



Civiele Infrastructuur
Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 276 30 00
F 015 276 30 18

TNO-rapport

2003-CI-R0032

**Belastingmodellen Westerschelde / Waddenzee
Vergelijking Hydra-K en PC-Ring
(inclusief resultaten aanvullende studie)**

Datum	december 2003
Auteur(s)	Prof. ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder Ir. H.M.G.M. Steenbergen Dr. ir. F.L.M. Diermanse (WL)
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	58
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat RIZA t.a.v. ir. H. Chbab Postbus 17 8200 AA Lelystad
Projectnaam	Onderbouwing Belastingmodellen
Projectnummer	006.22212/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2003 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Vergelijking Hydra-K en PC-Ring	6
2.1	Globale uitgangspunten.....	6
2.2	Statistische beschrijving van wind en de waterstand.....	7
2.2.1	Marginale statistiek voor de waterstand	7
2.2.2	Marginale statistiek van de wind.....	8
2.2.3	Gecombineerde wind-waterstandstatistiek	8
2.3	Bepalen van lokale waterstanden	10
2.3.1	Inleiding	10
2.3.2	Steunpunten voor triangulaire interpolatie	10
2.3.3	Westerschelde.....	10
2.3.4	Waddenzee	12
2.3.5	Correcties waterstanden voor verschillen met HR2001	14
2.3.6	Berekende correcties	15
2.4	Bepalen van de lokale golfbelasting en golfoploop.....	17
2.5	Rekenprocedure in Hydra-K.....	18
2.6	Rekenprocedure in PC-Ring.....	20
3	Een gestileerd probleem.....	23
3.1	Eenvoudig vergelijkingsprobleem.....	23
3.2	Oplossing met Methode De Haan.....	25
3.3	Oplossing met geparametriseerde correlatie.....	26
3.4	Procedure via het frequentiedomein.....	27
4	Berekeningen Westerschelde en Waddenzee	29
4.1	Algemene uitgangspunten	29
4.1.1	Locatie-onafhankelijke invoer.....	29
4.1.2	Locatie-afhankelijke invoer.....	30
4.2	Resultaten Westerschelde.....	31
4.3	Resultaten Waddengebied	38
4.4	Samenvatting vergelijking Hydra-K en PC-Ring.....	46
5	Vergelijking met metingen.....	48
5.1	Meetresultaten	48
5.2	Vergelijking berekeningsresultaten en metingen	48
5.2.1	Metingen/berekeningen Westerschelde.....	49
5.2.2	Metingen/berekeningen Waddengebied	51
6	Samenvatting en conclusies	54
6.1	Samenvatting.....	54
6.2	Conclusies	56
7	Referenties.....	58
	Bijlage(n)	
	A Statistische gegevens Westerschelde	
	B Statistische gegevens Waddenzee	
	C Aanvullende berekeningen	

D Controle programmatuur
E Controle modellering volgens de Haan
F Memo keuze stations
G Overzicht correctie toetspeilen PC-Ring en Hydra-K
H Lengte meetreeks

1 Inleiding

Bij het ontwerpen van waterkeringen is een betrouwbaarheidsanalyse noodzakelijk om de overstromingsrisico's te kunnen inschatten en zo een optimaal veiligheidsniveau te kunnen waarborgen. Dit houdt in dit geval in dat de betrouwbaarheid, uitgedrukt in een faalkans van waterkeringen, bepaald dient te worden. Voor het bepalen van de faalkans moet men inzicht hebben in de sterkte en de belasting. Dit rapport gaat in op belastingmodellen en in het bijzonder op de behandeling van het aspect tijdsafhankelijkheid.

Naar de verschillen tussen Hydra-K en PC-Ring is een tweetal studies uitgevoerd. In de eerste studie is een aanvang gemaakt met de vergelijking tussen Hydra-K en PC-Ring. Bij deze studie werd geconstateerd dat er aanzienlijke verschillen waren tussen de beide programma's. Als conclusie werd geconstateerd: "De resultaten baren de onderzoekers grote onrust. Verschillen van deze orde grootte leiden of tot overdreven voorstellen voor versterking of tot een vals gevoel van veiligheid". Naar aanleiding van dit resultaat is in november 2003 een meer gedetailleerde studie gestart naar de oorzaken van deze verschillen. In dit rapport zijn de resultaten van de beide studies verwerkt.

Al naar gelang het doel van de analyse kan het belastingmodel in meer of mindere mate een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid zijn. Te allen tijden is hier sprake van een afweging van nauwkeurigheid en rekenwerk. De kunst is het belastingmodel zodanig te formuleren dat het wiskundig helder is en tevens numeriek oplosbaar, maar waarbij tevens de fysische eigenschappen van de belastingvariabelen in voldoende mate tot hun recht komen.

In dit rapport worden berekeningen gemaakt voor de Westerschelde en de Waddenzee voor een tweetal verschillende rekentechnieken. Het belastingmodel is in dit geval in beide programma's voor alle berekeningen gelijk. De basisgegevens voor elke kustlocatie zijn de waterstanden op verschillende plaatsen op zee en windgegevens horend bij een nabijgelegen meetstation, beide uitgespitst naar windrichting. De waterstanden worden geïnterpoleerd en waar nodig gecorrigeerd. Op basis van windrichting, windsnelheid en waterstand wordt met behulp van SWAN een locale significante golfhoogte en golfperiode berekend. In beginsel wordt verondersteld dat de maximale golfcondities samenvallen met de maximale waterstand

De beschouwde rekentechnieken zijn:

1. Een modellering volgens Hydra-K met een berekening volgens Methode De Haan

In het kader van de voorbereidingen voor het Randvoorwaardenboek 2006 wordt momenteel een rekenprogramma ontwikkeld door RIKZ. Dit rekenprogramma, HYDRA-K, berekent o.a. de faalkansen van dijken voor zowel het faalmechanisme golfoverslag (kruinhoogte) als steenstabiliteit op het buitentalud. Het rekenprogramma berekent tevens op basis van de faalkansberekening zogenaamde toetspunten (ontwerppunten voor een levensduur van vijf jaar, bestaande uit de waterstand en de golf parameters). Deze toetspunten kunnen in het Randvoorwaardenboek 2006 worden vermeld, waarmee ze kunnen dienen als invoer voor een eenvoudige toets op veiligheid.

2. Een modellering volgens PC-Ring met een geparametriseerd correlatiemodel

Onder leiding van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) is een methode ontwikkeld om overstromingskansen te berekenen van dijkkringgebieden. Deze methode is geïmplementeerd middels het programma PC-Ring. Het project voor de implementatie van deze methode is opgestart met als doel de hydraulische randvoorwaarden naar de meest recente inzichten te laten implementeren in PC-Ring. Dit project dient ter voorbereiding op de berekening van de overstromingskansen voor alle 53 dijkkringgebieden in Nederland.

Bij het uitwerken en implementeren van het hydraulische belastingmodel kusten in PC-Ring is als stelregel aangehouden dat waar mogelijk dezelfde belastingmodellen, rekenprocedures en invoerdata is aangehouden als voor HYDRA-K. Er zijn echter ook verschillen in de structuur van PC-Ring en HYDRA-K, waardoor op sommige onderdelen binnen PC-Ring afgeweken moest worden van HYDRA-K. De belangrijkste overeenkomsten en verschillen zijn in dit document beschreven.

Doel van het project is het vergelijken van de hydraulische belasting langs de kust van de Waddenzee en de Westerschelde zoals bepaald met enerzijds HYDRA-K en anderzijds PC-Ring. In dit document worden de methoden waarmee de beide pakketten faalkansen bepalen onderling vergeleken. "Hierbij worden 2 faalmechanismen gebruikt, te weten overloop en overslag. Bij de laatste worden 3 criteria onderzocht: 0,1, 1,0 en 10 l/m/s"

Er zijn daartoe berekeningen gemaakt voor de volgende 6 locaties in de Westerschelde:

- Vlissingen
- Hoofdplaat
- Citterspolder
- Hansweert
- Walsoorden
- Bath

en voor 7 locaties in het Waddengebied

- Den Helder
- Terschelling
- Harlingen
- Ameland
- Lauwersoog
- Delfzijl
- Breebaart

Berekend zijn de dijkhoogtes voor herhalingsperioden van $T = 10, 30, 100, 300, 1000, 2000, 4000$ en 10000 jaar en vier deterministische grenstoestanden: a) overloop, b) golfoverslag met $0,1$ liter/sm, c) idem met $1,0$ liter/sm en d) idem met 10 liter/sm.

De berekeningsresultaten zijn gerapporteerd in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 2 worden beide programma's inhoudelijk met elkaar vergeleken en word een eenvoudig voorbeeld behandeld. In hoofdstuk 4 worden de "echte" berekeningen ook vergeleken met metingen.

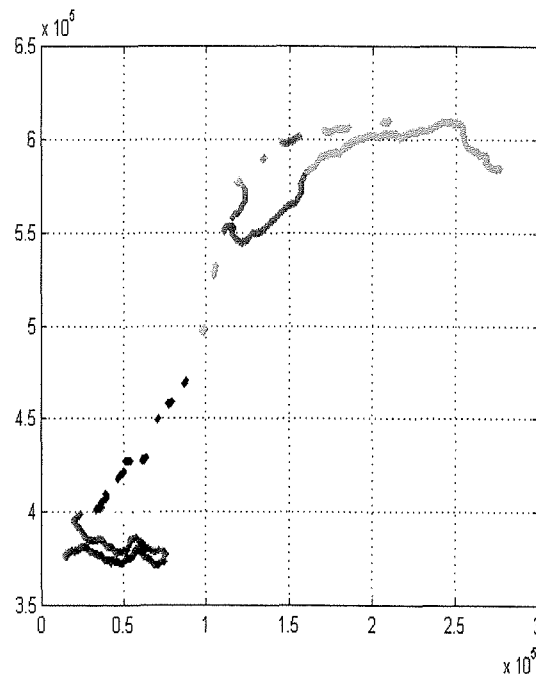
2 Vergelijking Hydra-K en PC-Ring

2.1 Globale uitgangspunten

Ten behoeve van de berekeningen van de zeewaterkeringen is de Nederlandse kust onderverdeeld in zes deelgebieden. Voor elk van deze deelgebieden zijn simultane meetreeksen van wind en waterstand verzameld. De zes deelgebieden zijn (zie figuur 2.1):

1. Westerschelde
2. Oosterschelde
3. Gesloten kust Zuid
4. Gesloten kust Noord
5. Waddenzee West
6. Waddenzee Oost

Per deelgebied gelden verschillende procedures en uitgangspunten voor de berekening. Voor deze studie zijn alleen de deelgebieden 1, 5 en 6 interessant. Bij de verdere beschrijvingen in dit hoofdstuk zullen we ons daarom tot deze gebieden beperken. We beperken ons verder tot de analyse van zeedijken. Duinen en kunstwerken blijven buiten beschouwing.



Figuur 2.1 Onderverdeling van de Nederlandse kust in 6 deelgebieden. Kuststroken met duinen staan niet weergegeven. Op de assen staan Parijse coördinaten weergegeven. De kleuren geven de zes deelgebieden Westerschelde (donker blauw), Oosterschelde (geel), Gesloten kust Zuid (zwart), Gesloten kust Noord (groen), Waddenzee West (rood), Waddenzee Oost (licht blauw) weer.

Voor de diverse deelgebieden zijn ontwikkeld:

1. Marginale statistieken van de windsnelheid in een aantal meetstations langs de kust.
2. Marginale statistiek voor de waterstand in een aantal meetstations langs de kust.
3. Wind-waterstand statistieken:
 - Simultane wind-waterstandmetingen voor een aantal combinaties van windstations met waterstandstations (ten behoeve van HYDRA-K).
 - Geparametriseerde wind-waterstand statistiek (ten behoeve van PC-Ring).

Voor de omrekening van de gegevens van de globale wind- en waterstandsgegevens op zee naar lokale waterstands en golfgegevens bij de waterkering wordt gebruik gemaakt van:

1. Een omrekening van de waterstanden met behulp van triangulaire interpolatie aangevuld met een set correcties.
2. Database RAND2001 met lokale golfbelastingen voor de Nederlandse kust, met (SWAN-sommen).

De verschillende onderdelen zullen in dit hoofdstuk verder worden toegelicht.

2.2 Statistische beschrijving van wind en de waterstand

2.2.1 Marginale statistiek voor de waterstand

Voor overschrijdingsfrequenties van waterstanden bij een aantal meetstations langs de kust is *per windrichtingssector* van 30° een conditionele Weibull-verdeling gefit:

$$\mu(H > a \cap \varphi \in r) = \rho_{h,r} \exp \left\{ - \left(\frac{a}{\sigma_{h,r}} \right)^{\alpha_{h,r}} + \left(\frac{\omega_{h,r}}{\sigma_{h,r}} \right)^{\alpha_{h,r}} \right\} ; a \geq \omega_{h,r} \quad (2.1)$$

- μ = jaarlijkse overschrijdingsfrequentie
 φ = windrichting
 r = windrichtingssector
 α = vorm- of krommingparameter
 σ = schaalparameter
 a = drempelwaarde van waterstand H
 ω = drempelwaarde, waarboven de statistieken zijn afgeleid
 ρ = overschrijdingsfrequentie van drempelwaarde ω
 h = indexering om aan te geven dat het waterstands-parameters betreft

De wijze waarop deze verdelingen zijn afgeleid staat beschreven in (RIKZ, 2000). Per windrichtingssector, r , zijn de vier parameters $\alpha_{h,r}$, $\sigma_{h,r}$, $\omega_{h,r}$ en $\rho_{h,r}$ bepaald en deze waarden zijn digitaal beschikbaar gesteld door het RIKZ¹.

¹ In de digitale bestanden van RIKZ worden deze parameters aangeduid met: "alf" (α), "sig" (σ), "th" (ω) en "pc" (ρ)

2.2.2 Marginale statistiek van de wind

Voor overschrijdingsfrequenties van windsnelheden bij een aantal meetstations langs de kust is net als voor waterstanden *per windrichtingssector* van 30° een conditionele Weibull verdeling gefit. De wijze waarop deze verdelingen zijn afgeleid staat beschreven in (RIKZ, 2000). Per windrichtingssector, r , zijn de vier parameters $\alpha_{v,r}$, $\sigma_{v,r}$, $\omega_{v,r}$ en $\rho_{v,r}$ bepaald en deze waarden zijn digitaal beschikbaar gesteld door RIKZ. De indexering v is toegevoegd om aan te geven dat het hier een windsnelheidsparameter betreft.

2.2.3 Gecombineerde wind-waterstandstatistiek

Ten behoeve van de berekening in Hydra-K is het voldoende te beschikken over een aantal simultane waarnemingen boven de aangehouden drempelwaarden. De in Hydra-K gevolgde Methode De Haan (zie sectie 2.5) maakt rechtstreeks gebruik van deze gegevens. Voorbeelden van dergelijke gegevens zijn gegeven in de bijlagen A en B.

Ten behoeve van de berekeningen met PC-Ring worden de gegevens een slag bewerkt. In het programma PC-Ring wordt uitgegaan van het volgende geparametriseerde correlatiemodel:

$$y = x + us_r - \frac{s_r^2}{2} \quad (2.2)$$

waarin

y = gereduceerde waarde van de windsnelheid

x = gereduceerde waarde van de waterstand

u = een standaard normaal verdeelde variabele

s_r = de parameter die de mate van correlatie weergeeft, voor windrichtingssector r

Gereduceerd betekent in dit verband dat de betrokken stochasten zijn getransformeerd tot standaard exponentiële variabelen. Het weergeven van waargenomen gebeurtenissen in het standaard exponentiële vlak wordt gerealiseerd door een transformatie. Stel dat de windsnelheid, V , tijdens een gebeurtenis de waarde a bereikt heeft. In het standaard exponentiële vlak wordt de waarde van a weergegeven door:

$$a^* = -\ln [P(V > a)]. \quad (2.3)$$

waarbij a^* de gereduceerde van a is. De waarde van overschrijdingskans P wordt vastgesteld met de marginale *kansverdeling* van de windsnelheid. Voor zowel wind als waterstand zijn echter *frequentieverdelingen* beschikbaar. Aangenomen dat het overschrijden van drempelniveaus geschiedt volgens een Poisson-proces, bestaat de volgende relatie tussen overschrijdingskans, P , en overschrijdingsfrequentie, μ :

$$P(V > a) = 1 - \exp \{ -\mu(V > a) \} \quad (2.4)$$

de gereduceerde waarde van drempelniveau a wordt daarmee als volgt uit de overschrijdingsfrequentie μ afgeleid:

$$a^* = -\ln \left[1 - \exp \left\{ -\mu(V > a) \right\} \right] \quad (2.5)$$

Uitschrijven van frequentieverdeling $\mu(V > a)$ geeft:

$$a^* = -\ln \left[1 - \exp \left\{ -\rho'_{v,r} \exp \left\{ -\left(\frac{a}{\sigma_{v,r}} \right)^{\alpha_{v,r}} + \left(\frac{\omega_{v,r}}{\sigma_{v,r}} \right)^{\alpha_{v,r}} \right\} \right\} \right] \quad (2.6)$$

De inverse van deze transformatie is van belang om in PC-Ring werkelijke waarden van windsnelheden uit gereduceerde waarden te bepalen:

$$a = \left\{ \omega_{v,r}^{\alpha_{v,r}} - \sigma_{v,r}^{\alpha_{v,r}} \ln \left[-\frac{1}{\rho'_{v,r}} \ln(1 - e^{-a^*}) \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{v,r}}} \quad (2.7)$$

Met bovenstaande transformatie worden simultane waarnemingen van wind en waterstand gereduceerd tot standaard exponentiële waarden. Doel is nu om de waarde van s_r af te leiden uit de data voor elke windrichtingssector r . Daartoe wordt s_r gelijk gesteld aan de standaardafwijking van de getransformeerde waarnemingen rondom de lijn $y=x$. De waarde van s_r kan derhalve bepaald worden uit:

$$s_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (x_i - y_i)^2} \quad (2.8)$$

waarbij n het aantal geselecteerde stormen is waarbij de dominante windrichting sector r is, en (x_i, y_i) de bijbehorende gereduceerde windsnelheid en waterstand.

Voor elke windrichtingssector r wordt de waarde van s_r afgeleid. Deze waarden dienen als invoer in PC-Ring. De s -waarden zijn afgeleid op basis van simultane waarnemingen van windsnelheid en waterstand in de stations van onderstaande tabel.

Tabel 2.1 Meetstations per deelgebied waar wind en waterstand gegevens verzameld zijn

Deelgebied	Windstation	Waterstand station
Wadden oost	Terschelling West	Lauwersoog
Wadden west	Terschelling West	Harlingen
Gesloten kust noord	de Kooy	Den Helder
Gesloten kust zuid	Lichteiland Goeree	Hoek van Holland
Oosterschelde	Vlissingen	OS 11
Westerschelde	Vlissingen *)	Vlissingen
*) In Hydra-K is de simultane windwaterstandstatistiek gebaseerd op het windstation Vlissingen. Voor de marginale statistiek van de wind wordt echter gebruik gemaakt van het station Hoek van Holland.		

Voor de Oostelijke windrichtingen was het niet mogelijk een waarde van s te bepalen, aangezien Oostelijke windrichtingen in de regel niet tot hoge waterstanden leiden. Voor deze windrichtingen wordt de wind-waterstand statistiek gebaseerd op beider marginale statistieken.

2.3 Bepalen van lokale waterstanden

2.3.1 *Inleiding*

Zowel in HYDRA-K als in PC-Ring heeft de wind-waterstand statistiek (beschreven in de vorige paragraaf) niet direct betrekking op een bepaalde locatie. De wind-waterstand statistiek worden namelijk verondersteld geldig te zijn voor het hele deelgebied (zie paragraaf 2.1).

In HYDRA-K moet voor elk van de getransformeerde combinaties van wind en waterstand bepaald worden wat de lokale hydraulische belasting is. Dit betekent dat in eerste instantie de resulterende lokale waterstand bepaald moet worden. Ook in PC-Ring moet meerdere keren de globale wind en waterstand vertaald worden in een lokale waterstand. In de iteratieve zoektocht naar het ontwerppunt wordt immers een aantal combinaties van wind en waterstand doorgerekend.

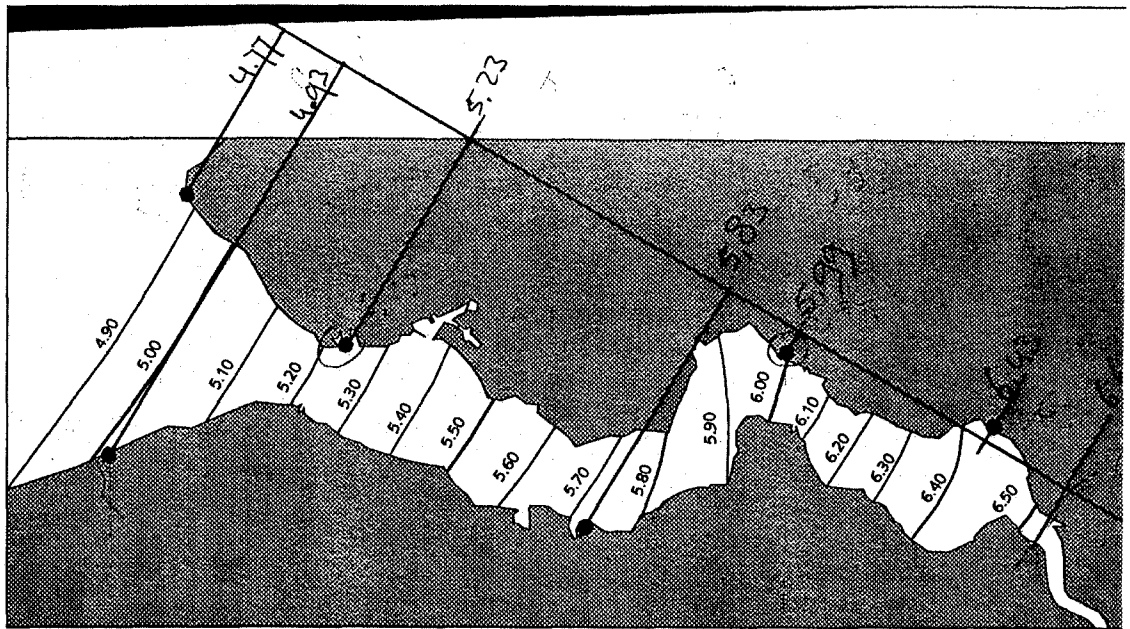
Lokale waterstanden worden zowel in HYDRA-K als in PC-Ring bepaald middels een triangulaire interpolatie procedure (Dekker, 2002). Elk van de 6 gedefinieerde gebieden van de Nederlandse kust wordt onderverdeeld in één of meer deelgebieden. Binnen elk deelgebied worden waterstanden bepaald op basis van triangulaire interpolatie tussen drie zgn. “steunpunten”, waarvoor marginale waterstand-statistieken gegeven zijn. Triangulaire interpolatie impliceert dat als het ware een vlak wordt opgespannen tussen de heersende waterstanden in de drie steunpunten, waarmee de lokale waterstanden vastgelegd worden. De interpolatiemethode is in (Dekker, 2002) uitgevoerd voor toetspeilen (waterstanden met herhalings tijden van 2.000, 4.000 of 10.000 jaar), maar wordt binnen HYDRA-K en PC-Ring ook toegepast voor waterstanden met andere herhalings tijden.

2.3.2 *Steunpunten voor triangulaire interpolatie*

Zoals gezegd worden lokale waterstanden bepaald op basis van triangulaire interpolatie tussen drie zgn. “steunpunten”, waarvoor marginale waterstand-statistieken gegeven zijn. De keuze van de drie steunpunten is afhankelijk van de kustlocatie waarvoor de waterstand bepaald dient te worden. Onderstaand wordt per deelgebied de keuze voor de steunpunten beschreven. Deze beschrijving is gebaseerd op (Dekker, 2002).

2.3.3 *Westerschelde*

Voor de Westerschelde zijn twee stations beschikbaar, te weten Vlissingen en Hansweert. Om de oriëntatie van het waterstandsverloop te kunnen forceren wordt een derde, virtueel, station gedefinieerd. Deze forcering van het interpolatievlak is nodig om een waterstandverloop in de Westerschelde te kunnen realiseren dat analoog is aan het waterstandsverloop zoals bepaald in (RIKZ, 1995) en weergegeven in Figuur 2.1.



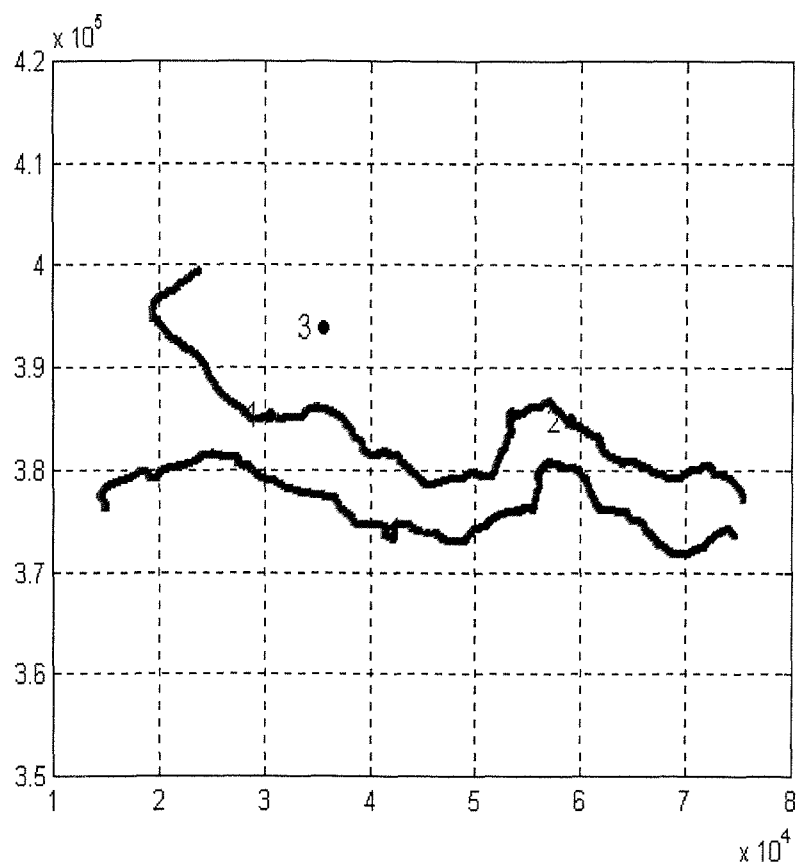
Figuur 2.1 Interpolatie omni-directioneel $2,5 \times 10^{-4}$ kwantiel naar bekende stations (uit: Dekker, 2002)

Het gewenste waterstandsverloop wordt gerealiseerd door een virtueel station ten Noordoosten van Vlissingen te plaatsen, waarbij het virtuele station en station Vlissingen een hoek van 30° (nautische conventie, d.w.z Noord = 0° , Oost = 90° , Zuid = 180° en West = 270°) maken. De statistieken van het virtuele station worden gelijk gekozen aan die van Vlissingen, opdat de waterstand in het virtuele station onder alle omstandigheden gelijk is aan de waterstand in station Vlissingen. Hiermee wordt bereikt dat het interpolatievlak een dalende oriëntatie heeft in de richting van 300° (nautische conventie), gegeven het feit dat de waterstand in Hansweert onder maatgevende omstandigheden hoger is dan die in Vlissingen. De afstand van het virtuele station tot Vlissingen wordt gelijk gekozen aan 10 km. Deze afstand is arbitrair, doch heeft geen invloed op het gewenste resultaat. Voor een overzicht van de locaties, zie tabel 2.2.

Tabel 2.2 Gebruikte stations in de Westerschelde (waterstand)

nummer	station	x-coördinaat	y-coördinaat
1	Vlissingen	30480	385220
2	Hansweert	59050	384960
3	virtueel_Vlissingen	35480	393880

Tenslotte: alle drie de stations van tabel 2.2 gelden als volledig gecorreleerd met elkaar.



Figuur 2.2 Westerschelde met de meetstations

2.3.4 Waddenzee

Tabel 2.3 bevat de stations die gehanteerd zijn als steunpunten voor de Waddenzee. Daarbij zijn twee virtuele stations Den Helder gedefinieerd met dezelfde statistieken als station Den Helder. Dit is gedaan om te zorgen dat alle locaties ten westen van station Den Helder dezelfde waterstand hebben als station Den Helder.

Tabel 2.3 Gebruikte stations voor de Waddenzee (waterstand)

station	x-coördinaat	y-coördinaat
Den Helder	111850	553230
Den Helder_virtueel_1	121850	553230
Den Helder_virtueel_2	111850	563230
Den Oever	132030	549440
Harlingen	156480	576550
Lauwersoog	208850	602790
Delfzijl	258000	594430
Huibertgat	221990	621330
West Terschelling	143870	597420

De volgende procedure wordt gehanteerd om te bepalen welke stations dienen als steunpunten voor de triangulaire interpolatie ter bepaling van de waterstand in locatie L:

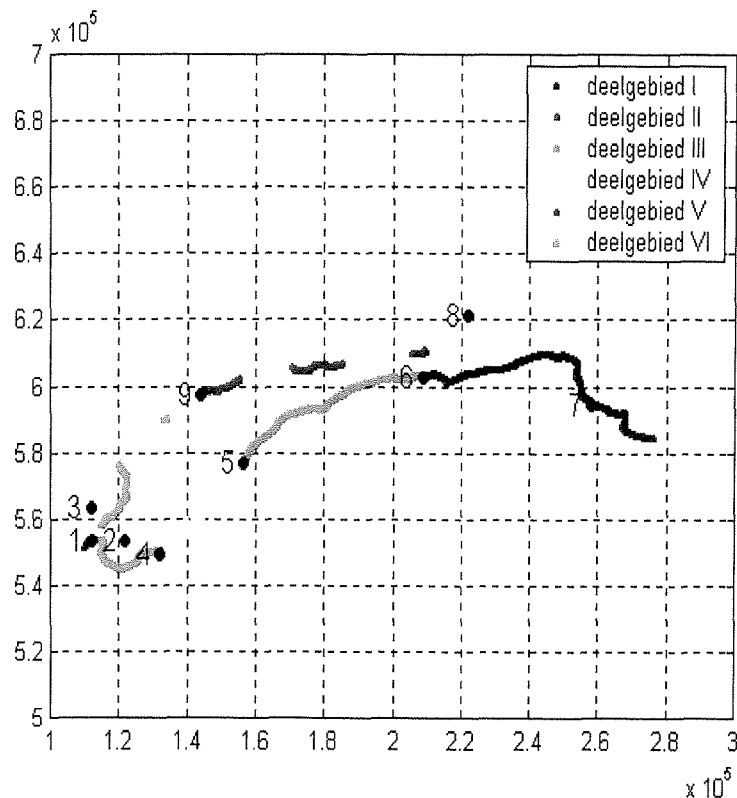
```

if locatie L ten oosten van lijn Lauwersoog - Huibertsgat
then triangulaire interpolatie stations Lauwersoog, Delfzijl en Huibertsgat (I)
else if locatie L ten noorden van lijn Lauwersoog - TerschellingWest
then triangulaire interpolatie stations Huibertsgat, Lauwersoog en Terschelling West (II)
else if locatie L ten oosten van lijn Harlingen - Terschelling West
then triangulaire interpolatie stations Harlingen, Lauwersoog en Terschelling West (III)
else if locatie L ten oosten van lijn Den Oever - Terschelling West
then triangulaire interpolatie stations Harlingen, Den Oever en Terschelling West (IV)
else if locatie L ten westen van Den Helder
then triangulaire interpolatie stations Den Helder, virtueel_Den Helder_1 en virtueel_Den
Helder_2 (V)
else (overige locaties Waddenkust)
triangulaire interpolatie stations Den Helder, Den Oever en TerschellingWest (VI)

```

Ook voor de stations van de Waddenzee geldt dat deze in de onderhavige studie als volledig gecorreleerd worden aangehouden.

NB: In VNK wordt met PC-Ring uitgegaan van een gedeeltelijke correlatie tussen de stations van Waddenzee West en Waddenzee Oost. Dat zou in deze berekening echter geen verschil geven.



Figuur 2.3 Schematische weergave van de Waddenzee. De gekleurde lijnen representeren zes deelgebieden, waarbij voor elk deelgebied andere steunpunten gehanteerd worden bij de triangulaire interpolatie. De nummers corresponderen met de stationsnummers van Tabel 2.3

2.3.5 Correcties waterstanden voor verschillen met HR2001

De programma's PC-Ring en HYDRA-K worden om niet wetenschappelijke maar primair administratieve redenen in het kader van onder andere VNK (Project Veiligheid Nederland in Kaart) getuned aan de toetspeilberekeningen van RIKZ. De procedure is als volgt:

Met HYDRA-K en PC-Ring wordt per kustlocatie berekend:

$h_r(f)$ = waterstand h als functie van de overschrijdingsfrequentie f , voor alle N windrichtingssectoren r .

Hieruit kan de omnidirectionele waterstandstatistiek bepaald worden:

$h(f)$ = overschrijdingsfrequentie van waterhoogte h .

Voor de stations waarvoor waterstandstatistieken beschikbaar zijn, zijn de omnidirectionele statistieken reeds door RIKZ bepaald en derhalve beschikbaar als invoer voor PC-Ring en HYDRA-K. Stel nu dat voor een gegeven locatie de maatgevende frequentie gelijk is aan f^* (bijv 1/10.000 voor de gesloten kust). Bij deze frequentie is

voor het randvoorwaardenboek 2001 (HR 2001) het toetspeil bepaald. Dit toetspeil kan echter verschillen van de waarde die uit de omnidirectionele statistiek volgt. Dit betekent dat de uitkomsten van HR2001 in eerste instantie niet exact overeen komen met die van PC-Ring en HYDRA-K. Definieer daarom:

T = toetspeil zoals bepaald voor HR2001.

$H = h(f^*)$ = toetspeil zoals volgt uit de berekening met HYDRA-K/PC-Ring.

Doel is nu om correcties toe te passen op de functies $h_r(f)$, $r=1..12$, c.q. op de inverse functies $f_r(h)$, $r=1..12$, zodanig dat de resulterende waarde H gelijk is toetspeil T . Daartoe wordt bij deze functies de volgende correctie toegepast:

$$f'_r(h) = f_r(h+H-T)$$

waarbij f' de gecorrigeerde frequentieverdeling van waterstand h voor windrichtingssector r is. Door deze correctie is de frequentie van een waterstand h gelijk aan de frequentie die oorspronkelijk bij de waarde $h+H-T$ behoorde. Aangezien dit voor alle windrichtingen geldt, volgt de waterstand h^* met maatgevende frequentie f^* uit:

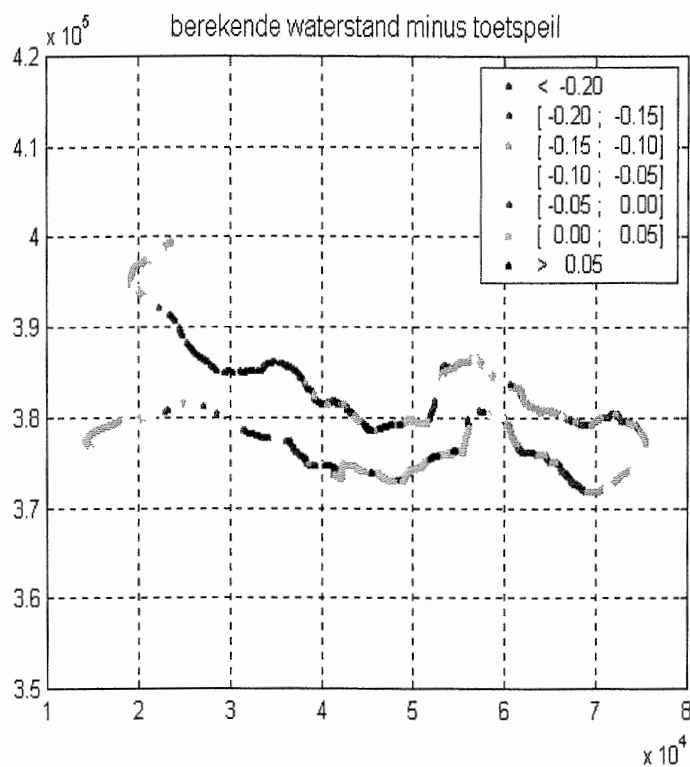
$$h^*+H-B = H \rightarrow h^*=T$$

hetgeen aantoont dat de geschetste correctie het gewenste resultaat geeft, d.w.z. de berekende waterstand h^* .

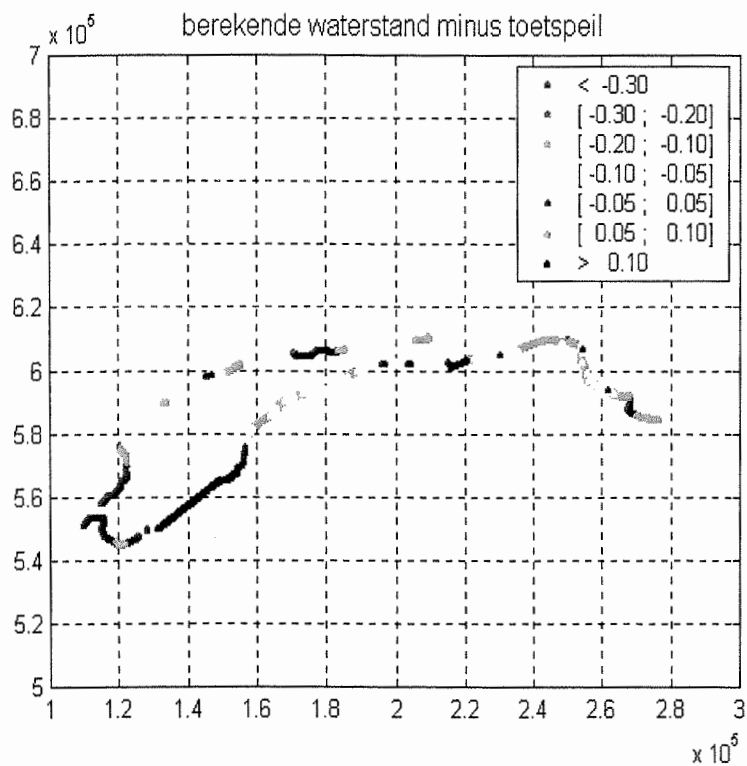
2.3.6 *Berekende correcties*

Figuur 2.4 en Figuur 2.5 geven voor de Westerschelde resp. de Waddenzee de berekende correcties weer, oftewel het verschil tussen berekende waterstanden met PC-Ring/HYDRA-K enerzijds en de toetspeilen anderzijds. Verder wordt opgemerkt:

- De weergegeven verschillen bij de afsluitdijk zijn onjuist. Dit vanwege de incurante faalnorm van 1/1.430 bij de afsluitdijk. Binnen PC-Ring is dit gebied echter niet van belang.
- De correcties zijn bepaald voor de Westerschelde, de gesloten kust en de Waddenzee.



Figuur 2.4 Verschil tussen waterstand en berekend toetspeil voor de Westerschelde



Figuur 2.5 Verschil tussen waterstand en berekend toetspeil voor de Waddenzee

2.4 Bepalen van de lokale golfbelasting en golfoploop

Behalve de lokale waterstand dient ook de lokale golfbelasting bepaald te worden. De lokale golfbelasting wordt beschreven door de volgende drie parameters.

- golfhoogte
- golfperiode
- golfrichting

Deze drie parameters worden middels een deterministische relatie bepaald uit de heersende waarde van de volgende drie stochasten:

- windsnelheid
- windrichting
- waterstand

De fysische relatie tussen windrichting, windsnelheid en waterstand enerzijds en golfbelasting *voor de kering* anderzijds wordt gebaseerd op resultaten van SWAN berekeningen. De resultaten van de berekeningen zijn opgeslagen in de database RAND2001.

Het bovenstaande suggereert dat windrichting, windsnelheid en waterstand de enige invoerparameters van het model SWAN zijn. In werkelijkheid dienen ook de aan de bovenrand (op “diep water”) heersende golfperiode, golfhoogte en golfrichting ingevoerd te worden. Bij de SWAN berekeningen in het kader van RAND2001 zijn deze drie golfparameters echter afgeleid uit de heersende windrichting, windsnelheid en waterstand. Hiertoe is een deterministische relatie gebruikt die op basis van metingen in een aantal diep water stations is bepaald. In essentie zijn windrichting, windsnelheid en waterstand derhalve de enige invoerparameters van de SWAN-berekeningen.

De golfoverslagberekeningen binnen Hydra-K en PC-Ring zijn gebaseerd op verschillende uitgangspunten. We kunnen een en ander als volgt weergegeven:

	golfoverslagmodel	golfperiode
Hydra-K	TAW-Rapport, 2002	$T_m(-1,0)$
PC Ring	Van der Meer, versie 2+	$T_p = 1.08 * T_m(-1,0)$

Het golfmodel in Hydra-K is volgens de opvattingen van RIKZ op dit moment het best beschikbare. Het model binnen PC-Ring is datgene wat al enige tijd geleden als uitgangspunt voor VNK is gekozen.

Doordat de golfoverslagmodellen van Hydra-K en PC-Ring blijken te verschillen kunnen de resultaten van deze studie feitelijk niet goed worden gebruikt voor een vergelijking van de basis-berekeningsopzet van de beide programma's. Daarom is besloten een extra set sommen te draaien, waarbij in beide programma's gewerkt wordt met hetzelfde overslagmodel. Gekozen is daarvoor het golfmodel van Van der Meer (versie 2+) met T_p gelijk aan de met SWAN berekende waarde. De resultaten van die berekening en zijn opgenomen in bijlage C.

Achtergrond T_m en aangepast overslagmodel:

In mei 2002 heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen een nieuw technisch rapport doen uitkomen: "Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken". In het rapport is opgenomen dat voor de maatgevende golfperiode niet meer de piekperiode aangehouden wordt, maar de spectrale periode maat $T_m(-1,0)$ ($m-1/m_0$). Met deze spectrale periode kan op eenvoudige wijze de golfoploop en golfoverslag bij dubbeltoppige- en "platgeslagen" spectra bepaald worden zonder verdere lastige procedures

2.5 Rekenprocedure in Hydra-K

Het bepalen van overschrijdingsfrequenties van wind-waterstand combinaties is in HYDRA-K gebaseerd op de zgn. "methode de Haan" (De Haan en Resnick, 1978). Deze methode gaat uit van het principe dat de correlatiestructuur tussen twee of meer variabelen die is waargenomen gedurende een periode van meten, behouden blijft voor gebeurtenissen in het extreme bereik (d.w.z. het bereik van gebeurtenissen die zo extreem zijn dat ze nog niet zijn waargenomen). Deze methode berust op de aanname dat de betrokken stochasten "asymptotisch afhankelijk" zijn, een aanname die overigens ook ten grondslag aan de geparametriseerde wind-waterstand statistiek van PC-RING.

Het behoud van de correlatiestructuur betekent in praktische zin een verschuiving langs de diagonaal in het standaard exponentiële vlak op de wijze zoals in Figuur 2.6 is weergegeven. Het weergeven van waargenomen gebeurtenissen in het standaard exponentiële vlak wordt gerealiseerd door een transformatie. Stel dat stochast 1 tijdens een gebeurtenis de waarde α_1 bereikt heeft. In het standaard exponentiële vlak wordt de waarde van α_1 weergegeven door:

$$\alpha_1^* = -\ln [P(\text{stochast 1} > \alpha_1)].$$

Dit kan vervolgens worden uitgewerkt tot (zie (2.6)):

$$a^* = -\ln \left[1 - \exp \left\{ -\rho \exp \left\{ -\left(\frac{a}{\sigma} \right)^\alpha + \left(\frac{\omega}{\sigma} \right)^\alpha \right\} \right\} \right]$$

α	=	vorm- of krommingsparameter
σ	=	schaalparameter
a	=	realisatie van stochastische variabele U
ω	=	drempelwaarde
ρ	=	overschrijdingsfrequentie van drempelwaarde ω

Op deze wijze wordt uit de simultane waarnemingen van wind en waterstand een verzameling punten in het standaard exponentiële vlak afgeleid. Door de waarnemingen in het standaard exponentiële vlak te transformeren, zodanig dat zich een puntenwolk rondom de faalgrens vormt, kan uiteindelijk de faalgrens bepaald worden:

1. Neem de verzameling met n waarnemingen van de twee stochasten windsnelheid en waterstand: $\{v_i; h_i\}$, met $i=1..n$

2. Transformeer de waarnemingen naar het standaard exponentiële vlak uit de (inverse) Weibullfunctie:

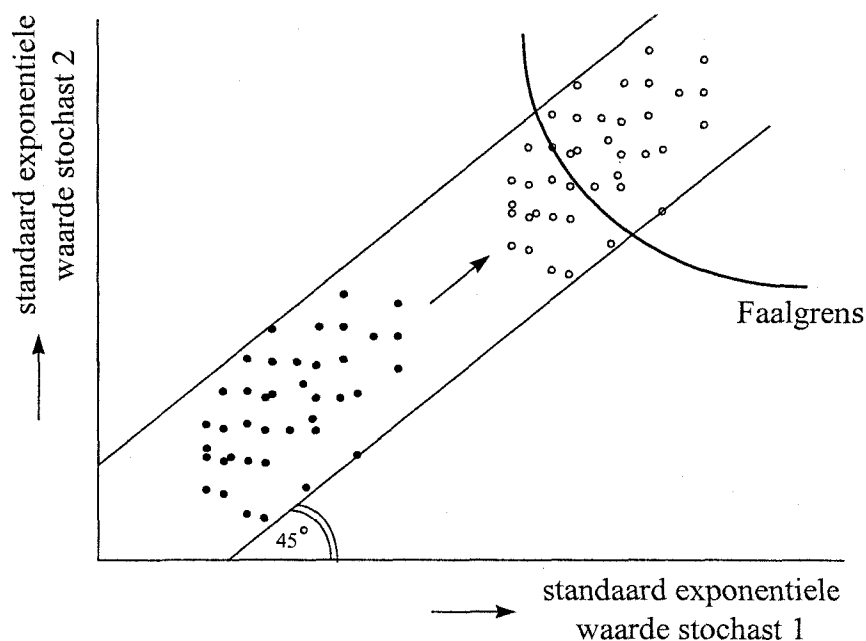
$$h^*_i = -\ln [P(H > h_i)] \text{ en } v^*_i = -\ln [P(V > v_i)].$$

Hiermee zijn de waarnemingen verworden tot trekkingen uit een standaard exponentiële verdeling. De marginale verdelingen $P(H > h_i)$ en $P(V > v_i)$ worden bekend verondersteld.

3. Verschuif deze getransformeerde waarnemingen in het standaard exponentiële vlak met een waarde λ . De verschuiving is voor wind en waterstand even groot.
4. Tel het aantal punten, κ , dat in het faalgebied verschoven is
5. Bepaal de jaarlijkse faalfrequentie, ν als volgt:

$$\nu = \frac{\kappa \exp(-\lambda)}{\Delta}$$

waarin ν = de jaarlijkse faalfrequentie, κ = het aantal punten dat in het faalgebied verschoven is, λ = de uitgevoerde verschuiving in het exponentiële vlak en Δ = de lengte van de periode waarin de waarnemingen verzameld zijn.



Figuur 2.6 Schematische weergave van de transformatie van gebeurtenissen in het hoge kansbereik naar gebeurtenissen in het extreme bereik van het standaard exponentiële vlak.

De faalfrequentie kan, onder de aanname van een Poissonproces, als volgt eenvoudig worden omgerekend in een faalkans, P :

$$P = 1 - e^{-\nu}$$

Opmerkingen:

- Om vast te stellen of een verschoven combinatie van wind en waterstand in het faalgebied is gelegen, wordt berekend of bij die combinatie de lokale hydraulische belasting groter is dan de sterkte van de dijken.
- De wijze waarop de lokale hydraulische belasting wordt bepaald is beschreven in de paragrafen 2.3 en 2.4.
- Bovenstaande procedure wordt per windrichtingssector uitgevoerd.

2.6 Rekenprocedure in PC-Ring

Alvorens de verdelingsfuncties in PC-Ring worden zijn toegepast, worden drie bewerkingen uitgevoerd:

1. De tijdseenheid is veranderd van jaar naar getij (de basistijdstap binnen PC-Ring). Dit is gedaan door de parameter $\rho_{h,r}$ te delen door 352 (het aantal getijden binnen een winterhalfjaar)
2. De overschrijdingsfrequentie is vervolgens geconditioneerd op het voorkomen van de windrichting in sector r . Dit is gedaan door de parameter $\rho_{h,r}$ te delen door $P(r)$ (de kans op voorkomen van windrichtingssector r)
3. Bovenbeschreven formule is geïnverteerd omdat in PC-Ring gegeven de overschrijdingsfrequentie de bijbehorende zeewaterstand moet worden bepaald.

Het resultaat van deze drie stappen is onderstaande functie:

$$h = \left\{ \omega_{h,r}^{\alpha_{h,r}} - \sigma_{h,r}^{\alpha_{h,r}} \ln \left[\frac{\mu_{h,r}}{\rho'_{h,r}} \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{h,r}}} ; \rho'_{h,r} = \frac{\rho_{h,r}}{352P(r)}$$

Met deze inverse functie wordt de zeewaterstand uit de standaard normale u-waarde afgeleid. Daartoe wordt uit eerst uit de standaard normale verdelingsfunctie de frequentie $\mu_{h,r}$ behorende bij de waarde van u bepaald (zie volgende bladzijde).

Het gebruik van parameter $\rho'_{h,r}$ in plaats van $\rho_{h,r}$ heeft als gevolg dat PC-Ring in eerste instantie faalkansen berekent per getij-periode. Zoals gemeld is een getij-periode de basistijdstap binnen PC-Ring. Als de faalkansberekening voor een getij-periode is uitgevoerd vindt achteraf de omrekening naar een jaar plaats. Hierin verschilt PC-Ring van HYDRA-K, aangezien HYDRA-K steeds rekent “keren per jaar”.

Voor de windsnelheid gelden vergelijkbare formules:

$$v = \left\{ \omega_{v,r}^{\alpha_{v,r}} - \sigma_{v,r}^{\alpha_{v,r}} \ln \left[\frac{\mu_{v,r}}{\rho'_{v,r}} \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{v,r}}} ; \rho'_{v,r} = \frac{\rho_{v,r}}{352P(r)}$$

In dit project wordt in PC-Ring gebruik gemaakt van numerieke integratie. De basisformule luidt:

$$P(\text{falen}) = 352 \sum \int \int f(u_h) f(u_v) P(r) du_h du_v$$

De sommatie vindt plaats over de windrichtingen; de integratie vindt plaats over het faaldomein. Omdat het faaldomein in principe bekend is in de natuurlijke variabelen h en v moet er een relatie worden gelegd tussen de standaard normale basisvariabelen u_h en u_v aan de ene kant en de waterstand, h en windsnelheid v aan de andere kant. Die procedure verloopt als volgt:

(a) Voor alle westelijke windrichtingsectoren, r :

1. Bepaal de standaard normaal verdeelde waarden u_h en u_v voor waterstand resp. windsnelheid op de bekende wijze.
2. Bepaal de frequentie μ_h van de waterstand die volgt de uit standaard normaal verdeelde waarde u_h .
3. Bepaal de waterstand, h , met frequentie μ_h uit de inverse van de

$$\text{Weibullverdeling: } h = \left\{ \omega_{h,r}^{\alpha_{h,r}} - \sigma_{h,r}^{\alpha_{h,r}} \ln \left[\frac{\mu_h}{\rho'_{h,r}} \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{h,r}}}$$

4. Bepaal de gereduceerde waterstand: $x = -\ln[1 - \exp\{-\mu_h\}]$

5. Bepaal de gereduceerde windsnelheid: $y = x + u_v s_r - \frac{s_r^2}{2}$

6. Bepaal de werkelijke windsnelheid, v , uit de gereduceerde windsnelheid, y :

$$v = \left\{ \omega_{v,r}^{\alpha_{v,r}} - \sigma_{v,r}^{\alpha_{v,r}} \ln \left[-\frac{1}{\rho'_{v,r}} \ln(1 - e^{-y}) \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{v,r}}}$$

(b) Voor alle Oostelijke windrichtingsectoren, r

1. Bepaal de standaard normaal verdeelde waarden u_h en u_v voor waterstand resp. windsnelheid op de bekende wijze.
2. Bepaal de frequenties μ_h en μ_v van de waterstand resp. windrichting die volgt de uit standaard normaal verdeelde waarden u_h en u_v .
3. Bepaal de waterstand, h , met frequentie μ_h uit de inverse van de

$$\text{Weibullverdeling van de waterstand: } h = \left\{ \omega_{h,r}^{\alpha_{h,r}} - \sigma_{h,r}^{\alpha_{h,r}} \ln \left[\frac{\mu_h}{\rho'_{h,r}} \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{h,r}}}$$

4. Bepaal de windsnelheid, v , met frequentie μ_v uit de inverse van de

$$\text{Weibullverdeling van de windsnelheid: } v = \left\{ \omega_{v,r}^{\alpha_{v,r}} - \sigma_{v,r}^{\alpha_{v,r}} \ln \left[\frac{\mu_h}{\rho'_{v,r}} \right] \right\}^{\frac{1}{\alpha_{v,r}}}$$

Daarmee kan het faaldomein en daarmee de faalkans worden vastgelegd.

3 Een gestileerd probleem

3.1 Eenvoudig vergelijkingsprobleem

We beschouwen ter introductie van de vergelijking van de methoden Hydra-K en PC-Ring in de volgende hoofdstukken een eenvoudig en gestileerd probleem. Doel is om de kern van de beide methoden bloot te leggen en de wezenlijke verschillen en overeenkomsten te kunnen vastleggen.

Beschouw daartoe een waterkering die kan bezwijken als gevolg van een hoge waterstand in combinatie met zware wind. De grenstoestandsfunctie wordt beschreven door:

$$Z = 30 - 2.5 h - 0.5 v \quad (3.1)$$

met:

h = waterstand in [m]

v = windsnelheid in [m/s]

Zo ligt bijvoorbeeld de combinatie $h = 6$ m en $v = 30$ m/s op de faalgrens. We nemen aan dat de jaarmaxima van zowel waterstand als windsnelheid exponentiële verdeling hebben volgens:

$$F(h) = 1 - \exp \left\{ - \frac{h - A_h}{B_h} \right\} \quad (3.2a)$$

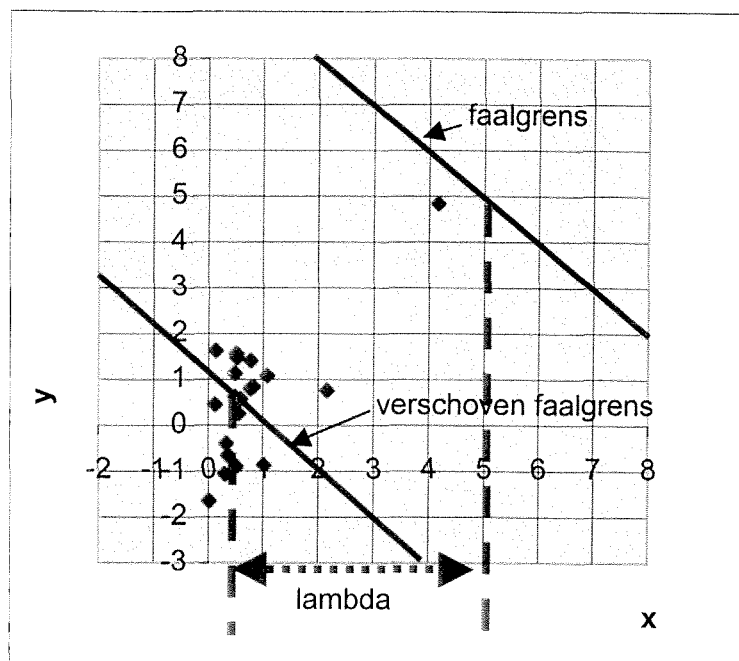
$$F(v) = 1 - \exp \left\{ - \frac{v - A_v}{B_v} \right\} \quad (3.2b)$$

Verder is gegeven dat h en v onderling asymptotisch afhankelijk zijn.

Als database voor de bepaling van de genoemde parameters A en B , alsmede voor het vastleggen van het correlatiepatroon, beschikken we over een fictieve set van 20 gecombineerde waarnemingen van wind en waterstand, verzameld over een periode van 100 jaar. Het betreft de 20 hoogste waterstanden met bijbehorende windsnelheid. De waarnemingen zijn weergegeven in Tabel 3.1, kolommen 1 en 2.

Tabel 3.1 Statistische gegevens en hun bewerking

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
waarnemingen (random generator)		gereduceerde variabelen		gereduceerde variabelen (frequentiedomein)	
h	v	x	y	x	y
3,30	26,6	0,75	0,79	2,41	2,45
3,04	25,8	0,11	0,44	1,81	2,12
4,66	34,6	4,16	4,83	5,78	6,44
3,14	23,6	0,36	-0,65	2,04	1,14
3,11	22,8	0,29	-1,06	1,98	0,82
3,20	23,2	0,50	-0,89	2,18	0,95
3,00	21,7	0,00	-1,64	1,71	0,44
3,21	25,5	0,54	0,25	2,21	1,94
3,42	27,1	1,07	1,07	2,71	2,72
3,19	26,2	0,48	0,61	2,15	2,28
3,19	27,2	0,47	1,12	2,15	2,77
3,40	23,2	1,01	-0,86	2,66	0,97
3,05	28,2	0,13	1,62	1,83	3,25
3,23	26,1	0,58	0,56	2,25	2,23
3,20	28,1	0,50	1,55	2,17	3,18
3,20	27,9	0,51	1,46	2,18	3,10
3,32	26,6	0,81	0,83	2,47	2,49
3,13	24,1	0,32	-0,40	2,01	1,35
3,30	27,8	0,76	1,40	2,42	3,04
3,86	26,5	2,15	0,75	3,78	2,41



Figuur 3.1: Gereduceerde waarnemingen van waterstand (x) en windsnelheid (y)

Uit alle h en v waarnemingen in 100 jaar (ook die onder de 3 meter) bepalen we nu eerst de parameters van de beide marginale verdelingen (conditioneel op $h > 3.0$ m) met als resultaat:

$$\mu_h = 3.4 \text{ m} \quad \sigma_h = 0.4 \text{ m} \quad \mu_v = 27 \text{ m/s} \quad \text{en} \quad \sigma_v = 2 \text{ m/s}$$

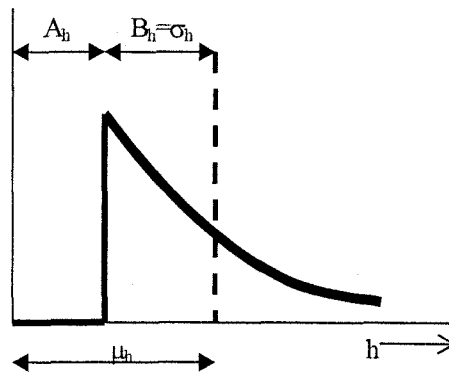
Omdat we te maken hebben met exponentieel verdeelde variabelen zijn de gereduceerde variabelen x en y eenvoudig te bepalen via (zie figuur 3.2):

$$x = \frac{h - A_h}{B_h} = \frac{h - \mu_h + \sigma_h}{\sigma_h} \quad \text{en} \quad y = \frac{v - A_v}{B_v} = \frac{h - \mu_v + \sigma_v}{\sigma_v} \quad (3.3)$$

Deze resultaten zijn weergegeven in de derde en vierde kolom van Tabel 3.1; Figuur 3.1 geeft een grafisch beeld. We transformeren nu ook de faalgrens naar het x-y-vlak, waarvoor dan volgt:

$$Z = 10 - x - y = 0 \quad (3.4)$$

Ook deze faalgrens is in figuur 3.1 getekend. Tot dit punt lopen de beide methode gelijk op. Vanaf dit punt maken we een onderscheid.



Figuur 3.2: Relatie tussen gemiddelde en standaardafwijking van de exponentiele verdeling en de parameters A en B in formule (3.2).

3.2 Oplossing met Methode De Haan

Bij de Methode De Haan wordt de data verschoven naar de faalgrens of, omgekeerd, de faalgrens naar de data. Als we de faalgrens verschuiven tot:

$$Z_{\text{verschoven}} = 1 - x - y = 0$$

Er blijken dan 12 datapunten in het faalgebied (zie figuur 3.1). De verschuiving in de x en y-richting van het "ontwerppunt" bedraagt 4.5. De faalkans wordt dan dus gegeven door:

$$P(Z < 0) = \left\{ \frac{n_F}{n_{\text{tot}}} \right\} \exp(-\lambda) = \left\{ \frac{12}{20} \right\} \exp(-4.5) = 0.0067$$

Om tot een faalfrequentie te komen moet dit resultaat nog worden vermenigvuldigd met $n_{\text{tot}} / T = 20 / 100 = 0.2 \text{ jaar}^{-1}$. De faalfrequentie is daarmee gelijk aan $\mu(Z < 0) = 0.0013 \text{ per jaar}$

3.3 Oplossing met geparametriseerde correlatie

Ten behoeve van de berekening in PC-Ring wordt de variabele y geschreven als (zie (2.2)):

$$y = x + u s - s^2/2$$

De standaardafwijking s kan worden vastgesteld als de standaardafwijking van de 20 $(x-y)$ -waarden:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (x_i - y_i)^2} = 0.99$$

De Z -functie is nu te schrijven als:

$$Z = 10 - x - y = 10 - 2x - u s + s^2/2$$

Dit is een eenvoudig probleem dat kan worden berekend met elke berekeningsmethode. We vinden:

	$P(Z < 0)$
FORM	0.0059
Numerieke Integratie	0.0060
Monte Carlo	0.0074

De numerieke integratie is uitgevoerd in de u -space en met een stapgrootte van 0.1; Monte Carlo is uitgevoerd met 10000 trekkingen. Er zijn nauwelijks verschillen van betekenis. Ook is er geen wezenlijk verschil met de Methode De Haan (faalkans 0.0067). Om te komen tot de faalfrequentie moet ook hier worden vermenigvuldigd met $n_{\text{tot}} / T = 20 / 100 = 0.2 \text{ jaar}^{-1}$.

3.4 Procedure via het frequentiedomein

Bovenstaande analyses verschillen overigens van die welke in Hydra-K en dus ook in PC-Ring wordt gevolgd. Daar worden namelijk eerst de marginale verdelingen in overschrijdingsfrequenties uitgedrukt en pas daarna het correlatieprobleem aangepakt. In bovenstaand voorbeeld leidt dat dus voor de waterstand tot:

$$\mu(h) = \frac{n_{\text{tot}}}{T} \exp \left\{ -\frac{h - A_h}{B_h} \right\}$$

Daarna wordt voor de periode van een jaar weer de overschrijdingskans opgezocht via:

$$P(h) = 1 - \exp(-\mu(h))$$

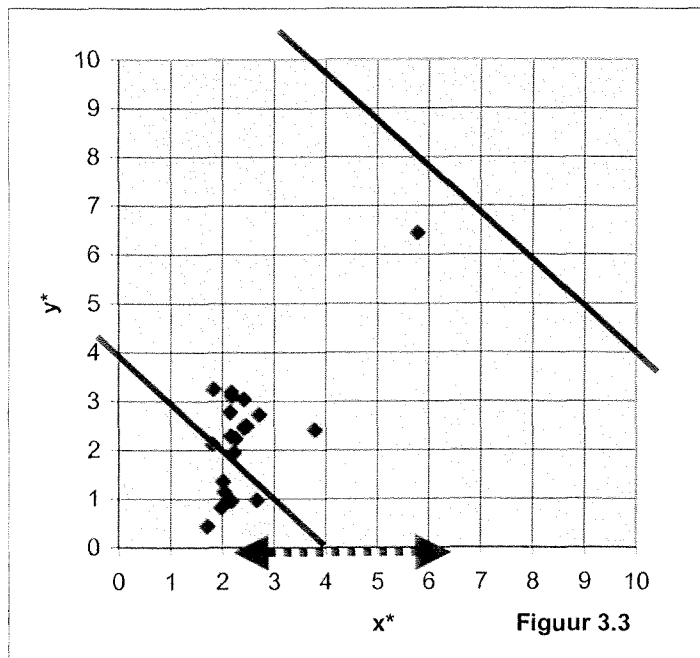
Omdat dit geen exponentieel verdeling is moet nu een transformatie naar een exponentiele verdeling worden uitgevoerd

$$x^* = -\ln(P)$$

De op die manier berekende x^* - en y^* -waarden zijn in Tabel 3.1 verzameld (kolommen 5 en 6) en in Figuur 3.3 grafisch uitgezet. Er zijn inderdaad verschillen met de voorgaande set x - en y -waarden. Ook het faaldomein verschuift. Als we dezelfde transformatie loslaten op de faalgrens komt die ongeveer te liggen op:

$$13.2 - x^* - y^* = 0$$

Ook deze lijn is in Figuur 3.3 uitgezet.



Figuur 3.3

Het vervolg van de procedure is dan in wezen weer precies hetzelfde als in het voorgaande. Voor de methode De Haan wordt weer een verschuiving uitgevoerd en volgt de conditionele faalkans uit:

$$P_F = \frac{n_F}{n_{\text{tot}}} \exp(-\lambda) = \frac{12}{20} \exp(-4.5) = 0.0067$$

$$\mu_F = \frac{n_{\text{tot}}}{T} P_F = \frac{20}{100} 0.0067 = 0.0013 / \text{jaar}$$

Het resultaat is: wijkt dus niet van het voorgaande. Bij wat grotere faalfrequenties kan dat overigens wel. Het verwarrende in de procedure is overigens dat er eerst een omrekening plaats vindt naar de marginale frequenties, daarna teruggekeerd wordt naar kansen en dan nog een keer moet worden omgerekend naar een frequentie. Dit lijkt overbodig en komt de helderheid van de procedure niet ten goede.

Ten behoeve van de PC-Ring procedure wordt weer de s-parameter bepaald (nu op basis van de x^* en y^* waarden:

$$s = 0.89$$

Deze is dus iets kleiner geworden. We bepalen vervolgens hiermee direct de faalkans in een jaar via:

$$P(Z < 0) = P(Z = 13.2 - 2x^* - us + s^2/2 < 0) = 0.0012$$

Ook dit resultaat klopt dus uitstekend.

In feite gaat het in PC-Ring nog net iets anders: eerst worden uit de jaarfrequenties de kansverdelingen per getij bepaald. Daarna volgt een analyse voor de faalkans per getij en die wordt vervolgens weer opgeschaald tot een kans op falen in een jaar. In dit voorbeeld heeft dat echter geen invloed op het resultaat. Dit gaat alleen een rol spelen als er nog andere stochastische variabelen in het spel zijn.

4 Berekeningen Westerschelde en Waddenzee

4.1 Algemene uitgangspunten

De uitgangspunten in deze berekening zijn:

- De wind- en waterstandstatistiek zijn als aangeleverd door RIKZ
- De lokale waterstandsberekening berust op triangulaire interpolatie
- De significante golfhoogte en piekperiode worden bepaald met SWAN
- De golfoverslagberekening is conform het model in PC-Overslag.
- De rekentechniek is Methode De Haan (Hydra-K) en Numerieke Integratie (PC-Ring).

Dijkhoogten worden afgeleid voor:

- 6 locaties Westerschelde en 7 locaties Waddenzee
- 4 faalcriteria: overloop, overslag met respectievelijk 0,1 l/sm, 1 l/sm en 10 l/sm
- 8 herhalings tijden: 10, 30, 100, 300, 1000, 2000, 4000 en 10000 jaar

In onderstaande zijn de invoerwaarden onderverdeeld in de categorieën locatie-afhankelijk en locatie-onafhankelijk.

4.1.1 Locatie-onafhankelijke invoer

Waterstand:

De waterstandsstatistiek is beschreven in [8].

Wind:

Windstatistieken staan beschreven in [8].

Opzet, deining en zeespiegelstijging:

Opzet en deining worden niet in rekening gebracht. De zeespiegelrijzing is 0.00 m.

Waterstandsrelaties / SWAN- relaties

Met behulp van triangulaire interpolatie / SWAN zijn relaties afgeleid tussen de waterstand op zee H , de windsnelheid v en de windrichting ϕ enerzijds en de lokale waterstand h en golfgegevens anderzijds.

Geometrie:

De dijkgeometrie is eenvoudig gehouden. De buitentaluds zijn voor alle dijklocaties aangenomen als zijnde 1:3; het water voor de dijk is diep tot aan de teen. De dijkhoogte wordt steeds zo gekozen dat deze correspondeert met de opgegeven kans op overloop- of overslag. De taludhellingen blijven daarbij gehandhaafd.

Grenswaarden en stapgrootte numerieke integratie:

De u-waarden voor alle stochastische variabelen worden doorlopen van -6 tot +6 met stapgrootten van 0,125. Voor elke berekening is de dijkhoogte steeds opgehoogd met een stap van 0.01 m. Door het resultaat van de overloop/overslag berekeningen is voor

een aantal locaties met de kleinste kwadratenmethode een 4^e graads polynoom gefit. Dit betreffen de locaties waarvoor een stochast dominant is en hierdoor een getrappt resultaat wordt gevonden. In 3.1.2 van [9] is reeds ingegaan op de achtergrond van deze keuze.

In de Hydra-K berekeningen is uitgegaan van $\kappa = 50$. Uit de aanvullende studie (zie bijlage E) is gebleken dat deze keuze goed is voor MHW controles. Echter voor de berekening van de dijkhoogte bij golfoverslag is deze keuze onjuist. Door de keuze van $\kappa = 50$ zullen te lage waarden voor de dijkhoogten worden gevonden.

4.1.2 Locatie-afhankelijke invoer

De locaties en normaalrichtingen van de beschouwde dijkvakken in de Westerschelde en het Waddengebied zijn weergegeven in onderstaand overzicht:

Naam	x [m]	y [m]	dijknormaal [°]
Westerschelde			
Vlissingen	29571	384983	169
Hoofdplaat	35953	377341	10
Citterspolder	38356	383762	229
Hansweert	58494	385061	216
Walsoorden	61216	377326	66
Bath	72786	379646	230
Waddenzee			
Den Helder	111752	553252	359
Terschelling	148188	598283	191
Harlingen	158069	579713	290
Ameland	173403	604338	187
Lauwersoog	207445	603479	342
Delfzijl	257559	595851	45
Breebaart	268110	590661	82

4.2 Resultaten Westerschelde

Tabel 4.1 tot en met 4.6 geven per locatie de berekende dijkhoogten weer (in [m] ten opzichte van NAP) voor elk van de genoemde combinaties van faalcriteria en herhalingstijden. Verder is telkens voor de herhalingstijd de bijbehorende waarde van de betrouwbaarheidsindex β weergegeven (zie Vrouwenvelder en Steenbergen). De β -waarde wordt in de theorie van de constructie-betrouwbaarheid en ook in PC-Ring gebruikt als maat voor de faalkans. De relatie tussen de beide grootheden wordt gegeven door $\beta = \Phi^{-1}(1-P)$, waarbij $\Phi(..)$ de kansverdeling van de standaard normale verdeling voorstelt. Voor de relatie met de herhalingstijd geldt dan vervolgens:

$$\beta = \Phi^{-1}(1-P) = -\Phi^{-1}(P) \approx -\Phi^{-1}(1/T)$$

De benadering is voldoende voor herhalingstijden groter dan 10 jaar. Globaal komt een betrouwbaarheidsindex β overeen met een herhalingstijd van 10^β jaar.

Voor de PC-Ring varianten FORM en Numerieke Integratie zijn de verschillen klein. Meestal is het in de orde van hooguit enkele centimeters. Het maximale verschil van 0.04 m treedt op bij Hansweert, mechanisme overloop, herhalingstijd 30 jaar.

Voor een gedetailleerde bespreking van de vergelijking tussen Hydra-K en PC-Ring wordt verwezen naar hoofdstuk 4.4.

Tabel 4.1 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Vlissingen

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	8,00	8,05	8,05	-0.05
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	8,67	8,63	8,62	0.05
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	9,33	9,26	9,25	0.08
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9,96	9,84	9,84	0.12
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	10,56	10,48	10,47	0.09
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10,91	10,83	10,82	0.09
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	11,25	11,17	11,17	0.08
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11,68	11,62	11,62	0.06
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6,90	6,95	6,95	-0.05
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7,48	7,46	7,45	0.03
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	8,09	8,01	8,01	0.08
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8,62	8,53	8,53	0.09
13	overslag	1 l/s/m	1000	3,091	9,14	9,09	9,08	0.06
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9,46	9,40	9,39	0.07
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9,78	9,71	9,70	0.08
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10,18	10,10	10,10	0.08
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,83	5,85	5,85	-0.02
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6,33	6,29	6,29	0.04
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,84	6,78	6,78	0.06
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7,30	7,23	7,23	0.07
21	overslag	10 l/s/m	1000	3,091	7,77	7,71	7,71	0.06
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8,04	7,98	7,98	0.06
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8,32	8,25	8,25	0.07
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8,67	8,60	8,60	0.07
25	overloop	nvt	10	1,282	3,79	3,79	3,80	-0,01
26	overloop	nvt	30	1,834	4,06	4,08	4,07	-0,01
27	overloop	nvt	100	2,327	4,35	4,38	4,36	-0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	4,62	4,63	4,63	-0,01
29	overloop	nvt	1000	3,091	4,91	4,91	4,92	-0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	5,08	5,07	5,08	0,00
31	overloop	nvt	4000	3,481	5,25	5,23	5,24	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	5,45	5,45	5,45	0,00

Tabel 4.2 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Hoofdplaat

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7,16	7,02	7,03	0,13
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7,78	7,63	7,64	0,14
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8,48	8,31	8,32	0,16
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9,14	8,94	8,95	0,19
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9,85	9,65	9,65	0,20
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10,26	10,06	10,06	0,20
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10,68	10,47	10,48	0,20
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11,22	11,03	11,03	0,19
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6,33	6,22	6,22	0,11
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6,88	6,75	6,76	0,12
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7,49	7,35	7,36	0,13
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8,06	7,90	7,91	0,15
13	overslag	1 l/s/m	1000	3,091	8,69	8,54	8,53	0,16
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9,05	8,89	8,89	0,16
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9,42	9,25	9,26	0,16
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	9,89	9,75	9,75	0,14
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,50	5,41	5,42	0,08
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5,95	5,88	5,88	0,07
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,49	6,39	6,40	0,09
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6,99	6,88	6,88	0,11
21	overslag	10 l/s/m	1000	3,091	7,53	7,42	7,42	0,11
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7,84	7,72	7,73	0,11
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8,15	8,02	8,04	0,11
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8,57	8,46	8,46	0,11
25	overloop	nvt	10	1,282	4,00	3,97	4,00	0,00
26	overloop	nvt	30	1,834	4,29	4,30	4,28	0,01
27	overloop	nvt	100	2,327	4,60	4,61	4,59	0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	4,89	4,88	4,87	0,02
29	overloop	nvt	1000	3,091	5,19	5,16	5,18	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	5,37	5,33	5,35	0,02
31	overloop	nvt	4000	3,481	5,55	5,51	5,53	0,02
32	overloop	nvt	10000	3,719	5,78	5,79	5,76	0,02

Tabel 4.3 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Citterspolder

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	9,30	9,26	9,26	0,04
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	10,09	10,00	10,01	0,08
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	10,90	10,77	10,76	0,14
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	11,58	11,44	11,45	0,13
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	12,32	12,14	12,14	0,18
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	12,69	12,54	12,54	0,15
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	13,10	12,94	12,94	0,16
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	13,63	13,45	13,46	0,17
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	7,98	7,93	7,94	0,04
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	8,67	8,58	8,59	0,08
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	9,34	9,24	9,24	0,10
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	9,99	9,83	9,84	0,15
13	overslag	1 l/s/m	1000	3,091	10,61	10,46	10,45	0,16
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	10,96	10,81	10,81	0,15
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	11,32	11,16	11,16	0,16
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	11,79	11,62	11,62	0,17
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	6,65	6,61	6,62	0,03
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	7,21	7,16	7,17	0,04
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	7,83	7,73	7,73	0,10
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	8,36	8,23	8,25	0,11
21	overslag	10 l/s/m	1000	3,091	8,90	8,78	8,78	0,12
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	9,22	9,08	9,08	0,14
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	9,52	9,39	9,39	0,13
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	9,91	9,79	9,80	0,11
25	overloop	nvt	10	1,282	3,98	3,96	3,97	0,01
26	overloop	nvt	30	1,834	4,25	4,27	4,25	0,00
27	overloop	nvt	100	2,327	4,56	4,57	4,56	0,00
28	overloop	nvt	300	2,714	4,84	4,83	4,84	0,00
29	overloop	nvt	1000	3,091	5,14	5,12	5,14	0,00
30	overloop	nvt	2000	3,291	5,32	5,30	5,31	0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	5,50	5,48	5,49	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	5,73	5,73	5,71	0,02

Tabel 4.4 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Hansweert

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7,19	7,35	7,35	-0,16
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7,84	7,94	7,94	-0,10
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8,53	8,58	8,57	-0,04
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9,09	9,13	9,13	-0,04
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9,69	9,72	9,71	-0,02
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10,05	10,06	10,05	0,00
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10,39	10,39	10,39	0,00
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	10,82	10,82	10,82	0,00
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6,38	6,50	6,50	-0,12
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6,93	7,02	7,02	-0,09
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7,54	7,57	7,57	-0,03
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8,04	8,07	8,07	-0,03
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8,58	8,59	8,59	-0,01
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	8,89	8,89	8,89	0,00
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9,20	9,19	9,18	0,02
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	9,62	9,57	9,58	0,04
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,59	5,67	5,67	-0,08
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6,08	6,12	6,11	-0,03
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,59	6,60	6,60	-0,01
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7,05	7,03	7,03	0,02
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7,51	7,49	7,49	0,02
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7,78	7,76	7,76	0,02
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8,06	8,02	8,02	0,04
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8,42	8,36	8,37	0,05
25	overloop	nvt	10	1,282	4,39	4,38	4,40	-0,01
26	overloop	nvt	30	1,834	4,70	4,74	4,70	0,00
27	overloop	nvt	100	2,327	5,05	5,07	5,04	0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	5,35	5,36	5,35	0,00
29	overloop	nvt	1250	3,091	5,70	5,67	5,69	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	5,90	5,86	5,89	0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	6,10	6,06	6,09	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	6,37	6,37	6,34	0,03

Tabel 4.5 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Walsoorden

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5,92	5,68	5,66	0,26
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	6,41	6,19	6,19	0,22
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6,96	6,75	6,75	0,21
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	7,44	7,26	7,26	0,18
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7,98	7,82	7,81	0,17
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	8,30	8,14	8,13	0,17
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	8,63	8,46	8,46	0,17
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	9,05	8,86	8,89	0,16
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5,47	5,31	5,29	0,18
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5,93	5,78	5,77	0,16
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	6,43	6,29	6,28	0,15
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	6,88	6,76	6,75	0,13
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	7,38	7,27	7,26	0,12
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	7,69	7,56	7,56	0,13
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	7,98	7,86	7,86	0,12
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	8,39	8,24	8,26	0,13
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,03	4,97	4,94	0,09
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5,48	5,38	5,36	0,12
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5,95	5,84	5,83	0,12
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6,36	6,27	6,25	0,11
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	6,81	6,73	6,72	0,09
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7,09	7,00	6,99	0,10
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	7,36	7,27	7,26	0,10
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7,73	7,62	7,63	0,10
25	overloop	nvt	10	1,282	4,53	4,51	4,54	-0,01
26	overloop	nvt	30	1,834	4,85	4,87	4,85	0,00
27	overloop	nvt	100	2,327	5,20	5,23	5,20	0,00
28	overloop	nvt	300	2,714	5,53	5,54	5,53	0,00
29	overloop	nvt	1250	3,091	5,89	5,87	5,88	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	6,10	6,07	6,08	0,02
31	overloop	nvt	4000	3,481	6,30	6,27	6,29	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	6,57	6,55	6,56	0,01

Tabel 4.6 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Bath

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7,21	7,30	7,30	-0,09
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7,85	7,91	7,91	-0,06
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8,58	8,55	8,55	0,03
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9,20	9,13	9,13	0,07
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9,87	9,76	9,75	0,12
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10,24	10,11	10,11	0,13
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10,60	10,47	10,48	0,12
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11,13	10,94	10,94	0,19
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6,50	6,56	6,57	-0,07
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7,09	7,10	7,10	-0,01
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7,72	7,67	7,67	0,05
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8,28	8,19	8,20	0,08
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8,85	8,76	8,76	0,09
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9,21	9,09	9,08	0,13
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9,53	9,41	9,42	0,11
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10,00	9,84	9,85	0,15
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,80	5,84	5,84	-0,04
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6,33	6,31	6,31	0,02
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,89	6,82	6,82	0,07
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7,36	7,28	7,28	0,08
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7,89	7,79	7,79	0,10
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8,18	8,08	8,08	0,10
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8,49	8,38	8,38	0,11
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8,90	8,77	8,78	0,12
25	overloop	nvt	10	1,282	4,75	4,72	4,75	0,00
26	overloop	nvt	30	1,834	5,08	5,11	5,08	0,00
27	overloop	nvt	100	2,327	5,44	5,48	5,45	-0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	5,79	5,79	5,79	0,00
29	overloop	nvt	1250	3,091	6,17	6,13	6,16	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	6,38	6,34	6,38	0,00
31	overloop	nvt	4000	3,481	6,60	6,57	6,60	0,00
32	overloop	nvt	10000	3,719	6,89	6,95	6,89	0,00

4.3 Resultaten Waddengebied

Tabel 4.7 tot en met 4.13 geven op dezelfde wijze als voor het Westerscheldegebied per locatie de berekende dijkhoogten weer (in [m] ten opzichte van NAP) voor elk van de genoemde combinaties van faalcriteria en herhalingstijden. Verder is telkens voor de herhalingstijd de bijbehorende waarde van de betrouwbaarheidsindex β weergegeven (zie Vrouwenvelder en Steenbergen). De β -waarde wordt in de theorie van de constructie-betrouwbaarheid en ook in PC-Ring gebruikt als maat voor de faalkans. De relatie tussen de beide grootheden wordt gegeven door $\beta = \Phi^{-1}(1-P)$, waarbij $\Phi(..)$ de kansverdeling van de standaard normale verdeling voorstelt. Voor de relatie met de herhalingstijd geldt dan vervolgens:

$$\beta = \Phi^{-1}(1-P) = -\Phi^{-1}(P) \approx -\Phi^{-1}(1/T)$$

De benadering is voldoende voor herhalingstijden groter dan 10 jaar. Globaal komt een betrouwbaarheidsindex β overeen met een herhalingstijd van 10^{β} jaar.

Voor de PC-Ring varianten FORM en Numerieke Integratie zijn de verschillen klein. Meestal is het in de orde van hooguit enkele centimeters. Het maximale verschil van 0.09 m treedt op bij Ameland, mechanisme overslag (0.1 liter/m/s), herhalingstijd 2000 jaar. In vergelijking met de decimeringshoogte van 0.91 m is dat overigens niet eens erg veel te noemen.

Voor een gedetailleerde bespreking van de vergelijking tussen Hydra-K en PC-Ring wordt verwezen naar hoofdstuk 4.4.

Tabel 4.7 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Den Helder

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	6,09	6,16	6,15	-0,06
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	6,76	6,79	6,79	-0,03
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	7,49	7,46	7,46	0,03
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	8,07	8,04	8,04	0,03
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	8,67	8,64	8,64	0,03
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	9,00	8,97	8,96	0,04
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	9,32	9,28	9,28	0,04
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	9,74	9,68	9,68	0,06
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5,22	5,28	5,28	-0,06
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5,84	5,85	5,84	0,00
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	6,46	6,44	6,44	0,02
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	7,00	6,96	6,95	0,05
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	7,52	7,49	7,49	0,03
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	7,81	7,78	7,77	0,04
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	8,10	8,06	8,06	0,04
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	8,46	8,42	8,42	0,04
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4,35	4,41	4,41	-0,06
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	4,87	4,90	4,90	-0,03
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5,43	5,42	5,42	0,01
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	5,91	5,87	5,87	0,04
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	6,38	6,34	6,33	0,05
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	6,63	6,60	6,59	0,04
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	6,87	6,84	6,84	0,03
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7,21	7,15	7,16	0,05
25	overloop	nvt	10	1,282	2,74	2,76	2,75	-0,01
26	overloop	nvt	30	1,834	3,05	3,06	3,06	-0,01
27	overloop	nvt	100	2,327	3,38	3,37	3,38	0,00
28	overloop	nvt	300	2,714	3,65	3,64	3,65	0,00
29	overloop	nvt	1250	3,091	3,94	3,94	3,93	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4,10	4,10	4,09	0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4,26	4,26	4,24	0,02
32	overloop	nvt	10000	3,719	4,45	4,45	4,44	0,01

Tabel 4.8 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Terschelling

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	4,97	5,02	5,01	-0,04
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	5,51	5,56	5,55	-0,04
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6,06	6,11	6,11	-0,05
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	6,55	6,55	6,56	-0,01
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	6,99	7,02	7,01	-0,02
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	7,25	7,26	7,25	0,00
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	7,50	7,50	7,49	0,01
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	7,81	7,77	7,77	0,04
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	4,43	4,44	4,41	0,02
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	4,91	4,89	4,88	0,03
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	5,37	5,38	5,37	0,00
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	5,76	5,77	5,76	0,00
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	6,17	6,16	6,15	0,02
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	6,38	6,36	6,37	0,01
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	6,59	6,57	6,58	0,01
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	6,84	6,84	6,83	0,01
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	3,84	3,88	3,83	0,01
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	4,28	4,26	4,23	0,05
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	4,68	4,65	4,64	0,04
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	5,00	5,00	4,98	0,02
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	5,35	5,33	5,32	0,03
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	5,53	5,51	5,50	0,03
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	5,71	5,68	5,68	0,03
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	5,93	5,90	5,90	0,03
25	overloop	nvt	10	1,282	3,02	3,06	3,06	-0,04
26	overloop	nvt	30	1,834	3,31	3,33	3,33	-0,02
27	overloop	nvt	100	2,327	3,58	3,59	3,59	-0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	3,80	3,81	3,81	-0,01
29	overloop	nvt	1250	3,091	4,03	4,04	4,03	0,00
30	overloop	nvt	2000	3,291	4,15	4,16	4,16	-0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4,27	4,27	4,27	0,00
32	overloop	nvt	10000	3,719	4,41	4,42	4,42	-0,01

Tabel 4.9 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Harlingen

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7,66	7,78	7,81	-0,15
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	8,50	8,55	8,56	-0,06
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	9,36	9,31	9,31	0,05
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	10,04	9,94	9,95	0,09
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	10,70	10,60	10,60	0,10
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	11,07	10,96	10,96	0,11
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	11,43	11,30	11,32	0,11
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11,88	11,74	11,75	0,13
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6,59	6,71	6,73	-0,14
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7,33	7,38	7,39	-0,06
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	8,06	8,03	8,04	0,02
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8,66	8,59	8,59	0,07
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	9,24	9,17	9,16	0,08
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9,57	9,48	9,48	0,09
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9,88	9,77	9,79	0,09
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10,26	10,16	10,16	0,10
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,55	5,65	5,66	-0,11
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6,17	6,21	6,22	-0,05
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,77	6,77	6,77	0,00
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7,29	7,24	7,24	0,05
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7,79	7,73	7,72	0,07
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8,07	7,99	7,99	0,08
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8,31	8,24	8,26	0,05
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8,66	8,57	8,57	0,09
25	overloop	nvt	10	1,282	3,52	3,55	3,55	-0,03
26	overloop	nvt	30	1,834	3,81	3,86	3,84	-0,03
27	overloop	nvt	100	2,327	4,11	4,14	4,14	-0,03
28	overloop	nvt	300	2,714	4,36	4,38	4,38	-0,02
29	overloop	nvt	1250	3,091	4,62	4,63	4,63	-0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4,76	4,77	4,77	-0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4,90	4,90	4,90	0,00
32	overloop	nvt	10000	3,719	5,06	5,08	5,07	-0,01

Tabel 4.10 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Ameland

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5,36	5,32	5,33	0,03
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	5,91	5,89	5,84	0,07
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6,47	6,40	6,38	0,09
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	6,96	6,83	6,85	0,11
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7,45	7,29	7,36	0,09
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	7,76	7,56	7,65	0,11
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	8,05	7,85	7,91	0,14
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	8,39	8,29	8,27	0,12
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	4,75	4,72	4,74	0,01
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5,24	5,21	5,19	0,05
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	5,75	5,68	5,67	0,08
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	6,17	6,09	6,09	0,08
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	6,63	6,52	6,54	0,09
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	6,89	6,77	6,79	0,10
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	7,14	7,02	7,02	0,12
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	7,46	7,35	7,34	0,12
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4,17	4,14	4,16	0,01
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	4,59	4,58	4,56	0,03
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5,03	4,99	4,97	0,06
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	5,39	5,34	5,33	0,06
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	5,79	5,70	5,72	0,07
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	6,02	5,92	5,94	0,08
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	6,24	6,13	6,14	0,10
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	6,50	6,42	6,41	0,09
25	overloop	nvt	10	1,282	3,25	3,27	3,27	-0,02
26	overloop	nvt	30	1,834	3,54	3,55	3,54	0,00
27	overloop	nvt	100	2,327	3,83	3,82	3,82	0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	4,07	4,06	4,06	0,01
29	overloop	nvt	1250	3,091	4,32	4,31	4,31	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4,45	4,44	4,44	0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4,58	4,58	4,57	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	4,75	4,74	4,74	0,01

Tabel 4.11 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Lauwersoog

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	6,69	6,77	6,77	-0,08
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7,40	7,44	7,44	-0,04
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8,10	8,12	8,12	-0,02
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	8,69	8,72	8,72	-0,03
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9,34	9,35	9,35	-0,01
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	9,69	9,69	9,70	-0,01
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10,07	10,03	10,03	0,04
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	10,50	10,47	10,46	0,04
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5,85	5,91	5,91	-0,06
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6,48	6,50	6,50	-0,02
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7,10	7,11	7,11	-0,01
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	7,62	7,63	7,63	-0,01
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8,18	8,19	8,18	0,00
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	8,49	8,48	8,49	0,00
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	8,80	8,77	8,78	0,02
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	9,19	9,16	9,16	0,03
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,03	5,06	5,07	-0,04
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5,55	5,58	5,57	-0,02
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,11	6,09	6,09	0,02
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6,58	6,54	6,55	0,03
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7,04	7,03	7,02	0,02
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7,29	7,30	7,28	0,01
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	7,55	7,53	7,54	0,01
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7,89	7,87	7,86	0,03
25	overloop	nvt	10	1,282	3,51	3,51	3,52	-0,01
26	overloop	nvt	30	1,834	3,81	3,83	3,82	-0,01
27	overloop	nvt	100	2,327	4,13	4,14	4,14	-0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	4,41	4,40	4,40	0,01
29	overloop	nvt	1250	3,091	4,69	4,68	4,68	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4,85	4,83	4,83	0,02
31	overloop	nvt	4000	3,481	5,00	4,98	4,98	0,02
32	overloop	nvt	10000	3,719	5,19	5,18	5,17	0,02

Tabel 4.12 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Delfzijl

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	6,27	6,51	6,52	-0,25
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7,14	7,38	7,38	-0,24
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8,10	8,28	8,27	-0,17
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	8,88	9,00	9,00	-0,12
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9,67	9,74	9,75	-0,08
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10,10	10,17	10,18	-0,08
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10,53	10,61	10,57	-0,04
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11,05	11,01	11,06	-0,01
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5,66	5,84	5,84	-0,18
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6,43	6,60	6,60	-0,17
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7,25	7,38	7,38	-0,13
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	7,93	8,03	8,03	-0,10
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8,62	8,68	8,69	-0,07
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9,00	9,07	9,07	-0,07
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9,37	9,44	9,42	-0,05
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	9,83	9,82	9,86	-0,03
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5,04	5,19	5,19	-0,15
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5,72	5,84	5,83	-0,11
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6,40	6,49	6,50	-0,10
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7,00	7,08	7,07	-0,07
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7,61	7,65	7,64	-0,03
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7,94	7,96	7,97	-0,03
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8,26	8,24	8,27	-0,01
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8,66	8,66	8,66	0,00
25	overloop	nvt	10	1,282	4,06	4,10	4,11	-0,05
26	overloop	nvt	30	1,834	4,48	4,52	4,50	-0,02
27	overloop	nvt	100	2,327	4,89	4,90	4,89	0,00
28	overloop	nvt	300	2,714	5,23	5,22	5,22	0,01
29	overloop	nvt	1250	3,091	5,57	5,55	5,57	0,00
30	overloop	nvt	2000	3,291	5,76	5,74	5,75	0,01
31	overloop	nvt	4000	3,481	5,95	5,92	5,94	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	6,18	6,17	6,17	0,01

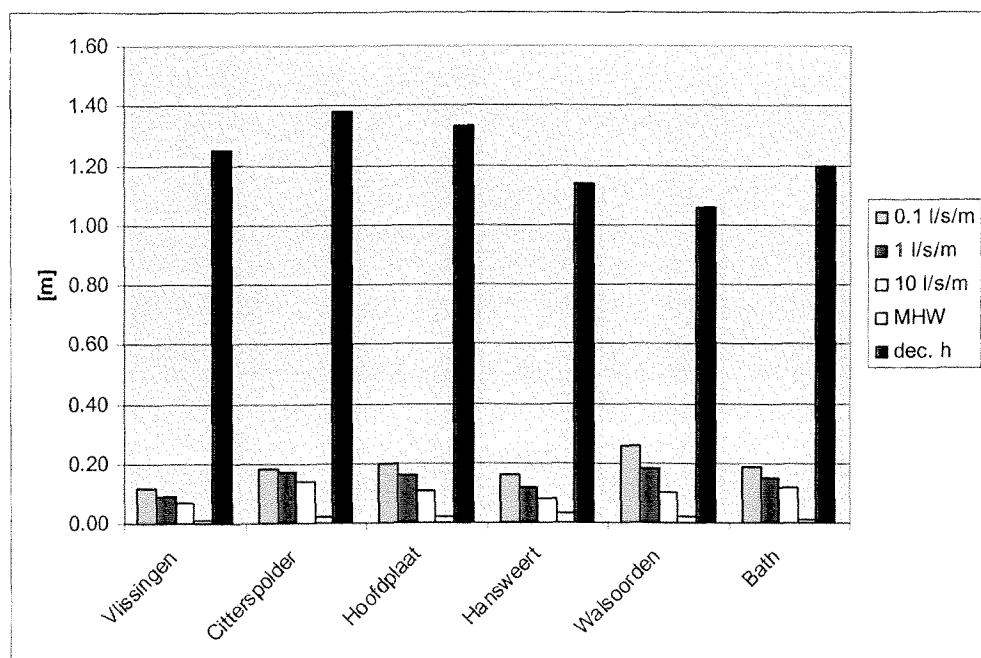
Tabel 4.13 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Breebaart

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)		Verschil Hydra-K - PC-Ring
						NI	FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5,08	5,17	5,16	-0,08
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	5,67	5,73	5,77	-0,10
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6,24	6,29	6,29	-0,05
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	6,66	6,72	6,72	-0,06
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7,12	7,17	7,16	-0,04
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	7,37	7,39	7,41	-0,04
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	7,62	7,59	7,64	-0,02
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	7,92	7,90	7,91	0,01
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	4,89	4,88	4,93	-0,04
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5,44	5,52	5,50	-0,06
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	5,94	6,02	5,99	-0,05
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	6,36	6,40	6,39	-0,03
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	6,77	6,79	6,82	-0,05
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	7,03	7,01	7,05	-0,02
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	7,27	7,23	7,27	0,00
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	7,54	7,55	7,54	0,00
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4,66	4,73	4,73	-0,07
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5,18	5,23	5,23	-0,05
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5,64	5,70	5,69	-0,05
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6,05	6,08	6,08	-0,03
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	6,46	6,48	6,48	-0,02
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	6,68	6,69	6,70	-0,02
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	6,89	6,90	6,91	-0,02
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7,15	7,18	7,17	-0,02
25	overloop	nvt	10	1,282	4,48	4,51	4,52	-0,04
26	overloop	nvt	30	1,834	4,92	4,95	4,93	-0,01
27	overloop	nvt	100	2,327	5,34	5,36	5,35	-0,01
28	overloop	nvt	300	2,714	5,69	5,70	5,70	-0,01
29	overloop	nvt	1250	3,091	6,07	6,05	6,06	0,01
30	overloop	nvt	2000	3,291	6,25	6,25	6,25	0,00
31	overloop	nvt	4000	3,481	6,45	6,44	6,44	0,01
32	overloop	nvt	10000	3,719	6,70	6,68	6,68	0,02

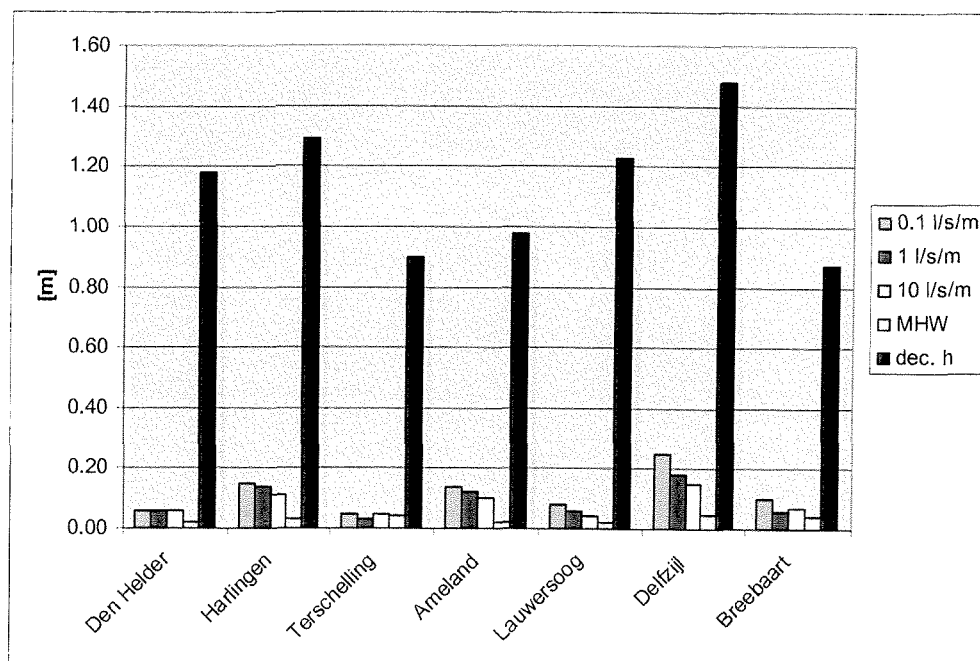
4.4 Samenvatting vergelijking Hydra-K en PC-Ring

In figuur 4.1, resp. figuur 4.2 zijn de maximale verschillen gegeven tussen Hydra-K en PC-Ring voor de Westerschelde, respectievelijk de Waddenzee. In deze figuren zijn weergegeven de verschillen voor overloop en overslag voor de debieten van 0.1, 1 en 10 l/sm. Ter vergelijking is tevens de decimeringhoogte toegevoegd. Deze decimeringhoogte is bepaald voor overslag met een debiet van 0.1 l/sm. Het blijkt dat de verschillen maximaal zijn voor de locatie Walsoorden. Het maximale verschil bedraagt voor deze locatie 0.26 m. Een vergelijkbaar verschil (0.25 m) wordt gevonden voor de locatie Delfzijl.

Voor de goede orde wordt nogmaals vermeld dat de beide berekeningen niet met hetzelfde golfoverslagmodel zijn uitgerekend. De resultaten voor PC-Ring zijn berekend met het model van Van der Meer (versie 2+) en een T_p -waarde die gelijk is genomen aan $1.08 T_{m(-1,0)}$. De Hydra-K berekeningen zijn uitgevoerd met het golfoverslagmodel volgens het TAW-Rapport en de golfperiode gelijk aan $T_{m(-1,0)}$. Verder is in de Hydra-K berekeningen uitgegaan van $\kappa = 50$, hetgeen een aanzienlijke onderschatting van de dijkhoogte geeft bij de overslagberekeningen. Dit is gekwantificeerd in bijlage C en E. Bij het beoordelen van de resultaten moet daar dus rekening mee worden gehouden. In de Bijlage C zijn wel resultaten weergegeven van sommen met dezelfde uitgangspunten voor het golfoverslagmodel.



Figuur 4.1 Verschillen in berekende dijkhoogte [m] tussen Hydra-K en PC-Ring voor de Westerschelde



Figuur 4.2 Verschillen in berekende dijkhoogte [m] tussen Hydra-K en PC-Ring voor de Waddenzee

Een andere oorzaak van verschillen zijn de hydraulische belastingen. De Nederlandse kust is t.b.v. de hydraulische belastingen onderverdeeld in 6 deelgebieden. Voor elk deelgebied is een representatieve waterstandslocatie en een representatieve windlocatie gekozen. Mede door een crash-actie voor Hydra-K afgelopen jaar zijn in Hydra-K soms andere wind en/of waterstandslocaties gekozen dan in PC-Ring (zie onderstaande tabel). Van deze verschillen zijn voornamelijk de verschillen in de windlocaties van belang. De waterstandslocaties behoren geen grote invloed te hebben op de resultaten. Uit de aanvullende berekeningen met Hydra-K (zie bijlage F) blijken er enige kleine verschillen (tot 0.10 m) op te treden.

Tabel 4.14: Verschil in locaties hydraulische belastingen

	wind		waterstand	
	PC-RING	HYDRA-K	PC-RING	HYDRA-K
Westerschelde	Vlissingen	Hoek v Holland	Vlissingen	Vlissingen
Waddenzee West	Terschelling	Terschelling	Harlingen	Harlingen
Waddenzee Oost	Terschelling	Terschelling	Lauwersoog	Delfzijl

5 Vergelijking met metingen

5.1 Meetresultaten

Door RIKZ zijn meetgegevens aangeleverd van een aantal meetlocaties in de Westerschelde in het Wadden-gebied, Deze meetlocaties zijn:

- Vlissingen
- Hansweert
- Bath
- Den Helder
- West Terschelling
- Harlingen
- Ameland
- Lauwersoog
- Delfzijl

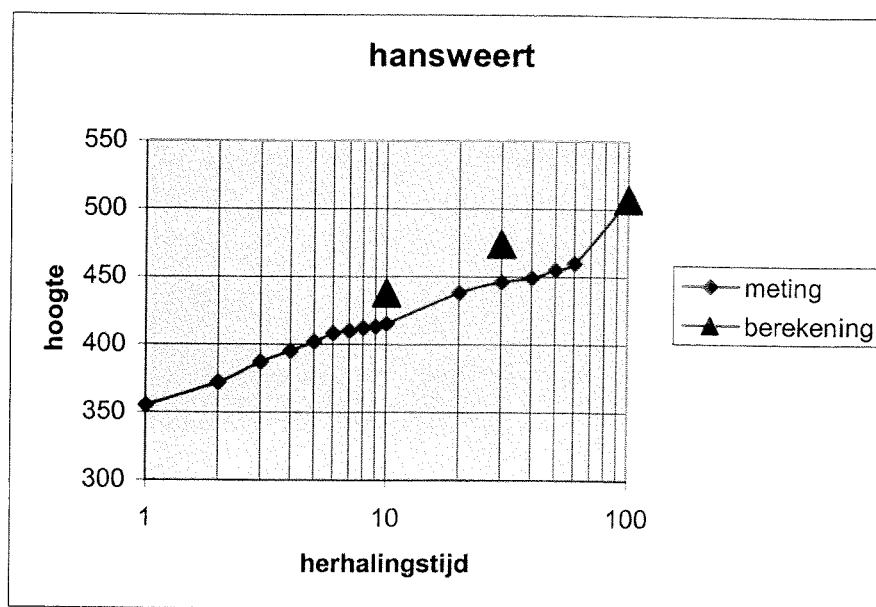
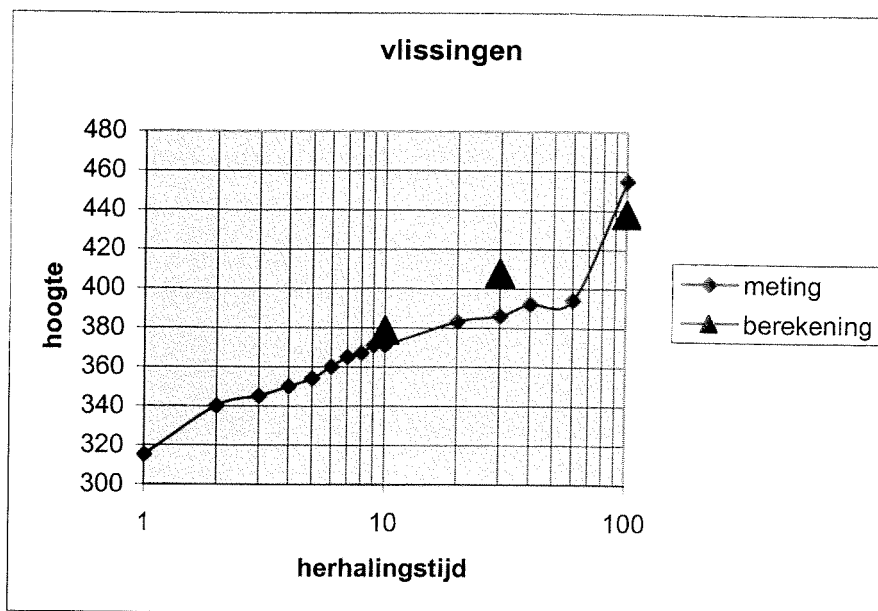
De gegevens betreffen tijdreeksen van waterstanden met een interval van steeds 1 uur, Door TNO zijn deze gegevens verwerkt met het programma Mathlab, Per tijdreeks is gezocht naar de maximum met een zichtduur van 4 dagen

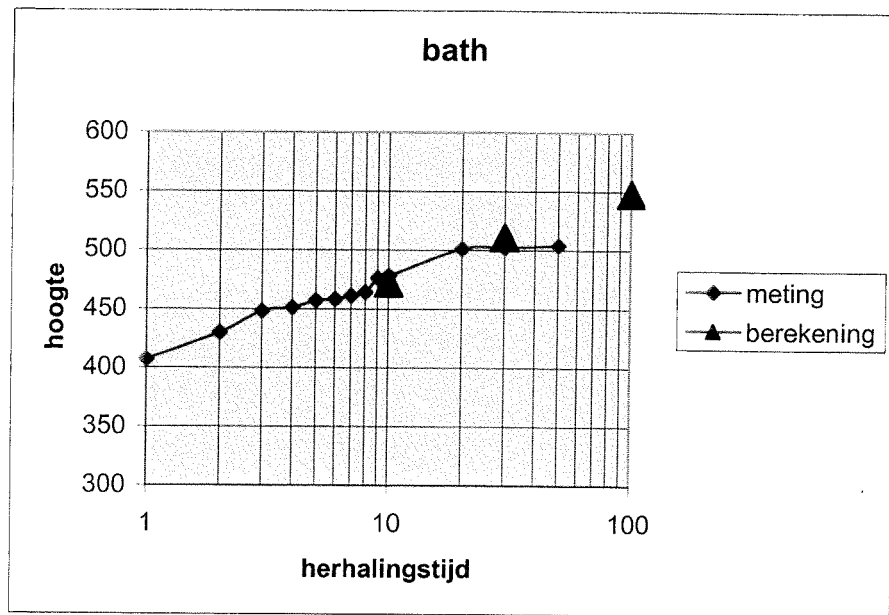
De resultaten zijn weergegeven in de figuren in paragraaf 5.2.

5.2 Vergelijking berekeningsresultaten en metingen

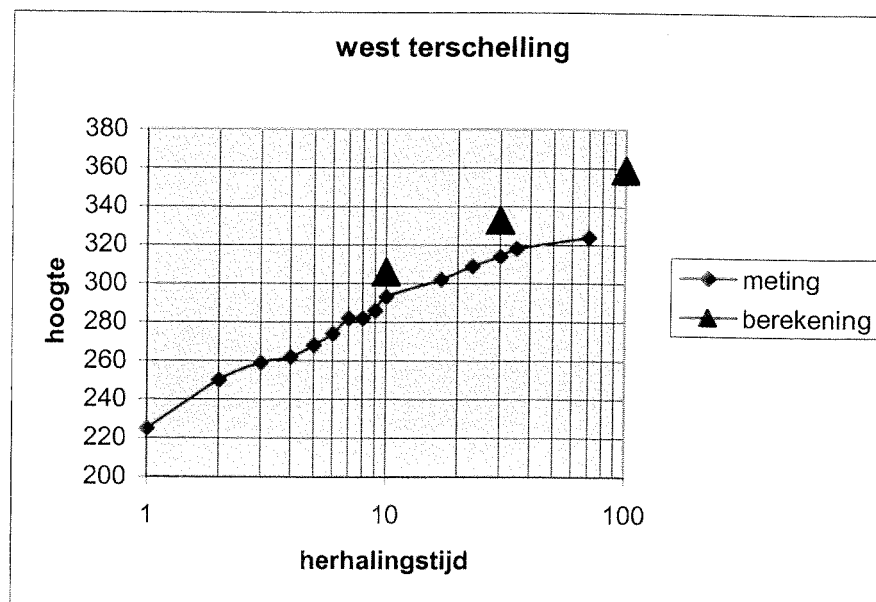
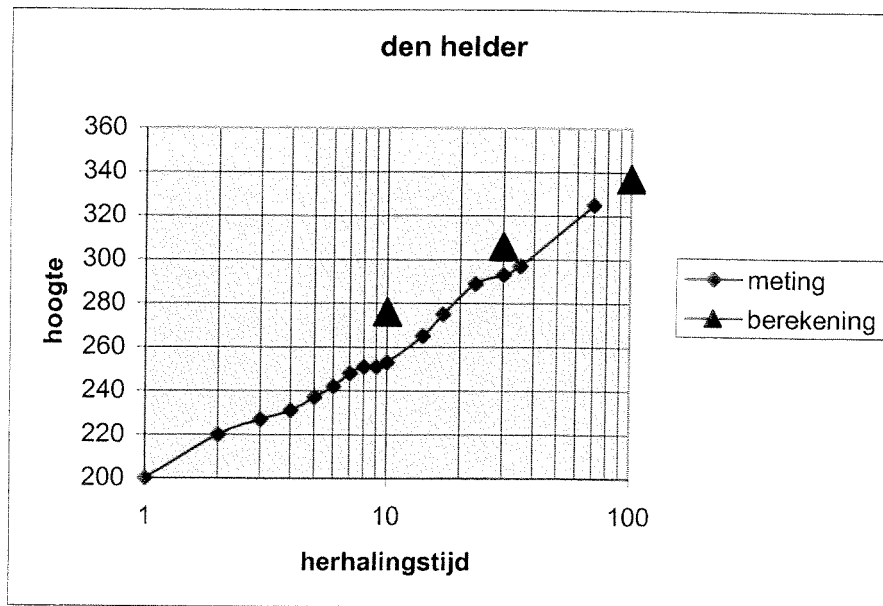
De resultaten zijn samengevat in de paragrafen 5.2.1 en 5.2.2 voor respectievelijk de Westerschelde en het Waddengebied. Het blijkt dat de rekenresultaten uitgevoerd in hoofdstuk 4 voor het mechanisme overloop goed aansluiten op de meetgegevens van de waterstanden. In een aantal gevallen lijken de meetresultaten voor de herhalingstijden in de buurt van de 100 jaar iets achter te liggen op de berekening. Overigens is een goede overeenkomst voor alleen overslag natuurlijk ook zeer voor de hand liggend omdat de basisstatistiek in de meeste plaatsen vrij direct uit de meetgegevens is afgeleid.

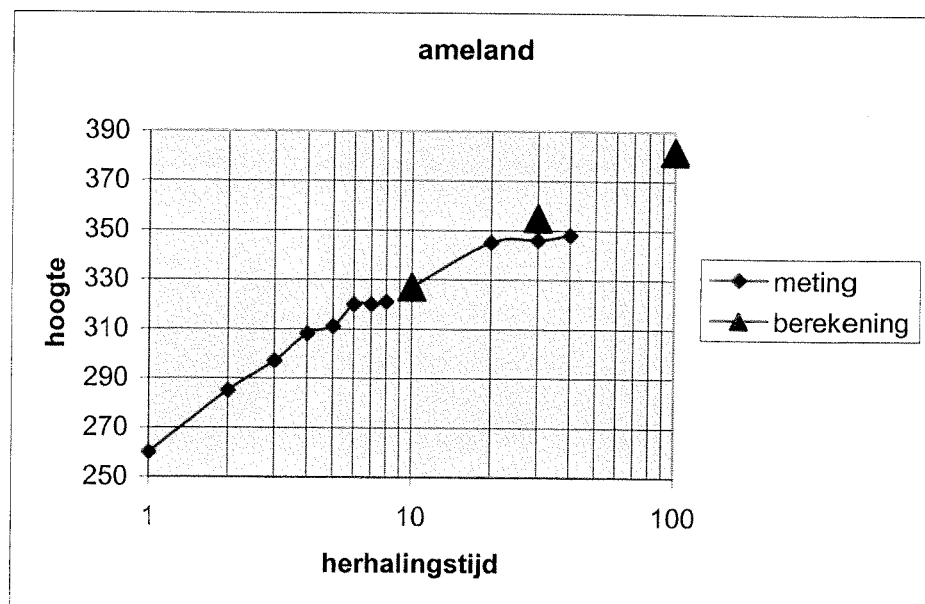
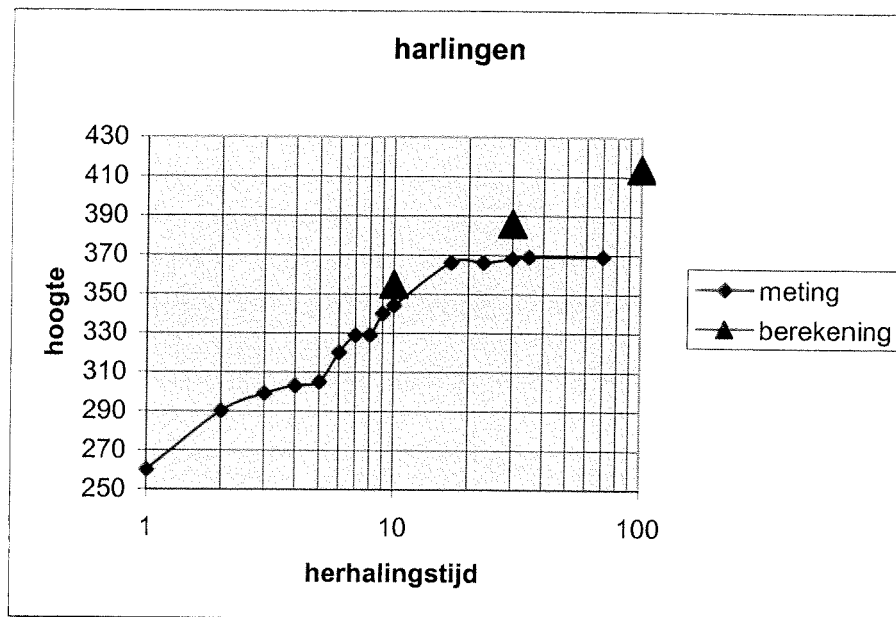
De rekenresultaten betreffen zowel de berekeningen met Hydra-K als PC-Ring. Immers bij overloopberekeningen zijn de verschillen tussen de beide rekenprogramma's nihil.

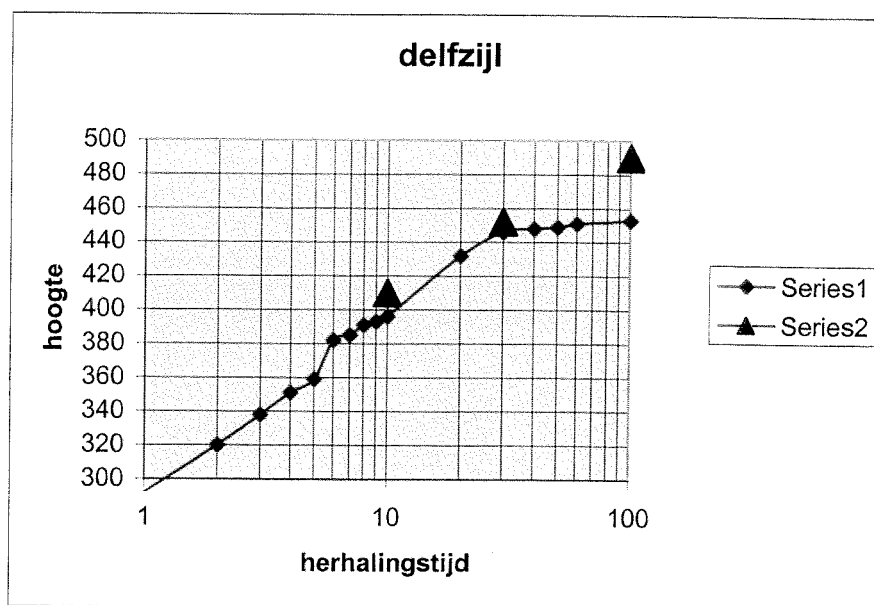
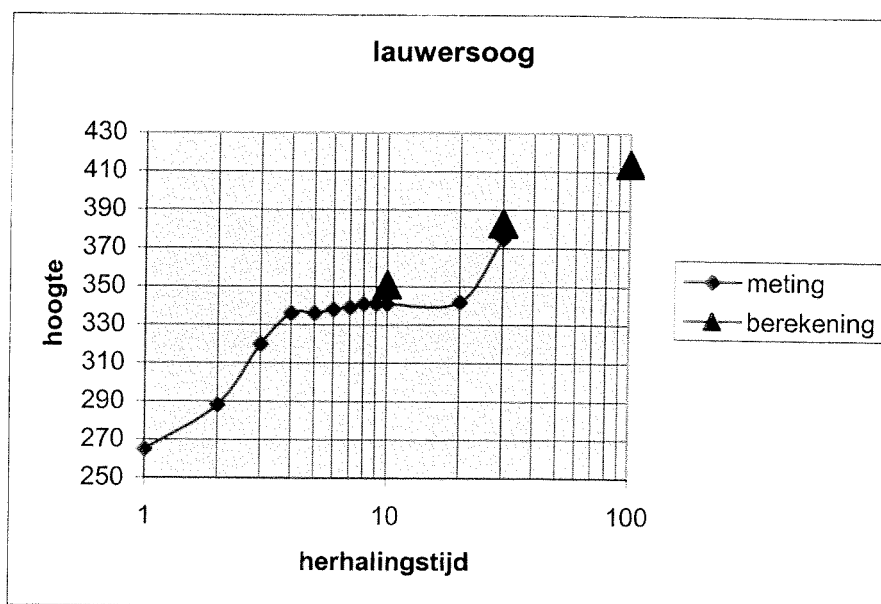
5.2.1 *Metingen/berekeningen Westerschelde*



5.2.2 Metingen/berekeningen Waddengebied







6 Samenvatting en conclusies

6.1 Samenvatting

In dit rapport zijn Hydra-K en PC-Ring berekeningen met elkaar vergeleken voor de hydraulische belastingen in de Westerschelde en het Waddengebied. Deze vergelijking is uitgevoerd in een tweetal studies. In de eerste studie zijn aanzienlijke verschillen geconstateerd waarvoor geen verklaring was. In een aanvullende studie is gezocht naar de oorzaken hiervan.

De uitgangspunten van de beschouwde belastingmodellen zijn:

- de marginale en gecombineerde statistiek van waterstanden en windsnelheden op een aantal meetstations
- berekening lokale waterstanden op basis van triangulaire interpolatie tussen basisstations, aangevuld met een set correcties
- de lokale golfbeschrijvingen op basis van de RAND2001 data base op basis van SWAN-sommen

De relevante meetstations zijn:

deelgebied	Meetstation Waterstand	Meetstation Wind
Westerschelde	Vlissingen Hansweert	Vlissingen (PC-Ring) H. v. Holland (Hydra-K)
Waddenzee West	Harlingen Den Oever Den Helder	Terschelling West
Waddenzee Oost	Lauwersoog Delfzijl Huibersgat Terschelling West	Terschelling West

Voor waterstand en wind wordt per deelgebied uitgegaan van een volledige correlatie tussen de meet/steunpuntstations.

Voor de Westerschelde is in beide programma's uitgegaan van correcties op de waterstanden en een correctie op de windsnelheid van -1 m/s ten oosten van Vlissingen.

Voor de golfploopmodellen wordt in de verschillende programma's uitgegaan van:

	golfoverslagmodel	golfperiode
Hydra-K	TAW-Rapport	$T_{m(-1,0)}$
PC Ring	Van der Meer, versie 2+	$T_p = 1.08 * T_{m(-1,0)}$

Deze verschillende keuze heeft meer een historische dan een technische achtergrond. Om een betere vergelijking mogelijk te maken is echter besloten om extra berekeningen uit te voeren, waarbij in beide programma's gewerkt wordt met hetzelfde overslagmodel, te weten het golfmodel van Van der Meer (versie 2+) met T_p gelijk aan

de echte gemeten waarde. De resultaten van die berekening en zijn opgenomen in Bijlage C. De bespreking van die resultaten wordt in dit hoofdstuk gegeven.

De essentiële verschillen in de berekeningsprocedures tussen PC-Ring en Hydra-K zit in de omgang met de correlatie tussen wind en waterstand. In Hydra-K wordt de methode De Haan toegepast terwijl in PC-Ring wordt gebruik gemaakt van een geparametriseerd model. De beide methoden gaan overigens uit van hetzelfde correlatiemodel, de verschillen zitten alleen in de berekeningsmethode. In hoofdstuk 3 is voor een fictief en gestileerd voorbeeld aangetoond dat de methoden in principe tot dezelfde resultaten aanleiding geven.

De berekeningen zijn gemaakt voor de volgende locaties:

Westerschelde:

- Vlissingen
- Hoofdplaat
- Citterspolder
- Hansweert
- Walsoorden
- Bath

Waddengebied

- Den Helder
- Terschelling
- Harlingen
- Ameland
- Lauwersoog
- Delfzijl
- Breebaart

Berekend zijn de benodigde dijkhoogte voor ontwerp-herhalingstijden van $T = 10, 30, 100, 300, 2000, 4000$ en 10000 jaar en vier deterministische grenstoestanden: a) overloop, b) golfoverslag met $0,1$ liter/sm, c) idem met $1,0$ liter/sm en d) idem 10 met liter/sm. De resultaten voor overloop zijn voor enkel locaties en lage herhalingstijden (minder dan 100 jaar) vergeleken met door RIKZ verstrekte meetresultaten. Voorafgaand aan de “realistische” berekeningen zijn in hoofdstuk 3 beide rekenmodellen voor een *gestileerd geval* vergeleken.

Alle berekeningen in PC-Ring zijn uitgevoerd met behulp van de numerieke integratie techniek in het programma PC-Ring dat daartoe is uitgebreid met een Hydra-K optie. Daarbij is op enkele punten een iets andere opzet gekozen dan in de Hydra-K versie van RIKZ. In PC-Ring wordt de integratie uitgevoerd na een transformatie van de basisvariabelen naar standaard normaal verdeelde variabelen. Verder is in PC-Ring gewerkt met een relatief grote integratiestap. De faalkansberekening is vervolgens uitgevoerd voor een zeer groot aantal dijkhoogten. De invloed van de stapgrootte werd daarmee zichtbaar in de vorm van een “trapjeslijn” voor de faalkans als functie van de dijkhoogte. Vervolgens is het eindresultaat bereikt door kleinste kwadraten-fit (3e graads polynoom) door de trapjeslijn.

6.2 Conclusies

De conclusies van het uitgevoerde onderzoek zijn:

Eerste studie:

- Uit hoofdstuk 3 blijkt dat voor een gestileerd geval de beide methoden (De Haan en geparametriseerde correlatie) geen verschillen van betekenis opleveren.
- Uit hoofdstuk 4 blijkt dat er binnen PC-Ring geen belangrijke verschillen zijn tussen numerieke integratie en FORM.
- Verder geven de programma's zoals te verwachten was relatief kleine verschillen voor het mechanisme Overloop. Deze resultaten zijn volgens hoofdstuk 5 ook uitstekend in overeenstemming met meetgegevens.
- Voor het mechanisme overslag zijn er in hoofdstuk 4 verschillen tussen Hydra-K en PC-Ring geconstateerd tot een maximum van 0.26 m (locatie Walsoorden, 0,1 liter/m/s, herhalingsstijd 10 jaar). In verhouding met een decimeringshoogte van meer van 1 m is dat overigens nog redelijk te noemen.
- In eerste instantie werd gemeend dat de bovengenoemde verschillen het gevolg zouden zijn van de verschillen in golfploopberekening en de keuze van het windstation Hoek van Holland in plaats van Vlissingen in de Hydra-K-berekening voor het Westerscheldegebied. Daarom is een berekening gemaakt met voor beide programma's exact dezelfde uitgangspunten (Van der Meer 2+, de gemeten waarde van T_p en Vlissingen als windstation voor de Westerschelde). Bij dit onderzoek bleken de verschillen alleen maar groter te worden.
- In PC-Ring wordt bij de berekening van golfoverslag uitgegaan van T_p . Als relatie tussen T_p en $T_{m-1,0}$ is aangehouden $T_p = 1.08 T_{m-1,0}$. Dit komt niet overeen met het technisch rapport Golfploop en golfoverslag bij dijken. Hierin wordt aangehouden $T_p = 1.1 T_{m-1,0}$.

Tweede studie:

- Bij de controle van de programmatuur (zie bijlage D) is gebleken dat de overslagmodules (bij de gekozen dijken zonder berm) van PC-Ring en Hydra-K identieke resultaten geven.
- In de invoerbestanden zijn geringe verschillen gevonden. Deze zijn in PC-Ring gecorrigeerd, waarna de verschillende berekeningen opnieuw zijn uitgevoerd.
- De programma's Hydra-K en PC-Ring (zie bijlage D) berekenen op vergelijkbare wijze de grenstoestandsfunctie bij gegeven waarden van de basisstochasten.
- Uit een gestileerd model (zie bijlage D) is gebleken dat de keuze van de waarde voor κ (= het aantal stormgebeurtenissen dat in het faalgebied verschoven wordt) een aanzienlijke invloed kan hebben op de faalkans.
- Uit bijlage E blijkt dat de keuze van de κ -waarde verantwoordelijk is voor de verschillen tussen Hydra-K en PC-Ring. De κ -waarde is afhankelijk van de faalfunctie en dient voor zowel de waterstandscorrectie als faalmechanisme afzonderlijk te worden gekozen.
- Uit bijlage C blijkt dat (bij keuze van $\kappa = 50$ voor overloop en waterstandscorrecties en $\kappa = 150$ voor overslagberekeningen) de verschillen tussen Hydra-K en PC-Ring klein zijn. De beide rekenprogramma's komen goed met elkaar overeen. Voor het mechanisme overslag zijn er verschillen tussen Hydra-K en PC-Ring geconstateerd tot een maximum van 0.32 m. Deze waarde geldt echter voor een herhalingsstijd van 10 jaar, waarvoor de gekozen waarde van $\kappa = 150$ niet is afgeleid.

- Met Hydra-K worden in bijlage C lagere dijkhoogten gevonden dan met PC-Ring. Bij toepassing van de methode de Haan moet de waarde van κ zodanig worden gekozen dat de maximale faalkans wordt berekend. In de huidige versie van Hydra-K wordt echter uitgegaan van een op te geven vaste waarde. De verwachting is dan ook dat de verschillen tussen PC-Ring en Hydra-K nog minder worden indien de waarde van κ voor elke berekening optimaal (volgens de uitgangspunten van de methode de Haan) wordt gekozen.

Op basis van de gevonden gevoeligheid wordt geadviseerd om de keuze van de κ waarde in Hydra-K afhankelijk van het faalmechanisme te kiezen. Bij voorkeur door een automatische procedure, waarbij de κ waarde zodanig wordt gekozen dat de grootste faalkans wordt bereikt.

7 Referenties

- [1] Vrouwenvelder A, en Steenbergen H.: Theorie Handleiding PC-Ring, Deel C, Rekenmethoden, TNO, mei 2001
- [2] De Haan and Resnick, 1978: Limit theory for multivariate sample extremes, *Warscheinlichkeitstheorie, verw, Gebiete*, 40, 317-337
- [3] Dekker, 2002: gegevens waterstand, memo WL | Delft Hydraulics in opdracht van RIKZ
- [4] RIKZ, 1995, De basispeilen langs de Nederlandse kust; De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen, Rapport RIKZ 95,008
- [5] RIKZ, 2000: Richtingsafhankelijke extreme waarden voor HW-standen, golfhoogte en golfperiodes, rapport RIKZ/2000,040, december 2000
- [6] RWS, 1991: Veilig getij, Beheer en gebruik van de stormvloedkering Oosterschelde, ervaring en bijstelling, onderbouwende nota evaluatie Oosterschelde, Nota nr, AX 91,090, Rijkswaterstaat, directie Zeeland, november 1991
- [7] Stroeve, 2000: Toetskader voor steenbekledingen langs de Oosterschelde, concept rapport bouwdienst rijkswaterstaat
- [8] Diermanse, F., Lammers, I., Thonus, B., den Heijer, F., *De Veiligheid van Nederland in Kaart. Fase 1: Belastingmodellen en gegevensverzameling*, WL|delft hydraulics rapport Q3028, maart 2003.
- [9] Vrouwenvelder, A, J. Steenbergen en F. Diermanse, Belastingmodellen Benedenrivierengebied, TNO Bouw Rapport R8014, september 2002.
- [10] Vreugdenhil, B.j., van Noortwijk, J.M. en de Gooijer, C., Hydra-K Functioneel Ontwerp, HKV Lijn in water, Rapport PR313, december 2000.
- [11] Arjen Markus, Functioneel ontwerp HYDRA-K, WL, Rapport M3466..00 versie 1.4, oktober 2002
- [12] Steenbergen, H., en Vrouwenvelder A, Theorie Handleiding PC-Ring, Deel A, Mechanismenbeschrijvingen, TNO Bouw rapport 2003-CI-R0020, april 2003

A Statistische gegevens Westerschelde

	keuze event: jaarmaximum waterstand in Hoek van Holland				
	windsnelheid (m/s)		waterstand (m+NAP)		
jaar	Lichteiland Goeree	Vlissingen	Hoek van Holand	OS11	Vlissingen
1979	18,4	18,4	2,34	2,97	2,47
1980	15	15	2,51	3,39	2,68
1981	16,2	16	2,4	3,1	2,58
1982	17,8	21,1	2,26	3,27	2,57
1983	18,8	21,2	2,64	3,71	2,97
1984	19,2	17,8	2,38	3,22	2,65
1985	16,4	17,5	2,29	2,56	2,32
1986	19,4	20,4	2,44	3,41	2,78
1987	17,9	14,6	2,23	3,18	2,51
1988	13,6	16,2	2,35	3,29	2,79
1989	17	18	2,79	3,34	2,99
1990	22,3	23,1	2,84	3,84	3,09
1991	17,8	18,6	2,32	3,11	2,55
1992	22,5	19	2,28	3,54	2,97
1993	24	20,7	2,65	3,83	3,21
1994	21,7	19,3	2,88	3,86	3,27
1995	18,4	18,1	2,71	3,71	3,16
1996	20,3	19,7	2,53	3,52	2,99
1997	18,6	18,1	1,98	2,65	2,24

B Statistische gegevens Waddenzee

	Noord-Nederland				
	keuze event: jaarmaximum waterstand in Harlingen				
	windsnelheid (m/s)		waterstand (m+NAP)		
jaar	Terschelling	de Kooy	Harlingen	Lauwersoog	Den Helder
1979	18,9	19,6	2,91	2,6	2,31
1980	15,5	16	2,39	2,56	1,63
1981	19,5	19,6	3,03	3,24	2,27
1982	19,5	18,8	2,97	2,84	2,2
1983	23,2	24,2	3,55	3,36	2,7
1984	18,7	18,4	2,89	2,7	2,18
1985	18,2	15,7	2,57	2,64	2,07
1986	17,7	16,9	2,89	2,47	2,2
1987	18,1	13,9	2,49	2,85	1,69
1988	16,4	16,1	2,79	2,58	2,2
1989	20,4	16,1	2,96	2,83	2,53
1990	22,4	22,3	3,66	3,36	2,75
1991	17,2	16	2,99	2,86	2,33
1992	20,7	15,6	2,33	2,39	1,73
1993	21,2	15,8	3,31	3,07	2,65
1994	24,1	16,9	3,44	3,43	2,42
1995	21,2	16,4	3,29	3,2	2,37
1996	15,1	14	2,55	2,68	1,91
1997	11,7	9,3	2,23	2,48	1,55

C Aanvullende berekeningen

De in het hoofdrapport gepresenteerde berekeningsresultaten zijn gebaseerd op het gebruik van $T_{m(-1,0)}$. Om een verklaring te kunnen vinden voor de verschillen zijn er ook aanvullende berekeningen uitgevoerd waarbij is uitgegaan van de piekperiode T_p . In de hierna volgende tabellen zijn de rekenresultaten van deze berekeningen gepresenteerd. Deze tabellen geven per locatie de berekende dijkhoogten weer (in [m] ten opzichte van NAP) voor elk van de genoemde combinaties van faalcriteria en herhalingstijden (in jaren). Verder is telkens voor de herhalingstijd de bijbehorende waarde van de betrouwbaarheidsindex β weergegeven (zie Vrouwenfelder en Steenbergen). De β -waarde wordt in de theorie van de constructie-betrouwbaarheid en ook in PC-Ring gebruikt als maat voor de faalkans. De relatie tussen de beide grootheden wordt gegeven door $\beta = \Phi^{-1}(1-P)$, waarbij $\Phi(..)$ de kansverdeling van de standaard normale verdeling voorstelt. Voor de relatie met de herhalingstijd geldt dan vervolgens:

$$\beta = \Phi^{-1}(1-P) = -\Phi^{-1}(P) \approx -\Phi^{-1}(1/T)$$

De benadering is voldoende voor herhalingstijden groter dan 10 jaar. Globaal komt een betrouwbaarheidsindex β overeen met een herhalingstijd van 10^β jaar.

De vergelijking tussen berekeningen met verschillende stations is opgenomen in bijlage F.

Uit de berekeningen in bijlage E is gebleken dat de keuze voor de waarde van kappa van grote invloed kan zijn op het resultaat van de Hydra-K berekeningen. Volgens de theorie van methode de Haan moet de kappa waarde zodanig worden gekozen dat de maximale faalkans wordt berekend. Omdat een aanpassing van Hydra-K, zodanig dat deze automatisch een correctie waarde voor kappa kiest, een aanzienlijke inspanning is, is besloten te rekenen met goed gekozen vaste waarde voor kappa. Op basis van de berekeningen in bijlage E blijkt dat bij overloopberekeningen en berekeningen voor de waterstandscorrectie een kappa waarde van 50 goede resultaten geeft. Bij overslagberekeningen blijkt dat de kappa waarde aanzienlijk lastiger te kiezen is. De grootste faalkansen worden niet altijd bij de zelfde waarde van kappa gevonden. Een kappa waarde van 150 lijkt een redelijke keuze te zijn. Bij deze keuze zijn de verschillen t.o.v. de maximaal gevonden dijkhoogten/faalkans (zie bijlage E) vaak beperkt. Hierbij moet worden opgemerkt dat de berekeningen in bijlage E alleen herhalingstijden van 2000, 4000 en 10000 jaar betreffen. Voor lagere herhalingstijden kunnen andere waarden voor kappa worden gevonden. Indien de kappa waarde niet optimaal is gekozen betekent dit dat de berekende dijkhoogte te laag wordt berekend. Mogelijk is dit laatste een verklaring voor de gevonden verschillen bij lagere herhalingstijden.

Samenvattend geldt dat de berekeningen met Hydra-K zijn uitgevoerd met kappa = 50 voor de waterstandscorrectie en overloopberekeningen. De overslagberekeningen zijn uitgevoerd met kappa = 150.

C.1 Westerschelde

Tabel C.1 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Vlissingen

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7.96	8.20	-0.24
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	8.66	8.91	-0.25
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	9.44	9.65	-0.21
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	10.11	10.28	-0.17
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	10.82	10.96	-0.14
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	11.21	11.34	-0.13
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	11.59	11.73	-0.14
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	12.09	12.23	-0.14
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6.86	7.06	-0.20
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7.49	7.67	-0.18
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	8.15	8.30	-0.15
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.75	8.85	-0.10
13	overslag	1 l/s/m	1000	3,091	9.36	9.44	-0.08
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9.69	9.78	-0.09
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	10.03	10.11	-0.08
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10.46	10.55	-0.09
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.79	5.93	-0.14
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6.31	6.43	-0.12
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.87	6.96	-0.09
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.36	7.43	-0.07
21	overslag	10 l/s/m	1000	3,091	7.89	7.94	-0.05
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8.18	8.22	-0.04
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.47	8.51	-0.04
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8.83	8.88	-0.05
25	overloop	nvt	10	1,282	3.78	3.80	-0.02
26	overloop	nvt	30	1,834	4.04	4.07	-0.03
27	overloop	nvt	100	2,327	4.34	4.36	-0.02
28	overloop	nvt	300	2,714	4.61	4.63	-0.02
29	overloop	nvt	1000	3,091	4.9	4.92	-0.02
30	overloop	nvt	2000	3,291	5.06	5.08	-0.02
31	overloop	nvt	4000	3,481	5.23	5.24	-0.01
32	overloop	nvt	10000	3,719	5.44	5.45	-0.01

Tabel C.2 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Hoofdplaat

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7.31	7.43	-0.12
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	8.05	7.98	0.07
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8.78	8.78	0.00
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9.46	9.47	-0.01
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	10.21	10.28	-0.07
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10.67	10.76	-0.09
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	11.12	11.25	-0.13
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11.74	11.91	-0.17
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6.44	6.52	-0.08
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7.06	7.01	0.05
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7.71	7.71	0.00
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.29	8.32	-0.03
13	overslag	1 l/s/m	1000	3,091	8.97	9.01	-0.04
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9.35	9.44	-0.09
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9.75	9.86	-0.11
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10.28	10.43	-0.15
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.56	5.61	-0.05
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6.06	6.08	-0.02
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.64	6.64	0.00
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.14	7.16	-0.02
21	overslag	10 l/s/m	1000	3,091	7.71	7.75	-0.04
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8.05	8.11	-0.06
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.38	8.47	-0.09
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8.82	8.94	-0.12
25	overloop	nvt	10	1,282	3.99	4.00	-0.01
26	overloop	nvt	30	1,834	4.27	4.28	-0.01
27	overloop	nvt	100	2,327	4.59	4.59	0.00
28	overloop	nvt	300	2,714	4.87	4.87	0.00
29	overloop	nvt	1000	3,091	5.17	5.18	-0.01
30	overloop	nvt	2000	3,291	5.34	5.35	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	5.52	5.53	-0.01
32	overloop	nvt	10000	3,719	5.75	5.76	-0.01

Tabel C.3 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Citterspolder

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	9.06	9.38	-0.32
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	9.87	10.15	-0.28
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	10.71	10.89	-0.18
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	11.46	11.58	-0.12
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	12.21	12.28	-0.07
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	12.62	12.68	-0.06
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	13.03	13.09	-0.06
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	13.57	13.66	-0.09
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	7.78	8.03	-0.25
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	8.48	8.70	-0.22
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	9.23	9.34	-0.11
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	9.86	9.94	-0.08
13	overslag	1 l/s/m	1000	3,091	10.52	10.56	-0.04
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	10.88	10.92	-0.04
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	11.24	11.29	-0.05
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	11.71	11.78	-0.07
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	6.49	6.68	-0.19
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	7.12	7.25	-0.13
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	7.74	7.80	-0.06
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	8.26	8.32	-0.06
21	overslag	10 l/s/m	1000	3,091	8.83	8.86	-0.03
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	9.15	9.17	-0.02
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	9.45	9.49	-0.04
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	9.85	9.92	-0.07
25	overloop	nvt	10	1,282	3.96	3.97	-0.01
26	overloop	nvt	30	1,834	4.24	4.25	-0.01
27	overloop	nvt	100	2,327	4.55	4.56	-0.01
28	overloop	nvt	300	2,714	4.83	4.84	-0.01
29	overloop	nvt	1000	3,091	5.13	5.14	-0.01
30	overloop	nvt	2000	3,291	5.31	5.31	0.00
31	overloop	nvt	4000	3,481	5.48	5.49	-0.01
32	overloop	nvt	10000	3,719	5.71	5.71	0.00

Tabel C.4 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Hansweert

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7.15	7.45	-0.30
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7.79	8.07	-0.28
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8.47	8.71	-0.24
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9.09	9.29	-0.20
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9.72	9.87	-0.15
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10.07	10.21	-0.14
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10.41	10.54	-0.13
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	10.87	10.98	-0.11
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6.36	6.58	-0.22
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6.92	7.11	-0.19
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7.51	7.68	-0.17
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.04	8.19	-0.15
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8.6	8.70	-0.10
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	8.92	9.00	-0.08
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9.22	9.30	-0.08
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	9.62	9.69	-0.07
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.58	5.72	-0.14
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6.06	6.17	-0.11
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.57	6.67	-0.10
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.02	7.11	-0.09
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7.51	7.56	-0.05
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7.78	7.83	-0.05
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.06	8.09	-0.03
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8.43	8.44	-0.01
25	overloop	nvt	10	1,282	4.39	4.40	-0.01
26	overloop	nvt	30	1,834	4.7	4.70	0.00
27	overloop	nvt	100	2,327	5.04	5.04	0.00
28	overloop	nvt	300	2,714	5.35	5.35	0.00
29	overloop	nvt	1250	3,091	5.68	5.69	-0.01
30	overloop	nvt	2000	3,291	5.88	5.89	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	6.07	6.09	-0.02
32	overloop	nvt	10000	3,719	6.33	6.34	-0.01

Tabel C.5 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Walsoorden

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5.75	5.73	0.02
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	6.23	6.29	-0.06
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6.79	6.86	-0.07
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	7.3	7.37	-0.07
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7.86	7.93	-0.07
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	8.19	8.26	-0.07
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	8.53	8.59	-0.06
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	8.97	9.02	-0.05
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5.34	5.34	0.00
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5.79	5.85	-0.06
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	6.31	6.37	-0.06
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	6.77	6.84	-0.07
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	7.29	7.35	-0.06
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	7.59	7.65	-0.06
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	7.9	7.96	-0.06
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	8.31	8.35	-0.04
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4.96	4.97	-0.01
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5.4	5.41	-0.01
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5.86	5.89	-0.03
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6.28	6.31	-0.03
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	6.74	6.78	-0.04
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7.01	7.06	-0.05
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	7.29	7.33	-0.04
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7.67	7.69	-0.02
25	overloop	nvt	10	1,282	4.53	4.54	-0.01
26	overloop	nvt	30	1,834	4.84	4.85	-0.01
27	overloop	nvt	100	2,327	5.19	5.20	-0.01
28	overloop	nvt	300	2,714	5.5	5.53	-0.03
29	overloop	nvt	1250	3,091	5.86	5.88	-0.02
30	overloop	nvt	2000	3,291	6.06	6.08	-0.02
31	overloop	nvt	4000	3,481	6.26	6.29	-0.03
32	overloop	nvt	10000	3,719	6.53	6.56	-0.03

Tabel C.6 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Bath

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Verschil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7.19	7.45	-0.26
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7.88	8.09	-0.21
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8.59	8.73	-0.14
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9.2	9.30	-0.10
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9.87	9.92	-0.05
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10.26	10.27	-0.01
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10.63	10.62	0.01
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11.15	11.06	0.09
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6.48	6.68	-0.20
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7.09	7.24	-0.15
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7.71	7.81	-0.10
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.26	8.33	-0.07
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8.86	8.88	-0.02
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9.21	9.20	0.01
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9.56	9.52	0.04
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10.02	9.93	0.09
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.79	5.92	-0.13
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6.31	6.41	-0.10
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.86	6.91	-0.05
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.36	7.37	-0.01
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7.89	7.87	0.02
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8.18	8.16	0.02
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.48	8.45	0.03
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8.89	8.83	0.06
25	overloop	nvt	10	1,282	4.75	4.75	0.00
26	overloop	nvt	30	1,834	5.07	5.08	-0.01
27	overloop	nvt	100	2,327	5.43	5.45	-0.02
28	overloop	nvt	300	2,714	5.77	5.79	-0.02
29	overloop	nvt	1250	3,091	6.14	6.16	-0.02
30	overloop	nvt	2000	3,291	6.36	6.38	-0.02
31	overloop	nvt	4000	3,481	6.57	6.60	-0.03
32	overloop	nvt	10000	3,719	6.84	6.89	-0.05

C.2 Waddenzee

Tabel C.7 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Den Helder

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	6.56	6.60	-0.04
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7.24	7.25	-0.01
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	7.99	7.99	0.00
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	8.67	8.65	0.02
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9.37	9.34	0.03
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	9.78	9.73	0.05
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10.16	10.11	0.05
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	10.63	10.58	0.05
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5.59	5.62	-0.03
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6.2	6.20	0.00
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	6.85	6.85	0.00
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	7.44	7.43	0.01
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8.06	8.04	0.02
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	8.4	8.38	0.02
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	8.75	8.71	0.04
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	9.16	9.12	0.04
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4.63	4.65	-0.02
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5.14	5.16	-0.02
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5.71	5.72	-0.01
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6.21	6.21	0.00
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	6.74	6.74	0.00
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	7.04	7.03	0.01
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	7.33	7.31	0.02
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7.7	7.50	0.20
25	overloop	nvt	10	1,282	2.73	2.75	-0.02
26	overloop	nvt	30	1,834	3.04	3.06	-0.02
27	overloop	nvt	100	2,327	3.37	3.38	-0.01
28	overloop	nvt	300	2,714	3.64	3.65	-0.01
29	overloop	nvt	1250	3,091	3.92	3.93	-0.01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4.08	4.09	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4.24	4.24	0.00
32	overloop	nvt	10000	3,719	4.43	4.44	-0.01

Tabel C.8 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Terschelling

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5.15	5.20	-0.05
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	5.71	5.74	-0.03
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6.29	6.31	-0.02
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	6.78	6.77	0.01
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7.26	7.23	0.03
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	7.52	7.47	0.05
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	7.76	7.70	0.06
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	8.07	8.00	0.07
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	4.56	4.57	-0.01
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5.03	5.05	-0.02
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	5.53	5.54	-0.01
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	5.95	5.94	0.01
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	6.36	6.35	0.01
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	6.59	6.56	0.03
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	6.81	6.76	0.05
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	7.08	7.03	0.05
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	3.93	3.95	-0.02
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	4.37	4.36	0.01
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	4.78	4.77	0.01
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	5.14	5.12	0.02
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	5.49	5.47	0.02
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	5.69	5.66	0.03
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	5.87	5.83	0.04
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	6.1	6.06	0.04
25	overloop	nvt	10	1,282	3.03	3.06	-0.03
26	overloop	nvt	30	1,834	3.31	3.33	-0.02
27	overloop	nvt	100	2,327	3.57	3.59	-0.02
28	overloop	nvt	300	2,714	3.79	3.81	-0.02
29	overloop	nvt	1250	3,091	4.03	4.03	0.00
30	overloop	nvt	2000	3,291	4.15	4.16	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4.26	4.27	-0.01
32	overloop	nvt	10000	3,719	4.41	4.42	-0.01

Tabel C.9 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Harlingen

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7.83	7.95	-0.12
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	8.64	8.72	-0.08
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	9.39	9.47	-0.08
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	10.04	10.08	-0.04
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	10.72	10.72	0.00
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	11.09	11.09	0.00
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	11.46	11.45	0.01
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11.89	11.88	0.01
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6.74	6.85	-0.11
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7.44	7.51	-0.07
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	8.08	8.16	-0.08
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.65	8.70	-0.05
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	9.23	9.26	-0.03
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9.56	9.57	-0.01
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9.88	9.89	-0.01
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10.27	10.26	0.01
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.65	5.74	-0.09
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6.24	6.30	-0.06
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.79	6.86	-0.07
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.27	7.32	-0.05
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7.77	7.80	-0.03
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8.05	8.06	-0.01
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.3	8.33	-0.03
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8.64	8.65	-0.01
25	overloop	nvt	10	1,282	3.5	3.55	-0.05
26	overloop	nvt	30	1,834	3.81	3.84	-0.03
27	overloop	nvt	100	2,327	4.11	4.14	-0.03
28	overloop	nvt	300	2,714	4.36	4.38	-0.02
29	overloop	nvt	1250	3,091	4.62	4.63	-0.01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4.75	4.77	-0.02
31	overloop	nvt	4000	3,481	4.89	4.90	-0.01
32	overloop	nvt	10000	3,719	5.06	5.07	-0.01

Tabel C.10 *Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Ameland*

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5.45	5.50	-0.05
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	5.98	6.02	-0.04
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6.52	6.57	-0.05
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	7.01	7.06	-0.05
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7.54	7.59	-0.05
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	7.84	7.89	-0.05
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	8.13	8.20	-0.07
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	8.51	8.55	-0.04
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	4.82	4.87	-0.05
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5.3	5.33	-0.03
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	5.78	5.82	-0.04
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	6.22	6.26	-0.04
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	6.67	6.72	-0.05
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	6.94	6.99	-0.05
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	7.2	7.26	-0.06
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	7.53	7.57	-0.04
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4.19	4.24	-0.05
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	4.61	4.65	-0.04
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5.05	5.08	-0.03
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	5.41	5.46	-0.05
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	5.81	5.86	-0.05
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	6.05	6.08	-0.03
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	6.27	6.31	-0.04
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	6.55	6.59	-0.04
25	overloop	nvt	10	1,282	3.24	3.27	-0.03
26	overloop	nvt	30	1,834	3.52	3.54	-0.02
27	overloop	nvt	100	2,327	3.81	3.82	-0.01
28	overloop	nvt	300	2,714	4.05	4.06	-0.01
29	overloop	nvt	1250	3,091	4.3	4.31	-0.01
30	overloop	nvt	2000	3,291	4.43	4.44	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	4.57	4.57	0.00
32	overloop	nvt	10000	3,719	4.73	4.74	-0.01

Tabel C.11 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Lauwersoog

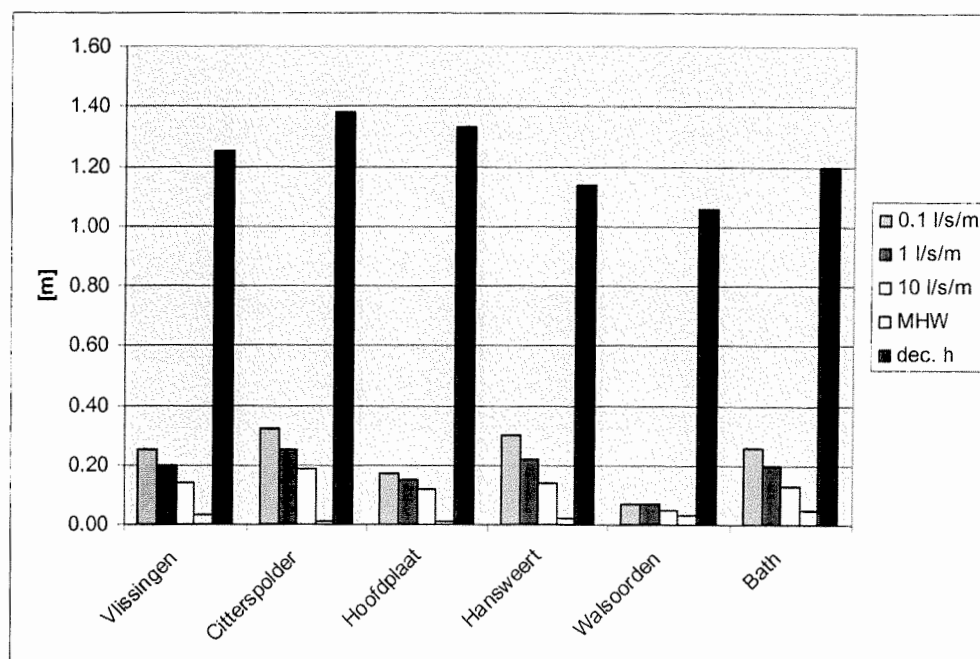
nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	7.88	7.94	-0.06
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	8.69	8.73	-0.04
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	9.6	9.55	0.05
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	10.42	10.39	0.03
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	11.3	11.32	-0.02
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	11.74	11.87	-0.13
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	12.15	12.37	-0.22
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	12.71	12.97	-0.26
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	6.74	6.81	-0.07
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	7.45	7.49	-0.04
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	8.21	8.21	0.00
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.95	8.92	0.03
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	9.69	9.70	-0.01
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	10.09	10.16	-0.07
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	10.48	10.57	-0.09
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10.95	11.09	-0.14
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.61	5.68	-0.07
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	6.22	6.26	-0.04
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.85	6.87	-0.02
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.45	7.45	0.00
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	8.09	8.08	0.01
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8.43	8.46	-0.03
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.77	8.79	-0.02
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	9.18	9.21	-0.03
25	overloop	nvt	10	1,282	3.49	3.52	-0.03
26	overloop	nvt	30	1,834	3.8	3.82	-0.02
27	overloop	nvt	100	2,327	4.13	4.14	-0.01
28	overloop	nvt	300	2,714	4.39	4.40	-0.01
29	overloop	nvt	1250	3,091	4.68	4.68	0.00
30	overloop	nvt	2000	3,291	4.83	4.83	0.00
31	overloop	nvt	4000	3,481	4.98	4.98	0.00
32	overloop	nvt	10000	3,719	5.17	5.17	0.00

Tabel C.12 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Delfzijl

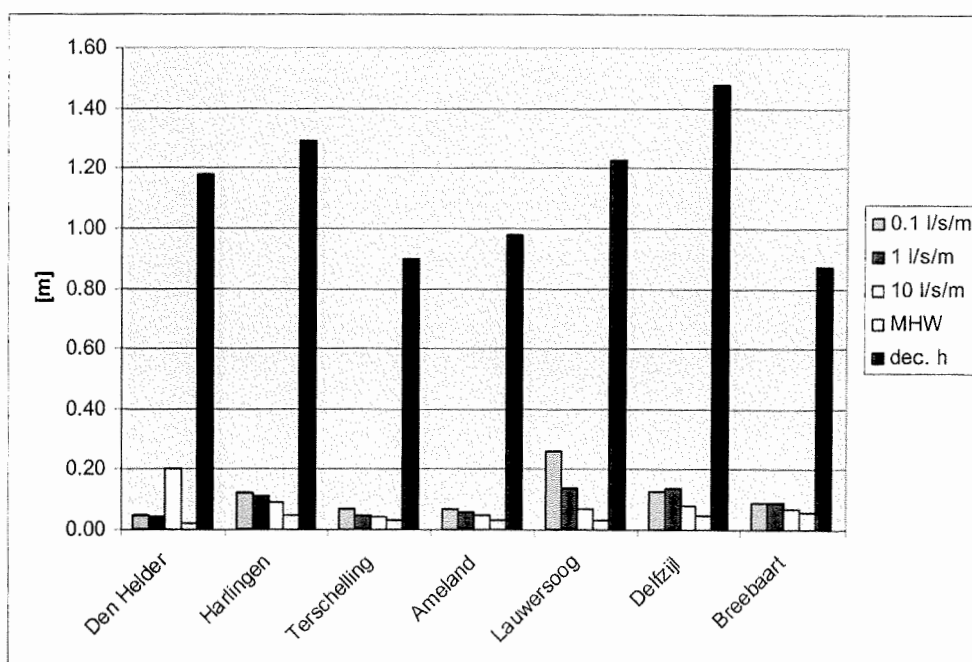
nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	6.53	6.66	-0.13
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	7.43	7.56	-0.13
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	8.37	8.50	-0.13
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	9.17	9.26	-0.09
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	9.98	10.05	-0.07
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	10.43	10.51	-0.08
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	10.87	10.94	-0.07
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	11.42	11.48	-0.06
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	5.84	5.95	-0.11
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	6.63	6.74	-0.11
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	7.42	7.56	-0.14
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	8.15	8.23	-0.08
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	8.88	8.93	-0.05
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	9.25	9.33	-0.08
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	9.63	9.71	-0.08
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	10.12	10.18	-0.06
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	5.18	5.26	-0.08
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5.87	5.93	-0.06
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	6.55	6.63	-0.08
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	7.13	7.21	-0.08
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	7.75	7.81	-0.06
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	8.1	8.16	-0.06
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	8.42	8.48	-0.06
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	8.83	8.89	-0.06
25	overloop	nvt	10	1,282	4.06	4.11	-0.05
26	overloop	nvt	30	1,834	4.46	4.50	-0.04
27	overloop	nvt	100	2,327	4.86	4.89	-0.03
28	overloop	nvt	300	2,714	5.2	5.22	-0.02
29	overloop	nvt	1250	3,091	5.55	5.57	-0.02
30	overloop	nvt	2000	3,291	5.74	5.75	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	5.92	5.94	-0.02
32	overloop	nvt	10000	3,719	6.15	6.17	-0.02

Tabel C.13 Berekende dijkhogten (in [m] t.o.v. NAP) voor locatie Breebaart

nr	Mechanisme	criterium	T (1 jaar)	beta (1 jaar)	Hydra-K (1 jaar)	PC-Ring (1 jaar)	Vershil
						FORM	
1	overslag	0,1 l/s/m	10	1,282	5.12	5.17	-0.05
2	overslag	0,1 l/s/m	30	1,834	5.72	5.79	-0.07
3	overslag	0,1 l/s/m	100	2,327	6.31	6.37	-0.06
4	overslag	0,1 l/s/m	300	2,714	6.78	6.84	-0.06
5	overslag	0,1 l/s/m	1000	3,091	7.25	7.34	-0.09
6	overslag	0,1 l/s/m	2000	3,291	7.52	7.60	-0.08
7	overslag	0,1 l/s/m	4000	3,481	7.79	7.86	-0.07
8	overslag	0,1 l/s/m	10000	3,719	8.11	8.16	-0.05
9	overslag	1 l/s/m	10	1,282	4.91	4.94	-0.03
10	overslag	1 l/s/m	30	1,834	5.45	5.51	-0.06
11	overslag	1 l/s/m	100	2,327	5.99	6.04	-0.05
12	overslag	1 l/s/m	300	2,714	6.42	6.48	-0.06
13	overslag	1 l/s/m	1250	3,091	6.86	6.95	-0.09
14	overslag	1 l/s/m	2000	3,291	7.11	7.19	-0.08
15	overslag	1 l/s/m	4000	3,481	7.36	7.44	-0.08
16	overslag	1 l/s/m	10000	3,719	7.67	7.72	-0.05
17	overslag	10 l/s/m	10	1,282	4.69	4.73	-0.04
18	overslag	10 l/s/m	30	1,834	5.18	5.23	-0.05
19	overslag	10 l/s/m	100	2,327	5.68	5.72	-0.04
20	overslag	10 l/s/m	300	2,714	6.08	6.13	-0.05
21	overslag	10 l/s/m	1250	3,091	6.49	6.56	-0.07
22	overslag	10 l/s/m	2000	3,291	6.73	6.79	-0.06
23	overslag	10 l/s/m	4000	3,481	6.95	7.02	-0.07
24	overslag	10 l/s/m	10000	3,719	7.24	7.29	-0.05
25	overloop	nvt	10	1,282	4.46	4.52	-0.06
26	overloop	nvt	30	1,834	4.88	4.93	-0.05
27	overloop	nvt	100	2,327	5.32	5.35	-0.03
28	overloop	nvt	300	2,714	5.67	5.70	-0.03
29	overloop	nvt	1250	3,091	6.04	6.06	-0.02
30	overloop	nvt	2000	3,291	6.24	6.25	-0.01
31	overloop	nvt	4000	3,481	6.42	6.44	-0.02
32	overloop	nvt	10000	3,719	6.67	6.68	-0.01



Figuur C.1: Verschillen in berekende dijkhoogte [m] tussen Hydra-K en PC-Ring voor de Westerschelde



Figuur C.2: Verschillen in berekende dijkhoogte [m] tussen Hydra-K en PC-Ring voor de Waddenzee

D Controle programmatuur

In de periode t/m augustus 2003 is een vergelijking gemaakt tussen Hydra-K en PC-Ring voor de belastingmodellen Westerschelde / Waddenzee. Bij de uitvoering van deze vergelijking zijn een aantal grote verschillen geconstateerd. Om deze verschillen te verklaren is in november en december 2003 een aanvullend onderzoek uitgevoerd. Fase 1 van dit aanvullend onderzoek betreffen de activiteiten:

1. Controle of de overslagmodules inderdaad identiek zijn voor beide programma's;
2. Controle van andere invoergegevens, deze moeten precies gelijk zijn voor beide programma's;
3. Controle op fouten in de programmatuur van zowel Hydra-K als PC-Ring;
4. Controle of de modellering volgens de Haan (verschuiven van de punten) en die volgens PC-Ring (geparametriseerd correlatiemodel) de oorzaak is van het verschil;
5. Vinden van alternatieve oplossingen, indien noodzakelijk. Dit betekent aanpassing van de belastingmodellen waarbij correcte formuleringen worden gebruikt en dat er tevens vergelijkbare uitkomsten worden gegenereerd.
6. Berekeningen maken voor de reeds geselecteerde 14 locaties (6 in Westerschelde en 7 in Waddenzee) voor het faalmechanisme overslag met 1 l/m/s en 8 terugkeertijden 10, 30, 100, 300, 1000, 2000, 4000 en 10000 jaar;
7. Verwerken resultaten in het reeds uitgebrachte rapport.

Deze bijlage beschrijft van dit aanvullend onderzoek de activiteiten 1, 2 en 3 van fase 1. De activiteiten 4 en 5 zijn verwerkt in bijlage E. De activiteiten 6 en 7 zijn op meerdere plaatsen in de rapportage verwerkt.

D.1 Overslagformules

D.1.1 Beschikbare overslagmodules

Zowel in Hydra-K als in PC-Ring zijn meerdere golfoverslag modules opgenomen. Hieronder volgt een korte beschrijving van de verschillende overslagmodulen en de keuze van de overslagmodule voor de vergelijking.

In Hydra-K zijn een tweetal golfoverslag modules geïmplementeerd. Eén model volgens het oude golfoverslagmodel (gebaseerd op T_p) en één model volgens het nieuwe golfoverslagmodel (gebaseerd op $T_{m-1,0}$). Het oude golfoverslagmodel is beschreven in bijlage D (met verwijzingen naar bijlage C) van [10]. Het nieuwe golfoverslagmodel is beschreven in [11].

In PC-Ring zijn meerdere golfoverslagmodellen geïmplementeerd. Dit betreffen onder andere een model volgens de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, een model volgens van der Meer (ONIN studie) en een model volgens van der Meer (herzien). Voor dit project is alleen het laatste model (model 7) relevant. Dit model is gebaseerd op het oude golfoverslagmodel (op basis van T_p). Een beschrijving van dit model is te vinden in bijlage A.3 van [12]. Dit model is een voorloper van het model in Hydra-K.

Omdat PC-Ring en Hydra-K alleen vergelijkbare resultaten moeten geven indien gebruik wordt gemaakt van de oude golfoverslagformules hebben alle gerapporteerde

vergelijkingsberekeningen alleen betrekking op de berekeningen met de oude golfoverslagformules.

D.1.2 Controle overslagmodules

Bij de controle van de overslagmodules zijn geen belangrijke verschillen geconstateerd. Enige geconstateerde verschillen zijn:

- In de formule voor het overslagdebiet van brekende golven wordt in Hydra-K gebruik gemaakt van een reductiefactor voor de invloed van een berm. In PC-Ring ontbreekt deze. In de vergelijkingssommen ontbreken de bermen, zodat hierdoor geen verschillen worden veroorzaakt.
- In PC-Ring kunnen geen verticale wanden worden toegepast. In Hydra-K wordt deze factor alleen vermeld, echter niet uitgewerkt. In de vergelijkingssommen worden geen verticale wanden toegepast.
- In Hydra-K wordt een andere formule voor $z_{2\%}$ gebruikt dan in PC-Ring. Omdat er in de vergelijkingssommen geen gebruik wordt gemaakt van bermen wordt deze factor in de berekening niet gebruikt.
- In Hydra-K wordt gebruik gemaakt van de kruinhoogte, terwijl PC-Ring werkt met de buitenkruinlijn. Dit levert geen verschillen op omdat in Hydra-K altijd wordt uitgegaan van een horizontale kruin.
- In Hydra-K wordt geen correctie op de invloedsfactor van een berm toegepast voor golven met een grote golfsteilheid. In de vergelijkingssommen ontbreken de bermen, zodat hierdoor geen verschillen worden veroorzaakt.

Op basis van de beschrijvingen mogen dus geen verschillen worden veroorzaakt door de berekening van het overslagdebiet uit de lokale belastingen. Deze conclusie is alleen geldig indien er geen bermen zijn toegepast in de vergelijkende berekening.

De gevonden conclusie is gecontroleerd aan de hand van controleberekeningen van het designpunt. Hiertoe zijn de beide rekenroutines losgemaakt van de beide programma's. Een vergelijking van resultaten geeft aan dat met beide programma's identieke waarden voor het overslagdebiet worden gevonden.

Geconcludeerd kan worden dat de oorzaak van de verschillen tussen Hydra-K en PC-Ring niet worden veroorzaakt door de golfoverslagmodule.

D.2 Invoergegevens

D.2.1 Wind- en waterstandstatistiek

Op basis van de invoer van PC-Ring en Hydra-K is de wind- en waterstandstatistiek met elkaar vergeleken. Beide invoeren zijn op dezelfde gegevens gebaseerd. Hierin werden geen verschillen geconstateerd.

D.2.2 Geometriegegevens.

Voor alle locaties is uitgegaan van dezelfde geometrie voor het dijkprofiel. Voor de locatie Vlissingen is er een verschil geconstateerd voor de oriëntatie van de dijknormaal. PC-Ring gaat uit van een oriëntatie van 180 graden, terwijl in Hydra-K wordt uitgegaan van 169.2 graden. De invloed van dit verschil is aanzienlijk. (0.30 à 0.40 m).

D.2.3 *Nearshore condities:*

Voor de golven wordt uitgegaan van de Rand 2001 database (SWAN). In beide programma's zijn dezelfde gegevens gebruikt. Bij een nauwkeurige controle is gebleken dat in de bestanden voor Delfzijl en Breebaart met als golfperiode T_p de gegevens voor de 330 en 360 graden ontbraken. Hierdoor geven eerdere berekeningen voor Delfzijl en Breebaart een te lage dijkhoogte.

D.3 **Programmatuur**

Controle op fouten in de programmatuur

Voor een tweetal locaties zijn de berekeningen van PC-Ring en Hydra-K nauwkeurig langs elkaar gelegd; meer in het bijzonder het traject van offshore condities (wind en waterstand) tot nearshore belasting (overslagdebiet). Dit traject is namelijk identiek opgezet in PC-Ring en HYDRA-K en moet derhalve bij gelijke invoer dezelfde uitkomsten geven.

Bij deze vergelijking is uitgegaan van de windrichting met de grootste bijdrage aan de faalkans en de waarden van het designpunt van PC-Ring voor deze windrichting. Met behulp van de debugger zijn de verschillende berekenings-stappen met elkaar vergeleken.

Bij de vergelijking van de berekeningsstappen is gebleken dat de werkwijze in beide programma's vergelijkbaar is.

Voor een tweetal locaties zijn in het designpunt de resultaten van beide programma's met elkaar vergeleken. Dit betreffen de locaties Vlissingen en Hansweert. In beide vergelijkingen is uitgegaan van een identieke correctie van de berekende waterstand.

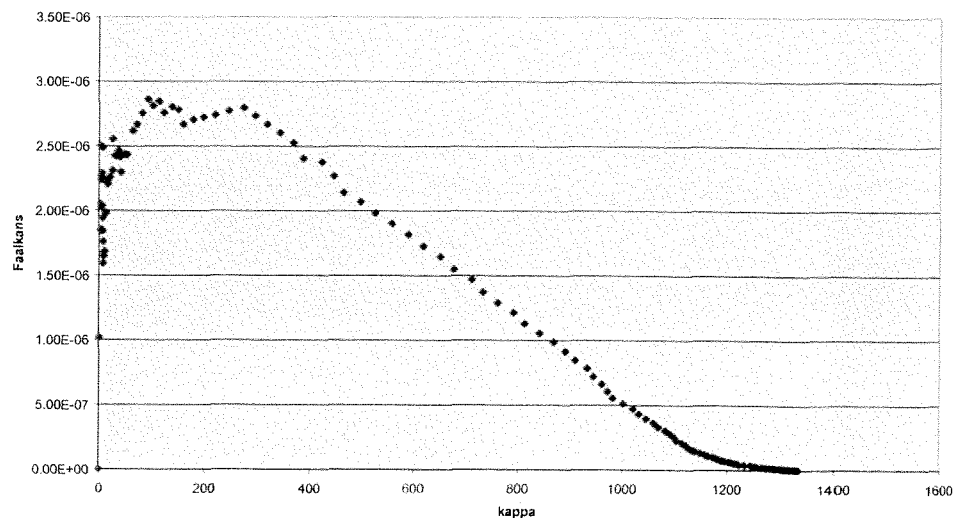
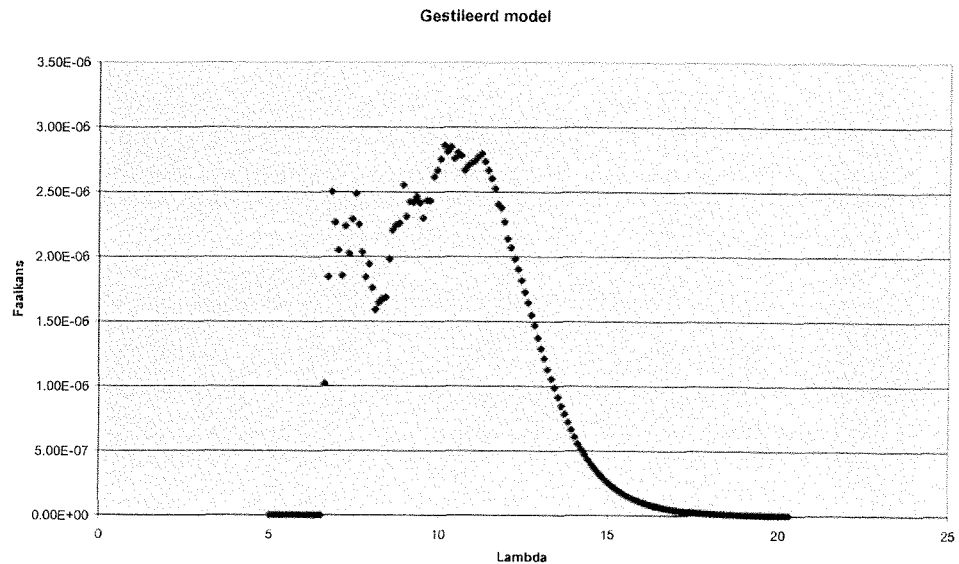
Als invoer is gekozen de windsnelheid en de waterstand bij Vlissingen. Indien de resultaten met elkaar worden vergeleken blijkt dat uit beide programma's vergelijkbare resultaten volgen. De berekeningswijze van het overslagdebiet uit de gegeven offshore condities (waterstand en windsnelheid) lijkt dus in orde.

Tenslotte is gecontroleerd of het designpunt in Hydra-K overeen komt met het designpunt in PC-Ring. Hiervoor is uitgegaan van een berekening voor Hansweert met een dijkhoogte van 8.80 m + NAP. Indien een PC-Ring berekening wordt uitgevoerd met een gelijke dijkhoogte blijkt dat het designpunt identiek is. Dit bevestigt de eerdere constatering dat de verschillen tussen PC-Ring en Hydra-K niet moeten worden gezocht in de berekeningswijze van het overslagdebiet uit de gegeven offshore condities (waterstand en windsnelheid). Met andere woorden: de verschillen kunnen alleen worden veroorzaakt door de behandeling van de statistiek.

Gestileerd model

(Mede) ten behoeve van deze studie is een gestileerde model ontwikkeld van de statistische methoden te kunnen vergelijken. Met een "gestileerd model" wordt bedoeld dat de modellen ontdaan zijn van de complexe en rekenintensieve onderdelen (zoals triangulaire interpolatie van waterstanden en golfbrandvoorwaarden berekeningen met het model SWAN), waardoor analytische berekeningen uitgevoerd kunnen worden. Doel van een dergelijke studie is om de kern van de beide methoden bloot te leggen en de wezenlijke verschillen en overeenkomsten te kunnen vastleggen.

Met dit gestileerde model zijn berekeningen gemaakt voor een grenstoestandsfunctie die een functie is van de maximale waterstand en de bijbehorende windsnelheid. Voor de stormen is gebruik gemaakt van de stormen voor de Westerschelde (Vlissingen). In deze berekeningen is de verschuivingsterm λ gevarieerd. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in onderstaande figuren. In de eerste figuur is de berekende faalkans uitgezet als functie van de verschuivingsterm λ . In de tweede figuur is de faalkans uitgezet als functie van κ .



Op basis van de theorie wordt een grafiek (als functie van λ) verwacht met een aanlooptraject (waarin de faalkans toeneemt), een nagenoeg horizontaal plateau en een aflopende tak. De faalkans moet gelijk gekozen worden aan de maximale faalkans van het horizontale plateau.

Met het gestileerde model (met hierin opgenomen de geselecteerde stormen) blijkt dat niet duidelijk sprake is van een horizontaal traject. De keuze van $\kappa = 50$ lijkt te laag. Voor het gekozen model lijkt een keuze van $\kappa = 100$ á 300 beter. Dit is echter sterk afhankelijk van de grenstoestandsfunctie. Er is gebleken dat de keuze van κ (= het

aantal stormgebeurtenissen dat in het faalgebied verschoven wordt) mogelijk van wezenlijk belang is.

Om dit te toetsen zijn enige Hydra-K berekeningen uitgevoerd met een hogere waarde van κ (200 i.p.v. 50). De resultaten van de berekeningen laten aanzienlijke verschillen zien. Een eerste indruk laat zien dat hiermee mogelijk de verschillen worden verklaard. Dit is nader onderzocht in bijlage E.

E Controle modellering volgens de Haan

E.1 Inleiding

De methode de Haan gaat uit van het principe dat de correlatiestructuur tussen twee of meer variabelen die is waargenomen gedurende een periode van meten, behouden blijft voor gebeurtenissen in het extreme bereik (d.w.z. het bereik van gebeurtenissen die zo extreem zijn dat ze nog niet zijn waargenomen). Het principe van de methode de Haan komt voort uit de aanname van asymptotische afhankelijkheid tussen windsnelheid en waterstand. Het behoud van de correlatiestructuur betekent in praktische zin een verschuiving langs de diagonaal in het standaard exponentiële vlak op de wijze zoals in Figuur 7.1 is weergegeven.

Voor een gegeven dijkprofiel wordt de jaarlijkse faalfrequentie als volgt afgeleid:

$$\nu = \frac{\kappa \exp(-\lambda)}{\Delta}$$

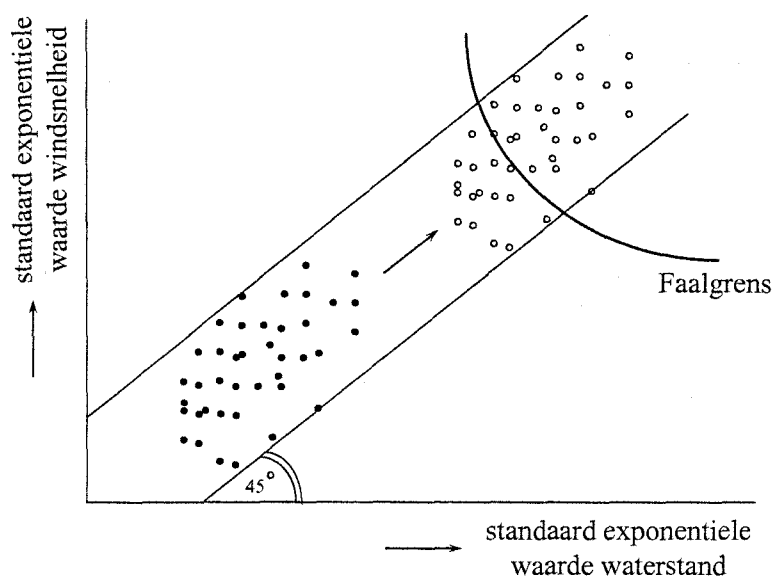
Waarin:

ν = de jaarlijkse faalfrequentie.

κ = het aantal punten dat in het faalgebied verschoven is.

λ = de uitgevoerde verschuiving in het exponentiële vlak.

Δ = de lengte van de periode waarin de waarnemingen verzameld zijn.



Figuur 7.1 verschuiving van waarnemingen in het standaard exponentiële vlak

De waarde van κ (kappa) dient door de gebruiker opgegeven te worden. In het ideale geval is de faalfrequentie onafhankelijk van κ , maar in de praktijk is dat niet het geval. In dit memo wordt een beeld gegeven van de invloed van de waarde van κ op de uitkomsten van HYDRA-K.

E.2 Invloed van κ op de waterstandscorrectie

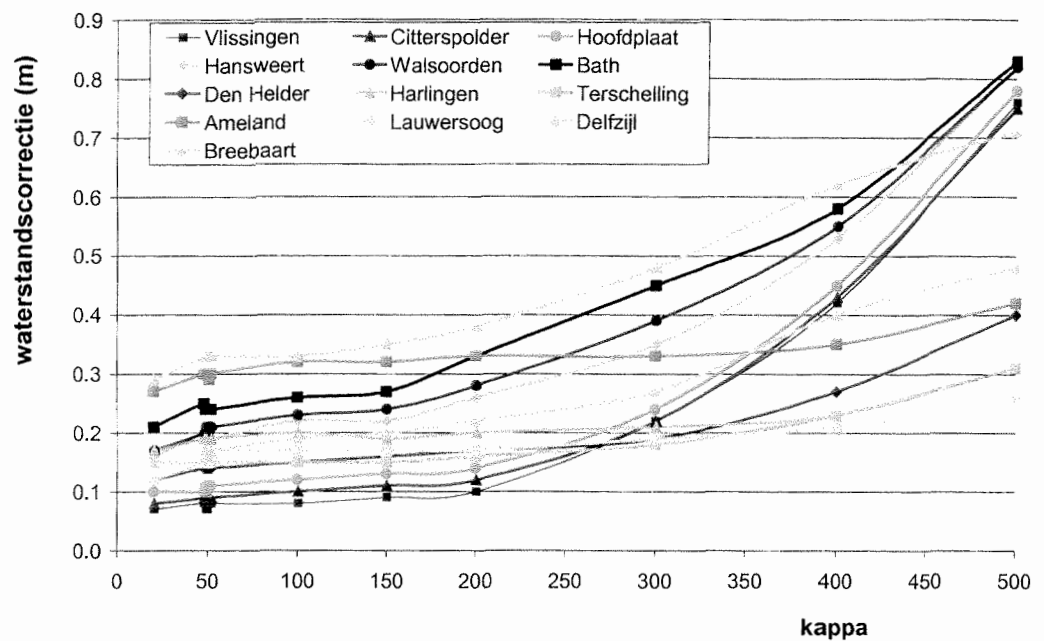
Binnen HYDRA-K (en PC-Ring) wordt een correctie toegepast op de berekende waterstand om er zorg voor te dragen dat de waterstand bij de normfrequentie gelijk is aan het toetspeil, zoals dat voor het randvoorwaardenboek 2001 bepaald is. De grootte van deze correctie wordt als volgt bepaald:

1. Voer een eerste berekening uit van de (maatgevende) waterstand, h , bij de normfrequentie.
2. Lees het toetspeil, H_T , uit de database profielen.mdb.
3. Bereken het verschil $\Delta = H_T - h$.

De waarde van Δ is de correctie en deze wordt in de vervolgberekeningen binnen HYDRA-K opgeteld bij de berekende nearshore waterstand. De uitkomst van stap 1 is afhankelijk van de waarde van κ en dat betekent dat de waterstandscorrectie dat ook is (zie Tabel 7.1 en Figuur 7.2). Het gevolg is dat de waterstandscorrectie van invloed is op het verloop van de berekende dijkhoogte als functie van κ .

Tabel 7.1 Waterstandscorrecties [m] binnen HYDRA-K als functie van κ .

Locatie	κ (kappa)											
	20	48	49	50	51	52	100	150	200	300	400	500
Vlissingen	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.22	0.42	0.76
Citterspolder	0.08	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.22	0.43	0.75
Hoofdplaat	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.24	0.45	0.78
Hansweert	0.16	0.20	0.19	0.19	0.18	0.19	0.22	0.22	0.26	0.35	0.53	0.82
Walsoorden	0.17	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21	0.23	0.24	0.28	0.39	0.55	0.82
Bath	0.21	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.26	0.27	0.33	0.45	0.58	0.83
Den Helder	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.27	0.40
Harlingen	0.17	0.19	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.19	0.20	0.21	0.23	0.31
Terschelling	0.12	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.18	0.23	0.31
Ameland	0.27	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.32	0.32	0.33	0.33	0.35	0.42
Lauwersoog	0.12	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.19	0.21	0.26
Delfzijl	0.15	0.15	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.27	0.40	0.48
Breebaart	0.29	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.35	0.38	0.48	0.62	0.71



Figuur 7.2 Waterstandscorrecties [m] binnen HYDRA-K als functie van κ .

Om dit laatste effect uit de resultaten te filteren worden extra berekeningen uitgevoerd waarin de waterstandscorrectie constant is gekozen, d.w.z. onafhankelijk van κ . De waarde van de correctie is daarbij voor elke locatie gelijk gekozen aan de correctie die in PC-Ring wordt toegepast (zie Tabel 7.2).

Tabel 7.2 Waterstandscorrecties [m] binnen PC-Ring voor 13 locaties.

locatie	X	Y	Correctie
Vlissingen	29571	384983	0.04
Citterspolder	38356	383762	0.04
Hoofdplaat	35953	377341	0.05
Hansweert	58494	385061	0.13
Walsoorden	61216	377326	0.14
Bath	72786	379646	0.17
Den Helder	111752	553252	0.05
Harlingen	158069	579713	0.12
Terschelling	148188	598283	0.08
Ameland	173403	604338	0.24
Lauwersoog	207445	603479	0.08
Delfzijl	257559	595851	0.09
Breebaart	268110	590661	0.25

E.3 Testberekeningen

Om het effect van de keuze van κ te bepalen zijn kruinhoogte-berekeningen verricht voor verschillende waarden van κ , nl. $\kappa = 20, 48, 49, 50, 51, 52, 100, 150, 200, 300, 400$, en 500 . De berekeningen zijn gemaakt voor de volgende locaties:

Westerschelde:

- Vlissingen
- Hoofdplaat
- Citterspolder
- Hansweert
- Walsoorden
- Bath

Waddenzee:

- Den Helder
- Harlingen
- Terschelling
- Ameland
- Lauwersoog
- Delfzijl
- Breebaart

Berekend is de benodigde dijkhoogte voor ontwerp-herhalingstijden van $T = 2.000, 4.000$ en 10.000 jaar en vier deterministische grenstoestanden: a) golfoverslag met $0,1$ liter/sm, b) golfoverslag met $1,0$ liter/sm, c) golfoverslag 10 met liter/sm en d) overloop. Bij de berekeningen is telkens de piekperiode T_p gebruikt als invoer van de overslagmodule en de oploopmodule.

Bovenstaande exercitie is twee keer uitgevoerd, nl. één keer met de reguliere waterstandscorrectie van HYDRA-K (die afhankelijk is van de keuze van κ) en één keer met de waterstandscorrectie van PC-Ring (onafhankelijk van de keuze van κ , zie Tabel 7.2). De resultaten van de eerste exercitie zijn weergegeven in hoofdstuk E.4; de resultaten van de tweede exercitie staan in hoofdstuk E.5. Beide hoofdstukken bevatten voor elke locatie één tabel en één figuur. De tabellen bevatten de uitkomsten van HYDRA-K voor de verschillende herhalingstijden en faalcriteria. De figuren geven voor elke doorgerekende waarde van κ de verschillen weer met de uitkomsten van de default κ -waarde ($\kappa=50$). De belangrijkste conclusies die uit de figuren en tabellen volgen zijn:

- Het verloop van de berekende kruinhoogte als functie van κ verschilt sterk van locatie tot locatie.
- Voor elke locatie afzonderlijk geldt dat het verloop van de berekende kruinhoogte als functie van κ doorgaans grote overeenkomsten vertoont voor de verschillende faalcriteriums en herhalingstijden. Het effect van een andere keuze κ is dus veel minder sterk afhankelijk van de herhalingstijd en het faalcriterium dan van de locatie-keuze.
- In het geval de reguliere (κ -afhankelijke) correctie wordt uitgevoerd in HYDRA-K zijn de berekende dijkhoogten voor het faalmechanisme “overloop” veel minder

gevoelig voor de keuze van κ dan voor het faalmechanisme “overslag” (zie hoofdstuk E.4). Dit komt doordat de waterstandscorrectie in gelijke mate afhangt van κ als de overloop-hoogte. Het toepassen van de waterstandscorrectie zorgt er daarom voor dat de variatie in de berekende dijkhoogte grotendeels wordt weggewerkt. Wanneer de contante waterstandscorrectie wordt toegepast is duidelijk te zien dat de overloopsommen wel gevoelig zijn voor de keuze van κ (zie hoofdstuk E.5).

- Indien de constante waterstandscorrectie wordt toegepast kan voor de overslagsommen telkens een κ -waarde bepaaldt worden ($\kappa_{\max}$) die een maximale dijkhoogte geeft (zie hoofdstuk E.5). Met name voor waarden van κ die groter zijn dan $\kappa_{\max}$ is daarbij zichtbaar dat de dijkhoogte sterk afneemt voor toenemende waarde van κ . Met de reguliere waterstandscorrectie is dat niet altijd het geval (zie bijvoorbeeld de resultaten van Bath en Hansweert, Figuur 7.6 en Figuur 7.8).

E.4 Overzicht resultaten (I)

In dit hoofdstuk staan de rekenresultaten van HYDRA-K voor meerdere waarden van κ . De waterstandscorrectie is met HYDRA-K berekend voor de gekozen waarde van κ .

Tabel 7.3 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Vlissingen

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.87	11.26	11.74	9.40	9.75	10.19	7.99	8.27	8.65	5.10	5.25	5.47
48	11.06	11.46	11.97	9.57	9.92	10.34	8.11	8.39	8.75	5.09	5.25	5.46
49	11.06	11.47	11.97	9.56	9.92	10.35	8.10	8.39	8.74	5.09	5.25	5.46
50	11.06	11.46	11.95	9.55	9.91	10.34	8.09	8.37	8.74	5.08	5.25	5.45
51	11.05	11.44	11.96	9.56	9.91	10.33	8.10	8.38	8.75	5.08	5.25	5.45
52	11.05	11.45	11.97	9.57	9.91	10.34	8.09	8.37	8.75	5.08	5.25	5.46
100	11.20	11.59	12.09	9.65	9.99	10.43	8.14	8.44	8.81	5.08	5.25	5.46
150	11.25	11.63	12.13	9.72	10.07	10.49	8.22	8.50	8.87	5.09	5.25	5.46
200	11.26	11.65	12.14	9.74	10.07	10.51	8.23	8.52	8.87	5.09	5.25	5.46
300	11.24	11.59	12.04	9.74	10.06	10.48	8.27	8.56	8.91	5.12	5.25	5.43
400	11.18	11.49	11.86	9.67	9.93	10.26	8.20	8.44	8.74	5.12	5.25	5.43
500	11.42	11.76	12.17	9.91	10.20	10.54	8.42	8.66	8.94	5.15	5.25	5.38

Tabel 7.4 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Citterspolder

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	12.36	12.79	13.37	10.66	11.07	11.57	9.01	9.34	9.77	5.34	5.50	5.73
48	12.43	12.86	13.42	10.76	11.12	11.61	9.04	9.38	9.79	5.32	5.50	5.73
49	12.45	12.88	13.42	10.76	11.13	11.63	9.05	9.39	9.78	5.32	5.50	5.73
50	12.45	12.88	13.42	10.76	11.14	11.61	9.05	9.38	9.78	5.32	5.50	5.73
51	12.44	12.87	13.42	10.75	11.12	11.62	9.05	9.38	9.78	5.32	5.50	5.73
52	12.45	12.88	13.44	10.75	11.14	11.63	9.06	9.39	9.79	5.32	5.50	5.73
100	12.60	12.99	13.54	10.86	11.23	11.71	9.13	9.45	9.87	5.34	5.50	5.73
150	12.65	13.06	13.60	10.91	11.27	11.74	9.17	9.47	9.88	5.33	5.50	5.73
200	12.66	13.05	13.57	10.91	11.26	11.72	9.17	9.46	9.87	5.33	5.50	5.72
300	12.71	13.09	13.62	10.94	11.28	11.74	9.19	9.48	9.87	5.34	5.50	5.70
400	12.42	12.71	13.19	10.70	11.02	11.44	9.10	9.35	9.73	5.36	5.50	5.69
500	12.61	12.91	13.34	10.89	11.17	11.57	9.22	9.44	9.80	5.38	5.50	5.65

Tabel 7.5 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Hoofdplaat

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.64	11.14	11.74	9.34	9.77	10.29	8.05	8.39	8.83	5.38	5.55	5.78
48	10.65	11.15	11.77	9.35	9.79	10.32	8.05	8.41	8.88	5.37	5.55	5.78
49	10.67	11.17	11.80	9.36	9.81	10.35	8.06	8.44	8.89	5.37	5.55	5.78
50	10.66	11.17	11.78	9.36	9.79	10.35	8.05	8.42	8.89	5.37	5.55	5.78
51	10.69	11.17	11.79	9.38	9.82	10.34	8.08	8.44	8.91	5.37	5.55	5.78
52	10.69	11.17	11.78	9.38	9.80	10.33	8.07	8.43	8.90	5.37	5.55	5.78
100	10.76	11.19	11.80	9.44	9.82	10.34	8.11	8.46	8.88	5.38	5.55	5.78
150	10.74	11.19	11.81	9.42	9.81	10.34	8.10	8.43	8.88	5.37	5.55	5.78
200	10.77	11.20	11.74	9.46	9.82	10.30	8.14	8.45	8.87	5.38	5.55	5.78
300	10.29	10.60	11.06	9.08	9.32	9.76	7.88	8.10	8.44	5.39	5.55	5.75
400	10.25	10.56	10.99	9.03	9.31	9.69	7.83	8.06	8.40	5.41	5.55	5.74
500	10.38	10.71	11.13	9.14	9.40	9.77	7.85	8.07	8.37	5.45	5.55	5.71

Tabel 7.6 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Hansweert

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	9.71	10.07	10.57	8.57	8.93	9.33	7.52	7.82	8.20	5.91	6.10	6.35
48	9.84	10.21	10.64	8.73	9.05	9.47	7.68	7.95	8.31	5.90	6.10	6.37
49	9.83	10.20	10.64	8.73	9.05	9.47	7.67	7.94	8.31	5.90	6.10	6.37
50	9.83	10.17	10.64	8.73	9.05	9.44	7.65	7.93	8.31	5.90	6.10	6.37
51	9.83	10.17	10.64	8.72	9.03	9.44	7.65	7.94	8.31	5.90	6.10	6.36
52	9.82	10.18	10.65	8.72	9.03	9.45	7.65	7.95	8.32	5.91	6.10	6.37
100	10.03	10.39	10.85	8.88	9.20	9.62	7.77	8.06	8.43	5.91	6.10	6.36
150	10.11	10.45	10.92	8.95	9.26	9.66	7.82	8.09	8.47	5.91	6.10	6.36
200	10.18	10.52	10.96	9.01	9.31	9.72	7.89	8.17	8.53	5.91	6.10	6.35
300	10.31	10.64	11.07	9.13	9.43	9.80	7.97	8.24	8.59	5.93	6.10	6.33
400	10.52	10.85	11.29	9.32	9.61	9.98	8.12	8.37	8.70	5.94	6.10	6.31
500	10.86	11.21	11.64	9.65	9.94	10.33	8.43	8.67	8.99	5.97	6.10	6.26

Tabel 7.7 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Walsoorden

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	8.00	8.38	8.79	7.53	7.82	8.24	6.97	7.26	7.63	6.09	6.30	6.56
48	8.16	8.51	8.97	7.59	7.91	8.34	7.01	7.29	7.68	6.09	6.30	6.58
49	8.16	8.52	8.99	7.60	7.92	8.34	7.02	7.30	7.69	6.10	6.30	6.58
50	8.16	8.52	8.99	7.60	7.91	8.33	7.01	7.30	7.67	6.10	6.30	6.57
51	8.17	8.52	8.98	7.61	7.92	8.35	7.02	7.31	7.68	6.10	6.30	6.58
52	8.18	8.52	8.99	7.59	7.92	8.35	7.03	7.32	7.69	6.09	6.30	6.58
100	8.28	8.60	9.07	7.66	7.96	8.38	7.05	7.34	7.71	6.09	6.30	6.57
150	8.23	8.57	9.02	7.63	7.94	8.35	7.05	7.33	7.70	6.10	6.30	6.57
200	8.27	8.61	9.05	7.68	7.98	8.38	7.08	7.36	7.72	6.10	6.30	6.56
300	7.85	8.12	8.47	7.28	7.56	7.92	6.81	7.03	7.35	6.11	6.30	6.54
400	7.62	7.82	8.20	7.01	7.24	7.64	6.57	6.78	7.13	6.14	6.30	6.52
500	7.32	7.56	8.20	6.83	7.09	7.45	6.20	6.33	6.63	6.17	6.30	6.47

Tabel 7.8 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Bath

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	9.92	10.31	10.80	8.96	9.34	9.81	8.04	8.39	8.82	6.37	6.60	6.87
48	10.12	10.53	11.02	9.12	9.45	9.92	8.11	8.42	8.83	6.39	6.60	6.90
49	10.13	10.53	11.03	9.13	9.46	9.93	8.11	8.42	8.83	6.38	6.60	6.90
50	10.13	10.54	11.03	9.14	9.46	9.92	8.10	8.42	8.82	6.38	6.60	6.89
51	10.14	10.54	11.04	9.11	9.47	9.92	8.11	8.43	8.83	6.38	6.60	6.90
52	10.15	10.53	11.03	9.10	9.46	9.92	8.10	8.43	8.82	6.37	6.60	6.89
100	10.20	10.60	11.12	9.20	9.55	10.03	8.19	8.51	8.94	6.38	6.60	6.89
150	10.30	10.68	11.20	9.25	9.60	10.06	8.22	8.53	8.93	6.39	6.60	6.88
200	10.37	10.77	11.28	9.33	9.68	10.14	8.29	8.60	9.00	6.38	6.60	6.88
300	10.55	10.92	11.41	9.46	9.79	10.24	8.39	8.68	9.09	6.41	6.60	6.85
400	10.59	10.93	11.41	9.50	9.83	10.25	8.43	8.70	9.07	6.42	6.60	6.83
500	10.81	11.17	11.65	9.67	9.98	10.39	8.54	8.81	9.17	6.46	6.60	6.79

Tabel 7.9 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Den Helder

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	9.55	9.93	10.40	8.26	8.58	8.98	6.90	7.20	7.57	4.09	4.24	4.45
48	9.73	10.07	10.54	8.38	8.70	9.10	7.04	7.31	7.67	4.10	4.25	4.45
49	9.71	10.07	10.54	8.38	8.68	9.10	7.04	7.31	7.66	4.10	4.25	4.45
50	9.72	10.08	10.53	8.39	8.69	9.11	7.04	7.31	7.66	4.10	4.26	4.45
51	9.71	10.08	10.52	8.40	8.70	9.11	7.04	7.31	7.67	4.09	4.26	4.45
52	9.72	10.08	10.52	8.40	8.70	9.11	7.04	7.32	7.67	4.10	4.25	4.45
100	9.74	10.14	10.63	8.38	8.71	9.16	7.01	7.30	7.67	4.10	4.25	4.45
150	9.80	10.18	10.66	8.43	8.77	9.19	7.07	7.35	7.72	4.10	4.25	4.45
200	9.80	10.16	10.60	8.44	8.76	9.16	7.08	7.37	7.71	4.11	4.26	4.45
300	9.74	10.07	10.47	8.40	8.70	9.07	7.05	7.32	7.65	4.10	4.25	4.45
400	9.55	9.87	10.28	8.22	8.52	8.87	6.94	7.18	7.48	4.13	4.27	4.45
500	9.54	9.86	10.28	8.22	8.51	8.88	6.91	7.16	7.48	4.13	4.27	4.45

Tabel 7.10 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Harlingen

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	11.08	11.40	11.84	9.62	9.91	10.23	8.11	8.36	8.65	4.77	4.90	5.08
48	11.11	11.46	11.91	9.60	9.90	10.28	8.09	8.33	8.66	4.77	4.90	5.07
49	11.10	11.44	11.92	9.60	9.90	10.28	8.09	8.34	8.66	4.77	4.90	5.07
50	11.11	11.44	11.92	9.58	9.89	10.28	8.08	8.32	8.65	4.76	4.90	5.06
51	11.09	11.45	11.92	9.58	9.88	10.29	8.08	8.32	8.65	4.76	4.90	5.07
52	11.12	11.47	11.92	9.60	9.90	10.30	8.08	8.34	8.67	4.77	4.90	5.07
100	11.14	11.48	11.93	9.63	9.92	10.31	8.09	8.35	8.68	4.76	4.90	5.07
150	11.11	11.48	11.91	9.58	9.90	10.29	8.06	8.32	8.66	4.77	4.90	5.07
200	11.10	11.46	11.90	9.58	9.89	10.28	8.07	8.33	8.65	4.76	4.90	5.07
300	11.08	11.42	11.83	9.58	9.88	10.23	8.07	8.33	8.65	4.77	4.90	5.07
400	10.97	11.30	11.69	9.50	9.78	10.13	8.01	8.26	8.55	4.76	4.90	5.07
500	10.87	11.20	11.58	9.45	9.73	10.06	7.99	8.23	8.53	4.77	4.90	5.07

Tabel 7.11 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Terschelling

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	7.42	7.67	7.98	6.53	6.74	7.00	5.62	5.83	6.07	4.15	4.25	4.40
48	7.51	7.75	8.07	6.60	6.82	7.08	5.69	5.89	6.13	4.15	4.27	4.42
49	7.51	7.75	8.06	6.59	6.82	7.07	5.70	5.89	6.11	4.15	4.27	4.41
50	7.49	7.75	8.04	6.60	6.81	7.08	5.70	5.88	6.11	4.15	4.27	4.41
51	7.49	7.74	8.03	6.60	6.81	7.07	5.69	5.88	6.11	4.15	4.26	4.41
52	7.51	7.74	8.04	6.61	6.82	7.08	5.70	5.88	6.12	4.15	4.27	4.42
100	7.49	7.75	8.05	6.59	6.80	7.07	5.70	5.89	6.11	4.15	4.27	4.42
150	7.52	7.77	8.07	6.60	6.81	7.09	5.69	5.87	6.10	4.15	4.27	4.41
200	7.50	7.74	8.05	6.60	6.81	7.08	5.69	5.87	6.11	4.15	4.27	4.41
300	7.46	7.70	7.99	6.57	6.78	7.05	5.69	5.87	6.09	4.15	4.26	4.41
400	7.45	7.68	7.98	6.56	6.76	7.02	5.68	5.86	6.08	4.15	4.26	4.41
500	7.51	7.75	8.05	6.57	6.78	7.04	5.67	5.83	6.05	4.15	4.26	4.41

Tabel 7.12 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Ameland

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	7.81	8.09	8.50	6.92	7.18	7.52	6.03	6.25	6.55	4.45	4.58	4.75
48	7.85	8.15	8.55	6.96	7.22	7.56	6.09	6.32	6.59	4.45	4.58	4.76
49	7.85	8.15	8.53	6.95	7.21	7.55	6.09	6.28	6.59	4.45	4.59	4.76
50	7.85	8.14	8.53	6.95	7.21	7.54	6.05	6.28	6.59	4.45	4.58	4.75
51	7.83	8.14	8.53	6.94	7.21	7.54	6.05	6.28	6.58	4.45	4.58	4.75
52	7.84	8.15	8.50	6.95	7.21	7.55	6.06	6.27	6.56	4.45	4.58	4.75
100	7.93	8.22	8.59	7.02	7.27	7.61	6.11	6.33	6.62	4.45	4.58	4.75
150	7.88	8.17	8.55	6.97	7.24	7.56	6.08	6.30	6.58	4.45	4.58	4.75
200	7.90	8.19	8.55	7.00	7.25	7.58	6.10	6.32	6.60	4.45	4.58	4.75
300	7.86	8.16	8.53	6.97	7.22	7.55	6.07	6.29	6.57	4.45	4.58	4.75
400	7.82	8.11	8.48	6.93	7.19	7.52	6.05	6.27	6.55	4.45	4.59	4.75
500	7.56	7.83	8.19	6.72	6.95	7.26	5.91	6.11	6.37	4.45	4.58	4.75

Tabel 7.13 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Lauwersoog.

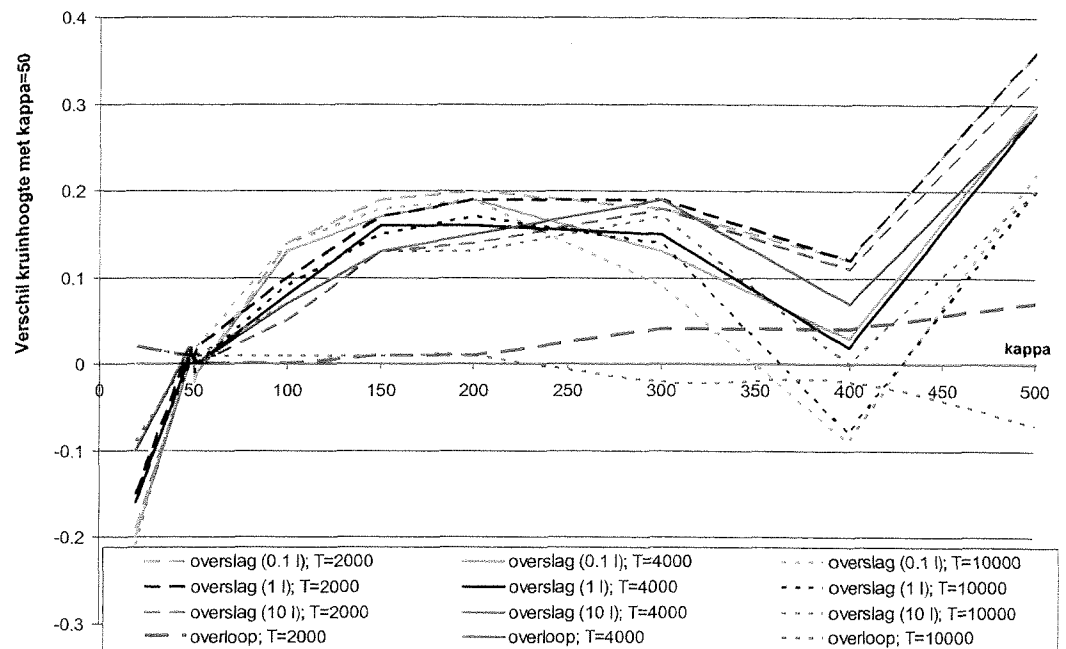
κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	11.61	12.07	12.75	9.91	10.32	10.89	8.25	8.63	9.09	4.85	5.00	5.20
48	11.67	12.17	12.81	10.00	10.45	10.94	8.32	8.69	9.12	4.85	5.00	5.19
49	11.68	12.16	12.80	9.99	10.40	10.94	8.31	8.68	9.11	4.85	5.00	5.19
50	11.69	12.17	12.81	10.00	10.41	10.95	8.32	8.70	9.08	4.85	5.00	5.19
51	11.66	12.21	12.84	9.96	10.44	10.97	8.34	8.69	9.10	4.85	5.00	5.19
52	11.69	12.20	12.83	9.99	10.45	10.99	8.35	8.70	9.12	4.85	5.00	5.20
100	11.83	12.34	12.97	10.12	10.57	11.08	8.45	8.79	9.22	4.85	5.00	5.19
150	11.78	12.19	12.75	10.13	10.52	10.98	8.46	8.80	9.21	4.85	5.00	5.19
200	11.64	12.06	12.58	10.04	10.38	10.84	8.40	8.71	9.10	4.85	5.00	5.19
300	11.10	11.48	11.95	9.62	9.94	10.34	8.13	8.43	8.78	4.85	5.00	5.20
400	10.53	10.86	11.29	9.14	9.44	9.82	7.81	8.07	8.39	4.85	5.00	5.20
500	10.26	10.60	11.03	8.93	9.23	9.60	7.58	7.84	8.18	4.85	5.00	5.19

Tabel 7.14 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Delfzijl

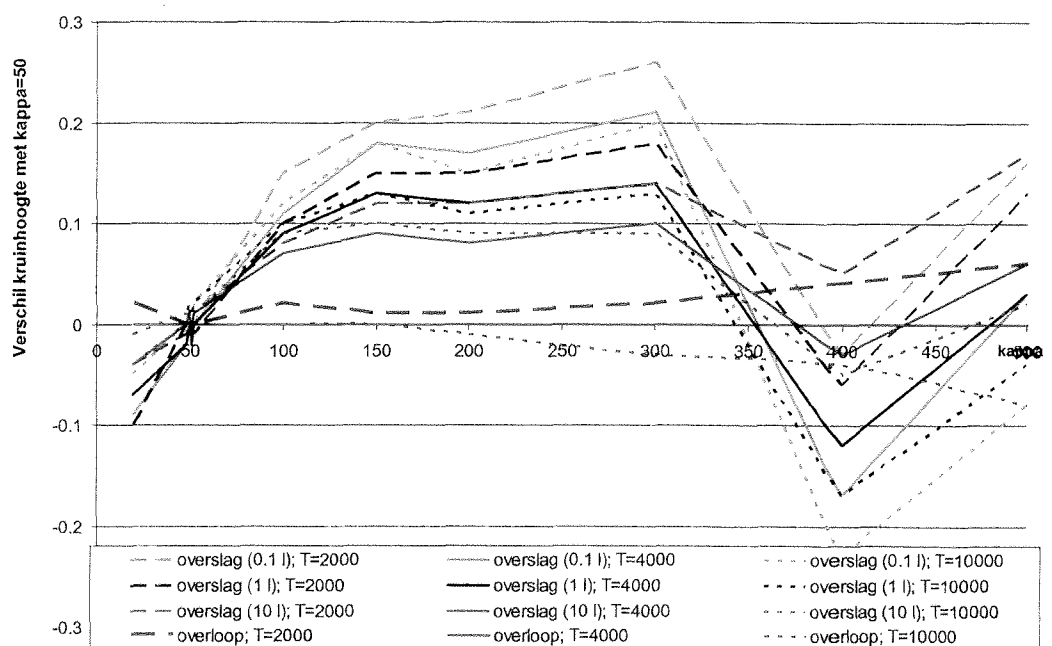
κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.41	10.82	11.36	9.25	9.62	10.09	8.00	8.38	8.80	5.77	5.95	6.18
48	10.37	10.81	11.36	9.22	9.61	10.10	8.07	8.41	8.84	5.76	5.95	6.18
49	10.40	10.85	11.40	9.25	9.63	10.12	8.11	8.45	8.86	5.78	5.95	6.19
50	10.41	10.85	11.39	9.25	9.63	10.12	8.11	8.45	8.86	5.77	5.95	6.18
51	10.41	10.84	11.39	9.24	9.63	10.09	8.10	8.45	8.85	5.76	5.95	6.17
52	10.43	10.85	11.40	9.27	9.63	10.10	8.12	8.45	8.86	5.77	5.95	6.19
100	10.46	10.89	11.45	9.31	9.69	10.16	8.13	8.46	8.88	5.76	5.95	6.19
150	10.49	10.93	11.48	9.30	9.69	10.17	8.14	8.47	8.88	5.77	5.95	6.18
200	10.52	10.95	11.49	9.31	9.68	10.17	8.11	8.43	8.85	5.76	5.95	6.18
300	10.10	10.49	10.96	9.06	9.42	9.86	8.01	8.32	8.72	5.78	5.95	6.18
400	9.15	9.49	9.91	8.17	8.47	8.84	7.29	7.55	7.88	5.77	5.95	6.18
500	8.60	8.91	9.31	7.90	8.17	8.52	7.07	7.33	7.65	5.77	5.95	6.18

Tabel 7.15 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Breebaart

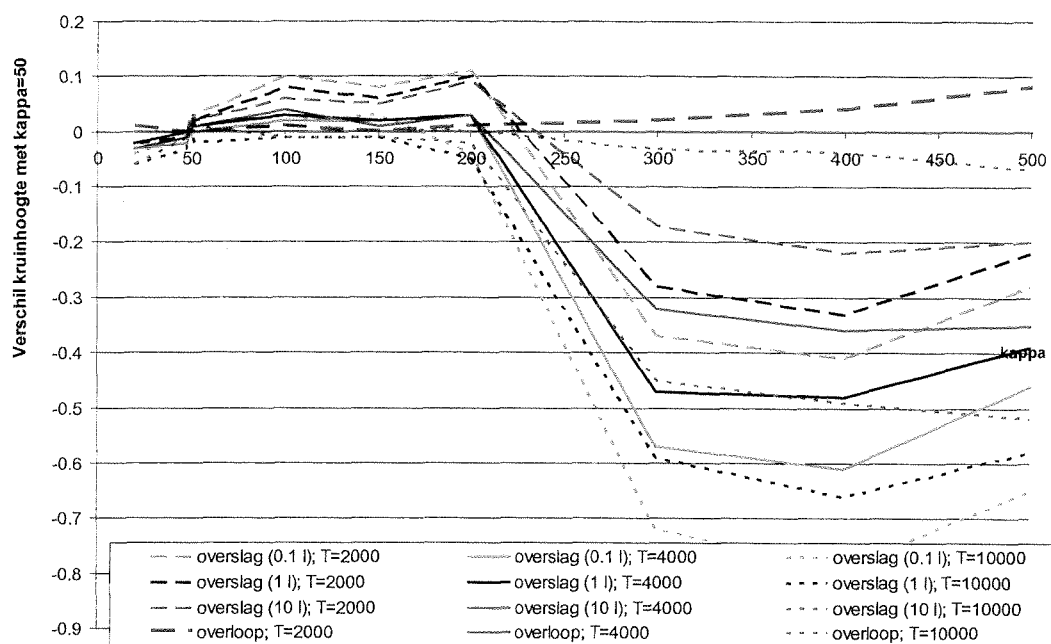
	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	7.53	7.74	8.06	7.09	7.35	7.64	6.71	6.95	7.21	6.26	6.45	6.68
48	7.54	7.83	8.16	7.14	7.39	7.70	6.77	6.99	7.28	6.25	6.45	6.70
49	7.54	7.81	8.16	7.14	7.39	7.70	6.76	6.99	7.27	6.25	6.45	6.70
50	7.54	7.82	8.17	7.14	7.40	7.70	6.76	6.99	7.28	6.26	6.45	6.70
51	7.55	7.83	8.17	7.15	7.40	7.70	6.77	6.99	7.28	6.26	6.45	6.69
52	7.55	7.82	8.17	7.15	7.39	7.70	6.77	6.99	7.28	6.25	6.45	6.69
100	7.56	7.84	8.16	7.17	7.41	7.72	6.76	6.99	7.27	6.25	6.45	6.69
150	7.55	7.82	8.14	7.14	7.38	7.70	6.75	6.97	7.26	6.26	6.45	6.70
200	7.54	7.78	8.11	7.11	7.34	7.64	6.73	6.94	7.21	6.26	6.45	6.69
300	7.33	7.52	7.78	7.00	7.24	7.51	6.68	6.89	7.17	6.26	6.45	6.68
400	6.70	6.93	7.22	6.31	6.51	6.75	5.90	6.10	6.36	6.26	6.45	6.69
500	5.98	6.12	6.31	5.33	5.45	5.62	4.71	4.80	4.94	6.27	6.45	6.68



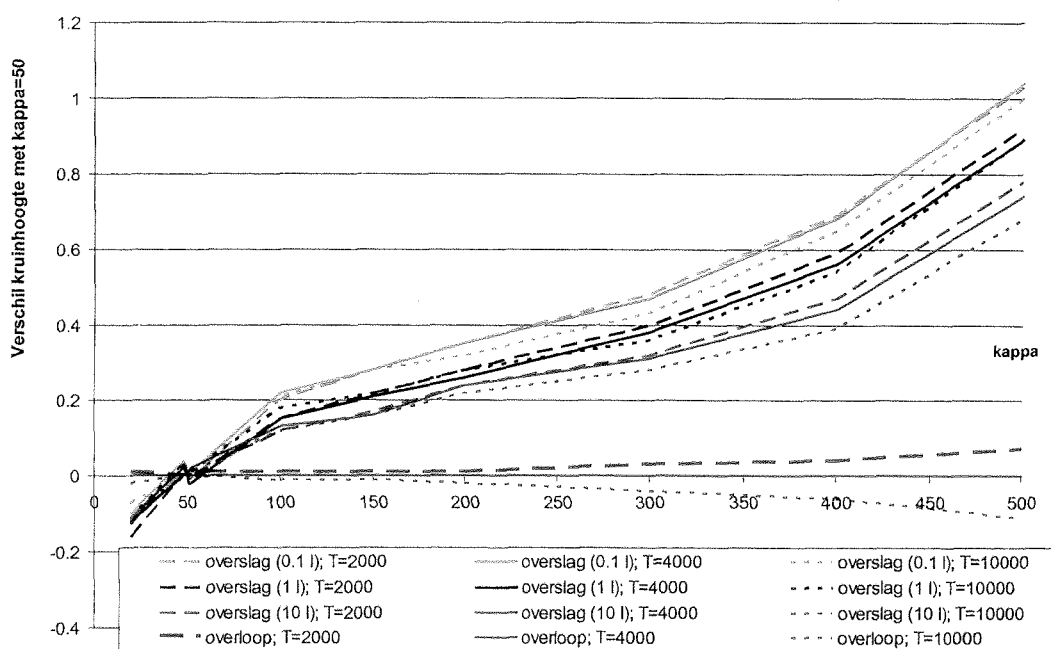
Figuur 7.3 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Vlissingen



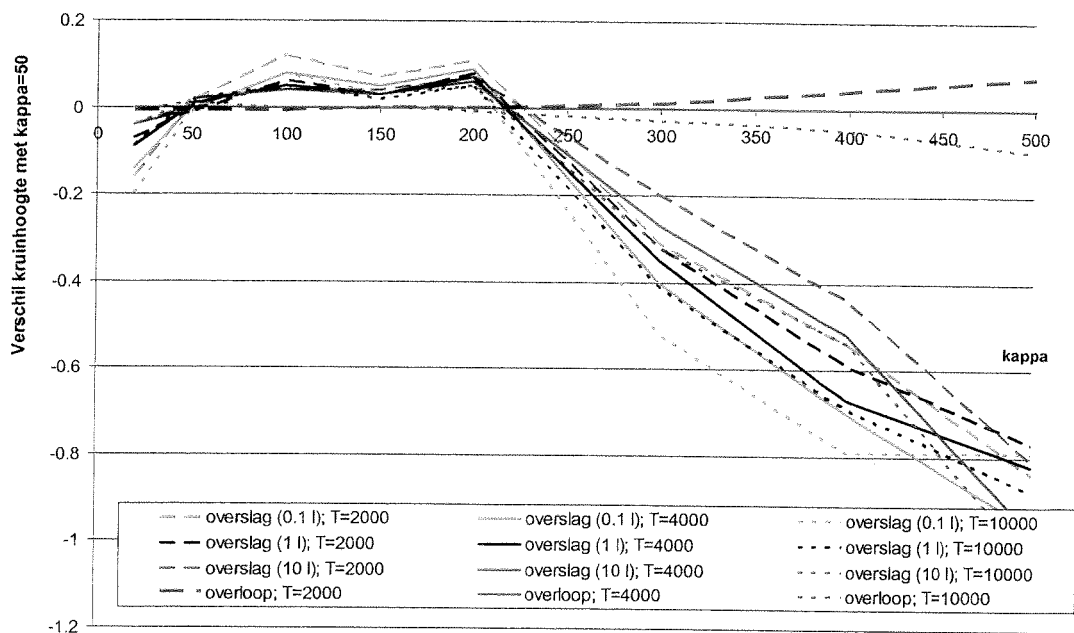
Figuur 7.4 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Citterspolder



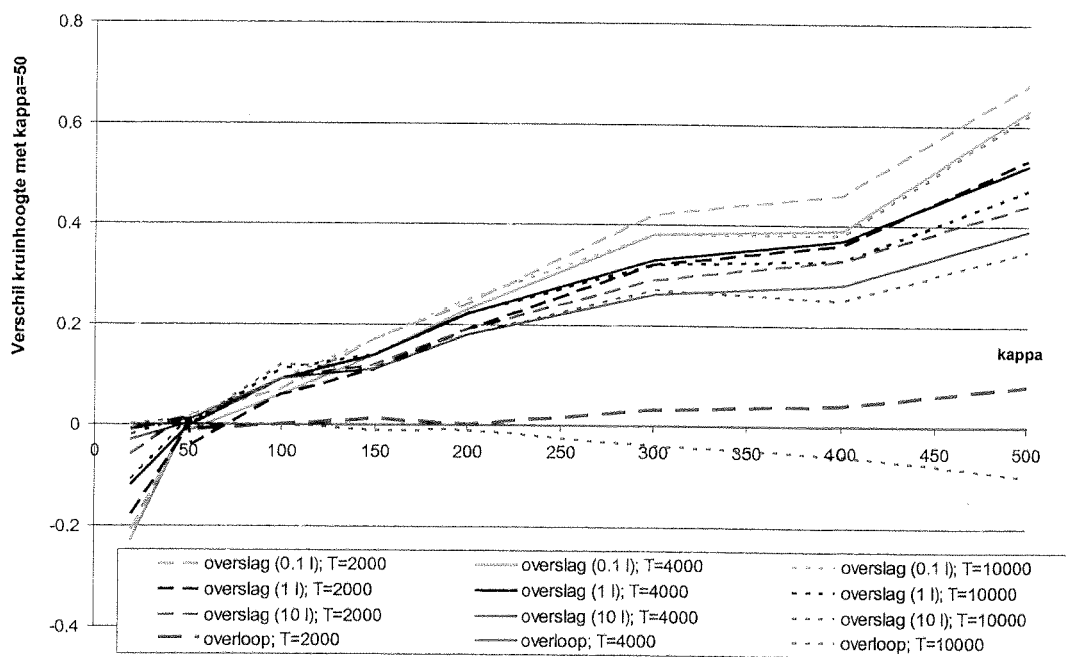
Figuur 7.5 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Hoofdplaat



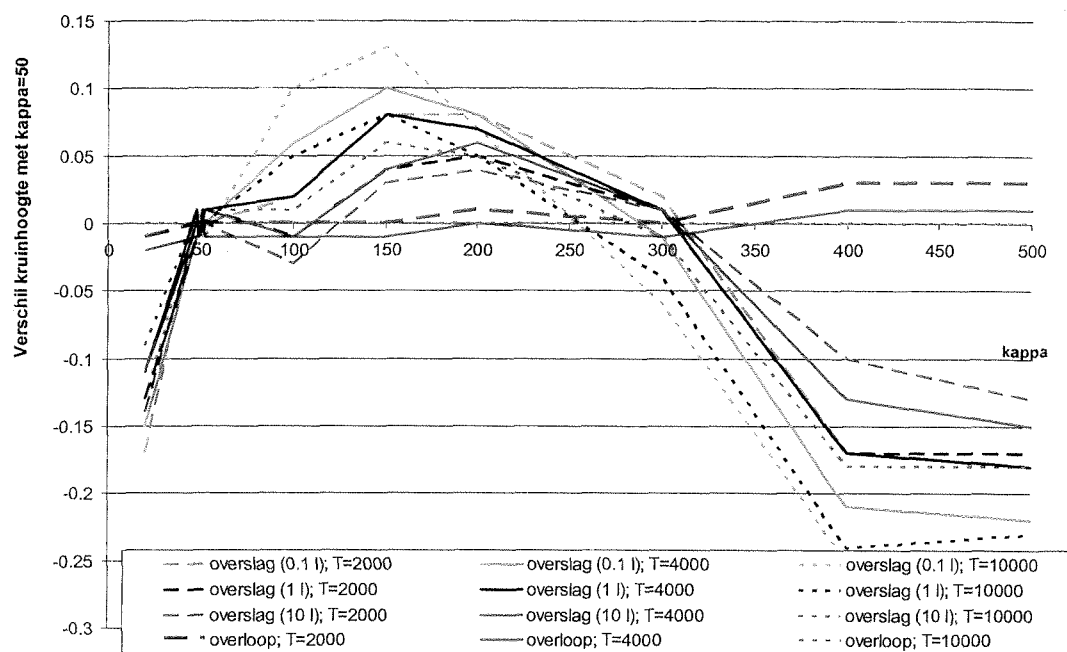
Figuur 7.6 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Hansweert



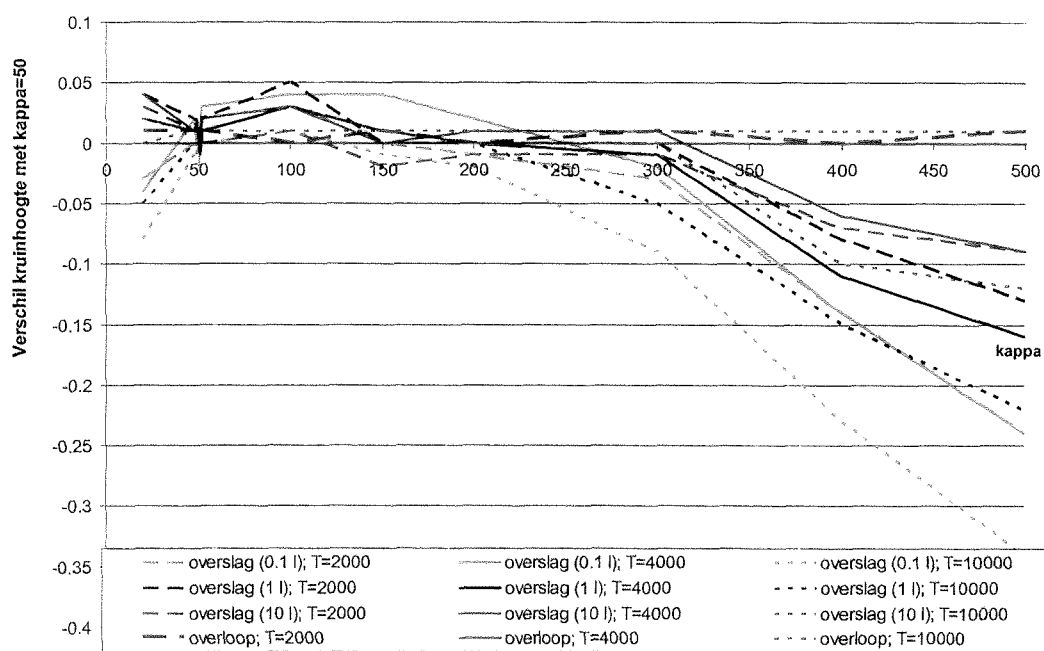
Figuur 7.7 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Walsoorden



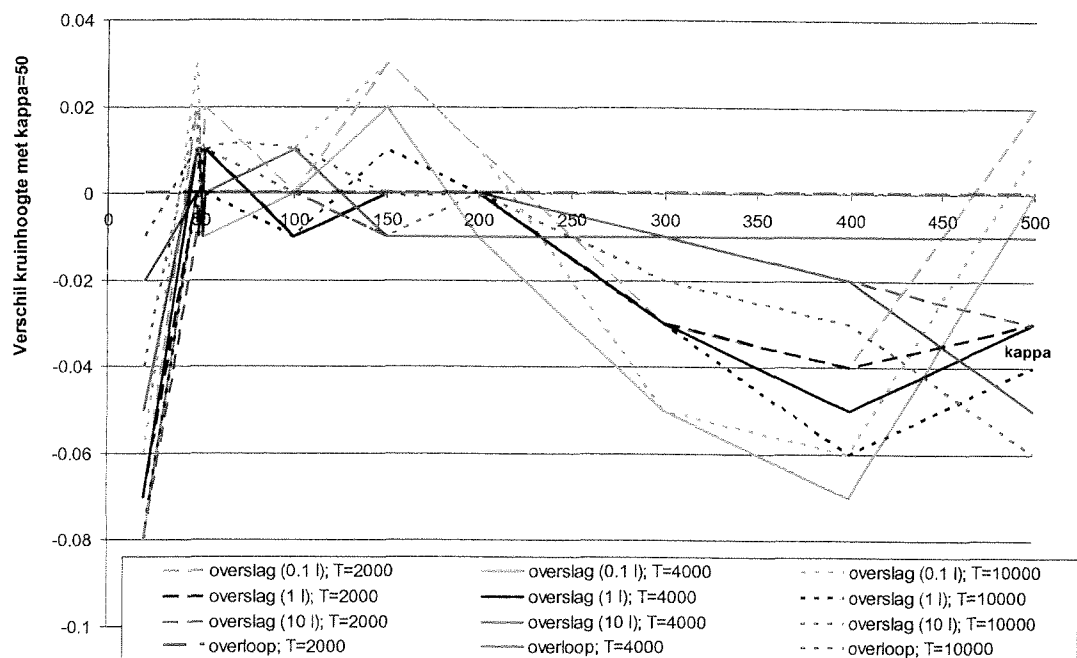
Figuur 7.8 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Bath



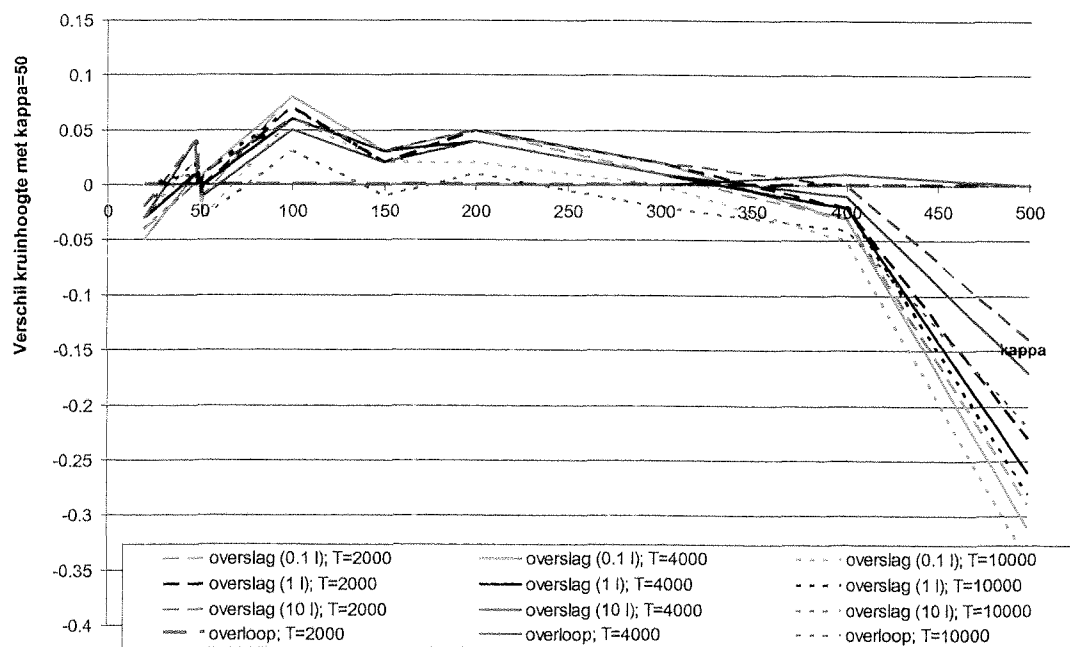
Figuur 7.9 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Den Helder



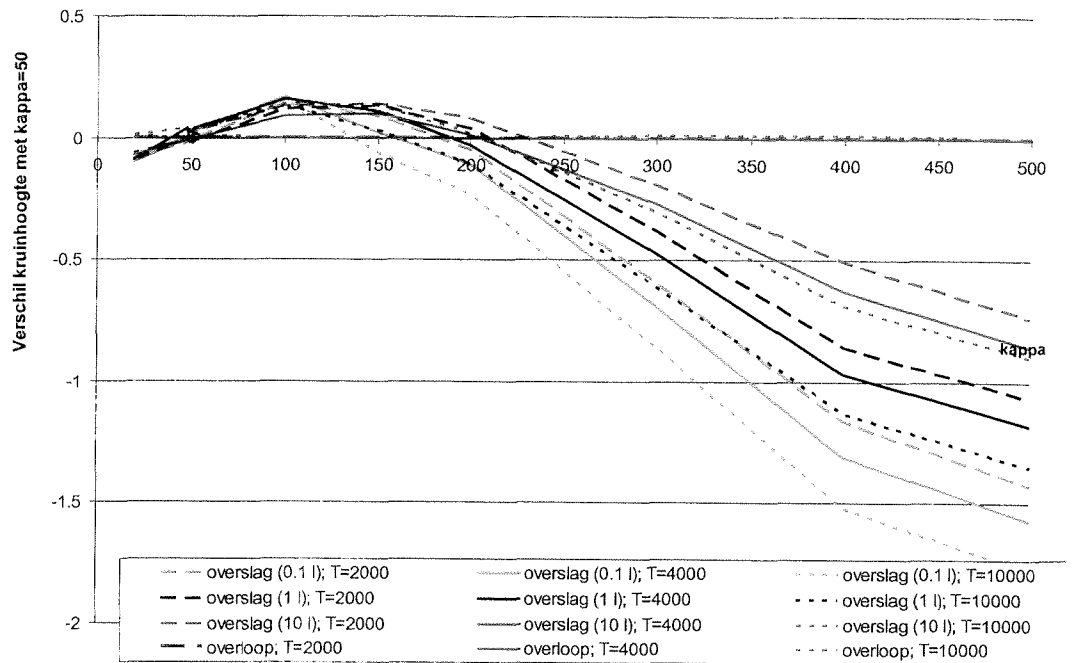
Figuur 7.10 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Harlingen



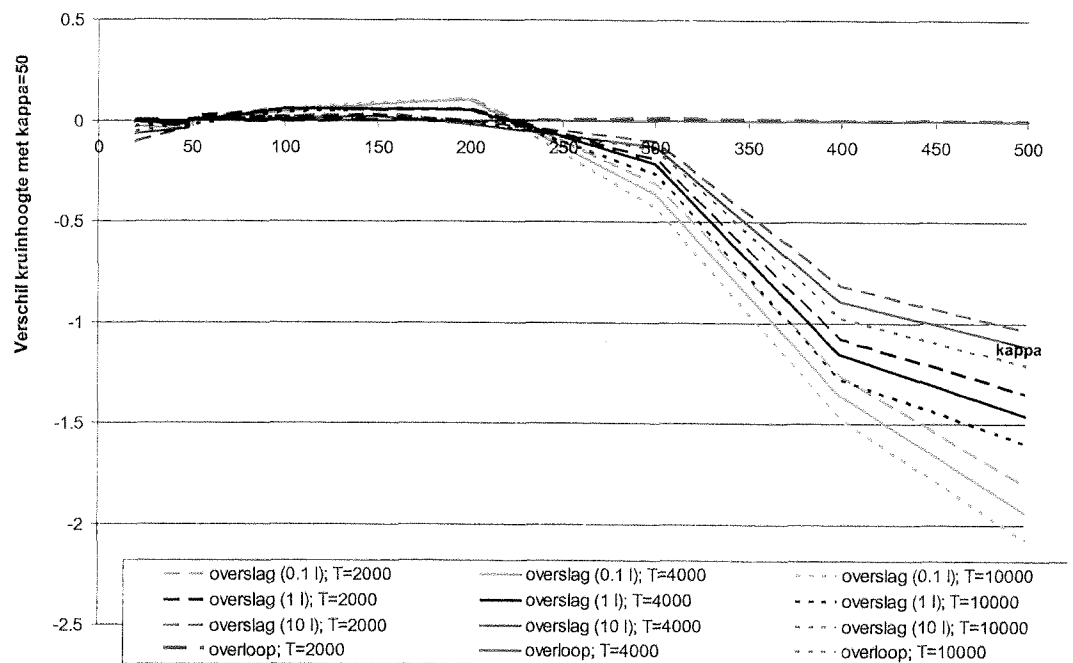
Figuur 7.11 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Terschelling



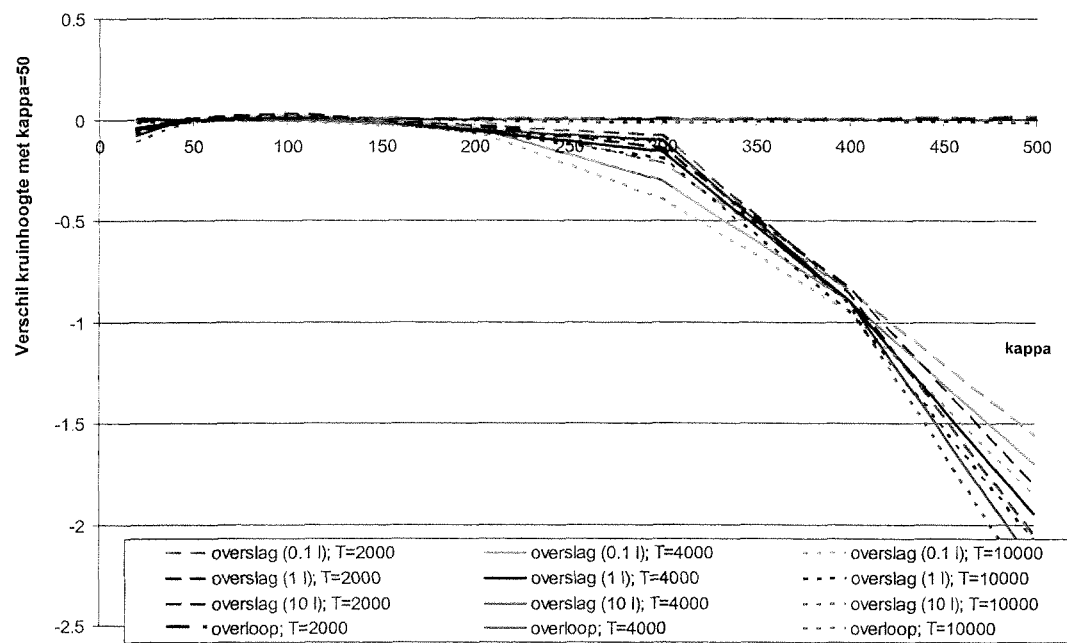
Figuur 7.12 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Ameland



Figuur 7.13 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Lauwersoog



Figuur 7.14 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Delfzijl



Figuur 7.15 Verskil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Breebaart

E.5 Overzicht resultaten (II)

In dit hoofdstuk staan de rekenresultaten van HYDRA-K voor meerdere waarden van κ . Het verschil met de resultaten van hoofdstuk E.4 is dat in deze exercitie een constante waterstandscorrectie is gebruikt, d.w.z. onafhankelijk van de waarde van κ .

De waterstandscorrectie is gelijk genomen aan de waterstandscorrectie volgens PC-Ring (zie tabel 7.2).

Tabel 7.16 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Vlissingen

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.82	11.21	11.69	9.35	9.70	10.13	7.95	8.23	8.59	5.06	5.22	5.43
48	11.00	11.40	11.90	9.52	9.86	10.29	8.05	8.34	8.69	5.05	5.21	5.42
49	11.01	11.41	11.91	9.51	9.87	10.30	8.05	8.34	8.69	5.05	5.21	5.43
50	11.00	11.41	11.90	9.51	9.86	10.29	8.05	8.33	8.69	5.05	5.22	5.42
51	11.00	11.39	11.91	9.51	9.85	10.28	8.05	8.33	8.70	5.04	5.21	5.42
52	10.99	11.39	11.91	9.51	9.86	10.28	8.04	8.32	8.69	5.04	5.21	5.42
100	11.14	11.53	12.03	9.59	9.93	10.37	8.09	8.38	8.76	5.04	5.21	5.42
150	11.17	11.54	12.04	9.64	9.99	10.41	8.14	8.43	8.79	5.03	5.20	5.41
200	11.17	11.56	12.05	9.66	9.99	10.43	8.15	8.44	8.80	5.03	5.19	5.41
300	10.97	11.32	11.78	9.50	9.81	10.23	8.04	8.32	8.68	4.94	5.07	5.25
400	10.60	10.88	11.25	9.14	9.38	9.70	7.71	7.93	8.21	4.74	4.87	5.04
500	10.39	10.66	11.01	8.94	9.17	9.48	7.49	7.70	7.97	4.44	4.54	4.67

Tabel 7.17 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Citterspolder

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	12.29	12.72	13.31	10.6	11	11.5	8.95	9.28	9.67	5.29	5.46	5.68
48	12.35	12.79	13.34	10.69	11.05	11.54	8.97	9.31	9.72	5.28	5.45	5.68
49	12.36	12.79	13.33	10.67	11.05	11.54	8.98	9.32	9.71	5.27	5.45	5.68
50	12.36	12.79	13.34	10.68	11.06	11.54	8.99	9.31	9.71	5.27	5.45	5.68
51	12.37	12.8	13.35	10.68	11.06	11.55	8.99	9.32	9.72	5.28	5.46	5.69
52	12.37	12.79	13.36	10.67	11.07	11.56	8.99	9.32	9.72	5.27	5.45	5.68
100	12.5	12.89	13.44	10.77	11.14	11.62	9.05	9.36	9.78	5.27	5.44	5.67
150	12.54	12.95	13.49	10.8	11.17	11.64	9.08	9.38	9.78	5.26	5.43	5.66
200	12.53	12.92	13.43	10.78	11.14	11.6	9.06	9.34	9.76	5.24	5.42	5.64
300	12.42	12.79	13.31	10.67	11	11.45	8.94	9.23	9.61	5.16	5.32	5.51
400	11.81	12.09	12.52	10.15	10.43	10.84	8.58	8.83	9.19	4.97	5.11	5.3
500	11.52	11.81	12.18	9.88	10.14	10.5	8.28	8.5	8.8	4.67	4.79	4.93

Tabel 7.18 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Hoofdplaat

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.52	11.00	11.62	9.23	9.66	10.18	7.98	8.31	8.76	5.34	5.50	5.73
48	10.53	11.02	11.64	9.23	9.68	10.21	7.95	8.31	8.78	5.32	5.50	5.73
49	10.52	11.02	11.65	9.24	9.68	10.22	7.95	8.33	8.79	5.31	5.49	5.72
50	10.53	11.03	11.63	9.24	9.68	10.23	7.96	8.32	8.79	5.32	5.50	5.73
51	10.54	11.03	11.64	9.25	9.69	10.21	7.96	8.32	8.80	5.31	5.49	5.72
52	10.55	11.02	11.63	9.26	9.67	10.21	7.97	8.32	8.81	5.32	5.50	5.73
100	10.60	11.03	11.63	9.31	9.68	10.20	7.99	8.32	8.76	5.31	5.48	5.71
150	10.55	11.01	11.61	9.25	9.64	10.17	7.96	8.29	8.73	5.29	5.47	5.70
200	10.54	10.97	11.50	9.25	9.62	10.10	7.97	8.28	8.70	5.29	5.46	5.68
300	9.86	10.16	10.60	8.69	8.95	9.36	7.54	7.78	8.13	5.20	5.36	5.56
400	9.38	9.68	10.13	8.29	8.54	8.90	7.17	7.39	7.73	5.01	5.15	5.34
500	8.99	9.28	9.66	7.89	8.13	8.47	6.79	7.00	7.27	4.72	4.83	4.99

Tabel 7.19 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Hansweert

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	9.67	10.03	10.53	8.53	8.89	9.29	7.48	7.78	8.16	5.88	6.07	6.32
48	9.75	10.13	10.56	8.65	8.97	9.39	7.60	7.86	8.23	5.83	6.03	6.30
49	9.75	10.12	10.55	8.66	8.97	9.40	7.60	7.87	8.24	5.84	6.04	6.31
50	9.76	10.09	10.56	8.65	8.98	9.36	7.58	7.87	8.24	5.84	6.04	6.31
51	9.75	10.10	10.57	8.66	8.96	9.37	7.59	7.87	8.25	5.85	6.05	6.30
52	9.74	10.11	10.57	8.65	8.96	9.37	7.59	7.88	8.25	5.85	6.04	6.31
100	9.92	10.28	10.73	8.77	9.09	9.51	7.67	7.95	8.32	5.82	6.01	6.27
150	9.99	10.34	10.79	8.84	9.14	9.54	7.71	7.99	8.36	5.82	6.01	6.27
200	10.01	10.34	10.78	8.84	9.15	9.55	7.73	8.01	8.37	5.78	5.97	6.22
300	10.01	10.33	10.75	8.84	9.14	9.51	7.70	7.97	8.31	5.70	5.88	6.10
400	9.98	10.30	10.72	8.80	9.09	9.46	7.64	7.88	8.20	5.54	5.70	5.91
500	9.92	10.24	10.66	8.75	9.03	9.41	7.59	7.82	8.13	5.28	5.41	5.57

Tabel 7.20 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Walsoorden

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	8.00	8.34	8.74	7.50	7.79	8.20	6.93	7.22	7.59	6.05	6.26	6.53
48	8.08	8.43	8.90	7.52	7.84	8.27	6.94	7.22	7.61	6.03	6.24	6.52
49	8.08	8.44	8.90	7.52	7.84	8.26	6.94	7.23	7.61	6.03	6.23	6.51
50	8.09	8.44	8.91	7.52	7.85	8.26	6.95	7.23	7.60	6.04	6.24	6.51
51	8.09	8.43	8.90	7.53	7.84	8.27	6.95	7.24	7.61	6.03	6.23	6.51
52	8.10	8.43	8.91	7.52	7.84	8.27	6.96	7.24	7.61	6.03	6.23	6.51
100	8.17	8.49	8.96	7.56	7.86	8.27	6.96	7.23	7.60	6.00	6.21	6.48
150	8.12	8.45	8.90	7.52	7.83	8.24	6.95	7.22	7.59	6.00	6.20	6.47
200	8.11	8.43	8.87	7.53	7.81	8.21	6.93	7.20	7.56	5.96	6.16	6.42
300	7.57	7.84	8.18	7.00	7.29	7.64	6.54	6.76	7.07	5.86	6.05	6.29
400	7.14	7.33	7.74	6.55	6.79	7.19	6.14	6.35	6.68	5.73	5.89	6.11
500	6.54	6.82	7.39	6.18	6.34	6.68	5.44	5.56	6.57	5.49	5.62	5.80

Tabel 7.21 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Bath

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	9.87	10.26	10.75	8.91	9.29	9.75	7.99	8.34	8.77	6.34	6.56	6.83
48	10.01	10.42	10.91	9.03	9.36	9.82	8.02	8.32	8.73	6.31	6.53	6.82
49	10.03	10.42	10.92	9.03	9.36	9.82	8.03	8.33	8.74	6.31	6.53	6.83
50	10.04	10.43	10.93	9.04	9.37	9.82	8.02	8.33	8.73	6.31	6.53	6.82
51	10.04	10.43	10.93	9.02	9.38	9.82	8.03	8.33	8.73	6.31	6.53	6.83
52	10.05	10.44	10.93	9.01	9.38	9.83	8.02	8.34	8.74	6.31	6.53	6.82
100	10.07	10.46	10.99	9.07	9.42	9.90	8.08	8.39	8.83	6.29	6.51	6.80
150	10.16	10.53	11.04	9.12	9.46	9.92	8.09	8.40	8.80	6.29	6.50	6.78
200	10.17	10.54	11.05	9.13	9.47	9.93	8.10	8.40	8.80	6.23	6.45	6.72
300	10.15	10.51	10.99	9.09	9.41	9.85	8.05	8.32	8.74	6.13	6.32	6.57
400	10.01	10.35	10.80	8.97	9.27	9.67	7.93	8.18	8.53	6.01	6.19	6.42
500	9.90	10.21	10.65	8.82	9.10	9.47	7.73	7.98	8.31	5.79	5.94	6.13

Tabel 7.22 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Den Helder

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	9.42	9.80	10.27	8.14	8.46	8.87	6.80	7.10	7.47	4.02	4.17	4.38
48	9.56	9.91	10.37	8.23	8.55	8.96	6.91	7.18	7.53	4.01	4.16	4.36
49	9.55	9.92	10.38	8.24	8.54	8.96	6.91	7.18	7.53	4.01	4.16	4.36
50	9.56	9.92	10.37	8.25	8.55	8.97	6.92	7.18	7.53	4.01	4.17	4.36
51	9.55	9.93	10.36	8.26	8.55	8.96	6.91	7.18	7.54	4.00	4.17	4.36
52	9.56	9.92	10.37	8.25	8.56	8.97	6.91	7.19	7.54	4.01	4.17	4.36
100	9.57	9.97	10.45	8.22	8.55	9.00	6.87	7.16	7.53	4.00	4.16	4.35
150	9.62	9.99	10.47	8.26	8.60	9.02	6.92	7.20	7.57	3.99	4.14	4.34
200	9.60	9.95	10.39	8.26	8.57	8.97	6.91	7.20	7.54	3.99	4.14	4.33
300	9.49	9.83	10.23	8.18	8.48	8.85	6.86	7.12	7.45	3.97	4.12	4.32
400	9.17	9.48	9.89	7.87	8.16	8.52	6.61	6.86	7.16	3.91	4.05	4.23
500	8.91	9.24	9.66	7.64	7.95	8.31	6.40	6.65	6.97	3.78	3.92	4.10

Tabel 7.23 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Harlingen

κ	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.98	11.27	11.73	9.53	9.81	10.15	8.03	8.28	8.56	4.72	4.85	5.03
48	10.97	11.32	11.77	9.47	9.78	10.15	7.98	8.23	8.55	4.70	4.83	5.00
49	10.97	11.30	11.78	9.47	9.77	10.16	7.98	8.23	8.56	4.70	4.83	5.00
50	10.98	11.31	11.78	9.46	9.78	10.16	7.98	8.21	8.56	4.70	4.84	5.00
51	10.98	11.31	11.78	9.47	9.76	10.17	7.98	8.22	8.55	4.70	4.84	5.00
52	10.97	11.32	11.77	9.47	9.76	10.17	7.97	8.22	8.56	4.70	4.83	5.00
100	10.98	11.31	11.76	9.48	9.78	10.16	7.97	8.23	8.55	4.69	4.82	4.99
150	10.97	11.33	11.76	9.45	9.77	10.15	7.95	8.21	8.54	4.70	4.83	5.00
200	10.94	11.29	11.73	9.43	9.74	10.13	7.94	8.20	8.52	4.69	4.82	4.99
300	10.90	11.23	11.64	9.42	9.71	10.06	7.93	8.19	8.49	4.68	4.81	4.98
400	10.75	11.07	11.46	9.29	9.58	9.93	7.83	8.08	8.37	4.65	4.79	4.96
500	10.49	10.81	11.19	9.10	9.38	9.71	7.68	7.92	8.23	4.58	4.71	4.88

Tabel 7.24 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Terschelling

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	7.34	7.59	7.90	6.46	6.67	6.92	5.56	5.76	6.00	4.11	4.22	4.36
48	7.37	7.62	7.93	6.47	6.69	6.96	5.59	5.78	6.01	4.08	4.20	4.35
49	7.38	7.61	7.93	6.47	6.69	6.96	5.59	5.78	6.01	4.08	4.20	4.34
50	7.38	7.61	7.90	6.48	6.70	6.96	5.59	5.78	6.00	4.08	4.20	4.34
51	7.37	7.60	7.90	6.48	6.70	6.97	5.60	5.77	6.00	4.08	4.20	4.35
52	7.36	7.60	7.91	6.49	6.70	6.96	5.59	5.77	6.01	4.08	4.20	4.34
100	7.35	7.61	7.92	6.46	6.67	6.95	5.59	5.78	6.01	4.08	4.20	4.34
150	7.38	7.63	7.93	6.48	6.69	6.96	5.58	5.76	5.99	4.08	4.20	4.34
200	7.35	7.59	7.89	6.47	6.68	6.94	5.58	5.75	5.99	4.07	4.19	4.34
300	7.26	7.50	7.80	6.39	6.60	6.87	5.54	5.71	5.95	4.05	4.17	4.31
400	7.15	7.39	7.69	6.30	6.51	6.77	5.46	5.64	5.87	4.00	4.11	4.26
500	7.06	7.29	7.59	6.17	6.37	6.64	5.34	5.50	5.72	3.92	4.04	4.18

Tabel 7.25 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Ameland

	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	7.75	8.03	8.43	6.86	7.12	7.46	5.99	6.20	6.50	4.42	4.55	4.72
48	7.72	8.01	8.40	6.85	7.11	7.44	5.99	6.21	6.48	4.39	4.52	4.70
49	7.72	8.02	8.41	6.83	7.09	7.44	5.99	6.20	6.49	4.39	4.52	4.70
50	7.72	8.01	8.41	6.84	7.10	7.44	5.98	6.19	6.49	4.39	4.52	4.69
51	7.73	8.02	8.41	6.84	7.11	7.44	5.96	6.19	6.49	4.39	4.52	4.69
52	7.71	8.03	8.39	6.84	7.11	7.44	5.96	6.17	6.46	4.39	4.53	4.69
100	7.75	8.04	8.41	6.86	7.11	7.45	5.98	6.20	6.48	4.37	4.50	4.67
150	7.71	8.00	8.37	6.83	7.09	7.41	5.95	6.17	6.45	4.37	4.50	4.67
200	7.71	8.00	8.36	6.84	7.09	7.41	5.96	6.17	6.45	4.37	4.50	4.67
300	7.66	7.95	8.32	6.79	7.04	7.37	5.91	6.13	6.42	4.36	4.49	4.66
400	7.58	7.86	8.23	6.72	6.97	7.30	5.86	6.08	6.37	4.34	4.47	4.64
500	7.22	7.47	7.82	6.38	6.62	6.93	5.66	5.85	6.12	4.27	4.40	4.57

Tabel 7.26 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Lauwersoog.

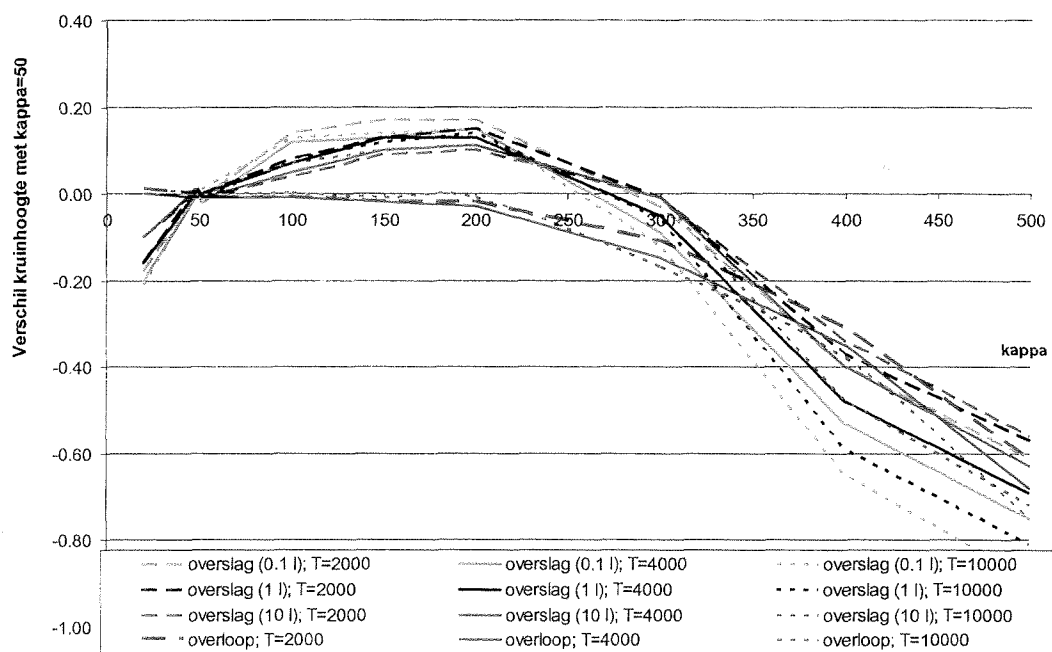
	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	11.51	11.96	12.66	9.82	10.24	10.81	8.18	8.56	9.02	4.80	4.96	5.16
48	11.51	12.00	12.64	9.86	10.31	10.81	8.20	8.57	8.99	4.78	4.93	5.12
49	11.53	12.00	12.65	9.85	10.27	10.81	8.19	8.57	8.98	4.78	4.93	5.13
50	11.53	12.00	12.64	9.86	10.27	10.81	8.20	8.58	8.98	4.78	4.93	5.12
51	11.47	12.01	12.65	9.80	10.28	10.82	8.20	8.55	8.98	4.77	4.92	5.11
52	11.49	12.00	12.66	9.81	10.29	10.81	8.20	8.56	8.98	4.77	4.92	5.11
100	11.62	12.13	12.75	9.93	10.37	10.89	8.28	8.62	9.05	4.75	4.91	5.10
150	11.58	11.98	12.54	9.94	10.34	10.79	8.31	8.65	9.05	4.76	4.91	5.11
200	11.44	11.85	12.36	9.85	10.20	10.65	8.23	8.55	8.94	4.75	4.91	5.10
300	10.85	11.24	11.70	9.40	9.72	10.11	7.94	8.24	8.58	4.73	4.89	5.08
400	10.28	10.61	11.02	8.92	9.21	9.58	7.61	7.87	8.18	4.72	4.87	5.07
500	9.91	10.23	10.64	8.61	8.91	9.26	7.30	7.54	7.88	4.67	4.82	5.01

Tabel 7.27 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Delfzijl

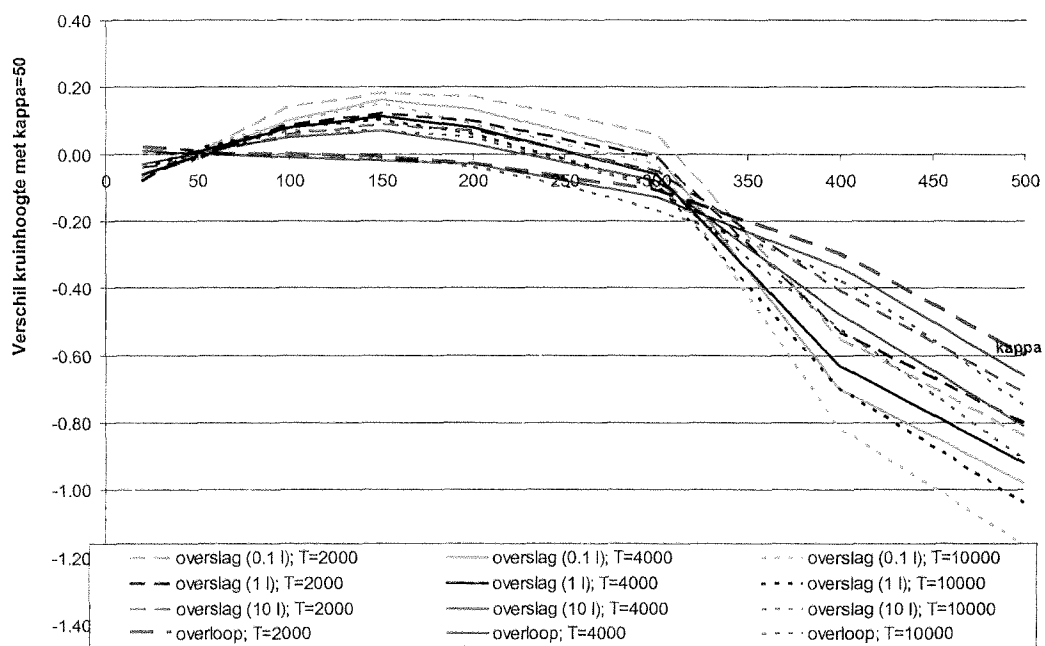
	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	10.29	10.71	11.24	9.15	9.52	9.99	7.96	8.29	8.71	5.72	5.89	6.13
48	10.24	10.69	11.24	9.11	9.50	9.99	7.98	8.32	8.73	5.70	5.89	6.12
49	10.25	10.70	11.24	9.11	9.49	9.97	7.98	8.32	8.74	5.70	5.87	6.11
50	10.27	10.70	11.25	9.12	9.50	9.98	7.99	8.33	8.74	5.69	5.88	6.11
51	10.26	10.69	11.24	9.12	9.50	9.97	8.00	8.33	8.73	5.69	5.88	6.10
52	10.27	10.70	11.25	9.12	9.49	9.96	8.00	8.33	8.74	5.69	5.87	6.11
100	10.27	10.69	11.24	9.13	9.51	9.97	7.98	8.30	8.73	5.67	5.85	6.09
150	10.28	10.70	11.26	9.12	9.48	9.97	7.97	8.29	8.71	5.66	5.84	6.07
200	10.26	10.68	11.22	9.08	9.46	9.94	7.91	8.23	8.64	5.64	5.82	6.05
300	9.78	10.16	10.64	8.77	9.12	9.55	7.73	8.05	8.45	5.60	5.77	6.00
400	8.56	8.89	9.32	7.67	7.95	8.33	6.85	7.10	7.41	5.46	5.64	5.87
500	7.91	8.23	8.63	7.27	7.55	7.90	6.51	6.76	7.08	5.38	5.56	5.79

Tabel 7.28 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Breebaart

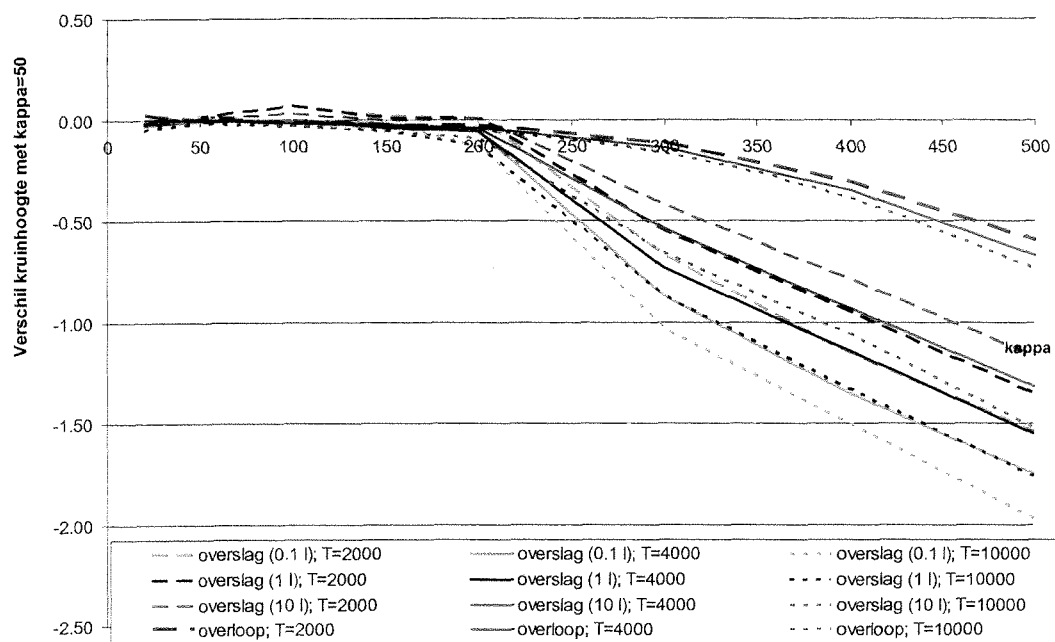
	Overslag									Overloop		
	0.1 l/m/s			1 l/m/s			10 l/m/s			-		
κ	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000	2000	4000	10000
20	7.49	7.70	8.01	7.05	7.31	7.59	6.67	6.87	7.17	6.22	6.41	6.64
48	7.45	7.74	8.08	7.06	7.31	7.61	6.69	6.90	7.19	6.17	6.37	6.62
49	7.46	7.73	8.08	7.06	7.31	7.62	6.69	6.91	7.19	6.18	6.38	6.62
50	7.46	7.74	8.09	7.07	7.32	7.62	6.68	6.92	7.20	6.18	6.38	6.62
51	7.47	7.75	8.09	7.07	7.32	7.62	6.69	6.92	7.20	6.19	6.37	6.62
52	7.47	7.75	8.09	7.08	7.32	7.63	6.69	6.92	7.20	6.18	6.38	6.61
100	7.48	7.75	8.08	7.08	7.33	7.63	6.68	6.91	7.19	6.18	6.37	6.61
150	7.43	7.70	8.02	7.02	7.27	7.59	6.64	6.87	7.16	6.16	6.34	6.59
200	7.39	7.64	7.97	6.98	7.19	7.50	6.59	6.80	7.07	6.13	6.32	6.56
300	7.10	7.30	7.53	6.77	7.00	7.27	6.44	6.66	6.93	6.04	6.22	6.45
400	6.23	6.47	6.79	5.86	6.10	6.38	5.48	5.69	5.95	5.89	6.08	6.32
500	5.25	5.37	5.55	4.66	4.77	4.93	4.11	4.20	4.32	5.80	5.99	6.22



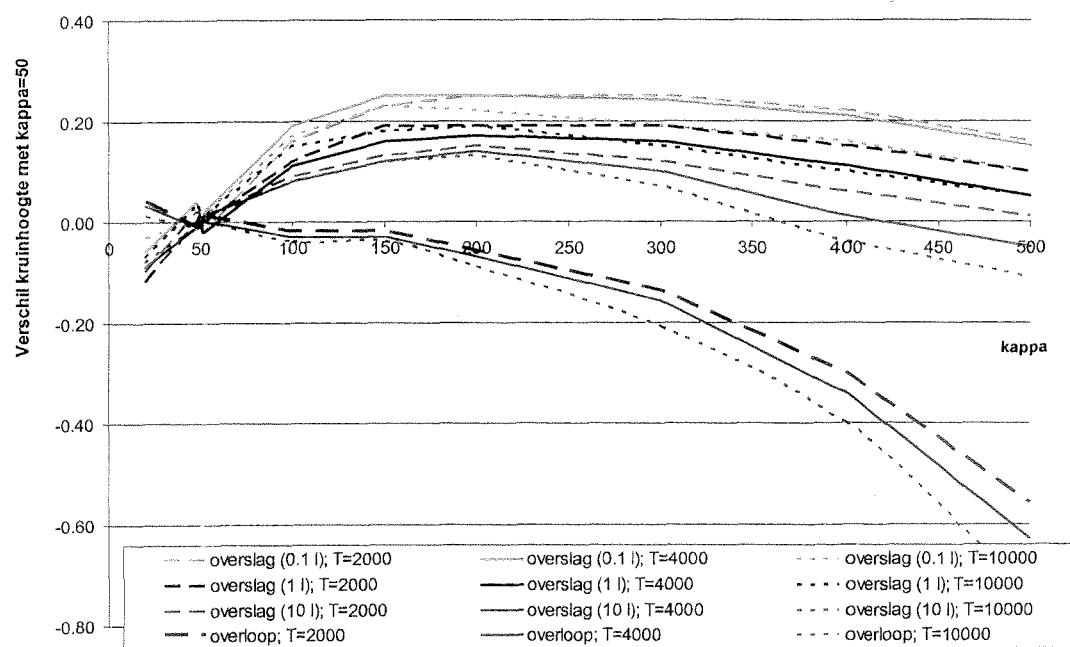
Figuur 7.16 Vershil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Vlissingen



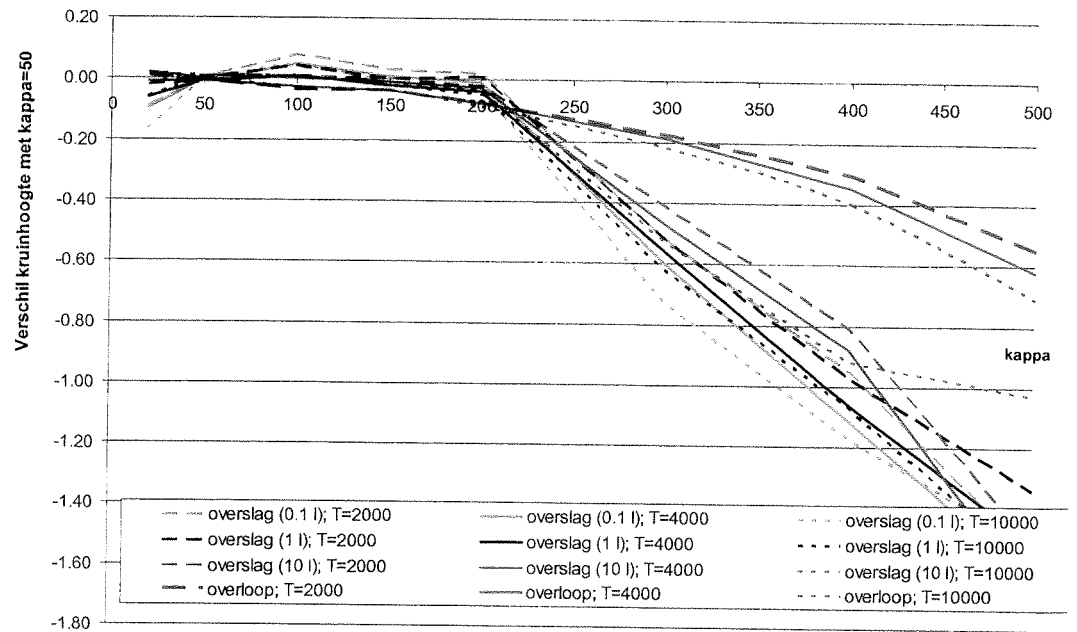
Figuur 7.17 Vershil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Citterspolder



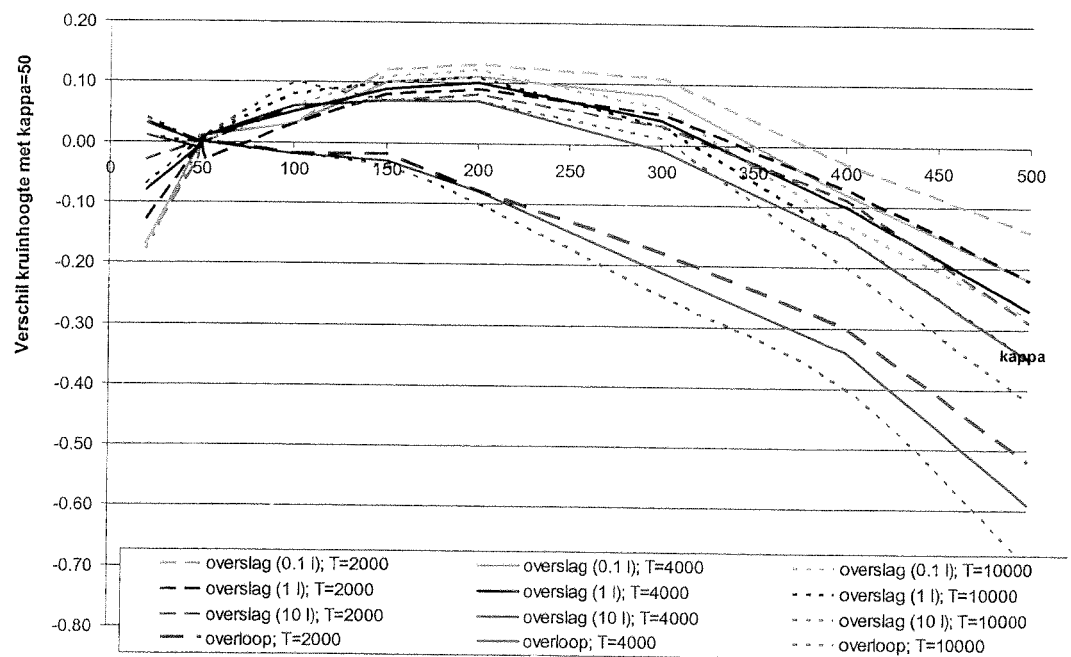
Figuur 7.18 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Hoofdplaat



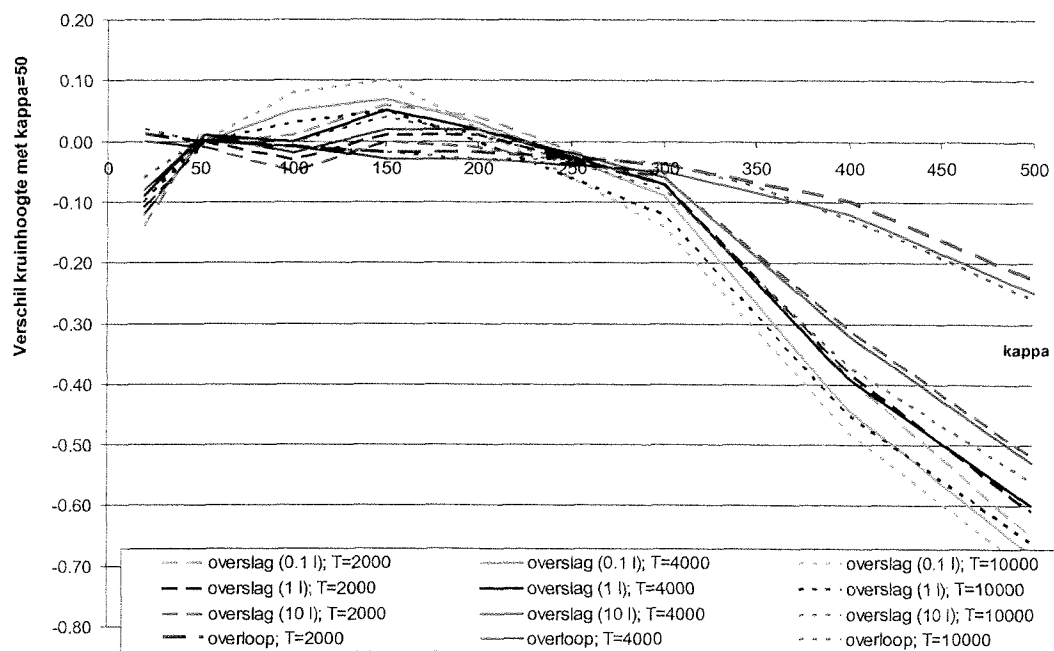
Figuur 7.19 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Hansweert



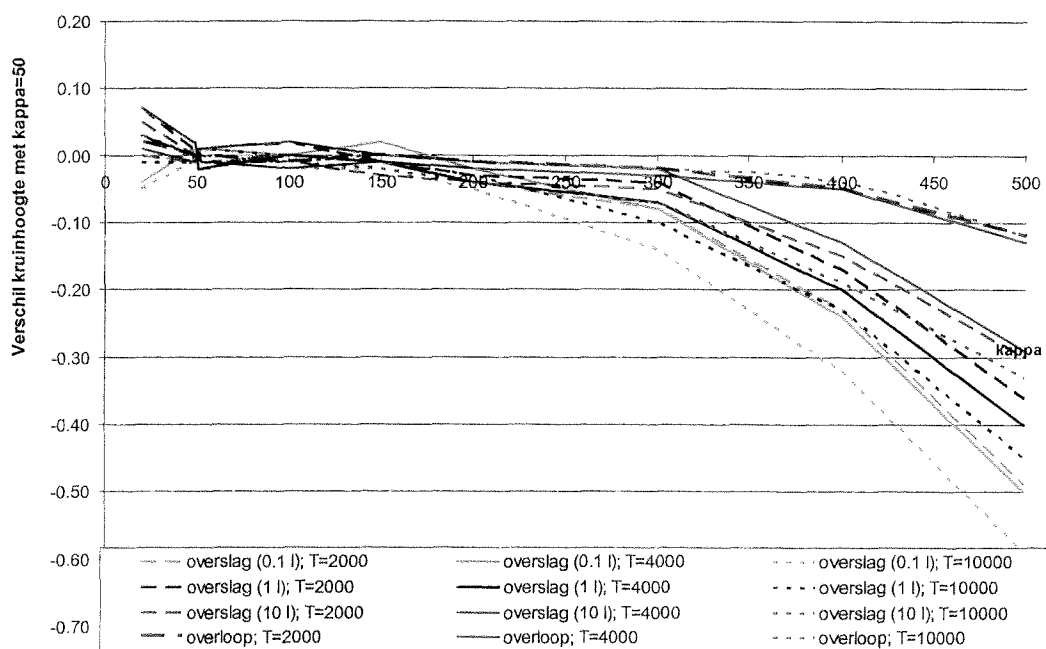
Figuur 7.20 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Walsoorden



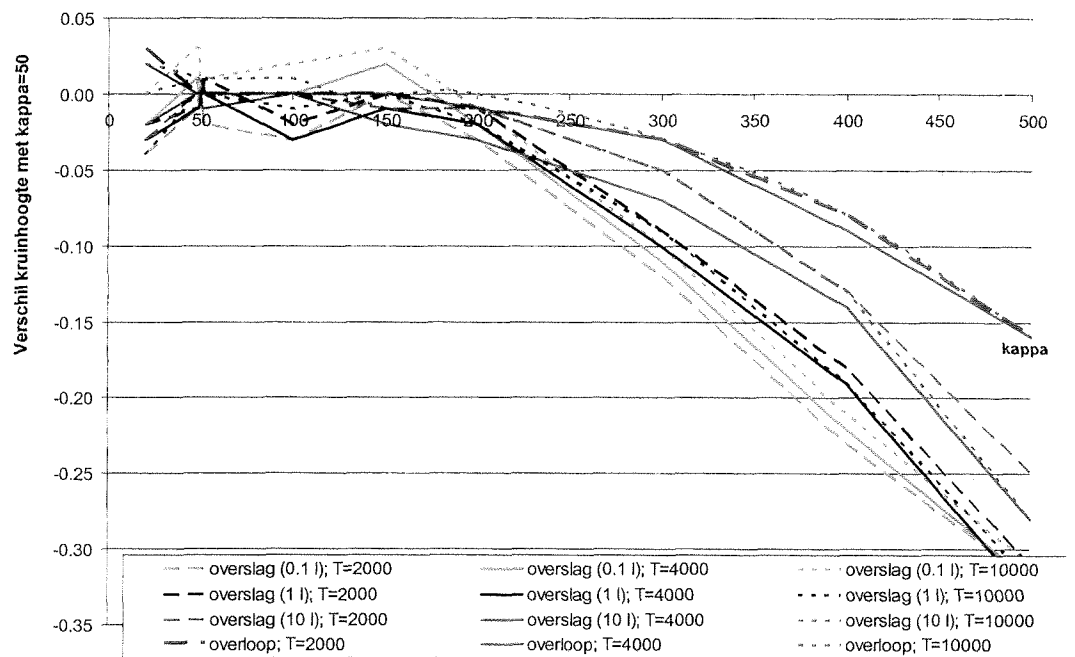
Figuur 7.21 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Bath



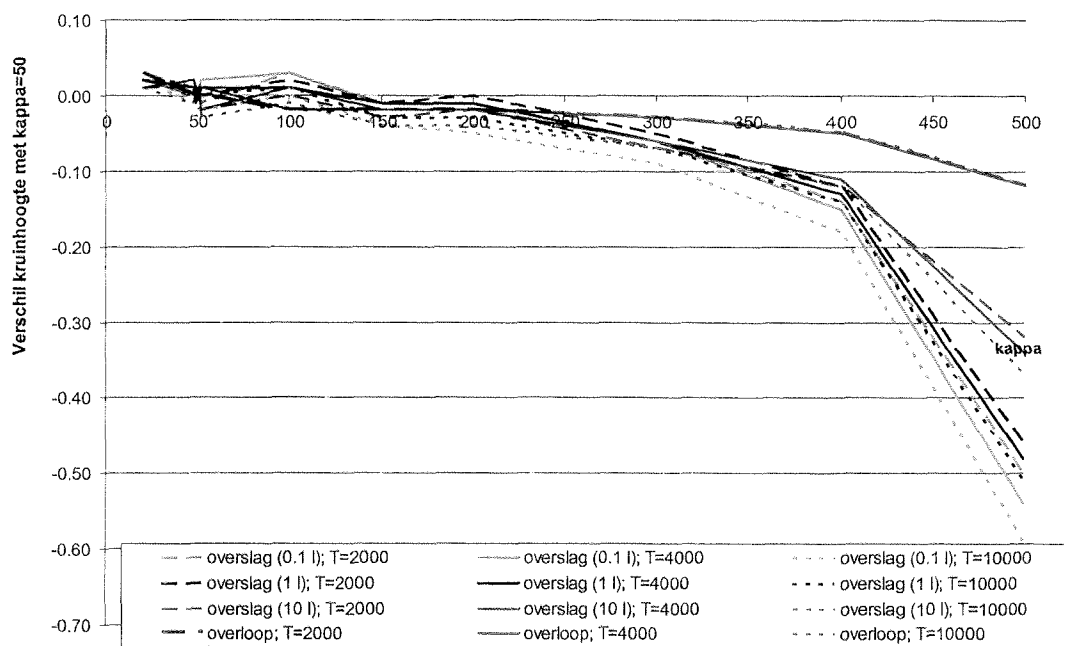
Figuur 7.22 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Den Helder



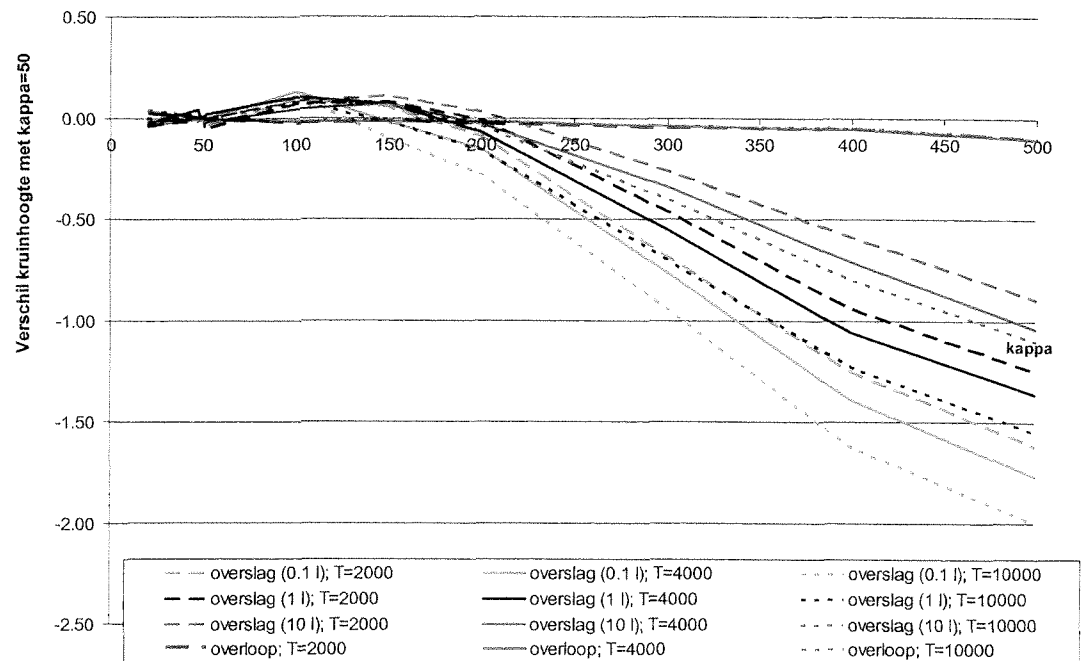
Figuur 7.23 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Harlingen



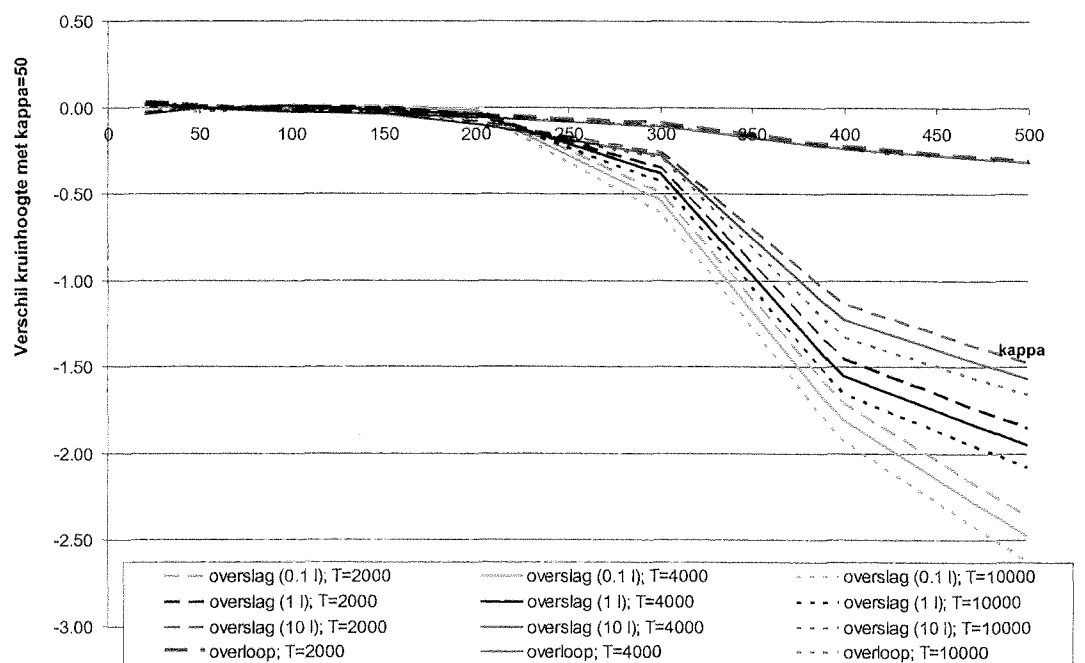
Figuur 7.24 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Terschelling



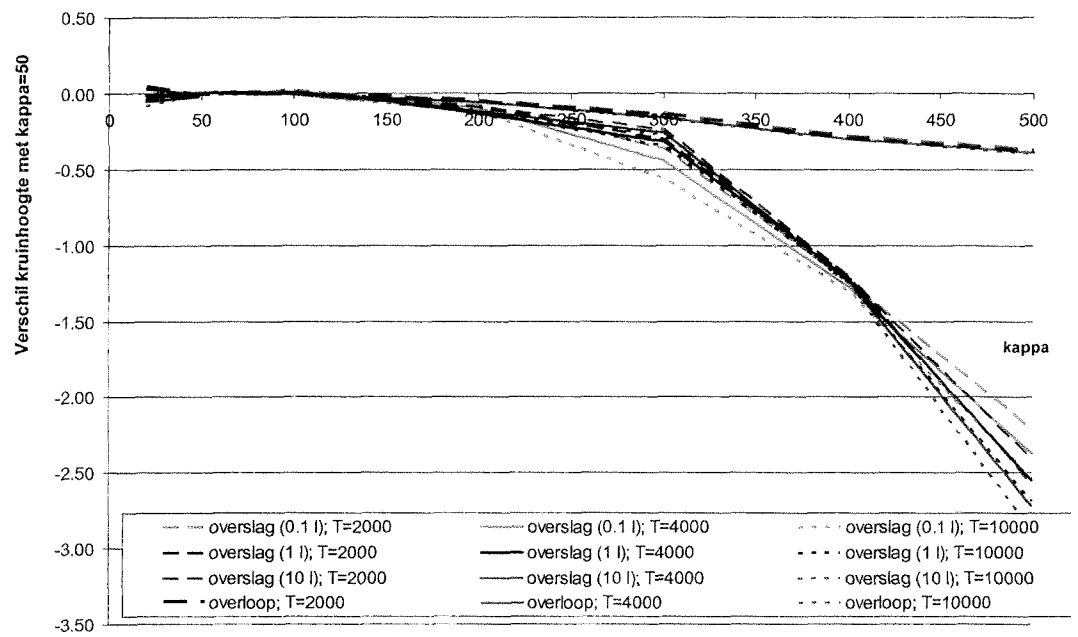
Figuur 7.25 Verschil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Ameland



Figuur 7.26 Verskil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Lauwersoog



Figuur 7.27 Verskil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Delfzijl



Figuur 7.28 Verskil in dijkhoogte (in [m]) t.o.v. $\kappa=50$ als functie van κ ; locatie Breebaart

F Memo keuze stations

Halverwege 2002 is in opdracht van RIKZ een zogenaamde "crash-actie" uitgevoerd voor HYDRA-K. In deze studie is met name gekeken naar de invloed van de keuze van de wind- en waterstandstatistiek. In deze bijlage zijn de belangrijkste resultaten van deze studie opgenomen. In deze berekeningen is uitgegaan van de piekperiode T_p .

Opgemerkt moet worden dat deze studie is uitgevoerd voor een kappa waarde van 50.

F.1 Inleiding

Halverwege 2002 is in opdracht van RIKZ een “crash-actie” uitgevoerd voor HYDRA-K waarbij de keuze van de wind- en waterstandstatistieken voor twee deelgebieden is gewijzigd. Voor de Westerschelde is ten aanzien van de windstatistiek overgestapt van station Vlissingen naar station Hoek van Holland. Voor de Waddenzee-oost is ten aanzien van de waterstandstatistiek overgestapt van station Lauwersoog naar station Delfzijl. In dit memo wordt aan de hand van een aantal testberekeningen een beeld gegeven van het effect dat deze aanpassing tot gevolg heeft.

F.2 Testberekeningen

Om het effect van de keuzes van de wind- en waterstandstations te bepalen zijn berekeningen uitgevoerd voor beide keuzeopties. De berekeningen zijn gemaakt voor de volgende locaties:

Westerschelde:

- Vlissingen
- Hoofdplaat
- Citterspolder
- Hansweert
- Walsoorden
- Bath

Waddenzee-oost:

- Ameland
- Lauwersoog
- Delfzijl
- Breebaart

Berekend is de benodigde dijkhoogte voor ontwerp-herhalingsjijden van $T = 10, 30, 100, 300, 2000, 4000$ en 10000 jaar en vier deterministische grenstoestanden: a) overloop, b) golfoverslag met $0,1$ liter/sm, c) golfoverslag met $1,0$ liter/sm en d) golfoverslag 10 met liter/sm. Bij de berekeningen is telkens de piekperiode T_p gebruikt als invoer van de overslagmodule en de oploopmodule.

Tabel 7.3 t/m Tabel 7.11 bevatten de rekenresultaten van de beschreven exercities. In het kopje boven de berekende dijkhoogten staan telkens de termen “HYDRA-K (I)” en “HYDRA-K (II)” weergegeven. Deze hebben betrekking op de gekozen statistieken voor de wind- en waterstandstations (zie Tabel 7.1). De laatste kolom van genoemde tabellen bevat de verschillen tussen HYDRA-K (I) en HYDRA-K (II) en deze staan tevens weergegeven in Figuur 7.1 t/m Figuur 7.10.

Tabel 7.1 keuze waterstand- en windstations in de twee exercities

Westerschelde			
	wind	waterstand	wind/waterstand
HYDRA-K (I)	Vlissingen	Vlissingen	Vlissingen/Vlissingen
HYDRA-K (II)	Hoek van Holland	Vlissingen	Vlissingen/Vlissingen
Waddenzee Oost			
	wind	waterstand	wind/waterstand
HYDRA-K (I)	Terschelling	Lauwersoog	Terschelling/Lauwersoog
HYDRA-K (II)	Terschelling	Delfzijl	Terschelling/Delfzijl

Voor de overslagsommen blijkt de keuze voor het windstation voor de Westerschelde significant van invloed. Hoewel het verschil tussen HYDRA-K (I) en HYDRA-K (II) afhankelijk is van de locatie, faalcriterium en herhalingstijd is in alle gevallen de berekende dijkhoogte voor HYDRA-K (II) (met windstation Hoek van Holland) hoger. Gemiddeld bedraagt het verschil zo'n 20 cm en maximaal 48 cm. Voor de overloopsom is effect (uiteraard) nihil, omdat de wind geen invloed uitoefent op dit faalmechanisme.

Opgemerkt wordt dat in exercitie HYDRA-K (II) niet consequent wordt omgegaan met de windstatistiek van de Westerschelde (zie Tabel 7.1). Immers, de marginale statistiek is die van Hoek van Holland, terwijl in de simultane waarnemingen station Vlissingen is gebruikt. Reden hiervoor is dat er geen bestand met simultane waarnemingen beschikbaar is voor de combinatie Vlissingen (waterstand) en Hoek van Holland (wind). Eigenlijk dient een dergelijk bestand beschikbaar te komen alvorens het windstation Hoek van Holland in combinatie met waterstandstation Vlissingen gebruikt kan worden. Het is goed denkbaar dat de verschillen als gevolg van de keuze van het windstation dan kleiner worden.

Voor het gebied Waddenzee-oost zijn de verschillen als gevolg van de keuze van het waterstand-station (Lauwersoog of Delfzijl) beduidend kleiner. In absolute waarde blijven de verschillen binnen de 10 cm. Ook hier geldt weer dat het verschil tussen HYDRA-K (I) en HYDRA-K (II) afhankelijk is van de locatie, faalcriterium en herhalingstijd, maar hier is het niet zo dat het ene station consequent hogere uitkomsten geeft dan de andere.

F.3 Overzicht resultaten

Tabel 7.2 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Vlissingen

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	7.70	8.11	0.41
2	overslag	0.1*l/s/m	30	8.45	8.86	0.41
3	overslag	0.1*l/s/m	100	9.25	9.62	0.37
4	overslag	0.1*l/s/m	300	9.93	10.28	0.35
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	10.65	10.98	0.33
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	11.06	11.37	0.31
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	11.46	11.74	0.28
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	11.95	12.21	0.26
9	overslag	1*l/s/m	10	6.68	7.02	0.34
10	overslag	1*l/s/m	30	7.35	7.64	0.29
11	overslag	1*l/s/m	100	8.02	8.31	0.29
12	overslag	1*l/s/m	300	8.60	8.85	0.25
13	overslag	1*l/s/m	1000	9.21	9.47	0.26
14	overslag	1*l/s/m	2000	9.55	9.81	0.26
15	overslag	1*l/s/m	4000	9.91	10.12	0.21
16	overslag	1*l/s/m	10000	10.34	10.53	0.19
17	overslag	10*l/s/m	10	5.66	5.89	0.23
18	overslag	10*l/s/m	30	6.21	6.45	0.24
19	overslag	10*l/s/m	100	6.78	7.00	0.22
20	overslag	10*l/s/m	300	7.28	7.48	0.20
21	overslag	10*l/s/m	1000	7.81	7.98	0.17
22	overslag	10*l/s/m	2000	8.09	8.26	0.17
23	overslag	10*l/s/m	4000	8.37	8.52	0.15
24	overslag	10*l/s/m	10000	8.74	8.88	0.14
25	overloop	nvt	10	3.79	3.79	0.00
26	overloop	nvt	30	4.06	4.06	0.00
27	overloop	nvt	100	4.35	4.35	0.00
28	overloop	nvt	300	4.62	4.62	0.00
29	overloop	nvt	1000	4.91	4.91	0.00
30	overloop	nvt	2000	5.08	5.08	0.00
31	overloop	nvt	4000	5.25	5.25	0.00
32	overloop	nvt	10000	5.45	5.45	0.00

Tabel 7.3 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Citterspolder

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	8.86	9.34	0.48
2	overslag	0.1*l/s/m	30	9.75	10.13	0.38
3	overslag	0.1*l/s/m	100	10.57	10.94	0.37
4	overslag	0.1*l/s/m	300	11.27	11.61	0.34
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	12.02	12.35	0.33
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	12.45	12.75	0.30
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	12.88	13.17	0.29
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	13.42	13.72	0.30
9	overslag	1*l/s/m	10	7.64	7.99	0.35
10	overslag	1*l/s/m	30	8.36	8.69	0.33
11	overslag	1*l/s/m	100	9.11	9.37	0.26
12	overslag	1*l/s/m	300	9.71	10.00	0.29
13	overslag	1*l/s/m	1000	10.43	10.62	0.19
14	overslag	1*l/s/m	2000	10.76	11.00	0.24
15	overslag	1*l/s/m	4000	11.14	11.36	0.22
16	overslag	1*l/s/m	10000	11.61	11.84	0.23
17	overslag	10*l/s/m	10	6.41	6.64	0.23
18	overslag	10*l/s/m	30	6.98	7.24	0.26
19	overslag	10*l/s/m	100	7.60	7.85	0.25
20	overslag	10*l/s/m	300	8.15	8.38	0.23
21	overslag	10*l/s/m	1000	8.71	8.93	0.22
22	overslag	10*l/s/m	2000	9.05	9.24	0.19
23	overslag	10*l/s/m	4000	9.38	9.54	0.16
24	overslag	10*l/s/m	10000	9.78	9.94	0.16
25	overloop	nvt	10	3.98	3.98	0.00
26	overloop	nvt	30	4.25	4.25	0.00
27	overloop	nvt	100	4.56	4.56	0.00
28	overloop	nvt	300	4.84	4.84	0.00
29	overloop	nvt	1000	5.14	5.14	0.00
30	overloop	nvt	2000	5.32	5.32	0.00
31	overloop	nvt	4000	5.50	5.50	0.00
32	overloop	nvt	10000	5.73	5.73	0.00

Tabel 7.4 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Hoofdplaat

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	7.20	7.44	0.24
2	overslag	0.1*l/s/m	30	7.92	8.17	0.25
3	overslag	0.1*l/s/m	100	8.69	8.85	0.16
4	overslag	0.1*l/s/m	300	9.43	9.53	0.10
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	10.19	10.33	0.14
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	10.66	10.80	0.14
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	11.17	11.26	0.09
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	11.78	11.85	0.07
9	overslag	1*l/s/m	10	6.35	6.56	0.21
10	overslag	1*l/s/m	30	6.96	7.16	0.20
11	overslag	1*l/s/m	100	7.64	7.76	0.12
12	overslag	1*l/s/m	300	8.28	8.37	0.09
13	overslag	1*l/s/m	1000	8.96	9.05	0.09
14	overslag	1*l/s/m	2000	9.36	9.47	0.11
15	overslag	1*l/s/m	4000	9.79	9.87	0.08
16	overslag	1*l/s/m	10000	10.35	10.40	0.05
17	overslag	10*l/s/m	10	5.50	5.67	0.17
18	overslag	10*l/s/m	30	6.02	6.14	0.12
19	overslag	10*l/s/m	100	6.60	6.67	0.07
20	overslag	10*l/s/m	300	7.14	7.17	0.03
21	overslag	10*l/s/m	1000	7.72	7.78	0.06
22	overslag	10*l/s/m	2000	8.05	8.14	0.09
23	overslag	10*l/s/m	4000	8.42	8.48	0.06
24	overslag	10*l/s/m	10000	8.89	8.92	0.03
25	overloop	nvt	10	4.00	4.00	0.00
26	overloop	nvt	30	4.29	4.29	0.00
27	overloop	nvt	100	4.60	4.60	0.00
28	overloop	nvt	300	4.89	4.89	0.00
29	overloop	nvt	1000	5.19	5.19	0.00
30	overloop	nvt	2000	5.37	5.37	0.00
31	overloop	nvt	4000	5.55	5.55	0.00
32	overloop	nvt	10000	5.78	5.78	0.00

Tabel 7.5 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Hansweert

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*/l/s/m	10	6.89	7.24	0.35
2	overslag	0.1*/l/s/m	30	7.54	7.91	0.37
3	overslag	0.1*/l/s/m	100	8.23	8.61	0.38
4	overslag	0.1*/l/s/m	300	8.80	9.16	0.36
5	overslag	0.1*/l/s/m	1000	9.46	9.77	0.31
6	overslag	0.1*/l/s/m	2000	9.83	10.13	0.30
7	overslag	0.1*/l/s/m	4000	10.17	10.45	0.28
8	overslag	0.1*/l/s/m	10000	10.64	10.90	0.26
9	overslag	1*/l/s/m	10	6.13	6.39	0.26
10	overslag	1*/l/s/m	30	6.69	6.97	0.28
11	overslag	1*/l/s/m	100	7.30	7.57	0.27
12	overslag	1*/l/s/m	300	7.82	8.08	0.26
13	overslag	1*/l/s/m	1000	8.40	8.64	0.24
14	overslag	1*/l/s/m	2000	8.73	8.95	0.22
15	overslag	1*/l/s/m	4000	9.05	9.23	0.18
16	overslag	1*/l/s/m	10000	9.44	9.65	0.21
17	overslag	10*/l/s/m	10	5.44	5.61	0.17
18	overslag	10*/l/s/m	30	5.90	6.09	0.19
19	overslag	10*/l/s/m	100	6.41	6.61	0.20
20	overslag	10*/l/s/m	300	6.88	7.06	0.18
21	overslag	10*/l/s/m	1000	7.40	7.56	0.16
22	overslag	10*/l/s/m	2000	7.65	7.81	0.16
23	overslag	10*/l/s/m	4000	7.93	8.08	0.15
24	overslag	10*/l/s/m	10000	8.31	8.44	0.13
25	overloop	nvt	10	4.39	4.39	0.00
26	overloop	nvt	30	4.70	4.70	0.00
27	overloop	nvt	100	5.05	5.05	0.00
28	overloop	nvt	300	5.35	5.35	0.00
29	overloop	nvt	1000	5.70	5.70	0.00
30	overloop	nvt	2000	5.90	5.90	0.00
31	overloop	nvt	4000	6.10	6.10	0.00
32	overloop	nvt	10000	6.37	6.37	0.00

Tabel 7.6 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Walsoorden

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	5.63	5.98	0.35
2	overslag	0.1*l/s/m	30	6.17	6.49	0.32
3	overslag	0.1*l/s/m	100	6.73	7.03	0.30
4	overslag	0.1*l/s/m	300	7.25	7.52	0.27
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	7.83	8.08	0.25
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	8.16	8.39	0.23
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	8.52	8.73	0.21
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	8.99	9.21	0.22
9	overslag	1*l/s/m	10	5.28	5.50	0.22
10	overslag	1*l/s/m	30	5.74	5.97	0.23
11	overslag	1*l/s/m	100	6.27	6.49	0.22
12	overslag	1*l/s/m	300	6.76	6.95	0.19
13	overslag	1*l/s/m	1000	7.30	7.46	0.16
14	overslag	1*l/s/m	2000	7.60	7.76	0.16
15	overslag	1*l/s/m	4000	7.91	8.08	0.17
16	overslag	1*l/s/m	10000	8.33	8.49	0.16
17	overslag	10*l/s/m	10	4.91	5.06	0.15
18	overslag	10*l/s/m	30	5.35	5.52	0.17
19	overslag	10*l/s/m	100	5.84	5.98	0.14
20	overslag	10*l/s/m	300	6.28	6.40	0.12
21	overslag	10*l/s/m	1000	6.73	6.86	0.13
22	overslag	10*l/s/m	2000	7.01	7.16	0.15
23	overslag	10*l/s/m	4000	7.30	7.42	0.12
24	overslag	10*l/s/m	10000	7.67	7.80	0.13
25	overloop	nvt	10	4.53	4.53	0.00
26	overloop	nvt	30	4.85	4.85	0.00
27	overloop	nvt	100	5.20	5.20	0.00
28	overloop	nvt	300	5.53	5.53	0.00
29	overloop	nvt	1000	5.89	5.89	0.00
30	overloop	nvt	2000	6.10	6.10	0.00
31	overloop	nvt	4000	6.30	6.30	0.00
32	overloop	nvt	10000	6.57	6.57	0.00

Tabel 7.7 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Bath

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	6.96	7.30	0.34
2	overslag	0.1*l/s/m	30	7.66	7.99	0.33
3	overslag	0.1*l/s/m	100	8.44	8.72	0.28
4	overslag	0.1*l/s/m	300	9.08	9.33	0.25
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	9.74	9.99	0.25
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	10.13	10.35	0.22
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	10.54	10.71	0.17
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	11.03	11.22	0.19
9	overslag	1*l/s/m	10	6.31	6.59	0.28
10	overslag	1*l/s/m	30	6.95	7.21	0.26
11	overslag	1*l/s/m	100	7.62	7.82	0.20
12	overslag	1*l/s/m	300	8.18	8.37	0.19
13	overslag	1*l/s/m	1000	8.77	8.95	0.18
14	overslag	1*l/s/m	2000	9.14	9.27	0.13
15	overslag	1*l/s/m	4000	9.46	9.61	0.15
16	overslag	1*l/s/m	10000	9.92	10.07	0.15
17	overslag	10*l/s/m	10	5.67	5.86	0.19
18	overslag	10*l/s/m	30	6.22	6.40	0.18
19	overslag	10*l/s/m	100	6.78	6.95	0.17
20	overslag	10*l/s/m	300	7.26	7.41	0.15
21	overslag	10*l/s/m	1000	7.81	7.94	0.13
22	overslag	10*l/s/m	2000	8.10	8.24	0.14
23	overslag	10*l/s/m	4000	8.42	8.52	0.10
24	overslag	10*l/s/m	10000	8.82	8.93	0.11
25	overloop	nvt	10	4.75	4.75	0.00
26	overloop	nvt	30	5.08	5.08	0.00
27	overloop	nvt	100	5.44	5.44	0.00
28	overloop	nvt	300	5.79	5.79	0.00
29	overloop	nvt	1000	6.17	6.17	0.00
30	overloop	nvt	2000	6.38	6.38	0.00
31	overloop	nvt	4000	6.60	6.60	0.00
32	overloop	nvt	10000	6.89	6.89	0.00

Tabel 7.8 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Ameland

nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	5.43	5.49	0.06
2	overslag	0.1*l/s/m	30	5.99	6.06	0.07
3	overslag	0.1*l/s/m	100	6.54	6.60	0.06
4	overslag	0.1*l/s/m	300	7.01	7.10	0.09
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	7.53	7.62	0.09
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	7.85	7.92	0.07
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	8.14	8.22	0.08
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	8.53	8.61	0.08
9	overslag	1*l/s/m	10	4.83	4.88	0.05
10	overslag	1*l/s/m	30	5.32	5.36	0.04
11	overslag	1*l/s/m	100	5.78	5.85	0.07
12	overslag	1*l/s/m	300	6.21	6.29	0.08
13	overslag	1*l/s/m	1000	6.69	6.75	0.06
14	overslag	1*l/s/m	2000	6.95	7.01	0.06
15	overslag	1*l/s/m	4000	7.21	7.28	0.07
16	overslag	1*l/s/m	10000	7.54	7.60	0.06
17	overslag	10*l/s/m	10	4.20	4.24	0.04
18	overslag	10*l/s/m	30	4.64	4.69	0.05
19	overslag	10*l/s/m	100	5.08	5.12	0.04
20	overslag	10*l/s/m	300	5.45	5.49	0.04
21	overslag	10*l/s/m	1000	5.83	5.88	0.05
22	overslag	10*l/s/m	2000	6.05	6.11	0.06
23	overslag	10*l/s/m	4000	6.28	6.34	0.06
24	overslag	10*l/s/m	10000	6.59	6.62	0.03
25	overloop	nvt	10	3.24	3.25	0.01
26	overloop	nvt	30	3.53	3.54	0.01
27	overloop	nvt	100	3.82	3.83	0.01
28	overloop	nvt	300	4.07	4.07	0.00
29	overloop	nvt	1000	4.31	4.32	0.01
30	overloop	nvt	2000	4.45	4.45	0.00
31	overloop	nvt	4000	4.58	4.58	0.00
32	overloop	nvt	10000	4.75	4.75	0.00

Tabel 7.9 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Lauwersoog

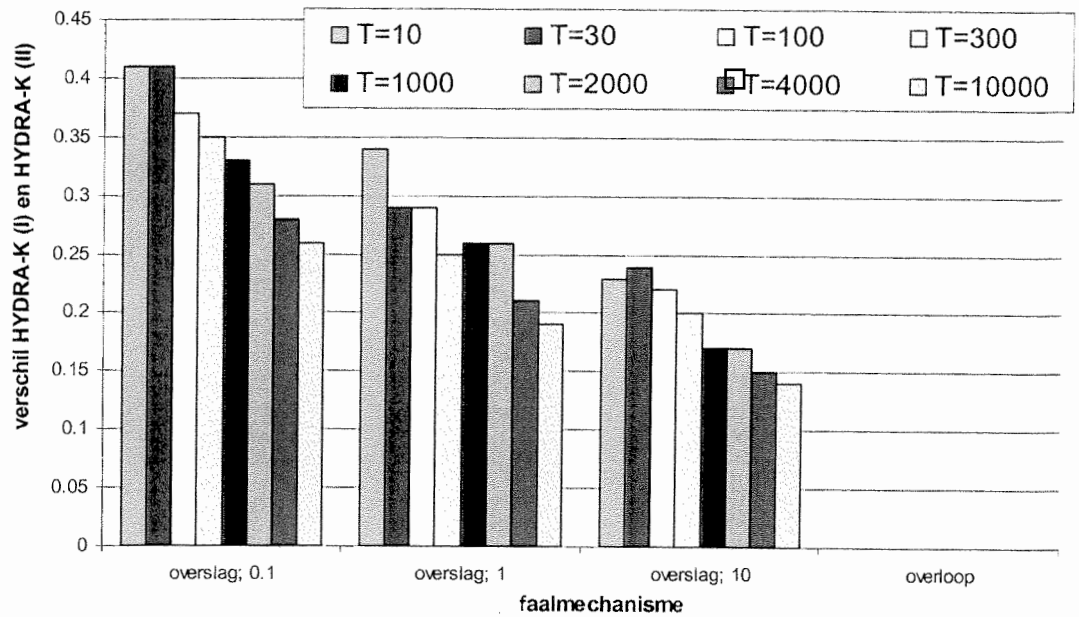
nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*/l/s/m	10	7.74	7.73	-0.01
2	overslag	0.1*/l/s/m	30	8.58	8.61	0.03
3	overslag	0.1*/l/s/m	100	9.40	9.45	0.05
4	overslag	0.1*/l/s/m	300	10.18	10.25	0.07
5	overslag	0.1*/l/s/m	1000	11.12	11.17	0.05
6	overslag	0.1*/l/s/m	2000	11.69	11.72	0.03
7	overslag	0.1*/l/s/m	4000	12.17	12.20	0.03
8	overslag	0.1*/l/s/m	10000	12.81	12.85	0.04
9	overslag	1*/l/s/m	10	6.67	6.64	-0.03
10	overslag	1*/l/s/m	30	7.37	7.38	0.01
11	overslag	1*/l/s/m	100	8.11	8.16	0.05
12	overslag	1*/l/s/m	300	8.75	8.85	0.10
13	overslag	1*/l/s/m	1000	9.52	9.61	0.09
14	overslag	1*/l/s/m	2000	10.00	10.04	0.04
15	overslag	1*/l/s/m	4000	10.41	10.47	0.06
16	overslag	1*/l/s/m	10000	10.95	11.00	0.05
17	overslag	10*/l/s/m	10	5.58	5.57	-0.01
18	overslag	10*/l/s/m	30	6.22	6.21	-0.01
19	overslag	10*/l/s/m	100	6.84	6.80	-0.04
20	overslag	10*/l/s/m	300	7.36	7.38	0.02
21	overslag	10*/l/s/m	1000	7.95	8.01	0.06
22	overslag	10*/l/s/m	2000	8.32	8.39	0.07
23	overslag	10*/l/s/m	4000	8.70	8.73	0.03
24	overslag	10*/l/s/m	10000	9.08	9.17	0.09
25	overloop	nvt	10	3.51	3.51	0.00
26	overloop	nvt	30	3.83	3.81	-0.02
27	overloop	nvt	100	4.14	4.13	-0.01
28	overloop	nvt	300	4.41	4.41	0.00
29	overloop	nvt	1000	4.69	4.69	0.00
30	overloop	nvt	2000	4.85	4.85	0.00
31	overloop	nvt	4000	5.00	5.00	0.00
32	overloop	nvt	10000	5.19	5.19	0.00

Tabel 7.10 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Delfzijl

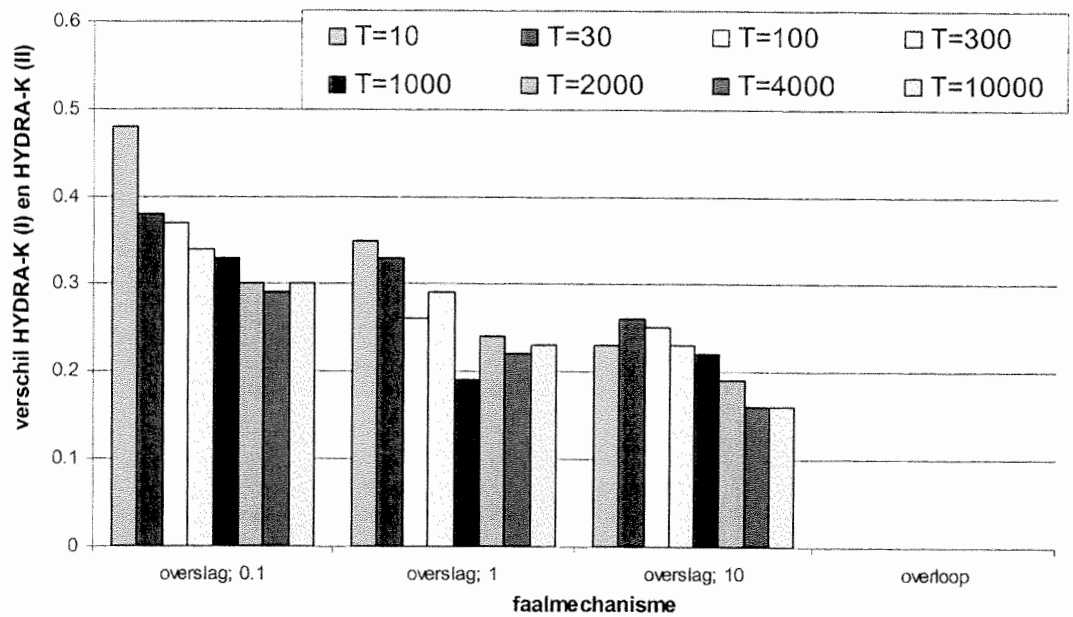
nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	6.42	6.38	-0.04
2	overslag	0.1*l/s/m	30	7.35	7.28	-0.07
3	overslag	0.1*l/s/m	100	8.35	8.25	-0.10
4	overslag	0.1*l/s/m	300	9.12	9.10	-0.02
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	9.94	9.89	-0.05
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	10.41	10.36	-0.05
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	10.85	10.81	-0.04
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	11.39	11.37	-0.02
9	overslag	1*l/s/m	10	5.76	5.74	-0.02
10	overslag	1*l/s/m	30	6.56	6.53	-0.03
11	overslag	1*l/s/m	100	7.43	7.36	-0.07
12	overslag	1*l/s/m	300	8.13	8.10	-0.03
13	overslag	1*l/s/m	1000	8.84	8.82	-0.02
14	overslag	1*l/s/m	2000	9.25	9.22	-0.03
15	overslag	1*l/s/m	4000	9.63	9.60	-0.03
16	overslag	1*l/s/m	10000	10.12	10.09	-0.03
17	overslag	10*l/s/m	10	5.15	5.09	-0.06
18	overslag	10*l/s/m	30	5.79	5.80	0.01
19	overslag	10*l/s/m	100	6.53	6.49	-0.04
20	overslag	10*l/s/m	300	7.14	7.11	-0.03
21	overslag	10*l/s/m	1000	7.76	7.73	-0.03
22	overslag	10*l/s/m	2000	8.11	8.08	-0.03
23	overslag	10*l/s/m	4000	8.45	8.41	-0.04
24	overslag	10*l/s/m	10000	8.86	8.84	-0.02
25	overloop	nvt	10	4.13	4.06	-0.07
26	overloop	nvt	30	4.52	4.48	-0.04
27	overloop	nvt	100	4.91	4.89	-0.02
28	overloop	nvt	300	5.25	5.23	-0.02
29	overloop	nvt	1000	5.58	5.57	-0.01
30	overloop	nvt	2000	5.77	5.76	-0.01
31	overloop	nvt	4000	5.95	5.95	0.00
32	overloop	nvt	10000	6.18	6.18	0.00

Tabel 7.11 Berekende dijkhoogten (in [m] t.o.v. NAP) voor de locatie Breebaart

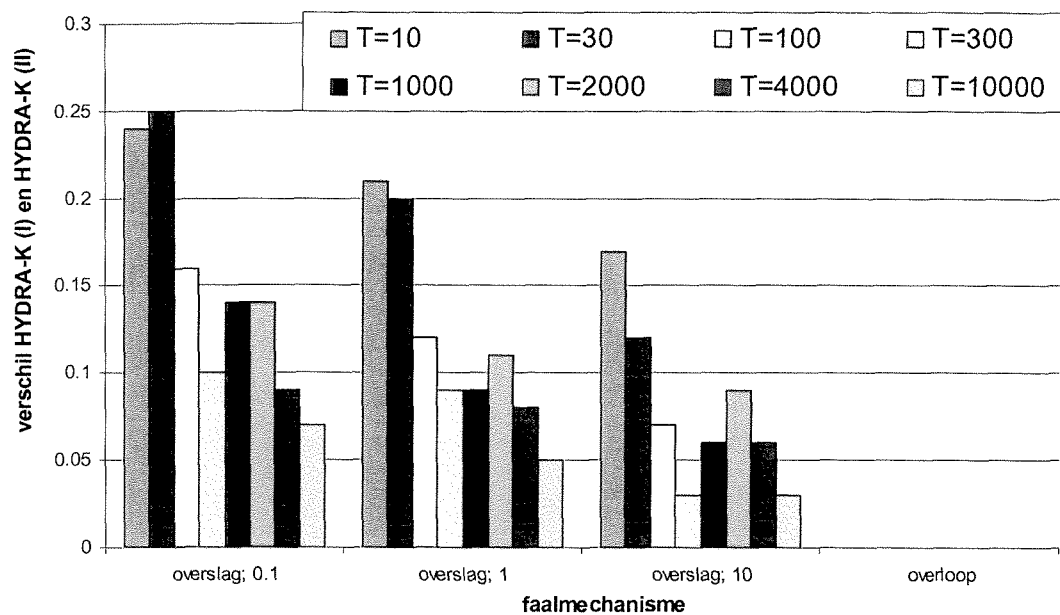
nr.	Mechanisme	criterium	T(jaar)	HYDRA-K (I)	HYDRA-K (II)	verschil
1	overslag	0.1*l/s/m	10	5.11	5.09	-0.02
2	overslag	0.1*l/s/m	30	5.69	5.70	0.01
3	overslag	0.1*l/s/m	100	6.29	6.30	0.01
4	overslag	0.1*l/s/m	300	6.77	6.79	0.02
5	overslag	0.1*l/s/m	1000	7.26	7.29	0.03
6	overslag	0.1*l/s/m	2000	7.54	7.58	0.04
7	overslag	0.1*l/s/m	4000	7.82	7.85	0.03
8	overslag	0.1*l/s/m	10000	8.17	8.16	-0.01
9	overslag	1*l/s/m	10	4.90	4.89	-0.01
10	overslag	1*l/s/m	30	5.44	5.45	0.01
11	overslag	1*l/s/m	100	5.99	5.98	-0.01
12	overslag	1*l/s/m	300	6.43	6.44	0.01
13	overslag	1*l/s/m	1000	6.88	6.91	0.03
14	overslag	1*l/s/m	2000	7.14	7.17	0.03
15	overslag	1*l/s/m	4000	7.40	7.42	0.02
16	overslag	1*l/s/m	10000	7.70	7.74	0.04
17	overslag	10*l/s/m	10	4.68	4.66	-0.02
18	overslag	10*l/s/m	30	5.20	5.18	-0.02
19	overslag	10*l/s/m	100	5.66	5.67	0.01
20	overslag	10*l/s/m	300	6.07	6.09	0.02
21	overslag	10*l/s/m	1000	6.51	6.51	0.00
22	overslag	10*l/s/m	2000	6.76	6.76	0.00
23	overslag	10*l/s/m	4000	6.99	6.97	-0.02
24	overslag	10*l/s/m	10000	7.28	7.28	0.00
25	overloop	nvt	10	4.54	4.48	-0.06
26	overloop	nvt	30	4.94	4.92	-0.02
27	overloop	nvt	100	5.36	5.34	-0.02
28	overloop	nvt	300	5.71	5.69	-0.02
29	overloop	nvt	1000	6.06	6.07	0.01
30	overloop	nvt	2000	6.26	6.25	-0.01
31	overloop	nvt	4000	6.45	6.45	0.00
32	overloop	nvt	10000	6.70	6.70	0.00



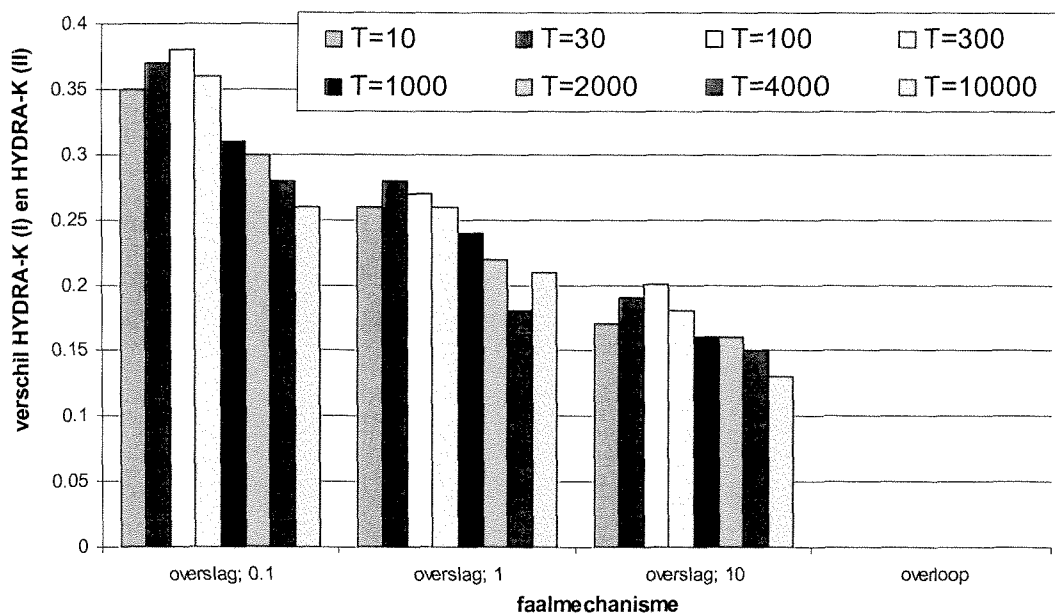
Figuur 7.1 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Vlissingen.



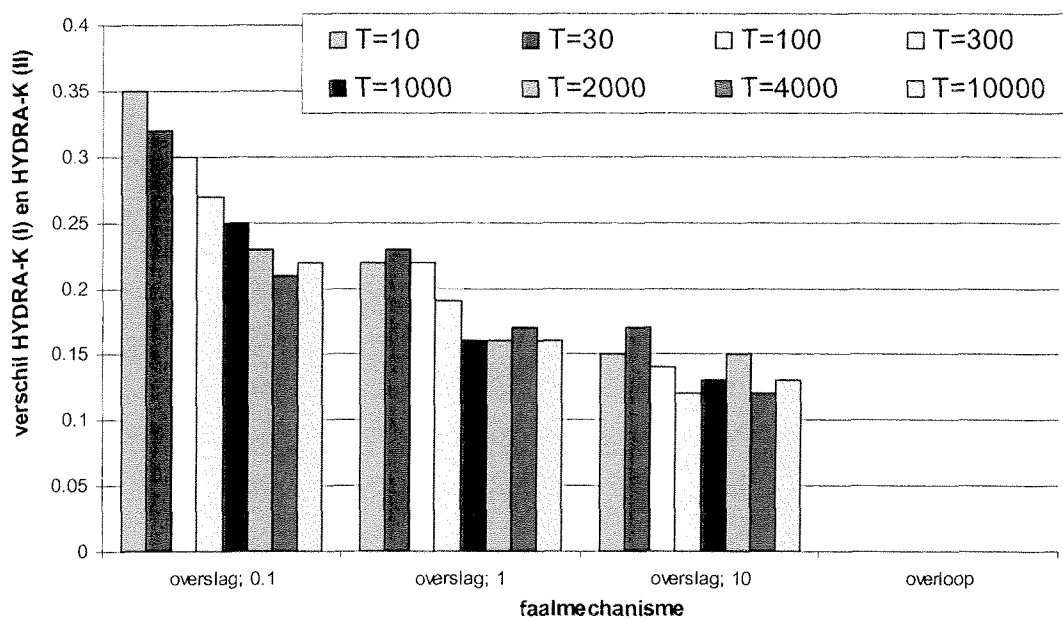
Figuur 7.2 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Citterspolder.



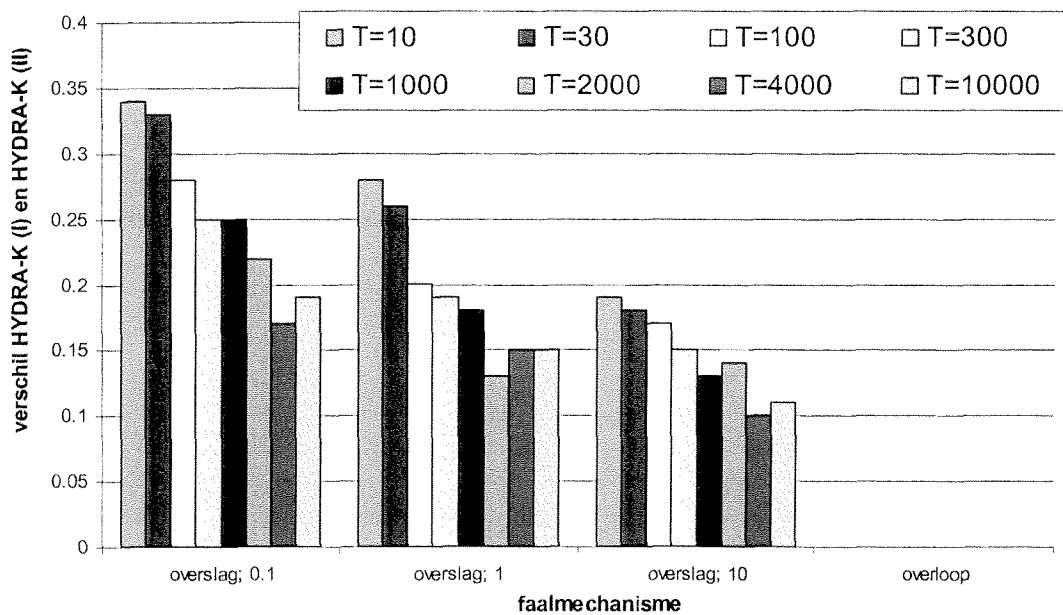
Figuur 7.3 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Hoofdplaat.



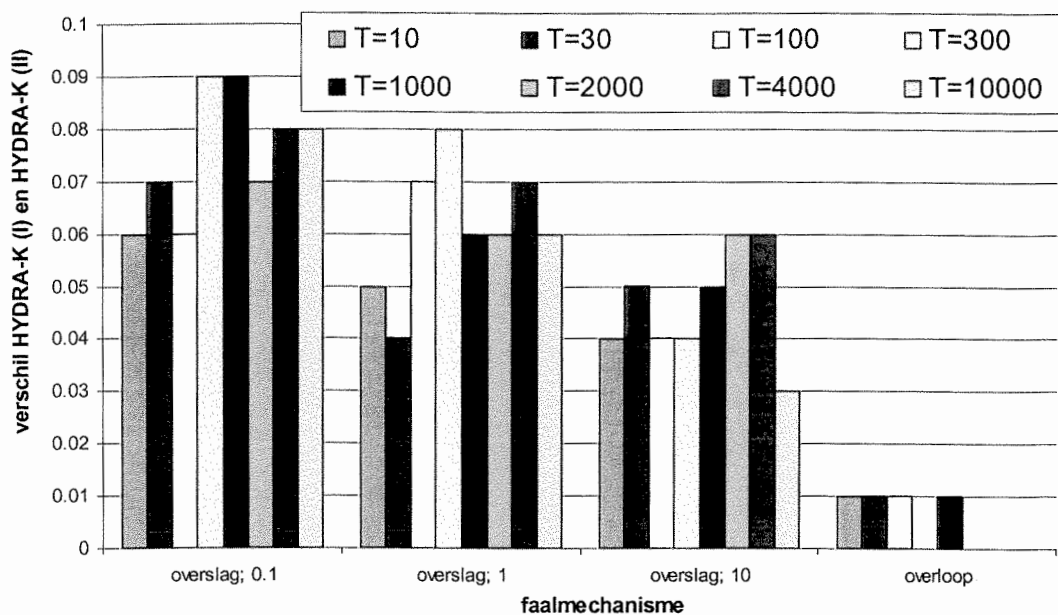
Figuur 7.4 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Hansweert.



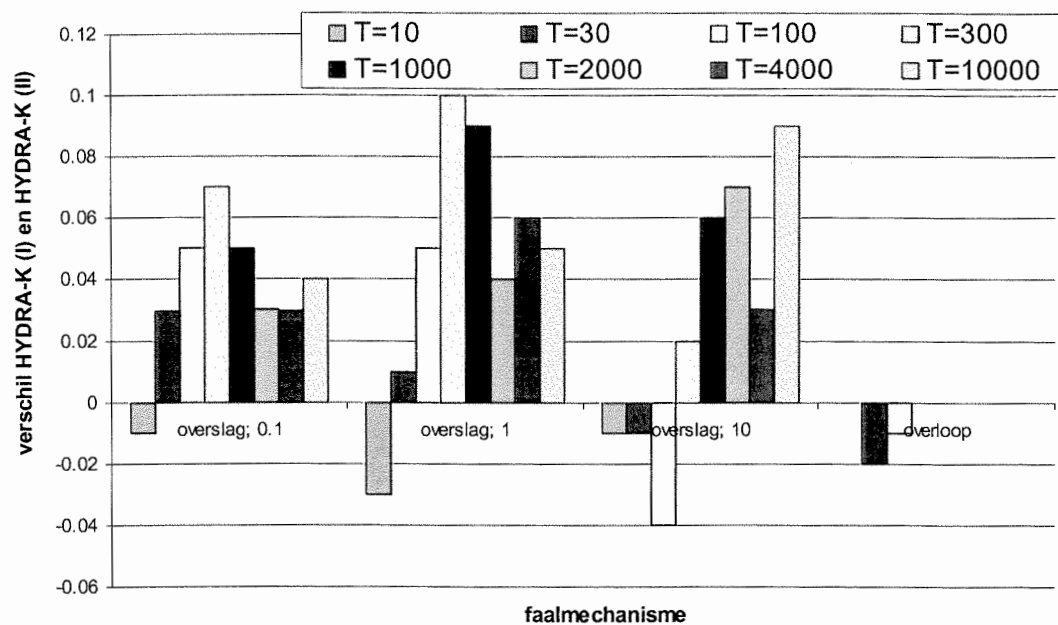
Figuur 7.5 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Walsorden.



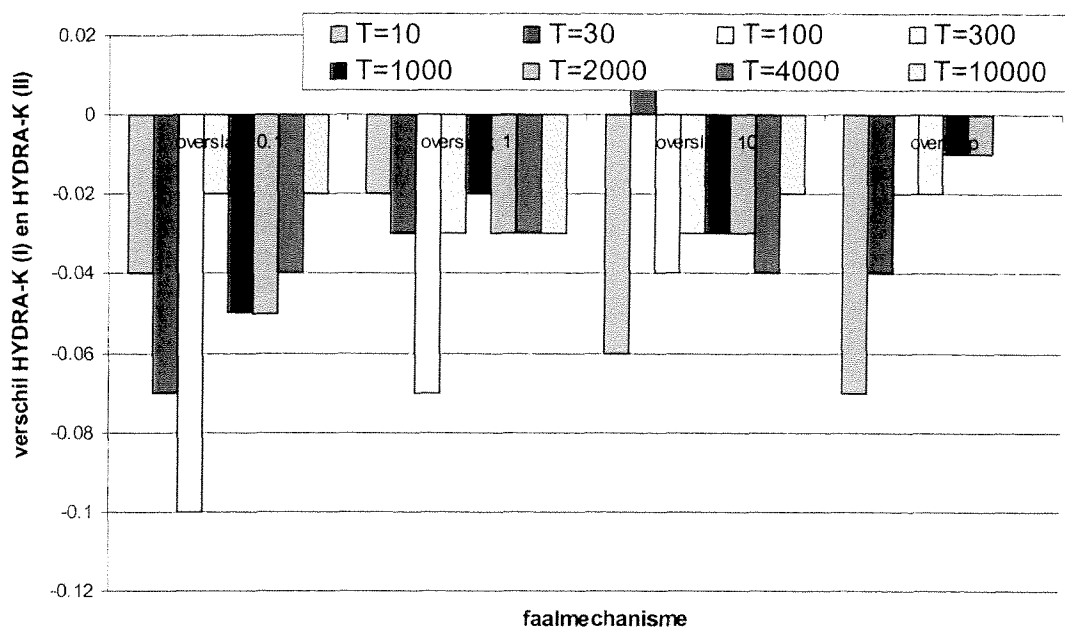
Figuur 7.6 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Bath.



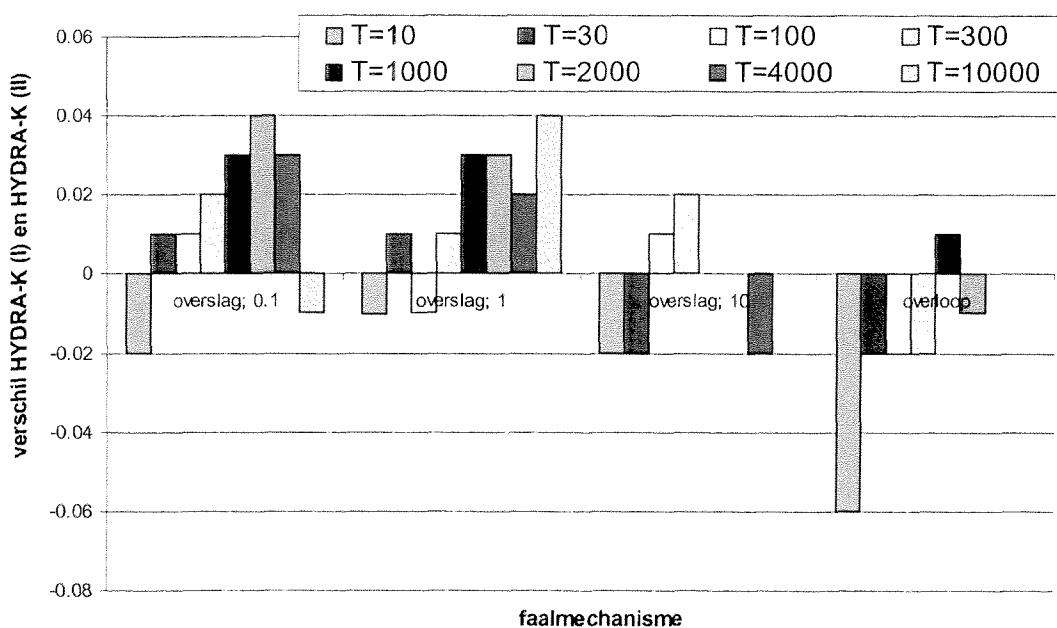
Figuur 7.7 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Ameland.



Figuur 7.8 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Lauwersoog.



Figuur 7.9 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Delfzijl.



Figuur 7.10 Verschillen in dijkhoogten in [m] door keuze stations (zie Tabel 7.1) voor de locatie Breebaart.

G Overzicht correctie toetspeilen PC-Ring en Hydra-K

In deze bijlage is de notitie betreffende de correctie van de toetspeilen in PC-Ring en Hydra-K opgenomen.

Opgemerkt moet worden dat deze studie is uitgevoerd voor een kappa waarde van 50.

Aan : Projectgroep UBW –Westerschelde/Wadden
Van : Ferdinand Diermanse (WL)
Betreft : overzicht correctie toetspeilen PC-Ring en HYDRA-K
Datum : 2 decmeber 2003
Kopie :
Afhandeling:

G.1 Inleiding

Binnen HYDRA-K en PC-Ring wordt een correctie toegepast op de berekende waterstand om er zorg voor te dragen dat de waterstand bij de normfrequentie² gelijk is aan het toetspeil, zoals dat voor het randvoorwaardenboek 2001 bepaald is. De grootte van deze correctie wordt als volgt bepaald:

4. Voer een eerste berekening uit van de (maatgevende) waterstand, h , bij de normfrequentie.
5. Lees het toetspeil, H_T , uit de database profielen.mdb.
6. Bereken het verschil $\Delta = H_T - h$.

De waarde van Δ is de correctie en deze wordt in de vervolgberekeningen binnen HYDRA-K en PC-Ring opgeteld bij de berekende nearshore waterstand.

G.2 Verschillen tussen HYDRA-K en PC-Ring

Eén van de verschillen tussen PC-Ring en HYDRA-K is dat stap 1 t/m 3 wel binnen HYDRA-K worden uitgevoerd maar niet binnen PC-Ring. Voor PC-Ring is de waarde van de correctie een invoer-waarde. De wijze waarop deze waarde berekend wordt is analoog aan de wijze waarop binnen PC-Ring de locale waterstand berekend wordt.

Een tweede verschil tussen PC-Ring en HYDRA-K is de berekeningsmethode van stap 1 in de hierboven beschreven procedure. Voor PC-Ring wordt eerst de maatgevende waterstand in drie omliggende locaties (stations) bepaald uit de beschikbare statistiek. Voor elk station wordt daartoe de omnidirectionele waterstand berekend die hoort bij de normfrequentie. Vervolgens wordt de locale maatgevende waterstand berekend op basis van triangulaire interpolatie van de berekende waterstanden in de drie stations.

In HYDRA-K wordt weliswaar dezelfde interpolatie procedure toegepast, maar wordt de koppeling tussen frequentie en waterstand middels de “methode de Haan” bepaald op basis van gemeten simultane waarnemingen van wind en waterstand. Binnen HYDRA-K wordt derhalve gebruik gemaakt waarnemingen, terwijl dat in de voorbereiding van PC-Ring niet gebeurt. Aangezien niet verwacht kan worden dat de simultane waarnemingen een soort van “perfecte trekking” vormen van de marginale wind- en waterstandstatistiek, zullen naar verwachting de waterstandscorrecties voor PC-Ring en HYDRA-K onderling verschillen (Let wel: de marginale wind- en waterstandstatistiek is afgeleid uit een andere reeks metingen dan de simultane waarnemingen). In het vervolg van dit memo worden deze verschillen gekwantificeerd voor een aantal locaties.

² Deze normfrequentie is voor bijvoorbeeld de Westerschelde gelijk aan 1/4.000 en voor de gesloten kust gelijk aan 1/10.000.

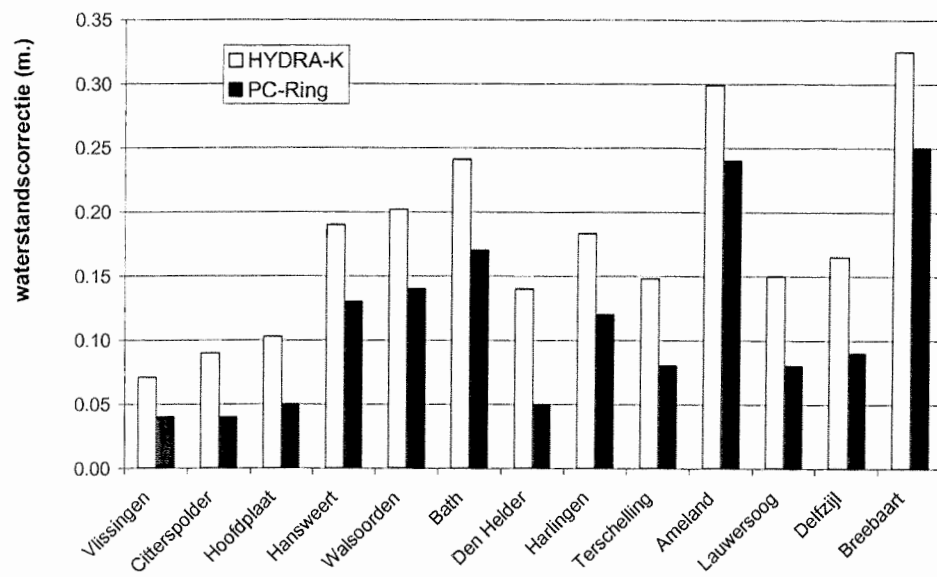
G.3 Kwantificeren van verschillen

Tabel 7.2 en Figuur 7.1 geven de waterstandscorrecties weer voor 6 locaties langs de Westerschelde en 7 locaties langs de Waddenzee. Een aantal aspecten valt hieruit op:

- De waterstandscorrecties in zijn positief voor alle 13 locaties, hetgeen wil zeggen dat de eerste berekening van de waterstand telkens lager uitkomt dan het toetspeil. Opgemerkt wordt dat er wel locaties zijn waarvoor de correctie negatief is, maar daar horen deze 13 locaties dus niet bij.
- Voor alle 13 locaties is de waterstandscorrectie binnen HYDRA-K groter dan binnen PC-Ring. Ook hier geldt weer dat dit niet voor alle locaties langs de kust het geval is, maar wel voor het meerendeel.
- Het verschil in waterstandscorrectie is over het algemeen in de orde van 5 tot 8 cm.

Tabel 7.1 Waterstandscorrecties in [m] binnen PC-Ring en HYDRA-K voor 13 lokaties.

locatie	X	Y	HYDRA-K	PC-Ring	verschil
Vlissingen	29571	384983	0.07	0.04	0.03
Citterspolder	38356	383762	0.09	0.04	0.05
Hoofdplaat	35953	377341	0.10	0.05	0.05
Hansweert	58494	385061	0.19	0.13	0.06
Walsoorden	61216	377326	0.20	0.14	0.06
Bath	72786	379646	0.24	0.17	0.07
Den Helder	111752	553252	0.14	0.05	0.09
Harlingen	158069	579713	0.18	0.12	0.06
Terschelling	148188	598283	0.15	0.08	0.07
Ameland	173403	604338	0.30	0.24	0.06
Lauwersoog	207445	603479	0.15	0.08	0.07
Delfzijl	257559	595851	0.17	0.09	0.08
Breebaart	268110	590661	0.33	0.25	0.08



Figuur 7.1 Waterstandscorrecties in [m] binnen PC-Ring en HYDRA-K voor 13 lokaties.

H Lengte meetreeks

H.1 Inleiding

De methode de Haan gaat uit van het principe dat de correlatiestructuur tussen twee of meer variabelen die is waargenomen gedurende een periode van meten, behouden blijft voor gebeurtenissen in het extreme bereik (d.w.z. het bereik van gebeurtenissen die zo extreem zijn dat ze nog niet zijn waargenomen). Het principe van de methode de Haan komt voort uit de aanname van asymptotische afhankelijkheid tussen windsnelheid en waterstand. Het behoud van de correlatiestructuur betekent in praktische zin een verschuiving langs de diagonaal in het standaard exponentiële vlak op de wijze zoals in Figuur 7.1 is weergegeven.

Voor een gegeven dijkprofiel wordt de jaarlijkse faalfrequentie als volgt afgeleid (zie functioneel ontwerp):

$$v = \frac{\kappa \exp(-\lambda)}{\Delta}$$

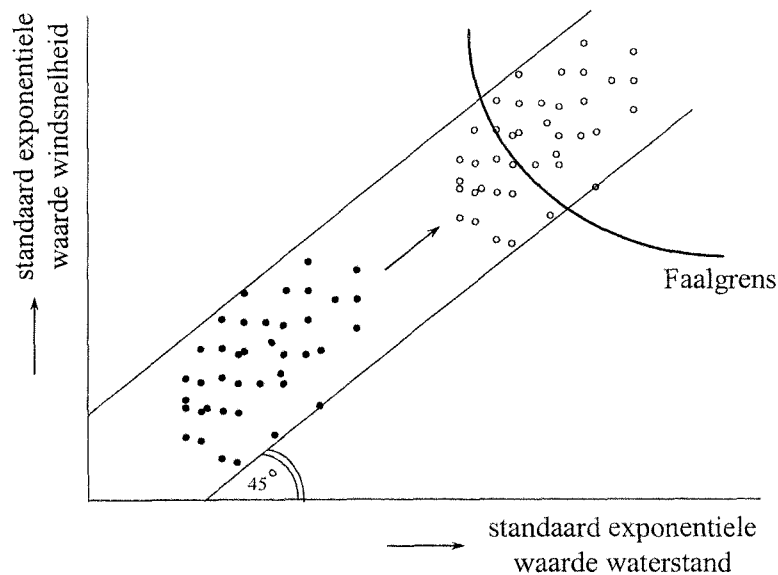
Waarin:

v = de jaarlijkse faalfrequentie.

κ = het aantal punten dat in het faalgebied verschoven is.

λ = de uitgevoerde verschuiving in het exponentiële vlak.

Δ = de lengte van de periode waarin de waarnemingen verzameld zijn.



Figuur 7.2 verschuiving van waarnemingen in het standaard exponentiële vlak

Tijdens een eerdere analyse (zie WL, 2003: HYDRA-K – Oosterschelde; analyse versie 2.05 en aanpassingen naar versie 2.06) is opgemerkt dat de lengte van de periode

waarin de metingen verzameld zijn, Δ , niet is terug te vinden in de kruinhoogte-berekeningen en faalfrequentie-berekeningen binnen HYDRA-K. In dit memo wordt hier verder op ingegaan.

H.2 Lengte meetreeks in de code

Het bestand met simultane wind- en waterstandsmetingen wordt ingelezen in de module *HaalWaarnemingen.m*. In deze module wordt tevens de lengte van de meetreeks afgeleid. Omdat HYDRA-K de mogelijkheid biedt voor batchberekening en berekening via de user interface wordt de module *HaalWaarnemingen.m* in meerdere andere modules aangeroepen, nl: *CBMenu.m*, *BatchRekenen.m* en *Bepaalcorrectie.m*.

Binnen *CBMenu.m* vindt deze aanroep meerdere keren plaats, omdat vanuit de user-interface de gebruiker meerdere mogelijkheden biedt voor het uitvoeren van berekeningen en/of grafieken (faalfrequentieberekeningen, kruinhoogteberekeningen, 2D-grafieken, histogrammen, etc.). Echter in veel gevallen is de lengte van de meetreeks niet als uitvoer gedefinieerd bij de aanroep! Eigenlijk gebeurt dit alleen op het moment dat de gebruiker de optie “2D grafieken” aanklikt in het user-interface. Voor de overige grafieken en berekeningen wordt er dus niets met de lengte van de meetreeks gedaan.

Test: verlengen lengte meetreeks via de invoer

Voor de zekerheid is een test uitgevoerd om na te gaan of deze laatste constatering juist is. Daartoe is het jaartal van de laatste regel van het bestand met de simultane waarnemingen met 100 verhoogd (d.w.z. het jaartal 2097 is ingevoerd in plaats van 1997). De tussen-uitvoer laat zien dat HYDRA-K door deze aanpassing inderdaad in de veronderstelling is dat de lengte van de meetreeks 119 jaar is in plaats van de werkelijke 19 jaar. Echter, voor zowel een faalfrequentie-berekening als een kruinhoogte-berekening bleek dit geen effect op de uitkomst te hebben, hetgeen bevestigt dat de lengte van de meetreeks inderdaad niet van invloed is.

In het volgende hoofdstuk wordt het één en ander toegelicht aan de hand van de methode de Haan zoals deze in HYDRA-K wordt uitgevoerd.

H.3 Kruinhoogte- en faalfrequentie-berekening

H.3.1 Methode

In deze paragraaf een korte beschrijving van praktische invulling van de methode de Haan in PC-Ring (kruinhoogte-berekening met de optie “hoogste waterstand”).

Definieer:

N	=	het totaal aantal stormen van de reeks simultane waarnemingen.
$h_{n,t}$	=	de waterstand in het t^e uur van de n^e storm van de reeks simultane waarnemingen.

Voer de volgende stappen uit voor elke windrichtingsector r :

1. Selecteer alle stormen uit het bestand met simultane waarnemingen waarbinnen windrichtingsector r wordt waargenomen.
2. Selecteer voor elk van deze stormen de hoogste waterstand die bij windrichtingsector r wordt waargenomen (deze waarde hoeft dus niet gelijk te zijn aan de hoogste waterstand die binnen de storm wordt waargenomen).
3. Noem deze reeks van geselecteerde waterstanden $\{h_{max}\}_r$.

Voer vervolgens voor elke stormgebeurtenis n , $n = 1..N$ de volgende stappen uit:

4. Bepaal het tijdstip t_n waarop de hoogste waterstand h_n binnen deze storm plaatsvindt.
5. Bepaal de windrichtingsector r_n die op tijdstip t_n wordt waargenomen en beschouw r_n als de representatieve windrichtingsector van storm n .
6. Tel hoe vaak de maximale waterstand h_n wordt overschreden door een waterstand uit de reeks $\{h_{max}\}_{r_n}$ (zie stap 3). Noem dit aantal f_n .
7. Bepaal de getransponeerde van de overschrijdingsfrequentie: $f_n^* = \frac{f_n}{\kappa T}$, waarbij T de herhalingsperiode is waarvoor de kruinhoogte bepaald wordt en κ het aantal stormgebeurtenissen is dat naar het faalgebied verschoven wordt.
8. Selecteer drie waterstandsstations ("steunpunten") waarmee de triangulaire interpolatie wordt uitgevoerd.
9. Bepaal voor de drie steunpunten de waterstand, behorende bij de getransponeerde van de overschrijdingsfrequentie (f_n^*) op basis van de inverse van de Weibullverdeling die voor de betreffende steunpunten is afgeleid.
10. Voer de triangulaire interpolatie uit op basis van de drie waterstanden van de vorige stap en bereken op deze wijze de getransponeerde waterstand h_n^* .

Op deze wijze wordt dus de oorspronkelijke waterstand h_n opgeschaald naar waterstand h_n^* . Voor de windsnelheid wordt een soortgelijke procedure uitgevoerd, met uitzondering van stap 8 t/m 10 (de triangulaire interpolatie). De opgeschaalde windsnelheid u_n^* wordt in stap 8 direct bepaald uit de inverse van de Weibullverdeling van het representatieve windstation.

Opmerkingen

Naar aanleiding van bovenstaande procedure wordt benadrukt dat:

1. de lengte van de meetreeks geen rol van betekenis speelt;
2. de absolute waarde van waterstanden en windsnelheden uit de reeks simultane waarnemingen niet van belang zijn; slechts de onderlinge verhoudingen.

Ad 1. Dit is dus in lijn met wat eerder geconstateerd is.

Ad 2. Om deze bewering te staven is een extra controleberekening uitgevoerd. Daartoe is 10 meter opgeteld bij alle waterstanden in het invoerbestand met simultane waarnemingen. De tussenuitvoer laat zien dat deze waterstanden correct worden ingelezen, d.w.z. waterstanden schommelen plotseling rond de 10 m. +NAP. Op de uitkomst van faalfrequentie-berekeningen en kruinhoogte-berekeningen heeft deze extra 10 m. echter geen enkel effect, waarmee bevestigd wordt dat de absolute waarde van waterstanden en windsnelheden uit de reeks simultane waarnemingen niet van belang zijn.

H.3.2 *Discussie*

In het functioneel ontwerp van HYDRA-K wordt op z'n minst de suggestie gewekt dat de transformatie van de simultane waarnemingen naar de standaard exponentiële ruimte plaats vindt door toepassing van de inverse van de Weibull-verdeling. Ook in de code van HYDRA-K wordt die suggestie gewekt, omdat na uitvoering van stap 7 (zie paragraaf H.3.1) de module van de inverse van de Weibullverdeling wordt aangeroepen. Echter voordat stap 8 wordt uitgevoerd wordt deze transformatie weer in omgekeerde richting uitgevoerd.

Dit alles betekent niet dat de methode de Haan *verkeerd* wordt toegepast binnen HYDRA-K (dat is namelijk niet zo), maar wel *anders* dan op basis van de beschrijving van de theorie verwacht kon worden en dat schept (mogelijk) verwarring. In feite past HYDRA-K het principe van rang-correlatie toe in plaats van reguliere correlatie en dat verklaart waarom om de lengte van de meetreeks en de absolute waarde van de waterstand (en windrichting) van de reeks simultane waarnemingen geen invloed hebben op de uitkomst van de berekeningen.