

Demo's en ontwerppunten Westerschelde

P.A.I. Hartelman
C.F. de Valk



Statusoverzicht

Titel : Demo's en ontwerppunten Westerschelde
Fase 4

Code : FF_A171_fase4
Datum : 8 december 1999
Status : definitief
Versie : 1.0

Contractnr : RKZ-666
Projectnr : A171
Opdrachtgever : Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Auteur(s)

: 

P.A.I. Hartelman
C.F. de Valk

Review

: 

P. Groenewoud

Distributie

: ir J.G.A. van Marle
Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Inhoudsopgave

Lijst van tabellen
Lijst van figuren
Lijst van appendices

1	Inleiding	1
2	Wind-afhankelijke statistiek van waterstanden in de Westerschelde	1
3	Rekenen met piekbelastingen	8
3.1	Achtergrond.....	8
3.2	Berekening van faalfrequenties	9
3.3	Berekening van contouren	9
4	Testen.....	11
4.1	Overzicht.....	11
4.2	Rekentijd	12
4.3	Test van de batch-versie.....	13
4.4	Test van de interactieve versie.....	13

Referenties

Appendices

Lijst van tabellen

- 2.1 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Hansweert voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999).
- 2.2 Weibull parameters van overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Hansweert voor windrichtingssectoren van 30° geschat uit de data in Tabel 2.1.
- 2.3 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Vlissingen voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999).
- 2.4 Weibull parameters van overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Vlissingen voor windrichtingssectoren van 30° geschat uit de data in Tabel 2.3.
- 4.1a Berekeningstijd voor meest tijdrovende onderdelen van DPViewer voor batch job over 2 locaties, 5 profielen en 2 veiligheidsniveaus zonder berekening marginalen.
- 4.1b Berekeningstijd voor meest tijdrovende onderdelen van DPViewer voor batch job over 2 locaties, 5 profielen en 2 veiligheidsniveaus met berekening marginalen.
- 4.2 Verschillen in kruinhoogte tussen berekening op basis van waterstandsmaxima en piekbelastingen in test run voor batch-versie van DPViewer.
- 4.3 Terugkeerperiode en kruinhoogte voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme golfoverslag en veiligheidsniveau 4000 jaar m.b.v. maximale waterstandsgegevens en piekbelastingen.
- 4.4 Ontwerppunt voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme golfoverslag en veiligheidsniveau 4000 jaar m.b.v. maximale waterstandsgegevens en piekbelastingen.
- 4.5 Marginale terugkeerperioden behorende bij ontwerppunt in tabel 2 voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme golfoverslag en veiligheidsniveau 4000 jaar m.b.v. maximale waterstandsgegevens en piekbelastingen.
- 4.6 Ontwerppunt voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme dijkbekleding m.b.v. maximale waterstandsgegevens (veiligheidsniveau 4538 jaar) en piekbelastingen (veiligheidsniveau 3927 jaar).
- 4.7 Marginale terugkeerperioden behorende bij ontwerppunt in tabel 4 voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme dijkbekleding.

Lijst van figuren

- 2.1 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Hansweert voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999) (lijnen) en uit deze data geschatte Weibull curven (symbolen). De zwarte lijn geeft de richtings- onafhankelijke overschrijdingsfrequenties
- 2.2 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Vlissingen voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999) (lijnen) en uit deze data geschatte Weibull curven (symbolen). De zwarte lijn geeft de richtings-onafhankelijke overschrijdingsfrequenties.
- 2.3 Voorwaardelijke kans op een windrichting gegeven een overschrijding door de waterstand van 3, 4, 5, 6 en 7 m voor Hansweert (blauw) en Vlissingen (rood).
- 2.4 Overschrijdingsfrequentie-curven van de waterstand op de lokaties Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath (van links naar rechts). Zwart: gegevens uit de Basispeilen (Phillippart et al, 1995). Rood: benadering volgens vergelijking (1).
- 3.1 Bepaling simultane overschrijdingscontouren voor data gebaseerd op maximale waterstanden.
- 3.2 Bepaling simultane overschrijdingscontouren voor data gebaseerd op piekbelastingen.
- 4.1a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op maximale waterstanden.
- 4.1b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op piekbelastingen.
- 4.2a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op maximale waterstanden.
- 4.2b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op piekbelastingen.
- 4.3a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op maximale waterstanden.
- 4.3b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op piekbelastingen.
- 4.4a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op maximale waterstanden.
- 4.4b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op piekbelastingen.

Lijst van appendices

- 1 Dijkprofiel gebruikt voor testgevallen
- 2 Interpolatie van modelberekeningen

1 Inleiding

Het computerprogramma DPViewer is een gereedschap voor het bepalen van simultane statistiek van belastingen op een waterkering, van de betrouwbaarheid van de waterkering en van ontwerpapunten, dat in opdracht van Rijkswaterstaat RIKZ door ARGOSS is vervaardigd. Op 4 juni 1999 gaf Rijkswaterstaat RIKZ onder contract RKZ-666 opdracht aan ARGOSS om dit programma verder uit te breiden met de volgende functies:

- 1 Batch verwerking van gegevens voor een groot aantal dijksecties met steeds dezelfde door de gebruiker te kiezen standaard dijkprofielen.
- 2 Aansluiting op de database RAND2001 van invoer- en uitvoergegevens van numerieke modellen voor het bepalen van de transformaties van hydraulische randvoorwaarden naar hydraulische variabelen op de uitvoerlocaties.
- 3 Uitbreiding van de applicatie Westerschelde met een model van de ruimtelijke afhankelijkheid van de waterstanden, zo mogelijk in afhankelijkheid van de windrichting;
- 4 Mogelijk maken van het rekenen met piekbelastingen i.p.v. alleen met belastingen samenvallend met waargenomen waterstandsmaxima.

Een beschrijving van de nieuwe versie van DPViewer en het gebruik staat in het document "DPViewer Version 3 Getting Started" dat als bijlage bij dit rapport is geleverd (Groenewoud en de Valk, 1999). In appendix A2 wordt uiteengezet op welke wijze interpolatie wordt gebruikt voor het uitvoeren van de golfmodelberekeningen, d.w.z. de vertaling van de offshore naar de nearshore situatie. Verder zijn de nieuwe routines minimaal voorzien van interne documentatie (headers, commentaar). Invoergegevens voor het programma voor het gebied Westerschelde en te reproduceren testuitvoer zijn met het programma meegeleverd.

Als aanvulling op de bovengenoemde programmadocumentatie bevat dit eindrapport de beschrijvingen van een aantal inhoudelijke aspecten van het aangepaste DPViewer. Dit zijn:

- Het model van de ruimtelijke afhankelijkheid van de waterstanden (hierboven genoemd onder 3).
- Het rekenen met piekbelastingen (hierboven genoemd onder 4).

2 Wind-afhankelijke statistiek van waterstanden in de Westerschelde

In de eerste versie van DPViewer voor de Westerschelde werd slechts een zestal kustlocaties beschouwd, waarvoor werd aangenomen dat de waterstand volledig bepaald is door de waterstand bij Vlissingen. Voor de nieuwe versie van DPViewer werd verlangd

- Gebruik te maken van de windrichtings-afhankelijke waterstandsmarginalen zoals bepaald door RIKZ voor Vlissingen en Hansweert (Roskam en Hoekema, 1999).
- Per windrichtings-sector de waterstand met een gegeven overschrijdingsfrequentie te kunnen berekenen voor een willekeurige lokatie in het estuarium.

Allereerst zijn de windrichtings-afhankelijke marginalen van de waterstand te Vlissingen en Hansweert zoals gegeven door Roskam en Hoekema (1999) vertaald naar windrichtingssectoren van 30° volgens de door hen gegeven procedure. Dit levert een nieuwe set van Weibullparameters op voor iedere 30° sector. De overschrijdingsfrequentie van een niveau a gegeven door een Weibullverdeling ziet er als volgt uit:

$$\mu(a) = \mu(\omega)e^{-(a/\sigma)^\alpha + (\omega/\sigma)^\alpha} \quad (1)$$

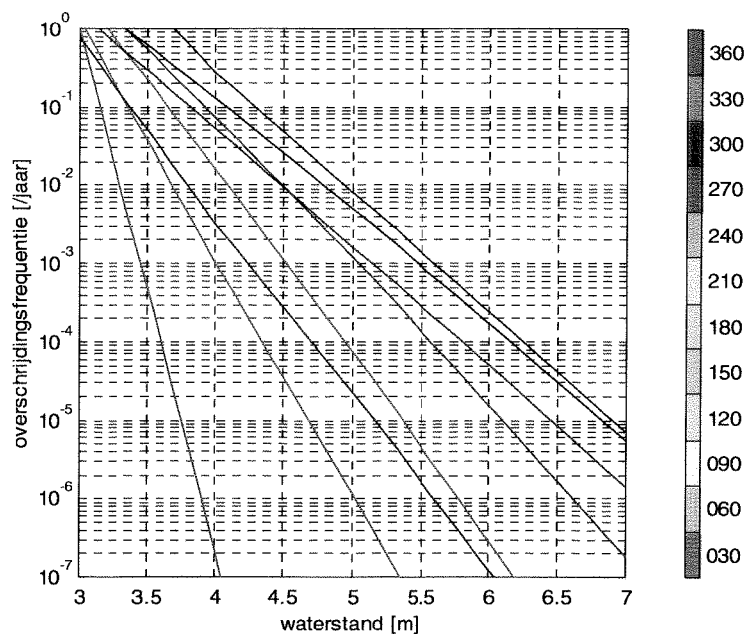
Hierin is ω een gekozen drempelwaarde, $\mu(\omega)$ de overschrijdingsfrequentie van de drempel ω , σ een schaalparameter en α een vormparameter. Overschrijdingsfrequenties voor 30° sectoren en Weibullschattingen voor Hansweert en Vlissingen zijn gegeven in onderstaande tabellen 2.1-2.4 en figuren 2.1-2.2. Deze figuren dienen voornamelijk om de mate van overeenkomst tussen gegevens en geschatte verdelingen te tonen; indien gewenst kunnen de windrichtingen behorend bij de geplotte curven uit de gegevens in tabellen 2.1 en 2.3 worden afgeleid.

	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
30°	1.06E+00	2.34E-07	1.54E-14	3.64E-22	3.48E-30
60°	1.06E+00	2.34E-07	1.54E-14	3.64E-22	3.48E-30
90°	1.06E+00	2.34E-07	1.54E-14	3.64E-22	3.48E-30
120°	1.06E+00	2.34E-07	1.54E-14	3.64E-22	3.48E-30
150°	1.06E+00	2.34E-07	1.54E-14	3.64E-22	3.48E-30
180°	1.06E+00	2.34E-07	1.54E-14	3.64E-22	3.48E-30
210°	1.32E+00	1.05E-03	1.18E-06	9.15E-10	5.18E-13
240°	2.92E+00	1.65E-02	7.60E-05	2.92E-07	9.32E-10
270°	3.79E+00	7.50E-02	1.19E-03	1.60E-05	1.83E-07
300°	2.86E+00	1.28E-01	5.02E-03	1.76E-04	5.52E-06
330°	1.64E+00	5.23E-02	1.65E-03	5.02E-05	1.43E-06
360°	8.01E-01	3.25E-03	2.28E-05	1.26E-07	5.52E-10

Tabel 2.1 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Hansweert voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999).

	ω	$\mu(\omega)$	σ	α
30°	3.00E+00	1.06E+00	2.00E-01	1.30E+00
60°	3.00E+00	1.06E+00	2.00E-01	1.30E+00
90°	3.00E+00	1.06E+00	2.00E-01	1.30E+00
120°	3.00E+00	1.06E+00	2.00E-01	1.30E+00
150°	3.00E+00	1.06E+00	2.00E-01	1.30E+00
180°	3.00E+00	1.06E+00	2.00E-01	1.30E+00
210°	3.00E+00	1.32E+00	1.95E-01	1.08E+00
240°	3.00E+00	2.92E+00	3.34E-01	1.17E+00
270°	3.00E+00	3.79E+00	4.69E-01	1.21E+00
300°	3.00E+00	2.86E+00	5.26E-01	1.17E+00
330°	3.00E+00	1.64E+00	3.43E-01	1.05E+00
360°	3.00E+00	8.01E-01	1.73E-01	9.79E-01

Tabel 2.2 Weibull parameters van overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Hansweert voor windrichtingssectoren van 30° geschat uit de data in Tabel 2.1.



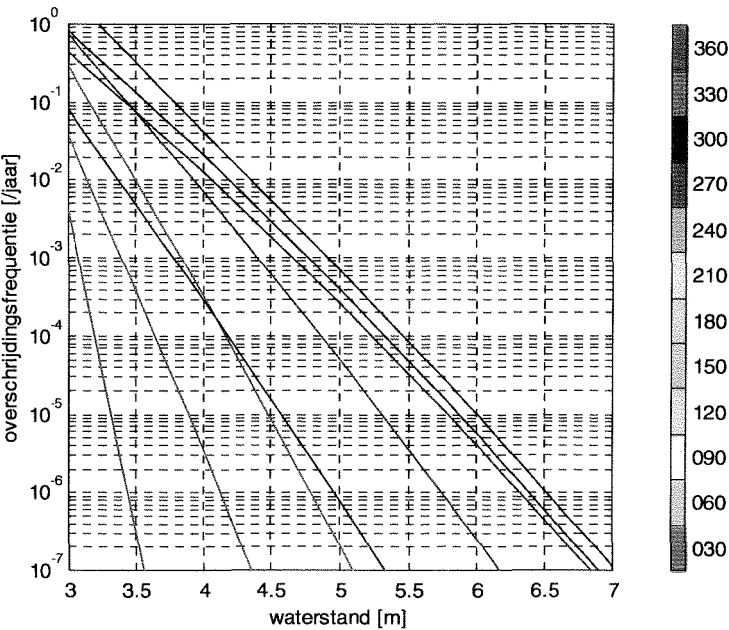
Figuur 2.1 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Hansweert voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999) (lijnen) en uit deze data geschatte Weibull curven. De zwarte lijn geeft de richtings-onafhankelijke overschrijdingsfrequenties.

	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
30°	4.37E-03	1.74E-11	2.37E-21	1.42E-32	4.62E-45
60°	4.37E-03	1.74E-11	2.37E-21	1.42E-32	4.62E-45
90°	4.37E-03	1.74E-11	2.37E-21	1.42E-32	4.62E-45
120°	4.37E-03	1.74E-11	2.37E-21	1.42E-32	4.62E-45
150°	4.37E-03	1.74E-11	2.37E-21	1.42E-32	4.62E-45
180°	4.37E-03	1.74E-11	2.37E-21	1.42E-32	4.62E-45
210°	3.78E-02	3.61E-06	1.34E-10	2.02E-15	1.36E-20
240°	2.95E-01	3.43E-04	2.13E-07	7.68E-11	1.70E-14
270°	7.62E-01	7.22E-03	5.05E-05	2.62E-07	1.01E-09
300°	8.17E-01	2.17E-02	4.11E-04	5.81E-06	6.32E-08
330°	4.39E-01	1.28E-02	2.67E-04	4.16E-06	4.96E-08
360°	8.21E-02	2.89E-04	7.92E-07	1.30E-09	1.32E-12

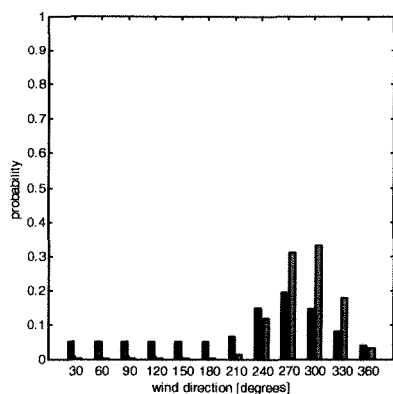
Tabel 2.3 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Vlissingen voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999).

	ω	$\mu(\omega)$	σ	α
30°	3.00E+00	4.37E-03	3.62E-01	1.64E+00
60°	3.00E+00	4.37E-03	3.62E-01	1.64E+00
90°	3.00E+00	4.37E-03	3.62E-01	1.64E+00
120°	3.00E+00	4.37E-03	3.62E-01	1.64E+00
150°	3.00E+00	4.37E-03	3.62E-01	1.64E+00
180°	3.00E+00	4.37E-03	3.62E-01	1.64E+00
210°	3.00E+00	3.78E-02	3.77E-01	1.41E+00
240°	3.00E+00	2.95E-01	4.22E-01	1.35E+00
270°	3.00E+00	7.62E-01	4.84E-01	1.28E+00
300°	3.00E+00	8.17E-01	6.70E-01	1.35E+00
330°	3.00E+00	4.39E-01	6.92E-01	1.36E+00
360°	3.00E+00	8.21E-02	4.57E-01	1.32E+00

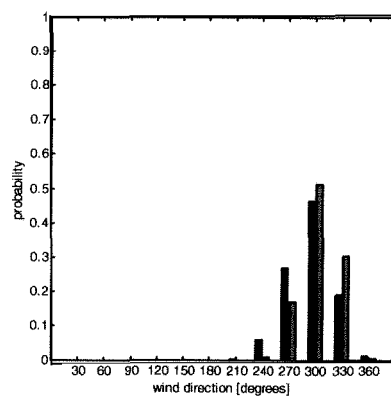
Tabel 2.4 Weibull parameters van overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Vlissingen voor windrichtingssectoren van 30° geschat uit de data in Tabel 2.3.



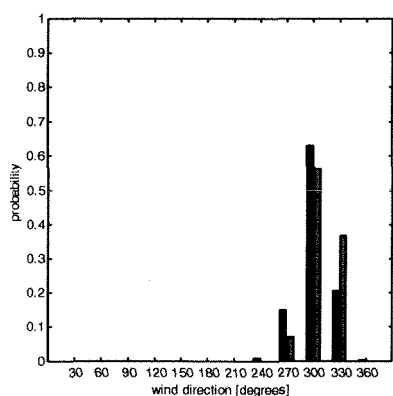
Figuur 2.2 Overschrijdingsfrequenties van de waterstand te Vlissingen voor windrichtingssectoren van 30° afgeleid uit Roskam en Hoekema (1999) (lijnen) en uit deze data geschatte Weibull curven (symbolen). De zwarte lijn geeft de richtings-onafhankelijke overschrijdingsfrequenties.



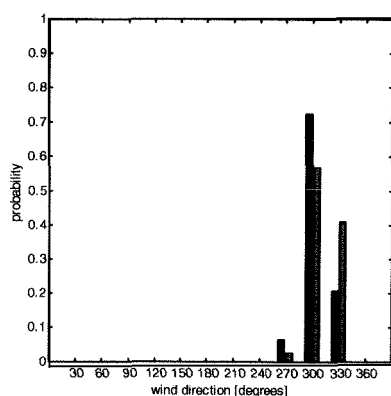
(a) Waterstand boven 3 m.



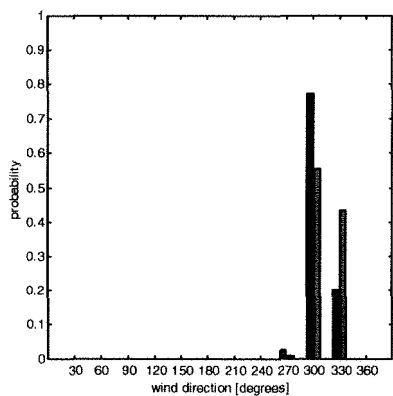
(b) Waterstand boven 4 m.



(c) Waterstand boven 5 m.



(d) Waterstand boven 6 m.



(e) Waterstand boven 7 m.

Figuur 2.3 Voorwaardelijke kans op een windrichting gegeven een overschrijding door de waterstand van 3, 4, 5, 6 en 7 m voor Hansweert (blauw) en Vlissingen (rood).

De windrichtingsafhankelijkheid van de verdelingen voor Vlissingen en Hansweert is weergegeven in figuur 2.3. Er zijn duidelijk verschillen, maar uiteindelijk is gekozen om alleen met de data van Vlissingen te werken omdat

- Gevonden verschillen in de richtingsafhankelijkheid op slechts 2 lokaties onvoldoende informatie bevatten om deze verschillen te kunnen vertalen naar willekeurige punten in de Westerschelde.
- De gevonden verschillen voor de dominante windrichtingen vrij beperkt zijn.
- Verschillen gevonden voor niet-dominante richtingen veel minder betrouwbaar zijn omdat deze effectief op veel minder gegevens gebaseerd zijn.

Het resultaat van deze keuze is dat de waterstands-statistiek voor een willekeurige locatie in de Westerschelde net als voorheen uit de waterstand-statistiek voor Vlissingen wordt afgeleid met een richtings-onafhankelijke transformatie. Definieer

$$q_{x,y}^{\theta}(\tau)$$

als de waterstand die op locatie (x, y) bij een windrichting in sector θ wordt overschreden met een terugkeerperiode van τ jaren (dus met een frequentie $\mu = 1/\tau$ stormen per jaar). We nemen aan dat deze richtings-afhankelijke waarde dezelfde ruimtelijke verdeling heeft als de richtingsonafhankelijke (omnidirectionele) waarde met een terugkeerperiode van 4000 jaar, als volgt:

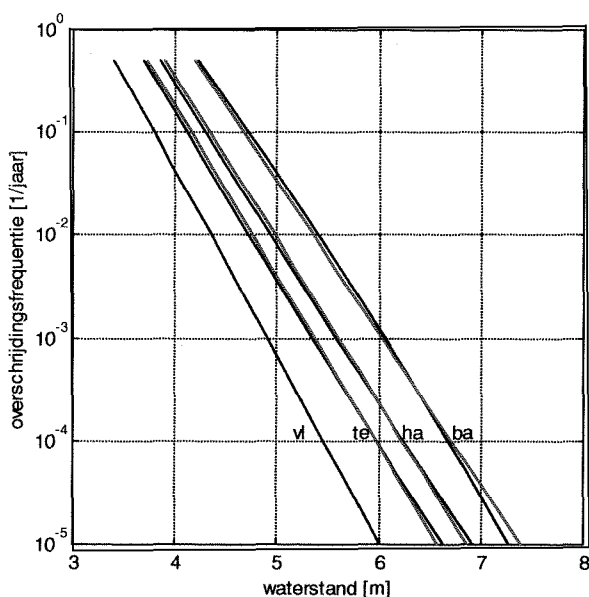
$$q_{x,y}^{\theta}(\tau) = q_{vliss}^{\theta}(\tau) \frac{q_{x,y}^{omni}(4000)}{q_{vliss}^{omni}(4000)} \quad (2)$$

met het onderschrift *vliss* verwijzend naar Vlissingen, en het bovenschrift *omni* verwijzend naar omnidirectioneel. Om deze relatie te kunnen toepassen moet bekend zijn hoe de omnidirectionele 4000-jaar waarde over de Westerschelde varieert. Uit de Basispeilen (Phillippart et al, 1995) is de volgende lineaire relatie afgeleid:

$$q_{x,y}^{omni}(4000) = ax + by + c \quad (3)$$

waarin $a = 2.5760 \cdot 10^{-5}$; $b = -4.879 \cdot 10^{-6}$; $c = 6.358$, and $q_{vliss}^{omni}(4000) = 5.23$ m.

Zowel voor de richtingsafhankelijke marginalen als voor de omnidirectionele marginalen geldt dat ze bepaald worden als een vast curve (bepaald voor Vlissingen) maal de lokale 4000-jaar waterstand (zie vergelijking (1)). Voor de omnidirectionele marginalen is deze relatie geverifieerd voor de lokaties Hansweert, Terneuzen and Bath, waarvoor de marginalen in het Basispeilen rapport (Phillippart et al, 1995) zijn vermeld. De resultaten zijn exact bij een terugkeerperiode van 4000 jaar, en wijken voor andere terugkeerperioden slechts weinig af van de vastgestelde waarden. Dit is grafisch weergegeven in figuur 2.4. Standaard-afwijkingen zijn 0.03 m, 0.03 m and 0.06 m for Terneuzen, Hansweert and Bath, respectievelijk. De grootste fouten worden gevonden voor zeer grote terugkeerperioden boven de 10^5 jaar.



Figuur 2.4 Overschrijdingsfrequentie-curven van de waterstand op de locaties Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath (van links naar rechts). Zwart: gegevens uit de Basispeilen (Phillippart et al, 1995). Rood: benadering volgens vergelijking (1).

De ruimtelijke variatie (2) was afgeleid van een fit van 4000-jaar waterstanden voor de zes dijksecties beschouwd in de eerste implementatie van DPViewer voor de Westerschelde (De Valk, 1998). Van deze dijksecties waren de posities bekend. De gevonden afwijking ten opzichte van vergelijking (2) was klein (maximaal 0.03 m).

In DPViewer wordt voor een willekeurige kustlocatie gebruik gemaakt van de waterstand- en windgegevens en de richtingsafhankelijke marginalen van waterstand en wind zoals gegeven voor Vlissingen. De vertaling naar de betreffende locatie gebeurt door simpelweg de waterstand η te vertalen volgens (dus onafhankelijk van de windrichting)

$$\eta_{x,y} = \eta_{vliss} \frac{q_{x,y}^{omni}(4000)}{q_{vliss}^{omni}(4000)} \quad (4)$$

Dan geldt automatisch dat de waterstand met een terugkeerperiode τ op locatie (x,y) gegeven is door vergelijking (2).

3 Rekenen met piekbelastingen

3.1 Achtergrond

In DPViewer worden simultane dichtheidsfuncties van belastingvariabelen gerepresenteerd door meetgegevens, of exacter door

- De voorgeschreven marginale overschrijdingsfrequenties.
- De rangorde van de waarnemingen: voor een gegeven variabele en meetwaarde is dit het totaal aantal stormen waarin die waarde is overschreden.

Tot nu toe wordt in DPViewer gerekend met de meetwaarden die samenvallen met de hoogste gemeten waterstand tijdens een storm. Zodoende is er van iedere variabele 1 waarde per storm. Dit lijkt een redelijk goede keuze wanneer naar golfoverslag over dijken gekeken wordt. Echter, met name wanneer naar stabiliteit van dijkbekledingen wordt gekeken is de selectie van samples op basis van maximale waterstanden minder zinvol: aan de onderkant van het talud bijvoorbeeld kunnen hoge belastingen alleen optreden bij relatief lage waterstanden.

Daarom is het wenselijk om te kunnen rekenen met de piekbelastingen, dus met de waarden van de belastingvariabelen samenvallend met de laagste waarde van de betrouwbaarheidsfunctie (z -functie) tijdens een storm. Deze optie is geïmplementeerd in versie 3.2 van DPViewer. De optie voor het gebruik van piekbelastingen is als volgt geïmplementeerd.

Om de betrouwbaarheid van een dijkprofiel te bepalen wordt in DPViewer gebruik gemaakt van extreme waarden theorie. Er wordt verondersteld dat falen van een dijk instantaan optreedt voor die waarden van de betreffende belastingen $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_k)$ waarbij een zekere betrouwbaarheidsfunctie z negatief wordt. Aangezien falen van een dijk een zeldzame gebeurtenis is, zijn de experimenteel gemeten $\mathbf{u}$ waarden over het algemeen ver verwijderd van het faalgebied waar $z(\mathbf{u}) < 0$. Voor het schatten van de faalfrequentie zullen we dus de informatie uit de samples moeten extrapoleren naar het faalgebied toe. Dat dit mogelijk is volgt uit onderstaande extrapolatierelatie uit de extreme waarden theorie, geldig onder aanname van *asymptotische afhankelijkheid* en gegeven in een vorm die toepasbaar is in het geval dat $\mathbf{u}$ marginaal exponentieel verdeeld is:

$$P(z(\mathbf{u}) < 0) \approx P(z(\mathbf{u} + \lambda \mathbf{1}) < 0) e^{-\lambda}. \quad \mathbf{1} = (1, \dots, 1) \quad (5)$$

Bovenstaande faalkansen kunnen worden beschouwd als kansen per storm (in een willekeurig seizoen). Een schatting van de faalkans kan nu worden verkregen door de samples $\{\mathbf{u}^{(i)}, i = 1, \dots, n\}$ te verschuiven over $\lambda \mathbf{1}$ zodanig dat een vooraf gekozen aantal (m) verschoven samples in het faalgebied komt te liggen. De geschatte faalkans is dan

$$P(z(\mathbf{u}) < 0) \approx \frac{m e^{-\lambda}}{n} \quad (6)$$

Een faalfrequentie kan worden bepaald door vermenigvuldiging van de faalkans met de stormfrequentie. Naast de faalfrequentie kan tevens de kruinhoogte met een vastgesteld veiligheidsniveau (faalfrequentie) worden bepaald en de daarbij behorende ontwerppunten. Daarnaast kunnen ook kwantielen van belastingvariabelen en simultane overschrijdingscontouren worden bepaald door gebruik te maken van deze verschuivingseigenschap.

3.2 Berekening van faalfrequenties

De gegevens welke voorheen met behulp van DPViewer3.1 werden geanalyseerd bestonden uit de waterstandsmaxima. In deze aanpak wordt voorafgaand aan de berekeningen uit iedere storm één sample genomen, d.w.z. waterstand, piekperiode, golfhoogte, windsnelheid, golf- en windrichting, welke corresponderen met de maximale waterstandstand binnen die storm. Vervolgens worden alle berekeningen uitgevoerd voor deze samples. Bij het rekenen met piekbelastingen zou men ook een dergelijke aanpak willen volgen, d.w.z. uit iedere storm wordt één sample genomen die correspondeert met de minimale z (betrouwbaarheidsfunctie) binnen de storm. Echter, aangezien we geïnteresseerd zijn in het gedrag van de verdelingen in de buurt van het faalgebied willen we de samples zodanig kiezen dat deze corresponderen met piekbelastingen voor de *verschoven* samples. Vooraf is dit niet mogelijk: de vorm van de betrouwbaarheidsfunctie kan dusdanig zijn dat een sample met de kleinste z in een bepaalde storm na verschuiving niet meer de kleinste z heeft.

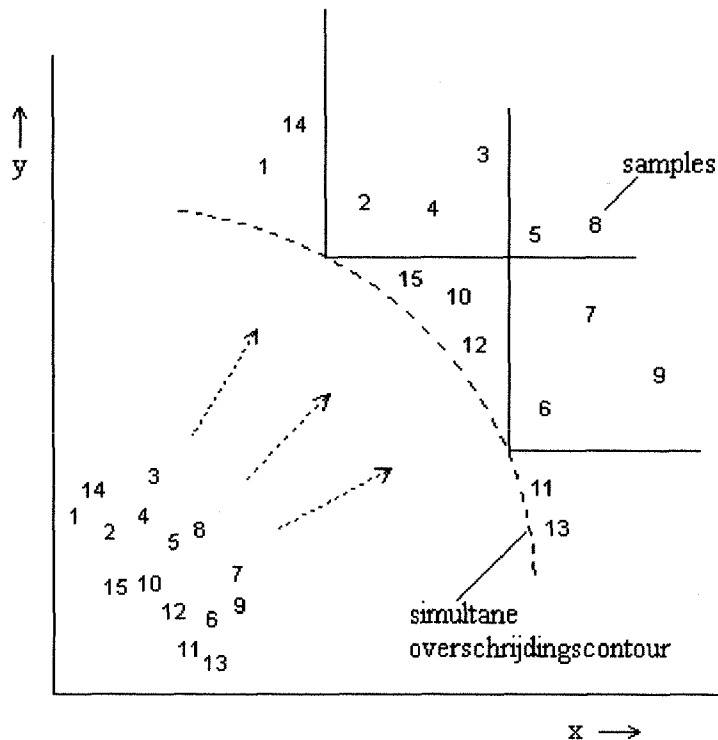
Daarom wordt in de berekening de volledige verzameling gegevens, d.w.z. alle samples binnen een storm, meegenomen. Alle samples worden verschoven, en pas daarna wordt uit de volledige data set voor iedere storm het sample genomen dat correspondeert met de piekbelasting.

De aanpassingen voor de optie piekbelastingen hebben betrekking op alle berekeningen voor zowel de interactieve als de batch versie. Voor de interactieve versie is in het interface een switch toegevoegd voor de keuze tussen samples samenvallend met waterstandsmaxima of piekbelastingen. Verder is de file met meetgegevens vervangen door een van RIKZ ontvangen nieuwe file met uurlijkse metingen over een periode van 19 jaar (1979-1997) met 19906 observaties, verdeeld over 1335 stormperiodes.

3.3 Berekening van contouren

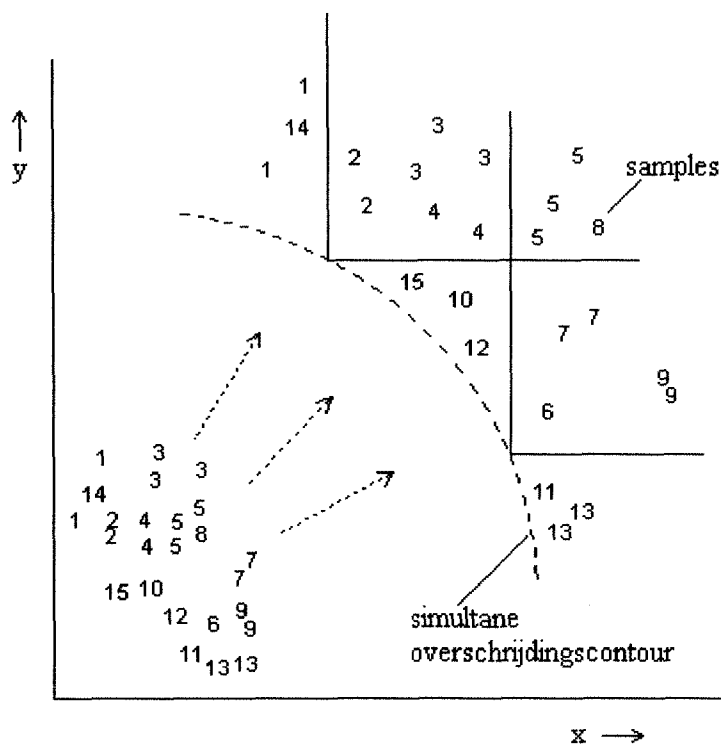
Voor een punt op een contour van een gegeven simultane overschrijdingsfrequentie geldt dat de frequentie waarmee de met dit punt overeenkomende belastingen tegelijk overschreden worden gelijk is aan de gegeven waarde. Om deze contouren te bepalen wordt gebruik gemaakt van de verschuivingseigenschap. Op dezelfde manier als voor het bepalen van een faalkans kan de kans op een simultane overschrijding van gegeven waarden van de belastingen worden geschat door te bepalen in welke mate de samples moeten worden verschoven zodanig dat voor een vastgesteld aantal (m , zie paragraaf 3.1) verschoven samples alle belastingen groter zijn dan de gekozen waarden. Formule (6) in paragraaf 3.1 kan dan worden gebruikt om de simultane overschrijdingskans, en daarmee de simultane overschrijdingsfrequentie, te bepalen. Andersom ligt voor een gekozen veiligheidsniveau de mate van verschuiving vast en kunnen belastingpunten worden bepaald waarbij er voor ieder punt precies m verschoven samples zijn waarvoor alle belastingen groter zijn dan die van het punt. De verzameling van deze punten levert dus een contour op van constante simultane overschrijdingsfrequentie.

Indien gebruik wordt gemaakt van data gebaseerd op maximale waterstanden kan bovenstaande aanpak worden gebruikt voor de, per storm en op basis van de waterstand geselecteerde samples. In Figuur 3.1 is dit geïllustreerd. De (vershoven) samples worden in deze figuur weergegeven door de corresponderende stormnummers. Allereerst worden de samples verschoven waarbij het opgegeven veiligheidsniveau de mate van verschuiving bepaalt. Een punt op de simultane overschrijdingscontour is een punt waarbij het 1^e kwadrant ten opzichte van dit punt m samples (ter illustratie is hier $m=5$ gebruikt) bevat. In Figuur 3.1 is dit voor een tweetal contourpunten geïllustreerd.



Figuur 3.1 Bepaling simultane overschrijdingscontouren voor data gebaseerd op maximale waterstanden.

Indien gebruik wordt gemaakt van piekbelastingen gaan we op vrijwel dezelfde manier te werk, zoals geïllustreerd in Figuur 3.2. Echter, in dit geval worden niet enkel de storm maxima maar alle samples gebruikt. Deze worden wederom verschoven, maar nu is een contourpunt een punt waarbij het 1^e kwadrant ten opzichte van dat punt samples bevat die tezamen afkomstig zijn uit m verschillende stormen.



Figuur 3.2 Bepaling simultane overschrijdingscontouren voor data gebaseerd op piekbelastingen.

4 Testen

4.1 Overzicht

De programmacode van de nieuwe versie van DPViewer (3.2) is uitvoerig getest door de verschillende programmaopties van de interactieve versie voor één locatie (Westerschelde_2, uitvoercoördinaten (14990, 376342)) uit te voeren. Hieruit bleek onder meer dat de berekeningstijd voor bepaalde programmaonderdelen fors is toegenomen. Aangezien dit vooral van belang kan zijn voor de batchversie geven we in de volgende paragraaf een kort overzicht van de belangrijkste karakteristieken. De batchversie is voor de volledige Westerschelde uitgevoerd. De resultaten staan in Paragraaf 4.2. Om een eerste indruk te krijgen van het gebruik van piekladingen zijn m.b.v. de interactieve versie een tweetal testgevallen doorgerekend welke in Paragraaf 4.3 worden besproken.

4.2 Rekentijd

Om in kaart te brengen wat de invloed is van het gebruik van piekbelastingen op de duur van de berekeningen hebben we de batch-versie gebruikt voor 2 locaties (Westerschelde_2 en _3: uitvoercoördinaten (14990, 376342) en (14970, 376503)), 5 profielen (Zeeland, Hansweert, Margeretha, Hoofdplaat en Borssele) en 2 veiligheidsniveaus (1000jr, 4000jr). De volgende model settings zijn gebruikt (Model.txt):

FailureMechanism = WaveOvertopping
 CriticalDischarge = 1
 DesignPointFixSWL = no
 DependencyType = FromData
 DependencyFactor = 1
 NrOfSamplesShifted = 50

We hebben ons beperkt tot de kruinhoogte-, ontwerp punt en marginalenberekening. De resultaten van de tijdmetingen voor deze routines zijn in tabel 4.1 weergegeven. Daarin zien we dat vooral de berekening van de kruinhoogte en marginalen fors langer duurt (respectievelijk factor 9 en 20). De totale berekeningstijd met marginalen wordt door het gebruik van piekbelastingen circa 7 maal zo groot.

Omschrijving	Berekeningstijd (sec.)	
	Maximale waterstand	Piekbelasting
Totaal	194	625
Berekening kruinhoogte	30	251
Berekening ontwerp punt	15	20

Tabel 4.1a Berekeningstijd voor meest tijdrovende onderdelen van DPViewer voor batch job over 2 locaties, 5 profielen en 2 veiligheidsniveaus zonder berekening marginalen.

Omschrijving	Berekeningstijd (sec.)	
	Maximale waterstand	Piek-belasting
Totaal	248	1882
Berekening kruinhoogte	30	251
Berekening ontwerp punt	15	20
Berekening marginalen	54	1257

Tabel 4.1b Berekeningstijd voor meest tijdrovende onderdelen van DPViewer voor batch job over 2 locaties, 5 profielen en 2 veiligheidsniveaus met berekening marginalen.

De berekening van de marginalen is alleen nodig om de marginale terugkeerperioden in een ontwerp punt te berekenen. Tenzij men speciaal in de marginale terugkeerperioden is geïnteresseerd of tenzij een klein aantal locaties wordt gebruikt, bevelen wij aan om in de batch-versie deze routine niet uit te voeren. Dit kan gebeuren door de optie "ComputeDesignReturnPeriods" in het bestand UserInput.txt op 'no' te zetten.

4.3 Test van de batch-versie

De batch-versie van DPViewer3.2 is getest door deze tweemaal uit te voeren voor de volledige Westerschelde. In het eerste geval wordt gerekend met waterstandsmaxima terwijl in het tweede geval piekbelastingen worden gebruikt. Voor alle 786 locaties in de Westerschelde zijn 2 veiligheidsniveaus (1000 jaar, 4000 jaar) en 5 dijkprofielen (Zeeland, Hansweert, Margaretha, Hoofdplaat en Borssele) bekeken. De berekeningstijd voor de twee gevallen bedraagt respectievelijk 26 en 177 uur. Als een voorbeeld van de verschillen tussen de resultaten voor de berekeningen op basis van de waterstandsmaxima en piekbelastingen hebben we de kruinhoogten vergeleken voor een tiental gevallen. Het grootste verschil tussen de berekende kruinhoogten treedt op voor lokatie 525 (uitvoercoördinaten (67161, 373210)), profiel 5 ('Borssele') en veiligheidsniveau 1 (4000 jaar). De betreffende kruinhoogten zijn 5.375 m + NAP (waterstandsmaxima) en 6.424 m + NAP (piekbelastingen), en het verschil is 0.9737 m. In tabel 4.2 zijn de 10 gevallen weergegeven met het verschil in kruinhoogte.

Uitvoer-punt	Locatiecoördinaten Uitvoerpunt		Profiel	Terugkeer- periode [jr]	Kruinhoogte ([m] +NAP)		Kruinhoogte- verschil [m]
	X	Y			Maximale waterstand	Piek- belastingen	
525	69591.00	379342.00	Borssele	4000	5.375	6.424	1.049
674	53414.00	383829.00	Hansweert	1000	6.749	6.877	0.128
682	52829.00	382525.00	Hansweert	4000	8.416	8.780	0.364
688	52361.00	381499.00	Hansweert	4000	8.421	8.545	0.124
682	52829.00	382525.00	Borssele	4000	8.539	8.889	0.350
674	53414.00	383829.00	Borssele	1000	6.605	6.733	0.128
203	41416.00	374043.00	Hansweert	1000	4.965	5.091	0.126
203	41416.00	374043.00	Hoofdplaat	1000	4.925	5.078	0.153
688	52361.00	381499.00	Hansweert	1000	8.336	8.522	0.186
682	52829.00	382525.00	Hansweert	1000	8.438	8.647	0.209

Tabel 4.2 Verschillen in kruinhoogte tussen berekening op basis van waterstandsmaxima en piekbelastingen voor een tiental cases in test run voor batch-versie van DPViewer.

4.4 Test van de interactieve versie

Voor de interactieve versie hebben we twee testgevallen bekeken waarbij berekeningen zijn uitgevoerd voor gegevens m.b.t. de maximale waterstand en piekbelastingen. In het eerste geval wordt het faalmechanisme golfoverslag bekeken met een kritieke golfoverslag 1 liter/m/s. De tweede test behelst het faalmechanisme dijkbekleding. Voor beide gevallen worden het ontwerp punt en de simultane overschrijdingscontouren berekend. Voor het faalmechanisme golfoverslag wordt tevens de kruinhoogte en de terugkeerperiode berekend. Om de resultaten vergelijkbaar te maken is in het geval dijkbekleding de dikte van de dijkbekleding zodanig ingesteld dat de terugkeerperiode ongeveer 4000 jaar is. Dit blijkt voor de maximale waterstandsgegevens het geval te zijn bij een dikte van 0.22m waarbij de terugkeerperiode 4538 jaar is, voor piekbelastingen is dit 3927 jaar. De ontwerp punten zijn berekend met betrekking tot deze veiligheidsniveaus.

Beide gevallen zijn gebaseerd op locatie 2 van de Westerschelde waarbij als dijkprofiel Zeeland is gekozen. In de appendix A1 staan de karakteristieken hiervan welke zijn gebruikt. Wat betreft de te plotten figuren hebben we ervoor gekozen om waterstand en windsnelheid alsook piekperiode en waterstand tegen elkaar uit te zetten. In het eerste geval, waarbij de kleuren in deze figuren de verschillende windrichtingen aangeven, wordt alleen de offshore situatie geplot omdat het gebruikte golfmodel geen nearshore windsnelheid en windrichting oplevert. In het tweede geval, waarbij de kleuren de verschillende windrichtingen aangeven, wordt alleen de nearshore situatie geplot omdat in de huidige versie van DPViewer de marginale verdeling van de piekperiode nog niet is meegenomen.

De resultaten voor het faalmechanisme golfoverslag zijn opgenomen in Tabellen 4.3 t/m 4.5 en Figuren 4.1a-b en 4.2 a-b. De resultaten voor het faalmechanisme dijkbekleding zijn opgenomen in Tabellen 4.6 en 4.7 en Figuren 4.3a-b en 4.4a-b. Als we de resultaten voor maximale waterstandsdata en piekbelastingen vergelijken zien we dat de verschillen klein zijn. Echter, om duidelijk in kaart te brengen wat de verschillen zijn tussen het gebruik van piekbelastingen en stormmaxima is een uitvoeriger analyse noodzakelijk. Daarbij is het tevens aan te bevelen om de steendikte mee te nemen als 'tuning' parameter in het geval van het faalmechanisme dijkbekleding, op dezelfde manier als de kruinhoogte voor golfoverslag.

Alhoewel dit meestal het geval is hoeft een sample met de maximale waterstand niet de hoogste waterstand te hebben als het sample wordt verschoven. Dit wordt veroorzaakt doordat verschillende marginalen voor verschillende richtingen worden gebruikt. In Figuur 4.1 zien we hiervan een voorbeeld. De verschoven samples in figuren 4.1a en 4.1b met de één na hoogste waterstand behoren tot dezelfde storm. In Figuur 4.1a correspondeert het verschoven sample met een niet verschoven sample met de hoogste waterstand voor de betreffende storm. Als samples worden geselecteerd m.b.t. piekbelastingen wordt voor deze storm een ander, verschoven sample geselecteerd. De waterstand voor dit verschoven sample blijkt hoger te zijn dan voor het verschoven sample in Figuur 4.1a.

	Maximale waterstand	Piekbelasting
Terugkeerperiode (jr)	26136619	23565156
Kruinhoogte t.o.v NAP (m)	5.953	5.979

Tabel 4.3 Terugkeerperiode en kruinhoogte voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme golfoverslag en veiligheidsniveau 4000 jaar m.b.v maximale water-standengevens en piekbelastingen.

Ontwerppunt voor veiligheidsniveau 4000 yr	Maximale waterstanden		Piekbelastingen	
	Offshore	Nearshore	Offshore	Nearshore
Sign. Wave Height [m]	NaN	0.747	NaN	0.754
Peak Period [s]	NaN	5.188	NaN	5.209
Still Water Level [m]+NAP	5.16	4.842	5.182	4.863
Wind Speed [m/s]	27.38	NaN	27.61	NaN
Wave Direction [degrees]	NaN	303.5	NaN	303.3
Wind Direction [degrees]	303.5	NaN	303	NaN

Tabel 4.4 Ontwerppunt voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme golfoverslag en veiligheidsniveau 4000 jaar m.b.v. maximale waterstandsgegevens en piekbelastingen.

Marginale terugkeerperioden m.b.t. ontwerp punt	Maximale waterstanden		Piekbelastingen	
	Offshore	Nearshore	Offshore	Nearshore
Sign. Wave Height [m]	NaN	4431	NaN	4295
Peak Period [s]	NaN	2410	NaN	3284
Still Water Level [m]+NAP	3868	3868	4336	4336
Wind Speed [m/s]	526	NaN	560	NaN

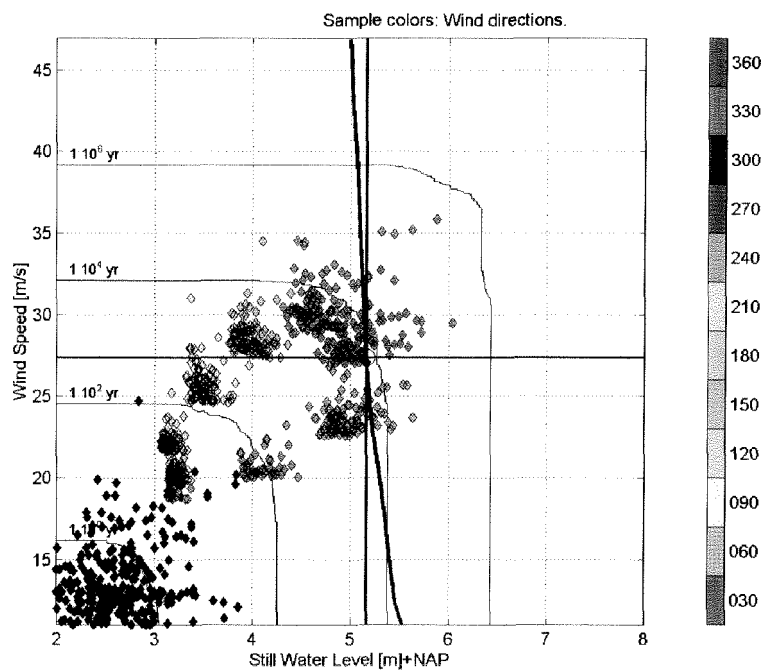
Tabel 4.5 Marginale terugkeerperioden behorende bij ontwerp punt in tabel 4.4 voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme golfoverslag en veiligheidsniveau 4000 jaar m.b.v. maximale waterstandsgegevens en piekbelastingen.

Ontwerppunt voor faalmechanisme dijkbekleding	Maximale waterstanden		Piekbelastingen	
	Offshore	Nearshore	Offshore	Nearshore
Sign. Wave Height [m]	NaN	0.7537	NaN	0.752
Peak Period [s]	NaN	5.247	NaN	5.257
Still Water Level [m]+NAP	5.172	4.854	5.178	4.859
Wind Speed [m/s]	27.78	NaN	27.61	NaN
Wave Direction [degrees]	NaN	307.4	NaN	307.4
Wind Direction [degrees]	313	NaN	313	NaN

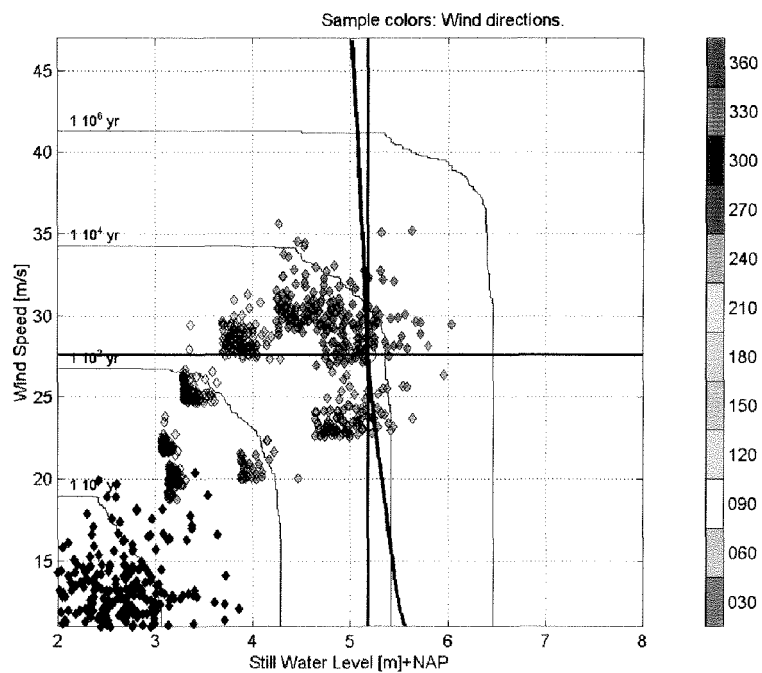
Tabel 4.6 Ontwerppunt voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme dijkbekleding m.b.v. maximale waterstandsgegevens (veiligheidsniveau 4538 jaar) en piekbelastingen (veiligheidsniveau 3927 jaar).

Marginale terugkeer perioden m.b.t. ontwerp punt	Maximale waterstanden		Piekbelastingen	
	Offshore	Nearshore	Offshore	Nearshore
Sign. Wave Height [m]	NaN	4896	NaN	4454
Peak Period [s]	NaN	3039	NaN	2836
Still Water Level [m]+NAP	4081	4081	3755	3755
Wind Speed [m/s]	659	NaN	563	NaN

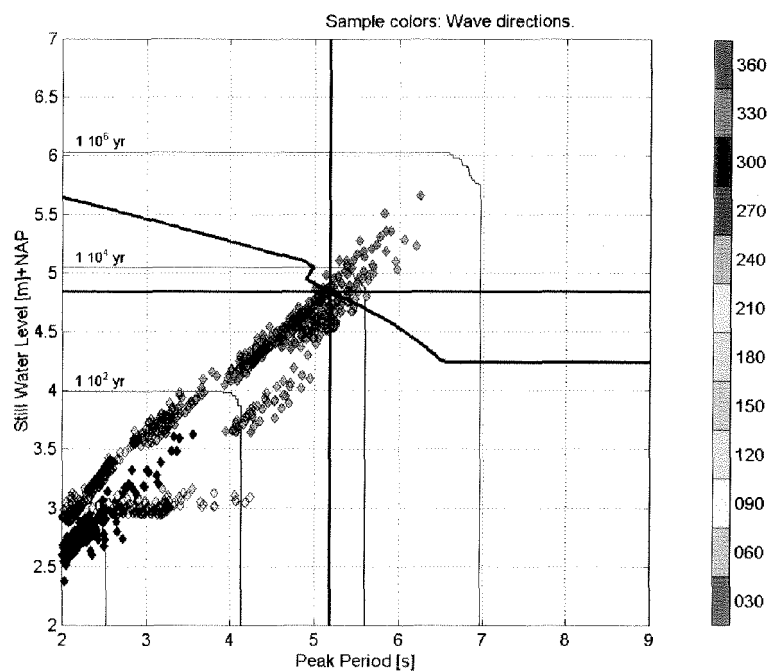
Tabel 4.7 Marginale terugkeerperioden behorende bij ontwerp punt in tabel 4.6 voor locatie Westerschelde_2 (14990, 376342) voor faalmechanisme dijkbekleding.



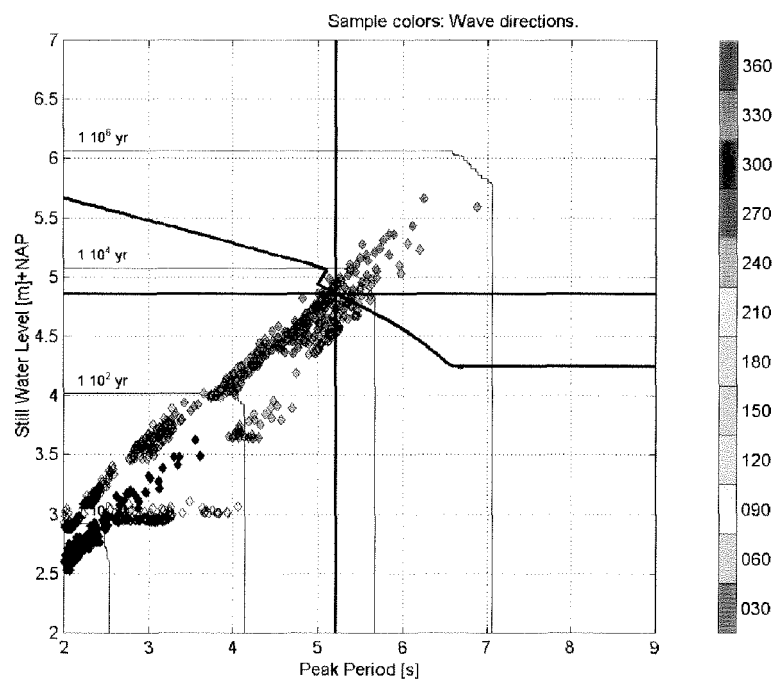
Figuur 4.1a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op maximale waterstanden.



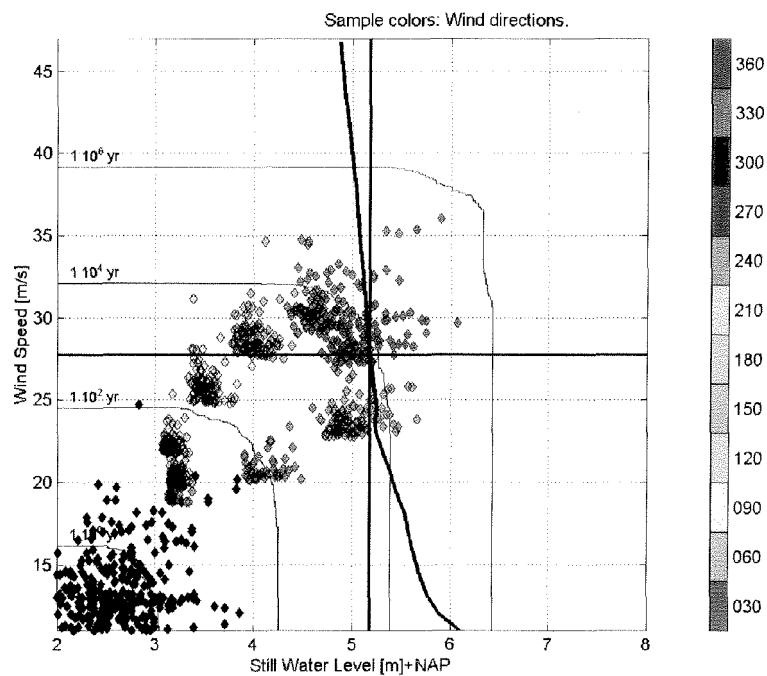
Figuur 4.1b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op piekbelastingen.



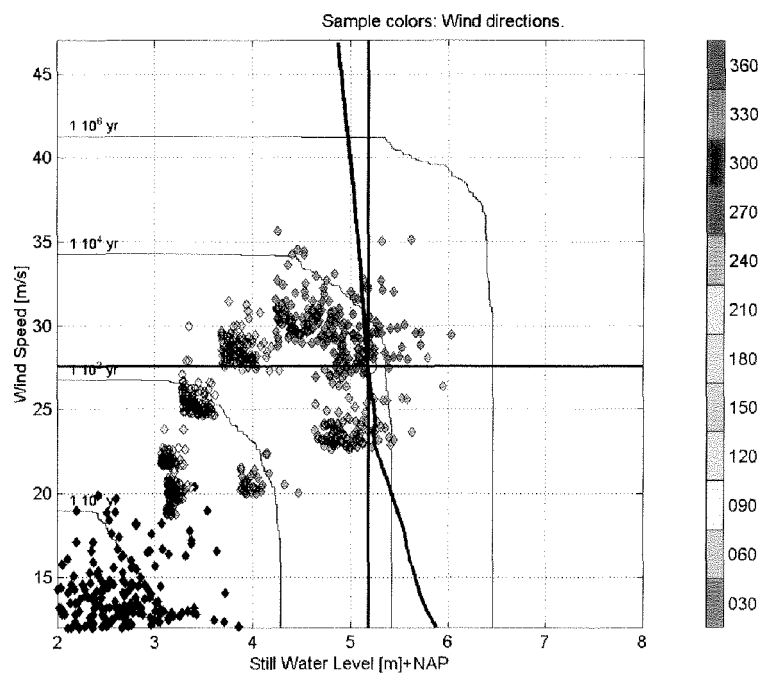
Figuur 4.2a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op maximale waterstanden.



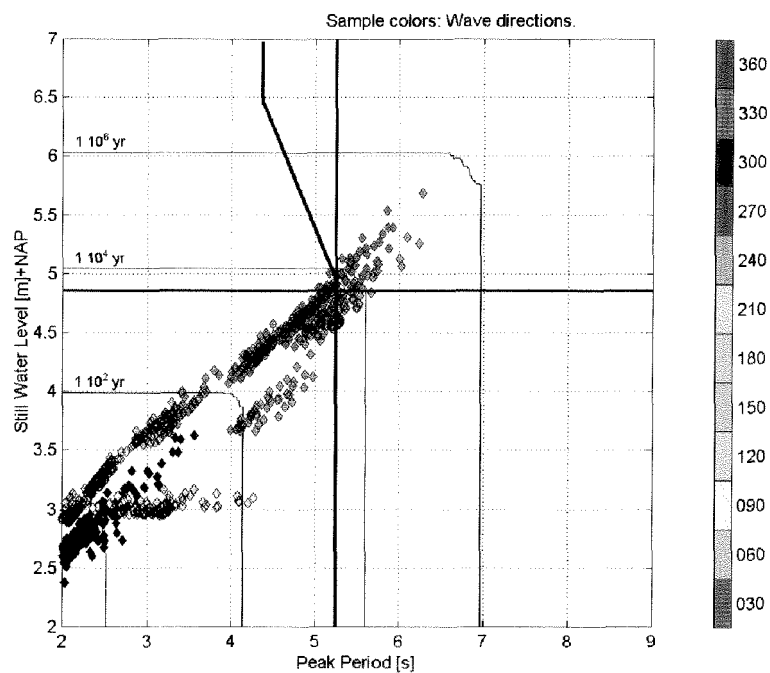
Figuur 4.2b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme golfoverslag en data gebaseerd op piekbelastingen.



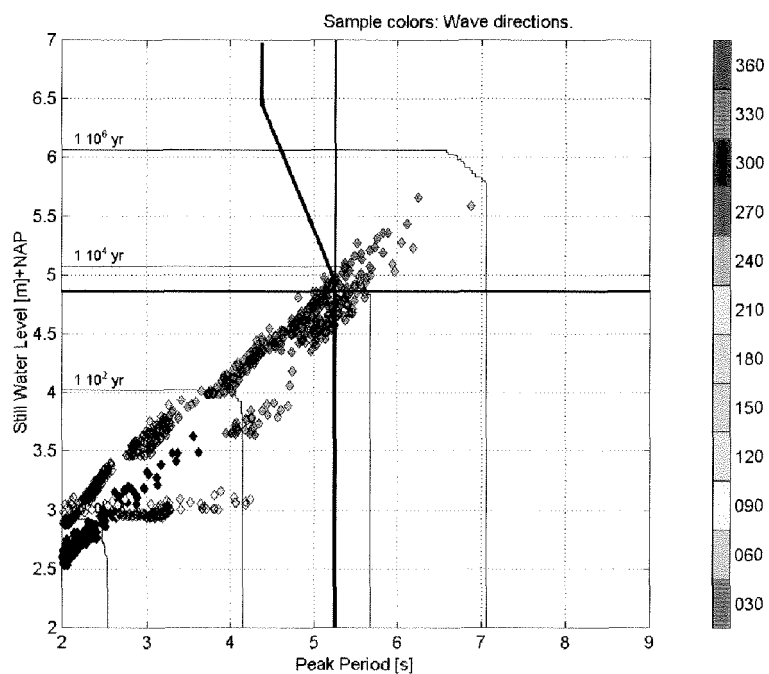
Figuur 4.3a Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op maximale waterstanden.



Figuur 4.3b Simultane overschrijdingscurves, ontwerppunt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in offshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op piekbelastingen.



Figuur 4.4a Simultane overschrijdingscurves, ontwerp punt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op maximale waterstanden.



Figuur 4.4b Simultane overschrijdingscurves, ontwerp punt en samples (origineel (zwart) en verschoven (kleur)) in nearshore situatie voor faalmechanisme dijkbekleding en data gebaseerd op piekbelastingen.

Referenties

- De Valk, C.F., *Load models for reliability analysis of six dike sections along the Westerschelde*. Rapport A95, ARGOSS, Marknesse.
- Groenewoud, P. en C.F. de Valk, 1999, *DPViewer version 3 - Getting Started*. Document A171, ARGOSS, Marknesse.
- Phillippart, M.E., D. Dillingh en S.T. Pwa., 1995, *De basispeilen langs de Nederlandse kust – de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen*. Rapport RIKZ-95.008, , Rijkswaterstaat RIKZ, Den Haag.
- Roskam. A.P. en J. Hoekema, 1999, *Richtingsafhankelijke extreme-waardenstatistiek voor HW-standen*. Rapport RIKZ/OS-99.104x, Rijkswaterstaat RIKZ, Den Haag.

Appendices

A1 Dijkprofiel gebruikt voor testgevallen

```
.....
Case       : Westerschelde_2
Profile    : Zeeland
Safety level: 4000
.....
```

SeaWall.SeawardNormal	266.3	[nautical degrees]
SeaWall.SlopeRoughness	1	[-]
SeaWall.ToeLevel	1	[m] +NAP
SeaWall.BermLevel	5.7	[m] +NAP
SeaWall.CrestLevel	9.5	[m] +NAP
SeaWall.BermWidth	8.75	[m]
SeaWall.LowerSlope	0.25	[-]
SeaWall.UpperSlope	0.3	[-]
SeaWall.BermSlope	0	[-]
SeaWall.Block.Width	0.4	[m]
...	0.4	[m]
SeaWall.Block.RelDensity	1.6	[-]
...	1.6	[-]
SeaWall.Block.LowerHeight	1	[m] +NAP
...	5.7	[m] +NAP
SeaWall.Block.UpperHeight	5.7	[m] +NAP
...	9.5	[m] +NAP

Mutual dependence of variables derived from data.
No. of samples used in estimation is 50.

Variable	Unit	Critical value:
Overtopping Discharge	[litres/m/s]	1

A2 Interpolatie van modelberekeningen

In DPViewer worden de waarden van golfparameters nabij kustlokaties als functie van invoergegevens (bijvoorbeeld waterstand, wind, offshore golfparameters) afgeleid uit golfmodelberekeningen door middel van interpolatie. Aangenomen wordt dat voor gegeven invoerrichtingen (wind- of golfrichting of beide) modelberekeningen zijn gemaakt met combinaties van andere invoerparameters (dat kunnen zijn waterstand, windsnelheid, golfhoogte, golfperiode) die een regelmatig rooster vormen. Dus bijvoorbeeld: bij alle waarden van invoer windsnelheid, golfhoogte, golfperiode zijn steeds dezelfde waarden van de invoer waterstand gebruikt.

Wat de uitvoergrootheden (waarden van waterstand en golfparameters bij de kust) betreft is interpolatie lineair. Extrapolatie is lineair naar boven toe (dus voor invoergrootheden boven de hoogste waarde waarmee in het golfmodel is gerekend). Voor waterstand wordt naar beneden toe ook lineair geëxtrapoleerd. Voor golfhoogte en golfperiode worden naar beneden toe de logaritmen lineair geëxtrapoleerd als functie van waterstand en logaritmen van invoer windsnelheid, golfhoogte en periode (voor zover relevant).

Wat betreft de golfrichting op het uitvoerpunt worden de cosinus en de sinus van de golfrichting lineair geïnterpoleerd en vervolgens wordt uit het resultaat de richting berekend. Extrapolatie van de golfrichting op het uitvoerpunt vindt plaats door kopiëren van de dichtstbijzijnde modeluitkomsten.

Interpolatie van uitvoervariabelen bij verschillende invoer golf- of windrichtingen vindt plaats door lineaire interpolatie. Extrapolatie is in dit geval niet nodig omdat invoerrichtingen op de cirkel liggen, dus iedere waarde is in een interval tussen 2 richtingen waarbij modelberekeningen zijn gedaan.