] = \dots$
 $\dots = E\left[(-u)\left(-\rho u - w \sqrt{1 - \rho^2}\right)\right] = \rho + 0 = \rho$
 $\rho(Z_1 Z_2) = \frac{\text{Cov}(Z_1 Z_2)}{(\sigma(Z_1)\sigma(Z_2))} = \rho$



.....Figuur II.O.4.5.....
 Betrouwbaarheidsfunctie in het u, w -vlak

Er kan dus geconcludeerd worden dat vergelijking II.O.4.23 een goede vervanging is voor de oorspronkelijke betrouwbaarheidsfunctie Z_2 . De nieuwe betrouwbaarheidsfunctie wordt weergegeven in figuur II.O.4.5. Vervolgens kan eenvoudig het gebied bepaald worden dat bijdraagt aan de faalkans van vergelijking II.O.4.20. Met gebruikmaking van vergelijking II.O.4.23 kan de voorwaardelijke kans uit vergelijking II.4.20 herschreven worden als:

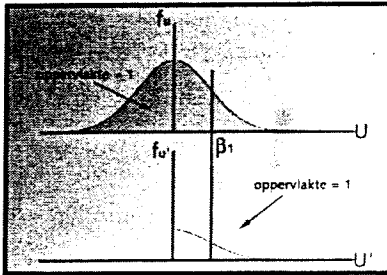
$$P(Z_2 < 0 | Z_1 < 0) = P(\beta_2 - \rho u - w \sqrt{1 - \rho^2} < 0 | \beta_1 - u < 0) \quad (\text{II.O.4.24})$$

De methode Hohenbichler is er vervolgens op gebaseerd om deze voorwaardelijke kans te vervangen door een onvoorwaardelijke kans van de gedaante zoals in vergelijking II.O.25.

$$P(Z_2 < 0 | Z_1 < 0) = P(Z_2' < 0) = P(\beta_2 - \rho u' - w\sqrt{1-\rho^2} < 0) \quad (\text{II.O.4.25})$$

Hierin is:

u' de oorspronkelijke variabele u , waarin het gegeven ' $\beta_1 - u < 0$ ' verwerkt is



.....**Figuur II.O.4.6**.....
De 'truncated' normale verdeling van u'

De werkwijze van u' wordt weergegeven in figuur II.O.4.6, waarin de bovenste grafiek de oorspronkelijk kansdichtheidsfunctie van u is en de onderste grafiek de kansdichtheidsfunctie van u' . Omdat voor u' de voorwaarde $\beta_1 - u < 0$ gegeven is, wordt de kansdichtheid nul, voor alle u' kleiner dan β_1 . De kansdichtheid voor alle u' groter dan β_1 , wordt vermenigvuldigd met een bepaalde factor zodat de oppervlakte onder de curve weer gelijk wordt aan één. Men spreekt in zo'n geval van een 'truncated' normale verdeling. Zo'n verdeling wordt formeel weergegeven worden door:

$$u' = \Phi^{-1}[1 - p * \Phi(u)] \quad \text{met } p = P(u > \beta_1) \quad (\text{II.O.4.26})$$

Met behulp van deze vergelijking kan vergelijking II.O.4.25 omgeschreven worden tot:

$$P(Z_2' < 0) = P\left[\beta_2 - \rho\Phi^{-1}(1 - p\Phi(u)) - w\sqrt{1-\rho^2} < 0\right] \quad (\text{II.O.4.27})$$

Deze kans kan met behulp van de FORM procedure berekend worden.

Seriesysteem van twee elementen

De faalkans van een seriesysteem van twee elementen kan bepaald worden met:

$$P(F) = P(Z_1 < 0 \cup Z_2 < 0) = P(Z_1 < 0) + P(Z_2 < 0) - P(Z_1 < 0 \cap Z_2 < 0)$$

hierin is

- $P(Z_1 < 0)$ bepalen met FORM procedure
- $P(Z_2 < 0)$ bepalen met FORM procedure
- $P(Z_1 < 0 \cap Z_2 < 0)$ bepalen met Methode Hohenbichler

De α en β waarden behorende bij een seriesysteem bestaande uit twee elementen

De methode voor de berekening van de faalkans van een seriesysteem bestaande uit twee elementen kan opgesplitst worden in drie stappen:

1. Bereken de faalkans op de gebeurtenissen $P(Z, < 0)$ met behulp van een FORM procedure (eventueel aangevuld met SORM-correctie of Monte Carlo procedure). Behalve een faalkans resulteert dit in een betrouwbaarheidsindex β_i en een aantal invloedscoëfficiënten α_{ij} .
2. Schrijf beide betrouwbaarheidsfuncties in de gestandaardiseerde vorm:

$$Z_1 = \beta_1 + \alpha_{11}U_{11} + \alpha_{12}U_{12} + \dots + \alpha_{1n}U_{1n}$$

$$Z_2 = \beta_2 + \alpha_{21}U_{21} + \alpha_{22}U_{22} + \dots + \alpha_{2n}U_{2n}$$

De correlatie tussen Z_1 en Z_2 is te bepalen met: $\rho(Z_1 Z_2) = \sum \alpha_{1k} \alpha_{2k} \rho_{12k}$

hierin is:

ρ_{12k} is de ruimtelijke correlatie van de k^{de} stochast uit Z_1 en Z_2

Hierbij wordt aangenomen dat de stochasten onafhankelijk van elkaar zijn, binnen een mechanisme en tussen de verschillende mechanismen.

.....**Verwijzing'**.....
Zie vergelijking II O 3 51

3. Bepaal met de methode Hohenbichler: $P(Z^e < 0) = P(Z_1 < 0 \text{ OF } Z_2 < 0)$
 Z^e is de zogenaamde equivalente betrouwbaarheidsfunctie.

Voor de functie Z^e kunnen vervolgens de equivalente waarden van α en β gedefinieerd worden. De equivalente betrouwbaarheidsindex volgt eenvoudig uit:

$$\beta^e = \Phi^{-1}(P(Z^e < 0)) \quad (\text{II.O.4.28})$$

Bij de bepaling van de equivalente invloedscoëfficiënten α_k^e wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende situaties.

- In de eerste situatie worden de betrouwbaarheidsfuncties volledig gecorreleerd verondersteld ($\rho_{ijk} = 1$). De equivalente α -waarden worden bepaald door aan elke U_k een gemiddelde ε_k toe te wijzen en het effect hiervan op β^e te bepalen.

$$\begin{aligned} Z^e &= \beta^e(0) + \alpha_k u_k \quad \text{gemiddelde} = 0 \\ Z^e &= \beta^e(\varepsilon_k) + (\alpha_k u_k - \alpha_k \varepsilon_k) \quad \text{gemiddelde} = \varepsilon_k \end{aligned} \quad (\text{II.O.4.29})$$

Het gemiddelde ε_k dient klein maar ongelijk aan nul te zijn.

Gelijkstelling van de equivalente betrouwbaarheidsfunctie resulteert in:

$$\alpha_k^e = \frac{\beta^e(\varepsilon_k) - \beta^e(0)}{\varepsilon_k} \quad (\text{II.O.4.30})$$

De waarde van $\beta^e(\varepsilon_k)$ volgt uit:

$$\begin{aligned} \beta^e(\varepsilon_k) &= \Phi^{-1}(P(Z^e < 0)) \quad \text{met } \mu(\mu_k) = \varepsilon_k \\ \beta^e(\varepsilon_k) &= \Phi^{-1}[P(Z_1 < -\alpha_{1k}\varepsilon_k \cup Z_2 < -\alpha_{2k}\varepsilon_k)] \end{aligned} \quad (\text{II.O.4.31})$$

.....**Toelichting**!

- veronderstel twee gedeeltelijke afhankelijke variabelen u en v
- vervang de gedeeltelijk afhankelijke variabele v door een volledig afhankelijk deel u en een volledig onafhankelijk deel w
- $v = \rho u + w \sqrt{1 - \rho^2}$

- In de tweede situatie worden de betrouwbaarheidsfuncties niet volledig gecorreleerd verondersteld ($\rho_{ijk} < 1$). De variabele U_{2k} wordt opgesplitst in een met U_{1k} volledig gecorreleerd deel en een met U_{1k} volledig ongecorreleerd deel!

$$U_{2k} = U_{1k} \rho_{12k} + U_{2k}^{\text{II}} \sqrt{1 - \rho_{12k}^2} \quad (\text{II.O.4.32})$$

hierin is:

$$U_{2k}^{\text{II}} \text{ volledig onafhankelijk van } U_{1k}$$

Ook nu kunnen de equivalente α -waarden bepaald worden door aan elke U_k een gemiddelde ε_k te geven en het effect hiervan op β^e te bepalen. Deze toepassing wordt afzonderlijk uitgevoerd voor het gecorreleerde deel en het ongecorreleerde deel.

Voor U_{1k} geeft dit:

$$\alpha_k^{\text{I}} = \frac{\beta^e(\varepsilon_k^{\text{I}}) - \beta^e(0)}{\varepsilon_k^{\text{I}}} \quad (\text{II.O.4.33})$$

$$\beta^e(\varepsilon_k^{\text{I}}) = \Phi^{-1}(P(Z_1 < -\alpha_{1k}\varepsilon_k^{\text{I}} \cup Z_2 < -\alpha_{2k}\varepsilon_k^{\text{I}}\rho_{12k})) \quad (\text{II.O.4.34})$$

Voor U_{2k}^{II} geeft dit:

$$\alpha_k^{II} = \frac{\beta^e(\varepsilon_k^{II}) - \beta^e(0)}{\varepsilon_k^{II}} \quad (II.O.4.35)$$

$$\beta^e(\varepsilon_k^{II}) = \Phi^{-1}\left(P(Z_1 < 0 \cup Z_2 < -\alpha_{2k} \varepsilon_k^{II} \sqrt{1 - \rho_{12k}})\right) \quad (II.O.4.36)$$

Samenvoeging van de twee delen levert dan de nieuwe equivalente α -waarde voor niet volledig gecorreleerde betrouwbaarheidsfuncties.

$$\alpha_k^e = \sqrt{(\alpha_k^I)^2 + (\alpha_k^{II})^2} \quad (II.O.4.37)$$

Aangenomen wordt dat de variabelen U_k uit de vervangende equivalente betrouwbaarheidsfunctie Z^e steeds met de waarde ρ_k gecorreleerd is met de U_k in de overige mechanismen.

Seriesysteem met n elementen

De faalkans van een seriesysteem bestaande uit n elementen wordt bepaald door¹:

$$P(F) = P(Z_1 < 0 \cup Z_2 < 0 \cup \dots \cup Z_n < 0)$$

hierin is:

- Z_i de betrouwbaarheidsfunctie van het i^{de} element
- $Z_i < 0$ de gebeurtenis dat het i^{de} element faalt

Voordat de systeemberekening uitgevoerd kan worden moet voor elk element afzonderlijk een FORM procedure (eventueel aangevuld met een SORM procedure of een MONTE CARLO procedure) uitgevoerd worden.

Dit resulteert in:

- voor elk element i een betrouwbaarheidsindex β_i
- voor elk element i en elke variabel k de invloedscoëfficiënten α_{ik}

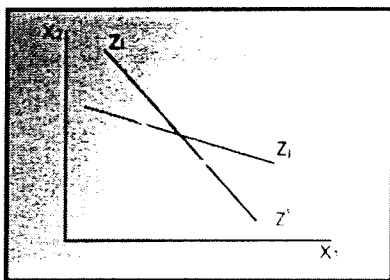
Vervolgens moet de faalkans van het gehele systeem bestaande uit n elementen bepaald worden. Als eerste ruwe benadering kunnen hiervoor de elementaire onder- en bovengrensbenadering toegepast worden².

.....Verwijzing¹.....
Zie vergelijking II.O.4.11

.....Verwijzing².....
Zie vergelijking II.O.4.12

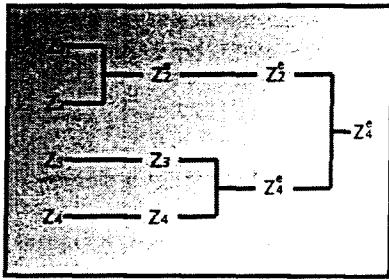
$$\max [P(Z_i < 0)] \leq P(F) \leq \sum_{i=1}^n P(Z_i < 0)$$

Bij de berekening van de faalkans van een seriesysteem met n elementen zijn zowel de correlatiecoëfficiënten als de betrouwbaarheidsfuncties van belang. Als de correlatiecoëfficiënt gelijk is aan nul (geen correlatie) dan kan (bij kleine kansen) de elementaire bovengrensbenadering aangehouden worden. Is de correlatiecoëfficiënt gelijk aan één (volledig correlatie) dan wordt de faalkans benaderd door de elementaire ondergrens. Voor tussenliggende waarden van de correlatiecoëfficiënt wordt een faalkans tussen de elementaire onder- en bovengrensbenadering gevonden.



.....Figuur II.O.4.7.....
Vervanging van 'Z_i < 0 OF Z_j < 0' door de equivalente functie Z^e < 0

Wanneer de betrouwbaarheidsindices, de invloedscoëfficiënten en de onderling correlaties bekend zijn, is het mogelijk om met de, in de vorige paragraaf besproken methode, de equivalente betrouwbaarheidsindices en invloedscoëfficiënten te bepalen. Op deze wijze is het mogelijk om de faalkans van een seriesysteem bestaande uit twee elementen, te vervangen door één equivalente faalkans. Dit proces wordt weergegeven in figuur II.O.4.7.



.....Figuur II.O.4.8.....
Oprollen van een systeem

Wanneer het systeem uit n elementen bestaat kan met bovenstaande procedure het aantal elementen van het systeem teruggebracht worden naar n-1. Door deze procedure herhaaldelijk uit te voeren wordt het mogelijk om te eindigen met één faalkans voor het gehele systeem. Deze methode voor de berekening van de faalkans van een seriesysteem wordt aangeduid als het 'oprollen' van een systeem. (zie figuur II.O.4.8)

De bepaling van de equivalente faalkans blijft een benaderingsmethode, wat betekent dat het onmogelijk is om de exacte faalkans van het systeem op deze wijze te berekenen. De nauwkeurigheid van de methode is afhankelijk van de volgorde waarin de elementen worden opgerold. Het nauwkeurigste resultaat wordt verkregen als steeds de twee meest gecorreleerde elementen worden opgerold.

Oprollen over de windrichtingen

Het verwerken van de verschillende windrichtingen in de faalkans vindt plaats met behulp van een speciale combinatie-procedure. In stap 1 van de algemene berekeningsprocedure (zie figuur II.O.4.3) worden de faalkansen per windrichting bepaald. Vervolgens moet hierin de kans op een bepaalde windrichting verwerkt worden. Dit vindt plaats door de kans op falen gegeven de windrichting te vermenigvuldigen met de kans op het voorkomen van deze windrichting. Bij het combineren van de windrichtingen worden deze nieuw verkregen kansen uiteindelijk gesommeerd.

In PC_RING wordt de kans op een windrichting behandeld als een tijdseffect, dit wil zeggen dat de wind waait gedurende een bepaald gedeelte van de tijd uit een bepaalde windrichting. Met behulp van de Hohenbichler methode wordt de kans op falen bij een bepaalde windrichting geschreven als:

$$P(Z_i'' < 0) = P(Z_i < 0 | Z_i' < 0) P(Z_i' < 0) \tag{II.O.4.38}$$

hierin is:

- P(Z_i'' < 0) kans op falen inclusief de kans op de windrichting
- P(Z_i' < 0) is gelijk aan de kans op een windrichting P(φ=φ')
- P(Z_i < 0) kans op falen gegeven de windrichting

Voor het oplossen van vergelijking II.O.4.38 is een correlatiecoëfficiënt ρ benodigd. Deze wordt bepaald door:

$$\rho = \sum \alpha_j^2 \rho_j \quad \text{met } j = 1, \dots, n \tag{II.O.4.39}$$

Ten behoeve van de correlatie wordt in PC_RING het volgende schema aangehouden:

- sterkteparameters en modelparameters ⇒ ρ = 1; volledige correlatie
 - belastingparameters met langzame fluctuaties ⇒ ρ = 1; volledige correlatie
 - belastingparameters met snelle fluctuaties ⇒ ρ = 0; ongecorrleerd
- Alle belastingen die net zo snel fluctueren als de wind worden volledig ongecorrleerd beschouwd.

De combinatie procedure verloopt volgens¹:

$$P(Z < 0) = p(Z_1' < 0 \cup \dots \cup Z_k' < 0) \tag{II.O.4.40}$$

hierin is:

k het aantal windrichtingen (16 of 12)

.....Toelichting¹.....
Deze kans kan bepaald worden met behulp van de 'oprolprocedure', zoals eerder besproken in deze paragraaf

Met behulp van deze procedure wordt in feite een extra stochastische variabele toegevoegd aan het systeem, namelijk de windrichting. De invloed van de windrichting wordt niet gekwantificeerd via een invloedscoëfficiënt, maar is wel merkbaar in de faalkans en de betrouwbaarheidsindex. Het is bovendien mogelijk om een invloedscoëfficiënt voor de windrichting af te leiden.

Combinatie procedure voor mechanismen en dijkvakken

Beschouw een eenvoudig voorbeeld van een dijkring bestaande uit n elementen, waarbij falen kan optreden als gevolg van 2 mechanismen.

(De mechanismen bestaan op hun beurt weer uit twee basisvariabelen, welke over de verschillende dijkvakken zijn gecorreleerd met ρ)

De grenstoestandfuncties worden gegeven door:

Vak	Mechanisme 1	Mechanisme 2
1	$Z_{11} = b_{11} - \alpha_{111}U_1 - \alpha_{112}U_2$	$Z_{21} = b_{21} - \alpha_{211}U_1 - \alpha_{212}U_2$
2	$Z_{12} = b_{12} - \alpha_{121}U_1 - \alpha_{122}U_2$	$Z_{22} = b_{22} - \alpha_{221}U_1 - \alpha_{222}U_2$
⋮	⋮	⋮
n	$Z_{1n} = b_{1n} - \alpha_{1n1}U_1 - \alpha_{1n2}U_2$	$Z_{2n} = b_{2n} - \alpha_{2n1}U_1 - \alpha_{2n2}U_2$

hierin is:

- de eerste indicator voor het mechanisme
- de tweede indicator voor het vak
- de derde indicator voor de variabele

In de combinatie procedure worden eerst de mechanismen per dijkvak gecombineerd en vervolgens de dijkvakken zelf. Als de combinatie procedure andersom wordt toegepast stuit dit op problemen m.b.t. de definitie van de correlatiecoëfficiënt tussen de verschillende mechanismen. De combinatie van de mechanismen per dijkvak leidt tot n equivalente betrouwbaarheidsfuncties:

Vak	Gecombineerde mechanismen	
1	$Z_1^e = \beta_1^e - \alpha_{11}^e U_1 - \alpha_{12}^e U_2$	
2	$Z_2^e = \beta_2^e - \alpha_{21}^e U_1 - \alpha_{22}^e U_2$	(II.O.4.41)
⋮	⋮	
n	$Z_n^e = \beta_n^e - \alpha_{n1}^e U_1 - \alpha_{n2}^e U_2$	

hierin is:

- de eerste indicator voor het vak
- de tweede indicator voor de variabele

In de bovenstaande combinatie procedure zijn de U_1 en U_2 van de betrouwbaarheidsfuncties volledig gecorreleerd. De correlatie van de variabelen U_1 in element 1 en U_1 in element 2, etc., zijn door de combinatie procedure ongewijzigd. Het is daarom mogelijk om op standaard wijze de combinatie procedure te vervolgen. De combinatie van de vakken leidt tot een faalkans voor het gehele systeem.

$$Z_{sys}^e = \beta^e - a_1^e U_1 - a_2^e U_2 \quad (II.O.4.42)$$

In de hierboven uiteengezette combinatie procedure wordt een fout gemaakt in de berekende faalkans. Formeel gezien, moet eerst een volledige analyse per windrichting gemaakt worden, waarna de windrichtingen pas gecombineerd mogen worden.

Bijlage II.O.5 Rekenvoorbeeld 1: Monte Carlo / DS

Rekenvoorbeeld 1; een PC_RING berekening (Monte Carlo / Directional Sampling) met een lineaire betrouwbaarheidsfunctie en onafhankelijke normaal verdeelde basisvariabelen

Gegevens

1. Betrouwbaarheidsfunctie:

$$Z = 3 - (U_1 + U_2)$$

2. Verwachtingswaarde en standaardafwijking

basisvariabelen:

$$\mu_1 = 0 \quad \sigma_1 = 1$$

$$\mu_2 = 0 \quad \sigma_2 = 1$$

Berekening

Bij Directional Sampling moet gelden¹:

$$Z \left(\frac{\lambda u}{|u|} \right) = 0 \Rightarrow 3 - \lambda \frac{U_1 + U_2}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}}$$

Hiermee kan λ gedefinieerd worden als:

$$\lambda = \frac{3 \sqrt{U_1^2 + U_2^2}}{U_1 + U_2}$$

De faalkans per sample wordt bepaald met een chi-kwadraat-verdeling met 2 vrijheidsgraden.

Bij twee variabelen is deze verdeling gelijk aan

een Rayleigh-verdeling:

$$P_s(F) = \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2}\right)$$

De totale faalkans volgt tenslotte uit de sommatie van de sample faalkansen gedeeld door het aantal

samples².

$$P(F) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_s(F)$$

Resultaten van een voorbeeldberekening met 20 samples

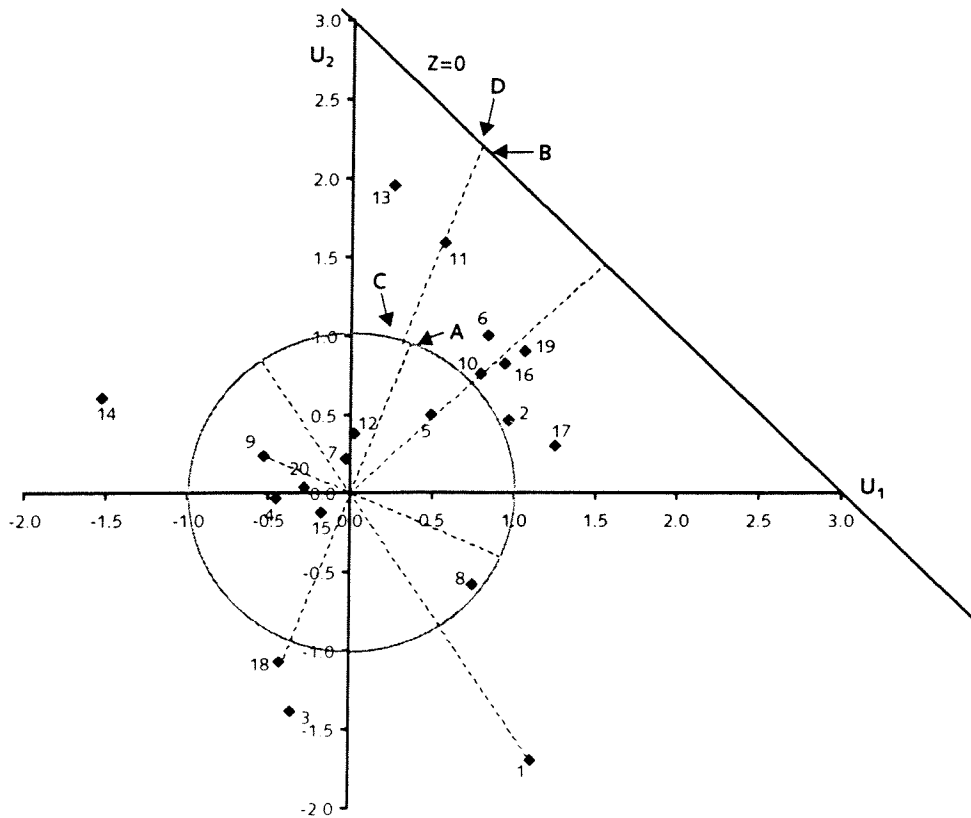
Sample nummer	U_1	U_2	λ	P
1	1,111	-1,698	-10,371	
2	0,971	0,464	2,250	0,0795
3	-0,360	-1,379	-2,459	
4	-0,449	-0,033	-2,802	
5	0,495	0,492	2,121	0,1053
6	0,841	1,000	2,129	0,1036
7	-0,031	0,222	3,521	0,0020
8	0,752	-0,580	16,564	0
9	-0,530	0,234	-5,872	
10	0,791	0,759	2,122	0,1052
11	0,570	1,586	2,345	0,0635
12	0,022	0,375	2,839	0,0177
13	0,262	1,954	2,669	0,0289
14	-1,522	0,606	-5,365	
15	-0,174	-0,122	-2,154	
16	0,944	0,819	2,127	0,1042
17	1,249	0,297	2,491	0,0449
18	-0,429	-1,073	-2,308	
19	1,061	0,900	2,128	0,1038
20	-0,280	0,041	-3,552	
			sommatie	0,7590
			P(Z<0)	0,0379

¹Verwijzing¹
Zie vergelijking II.O.3.13

²Verwijzing²
Zie vergelijking II.O.3.15

Tabel II.O.5.1
De resultaten van een Monte Carlo simulatie met Directional Sampling, bestaande uit 20 samples

De λ 's uit tabel I.1 worden weergegeven in onderstaande figuur.



Deze figuur geeft de essentie van de methode weer. In eerste instantie worden 'sample paren' gegenereerd met behulp van een Monte Carlo simulatie. Deze 'sample paren' voldoen aan de gegeven verdelingen van U_1 en U_2 . Dit resulteert in een ruimtelijk puntenwolk (punten één tot en met twintig). Vervolgens worden de punten verplaatst langs een lijn, die door het 'sample'-punt en de oorsprong gaat, totdat de punten op de eenheids­cirkel terecht zijn gekomen. De λ wordt gevormd door de afstand van het 'sample'-punt op de eenheids­cirkel tot aan het snijpunt van de verplaatsingslijn met de betrouwbaarheids­functie $Z=0$, gesommeerd met één. De λ krijgt een negatieve waarde als het 'sample'-punt bij de verplaatsing naar de eenheids­cirkel, de oorsprong kruist (de gele stippel­lijnen) en een positieve waarde indien dit niet het geval is (de blauwe stippel­lijnen).

Voorbeeld: Sample nummer 18 (-0,429 ; -1,073)

Bij de verplaatsing van het 'sample'-punt langs de lijn die door de oorsprong en het 'sample'-punt gaat, tot aan kruising met de eenheids­cirkel, punt A, wordt de oorsprong gesneden. We hebben dus te maken met een negatieve λ . De grootte van λ is gelijk aan de afstand tussen A en het snijpunt van de ver­plaatsingslijn met de betrouwbaarheids­functie, punt B, gesommeerd met één. λ is dus ongeveer gelijk aan $-(1,3 + 1) = -2,3$.

Voorbeeld: Sample nummer 11 (0,570 ; 1,586)

Bij de verplaatsing van het 'sample'-punt langs de lijn die door de oorsprong en het 'sample'-punt gaat, tot aan kruising met de eenheids­cirkel, punt C, wordt de oorsprong niet gesneden. We hebben dus te maken met een positieve λ . De grootte van λ is gelijk aan de afstand tussen C en het snijpunt van de ver­plaatsingslijn met de betrouwbaarheids­functie, punt D, gesommeerd met één. λ is dus ongeveer gelijk aan $+(1,3 + 1) = 2,3$.

Voor alle punten wordt op dezelfde wijze λ bepaald.

FORM berekening

Voor deze eenvoudige betrouwbaarheidsfunctie is het ook mogelijk om de exacte faalkans te bepalen met een FORM procedure. Deze procedure zal verderop in dit hoofdstuk behandeld worden. Hier worden de kernberekeningen slechts weergegeven om de nauwkeurigheid van de faalkans te kunnen bepalen.

Verwachtingswaarde van betrouwbaarheidsfunctie:

$$\mu_z = 3$$

Standaardafwijking van betrouwbaarheidsfunctie:

$$\sigma_z = \sqrt{(-1 \cdot 1)^2 + (-1 \cdot 1)^2} = 1,414$$

Betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{3}{1,414} = 2,121$$

Faalkans:

$$P_f = P(Z < 0) = \Phi(-2,121) = 1,7 \cdot 10^{-2}$$

Conclusie

De faalkans bepaald met de Monte Carlo / Directional Sampling methode bedraagt:

$$P_f = P(Z < 0) = 3,8 \cdot 10^{-2}$$

De faalkans bepaald met de FORM procedure:

$$P_f = P(Z < 0) = 1,7 \cdot 10^{-2}$$

Met de Monte Carlo / Directional Sampling procedure wordt dus een fout gemaakt van een factor 2. Gezien het kleine aantal samples dat gebruikt is in de Monte Carlo procedure is dit te verwachten. De nauwkeurigheid kan verhoogd worden door meerdere samples te genereren.

Bijlage II.O.6 Rekenvoorbeeld 2: Niveau II lineaire Z

Rekenvoorbeeld 2; een niveau II berekening met lineaire betrouwbaarheidsfunctie en onafhankelijk normaal verdeelde basisvariabelen

Gegevens

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Betrouwbaarheidsfunctie: | $Z = 4a + 2b - c + 3$ |
| 2. Verwachtingswaarde en standaardafwijking | $\mu_a = 20 \quad \sigma_a = 5$ |
| | $\mu_b = 10 \quad \sigma_b = 1$ |
| | $\mu_c = 20 \quad \sigma_c = 10$ |

Berekening normaal verdeelde basisvariabelen (zonder transformatie)

.....Verwijzing¹.....
Zie vergelijking II.O.3.18

De verwachtingswaarde van de betrouwbaarheidsfunctie¹:

$$\mu_z = Z(\mu_x) = 20\mu_a + 2\mu_b - \mu_c + 3$$

$$\mu_z = 4 * 20 + 2 * 10 - 20 + 3 = 83$$

De standaardafwijking van

de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial a} \sigma_a\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial b} \sigma_b\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c} \sigma_c\right)^2}$$

$$\sigma_z = \sqrt{(4 * 5)^2 + (2 * 1)^2 + (-1 * 10)^2} = 22,45$$

.....Verwijzing².....
Zie vergelijking II.O.3.19

De betrouwbaarheidsindex²:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{83}{22,45} = 3,697$$

.....Verwijzing³.....
Zie vergelijking II.O.3.17

De faalkans³:

$$P_1 = P(Z < 0) = \Phi(-\beta)$$

$$P_1 = \Phi(-3,697) = 1,1 * 10^{-4}$$

De invloedscoëfficiënten:

$$\alpha_1 = -\frac{4 * 5}{22,45} = -0,891$$

$$\alpha_2 = -\frac{2 * 1}{22,45} = -0,089$$

$$\alpha_3 = -\frac{-1 * 10}{22,45} = 0,445$$

.....Verwijzing⁴.....
Zie vergelijking II.O.3.26

Het ontwerp punt⁴:

$$a^* = 20 - 0,891 * 3,697 * 5 = 3,53$$

$$b^* = 10 - 0,089 * 3,697 * 1 = 9,67$$

$$c^* = 20 + 0,445 * 3,697 * 10 = 36,45$$

De berekende waarden kunnen overzichtelijk gemaakt worden in een tabel.

.....Tabel II.O.6.1.....

X_i	μ_i	σ_i	$\partial Z / \partial X_i$	$\sigma_i \partial Z / \partial X_i$	$(\sigma_i \partial Z / \partial X_i)^2$	$(\sigma_i \partial Z / \partial X_i)^2 / \sigma_z^2$	$\alpha_i = \sqrt{(\sigma_i \partial Z / \partial X_i)^2 / \sigma_z^2}$	$X_i^* = \mu_i + \sigma_i \beta \alpha_i$
a	20	5	4	20	400	0,793651	-0,89087	3,531746
b	10	1	2	2	4	0,007937	-0,08909	9,670635
c	20	10	-1	-10	100	0,198413	0,445435	36,46825
					σ_z^2 504			
					σ_z 22,45			

Berekening getransformeerde standaard normaal verdeelde basisvariabelen

$$U_1 = \frac{a - 20}{5}$$

$$U_2 = \frac{b - 10}{1}$$

$$U_3 = \frac{c - 20}{10}$$

.....Verwijzing⁵.....
Zie vergelijking II.O.3.20

De basisvariabelen worden getransformeerd volgens⁵:

De getransformeerde standaard normaal

$$a = 5U_1 + 20$$

verdeelde variabelen:

$$b = U_2 + 10$$

$$c = 10U_3 + 20$$

.....Verwijzing'.....
Zie vergelijking II.O.3.21

De getransformeerde betrouwbaarheidsfunctie¹:

$$Z = 20U_1 + 2U_2 - 10U_3 + 83$$

$$\mu_z = 83$$

De verwachtingswaarde en standaardafwijking van

$$\mu_a = 0 \quad \sigma_a = 1$$

de standaard normaal verdeelde basisvariabelen:

$$\mu_b = 0 \quad \sigma_b = 1$$

$$\mu_c = 0 \quad \sigma_c = 1$$

De betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{83}{22,45} = 3,697$$

De faalkans:

$$P_f = \Phi(-3,697) = 1,1 \cdot 10^{-4}$$

De berekende waarden kunnen overzichtelijk gemaakt worden in een tabel

.....Tabel II.O.6.2.....

U_i	μ_i	σ_i	$\partial Z / \partial U_i$	$\sigma_i \partial Z / \partial U_i$	$(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2$	$(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2 / \sigma_z^2$	$\alpha_i = \sqrt{[(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2 / \sigma_z^2]}$	$U_i^* = \beta \alpha_i$	$X_i^* = \mu_i + \sigma_i \beta \alpha_i$
U_1	0	1	20	20	400	0,793651	-0,89087	-3,29	3,531746
U_2	0	1	2	2	4	0,007937	-0,08909	-0,33	9,670635
U_3	0	1	-10	-10	100	0,198413	0,445435	1,65	36,46825
					σ_z^2	504			
					σ_z	22,45			

Controle

De berekening is correct wanneer geldt:

$$Z(U_i^*) = 0$$

Er geldt:

$$Z(U_i^*) = 20 \cdot -3,294 + 2 \cdot -0,329 - 10 \cdot 1,647 + 83 = 0$$

Bijlage II.O.7 Rekenvoorbeeld 3: Niveau II niet-lineaire Z

Rekenvoorbeeld 3; een niveau II berekening met niet-lineaire betrouwbaarheidsfunctie en normaal verdeelde basisvariabelen

Gegevens

1. Betrouwbaarheidsfunctie: $Z = g(a, b, c) = ab - c$

2. Verwachtingswaarde en standaardafwijking

$\mu_a = 8 \quad \sigma_a = 2$

basisvariabelen:

$\mu_b = 3 \quad \sigma_b = 1$

$\mu_c = 4 \quad \sigma_c = 2$

Berekening zonder transformatie

De verwachtingswaarde van de betrouwbaarheidsfunctie:

$\mu_z = Z(\mu_x) = \mu_a * \mu_b - \mu_c$

$\mu_z = 8 * 3 - 4 = 20$

De standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie:

$\sigma_z = \sqrt{(3 * 2)^2 + (8 * 1)^2 + (-1 * 2)^2} = 10,20$

.....Verwijzing'
Zie vergelijking II.O.3.28

De betrouwbaarheidsindex¹:

$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{20}{10,20} = 1,961$

De faalkans:

$P_f = \Phi(-1,961) = 2,5 * 10^{-2}$

.....Verwijzing'
Zie vergelijking II.O.3.32

Het ontwerp punt²:

$a^* = 8 - 0,588 * 1,961 * 2 = 5,694$

$b^* = 3 - 0,784 * 1,961 * 1 = 1,463$

$c^* = 4 + 0,196 * 1,961 * 2 = 4,769$

De berekende waarden kunnen overzichtelijk gemaakt worden in een tabel

.....Tabel II.O.7.1.....

X_i	μ_i	σ_i	$\partial Z / \partial X_i$	$\sigma_i \partial Z / \partial X_i$	$(\sigma_i \partial Z / \partial X_i)^2$	$(\sigma_i \partial Z / \partial X_i) / \sigma_z$	$\alpha_i = \sqrt{(\sigma_i \partial Z / \partial X_i)^2 / \sigma_z^2}$	$X_i^* = \mu_i + \sigma_i \beta \alpha_i$
a	8	2	b = 3	6	36	0,346	-0,588	5,694
b	3	1	a = 8	8	64	0,615	-0,784	1,463
c	4	2	-1	-2	4	0,038	0,196	4,769
					σ_z^2	104		
					σ_z	10,20		

Controle: $Z(X_i^*) = 5,694 * 1,463 - 4,769 = 3,56 \neq 0$

..... dus verder itereren

De verwachtingswaarde van

de betrouwbaarheidsfunctie³:

$\mu_z = Z(X_i^*) + \sum \frac{\partial Z}{\partial X_i} (X_i^* \mu_i - X_i^*) = 16,45$

$Z(X_i^*) = 5,694 * 1,463 - 4,769 = 3,56$

$\frac{\partial Z}{\partial a} (X_i^* \mu_i - X_i^*) = 1,463 * (8 - 5,694) = 3,373$

$\frac{\partial Z}{\partial b} (X_i^* \mu_i - X_i^*) = 5,694 * (3 - 1,463) = 8,757$

$\frac{\partial Z}{\partial c} (X_i^* \mu_i - X_i^*) = -1 * (4 - 4,769) = 0,769$

.....Verwijzing'
Zie vergelijking II.O.3.28

De standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\sigma_z = 6,704$$

De betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{16,45}{6,704} = 2,454$$

De faalkans:

$$P_f = \Phi(-2,454) = 7 \cdot 10^{-1}$$

Controle: $Z(x_i^*) = 5,860 \cdot 0,917 - 5,464 = -0,090 \neq 0$

dus verder itereren

.....Tabel II.O.7.2.....

	Startwaarde	Iteratiestap						
		1	2	3	4	5	6	7
β	1,961	2,454	2,407	2,390	2,388	2,388	2,388	2,388
α_1	-0,588	-0,436	-0,284	-0,230	-0,210	-0,204	-0,202	-0,200
α_2	-0,784	-0,849	-0,907	-0,932	-0,940	-0,941	-0,942	-0,942
α_3	0,196	0,298	0,310	0,281	0,272	0,269	0,268	0,268
fout	3,55	-0,092	-0,078	-0,012	-0,001	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$

Berekening met transformatie

$$U_1 = \frac{a-8}{2}$$

.....Verwijzing¹.....
Zie vergelijking II.O.3.20

De basisvariabelen worden getransformeerd volgens¹:

$$U_2 = \frac{b-3}{1}$$

$$U_3 = \frac{c-4}{2}$$

De getransformeerde standaard normaal

$$a = 2U_1 + 8$$

verdeelde variabelen:

$$b = U_2 + 3$$

$$c = 2U_3 + 4$$

.....Verwijzing².....
Zie vergelijking II.O.3.21

De getransformeerde betrouwbaarheidsfunctie²:

$$Z = 6U_1 + 8U_2 + 2U_1U_2 - 2U_3 + 20$$

.....Verwijzing³.....
Zie vergelijking II.O.3.30

In het ontwerppunt moet gelden³:

$$f(\alpha, \beta, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = 0$$

$$6\alpha_1\beta + 8\alpha_2\beta + 2\alpha_1\alpha_2\beta^2 - 2\alpha_3\beta = -20$$

De verwachtingswaarde van de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\mu_z = 20$$

De standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\sigma_z = \sqrt{(6 \cdot 1)^2 + (8 \cdot 1)^2 + (-2 \cdot 1)^2} = 10,20$$

De betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{20}{10,20} = 1,961$$

.....Verwijzing⁴.....
Zie vergelijking II.O.3.28

De faalkans⁴:

$$P_f = \Phi(-1,961) = 2,5 \cdot 10^{-2}$$

De berekende waarden kunnen overzichtelijk gemaakt worden in een tabel

.....Tabel II.O.7.3.....

U_i	μ_i	σ_i	$\partial Z / \partial U_i$	$\sigma_i \partial Z / \partial U_i$	$(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2$	$(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2 / \sigma_z^2$	$\alpha_i = \sqrt{[(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2 / \sigma_z^2]}$	$U_i^* = \beta \alpha_i$
U_1	0	1	6	6	36	0,346	-0,588	-1,153
U_2	0	1	8	8	64	0,615	-0,784	-1,538
U_3	0	1	-2	-2	4	0,038	0,196	0,384
					σ_z^2	104		
					σ_z	10,20		

Controle: $Z(U_i^*) = 6 \cdot -1,153 + 8 \cdot -1,538 + 2 \cdot -1,153 \cdot -1,538 - 2 \cdot 0,384 + 20 = 3,55 \neq 0$
 dus verder itereren

De verwachtingswaarde van

de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\mu_z = Z(U_i^*) + \sum \frac{\partial Z}{\partial U_i} (U_i^*) (\mu_i - U_i^*) = 16,45$$

$$Z(U_i^*) = 6 * -1,153 + 8 * -1,538 + 2 * 1,153 * 1,538 - 2 * 0,385 + 20 = 3,55$$

$$\frac{\partial Z}{\partial U_a} (U_i^*) (\mu_i - U_i^*) = -6 * -1,153 - 2 * -1,153 * -1,538 = 3,373$$

$$\frac{\partial Z}{\partial U_b} (U_i^*) (\mu_i - U_i^*) = -8 * -1,538 - 2 * -1,153 * -1,538 = 8,757$$

$$\frac{\partial Z}{\partial U_c} (U_i^*) (\mu_i - U_i^*) = 2 * 0,385 = 0,769$$

De standaardafwijking van
de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\sigma_z = 6,704$$

De betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{16,45}{6,704} = 2,454$$

De faalkans:

$$P_f = \Phi(-2,454) = 7 * 10^{-3}$$

Controle: $Z(U_i^*) = 6 * -1,070 + 8 * -2,083 + 2 * -1,070 * -2,083 - 2 * 0,732 + 20 = -0,092 \neq 0$
 dus verder itereren

.....Tabel II.0.7.4.....

	Startwaarde	Iteratiestap						
		1	2	3	4	5	6	7
β	1,961	2,454	2,407	2,390	2,388	2,388	2,388	2,388
α_1	-0,588	-0,436	-0,284	-0,230	-0,210	-0,204	-0,202	-0,200
α_2	-0,784	-0,849	-0,907	-0,932	-0,940	-0,941	-0,942	-0,942
α_3	0,196	0,298	0,310	0,281	0,272	0,269	0,268	0,268
fout	3,55	-0,092	-0,078	-0,012	-0,001	$1 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-5}$	$2 * 10^{-6}$

Bijlage II.O.8 Rekenvoorbeeld 4: Niveau II niet-normaal verdeelde basisvariabelen

Rekenvoorbeeld 4; een niveau II berekening met lineaire betrouwbaarheidsfunctie en niet-normaal verdeelde basisvariabelen

Gegevens

1. Betrouwbaarheidsfunctie: $Z = R - S = [\gamma_w(h - R) + (\gamma_{ng} - \gamma_w)(h - d - R)] - [p_m - \gamma_s R]$

hierin is:

γ_w	deterministisch	10	kN/m ³
γ_s	deterministisch	12	kN/m ³
h	deterministisch	22,75	meter
R	deterministisch	4,25	meter
d	deterministisch	10	meter
γ_{ng}	exponentieel verdeeld	$\mu = 17$ kN/m ³	$\sigma = 5$ kN/m ³
p_m	normaal verdeeld	$\mu = 240$ kN/m ²	$\sigma = 10$ kN/m ²

2. Ingevulde betrouwbaarheidsfunctie:

$$Z = R - S = [10 * (22,75 - 4,25) + (\gamma_{ng} - 10)(22,75 - 10 - 4,25)] - [p_m - 12 * 4,25]$$

$$Z = 185 + 8,5\gamma_{ng} - 85 - [p_m - 51] = 151 + 8,5\gamma_{ng} - p_m$$

3. Exponentiele verdeling:

$$F_x(X) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{X - A}{B}\right)\right]$$

met $\mu_x = A + B$ en $\sigma_x = B$

Transformatie naar normaal verdeelde variabelen

.....Verwijzing'.....
Zie vergelijking II.O.3.35

$$f_x(X) = \frac{1}{B} \exp\left(-\frac{X - A}{B}\right) = f_{\gamma_{ng}}(\gamma_{ng}')$$

De Rackwitz en Fiessler transformatie¹:

$$F_x(X) = 1 - \exp\left(-\frac{X - A}{B}\right) = F_{\gamma_{ng}}(\gamma_{ng}')$$

Het gemiddelde en standaardafwijking:

$$\mu_{\gamma_{ng}'} = A + B = 17$$

$$\sigma_{\gamma_{ng}'} = B = 5$$

waaruit volgt:

$$B = 5$$

$$A = 12$$

De getalwaarde van het ontwerp punt in de eerste iteratie stap:

$$\gamma_{ng}' = 12,5 \text{ kN/m}^3$$

Dit resulteert in:

$$f_{\gamma_{ng}'}(12,5) = \frac{1}{5} \exp\left(-\frac{12,5 - 12}{5}\right) = 0,181$$

$$F_{\gamma_{ng}'}(12,5) = 1 - \exp\left(-\frac{12,5 - 12}{5}\right) = 0,095$$

De standaardafwijking en het gemiddelde² voor de benaderde normale verdeling voor $\gamma_{ng}' = 12,5 \text{ kN/m}^3$:

.....Verwijzing².....
Zie vergelijking II.O.3.36

$$\sigma'_x = \frac{\varphi(\Phi^{-1}(F_x(X')))}{f_x(X')} = \frac{\varphi(\Phi^{-1}(0,095))}{0,181} = \frac{\varphi(-1,31)}{0,181} = \frac{0,169}{0,181} = 0,934$$

$$\mu'_x = X' - \Phi^{-1}(F_x(X')) \sigma'_x = 12,5 - \Phi^{-1}(0,095) * 0,934 = 12,5 + 1,31 * 0,934 = 13,72$$

Berekening Hasofer en Lind

De betrouwbaarheidsfunctie:

$$Z = 151 + 8,5\gamma_{ng} - p_m$$

De verwachtingswaarde en de

$$\mu_{p_m} = 240 \quad \sigma_{p_m} = 10$$

standaardafwijking van de basisvariabelen:

$$\mu_{\gamma_{ng}} = 13,72 \quad \sigma_{\gamma_{ng}} = 0,934$$

De basisvariabelen worden getransformeerd volgens:

$$U_1 = \frac{p_m - 240}{10}$$

$$U_2 = \frac{\gamma_{ng} - 13,72}{0,934}$$

De getransformeerde standaard normaal

verdeelde variabelen:

$$p_m = 10U_1 + 240$$

$$\gamma_{ng} = 0,934U_2 + 13,72$$

De getransformeerde betrouwbaarheidsfunctie:

$$Z = 27,65 + 7,939 * U_2 - 10 * U_1$$

De verwachtingswaarde van de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\mu_z = 27,65$$

De standaardafwijking van

de betrouwbaarheidsfunctie:

$$\sigma_z = \sqrt{(-10 * 1)^2 + (7,939 * 1)^2} = 12,79$$

De betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{83}{22,45} = 3,697$$

De faalkans:

$$P_f = \Phi(-2,166) = 1,52 * 10^{-2}$$

De berekende waarden kunnen overzichtelijk gemaakt worden in een tabel

.....Tabel II.0.8.1.....

U_i	μ_i	σ_i	$\partial Z / \partial U_i$	$\sigma_i \partial Z / \partial U_i$	$(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2$	$(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2 / \sigma_z^2$	$\alpha_i = -[(\sigma_i \partial Z / \partial U_i)^2 / \sigma_z^2]$	U_i^*	$\beta \alpha_i$	$X_i^* = \mu_i + \sigma_i \beta \alpha_i$
U_1	0	1	-10	-10	100	0,613	0,783	1,67	256,95	
U_2	0	1	7,939	7,939	63,03	0,386	-0,621	-1,35	12,462	
					σ_z^2	163,03				
					σ_z	12,79				

Controle:

$$Z(U_i^*) = 27,65 + 7,939 * -1,347 - 10 * 1,695 = 0$$

Grafische weergave

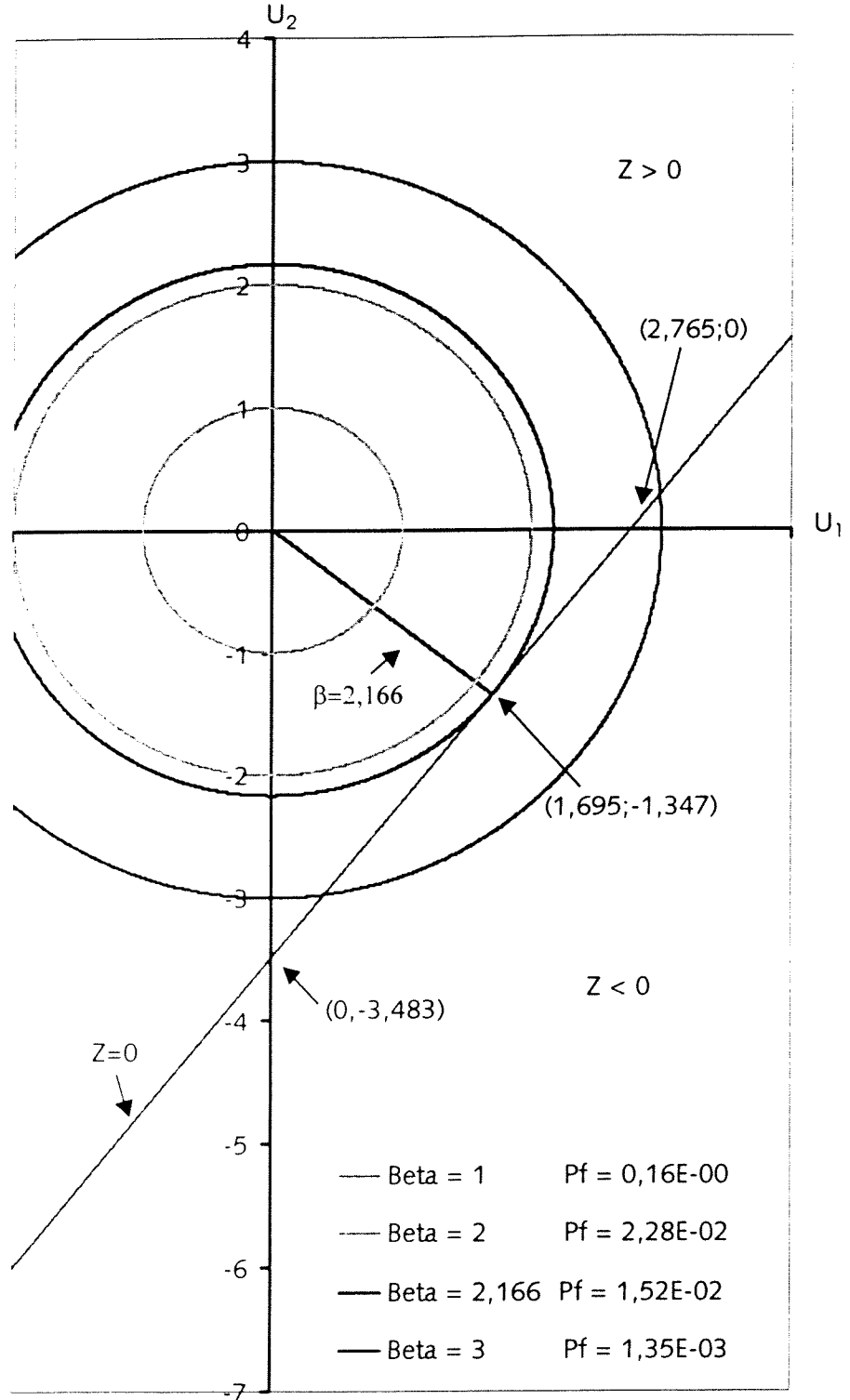
De berekening kan grafisch voorgesteld worden door de samengestelde kansverdeling van U_1 en U_2 uit te zetten in een ruimtelijk assenstelsel. Zowel U_1 als U_2 zijn standaard normaal verdeeld met een gemiddelde van nul en een standaardafwijking van één. Dit resulteert in een 3D kanshoed met een maximum in de oorsprong. De betrouwbaarheidsfunctie vormt een vlak in de ruimte, even-wijdig aan de z-as. Dit vlak representeert de grens van de faalruimte. Het punt met de grootste Z-coördinaat in het snijvlak van de kanshoed met het vlak van de betrouwbaarheidsfunctie vormt het zogenaamde ontwerppunt¹. De faalkans wordt gevormd door de inhoud van het afgesneden gedeelte van de 3D kans-hoed.

.....Toelichting¹.....
 Het ontwerppunt is het punt in de faalruimte met de grootste gezamenlijke kansdichtheid

Het is ook mogelijk om de berekening in een 2D-vlak (U_1, U_2 -vlak) weer te geven. De gekleurde cirkels rondom de oorsprong zijn lijnen van gelijke kansdichtheid, oftewel de hoogtecontouren van de kanshoed. Elke contour komt overeen met een bepaalde faalkans (een β met een bijbehorende kans). Hoe kleiner de contour is, des te hoger de bijbehorende faalkans.

De betrouwbaarheidsfunctie in het U_1, U_2 -vlak wordt weergegeven door de lijn $Z = 27,65 + 7,939U_2 - 10U_1 = 0$. Het ontwerp punt wordt nu gevormd door het snijpunt van de betrouwbaarheidsfunctie met de kleinste hoogtecontour van de kanshoed, oftewel de contour met de hoogste faalkans (*de blauwe contour*). Zoals reeds in de theorie besproken is, is dit het geval wanneer de betrouwbaarheidsfunctie de raaklijn van een hoogtecontour vormt. De afstand van de oorsprong naar het ontwerp punt is dan gelijk aan de betrouwbaarheidsindex β .

.....Figuur II.0.8.1.....



Bijlage II.O.9 Rekenvoorbeeld 5 en 6: Niveau I

Rekenvoorbeeld 5; een niveau I berekening voor de bepaling van de partiële veiligheidsfactoren

Gegevens

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sterkte S normaal verdeeld met: | $\mu_s=10, \sigma_s=5$ en $V_s=5$ |
| 2. Belasting R normaal verdeeld met: | $V_R = 0,2$ |
| 3. Betrouwbaarheidscoëfficiënt: | $\beta = 3,6$ |
| 4. 5% onderschrijding: | $k_R = -1,64$ |

Berekening

.....Verwijzing¹.....
Zie vergelijking II.O.3.63

De invloedscoëfficiënten¹:

$$\alpha_R = -\frac{0,2\mu_R}{\sqrt{0,04\mu_R^2 + 25}}$$

$$\alpha_s = \frac{5}{\sqrt{0,04\mu_R^2 + 25}}$$

.....Verwijzing².....
Zie vergelijking II.O.3.61

Het ontwerppunt²:

$$R^* = \mu_R - \frac{0,04\mu_R^2}{\sqrt{0,04\mu_R^2 + 25}} * 3,6$$

$$S^* = 10 + \frac{25}{\sqrt{0,04\mu_R^2 + 25}} * 3,6$$

Uit de veiligheidseis $R^* - S^* = 0$ volgt: $\mu_R = 10 + \sqrt{0,04\mu_R^2 + 25} * 3,6 \Rightarrow \mu_R = 50,7$

De ontwerpwaarde:

$$R^* = 18,0$$

.....Verwijzing³.....
Zie vergelijking II.O.3.59

De representatieve waarde³:

$$R_{rep} = 50,7 + 0,2 * 50,7 * -1,64 = 34,1$$

.....Verwijzing⁴.....
Zie vergelijking II.O.3.62

Partiële veiligheidsfactor voor de sterkte⁴:

$$\gamma_R = \frac{R_{rep}}{R^*} = \frac{34,1}{18,0} = 1,9$$

Invloed spreiding

De invloed van de spreiding in de belasting op de veiligheidsfactor van de sterkte kan duidelijk gemaakt worden door σ_s te verlagen naar 2.

Er moet gelden:

$$\mu_R = 10 + \sqrt{0,04\mu_R^2 + 4} * 3,6 \Rightarrow \mu_R = 39,0$$

Partiële veiligheidsfactor voor de sterkte:

$$\gamma_R = \frac{R_{rep}}{R^*} = \frac{26,2}{11,8} = 2,2$$

Rekenvoorbeeld 6; een niveau I berekening voor de bepaling van de partiële veiligheidsfactoren

Gegevens

- | | |
|---|----------------|
| 1. Betrouwbaarheidsindex | $\beta = 2,39$ |
| 2. Representatieve waarden = verwachtingswaarden van de basisvariabelen | |

Berekening

De partiële veiligheidsfactoren:

$$\gamma_a = \frac{\mu_a}{a} = \frac{\mu_a}{\mu_a + \sigma_a \beta \alpha_1} = \frac{8}{8 + 2 * 2,39 * -0,2} = 1,14 \quad (\text{sterkte})$$

$$\gamma_b = \frac{\mu_b}{b} = \frac{\mu_b}{\mu_b + \sigma_b \beta \alpha_2} = \frac{3}{3 + 1 * 2,39 * -0,94} = 3,98 \quad (\text{sterkte})$$

$$\gamma_c = \frac{c}{\mu_c} = \frac{\mu_c + \sigma_c \beta \alpha_3}{\mu_c} = \frac{4 + 2 * 2,39 * 0,27}{4} = 1,32 \quad (\text{belasting})$$

Bijlage II.O.10 Rekenvoorbeeld 7: Combinatieprocedure

Rekenvoorbeeld 7; de onder- en boven grensbenadering volgens Ditlevsen en de elementaire onder- en bovengrensbenadering van een seriesysteem met n elementen in combinatie met normaal verdeelde belasting en sterkte. De sterkte van de verschillende elementen wordt gecorreleerd verondersteld.

Gegevens

- De correlatiecoëfficiënt tussen de sterkte van alle n elementen: $\rho = 0,7$
 - Verdelingsparameters van sterkte en belasting: $\mu_R = 280 \quad \sigma_R = 20$
 $\mu_S = 160 \quad \sigma_S = 20$
- $\rho_R = 0,7$
 $\rho_S = 1,0$

Berekening

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S = 280 - 160 = 120$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = \sqrt{20^2 + 20^2} = \sqrt{800} = 28,28$$

De faalkans van een enkel element i:

$$\beta_i = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{120}{\sqrt{800}} = 4,243$$

$$P_i = \Phi(-\beta_i) = 1,1 \cdot 10^{-5}$$

De correlatiecoëfficiënt tussen Z_i en Z_j

wordt bepaald met:

$$\rho_{ZZ} = \frac{\text{Cov}(Z_i, Z_j)}{\sigma_Z \sigma_{Z_j}}$$

De covariantie van Z_i en Z_j : $\text{Cov}(Z_i, Z_j) = \text{Cov}(R_i, R_j) - \text{Cov}(R_i, S_j) - \text{Cov}(R_j, S_i) + \text{Cov}(S_i, S_j)$

De belasting en sterkte worden onafhankelijk beschouwd, waardoor de covariantie van

$$\text{Cov}(Z_i, Z_j) = \text{Cov}(R_i, R_j) + \text{Cov}(S_i, S_j)$$

Z_i en Z_j bepaald wordt door:

$$\text{Cov}(Z_i, Z_j) = \rho_R \sigma_R \sigma_{R_j} + \rho_S \sigma_S \sigma_{S_j}$$

$$\text{Cov}(Z_i, Z_j) = 0,7 \cdot 20 \cdot 20 + 1,0 \cdot 20 \cdot 20 = 1,7 \cdot 20^2 = 680$$

De correlatiecoëfficiënt tussen

Z_i en Z_j wordt bepaald met:

$$\rho_{ZZ} = \frac{\text{Cov}(Z_i, Z_j)}{\sigma_Z \sigma_{Z_j}} = \frac{680}{800} = 0,85$$

.....Verwijzing!
 Zie vergelijking II.O.4.9

Als $\beta_i = \beta_j = \beta$ geldt volgens Ditlevsen¹: $P_i = P(Z_i < 0 \cap Z_j < 0) = 2\Phi(-\beta)\Phi(-\beta^*)$

Hierin is:

$$\beta^* = \frac{\beta - \rho_{ZZ} \beta}{\sqrt{1 - \rho_{ZZ}^2}} = \frac{4,243 - 0,85 \cdot 4,243}{\sqrt{1 - 0,85^2}} = 1,208$$

En wordt:

$$P_i = 2\Phi(-\beta)\Phi(-\beta^*) = 2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,114 = 2,51 \cdot 10^{-6}$$

.....Verwijzing¹.....
 Zie vergelijking II.O.4.13

Ditlevsen ondergrens¹:

$$P(R_i < S_i) + \sum_{i=2}^n \max \left[\left(P(R_i < S_i) - \sum_{j=1}^{i-1} P(R_i < S_i \cap R_j < S_j) \right), 0 \right] \leq P_f$$

Ditlevsen bovengrens:

$$P_f \leq \sum_{i=1}^n P(R_i < S_i) - \max_{j \neq i} P(R_i < S_i \cap R_j < S_j)$$

.....Verwijzing².....
 Zie vergelijking II.O.4.12

Elementaire ondergrens²:

$$\max(P(R_i < S_i)) \leq P_f$$

Elementaire bovengrens:

$$P_f \leq \sum_{i=1}^n P(R_i < S_i)$$

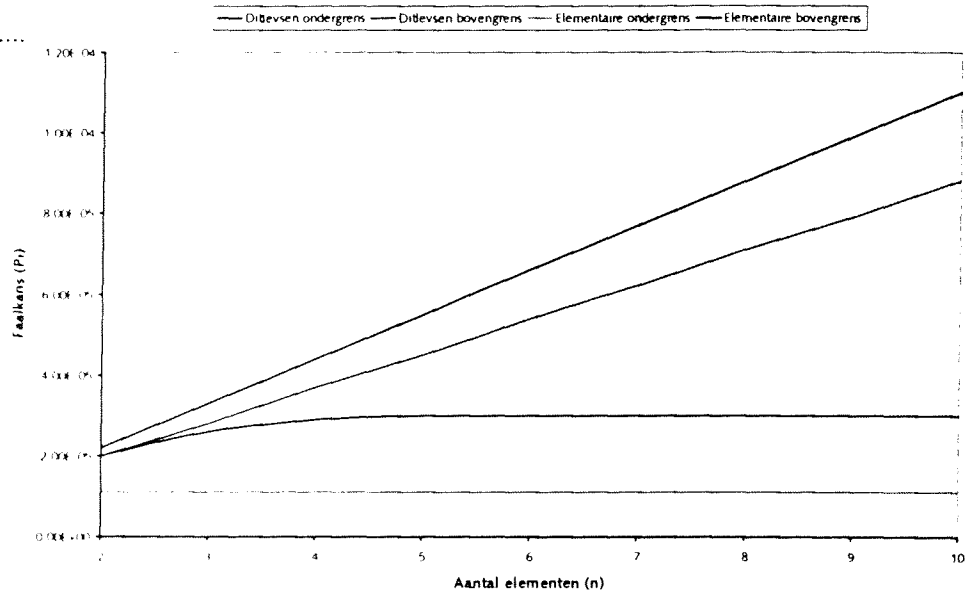
Overzicht van een systeem van 2 tot en met 10 elementen

.....Tabel II.O.10.1.....

Aantal elementen n	Ditlevsen ondergrens	Ditlevsen bovengrens	Elementaire ondergrens	Elementaire bovengrens
2	2,0E-05	2,0E-05	1,1E-05	2,2E-05
3	2,6E-05	2,8E-05	1,1E-05	3,3E-05
4	2,9E-05	3,7E-05	1,1E-05	4,4E-05
5	3,0E-05	4,5E-05	1,1E-05	5,5E-05
6	3,0E-05	5,4E-05	1,1E-05	6,6E-05
7	3,0E-05	6,2E-05	1,1E-05	7,7E-05
8	3,0E-05	7,1E-05	1,1E-05	8,8E-05
9	3,0E-05	7,9E-05	1,1E-05	9,9E-05
10	3,0E-05	8,8E-05	1,1E-05	1,1E-04

Grafische weergave

.....Figuur II.O.10.1.....



Bijlage II.P Mechanisme 'overloop/overslag'

- II.P.1 Omschrijving van het mechanisme 'overloop/overslag'
- II.P.2 Definities van de meest noodzakelijke begrippen
 - II.P.2.1 Talud (binnen en buiten)
 - II.P.2.2 Berm
 - II.P.2.3 Voorland
 - II.P.2.4 Kruinhoogte
- II.P.3 Betrouwbaarheidsfunctie voor het mechanisme 'overslag'
- II.P.4 Sterkte: het kritieke overslagdebiet
- II.P.5 Belasting: het optredend overslagdebiet
 - II.P.5.1 Brekende golven ($\gamma_b \xi_{op} < \approx 2$)
 - II.P.5.2 Niet-brekende golven ($\gamma_b \xi_{op} > \approx 2$)
 - II.P.5.3 Gecombineerde reductiefactor
- II.P.6 Overige modellen van belang voor het mechanisme 'overloop/overslag'
- II.P.7 Betrouwbaarheidsfunctie voor het mechanisme overloop

Bijlage II.P.1 Een deterministische designpunt berekening van het kritieke overslagdebiet

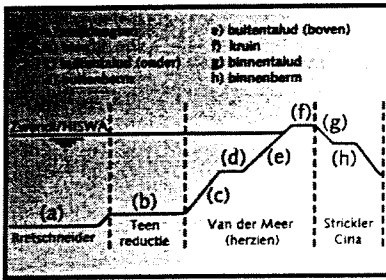
Bijlage II.P.2 Toelichting overige modellen bepaling van het optredende overslagdebiet

Bijlage II.P.3 Een voorbeeld van een HISWA tabel

Bijlage II.P.4 Inter-/extrapolatiemodel voor lokale waterstanden op de Waddenzee

Bijlage II.P.5 Een voorbeeld van een ZWENDL tabel

Bijlage II.P.6 Een deterministische designpunt berekening van het optredende overslagdebiet



.....**Figuur II.P.2**.....
De schematische voorstelling van de geometrie van een dijk

Het mechanisme 'overslag' is onder andere afhankelijk van de geometrie van de dijk. De schematische voorstelling van de geometrie van een dijk van binnen naar buiten bestaat uit:

- a) een aantal strijklengten (*lengte en diepte*) (F en d);
 - b) een teen (*hoogte*) (h_t);
 - c) een buitentalud tussen teen en berm (*helling*) ($\alpha_{u,o}$);
 - d) een buitenberm (*breedte en hoogte*) (h_b en B_b);
 - e) een buitentalud tussen berm en kruin (*helling*) ($\alpha_{u,b}$);
 - f) een kruin (*hoogte*) (h_k);
 - g) een binnentalud (*helling*) (α_i);
 - h) eventueel een binnenberm (*hoogte en breedte*) ($h_{b,i}, B_{b,i}$)¹.
- (zie ook bijlage II.K)

II.P.4 Sterkte: het kritieke overslagdebiet

Het kritieke overslagdebiet q_c is dat debiet waarbij het binnentalud nog net niet bezwijkt. Het kritieke overslagdebiet is afhankelijk van de grassterkte, de ruwheid en de helling van het binnentalud.

PC_RING biedt de mogelijkheid om een vooraf vastgesteld kritiek overslagdebiet op te geven². Het is echter ook mogelijk om het kritieke overslagdebiet te laten berekenen aan de hand van een opgegeven waarde voor de taludhelling, de ruwheid en de grassterktefactor. Het kritieke overslagdebiet wordt vervolgens bepaald met het grassterktemodel Ciria:

$$q_c = \frac{v_c^3}{\tan(\alpha_i) C^2} \quad (\text{II.P.2})$$

Hierin is:

q_c	het kritieke overslagdebiet	[m ² /s]
v_c	de kritieke stroomsnelheid	[m/s]
α_i	de hellingshoek van het binnentalud	[-]
C	de ruwheidsfactor van Chézy	[m ^{1/2} /s]

De ruwheidsfactor (*volgens Strickler*) uit vergelijking II.P.2 wordt gegeven door:

$$C = 25 \left(\frac{q_c}{k v_c} \right)^{1/6} \quad (\text{II.P.3})$$

hierin is:

k	de ruwheid van het binnentalud	[m]
---	--------------------------------	-----

Wanneer vergelijking II.P.2 en vergelijking II.P.3 gecombineerd worden, levert dit een nieuwe uitdrukking op voor het kritieke overslagdebiet:

$$q_c = \frac{v_c^{5/2} k^{1/4}}{125 \tan(\alpha_i)^{3/4}} \quad (\text{II.P.4})$$

De kritieke stroomsnelheid v_c , waarbij na een tijdsduur $t_s = t_s$ (t_s is de stormduur) bezwijken van de grasmat optreedt is te bepalen met:

$$v_c = f_g \frac{3,8}{(1 + 0,8^{-10} \log t_s)} \quad (\text{II.P.5})$$

hierin is:

f_g	een factor met betrekking tot de kwaliteit van de grasmat (0,7-1,4)	[-]
t_s	een tijdsduur	[uren]
v_c	de kritieke stroomsnelheid	[m/s] ³

.....**Toelichting**².....

Volgens de Leidraden kan uitgegaan worden van:

- ⇒ 0.1 l/m/s voor zandige grond met een slechte grasmat
- ⇒ 1.0 l/m/s voor kleiige grond met een redelijke goede grasmat
- ⇒ 10 l/m/s voor een kleibekleding en een grasmat volgens de eisen voor het buitentalud of bij een bekledingsconstructie

.....**Verwijzing**³.....

In bijlage II.P.1 wordt een deterministische designpunt berekening voor de bepaling van het kritieke overslagdebiet weergegeven

.....**Toelichting**¹.....
 Van deze modellen is de berekening met model c 'van der Meer (herzien)' het meest stabiel. Dit model wordt om deze reden dan ook toegepast in dit afstudeeronderzoek. Dien te gevolge wordt in deze bijlage alleen model c nader toegelicht. Een toelichting op de overige modellen is te vinden in bijlage II.P.2

II.P.5 Belasting: het optredend overslagdebiet

Het optredend overslagdebiet q_0 is het debiet dat daadwerkelijk bij gegeven hydraulische omstandigheden (*lokale waterstand en significante golfhoogte*) over de dijk heen slaat.

PC_RING heeft de beschikking over vier verschillende modellen waarmee het optredende overslagdebiet berekend kan worden¹:

- volgens de Leidraad;
- volgens Van der Meer (ONIN);
- volgens Van der Meer (herzien);
- volgens DWW (in ontwikkeling).

In het model volgens van der Meer (herzien) wordt het optredende overslagdebiet beschreven met twee formules. Eén voor brekende golven ($\gamma_b \xi_{op} < \approx 2$), waarbij de golfoverslag toeneemt bij toenemende brekerparameter ξ_{op} , en één voor niet brekende golven ($\gamma_b \xi_{op} > \approx 2$).

II.P.5.1 Brekende golven ($\gamma_b \xi_{op} < \approx 2$)

Optredend overslagdebiet

Het optredende overslagdebiet voor brekende golven wordt bepaald met:

$$q_0 = Q_b \sqrt{g H_s^3} \sqrt{\frac{\tan(\alpha_{repr})}{S_{op}}} \quad (II.P.6)$$

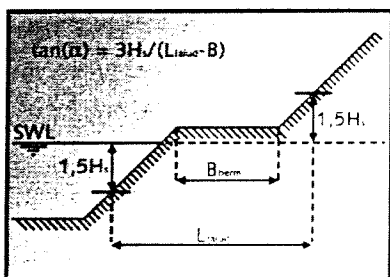
Hierin is:

q_0	het optredende overslagdebiet	[m ² /s]
Q_b	het dimensieloze overslagdebiet	[-]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H_s	de significante golfhoogte ²	[m]
α_{repr}	de representatieve helling van het buitentalud	[-]
S_{op}	de golfsteilheid	[-]

.....**Verwijzing**².....

De significante golfhoogte wordt bepaald met:

- Waddenzeegebied: de formules van Bretschneider: zie bijlage II.G
- IJsselmeergebied: behulp van HISWA tabellen: zie bijlage II.P.3



.....**Figuur II.P.3**.....
 Bepaling van de representatieve taludhelling

Representatieve taludhelling

De helling van het buitentalud boven en onder een berm/knik hoeft niet a-priori gelijk aan elkaar. Vaak zal het voorkomen dat de helling van het talud verspringt ter plaatse van een berm of een knik. De formule voor het optredend overslagdebiet kan echter maar met één waarde voor de helling van het buitentalud overweg. De verschillende waarden voor de taludhelling worden daarom vervangen door één representatieve taludhelling. Deze representatieve taludhelling wordt gevormd door de gemiddelde helling in de zone tussen anderhalf maal de golfhoogte beneden de SWL en anderhalf maal de golfhoogte boven de SWL. Een eventueel aanwezige berm dient niet meegerekend te worden bij de bepaling van de gemiddelde helling. De representatieve waarde voor de taludhelling is dan gelijk aan:

$$\tan(\alpha_{repr}) = \frac{3H_s}{L_{talud} - B_{berm,u}} \quad (II.P.7)$$

hierin is:

H_s	de golfhoogte	[m]
L_{talud}	de taludlengte (zie figuur II.P.3)	[m]
$B_{berm,u}$	de bermbreedte	[m]

Golfsteilheid

De golfsteilheid uit vergelijking II.P.6 wordt beschreven door:

$$S_{op} = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2} \quad (II.P.8)$$

hierin is:

T_p	de piekperiode	[s]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]

Dimensieloze kruinhoogte

De dimensieloze kruinhoogte R_b ($0,3 < R_b < 2$) wordt beschreven door:

$$R_b = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{\sqrt{S_{op}}}{\tan(\alpha_{repr}) \gamma} \quad (II.P.9)$$

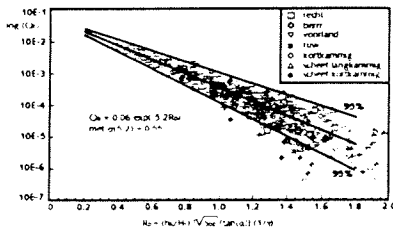
.....Verwijzing'.....

De lokale waterstand wordt bepaald met behulp van:

- Waddenzegebied: inter-/extrapolatie uit ZWENDL tabellen; zie bijlage II.P.4 voor het inter-/extrapolatiemodel en II.P.5 voor een voorbeeld ZWENDL tabel
- IJsselmeergebied: inter-/extrapolatie uit een HISWA tabellen; zie bijlage II.P.3

hierin is:

R_b	de dimensieloze kruinhoogte	[-]
h_k	de kruinhoogte t.o.v. NAP	[m]
h	de lokale waterstand t.o.v. NAP ¹	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
S_{op}	de golfsteilheid	[-]
α_{repr}	de representatieve helling van het buitentalud	[-]
γ	de gecombineerde reductiefactor	[-]



In figuur II.P.4 is op de horizontale as de dimensieloze kruinhoogte voor brekende golven uitgezet en op de verticale as het dimensieloze overslagdebiet voor brekende golven (afgeleid uit vergelijking II.P.6). In figuur II.P.4 zijn verschillende soorten waarnemingen geplot. Het gemiddelde van de waarnemingen wordt beschreven door:

$$Q_b = 0,06 \exp(-f_b R_b) \quad (II.P.10)$$

hierin is:

f_b	fitparameter (gemiddeld 5,2)	[-]
R_b	dimensieloze kruinhoogte	[-]

(De sub-index b geeft aan dat het om brekende golven gaat)

.....Figuur II.P.4.....

Golfoverslaggegevens met gemiddelde en betrouwbaarheidsbanden voor brekende golven $\gamma_b \xi_{op} < \approx 2$. De betrouwbaarheid van de formule wordt gegeven door de coëfficiënt 5,2 op te vatten als een stochast met een gemiddelde van 5,2 en een standaardafwijking van 0,55. Met behulp van deze standaardafwijking zijn de 95% betrouwbaarheidsbanden opgesteld (WL, juni 1997)

II.P.5.2 Niet-brekende golven ($\gamma_b \xi_{op} > \approx 2$)

Optredend overslagdebiet

Het optredende overslagdebiet voor niet-brekende golven wordt bepaald met:

$$q_o = Q_n \sqrt{g H_s^3} \quad (II.P.11)$$

hierin is:

q_o	het optredende overslagdebiet	[m ² /s]
Q_n	het dimensieloze overslagdebiet	[-]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H_s	de significante golfhoogte	[m]

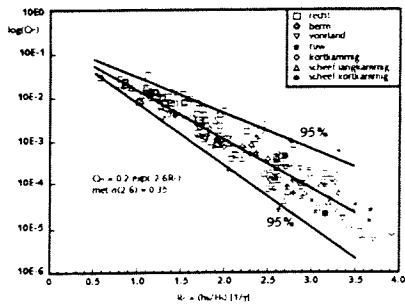
Dimensieloze kruinhoogte

De dimensieloze kruinhoogte voor niet brekende golven R_n wordt beschreven door:

$$R_n = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{1}{\gamma} \quad (II.P.12)$$

hierin is:

R_n	de dimensieloze kruinhoogte	[-]
h_k	de kruinhoogte	[m]
h	de lokale waterstand	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
γ	de gecombineerde reductiefactor	[-]



.....**Figuur II.P.5**.....
 Golfvervalsgegevens met gemiddelde en betrouwbaarheidsbanden voor niet-brekende golven $\gamma_b \gamma_{sp} > \approx 2$. De betrouwbaarheid van de formule wordt gegeven door de coëfficiënt 2.6 op te vatten als een stochast met een gemiddelde van 2.6 en een standaardafwijking van 0.35. Met behulp van deze standaardafwijking zijn de 95% betrouwbaarheidsbanden opgesteld (WL, juni 1997)

In figuur II.P.5 is op de horizontale as de dimensieloze kruinhoogte voor niet-brekende golven uitgezet en op de verticale as het dimensieloze overslagdebiet voor niet-brekende golven (afgeleid uit vergelijking II.P.11). In de figuur zijn vervolgens verschillende soorten waarnemingen geplot. Het gemiddelde van alle waarnemingen wordt beschreven door:

$$Q_n = 0,2 \exp(-f_n R_n) \quad (II.P.13)$$

hierin is:

f_n	fitparameter (gemiddelde 2,6)	[-]
R_n	dimensieloze kruinhoogte	[-]
(De sub-index n geeft aan dat het om brekende golven gaat)		

II.P.5.3 Gecombineerde reductiefactor

De gecombineerde reductiefactor γ is opgebouwd uit een set van afzonderlijke reductiefactoren.

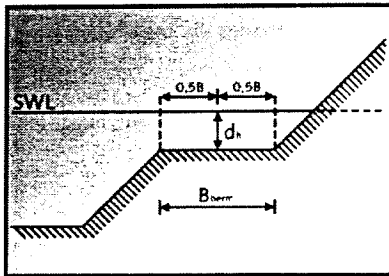
$$\gamma = (\gamma_b \gamma_f \gamma_\beta) \gamma_s, \text{ met } \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \geq 0,4 \quad (II.P.14)$$

hierin is:

γ_b	de reductiefactor voor de berm	[-]
γ_f	de reductiefactor voor de ruwheid	[-]
γ_β	de reductiefactor voor de hoek van golfaanval	[-]
γ_s	de reductiefactor voor de hoek van golfinval	[-]

de reductiefactor voor de berm γ_b

Figuur II.P.6 geeft een schematische weergave van een berm. De berm heeft een breedte B_{berm} , de horizontale afstand tussen de voor- en achterkant van de berm. Het midden van de berm ligt op een diepte d_b beneden de SWL. De helling van de berm moet liggen tussen horizontaal en 1:15. Deze helling heeft echter nauwelijks een reducerende werking. De berm breedte mag volgens de definitie niet groter zijn dan een kwart van de golfhoogte. De reductiefactor γ_b die voor een berm in rekening gebracht moet worden bestaat uit twee subfactoren: één voor de invloed van de breedte van de berm (r_b) en één voor de invloed van de ligging van het midden van de berm ten opzichte van de SWL (r_{d_b}).



.....**Figuur II.P.6**.....
 Een geschematiseerde weergave van de berm

1. reductiefactor voor de invloed van de breedte van de berm r_b

De invloed van de berm breedte kan worden weergegeven door de verandering in de taludhelling te beschouwen. In figuur II.P.7 worden de punten A en B op respectievelijk één keer de golfhoogte onder het midden en één keer de golfhoogte boven het midden van de berm uitgezet. De horizontale afstand tussen A en B is gelijk aan de berm lengte L_{berm} . De helling van deze lijn wordt gegeven door $2H_s / L_{berm}$. De helling van de lijn door de punten A en B zonder berm wordt gegeven door $2H_s / (L_{berm} - B_{berm})$. De verandering in taludhelling kan vervolgens bepaald worden door beide hellingen met elkaar te vergelijken. Dit resulteert in een uitdrukking voor de berm invloed r_b :

$$r_b = \frac{B}{L_{berm}} \quad (II.P.15)$$

hierin is:

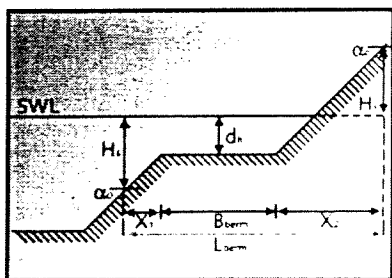
B	de berm breedte	[m]
L_{berm}	de berm lengte (zie figuur II.P.7)	[m]

In figuur II.P.7 wordt toegelicht hoe vergelijking II.P.15 overgaat in de uitdrukking voor r_b uit vergelijking II.P.16.

$$L_{berm} = X_1 + B_{berm} + X_2$$

$$X_1 = H_s / \tan(\alpha_0)$$

$$X_2 = H_s / \tan(\alpha_b)$$

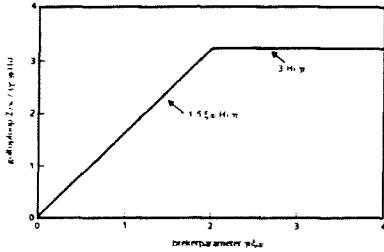


.....**Figuur II.P.7**.....
 Bepaling van de verandering in de taludhelling

$$r_b = \frac{B_{\text{berm}}}{L_{\text{berm}}} = \frac{B_{\text{berm}}}{(B_{\text{berm}} + X_1 + X_2)} = \frac{1}{1 + \frac{H_s}{B_{\text{berm}} \tan(\alpha_o)} + \frac{H_s}{B_{\text{berm}} \tan(\alpha_b)}} \quad (\text{II.P.16})$$

hierin is:

α_b	de taludhelling boven de berm	[-]
α_o	de taludhelling onder de berm	[-]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
B_{berm}	de breedte van de berm	[m]



.....**Figuur II.P.8**.....
De golfploophoogte

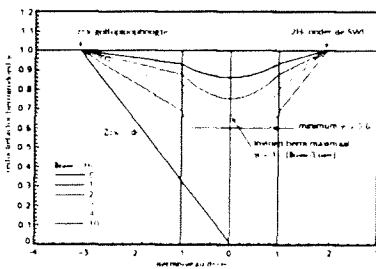
2. *reductiefactor voor de ligging van de berm ten opzichte van de SWL r_{dh}*
De golfhoogte-reductie als gevolg van een berm is afhankelijk van de hoogte van de berm ten opzichte van het stilwaterniveau. De grootste reductie wordt bereikt als de bermhoogte ongeveer gelijk is aan het niveau van de SWL. Een berm heeft geen invloed meer als de bermhoogte groter is dan de golfploophoogte en als de bermhoogte kleiner is dan twee maal de golfhoogte onder de SWL. (de totale bermfactor γ_b is dan gelijk aan één)
De 2% -golfploophoogte ($z_{2\%}$) is gelijk aan het golfplooppniveau, vertikaal gemeten ten opzichte van de SWL, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt, 2% is van het aantal inkomende golven. De golfploophoogte wordt bepaald met:

$$\begin{aligned} z_{2\%} &= 1,5 \xi_{op} H_s \gamma_z & \text{indien } \xi_{op} < 2 \\ z_{2\%} &= 3 H_s \gamma_z & \text{indien } \xi_{op} \geq 2 \end{aligned} \quad (\text{II.P.17})$$

hierin is:

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha_{repr})}{\sqrt{S_{op}}} \text{ de brekerparameter}$$

γ_z	$\gamma_{\beta,z} \gamma_{f,z}$	begrensd door $\gamma_z \geq 0,4$
$\gamma_{f,z}$		uit tabel II.P.1 (zie volgende pagina)
$\gamma_{\beta,z}$		zie beschrijving golfaanvalfactor en verg. II.P.24



.....**Figuur II.P.9**.....
Het invloedsgedeb van een berm bij verschillende bermbreedtes

De invloed van de bermlicging ten opzichte van de SWL wordt weergegeven in figuur II.P.10 op de horizontale as is de bermlicging d_h/H_s , weergegeven en op de verticale as de totale reductiefactor voor een berm γ_b . De invloed van de ligging van een berm tussen een half keer de golfhoogte onder en boven de SWL wordt gegeven door een parabool volgens (zie ook figuur II.P.9):

$$r_{dh} = 0,5 \left(\frac{d_h}{H_s} \right)^2 \quad \text{met } 0 \leq r_{dh} \leq 1 \quad (\text{II.P.18})$$

hiern is:

d_h	de waterdiepte ter plaatse van de berm	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]

Vergelijking II.P.16 en II.P.18 mogen alleen toegepast worden als de SWL nagenoeg gelijk is aan de bermhoogte. Als grens wordt hiervoor aangehouden:

$$-0,5 \leq \frac{d_h}{H_s} \leq 0,5 \quad (\text{II.P.19})$$

Voor waarden van H_s/d_h tussen een half keer de golfhoogte en twee maal de golfhoogte of de 2% -golfploophoogte worden de resultaten lineair geïnterpoleerd. (zie ook figuur II.P.9)

De totale reductiefactor voor een berm met **brekende** golven ($\xi_{op}\gamma_b < \approx 2$) wordt bepaald met:

$$\gamma_b = 1 - r_B(1 - r_{dh}) \text{ begrensd door: } 0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0 \quad (\text{II.P.20})$$

.....Verwijzing'.....
Zie figuur II.P.9

Dit betekent dat de invloed van een berm maximaal is wanneer $r_{dh} = 0$, oftewel als $d_n = 0$, wat wil zeggen dat de bermhoogte gelijk is aan het niveau van de SWL (mits gelijke taludhelling boven en onder de berm). De bermbreedte is optimaal als de totale reductiefactor voor de berm een waarde van 0,6 bereikt⁷. Dit is het geval als:

$$\gamma_b = 1 - r_B = 1 - \frac{B}{L_{berm}} = 0,6 \Rightarrow B = 0,4L_{berm} \quad (\text{II.P.21})$$

Voor **niet-brekende** golven ($\xi_{op}\gamma_b > \approx 2$) geldt dat de bermfactor gelijk is aan:

$$\gamma_b = \gamma_b + (1 - \gamma_b) \frac{(\xi_{op} - 2/\gamma_b)}{4 - 2/\gamma_b} \quad (\text{II.P.22})$$

Indien geldt $\xi_{op} > 4$ geldt $\gamma_b = 1$

In de berekeningen voor R_n (niet brekende golven geen reductie) wordt $\gamma_b = 1$ aangehouden.

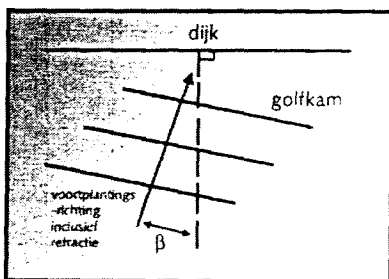
reductiefactor voor de ruwheid γ_f

In de Leidraad wordt een tabel gegeven met daarin de reductiefactoren voor verschillende soorten taludbekledingen. Deze gegevens zijn gebaseerd op een onderzoek uit de jaren vijftig. Inmiddels is met behulp van nieuwe onderzoeken een nieuwe tabel opgesteld.

De reductiefactoren uit tabel II.P.1 zijn geldig voor alle gevallen waarin geldt $\gamma_b \xi_{op} < 3$. Vanaf $\gamma_b \xi_{op} = 3$ tot $\gamma_b \xi_{op} = 5$ loopt de reductiefactor lineair op tot één. Voor alle gevallen met $\gamma_b \xi_{op} > 5$ is de reductiefactor altijd gelijk aan één.

.....Tabel II.P.1.....

Soort talud	reductiefactor γ_f	Leidraad factoren
glad, beton, asfalt	1,0	1,0
dichte vlakke steenbezetting	1,0	0,90
gras (3 cm)	0,95	0,85 - 0,90
gezette steen (basalt, basaltion)	0,90	0,85 - 0,90
1 laag stortsteen (H/D = 1,5-3)	0,60	0,80
1/4 van zetting (0,5 ² m ²) 9 cm boven talud uitstekend	0,75	



.....Figuur II.P.10.....

De definitie van de hoek van golfaanval β

$$\beta = |(\varphi + \beta^*) - \psi|$$

φ = windrichting [graden]

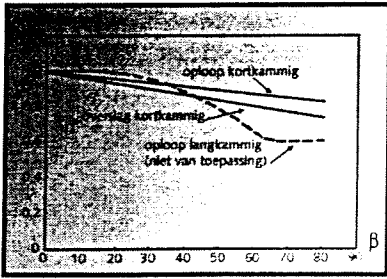
ψ = dijknormaal [graden]

β^* = afwijking (stochast) [graden]

In de huidige versies van PC_RING (versie 1.01 en 2.00) is de reductiefactor voor de ruwheid nog niet geïmplementeerd. In de programma-source is voor alle bekledingssoorten een reductiefactor van één aangehouden.

reductiefactor voor de hoek van golfaanval γ_β

De hoek van golfaanval wordt gedefinieerd als de hoek die de voortplantingsrichting van de golven maakt met de normaal van de lengte-as van de dijk. De hoek van golfinval is gelijk aan de hoek na eventuele bijdraaiing van de golven over het voorland als gevolg van refractie.



.....**Figuur II.P.11**.....
 De reductiefactor voor de hoek van golfaanval volgens het onderzoek van Van der Meer en de Waal

In 1990 is door Van der Meer en de Waal onderzoek gedaan naar de invloed van scheve inval en richtingsverspreiding op golfoverloop en overslag. In figuur II.P.11 worden de resultaten van dit onderzoek weergegeven. Langkammige golven (*de lengte van de golfkam is oneindig*) veroorzaken voor $0^\circ < \beta < 30^\circ$ vrijwel geen reductie in golfoverloop. Tussen 30° en 60° daalt de reductiefactor vrij snel tot 0,6 om vervolgens nauwelijks meer te veranderen. Bij kortkammige golven (*realiteit*) heeft de hoek van golfinval duidelijk minder invloed. Dit wordt veroorzaakt doordat de individuele golven binnen een golfveld vaak afwijken van de hoofdrichting β . Uit het onderzoek blijkt dat de reductiefactor lineair daalt tot 0,8 voor 2%-golfoverloop en 0,7 voor golfoverslag. (zie figuur II.P.11)

De lijnen uit figuur II.P.12 worden beschreven door:

1. Voor golfoverslag bij kortkammige golven ($0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$)

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0033\beta \quad (\text{II.P.23})$$

2. Voor 2%-golfoverloop bij kortkammige golven ($0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$)

$$\gamma_{\beta,z} = 1 - 0,0022\beta \quad (\text{II.P.24})$$

Bij aanlandige golven met ($80^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$) wordt de reductiefactor gelijk gesteld aan de reductiefactor behorende bij $\beta = 80^\circ$. Voor aflandige golven ($90^\circ < \beta \leq 180^\circ$) geen overslag uitsluitend overloop.

- de reductiefactor voor de hoek van golfinval γ_s
 Voor hoeken van $80^\circ \leq \beta \leq 110^\circ$ is de reductiefactor gelijk aan:

$$\gamma_s = 1 - \frac{\beta - 80}{30} \quad (\text{II.P.25})$$

(voor hoeken groter dan 110° geldt $\gamma_s = 0$)
 (voor hoeken kleiner dan 80° geldt $\gamma_s = 0$)¹

.....**Verwijzing¹**.....
 In bijlage II.P.6 wordt een deterministische designpunt berekening voor de bepaling van het optredende overslagdebiet, inclusief reductiefactoren weergegeven. Een berekening zonder berm en één berekening met berm

II.P.6 Overige modellen van belang voor het mechanisme 'overloop/overslag' ZWENDL (Waddenzee)

Met behulp van het programma ZWENDL kan de lokale waterstand op basis van bepaalde uitgangssituaties berekend worden. Deze uitgangssituaties kunnen bijvoorbeeld zijn: de waterstand bij Hoek van Holland, bij Harlingen, bij Delfzijl of de Rijnafvoer bij Lobith. Rijkswaterstaat heeft tabellen opgesteld waarin voor een groot aantal punten langs de Nederlandse kust de lokale waterstand is bepaald als functie van verschillende uitgangssituaties. PC_RING maakt gebruik van deze zogenaamde ZWENDL tabellen. Voor dijkvakken die niet een eigen ZWENDL punt bevatten kan de waarde van de lokale waterstand verkregen worden door interpolatie tussen twee bekende ZWENDL punten.

.....**Verwijzing²**.....
 In bijlage II.P.5 wordt een voorbeeld van een ZWENDL tabel weergegeven

HISWA (IJsselmeer)

Het HISWA model [*Hindcast of Shallow water WAVes*] voorspelt op een bepaalde locatie, bij een bepaalde waarde van het meerpeil en windsnelheid, de lokale waterstand, de golfhoogte en de golfperiode. PC_RING maakt gebruik van zogenaamde HISWA tabellen, waarmee per windrichting, windsnelheid en meerpeil, waarden voor lokale waterstand, golfhoogte en periode bepaald worden aan de hand van een inter-/extrapolatieprocedure³.

.....**Verwijzing³**.....
 In bijlage II.P.3 wordt een voorbeeld van een HISWA tabel weergegeven

Bretschneider (Waddenzee)

Met behulp van het golfgroeimodel van Bretschneider kunnen de in PC_RING benodigde significante golfhoogte en periode bepaald worden aan de hand van ingevoerde waarden voor strijklengte en bodemligging⁴.

.....**Verwijzing⁴**.....
 Zie bijlage II.G Formules van Bretschneider

II.P.7 Betrouwbaarheidsfunctie voor het mechanisme overloop

De betrouwbaarheidsfunctie van het mechanisme overloop wordt gegeven door:

$$Z = h_k - h \quad (\text{II.P.26})$$

hierin is:

h_k	de kruinhoogte van de dijk	[m]
h	de lokale waterstand	[m]

Bijlage II.P.1 Een deterministische designpunt berekening van het kritieke overslagdebiet

Ter illustratie wordt hier een voorbeeld gegeven van een deterministische designpunt berekening van het kritieke overslagdebiet voor dijkvak 9. 't Schoor – Paesens bij windrichting NNW.

Stap 1. Bepaal de kritieke stroomsnelheid v_c , waarbij na een bepaalde stormduur t_s bezwijken van de grasmat optreedt.

Invoerparameters (*designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL*):

t_s	de stormduur	7,500 uren
f_g	de graskwaliteitfactor	1,000 -

.....Verwijzing¹.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.5

$$v_c = f_g \frac{3,8}{(1 + 0,8^{-10} \log t_s)} = 1,0 \frac{3,8}{(1 + 0,8^{-10} \log(7,5))} = 2,235 \text{ m/s} \quad \text{zie}^1$$

Stap 2. Bepaal het kritiek overslagdebiet q_c .

Invoerparameters (*designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL*):

k	de ruwheid van het binnentalud	0,014 meter
v_c	de kritieke stroomsnelheid	2,235 m/s
$\tan(\alpha_s)$	de helling van het binnentalud	0,333 (1:3)

.....Verwijzing².....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.4

$$q_c = \frac{v_c^{5/2} k^{1/4}}{125 \tan(\alpha_s)^{3/4}} = \frac{(2,235)^{5/2} (0,014)^{1/4}}{125 (0,333)^{3/4}} = 0,0469 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{zie}^2$$

Vergelijking PC_RING

.....Verwijzing³.....
Zie PC_RINGSCHIL

Designpunt uitvoer volgens PC_RING versie 2.00³:

Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (*profiel zoals in SPRINT*)
Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])
Resultaat combinatieprocedure: Beta = 4.985; Faalkans = 0.310E-06

Designpunt-waarden van alle stochasten

Kruinhoogte	8.236	[meter]
Modelfactor kritiek overslagdebiet	0.648	[-]
Ruwheid binnentalud	0.014	[meter]
Factor voor de bepaling van Qb	4.854	[-]
Factor voor de bepaling van Qn	2.600	[-]
Modelfactor optredend overslagdebiet	1.234	[-]
Waterstand Harlingen	6.305	[meter t.o.v. NAP]
Windsnelheid	35.593	[meter per seconde]
Waterstand Delfzijl	7.358	[meter t.o.v. NAP]
Waterstand IJsselmeer	-0.455	[meter t.o.v. NAP]
Kritiek overslagdebiet	0.0471	[meter ² per seconde]
Optredend overslagdebiet	0.0240	[meter ² per seconde]
Lokale waterstand	6.49	[meter t.o.v. NAP]
Golfhoogte	2.04	[meter]
Golfperiode	5.43	[seconde]

Deterministen

Modelfactor Bretschneider voor Hs	1.000	[-]
Modelfactor Bretschneider voor Ts	1.000	[-]
Fout in ZWENDL	0.000	[meter]
Afwijking golfnchtng	0.000	[graden]
Stormduur	7.500	[uren]
Helling binnentalud	0.333	[-]
Graskwaliteitfactor	1.000	[-]

Bijlage II.P.2 Toelichting overige modellen bepaling van het optredende overslagdebiet

Model a. Optredend overslagdebiet volgens de Leidraad

Dit model is gebaseerd op de 'Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken; Deel I Bovenrivierengebied'. Verondersteld wordt dat de hellingen van het buitentalud boven en onder de berm gelijk zijn.

Voor het optredende overslagdebiet geldt volgens dit model:

$$q_o = \frac{g H_m T_m \sqrt{\tan(\alpha_{u,b})}}{20\pi} 10^{0,1-0,79X-0,21X^2} \quad \text{indien } X > 1 \quad (\text{II.P.2.1})$$

$$q_o = \frac{g H_m T_m \sqrt{\tan(\alpha_{u,b})}}{20\pi} 10^{0,1-X} \quad \text{indien } X \leq 1 \quad (\text{II.P.2.2})$$

hierin is:

q_o	het optredende overslagdebiet	[m ² /s]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H_m	de gemiddelde golfhoogte = 0,62 H_s	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
T_m	de gemiddelde golfperiode = 0,87 T_s	[s]
T_s	de significante golfperiode	[s]
$\alpha_{u,b}$	de helling van het buitentalud boven de berm	[-]

De waarde van X uit vergelijking II.P.2.1 en II.P.2.2 wordt bepaald door:

$$\text{Voor dijken zonder berm geldt: } X = X_1 \quad (\text{II.P.2.3})$$

voor dijken met een berm geldt:

$$\text{indien geldt: } h_b + H_s < h \quad X = X_1$$

$$\text{indien geldt: } h_b < h < h_b + H_s \quad X = X_2 + (X_1 - X_2) \left(\frac{h - h_b}{H_s} \right)^3$$

$$\text{indien geldt: } h_b - z < h < h_b \quad X = X_2 + (X_1 - X_2) \left(\frac{h_b - h}{z} \right)^3$$

$$\text{indien geldt: } h < h_b - z \quad X = X_1$$

Met hierin:

$$X_0 = \left(\frac{(h_k - h) \sqrt{2\pi}}{\tan(\alpha_{u,b}) T_m \sqrt{g H_m}} \right)$$

$$X_1 = \frac{X_0}{\cos \left(\pi \frac{\beta - 10}{180} \right)}$$

$$X_2 = \frac{X_0}{\cos \left(\pi \frac{\beta - 10}{180} \right) - \frac{B}{L_0}}$$

$$L_0 = \frac{g T_m^2}{2 \pi}$$

$$z = 0,74 T_m \sqrt{g H_s \tan(\alpha_{u,b})}$$

hierin is:

g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
h	de lokale waterstand	[m]
h_b	de hoogte van de berm	[m]
h_k	de kruinhoogte van de dijk	[m]
B_b	de breedte van de berm	[m]
H_m	de gemiddelde golfhoogte	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
T_m	de gemiddelde golfperiode	[s]
T_s	de significante golfperiode	[s]
$\alpha_{u,b}$	de helling van het buitentalud boven de berm	[-]
β	de hoek van de golfaanval	[°]

(voor de verhouding B / L_o mag in de formule voor X_2 geen grotere waarde worden aangehouden dan $0,4 \cos(\beta - 10)$)

Model b. Optredend overslagdebiet volgens Van der Meer (ONIN)

In dit model wordt eerst afzonderlijk het optredend overslagdebiet voor brekende golven en niet-brekende golven bepaald, waarna het optredende overslagdebiet gelijk wordt gesteld aan het minimum van beide bevindingen.

Brekende golven

Het optredende overslagdebiet voor brekende golven wordt bepaald met:

$$q_0 = Q_b \sqrt{g H_s^3} \sqrt{\frac{\tan(\alpha_{repr})}{S_{op}}} \quad (II.P.2.4)$$

Hierin is:

q_0	het optredende overslagdebiet	[m ² /s]
Q_b	het dimensieloze overslagdebiet	[-]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
α_{repr}	de representatieve helling van het buitentalud	[-]
S_{op}	de golfsteilheid	[-]

Het model gaat er vanuit dat de helling van het buitentalud boven ($\alpha_{u,b}$) en onder de berm gelijk is. De representatieve waarde voor de taldhelling wordt dan ook gelijk gesteld aan:

$$\alpha_{repr} = \alpha_{u,b} \quad (II.P.2.5)$$

De golfsteilheid in vergelijking II.P.2.4 wordt beschreven door:

$$S_{op} = \frac{2 \pi H_s}{g T_p^2} \quad (II.P.2.6)$$

hierin is:

S_{op}	de golfsteilheid	[-]
T_p	de piekperiode	[s]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]

Het dimensieloze overslagdebiet uit vergelijking II.P.2.4 wordt bepaald met:

$$Q_b = 0,06 \exp(-f_b R_b) \quad (II.P.2.7)$$

hierin is:

f_b	fitparameter	[-]
R_b	dimensieloze kruinhoogte	[-]

(De sub-index b geeft aan dat het om brekende golven gaat)

De dimensieloze kruinhoogte uit vergelijking II.P.2.7 wordt beschreven door:

$$R_b = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{\sqrt{S_{op}}}{\tan(\alpha_{repr})} \frac{1}{\gamma_\beta \gamma_f \gamma_b \gamma_h} \quad (\text{II.P.2.8})$$

hierin is:

R_b	de dimensieloze kruinhoogte	[-]
h_k	de kruinhoogte	[m]
h	de lokale waterstand	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
S_{op}	de golfsteilheid	[-]
α_{repr}	de representatieve helling van het buitentalud	[-]
γ_b	de reductiefactor voor de berm	[-]
γ_f	de reductiefactor voor de ruwheid	[-]
γ_β	de reductiefactor voor de hoek van golfaanval	[-]
γ_h	de reductiefactor voor de aanwezigheid van een ondiep voorland	[-]

Niet-brekende golven

Het optredende overslagdebiet voor niet-brekende golven wordt bepaald met:

$$q_o = Q_n \sqrt{g H_s^3} \quad (\text{II.P.2.9})$$

hierin is:

q_o	het optredende overslagdebiet	[m ² /s]
Q_n	het dimensieloze overslagdebiet	[-]
g	de zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H_s	de significante golfhoogte	[m]

Het dimensieloze overslagdebiet uit vergelijking II.P.2.9 wordt beschreven door:

$$Q_n = 0,2 \exp(-f_n R_n) \quad (\text{II.P.2.10})$$

hierin is:

f_n	fitparameter	[-]
R_n	dimensieloze kruinhoogte	[-]

(De sub-index n geeft aan dat het om brekende golven gaat)

De dimensieloze kruinhoogte uit vergelijking II.P.2.10 wordt beschreven door:

$$R_n = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{1}{\gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_h} \quad (\text{II.P.2.11})$$

hierin is:

R_n	de dimensieloze kruinhoogte	[-]
h_k	de kruinhoogte	[m]
h	de lokale waterstand	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
γ_b	de reductiefactor voor de berm	[-]
γ_f	de reductiefactor voor de ruwheid	[-]
γ_β	de reductiefactor voor de hoek van golfaanval	[-]
γ_h	de reductiefactor voor de aanwezigheid van een ondiep voorland	[-]

Reductiefactoren

De reductiefactoren uit vergelijking II.P.2.8 en II.P.2.11 moeten alle vier afzonderlijk bepaald te worden. Bij de bepaling van de reductiefactoren geldt als ondergrens:

$$\text{als } \gamma_b \gamma_t \gamma_{\delta} \gamma_h \leq 0,5 \text{ dan } \gamma_b \gamma_t \gamma_{\delta} \gamma_h = 0,5 \quad (\text{II.P.2.12})$$

➤ de reductiefactor voor de berm γ_b

De reductiefactor voor de berm bestaat uit twee subfactoren:

1. voor de invloed van de breedte van de berm

$$r_b = \frac{B/H_s}{2 \cot(\alpha_{u,b}) + B/H_s} = \frac{1}{1 + 2H_s/B \tan(\alpha_{u,b})} \quad (\text{II.P.2.13})$$

hierin is:

B	de bermbreedte	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]
$\alpha_{u,b}$	de helling van het buitentalud boven de berm	[-]

2. voor de ligging van de berm ten opzichte van de waterlijn

$$r_{dh} = 0,5 \left(\frac{d_h}{H_s} \right)^2 \quad \text{met } 0 \leq r_{dh} \leq 1 \quad (\text{II.P.2.13})$$

hierin is:

d_h	de waterdiepte ter plaatse van de berm	[m]
H_s	de significante golfhoogte	[m]

Voor brekende golven ($\xi_{op} < 2/\gamma_b$) geldt dat de reductiefactor gelijk is aan:

$$\gamma_b = 1 - r_b(1 - r_{dh}), \quad \text{met } 0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0 \quad (\text{II.P.2.14})$$

Voor niet-brekende golven ($\frac{2}{\gamma_b} < \xi_{op} < 4$) geldt:

$$\gamma_b = \gamma_b + (1 - \gamma_b) \frac{(\xi_{op} - 2/\gamma_b)}{4 - 2/\gamma_b} \quad (\text{II.P.2.15})$$

Indien $\xi_{op} > 4$ is, geldt $\gamma_b = 1$

De golfploopp parameter ξ_{op} [-] uit vergelijking II.P.2.14 en II.P.2.15 wordt bepaald met:

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha_{u,b})}{\sqrt{S_{op}}} \quad (\text{II.P.2.16})$$

➤ de reductiefactor voor de hoek van golfaanval γ_{β}

De hoek van golfaanval β , is gelijk aan het verschil tussen de richting van de golven en de richting van de normaal van de dijk. Gemiddeld genomen hebben de golven dezelfde richting als de wind. Om eventuele afwijkingen van dit gemiddelde te compenseren wordt een stochastische variabele β^* opgeteld. De hoek van golfaanval wordt dus bepaald door:

$$\beta = |(\varphi + \beta^*) - \psi| \quad (\text{II.P.2.17})$$

hierin is:

φ	de windrichting	[°]
ψ	de normaal van de dijk	[°]
(als $\beta > 180^\circ$ dan geldt $\beta = 360^\circ - \beta$)		

Voor aanlandige golven ($0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$) geldt:

$$\bar{\alpha}_\beta = 1 - 0,0033\beta \quad (\text{II.P.2.18})$$

Voor aflandige golven ($90^\circ < \beta \leq 180^\circ$) geldt:

geen overslag uitsluitend overloop

- de reductiefactor voor de ruwheid γ_r
 Voor alle gevallen waarin geldt $\xi_{op} < 3$ wordt de ruwheid van verschillende taluds weergegeven in tabel II.P.2.1 Vanaf $\xi_{op} = 3$ tot $\xi_{op} = 5$ loopt de reductiefactor lineair op tot één. Voor alle gevallen met $\xi_{op} > 5$ is de reductiefactor altijd gelijk aan één.

.....Tabel II.P.2.1.....

Soort talud	Reductiefactor γ_r
Glad, beton, asfalt	1,0
Dichte vlakke steenzetting	1,0
Gras (3 centimeter)	0,90-1,0
Gezette steen	0,85-0,90
1 laag stortsteen ($H_s/D=1,5-3$)	0,55-0,60
¼ v zetting 9 cm boven talud uitstekend	0,75-0,80

- de reductiefactor voor het voorland γ_h
 Als golven zich over een ondiep voorland verplaatsen, zullen ze breken, en zal de golfverdeling afwijken van de Rayleigh-verdeling die geldig is op diep water. Als gevolg hiervan zal het overslagdebiet afnemen. De reductiefactor voor deze afname wordt gegeven door:

$$\gamma_h = 1,3 - 0,03 \left(4 - \frac{h_d}{H_s} \right)^2, \text{ voor } h_d / H_s < 4 \quad (\text{II.P.2.19})$$

$$\gamma_h = 1, \text{ voor } h_d / H_s \geq 4$$

hierin is:

h_d de waterdiepte van het voorland t.o.v. de stilwaterlijn [m]

Model d. Optredend overslagdebiet volgens DWW

Dit model is ten tijden van het maken van deze tekst nog in ontwikkeling.

Bijlage II.P.3 Een voorbeeld van een HISWA tabel

HISWA tabel voor dijkvak 30 Zandvoorderhoek – Margrietsluis (locatienr: 89 89 00)

De lokale waterstand (maar ook de golfhoogte, de golfperiode en de hoek van golfinval) voor alle dijkvakken langs het IJsselmeer worden verkregen door interpolatie van resultaten volgend uit een HISWA berekening. Deze resultaten worden weergegeven in zogenaamde HISWA tabellen. Voor elk dijkvak langs het IJsselmeer is zo'n HISWA tabel opgesteld. In zo'n tabel worden:

- de lokale waterstand in meter ten opzichte van NAP;
- de golfhoogte in meter;
- de golfperiode in seconde;
- de hoek van golfinval in graden;

als functie van de windrichting, de windsnelheid en het meerpeil weergegeven.

Gegevens HISWA punt 89 (Fri_19)

Windrichting	00.00	[graden]			
Windsnelheid	Meerpeil	Lokale waterstand	Golfhoogte	Golfperiode	Hoek van golfinval
[m/s]	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[s]	[graden]
14.00	-0.40	0.96	0.38	1.83	268.00
14.00	-0.10	1.03	0.38	1.83	268.00
14.00	0.40	1.15	0.38	1.83	268.00
14.00	1.00	1.29	0.37	1.81	270.00
14.00	1.80	1.76	0.38	1.85	268.00
19.00	-0.40	0.94	0.54	2.16	268.00
19.00	-0.10	1.02	0.54	2.17	268.00
19.00	0.40	1.14	0.55	2.17	267.00
19.00	1.00	1.29	0.56	2.18	267.00
19.00	1.80	1.70	0.57	2.20	268.00
22.00	-0.40	0.93	0.60	2.32	267.00
22.00	-0.10	1.00	0.61	2.32	267.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
38.00	1.00	1.20	0.85	2.88	265.00
38.00	1.80	1.42	0.90	2.92	263.00
42.00	-0.40	0.78	0.81	2.84	265.00
42.00	-0.10	0.78	0.81	2.84	265.00
42.00	0.40	1.00	0.86	2.92	264.00
42.00	1.00	1.18	0.89	2.95	264.00
42.00	1.80	1.39	0.94	2.99	263.00
Windrichting	30.00	[graden]			
14.00	-0.40	0.94	0.38	1.83	240.00
14.00	-0.10	1.00	0.38	1.83	239.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Windrichting	330.00	[graden]			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
42.00	1.00	1.73	1.01	3.01	296.00
42.00	1.80	2.45	1.17	3.15	299.00

.....Tabel II.P.3.1.....
HISWA tabel
Zie ook PC_RINGSCHIL

Bijlage II.P.4 Inter-/extrapolatiemodel voor lokale waterstanden op de Waddenzee

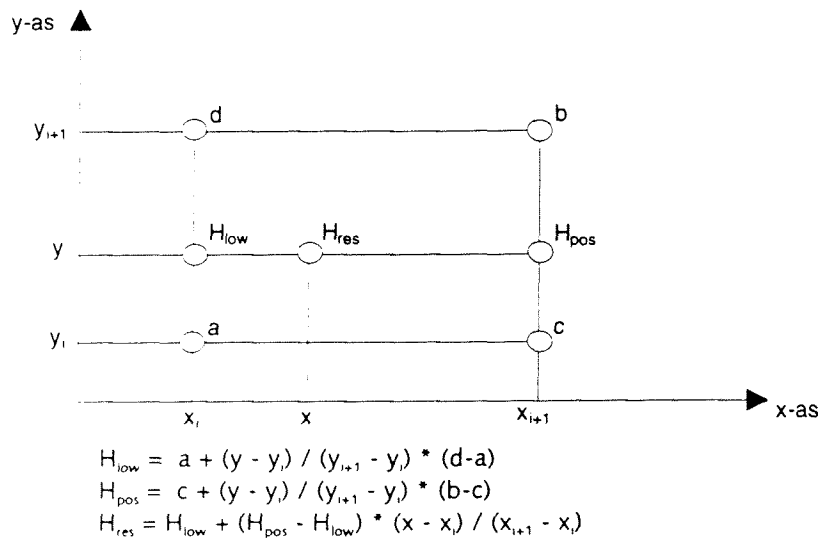
.....Verwijzing¹.....
 Zie bijlage II.P.5 voor een voorbeeld van een ZWENDL tabel

De lokale waterstand op de Waddenzee wordt bepaald door lineaire inter- of extrapolatie van bekende waterstanden in zogenaamde ZWENDL punten¹. Voor elk dijkvak wordt een locatienummer gegeven, welke is opgebouwd uit een eerste ZWENDLnummer, een tweede ZWENDLnummer en een interpolatiepercentage. Voor beide ZWENDLnummers wordt met behulp van onderstaande procedures H_{res} bepaald. De lokale waterstand volgt tenslotte uit:

$$H_{loc} = H_{resZWENDL1} * (\text{interpolatiepercentage}) + H_{resZWENDL2} * (1 - \text{interpolatiepercentage})$$

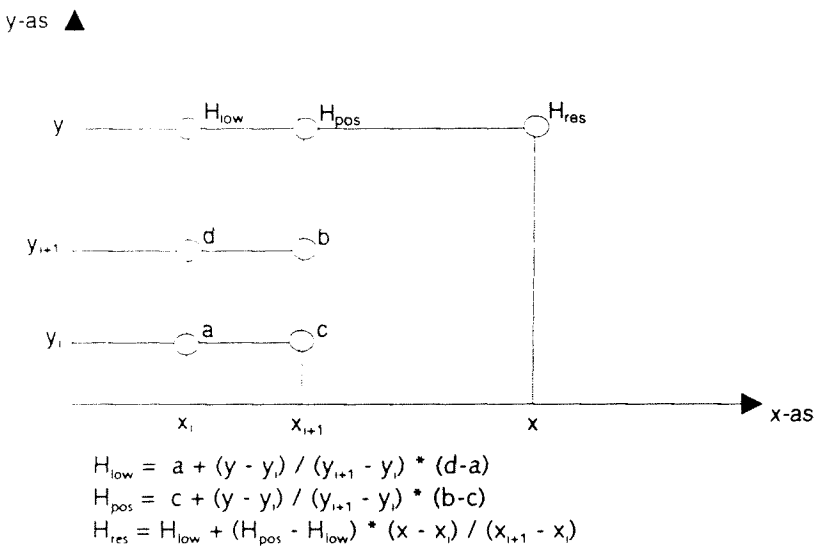
.....Verwijzing².....
 Zie ook PC_RINGSCHIL

De interpolatieprocedure voor de lokale waterstand (Waddenzee)²



.....Verwijzing¹.....
 Zie ook PC_RINGSCHIL

De extrapolatieprocedure voor de lokale waterstand (Waddenzee)³



Bijlage II.P.5 Een voorbeeld van een ZWENDL tabel

ZWENDL tabellen voor dijkvak 9 't Schoor – Paesens (locatienr: 33 34 55)

.....Verwijzing'.....
Zie bijlage II.P.4 voor de lineaire inter- en extrapolatie procedure voor lokale waterstanden

De lokale waterstand wordt verkregen via lineaire inter-/extrapolatie van de waterstanden in Harlingen en Delfzijl. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde ZWENDLpunten. Voor elk van deze punten is een tabel gegeven met de waterstanden als functie van de waterstand in Harlingen en Delfzijl. Dijkvak 9 ligt tussen de ZWENDLpunten 33 en 34 waarbij de waterstand voor 55% bepaald wordt door ZWENDLpunt 33. (zie het locatienummer dat is opgebouwd uit het eerste ZWENDLpunt, het tweede ZWENDLpunt en het percentage bijdrage van het eerste ZWENDLpunt)

gegevens ZWENDLpunt 33 Holwerd

horizontaal: de waterstand in Delfzijl in meter t.o.v. NAP
vertikaal: de waterstand in Harlingen in meter t.o.v. NAP

.....Tabel II.P.5.1.....
ZWENDL tabel
Zie ook PC_RINGSCHIL

	0,0000	3,4000	4,0600	4,8700	5,5600	6,6400	16,6400
0,0000	0,0000	0,7339	0,8601	1,0171	1,1536	1,3673	1,3673
2,9500	2,2016	2,9355	3,0617	3,2188	3,3552	3,5690	3,5690
3,4700	2,5802	3,3140	3,4402	3,5973	3,7338	3,9475	3,9475
4,0900	3,0514	3,7853	3,9114	4,0685	4,2050	4,4187	4,4187
4,5900	3,4608	4,1947	4,3209	4,4779	4,6144	4,8281	4,8281
5,3200	4,1020	4,8359	4,9620	5,1191	5,2556	5,4693	5,4693

gegevens ZWENDLpunt 34 Lauwersoog

horizontaal: de waterstand in Delfzijl in meter t.o.v. NAP
vertikaal: de waterstand in Harlingen in meter t.o.v. NAP

.....Tabel II.P.5.2.....
ZWENDL tabel
Zie ook PC_RINGSCHIL

	0,0000	3,4000	4,0600	4,8700	5,5600	6,6400
0,0000	0,0000	1,534	1,7368	2,1372	2,4232	2,8808
2,9500	1,5340	3,068	3,2708	3,6712	3,9572	4,4148
3,4700	1,7368	3,2708	3,4736	3,8740	4,1600	4,6176
4,0900	2,1372	3,6712	3,8740	4,2744	4,5604	5,0180
4,5900	2,4232	3,9572	4,1600	4,5604	4,8464	5,3040
5,3200	2,8808	4,4148	4,6176	5,0180	5,3040	5,7616

Bijlage II.P.6 Een deterministische designpunt berekening van het optredend overslagdebiet

Stap 1. Bepaal de lokale waterstand h_{loc} met behulp van de ZWENDL tabellen. Maak gebruik van de inter-/extrapolatieprocedure weergegeven in bijlage II.P.4 en de ZWENDL tabellen uit bijlage II.P.5.

Invoerparameters (*designpunt*, zie ook *PC_RINGSCHIL*):

H_{Har}	de waterstand in Harlingen	6,305 meter t.o.v. NAP
H_{Dff}	de waterstand in Delfzijl	7,358 meter t.o.v. NAP
	het locatienummer	33 34 55

ZWENDL tabel punt 33 Holwerd (zie *PC_RINGSCHIL*)

x	een interpolatiepunt	7,358 meter t.o.v. NAP
y	een interpolatiepunt	6,305 meter t.o.v. NAP
x_i	een interpolatiepunt	6,640 meter t.o.v. NAP
x_{i+1}	een interpolatiepunt	16,640 meter t.o.v. NAP
y_i	een interpolatiepunt	4,590 meter t.o.v. NAP
y_{i+1}	een interpolatiepunt	5,320 meter t.o.v. NAP
a	een interpolatiepunt	4,828 meter t.o.v. NAP
b	een interpolatiepunt	5,469 meter t.o.v. NAP
c	een interpolatiepunt	4,828 meter t.o.v. NAP
d	een interpolatiepunt	5,469 meter t.o.v. NAP

$$H_{low} = a + \frac{(y - y_i)}{(y_{i+1} - y_i)}(d - a) = 4,828 + \frac{(6,305 - 4,590)}{(5,320 - 4,590)}(5,469 - 4,828) = 6,334$$

$$H_{pos} = c + \frac{(y - y_i)}{(y_{i+1} - y_i)}(b - c) = 4,828 + \frac{(6,305 - 4,590)}{(5,320 - 4,590)}(5,469 - 4,828) = 6,334$$

$$H_{res} = H_{low} + (H_{pos} - H_{low}) \frac{(x - x_i)}{x_{i+1} - x_i} = 6,334 + (6,334 - 6,334) \frac{(7,358 - 6,640)}{(16,640 - 6,640)} = 6,334$$

ZWENDL tabel punt 34 Lauwersoog (zie *PC_RINGSCHIL*)

x	een interpolatiepunt	7,358 meter t.o.v. NAP
y	een interpolatiepunt	6,305 meter t.o.v. NAP
x_i	een interpolatiepunt	5,560 meter t.o.v. NAP
x_{i+1}	een interpolatiepunt	6,640 meter t.o.v. NAP
y	een interpolatiepunt	4,590 meter t.o.v. NAP
y_{i+1}	een interpolatiepunt	5,320 meter t.o.v. NAP
a	een interpolatiepunt	4,846 meter t.o.v. NAP
b	een interpolatiepunt	5,762 meter t.o.v. NAP
c	een interpolatiepunt	5,304 meter t.o.v. NAP
d	een interpolatiepunt	5,304 meter t.o.v. NAP

$$H_{low} = a + \frac{(y - y_i)}{(y_{i+1} - y_i)}(d - a) = 4,846 + \frac{(6,305 - 4,590)}{(5,320 - 4,590)}(5,304 - 4,846) = 5,921$$

$$H_{pos} = c + \frac{(y - y_i)}{(y_{i+1} - y_i)}(b - c) = 5,304 + \frac{(6,305 - 4,590)}{(5,320 - 4,590)}(5,762 - 5,304) = 6,379$$

$$H_{res} = H_{low} + (H_{pos} - H_{low}) \frac{(x - x_i)}{x_{i+1} - x_i} = 5,922 + (6,379 - 5,922) \frac{(7,358 - 5,560)}{(6,640 - 5,560)} = 6,683$$

$$h_{loc} = 0,55 * H_{res33} + 0,45 * H_{res34} = 0,55 * 6,334 + 0,45 * 6,683 = 6,491 \text{ meter}$$

De lokale waterstand $h_{loc} = 6,491$ meter t.o.v. NAP

.....Verwijzing'.....
 Zie ook PC_RINGSCHIL

Vergelijking PC_RING¹

Dijkvak 9 t Schoor – Paesens (profiel zoals in SPRINT)
 Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])
 Resultaat combinatieprocedure: Beta = 4.985; Faalkans = 0.310E-06

Designpunt-waarden van de benodigde stochasten		
Waterstand Harlingen	6.305	[meter t.o.v. NAP]
Waterstand Delfzijl	7.358	[meter t.o.v. NAP]
Lokale waterstand	6.49	[meter t.o.v. NAP]

Stap 2. Bepaal de golfhoogte en golfperiode met de Bretschneider formules.
 Maak gebruik van de formules in bijlage II.G Formules van Bretschneider.
 Invoerparameters (designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL):

V	de windsnelheid	35,593 meter per seconde
g	de zwaartekrachtsversnelling	9,810 meter per seconde ²
d	de waterdiepte van de sectie	7,490 meter
F	de strijklengte van de sectie	14.000 meter (bijlage II.H)

Formule van Bretschneider voor de significante golfhoogte (zie bijlage II.G)

$$H_s = \frac{(35,593)^2}{9,81} \cdot 0,283 \cdot \tanh \left[0,530 \left(\frac{9,81 \cdot 7,49}{(35,593)^2} \right)^{0,750} \right] \cdot \tanh \left[\frac{0,0125 \left(\frac{9,81 \cdot 14.000}{(35,593)^2} \right)^{0,42}}{\tanh \left[0,530 \left(\frac{9,81 \cdot 7,49}{(35,593)^2} \right)^{0,750} \right]} \right] = 2,039$$

Formule van Bretschneider voor de significante golfperiode (zie bijlage II.G)

$$T_s = 2\pi \frac{35,593}{9,81} \cdot 1,2 \cdot \tanh \left[0,833 \left(\frac{9,81 \cdot 7,49}{(35,593)^2} \right)^{0,375} \right] \cdot \tanh \left[\frac{0,077 \left(\frac{9,81 \cdot 14.000}{(35,593)^2} \right)^{0,25}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{9,81 \cdot 7,49}{(35,593)^2} \right)^{0,375} \right]} \right] = 5,430$$

Controleer of de hoogte van het voorland invloed heeft op de golfhoogte (zie bijlage II.G).

$$H_s > 0,5(h - h_t) \text{ dan reduceert de golfhoogte tot : } 0,5H_s$$

$$2,039 < 0,5 \cdot (6,491 - 0) \text{ dus geen golfhoogte -reductie}$$

De significante golfhoogte H_s = 2,039 meter
De significante golfperiode T_s = 5,430 seconde

.....Verwijzing'.....
 Zie ook PC_RINGSCHIL

Vergelijking PC_RING²

Dijkvak 9 t Schoor – Paesens (profiel zoals in SPRINT)
 Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])
 Resultaat combinatieprocedure: Beta = 4.985; Faalkans = 0.310E-06

Designpunt-waarden van de benodigde stochasten		
Windsnelheid	35.593	[meter per seconde]
Lokale waterstand	6.49	[meter t.o.v. NAP]
Golfhoogte	2.04	[meter]
Golfperiode	5.43	[seconde]
Deterministen		
Strijklengte	14000.	[meter]
Diepte (extra op waterstand)	1.000	[meter]

Stap 3. Bepaal het optredend overslagdebiet q_o voor brekende golven.

Stap A. Bepaal de representatieve taludhelling α_{repr} .

Invoerparameters:

H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter
L_{talud}	de taludlengte	24,468 meter
B	de bermbreedte	0,000 meter

.....Verwijzing¹.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.7

$$\tan(\alpha_{repr}) = \frac{3H_s}{L_{talud} - B} = \frac{3 * 2,039}{24,468} = 0,250 \text{ (talud1: 4)} \quad \text{zie}^1$$

Stap B. Bepaal de golfsteilheid S_{op} .

Invoerparameters:

H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter
T_s	de significante golfperiode	5,430 seconde
g	de zwaartekrachtsversnelling	9,81 meter per seconde ²

.....Verwijzing².....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.8

$$S_{op} = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2} = \frac{2\pi * 2,039}{9,81 * (5,43)^2} = 0,0443 \quad \text{zie}^2$$

Stap C. Bepaal de gecombineerde reductiefactor γ .

Stap C1. Bepaal de reductiefactor voor een berm γ_b .

Invoerparameters:

B	de bermbreedte	0,000 meter
H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter
$\tan\alpha_{repr}$	de representatieve taludhelling	0,250
d_h	de waterdiepte op de berm	-6,491 meter

.....Verwijzing³.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.15

$$r_b = \frac{B}{L_{berm}} = \frac{1}{1 + \frac{H_s}{B \tan(\alpha_o)} + \frac{H_s}{B \tan(\alpha_b)}} = 0 \quad \text{zie}^3$$

.....Verwijzing⁴.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.18

$$r_{dh} = 0,5 \left(\frac{d_h}{H_s} \right)^2 = 0,5 \left(\frac{-6,491}{2,039} \right)^2 = 5,06 \Rightarrow r_{dh} = 1 \text{ (max)} \quad \text{zie}^4$$

.....Verwijzing⁵.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.20

$$\gamma_b = 1 - r_b(1 - r_{dh}) = 1 \quad \text{zie}^5$$

Stap C2. Bepaal de reductiefactor voor de ruwheid γ_r .

In de programma-source gelijk aan één gesteld, dus $\gamma_r = 1$ voor elke soort bekleding.

Stap C3. Bepaal de reductiefactor voor de hoek van golfaanval γ_β .

Invoerparameters:

ψ	de normaal van de dijk	15.000 graden
φ	de windrichting	337.500 graden
β^*	de afwijking (stochast)	0.000 garden

De hoek van golfaanval β : $\beta = |(\varphi - \beta^*) - \psi| = |(337,5 + 0) - 15| = 322,5 \text{ graden}$

Voor hoeken groter dan 180 graden: $\beta = 360 - \beta = 360 - 322,5 = 37,5 \text{ graden}$

.....Verwijzing⁶.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.23

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0033\beta = 1 - 0,0033 * 37,5 = 0,876 \quad \text{zie}^6$$

Stap 4C. Bepaal de reductiefactor voor de hoek van golfinval γ_s .

Alleen voor hoeken van $80^\circ \leq \beta \leq 110^\circ$. Hier dus $\gamma_s = 1$.

Stap 5C. Bepaal de gecombineerde reductiefactor γ .

Invoerparameters:

γ_b	de reductiefactor voor een berm	1,000
γ_f	de reductiefactor voor de ruwheid	1,000
γ_β	de reductiefactor voor de hoek van golfaanval	0,876
γ_s	de reductiefactor voor de hoek van golfinval	1,000

.....Verwijzing¹..... $\gamma = (\gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_s) = 0,876$ zie¹
 Zie bijlage II.P vergelijking II.P.14

Stap D. Bepaal de dimensieloze kruinhoogte R_b .

Invoerparameters:

h_k	de kruinhoogte	8,236 meter t.o.v. NAP
h	de lokale waterstand	6,491 meter t.o.v. NAP
H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter
S_{op}	de golfsteilheid	0,0443
$\tan \alpha_{repr}$	de representatieve taludhelling	0,250
γ	de gecombineerde reductiefactor	0,876

.....Verwijzing²..... $R_b = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{\sqrt{S_{op}}}{\tan(\alpha_{repr})} = \frac{8,236 - 6,491}{2,039} \frac{\sqrt{0,0443}}{0,250} = 0,822$ zie²
 Zie bijlage II.P vergelijking II.P.9

Stap E. Bepaal het dimensieloze overslagdebiet Q_b .

Invoerparameters (*designpunt*, zie ook PC_RINGSCHIL):

f_b	de fitparameter	4,854
R_b	de dimensieloze kruinhoogte	0,822

.....Verwijzing³..... $Q_b = 0,06 \exp(-f_b R_b) = 0,06 \exp(-4,854 * 0,822) = 0,0011$ zie³
 Zie bijlage II.P vergelijking II.P.10

Stap F. Bepaal het optredend overslagdebiet voor brekende golven q_0 .

Invoerparameters:

Q_b	het dimensieloze overslagdebiet	0,0011
g	de zwaartekrachtsversnelling	9,810 meter per seconde ²
H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter
$\tan \alpha_{repr}$	de representatieve taludhelling	0,250
S_{op}	de golfsteilheid	0,0443

.....Verwijzing⁴..... $q_0 = Q_b \sqrt{g H_s^3} \sqrt{\frac{\tan(\alpha_{repr})}{S_{op}}} = 0,0011 \sqrt{9,81 * (2,039)^3} \sqrt{\frac{0,250}{0,0443}} = 0,0240$ zie⁴
 Zie bijlage II.P vergelijking II.P.6

Stap 4. Bepaal het optredend overslagdebiet q_0 voor niet-brekende golven.

Stap A. Bepaal de dimensieloze kruinhoogte R_n .

Invoerparameters:

h_k	de kruinhoogte	8,236 meter t.o.v. NAP
h	de lokale waterstand	6,491 meter t.o.v. NAP
H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter

.....Verwijzing⁵..... $R_n = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{1}{\gamma} = \frac{8,236 - 6,491}{2,039} \frac{1}{0,876} = 0,977$ zie⁵
 Zie bijlage II.P vergelijking II.P.12

.....Verwijzing¹.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.18

$$r_{dh}[0,5H_s] = 0,5 \left(\frac{0,5 * 2,171}{2,171} \right)^2 = 0,125 \quad \text{zie}^1$$

.....Verwijzing².....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.20

$$\gamma_b[0,5H_s] = 1 - r_B(1 - r_{dh}) = 1 - 0,315(1 - 0,125) = 0,724 \quad \text{zie}^2$$

Bepaal $\gamma_b[2H_s]$: $\gamma_b[2H_s] = 1$

$$\gamma_b[d_h] = \gamma_b[0,5H_s] + \left(\frac{\gamma_b[2H_s] - \gamma_b[0,5H_s]}{2H_s - 0,5H_s} \right) (-d_h - 0,5H_s)$$

Bepaal

$$\gamma_b[d_h] = 0,724 + \left(\frac{1 - 0,724}{(2 - 0,5) * 2,171} \right) (1,83 - 0,5 * 2,171) = 0,787$$

Stap C2. Bepaal de reductiefactor voor de ruwheid γ_r .

In de programma-source gelijk aan één gesteld, dus $\gamma_r = 1$ voor elke soort bekleding.

Stap C3. Bepaal de reductiefactor voor de hoek van golfaanval γ_β .

.....Verwijzing³.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.23

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0033\beta = 1 - 0,0033 * 37,5 = 0,876 \quad \text{zie}^3$$

Stap 4C. Bepaal de reductiefactor voor de hoek van golfval γ_s .
Alleen voor hoeken van $80^\circ \leq \beta \leq 110^\circ$. Hier dus $\gamma_s = 1$.

Stap 5C. Bepaal de gecombineerde reductiefactor γ .

.....Verwijzing⁴.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.14

$$\gamma = (\gamma_b \gamma_r \gamma_\beta \gamma_s) \gamma_s = 0,876 * 0,787 = 0,690 \quad \text{zie}^4$$

Stap D. Bepaal de dimensieloze kruinhoogte R_b .

.....Verwijzing⁵.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.9

$$R_b = \frac{h_k - h}{H_s} \frac{\sqrt{S_{op}}}{\tan(\alpha_{repr}) \gamma} = \frac{8,236 - 6,830}{2,171} \frac{\sqrt{0,0444}}{0,250 * 0,690} = 0,792 \quad \text{zie}^5$$

Stap E. Bepaal het dimensieloze overslagdebiet Q_b .

.....Verwijzing⁶.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.10

$$Q_b = 0,06 \exp(-f_b R_b) = 0,06 \exp(-4,928 * 0,792) = 0,0012 \quad \text{zie}^6$$

Stap F. Bepaal het optredend overslagdebiet voor brekende golven q_b .

.....Verwijzing⁷.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.6

$$q_b = Q_b \sqrt{gH_s^3} \sqrt{\frac{\tan(\alpha_{repr})}{S_{op}}} = 0,0012 \sqrt{9,81 * (2,171)^3} \sqrt{\frac{0,250}{0,0444}} = 0,0288 \quad \text{zie}^7$$

Stap 4. Bepaal het optredend overslagdebiet q_o voor niet-brekende golven.

Stap C. Bepaal het optredend overslagdebiet voor niet-brekende golven q_o .

.....Verwijzing⁸.....
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.11

$$q_o = Q_n \sqrt{gH_s^3} = 0,0293 \sqrt{9,81 * (2,171)^3} = 0,293 \quad \text{zie}^8$$

Stap 5. Bepaal het optredend overslagdebiet q_o .

De kleinste waarde van beide hierboven bepaalde optredende overslagdebieten is maatgevend. In deze voorbeeldsom is dit het optredende overslagdebiet voor brekende golven.

Het optredende overslagdebiet $q_o = 0,0288$ meter² per seconde

.....Verwijzing'.....
Zie ook PC_RINGSCHIL

Vergelijking PC_RING¹

Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (profiel zoals in SPRINT aanpassing berm)

Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])

Resultaat combinatieprocedure: Beta = 6.254; Faalkans = 0.201E-09

Designpunt-waarden van de benodigde stochasten

Kruinhoogte	8.236	[meter]
Factor voor de bepaling van Qb	4.928	[-]
Factor voor de bepaling van Qn	2.600	[-]
Lokale waterstand	6.83	[meter t.o.v. NAP]
Golfhoogte	2.17	[meter]
Golfperiode	5.59	[seconde]
Optredend overslagdebiet	0.0288	[meter ³ per seconde]

Deterministen

Afwijking in golfrichting	0.000	[graden]
---------------------------	-------	----------

Stap B. Bepaal het dimensieloze overslagdebiet Q_n .

Invoerparameters (*designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL*):

F_n	de fitparameter	2,600
R_n	de dimensieloze kruinhoogte	0,977

.....*Verwijzing*¹..... $Q_n = 0,2 \exp(-f_n R_n) = 0,2 \exp(-2,600 * 0,977) = 0,0158$ zie¹
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.13

Stap C. Bepaal het optredend overslagdebiet voor niet-brekende golven q_0 .

Invoerparameters:

Q_n	het dimensieloze overslagdebiet	0,0011
g	de zwaartekrachtsversnelling	9,810 meter per seconde ²
H_s	de significante golfhoogte	2,039 meter

.....*Verwijzing*²..... $q_0 = Q_n \sqrt{g H_s^3} = 0,0158 \sqrt{9,81 * (2,039)^3} = 0,144$ zie²
Zie bijlage II.P vergelijking II.P.11

Stap 5. Bepaal het optredend overslagdebiet q_0 .

De kleinste waarde van beide hierboven bepaalde optredende overslagdebieten is maatgevend. In deze voorbeeldsom is dit het optredende overslagdebiet voor brekende golven.

Het optredende overslagdebiet $q_0 = 0,0240$ meter² per seconde

.....*Verwijzing*³..... **Vergelijking PC_RING³**

Zie ook PC_RINGSCHIL

Dijkvak 9 't Schoor - Paesens (*profiel zoals in SPRINT*)

Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])

Resultaat combinatieprocedure: Beta = 4.985; Faalkans = 0.310E-06

Designpunt-waarden van de benodigde stochasten

Kruinhoogte	8.236	[meter]
Factor voor de bepaling van Q_b	4.854	[-]
Factor voor de bepaling van Q_n	2.600	[-]
Lokale waterstand	6.49	[meter t.o.v. NAP]
Golfhoogte	2.04	[meter]
Golfperiode	5.43	[seconde]
Optredend overslagdebiet	0.0240	[meter ² per seconde]

Deterministen

Afwijking in golfrichting	0.000	[graden]
---------------------------	-------	----------

Hieronder volgt een verkorte designpunt berekening van hetzelfde dijkvak echter met een berm van 8 meter breed op een hoogte van 5 meter t.o.v. NAP.

De lokale waterstand $h_{loc} = 6,830$ meter t.o.v. NAP

$$h_{loc} = 0,55 * H_{res33} + 0,45 * H_{res34} = 0,55 * 6,636 + 0,45 * 7,067 = 6,830 \text{ meter}$$

.....Verwijzing¹
Zie ook PC_RINGSCHIL

Vergelijking PC_RING¹

Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (profiel zoals in SPRINT aanpassing berm)
Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])
Resultaat combinatieprocedure: Beta = 6.254; Faalkans = 0.201E-09

Designpunt-waarden van de benodigde stochasten

Waterstand Harlingen	6.648	[meter t.o.v. NAP]
Waterstand Delfzijl	7.756	[meter t.o.v. NAP]
Lokale waterstand	6.83	[meter t.o.v. NAP]

De significante golfhoogte $H_s = 2,171$ meter

De significante golfperiode $T_s = 5,594$ seconde

.....Verwijzing²
Zie ook PC_RINGSCHIL

Vergelijking PC_RING²

Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (profiel zoals in SPRINT+berm)
Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])
Resultaat combinatieprocedure: Beta = 6.254; Faalkans = 0.201E-09

Designpunt-waarden van de benodigde stochasten

Windsnelheid	37.677	[meter per seconde]
Lokale waterstand	6.83	[meter t.o.v. NAP]
Golfhoogte	2.17	[meter]
Golfperiode	5.59	[seconde]

Deterministen

Strijk lengte	14000.	[meter]
Diepte (extra op waterstand)	1.000	[meter]
Modelfactor Bretschneider voor H_s	1.000	[-]
Modelfactor Bretschneider voor T_s	1.000	[-]

Stap 3. Bepaal het optredend overslagdebiet q_o voor brekende golven.

Stap A. Bepaal de representatieve taludhelling α_{repr} .

.....Verwijzing³
Zie bijlage II P vergelijking II P.7

$$\tan(\alpha_{repr}) = \frac{3H_s}{L_{talud} - B} = \frac{3 * 2,171}{34,055} = 0,250 \text{ (talud1: 4)} \quad \text{zie}^3$$

Stap B. Bepaal de golfsteilheid S_{op} .

.....Verwijzing⁴
Zie bijlage II P vergelijking II P.8

$$S_{op} = \frac{2\pi H_s}{g T_s^2} = \frac{2\pi * 2,171}{9,81 * (5,594)^2} = 0,0444 \quad \text{zie}^4$$

Stap C. Bepaal de gecombineerde reductiefactor γ .

Stap C1. Bepaal de reductiefactor voor een berm γ_b .

Invoerparameters:

B	de bermbreedte	8,000 meter
H_s	de significante golfhoogte	2,171 meter
$\tan(\alpha_{repr})$	de representatieve taludhelling	0,250
d_n	de waterdiepte op de berm	-1,830 meter

.....Verwijzing⁵
Zie bijlage II P vergelijking II P.19

Bepaal geldigheidsgebied: $2H_s < (d_n = -1,830) < -0,5H_s$, dus interpoleren⁵.

Bepaal $\gamma_b[0,5H_s]$:

.....Verwijzing⁶
Zie bijlage II P vergelijking II P.16

$$r_b[0,5H_s] = \frac{B}{L_{berm}} = \frac{1}{1 + \frac{0,5 * 2,171}{4 * 0,25} + \frac{0,5 * 2,171}{4 * 0,25}} = 0,315 \quad \text{zie}^6$$

Bijlage II.Q Mechanisme 'piping'

- II.Q.1 Omschrijving van het mechanisme 'piping'
- II.Q.2 Betrouwbaarheidsfunctie voor het mechanisme 'opbarsten'
- II.Q.3 Sterkte: kritieke waterstand
- II.Q.4 Belasting: verschil lokale waterstand en binnenwaterstand
- II.Q.5 Betrouwbaarheidsfunctie mechanisme 'piping'
- II.Q.6 Sterkte: kritieke waterstand
- II.Q.7 Belasting: verschil lokale waterstand en binnenwaterstand vermindert met de verticale kwelweg

Bijlage II.Q.1 Een deterministische designpunt berekening van de kritieke waterstand van het deelmechanisme 'opbarsten'

Bijlage II.Q.2 Een deterministische designpunt berekening van de kritieke waterstand van het deelmechanisme 'piping'



.....Figuur II.Q.1.....
 Het mechanisme 'opbarsten/piping'

II.Q.1 Omschrijving van het mechanisme 'piping'

Het mechanisme 'piping' bestaat uit twee zogenaamde deelmechanismen: het deelmechanisme 'opbarsten van de ondoorlatende kleilaag' en het deelmechanisme 'piping'. Het deelmechanisme 'piping' kan alleen optreden als het deelmechanisme 'opbarsten' heeft plaats gevonden. De faalkans van het mechanisme opbarsten/piping kan hierdoor geschematiseerd worden met behulp van een zogenaamde EN-poort: $P[\text{Falen}] = [\text{Opbarsten EN Piping}]$ (II.Q.1)

Het falen van de dijk wordt uiteindelijk veroorzaakt doordat zand onder de dijk wegspoelt, waardoor de dijk ondermijnd raakt en bezwijkt.

De waterdichte kleilaag boven de watervoerende zandlaag zal in eerste instantie het transport van zand tegenhouden. Als gevolg van een hoge buitenwaterstand en een lage binnenwaterstand zal een drukverschil over de ondoorlatende kleilaag ontstaan. Wanneer de kleilaag onvoldoende dikte heeft zal zij door het drukverschil op de zwakste plek (*meestal ter plaatse van een berm-sloot, maar soms ook op een andere locatie achter de dijk*) opbarsten. Als gevolg van het opbarsten van de kleilaag is een directe verbinding tussen het achterland en het buitenwater tot stand gekomen en zal door het drukverschil, water van voor de dijk, het dijkringgebied binnenstromen. Omdat deze grondwaterstroming nogal wat weerstand ondervindt van de zandkorrels in de watervoerende laag, zullen er geen schrikbarende grote debieten ontstaan, die zouden kunnen leiden tot een waterbezwaar in de dijkring.

Hetgeen echter wel tot gevaar kan leiden, is dat door de stroming langs het grensvlak van de ondoorlatende kleilaag en de loskorrelige zandlaag op den duur zandkorrels getransporteerd zullen gaan worden. Als gevolg hiervan zullen zogenaamde 'pipes' in de zandlaag ontstaan. In eerste instantie breiden de 'pipes' zich langzaam uit in lengterichting. Als de lengte van de 'pipes' de breedte van de waterkering heeft bereikt dan verergert het proces zicht snel. Als het drukverschil over de dijk voldoende lang aanhoudt, zullen de 'pipes' inderdaad een lengte gelijk aan de breedte van de waterkering krijgen en zal de stabiliteit van het dijklichaam in gevaar komen, met als resultaat dat de dijk bezwijkt en de dijkring overstroomt.

Voor de beschrijving van het deelmechanisme 'opbarsten/piping' is uitgegaan van de richtlijn van TAW-B (CALLE & WEIJERS, 1994), welke gebaseerd is op het rekenmodel van Sellmeijer (SELLMEIJER, 1988).

Het deelmechanisme 'opbarsten/piping' is o.a. afhankelijk van de volgende parameters:

d	de dikte van de afsluitende laag	[m]
D	de dikte van de watervoerende laag	[m]
$h_{e,s}$	de lokale waterstand (<i>buiten</i>)	[m t.o.v. NAP]
$h_{b,r}$	de binnenwaterstand	[m t.o.v. NAP]
B_{water}	de lengte van de kwelweg (<i>meestal de breedte van de waterkering</i>)	[m]

De lokale waterstand wordt op dezelfde wijze als bij het mechanisme 'overloop/overslag' bepaald met behulp van de modellen ZWENDL en HISWA.

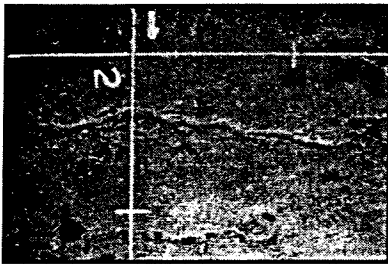
II.Q.2 Betrouwbaarheidsfunctie voor het mechanisme 'opbarsten'

De betrouwbaarheidsfunctie van het deelmechanisme 'opbarsten' wordt gegeven door:

$$Z = m_o h_c - m_h (h - h_b) \quad (\text{II.Q.2})$$

hierin is:

h_c	de kritieke waterstand	[m]
h_b	de binnen waterstand	[m]
h	de lokale waterstand	[m]
m_o	de modelfactor voor de onzekerheid in de bepaling van h_c	[-]
m_h	de modelfactor voor de demping	[-]



.....Figuur II.Q.2.....
 Het ontstaan van pipes

II.Q.3 Sterkte: kritieke waterstand

De kritieke waterstand h_c wordt gedefinieerd als die (lokale) waterstand waarbij de afsluitende kleilaag nog net het drukverschil als gevolg van het verschil in de waterstand tussen binnen en buiten, kan weerstaan. De afsluitende laag zal opbarsten als het verschil tussen de lokale waterstand h en de binnen waterstand h_b groter wordt dan een kritieke waterstand h_c . De kritieke waterstand kan bepaald worden met:

$$h_c = \frac{\gamma_k}{\gamma_w} d \quad (\text{II.Q.3})$$

hierin is:

γ_k	het volumegewicht van de opbarstende grond	[kN/m ³]
γ_w	het volumegewicht van het water	[kN/m ³]
d	de dikte van de afsluitende kleilaag	[m] zie ¹

.....**Toelichting'**.....
In bijlage II.Q.1 wordt een deterministische designpunt berekening voor de bepaling van de kritieke waterstand weergegeven

II.Q.4 Belasting: verschil lokale waterstand en binnenwaterstand

De lokale waterstand wordt bepaald met behulp van de in bijlage II.P.4 weergegeven inter-/extrapolatieprocedure, gebruik makend van de ZWENDL of HISWA tabellen. Voor de binnenwaterstand dient een gemiddelde waarde opgegeven te worden in de invoerbestanden.

II.Q.5 Betrouwbaarheidsfunctie mechanisme 'piping'

De betrouwbaarheidsfunctie voor het deelmechanisme 'piping' wordt gegeven door:

$$Z = m_p h_p - m_h (h - 0,3 d - h_b) \quad (\text{II.Q.4})$$

hierin is:

h_p	de kritieke waterstand	[m]
h_{bin}	de binnen waterstand	[m]
h_{loc}	de lokale waterstand	[m]
d	de dikte van de kleilaag	[m]
m_p	de modelfactor voor de onzekerheid in de bepaling van h_p	[-]
m_h	de modelfactor voor de demping	[-]

II.Q.6 Sterkte: kritieke waterstand

De watervoerende pijpen in de zandlaag ontstaan naarmate het drukverschil als gevolg van het waterstandsverschil tussen het buitenwater en binnenwater groter wordt. De druk die de zandlaag maximaal kan hebben, zonder dat er transport van zandkorrels plaatsvindt, wordt uitgedrukt in een kritieke (lokale) waterstand. De dijk zal falen ten gevolge van piping als het verschil tussen de lokale waterstand h en de binnenwaterstand h_b , verminderd met een deel van de verticale kwelweg, groter is dan de kritieke waterstand h_p .

De kritieke waterstand h_p uit vergelijking II.Q.4 kan volgens Sellmeijer bepaald worden met:

$$h_p = \alpha c B_{kwel} \left(\frac{\gamma_p}{\lambda_w} - 1 \right) (0,68 - 0,1 \ln c) \tan \theta \quad (\text{II.Q.5})$$

hierin is:

α	een factor met betrekking tot de dikte van de watervoerende zandlaag	[-]
c	een coëfficiënt m.b.t. de eigenschappen van de watervoerende laag	[-]
B_{kwel}	de lengte van de kwelweg	[m]
γ_p	het volumegewicht van het zand	[kN/m ³]
γ_w	het volumegewicht van het water	[kN/m ³]
θ	de rolweerstandshoek van het zand	[°]

De factor α die het effect weergeeft van de eindige dikte van de zandlaag wordt bepaald met:

$$\alpha = \left(\frac{D}{B_{\text{kwel}}} \right)^{\frac{0,28}{((D/B)^{2,8}-1)}} \quad (\text{II.Q.6})$$

hierin is:

D	de dikte van de doorlatende zandlaag	[m]
B_{kwel}	de lengte van de kwelweg	[m]

De coëfficiënt c voor de eigenschappen van het zand in de watervoerende laag kan bepaald worden met:

$$c = \left(\frac{d_{10}^2 d_{70}^2 d_{70}}{\kappa d_{10}^2 B_{\text{kwel}}} \right)^{1/3} \quad (\text{II.Q.7})$$

hierin is:

η	de constante van White (<i>sleepkrachtfactor</i>)	[-]
d_{10}	10% fractiel van de zandverdeling	[m]
d_{70}	70% fractiel van de zandverdeling	[m]
κ	de intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag	[m ²] zie ¹
B	de kwelweglengte	[m] zie ²

.....**Toelichting¹**.....
 In PC_RING wordt κ/d_{10}^2 aangeduid als de coëfficiënt C_{bear}

.....**Toelichting²**.....
 In bijlage II.Q.2 wordt een deterministische designpunt berekening voor de bepaling van de kritieke waterstand weergegeven

II.Q.7 Belasting: verschil lokale waterstand en binnenwaterstand vermindert met de verticale kwelweg

De lokale waterstand wordt bepaald met behulp van de in bijlage II.P.4 weergegeven inter-/extrapolatieprocedure, gebruik makend van de ZWENDL of HISWA tabellen. Voor de binnenwaterstand en de kwelweglengte dient een gemiddelde waarde opgegeven te worden in de invoerbestanden.

Bijlage II.Q.1 Een deterministische designpunt berekening van de kritieke waterstand van het deelmechanisme 'opbarsten'

Ter illustratie wordt hier een voorbeeld gegeven van een deterministische designpunt berekening van de kritieke waterstand van het deelmechanisme 'opbarsten' voor dijkvak 20. Dollardijk bij windrichting WNW.

Bepaal de kritieke waterstand h_c , waarbij de afsluitende kleilaag nog net het drukverschil als gevolg van het verschil in de waterstand tussen binnen en buiten, kan weerstaan.

Invoerparameters (*designpunt*, zie ook PC_RINGSCHIL)

d	de dikte van de afsluitende kleilaag	1.294 meter
γ_k/γ_w	relatief volumegewicht opbarstende grond	1.706 [-]

.....Verwijzing'.....
Zie bijlage II.Q vergelijking II.Q.3

$$h_c = \frac{\gamma_k}{\gamma_w} d = 1,706 * 1,294 = 2,208 \text{ meter} \quad \text{zie}^1$$

Vergelijking PC_RING

.....Verwijzing'.....
Zie PC_RINGSCHIL

Designpunt uitvoer volgens PC_RING versie 2.00²:

Dijkvak 20 Dollardijk (*profiel zoals in SPRINT*)
Maatgevende windrichting W.N.W (292.5 [graden])
Resultaat combinatieprocedure: Beta = 5.358; Faalkans = 0.422E-07

Designpunt-waarden van alle stochasten

Dikte afsluitlaag	1.294	[meter]
Relatief volumegewicht opbarstende grond	1.706	[-]
Binnenwaterstand	-0.996	[meter t.o.v. NAP]
Modelfactor opbarsten	1.210	[-]
Modelfactor demping	0.785	[-]
Waterstand Harlingen	2.316	[meter t.o.v. NAP]
Windsnelheid	16.388	[meter per seconde]
Waterstand Delfzijl	2.292	[meter t.o.v. NAP]
Waterstand IJsselmeer	-0.510	[meter t.o.v. NAP]
Lokale waterstand	2.41	[meter t.o.v. NAP]
Kritieke waterstand	2.21	[meter t.o.v. NAP]

Bijlage II.Q.2 Een deterministische designpunt berekening van de kritieke waterstand van het deelmechanisme 'piping'

Ter illustratie wordt hier een voorbeeld gegeven van een deterministische designpunt berekening van de kritieke waterstand van het deelmechanisme 'piping' voor dijkvak 20. Dollardijk bij windrichting WNW.

Stap 1. Bepaal de coëfficiënt c voor de eigenschappen van het zand in de watervoerende laag.

Invoerparameters (designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL)

.....**Opmerking¹**.....
 PC_RING geeft in de uitvoer standaard een getal in drie decimalen weer. Omdat gekozen is voor een verkeerde eenheid (i.p.v. m had m^3 beter geweest) lijkt het alsof de waarde gelijk aan nul is, maar dit is niet het geval, de waarde moet zijn 0,000362

η	de constante van White (sleeppkrachtfactor)	0,194
d_{10}/d_{70}	uniformiteit van de zandverdeling	1,865
d_{70}	70% fractiel van de zandverdeling	0,000 ¹ m
C_{bear}	factor (intrinsiek doorlatendheid)	0,001
B_{kwel}	de kwelweglengte	74,510 m

.....**Verwijzing²**.....
 Zie bijlage II.Q vergelijking II.Q.7

$$c = \eta \left(\frac{d_{10}^2 d_{70}^2 d_{70}}{\kappa d_{10}^2 B_{kwel}} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,194 \left(\frac{1}{0,001} \left[\frac{1}{1,865} \right]^2 \frac{0,000362}{92,000} \right) = 0,022 \text{ zie}^2$$

Stap 2. Bepaal de factor α die het effect weergeeft van de eindige dikte van de zandlaag.

Invoerparameters (designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL)

D	de dikte van de doorlatende zandlaag	4,221 m
B_{kwel}	de lengte van de kwelweg	74,510 m

.....**Verwijzing³**.....
 Zie bijlage II.Q vergelijking II.Q.6

$$\alpha = \left(\frac{D}{B_{kwel}} \right)^{\frac{0,28}{(D/B)^{0,28} - 1}} = \left(\frac{4,221}{74,510} \right)^{\frac{0,28}{(4,221/74,510)^{0,28} - 1}} = 2,235 \text{ zie}^3$$

Stap 3. Bepaal de kritieke waterstand h_p , waarbij als gevolg van een waterstandverschil tussen binnen en buiten nog net geen transport van zandkorrels plaatsvindt.

Invoerparameters (designpunt, zie ook PC_RINGSCHIL)

α	een factor met betrekking tot de dikte van de watervoerende zandlaag	2,235
c	een coëfficiënt m.b.t. de eigenschappen van de watervoerende laag	0,022
B_{kwel}	de lengte van de kwelweg	74,510 m
γ_p	het volumegewicht van het zand	2,431 kN/m ³
γ_w	het volumegewicht van het water	0.900 kN/m ³
θ	de rolweerstandshoek van het zand	48,280 °

.....**Verwijzing⁴**.....
 Zie bijlage II.Q vergelijking II.Q.5

$$h_p = \alpha c B_{kwel} \left(\frac{\gamma_p}{\gamma_w} - 1 \right) (0,68 - 0,1 \ln c) \tan \theta = 2,235 * 0,022 * 74,510 * \left(\frac{2,431}{0,900} - 1 \right) (0,68 - 0,1 \ln 0,022) * \tan (48,28) = 11,094 \text{ meter} \text{ zie}^4$$

Vergelijking PC_RING

.....Verwijzing'.....
Zie PC_RINGSCHIL

Designpunt uitvoer volgens PC_RING versie 2.00¹:

Dijkvak 20 Dollardijk (*profiel zoals in SPRINT*)

Maatgevende windrichting W.N.W (292.5 [graden])

Resultaat combinatieprocedure: Beta = 5.358; Faalkans = 0.422E-07

Designpunt-waarden van alle stochasten

Dikte afsluitlaag	1.049	[meter]
Dikte zandlaag	4.221	[meter]
Breedte van de waterkering	74.510	[meter]
Rolweerstandshoek	48.280	[°]
Factor C_{bear}	0.001	[-]
Korrelgrootte d_{70}	0.000	[meter]
Uniformiteit d_{70}/d_{10}	1.856	[-]
Constante van White	0.194	[-]
Relatief volumegewicht zand	2.431	[kN/m ³]
Binnenwaterstand	-1.034	[meter t.o.v. NAP]
Modelfactor piping	0.564	[-]
Waterstand Harlingen	3.556	[meter t.o.v. NAP]
Windsnelheid	25.124	[meter per seconde]
Waterstand Delfzijl	5.207	[meter t.o.v. NAP]
Waterstand IJsselmeer	-0.509	[meter t.o.v. NAP]
Lokale waterstand	2.52	[meter t.o.v. NAP]
Kritieke waterstabd	11.09	[meter t.o.v. NAP]

Bijlage II.R Aanpassing overslagmodel

Zoals reeds in de modelopzet aangegeven, is het bepalen van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de overstromingskans van een dijkkringgebied een belangrijke stap in het proces van het bepalen van het verband tussen de investeringskosten en een overstromingskansreductie. Tijdens het onderzoek is o.a. gekeken naar de invloed van de bermbreedte en de bermhoogte op de faalkans van een dijkvak. In bijlage II.T grafiek II.T.1 worden de resultaten van faalkansberekeningen ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' weergegeven waarbij zowel de bermhoogte als de bermbreedte van dijkvak 9 't Schoor-Paesens zijn gevarieerd.

Uit grafiek II.T.1 blijkt dat de faalkans van dijkvak 9 bij de variatie van de bermbreedte en de bermhoogte in grote lijn het verloop van de reductiefactor van de berm volgt (vergelijk grafiek II.T.1 met figuur II.P.9). Het verloop tussen een bermhoogte van 5 en 6 meter t.o.v. NAP vormt hierop echter een uitzondering; het verloop wordt hier gekenmerkt door afwijkingen ten opzichte van het te verwachten verloop. Tijdens het draaien van de sommen met PC_RING valt op dat bij dit deel van de grafiek, altijd convergentieproblemen optreden. De oorzaak van de afwijkingen kan dus gezocht worden in het feit dat de FORM-methode niet convergeert. Ter controle van dit vermoeden is dezelfde som gedraaid maar dan met behulp van een aanvullende SORM-methode en met behulp van de DS-methode. De SORM-methode liet een zelfde soort verloop zien als de FORM-methode (verloop zoals figuur II.P.9 en afwijkingen bij een bermhoogte tussen 5 en 6 meter t.o.v. NAP) en de DS-methode liet een volledig afwijkend verloop zien¹. Het sprongsgewijze verloop bij de DS-methode is het gevolg van een te klein aantal gesimuleerde samples. Het vergroten van het aantal samples geeft echter zo'n lange rekentijd, dat hiervan afgestapt is. De oorzaak van de afwijkingen in het verloop van de grafiek nabij een bermhoogte van 5 en 6 meter t.o.v. NAP kan dus het gevolg zijn van het niet convergeren van zowel de FORM- als de SORM-methode.

.....Verwijzing¹.....
Zie grafiek II.T.3 in bijlage II.T

Het niet convergeren van zowel de FORM- als de SORM-methode kan veroorzaakt worden door een discontinuïteit in de betrouwbaarheidsfunctie. Ter controle hiervan is voor de berekende punten uit grafiek II.T.1 een ontwerp punt controle berekening uitgevoerd. In deze ontwerp punt controle berekening zijn de designpuntwaarden van alle stochasten ingevoerd in het deterministische overslagmodel. Vervolgens is gecontroleerd of de, met PC_RING berekende waarden van het optredende overslagdebiet overeenkomen met de waarde uit de ontwerp punt controle berekeningen. Het bleek dat dit het geval was voor alle punten uit grafiek II.T.1 met uitzondering van de punten met een bermhoogte van 5 en 6 meter t.o.v. NAP. Omdat beide berekeningen (PC_RING en ontwerp punt controle berekening) met behulp van dezelfde designpuntwaarden en hetzelfde overslagmodel gemaakt zijn, rees het vermoeden dat het in PC_RING geïmplementeerde overslagmodel misschien een fout zou kunnen bevatten. Omdat de verschillen in de berekeningen alleen optreden bij profielen waar een berm aanwezig is (alle andere ontwerp punt controle berekeningen en PC_RING resultaten kwamen wel overeen) werd besloten in eerste instantie een eventuele fout te gaan zoeken in de formulering van de reductiefactor voor de berm.

De formule waarmee de reductiefactor van de berm volgens het overslagmodel (zie bijlage II.P) bepaald moet worden is o.a. afhankelijk van de hoogte van de berm ten opzicht van de lokale waterstand. Als de berm lager ligt dan tweemaal de golfhoogte onder de SWL, dan heeft de berm geen reducerende invloed.

De reductiefactor van de berm is gelijk aan nul en de faalkans is gelijk aan de faalkans van hetzelfde profiel maar dan zonder berm (*in grafiek II.T.1 aangegeven als deel (a)*). Als de berm ligt tussen een half maal de golfhoogte onder en een half maal de golfhoogte boven de SWL, dan wordt de reductiefactor bepaald volgens formule II.P.2. De reductiefactor kent een parabolisch verloop, met een minimum, daar waar de bermhoogte gelijk is aan de SWL (*in grafiek II.T.1 aangegeven als deel (c)*). Als de berm ligt tussen tweemaal de golfhoogte en een half maal de golfhoogte onder de SWL wordt de reductiefactor van de berm lineair geïnterpoleerd tussen nul en de waarde van de reductiefactor op een half maal de golfhoogte onder de SWL (*in grafiek II.T.1 aangegeven als deel (b)*). Ligt de berm hoger dan de golfoploophoogte boven de SWL dan heeft deze geen reducerende invloed meer. (*niet aangegeven in grafiek II.T.1*) Ligt de berm tussen de golfoploophoogte en een half maal de golfhoogte boven de SWL dan wordt de reductiefactor weer lineair geïnterpoleerd tussen nul en de waarde van de reductiefactor op een half maal de golfhoogte boven de SWL (*in grafiek II.T.1 aangegeven als deel (d)*). Het blijkt dat het afwijkende verloop van de grafiek valt in dat deel waar het lineair geïnterpoleerde verloop van de bermreductiefactor overgaat in het parabolische verloop. Een eventuele fout in het overslagmodel zal dan ook gezocht moeten worden in één van deze twee definities van de bermreductiefactor.

Door in detail, in samenwerking met de heer Ir. H.M.G.M. Steenbergen, de programma-source code van PC_RING behorende bij de reductiefactor voor de berm te doorlopen en te vergelijken met de formules uit de in dit onderzoek opgestelde ontwerppunt controle berekeningen is ontdekt dat bij het bepalen van de interpolatie randvoorwaarde van de reductiefactor van een berm, een halve golfhoogte onder de SWL een programmeerfout is gemaakt. In de formule voor de reductiefactor (*zie bijlage II.P formule II.P.20*) was een factor '1-' weggelaten.

Als gevolg van deze fout ontstond een discontinuïteit in het verloop van de reductiefactor van de berm (*het lineair geïnterpoleerde deel sloot niet aan op het parabolische deel*), waardoor zowel de FORM- als de SORM-procedure niet convergeerde. Deze fout is gecorrigeerd en hiermee is overslagmodel zeven ontstaan. In het verdere verloop van dit onderzoek is gerekend met dit nieuwe gecorrigeerde overslagmodel. Het programma PC_RING blijkt na de correctie in het overslagmodel bij dijkvakken met een berm in het profiel, geen convergentie problemen meer te ervaren. Als gevolg hiervan is de rekentijd aanzienlijk verkleind.

In bijlage II.T grafiek II.T.2 is de invloed van de bermhoogte en de berm-breedte op de faalkans weergegeven voor hetzelfde dijkvak (*dijkvak 9. 't Schoor-Paesens*), maar dan met behulp van het gecorrigeerde overslagmodel (*model 7*). De grafiek laat zien dat de afwijkingen zijn verdwenen. Als gevolg van de aanpassing in het overslagmodel zijn voor een aantal dijkvakken de resultaten van het SPRINT onderzoek gewijzigd. In grafiek II.T.4 in bijlage II.T worden deze verschillen uiteengezet.

Bijlage II.S Vergelijkbaarheid versie 1.01 - versie 2.00

.....Toelichting'

In de nieuwe versie van PC_RING is model 98 vervangen door model 2000. Model 98 is het model zoals beschreven is in bijlage II.P en II.Q. Model 2000 is een verbetering van model 98 ten aanzien van de reststerkte en verweking bij de mechanismen 'overslag' en 'bekleding'. De aanpassingen die gemaakt zijn om te komen tot model 2000 worden weergegeven in bijlage 2 uit (TAW, juni 2000). Het is echter mogelijk om in de nieuwe versie alsnog te rekenen met het oude model 98 door de vacante stochasten te vervangen met de nieuw toegevoegde stochasten en de overige vacante stochasten te verwijderen in 'OVERSLAG.DAT'. Tevens moet in de 'OVERSLAG.DAT' de parameter 'Zfunctie' gelijk gesteld worden aan één. Ook in de 'PIPING.DAT' moeten de vacante stochasten verwijderd worden. Daarnaast moet in zowel de 'ASCOVER.DAT' als in de 'ASCPipe.DAT' de regel '*NRSR 0' ingevoegd worden. Met deze aanpassingen blijft het mogelijk om een vergelijking te maken met eerder uitgevoerde berekeningen, zoals die in het SPRINT onderzoek

De nieuwe versie van PC_RING is een uitbreiding op versie 1.01 van PC_RING. Nauwelijks veranderd in deze vernieuwde versie zijn de gebruikte rekenmodellen voor de verschillende faalmechanismen, de procedures voor de faalkansberekening en de verschillende combinatieprocedures¹. Extra toegevoegd is een procedure waarmee het mogelijk wordt een soort van ontwerpberoeeningen uit te voeren. Deze extra procedure maakt het programma geschikt als ontwerp-tool om zo:

- één ontwerpparameter te variëren binnen vooraf vastgestelde grenzen zodat de invloed op de betrouwbaarheid kan worden onderzocht;
- één ontwerpparameter automatisch aan te laten passen, zodanig dat een gegeven betrouwbaarheid wordt bereikt.

Ten aanzien van de 'eerste versie' zijn de volgende aanpassingen gemaakt:

- I. In NUMERIEK.DAT wordt extra invoerdata gevraagd waarmee een keuze gemaakt kan worden om een berekening te maken:
 - 0) zoals de eerste versie van PC_RING (zonder variatie van ontwerpparameters);
 - 1) waarbij één ontwerpparameter gevarieerd wordt binnen twee vooraf vastgestelde grenzen met een vooraf vastgestelde stapgrootte;
 - 2) waarbij naar een vooraf vastgestelde betrouwbaarheidsindex wordt toegewerkt met behulp van een interpolatieprocedure, door de waarde van één ontwerpparameter te variëren tussen een vooraf vastgestelde minimale en maximale waarde;
 - 3) waarbij naar een vooraf vastgestelde betrouwbaarheidsindex wordt toegewerkt met behulp van een schatting uit de laatste twee stappen, door de waarde van één ontwerpparameter te variëren tussen een vooraf vastgestelde minimale en maximale waarde;
 - 4) waarbij naar een vooraf vastgestelde betrouwbaarheidsindex wordt toegewerkt met behulp van een schatting uit de laatste twee stappen, door de waarde van één ontwerpparameter te variëren uitgaande van de oorspronkelijke waarde van de ontwerpparameter gecombineerd met een vooraf vastgestelde waarde voor de stapgrootte.

Aan de 'oude' 'NUMERIEK.DAT' is toegevoegd:

'Iteratierocessen ontwerpberoeeningen'

'Vak / Ber. methode = 0 / PC_RING versie 1.'

'Vak / Ber. methode = 1 / Stochast / Min. waarde / Max. waarde / Stapgrootte'

'Vak / Ber. methode = 2 / Stochast / Min. waarde / Max. waarde / Beta (gaat automatisch over op interpolatie)'

'Vak / Ber. methode = 3 / Stochast / Min. waarde / Max. waarde / Beta (nieuwe schatting uit laatste 2 stappen)'

'Vak / Ber. methode = 4 / Stochast / Stapgrootte / Beta (als 2 echter uitgaande van aanwezig met variatie)'

- II. De directory-structuur van het programma is gewijzigd. In de 'eerste versie' van PC_RING had elk faalmechanisme (inclusief de combinatie procedure) een eigen executable, in de nieuwe versie zijn deze executables vervangen door één algemene executable. (een extra voorwaarde voor het (goed) draaien van het programma is hierdoor dat de ASC-bestanden en de SW-bestanden gekopieerd moeten worden naar de directory waar de algemene executable zich in bevindt)

In tweede instantie is ter controle van de overeenkomstigheid van de nieuwe versie met de oude versie voor hetzelfde dijkvak 9. 't Schoor-Paesens een 'overloop/overslag' berekening gemaakt met versie 2.00 van PC_RING. De algemene uitvoer is nu van de gedaante:

Versie: 2.00 Datum: 17-07-2000 Tijd: 11:56:36
 Berekeningen dijkvak 9: 't Schoor - Paesens (W2-+49.9)
 Dijklocatie = 333455
 Richting dijknormaal = 15.0 [graden]
 Dijkhelling (boven) = .250 [tan]
 Kruinhoogte tov NAP = 8.27 [m]

Windr.	F	d	KsKr	alfa waarden 1, ..., aantal stochasten	betaM	betaW	betaX	beta	Pf	
	[km]	[m]	[-]	[-] [-] [-] [-]	[voor 1 berekeningsperiode]				[-]	
N.	6.50	-1.0	1.00	.0604 .1144 .0149 .1048 .0000 -.1144 -.2660 -.9390 -.0803 .0000	6.935	7.355	6.582	7.002	.127E-11	
N.O.	9.00	-1.0	1.00	.0640 .1397 .0182 .1424 .0000 -.1397 -.2373 -.9353 -.0724 .0000	7.378	7.780	7.030	7.431	.543E-13	
N.O.	9.00	-1.0	1.00	.0658 .1297 .0169 .1307 .0000 -.1297 -.2398 -.9390 -.0732 .0000	7.567	7.934	7.222	7.589	.163E-13	
O.N.O.	21.00	-1.0	1.00	.0647 .1358 .0177 .1426 .0000 -.1358 -.2473 -.9335 -.0755 .0000	7.387	7.744	7.038	7.395	.715E-13	
O.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.205	8.566	8.878	.344E-18	
O.Z.O.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.240	8.566	8.913	.251E-18	
Z.O.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.233	8.566	8.906	.269E-18	
Z.Z.O.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.204	8.566	8.877	.348E-18	
Z.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.177	8.566	8.850	.442E-18	
Z.Z.W.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.156	8.566	8.829	.534E-18	
Z.W.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.150	8.566	8.823	.564E-18	
W.Z.W.	.00	.0	.00	.0811 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2681 -.9565 -.0818 .0000	8.893	9.156	8.566	8.829	.535E-18	
W.	42.00	-1.0	1.00	.0779 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 -.2892 -.9497 -.0917 .0000	7.981	8.294	7.635	7.947	.967E-15	
W.N.W.	12.00	-1.0	1.00	.0618 .1132 .0148 .1120 .0000 -.1132 -.2265 -.9491 -.0751 .0000	6.148	6.586	5.764	6.202	.280E-09	
N.W.	7.00	-1.0	1.00	.0618 .1146 .0149 .1073 .0000 -.1146 -.1659 -.9634 -.0498 .0000	6.130	6.587	5.745	6.202	.279E-09	
N.N.W.	14.00	-1.0	1.00	.0590 .1218 .0159 .1166 .0000 -.1218 -.2673 -.9353 -.0819 .0000	6.109	6.572	5.728	6.191	.300E-09	
								Bovengrens faalkans:	6.023	.860E-09
								Ondergrens faalkans:	6.191	.300E-09
Maatgevende windrichting N.N.W. (337.5 [graden])								Resultaat combinatieprocedure:	6.023	.860E-09
								Faalkans voor totale periode:	4.985	.310E-06

Resultaten Overslag/overloop berekeningen dijkkring: Groningen Friesland
 betrouwbaarheidsindex = 4.985
 faalkans = .310E-06

Stochast	Omschrijving	Alfa waarde
1	Kruinhoogte h_k	.058
2	Modelfactor kritiek overslagdebiet m_qc	.111
3	Ruwheid binnentalud k	.014
4	Factor voor bepaling Q_b f_b	.107
5	Factor voor bepaling Q_n f_n	.000
6	Modelfactor optredend overslagdebiet m_q	-.111
7	Waterstand Harlingen	-.210
8	Windsnelheid V	-.904
9	Waterstand Delfzijl	-.066
10	Waterstand IJsselmeer	.000
11	Windrichting	-.309

Beide uitvoeren komen voor honderd procent overeen, waaruit geconcludeerd kan worden dat, met de in toelichting¹ beschreven aanpassingen in de invoerbestanden van het mechanisme 'overslag/overloop' van de vernieuwde versie van PC_RING (versie 2.00), de rekenresultaten van de oude versie van PC_RING (versie 1.01) gereproduceerd kunnen worden. Het model uit bijlage II.P blijft dus van toepassing op het in dit afstudeeronderzoek ontwikkelde model.

In derde instantie is met versie 1.01 voor dijkvak 9. 't Schoor - Paesens een 'piping' berekening gemaakt.

De algemene uitvoer is van de gedaante:

Versie: 1.01 Datum: 17-07-2000 Tijd: 11:58:13
 Berekeningen dijkvak 9: 't Schoor - Paesens (W2+49.9)
 Dijklocatie = 333455
 Richting dijknormaal = 15.0 [graden]
 Dijkhelling (boven) = .250 [tan]
 Kruinhoogte tov NAP = 8.27 [m]

Mech.	Windr.	alfa waarden 1, ..., aantal stochasten						betaM	betaW	betaX	beta	Pf
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[voor 1 berekeningsperiode]					[-]
PIPE	NOORD	.0000	-.0949	.3330	.3178	-.1524	6.730	7.121	6.071	6.463	.516E-10	
		.1524	.3047	.4571	.3280	.0800						
		.3400	-.2648	-.3289	-.1514	.0000						
COMB	NOORD	.0000	-.0949	.3330	.3178	-.1524	6.730	7.121	6.071	6.463	.516E-10	
		.1524	.3047	.4571	.0000	.3280						
		.0800	.0000	.3400	.0000	-.2648						
		-.3289	-.1514	.0000								
PIPE	N.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.175	6.151	6.519	.356E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	N.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.175	6.151	6.519	.356E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.157	6.151	6.501	.401E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.157	6.151	6.501	.401E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	O.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.144	6.151	6.487	.439E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	O.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.144	6.151	6.487	.439E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	OOST	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.154	6.151	6.498	.409E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	OOST	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.154	6.151	6.498	.409E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	O.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.182	6.151	6.526	.340E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	O.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.182	6.151	6.526	.340E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.177	6.151	6.520	.353E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.177	6.151	6.520	.353E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	Z.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.153	6.151	6.497	.412E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	Z.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.153	6.151	6.497	.412E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	ZUID	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.130	6.151	6.473	.482E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	ZUID	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.130	6.151	6.473	.482E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	Z.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.110	6.151	6.453	.549E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	.2853	-.1468	.0000						
COMB	Z.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.110	6.151	6.453	.549E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.104	6.151	6.447	.571E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.104	6.151	6.447	.571E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	W.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.109	6.151	6.453	.550E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	W.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.109	6.151	6.453	.550E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								

Mech.	Windr.	alfa waarden 1, ..., aantal stochasten						betaM	betaW	betaX	beta	Pf
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[voor 1 berekeningsperiode]				[-]	
PIPE	WEST	.0000	-.0978	.3432	.3277	-.1570	6.499	6.816	5.817	6.133	.432E-09	
		.1570	.3140	.4711	.3375	.0817						
		.3504	-.2415	-.2716	-.1414	.0000						
COMB	WEST	.0000	-.0978	.3432	.3277	-.1570	6.499	6.816	5.817	6.133	.432E-09	
		.1570	.3140	.4711	.0000	.3375						
		.0817	.0000	.3504	.0000	-.2415						
		-.2716	-.1414	.0000								
PIPE	W.N.W.	.0000	-.0989	.3469	.3323	-.1587	6.258	6.581	5.552	5.876	.211E-08	
		.1587	.3173	.4760	.3387	.0792						
		.3541	-.2044	-.2858	-.1098	.0000						
COMB	W.N.W.	.0000	-.0989	.3469	.3323	-.1587	6.258	6.581	5.552	5.876	.211E-08	
		.1587	.3173	.4760	.0000	.3387						
		.0792	.0000	.3541	.0000	-.2044						
		-.2858	-.1098	.0000								
PIPE	N.W.	.0000	-.1001	.3512	.3364	-.1607	6.198	6.501	5.485	5.788	.358E-08	
		.1607	.3214	.4820	.3433	.0806						
		.3586	-.1558	-.2884	-.0761	.0000						
COMB	N.W.	.0000	-.1001	.3512	.3364	-.1607	6.198	6.501	5.485	5.788	.358E-08	
		.1607	.3214	.4820	.0000	.3433						
		.0806	.0000	.3586	.0000	-.1558						
		-.2884	-.0761	.0000								
PIPE	N.N.W.	.0000	-.0972	.3410	.3265	-.1560	6.388	6.752	5.697	6.061	.680E-09	
		.1560	.3120	.4679	.3333	.0783						
		.3481	-.2472	-.2967	-.1231	.0000						
COMB	N.N.W.	.0000	-.0972	.3410	.3265	-.1560	6.388	6.752	5.697	6.061	.680E-09	
		.1560	.3120	.4679	.0000	.3333						
		.0783	.0000	.3481	.0000	-.2472						
		-.2967	-.1231	.0000								
										Bovengrens faalkans:	5.666	.734E-08
										Ondergrens faalkans:	5.788	.358E-08
Maatgevende windrichting N.W. (315.0 [graden])										Resultaat combinatieprocedure:	5.684	.661E-08
										Faalkans voor totale periode:	4.594	.218E-05

Resultaten Opbarsten/piping berekeningen dijkkring: Groningen Friesland
 Betrouwbaarheidsindex = 4.594
 Faalkans = .218E-05

Stochast	Omschrijving	Alfa waarde
1	Dikte afsluitlaag d	.000
2	Dikte zandlaag D	-.096
3	Breedte waterkering B	.336
4	Rolweerstandshoek "theta"	.322
5	Factor C-Bear	-.154
6	Korrelgrootte d_70	.154
7	Uniformiteit d_70/d_10	.307
8	Constante van White	.461
9	Rel. vol. gewicht opb. Grond	.000
10	Rel. vol. gewicht zand	.329
11	Binnenwaterstand h_b	.078
12	Modelfactor opbarsten	.000
13	Modelfactor piping	.343
14	Modelfactor demping	.000
15	Waterstand Harlingen	-.183
16	Windsnelheid V	-.278
17	Waterstand Delfzijl	-.095
18	Waterstand IJsselmeer	.000
19	Windrichting	-.262

In laatste instantie is met versie 2.00 voor dijkvak 9. 't Schoor – Paesens een 'piping' berekening gemaakt.
 De algemene uitvoer is van de gedaante:

Versie: 1.01 Datum: 17-07-2000 Tijd: 12:01:23
 Berekeningen dijkvak 9: 't Schoor - Paesens (W2++49.9)
 Dijklocatie = 333455
 Richting dijknormaal = 15.0 [graden]
 Dijkhelling (boven) = .250 [tan]
 Kruinhoogte tov NAP = 8.27 [m]

Mech.	Windr.	alfa waarden 1, ..., aantal stochasten						betaM	betaW	betaX	beta	Pf
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[voor 1 berekeningsperiode]				[-]	
PIPE	NOORD	.0000	-.0949	.3330	.3178	-.1524	6.730	7.121	6.071	6.463	.516E-10	
		.1524	.3047	.4571	.3280	.0800						
		.3400	-.2648	-.3289	-.1514	.0000						
COMB	NOORD	.0000	-.0949	.3330	.3178	-.1524	6.730	7.121	6.071	6.463	.516E-10	
		.1524	.3047	.4571	.0000	.3280						
		.0800	.0000	.3400	.0000	-.2648						
		-.3289	-.1514	.0000								
PIPE	N.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.175	6.151	6.519	.356E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						
COMB	N.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.175	6.151	6.519	.356E-10	
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382						
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474						
		-.2853	-.1468	.0000								
PIPE	N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.157	6.151	6.501	.401E-10	
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862						
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000						

Mech.	Windr.	alfa waarden 1, ..., aantal stochasten					betaM	betaW	betaX	beta	Pf
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[voor 1 berekeningsperiode]			[-]	
COMB	N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.157	6.151	6.501	.401E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	O.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.144	6.151	6.487	.439E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	O.N.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.144	6.151	6.487	.439E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	OOST	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.154	6.151	6.498	.409E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	OOST	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.154	6.151	6.498	.409E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	O.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.182	6.151	6.526	.340E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	O.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.182	6.151	6.526	.340E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.177	6.151	6.520	.353E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.177	6.151	6.520	.353E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	Z.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.153	6.151	6.497	.412E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	Z.Z.O.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.153	6.151	6.497	.412E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	ZUID	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.130	6.151	6.473	.482E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	ZUID	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.130	6.151	6.473	.482E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	Z.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.110	6.151	6.453	.549E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	Z.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.110	6.151	6.453	.549E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.104	6.151	6.447	.571E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.104	6.151	6.447	.571E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	W.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.109	6.151	6.453	.550E-10
		.1557	.3114	.4672	.3382	.0862					
		.3473	-.2474	-.2853	-.1468	.0000					
COMB	W.Z.W.	.0000	-.0970	.3402	.3234	-.1557	6.807	7.109	6.151	6.453	.550E-10
		.1557	.3114	.4672	.0000	.3382					
		.0862	.0000	.3473	.0000	-.2474					
		-.2853	-.1468	.0000							
PIPE	WEST	.0000	-.0978	.3432	.3277	-.1570	6.499	6.816	5.817	6.133	.432E-09
		.1570	.3140	.4711	.3375	.0817					
		.3504	-.2415	-.2716	-.1414	.0000					
COMB	WEST	.0000	-.0978	.3432	.3277	-.1570	6.499	6.816	5.817	6.133	.432E-09
		.1570	.3140	.4711	.0000	.3375					
		.0817	.0000	.3504	.0000	-.2415					
		-.2716	-.1414	.0000							
PIPE	W.N.W.	.0000	-.0989	.3469	.3323	-.1587	6.258	6.581	5.552	5.876	.211E-08
		.1587	.3173	.4760	.3387	.0792					
		.3541	-.2044	-.2858	-.1098	.0000					
COMB	W.N.W.	.0000	-.0989	.3469	.3323	-.1587	6.258	6.581	5.552	5.876	.211E-08
		.1587	.3173	.4760	.0000	.3387					
		.0792	.0000	.3541	.0000	-.2044					
		-.2858	-.1098	.0000							
PIPE	N.W.	.0000	-.1001	.3512	.3364	-.1607	6.198	6.501	5.485	5.788	.358E-08
		.1607	.3214	.4820	.3433	.0806					
		.3586	-.1558	-.2884	-.0761	.0000					
COMB	N.W.	.0000	-.1001	.3512	.3364	-.1607	6.198	6.501	5.485	5.788	.358E-08
		.1607	.3214	.4820	.0000	.3433					
		.0806	.0000	.3586	.0000	-.1558					
		-.2884	-.0761	.0000							
PIPE	N.N.W.	.0000	-.0972	.3410	.3265	-.1560	6.388	6.752	5.697	6.061	.680E-09
		.1560	.3120	.4679	.3333	.0783					
		.3481	-.2472	-.2967	-.1231	.0000					
COMB	N.N.W.	.0000	-.0972	.3410	.3265	-.1560	6.388	6.752	5.697	6.061	.680E-09
		.1560	.3120	.4679	.0000	.3333					
		.0783	.0000	.3481	.0000	-.2472					
		-.2967	-.1231	.0000							

	Bovengrens faalkans:	5.666	.734E-08
	Ondergrens faalkans:	5.788	.358E-08
Maatgevende windrichting N.W. (315.0 [graden])	Resultaat combinatieprocedure:	5.684	.661E-08
	Faalkans voor totale periode:	4.594	.218E-05

Resultaten Opbarsten/piping berekeningen dijkkring: Groningen Friesland
 Betrouwbaarheidsindex = 4.594
 Faalkans = .218E-05

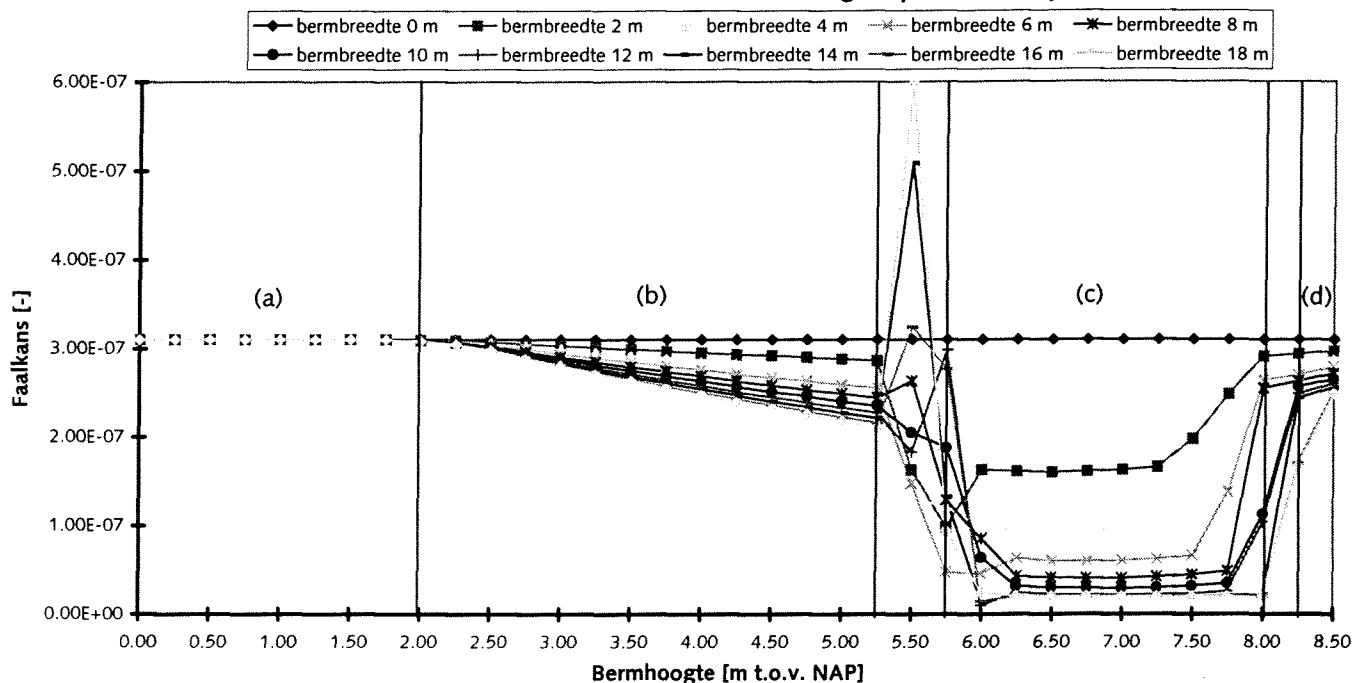
Stochast	Ormschrijving	Alfa waarde
1	Dikte afsluitlaag d	.000
2	Dikte zandlaag D	-.096
3	Breedte waterkering B	.336
4	Rolweerstandshoek "theta"	.322
5	Factor C-Bear	-.154
6	Korrelgrootte d_70	.154
7	Uniformiteit d_70/d_10	.307
8	Constante van White	.461
9	Rel. vol. gewicht opb. Grond	.000
10	Rel. vol. gewicht zand	.329
11	Binnenwaterstand h_b	.078
12	Modelfactor opbarsten	.000
13	Modelfactor piping	.343
14	Modelfactor demping	.000
15	Waterstand Harlingen	-.183
16	Windsnelheid V	-.278
17	Waterstand Delfzijl	-.095
18	Waterstand IJsselmeer	.000
19	Windrichting	-.262

Beide uitvoeren komen voor honderd procent overeen, waaruit geconcludeerd kan worden dat, met de in toelichting¹ beschreven aanpassingen in de invoerbestanden van het mechanisme 'piping' van de vernieuwde versie van PC_RING (versie 2.00), de rekenresultaten van de oude versie van PC_RING (versie 1.01) gereproduceerd kunnen worden. Het model uit bijlage II.Q blijft dus van toepassing op het in dit afstudeeronderzoek ontwikkelde model.

Bijlage II.T Vergelijking overslagmodel 3 en 7

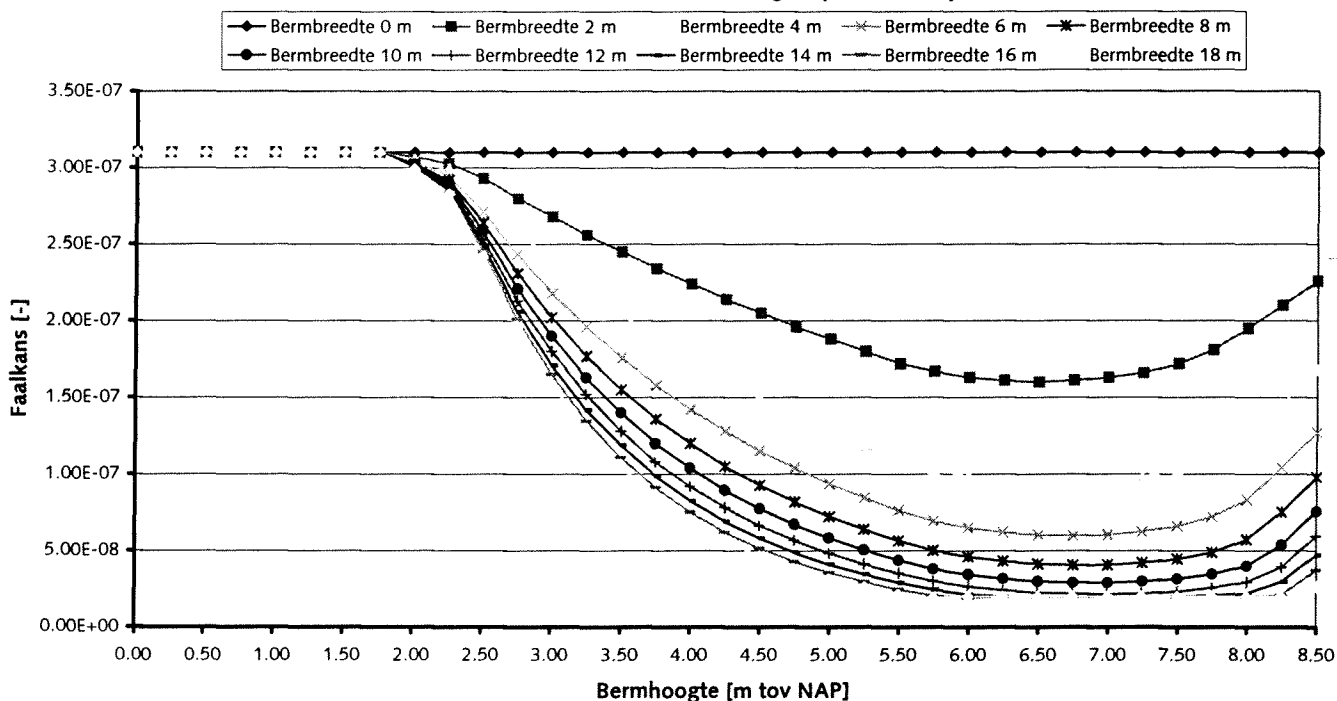
Grafiek II.T.1 toont de resultaten van PC_RING berekeningen van dijkvak 9. 't Schoor-Paesens waarbij de bermhoogte is gevarieerd van 0 meter t.o.v. NAP tot 8,5 meter t.o.v. NAP en de bermbreedte is gevarieerd van 0 meter tot 18 meter. Bij deze berekening is gebruik gemaakt van overslagmodel 3.

Grafiek II.T.1 Invloed bermbreedte en bermhoogte op faalkans dijkvak 9.



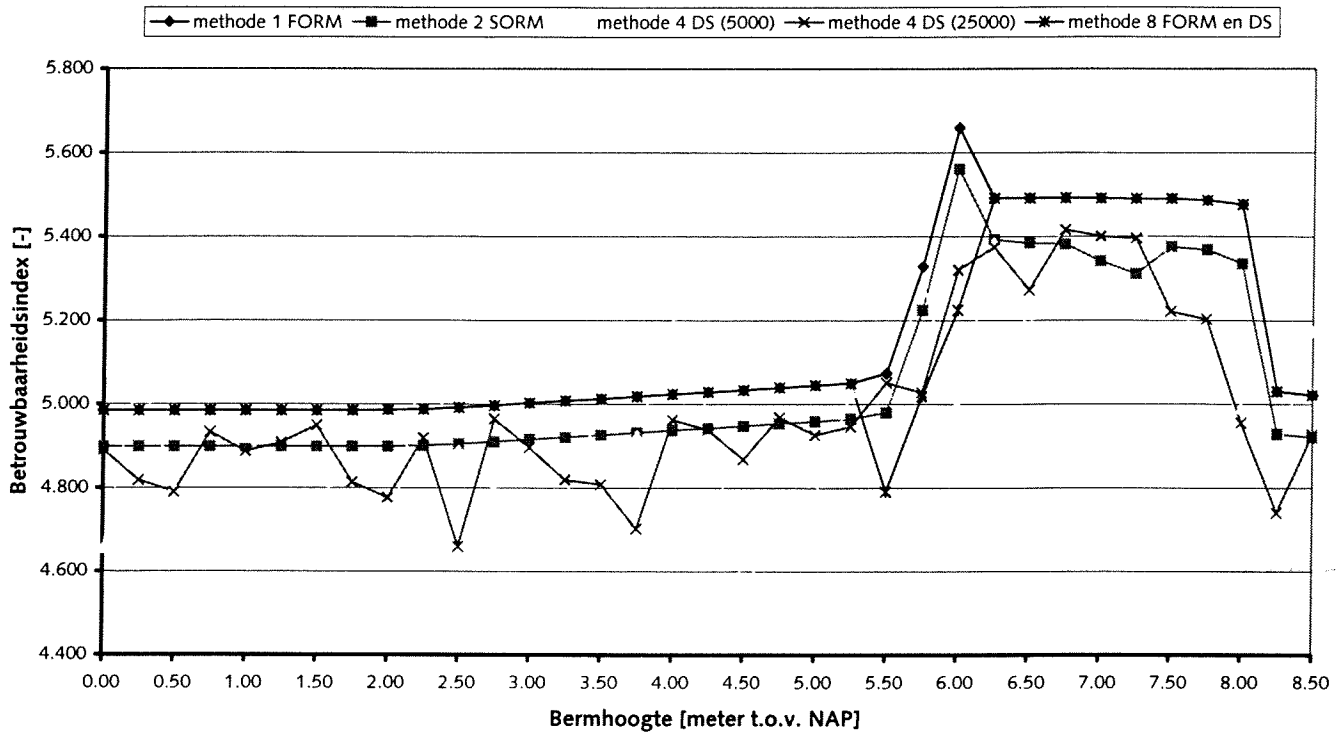
Grafiek II.T.2 toont de resultaten van PC_RING berekeningen van dijkvak 9. 't Schoor-Paesens waarbij de bermhoogte is gevarieerd van 0 meter t.o.v. NAP tot 8,5 meter t.o.v. NAP en de bermbreedte is gevarieerd van 0 meter tot 18 meter. Bij deze berekening is gebruik gemaakt van overslagmodel 7.

Grafiek II.T.2 Invloed bermbreedte en bermhoogte op faalkans dijkvak 9.



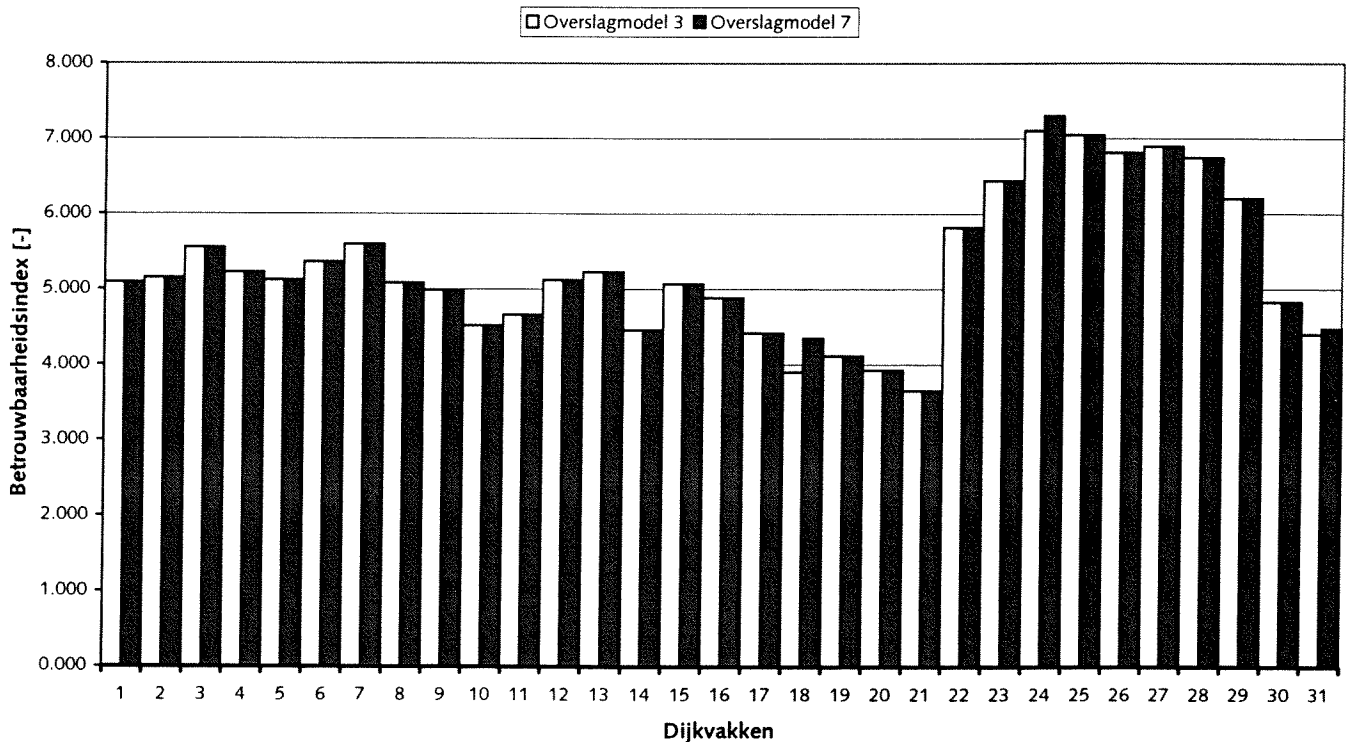
Grafiek II.T.3 toont de berekeningsresultaten van hetzelfde dijkvak met verschillende berekeningsmethoden. Het blijkt dat zowel de FORM- als de SORM-methode niet convergeren bij een bermhoogte van 5 tot 6 meter t.o.v. NAP. De DS-methode geeft voor zowel 5000 als 25000 samples een sprongsgewijs verloop, hetgeen erop duidt dat het aantal samples te klein is.

Invloed van de verschillende berekeningsmethoden dijkvak 9 't Schoor - Paesens



Grafiek II.T.4 toont de verschillen die zijn ontstaan in de faalkansen (*betrouwbaarheidsindices*) na het corrigeren van het overslagmodel.

Vergelijking overslagmodel



Bijlage II.U Fieldtrip Waddenzeedijken Friesland

- Bijlage II.U.1 Routebeschrijving
- Bijlage II.U.2 Kaart 1: Hoek van de Bant
- Bijlage II.U.3 Fotolocatie Hoek van de Bant [1]
- Bijlage II.U.4 Kaart 2: Paesens en Moddergat
- Bijlage II.U.5 Fotolocatie Paesens [2]
- Bijlage II.U.6 Kaart 2: Paesens en Moddergat
- Bijlage II.U.7 Fotolocatie Moddergat [3]
- Bijlage II.U.8 Kaart 3: Holwerd
- Bijlage II.U.9 Fotolocatie Holwerd [4]
- Bijlage II.U.10 Kaart 4: Marrum
- Bijlage II.U.11 Fotolocatie Marrum [5]
- Bijlage II.U.12 Kaart 5: Noorderleegpolder
- Bijlage II.U.13 Fotolocatie Noorderleegpolder [6]
- Bijlage II.U.14 Kaart 5: Nieuwebildtzijl
- Bijlage II.U.15 Fotolocatie Nieuwebildtzijl [7]
- Bijlage II.U.16 Kaart 6: Zwarte Haan
- Bijlage II.U.17 Fotolocatie Zwarte Haan [8]
- Bijlage II.U.18 Kaart 7: Westhoek
- Bijlage II.U.19 Fotolocatie Westhoek [9]
- Bijlage II.U.20 Kaart 8: Slachte
- Bijlage II.U.21 Fotolocatie Slachte [10]
- Bijlage II.U.22 Kaart 9: Harlingen
- Bijlage II.U.23 Fotolocatie Harlingen [11]
- Bijlage II.U.24 Kaart 10: Zurich
- Bijlage II.U.25 Fotolocatie Zurich [12]
- Bijlage II.U.26 Routekaart

Bijlage II.U.1 Routebeschrijving

Gedurende de fieldtrip zijn de volgende Waddenzeedijkvakken gepasseerd¹:

.....*Verwijzing*¹
Zie bijlage II.A voor een geografisch overzicht van de dijkvakken

Dijkvak nr.	Naam van het dijkvak
10.	Paesens – Lauwersoog
9.	't Schoor – Paesens
8.	Opdijk Oostholwerdepolder – 't Schoor
7.	Westholwerdepolder – Opdijk Oostholwerdepolder
6.	Noorderleeg – Westholwerdepolder
5.	Zwarte Haan – Noorderleeg
4.	Westhoek – Zwarte Haan
3.	Koehool / Slachte – Westhoek
2.	Harlingen (noord) – Koehool / Slachte
1.	Kop Afsluitdijk – Harlingen (zuid)

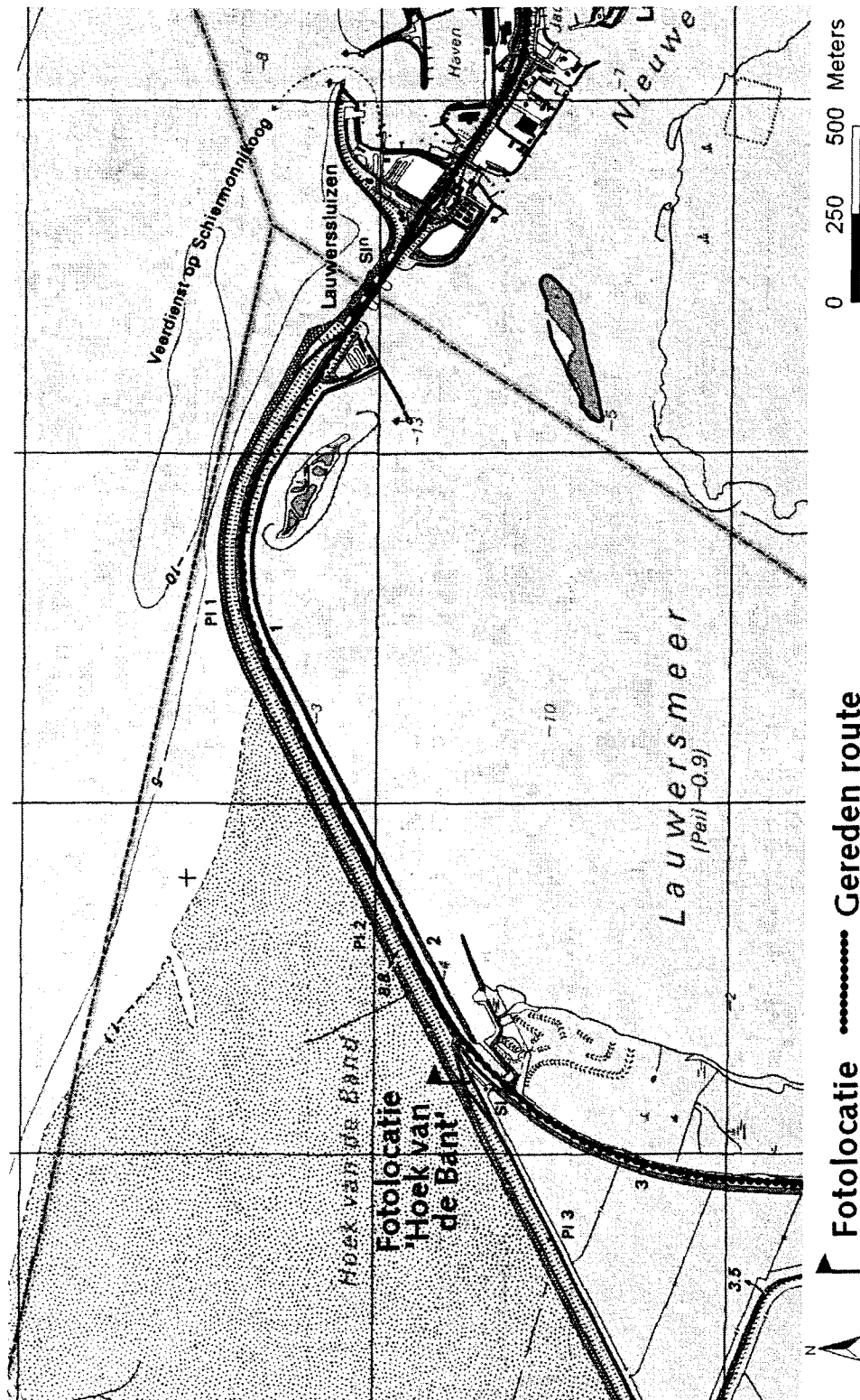
.....*Toelichting*¹
De routebeschrijving is gemaakt naar aanleiding van een fieldtrip naar het studiegebied op dinsdag 8 augustus 2000

De route² is aangevangen te Lauwersoog (zie *Routekaart Start-markering*) al vanwaar de N361 gevolgd is over de Lauwersluizen en de Lauwersdam naar de Hoek van de Bant. Ter hoogte van de aansluiting van de Lauwersdam met het vaste land (zie *Kaart 1: Hoek van de Bant (Lauwersmeer)*) bevindt zich de eerste fotolocatie (*Fotolocatie Hoek van de Bant [1]*). De weg is vervolgd via de N361 richting Anjum. Op de kruising van de N361 met de Boltawei is rechts afgeslagen, waarna de Boltawei werd gevolgd tot in Paesens. Tussen PI 7 en 8 (zie *Kaart 2: Paesens en Moddergat*) bevindt zich fotolocatie twee (*Fotolocatie Paesens [2]*). De weg is vervolgd via de dorpskern van Paesens naar Moddergat, alwaar fotolocatie drie zich bevindt nabij PI 8 (*Fotolocatie Moddergat [3]*). Op weg naar de volgende locatie is de route vervolgd via de Mokselbankwei, de Niitsjerksterwei, de dorpskern van Nes, de Nesserwei, de dorpskern van Wierum, de Ternaarderwei, de N358, Ternaard, Holwerd en tenslotte de Grândyk (zie *Kaart 3: Holwerd*). Net voorbij het veerhuis ten noorden van Holwerd langs de doorgaande weg naar de veerboot op Ameland bevindt zich de volgende fotolocatie (*Fotolocatie Holwerd [4]*). Terug via de Grândyk en vervolgens via de N367, Blij en Ferwert tot aan de kruising in Marrum, alwaar rechts afgeslagen is om via Ozingaloane te komen bij fotolocatie vijf (zie *Kaart 4: Marrum*). Fotolocatie vijf (*Fotolocatie Marrum [5]*) bevindt zich aan het einde van de Ozingaloane. Langs de buiten- en binnenzijde van de zeedijk is de weg vervolgd naar fotolocatie zes (*Fotolocatie Noorderleegpolder[6]*; zie *Kaart 5: Nieuwebildtzijl*). Daarna weer terug richting Marrum via de Westerhûsloane en de Hoge Herenweg. Vervolgens via de Roodschuursterlaan, Vijfhuizen, de Koe-dijk tot in Nieuwebildtzijl. Ter hoogte van Nieuwebildtzijl is naar rechts afgeslagen naar fotolocatie zeven (*Fotolocatie Nieuwebildtzijl [7]*) nabij PIⁿ 26. Daarna weer terug naar Nieuwebildtzijl, links af via de Nieuwe bildtdijk naar Zwarte Haan (zie *Kaart 6: Zwarte Haan*). De achtste fotolocatie (*Fotolocatie Zwarte Haan [8]*) bevindt zich nabij PIⁿ 20. De weg is vervolgd via de Nieuwe Bildtdijk, de Schuringaweg, de Oude Bildtdijk langs Westhoek. Net voorbij Westhoek is naar rechts afgeslagen om zo te komen bij de negende fotolocatie (*Fotolocatie Westhoek [9]*) bij PIⁿ 13 (zie *Kaart 7: Westhoek*). De weg is vervolgd via de Armendijk naar Dijkshoek, alwaar naar rechts is afgeslagen om vervolgens langs de binnenzijde van de dijk de route te vervolgen naar Koehool en Slachte (zie *Kaart 8: Slachte*). Ter hoogte van Slachte bevindt zich de tiende fotolocatie (*Fotolocatie Slachte [10]*) tussen PIⁿ 7 en 8.

Vervolgens verder langs de binnenzijde van de dijk en de Dijkvaart naar de industriehaven van Harlingen. Via de dijk langs de industriehaven gevolgd door de Vissershaven en de Nieuwe Willemshaven (zie Kaart 9: Harlingen). Bij het spoor ter hoogte van de Willemshaven bevindt zich fotolocatie elf (*Fotolocatie Halingen [11]*). Vanuit Harlingen is tenslotte de weg vervolgd via de parallelweg aan de N31 naar Zurich. Tussen PI 6 en 7 bevindt zich de laatste fotolocatie (*Fotolocatie Zurich [12]*; zie Kaart 10: Zurich).

Tenslotte wil ik mijn dank betuigen aan Alex Roos voor de tijd die hij heeft vrij gemaakt om mij te vergezellen deze dag en voor de gezelligheid die hij meebracht.

Bijlage II.U.2 Kaart 1: Hoek van de Bant



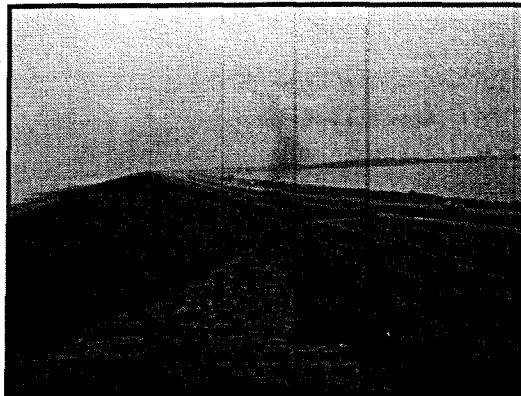
Bijlage II.U.3 Fotolocatie Hoek van de Bant [1]

.....**Toelichting**.....

Foto 1. Hoek van de Bant (*Lauwersmeer*); Vanaf de binnenkruinlijn van de zeedijk in oostelijk richting

Belangrijke kenmerken:

- Binnentaludbekleding: gras (*veelal begraasd door schapen*)
- Binnentaludhelling: ongeveer 1:3
- Aanwezigheid onderhoudsweg



.....**Toelichting**.....

Foto 2. Hoek van de Bant (*Lauwersmeer*); Vanaf het buitentalud van de zeedijk in oostelijk richting ter hoogte van de asfaltbetonbekleding (*hoog*)

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4

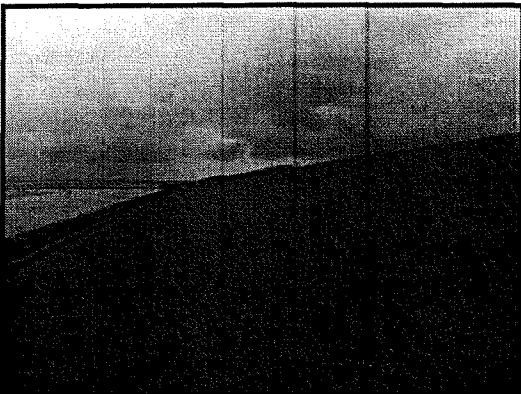


.....**Toelichting**.....

Foto 3. Hoek van de Bant (*Lauwersmeer*); Vanaf het buitentalud van de zeedijk in oostelijk richting ter hoogte van de asfaltbetonbekleding (*laag*)

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4

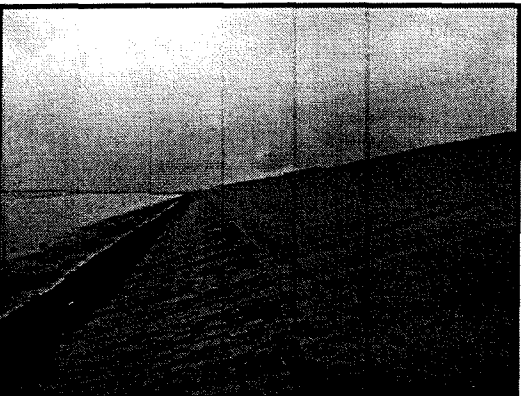


.....**Toelichting**.....

Foto 4. Hoek van de Bant (*Lauwersmeer*); Vanaf het buitentalud van de zeedijk in oostelijk richting ter hoogte van de koperslagblokkenbekleding (*laag*)

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk koperslagblokken
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4
- Teen: breuksteen



Bijlage II.U.5 Fotolocatie Paesens [2]

.....Toelichting.....

Foto 5. Paesens; Vanaf de kruin van de zeedijk in oostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Binnentaludbekleding: gras (*veelal begraasd door schapen*)
- Binnentaludhelling: ongeveer 1:3
- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4

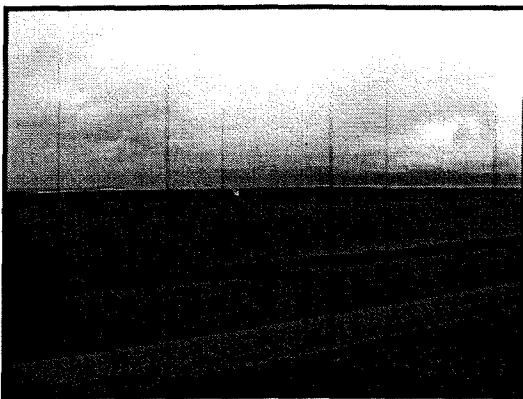


.....Toelichting.....

Foto 6. Paesens; Vanaf de kruin van de zeedijk in noordoostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Voorland: ongeveer 1 meter boven NAP; breed
- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....Toelichting.....

Foto 7. Paesens; Vanaf de kruin van de zeedijk in noordwestelijke richting ter plaatse van eerder opgetreden instabiliteit

Belangrijke kenmerken:

- Instabiliteit bij aanleg (*afschuiving*); dit is te zien aan de glooiing in de asfaltbekleding (A) en de rare knik (B)
- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....Toelichting.....

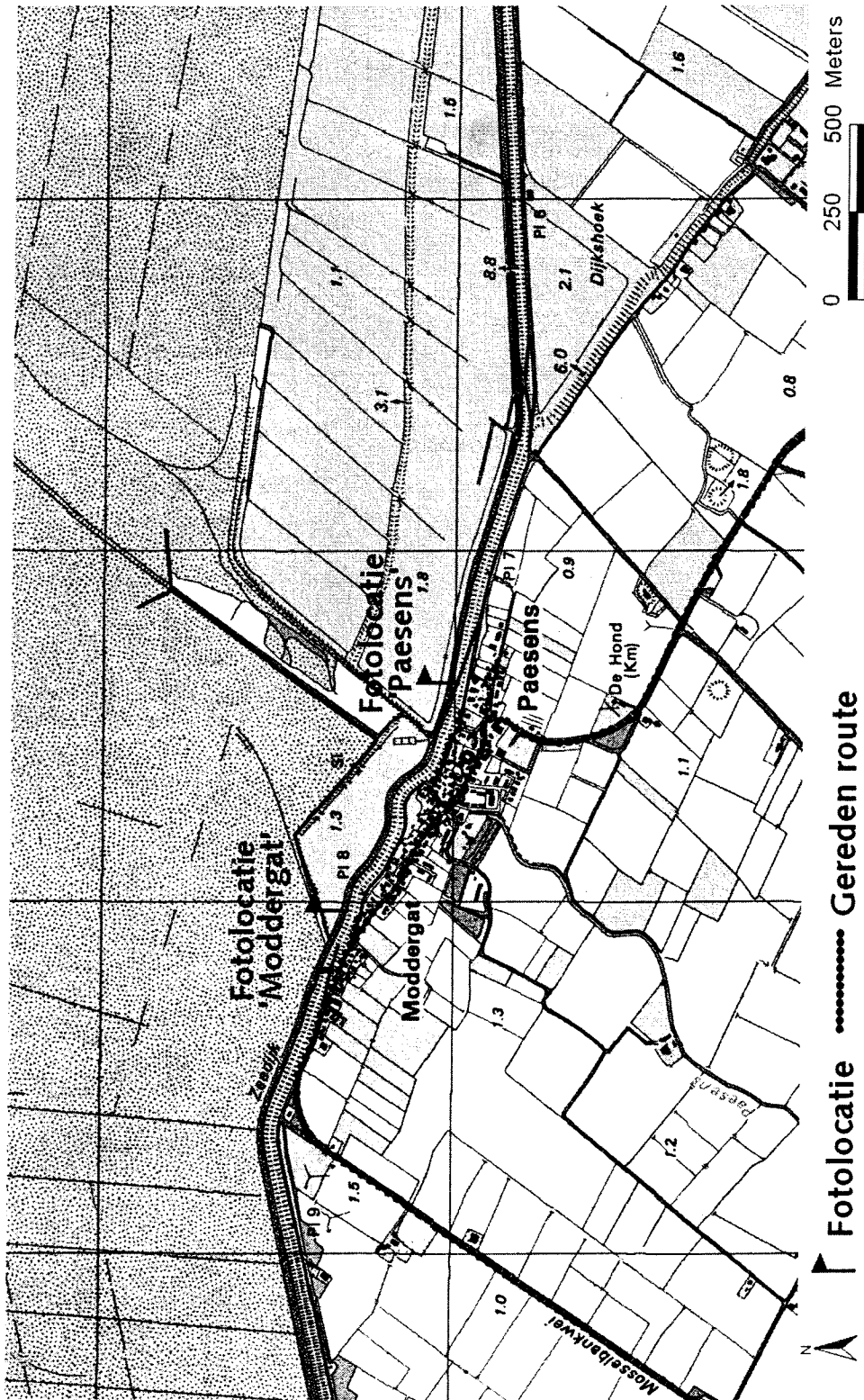
Foto 8. Paesens; Vanaf de kruin van de zeedijk in noordwestelijke richting ter plaatse van eerder opgetreden instabiliteit

Belangrijke kenmerken:

- Instabiliteit bij aanleg (*afschuiving*); wellicht is de natte plek aan de teen van de dijk ook een aanwijzing dat hier een instabiliteit heeft plaatsgevonden (A)
- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



Bijlage II.U.6 Kaart 2: Paesens en Moddergat



Bijlage II.U.7 Fotolocatie Moddergat [3]

.....**Toelichting**.....

Foto 9. Moddergat; Vanaf de buitenkruinlijn van de zeedijk in oostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

Foto 10. Moddergat; Vanaf de binnenkruinlijn van de zeedijk in westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Binnentaludbekleding: gras (*geen begrazing*)
- Binnentaludhelling: ongeveer 1:3

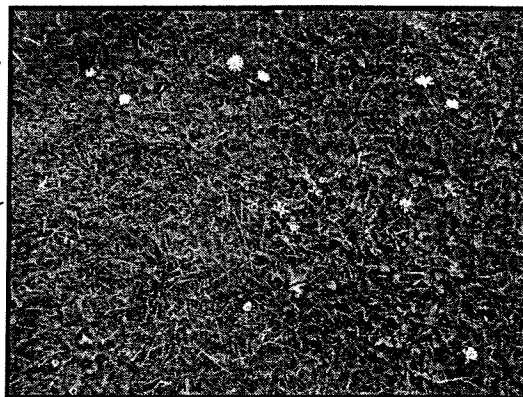


.....**Toelichting**.....

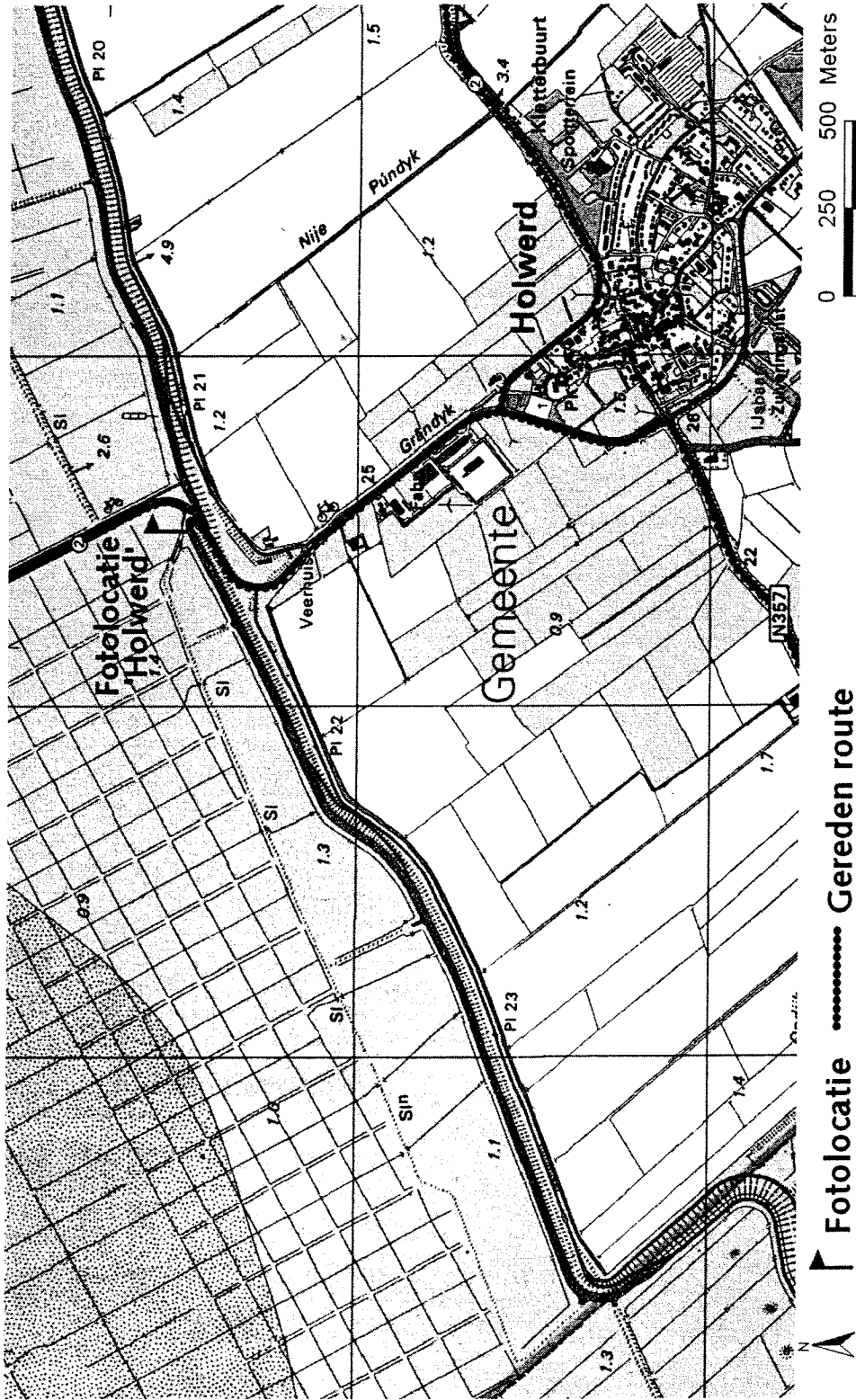
Foto 11. Moddergat; Binnentalud

Belangrijke kenmerken:

- Binnentaludbekleding: gras (*geen begrazing*)
- Graskwaliteit: Hoog; het is moeilijk om met de vingers een opening in het gras te creëren waardoor de ondergrond zichtbaar wordt



Bijlage II.U.8 Kaart 3: Holwerd



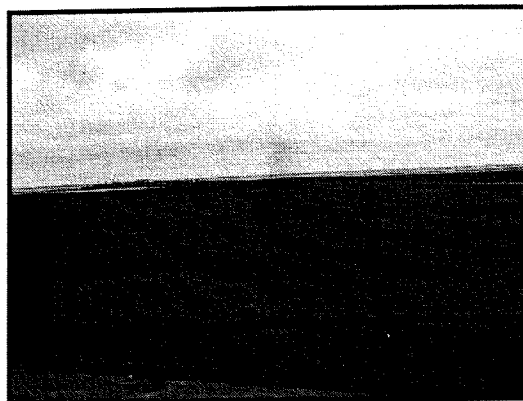
Bijlage II.U.9 Fotolocatie Holwerd [4]

.....**Toelichting**.....

Foto 12. Holwerd (Veerhuis); Voorland

Belangrijke kenmerken:

- Voorland: ongeveer 1 meter boven NAP; breed



.....**Toelichting**.....

Foto 13. Holwerd (Veerhuis); Vanaf het buitentalud van de zeedijk in zuidwestelijke richting ter hoogte van de asfaltbetonbekleding (hoog)

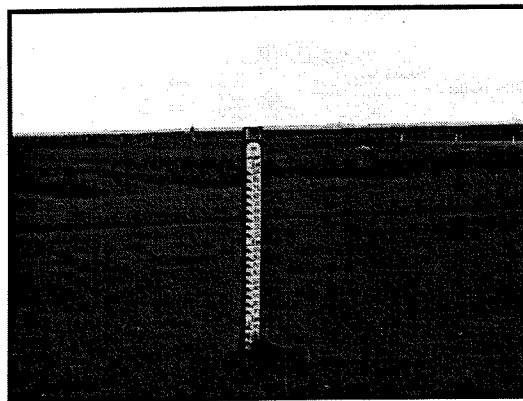
Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



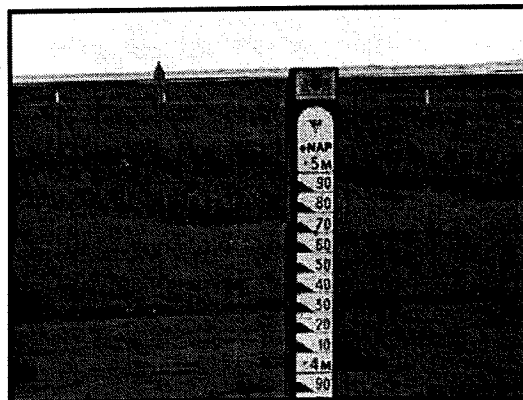
.....**Toelichting**.....

Foto 14. Holwerd (Veerhuis); NAP schaal

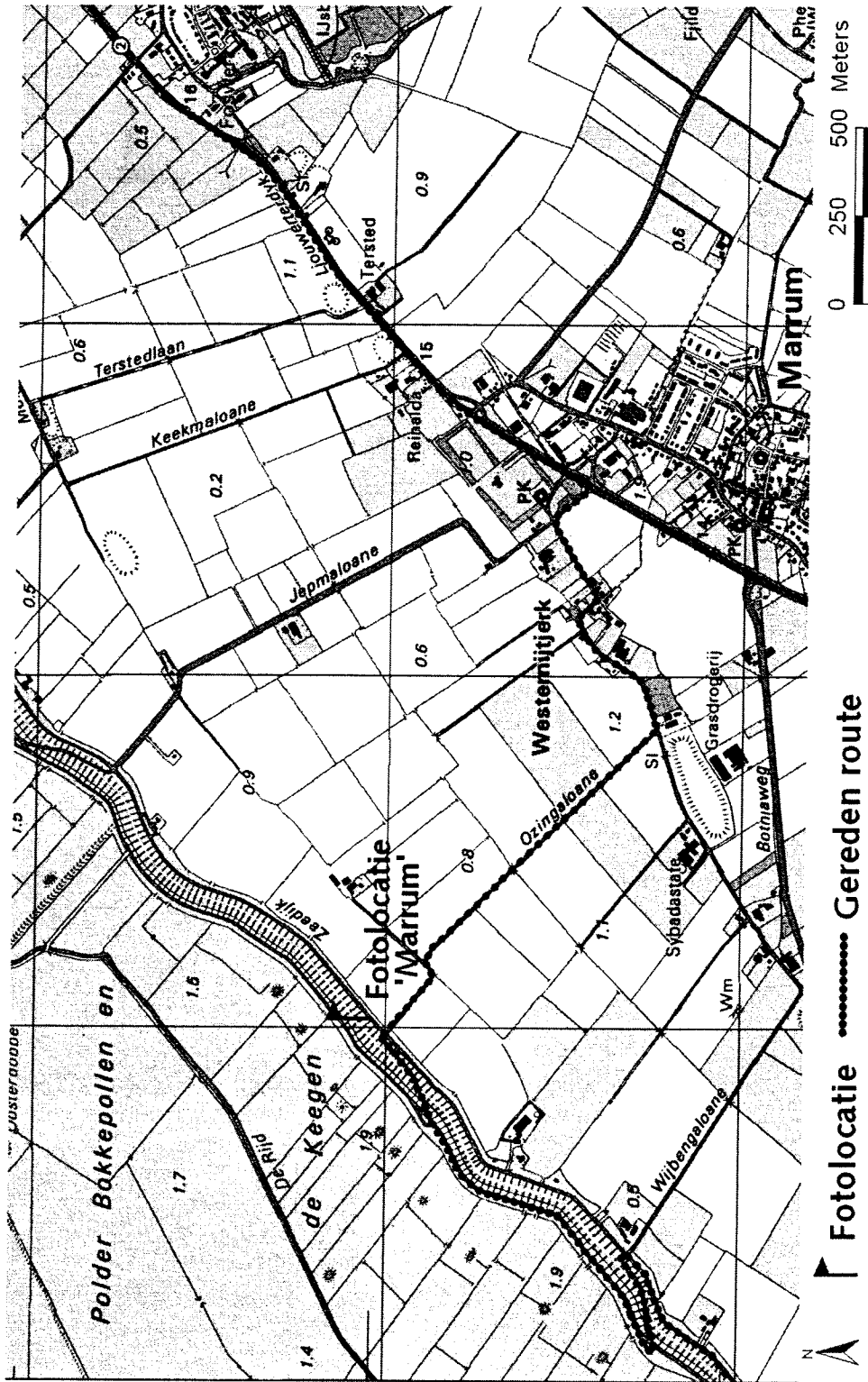


.....**Toelichting**.....

Foto 15. Holwerd (Veerhuis); NAP schaal



Bijlage II.U.10 Kaart 4: Marrum



Bijlage II.U.11 Fotolocatie Marrum [5]

.....**Toelichting**.....

Foto 16. Marrum; Vanaf de binnenkruinlijn van de zeedijk in noord-oostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Binnentaludbekleding: gras (*veelal begraasd door schapen*)
- Binnentaludhelling: ongeveer 1:3
- Aanwezigheid onderhoudsweg



.....**Toelichting**.....

Foto 17. Marrum; Vanaf de buitenkruinlijn van de zeedijk in noordelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Voorland: ongeveer 2 meter boven NAP ; breed



.....**Toelichting**.....

Foto 18. Marrum; Vanaf de buitenkruinlijn van de zeedijk in zuidwestelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gras (*veelal begraasd door schapen*)
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:8
- Aanwezigheid onderhoudsweg

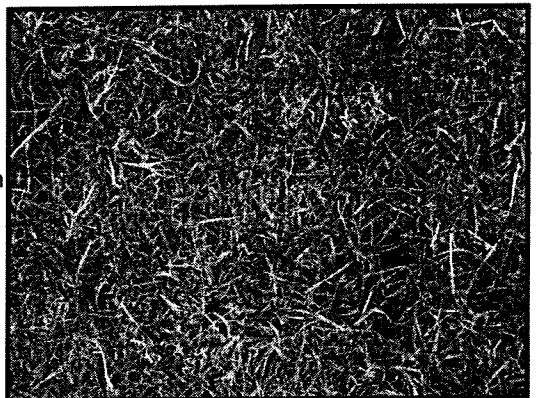


.....**Toelichting**.....

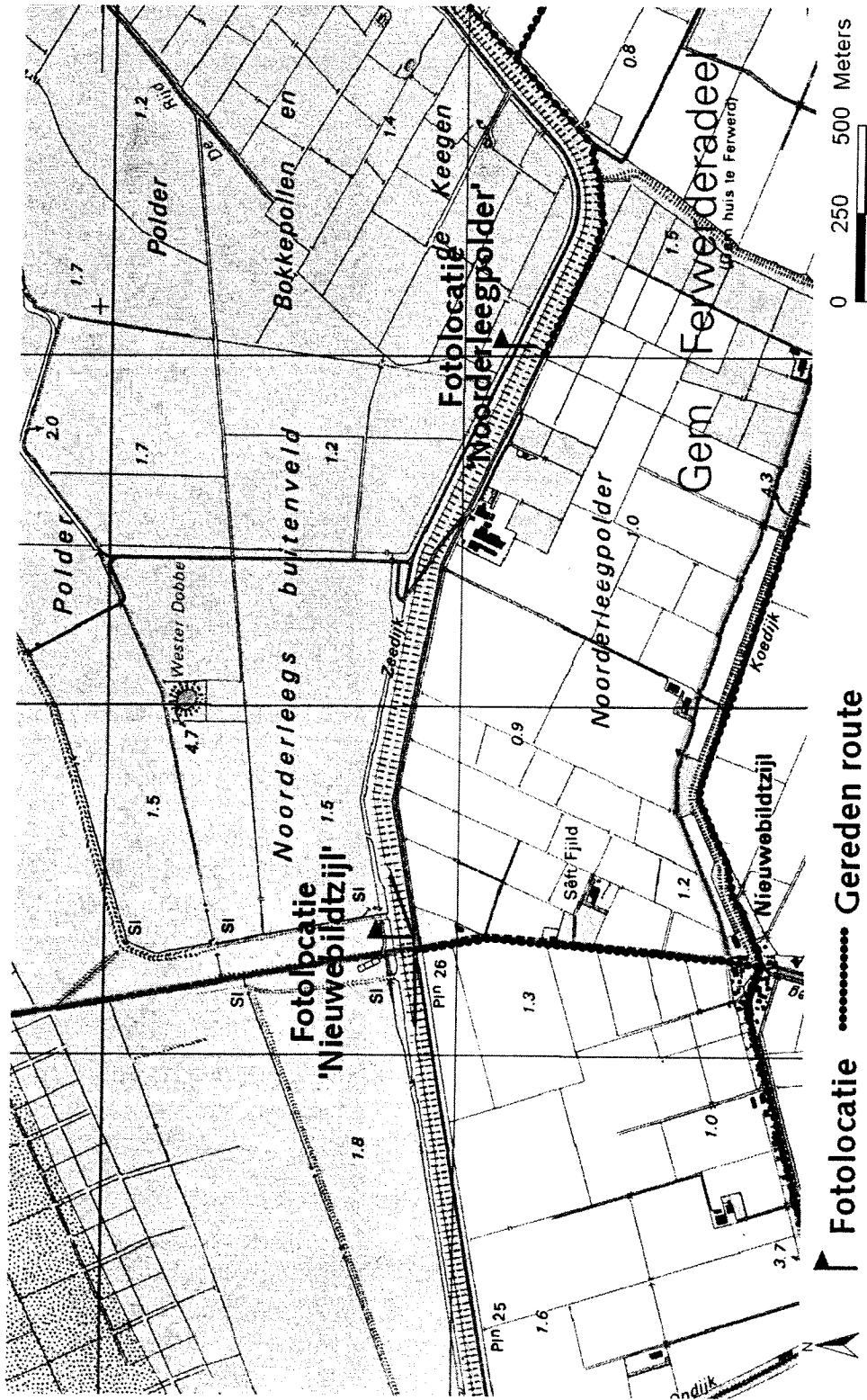
Foto 19. Marrum; Binnentalud

Belangrijke kenmerken:

- Binnentaludbekleding: gras (*wel begrazing*)
- Graskwaliteit: Laag; er zitten veel dode wortels tussen het gras en hier en daar komt de ondergrond door de graslaag heen



Bijlage II.U.12 Kaart 5: Noorderleegpolder



Fotolocatie Gereden route

Bijlage II.U.13 Fotolocatie Noorderleegpolder [6]

.....**Toelichting**.....

Foto 20. Noorderleegpolder; Vanaf de binnenkruinlijn van de zeedijk in zuidoostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gras
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:8



Bijlage II.U.15 Fotolocatie Nieuwebildtzijl [7]

.....**Toelichting**.....

Foto 21. Nieuwebildtzijl; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in oostelijke richting (*hoog*)

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

Foto 22. Nieuwebildtzijl; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in oostelijke richting (*laag*)

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

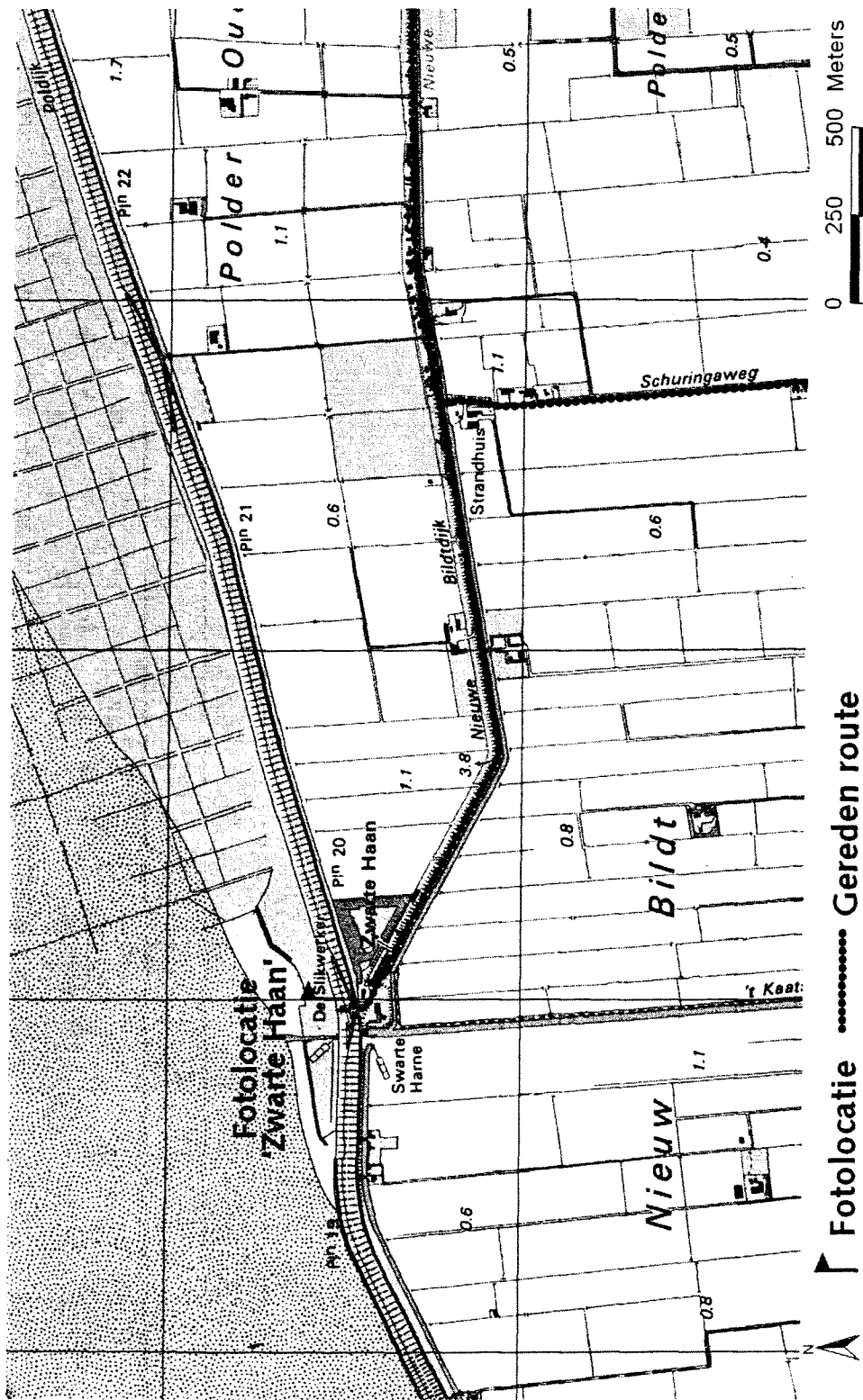
Foto 23. Nieuwebildtzijl; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



Bijlage II.U.16 Kaart 6: Zwarte Haan



Bijlage II.U.17 Fotolocatie Zwarte Haan [8]

.....**Toelichting**.....

Foto 24. Zwarte Haan (*De slikwerker*); Vanaf de buitenkruinlijn van de zeedijk in noordoostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

Foto 25. Zwarte Haan (*De slikwerker*); Vanaf de buitenkruinlijn van de zeedijk in noordoostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

Foto 26. Zwarte Haan (*De slikwerker*); Vanaf de binnenkruinlijn van de zeedijk in westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4
- Aanwezigheid onderhoudsweg



.....**Toelichting**.....

Foto 27. Zwarte Haan (*De slikwerker*); Vanaf het buitentalud van de zeedijk in westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4
- Aanwezigheid onderhoudsweg
- Aanwezigheid steigerconstructie ten behoeve van het gemaal



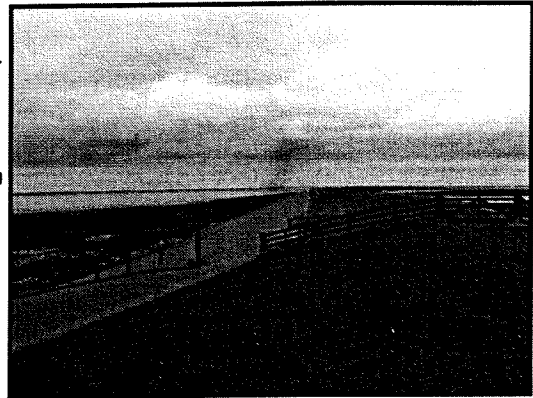
Bijlage II.U.19 Fotolocatie Westhoek [9]

.....**Toelichting**.....

Foto 28. Westhoek; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in noord-oostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

Foto 29. Westhoek; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in noord-westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Voorland: smal



.....**Toelichting**.....

Foto 30. Westhoek; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in zuid-westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras en gedeeltelijk asfaltbeton
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



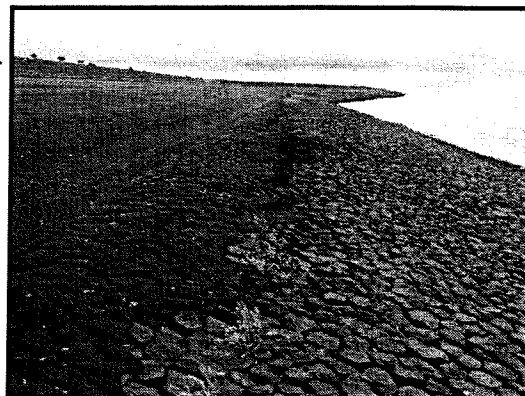
Bijlage II.U.21 Fotolocatie Slachte [10]

.....**Toelichting**.....

Foto 31. Slachte; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in zuid-westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk gras (*begraasd*)
gedeeltelijk asfaltbeton
gedeeltelijk basaltzuilen
gedeeltelijk noorse keien
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

Foto 32. Slachte; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in zuid-westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk basaltzuilen en gedeeltelijk noorse keien
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....**Toelichting**.....

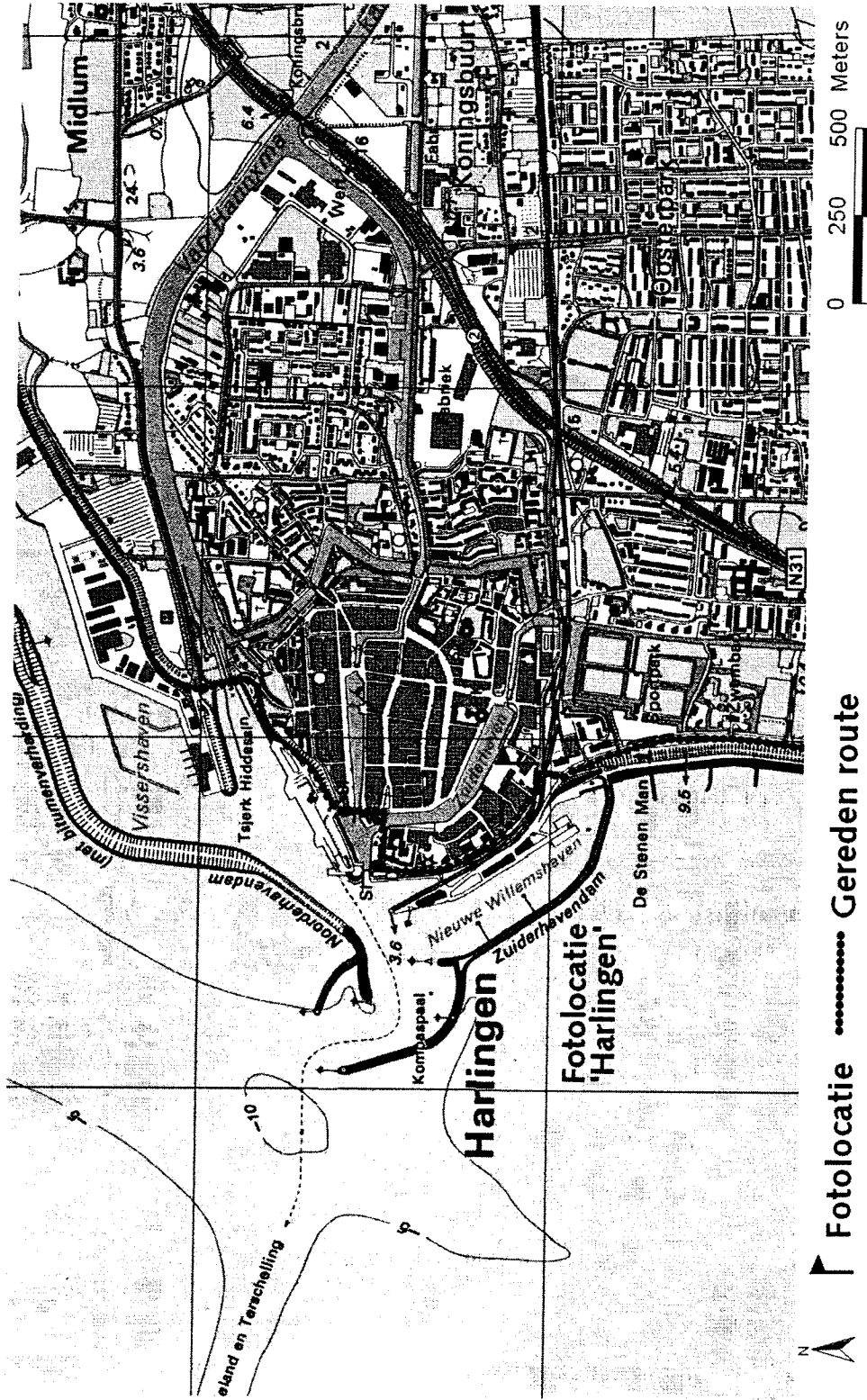
Foto 33. Slachte; Buitentalud

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: basaltzuilen
- Bekledingskwaliteit: Laag; basaltblokken liggen voor 1/3 deel los en de blokken liggen ook niet aan alle kanten ingeklemd



Bijlage II.U.22 Kaart 9: Harlingen



Bijlage II.U.23 Fotolocatie Harlingen [11]

.....*Toelichting*.....

Foto 34. Harlingen; Keermuur langs de Willemshaven



.....*Toelichting*.....

Foto 35. Harlingen; Coupure ten behoeve van spoorlijn

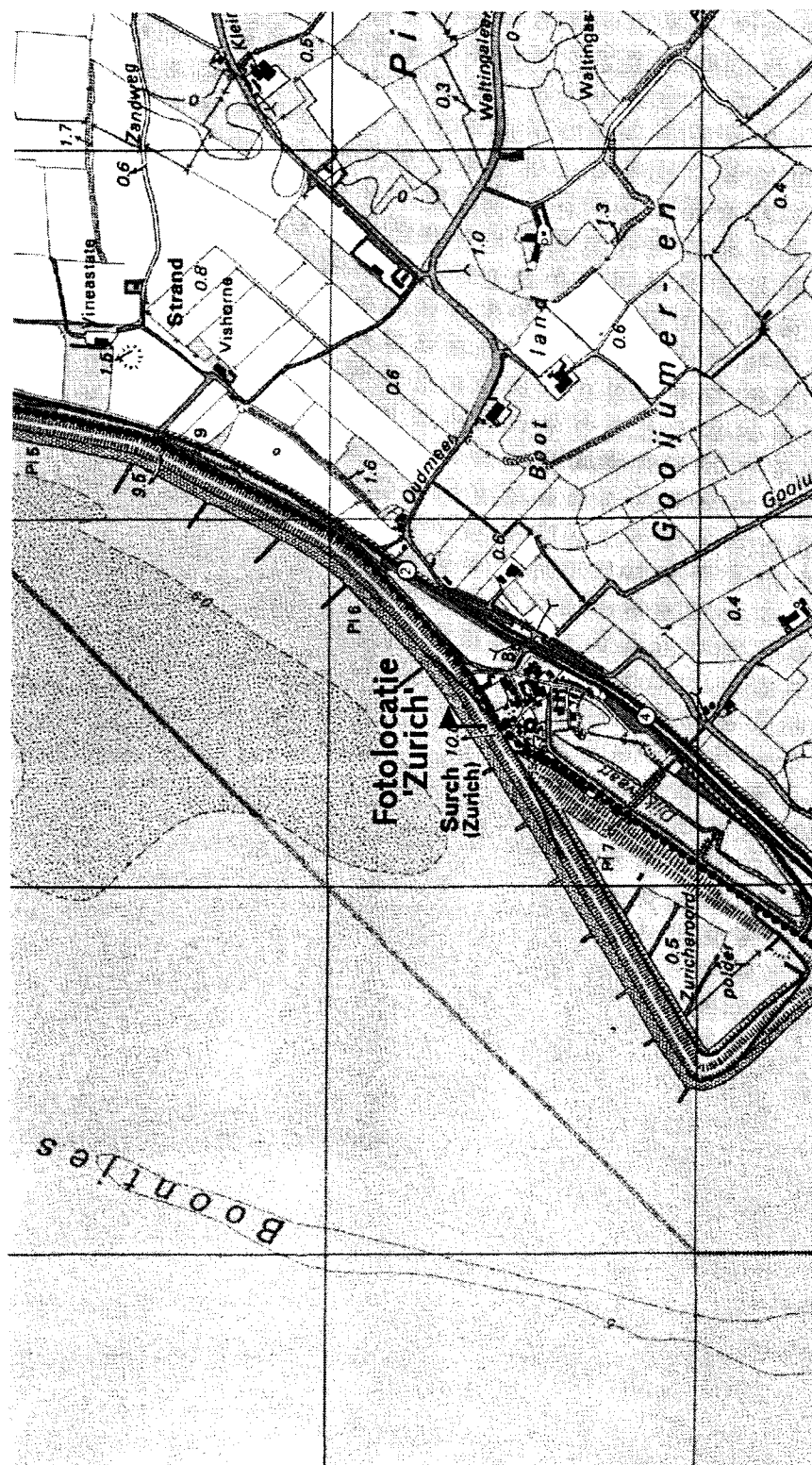


.....*Toelichting*.....

Foto 36. Harlingen; Keerbalk en deur voor sluiting coupure



Bijlage II.U.24 Kaart 10: Zurich



Bijlage II.U.25 Fotolocatie Zurich [12]

.....*Toelichting*.....

Foto 37. Zurich; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in noord-oostelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding:
 - gedeelteijk gras
 - gedeelteijk asfaltbeton
 - gedeelteijk basaltzuilen
 - gedeelteijk noorse keien
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4



.....*Toelichting*.....

Foto 38. Zurich; Vanaf het buitentalud van de zeedijk in zuid-westelijke richting

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: gedeeltelijk basaltzuilen en gedeeltelijk noorse keien
- Buitentaludhelling: ongeveer 1:4

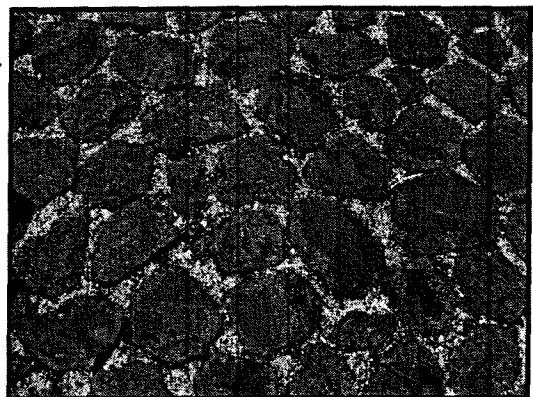


.....*Toelichting*.....

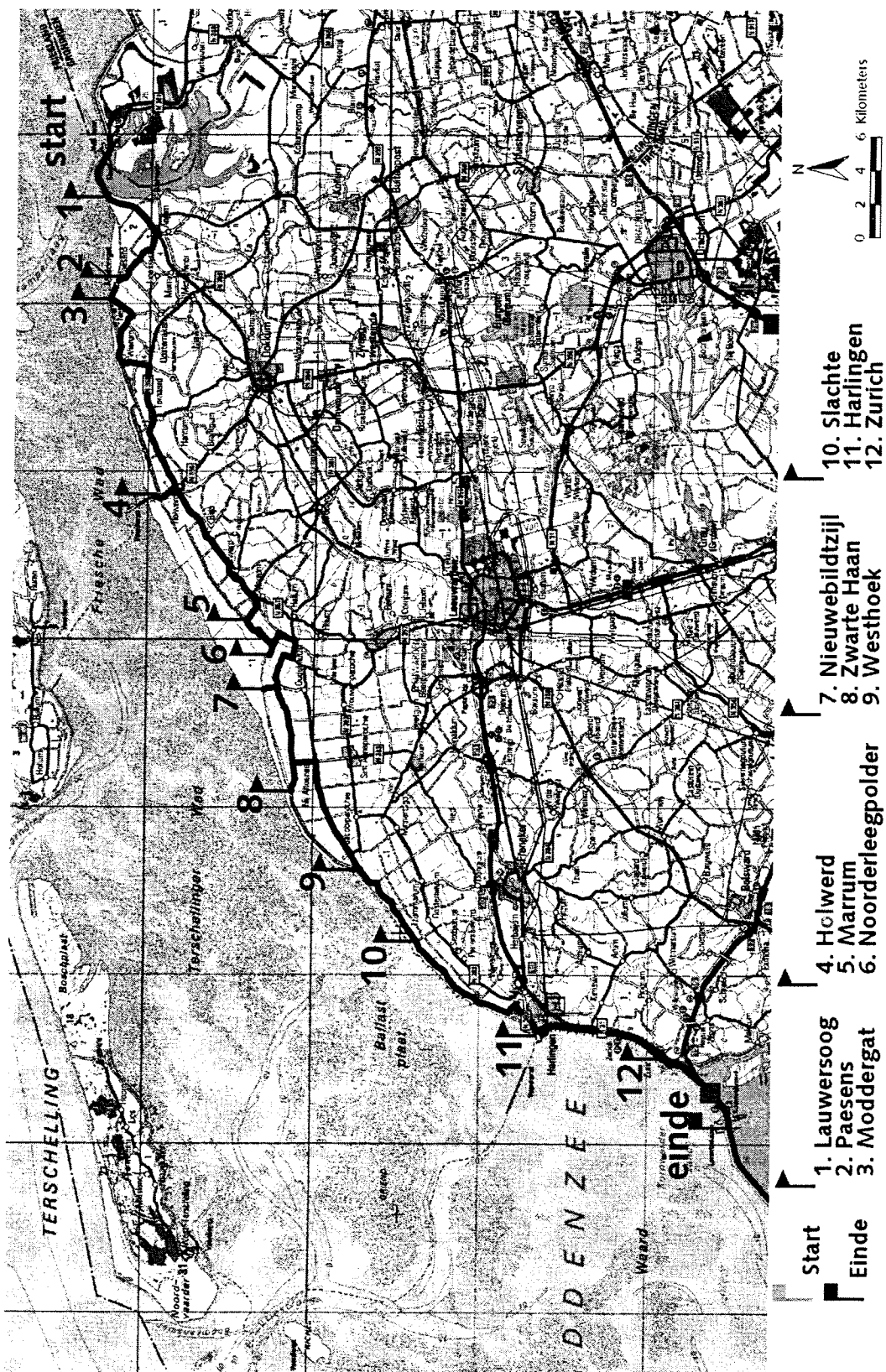
Foto 39. Zurich; Buitentalud

Belangrijke kenmerken:

- Buitentaludbekleding: basaltzuilen
- Bekledingskwaliteit: Hoog; de ruimtes tussen de basaltblokken zijn opgevuld met beton



Bijlage II.U.26 Routekaart

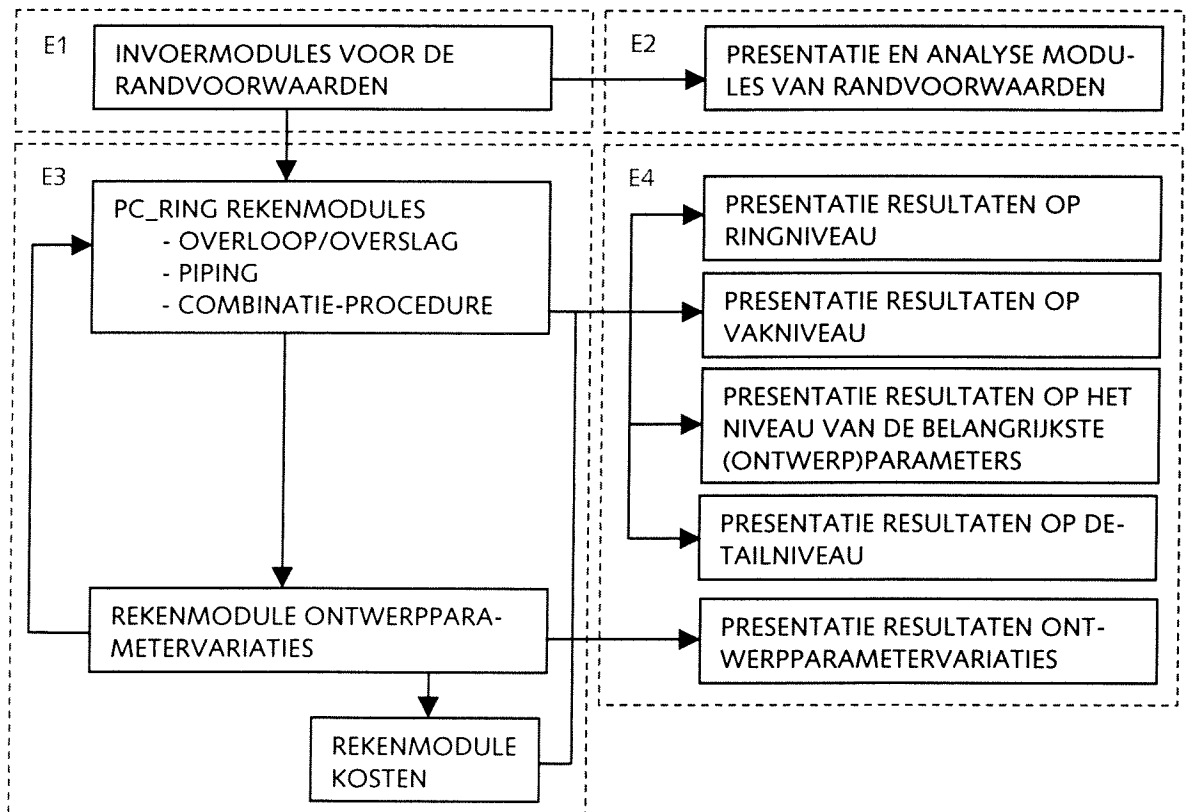


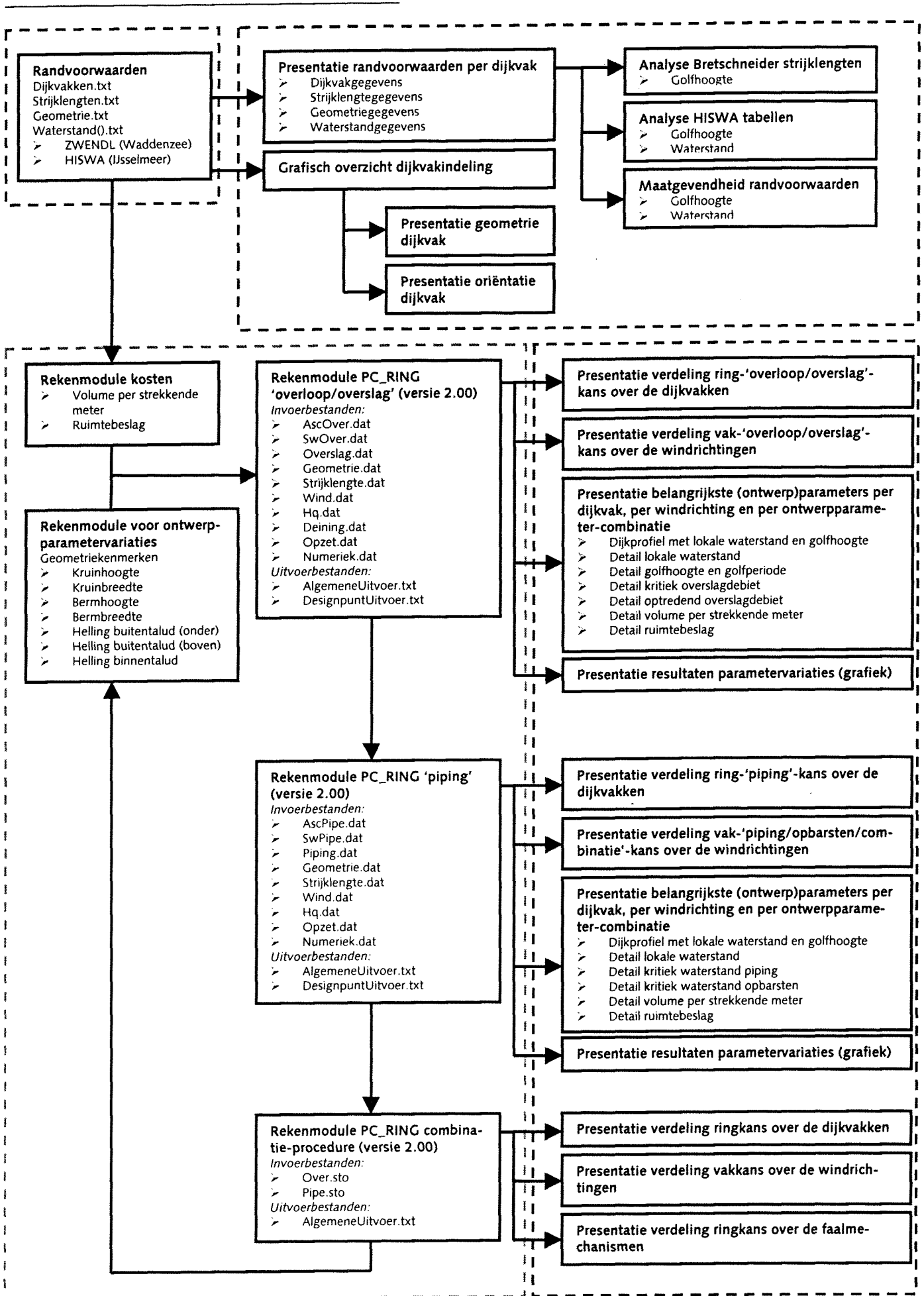
Bijlage III.A Grafisch overzicht model PC_RINGSCHIL

Om aan de doelstellingen ten aanzien van het ontwerp van PC_RINGSCHIL te voldoen (met name aan de derde doelstelling), is gekozen om een strikte scheiding te maken tussen de verschillende soorten modules. Onderscheiden kunnen worden: invoermodules, rekenmodules, en presentatie- en analysemodules. Op basis van dit onderscheid kan PC_RINGSCHIL ingedeeld worden in vier verschillende basiseenheden, elk met een eigen functie en toepassingsmogelijkheid:

- E1. een basiseenheid met randvoorwaarden;
- E2. een basiseenheid voor de presentatie en analyse van de randvoorwaarden;
- E3. een basiseenheid met rekenmodules van PC_RING, voor ontwerpparametervariaties en voor de investeringskosten;
- E4. een basiseenheid voor de presentatie en analyse van de berekeningsresultaten

In onderstaand overzicht worden de belangrijkste kenmerken van het ontwikkelde model weergegeven. Op de volgende pagina wordt een gedetailleerder modeloverzicht gegeven.





Bijlage III.B Dijkvakgegevens

Het invoerbestand voor de dijkvakgegevens is opgebouwd met informatie uit het PC_RING invoerbestand 'Geometrie.dat'. In PC_RINGSCHIL is gekozen om een splitsing te maken tussen enerzijds de gegevens van de dijkvakken en anderzijds de gegevens van het dijkprofiel. Het invoerbestand 'Geometrie.dat' (PC_RING) is dan ook opgedeeld in de invoerbestanden 'Dijkvakken.txt' en 'Geometrie.txt' (PC_RINGSCHIL).

Ten aanzien van het invoerbestand van PC_RING zijn in het invoerbestand 'Dijkvakken.txt' naast bovengenoemde splitsing twee extra getallen toegevoegd. In het invoerbestand moet aangegeven worden hoeveel dijkvakken grenzen aan de Waddenzee en hoeveel dijkvakken grenzen aan het IJsselmeer. Dit om aan te geven wanneer het model moet rekenen met de Bretschneider formules en wanneer gebruik gemaakt moet worden van de HISWAtabellen. Vervolgens moet voor elk dijkvak opgegeven worden wat de naam is, het locatienummer (ZWENDLpunt 1, ZWENDLpunt 2 en de interpolatiefactor), de lengte van het dijkvak (in meter) en de oriëntatie van het dijkvak ten opzicht van het noorden (in graden).

LET OP! Als de aantallen (Waddenzeedijken en IJsselmeerdijken) niet overeenkomen met het aantal regels met informatie voor de dijkvakken, loopt het model vast!

Bestandsnaam: *Dijkvakken.txt*

	'Aantal dijkvakken langs Waddenzee			
	'Aantal dijkvakken langs IJsselmeer			
21				
10				
Kop Afsluitdijk - Harlingen (zuid) (W1-4.400)	,313250	,9000	,280	'dijkvak 1
Harlingen (noord) - Koehool / Slachte (W2-+2)	,323394	,10000	,300	'dijkvak 2
Koehool / Slachte - Westhoek (W2-+11.4)	,323375	,3000	,325	'dijkvak 3
Westhoek - Zwarte Haan (W2-+19)	,323360	,6500	,325	'dijkvak 4
Zwarte Haan - Noorderleeg (W2-20.4)	,323345	,9000	,350	'dijkvak 5
Noorderleeg - Westholwerdepolder (W2-34.2)	,323310	,9000	,345	'dijkvak 6
Westholwerdepolder - Opdijk Oostholwerdepolder (W2-+39)	,333492	,3000	,345	'dijkvak 7
Opdijk Oostholwerdepolder - 't Schoor (W2-+44)	,333480	,5000	,340	'dijkvak 8
't Schoor - Paesens (W2-+49.9)	,333455	,8500	,15	'dijkvak 9
Paesens - Lauwersoog (W2-58.40)	,333415	,7000	,340	'dijkvak 10
Ommelanderzeedijk (KM 63)	,343540	,21000	,345	'dijkvak 11
Emmapolderdijk (west) (km 55)	,343525	,9500	,345	'dijkvak 12
Emmapolderdijk (oost) (km 50)	,343510	,4000	,20	'dijkvak 13
Eemshaven (west) (km 47)	,343505	,3500	,325	'dijkvak 14
Eemshaven (oost) (KM 43)	,353688	,7000	,40	'dijkvak 15
Hoogwatum (KM 35)	,353650	,7500	,80	'dijkvak 16
Delfzijl (noord) (KM 27)	,353601	,2500	,30	'dijkvak 17
Dijk Zeehavenkanaal (KM 20)	,363785	,9000	,20	'dijkvak 18
Termunten (KM 15)	,363765	,4000	,345	'dijkvak 19
Dollardijk (KM 11)	,363750	,4500	,83	'dijkvak 20
Reiderwolderpolderdijk (KM 0)	,363700	,10500	,354	'dijkvak 21
Kop Afsluitdijk - Makkum (30A)	,818100	,4800	,250	'dijkvak 22
Makkum - Workum (28D)	,828200	,9300	,278	'dijkvak 23
Workum - Hindelopen (27A)	,838300	,5900	,255	'dijkvak 24
Hindelopen - Stavoren (25C)	,848400	,7900	,313	'dijkvak 25
Stavoren - Roode Klif (25A)	,858500	,4000	,220	'dijkvak 26
Roode Klif - Mirnser Klif (24C)	,868600	,4400	,189	'dijkvak 27
Mirnser Klif - Spitsbergen (24A)	,878700	,1800	,206	'dijkvak 28
Hooge Grazen - Zandvoorderhoek (23D)	,888800	,5700	,169	'dijkvak 29
Zandvoorderhoek - Margrietsluis (22C)	,898900	,6800	,161	'dijkvak 30
Margrietsluis - Lemmer (20A)	,909000	,2000	,188	'dijkvak 31

Bijlage III.C Strijk lengte gegevens

Het invoerbestand voor de strijk lengte gegevens is ongewijzigd ten aanzien van het invoerbestand 'Strijk lengte.dat' van PC_RING. In het invoerbestand 'Strijk lengten.txt' moet voor elk dijkvak en voor elke windrichting opgegeven worden: de grootte van de modelfactor voor de golfhoogte, de strijk lengte (*in meter*) en de bodemdiepte van het strijkvak (*in meter t.o.v. NAP*). Als een strijk lengte van 0 meter wordt opgegeven dat maakt met model gebruik van het mechanisme 'overloop'. Als een strijk lengte van 11 meter wordt opgegeven dan maakt het model gebruik van HISWATabellen voor het bepalen van de golfhoogte, de golfperiode en lokale waterstand. Voor alle overige strijk lengten maakt het model gebruik van het faalmechanisme 'overslag' en bepaald het de golfhoogte en de golfperiode met behulp van de formules van Bretschneider (*zie bijlage II.G*).

Ook hier geldt dat bij een onjuiste invoer het model vast kan lopen of dat het model onjuiste resultaten genereert.

Bestandsnaam: *Strijk lengten.txt*

'voor de windrichtingen is de volgende nummering aangehouden

'windrichting	'nummer
'Noord	'1
'NNO	'2
'NO	'3
'ONO	'4
'OOST	'5
'OZO	'6
'ZO	'7
'ZZO	'8
'Zuid	'9
'ZZW	'10
'ZW	'11
'WZW	'12
'West	'13
'WNW	'14
'NW	'15
'NNW	'16

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
1,	1,	0.90,	31000,	-5
1,	2,	0,	0,	0
1,	3,	0,	0,	0
1,	4,	0,	0,	0
1,	5,	0,	0,	0
1,	6,	0,	0,	0
1,	7,	0,	0,	0
1,	8,	0,	0,	0
1,	9,	0,	0,	0
1,	10,	0,	0,	0
1,	11,	0.90,	6250,	-5
1,	12,	0.90,	42500,	-5
1,	13,	0.90,	33000,	-5
1,	14,	0.90,	32500,	-5
1,	15,	0.90,	28000,	-5

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
1,	16,	0.90,	24000,	-5
2,	1,	0.90,	22000,	-5
2,	2,	0.90,	25000,	-5
2,	3,	0,	0,	0
2,	4,	0,	0,	0
2,	5,	0,	0,	0
2,	6,	0,	0,	0
2,	7,	0,	0,	0
2,	8,	0,	0,	0
2,	9,	0,	0,	0
2,	10,	0,	0,	0
2,	11,	0.90,	40000,	-5
2,	12,	0.90,	40000,	-5
2,	13,	0.90,	36000,	-5
2,	14,	0.90,	22000,	-5
2,	15,	0.90,	22000,	-5
2,	16,	0.90,	21000,	-5
3,	1,	0.85,	18000,	-5
3,	2,	0.85,	22000,	-5
3,	3,	0.85,	23000,	-5
3,	4,	0,	0,	0
3,	5,	0,	0,	0
3,	6,	0,	0,	0
3,	7,	0,	0,	0
3,	8,	0,	0,	0
3,	9,	0,	0,	0
3,	10,	0,	0,	0
3,	11,	0.85,	45000,	-5
3,	12,	0.85,	42000,	-5
3,	13,	0.85,	34000,	-5
3,	14,	0.85,	24000,	-5
3,	15,	0.85,	20000,	-5
3,	16,	0.85,	19000,	-5
4,	1,	1.10,	17000,	-1
4,	2,	1.10,	19000,	-1
4,	3,	0,	0,	0
4,	4,	0,	0,	0
4,	5,	0,	0,	0
4,	6,	0,	0,	0
4,	7,	0,	0,	0
4,	8,	0,	16000,	-1
5,	1,	1.10,	12500,	-1
5,	2,	1.10,	15000,	-1
5,	3,	1.10,	19000,	-1
5,	4,	1.10,	2000,	-1
5,	5,	0,	0,	0
5,	6,	0,	0,	0
5,	7,	0,	0,	0
5,	8,	0,	0,	0
5,	9,	0,	0,	0
5,	10,	0,	0,	0
5,	11,	0,	0,	0
5,	12,	0,	0,	0
5,	13,	1.10,	33000,	-1
5,	14,	1.10,	21000,	-1

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
5,	15,	1.10,	16000,	-1
5,	16,	1.10,	18000,	-1
6,	1,	1.20,	9000,	-1
6,	2,	1.20,	10500,	-1
6,	3,	1.20,	15000,	-1
6,	4,	1.20,	5000,	-1
6,	5,	0,	0,	0
6,	6,	0,	0,	0
6,	7,	0,	0,	0
6,	8,	0,	0,	0
6,	9,	0,	0,	0
6,	10,	0,	0,	0
6,	11,	0,	0,	0
6,	12,	1.20,	3000,	-1
6,	13,	1.20,	39000,	-1
6,	14,	1.20,	19000,	-1
6,	15,	1.20,	11000,	-1
6,	16,	1.20,	10000,	1
7,	1,	1.10,	7500,	-1
7,	2,	1.10,	10000,	-1
7,	3,	1.10,	11000,	-1
7,	4,	1.10,	21000,	-1
7,	5,	0,	0,	0
7,	6,	0,	0,	0
7,	7,	0,	0,	0
7,	8,	0,	0,	0
7,	9,	0,	0,	0
7,	10,	0,	0,	0
7,	11,	0,	0,	0
7,	12,	0,	0,	0
7,	13,	1.10,	1000,	-1
7,	14,	1.10,	2000,	-1
7,	15,	1.10,	9000,	-1
7,	16,	1.10,	8000,	-1
8,	1,	1.10,	7500,	-1
8,	2,	1.10,	7500,	-1
8,	3,	1.10,	13000,	-1
8,	4,	1.10,	19000,	-1
8,	5,	0,	0,	0
8,	6,	0,	0,	0
8,	7,	0,	0,	0
8,	8,	0,	0,	0
8,	9,	0,	0,	0
8,	10,	0,	0,	0
8,	11,	0,	0,	0
8,	12,	0,	0,	0
8,	13,	1.10,	40000,	-1
8,	14,	1.10,	11000,	-1
8,	15,	1.10,	8000,	-1
8,	16,	1.10,	8000,	-1
9,	1,	1.00,	6500,	-1
9,	2,	1.00,	9000,	-1
9,	3,	1.00,	9000,	-1
9,	4,	1.00,	21000,	-1
9,	5,	0,	0,	0

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
9,	6,	0,	0,	0
9,	7,	0,	0,	0
9,	8,	0,	0,	0
9,	9,	0,	0,	0
9,	10,	0,	0,	0
9,	11,	0,	0,	0
9,	12,	0,	0,	0
9,	13,	1.00,	42000,	-1
9,	14,	1.00,	12000,	-1
9,	15,	1.00,	7000,	-1
9,	16,	1.00,	14000,	-1
10,	1,	0.80,	7000,	-5
10,	2,	0.80,	8000,	-5
10,	3,	0.80,	13000,	-5
10,	4,	0.80,	25000,	-5
10,	5,	0,	0,	0
10,	6,	0,	0,	0
10,	7,	0,	0,	0
10,	8,	0,	0,	0
10,	9,	0,	0,	0
10,	10,	0,	0,	0
10,	11,	0,	0,	0
10,	12,	0,	0,	0
10,	13,	0.80,	3000,	-5
10,	14,	0.80,	14000,	-5
10,	15,	0.80,	16000,	-5
10,	16,	0.80,	7000,	-1
11,	1,	0.70,	13000,	-1
11,	2,	0.70,	13000,	-1
11,	3,	0.70,	13000,	-1
11,	4,	0.70,	1000,	-1
11,	5,	0,	0,	0
11,	6,	0,	0,	0
11,	7,	0,	0,	0
11,	8,	0,	0,	0
11,	9,	0,	0,	0
11,	10,	0,	0,	0
11,	11,	0,	0,	0
11,	12,	0,	0,	0
11,	13,	0.70,	13000,	-1
11,	14,	0.70,	13000,	-1
11,	15,	0.70,	24000,	-1
11,	16,	0.70,	13000,	-1
12,	1,	0.70,	12000,	-1
12,	2,	0.70,	12000,	-1
12,	3,	0.70,	12000,	-1
12,	4,	0.70,	12000,	-1
12,	5,	0,	0,	0
12,	6,	0,	0,	0
12,	7,	0,	0,	0
12,	8,	0,	0,	0
12,	9,	0,	0,	0
12,	10,	0,	0,	0
12,	11,	0,	0,	0
12,	12,	0,	0,	0

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
12,	13,	0.70,	12000,	-1
12,	14,	0.70,	12000,	-1
12,	15,	0.70,	17000,	-1
12,	16,	0.70,	12000,	-1
13,	1,	0.70,	12000,	-5
13,	2,	0.70,	12000,	-5
13,	3,	0.70,	12000,	-5
13,	4,	0.70,	12000,	-5
13,	5,	0.70,	12000,	-5
13,	6,	0,	0,	0
13,	7,	0,	0,	0
13,	8,	0,	0,	0
13,	9,	0,	0,	0
13,	10,	0,	0,	0
13,	11,	0,	0,	0
13,	12,	0,	0,	0
13,	13,	0,	0,	0
13,	14,	0.70,	12000,	-5
13,	15,	0.70,	16000,	-5
13,	16,	0.70,	12000,	-5
14,	1,	0.70,	14000,	-5
14,	2,	0.70,	14000,	-5
14,	3,	0.70,	14000,	-5
14,	4,	0,	0,	0
14,	5,	0,	0,	0
14,	6,	0,	0,	0
14,	7,	0,	0,	0
14,	8,	0,	0,	0
14,	9,	0,	0,	0
14,	10,	0,	0,	0
14,	11,	0,	0,	0
14,	12,	0.70,	1000,	-5
14,	13,	0.70,	1000,	-5
14,	14,	0.70,	14000,	-5
14,	15,	0.70,	17000,	-5
14,	16,	0.70,	14000,	-5
15,	1,	0.70,	13000,	-5
15,	2,	0.70,	13000,	-5
15,	3,	0.70,	13000,	-5
15,	4,	0.70,	13000,	-5
15,	5,	0.70,	13000,	-5
15,	6,	0.70,	13000,	-5
15,	7,	0,	0,	0
15,	8,	0,	0,	0
15,	9,	0,	0,	0
15,	10,	0,	0,	0
15,	11,	0,	0,	0
15,	12,	0,	0,	0
15,	13,	0,	0,	0
15,	14,	0,	0,	0
15,	15,	0.70,	17000,	-5
15,	16,	0.70,	13000,	-5
16,	1,	0.40,	40000,	-5
16,	2,	0.40,	20000,	-5
16,	3,	0.40,	11000,	-5

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
16,	4,	0.40,	9000,	-5
16,	5,	0.40,	8000,	-5
16,	6,	0.40,	8000,	-5
16,	7,	0.40,	12000,	-5
16,	8,	0.40,	5000,	-5
16,	9,	0,	0,	0
16,	10,	0,	0,	0
16,	11,	0,	0,	0
16,	12,	0,	0,	0
16,	13,	0,	0,	0
16,	14,	0,	0,	0
16,	15,	0,	0,	0
16,	16,	0.40,	12000,	-5
17,	1,	0.50,	40000,	-5
17,	2,	0.50,	16000,	-5
17,	3,	0.50,	7500,	-5
17,	4,	0.50,	5500,	-5
17,	5,	0.50,	20000,	-5
17,	6,	0.50,	15000,	-5
17,	7,	0.50,	2500,	-5
17,	8,	0,	0,	0
17,	9,	0,	0,	0
17,	10,	0,	0,	0
17,	11,	0,	0,	0
17,	12,	0,	0,	0
17,	13,	0,	0,	0
17,	14,	0,	0,	0
17,	15,	0,	0,	0
17,	16,	0.50,	20000,	-5
18,	1,	0.60,	4000,	-5
18,	2,	0.60,	4000,	-5
18,	3,	0.60,	5000,	-5
18,	4,	0.60,	9000,	-5
18,	5,	0.60,	13000,	-5
18,	6,	0,	0,	0
18,	7,	0,	0,	0
18,	8,	0,	0,	0
18,	9,	0,	0,	0
18,	10,	0,	0,	0
18,	11,	0,	0,	0
18,	12,	0,	0,	0
18,	13,	0,	0,	0
18,	14,	0,	0,	0
18,	15,	0,	0,	0
18,	16,	0.60,	21000,	-5
19,	1,	0.70,	4000,	-5
19,	2,	0.70,	5000,	-5
19,	3,	0.70,	6000,	-5
19,	4,	0.70,	10000,	-5
19,	5,	0,	0,	0
19,	6,	0,	0,	0
19,	7,	0,	0,	0
19,	8,	0,	0,	0
19,	9,	0,	0,	0
19,	10,	0,	0,	0

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
19,	11,	0,	0,	0
19,	12,	0,	0,	0
19,	13,	0,	0,	0
19,	14,	0.70,	7000,	-5
19,	15,	0,	0,	0
19,	16,	0.70,	24000,	-5
20,	1,	0.30,	1000,	-1
20,	2,	0.30,	7000,	-1
20,	3,	0.30,	9000,	-1
20,	4,	0.30,	11000,	-1
20,	5,	0.30,	10000,	-1
20,	6,	0.30,	10000,	-1
20,	7,	0.30,	8000,	-1
20,	8,	0.30,	4000,	-1
20,	9,	0.30,	3000,	-1
20,	10,	0,	0,	0
20,	11,	0,	0,	0
20,	12,	0,	0,	0
20,	13,	0,	0,	0
20,	14,	0,	0,	0
20,	15,	0.30,	16000,	-1
20,	16,	0.30,	5000,	-1
21,	1,	0.50,	11000,	-1
21,	2,	0.50,	7000,	-1
21,	3,	0.50,	2000,	-1
21,	4,	0.50,	1000,	-1
21,	5,	0,	0,	0
21,	6,	0,	0,	0
21,	7,	0,	0,	0
21,	8,	0,	0,	0
21,	9,	0,	0,	0
21,	10,	0,	0,	0
21,	11,	0,	0,	0
21,	12,	0,	0,	0
21,	13,	0,	0,	0
21,	14,	0.50,	9000,	-1
21,	15,	0.50,	20000,	-1
21,	16,	0.50,	12000,	-1
22,	1,	0,	0,	0
22,	2,	0,	0,	0
22,	3,	0,	0,	0
22,	4,	0,	0,	0
22,	5,	0,	0,	0
22,	6,	0,	0,	0
22,	7,	0,	0,	0
22,	8,	0,	0,	0
22,	9,	1.00,	11,	-1
22,	10,	1.00,	11,	-1
22,	11,	1.00,	11,	-1
22,	12,	1.00,	11,	-1
22,	13,	1.00,	11,	-1
22,	14,	1.00,	11,	-1
22,	15,	1.00,	11,	-1
22,	16,	1.00,	11,	-1
23,	1,	0,	0,	0

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
23,	2,	0,	0,	0
23,	3,	0,	0,	0
23,	4,	0,	0,	0
23,	5,	0,	0,	0
23,	6,	0,	0,	0
23,	7,	0,	0,	0
23,	8,	0,	0,	0
23,	9,	1.00,	11,	-1
23,	10,	1.00,	11,	-1
23,	11,	1.00,	11,	-1
23,	12,	1.00,	11,	-1
23,	13,	1.00,	11,	-1
23,	14,	1.00,	11,	-1
23,	15,	1.00,	11,	-1
23,	16,	1.00,	11,	-1
24,	1,	0,	0,	0
24,	2,	0,	0,	0
24,	3,	0,	0,	0
24,	4,	0,	0,	0
24,	5,	0,	0,	0
24,	6,	0,	0,	0
24,	7,	0,	0,	0
24,	8,	0,	0,	0
24,	9,	1.00,	11,	-1
24,	10,	1.00,	11,	-1
24,	11,	1.00,	11,	-1
24,	12,	1.00,	11,	-1
24,	13,	1.00,	11,	-1
24,	14,	1.00,	11,	-1
24,	15,	1.00,	11,	-1
24,	16,	1.00,	11,	-1
25,	1,	1.00,	11,	-1
25,	2,	1.00,	11,	-1
25,	3,	0,	0,	0
25,	4,	0,	0,	0
25,	5,	0,	0,	0
25,	6,	0,	0,	0
25,	7,	0,	0,	0
25,	8,	0,	0,	0
25,	9,	0,	0,	0
25,	10,	0,	0,	0
25,	11,	1.00,	11,	-1
25,	12,	1.00,	11,	-1
25,	13,	1.00,	11,	-1
25,	14,	1.00,	11,	-1
25,	15,	1.00,	11,	-1
25,	16,	1.00,	11,	-1
26,	1,	0,	0,	0
26,	2,	0,	0,	0
26,	3,	0,	0,	0
26,	4,	0,	0,	0
26,	5,	0,	0,	0
26,	6,	0,	0,	0
26,	7,	1.00,	11,	-1
26,	8,	1.00,	11,	-1

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
26,	9,	1.00,	11,	-1
26,	10,	1.00,	11,	-1
26,	11,	1.00,	11,	-1
26,	12,	1.00,	11,	-1
26,	13,	1.00,	11,	-1
26,	14,	1.00,	11,	-1
26,	15,	0,	0,	0
26,	16,	0,	0,	0
27,	1,	0,	0,	0
27,	2,	0,	0,	0
27,	3,	0,	0,	0
27,	4,	0,	0,	0
27,	5,	0,	0,	0
27,	6,	1.00,	11,	-1
27,	7,	1.00,	11,	-1
27,	8,	1.00,	11,	-1
27,	9,	1.00,	11,	-1
27,	10,	1.00,	11,	-1
27,	11,	1.00,	11,	-1
27,	12,	1.00,	11,	-1
27,	13,	1.00,	11,	-1
27,	14,	0,	0,	0
27,	15,	0,	0,	0
27,	16,	0,	0,	0
28,	1,	0,	0,	0
28,	2,	0,	0,	0
28,	3,	0,	0,	0
28,	4,	0,	0,	0
28,	5,	0,	0,	0
28,	6,	0,	0,	0
28,	7,	1.00,	11,	-1
28,	8,	1.00,	11,	-1
28,	9,	1.00,	11,	-1
28,	10,	1.00,	11,	-1
28,	11,	1.00,	11,	-1
28,	12,	1.00,	11,	-1
28,	13,	1.00,	11,	-1
28,	14,	1.00,	11,	-1
28,	15,	0,	0,	0
28,	16,	0,	0,	0
29,	1,	0,	0,	0
29,	2,	0,	0,	0
29,	3,	0,	0,	0
29,	4,	0,	0,	0
29,	5,	1.00,	11,	-1
29,	6,	1.00,	11,	-1
29,	7,	1.00,	11,	-1
29,	8,	1.00,	11,	-1
29,	9,	1.00,	11,	-1
29,	10,	1.00,	11,	-1
29,	11,	1.00,	11,	-1
29,	12,	1.00,	11,	-1
29,	13,	0,	0,	0
29,	14,	0,	0,	0
29,	15,	0,	0,	0

'vaknummer	'windrichtingnummer	'KsKr	'strijklengte	'diepte
29,	16,	0,	0,	0
30,	1,	0,	0,	0
30,	2,	0,	0,	0
30,	3,	0,	0,	0
30,	4,	0,	0,	0
30,	5,	1.00,	11,	-1
30,	6,	1.00,	11,	-1
30,	7,	1.00,	11,	-1
30,	8,	1.00,	11,	-1
30,	9,	1.00,	11,	-1
30,	10,	1.00,	11,	-1
30,	11,	1.00,	11,	-1
30,	12,	1.00,	11,	-1
30,	13,	0,	0,	0
30,	14,	0,	0,	0
30,	15,	0,	0,	0
30,	16,	0,	0,	0
31,	1,	0,	0,	0
31,	2,	0,	0,	0
31,	3,	0,	0,	0
31,	4,	0,	0,	0
31,	5,	0,	0,	0
31,	6,	1.00,	11,	-1
31,	7,	1.00,	11,	-1
31,	8,	1.00,	11,	-1
31,	9,	1.00,	11,	-1
31,	10,	1.00,	11,	-1
31,	11,	1.00,	11,	-1
31,	12,	1.00,	11,	-1
31,	13,	1.00,	11,	-1
31,	14,	0,	0,	0
31,	15,	0,	0,	0
31,	16,	0,	0,	0

Bijlage III.D Geometriegegevens

Het invoerbestand voor de dijkvakgegevens is opgebouwd met informatie uit het PC_RING invoerbestand 'Geometrie.dat'. In PC_RINGSCHIL is gekozen om een splitsing te maken tussen enerzijds de gegevens van de dijkvakken en anderzijds de gegevens van het dijkprofiel. Het invoerbestand 'Geometrie.dat' (PC_RING) is dan ook opgedeeld in de invoerbestanden 'Dijkvakken.txt' en 'Geometrie.txt' (PC_RINGSCHIL).

Ten aanzien van het invoerbestand van PC_RING zijn in het invoerbestand 'Geometrie.txt' naast bovengenoemde splitsing geen wijzigingen doorgevoerd. In het invoerbestand voor de geometriegegevens moet per dijkvak aangegeven worden uit hoeveel coördinatenkoppels de geometriebeschrijving is opgebouwd. Zonder berm of knik in het buitentalud is dit aantal gelijk aan vijf. Met een knik in het buitentalud is het aantal coördinatenkoppels gelijk aan zes en met een berm in het buitentalud is het aantal gelijk aan zeven. Vervolgens moet voor acht coördinatenkoppels de waarde van een X-coördinaat en van een Y-coördinaat opgegeven worden.

LET OP! Voer altijd voor alle acht de coördinatenkoppels een waarde in. Als het aantal coördinatenkoppels gelijk is aan bijvoorbeeld vijf dan worden de laatste drie niet gebruikt, maar ze moeten wel opgegeven worden. Let bovendien goed op dat geen onzinnige profielen ingevoerd worden. Het ontwikkelde model en PC_RING zullen hier niet mee kunnen omgaan. Het is bijvoorbeeld onzin om een profiel op te geven waarbij de bermhoogte hoger is dan de kruinhoogte.

Bestandsnaam: *Geometrie.txt*

'dijkvaknummer	'aantal coördinatenkoppels	'X(i)	'Y(i)
1, 5,	-100.000, -0.250, 0.000, -0.250,	47.550, 9.260, 50.550, 9.260,	78.330, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
2, 5,	-100.000, -1.000, 0.000, -1.000,	45.795, 9.650, 48.795, 9.650,	77.745, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
3, 5,	-100.000, 1.500, 0.000, 1.500,	36.707, 9.310, 39.707, 9.310,	67.637, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
4, 5,	-100.000, -1.000, 0.000, -1.000,	46.436, 8.880, 49.436, 8.880,	76.076, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
5, 5,	-100.000, 2.000, 0.000, 2.000,	28.380, 8.600, 31.380, 8.600,	57.180, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
6, 5,	-100.000, 1.500, 0.000, 1.500,	45.920, 8.060, 48.920, 8.060,	73.100, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
7, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	35.960, 8.990, 38.960, 8.990,	65.930, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
8, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	36.335, 8.450, 39.335, 8.450,	64.685, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
9, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	33.080, 8.270, 36.080, 8.270,	60.890, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
10, 5,	-100.000, 0.250, 0.000, 0.250,	30.599, 8.520, 35.599, 8.520,	61.159, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
11, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	35.200, 8.800, 38.200, 8.800,	64.600, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
12, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	45.000, 9.000, 48.000, 9.000,	75.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
13, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	45.000, 9.000, 48.000, 9.000,	75.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
14, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	34.400, 8.600, 37.400, 8.600,	63.200, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
15, 5,	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000,	36.000, 9.000, 39.000, 9.000,	66.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000

'dijkvaknummer	'aantal coördinatenkoppels	'X(i)	'Y(i)
16, 5	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	40.000, 8.000, 43.000, 8.000	67.000, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
17, 5	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	24.300, 8.100, 27.300, 8.100	51.600, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
18, 7	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	18.600, 6.200, 25.200, 6.200	31.530, 8.300, 34.500, 8.300, 59.400, 0.000, 125.000, 0.000
19, 5	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	41.500, 8.300, 44.500, 8.300	69.400, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
20, 5	-100.000, 2.000, 0.000, 2.000	16.531, 7.440, 19.531, 7.440	41.851, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
21, 6	-100.000, 2.330, 0.000, 2.330	13.128, 6.190, 24.645, 8.280	27.645, 8.280, 52.485, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
22, 6	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	11.790, 2.620, 23.130, 4.510	26.130, 4.510, 39.660, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
23, 6	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	2.860, 1.430, 18.804, 4.300	21.804, 4.300, 34.704, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
24, 7	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	3.2000, 1.600, 16.400, 1.600	33.040, 4.160, 36.040, 4.160, 48.520, 0.000, 125.000, 0.000
25, 6	-100.000, -1.500, 0.000, -1.500	13.675, 1.700, 29.273, 4.180	32.273, 4.180, 44.813, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
26, 6	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	13.121, 3.280, 17.250, 3.870	20.250, 3.870, 31.860, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
27, 6	-100.000, 1.100, 0.000, 1.100	6.538, 1.950, 13.577, 3.780	16.577, 3.780, 27.917, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
28, 6	-100.000, 0.300, 0.000, 0.300	13.300, 1.250, 23.914, 3.670	26.914, 3.670, 37.924, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
29, 7	-100.000, -3.500, 0.000, -3.500	72.354, 0.520, 83.954, 0.520	97.677, 3.570, 100.677, 3.570, 111.387, 0.000, 125.000, 0.000
30, 5	-100.000, -0.380, 0.000, -0.380	31.222, 3.090, 34.222, 3.090	43.492, 0.000, 125.000, 0.000, 125.000, 0.000
31, 7	-100.000, 0.000, 0.000, 0.000	7.840, 1.960, 14.340, 1.960	22.620, 3.340, 25.620, 3.340, 35.640, 0.000, 125.000, 0.000

Bijlage III.E Waterstandgegevens Waddenzeedijken

Deze invoerbestanden 'Waterstand().txt' zijn ten aanzien van de invoerbestanden van PC_RING ongewijzigd, met uitzondering dat aangegeven moet worden hoe groot de X-dimensie van de tabel is. Vervolgens wordt voor elke combinatie van een waterstand in Harlingen en een waterstand in Delfzijl een waarde van de lokale waterstand, behorende bij het ZWENDLpunt, gevraagd. In de X-dimensie is de waterstand te Delfzijl uitgezet, in Y-dimensie de waterstand te Harlingen (*alle in meter t.o.v. NAP*). Afhankelijk van het locatienummer behorende bij het dijkvak wordt één van onderstaande tabellen aangeroepen.

Bestandsnaam: *Waterstand31.txt*

6								
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.64,		0
0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,		0
2.9500,	2.9000,	2.9000,	2.9000,	2.9000,	2.9000,	2.9000,		0
3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,		0
4.0900,	4.1400,	4.1400,	4.1400,	4.1400,	4.1400,	4.1400,		0
4.5900,	4.6800,	4.6800,	4.6800,	4.6800,	4.6800,	4.6800,		0
5.3200,	5.4400,	5.4400,	5.4400,	5.4400,	5.4400,	5.4400,		0

Bestandsnaam: *Waterstand32.txt*

6								
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,		0
0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,	0.0000,		0
2.9500,	2.9500,	2.9500,	2.9500,	2.9500,	2.9500,	2.9500,		0
3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,	3.4700,		0
4.0900,	4.0900,	4.0900,	4.0900,	4.0900,	4.0900,	4.0900,		0
4.5900,	4.5900,	4.5900,	4.5900,	4.5900,	4.5900,	4.5900,		0
5.3200,	5.3200,	5.3200,	5.3200,	5.3200,	5.3200,	5.3200,		0

Bestandsnaam: *Waterstand33.txt*

7								
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	16.640	
0.0000,	0.0000,	0.7339,	0.8601,	1.0171,	1.1536,	1.3673,	1.3673	
2.9500,	2.2016,	2.9355,	3.0617,	3.2188,	3.3552,	3.5690,	3.5690	
3.4700,	2.5802,	3.3140,	3.4402,	3.5973,	3.7338,	3.9475,	3.9475	
4.0900,	3.0514,	3.7853,	3.9114,	4.0685,	4.2050,	4.4187,	4.4187	
4.5900,	3.4608,	4.1947,	4.3209,	4.4779,	4.6144,	4.8281,	4.8281	
5.3200,	4.1020,	4.8359,	4.9620,	5.1191,	5.2556,	5.4693,	5.4693	

Bestandsnaam: *Waterstand34.txt*

6								
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,		0
0.0000,	0.0000,	1.5340,	1.7368,	2.1372,	2.4232,	2.8808,		0
2.9500,	1.5340,	3.0680,	3.2708,	3.6712,	3.9572,	4.4148,		0
3.4700,	1.7368,	3.2708,	3.4736,	3.8740,	4.1600,	4.6176,		0
4.0900,	2.1372,	3.6712,	3.8740,	4.2744,	4.5604,	5.0180,		0
4.5900,	2.4232,	3.9572,	4.1600,	4.5604,	4.8464,	5.3040,		0
5.3200,	2.8808,	4.4148,	4.6176,	5.0180,	5.3040,	5.7616,		0

Bestandsnaam: *Waterstand35.txt*

6							
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
0.0000,	0.0000,	3.0600,	3.6200,	4.3500,	5.0100,	6.1500,	0
2.9500,	0.0000,	3.0600,	3.6200,	4.3500,	5.0100,	6.1500,	0
3.4700,	0.0000,	3.0600,	3.6200,	4.3500,	5.0100,	6.1500,	0
4.0900,	0.0000,	3.0600,	3.6200,	4.3500,	5.0100,	6.1500,	0
4.5900,	0.0000,	3.0600,	3.6200,	4.3500,	5.0100,	6.1500,	0
5.3200,	0.0000,	3.0600,	3.6200,	4.3500,	5.0100,	6.1500,	0

Bestandsnaam: *Waterstand36.txt*

6							
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
0.0000,	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
2.9500,	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
3.4700,	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
4.0900,	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
4.5900,	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
5.3200,	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0

Bestandsnaam: *Waterstand37.txt*

6							
	0.0000,	3.4000,	4.0600,	4.8700,	5.5600,	6.6400,	0
0.0000,	0.0000,	3.7500,	4.5000,	5.4400,	6.2500,	7.5400,	0
2.9500,	0.0000,	3.7500,	4.5000,	5.4400,	6.2500,	7.5400,	0
3.4700,	0.0000,	3.7500,	4.5000,	5.4400,	6.2500,	7.5400,	0
4.0900,	0.0000,	3.7500,	4.5000,	5.4400,	6.2500,	7.5400,	0
4.5900,	0.0000,	3.7500,	4.5000,	5.4400,	6.2500,	7.5400,	0
5.3200,	0.0000,	3.7500,	4.5000,	5.4400,	6.2500,	7.5400,	0

Bijlage III.F Waterstandgegevens IJsselmeerdijken

Deze invoerbestanden zijn ongewijzigd ten aanzien van de invoerbestanden die PC_RING gebruikt met uitzondering dat de eerste regel is verwijderd en dat de windrichting als kolom is ingevoegd. In de invoerbestanden 'Waterstand().txt' moet per windrichting (in graden), per windsnelheid (variërend van 14,00 meter per seconde tot 42,00 meter per seconde) voor vijf verschillende waarden van het meerpeil (respectievelijk -0,40 / -0,10 / 0,40 / 1,00 / 1,80 meter t.o.v. NAP) een waarde gegeven worden voor de lokale waterstand (in meter t.o.v. NAP), de golfhoogte (in meter), de golfperiode (in seconde) en de hoek van golfval (in graden). Deze gegevens worden verkregen met behulp van het HISWAmodel. (RIZA, maart 1999)

Bestandsnaam: Waterstand90.txt

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
0	,14.00	,-.40	,-.43	,.38	,1.82	,269.00
0	,14.00	,-.10	,-.13	,.39	,1.83	,269.00
0	,14.00	,.40	,.38	,.39	,1.84	,268.00
0	,14.00	,1.00	,.97	,.39	,1.84	,269.00
0	,14.00	,1.80	,1.76	,.40	,1.85	,269.00
0	,19.00	,-.40	,-.46	,.54	,2.14	,270.00
0	,19.00	,-.10	,-.15	,.57	,2.17	,270.00
0	,19.00	,.40	,.35	,.58	,2.19	,269.00
0	,19.00	,1.00	,.95	,.59	,2.20	,269.00
0	,19.00	,1.80	,1.74	,.60	,2.21	,269.00
0	,22.00	,-.40	,-.49	,.59	,2.27	,271.00
0	,22.00	,-.10	,-.17	,.63	,2.31	,271.00
0	,22.00	,.40	,.34	,.69	,2.39	,270.00
0	,22.00	,1.00	,.93	,.70	,2.40	,269.00
0	,22.00	,1.80	,1.72	,.72	,2.42	,269.00
0	,25.00	,-.40	,-.52	,.63	,2.37	,272.00
0	,25.00	,-.10	,-.20	,.69	,2.43	,272.00
0	,25.00	,.40	,.32	,.76	,2.51	,271.00
0	,25.00	,1.00	,.92	,.81	,2.58	,270.00
0	,25.00	,1.80	,1.71	,.83	,2.60	,269.00
0	,28.00	,-.40	,-.58	,.65	,2.44	,273.00
0	,28.00	,-.10	,-.23	,.73	,2.52	,272.00
0	,28.00	,.40	,.30	,.82	,2.62	,272.00
0	,28.00	,1.00	,.90	,.89	,2.70	,271.00
0	,28.00	,1.80	,1.69	,.95	,2.78	,270.00
0	,31.00	,-.40	,-.64	,.67	,2.49	,273.00
0	,31.00	,-.10	,-.27	,.76	,2.60	,273.00
0	,31.00	,.40	,.28	,.87	,2.72	,272.00
0	,31.00	,1.00	,.89	,.97	,2.82	,271.00
0	,31.00	,1.80	,1.67	,1.05	,2.92	,270.00
0	,34.00	,-.40	,-.74	,.67	,2.52	,274.00
0	,34.00	,-.10	,-.33	,.77	,2.65	,273.00
0	,34.00	,.40	,.25	,.91	,2.80	,273.00
0	,34.00	,1.00	,.87	,1.03	,2.91	,271.00
0	,34.00	,1.80	,1.65	,1.13	,3.03	,270.00
0	,38.00	,-.40	,-.95	,.63	,2.51	,275.00
0	,38.00	,-.10	,-.44	,.78	,2.70	,274.00
0	,38.00	,.40	,.20	,.95	,2.88	,273.00
0	,38.00	,1.00	,.85	,1.10	,3.02	,272.00
0	,38.00	,1.80	,1.63	,1.23	,3.16	,271.00
0	,42.00	,-.40	,-1.46	,.49	,2.35	,274.00
0	,42.00	,-.10	,-.65	,.75	,2.69	,275.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
0	,42.00	,.40	,.12	,.98	,2.94	,274.00
0	,42.00	,1.00	,.81	,1.15	,3.10	,273.00
0	,42.00	,1.80	,1.61	,1.31	,3.27	,272.00
30	,14.00	,-.40	,-.57	,.40	,1.91	,234.00
30	,14.00	,-.10	,-.25	,.41	,1.92	,234.00
30	,14.00	,.40	,.26	,.41	,1.93	,234.00
30	,14.00	,1.00	,.88	,.41	,1.93	,234.00
30	,14.00	,1.80	,1.68	,.41	,1.94	,234.00
30	,19.00	,-.40	,-.76	,.51	,2.17	,236.00
30	,19.00	,-.10	,-.42	,.56	,2.23	,235.00
30	,19.00	,.40	,.11	,.61	,2.28	,234.00
30	,19.00	,1.00	,.75	,.61	,2.30	,234.00
30	,19.00	,1.80	,1.56	,.62	,2.31	,234.00
30	,22.00	,-.40	,-.94	,.50	,2.22	,238.00
30	,22.00	,-.10	,-.58	,.58	,2.32	,236.00
30	,22.00	,.40	,-.01	,.67	,2.42	,234.00
30	,22.00	,1.00	,.64	,.73	,2.52	,233.00
30	,22.00	,1.80	,1.47	,.74	,2.52	,233.00
30	,25.00	,-.40	,-1.21	,.47	,2.20	,240.00
30	,25.00	,-.10	,-.79	,.57	,2.35	,238.00
30	,25.00	,.40	,-.18	,.70	,2.51	,235.00
30	,25.00	,1.00	,.50	,.80	,2.63	,233.00
30	,25.00	,1.80	,1.35	,.85	,2.70	,233.00
30	,28.00	,-.40	,-1.60	,.38	,2.09	,246.00
30	,28.00	,-.10	,-1.07	,.53	,2.32	,240.00
30	,28.00	,.40	,-.39	,.70	,2.55	,236.00
30	,28.00	,1.00	,.33	,.84	,2.71	,233.00
30	,28.00	,1.80	,1.20	,.95	,2.86	,232.00
30	,31.00	,-.40	,-2.06	,.31	,1.96	,245.00
30	,31.00	,-.10	,-1.51	,.42	,2.17	,245.00
30	,31.00	,.40	,-.65	,.66	,2.53	,238.00
30	,31.00	,1.00	,.12	,.85	,2.75	,234.00
30	,31.00	,1.80	,1.03	,1.00	,2.93	,233.00
30	,34.00	,-.40	,-2.41	,.09	,2.01	,244.00
30	,34.00	,-.10	,-2.06	,.24	,1.93	,253.00
30	,34.00	,.40	,-1.02	,.58	,2.44	,241.00
30	,34.00	,1.00	,-.12	,.83	,2.76	,236.00
30	,34.00	,1.80	,.84	,1.04	,2.99	,233.00
30	,38.00	,-.40	,-2.41	,.09	,2.21	,241.00
30	,38.00	,-.10	,-2.40	,.09	,2.24	,242.00
30	,38.00	,.40	,-1.83	,.37	,2.13	,250.00
30	,38.00	,1.00	,-.52	,.76	,2.69	,239.00
30	,38.00	,1.80	,.53	,1.04	,3.02	,234.00
30	,42.00	,-.40	,-2.43	,.09	,2.28	,240.00
30	,42.00	,-.10	,-2.41	,.10	,2.39	,240.00
30	,42.00	,.40	,-2.40	,.10	,2.31	,242.00
30	,42.00	,1.00	,-1.41	,.49	,2.33	,251.00
30	,42.00	,1.80	,.16	,.99	,2.98	,236.00
60	,14.00	,-.40	,-.68	,.44	,2.07	,203.00
60	,14.00	,-.10	,-.35	,.44	,2.08	,203.00
60	,14.00	,.40	,.18	,.45	,2.10	,203.00
60	,14.00	,1.00	,.81	,.45	,2.11	,203.00
60	,14.00	,1.80	,1.62	,.46	,2.12	,203.00
60	,19.00	,-.40	,-1.02	,.47	,2.19	,208.00
60	,19.00	,-.10	,-.65	,.55	,2.33	,204.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
60	,19.00	,.40	,-.08	,.64	,2.45	,202.00
60	,19.00	,1.00	,.58	,.66	,2.49	,202.00
60	,19.00	,1.80	,1.43	,.67	,2.51	,203.00
60	,22.00	,-.40	,-1.33	,.42	,2.10	,213.00
60	,22.00	,-.10	,-.93	,.52	,2.30	,208.00
60	,22.00	,.40	,-.30	,.66	,2.53	,203.00
60	,22.00	,1.00	,.39	,.76	,2.67	,201.00
60	,22.00	,1.80	,1.27	,.80	,2.74	,201.00
60	,25.00	,-.40	,-1.73	,.32	,1.91	,219.00
60	,25.00	,-.10	,-1.30	,.44	,2.16	,213.00
60	,25.00	,.40	,-.62	,.63	,2.50	,205.00
60	,25.00	,1.00	,.14	,.79	,2.75	,201.00
60	,25.00	,1.80	,1.06	,.90	,2.91	,199.00
60	,28.00	,-.40	,-2.24	,.17	,1.70	,218.00
60	,28.00	,-.10	,-1.76	,.32	,1.93	,220.00
60	,28.00	,.40	,-1.03	,.54	,2.35	,210.00
60	,28.00	,1.00	,-.18	,.77	,2.74	,202.00
60	,28.00	,1.80	,.81	,.95	,3.00	,199.00
60	,31.00	,-.40	,-2.43	,.06	,2.09	,209.00
60	,31.00	,-.10	,-2.35	,.10	,1.91	,199.00
60	,31.00	,.40	,-1.51	,.41	,2.12	,217.00
60	,31.00	,1.00	,-.62	,.68	,2.61	,206.00
60	,31.00	,1.80	,.49	,.95	,3.04	,200.00
60	,34.00	,-.40	,-2.40	,.11	,2.07	,181.00
60	,34.00	,-.10	,-2.45	,.06	,2.35	,210.00
60	,34.00	,.40	,-2.19	,.20	,1.89	,216.00
60	,34.00	,1.00	,-1.15	,.54	,2.35	,213.00
60	,34.00	,1.80	,.08	,.90	,2.95	,202.00
60	,38.00	,-.40	,-2.46	,.09	,2.27	,212.00
60	,38.00	,-.10	,-2.40	,.12	,2.23	,188.00
60	,38.00	,.40	,-2.46	,.09	,2.30	,210.00
60	,38.00	,1.00	,-2.09	,.25	,2.01	,222.00
60	,38.00	,1.80	,-.70	,.71	,2.64	,210.00
60	,42.00	,-.40	,-2.43	,.10	,2.59	,210.00
60	,42.00	,-.10	,-2.42	,.10	,2.49	,210.00
60	,42.00	,.40	,-2.42	,.10	,2.54	,209.00
60	,42.00	,1.00	,-2.40	,.10	,2.42	,210.00
60	,42.00	,1.80	,-1.66	,.41	,2.21	,215.00
90	,14.00	,-.40	,-.70	,.46	,2.17	,178.00
90	,14.00	,-.10	,-.38	,.47	,2.20	,177.00
90	,14.00	,.40	,.15	,.48	,2.22	,177.00
90	,14.00	,1.00	,.77	,.49	,2.23	,177.00
90	,14.00	,1.80	,1.60	,.49	,2.25	,177.00
90	,19.00	,-.40	,-1.04	,.48	,2.24	,182.00
90	,19.00	,-.10	,-.69	,.56	,2.40	,179.00
90	,19.00	,.40	,-.13	,.65	,2.56	,176.00
90	,19.00	,1.00	,.53	,.71	,2.64	,176.00
90	,19.00	,1.80	,1.39	,.73	,2.66	,177.00
90	,22.00	,-.40	,-1.33	,.43	,2.13	,185.00
90	,22.00	,-.10	,-.96	,.52	,2.34	,182.00
90	,22.00	,.40	,-.36	,.66	,2.61	,177.00
90	,22.00	,1.00	,.33	,.79	,2.80	,175.00
90	,22.00	,1.80	,1.21	,.86	,2.89	,175.00
90	,25.00	,-.40	,-1.71	,.34	,1.92	,191.00
90	,25.00	,-.10	,-1.29	,.45	,2.18	,185.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
90	,25.00	,.40	,-.66	,.63	,2.54	,179.00
90	,25.00	,1.00	,.07	,.80	,2.85	,176.00
90	,25.00	,1.80	,.99	,.95	,3.05	,174.00
90	,28.00	,-.40	,-2.24	,.16	,1.65	,175.00
90	,28.00	,-.10	,-1.77	,.33	,1.93	,190.00
90	,28.00	,.40	,-1.06	,.54	,2.35	,182.00
90	,28.00	,1.00	,-.27	,.76	,2.78	,177.00
90	,28.00	,1.80	,.71	,.98	,3.13	,174.00
90	,31.00	,-.40	,-2.37	,.11	,1.78	,169.00
90	,31.00	,-.10	,-2.36	,.14	,1.86	,181.00
90	,31.00	,.40	,-1.56	,.41	,2.06	,186.00
90	,31.00	,1.00	,-.70	,.67	,2.59	,180.00
90	,31.00	,1.80	,.35	,.95	,3.10	,175.00
90	,34.00	,-.40	,-2.42	,.16	,2.02	,179.00
90	,34.00	,-.10	,-2.40	,.10	,2.01	,174.00
90	,34.00	,.40	,-2.30	,.17	,1.91	,181.00
90	,34.00	,1.00	,-1.27	,.51	,2.27	,184.00
90	,34.00	,1.80	,-.11	,.87	,2.94	,177.00
90	,38.00	,-.40	,-2.43	,.11	,2.61	,180.00
90	,38.00	,-.10	,-2.38	,.12	,2.09	,174.00
90	,38.00	,.40	,-2.37	,.13	,2.08	,174.00
90	,38.00	,1.00	,-2.39	,.15	,2.20	,184.00
90	,38.00	,1.80	,-.95	,.64	,2.51	,182.00
90	,42.00	,-.40	,-2.35	,.15	,2.21	,175.00
90	,42.00	,.40	,-2.37	,.15	,2.28	,174.00
90	,42.00	,1.00	,-2.39	,.14	,2.27	,174.00
90	,42.00	,1.80	,-2.36	,.19	,2.48	,181.00
120	,14.00	,-.40	,-.62	,.47	,2.22	,155.00
120	,14.00	,-.10	,-.30	,.49	,2.24	,154.00
120	,14.00	,.40	,.22	,.49	,2.22	,153.00
120	,14.00	,1.00	,.83	,.50	,2.21	,153.00
120	,14.00	,1.80	,1.64	,.50	,2.22	,153.00
120	,19.00	,-.40	,-.85	,.53	,2.31	,154.00
120	,19.00	,-.10	,-.52	,.60	,2.43	,152.00
120	,19.00	,.40	,.02	,.69	,2.56	,152.00
120	,19.00	,1.00	,.66	,.74	,2.62	,152.00
120	,19.00	,1.80	,1.49	,.75	,2.65	,152.00
120	,22.00	,-.40	,-1.04	,.51	,2.28	,154.00
120	,22.00	,-.10	,-.70	,.60	,2.45	,153.00
120	,22.00	,.40	,-.14	,.73	,2.66	,151.00
120	,22.00	,1.00	,.51	,.84	,2.80	,151.00
120	,22.00	,1.80	,1.36	,.90	,2.90	,151.00
120	,25.00	,-.40	,-1.28	,.46	,2.18	,155.00
120	,25.00	,-.10	,-.92	,.57	,2.39	,153.00
120	,25.00	,.40	,-.35	,.72	,2.68	,152.00
120	,25.00	,1.00	,.33	,.87	,2.90	,151.00
120	,25.00	,1.80	,1.20	,1.02	,3.09	,150.00
120	,28.00	,-.40	,-1.59	,.38	,2.02	,157.00
120	,28.00	,-.10	,-1.21	,.50	,2.27	,155.00
120	,28.00	,.40	,-.60	,.68	,2.61	,153.00
120	,28.00	,1.00	,.10	,.87	,2.93	,151.00
120	,28.00	,1.80	,1.01	,1.07	,3.20	,151.00
120	,31.00	,-.40	,-1.99	,.26	,1.80	,154.00
120	,31.00	,-.10	,-1.56	,.41	,2.06	,154.00
120	,31.00	,.40	,-.91	,.62	,2.48	,154.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
120	,31.00	,1.00	,-.17	,.83	,2.88	,152.00
120	,31.00	,1.80	,.77	,1.08	,3.29	,152.00
120	,34.00	,-.40	,-2.42	,.10	,2.41	,139.00
120	,34.00	,-.10	,-2.07	,.23	,1.85	,152.00
120	,34.00	,.40	,-1.31	,.50	,2.27	,153.00
120	,34.00	,1.00	,-.51	,.76	,2.74	,152.00
120	,34.00	,1.80	,.47	,1.05	,3.20	,151.00
120	,38.00	,-.40	,-2.45	,.10	,2.19	,140.00
120	,38.00	,-.10	,-2.43	,.10	,2.14	,144.00
120	,38.00	,.40	,-2.12	,.24	,2.03	,152.00
120	,38.00	,1.00	,-1.10	,.60	,2.44	,153.00
120	,38.00	,1.80	,-.03	,.94	,3.03	,152.00
120	,42.00	,-.40	,-2.40	,.13	,2.31	,147.00
120	,42.00	,-.10	,-2.42	,.13	,2.30	,147.00
120	,42.00	,.40	,-2.41	,.13	,2.29	,146.00
120	,42.00	,1.00	,-2.05	,.28	,2.16	,150.00
120	,42.00	,1.80	,-.67	,.77	,2.74	,152.00
150	,14.00	,-.40	,-.48	,.47	,2.17	,124.00
150	,14.00	,-.10	,-.18	,.48	,2.17	,125.00
150	,14.00	,.40	,.33	,.49	,2.16	,125.00
150	,14.00	,1.00	,.93	,.49	,2.13	,125.00
150	,14.00	,1.80	,1.73	,.49	,2.14	,125.00
150	,19.00	,-.40	,-.55	,.59	,2.34	,121.00
150	,19.00	,-.10	,-.25	,.65	,2.41	,122.00
150	,19.00	,.40	,.26	,.71	,2.47	,124.00
150	,19.00	,1.00	,.86	,.74	,2.51	,125.00
150	,19.00	,1.80	,1.67	,.75	,2.52	,125.00
150	,22.00	,-.40	,-.60	,.62	,2.44	,121.00
150	,22.00	,-.10	,-.30	,.69	,2.53	,121.00
150	,22.00	,.40	,.21	,.79	,2.63	,123.00
150	,22.00	,1.00	,.81	,.87	,2.72	,124.00
150	,22.00	,1.80	,1.62	,.91	,2.78	,125.00
150	,25.00	,-.40	,-.66	,.64	,2.49	,120.00
150	,25.00	,-.10	,-.36	,.72	,2.61	,121.00
150	,25.00	,.40	,.15	,.84	,2.75	,122.00
150	,25.00	,1.00	,.76	,.95	,2.86	,123.00
150	,25.00	,1.80	,1.57	,1.05	,2.98	,124.00
150	,28.00	,-.40	,-.73	,.65	,2.53	,119.00
150	,28.00	,-.10	,-.42	,.74	,2.66	,120.00
150	,28.00	,.40	,.09	,.87	,2.83	,122.00
150	,28.00	,1.00	,.69	,1.00	,2.97	,123.00
150	,28.00	,1.80	,1.51	,1.15	,3.12	,124.00
150	,31.00	,-.40	,-.80	,.65	,2.54	,119.00
150	,31.00	,-.10	,-.49	,.75	,2.69	,120.00
150	,31.00	,.40	,.02	,.89	,2.88	,121.00
150	,31.00	,1.00	,.62	,1.04	,3.06	,122.00
150	,31.00	,1.80	,1.44	,1.22	,3.21	,123.00
150	,34.00	,-.40	,-.87	,.65	,2.54	,118.00
150	,34.00	,-.10	,-.58	,.75	,2.69	,119.00
150	,34.00	,.40	,-.07	,.90	,2.92	,121.00
150	,34.00	,1.00	,.54	,1.07	,3.13	,122.00
150	,34.00	,1.80	,1.36	,1.27	,3.31	,123.00
150	,38.00	,-.40	,-.99	,.64	,2.54	,117.00
150	,38.00	,-.10	,-.69	,.74	,2.69	,118.00
150	,38.00	,.40	,-.18	,.90	,2.93	,120.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
150	,38.00	,1.00	,.43	,1.09	,3.17	,121.00
150	,38.00	,1.80	,1.25	,1.31	,3.42	,122.00
150	,42.00	,-.40	,-1.14	,.61	,2.51	,116.00
150	,42.00	,-.10	,-.84	,.72	,2.67	,117.00
150	,42.00	,.40	,-.33	,.89	,2.92	,119.00
150	,42.00	,1.00	,.29	,1.09	,3.18	,121.00
150	,42.00	,1.80	,1.12	,1.33	,3.46	,122.00
180	,14.00	,-.40	,-.32	,.45	,2.07	,90.00
180	,14.00	,-.10	,-.03	,.45	,2.09	,90.00
180	,14.00	,.40	,.46	,.45	,2.12	,90.00
180	,14.00	,1.00	,1.04	,.46	,2.16	,89.00
180	,14.00	,1.80	,1.83	,.47	,2.26	,86.00
180	,19.00	,-.40	,-.23	,.64	,2.39	,89.00
180	,19.00	,-.10	,.05	,.66	,2.42	,89.00
180	,19.00	,.40	,.53	,.68	,2.46	,90.00
180	,19.00	,1.00	,1.10	,.69	,2.51	,89.00
180	,19.00	,1.80	,1.88	,.70	,2.55	,89.00
180	,22.00	,-.40	,-.16	,.71	,2.55	,88.00
180	,22.00	,-.10	,.12	,.76	,2.60	,88.00
180	,22.00	,.40	,.59	,.81	,2.68	,89.00
180	,22.00	,1.00	,1.15	,.84	,2.77	,89.00
180	,22.00	,1.80	,1.92	,.85	,2.81	,89.00
180	,25.00	,-.40	,-.07	,.79	,2.69	,87.00
180	,25.00	,-.10	,.20	,.84	,2.74	,88.00
180	,25.00	,.40	,.66	,.92	,2.86	,88.00
180	,25.00	,1.00	,1.21	,.98	,2.99	,89.00
180	,25.00	,1.80	,1.97	,1.01	,3.06	,89.00
180	,28.00	,-.40	,.04	,.86	,2.82	,87.00
180	,28.00	,-.10	,.30	,.92	,2.88	,87.00
180	,28.00	,.40	,.75	,1.01	,3.00	,88.00
180	,28.00	,1.00	,1.29	,1.09	,3.15	,88.00
180	,28.00	,1.80	,2.03	,1.16	,3.28	,89.00
180	,31.00	,-.40	,.17	,.94	,2.95	,87.00
180	,31.00	,-.10	,.42	,1.00	,3.01	,87.00
180	,31.00	,.40	,.86	,1.09	,3.12	,87.00
180	,31.00	,1.00	,1.38	,1.19	,3.30	,88.00
180	,31.00	,1.80	,2.11	,1.29	,3.46	,88.00
180	,34.00	,-.40	,.32	,1.02	,3.07	,86.00
180	,34.00	,-.10	,.57	,1.08	,3.14	,87.00
180	,34.00	,.40	,.98	,1.18	,3.24	,87.00
180	,34.00	,1.00	,1.49	,1.29	,3.43	,87.00
180	,34.00	,1.80	,2.20	,1.40	,3.61	,88.00
180	,38.00	,-.40	,.55	,1.14	,3.24	,86.00
180	,38.00	,-.10	,.78	,1.20	,3.31	,86.00
180	,38.00	,.40	,1.17	,1.30	,3.40	,86.00
180	,38.00	,1.00	,1.67	,1.42	,3.60	,87.00
180	,38.00	,1.80	,2.35	,1.55	,3.80	,87.00
180	,42.00	,-.40	,.80	,1.26	,3.40	,86.00
180	,42.00	,-.10	,1.02	,1.33	,3.46	,86.00
180	,42.00	,.40	,1.41	,1.43	,3.57	,86.00
180	,42.00	,1.00	,1.88	,1.55	,3.76	,86.00
180	,42.00	,1.80	,2.53	,1.70	,3.97	,87.00
210	,14.00	,-.40	,-.19	,.44	,2.67	,58.00
210	,14.00	,-.10	,.09	,.44	,2.78	,57.00
210	,14.00	,.40	,.57	,.46	,2.99	,55.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
210	,14.00	,1.00	,1.14	,.48	,3.19	,52.00
210	,14.00	,1.80	,1.91	,.53	,3.44	,47.00
210	,19.00	,-.40	,.01	,.64	,2.85	,60.00
210	,19.00	,-.10	,.28	,.65	,2.93	,59.00
210	,19.00	,.40	,.74	,.66	,3.09	,58.00
210	,19.00	,1.00	,1.29	,.69	,3.31	,56.00
210	,19.00	,1.80	,2.05	,.73	,3.62	,52.00
210	,22.00	,-.40	,.18	,.77	,3.13	,59.00
210	,22.00	,-.10	,.43	,.79	,3.23	,59.00
210	,22.00	,.40	,.88	,.81	,3.42	,58.00
210	,22.00	,1.00	,1.42	,.83	,3.63	,57.00
210	,22.00	,1.80	,2.15	,.87	,3.95	,54.00
210	,25.00	,-.40	,.37	,.90	,3.38	,58.00
210	,25.00	,-.10	,.62	,.92	,3.49	,58.00
210	,25.00	,.40	,1.04	,.96	,3.73	,58.00
210	,25.00	,1.00	,1.57	,.99	,3.96	,57.00
210	,25.00	,1.80	,2.29	,1.02	,4.28	,55.00
210	,28.00	,-.40	,.59	,1.02	,3.60	,57.00
210	,28.00	,-.10	,.82	,1.05	,3.72	,57.00
210	,28.00	,.40	,1.23	,1.11	,4.01	,57.00
210	,28.00	,1.00	,1.74	,1.14	,4.26	,56.00
210	,28.00	,1.80	,2.44	,1.18	,4.60	,55.00
210	,31.00	,-.40	,.83	,1.14	,3.80	,56.00
210	,31.00	,-.10	,1.06	,1.18	,3.95	,56.00
210	,31.00	,.40	,1.45	,1.24	,4.24	,57.00
210	,31.00	,1.00	,1.94	,1.30	,4.54	,56.00
210	,31.00	,1.80	,2.62	,1.36	,4.94	,55.00
210	,34.00	,-.40	,1.11	,1.26	,4.00	,56.00
210	,34.00	,-.10	,1.33	,1.31	,4.16	,56.00
210	,34.00	,.40	,1.70	,1.39	,4.48	,55.00
210	,34.00	,1.00	,2.17	,1.46	,4.82	,55.00
210	,34.00	,1.80	,2.82	,1.53	,5.24	,55.00
210	,38.00	,-.40	,1.51	,1.43	,4.26	,55.00
210	,38.00	,-.10	,1.72	,1.49	,4.44	,55.00
210	,38.00	,.40	,2.07	,1.57	,4.77	,55.00
210	,38.00	,1.00	,2.50	,1.66	,5.13	,55.00
210	,38.00	,1.80	,3.13	,1.75	,5.61	,54.00
210	,42.00	,-.40	,1.97	,1.62	,4.53	,55.00
210	,42.00	,-.10	,2.15	,1.67	,4.70	,54.00
210	,42.00	,.40	,2.48	,1.75	,5.03	,55.00
210	,42.00	,1.00	,2.89	,1.85	,5.42	,54.00
210	,42.00	,1.80	,3.48	,1.97	,5.95	,54.00
240	,14.00	,-.40	,-.12	,.41	,3.25	,32.00
240	,14.00	,-.10	,.16	,.43	,3.41	,31.00
240	,14.00	,.40	,.63	,.45	,3.68	,29.00
240	,14.00	,1.00	,1.20	,.50	,3.91	,26.00
240	,14.00	,1.80	,1.97	,.61	,4.12	,23.00
240	,19.00	,-.40	,.15	,.62	,3.41	,31.00
240	,19.00	,-.10	,.42	,.63	,3.54	,30.00
240	,19.00	,.40	,.87	,.66	,3.77	,28.00
240	,19.00	,1.00	,1.42	,.71	,4.04	,26.00
240	,19.00	,1.80	,2.16	,.80	,4.44	,22.00
240	,22.00	,-.40	,.36	,.76	,3.78	,30.00
240	,22.00	,-.10	,.61	,.77	,3.91	,29.00
240	,22.00	,.40	,1.06	,.81	,4.18	,28.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
240	,22.00	,1.00	,1.59	,.86	,4.45	,26.00
240	,22.00	,1.80	,2.31	,.94	,4.81	,21.00
240	,25.00	,-.40	,.60	,.92	,4.15	,29.00
240	,25.00	,-.10	,.85	,.93	,4.30	,28.00
240	,25.00	,.40	,1.27	,.97	,4.57	,27.00
240	,25.00	,1.00	,1.78	,1.03	,4.87	,25.00
240	,25.00	,1.80	,2.49	,1.12	,5.25	,20.00
240	,28.00	,-.40	,.87	,1.08	,4.50	,28.00
240	,28.00	,-.10	,1.11	,1.10	,4.68	,27.00
240	,28.00	,.40	,1.52	,1.15	,4.98	,26.00
240	,28.00	,1.00	,2.01	,1.20	,5.25	,25.00
240	,28.00	,1.80	,2.69	,1.28	,5.62	,23.00
240	,31.00	,-.40	,1.19	,1.24	,4.82	,27.00
240	,31.00	,-.10	,1.41	,1.27	,5.03	,26.00
240	,31.00	,.40	,1.79	,1.33	,5.35	,26.00
240	,31.00	,1.00	,2.26	,1.39	,5.65	,24.00
240	,31.00	,1.80	,2.94	,1.48	,6.04	,20.00
240	,34.00	,-.40	,1.53	,1.42	,5.16	,24.00
240	,34.00	,-.10	,1.74	,1.45	,5.37	,25.00
240	,34.00	,.40	,2.10	,1.51	,5.70	,25.00
240	,34.00	,1.00	,2.56	,1.58	,6.03	,24.00
240	,34.00	,1.80	,3.21	,1.68	,6.43	,19.00
240	,38.00	,-.40	,2.04	,1.65	,5.56	,24.00
240	,38.00	,-.10	,2.24	,1.68	,5.78	,25.00
240	,38.00	,.40	,2.55	,1.76	,6.16	,23.00
240	,38.00	,1.00	,3.00	,1.83	,6.49	,21.00
240	,38.00	,1.80	,3.61	,1.95	,6.93	,20.00
240	,42.00	,-.40	,2.61	,1.88	,5.94	,23.00
240	,42.00	,-.10	,2.78	,1.93	,6.20	,23.00
240	,42.00	,.40	,3.07	,2.00	,6.56	,22.00
240	,42.00	,1.00	,3.49	,2.10	,6.95	,22.00
240	,42.00	,1.80	,4.06	,2.21	,7.38	,21.00
270	,14.00	,-.40	,-.12	,.39	,3.25	,18.00
270	,14.00	,-.10	,.16	,.39	,3.46	,18.00
270	,14.00	,.40	,.64	,.44	,3.47	,17.00
270	,14.00	,1.00	,1.22	,.51	,3.60	,15.00
270	,14.00	,1.80	,1.99	,.58	,3.98	,13.00
270	,19.00	,-.40	,.17	,.63	,3.37	,10.00
270	,19.00	,-.10	,.44	,.64	,3.49	,11.00
270	,19.00	,.40	,.89	,.68	,3.67	,11.00
270	,19.00	,1.00	,1.45	,.75	,3.87	,11.00
270	,19.00	,1.80	,2.19	,.84	,4.13	,12.00
270	,22.00	,-.40	,.40	,.75	,3.68	,9.00
270	,22.00	,-.10	,.66	,.78	,3.85	,9.00
270	,22.00	,.40	,1.10	,.83	,4.05	,9.00
270	,22.00	,1.00	,1.63	,.90	,4.24	,9.00
270	,22.00	,1.80	,2.35	,.99	,4.48	,10.00
270	,25.00	,-.40	,.67	,.90	,4.03	,7.00
270	,25.00	,-.10	,.91	,.93	,4.21	,7.00
270	,25.00	,.40	,1.33	,.98	,4.41	,7.00
270	,25.00	,1.00	,1.84	,1.06	,4.60	,8.00
270	,25.00	,1.80	,2.55	,1.16	,4.85	,9.00
270	,28.00	,-.40	,.96	,1.04	,4.33	,5.00
270	,28.00	,-.10	,1.19	,1.10	,4.57	,7.00
270	,28.00	,.40	,1.59	,1.14	,4.75	,6.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
270	,28.00	,1.00	,2.09	,1.22	,4.94	,6.00
270	,28.00	,1.80	,2.77	,1.32	,5.18	,7.00
270	,31.00	,-.40	,1.29	,1.20	,4.65	,4.00
270	,31.00	,-.10	,1.51	,1.24	,4.86	,4.00
270	,31.00	,.40	,1.90	,1.30	,5.07	,5.00
270	,31.00	,1.00	,2.37	,1.38	,5.25	,5.00
270	,31.00	,1.80	,3.03	,1.52	,5.56	,8.00
270	,34.00	,-.40	,1.64	,1.36	,4.95	,3.00
270	,34.00	,-.10	,1.86	,1.39	,5.14	,3.00
270	,34.00	,.40	,2.23	,1.45	,5.36	,3.00
270	,34.00	,1.00	,2.68	,1.56	,5.58	,5.00
270	,34.00	,1.80	,3.31	,1.66	,5.81	,6.00
270	,38.00	,-.40	,2.15	,1.59	,5.35	,2.00
270	,38.00	,-.10	,2.35	,1.63	,5.57	,3.00
270	,38.00	,.40	,2.71	,1.69	,5.79	,3.00
270	,38.00	,1.00	,3.14	,1.77	,5.95	,4.00
270	,38.00	,1.80	,3.74	,1.89	,6.20	,5.00
270	,42.00	,-.40	,2.70	,1.81	,5.71	,2.00
270	,42.00	,-.10	,2.89	,1.86	,5.95	,2.00
270	,42.00	,.40	,3.24	,1.93	,6.18	,3.00
270	,42.00	,1.00	,3.66	,2.01	,6.34	,3.00
270	,42.00	,1.80	,4.22	,2.12	,6.56	,5.00
300	,14.00	,-.40	,-.17	,.40	,2.68	,338.00
300	,14.00	,-.10	,.11	,.41	,2.79	,338.00
300	,14.00	,.40	,.60	,.42	,2.88	,340.00
300	,14.00	,1.00	,1.17	,.46	,3.03	,344.00
300	,14.00	,1.80	,1.94	,.55	,3.34	,349.00
300	,19.00	,-.40	,.06	,.59	,2.83	,337.00
300	,19.00	,-.10	,.34	,.61	,2.87	,339.00
300	,19.00	,.40	,.80	,.64	,2.98	,340.00
300	,19.00	,1.00	,1.36	,.70	,3.15	,343.00
300	,19.00	,1.80	,2.11	,.79	,3.37	,347.00
300	,22.00	,-.40	,.25	,.72	,3.13	,337.00
300	,22.00	,-.10	,.52	,.75	,3.18	,337.00
300	,22.00	,.40	,.96	,.79	,3.31	,340.00
300	,22.00	,1.00	,1.51	,.86	,3.49	,343.00
300	,22.00	,1.80	,2.24	,.94	,3.68	,347.00
300	,25.00	,-.40	,.47	,.85	,3.40	,336.00
300	,25.00	,-.10	,.73	,.88	,3.45	,337.00
300	,25.00	,.40	,1.16	,.93	,3.59	,340.00
300	,25.00	,1.00	,1.68	,1.00	,3.77	,343.00
300	,25.00	,1.80	,2.39	,1.10	,3.98	,347.00
300	,28.00	,-.40	,.71	,.98	,3.65	,337.00
300	,28.00	,-.10	,.96	,1.01	,3.69	,338.00
300	,28.00	,.40	,1.39	,1.07	,3.85	,340.00
300	,28.00	,1.00	,1.89	,1.14	,4.02	,343.00
300	,28.00	,1.80	,2.57	,1.24	,4.22	,347.00
300	,31.00	,-.40	,.98	,1.10	,3.86	,338.00
300	,31.00	,-.10	,1.23	,1.14	,3.92	,339.00
300	,31.00	,.40	,1.64	,1.21	,4.10	,341.00
300	,31.00	,1.00	,2.13	,1.28	,4.26	,343.00
300	,31.00	,1.80	,2.79	,1.38	,4.45	,346.00
300	,34.00	,-.40	,1.26	,1.22	,4.07	,339.00
300	,34.00	,-.10	,1.52	,1.27	,4.14	,340.00
300	,34.00	,.40	,1.92	,1.34	,4.31	,341.00

'Windrichting	'Windsnelheid	'Meerpeil	'Waterstand	'Golfhoogte	'Golfperiode	'Invalshoek
300	,34.00	,1.00	,2.39	,1.42	,4.49	,343.00
300	,34.00	,1.80	,3.03	,1.53	,4.69	,346.00
300	,38.00	,-.40	,1.67	,1.39	,4.34	,340.00
300	,38.00	,-.10	,1.93	,1.44	,4.41	,341.00
300	,38.00	,.40	,2.34	,1.52	,4.59	,342.00
300	,38.00	,1.00	,2.79	,1.60	,4.76	,343.00
300	,38.00	,1.80	,3.40	,1.72	,4.97	,345.00
300	,42.00	,-.40	,2.11	,1.56	,4.60	,340.00
300	,42.00	,-.10	,2.36	,1.61	,4.66	,341.00
300	,42.00	,.40	,2.79	,1.71	,4.87	,342.00
300	,42.00	,1.00	,3.24	,1.80	,5.05	,343.00
300	,42.00	,1.80	,3.83	,1.91	,5.24	,345.00
330	,14.00	,-.40	,-.28	,.38	,2.27	,299.00
330	,14.00	,-.10	,.01	,.38	,2.27	,298.00
330	,14.00	,.40	,.50	,.38	,2.30	,299.00
330	,14.00	,1.00	,1.08	,.41	,2.41	,303.00
330	,14.00	,1.80	,1.86	,.46	,2.57	,313.00
330	,19.00	,-.40	,-.16	,.56	,2.28	,299.00
330	,19.00	,-.10	,.13	,.56	,2.30	,299.00
330	,19.00	,.40	,.60	,.57	,2.33	,299.00
330	,19.00	,1.00	,1.18	,.61	,2.44	,304.00
330	,19.00	,1.80	,1.94	,.68	,2.60	,311.00
330	,22.00	,-.40	,-.06	,.66	,2.47	,301.00
330	,22.00	,-.10	,.22	,.68	,2.53	,300.00
330	,22.00	,.40	,.69	,.70	,2.58	,300.00
330	,22.00	,1.00	,1.25	,.74	,2.69	,304.00
330	,22.00	,1.80	,2.01	,.81	,2.84	,310.00
330	,25.00	,-.40	,.05	,.74	,2.62	,303.00
330	,25.00	,-.10	,.34	,.77	,2.70	,302.00
330	,25.00	,.40	,.80	,.81	,2.78	,302.00
330	,25.00	,1.00	,1.35	,.87	,2.91	,305.00
330	,25.00	,1.80	,2.09	,.94	,3.06	,310.00
330	,28.00	,-.40	,.18	,.82	,2.77	,304.00
330	,28.00	,-.10	,.47	,.86	,2.85	,304.00
330	,28.00	,.40	,.92	,.92	,2.96	,304.00
330	,28.00	,1.00	,1.47	,.99	,3.11	,306.00
330	,28.00	,1.80	,2.18	,1.07	,3.26	,310.00
330	,31.00	,-.40	,.32	,.90	,2.89	,305.00
330	,31.00	,-.10	,.61	,.95	,3.00	,305.00
330	,31.00	,.40	,1.07	,1.02	,3.12	,306.00
330	,31.00	,1.00	,1.60	,1.10	,3.28	,307.00
330	,31.00	,1.80	,2.30	,1.20	,3.45	,310.00
330	,34.00	,-.40	,.46	,.98	,3.02	,306.00
330	,34.00	,-.10	,.77	,1.04	,3.13	,306.00
330	,34.00	,.40	,1.23	,1.12	,3.27	,307.00
330	,34.00	,1.00	,1.75	,1.21	,3.44	,308.00
330	,34.00	,1.80	,2.44	,1.32	,3.62	,311.00
330	,38.00	,-.40	,.67	,1.09	,3.18	,307.00
330	,38.00	,-.10	,.99	,1.15	,3.30	,307.00
330	,38.00	,.40	,1.47	,1.25	,3.45	,309.00
330	,38.00	,1.00	,1.98	,1.35	,3.63	,310.00
330	,38.00	,1.80	,2.65	,1.47	,3.82	,311.00
330	,42.00	,-.40	,.87	,1.19	,3.32	,308.00
330	,42.00	,-.10	,1.21	,1.27	,3.46	,308.00
330	,42.00	,.40	,1.71	,1.38	,3.63	,309.00
330	,42.00	,1.00	,2.25	,1.49	,3.81	,311.00
330	,42.00	,1.80	,2.90	,1.62	,4.01	,312.00

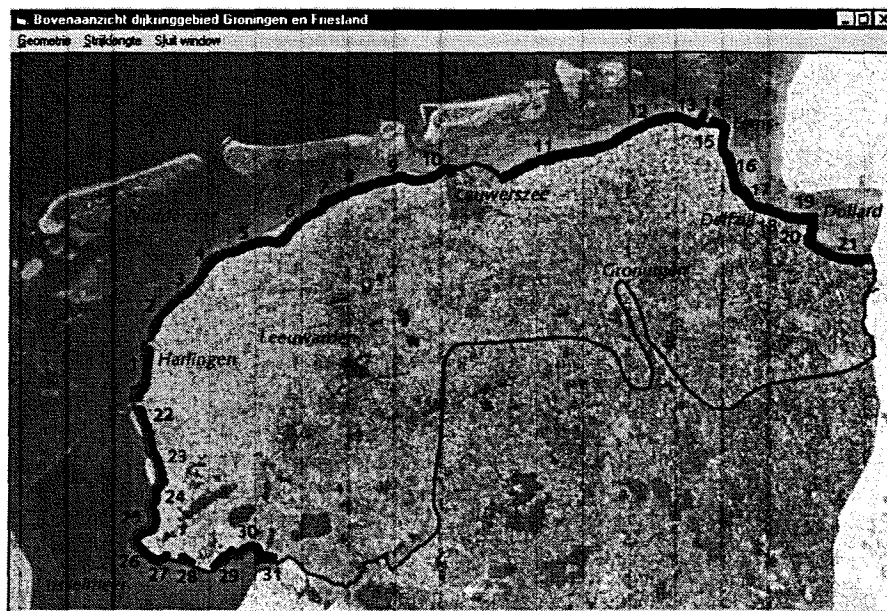
Bijlage III.G Presentatiemodules randvoorwaarden

De modules in basiseenheid E2 kunnen ingedeeld worden in twee groepen, elk met een eigen functie. Enerzijds een groep modules bedoeld voor het presenteren van de ingelezen randvoorwaarden, anderzijds een groep modules bedoeld voor het analyseren van de randvoorwaarden. In deze bijlage wordt van elk van de presentatie modules uit deze basiseenheid een voorbeeld gegeven.

Er kunnen vier presentatiemodules voor het weergeven van de ingelezen randvoorwaarden onderscheiden worden:

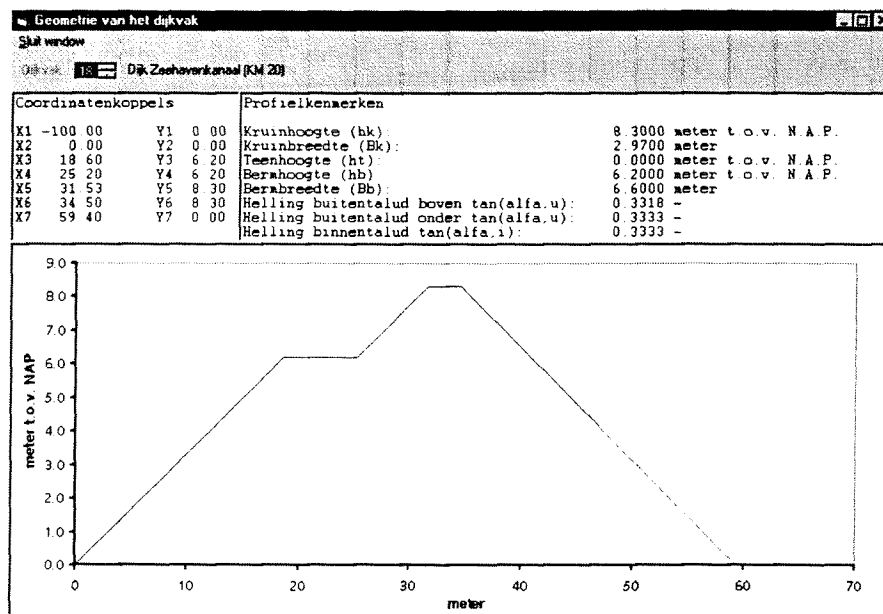
- I. een presentatiemodule met een bovenaanzicht van het dijkringgebied, met hierop aangegeven de dijkvakindeling

.....**Figuur III.G.1**.....
Geografisch overzicht dijkvakindeling



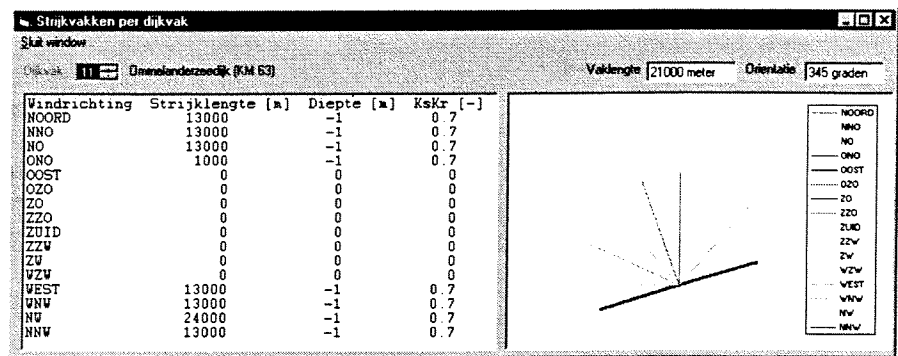
- II. een presentatiemodule met de weergave van het dijkprofiel per vak, inclusief een overzicht van de coördinatenkoppels en de bepalende profielkenmerken, zoals bijvoorbeeld de kruinhoogte, de bembreedte, etc.

.....**Figuur III.G.2**.....
Dijkprofiel per dijkvak



III. een presentatiemodule met de grafische weergave van de strijkkvakken per dijkvak (alleen voor de Waddenzeedijken)

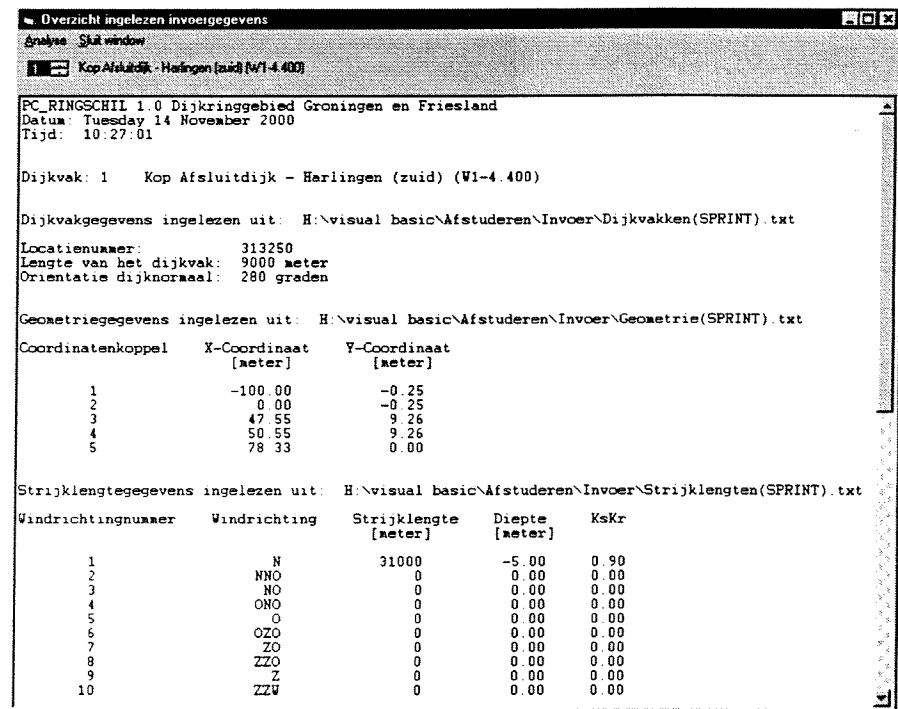
.....**Figuur III.G.3**.....
Strijkkvakken per dijkvak



IV. een presentatiemodule met de weergave van alle invoerdata per dijkvak, bestaande uit:

- o dijkvakgegevens
- o geometriegegevens
- o strijkk lengtegegevens

.....**Figuur III.G.4**.....
Overzicht ingelezen randvoorwaarden



Voor de Waddenzeedijken:
 o waterstandgegevens

.....**Figuur III.G.5**.....
 Overzicht ingelezen randvoorwaarden met
 waterstandgegevens voor de Waddenzeedijken

Overzicht ingelezen invoergegevens

Grafische weergave: Sluit window

Kop Afsluitdik - Harlingen (zuid) (W1-4.400)

8	ZZO	0	0.00	0.00
9	Z	0	0.00	0.00
10	ZZV	0	0.00	0.00
11	ZV	6250	-5.00	0.90
12	VZV	42500	-5.00	0.90
13	V	33000	-5.00	0.90
14	VNV	32500	-5.00	0.90
15	NV	28000	-5.00	0.90
16	NVV	24000	-5.00	0.90

Waterstandgegevens ingelezen uit:
 H:\PC_RINGSCHIL\Invoer\Waterstanden\Waterstand31.txt

Waterstandtabel voor de Waddenzee [in meters ten opzicht van N.A.P.]
 Zvendlnummer: 31

Waterstand Delfzijl	0.0000	3.4000	4.0600	4.8700	5.5600	6.6400
Waterstand Harlingen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	2.9500	2.9500	2.9500	2.9500	2.9500
2.9500	2.9000	2.9000	2.9000	2.9000	2.9000	2.9000
3.4700	3.4700	3.4700	3.4700	3.4700	3.4700	3.4700
4.0900	4.1400	4.1400	4.1400	4.1400	4.1400	4.1400
4.5900	4.6800	4.6800	4.6800	4.6800	4.6800	4.6800
5.3200	5.4400	5.4400	5.4400	5.4400	5.4400	5.4400

Waterstandgegevens ingelezen uit:
 H:\PC_RINGSCHIL\Invoer\Waterstanden\Waterstand32.txt

Waterstandtabel voor de Waddenzee [in meters ten opzicht van N.A.P.]
 Zvendlnummer: 32

Waterstand Delfzijl	0.0000	3.4000	4.0600	4.8700	5.5600	6.6400
Waterstand Harlingen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2.9500	2.9500	2.9500	2.9500	2.9500	2.9500	2.9500
3.4700	3.4700	3.4700	3.4700	3.4700	3.4700	3.4700
4.0900	4.0900	4.0900	4.0900	4.0900	4.0900	4.0900
4.5900	4.5900	4.5900	4.5900	4.5900	4.5900	4.5900
5.3200	5.3200	5.3200	5.3200	5.3200	5.3200	5.3200

Voor de IJsselmeerdijken:
 o waterstand/golfgegevens

.....**Figuur III.G.6**.....
 Overzicht ingelezen randvoorwaarden met
 waterstandgegevens voor de IJsselmeerdijken

Overzicht ingelezen invoergegevens

Grafische weergave: Sluit window

Kop Afsluitdik - Makkum (30A)

Windrichting HISWA Tabel: Ingraden

Waterstandgegevens ingelezen uit:
 H:\PC_RINGSCHIL\Invoer\Waterstanden\Waterstand81.txt

Waterstand- en Golfentabel voor het IJsselmeer
 Zvendlnummer: 81

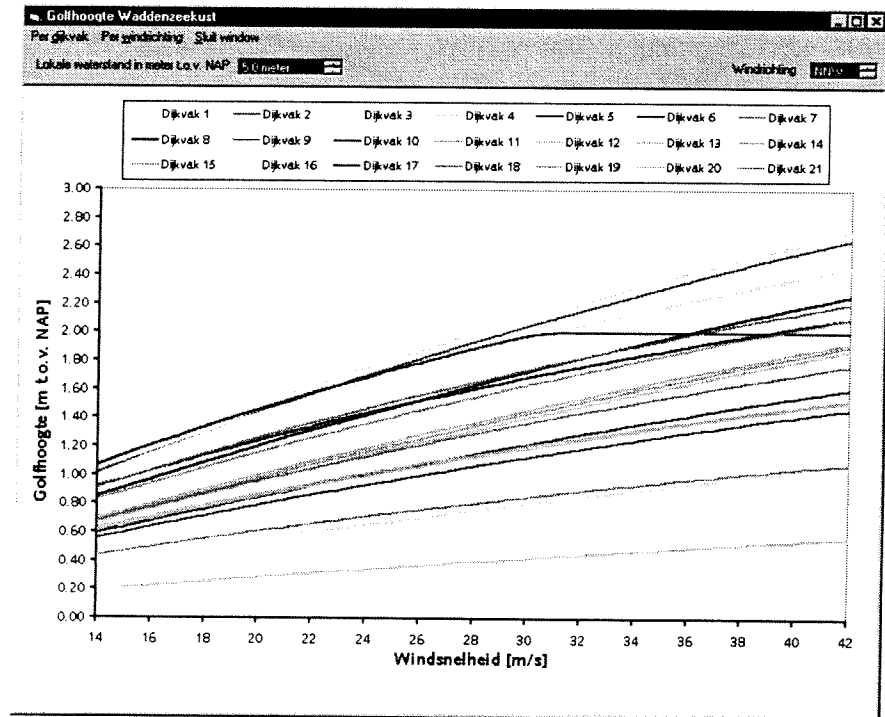
Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	IJsselaerpeilen [m t.o.v. NAP]	Lokale waterstand [m t.o.v. NAP]	Golfhoogte [meter]	Golfperiode [seconden]
0 00	14.00	-0.40	-0.78	0.39	2.19
0 00	14.00	-0.10	-0.46	0.40	2.21
0 00	14.00	0.40	0.07	0.42	2.25
0 00	14.00	1.00	0.71	0.45	2.32
0 00	14.00	1.80	1.55	0.46	2.37
0 00	19.00	-0.40	-1.18	0.49	2.51
0 00	19.00	-0.10	-0.84	0.53	2.55
0 00	19.00	0.40	-0.28	0.58	2.61
0 00	19.00	1.00	0.39	0.63	2.67
0 00	19.00	1.80	1.27	0.68	2.77
0 00	22.00	-0.40	-1.51	0.51	2.61
0 00	22.00	-0.10	-1.15	0.56	2.68
0 00	22.00	0.40	-0.56	0.64	2.76
0 00	22.00	1.00	0.14	0.71	2.84
0 00	22.00	1.80	1.05	0.78	2.97
0 00	25.00	-0.40	-1.90	0.52	2.61
0 00	25.00	-0.10	-1.53	0.56	2.72
0 00	25.00	0.40	-0.92	0.66	2.86
0 00	25.00	1.00	-0.18	0.76	2.97
0 00	25.00	1.80	0.77	0.86	3.12
0 00	28.00	-0.40	-2.34	0.48	2.48
0 00	28.00	-0.10	-1.97	0.55	2.67
0 00	28.00	0.40	-1.35	0.65	2.88
0 00	28.00	1.00	-0.57	0.77	3.05
0 00	28.00	1.80	0.43	0.92	3.22
0 00	31.00	-0.40	-2.66	0.44	2.38
0 00	31.00	-0.10	-2.44	0.49	2.45
0 00	31.00	0.40	-1.85	0.62	2.77
0 00	31.00	1.00	-1.05	0.75	3.05
0 00	31.00	1.80	0.02	0.93	3.27
0 00	34.00	-0.40	-2.93	0.40	2.27
0 00	34.00	-0.10	-2.71	0.46	2.38
0 00	34.00	0.40	-2.38	0.43	2.22

Bijlage III.H Analyse randvoorwaarden

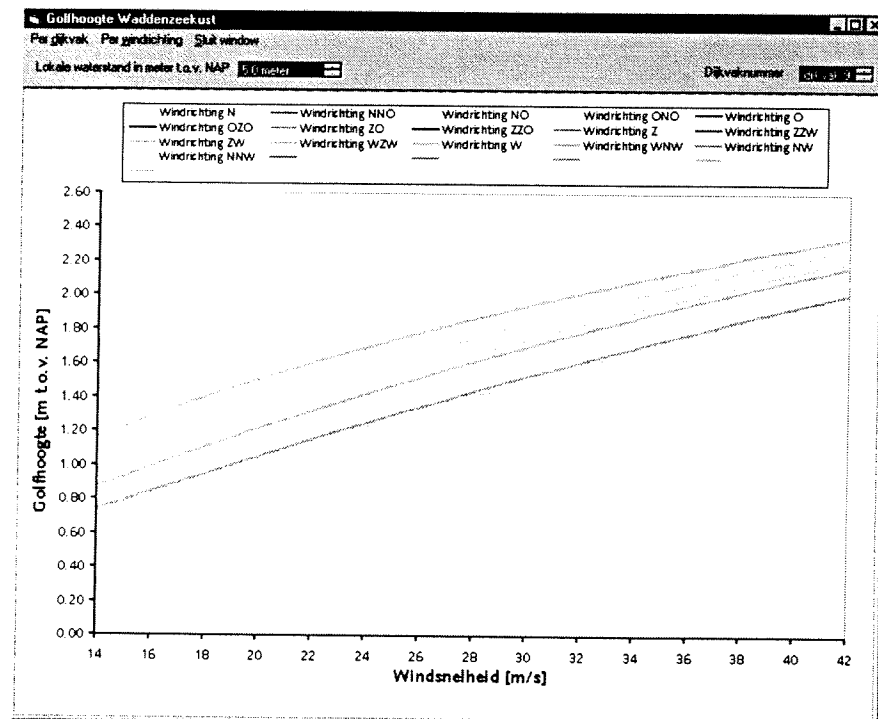
Naast de in bijlage III.G genoemde presentatiemodules bevat basiseenheid E2 ook een aantal analysemodules waarmee een nadere analyse van de randvoorwaarden per dijkvak gemaakt kan worden. Gekozen is voor een viertal analysesmodules:

- I. een analysemodule waarmee de invloed van de windsnelheid per dijkvak en/of per windrichting op de golfhoogte in het Waddenzeegebied tot uitdrukking kan worden gebracht (op basis van de Bretschneider formules);

.....**Figuur III.H.1**.....
Invloed van de windsnelheid op de golfhoogte per dijkvak bij windrichting NNW
 Vergelijk de figuur met het resultaat uit bijlage II.1 grafiek II.1.3. De naar horizontaal afbuigende lijnen in deze figuur zijn het gevolg van de beperkte waterdiepte, hetgeen niet is meegenomen in grafiek II.1.3

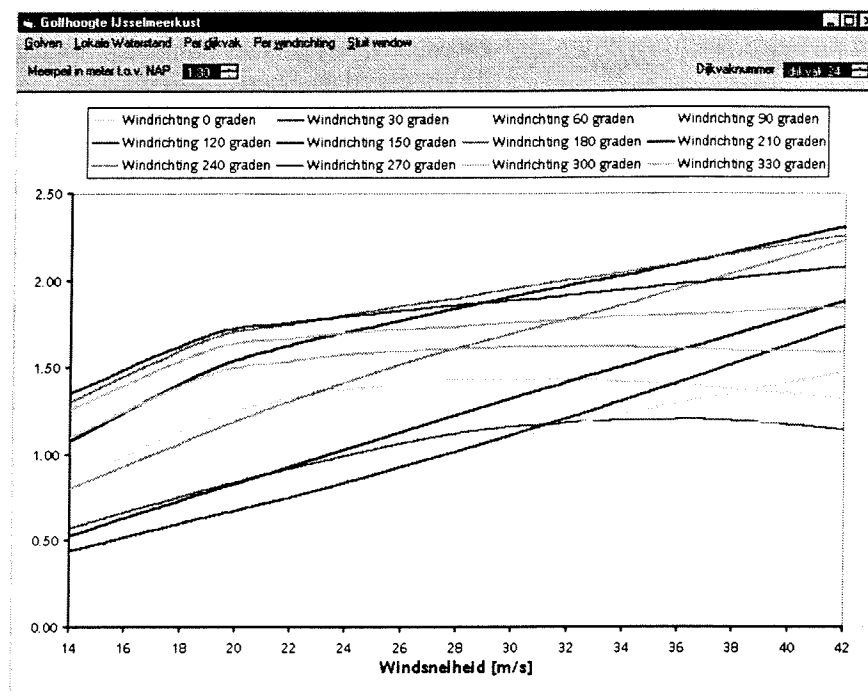


.....**Figuur III.H.2**.....
Invloed van de windsnelheid op de golfhoogte per windrichting bij dijkvak 9.
 Alleen berekend zijn de windrichtingen waarvoor een strijkvak is gedimensioneerd, zie ook bijlage II.H

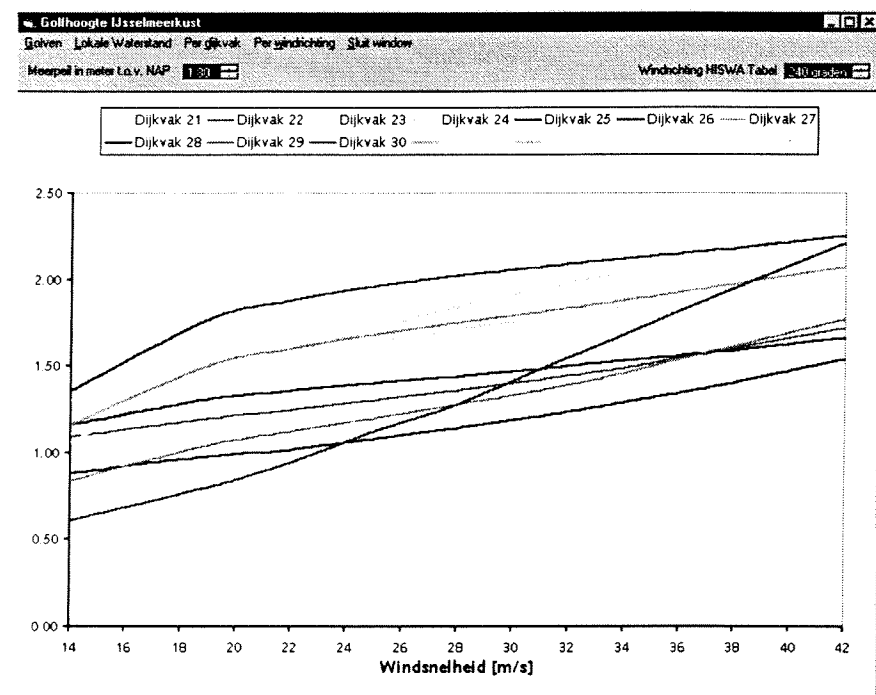


II. een analysemodule waarmee de invloed van de windsnelheid per dijkvak en/of per windrichting op de golfhoogte in het IJsselmeergebied tot uitdrukking kan worden gebracht (op basis van de HISWA tabellen);

.....**Figuur III.H.3**.....
Invloed van de windsnelheid op de golfhoogte per windrichting voor dijkvak 24.
 Deze figuur geeft duidelijk het in hoofdstuk 2 besproken fenomeen weer dat de golfhoogte wordt beperkt door de lokale waterstand die ook weer afhankelijk is van de windsnelheid, zoals in figuur III.H.5 is weergegeven.

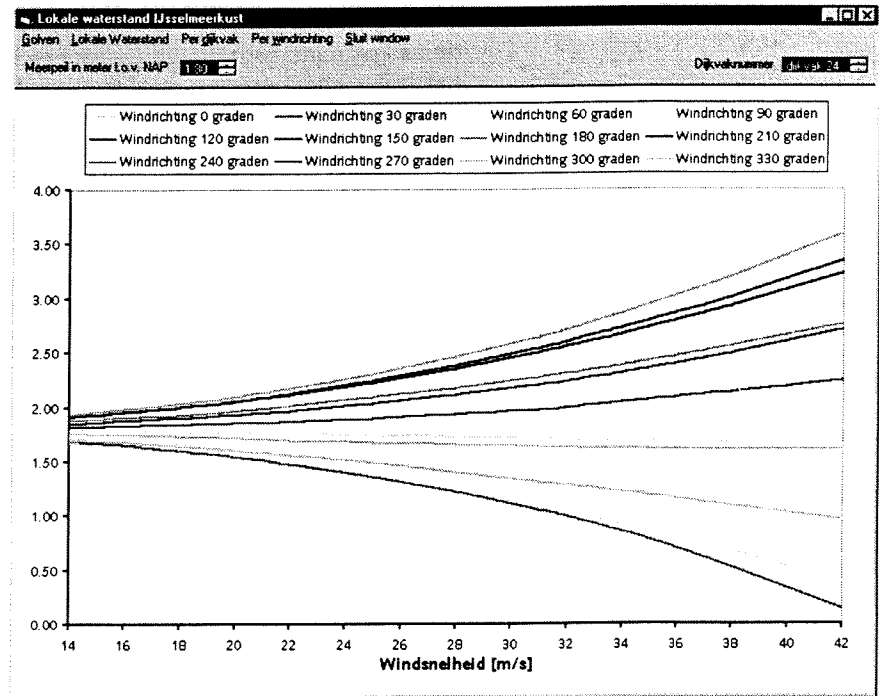


.....**Figuur III.H.4**.....
Invloed van de windsnelheid op de golfhoogte per dijkvak voor windrichting 240 graden

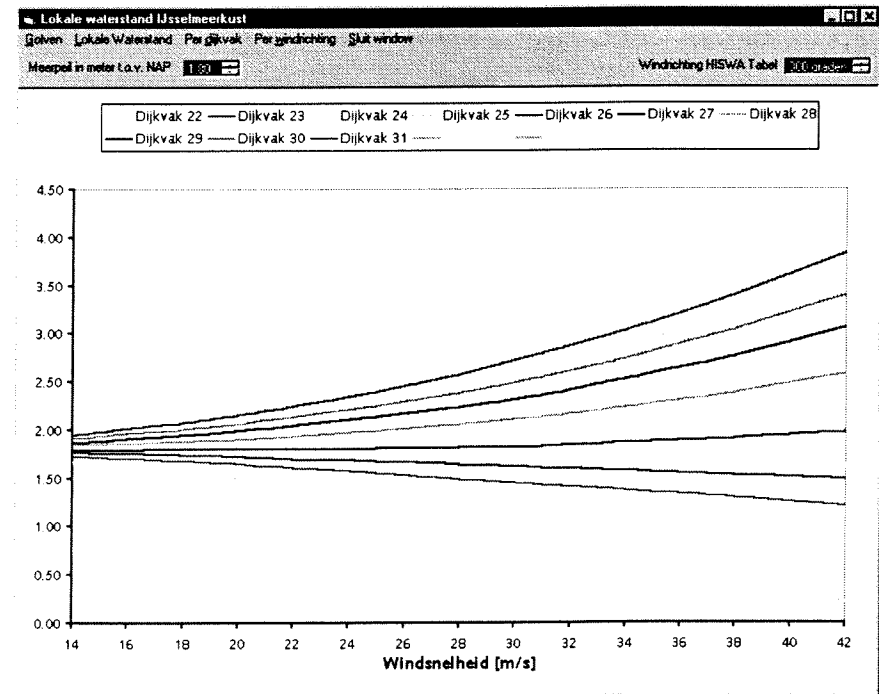


III. een analysemodule waarmee de invloed van de windsnelheid per dijkvak en/of per windrichting op de lokale waterstand in het IJsselmeergebied tot uitdrukking kan worden gebracht (op basis van de HISWA tabellen);

.....**Figuur III.H.5**.....
Invloed van de windsnelheid op de lokale waterstand per windrichting voor dijkvak 24.



.....**Figuur III.H.6**.....
Invloed van de windsnelheid op de lokale waterstand per dijkvak voor windrichting 240 graden

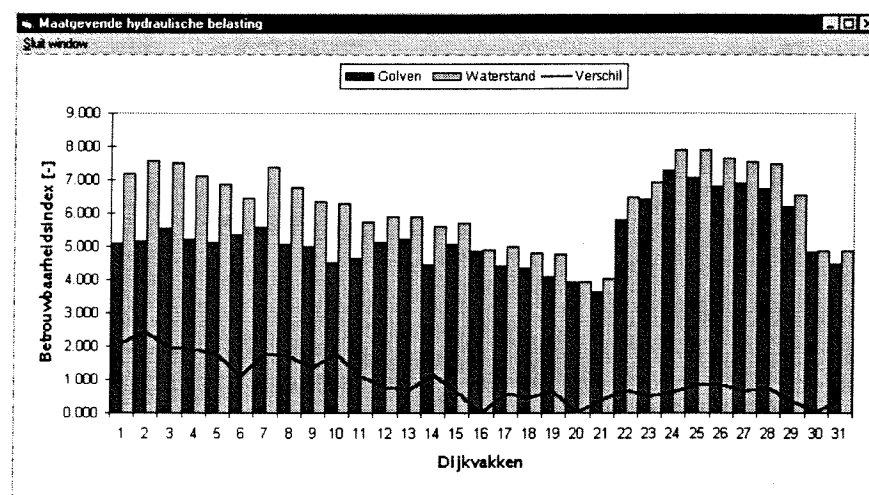


IV. een analysemodule waarmee de maatgevende hydraulische belasting per dijkvak bepaald kan worden.

Aan de hand van een soort 'truc' kan per dijkvak bepaald worden, welke hydraulische belasting (*golven of waterstand*) maatgevend is. Deze 'truc' is gebaseerd op de volgende gedachtegang. Als een faalkansberekening gemaakt wordt t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' wordt een hoge faalkans veroorzaakt doordat het optredende overslagdebiet groot is t.o.v. het kritieke overslagdebiet. Een grote waarde van het optredende overslagdebiet kan veroorzaakt worden doordat de lokale waterstand hoog is en als gevolg van de geringste golfaanval, behoorlijke hoeveelheden water over de dijk heenslaan. Het kan echter ook veroorzaakt worden doordat de golven extreem hoog zijn, zodat bij een veel minder hoge waarde van de lokale waterstand, alsnog een behoorlijke hoeveelheid water over de dijk heenslaat¹. Welke van bovengenoemde combinaties per dijkvak optreedt kan bepaald worden door twee verschillende faalkansberekeningen t.g.v. van het faalmechanisme 'overloop/overslag' naast elkaar te plotten. De eerste faalkansberekening wordt uitgevoerd volgens de normale procedure. De tweede faalkansberekening wordt uitgevoerd waarbij alle strijklengten gelijk gesteld zijn aan nul. PC_RINGSCHIL zal dan geen golfoverslagberekeningen maken, maar alleen de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme overloop bepalen. Wanneer beide faalkansberekeningen bij benadering hetzelfde resultaat geven kan geconcludeerd worden dat de waterstand maatgevend is. Immers met of zonder strijklengten (*dus golfberekeningen*) wordt een bijna net zo grote faalkans berekend. Wanneer de berekende faalkans met golven veel hoger is (*lagere betrouwbaarheidsindex*) dan de berekende faalkans zonder golven kan gesteld worden dat de golven maatgevend zijn. Daarnaast zijn natuurlijk nog miljoenen tussenvarianten te bedenken waarbij de ene belasting iets meer maatgevend is dan de andere. Figuur III.H.7 toont het resultaat van zo'n vergelijking.

.....**Toelichting**¹.....
Je kunt op je klompen aanvoelen dat in beide gevallen hele verschillende verbeteringsmaatregelen effectief zullen zijn

.....**Figuur III.H.7**.....
*Modelresultaat voor de bepaling van de maatgevende hydraulische belasting van het dijk-
 ringgebied 'Groningen en Friesland'*



Figuur III.H.7 weerspiegelt de volgende gebiedskenmerken.

- voor de dijkvakken 1 t/m 10 geldt dat de golven maatgevend zijn. De betrouwbaarheid van deze dijkvakken is voor een faalkansberekening zonder golven veel groter dan een faalkansberekening met golven;
- voor de dijkvakken 11 t/m 15 geldt dat de golven minder maatgevend zijn, maar nog steeds een behoorlijke invloed hebben op de faalkans;
- voor de dijkvakken 16 t/ 20 kan min of meer gesteld worden dat de waterstand steeds maatgevender wordt;
- voor de dijkvakken 22 – 24 en 29 - 31 is de waterstand maatgevend;
- voor de dijkvakken 25 – 28 kan gesteld worden dat de golven weer een aanzienlijk invloed hebben op de faalkans.

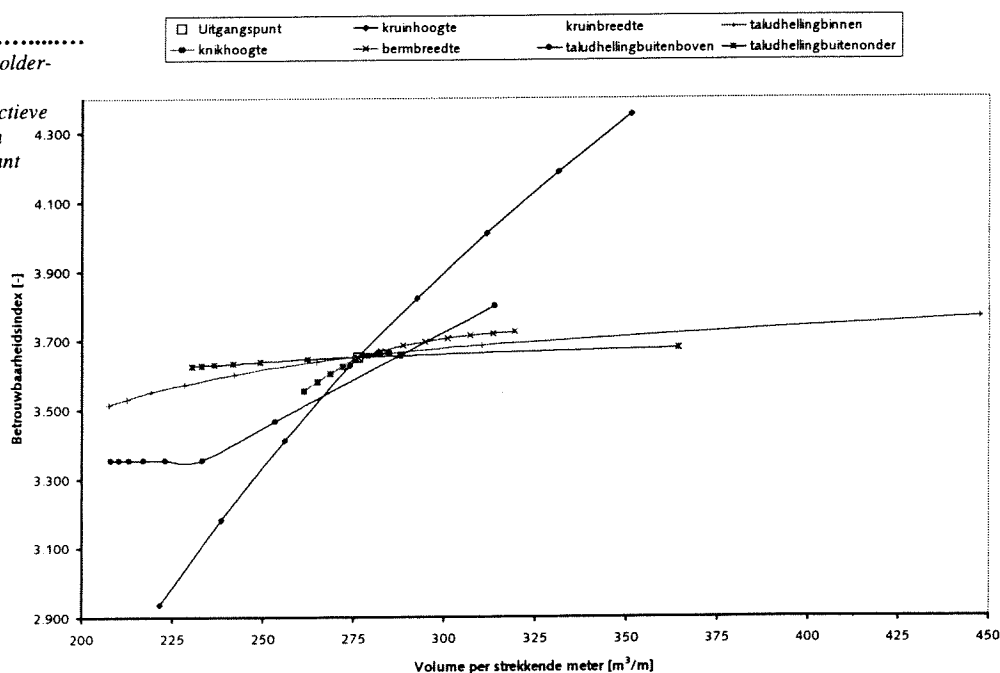
Geconcludeerd kan worden dat het op de vorige pagina geschetste beeld, goed overeenkomt met de in hoofdstuk 2 gemaakte beschrijving van de randvoorwaarden. Het beeld van figuur III.H.7 is zelfs zo nauwkeurig dat eenvoudig aangegeven kan worden welke dijkvakken niet worden afgeschermd door de Waddeneilanden¹.

.....**Toelichting**¹.....
 Hier vindt u kleine piekjes in het verloop van het verschil. Bijvoorbeeld bij dijkvak 2 en bij dijkvak 10. Uit bijlage II.A blijkt dat deze dijkvakken inderdaad onbeschermd ten opzichte van de Waddeneilanden liggen

Het is mogelijk om met de voorkennis uit deze analyse van de randvoorwaarden, meer gericht te gaan zoeken naar verbeteringsmaatregelen voor zwakke dijkvakken. Het is immers goed voor te stellen dat het aanleggen van een berm alleen een reducerende invloed op de faalkans kan hebben als er golven aanwezig zijn. Aan de hand van twee voorbeelden, waarin de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans is bepaald, zal aangetoond worden dat dit verschil daadwerkelijk terug te vinden is in het resultaat. Zowel voor dijkvak 21 Reiderwolderpolder, waar de lokale waterstand maatgevend is als voor dijkvak 3 Koehool/Slachte – Westhoek waar de golven maatgevend zijn is de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans bepaald. Grafiek III.H.1 en grafiek III.H.2 geven de resultaten weer.

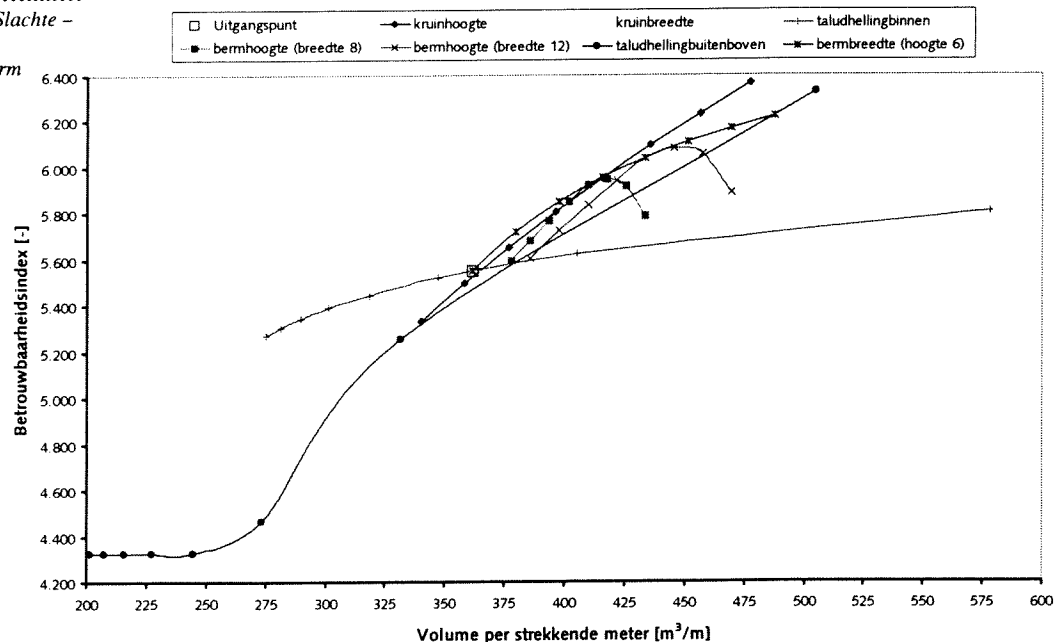
.....**Grafiek III.H.7**.....
 Modelresultaten dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk.

Alleen de kruinhoogte blijkt een effectieve maatregel te zijn om de faalkans van het dijkvak te reduceren. Logisch want de waterstand is maatgevend en met het aanleggen van een berm of het versteilen van het buitentalud, wordt het water niet tegengehouden



.....**Grafiek III.H.7**.....
 Modelresultaten dijkvak 3 Koehool/Slachte – Westhoek

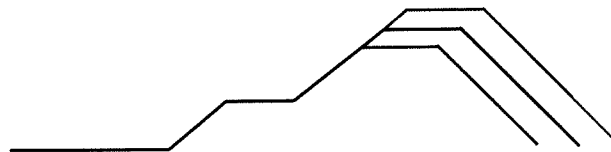
Hier blijkt het aanleggen van een berm inderdaad veel effectiever te zijn. Geheel volgens verwachting omdat de golven hier maatgevend zijn



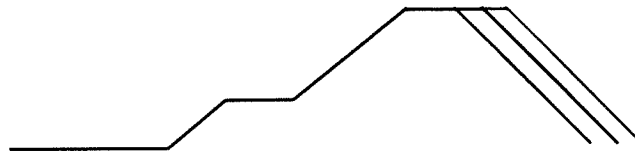
Bijlage III.I Ontwerpparametervariaties

Omdat tijdens de ontwerpparametervariatie berekeningen alleen de invloed van de te variëren ontwerpparameters in de faalkans van een dijkvak tot uitdrukking mag komen, moeten alle overige ontwerpparameters gelijk gehouden worden aan de waarde volgens de uitgangssituatie. In onderstaande figuren is voor alle ontwerpparameters aangegeven hoe dit in PC_RINGSCHIL is geïmplementeerd. Het zwarte profiel geeft het uitgangspatroon en vervolgens is met blauw respectievelijk rood aangegeven wat het resultaat is van een vermindering respectievelijk een vermeerdering van de waarde van de beschouwde ontwerpparameter.

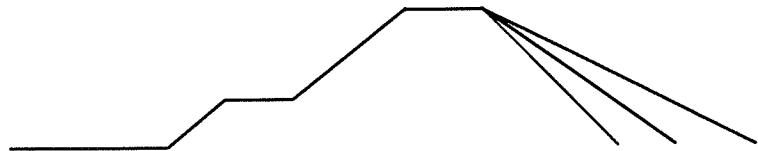
.....**Figuur III.I.1**.....
Variatie in de kruinhoogte



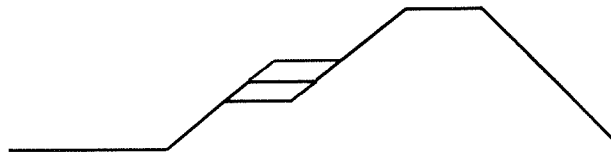
.....**Figuur III.I.2**.....
Variatie in de kruinbreedte



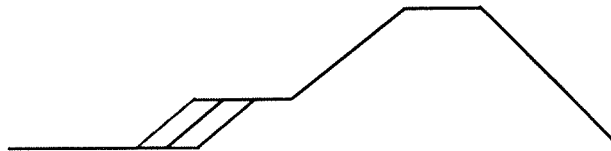
.....**Figuur III.I.3**.....
Variatie in de helling van het binnentalud



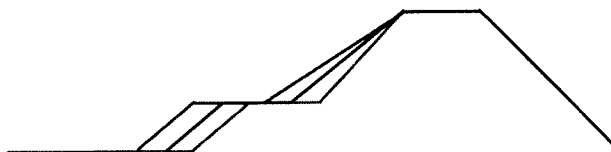
.....**Figuur III.I.4**.....
Variatie in de bermhoogte



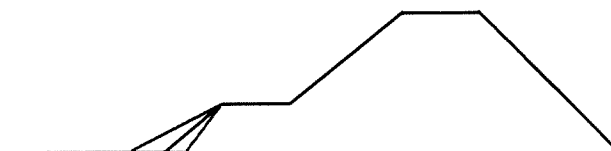
.....**Figuur III.I.5**.....
Variatie in de bermbreedte



.....**Figuur III.I.6**.....
*Variatie in de helling van het buitentalud
boven de berm*



.....**Figuur III.I.7**.....
*Variatie in de helling van het buitentalud
onder de berm*



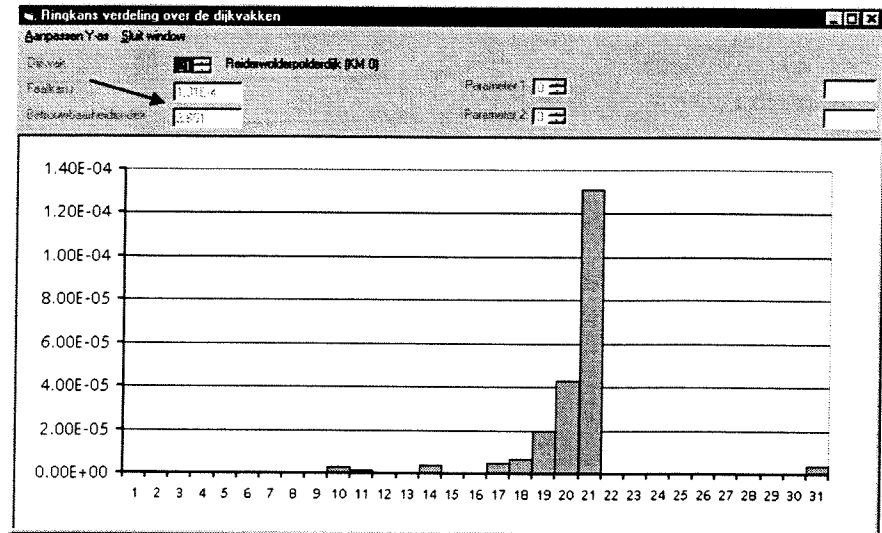
Bijlage III.J Presentatie rekenresultaten

- Bijlage III.J.1 Presentatie rekenresultaten op ringniveau
- Bijlage III.J.2 Presentatie rekenresultaten op vakniveau
- Bijlage III.J.3 Presentatie rekenresultaten op het niveau van de belangrijkste (ontwerp)parameters
- Bijlage III.J.4 Presentatie rekenresultaten op detailniveau
- Bijlage III.J.5 Presentatie rekenresultaten ontwerpparametervariaties
- Bijlage III.J.6 Presentatie rekenresultaten overige ontwerpparameters
- Bijlage III.J.7 Presentatie rekenresultaten overzicht gevarieerde ontwerpparameters

Bijlage III.J.1 Presentatie rekenresultaten op ringniveau

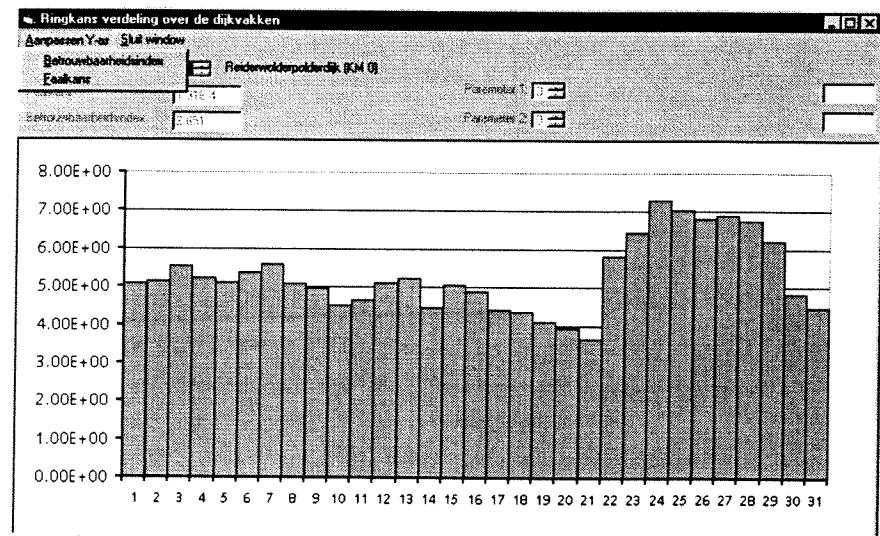
Presentatie van de verdeling van de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/ overslag' over de dijkvakken. Duidelijk naar voren komen de zogenaamde 'zwakke' schakels uit de dijkkring. Per vak kan de exacte waarde van de faalkans en de betrouwbaarheid afgelezen worden (zie pijl).

.....Figuur III.J.1.....



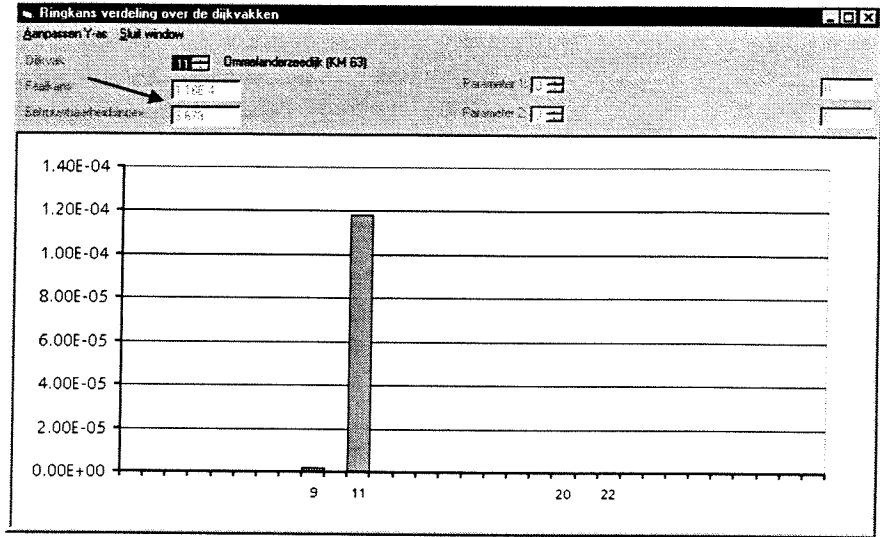
Presentatie van de verdeling van de betrouwbaarheid ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' over de dijkvakken. Minder duidelijk komen de 'zwakke' schakels over, maar deze presentatie geeft wel een beter beeld van de totale verdeling over de dijkvakken.

.....Figuur III.J.2.....



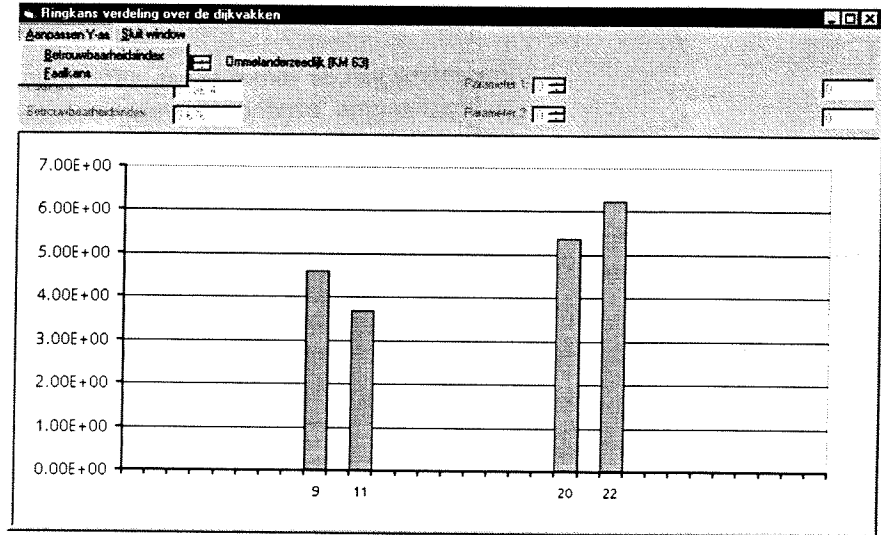
Presentatie van de verdeling faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' over de dijkvakken. Duidelijk naar voren komen de zogenaamde 'zwakke' schakels uit de dijkring. Per vak kan de exacte waarde van de faalkans en de betrouwbaarheid afgelezen worden (zie pijl).

.....**Figuur III.J.3**.....



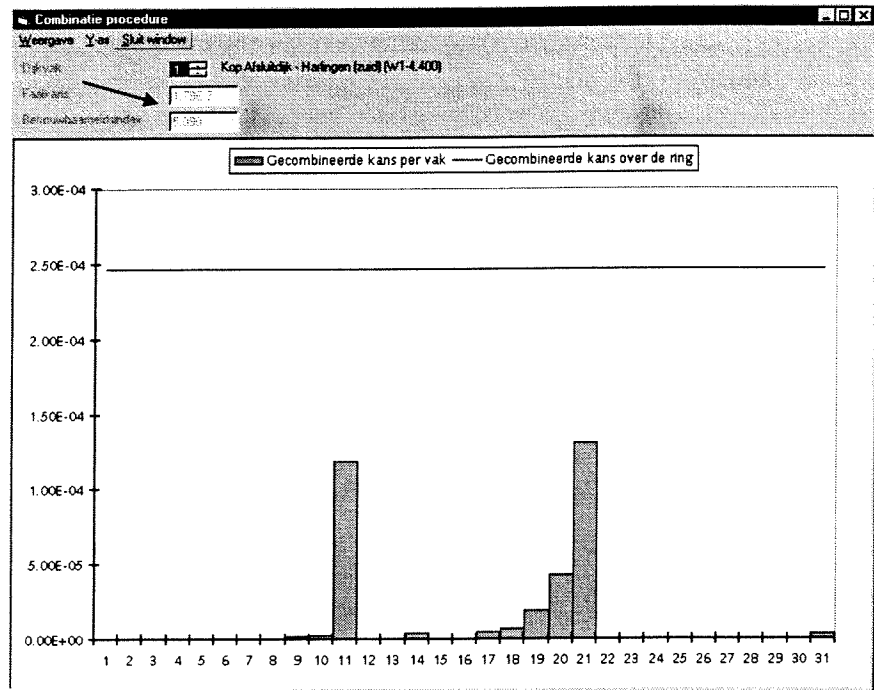
Presentatie van de verdeling van de betrouwbaarheid ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' over de dijkvakken. Minder duidelijk komen de 'zwakke' schakels over, maar deze presentatie geeft wel een beter beeld van de totale verdeling over de dijkvakken.

.....**Figuur III.J.4**.....



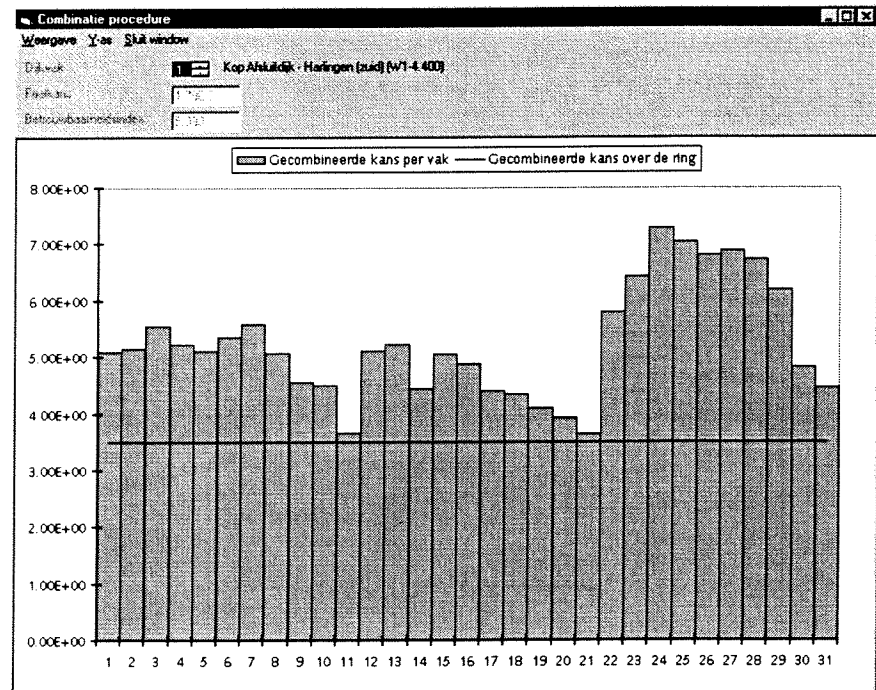
Presentatie van de verdeling van de overstromingskans over de dijkvakken (*gecombineerde faalkans over de faalmechanismen*). Duidelijk naar voren komen de zogenaamde 'zwakke' schakels uit de dijkkring. Met de (rode) lijn is de waarde van de totale overstromingskans van de dijkkring aangegeven. Per vak kan de exacte waarde van de faalkans en de betrouwbaarheid afgelezen worden (zie pijl).

.....Figuur III.J.5.....



Presentatie van de verdeling van de betrouwbaarheid over de dijkvakken (*gecombineerde betrouwbaarheid over de faalmechanismen*). Met de (rode) lijn is de waarde van de totale betrouwbaarheid van de dijkkring aangegeven.

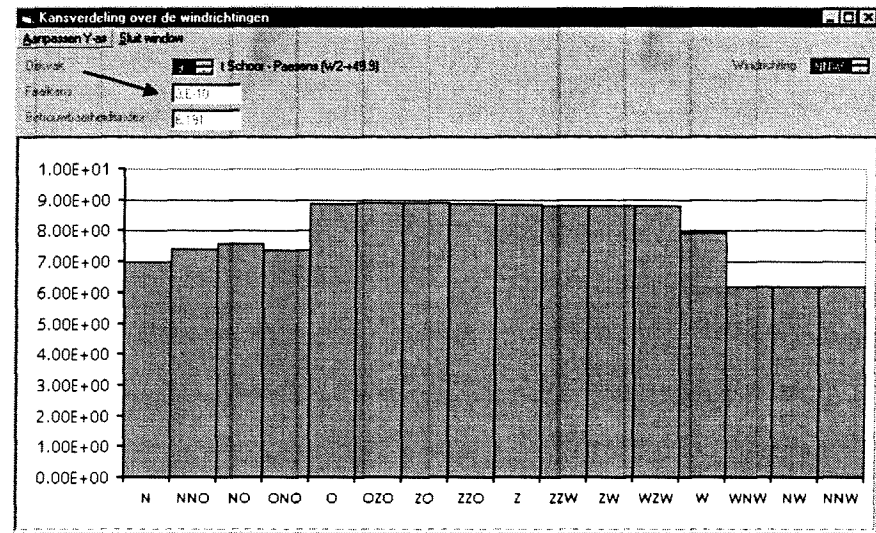
.....Figuur III.J.6.....



Bijlage III.J.2 Presentatie rekenresultaten op vakniveau

Presentatie van de verdeling van de betrouwbaarheid per dijkvak over de zestien windrichtingen. Per gekozen dijkvak en windrichting kan de exacte waarde van de betrouwbaarheid en de faalkans af gelezen worden (zie pijl).

.....Figuur III.J.7.....



Bijlage III.J.4 Presentatie rekenresultaten op detailniveau

Presentatie van de berekening op detailniveau. Van elke parameter uit de toegepaste formules kan de waarde in het ontwerp punt afgelezen worden. Vergelijk deze resultaten met de gemaakte handberekening uit bijlage II.P.6.

.....**Figuur III.J.10**.....
Lokale waterstand

Lokale waterstand

Sluit window

Dijkvak: 9 t Schoor - Paesens (W2-+49.9) Locatienummer: 333455

Lokale waterstand: 6.4914 meter t.o.v. N.A.P.

Waterstand in Harlingen (design): 6.3050 meter t.o.v. N.A.P.

Waterstand in Delfzijl (design): 7.3580 meter t.o.v. N.A.P.

Locatienummer: 333455

ZVENDLpunt 1: 33

X -coördinaat:	7.3580	meter t.o.v. N.A.P.
Y -coördinaat:	6.3050	meter t.o.v. N.A.P.
Xi -coördinaat:	6.6400	meter t.o.v. N.A.P.
Xi+1-coördinaat:	16.6400	meter t.o.v. N.A.P.
Yi -coördinaat:	4.5900	meter t.o.v. N.A.P.
Yi+1-coördinaat:	5.3200	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt A:	4.8281	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt B:	5.4693	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt C:	4.8281	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt D:	5.4693	meter t.o.v. N.A.P.
Hlow:	6.3345	meter t.o.v. N.A.P.
Hpos:	6.3345	meter t.o.v. N.A.P.
Hres:	6.3345	meter t.o.v. N.A.P.

ZVENDLpunt 2: 34

X -coördinaat:	7.3580	meter t.o.v. N.A.P.
Y -coördinaat:	6.3050	meter t.o.v. N.A.P.
Xi -coördinaat:	5.5600	meter t.o.v. N.A.P.
Xi+1-coördinaat:	6.6400	meter t.o.v. N.A.P.
Yi -coördinaat:	4.5900	meter t.o.v. N.A.P.
Yi+1-coördinaat:	5.3200	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt A:	4.8464	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt B:	5.7616	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt C:	5.3040	meter t.o.v. N.A.P.
Interpolatiepunt D:	5.3040	meter t.o.v. N.A.P.
Hlow:	5.9214	meter t.o.v. N.A.P.
Hpos:	6.3790	meter t.o.v. N.A.P.
Hres:	6.6833	meter t.o.v. N.A.P.

Zie bijlage II.P.4 Inter-/extrapolatiemodel waterstand in bijlage-rapport

Lokale Waterstand

6.491 meter t.o.v. NAP

Golven

2.038 meter

5.4302 seconde

Klink overlagdebet

0.347 m²/s

Opstroom overlagdebet

0.3243 m²/s

Volume per strekkende m

0.04185 m³/m

Ruimtebeslag

60.000 meter

.....**Figuur III.J.11**.....
Golfhoogte en periode

Golfhoogte en golfperiode

Sluit window

Dijkvak: 9 t Schoor - Paesens (W2-+49.9) Locatienummer: 333455

Golfhoogte: 2.0388 meter

Golfperiode: 5.4302 seconde

Windrichting: NNW

Windsnelheid (design): 35.5920 meter per seconde

Strijklengte: 14.0000 kilometer

Waterdiepte: 7.4914 meter

Factor KsKr: 1.0000 -

Zwaartekrachtsversnelling: 9.8100 meter per seconde²

Waterdiepte aan de teen: 7.4914 meter

Reductie golfhoogte door voorland: nee

Zie bijlage II.G Formules van Bretschneider in bijlage-rapport

Lokale Waterstand

6.491 meter t.o.v. NAP

Golven

2.038 meter

5.4302 seconde

Klink overlagdebet

0.347 m²/s

Opstroom overlagdebet

0.3243 m²/s

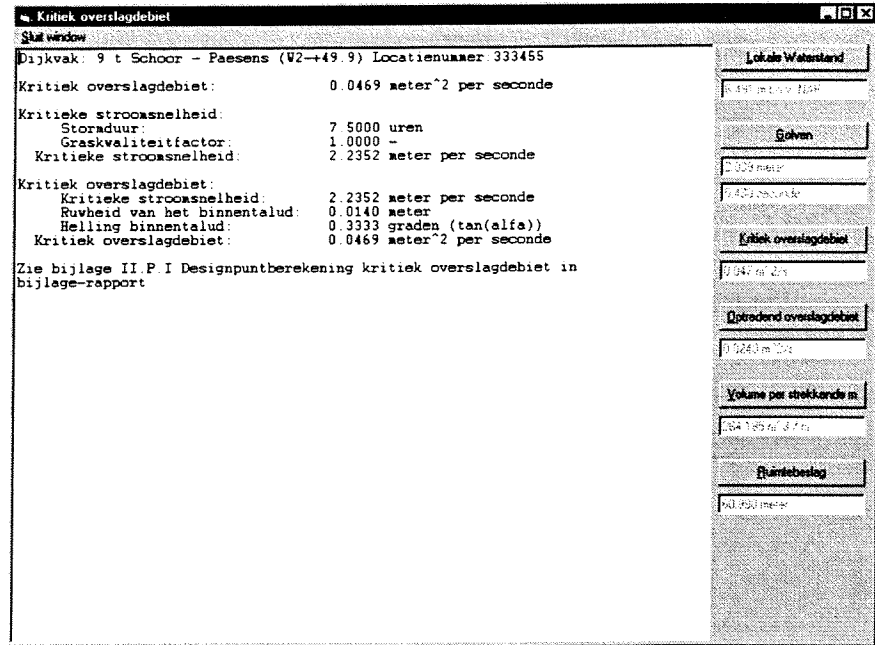
Volume per strekkende m

0.04185 m³/m

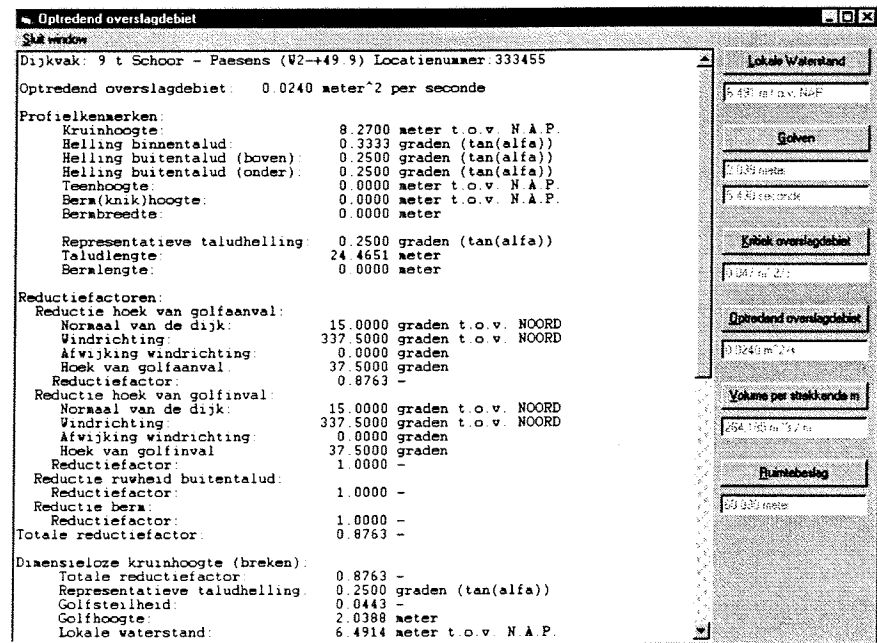
Ruimtebeslag

60.000 meter

.....Figuur III.J.12.....
 Kritiek overslagdebiet



.....Figuur III.J.13.....
 Optredend overslagdebiet (1)



.....**Figuur III.J.14**.....
 Optredend overslagdebiet (2)

Optredend overslagdebiet

Skil window

Reductiefactor:	1.0000	-
Totale reductiefactor:	0.8763	-
Diensieloze kruinhoogte (breken):		
Totale reductiefactor:	0.8763	-
Representatieve taludhelling:	0.2500	graden (tan(alfa))
Golfsteilheid:	0.0443	-
Golfhoogte:	2.0388	meter
Lokale waterstand:	6.4914	meter t.o.v. N.A.P.
Kruinhoogte (design):	8.2360	meter t.o.v. N.A.P.
Diensieloze kruinhoogte:	0.8220	-
Diensieloze overslagdebiet (breken)		
Diensieloze kruinhoogte:	0.8220	-
Fitparameter breken:	4.8540	-
Diensieloze overslagdebiet:	0.0011	-
Optredend overslagdebiet (breken)		
Golfsteilheid:	0.0443	-
Representatieve taludhelling:	0.2500	graden (tan(alfa))
Golfhoogte:	2.0388	meter
Zwaartekrachtsversnelling:	9.8100	meter per seconde ²
Optredend overslagdebiet:	0.0240	meter ² per seconde
Diensieloze kruinhoogte (niet breken):		
Totale reductiefactor:	0.8763	-
Lokale waterstand:	6.4914	meter t.o.v. N.A.P.
Kruinhoogte (design):	8.2360	meter t.o.v. N.A.P.
Diensieloze kruinhoogte:	0.9765	-
Diensieloze overslagdebiet (niet breken)		
Diensieloze kruinhoogte:	0.9765	-
Fitparameter niet breken:	2.6000	-
Diensieloze overslagdebiet:	0.0158	-
Optredend overslagdebiet (niet breken)		
Golfhoogte:	2.0388	meter
Zwaartekrachtsversnelling:	9.8100	meter per seconde ²
Optredend overslagdebiet:	0.1440	meter ² per seconde

Zie bijlage II P.6 Designpuntberekening optredend overslagdebiet in bijlage-rapport

Lokale Waterstand
 6.4914 meter t.o.v. N.A.P.
Golven
 2.0388 meter
 2.0388 meter
Kritiek overslagdebiet
 0.0011 m²/s
Optredend overslagdebiet
 0.0240 m²/s
Volume per strekkende m
 64.1852 m³/m
Ruimtebeslag
 60.8900 meter

.....**Figuur III.J.15**.....
 Investeringskosten

Volume per strekkende meter

Skil window

Dijkvak: 9 t Schoor - Paesens (V2+49.9) Locatienummer: 333455

Volume per strekkende meter:	264.1852	meter ³ /meter
Ruimtebeslag:	60.8900	seconde
Aantal coördinatenkoppels:	5.0000	
Volume per strekkende meter O1:	136.7858	meter ³ /meter
Volume per strekkende meter O2:	24.8100	meter ³ /meter
Volume per strekkende meter O3:	102.5893	meter ³ /meter
Kruinhoogte (hk):	8.2700	meter t.o.v. N.A.P.
Kruinbreedte (Bk):	3.0000	meter
Teehoogte (ht):	0.0000	meter t.o.v. N.A.P.
Helling buitentalud tan(alfa.u):	0.2500	-
Helling binnentalud tan(alfa.i):	0.3333	-
X1-Coordinaat:	-100.0000	meter
X2-Coordinaat:	0.0000	meter
X3-Coordinaat:	33.0800	meter
X4-Coordinaat:	36.0800	meter
X5-Coordinaat:	60.8900	meter
Y1-Coordinaat:	0.0000	meter t.o.v. N.A.P.
Y2-Coordinaat:	0.0000	meter t.o.v. N.A.P.
Y3-Coordinaat:	8.2700	meter t.o.v. N.A.P.
Y4-Coordinaat:	8.2700	meter t.o.v. N.A.P.
Y5-Coordinaat:	0.0000	meter t.o.v. N.A.P.

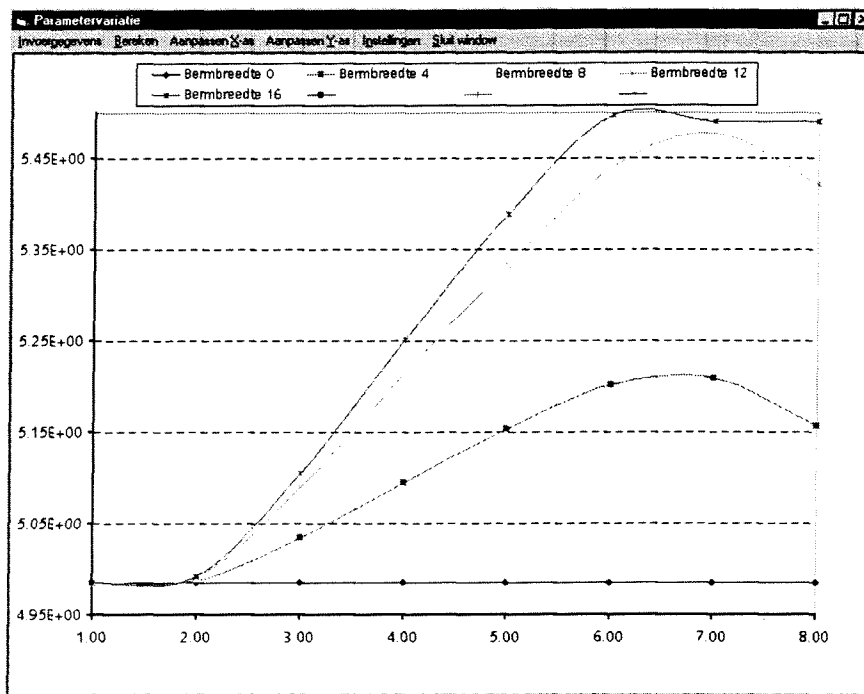
Zie bijlage II K Dijkprofielen in bijlage-rapport

Lokale Waterstand
 6.4914 meter t.o.v. N.A.P.
Golven
 2.0388 meter
 2.0388 meter
Kritiek overslagdebiet
 0.0011 m²/s
Optredend overslagdebiet
 0.0240 m²/s
Volume per strekkende m
 264.1852 m³/m
Ruimtebeslag
 60.8900 meter

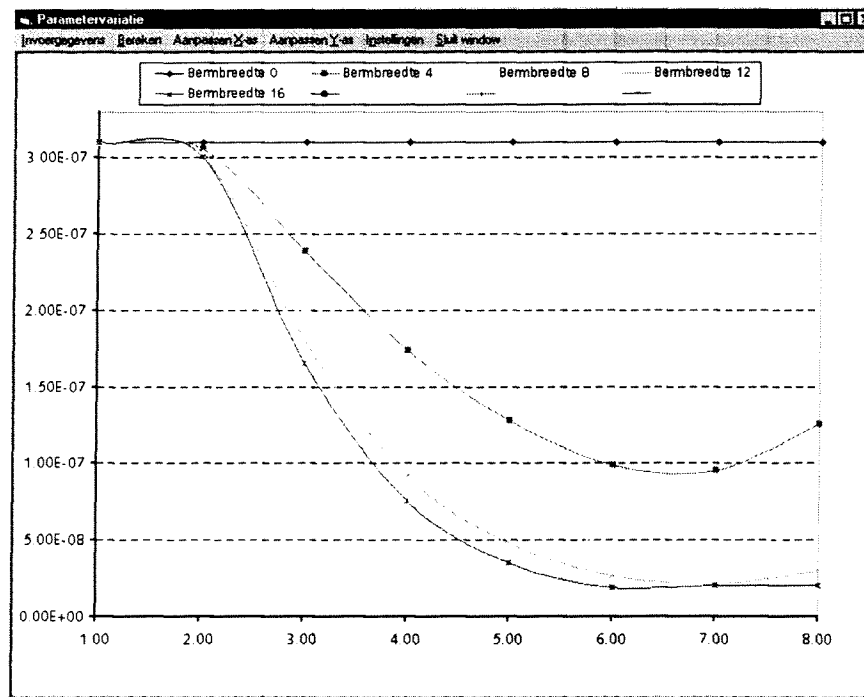
Bijlage III.J.5 Presentatie rekenresultaten ontwerpparametervariaties

De invloed van de gevarieerde ontwerpparameters op de faalkans van het beschouwde dijkvak kan op een aantal verschillende manieren worden gepresenteerd. In onderstaand overzicht zullen een aantal voorbeelden weergegeven worden.

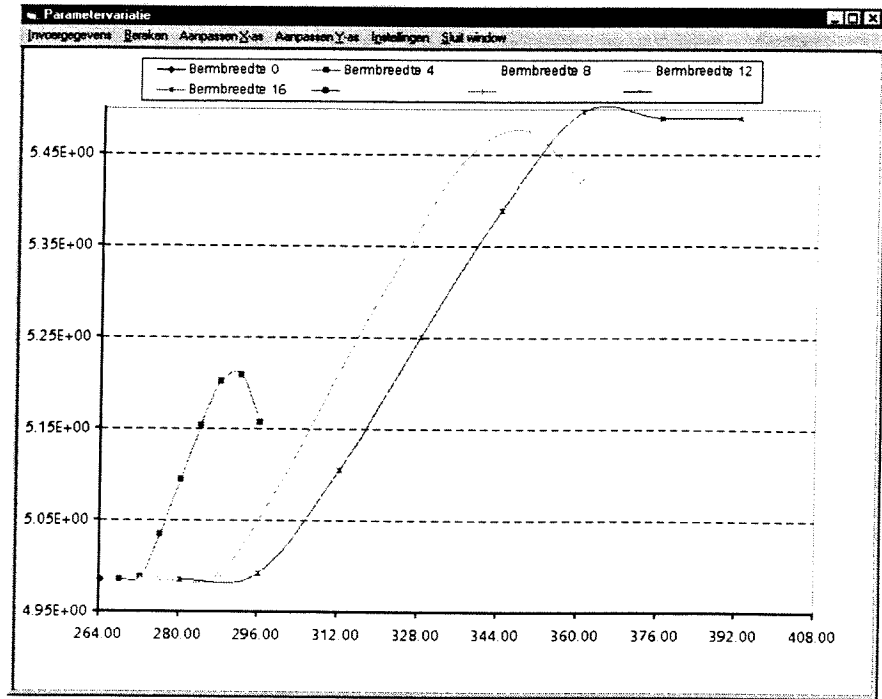
.....**Figuur III.J.16**.....
Het verband tussen de betrouwbaarheidsindex en de gevarieerde ontwerpparameter. In dit voorbeeld is gekozen de bermbreedte en de bermhoogte te variëren



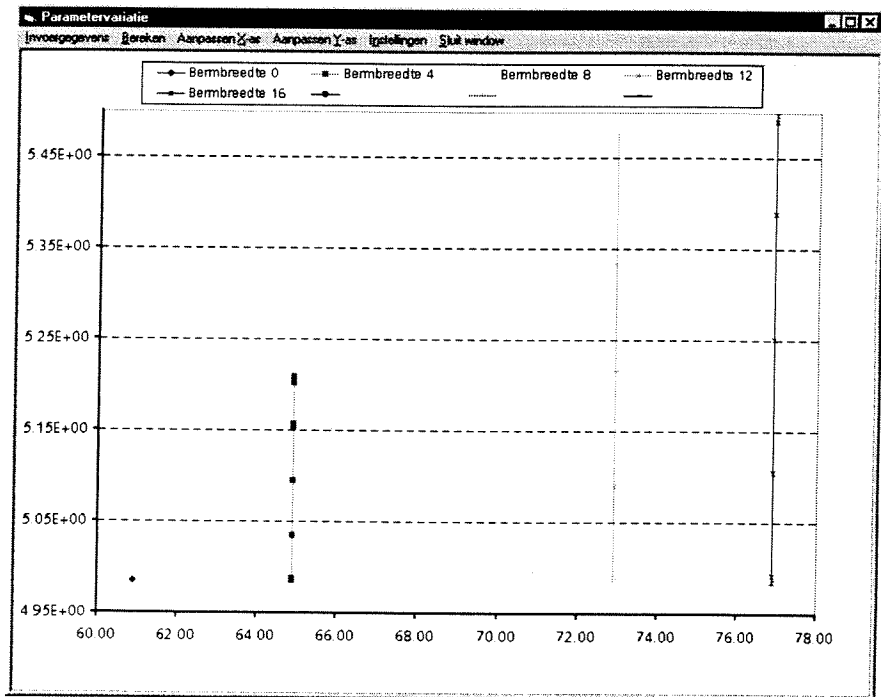
.....**Figuur III.J.17**.....
Het verband tussen de faalkans en de gevarieerde ontwerpparameter. Hetzelfde voorbeeld als in figuur III.J.16



.....**Figuur III.J.18**.....
 Het verband tussen de betrouwbaarheidsindex en het volume per strekkende meter. Hetzelfde voorbeeld als in figuur III.J.16



.....**Figuur III.J.19**.....
 Het verband tussen de betrouwbaarheidsindex en het ruimtebeslag. Hetzelfde voorbeeld als in figuur III.J.16. Af te lezen is dat de variatie in bermhoogte geen invloed heeft op het ruimtebeslag

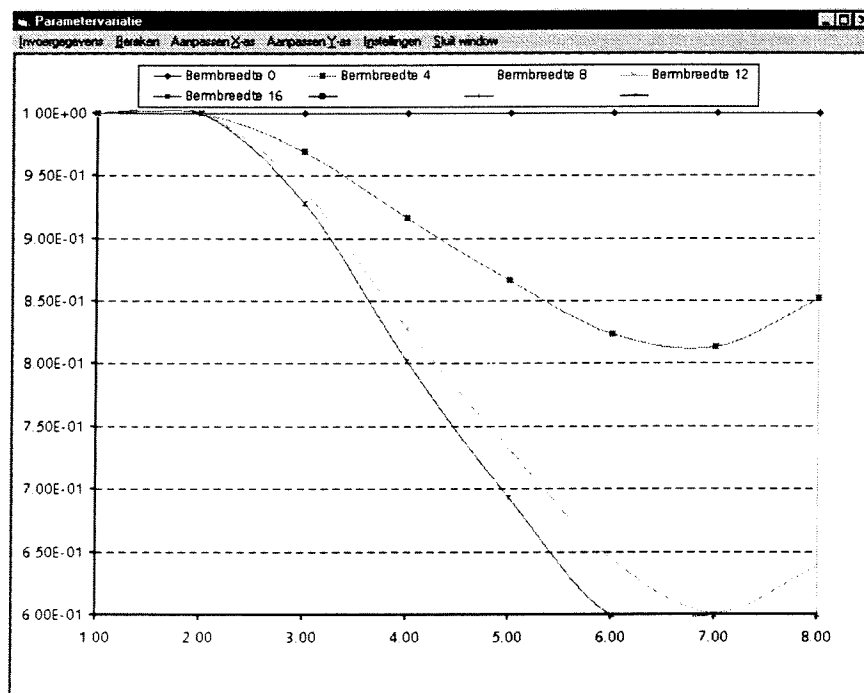


Bijlage III.J.6 Presentatie rekenresultaten overige parameters

In deze bijlage wordt het resultaat weergegeven van de invloed van de berm-breedte en de bermhoogte op de waarde van de bermreductiefactor. Dit resultaat dient vergeleken te worden met figuur II.P.9 uit bijlage II.P. De modelresultaten komen goed overeen met de theorie. Onderscheiden kan achter-eenvolgens worden:

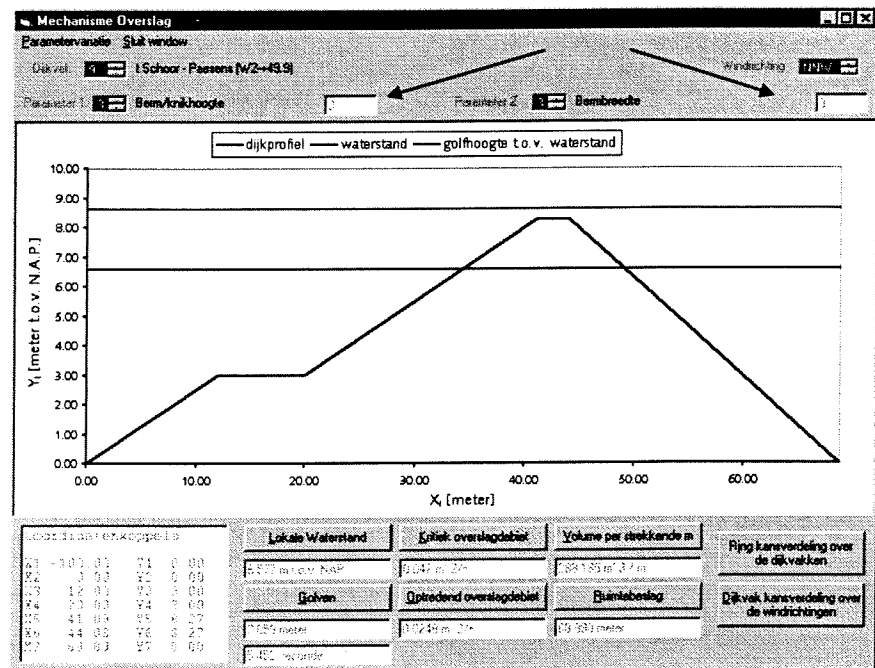
- Een deel zonder reducerende invloed (*bermhoogte kleiner dan 2,00 meter t.o.v. NAP*);
- Een deel waar de invloed lineair geïnterpoleerd wordt (*van bermhoogte 2,00 meter t.o.v. NAP tot 6,00 meter t.o.v. NAP*);
- Een deel waar de invloed parabolisch verloopt (*tussen 6,00 en 8,00 meter t.o.v. NAP*).

Tenslotte kan ook de minimale grenswaarde van de bermreductiefactor (*gelijk aan 0,6*) onderscheiden worden.



Bijlage III.J.7 Presentatie rekenresultaten overzicht gevarieerde ontwerpparameters

Van elk punt uit de parametervariatiegrafiek (zie vorige bijlage) kan weer een zelfde detail analyse gemaakt worden als beschreven in bijlage III.J.1 tot 4. In onderstaande figuur wordt het derde detailniveau weergegeven. Af te lezen is dat de resultaten gelden voor een gevarieerde waarde van de bermhoogte van 3 meter t.o.v. NAP en een bermbreedte van 8 meter (zie pijlen).



Bijlage III.K Modeltests

- Bijlage III.K.1 Formules t.a.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag'
- Bijlage III.K.2 Rekenmodule voor de kosten
- Bijlage III.K.3 PC_RING rekenmodules

Bijlage III.K.1 Formules t.a.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag'

Met behulp van een zogenaamde ontwerppunt berekening wordt in deze bijlage gecontroleerd of de formules ten aanzien van het faalmechanisme 'overloop/overslag' op een correcte manier in het model PC_RINGSCHIL zijn geïmplementeerd. In deze bijlage wordt voor een drietal verschillende dijkprofielen een vergelijking gemaakt tussen:

- de modelresultaten;
- de resultaten van PC_RING volgend uit de designpunt uitvoer;
- de resultaten van handberekeningen.

De dijkvakken die worden beschouwd zijn:

- dijkvak 9 't Schoor – Paesens
- dijkvak 18 Dijk Zeehavenkanaal
- dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

Door drie vakken te kiezen met elk een verschillend profiel, variërend van zonder berm of knik, met knik en verschillende helling van het buitentalud boven en onder de knik tot een profiel met een berm, zullen alle formules uit het faalmechanisme 'overloop/overslag' worden doorlopen.

Tabel III.K.1.1 resultaten dijkvak 9 't Schoor - Paesens

Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (Modelresultaten)																	
	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _{lokaal}	6.699	6.323	6.52	6.342	8.189	8.189	8.189	8.189	8.189	8.189	8.189	8.189	8.189	8.203	6.632	6.692	6.491
H _s	1.831	1.935	1.904	2.051										3.604	2.357	2.116	2.039
T _s	4.845	5.124	5.063	5.641										8.251	5.827	5.257	5.43
q _c	0.047	0.047	0.047	0.047										0.048	0.047	0.047	0.047
q _o	0.023	0.0191	0.0191	0.0197										3.0563	0.026	0.0258	0.024
Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (Designpunt uitvoer PC_RING)																	
	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _{lokaal}	6.7	6.32	6.52	6.34	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.20	6.63	6.69	6.49
H _s	1.83	1.93	1.9	2.05											2.36	2.12	2.04
T _s	4.84	5.12	5.06	5.64											5.82	5.25	5.43
q _c	0.047	0.047	0.047	0.047											0.0471	0.0471	0.0471
q _o	0.0229	0.019	0.0191	0.0197											0.0259	0.0258	0.0240
Dijkvak 9 't Schoor – Paesens (Handberekening)																	
Omdat dit een tijdrovend karwei is, is alleen voor windrichting NNW een handberekening gemaakt (zie bijlage II.P.6)																	NNW
H _{lokaal}																	6.491
H _s																	2.039
T _s																	5.43
q _c																	0.0469
q _o																	0.024

Bovenstaande resultaten laten zien dat de waarde van bijna alle berekeningen overeenkomen, op een enkele afrondingsfouten na. Alleen voor de windrichting west maakt PC_RING een overloopberekening terwijl PC_RINGSCHIL een overslagberekening maakt. PC_RINGSCHIL maakt een overslagberekening omdat voor deze windrichting een strijkvak is gedimensioneerd. Waarom PC_RING een overloopberekening maakt is op dit moment niet duidelijk. Hier wordt volstaan met de signalering dat de waarden niet overeenkomen.

Tabel III.K.1.2. resultaten dijkvak 18 Dijk Zeehavenkanaal

Dijkvak 18 Dijk Zeehavenkanaal (Modelresultaten)																	
	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _{lokaal}	7.557	7.457	7.488	7.402	7.371	8.235	8.235	8.235	8.235	8.235	8.235	8.235	8.235	8.266	8.278	8.248	7.159
H _s	0.89	0.961	0.972	1.147	1.259												1.408
T _s	4.214	4.362	4.433	4.932	5.253												5.703
q _c	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047												0.047
q _o	0.0315	0.0296	0.0296	0.0304	0.0309												0.0322
Dijkvak 18 Dijk Zeehavenkanaal (Designpunt uitvoer PC_RING)																	
	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _{lokaal}	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _s	7.56	7.46	7.49	7.4	7.37	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.27	8.28	8.25	7.16
T _s	0.89	0.96	0.97	1.15	1.26												1.14
q _c	4.21	4.36	4.43	4.93	5.25												5.7
q _o	0.0472	0.0471	0.0472	0.0471	0.0471												0.0472

Tabel III.K.1.3. resultaten dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

Dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk (Modelresultaten)																	
	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _{lokaal}	7.78	8.248	8.095	8.172	8.248	8.248	8.248	8.248	8.248	8.248	8.248	8.248	8.248	8.236	7.811	7.541	7.782
H _s	0.85	0.88	0.545	0.41											0.984	1.115	0.893
T _s	4.768	4.719	6.541	3.009											5.078	5.752	4.915
q _c	0.047	0.048	0.047	0.047											0.047	0.047	0.047
q _o	0.0348	0.4483	0.0447	0.0504											0.0415	0.0362	0.0403
Dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk (Designpunt uitvoer PC_RING)																	
	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	O	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
H _{lokaal}	7.78	8.25	8.1	8.17	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.24	7.81	7.54	7.79
H _s	0.85		0.55	0.41											0.98	1.11	0.89
T _s	4.76		3.54	3.01											5.07	5.75	4.91
q _c	0.0472		0.0472	0.0473											0.0472	0.0472	0.0472
q _o	0.0349		0.0449	0.0502											0.0416	0.0362	0.0402

Voor dijkvak 9 't Schoor - Paesens is een extra handberekening gemaakt ter controle van de juistheid van het gecorrigeerde overslagmodel.

Tabel III.K.1.4 resultaten dijkvak 9 't Schoor - Paesens

Dijkvak 9 't Schoor - Paesens			
	model	PC_RING	Hand
	NNW	NNW	NNW
H _{lokaal}	6.83	6.83	6.83
H _s	2.172	2.17	2.171
T _s	5.592	5.59	5.594
q _c	0.047	0.0471	0.047
q _o	0.0288	0.0288	0.0288

De resultaten uit tabel III.K.2-4 blijken allemaal overeen te komen. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de formules ten aanzien van het faalmechanisme 'overloop/overslag' op correcte wijze zowel in PC_RING als in PC_RINGSCHIL zijn geïmplementeerd.

Bijlage III.K.2 Rekenmodule voor de kosten

In de rekenmodule voor de kosten wordt met behulp van de in bijlage II.k weergegeven formules, per dijkvak de waarde van het ruimtebeslag en van het volume per strekkende meter dijk bepaald. In deze bijlage wordt, door een vergelijking te maken tussen de modelresultaten en een aantal handberekeningen, gecontroleerd of de rekenmodule de juiste resultaten genereert. In tabel en grafiek III.K.2.1 worden de modelresultaten van dijkvak 9. 't Schoor-Paesens vergeleken met handberekeningen gedaan voor hetzelfde dijkvak. Zowel de waarde van het ruimtebeslag als de waarde van het volume per strekkende meter is voor alle ontwerpparametervariaties gecontroleerd.

Het originele profiel van dijkvak 9. 't Schoor-Paesens bestaat uit 5 coördinatenkoppels ($n=5$). Volgens een handberekening moet gelden:

.....Tabel III.K.2.1.....
Coördinatenkoppels dijkvak 9 't Schoor-Paesens met profielkenmerken en kosten volgens een handberekening

n	X _i (m)	Y _i (m tov NAP)	Profielkenmerken			Investeringskosten		
1	-100	0	kruinhoogte	8.27	m tov NAP	Ruimtebeslag	60.89	m
2	0	0	kruinbreedte	3.00	m tov NAP	Volume1	136.79	m ³ /m
3	33.08	8.27	binnentaludhelling	0.33	tan(α)	Volume2	24.81	m ³ /m
4	36.08	8.27	buitentaludhelling(boven)	0.25	tan(α)	Volume3	102.59	m ³ /m
5	60.89	0	buitentaludhelling(onder)	0.25	tan(α)	Volume _{tot}	264.19	m ³ /m

.....Figuur III.K.2.1.....
Modelresultaten

Volgens de modelresultaten moet gelden:

Volume per strekkende meter

Dijkvak: 9 't Schoor - Paesens (W2→49.9) Locatienummer 333455

Volume per strekkende meter: 264.1852 meter³/meter
Ruimtebeslag: 60.8900 seconde

Aantal coördinatenkoppels: 5.0000
Volume per strekkende meter 01: 136.7858 meter³/meter
Volume per strekkende meter 02: 24.8100 meter³/meter
Volume per strekkende meter 03: 102.5893 meter³/meter

Kruinhoogte (hk): 8.2700 meter t.o.v. N.A.P.
Kruinbreedte (Bk): 3.0000 meter
Teenhoogte (ht): 0.0000 meter t.o.v. N.A.P.
Helling buitentalud tan(α_b): 0.2500 -
Helling binnentalud tan(α_i): 0.3333 -

X1-Coordinaat: -100.0000 meter
X2-Coordinaat: 0.0000 meter
X3-Coordinaat: 33.0800 meter
X4-Coordinaat: 36.0800 meter
X5-Coordinaat: 60.8900 meter

Y1-Coordinaat: 0.0000 meter t.o.v. N.A.P.
Y2-Coordinaat: 0.0000 meter t.o.v. N.A.P.
Y3-Coordinaat: 8.2700 meter t.o.v. N.A.P.
Y4-Coordinaat: 8.2700 meter t.o.v. N.A.P.
Y5-Coordinaat: 0.0000 meter t.o.v. N.A.P.

Zie bijlage II K Dijkprofielen in bijlage-rapport

Voor verschillende ontwerpparametervariaties is op dezelfde wijze als hierboven een vergelijking gemaakt tussen een handberekening en de modelresultaten. In tabel III.K.2.2 op de volgende pagina zijn de resultaten uitgezet. Op basis van de resultaten (100% overeenkomst hand en modelberekeningen, m.u.v. afrondingsfouten) kan geconcludeerd worden dat de rekenmodule voor de kosten de juiste resultaten genereert.

.....Tabel III.K.2.2.....
 Vergelijking modelresultaten met handbere-
 keningen

Kruinhoogte (m tov NAP)	8.00	8.25	8.50	8.75	9.00
<i>Handberekening</i>					
Ruimtebeslag (m)	59.00	60.75	62.50	64.25	66.00
Volume1 (m ³ /m)	128.00	136.13	144.50	153.13	162.00
Volume2 (m ³ /m)	24.00	24.75	25.50	26.25	27.00
Volume3 (m ³ /m)	96.00	102.09	108.38	114.84	121.50
Volume _{tot} (m ³ /m)	248.00	262.97	278.38	294.22	310.50
<i>Modelresultaten</i>					
Ruimtebeslag (m)	59.000	60.750	62.500	64.250	66.000
Volume1 (m ³ /m)	128.000	136.125	144.500	153.125	162.000
Volume2 (m ³ /m)	24.000	24.750	25.500	26.250	27.000
Volume3 (m ³ /m)	96.000	102.094	108.375	114.844	121.500
Volume _{tot} (m ³ /m)	248.000	262.969	278.375	294.219	310.500

Kruinbreedte (m)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
<i>Handberekening</i>					
Ruimtebeslag (m)	58.89	59.89	60.89	61.89	62.89
Volume1 (m ³ /m)	136.79	136.79	136.79	136.79	136.79
Volume2 (m ³ /m)	8.27	16.54	24.81	33.08	41.35
Volume3 (m ³ /m)	102.59	102.59	102.59	102.59	102.59
Volume _{tot} (m ³ /m)	247.65	255.92	264.19	272.46	280.73
<i>Modelresultaten</i>					
Ruimtebeslag (m)	58.890	59.890	60.890	61.890	62.890
Volume1 (m ³ /m)	136.786	136.786	136.786	136.786	136.786
Volume2 (m ³ /m)	8.270	16.540	24.810	33.080	41.350
Volume3 (m ³ /m)	102.589	102.589	102.589	102.589	102.589
Volume _{tot} (m ³ /m)	247.645	255.915	264.185	272.455	280.725

Binnentalud (tan(α))	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
<i>Handberekening</i>					
Ruimtebeslag (m)	77.43	63.65	56.76	52.62	49.86
Volume1 (m ³ /m)	136.79	136.79	136.79	136.79	136.79
Volume2 (m ³ /m)	24.81	24.81	24.81	24.81	24.81
Volume3 (m ³ /m)	170.98	113.99	85.49	68.39	56.99
Volume _{tot} (m ³ /m)	332.58	275.58	247.09	229.99	218.59
<i>Modelresultaten</i>					
Ruimtebeslag (m)	77.430	63.647	56.755	52.620	49.863
Volume1 (m ³ /m)	136.786	136.786	136.786	136.786	136.786
Volume2 (m ³ /m)	24.810	24.810	24.810	24.810	24.810
Volume3 (m ³ /m)	170.982	113.988	85.491	68.393	56.994
Volume _{tot} (m ³ /m)	332.578	275.584	247.087	229.989	218.590

Buitentalud (tan(α))	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
<i>Handberekening</i>					
Ruimtebeslag (m)	69.16	55.38	48.49	44.35	41.59
Volume1 (m ³ /m)	170.98	113.99	85.49	68.39	56.99
Volume2 (m ³ /m)	24.81	24.81	24.81	24.81	24.81
Volume3 (m ³ /m)	102.59	102.59	102.59	102.59	102.59
Volume _{tot} (m ³ /m)	298.38	241.39	212.89	195.79	184.39

Buitentalud ($\tan(\alpha)$)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
<i>Modelresultaten</i>					
Ruimtebeslag (m)	69.160	55.377	48.485	44.350	41.593
Volume1 (m ³ /m)	170.982	113.988	85.491	68.393	56.994
Volume2 (m ³ /m)	24.810	24.810	24.810	24.810	24.810
Volume3 (m ³ /m)	102.589	102.589	102.589	102.589	102.589
Volume _{tot} (m ³ /m)	298.382	241.386	212.891	195.792	184.393

Bermhoogte (m tov NAP)	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
<i>Handberekening (bermbreedte gelijk aan 8 meter)</i>					
Ruimtebeslag (m)	68.89	68.89	68.89	68.89	68.89
Volume1 (m ³ /m)	72.00	84.50	98.00	112.50	128.00
Volume2 (m ³ /m)	48.00	52.00	56.00	60.00	64.00
Volume3 (m ³ /m)	54.48	46.02	35.56	23.10	8.64
Volume4 (m ³ /m)	10.31	6.27	3.23	1.19	0.15
Volume5 (m ³ /m)	24.81	24.81	24.81	24.81	24.81
Volume6 (m ³ /m)	102.59	102.59	102.59	102.59	102.59
Volume _{tot} (m ³ /m)	312.19	316.19	320.19	324.19	328.19
<i>Modelresultaten (bermbreedte gelijk aan 8 meter)</i>					
Ruimtebeslag (m)	68.890	68.890	68.890	68.890	68.890
Volume1 (m ³ /m)	72.000	84.500	98.000	112.500	128.000
Volume2 (m ³ /m)	48.000	52.000	56.000	60.000	64.000
Volume3 (m ³ /m)	54.480	46.020	35.560	23.100	8.640
Volume4 (m ³ /m)	10.306	6.266	3.226	1.189	0.146
Volume5 (m ³ /m)	24.810	24.810	24.810	24.810	24.810
Volume6 (m ³ /m)	102.589	102.589	102.589	102.589	102.589
Volume _{tot} (m ³ /m)	312.185	316.185	320.185	324.185	328.185

Bermbreedte (m)	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00
<i>Handberekening (bermhoogte gelijk aan 8 meter)</i>					
Ruimtebeslag (m)	60.89	64.89	68.89	72.89	76.89
Volume1 (m ³ /m)	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00
Volume2 (m ³ /m)	0.00	32.00	64.00	96.00	128.00
Volume3 (m ³ /m)	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64
Volume4 (m ³ /m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Volume5 (m ³ /m)	24.81	24.81	24.81	24.81	24.81
Volume6 (m ³ /m)	102.59	102.59	102.59	102.59	102.59
Volume _{tot} (m ³ /m)	264.19	296.19	328.19	360.19	392.19
<i>Modelresultaten (bermhoogte gelijk aan 8 meter)</i>					
Ruimtebeslag (m)	60.890	64.890	68.890	72.890	76.890
Volume1 (m ³ /m)	128.000	128.000	128.000	128.000	128.000
Volume2 (m ³ /m)	0.000	32.000	64.000	96.000	128.000
Volume3 (m ³ /m)	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640
Volume4 (m ³ /m)	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146
Volume5 (m ³ /m)	24.810	24.810	24.810	24.810	24.810
Volume6 (m ³ /m)	102.589	102.589	102.589	102.589	102.589
Volume _{tot} (m ³ /m)	264.185	296.185	328.185	360.185	392.185

Bijlage III.K.3 PC_RING rekenmodules

Ter controle van de geautomatiseerde procedure waarmee, in PC_RINGSCHIL de verschillende PC_RING executables worden aangeroepen, wordt in deze bijlage een vergelijking gemaakt tussen de modelresultaten (op basis van de invoerbestanden van het SPRINT onderzoek) en de resultaten van het SPRINT onderzoek uit februari 2000. Vergeleken worden de resultaten van de faalkansberekeningen ten gevolge van de faalmechanismen 'overloop/overslag' en 'piping' en de resultaten van de combinatie procedure. Bijlage III.K.3.1 laat de resultaten van beide faalkansberekeningen zien.

dijkvak	Modelresultaten PC_RINGSCHIL			SPRINT resultaten		
	overloop/ overslag	piping	combinatie	overloop/ overslag	piping	combinatie
1	5.09		5.09	5.091		5.091
2	5.148		5.148	5.148		5.148
3	5.55		5.55	5.550		5.55
4	5.222		5.222	5.223		5.223
5	5.119		5.119	5.119		5.119
6	5.357		5.357	5.358		5.358
7	5.592		5.592	5.593		5.593
8	5.08		5.08	5.081		5.081
9	4.985	4.594	4.566	4.985	4.594	4.566
10	4.514		4.514	4.514		4.514
11	4.657	3.678	3.675	4.657	3.678	3.675
12	5.12		5.12	5.121		5.121
13	5.226		5.226	5.226		5.226
14	4.457		4.457	4.457		4.457
15	5.064		5.064	5.064		5.064
16	4.882		4.882	4.882		4.882
17	4.419		4.419	4.419		4.419
18	4.349		4.349	3.905		3.905
19	4.112		4.112	4.112		4.112
20	3.928	5.358	3.927	3.928	5.358	3.927
21	3.651		3.651	3.651		3.651
22	5.816	6.229	5.804	5.816	6.229	5.804
23	6.433		6.433	6.433		6.433
24	7.3		7.3	7.083		7.083
25	7.049		7.049	7.049		7.049
26	6.811		6.811	6.811		6.811
27	6.891		6.891	6.891		6.891
28	6.746		6.746	6.746		6.746
29	6.205		6.205	6.178		6.178
30	4.824		4.824	4.824		4.824
31	4.472		4.472	4.393		4.393

Met uitzondering van de resultaten van dijkvak 18, 24, 29 en 31, bij de faalkansberekening t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' en de combinatie procedure komen alle resultaten overeen.

De verschillen in de genoemde dijkvakken kunnen verklaard worden uit het feit dat het model PC_RINGSCHIL rekent met het gecorrigeerde overslagmodel (zie paragraaf 2.5.4.) en de resultaten van het SPRINT onderzoek zijn berekend met het oude overslagmodel. Hierdoor wordt met PC_RINGSCHIL voor deze dijkvakken bij het faalmechanisme 'overloop/overslag' een hogere betrouwbaarheid berekend dan volgens de berekeningen uit het SPRINT onderzoek. Als gevolg van een andere betrouwbaarheid bij het faalmechanisme 'overloop/overslag' zal natuurlijk ook de betrouwbaarheid in de combinatie procedure wijzigen.

Op basis van de resultaten uit tabel III.K.3.1 en de hierboven geplaatste opmerkingen, kan geconcludeerd worden dat de geautomatiseerde procedure voor het aanroepen van de PC_RING executables op correcte wijze is geïmplementeerd.

Bijlage IV.A Uitgangspunt eerste cyclus

Bijlage IV.A.1 PC_RINGSCHIL modelresultaten
Bijlage IV.A.2 SPRINT PC_RING resultaten

Bijlage IV.A.1 PC_RINGSCHIL modelresultaten

In onderstaande tabel worden de resultaten weergegeven die verkregen zijn met behulp van het model PC_RINGSCHIL en de invoergegevens zoals beschreven in bijlage III.B tot III.E (zie ook hoofdstuk 2.).

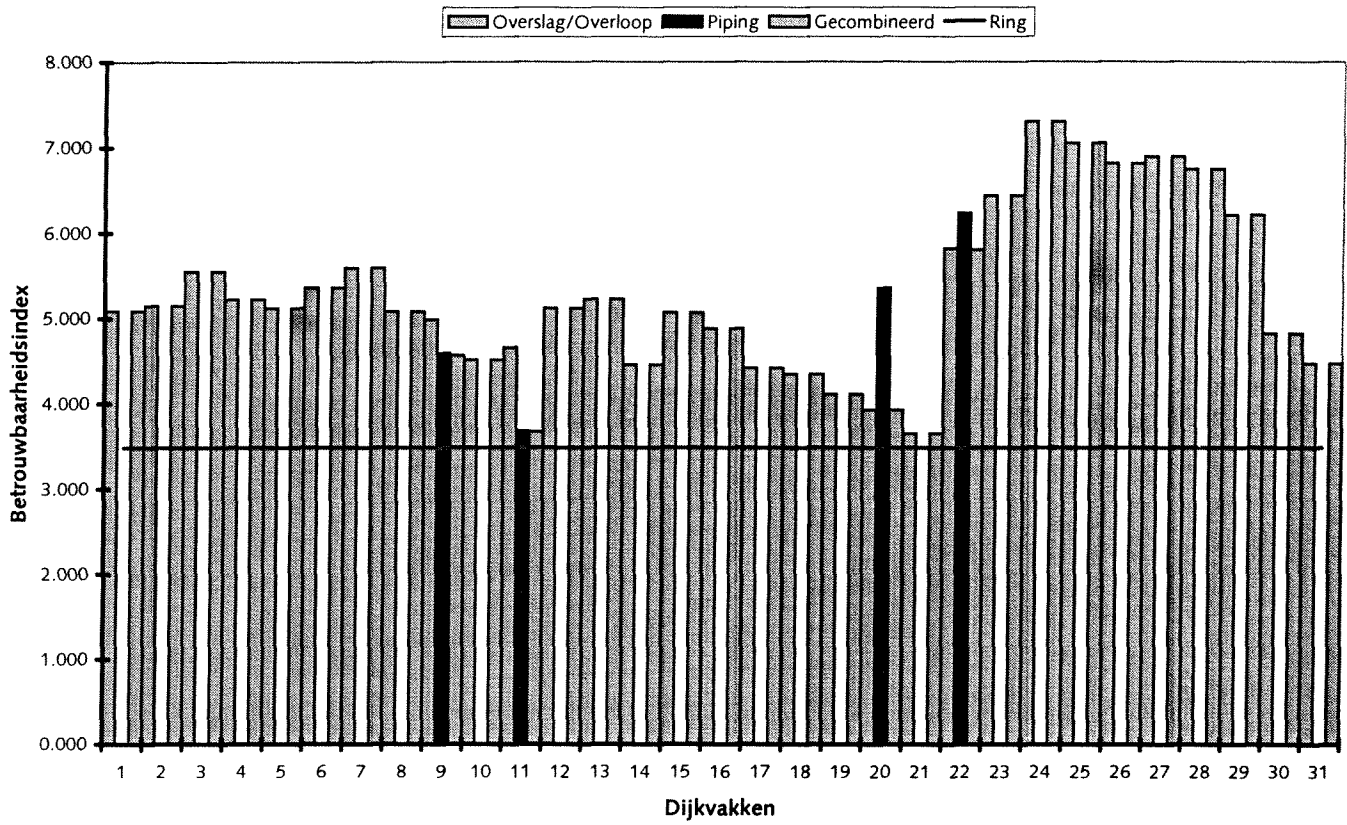
Aangegeven wordt de waarde van de betrouwbaarheidsindex per dijkvak en per faalmechanisme, de waarde van de betrouwbaarheidsindices na de combinatieprocedure per dijkvak over de faalmechanismen en per faalmechanisme over de dijkvakken en de totale overstromingskans.

.....Tabel IV.A.1.....
Modelresultaten PC_RINGSCHIL

Vaknummer	Overslag/overloop	Piping	Combinatie
1	5.090		5.090
2	5.148		5.148
3	5.550		5.550
4	5.222		5.222
5	5.119		5.119
6	5.357		5.357
7	5.592		5.592
8	5.080		5.080
9	4.985	4.594	4.566
10	4.514		4.514
11	4.657	3.678	3.675
12	5.120		5.120
13	5.226		5.226
14	4.457		4.457
15	5.064		5.064
16	4.882		4.882
17	4.419		4.419
18	4.349		4.349
19	4.112		4.112
20	3.928	5.358	3.927
21	3.651		3.651
22	5.816	6.229	5.804
23	6.433		6.433
24	7.300		7.300
25	7.049		7.049
26	6.811		6.811
27	6.891		6.891
28	6.746		6.746
29	6.205		6.205
30	4.824		4.824
31	4.472		4.472
Combinatie	3.650	3.674	3.485

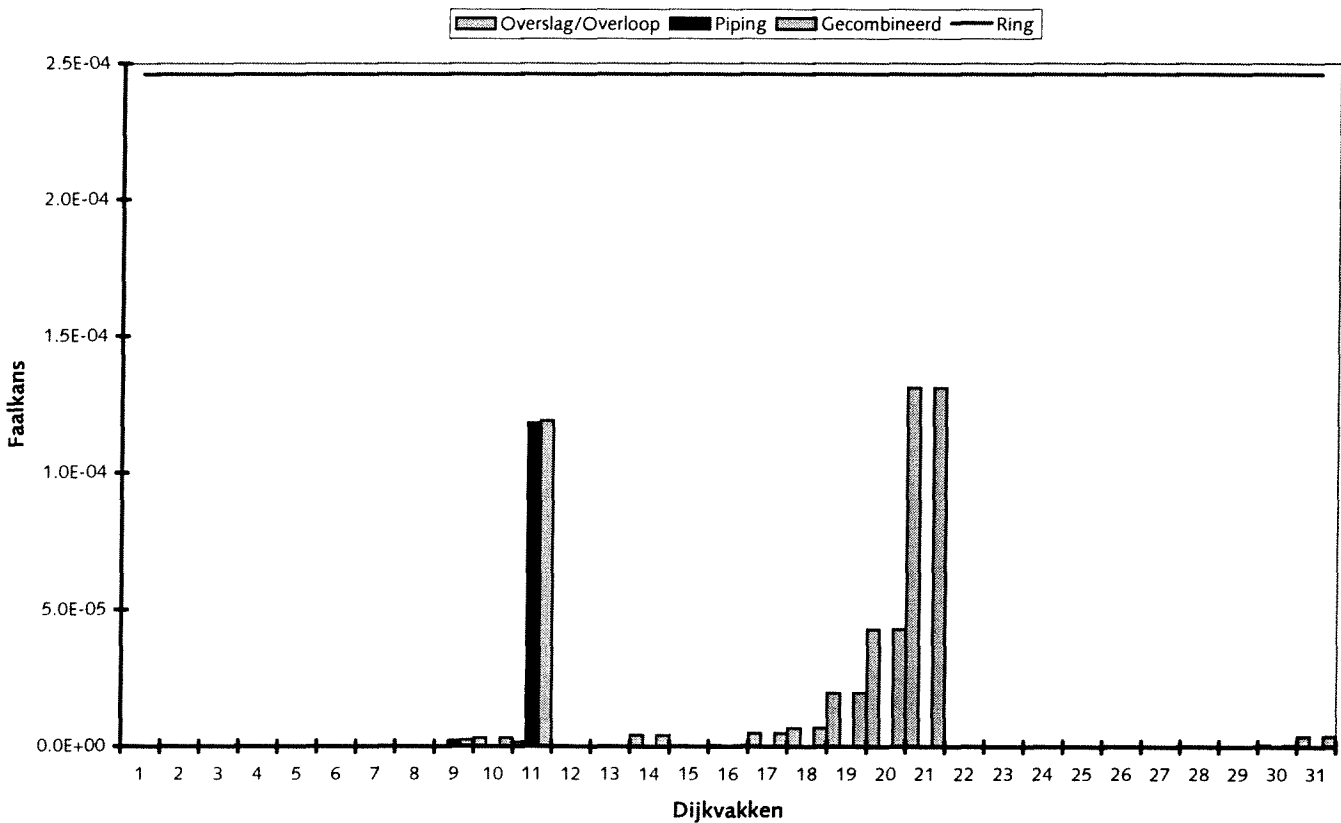
De resultaten uit tabel IV.A.1 worden gevisualiseerd in grafiek IV.A.1. In een staafdiagram worden per dijkvak achtereenvolgens weergegeven de waarde van de betrouwbaarheidsindex voor het faalmechanisme 'overloop/overslag', 'piping' en het resultaat van de combinatieprocedure. Met een rode lijn wordt de totale betrouwbaarheidsindex van het dijkkringgebied aangegeven.

Figuur IV.A.1 Modelresultaten PC_RINGSCHIL uitgedrukt in betrouwbaarheidsindices



Wanneer de resultaten niet in betrouwbaarheidsindices worden weergegeven, maar uitgedrukt in faalkansen, komt duidelijker naar voren welke dijkvakken de zwakke schakels van de dijkkring vormen.

Figuur IV.A.2 Modelresultaten PC_RINGSCHIL uitgedrukt in faalkansen



Bijlage IV.A.2 SPRINT PC_RING resultaat

In onderstaande tabel worden de resultaten weergegeven die verkregen zijn met behulp van PC_RINGL en de invoergegevens volgens het SPRINT onderzoek (zie TAW, juni 2000).

Aangegeven wordt de waarde van de betrouwbaarheidsindex per dijkvak en per faalmechanisme, de waarde van de betrouwbaarheidsindices na de combinatieprocedure per dijkvak over de faalmechanismen en per faalmechanisme over de dijkvakken en de totale overstromingskans.

.....Tabel IV.A.2.....
Resultaten PC_RING volgens SPRINT

Vaknummer	Overslag/overloop	Piping	Combinatie
1	5.091		5.091
2	5.148		5.148
3	5.550		5.55
4	5.223		5.223
5	5.119		5.119
6	5.358		5.358
7	5.593		5.593
8	5.081		5.081
9	4.985	4.594	4.566
10	4.514		4.514
11	4.657	3.678 ¹	3.675 ¹
12	5.121		5.121
13	5.226		5.226
14	4.457		4.457
15	5.064		5.064
16	4.882		4.882
17	4.419		4.419
18	3.905 ²		3.905 ²
19	4.112		4.112
20	3.928	5.358	3.927
21	3.651		3.651
22	5.816	6.229	5.804
23	6.433		6.433
24	7.083 ²		7.083 ²
25	7.049		7.049
26	6.811		6.811
27	6.891		6.891
28	6.746		6.746
29	6.178 ²		6.178 ²
30	4.824		4.824
31	4.393 ²		4.393 ²
Combinatie			3.467 ³

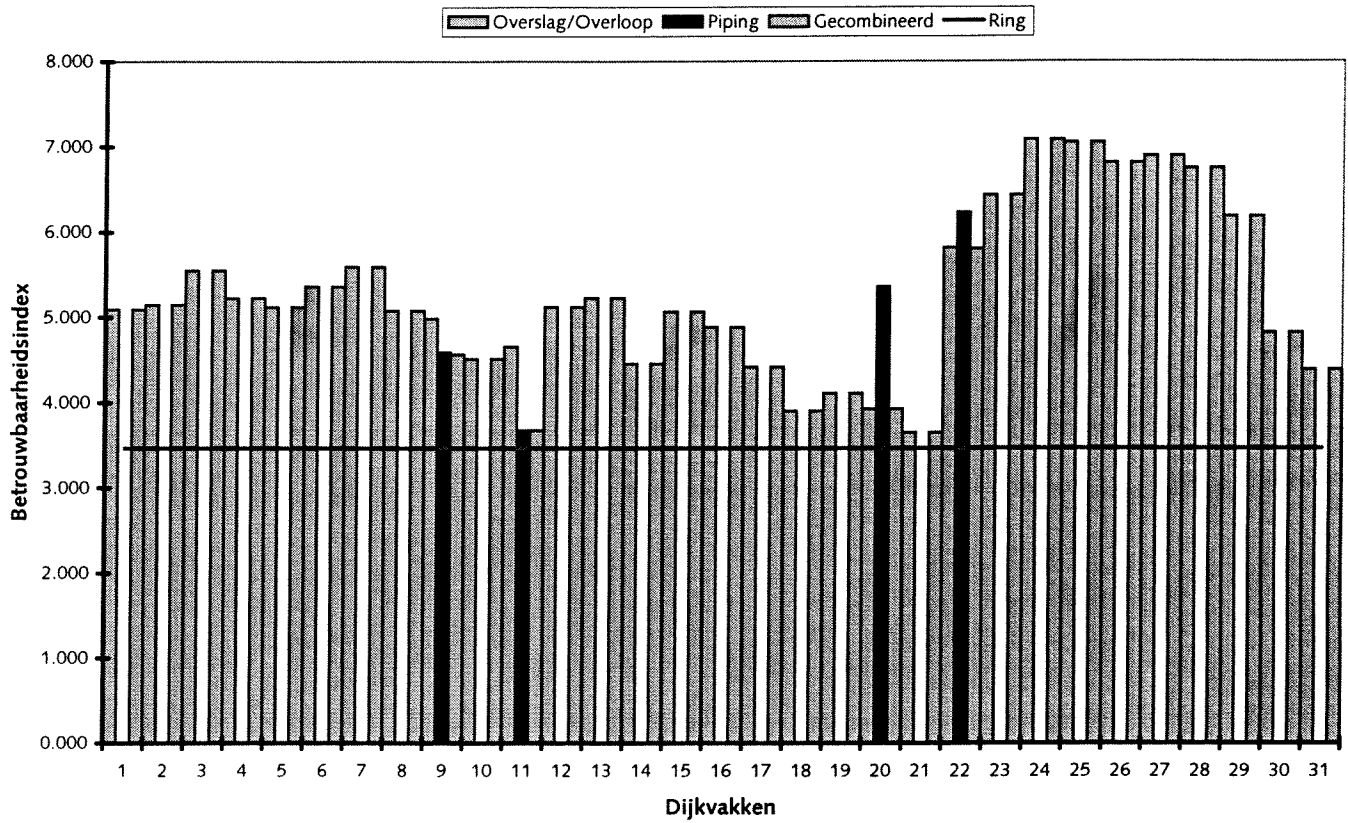
.....Toelichting¹.....
Dit afstudeeronderzoek is gebaseerd op de gegevens van SPRINT zoals deze in februari 2000 bekend waren. Na deze datum is in de invoergegevens voor dijkvak 11 ten behoeve van de piping berekening een wijziging doorgevoerd waardoor in (TAW, juni 2000) een andere betrouwbaarheidsindex wordt weergegeven. dan hier vermeld

.....Toelichting².....
Als gevolg van de correctie in het overslagmodel zoals beschreven in paragraaf 2.5.4 komen deze betrouwbaarheidsindices niet overeen met de waarde volgens het model PC_RINGSCHIL

.....Toelichting³.....
Als gevolg van de verschillen zoals beschreven in toelichting 1 en 2 komt de gecombineerde faalkans ook niet overeen met de modelresultaten van PC_RINGSCHIL

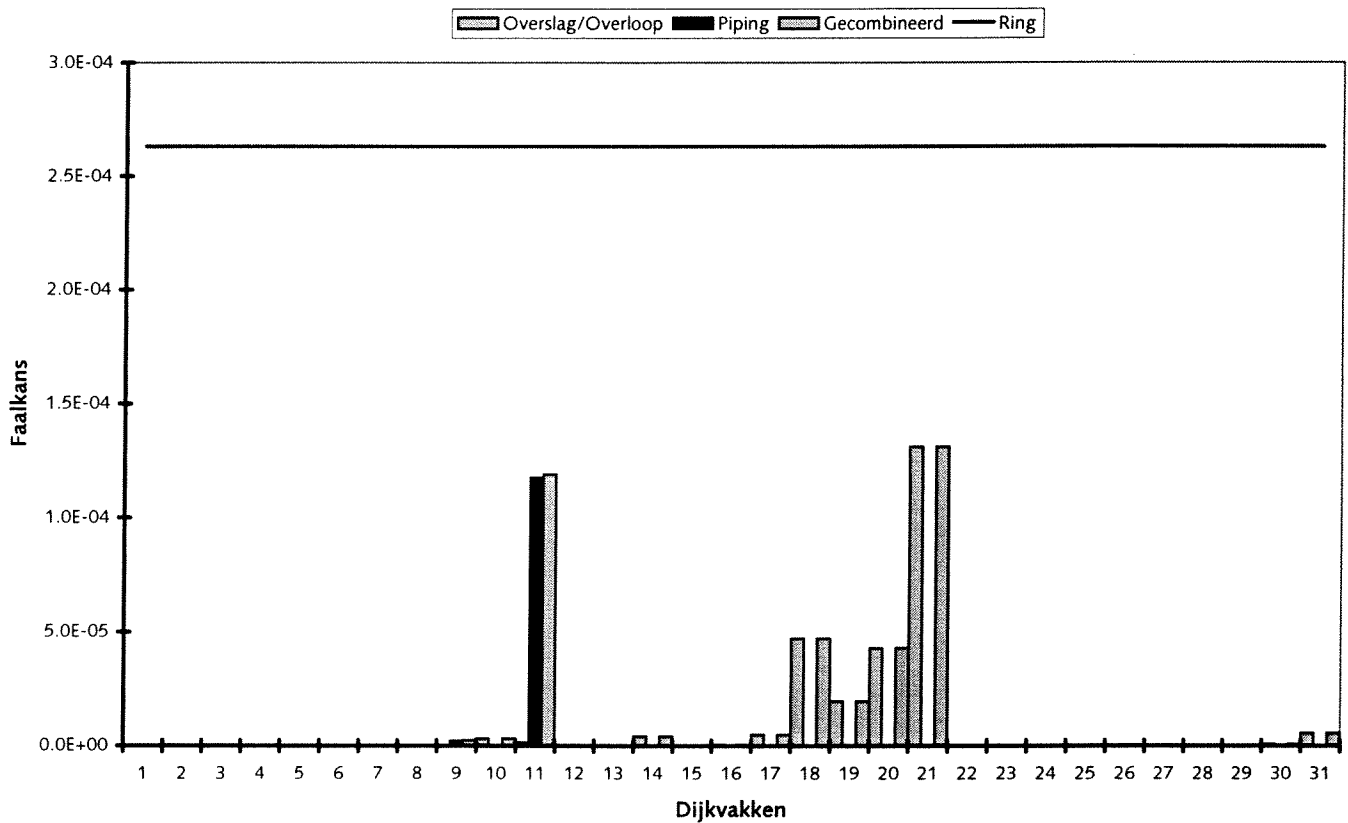
De resultaten uit tabel IV.A.2 worden gevisualiseerd in grafiek IV.A.3. In een staafdiagram worden per dijkvak achtereenvolgens weergegeven de waarde van de betrouwbaarheidsindex voor het faalmechanisme 'overloop/overslag', 'piping' en het resultaat van de combinatieprocedure. Met een rode lijn wordt de totale betrouwbaarheidsindex van het dijkringgebied aangegeven.

Figuur IV.A.3 SPRINT resultaten PC_RING uitgedrukt in betrouwbaarheidsindices



Wanneer de resultaten niet in betrouwbaarheidsindices worden weergegeven, maar uitgedrukt in faalkansen, komt duidelijker naar voren welke dijkvakken de zwakke schakels van de dijkring vormen.

Figuur IV.A.4 SPRINT resultaten PC_RING uitgedrukt in faalkansen

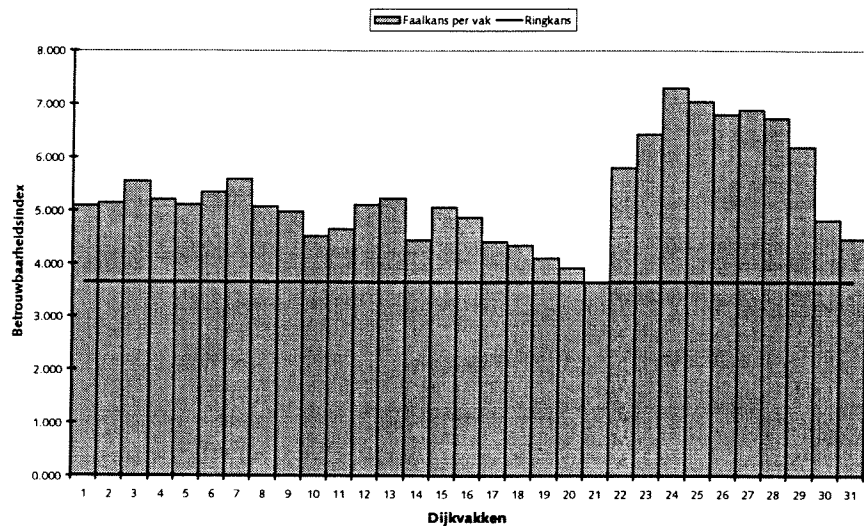


Bijlage IV.B Voorbeeld grens faalkansreductie

In dit voorbeeld worden de invoergegevens van dijkringgebied 'Groningen en Friesland' gebruikt en is met behulp van het model PC_RINGSCHIL een faalkansberekening van het faalmechanisme 'overloop/overslag' gemaakt. In grafiek IV.B.1 worden de resultaten van deze berekening weergegeven.

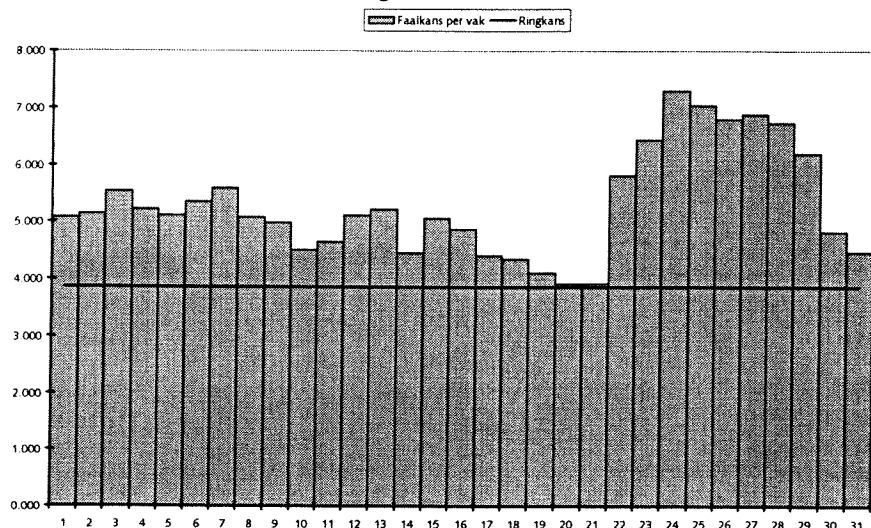
In grafiek IV.B.1 valt af te lezen dat dijkvak 21 de 'zwakste' schakel van de ring is, met een betrouwbaarheidsindex gelijk aan 3,651 en een gecombineerde betrouwbaarheidsindex over alle dijkvakken van 3,650. De op één na 'zwakste' schakel uit de dijkring wordt gevormd door dijkvak 20 met een betrouwbaarheidsindex gelijk aan 3,928.

.....Grafiek IV.B.1.....



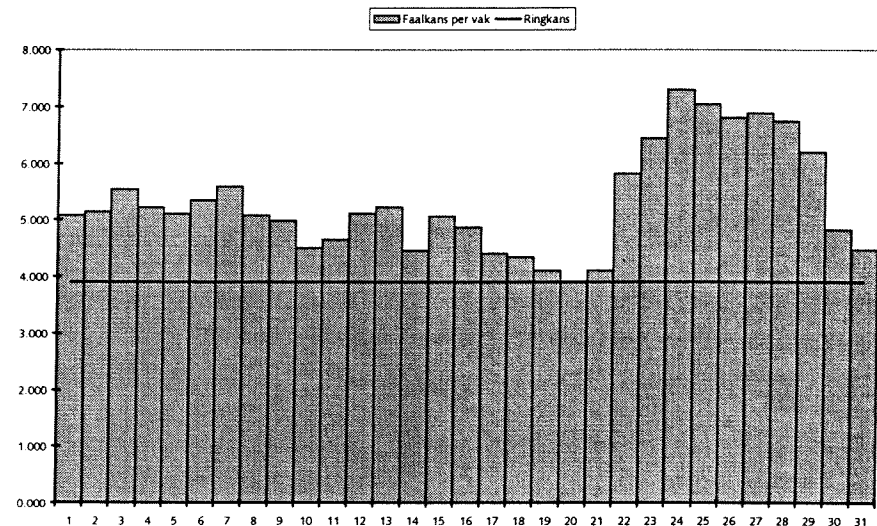
Stel voor dat dijkvak 21 zodanig is verbeterd dat de betrouwbaarheidsindex van dit dijkvak gelijk is aan 3,928. In grafiek IV.B.2 wordt het resultaat van een faalkansberekening van het faalmechanisme 'overloop/overslag' weergegeven waarbij dijkvak 21 zo is aangepast dat de betrouwbaarheidsindex inderdaad gelijk is aan 3,928. Alle andere dijkvakken zijn ongewijzigd. De gecombineerde betrouwbaarheidsindex over alle dijkvakken bedraagt nu 3,864. Dit illustreert het feit genoemd in hoofdstuk 4 dat de gecombineerde betrouwbaarheidsindex niet gelijk hoeft te zijn aan de betrouwbaarheidsindex van de 'zwakste' schakel(s) indien er meerdere dijkvakken een grote bijdrage leveren aan de totale overstromingskans.

.....Grafiek IV.B.2.....



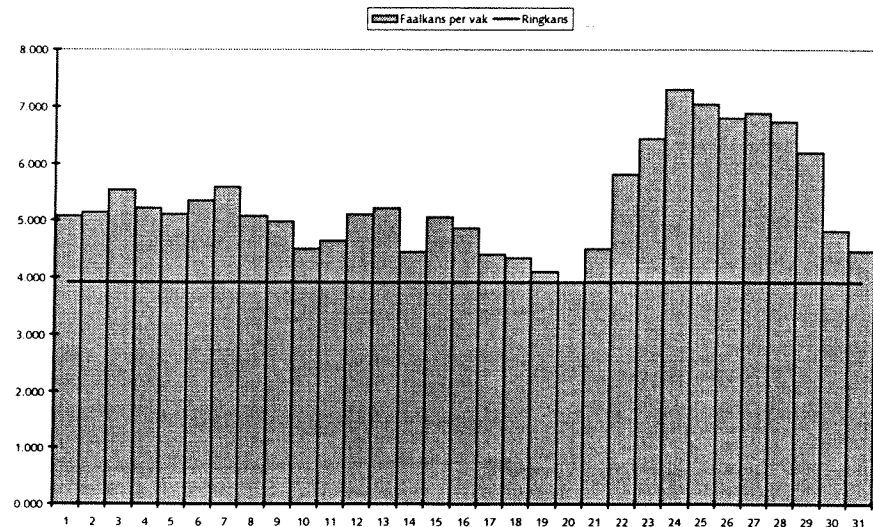
Stel voor dat dijkvak 21 extra wordt verbeterd en dat de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 door de verbeteringen gelijk wordt aan 4,112 (gelijk aan de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 19). In grafiek IV.B.3 wordt het resultaat van een faalkansberekening van het faalmechanisme 'overloop/overslag' weergegeven waarbij dijkvak 21 zo is aangepast dat de betrouwbaarheidsindex inderdaad gelijk is aan 4,112. Alle andere dijkvakken zijn ongewijzigd ten opzichte van de Ausgangssituatie. De gecombineerde betrouwbaarheidsindex over alle dijkvakken bedraagt nu 3,907. Dit illustreert het feit genoemd in hoofdstuk 4 dat de gecombineerde betrouwbaarheidsindex wel degelijk meer kan toenemen, als de betrouwbaarheidsindex van het dijkvak met de oorspronkelijk laagste betrouwbaarheid meer wordt verhoogd dan het betrouwbaarheidsniveau van de op één na 'zwakste' schakel uit de dijkkring. Ten opzichte van grafiek IV.B.2 is de gecombineerde betrouwbaarheidsindex in grafiek IV.B.3 toegenomen van 3,864 naar 3,907 zonder dat de zwakste schakel uit figuur IV.B.2 is aangepast.

.....Grafiek IV.B.3.....



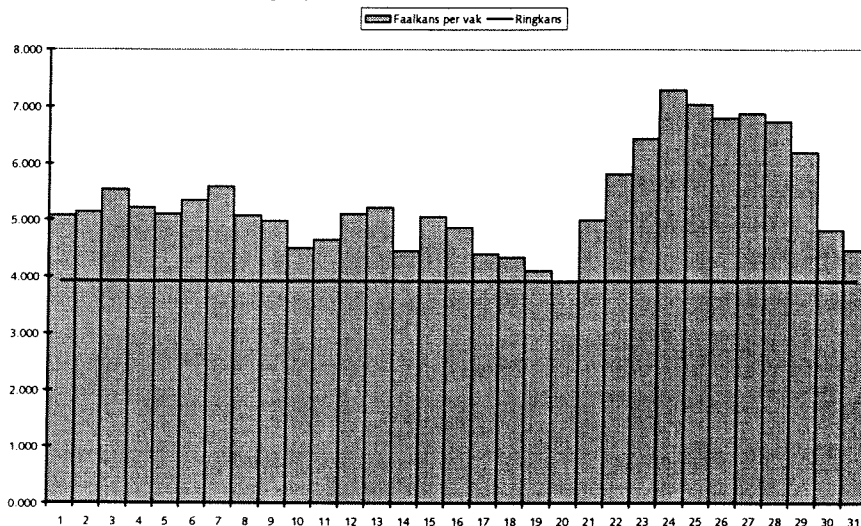
Stel voor dat dijkvak 21 nog meer wordt verbeterd en dat de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 door de verbeteringen gelijk wordt aan 4,500. In grafiek IV.B.4 wordt het resultaat van een faalkansberekening van het faalmechanisme 'overloop/ overslag' weergegeven waarbij dijkvak 21 zo is aangepast dat de betrouwbaarheidsindex inderdaad gelijk is aan 4,500. Alle andere dijkvakken zijn ongewijzigd ten opzichte van de Ausgangssituatie. De gecombineerde betrouwbaarheidsindex over alle dijkvakken bedraagt nu 3,913. Dit illustreert nogmaals het feit genoemd in hoofdstuk 4 dat de gecombineerde betrouwbaarheidsindex wel degelijk meer kan toenemen, als de betrouwbaarheidsindex van het dijkvak met de oorspronkelijk laagste betrouwbaarheid meer wordt verhoogd dan het betrouwbaarheidsniveau van de op één na 'zwakste' schakel uit de dijkkring.

.....Grafiek IV.B.4.....



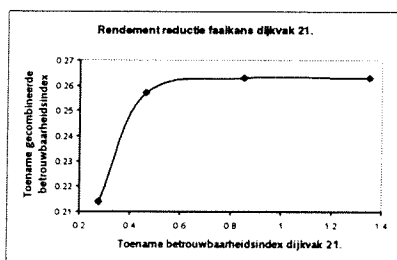
Stel voor dat dijkvak 21 nog één keer extra wordt verbeterd en dat de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 door de verbeteringen gelijk wordt aan 5,000. In grafiek IV.B.5 wordt het resultaat van een faalkansberekening van het faalmechanisme 'overloop/ overslag' weergegeven waarbij dijkvak 21 zo is aangepast dat de betrouwbaarheidsindex inderdaad gelijk is aan 5,000. Alle andere dijkvakken zijn ongewijzigd ten opzichte van de uitgangssituatie. De gecombineerde betrouwbaarheidsindex over alle dijkvakken bedraagt nu 3,913. Deze gecombineerde betrouwbaarheidsindex is nog net zo groot als de gecombineerde betrouwbaarheidsindex uit figuur IV.B.4. Geconcludeerd kan worden dat met de extra verbetering van dijkvak 21, waarbij de betrouwbaarheidsindex van het dijkvak toenam van 4,500 naar 5,000, geen extra reductie in de gecombineerde betrouwbaarheidsindex is behaald. Het rendement van deze verbeteringsmaatregelen is dan ook gelijk aan nul.

.....Grafiek IV.B.5.....



Ergens tussen een betrouwbaarheidsindex van 4,112 en 4,500 behorende bij dijkvak 21 stopt de invloed van het dijkvak op de gecombineerde betrouwbaarheidsindex. Het is echter niet eenvoudig aan te geven bij welke betrouwbaarheidsindex dit het geval is. Daarom wordt in dit afstudeeronderzoek gekozen om de 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring te verbeteren tot een betrouwbaarheidsniveau van de op één na 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring. Het verschil tussen de gecombineerde betrouwbaarheidsindices van enerzijds een verbetering tot het niveau van de op één na 'zwakste' schakel(s) uit de dijkkring (figuur IV.B.2 $\beta = 3,864$) en anderzijds een verbetering tot een betrouwbaarheidsniveau waar de invloed van het 'zwakste' dijkvak op de gecombineerde betrouwbaarheidsindex nul is (figuur IV.B.4 en 5 $\beta = 3,913$), is klein.

Daarbij komt het feit dat het rendement van de verbeteringsmaatregelen van dijkvak 21 steeds minder wordt. In eerste instantie wordt de gecombineerde betrouwbaarheidsindex hoofdzakelijk bepaald door de betrouwbaarheid van dijkvak 21. Naarmate de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21, dichter in de buurt komt van de betrouwbaarheidsindex van de op één na 'zwakste' schakel (dijkvak 2.) wordt de gecombineerde faalkans steeds meer bepaald door de betrouwbaarheid van beide dijkvakken. Het verbeteren van alleen dijkvak 21 heeft nog wel rendement maar zal een stuk minder zijn omdat eigenlijk ook dijkvak 20 verbeterd zou moeten worden. Naarmate de betrouwbaarheid van dijkvak 21 boven de betrouwbaarheid van dijkvak 20 uitkomt zal het rendement steeds sneller afnemen. De gecombineerde betrouwbaarheidsindex zal steeds meer afhankelijk worden van de betrouwbaarheid van dijkvak 20. In figuur IV.B.6 is dit weergegeven door de toename van de gecombineerde betrouwbaarheidsindex uit te zetten tegen de toename van de betrouwbaarheid van dijkvak 21 ($d\beta_{ring}/d\beta_{vak21}$).



.....Grafiek IV.B.6.....

Bijlage IV.C Inventarisatie ontwerparametervariaties

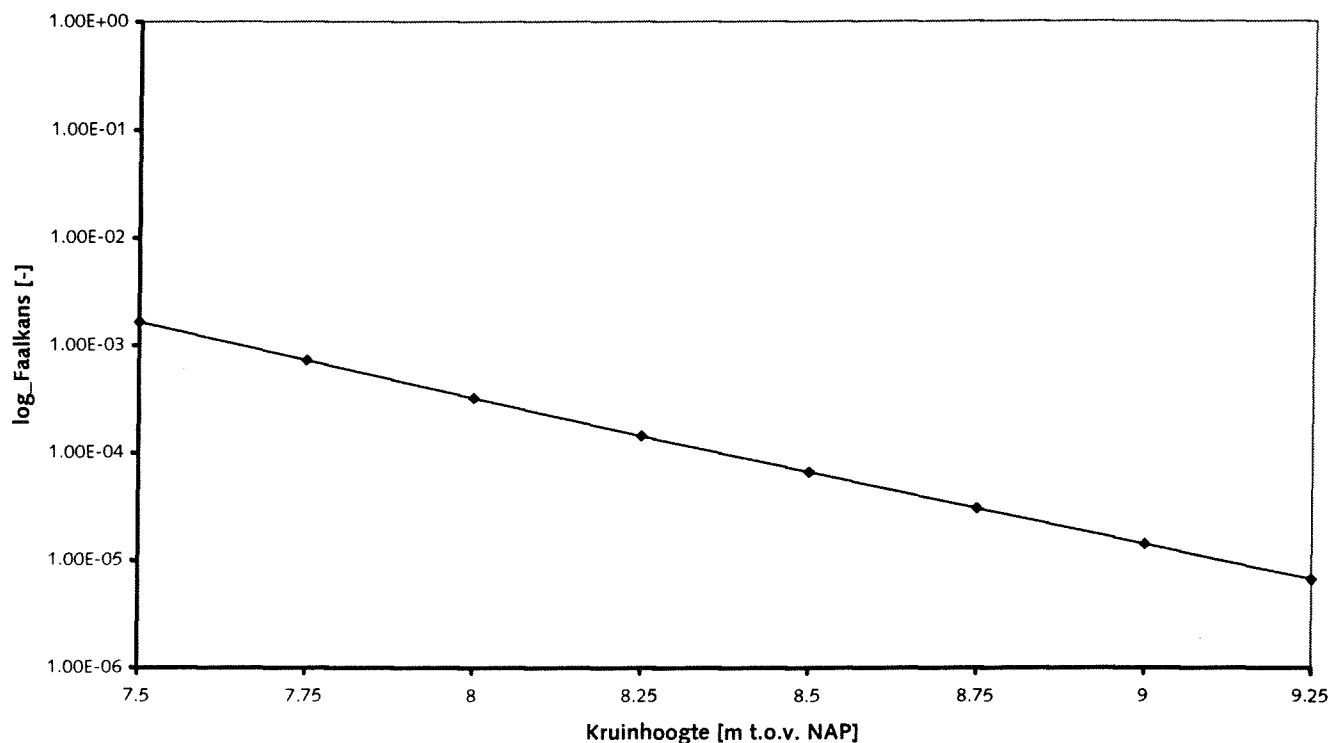
- Bijlage IV.C.1 Inventarisatie variatie kruinhoogte
- Bijlage IV.C.2 Inventarisatie variatie kruinbreedte
- Bijlage IV.C.3 Inventarisatie variatie helling binnentalud
- Bijlage IV.C.4 Inventarisatie variatie knikhogte
- Bijlage IV.C.5 Inventarisatie variatie bermbreedte
- Bijlage IV.C.6 Inventarisatie variatie helling buitentalud (boven)
- Bijlage IV.C.7 Inventarisatie variatie helling buitentalud (onder)

Bijlage IV.C.1 Inventarisatie variatie kruinhoogte

Weergeven wordt de invloed van de kruinhoogte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.1 als functie van de kruinhoogte en in grafiek IV.C.2 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

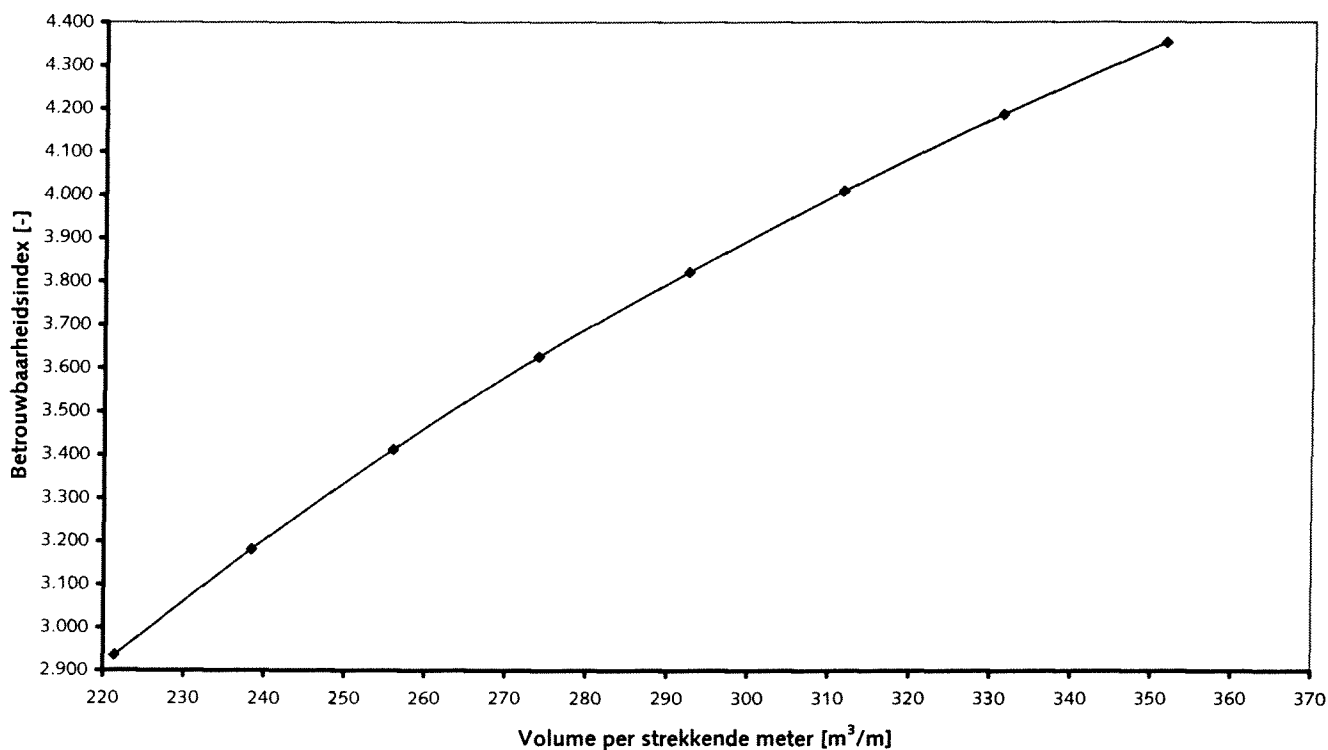
Grafiek IV.C.1

Invloed kruinhoogte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Grafiek IV.C.2

Invloed kruinhoogte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

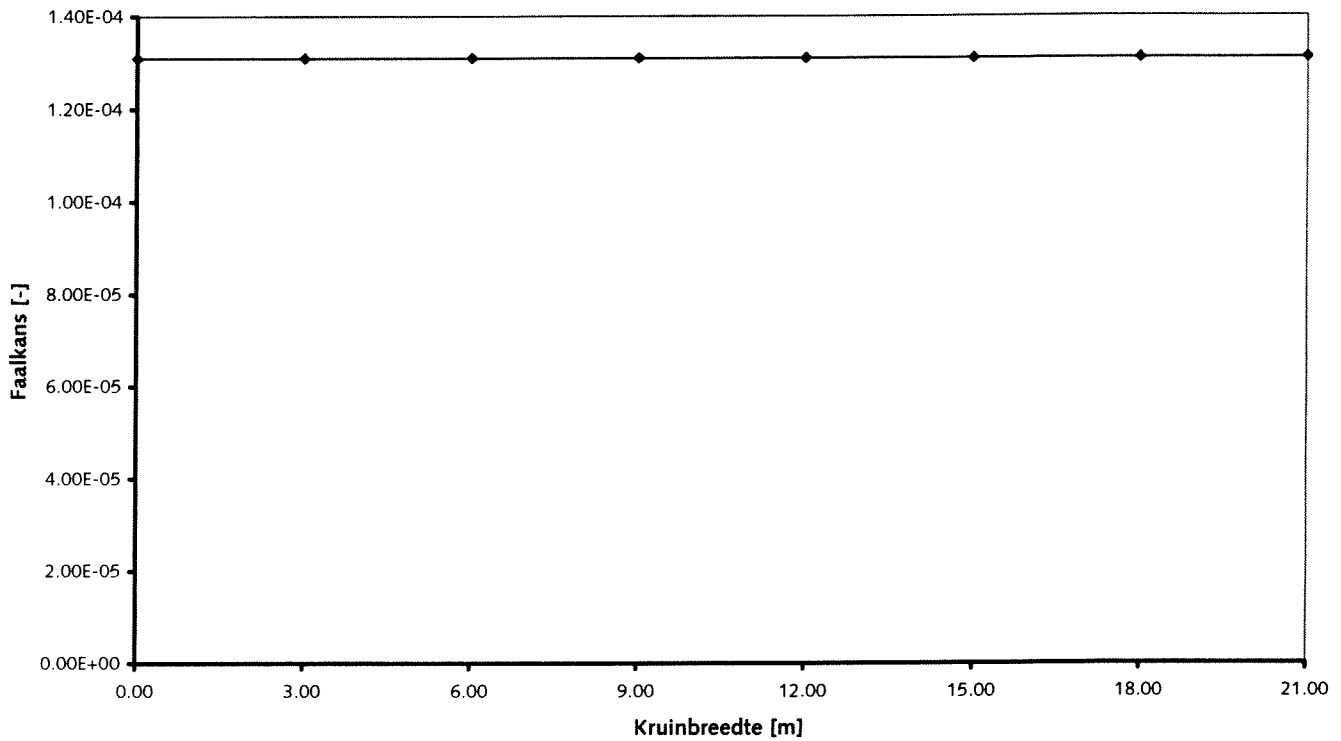


Bijlage IV.C.2 Inventarisatie variatie kruinbreedte

Weergeven wordt de invloed van de kruinbreedte op de faalkans van dijkvak 21. Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.3 als functie van de kruinbreedte en in grafiek IV.C.4 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

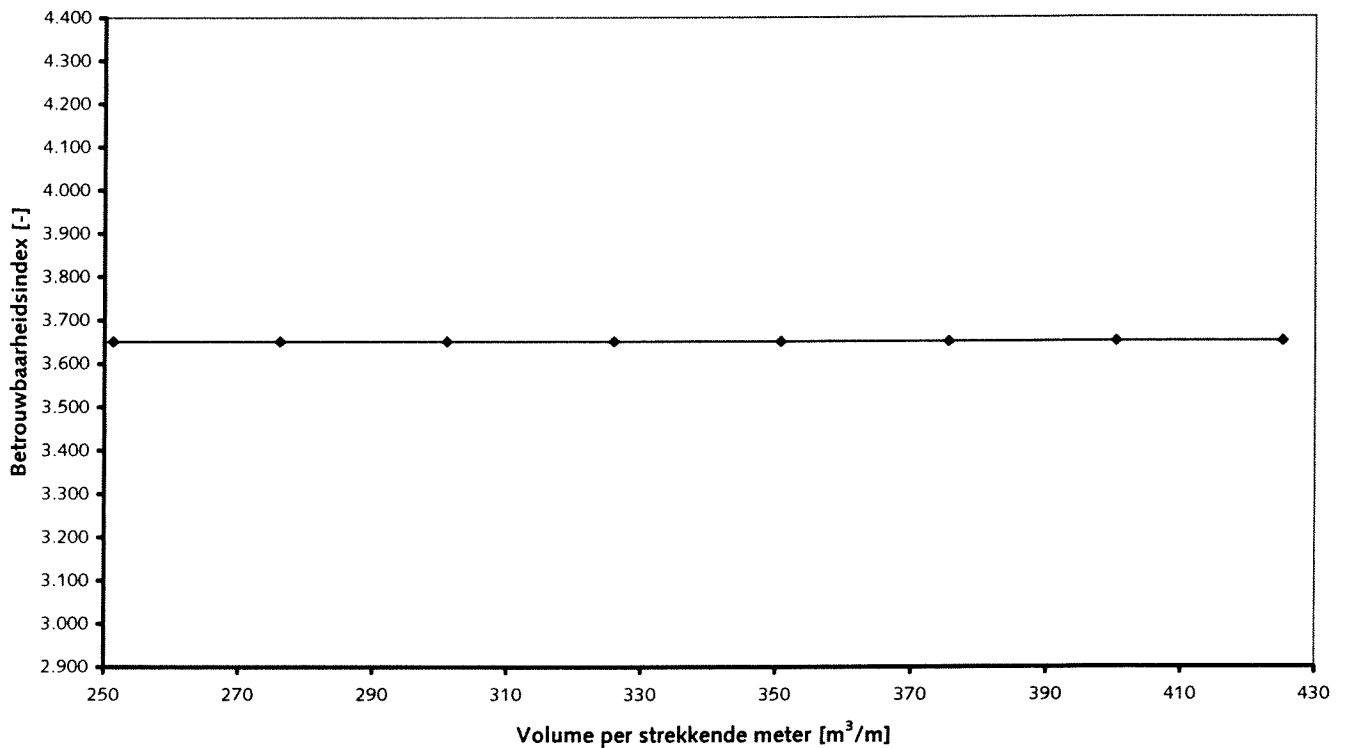
Grafiek IV.C.3

Invloed kruinbreedte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Grafiek IV.C.4

Invloed kruinbreedte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

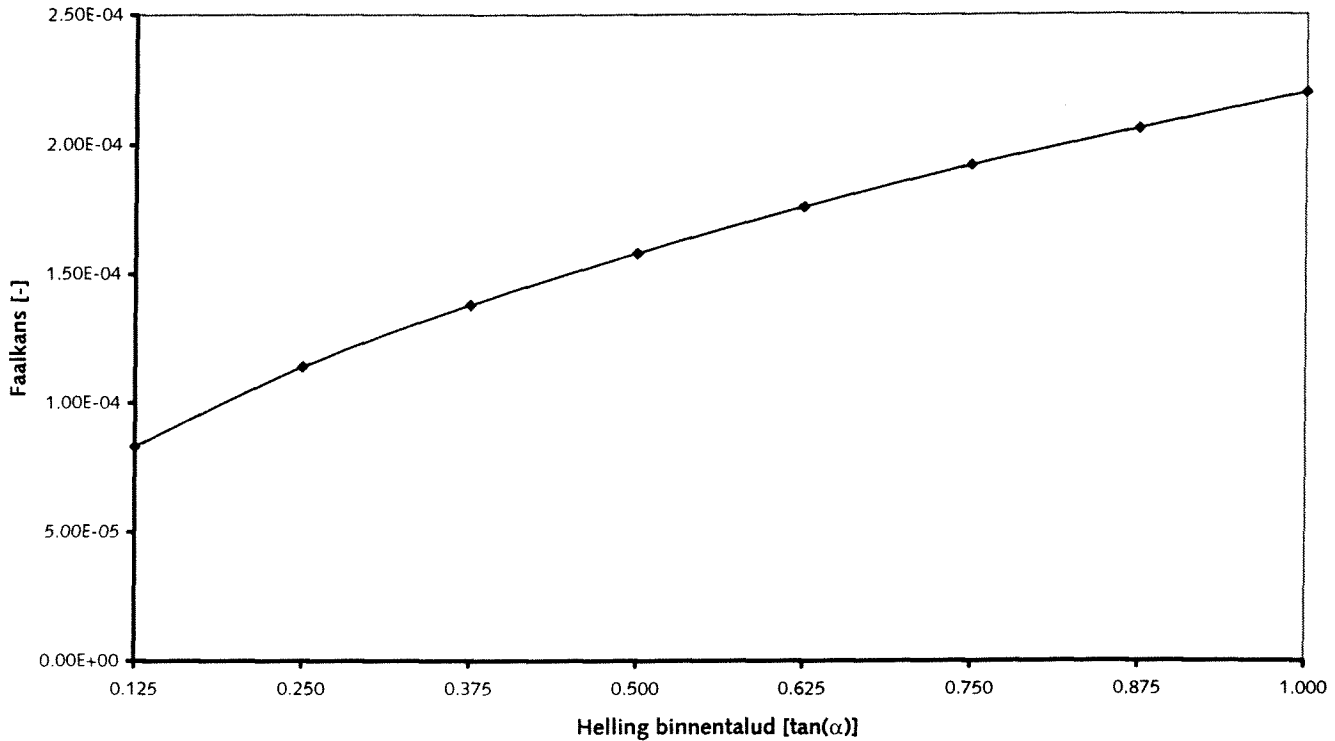


Bijlage IV.C.3 Inventarisatie variatie helling binnentalud

Weergegeven wordt de invloed van de taludhelling van het binnentalud op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.5 als functie van de helling van het binnentalud en in grafiek IV.C.7 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

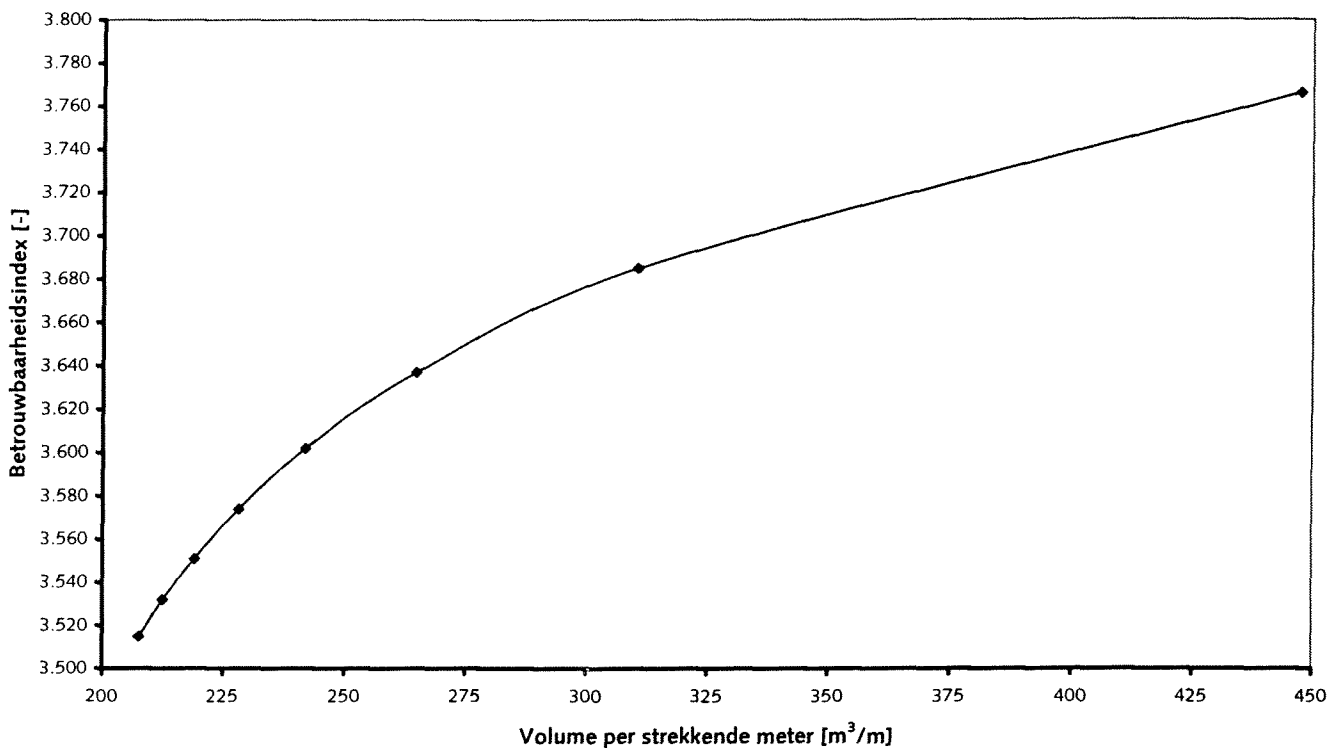
Grafiek IV.C.5

Invloed binnentaludhelling op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Grafiek IV.C.6

Invloed binnentaludhelling op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

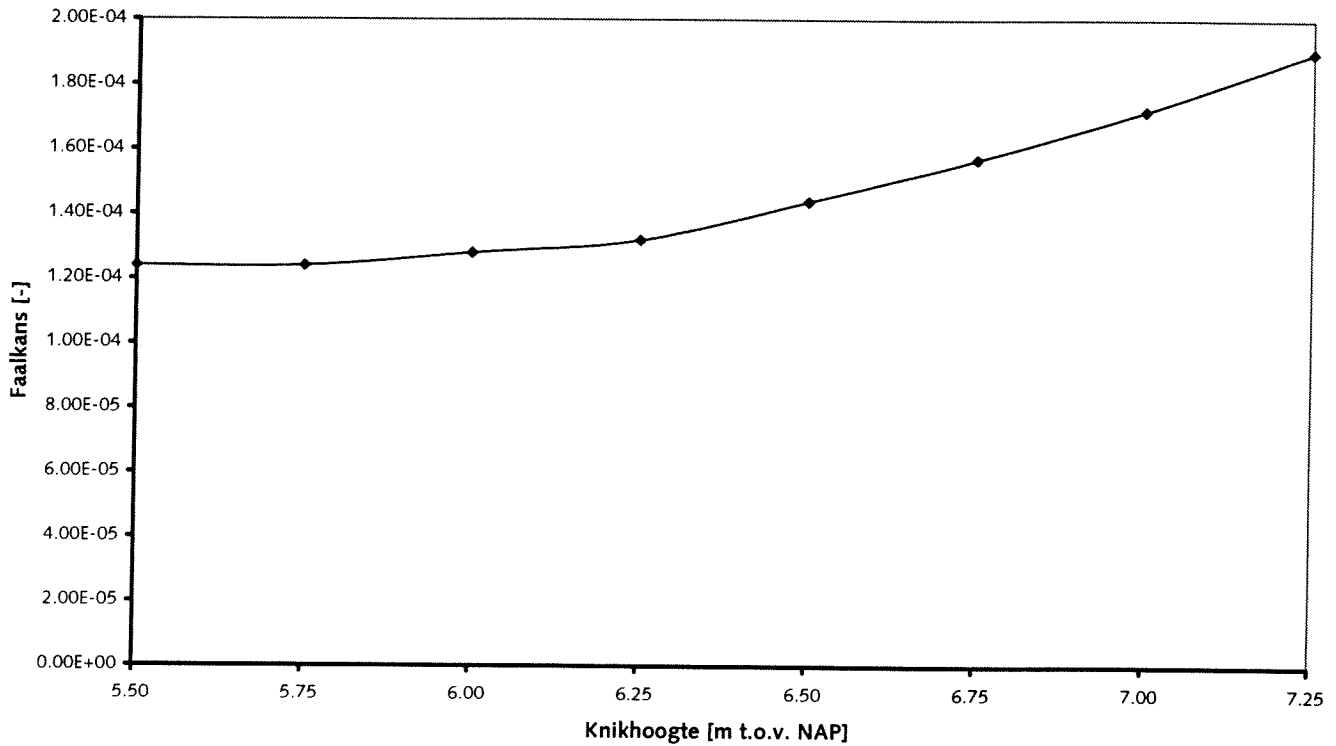


Bijlage IV.C.4 Inventarisatie variatie knikhoogte

Weergeven wordt de invloed van de knikhoogte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.7 als functie van de knikhoogte en in grafiek IV.C.8 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

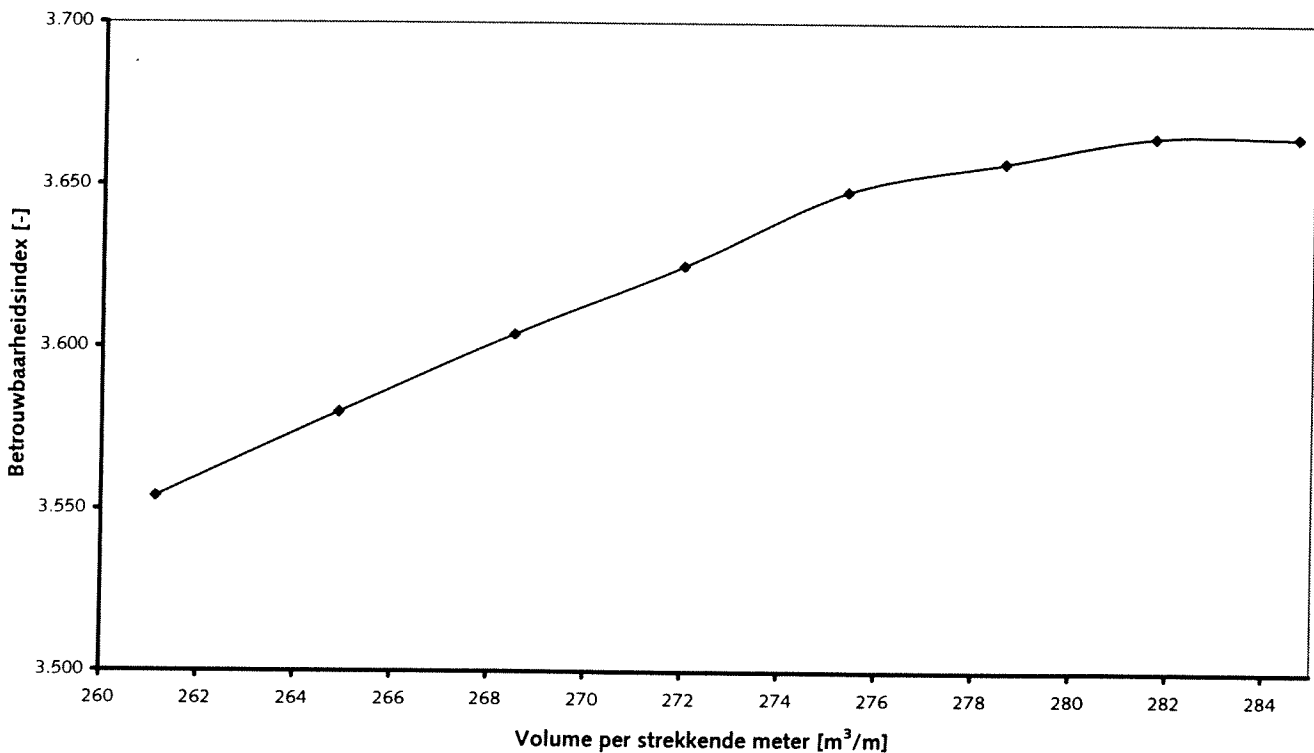
Grafiek IV.C.7

Invloed knikhoogte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Grafiek IV.C.8

Invloed knikhoogte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

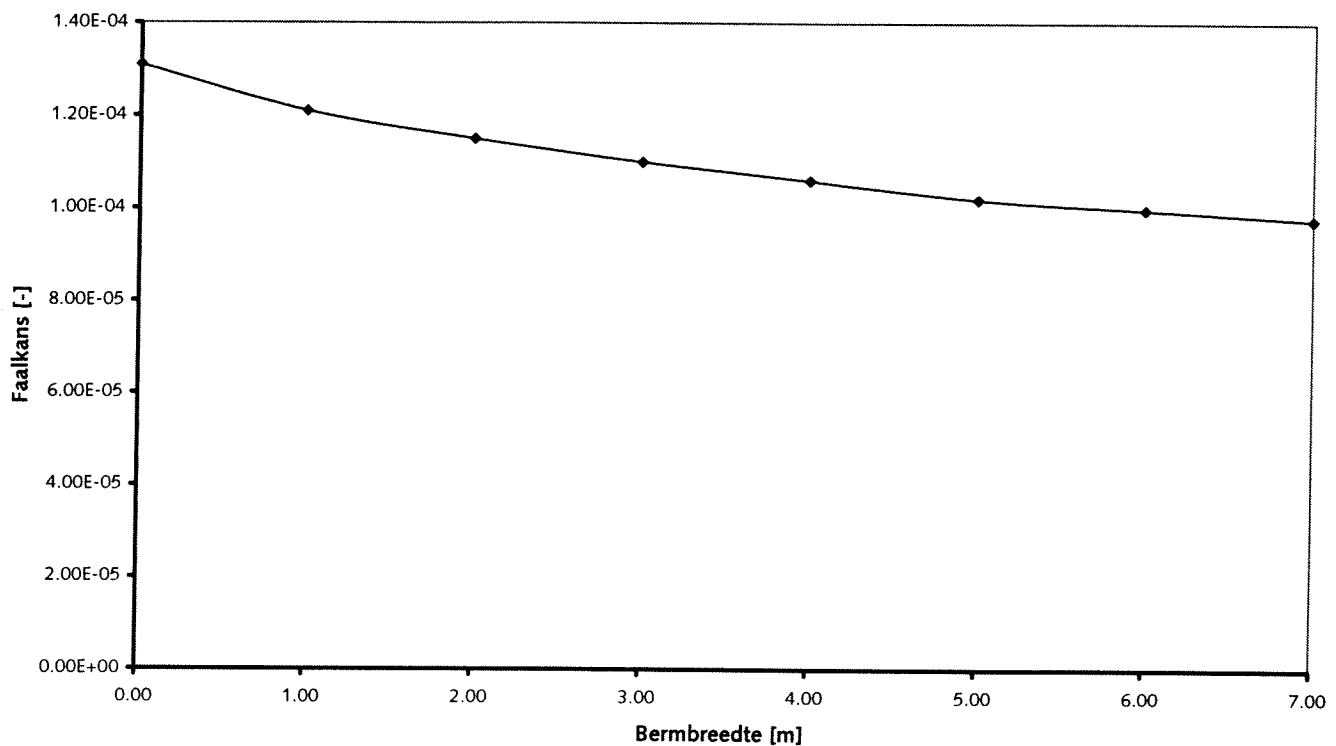


Bijlage IV.C.5 Inventarisatie variatie bermbreedte

Weergeven wordt de invloed van de bermbreedte op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.9 als functie van de bermbreedte en in grafiek IV.C.10 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

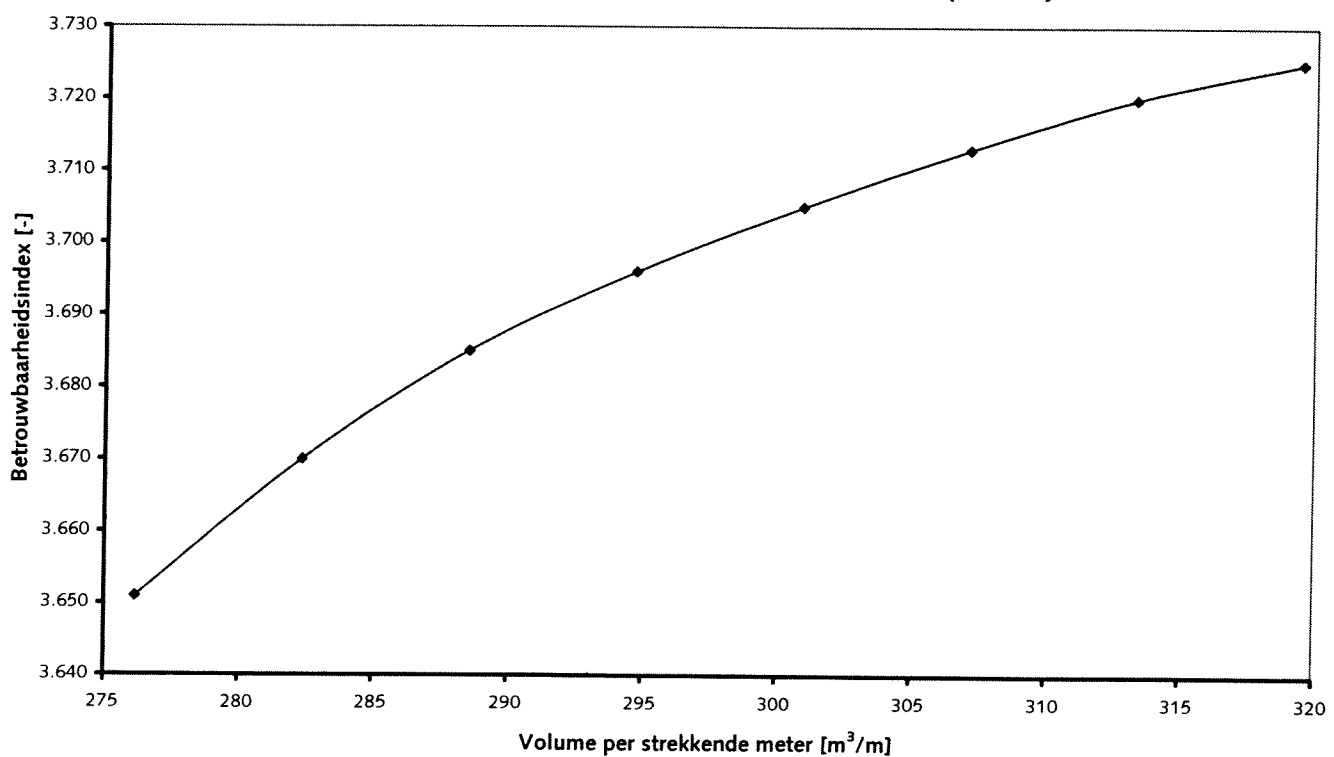
Grafiek IV.C.9

Invloed bermbreedte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Grafiek IV.C.10

Invloed bermbreedte op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk

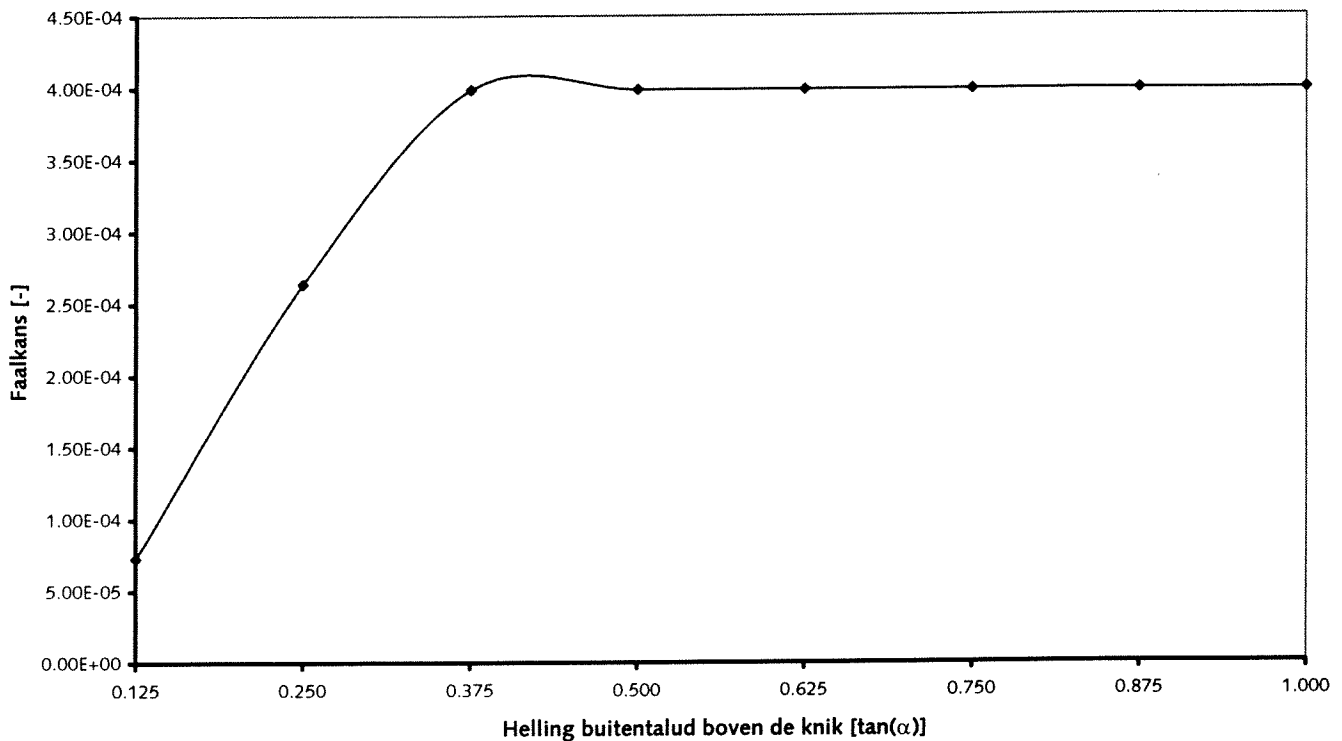


Bijlage IV.C.6 Inventarisatie variatie buitentaludhelling

Weergeven wordt de invloed van de helling van het buitentalud boven de knik op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.11 als functie van de helling van het buitentalud boven de knik en in grafiek IV.C.12 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

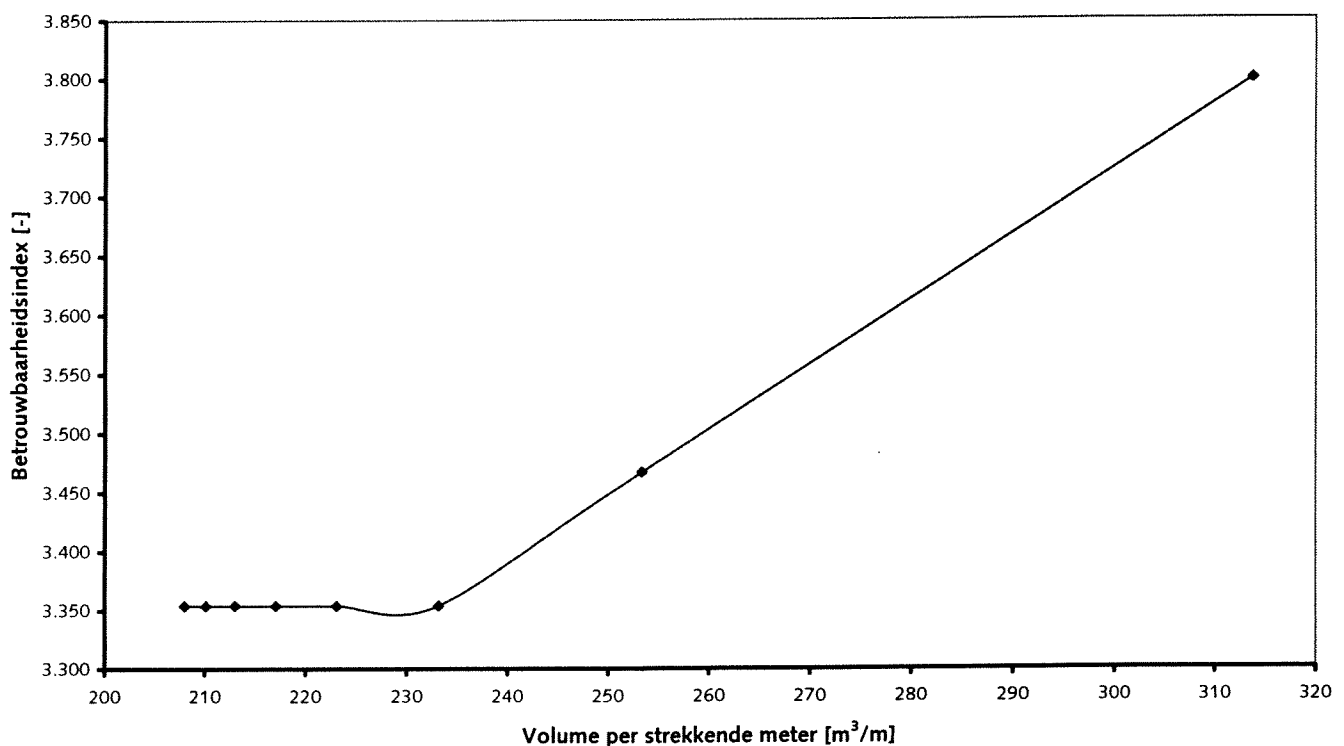
Grafiek IV.C.11

Invloed buitentaludhelling boven knik op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Grafiek IV.C.12

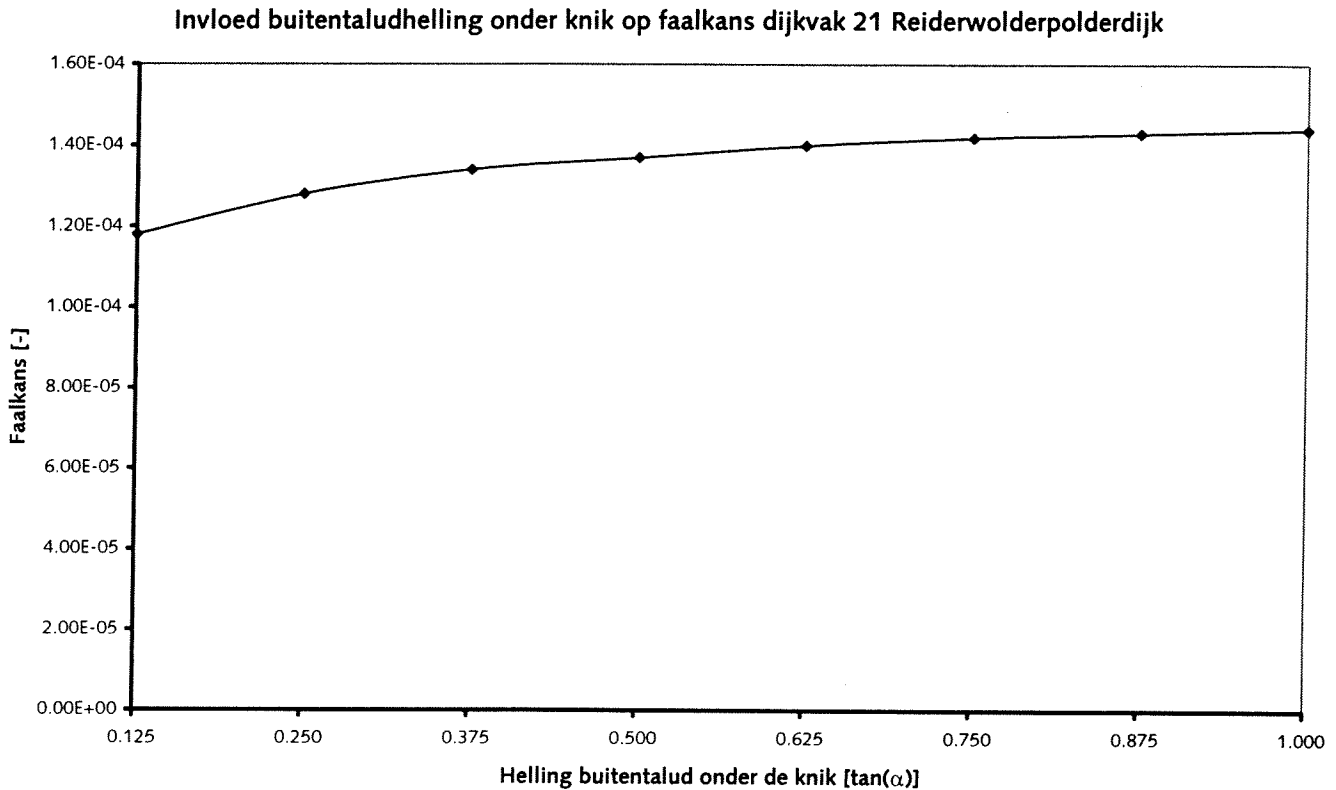
Invloed buitentaludhelling boven knik op faalkans dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



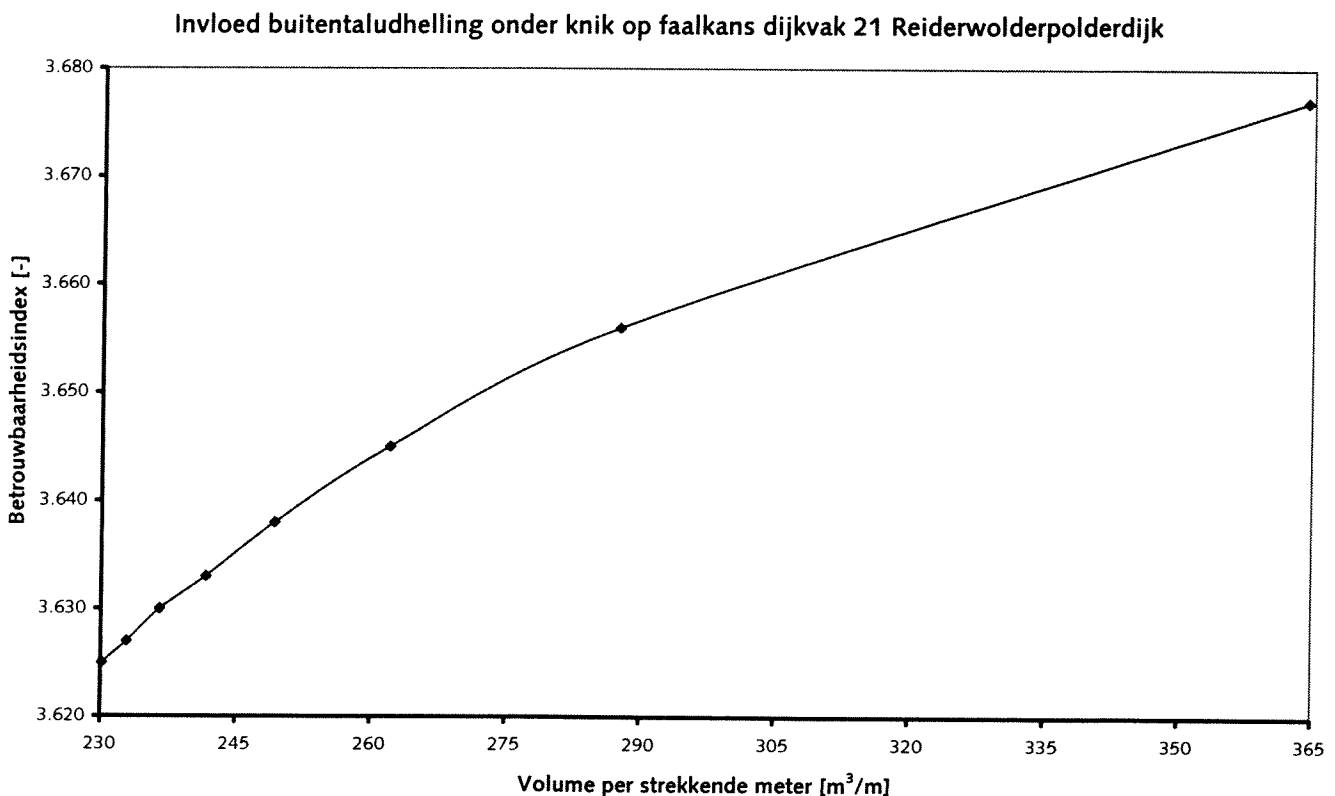
Bijlage IV.C.7 Inventarisatie variatie buitentaludhelling

Weergegeven wordt de invloed van de helling van het buitentalud onder de knik op de faalkans van dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk. In grafiek IV.C.13 als functie van de helling van het buitentalud onder de knik en in grafiek IV.C.14 als functie van de investeringskosten uitgedrukt in een volume per strekkende meter dijk.

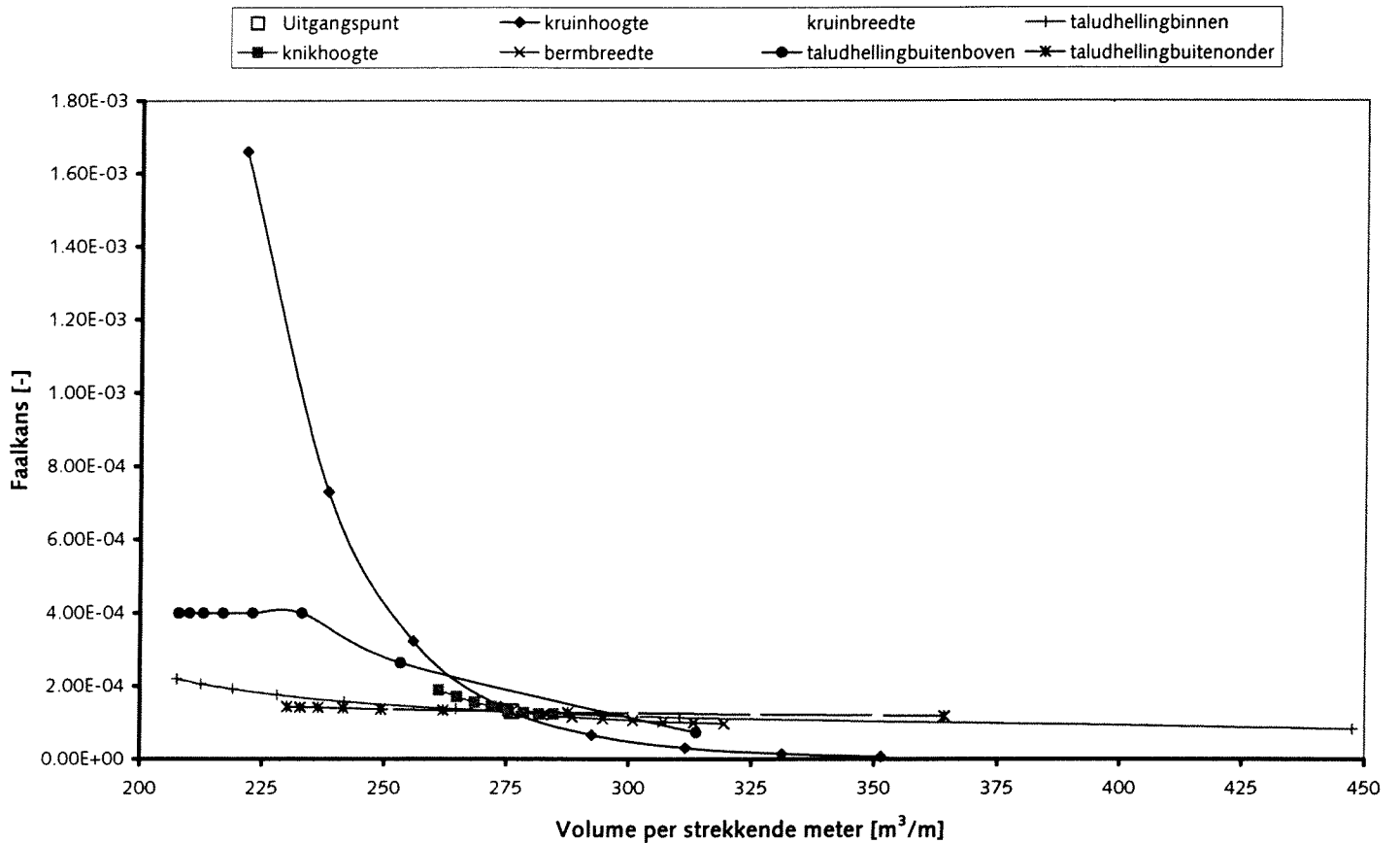
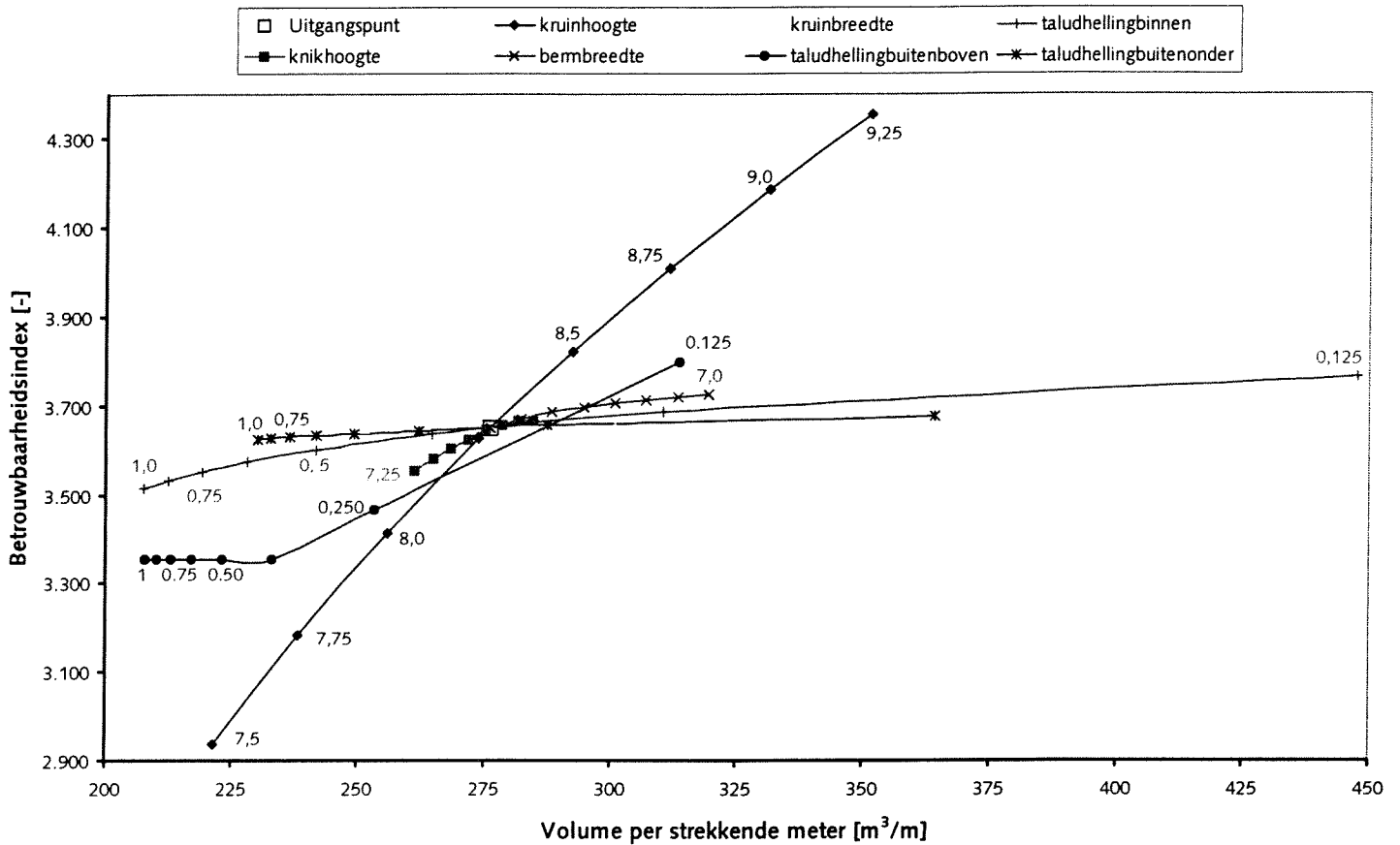
Grafiek IV.C.13



Grafiek IV.C.14

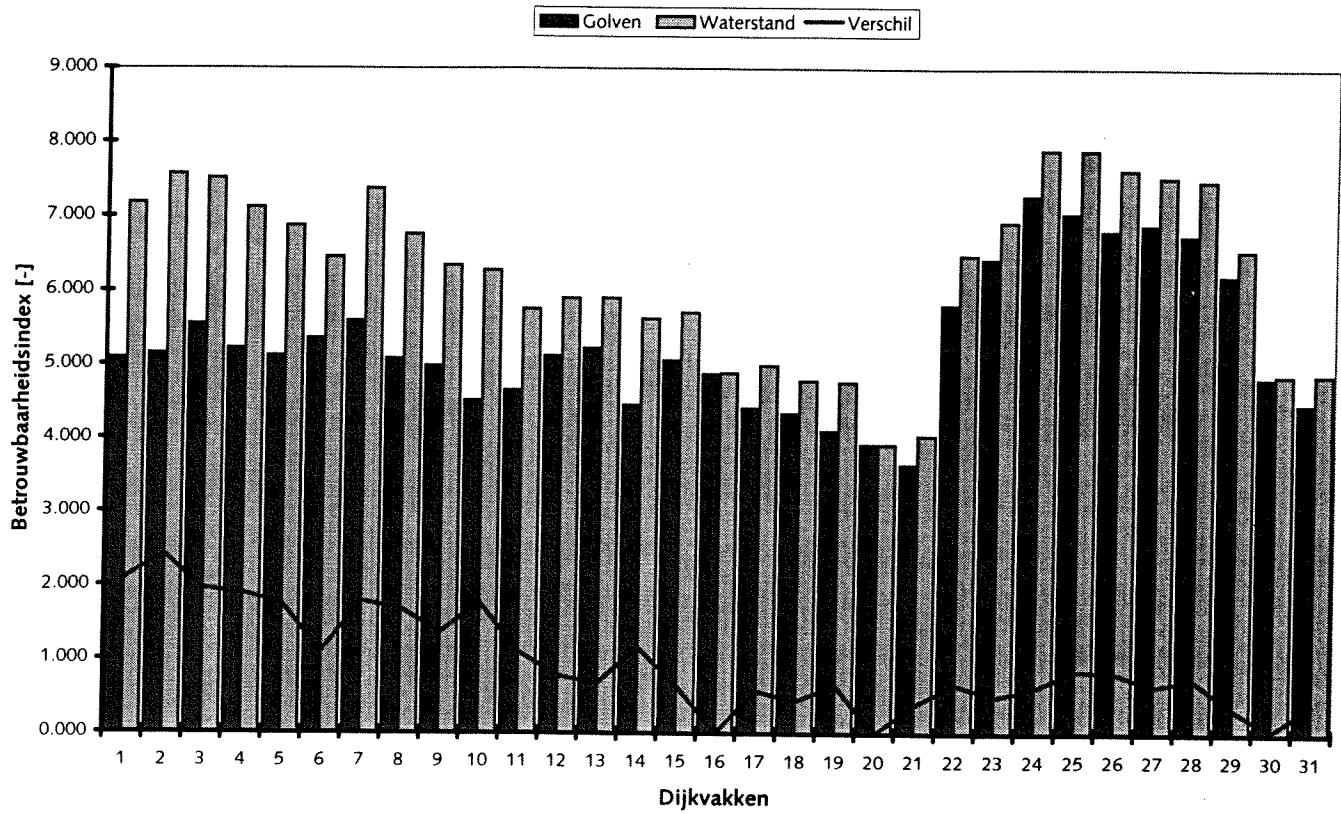


Bijlage IV.D Resultaten inventarisatie dijkvak 21

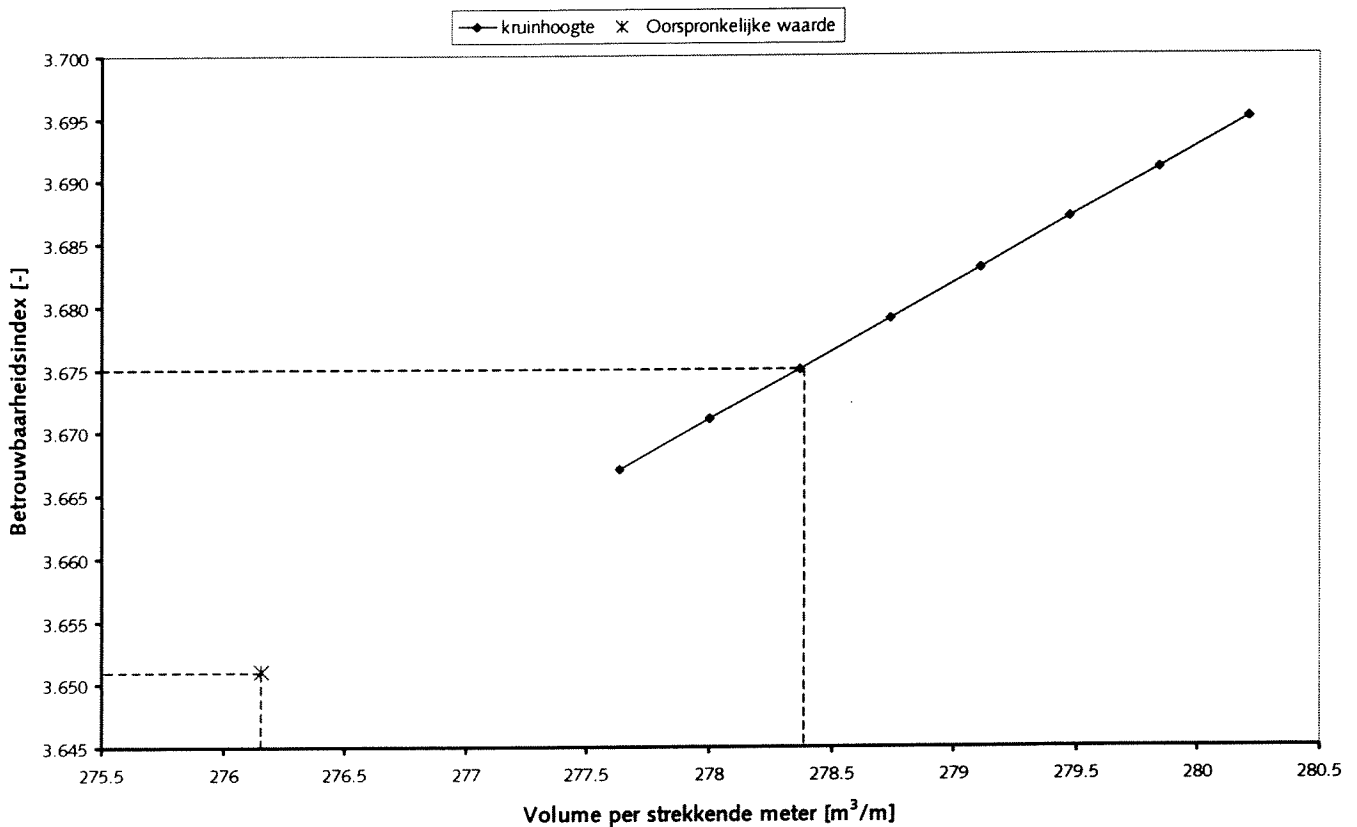
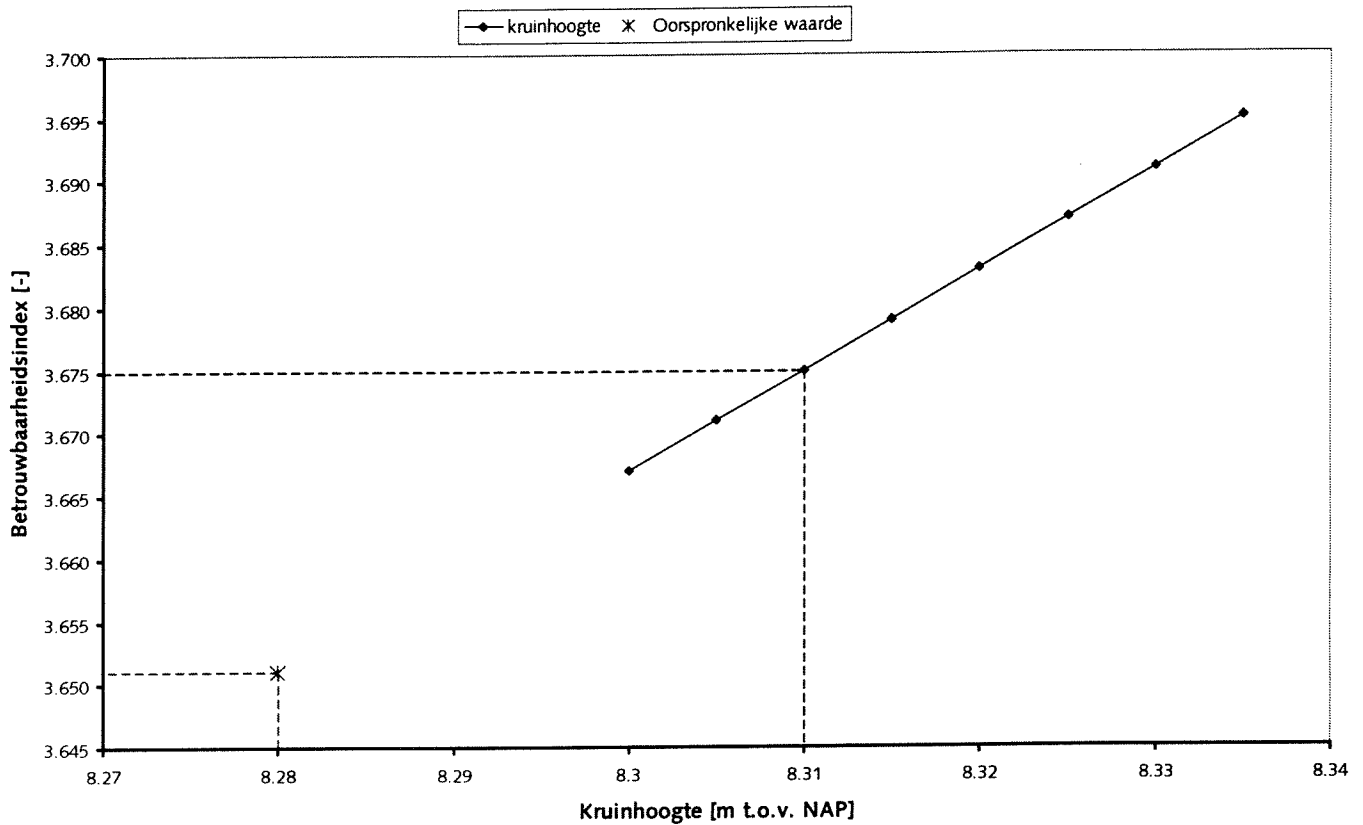


Bijlage IV.E Maatgevende belasting dijkvakken

grafiek IV.E.1 Maatgevende belasting per dijkvak



Bijlage IV.F Resultaat optimale verbeteringsmaatregel dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk



Bijlage IV.G Resultaat eerste verbeteringsmaatregel

In onderstaande tabel worden de resultaten weergegeven die verkregen zijn met behulp van het model PC_RINGSCHIL en de voorgestelde verbeteringsmaatregel uit de eerste cyclus, waarbij de kruinhoogte van dijkvak 21 is verhoogd tot 8,31 meter t.o.v. NAP.

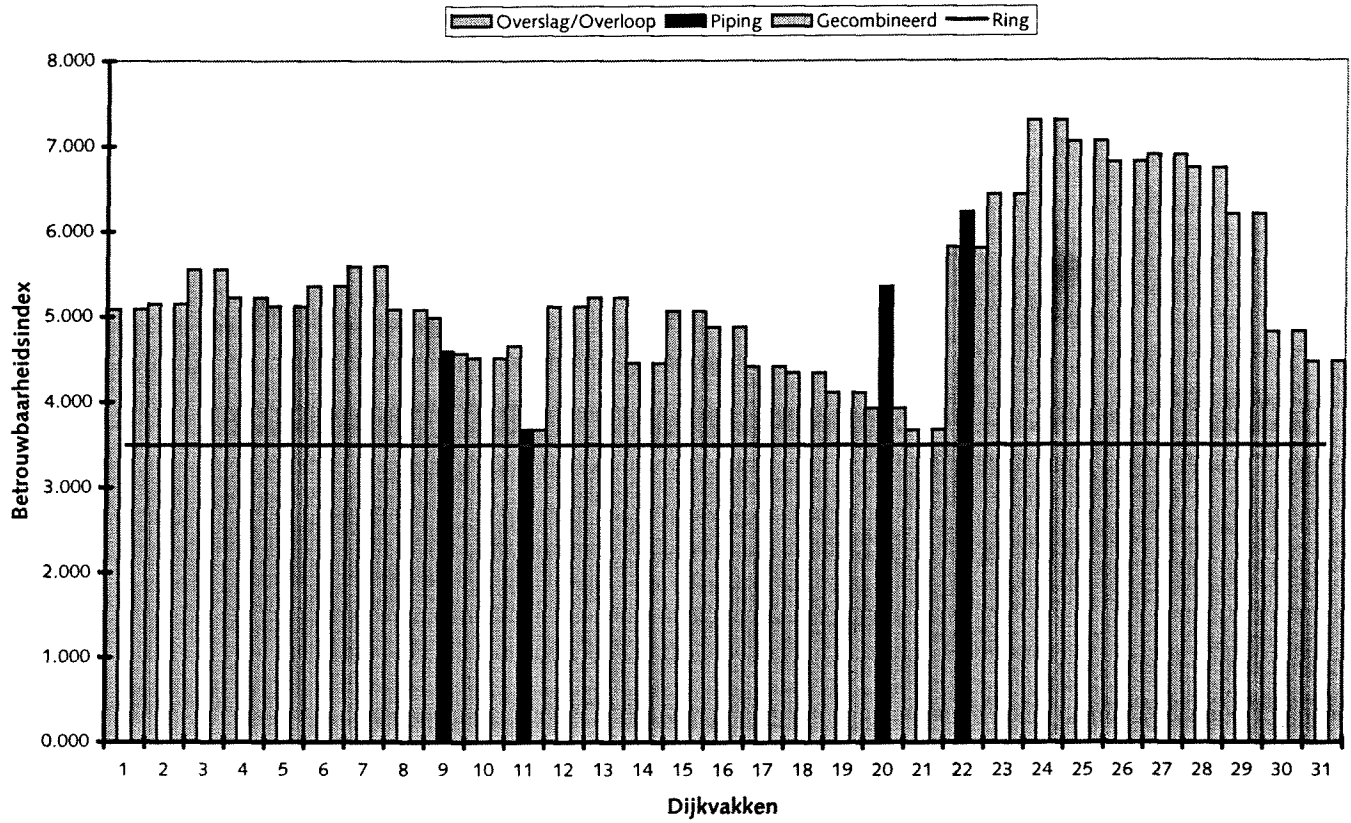
Aangegeven wordt de waarde van de betrouwbaarheidsindex per dijkvak en per faalmechanisme, de waarde van de betrouwbaarheidsindices na de combinatieprocedure per dijkvak over de faalmechanismen en per faalmechanisme over de dijkvakken en de totale overstromingskans.

.....Tabel IV.G.1.....
Modelresultaten PC_RINGSCHIL

Vaknummer	Overslag/overloop	Piping	Combinatie
1	5.09		5.09
2	5.148		5.148
3	5.55		5.55
4	5.222		5.222
5	5.119		5.119
6	5.357		5.357
7	5.592		5.592
8	5.08		5.08
9	4.985	4.594	4.566
10	4.514		4.514
11	4.657	3.678	3.675
12	5.12		5.12
13	5.226		5.226
14	4.457		4.457
15	5.064		5.064
16	4.882		4.882
17	4.419		4.419
18	4.349		4.349
19	4.112		4.112
20	3.928	5.358	3.927
21	3.675		3.675
22	5.816	6.229	5.804
23	6.433		6.433
24	7.299		7.299
25	7.049		7.049
26	6.811		6.811
27	6.891		6.891
28	6.746		6.746
29	6.205		6.205
30	4.824		4.824
31	4.472		4.472
Gecombineerde betrouwbaarheid dijkring			3.497

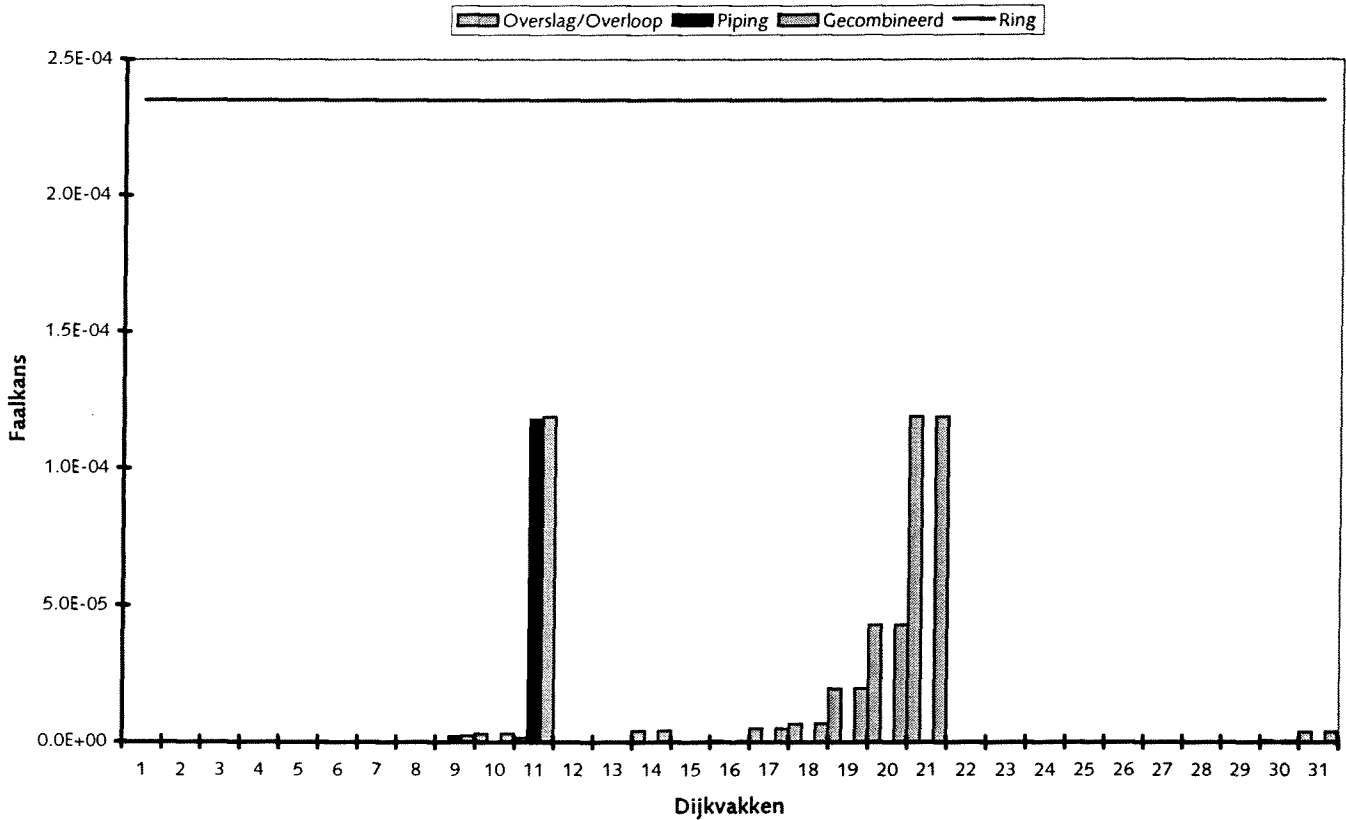
De resultaten uit tabel IV.G.1 worden gevisualiseerd in grafiek IV.G.1. In een staafdiagram worden per dijkvak achtereenvolgens weergegeven de waarde van de betrouwbaarheidsindex voor het faalmechanisme 'overloop/overslag', 'piping' en het resultaat van de combinatieprocedure. Met een rode lijn wordt de totale betrouwbaarheidsindex van het hele dijkringgebied aangegeven.

Grafiek IV.G.1 Modelresultaten PC_RINGSCHIL uitgedrukt in betrouwbaarheidsindices



Wanneer de resultaten niet in betrouwbaarheidsindices worden weergegeven, maar uitgedrukt in faalkansen, komt duidelijker naar voren welke dijkvakken de zwakke schakels van de dijkkring vormen.

Grafiek IV.G.2 Modelresultaten PC_RINGSCHIL uitgedrukt in faalkansen



Bijlage IV.H Weergave tweede cyclus

Stap 1. Analyse overstromingskans en lokaliseren 'zwakke' schakels

De resultaten van de eerste cyclus vormen het uitgangspunt van deze tweede cyclus. De resultaten van de eerste cyclus worden weergegeven in bijlage IV.G. Uit grafiek IV.G.2 is af te lezen dat nu zowel dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk als dijkvak 11 Ommelanderzeedijk de 'zwakke' schakels van de dijkring vormen en dus de grootste bijdrage leveren aan de overstromingskans van het dijkgebied. In stap 1 kunnen de volgende resultaten gekwantificeerd worden:

- de totale overstromingskans van het dijkgebied 'Groningen en Friesland' na de eerste cyclus bedraagt $2,35 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,497$);
- de 'zwakste' schakels uit de dijkring worden gevormd door dijkvak 21 Reiderwolderpolderdijk, waarbij het faalmechanisme 'overloop/overslag' maatgevend is en dijkvak 11 Ommelanderzeedijk, waarbij het faalmechanisme 'piping' maatgevend is;
- de faalkans van dijkvak 21 ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' bedraagt $1,19 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,675$);
- de gecombineerde faalkans van dijkvak 21 is gelijk aan de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' (*pipingberekening ontbreekt*) en bedraagt derhalve ook $1,19 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,675$);
- de faalkans van dijkvak 11 ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' bedraagt $1,61 \cdot 10^{-6}$ ($\beta = 4,675$);
- de faalkans van dijkvak 11 ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' bedraagt $1,18 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,678$);
- de gecombineerde faalkans van dijkvak 11 is bij benadering gelijk aan de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'piping' (*de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' is vele malen kleiner, en dus niet maatgevend*) en bedraagt derhalve $1,19 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,675$).

Stap 2. grens faalkansreductie

De gecombineerde faalkans van de dijkvakken 21 en 11 ($1,19 \cdot 10^{-4}$) moet gereduceerd worden tot het niveau van de gecombineerde faalkans van de op één 'zwakste' schakel(s) uit de dijkring. De op één 'zwakste' schakel uit de dijkring wordt gevormd door dijkvak 20 Dollardijk.

In stap 2 kunnen de volgende resultaten gekwantificeerd worden:

- de op één 'zwakste' schakel uit de dijkring wordt gevormd door dijkvak 20 Dollardijk, waarbij het faalmechanisme 'overloop/overslag' maatgevend is;
- de faalkans van dijkvak 20 ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' bedraagt $4,19 \cdot 10^{-5}$ ($\beta = 3,928$);
- de faalkans van dijkvak 20 ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' bedraagt $4,22 \cdot 10^{-8}$ ($\beta = 5,358$);
- de gecombineerde faalkans van dijkvak 20 is bij benadering gelijk aan de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' (*de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'piping' is vele malen kleiner, en dus niet maatgevend*) en bedraagt derhalve $4,30 \cdot 10^{-5}$ ($\beta = 3,927$).

Stap 3. Inventarisatie parametervariaties

Omdat nu van zowel dijkvak 21 als van dijkvak 11 de gecombineerde faalkans gereduceerd moet worden, moet van beide dijkvakken een inventarisatie van de ontwerpparametervariaties gemaakt worden. Daarbij komt nog dat voor dijkvak 11 zowel bepaald moet worden wat de invloed is van de ontwerpparameters op de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' als op de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'.

In tegenstelling tot de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag', kan in de huidige versie van PC_RING-SCHIL, de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'piping' alleen in uitdrukking worden gebracht door de aanpassing van één parameter, namelijk de kwelweglengte. De kwelweglengte is de enige parameter in de piping formules die door de geometrieparameters wordt beïnvloed en dus invloed heeft op de grootte van de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'piping'. Dit is het gevolg van de gemaakte afbakening in dit afstudeeronderzoek. Geconcludeerd kan dan ook worden dat de ontwerpparameters, die de meeste invloed hebben op grootte van het ruimtebeslag van de dijk (*bepalend voor de grootte van de kwelweglengte*), ook de grootste invloed zullen hebben op de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'piping'.

Wanneer grafiek IV.H.2 beschouwd wordt, is af te lezen dat dit het geval is voor de helling van het binnentalud en de helling van het buitentalud. Dit is logisch want deze ontwerpparameters hebben de meeste invloed op de breedte van de waterkering. De meeste faalkansreductie is te behalen wanneer het talud steeds flauwer wordt, waardoor de breedte van de waterkering steeds meer toeneemt. Het is echter nadelig dat dan ook het volume per strekkende meter, dus de investeringskosten steeds meer zullen toenemen, waardoor het rendement uiteindelijk toch zal afnemen.

Geconcludeerd kan worden dat het verflauwen van het binnentalud en het verflauwen van het buitentalud, tot de meest 'optimale' verbeteringsmaatregelen behoren. Het onderlinge verschil is erg klein, omdat beide een zelfde effect hebben op de breedte van de waterkering.

In paragraaf 1.6.3 is genoemd dat door de gemaakte vereenvoudiging in de investeringskosten, andere kosten bepalende factoren niet zullen worden meegenomen in de bepaling van de 'optimale' verbeteringsoptie. Aangegeven is echter ook dat op kwalitatieve wijze bepaald kan worden dat de ene verbeteringsmaatregel meer kosten met zich mee zal brengen dan de andere. In het geval van dijkvak 11 kan zo'n kwalitatieve afweging gemaakt worden. Gesteld kan worden dat het verflauwen van het binnentalud goedkoper zal zijn dan het verflauwen van het buitentalud. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de taludbekleding op het buitentalud (*deels blokken en asfaltbeton*) veel massiever is dan de taludbekleding op het binnentalud (*gras*). Het verwijderen en weer opnieuw aanleggen van de taludbekleding op het buitentalud zal daarom veel duurder zijn dan het verwijderen en weer opnieuw aanleggen van een grasbekleding op het binnentalud. Op basis van deze kwalitatieve afweging krijgt het verflauwen van de helling van het binnentalud de voorkeur boven het verflauwen van de helling van het buitentalud.

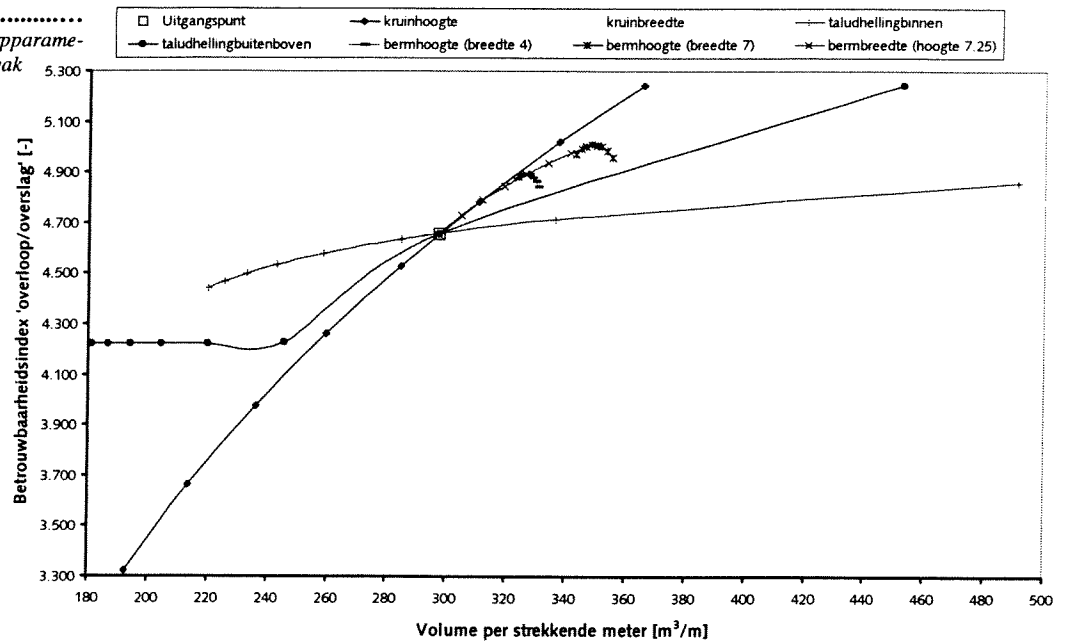
Dijkvak 11 (overloop/overslag)

Een inventarisatie van de invloed van de ontwerpparameters op de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'piping' is bepaald om te bekijken welke verbeteringsmaatregel het meest 'optimaal' is. De keuze van de uiteindelijke verbeteringsmaatregel zal echter ook invloed hebben op de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Gecontroleerd zal moeten worden of de voorgestelde verbeteringsmaatregel op basis van het faalmechanisme 'piping' niet negatief doorwerkt op de faalkans van t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Om deze reden wordt ook een inventarisatie gemaakt van de invloed van de verschillende ontwerpparameters op de faalkans van het dijkvak ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'. Grafiek IV.H.3 geeft het resultaat van deze inventarisatie (*zie volgende pagina*).

Grafiek IV.H.3 laat zien dat bij dit dijkvak, in vergelijking met dijkvak 21, de golven veel meer invloed hebben op de faalkans¹. Het aanleggen van een berm heeft bij dit dijkvak bijna net zoveel rendement als het verhogen van de kruin. Ook het rendement van de variatie in de helling van het buitentalud is vele malen groter dan in het geval van dijkvak 21.

.....¹Verwijzing¹.....
Zie ook bijlage IV.E

.....Grafiek IV.H.3.....
*Invloed van de verschillende ontwerpparameter-
 variaties op de faalkans van dijkvak
 11 t.g.v. het faalmechanisme 'over-
 loop/overslag'*
*Behalve dat de invloed van de ver-
 schillende ontwerpparameters op
 de faalkans is weergegeven is ook
 de oorspronkelijke faalkans van
 dijkvak 11 en het bijbehorende
 volume per strekkende meter
 volgens de eerste cyclus weer-
 gegeven (uitgangssituatie)*



De belangrijkste conclusie die op basis van grafiek IV.H.3 getrokken kan worden is dat de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' niet nadelig wordt beïnvloed door het verflauwen van de binnentaludhelling.

N.B. de invloed van de helling van het buitentalud is ook op de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' erg gunstig. In het geval dat niet alleen de 'piping' faalkans maar ook de 'overslag/overloop' faalkans hoog zou zijn, zou de in de vorige paragraaf gemaakte afweging, omtrent het verschil in kosten tussen het verwijderen van de verschillende taludbekledingen overbodig zijn geweest. Het zou natuurlijk het beste zijn als alle aspecten van de dijk in de investeringskosten konden worden uitgedrukt.

Stap 4. optimale verbeteringsmaatregel

Op basis van de in de vorige stap afgeleide verbanden tussen de faalkans en de investeringskosten, uitgedrukt in een volume per strekkende meter, kan bepaald worden welke verbeteringsmaatregel het meeste rendement oplevert.

Dijkvak 21 (Overloop/overslag)

De meeste optimale verbeteringsmaatregel bestaat uit het verhogen van de kruinhoogte. In grafiek IV.I.1 (bijlage IV.I.1) is weergegeven hoe groot de kruinhoogte moet worden om de (gecombineerde) betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 overeen te laten komen met de betrouwbaarheidsindex van de op één na 'zwakste' schakel uit de dijkring (zie stap 2, dit is dijkvak 20 met gecombineerde betrouwbaarheidsindex gelijk aan 3,927). In grafiek IV.I.2 wordt aangegeven hoe groot de investeringskosten zijn behorende bij de voorgestelde verbeteringsmaatregel.

In stap 4 kunnen de volgende resultaten gekwantificeerd worden:

- bij een kruinhoogte van 8,64 meter t.o.v. NAP bedraagt de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 21 ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' 3,927. De faalkans is dan gelijk aan $4,30 \cdot 10^{-5}$;
- de gecombineerde faalkans van dijkvak 21 is gelijk aan de faalkans t.g.v. het faalmechanisme 'overloop/overslag' (dit als gevolg van het ontbreken van een faalkansberekening t.g.v. het faalmechanisme 'piping') en bedraagt derhalve $4,30 \cdot 10^{-5}$ ($\beta = 3,927$);
- het volume per strekkende meter behorende bij een kruinhoogte van 8,64 meter t.o.v. NAP bedraagt 303,16 m³/m.

Dijkvak 11 (Piping)

De meeste optimale verbeteringsmaatregel bestaat uit het verflauwen van de helling van het binnentalud. In grafiek IV.1.3 (*bijlage IV.1.2*) is weergegeven hoe groot de taludhelling moet worden om de (*gecombineerde 'bij benadering'*) betrouwbaarheidsindex van dijkvak 11 overeen te laten komen met de betrouwbaarheidsindex van de op één na zwakste schakel uit de dijkkring (*zie stap 2, dit is dijkvak 20 met gecombineerde betrouwbaarheidsindex gelijk aan 3,927*). In grafiek IV.1.4 wordt aangegeven hoe groot de investeringskosten zijn behorende bij de voorgestelde verbeteringsmaatregel.

In stap 4 kunnen de volgende resultaten gekwantificeerd worden:

- bij een helling van 0,289 ($\tan[\alpha]$) van het binnentalud bedraagt de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 11 ten gevolge van het faalmechanisme 'piping' 3,927. De faalkans is dan gelijk aan $4,30 \cdot 10^{-5}$;
- het volume per strekkende meter behorende bij een taludhelling van 0,289 bedraagt 315,26 m³/m.

Dijkvak 11 (Overloop/overslag)

De optimale verbeteringsmaatregel is afgeleid voor het faalmechanisme 'piping'. Gecontroleerd is wat de invloed is van de verbeteringsmaatregel op de faalkans ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag'.

In grafiek IV.1.5 (*bijlage IV.1.3*) is weergegeven hoe groot de faalkans wordt bij de een taludhelling van 0,289. In grafiek IV.1.6 wordt aangegeven hoe groot de investeringskosten zijn behorende bij de voorgestelde verbeteringsmaatregel.

In stap 4 kunnen de volgende resultaten gekwantificeerd worden:

- bij een helling van 0,289 ($\tan[\alpha]$) van het binnentalud bedraagt de betrouwbaarheidsindex van dijkvak 11 ten gevolge van het faalmechanisme 'overloop/overslag' 4,686. De faalkans is dan gelijk aan $1,40 \cdot 10^{-6}$;
- het volume per strekkende meter behorende bij een taludhelling van 0,289 bedraagt 315,26 m³/m.

Stap 5. rendement verbeteringsmaatregelen

Met behulp van PC_RINGSCHIL is een nieuwe overstromingskansberekening uitgevoerd, waarbij de geometrie van dijkvakken 11 en 21 is aangepast volgens de voorgestelde 'optimale' verbeteringsmaatregelen. De resultaten van deze berekening worden weergegeven in bijlage IV.1.4.

In stap 5 kunnen de volgende resultaten gekwantificeerd worden:

- de totale overstromingskans van het dijkkringgebied 'Groningen en Friesland' na de tweede cyclus bedraagt $1,00 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3,718$) en is ten opzichte van de eerste cyclus een reductie van $1,35 \cdot 10^{-4}$ (*gelijk aan een toename van de betrouwbaarheid van 0,239*);
- het volume per strekkende meter dijk is door het aanpassen van de kruinhoogte van dijkvak 21 toegenomen van 287,37 m³/m naar 303,16 m³/m, een toename van 15,79 m³/m;
- het volume per strekkende meter dijk is door het aanpassen van de helling van het binnentalud van dijkvak 11 toegenomen van 297,44 m³/m naar 316,26 m³/m, een toename van 18,82 m³/m;
- de totale toename van het volume per strekkende meter dijk is dan gelijk aan 34,61 m³/m.

Bijlage IV.1 Resultaat tweede verbeteringsmaatregel

Bijlage IV.1.1 Resultaat dijkvak 21

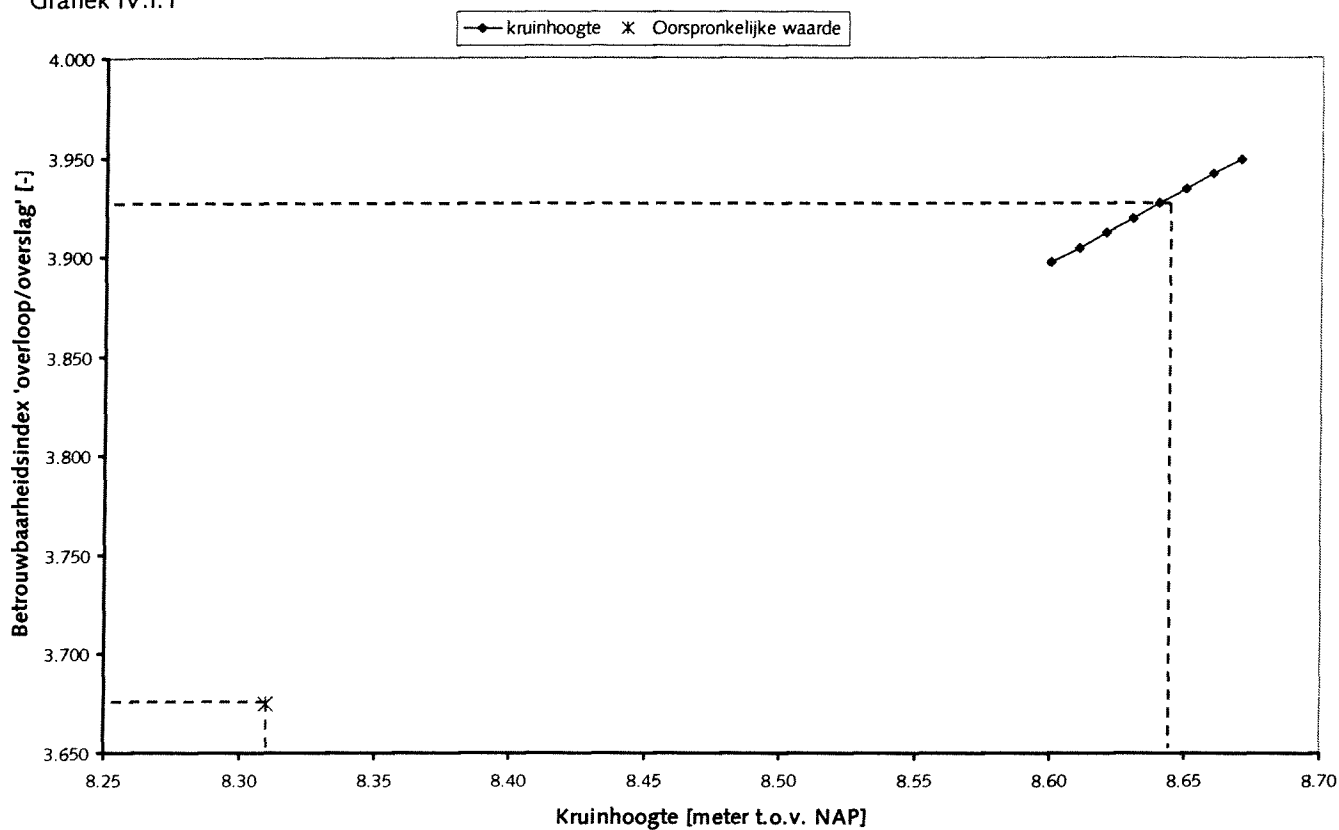
Bijlage IV.1.2 Resultaat dijkvak 11 (piping)

Bijlage IV.1.3 Resultaat dijkvak 11 (overloop/overslag)

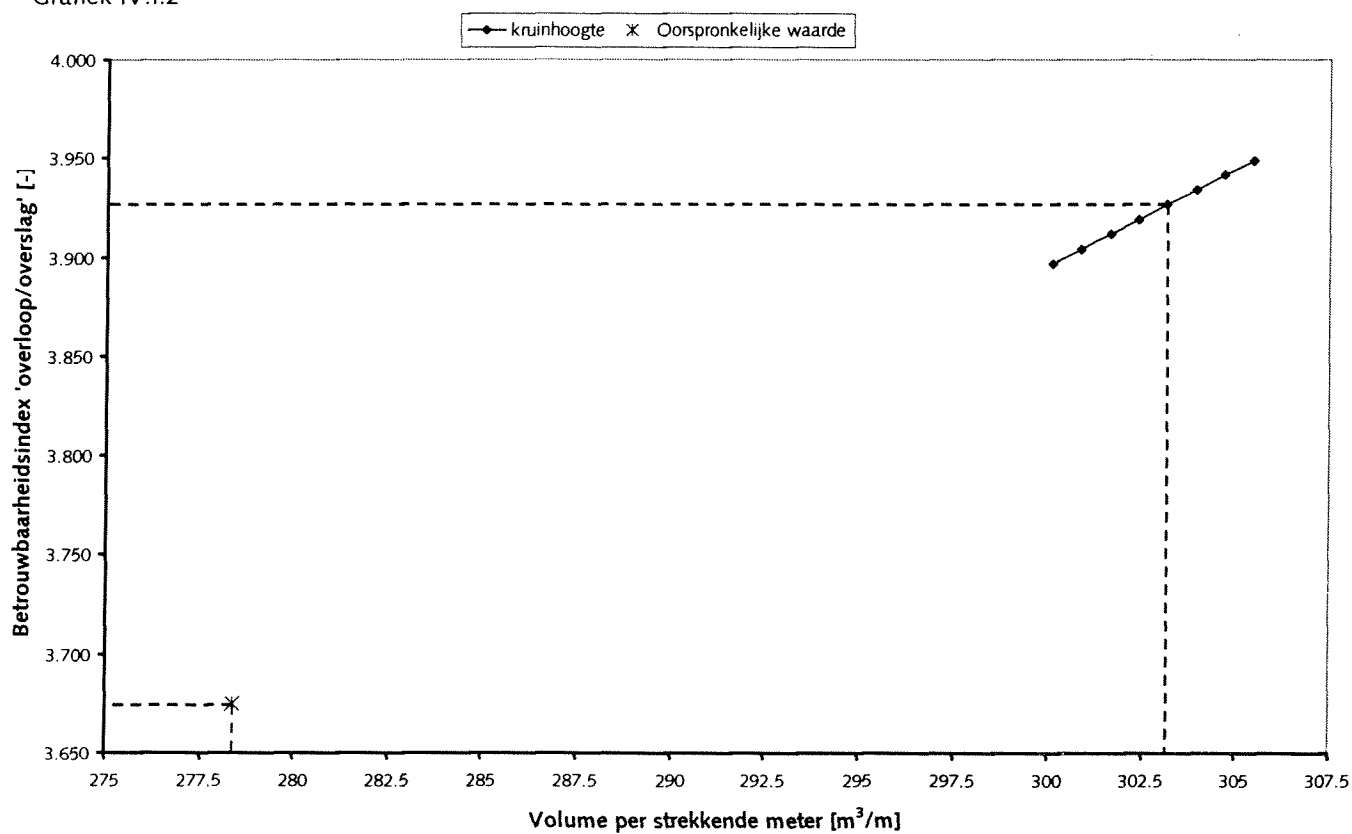
Bijlage IV.1.4 Resultaat tweede cyclus

Bijlage IV.1.1 Resultaat dijkvak 21

Grafiek IV.1.1

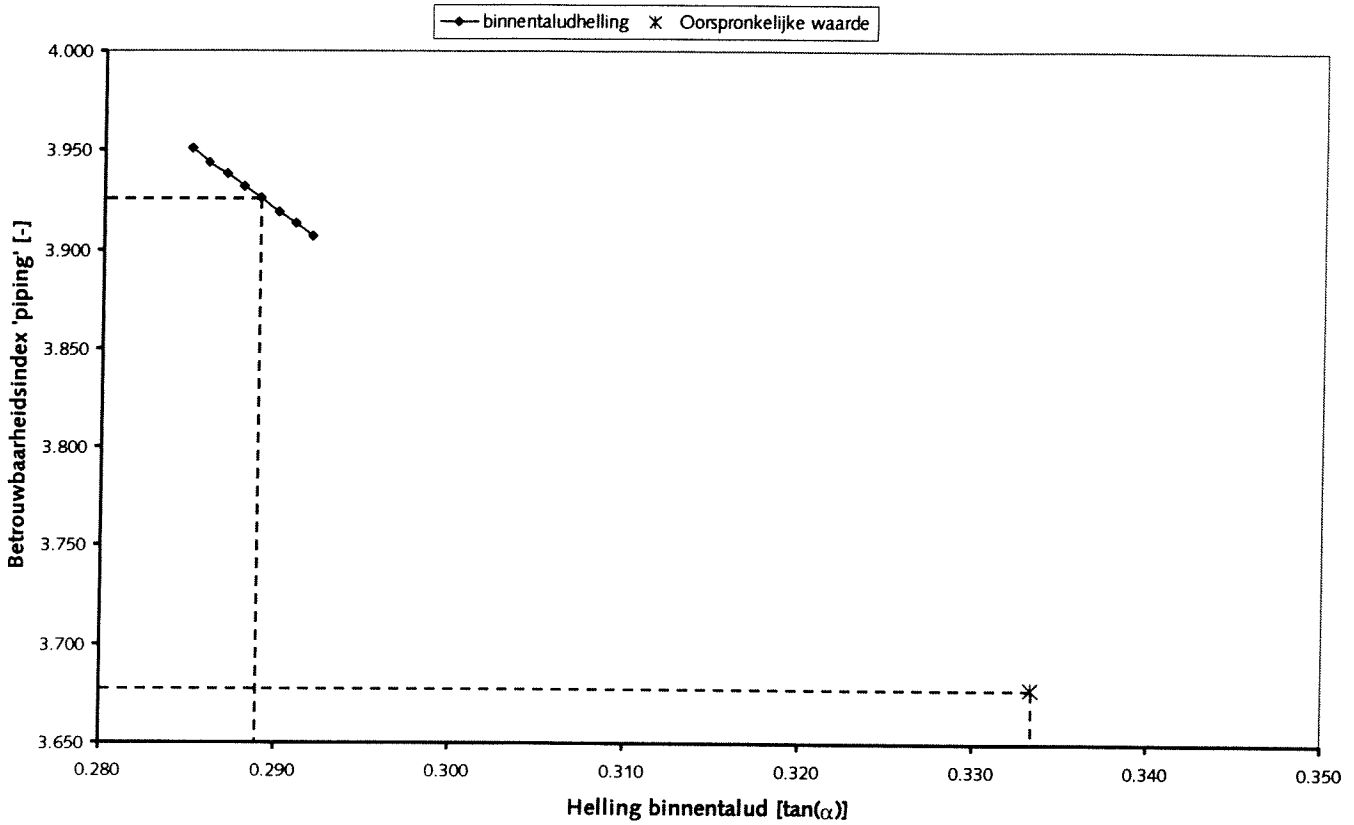


Grafiek IV.1.2

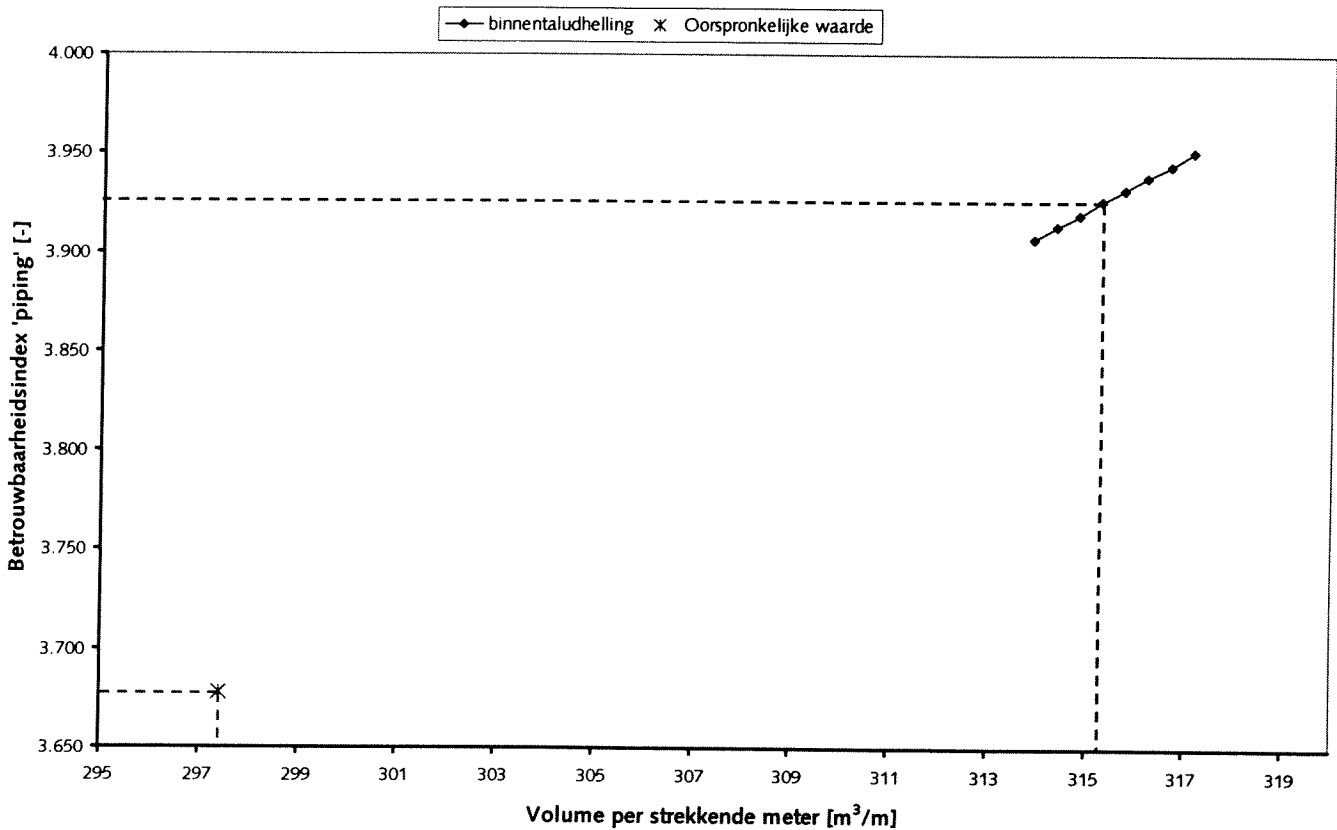


Bijlage IV.1.2 Resultaat dijkvak 11 (piping)

Grafiek IV.1.3

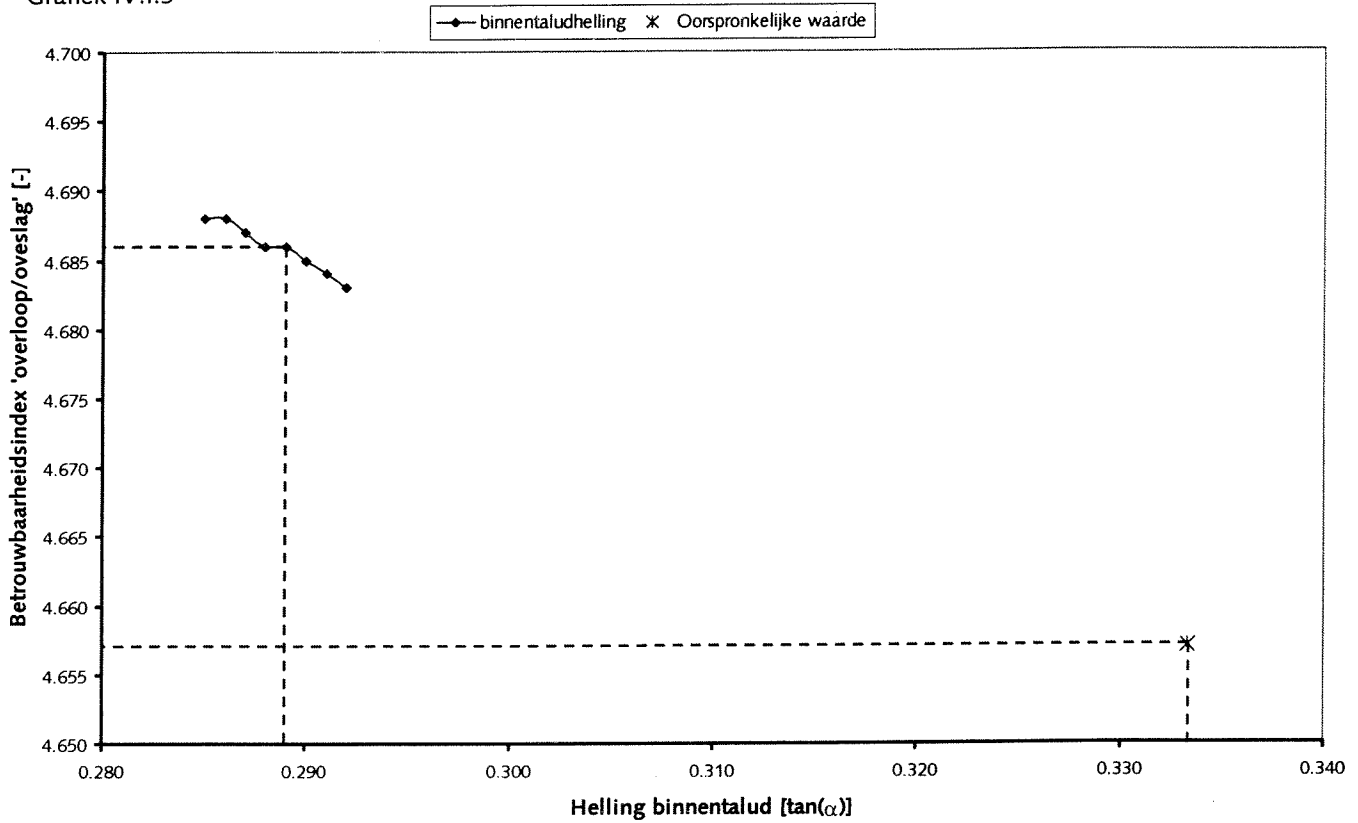


Grafiek IV.1.4

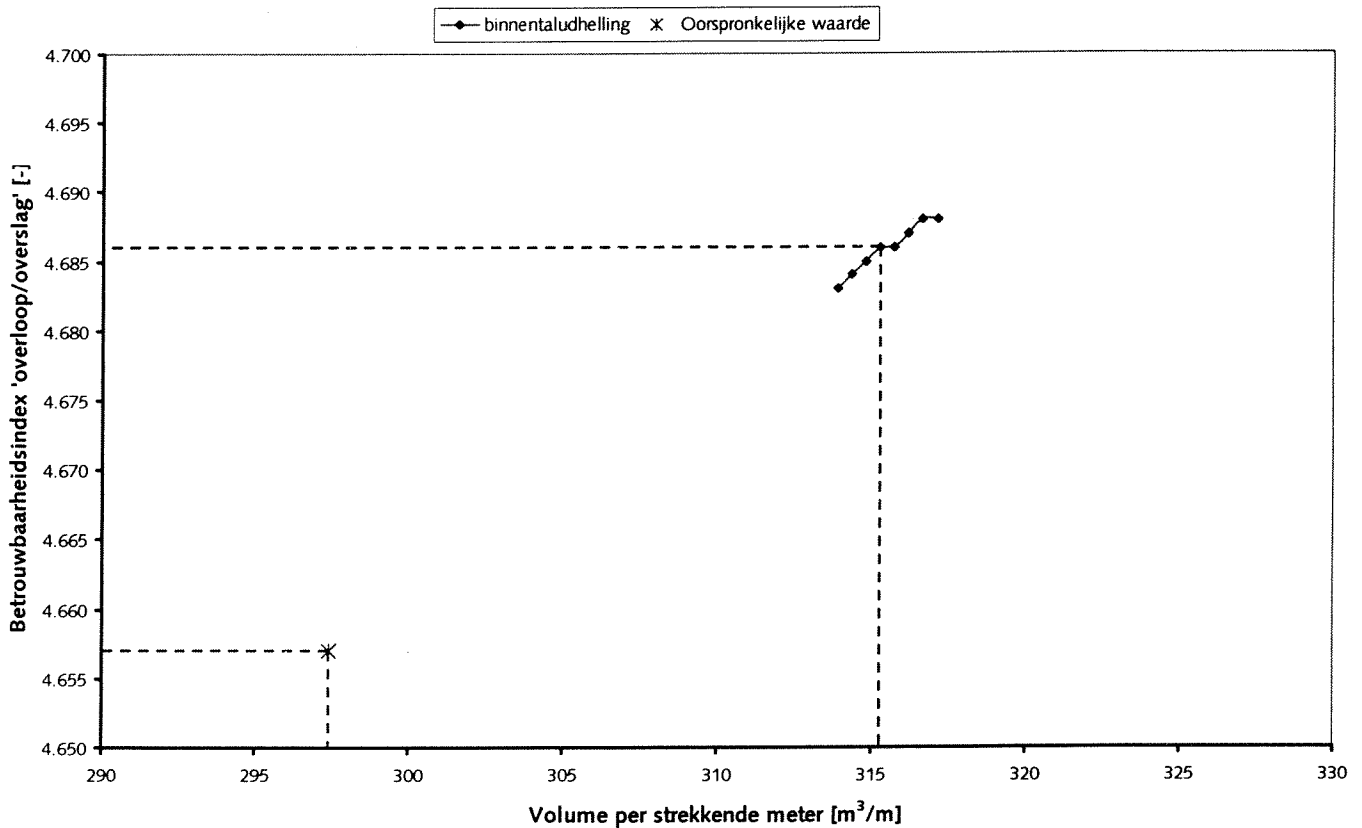


Bijlage IV.1.3 Resultaat dijkvak 11 (overslag/overloop)

Grafiek IV.1.5



Grafiek IV.1.6



Bijlage IV.I.4 Resultaat tweede cyclus

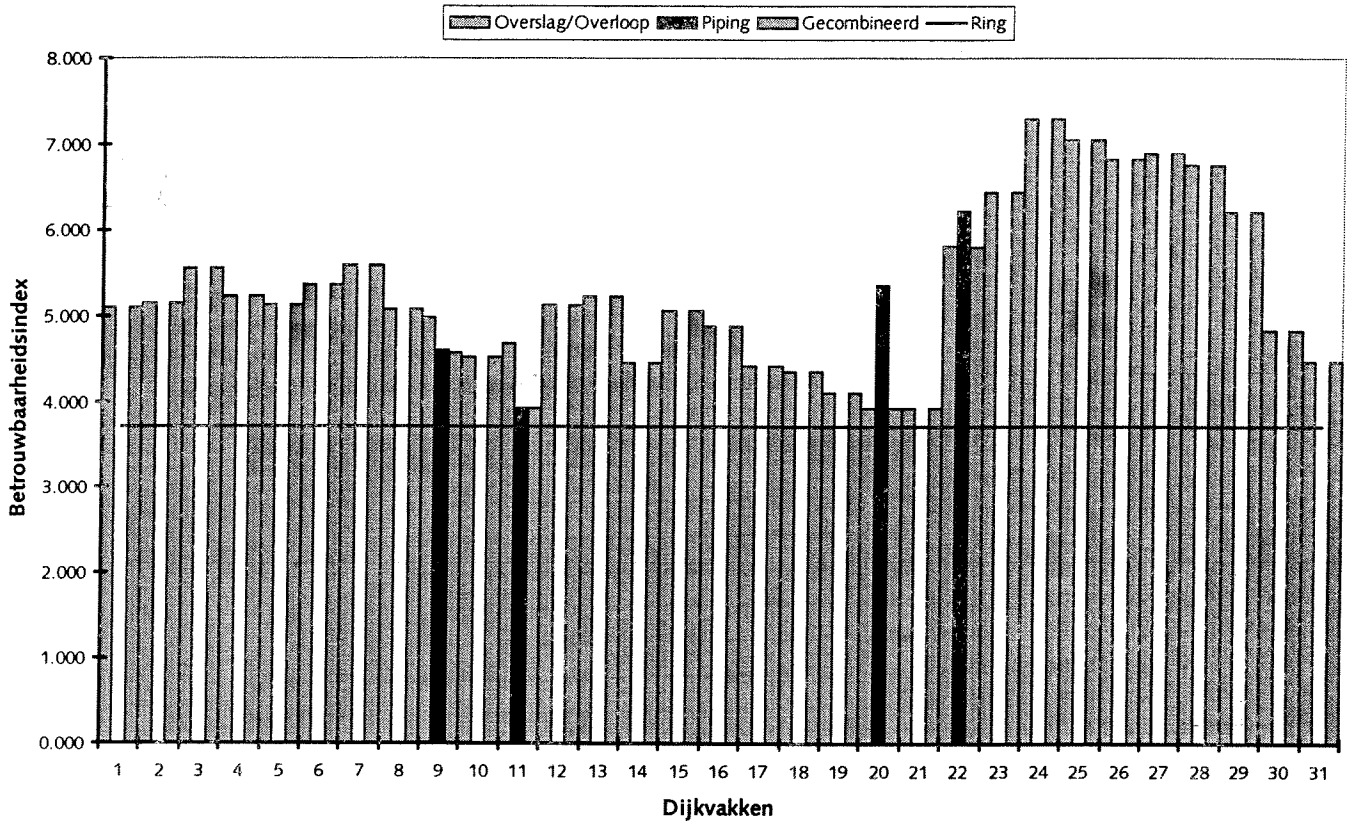
In onderstaande tabel worden de resultaten weergegeven die verkregen zijn met behulp van het model PC_RINGSCHIL en de voorgestelde verbeteringsmaatregelen uit de tweede cyclus, waarbij de kruinhoogte van dijkvak 21 is verhoogd tot 8,64 meter t.o.v. NAP en de helling van binnentalud van dijkvak 11 is verlaagd tot 0,298. Aangegeven wordt de waarde van de betrouwbaarheidsindex per dijkvak en per faalmechanisme, de waarde van de betrouwbaarheidsindices na de combinatieprocedure per dijkvak over de faalmechanismen en per faalmechanisme over de dijkvakken en de totale overstromingskans.

.....Tabel IV.I.1.....
Modelresultaten PC_RINGSCHIL

Vaknummer	Overslag/overloop	Piping	Combinatie
1	5.09		5.09
2	5.148		5.148
3	5.55		5.55
4	5.222		5.222
5	5.119		5.119
6	5.357		5.357
7	5.592		5.592
8	5.08		5.08
9	4.985	4.594	4.566
10	4.514		4.514
11	4.686	3.926	3.919
12	5.12		5.12
13	5.226		5.226
14	4.457		4.457
15	5.064		5.064
16	4.882		4.882
17	4.419		4.419
18	4.349		4.349
19	4.112		4.112
20	3.928	5.358	3.927
21	3.927		3.927
22	5.816	6.229	5.804
23	6.433		6.433
24	7.299		7.299
25	7.049		7.049
26	6.811		6.811
27	6.891		6.891
28	6.746		6.746
29	6.205		6.205
30	4.824		4.824
31	4.472		4.472
Totale betrouwbaarheidsindex dijkring			3.718

De resultaten uit tabel IV.I.1 worden gevisualiseerd in grafiek IV.I.7. In een staafdiagram worden per dijkvak achtereenvolgens weergegeven de waarde van de betrouwbaarheidsindex voor het faalmechanisme 'overloop/overslag', 'piping' en het resultaat van de combinatieprocedure. Met een rode lijn wordt de totale betrouwbaarheidsindex van het dijkringgebied aangegeven.

Figuur IV.I.7 Modelresultaten PC_RINGSCHIL uitgedrukt in betrouwbaarheidsindices



Wanneer de resultaten niet in betrouwbaarheidsindices worden weergegeven, maar uitgedrukt in faalkansen, komt duidelijker naar voren welke dijkvakken de zwakke schakels van de dijkkring vormen.

Figuur IV.I.8 Modelresultaten PC_RINGSCHIL uitgedrukt

