

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat RIKZ

# Meerdimensionale statistiek op diep water

## Preprocessor voor Hydra-K

Auteurs: M.T. Duits  
J.M. van Noordwijk  
A. Hoekstra

## Voorwoord

Voor u ligt de documentatie van de Preprocessor voor Hydra-K (PHK). PHK is een programma dat op diep water de golfhoogte en golfpiekperiode berekent met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid of gegeven de waterstand. Ten behoeve van dijken worden op diep water de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden berekend gegeven de windsnelheid voor twaalf 30°-windrichtingssectoren. Ten behoeve van duinen worden op diep water de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden berekend gegeven de waterstand voor de omnidirectionele windrichting. Dit zijn dus de situaties, waarvoor het programma PHK de meerdimensionale statistiek op diep water berekent.

Deze documentatie bestaat uit vijf delen: Deel A bevat de functionele documentatie van PHK. In dit gedeelte wordt de wiskundige achtergrond van PHK behandeld en wordt beschreven welke keuzes gemaakt zijn, die geleid hebben tot het programma PHK zoals dat er nu ligt. Deel B beschrijft de gebruikershandleiding van PHK. Hierin komt onder meer de installatie, de berekeningswijze en het uitvoerbestand aan de orde. Deel C bevat het testverslag van PHK. Hierin presenteren we voor drie locaties de berekeningsresultaten van PHK. In Deel D hebben we de technische documentatie van PHK opgenomen en in Deel E geven we de literatuurverwijzingen.

Het programma PHK is gezamenlijk ontwikkeld door Rijkswaterstaat RIKZ en HKV LJN IN WATER. De bouw van PHK is bij HKV LJN IN WATER verzorgd door Abe Hoekstra, Matthijs Duits en Jan van Noortwijk. De begeleiding door Rijkswaterstaat RIKZ is verzorgd door Jan van Marle en Frank den Heijer.

# Inhoud

<b>Voorwoord .....</b>	<b>i</b>
<b>Lijst van figuren .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lijst van tabellen .....</b>	<b>ix</b>

## Deel A Functionele documentatie

<b>1 Inleiding .....</b>	<b>A-1</b>
1.1 Algemeen .....	A-1
1.2 Probleemstelling .....	A-2
1.3 Doelstelling .....	A-2
1.4 Opbouw functionele documentatie .....	A-2
<b>2 Niet-parametrisch model .....</b>	<b>A-3</b>
2.1 Inleiding .....	A-3
2.2 Windrichtingssectoren .....	A-3
2.3 Methodiek .....	A-3
<b>3 Uitwerking semi-parametrisch model.....</b>	<b>A-7</b>
3.1 Inleiding .....	A-7
3.2 Tweedimensionaal model .....	A-7
3.3 Driedimensionaal model .....	A-9
3.4 Illustraties.....	A-10
3.5 Nabeschuwing.....	A-12
<b>4 Toepassing semi-parametrisch model .....</b>	<b>A-13</b>
4.1 Inleiding .....	A-13
4.2 Theorie .....	A-13
4.3 Toepassing .....	A-16
4.4 Duinen .....	A-17
<b>5 Waarnemingen en statistiek.....</b>	<b>A-19</b>
5.1 Inleiding .....	A-19
5.2 Waarnemingen .....	A-19
5.3 Extrapolatie van de statistiek .....	A-20
<b>6 Parametrisch model.....</b>	<b>A-23</b>
6.1 Inleiding .....	A-23
6.2 Methodiek .....	A-23
6.3 Duinen .....	A-24
6.4 Rosenblatt-transformatie.....	A-25

## Deel B Gebruikershandleiding

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>B-1</b>
<b>2</b>	<b>Installatie van PHK</b> .....	<b>B-3</b>
2.1	Systeemeisen .....	B-3
2.2	Installatie .....	B-3
<b>3</b>	<b>Starten van PHK</b> .....	<b>B-5</b>
<b>4</b>	<b>Invoerscherm van PHK</b> .....	<b>B-7</b>
<b>5</b>	<b>Figuren</b> .....	<b>B-11</b>
<b>6</b>	<b>Uitvoer</b> .....	<b>B-13</b>
<b>7</b>	<b>Offshore locaties</b> .....	<b>B-15</b>
<b>8</b>	<b>Toevoegen van nieuwe locaties aan PHK</b> .....	<b>B-17</b>

## Deel C Testverslag

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>C-1</b>
<b>2</b>	<b>Waddenzee oost (sontswdfz)</b> .....	<b>C-3</b>
2.1	Inleiding .....	C-3
2.2	Dijken .....	C-3
2.3	Duinen .....	C-11
2.4	Conclusie .....	C-14
<b>3</b>	<b>Kust Noord (eldkoyhld)</b> .....	<b>C-15</b>
3.1	Inleiding .....	C-15
3.2	Dijken .....	C-15
3.3	Duinen .....	C-24
3.4	Conclusie .....	C-26
<b>4</b>	<b>Westerschelde (eurvlsvls)</b> .....	<b>C-27</b>
4.1	Inleiding .....	C-27
4.2	Dijken .....	C-27
4.3	Duinen .....	C-35
4.4	Conclusie .....	C-38

## Deel D Technische documentatie

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>D-1</b>
<b>2</b>	<b>Procedures en functies PHK</b> .....	<b>D-3</b>
2.1	PHK .....	D-3
2.2	PHKBerekenHsTp .....	D-3

2.3	PHKDataFromExp2Normal .....	D-4
2.4	PHKLaadStatistiek .....	D-5
2.5	PHKNormaliseerData .....	D-6
2.6	PHKHaalWaarnemingen .....	D-7
2.7	SelecteerMaxima .....	D-7
2.8	File2Cell .....	D-8
2.9	GlobalConstants .....	D-8
2.10	GnDispError .....	D-8
2.11	GnRaiseError .....	D-9
2.12	IniFile .....	D-9
2.13	InitialiseerGlobalConstants .....	D-10
2.14	normaliseerHoek .....	D-10
2.15	CbNuseWI .....	D-11
2.16	CbNWI .....	D-11
2.17	CbNWs .....	D-11
2.18	CbOKCancel .....	D-12
2.19	CbRdoDijkenDuinen .....	D-12
2.20	CbRekenen .....	D-12
2.21	FgKeyPress .....	D-13
2.22	FgPHK .....	D-13
2.23	FgZetLabels .....	D-13
2.24	PHKExitFunction .....	D-14
2.25	PHKStateChanged .....	D-14

## Deel E Literatuur

Literatuurlijst .....	E-1
-----------------------	-----



## Lijst van figuren

Figuur A-1	Stroomschema methode de Haan .....	A-4
Figuur A-2	Voorbeeld van de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie van de golfhoogte en de piekperiode .....	A-5
Figuur A-3	Genormaliseerde data $A_1$ en $A_2$ met correlatiestructuur.....	A-11
Figuur A-4	Data in de $(S, T)$ -ruimte.....	A-11
Figuur A-5	Voorbeeld van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven windsnelheid in de genormaliseerde ruimte als de statistiek ook bruikbaar is onder de drempel van de conditionele Weibullverdeling .....	A-15
Figuur A-6	Voorbeeld van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven windsnelheid in de genormaliseerde ruimte als de statistiek niet bruikbaar is onder de drempel van de conditionele Weibullverdeling .....	A-16
Figuur A-7	Stroomschema voor de berekening van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid .....	A-17
Figuur A-8	Opgetreden windsnelheden in een periode van 19 jaar voor windrichting 150 graden .....	A-19
Figuur A-9	Kansdichtheidsfunctie van de exponentiële verdeling .....	A-23
Figuur A-10	De kansdichtheidsfunctie van een standaardnormaalverdeelde variabele .....	A-26
Figuur A-11	De kansdichtheidsfunctie van stochastische variabele met een discontinuïteit bij -2.3 .....	A-26
Figuur A-12	Rosenblatt-transformatie voor een stochastische variabele met een discontinuïteit bij -2.3 .....	A-27
Figuur B-1	Matlab-commandoscherm.....	B-5
Figuur B-2	Invoerscherm van PHK.....	B-6
Figuur B-3	Invoerscherm van PHK als gekozen is voor het rekenen met duinen .....	B-8
Figuur B-4	Figuur van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid voor windrichting 300 graden .....	B-11
Figuur B-5	Figuur van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand.....	B-12
Figuur B-6	Voorbeeld van het uitvoerbestand als gerekend wordt met windsnelheden....	B-13
Figuur C-1	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 30 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-4
Figuur C-2	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 60 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-4
Figuur C-3	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 90 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-5
Figuur C-4	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 120 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-5
Figuur C-5	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 150 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-6
Figuur C-6	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 180 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-6
Figuur C-7	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 210 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-7
Figuur C-8	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 240 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-7
Figuur C-9	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 270 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) .....	C-8

Figuur C-10	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 300 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz).....	C-8
Figuur C-11	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 330 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz).....	C-9
Figuur C-12	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 360 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz).....	C-9
Figuur C-13	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) als 125 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden.....	C-12
Figuur C-14	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) als 500 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden.....	C-13
Figuur C-15	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 30 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-16
Figuur C-16	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 60 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-16
Figuur C-17	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 90 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-17
Figuur C-18	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 120 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-17
Figuur C-19	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 150 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-18
Figuur C-20	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 180 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-18
Figuur C-21	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 210 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-19
Figuur C-22	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 240 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-19
Figuur C-23	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 270 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-20
Figuur C-24	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 300 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-20
Figuur C-25	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 330 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-21
Figuur C-26	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 360 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) .....	C-21
Figuur C-27	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) als 125 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden .....	C-24
Figuur C-28	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) als 500 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden .....	C-25
Figuur C-29	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 30 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls).....	C-28
Figuur C-30	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 60 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls).....	C-28
Figuur C-31	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 90 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls).....	C-29
Figuur C-32	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 120 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls).....	C-29



Figuur C-33	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 150 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-30
Figuur C-34	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 180 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-30
Figuur C-35	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 210 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-31
Figuur C-36	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 240 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-31
Figuur C-37	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 270 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-32
Figuur C-38	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 300 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-32
Figuur C-39	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 330 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-33
Figuur C-40	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 360 graden bij locatie Westerschelde (eurvsvls) .....	C-33
Figuur C-41	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Westerschelde (eurvsvls) als 125 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden .....	C-36
Figuur C-42	Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Westerschelde (eurvsvls) als 500 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden .....	C-37

## Lijst van tabellen

Tabel A-1	Gezamenlijk opgetreden windsnelheden en golfhoogtes met hun marginale overschrijdingsfrequenties .....	A-21
Tabel B-1	Beschikbare meerdimensionale waarnemingen voor zes regio's langs de Nederlandse kust .....	B-15
Tabel B-2	Bovenste deel van een bestand met simultane waarnemingen .....	B-15

## **Deel A Functionele documentatie**

# 1 Inleiding

Dit deel van de documentatie bevat de functionele documentatie van de Preprocessor voor Hydra-K (PHK). Hierin worden de wiskundige achtergronden van PHK behandeld en wordt beschreven welke keuzes gemaakt zijn, die geleid hebben tot het programma PHK zoals dat er nu ligt.

## 1.1 Algemeen

De minister moet in het kader van de Wet op de Waterkering voor zowel de zoete als de zoute wateren elke 5 jaar Hydraulische Randvoorwaarden vaststellen. Voor de zoute wateren worden de hydraulische randvoorwaarden door de afdeling OSV van het RIKZ voorgesteld. De hydraulische randvoorwaarden voor de Hollandse kust worden voor het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2006 naar verwachting uitgerekend met het programma Hydra-K. Deze hydraulische randvoorwaarden, bestaande uit waterstand en golfparameters, worden toetspunten (ontwerppunten voor een levensduur van 5 jaar) genoemd.

Hydra-K is een probabilistisch rekenmodel waarbij gebruik gemaakt wordt van de meerdimensionale statistiek van waterstanden en wind conform de zogenoemde Methode De Haan. De implementatie van deze methode in het programma Hydra-K is in 2000 door HKV LIJN IN WATER in opdracht van RIKZ uitgevoerd. Hydra-K kan momenteel de toetspunten bepalen voor de faalmechanismen golfoverslag, golfoploop en steenstabiliteit. Het is de bedoeling om in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2006 voor de Hollandse kust de toetspunten te presenteren voor alle faalmechanismen voor zowel duinen, dijken als voor kunstwerken. Hiertoe wordt Hydra-K op dit moment in een ander project uitgebreid met andere faalmechanismen.

Voor het vertalen van de golven op diep naar ondiep water met het golfmodel SWAN zijn op diep water randvoorwaarden nodig. In de huidige praktijk wordt voor de vertaling uitgegaan van SWAN berekeningen uitgevoerd voor een matrix van omstandigheden van waterstand, windsnelheid en windrichting. Bij de invoer van de waterstand, windsnelheid en windrichting moeten op de buitenrand tevens de golfhoogte en golfpiekperiode ingevoerd worden. Voor een realistische invoer van golfhoogte en golfpiekperiode moeten deze waarden aansluiten bij de ingevoerde waterstand en wind. Dit houdt in een golfhoogte en een golfpiekperiode met de grootste kans van optreden bij de in te voeren combinatie van de waterstand en wind. Oorspronkelijk werden de golfhoogte en de golfpiekperiode met een één-op-één-relatie gekoppeld aan het kwantiel van de windsnelheid (dat wil zeggen volledige afhankelijkheid tussen de windsnelheid, de golfhoogte en de golfpiekperiode). Dit is in principe een overschatting en voor toetsen niet bruikbaar.

Daarnaast in de nieuwste formulering van de oploop / overslagmodule overgegaan op de spectrale golfperiode. Bij de vertaling van de golfpiekperiode op diep water naar de golfpiekperiode op ondiep water verandert deze golfpiekperiode niet of nauwelijks en bestaat in de langsrichting van de kust consistentie. Bij de overgang op de spectrale golfperiode is de eigenschap van onveranderlijkheid van de golfpiekperiode bij de omrekening van diep naar ondiep water niet meer geldig en is het dus van belang om de invoer op diep de waterrand zorgvuldig per locatie af te leiden om een consistent eindresultaat te krijgen.

Voor het berekenen van de sterkte van de duinen wordt nog steeds uitgegaan van de waterstand behorende bij de veiligheidseis van een betreffend gebied en de daarbij behorende golfhoogte en golfpiekperiode. Het is daarvoor noodzakelijk te beschikken over de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden bij de betreffende waterstand.

## 1.2 Probleemstelling

Zowel voor het vertalen van de golven op diep naar ondiep water met het golfmodel SWAN (nodig voor het toetsen van dijken met Hydra-K) als voor het toetsen van de sterkte van duinen is het noodzakelijk om over meerdimensionale extreme-waardenstatistiek op diep water te beschikken van wind, waterstand, golfhoogte en de golfperiode. Deze extreme-waardenstatistiek is niet binnen Hydra-K aanwezig, maar in de onderliggende matrix met SWAN berekeningen zijn tot op heden de golfhoogte en golfpiekperiode op basis van de kwantielen aan de windsnelheid gekoppeld. De op deze wijze afgeleide meerdimensionale statistiek is dan ook niet direct te gebruiken voor het afleiden van de verwachtingswaarde van golfhoogte en golfpiekperiode bij gegeven combinatie van wind en waterstand enerzijds en bij gegeven waterstand anderzijds.

## 1.3 Doelstelling

Het doel van de studie is om de extreme-waardenstatistiek op diep water ten behoeve van Hydra-K hanteerbaar te maken voor het bepalen van de golfhoogte en de golfpiekperiode voor de SWAN berekeningen en voor het berekenen van deze golfrandvoorwaarden voor duinen. Daarnaast is het doel dit op een eenduidige wijze te realiseren, zodat de golfhoogte en golfpiekperiode bij een gegeven windsnelheid, windrichting en waterstand met de grootste kansdichtheid ten behoeve van SWAN berekeningen bepaald worden. Evenzo de golfhoogte en golfpiekperiode bij een bepaalde waterstand met de grootste kansdichtheid ten behoeve van sterkteberekeningen aan duinen.

## 1.4 Opbouw functionele documentatie

In hoofdstuk 2 behandelen we een methode voor het afleiden van de meerdimensionale statistiek van waterstand, windsnelheid, windrichting, golfhoogte en golfpiekperiode op diep water. Deze methode is gewenst omdat deze als beste aansluit op de methodiek uit Hydra-K en dat daarmee een consistente werkwijze voor het bepalen van de toetspunten wordt bereikt. Hydra-K maakt gebruik van een semi-parametrisch model. In hoofdstuk 3 tonen we echter aan dat het semi-parametrische model uit Hydra-K niet uit te breiden is naar meer dan twee dimensies. In hoofdstuk 4 presenteren we een alternatieve methode om de golfhoogte en golfpiekperiode te berekenen met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid of gegeven de waterstand gebruikmakend van het semi-parametrische model in twee dimensies. Ten behoeve van dijken worden op diep water de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden berekend gegeven de windsnelheid voor twaalf 30°-windrichtingssectoren. Ten behoeve van duinen worden op diep water de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden berekend gegeven de waterstand voor de omnidirectionele windrichting. In hoofdstuk 5 benadrukken we dat het van het grootste belang is dat de gebruikte statistiek en de waarnemingen goed bij elkaar passen. In hoofdstuk 6 ten slotte presenteren we een parametrische methode om de golfhoogte en golfpiekperiode te berekenen met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid en de waterstand. Dit laatste hoofdstuk is een geheel op zich zelfstaand hoofdstuk.

## 2 Niet-parametrisch model

### 2.1 Inleiding

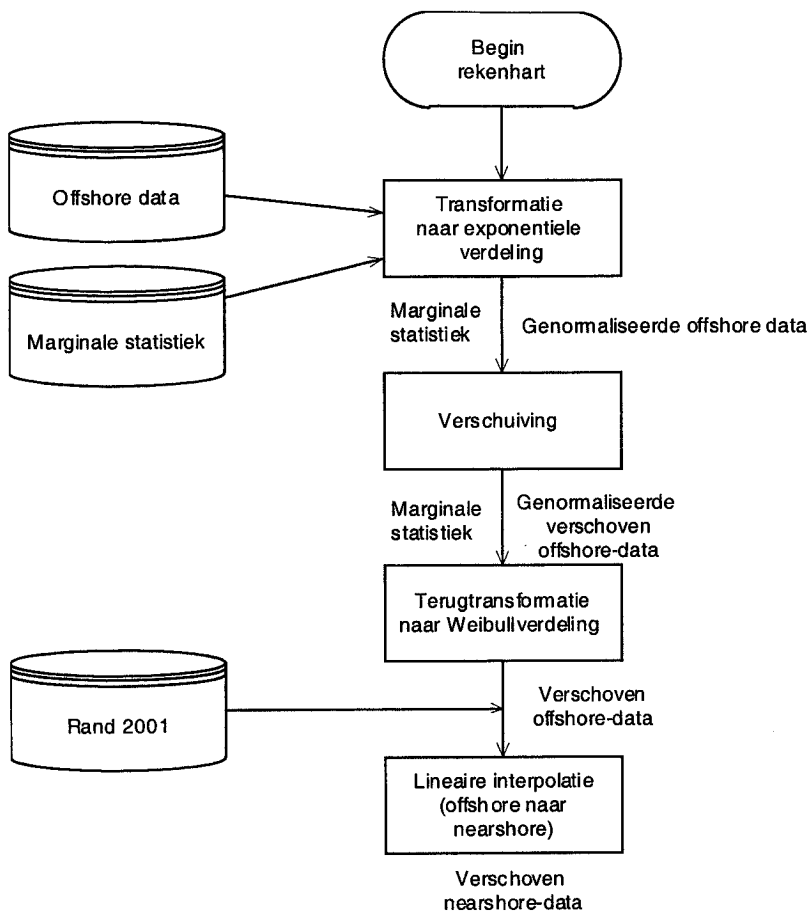
In dit hoofdstuk presenteren we een methode om de meerdimensionale statistiek van waterstand, windsnelheid, windrichting, golfhoogte en golfpiekperiode op diep water te bepalen. Deze methode is een niet-parametrische methode en sluit goed aan bij methode de Haan.

### 2.2 Windrichtingssectoren

Voor het afleiden van de golfhoogte en de golfpiekperiode met de grootste kans van optreden bij gegeven combinatie van waterstand en wind moeten we eerst een keuze maken ten aanzien van de windrichting. De meerdimensionale statistiek leiden we geconditioneerd op windrichtingssectoren af. Hydra-K maakt gebruik van twaalf 30°-windrichtingssectoren. Elk van deze sectoren kent een centrale richting. De centrale windrichting is het midden van de windrichtingssector en is een veelvoud van 30°. De windrichtingssector wordt binnen Hydra-K dan ook aangeduid met deze centrale windrichting. Ter verduidelijking geven we het voorbeeld dat alle windrichtingen van 195° tot 225° tot de windrichtingssector 210° worden gerekend. Op diep water is data van het gelijktijdig optreden van waterstand, windsnelheid, windrichting, golfhoogte en golfpiekperiode beschikbaar. Deze data gebruiken we bij het afleiden van de meerdimensionale statistiek op diep water.

### 2.3 Methodiek

In deze paragraaf beschrijven we de methodiek van de niet-parametrische methode, die goed aansluit bij methode de Haan. In werkelijkheid wordt deze methode geconditioneerd op de windrichtingssector uitgevoerd, maar voor de overzichtelijkheid is deze conditionering in onderstaande beschrijving achterwege gelaten. In Figuur A-1 is methode de Haan schematisch weergegeven. Dit schema is overgenomen uit [Vreugdenhil et al., 2000] en bevat de volgende stappen. De offshore data wordt met de marginale statistiek (conditionele Weibullverdelingen) getransformeerd naar de genormaliseerde (exponentiële) ruimte en levert genormaliseerde offshore data onder behoud van de correlatiestructuur, die zich in de data bevindt. Methode de Haan loopt dan verder, maar dit is het punt waarop de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden bij gegeven waterstand en windsnelheid bepaald worden. De methode de Haan wordt binnen Hydra-K uitgevoerd voor twee variabelen (waterstand en windsnelheid), maar kan evengoed uitgevoerd worden voor vier parameters (waterstand, windsnelheid, golfhoogte en golfpiekperiode).



*Figuur A-1 Stroomschema methode de Haan*

In [Vreugdenhil et al., 2000] is een methodiek beschreven voor de bepaling van het ontwerp-punt (blz. 3-14). Onderstaand is deze methodiek voor 4 parameters beschreven.

Als  $A_1, A_2, A_3$  en  $A_4$  standaardexponentieelverdeelde variabelen zijn, dan is volgende transformatie mogelijk:

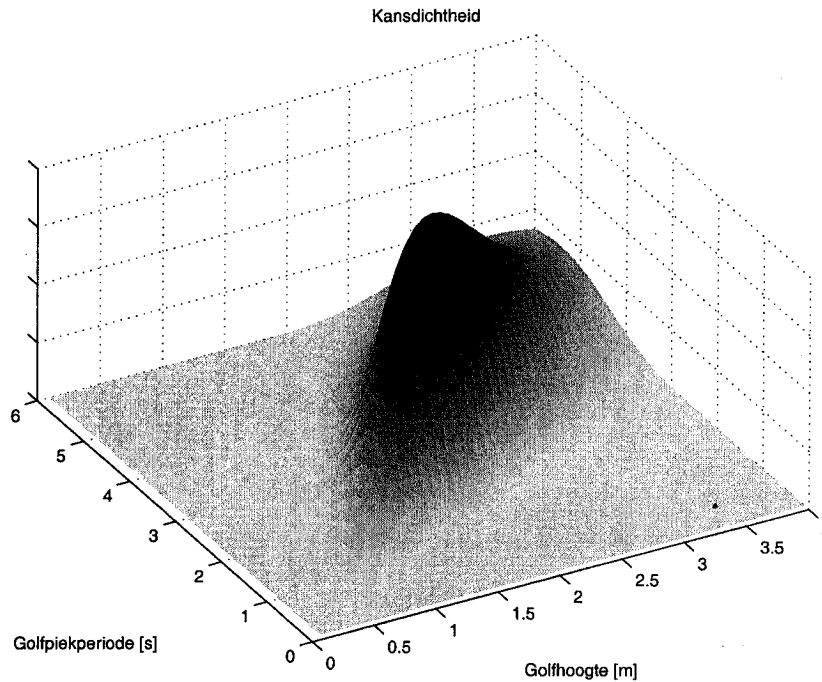
$$S = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{4}$$

en

$$T_i = A_i - \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{4}, \quad i = 1, 2, 3, 4.$$

Hierin is  $S$  exponentieelverdeeld en  $T_i$  normaalverdeeld. Uit de data kunnen  $S$  en  $T_i$  eenvoudig geschat worden. Als  $A_1$  de waterstand is,  $A_2$  de windsnelheid,  $A_3$  de golfhoogte en  $A_4$  de golfpiekperiode, dan wordt uit de verdelingen  $S$  en  $T_i$  de gezamenlijke kansverdeling van de golfhoogte en de golfpiekperiode gegeven de waterstand en de windsnelheid ( $f(A_3, A_4 | A_1, A_2)$ ) afgeleid om de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden bij gegeven waterstand en windsnelheid te bepalen.

De verdeling  $f(A_3, A_4 | A_1, A_2)$  is een tweedimensionale verdeling. In Figuur A-2 is een voorbeeld van deze tweedimensionale verdeling weergegeven. Het maximum van deze verdeling is dan (na terugtransformatie) de gezochte combinatie van de golfhoogte en de golfpiekperiode.



*Figuur A-2 Voorbeeld van de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie van de golfhoogte en de piekperiode*

Een tussenstap bij de bepaling van  $f(A_3, A_4 | A_1, A_2)$  is de berekening van  $f(A_1, A_2, A_3, A_4)$ . Voor drie dimensies hebben we eerst onderzocht of  $f(A_1, A_2, A_3)$  te berekenen is uit de verdelingen voor  $S$ ,  $T_1$  en  $T_2$ . In hoofdstuk 3 is zal blijken dat  $f(A_1, A_2, A_3)$  onder de aanname van asymptotische afhankelijkheid niet berekend kan worden uit de exponentiële verdeling voor  $S$  en de normale verdelingen voor  $T_1$  en  $T_2$ . In hoofdstuk 4 presenteren we vervolgens een semi-parametrisch model dat wel te gebruiken is voor de meerdimensionale statistiek op diep water. Het model uit hoofdstuk 4 is dan ook gebruikt in het programma PHK.





## 3 Uitwerking semi-parametrisch model

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het semi-parametrische model uit Hydra-K behandeld, dat gebruikt wordt voor het bepalen van de ontwerppunten. Dit semi-parametrische model wordt binnen Hydra-K voor twee dimensies gebruikt. In paragraaf 3.2 beschrijven we dit model in twee dimensies en deze beschrijving hebben we overgenomen uit [De Valk, 1999]. In paragraaf 3.3 beschrijven we het onderzoek dat we hebben uitgevoerd om dit model uit te breiden naar drie dimensies. In paragraaf 3.4 geven we enige illustratie bij onze bevindingen en in paragraaf 3.5 geven we een nabeschuiving.

Hydra-K maakt gebruik van Methode de Haan. Methode de Haan kent verschillende stappen die onder andere in [Vreugdenhil et al., 2000] beschreven zijn. In de eerste stap wordt de data getransformeerd naar de genormaliseerde, standaardexponentiële ruimte. De marginale verdelingen van de data zijn dan standaardexponentiële verdelingen. De parametrisatie bestaat uit een fit van een asymptotisch afhankelijk model aan de data. Het model bestaat uit een combinatie van transformaties en aannames ten aanzien van de verdelingen na toepassing van de transformaties.

### 3.2 Tweedimensionaal model

Nadat de data getransformeerd is naar de genormaliseerde ruimte, heeft de tweedimensionale data twee standaardexponentiële marginale verdelingen. Deze verdelingen geven we weer door  $A_1$  en  $A_2$ . Bij de bepaling van de ontwerppunten wordt binnen Hydra-K de volgende transformatie toegepast:

$$S = \frac{A_1 + A_2}{2},$$

$$T = \frac{A_1 - A_2}{2} = A_1 - \frac{A_1 + A_2}{2}.$$

Voor de stochastische grootte  $S$  wordt een exponentiële verdeling aangenomen. De kans dat  $S$  de waarde  $s$  overschrijdt is bij de exponentiële verdeling gelijk aan

$$\Pr(S > s) = \exp\left(-\frac{s-s_0}{\lambda}\right) \quad \text{voor } s \geq s_0.$$

De bijbehorende exponentiële kansdichtheidsfunctie is

$$f(s) = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{s-s_0}{\lambda}\right) \quad \text{voor } s \geq s_0.$$

In deze vergelijkingen zijn  $\lambda$  en  $s_0$  vrijheidsgraden, die willekeurig te kiezen zijn.

Voor de stochastische grootheid  $T$  wordt een normale verdeling met verwachting 0 en standaarddeviatie  $\sigma_t$  aangenomen, met kansdichtheidsfunctie:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\sigma_t}\right)^2\right). \quad (3.1)$$

In deze vergelijking is  $\sigma_t$  een parameter, die uit de data volgt.

Verder wordt aangenomen dat  $S$  en  $T$  statistisch onafhankelijk van elkaar zijn. Hiermee is de gezamenlijke kansdichtheidsfunctie van  $S$  en  $T$  eenvoudig te schrijven als

$$f_{S,T}(s,t) = f_S(s)f_T(t).$$

Toepassing van de transformatie  $S = (A_1 + A_2)/2$  en  $T = (A_1 - A_2)/2$  geeft

$$f_{A_1,A_2}(a_1,a_2) = \frac{1}{2\lambda\sqrt{2\pi}\sigma_t} \exp\left(-\frac{a_1+a_2-2s_0}{2\lambda} - \frac{(a_1-a_2)^2}{8\sigma_t^2}\right). \quad (3.2)$$

Integratie over  $A_1$  van  $-\infty$  tot  $\infty$  geeft

$$\begin{aligned} f_{A_2}(a_2) &= \int_{-\infty}^{\infty} f_{A_1,A_2}(a_1,a_2) da_1 \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\lambda\sqrt{2\pi}\sigma_t} \exp\left(-\frac{a_1+a_2-2s_0}{2\lambda} - \frac{(a_1-a_2)^2}{8\sigma_t^2}\right) da_1 \\ &= \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{2\lambda a_2 - 2\lambda s_0 - \sigma_t^2}{2\lambda^2}\right). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Als we (3.2) integreren over  $A_2$  van  $-\infty$  tot  $\infty$ , dan krijgen we

$$f_{A_1}(a_1) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{A_1,A_2}(a_1,a_2) da_2 = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{2\lambda a_1 - 2\lambda s_0 - \sigma_t^2}{2\lambda^2}\right). \quad (3.4)$$

Omdat we voor  $A_1$  en  $A_2$  als marginale verdelingen de standaardexponentiële verdeling willen hebben, moeten we  $\lambda$  gelijk kiezen aan 1. Hiermee gaat vergelijking (3.4) over in  $f_{A_1}(a_1) = \exp(-a_1 + s_0 + \sigma_t^2/2)$  en vergelijking (3.3) gaat over in  $f_{A_2}(a_2) = \exp(-a_2 + s_0 + \sigma_t^2/2)$ . We krijgen nu twee standaardexponentiële verdelingen als we  $s_0$  gelijk kiezen aan  $-\sigma_t^2/2$ .

Uit het bovenstaande zou geconcludeerd kunnen worden dat de parametrisatie niet alleen asymptotisch geldig is, maar zelfs exact is. Dit is echter niet waar. Bij de integralen (3.3) en (3.4) is eenvoudig geïntegreerd van  $-\infty$  tot  $\infty$ . De bovengrens is wel correct, maar de ondergrens is eigenlijk te laag. Bij correcte integratiegrenzen resulteert voor  $f_{A_1}(a_1)$  niet de exponentiële verdeling, maar de exponentiële verdeling vermenigvuldigd met een factor, die naar één gaat voor grote waarden van  $A_1$ . Dit geldt eveneens voor  $A_2$ . Door de aanwezigheid van de factor geldt de parametrisatie slechts asymptotisch.

### 3.3 Driedimensionaal model

De uitbreiding van de transformatie in twee dimensies naar de transformatie in drie dimensies levert bij de volgende keuzes de beste resultaten:

$$S = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3},$$

$$T = A_i - \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} \quad i = 1, 2.$$

Voor de stochastische grootheid  $S$  wordt weer een exponentiële verdeling aangenomen en voor  $T_i$  worden normale verdelingen met verwachting 0 aangenomen. Verder wordt aangenomen dat  $S$ ,  $T_1$  en  $T_2$  statistische onafhankelijk van elkaar zijn.

De kansdichtheidsfunctie van de exponentieelverdeelde stochastische grootheid  $S$  is

$$f(s) = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{s-s_0}{\lambda}\right) \quad \text{voor } s \geq s_0.$$

met  $\lambda$  en  $s_0$  vrijheidsgraden, die willekeurig te kiezen zijn.

De stochastische grootheden  $T_1$  en  $T_2$  hebben normale verdelingen met verwachting 0 en respectievelijke standaarddeviaties  $\sigma_1$  en  $\sigma_2$ :

$$f(t_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t_i}{\sigma_i}\right)^2\right) \quad \text{voor } i = 1, 2,$$

met  $\sigma_1$  en  $\sigma_2$  volgend uit de data.

Onder de aanname dat  $S$ ,  $T_1$  en  $T_2$  statistisch onafhankelijk van elkaar zijn, is de gezamenlijke kansdichtheidsfunctie van  $S$ ,  $T_1$  en  $T_2$  eenvoudig te schrijven als

$$f_{S,T_1,T_2}(s,t_1,t_2) = f_S(s)f_{T_1}(t_1)f_{T_2}(t_2).$$

Toepassing van de transformatie geeft

$$f_{A_1,A_2,A_3}(a_1,a_2,a_3) = \frac{1}{6\pi\lambda\sigma_1\sigma_2} \exp\left(-\frac{a_1+a_2+a_3-3s_0}{3\lambda} - \frac{(2a_2-a_1-a_3)^2}{18\sigma_2^2} - \frac{(2a_1-a_2-a_3)^2}{18\sigma_1^2}\right). \quad (3.5)$$

Integratie over  $A_1$  van  $-\infty$  tot  $\infty$  en over  $A_2$  van  $-\infty$  tot  $\infty$  geeft

$$f_{A_3}(a_3) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{A_1,A_2,A_3}(a_1,a_2,a_3) da_1 da_2 = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{2\lambda a_3 - 2\lambda s_0 - \sigma_1^2 - \sigma_2^2}{2\lambda^2}\right). \quad (3.6)$$

Als we formule (3.5) integreren over  $A_1$  van  $-\infty$  tot  $\infty$  en over  $A_3$  van  $-\infty$  tot  $\infty$ , dan krijgen we

$$f_{A_2}(a_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{A_1,A_2,A_3}(a_1,a_2,a_3) da_1 da_3 = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{2\lambda a_2 - 2\lambda s_0 - \sigma_2^2}{2\lambda^2}\right). \quad (3.7)$$

en als we formule (3.5) integreren over  $A_2$  en  $A_3$  van  $-\infty$  tot  $\infty$ , dan krijgen we

$$f_{A_1}(a_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{A_1, A_2, A_3}(a_1, a_2, a_3) da_2 da_3 = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{2\lambda a_1 - 2\lambda s_0 - \sigma_1^2}{2\lambda^2}\right). \quad (3.8)$$

Omdat we voor  $A_1$ ,  $A_2$  en  $A_3$  als marginale verdelingen de standaardexponentiële verdeling willen hebben, moeten we  $\lambda$  ook in het driedimensionale model gelijk kiezen aan 1. Hiermee gaat vergelijking (3.8) over in  $f_{A_1}(a_1) = \exp(-a_1 + s_0 + \sigma_1^2/2)$ , vergelijking (3.7) over in  $f_{A_2}(a_2) = \exp(-a_2 + s_0 + \sigma_2^2/2)$  en vergelijking (3.6) over in  $f_{A_3}(a_3) = \exp(-a_3 + s_0 + \sigma_1^2/2 + \sigma_2^2/2)$ . We krijgen nu drie vergelijkingen waaraan  $s_0$  moet voldoen:

$$\begin{aligned} s_0 &= -\sigma_1^2/2, \\ s_0 &= -\sigma_2^2/2, \\ s_0 &= -\sigma_1^2/2 - \sigma_2^2/2. \end{aligned}$$

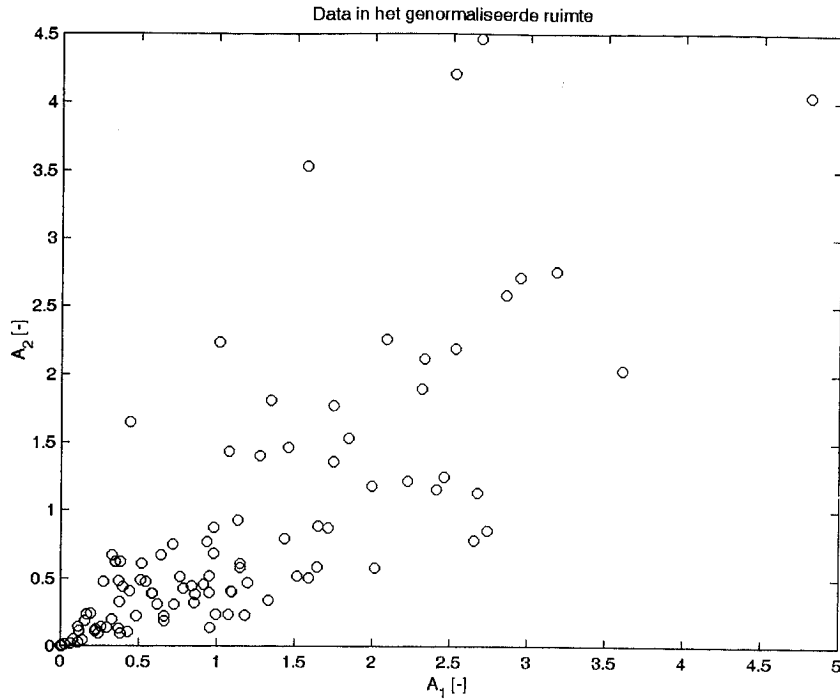
Dit is onoplosbaar. Het gepresenteerde model is in die mate goed dat voor de marginale verdelingen inderdaad exponentiële verdelingen volgen. Echter niet de vereiste standaard-exponentiële verdelingen.

### 3.4 Illustraties

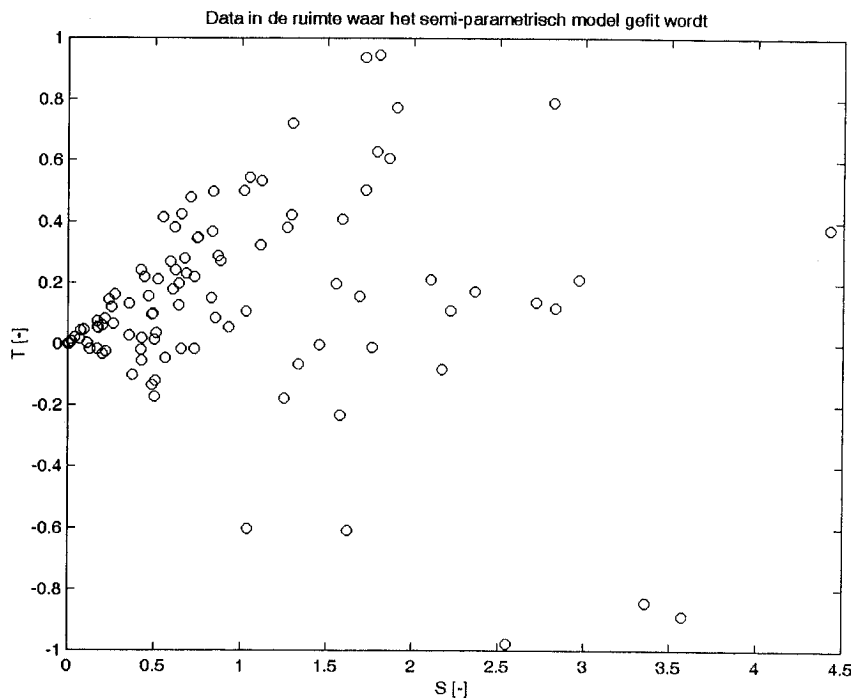
In deze paragraaf illustreren we het semi-parametrische model voor de tweedimensionale situatie uit paragraaf 3.2 met twee figuren. Aan de hand van deze figuren lichten we ook toe waarom het semi-parametrische model ongeschikt is in drie dimensies.

Nadat de data getransformeerd is naar de genormaliseerde ruimte, heeft de tweedimensionale data als marginale verdelingen twee standaardexponentiële verdelingen. In de data zijn de afhankelijkheden nog wel aanwezig. Als we deze verdelingen weergeven door  $A_1$  en  $A_2$ , dan hebben hoge waarden van  $A_1$  een relatief hoge kans om tegelijkertijd op te treden met hoge waarden van  $A_2$ . In Figuur A-3 is hier een voorbeeld van gegeven.

Zoals beschreven is in paragraaf 3.2 wordt deze data getransformeerd naar de grootheden  $S$  en  $T$  volgens  $S = (A_1 + A_2)/2$  en  $T = (A_1 - A_2)/2$ . Voor deze grootheden nemen we aan dat ze statistisch onafhankelijk zijn. Een voorbeeld voor de grootheden  $S$  en  $T$ , die uit de data bepaald zijn, is weergegeven in Figuur A-4. In deze figuur is echter nog wel een zekere afhankelijkheid tussen  $S$  en  $T$  zichtbaar, zeker voor lage waarden van  $S$ . Bovendien geldt, vanwege de definitie van  $S$  en  $T$ , dat  $-S \leq T \leq S$ .



*Figuur A-3 Genormaliseerde data  $A_1$  en  $A_2$  met correlatiestructuur*



*Figuur A-4 Data in de  $(S, T)$ -ruimte*

In de  $(S, T)$ -ruimte wordt vervolgens het semi-parametrische model gefit met een exponentiële verdeling voor de grootheid  $S$  en een normale verdeling voor de grootheid  $T$ . Vervolgens worden deze verdelingen teruggetransformeerd naar de grootheden  $A_1$  en  $A_2$ . Uit de berekeningen van paragraaf 3.2 volgt dan dat  $A_1$  en  $A_2$  inderdaad standaardexponentieel verdeeld zijn.

Voor drie dimensies zijn bijna alle stappen van het tweedimensionale semi-parametrische model te maken: de data kan getransformeerd worden naar de genormaliseerde ruimte en de driedimensionale data heeft dan drie standaardexponentiële marginale verdelingen zonder dat sprake is van onafhankelijkheid. Met de transformatie uit paragraaf 3.3 is de data te transformeren naar de statistisch onafhankelijke grootheden  $S$ ,  $T_1$  en  $T_2$ . De fit van het semi-parametrisch model is ook mogelijk, maar als teruggetransformeerd wordt naar de genormaliseerde ruimte resulteren geen standaardexponentiële verdelingen. Wel resulteren exponentiële verdelingen, maar dit is onvoldoende.

### 3.5 Nabeschouwing

In deze paragraaf gaan we dieper in op het punt dat de parametrisatie wel werkt in twee dimensies en niet werkt in drie dimensies. Ons inziens werkt de parametrisatie wel in twee dimensies omdat in de transformatie de grootheden  $A_1$  en  $A_2$  volledig uitwisselbaar zijn. Deze twee parameters kunnen dus zonder meer verwisseld worden zonder dat de uitwerking veranderd. Als in de transformatie  $A_1$  en  $A_2$  worden omgedraaid resulteert:

$$S = \frac{A_2 + A_1}{2},$$

$$T = \frac{A_2 - A_1}{2}.$$

Dat deze wijziging in de transformatie geen invloed heeft op de grootte  $S$  is evident. Ook op de grootte  $T$  heeft de wijziging in de transformatie geen invloed. De grootte  $T$  wordt namelijk in formule (3.1) gekwadraterd en er geldt:

$$\left(\frac{a_1 - a_2}{2}\right)^2 = \left(\frac{a_2 - a_1}{2}\right)^2.$$

In de transformatie van het driedimensionale model heeft verwisseling van  $A_1$ ,  $A_2$  en  $A_3$  wel invloed op de verdere uitwerking. Het is bijvoorbeeld eenvoudig in te zien dat

$$\left(a_1 - \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}\right)^2$$

ongelijk is aan

$$\left(a_2 - \frac{a_2 + a_1 + a_3}{3}\right)^2.$$

Wil het model voldoen aan onze eisen van asymptotische afhankelijkheid dan moet de transformatie symmetrisch zijn in drie dimensies. Omdat bovendien de eis opgelegd wordt dat de verwachtingen van de grootheden  $T_i$  gelijk zijn aan 0, is een transformatie, die in drie dimensies symmetrisch is, onmogelijk. Hierdoor kunnen we concluderen dat het onmogelijk is om de parametrisatie uit Hydra-K uit te breiden naar drie dimensies.

Als we bovenstaande argumentatie toepassen op meer dan drie dimensies dan heeft dit tot gevolg dat de parametrisatie ook niet uit te breiden is naar vier of meer dimensies.

## 4 Toepassing semi-parametrisch model

### 4.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is vastgesteld dat het semi-parametrisch model, dat binnen Hydra-K gebruikt wordt in twee dimensies voor de bepaling van de ontwerpfuncties, niet uitbreidbaar is naar meerdere dimensies. Voor de bepaling van de golfhoogte en golfpiekperiode gegeven de windsnelheid / waterstand is daarom gekozen om gebruik te maken van het tweedimensionale semi-parametrisch model. Ten behoeve van dijken wordt met dit model de golfhoogte op diep water bepaald met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij alle 30°-windrichtingssectoren. De golfpiekperiode, die hoort bij de windsnelheid en windrichting, wordt vervolgens berekend uit de golfhoogte met een machtsrelatie ( $T_p = aH_s^b$  met coëfficiënten  $a$  en  $b$ ). Voor dijken zijn de berekende golfhoogten en golfpiekperioden op diep water dus onafhankelijk van de waterstand.

Voor duinen worden de windsnelheid en de windrichting traditioneel buiten beschouwing gelaten. Daarom wordt het tweedimensionale semi-parametrisch model (uit Hydra-K) bij duinen gebruikt om de golfhoogte te bepalen met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting. Ook bij duinen wordt de golfpiekperiode uit de golfhoogte berekend met een machtsrelatie ( $T_p = aH_s^b$  met de coëfficiënten  $a$  en  $b$  voor de omnidirectionele windrichting).

In dit hoofdstuk wordt voor één windrichting de methodiek van het semi-parametrische model beschreven bij dijken. Voor duinen gelden dezelfde formules, alleen moet de windsnelheid vervangen worden door de waterstand.

### 4.2 Theorie

In het semi-parametrische model voor dijken wordt uitgegaan van simultane waarnemingen van windsnelheid en golfhoogtes. Uit deze simultane waarnemingen worden alle waarnemingen geselecteerd bij de gekozen windrichtingssector. Als we beschikken over  $N$  simultane waarnemingen, dan noteren we deze waarnemingen met  $(u_i, h_{s,i})$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

De windsnelheid en golfhoogtes hebben beide een conditionele Weibullverdeling:

$$\Psi(x) = \Psi(\omega) \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha + \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha\right)$$

met  $x$  de windsnelheid / golfhoogte,  $\omega$  de drempelwaarde,  $\sigma$  de schaalparameter en  $\alpha$  de vormparameter bij de gegeven windrichtingssector. Met deze verdelingen wordt de data getransformeerd naar de genormeerde (exponentiële) ruimte:

$$\tilde{x}_i = \left(\frac{x_i}{\sigma}\right)^\alpha - \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha - \log(\Psi(\omega))$$

met  $x_i$  de waargenomen windsnelheid ( $u_i$ ) of golfhoogte ( $h_{s,i}$ ). Dit levert derhalve  $(\tilde{u}_i, \tilde{h}_{s,i})$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Om aan te sluiten bij bestaande literatuur ([De Valk, 1999] en [Vreugdenhil et al., 2000]) wordt de verdeling van de getransformeerde windsnelheden genoteerd met  $A_1$  en de verdeling van de getransformeerde golfhoogten met  $A_2$ . Het semi-parametrische model bestaat uit een exponentiële verdeling voor de som van de getransformeerde windsnelheid en golfhoogte en een normale verdeling voor het verschil van de getransformeerde windsnelheid en golfhoogte, waarbij de exponentiële en de normale verdeling onafhankelijk van elkaar zijn. In formules:

$$S = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$T = \frac{A_1 - A_2}{2}$$

met  $S$  exponentieel verdeeld en  $T$  een normale verdeling met verwachting 0 en variantie  $\sigma_t^2$ . In paragraaf 3.2 en [De Valk et al., 1997] is aangetoond dat  $A_1$  en  $A_2$  dan asymptotisch exponentieel verdeeld zijn. De conditionele kansverdeling van  $A_2$  gegeven  $A_1$  is dan een normale verdeling:

$$f_{A_2|A_1}(a_2 | a_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(2\sigma_t)} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{a_2 - a_1 + 2\sigma_t^2}{2\sigma_t} \right)^2 \right\}.$$

Het ontwerp punt wordt bij bovenstaande normale verdeling gevonden bij:  $a_2 - a_1 + 2\sigma_t^2 = 0$ . In woorden komt dit overeen met: de getransformeerde golfhoogte is gelijk aan de getransformeerde windsnelheid vermeerderd met  $-2\sigma_t^2$  ( $a_2 = a_1 - 2\sigma_t^2$ ). In [De Valk, 1999] wordt dit het semi-parametrische ontwerp punt genoemd.

Als één van de variabelen wordt vastgelegd, dan wordt in [De Valk, 1999] een wijziging ten aanzien van het ontwerp punt voorgesteld (zie ook [Vreugdenhil et al., 2000]):

$$a_2 = a_1 - 2 \cdot \text{mediaan}(T), \text{ met } a_1 \text{ vastgelegd.}$$

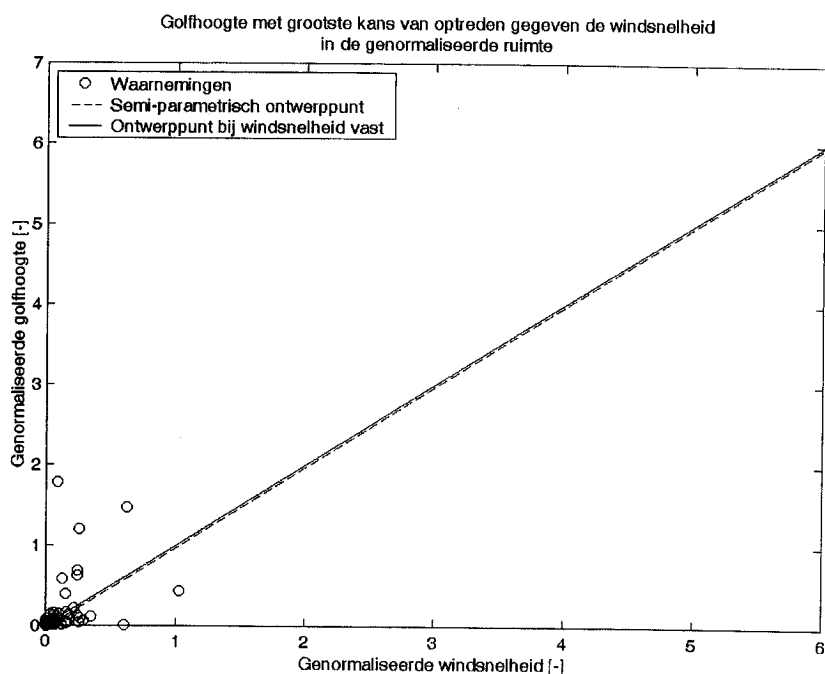
De mediaan van  $T$  kan dan als schatter voor  $\sigma_t^2$  worden gezien. In Figuur A-5 en Figuur A-6 is het verschil tussen  $a_2 = a_1 - 2 \cdot \text{mediaan}(T)$  en  $a_2 = a_1 - 2\sigma_t^2$  weergegeven. Uit Figuur A-6 blijkt dat de koppeling op basis van de mediaan meer informatie uit de data bevat.

We lichten nu toe waarom de koppeling op basis van  $\sigma_t^2$  slecht kan uitpakken bij weinig datapunten. Als de kwantilen van de windsnelheid en de golfhoogte gekoppeld worden (dat wil zeggen volledig afhankelijk zijn), dan resulteert voor de koppeling tussen de windsnelheid en de golfhoogte in de genormaliseerde ruimte de lijn  $a_2 = a_1$ . Als de golfhoogte met de grootste kans van optreden gekoppeld wordt aan het maximum van de windsnelheid in een storm, dan zal in de koppeling het kwantiel van de golfhoogte kleiner zijn dan het kwantiel van de windsnelheid. Met andere woorden: de overschrijdingskans van de golfhoogte is groter dan de overschrijdingskans van de windsnelheid. Door de aanname van de asymptotische afhankelijkheid wordt de lijn  $a_2 = a_1$  dan naar rechts verschoven. Voor het berekenen van de golfhoogte met de grootste kans van optreden wordt data gebruikt onder de drempelwaarde van de conditionele Weibullverdeling. Dit betekent dat extrapolatie van de statistiek plaats vindt. Als de extrapolatie geoorloofd is, dan gaat de koppeling  $a_2 = a_1 - 2\sigma_t^2$  tussen windsnelheid en golfhoogte goed door de datapunten (de gestreepte lijn in Figuur A-5). Als de extrapolatie niet geoorloofd is, dan gaat de koppeling  $a_2 = a_1 - 2\sigma_t^2$  tussen windsnelheid en golfhoogte niet door de datapunten (de gestreepte lijn in Figuur A-6). In Figuur A-6 gaat de

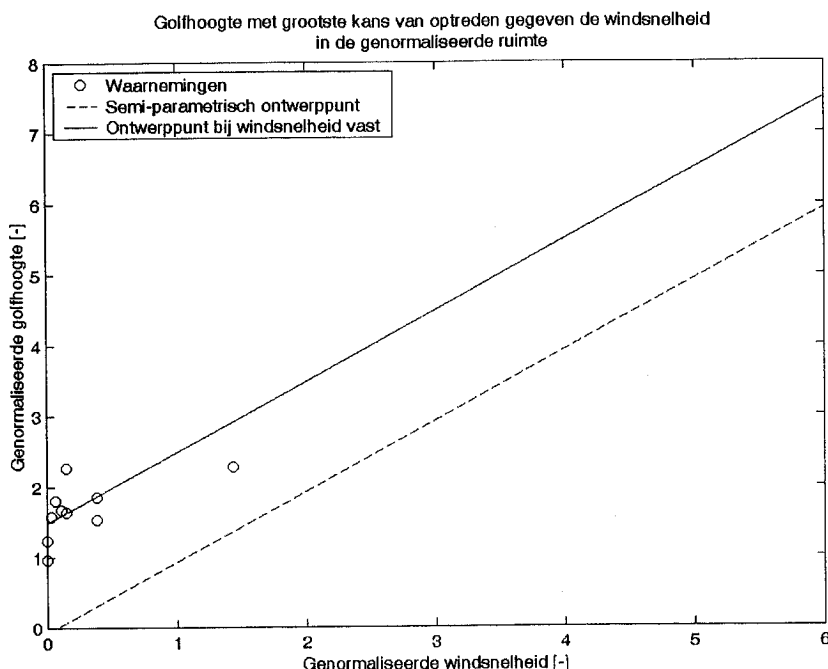


koppeling  $a_2 = a_1 - 2\sigma_i^2$  niet door de datapunten omdat de kwantielen van de golfhoogte door de extrapolatie van de conditionele Weibullverdeling juist groter geworden zijn dan de kwantielen van de windsnelheid. De koppeling  $a_2 = a_1 - 2 \cdot \text{mediaan}(T)$  gaat dan wel door de datapunten (de doorgetrokken lijn in Figuur A-5 en in Figuur A-6).

Als voldoende datapunten boven de drempelwaarde van de conditionele Weibullverdeling beschikbaar zijn, dan leveren beide manieren om de golfhoogte aan de windsnelheid te koppelen, koppelingen die goed door de data gaan. Als onvoldoende datapunten boven de drempelwaarde van de conditionele Weibullverdeling beschikbaar zijn, dan kan de koppeling  $a_2 = a_1 - 2\sigma_i^2$  onjuist uitpakken. Daarom is gekozen voor de koppeling  $a_2 = a_1 - 2 \cdot \text{mediaan}(T)$  tussen de golfhoogte en de windsnelheid. Deze koppeling levert wel juiste resultaten of de extrapolatie nu wel of niet geoorloofd is. In paragraaf 5.3 gaan we dieper in op de problematiek van de extrapolatie onder de drempelwaarde van de conditionele Weibullverdeling.



**Figuur A-5** Voorbeeld van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven windsnelheid in de genormaliseerde ruimte als de statistiek ook bruikbaar is onder de drempel van de conditionele Weibullverdeling



**Figuur A-6** Voorbeeld van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven windsnelheid in de genormaliseerde ruimte als de statistiek niet bruikbaar is onder de drempel van de conditionele Weibullverdeling

### 4.3 Toepassing

Om nu bij elke waarde van de windsnelheid een golfhoogte met de grootste kans van optreden te bepalen, wordt voor elke windsnelheid dezelfde transformatie toegepast, die op de data is toegepast:

$$\tilde{u} = \left(\frac{u}{\sigma}\right)^\alpha - \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha - \log(\Psi(\omega)),$$

met  $\omega$ ,  $\sigma$ ,  $\alpha$  en  $\Psi(\omega)$  parameters van de conditionele Weibullverdeling van de windsnelheid bij de beschouwde windrichtingssector. Vervolgens wordt de bijbehorende getransformeerde waarde van de golfhoogte berekend volgens:

$$\tilde{h}_s = \tilde{u} - 2 \cdot \text{mediaan}(T).$$

Voor een schatting van de mediaan van  $T$  wordt de data gebruikt. Zoals in paragraaf 4.2 is uitgewerkt, zijn na transformatie de waargenomen windsnelheden en golfhoogtes getransformeerd tot derhalve  $(\tilde{u}_i, \tilde{h}_{s,i})$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Hiermee krijgen we een schatting voor  $T$ :

$$t_i = \frac{\tilde{u}_i - \tilde{h}_{s,i}}{2}, \quad i = 1, \dots, N.$$

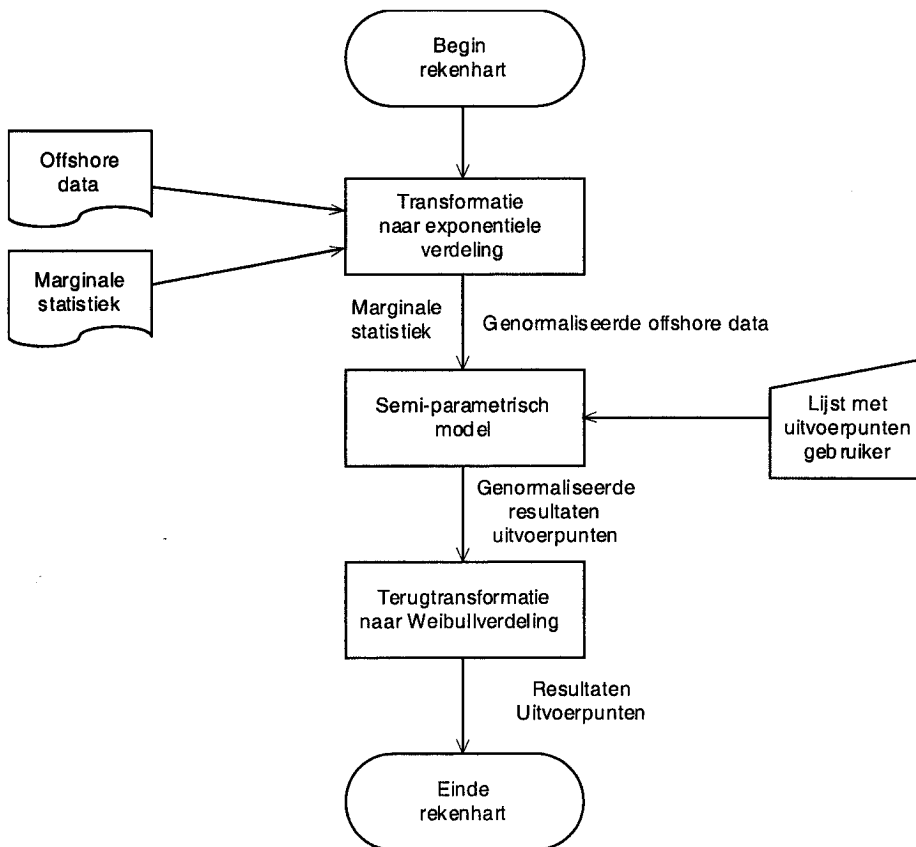
Deze schatting wordt gebruikt om de mediaan van  $T$  te schatten.

De getransformeerde waarde van de golfhoogte wordt vervolgens teruggetransformeerd naar de golfhoogte volgens:

$$h_s = \sigma \left( \tilde{h}_s + \left( \frac{\omega}{\sigma} \right)^\alpha + \log(\Psi(\omega)) \right)^{1/\alpha}$$

met  $\omega$ ,  $\sigma$ ,  $\alpha$  en  $\Psi(\omega)$  parameters van de conditionele Weibullverdeling van de golfhoogte bij de windrichtingssector.

In Figuur A-7 zijn de rekenstappen in een stroomschema weergegeven.



*Figuur A-7 Stroomschema voor de berekening van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid*

Zoals we al in paragraaf 4.1 hebben opgemerkt wordt de golfpiekperiode berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = aH_s^b$  met coëfficiënten  $a$  en  $b$ , die afhankelijk zijn van de windrichtingssector. Bovenstaand berekeningsschema wordt dan ook voor elke windrichtingssector afzonderlijk toegepast.

### 4.4 Duinen

Voor de berekeningen ten behoeve van duinen worden ook de berekeningstappen uit de paragrafen 4.2 en 4.3 uitgevoerd. Alleen wordt in plaats van de windsnelheid de waterstand gebruikt en vervalt de uitsplitsing naar de windrichtingssectoren. Voor duinen wordt dus enkel de golfhoogte met de grootste kans van optreden berekend voor de omnidirectionele windrichting.



## 5 Waarnemingen en statistiek

### 5.1 Inleiding

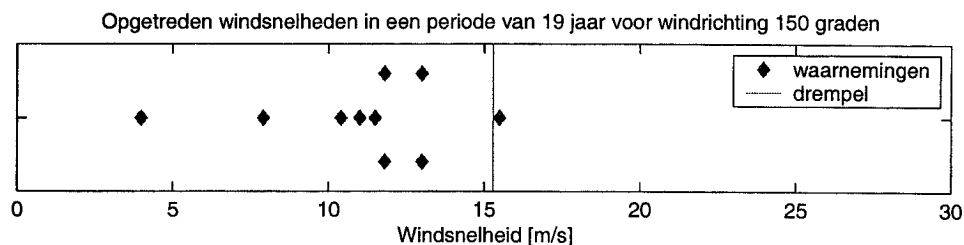
In dit hoofdstuk plaatsen we enkele kritische kanttekeningen bij de bestanden met waarnemingen en de statistiek.

### 5.2 Waarnemingen

Om zinvolle golfrandvoorwaarden af te leiden als invoer voor SWAN is het van het grootste belang dat de waarnemingen en de statistiek bij elkaar horen. De statistiek beschrijft de marginale kansverdelingen van de waterstand, de windsnelheid en de golfhoogte. Uit het bestand met simultane waarnemingen van waterstanden, windsnelheden en golfhoogtes zijn ook marginale kansverdelingen van de waterstand, de windsnelheid en de golfhoogte af te leiden. De twee marginale kansverdelingen voor de windsnelheid hoeven niet exact hetzelfde te zijn, maar moeten wel bij elkaar in de buurt komen. Hoe meer ze op elkaar lijken des te beter zijn de berekende golfhoogtes als functie van de windsnelheid. Hetzelfde geldt voor de kansverdelingen van de waterstand en de golfhoogte. Onderstaand wordt zowel voor de windsnelheid als voor de waterstand een voorbeeld gegeven.

#### Windsnelheid

Voor de Westerschelde is onderzocht of de statistiek en de waarnemingen voor de windsnelheid bij elkaar passen. Volgens de statistiek moet een windsnelheid van 15.3 m/s bij windrichting 150 graden een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 0.31 hebben. Dit betekent dat in een periode van 19 jaar gemiddeld zes overschrijdingen van de windsnelheid van 15.3 m/s optreden. De data bestaat uit 19 jaar gegevens. In deze periode zijn er 10 stormen waarbij het maximum van de storm windrichting 150 graden heeft. In deze periode van 19 jaar wordt de windsnelheid van 15.3 m/s met moeite één keer overschreden. Zie ook Figuur A-8. Voor windrichting 150 graden kan niet anders dan geconcludeerd worden dat de waarnemingen en de statistiek voor de windsnelheid niet echt lekker passen. In mindere mate geldt dit eigenlijk ook voor de andere windrichtingen.



Figuur A-8 Opgetreden windsnelheden in een periode van 19 jaar voor windrichting 150 graden

#### Waterstand

Voor de waterstanden geldt iets soortgelijks als voor de windsnelheden. De drempelwaarde van de conditionele Weibullverdeling voor de waterstand op de Westerschelde is gelijk aan 2.9 m + NAP met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 3.907 (omnidirectionele windrichting). Volgens het bestand met waarnemingen voor de Westerschelde wordt de waterstand van 2.9 m + NAP 113 keer overschreden. Omdat het bestand met waarnemingen

19 jaar gegevens bevat, komt dit overeen met een overschrijdingsfrequentie van bijna 6 keer per jaar.

### 5.3 Extrapolatie van de statistiek

Het basisidee achter Hydra-K is het verschuiven van waarnemingen naar het extreme bereik. Dit verschuiven vindt plaats middels de marginale statistiek. De marginale statistiek bestaat uit conditionele Weibullverdelingen. Omdat dit conditionele verdelingen zijn, zijn ze formeel pas geldig boven een drempelwaarde. Binnen Hydra-K worden deze conditionele Weibullverdelingen ook beneden de drempelwaarde gebruikt (extrapolatie), terwijl ze voor dit bereik dus formeel niet geldig zijn. Zonder deze aanname is de verschuiving van de waarnemingen naar het extreme bereik niet mogelijk omdat (1) de marginale verdeling gebruikt wordt voor de verschuiving en (2) een substantieel gedeelte van de waarnemingen zich onder de drempelwaarde bevinden.

Een cruciale vraag is nu of het gebruik van de conditionele Weibullverdelingen onder de drempelwaarden geoorloofd is. Hierbij moeten we onderscheid maken tussen enerzijds Hydra-K en anderzijds de meerdimensionale statistiek op diep water. Voor de faalkansberekening in Hydra-K denken we dat dit geen problemen geeft, omdat alle datapunten zo verschoven worden dat er precies 50 in het faalgebied liggen. Hoogstwaarschijnlijk bevinden deze 50 datapunten zich boven de drempelwaarde van de conditionele Weibullverdeling.

Omdat de meerdimensionale statistiek op diep water afgeleid wordt op basis van alle datapunten is het van belang dat de extrapolatie van de statistiek onder de drempelwaarde geoorloofd is. Voor de waterstanden kan de statistiek van de waterstanden niet geëxtrapolated worden onder NAP. Dit is een gevolg van de conditionele Weibullverdeling. Deze verdeling heeft de volgende vorm:

$$\Psi(x) = \Psi(\omega) \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha + \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha\right), \text{ met } \omega \text{ de drempelwaarde.}$$

Omdat  $\alpha$  niet-geheeltallig is, mag  $(x/\sigma)$  niet negatief zijn. Omdat  $\sigma$  positief is, mag de waterstand ( $x$ ) niet negatief zijn.

Voor de golfhoogtes geeft het gebruik van de conditionele Weibullverdeling onder de drempel aantoonbare onjuistheden. Zie onderstaande redentatie.

Voor windrichting 120 graden zijn er voor de Westerschelde maar 7 datapunten. In onderstaande tabel zijn de windsnelheden en de golfhoogtes weergegeven. Ook zijn in deze tabel de overschrijdingskansen volgens de marginale statistieken opgenomen.

Windsnelheid [m/s]	Gelijktijdig optredende golfhoogte [m]	Overschrijdingsfrequentie windsnelheid	Overschrijdingsfrequentie golfhoogte
11.9	1.79	1.384	0.105
12.3	1.98	1.107	0.072
12.7	1.92	0.875	0.082
14.0	1.93	0.379	0.080
14.6	2.27	0.248	0.036
15.3	1.67	0.146	0.128
15.7	2.88	0.106	0.005

*Tabel A-1 Gezamenlijk optredende windsnelheden en golfhoogtes met hun marginale overschrijdingsfrequenties*

Bovenstaande tabel laat zien dat de overschrijdingsfrequentie van de golfhoogte veel kleiner is dan de overschrijdingsfrequentie van de windsnelheid. Dit is niet logisch. De gepresenteerde windsnelheden en golfhoogtes in bovenstaande tabel zijn telkens de hoogste windsnelheid in een storm, gecombineerd met de dan optredende golfhoogte. De golfhoogte is dan lang niet zo bijzonder als de windsnelheid. Het is namelijk goed mogelijk dat de golfhoogte een hogere waarde heeft vlak na het maximum van de storm (grootste windsnelheid binnen de storm). De hogere golfhoogte zal dan een overschrijdingsfrequentie hebben, die vergelijkbaar is met de overschrijdingsfrequentie van de windsnelheid.

De drempelwaarde voor de golfhoogte is op de Westerschelde 3.70 m. Bovenstaande argumentatie in combinatie met Tabel A-1 leert dat het gebruik van de conditionele Weibullverdeling voor golfhoogtes onder de drempelwaarde niet toegestaan is.

Niet voor iedere windsnelheid wordt de golfhoogte met de grootste kans van optreden gepresenteerd. Een zekere extrapolatie naar lage windsnelheden wordt acceptabel geacht, maar de extrapolatie naar te lage windsnelheden wordt als niet-realistisch gezien. Zoals bovenstaand is beargumenteerd, is de gebruikte methodiek hiervoor niet geschikt. De grenswaarde waaronder geen golfhoogtes meer berekend worden verschilt overigens per windrichting.





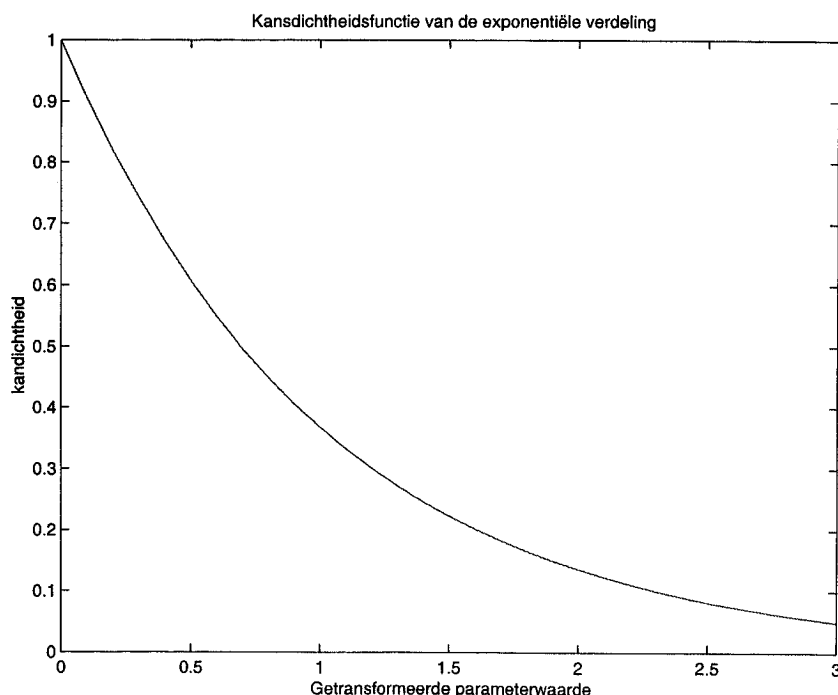
## 6 Parametrisch model

### 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk behandelen we een methode waarmee wel de golfhoogte en de golfpiekperiode te berekenen zijn met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid *en* de waterstand. Dit is echter een parametrische methode, waarmee asymptotische afhankelijkheid niet kan worden gemodelleerd en sluit daardoor niet aan bij Hydra-K. Dit is wel een algemeen geaccepteerde methode, waarmee allerlei statistische eigenschappen analytisch kunnen worden uitgerekend. Voorbeelden zijn correlaties en conditionele kansverdelingen bijvoorbeeld gegeven de waterstand en de windsnelheid. Uit deze meerdimensionale statistiek zijn dan met elementaire statistiek de golfhoogte en de golfpiekperiode te bepalen met de grootste kans van optreden bij een willekeurige combinatie van de waterstand en de wind. Lezers, die slechts geïnteresseerd zijn in de methodiek achter de Preprocessor voor Hydra-K (PHK), kunnen dit hoofdstuk overslaan.

### 6.2 Methodiek

De offshore data worden met behulp van de marginale statistiek (conditionele Weibullverdelingen) getransformeerd naar de genormaliseerde ruimte met als marginale verdelingen de standaardexponentiële verdeling. In Figuur A-9 is de standaardexponentiële verdeling weergegeven. Het punt met de grootste kans van optreden bevindt zich geheel links in de verdeling. Omdat juist het punt met de grootste kansdichtheid gezocht wordt, zou dit bijvoorbeeld betekenen dat een golfhoogte bij gegeven waterstand en windsnelheid gevonden wordt, die zich aan de onderkant van de data bevindt. Dit is natuurlijk een ongewenste situatie en daarom wordt de Rosenblatt-transformatie [Rosenblatt, 1952] en [Vreugdenhil et al., 2001] toegepast. In paragraaf 6.4 wordt de werking van de Rosenblatt-transformatie toegelicht.



Figuur A-9 Kansdichtheidsfunctie van de exponentiële verdeling

Na de Rosenblatt-transformatie bevindt de data zich in een meerdimensionale normale ruimte. Dan is de correlatiestructuur eenvoudig te schatten door de covariantiematrix te bepalen en wordt de gezamenlijke kansverdeling gevonden van de getransformeerde waarden van de waterstand  $h$ , de windsnelheid  $u$ , de golfhoogte  $H_s$  en de golfpiekperiode  $T_p$ . Na terugtransformatie wordt de kansverdeling  $f(h, u, H_s, T_p | r)$  gevonden.

Uit deze kansverdeling wordt de gezamenlijke verdeling van de waterstand en de windsnelheid gegeven de windrichtingssector bepaald:

$$f(h, u | r) = \int_{H_s=0}^{\infty} \int_{T_p=0}^{\infty} f(h, u, H_s, T_p | r) dT_p dH_s .$$

Met deze kansverdeling volgt eenvoudig de conditionele kansverdeling voor de golfhoogte en golfpiekperiode gegeven de waterstand, de windsnelheid en de windrichting:

$$f(H_s, T_p | h, u, r) = \frac{f(h, u, H_s, T_p | r)}{f(h, u | r)} .$$

De combinatie  $(H_s, T_p)$  met de grootste kansdichtheid is bij gegeven combinatie  $(h, u, r)$  de gewenste combinatie van golfhoogte en golfpiekperiode.

### 6.3 Duinen

Voor het berekenen van de sterkte van de duinen wordt uitgegaan van een vereenvoudigde veiligheidsfilosofie waarbij de wind geheel buiten beschouwing gelaten wordt. voor veiligheidsberekeningen wordt uitgegaan van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand.

De methode, die beschreven is in de paragraaf 6.2 is met enige aanpassingen ook bruikbaar voor duinen. Voor deze methode bestaan twee mogelijke uitwerkingen. In de eerste uitwerking wordt de winddata geheel buiten beschouwing gelaten en in de tweede uitwerking wordt de winddata wel meegenomen. Deze uitwerkingen behandelen we onderstaand en onze voorkeur geven we na de uitwerking van de twee methoden.

#### Methodiek duinen zonder winddata

De methode, die beschreven is in paragraaf 6.2, passen we toe op een één dimensie kleinere ruimte. In vergelijking met de methodiek van paragraaf 6.2 wordt de windsnelheid buiten beschouwing gelaten en blijven slechts de waterstand, de golfhoogte en de golfpiekperiode over. Deze data worden dan naar genormaliseerde data getransformeerd met standaard-exponentiële verdelingen. Vervolgens wordt de Rosenblatt-transformatie toegepast en wordt de driedimensionale normale verdeling gefit met behulp van de geschatte covariantiematrix. Vervolgens wordt deze verdeling teruggetransformeerd en we krijgen de verdeling  $f(h, H_s, T_p)$ .

Uit deze verdeling leiden we de marginale kansverdeling af voor de waterstand:

$$f(h) = \int_{H_s=0}^{\infty} \int_{T_p=0}^{\infty} f(h, H_s, T_p) dT_p dH_s .$$

Hieruit krijgen we eenvoudig de gezamenlijke verdeling voor de golfhoogte en golfpiekperiode gegeven de waterstand:

$$f(H_s, T_p | h) = \frac{f(h, H_s, T_p)}{f(h)}.$$

Bovenstaande kansdichtheidsfunctie is tweedimensionaal. Bij gegeven waterstand is de combinatie van golfhoogte en golfpiekperiode, waar deze kansdichtheid maximaal is, de gewenste combinatie van golfhoogte en de golfpiekperiode.

### Methodiek duinen zonder winddata

In deze paragraaf lichten we toe op welke wijze de golfhoogte en golfpiekperiode bij gegeven waterstand te berekenen zijn uit de kansverdeling van de golfhoogte en de golfpiekperiode gegeven de waterstand en de wind uitgaande van de statistische methode van 6.2. Het tussenresultaat van paragraaf 6.2, dat we gebruiken, is  $f(h, u, H_s, T_p | r)$ .

De kansverdeling van de windrichtingssectoren krijgen we eenvoudig uit de data door het aantal keer dat de desbetreffende windrichtingssector in de data voorkomt te delen door het totaal aantal datapunten ( $N$ ). In formulevorm is de kans op windrichtingssector  $r$  dan gelijk aan:

$$\Pr(r) = \frac{\text{Aantal datapunten met windrichtingssector } r}{\text{Totaal aantal datapunten}} = \frac{\#r}{N}.$$

De gezochte kansverdeling  $f(H_s, T_p | h)$  berekenen we dan door:

$$f(H_s, T_p | h) = \sum_r \left( \int_{u=0}^{\infty} f(h, u, H_s, T_p | r) du \right) \Pr(r).$$

Bovenstaande kansdichtheidsfunctie is tweedimensionaal. Bij gegeven waterstand is de combinatie van golfhoogte en golfpiekperiode, waar deze kansdichtheid maximaal is, de gewenste combinatie van golfhoogte en de golfpiekperiode.

### Keuze

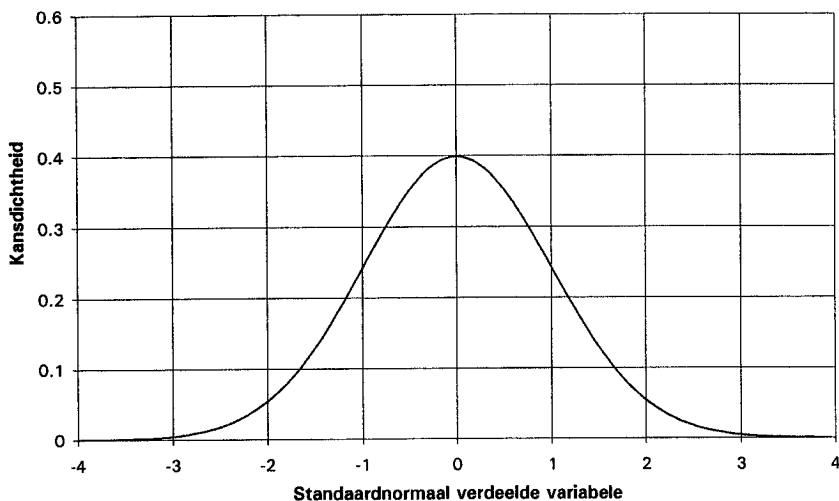
Onze voorkeur voor duinen gaat uit naar de methode waarin ook de winddata zijn opgenomen. De motivatie van deze voorkeur volgt uit consistentieoverwegingen. Voor duinen worden zo golfhoogte en golfpiekperiode berekend, die per definitie aansluiten bij de golfhoogte en golfpiekperiode, die met de methodiek van paragraaf 6.2 worden berekend.

## 6.4 Rosenblatt-transformatie

In deze paragraaf werken we de Rosenblatt-transformatie [Rosenblatt, 1952] en [Vreugdenhil et al., 2001] uit. We doen deze uitwerking aan de hand van een verdeling met een discontinuïteit in de kansdichtheidsfunctie. We zullen laten zien dat de Rosenblatt-transformatie dan goed werkt. Het gebruik van de Rosenblatt-transformatie wordt dan zelfs ten eerste aangeraden. Verder merken we hier op dat de Rosenblatt-transformatie ook goed werkt voor kansverdelingen, waarbij het maximum zich aan de onder- of bovenkant van de verdeling bevindt. Een voorbeeld van zo'n verdeling is de exponentiële verdeling.

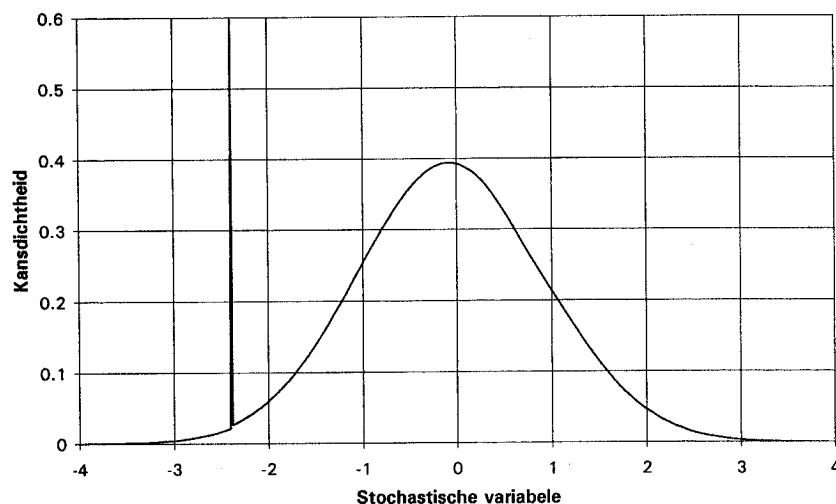
In [Vreugdenhil et al., 1999] is de Rosenblatt-transformatie voor één stochastische variabele in bijlage C uitgewerkt. Deze uitwerking hebben we onderstaand met enige aanpassingen overgenomen.

Voor de situatie met één stochastische variabele is het maximum van deze variabele de modus. Dit is de waarde van de variabele met de grootste kansdichtheid. In Figuur A-10 is de kansdichtheidsfunctie van een standaardnormaalverdeelde variabele ( $U$ ) weergegeven. Voor deze standaardnormaalverdeelde variabele wordt de modus gevonden bij  $U = 0$ .



Figuur A-10 De kansdichtheidsfunctie van een standaardnormaalverdeelde variabele

In Figuur A-11 is een kansdichtheidsfunctie van een andere stochastische variabele ( $W$ ) weergegeven. Vergelijking van Figuur A-10 en Figuur A-11 laat zien dat de kansdichtheidsfuncties van  $U$  en  $W$  vrijwel hetzelfde zijn. De kansdichtheidsfunctie van  $W$  verschilt alleen van die van  $U$  door een discontinuïteit ter plaatse van  $W = -2.3$ . Zo'n discontinuïteit treedt bijvoorbeeld op indien de kansverdelingsfunctie een sprong vertoont, waardoor de bijbehorende kansdichtheidsfunctie in dit punt niet differentieerbaar is. Toepassing van het principe van de modus, het punt waar de kansdichtheid het grootste is, levert voor de stochastische variabele van Figuur A-11 het punt  $W = -2.3$ .



Figuur A-11 De kansdichtheidsfunctie van stochastische variabele met een discontinuïteit bij  $-2.3$

In veel toepassingen ontstaat een ongewenste situatie als het punt met de grootste kansdichtheid zich ter plaatse van een discontinuïteit van de kansdichtheidsfunctie bevindt, omdat vaak het idee bestaat dat de kansdichtheid bij omliggende punten vergelijkbaar is met de kansdichtheid van dit punt. Bij niet-gladde kansdichtheidsfuncties hoeft dit, zoals we laten zien aan de hand van Figuur A-11, niet het geval te zijn.

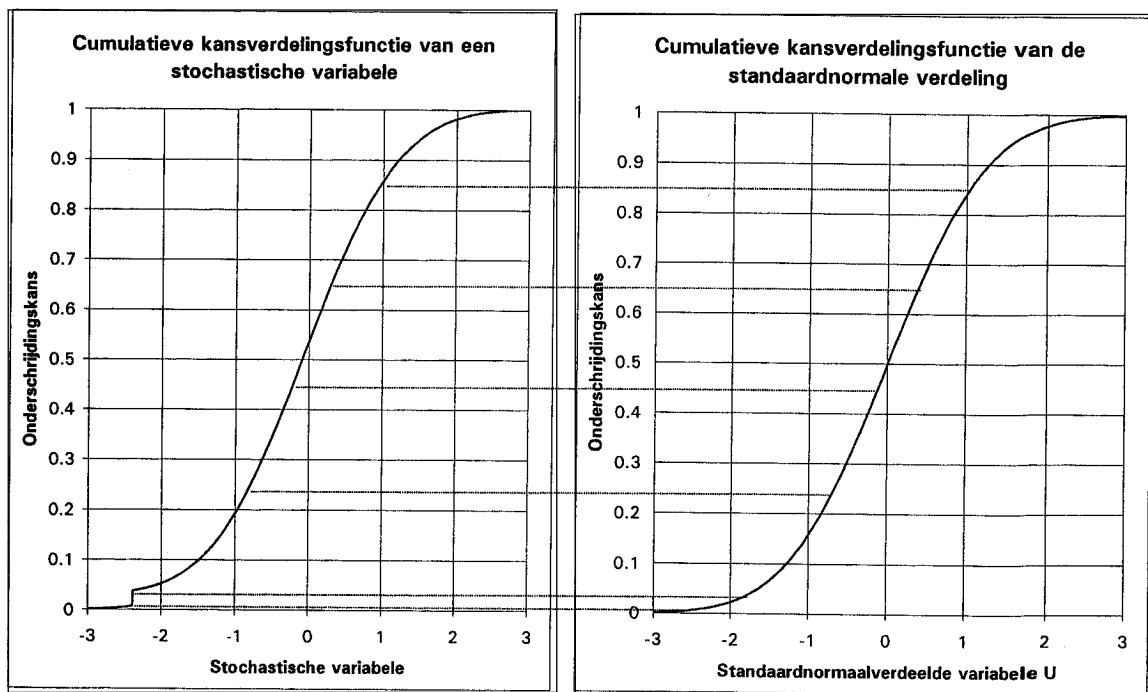
Om te voorkomen dat het punt met de grootste kansdichtheid zich ter plaatse van een discontinuïteit bevindt, wordt een Rosenblatt-transformatie toegepast [Rosenblatt (1952)]. Bij deze transformatie wordt de kansverdeling van een willekeurige stochastische variabele ( $W$ ) als volgt getransformeerd naar de kansverdeling van de standaardnormale verdeling:

$$F_W(w) = \Phi(u)$$

met  $F$  de verdelingsfunctie van  $W$  en  $\Phi$  de verdelingsfunctie van de standaardnormaalverdeelde stochastische variabele  $U$ . De stochastische variabelen  $U$  en  $W$  zijn eenvoudig in elkaar om te rekenen:

$$w = F_W^{-1}(\Phi(u)) \text{ en } u = \Phi^{-1}(F_W(w))$$

In Figuur A-12 is de Rosenblatt-transformatie voor de stochastische variabele  $W$  van Figuur A-11 weergegeven. De sprong in de kansverdeling voor transformatie ligt weer bij  $W = -2.3$ .



Figuur A-12 Rosenblatt-transformatie voor een stochastische variabele met een discontinuïteit bij -2.3

Na de Rosenblatt-transformatie wordt voor de standaardnormaalverdeelde stochastische variabele  $U$  de waarde bepaald waar de kansdichtheid het grootst is. In Figuur A-12 is de waarde van  $U$  met de grootste kansdichtheid zichtbaar op de plaats waar de cumulatieve verdelingsfunctie het sterkst toeneemt, dat wil zeggen  $U = 0$ . Voor de variabele  $W$  betekent dit dat  $W = -0.05$  gevonden wordt. Wat afgaande op Figuur A-11 een gewenste waarde is. In z'n algemeenheid geldt dat door toepassing van de Rosenblatt-transformatie niet precies de modus van de verdeling gevonden wordt, maar meer de mediaan. Preciezer nog wordt een

punt gevonden tussen de modus en de mediaan, die zich, afhankelijk van de verdeling, meer bij de modus of meer bij de mediaan bevindt.

## **Deel B Gebruikershandleiding**

# 1 Inleiding

Dit deel van de documentatie vormt de gebruikershandleiding van de Preprocessor voor Hydra-K (PHK) om de koppeling tussen golfhoogte en golfpiekperiode enerzijds en windsnelheid / waterstand anderzijds te berekenen. Met PHK kunnen zowel berekeningen op diep water worden uitgevoerd ten behoeve van dijken als ten behoeve van duinen. Als berekeningen worden uitgevoerd ten behoeve van dijken dan worden de golfhoogte en golfpiekperiode berekend met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid en de windrichtingssector. Als berekeningen worden uitgevoerd ten behoeve van duinen dan worden de golfhoogte en golfpiekperiode berekend met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand voor de omnidirectionele windrichting. Voor het programma PHK is aansluiting gezocht bij Hydra-K: getracht is om zoveel mogelijk overeenstemming te krijgen tussen PHK en Hydra-K om integratie van beide programma's tot de mogelijkheden te laten behoren.

In hoofdstuk 2 is de initialisatie van het programma PHK beschreven en in hoofdstuk 3 is beschreven op welke manier PHK gestart wordt. De invoer van het programma PHK is uitgebreid in hoofdstuk 4 beschreven. In de hoofdstukken 5 en 6 is de uitvoer van PHK beschreven. Het uitvoerbestand van PHK en de manier om dit op te slaan is beschreven in hoofdstuk 6. Bij een berekening ten behoeve van dijken worden twaalf figuren door het programma PHK gemaakt, voor elke windrichtingssector één. Bij de berekening ten behoeve van duinen wordt één figuur aangemaakt door PHK. Deze grafieken zijn beschreven in hoofdstuk 5. De hoofdstukken 7 en 8 kunnen beschouwd worden als bijlagen. In hoofdstuk 7 zijn de offshore locaties beschreven, die gekozen kunnen worden binnen PHK. In hoofdstuk 8 is beschreven hoe de lijst met offshore locaties kan worden uitgebreid.





## 2 Installatie van PHK

In deze paragraaf wordt beschreven wat de systeemeisen zijn, hoe de installatie van de PHK verloopt.

### 2.1 Systeemeisen

Het gebruik van PHK stelt de volgende eisen aan de computer:

- PC met Pentium III processor op 500 MHz en minimaal 128 MB intern geheugen
- Besturingssysteem Windows 98 of Windows2000/XP
- Vrije schijfruimte: 15 MB
- Minimale schermresolutie: 800x600
- Matlab 5.3 of hoger.
- Matlab Database Toolbox

### 2.2 Installatie

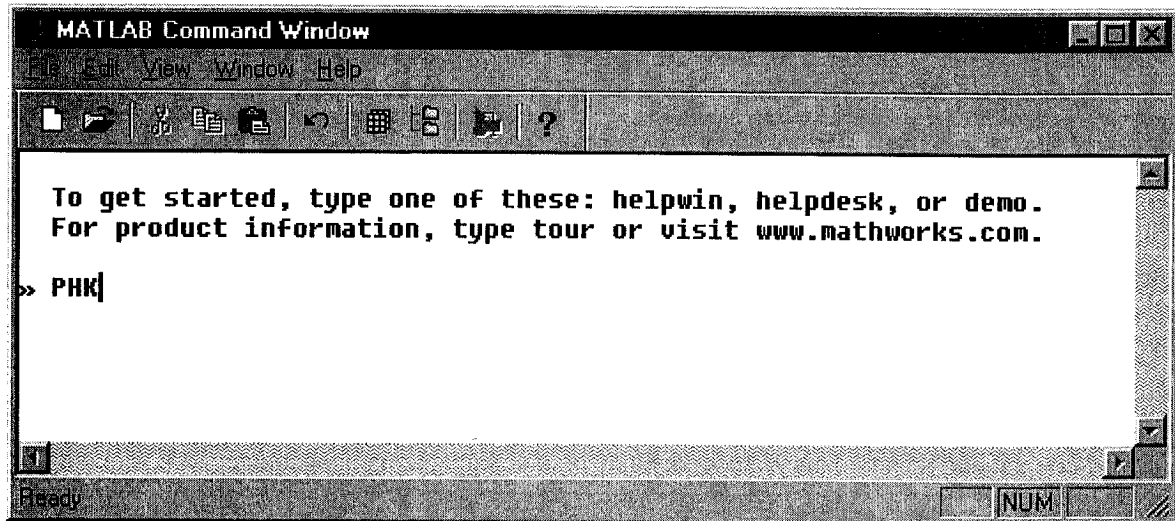
PHK bestaat uit een verzameling m-files en andere files, die samengevoegd zijn in het ZIP-bestand 'PHK.zip'. Door dit zip-bestand uit te pakken is PHK geïnstalleerd.



### 3 Starten van PHK

Hieronder wordt uitgelegd hoe het programma PHK gestart moet worden:

1. Start Matlab.
2. Ga binnen Matlab (met het commando *cd*) naar de directory waar 'PHK.m' staat.
3. Typ *PHK* (zie Figuur B-1).
4. Het hoofd-invoerscherm verschijnt (Figuur B-2). Tijdens het werken met PHK blijft het Matlab-commandoscherf actief.



Figuur B-1 Matlab-commandoscherf

The screenshot shows a software window titled "PHK invoer". It contains the following elements:

- A dropdown menu for "Offshore locatie" with "Westerschelde (eurvlsvls)" selected.
- Two radio buttons: "Dijken" (selected) and "Dünen".
- A text input field for "Aantal windsnelheden" with the value "10".
- A list of wind speed options in m/s: 9, 10, 12, 14, 17, 20, 25, 30, 35, and 40.
- Three buttons at the bottom: "Invoeren", "Annuleren", and "Help".

Figuur B-2 Invoerscherm van PHK

## 4 Invoerscherm van PHK

In Figuur B-2 is het invoerscherm van PHK weergegeven.

### Gegevens invoeren algemeen

Gegevens kunnen volgens de Windows-standaard worden ingevoerd. Soms is er sprake van een keuzebox, waarbij na klikken op het zwarte driehoekje uit een beperkt aantal gegevens gekozen kan worden. In de witte vlakken kunnen na klikken gegevens worden gewijzigd, door middel van typen. Van een groep zogenaamde radio-buttons kan slechts één optie actief zijn.

Wanneer de muiswijzer op een tekstvlak rust, worden in lichtgeel de boven- en ondergrenzen van het betreffende gegeven getoond. Wanneer waardes worden ingevuld die buiten deze grenzen vallen wordt het vakje rood gekleurd en kan men niet verder rekenen zonder het gegeven aan te passen.

Als gegevens grijs zijn gekleurd kunnen die niet aangepast worden. Naar aanleiding van een bepaalde keuze kunnen onderdelen van het scherm zichtbaar of juist onzichtbaar worden.

### Gegevens invoeren specifiek

In het invoerscherm van PHK worden de volgende gegevens gevraagd:

#### Offshore locatie

In het keuzemenu offshore locatie kan een keuze gemaakt worden tussen 6 offshore locaties. Deze locaties hebben de volgende namen:

Waddenzee oost (sontswdfz)

Waddenzee west (eldtswlrl)

Kust noord (eldkoyhld)

Kust zuid (eurleghvh)

Oosterschelde (eurvlsob)

Westerschelde (eurvlsvls)

De lijst met offshore locaties is in PHK eenvoudig uit te breiden. In hoofdstuk 7 is uitgebreide informatie over de offshore locaties opgenomen en in hoofdstuk 8 is beschreven hoe de lijst van locaties in PHK is uit te breiden.

#### Dijken of duinen

Hier kan het type berekening gekozen worden. Als gekozen wordt voor dijken worden de golfhoogten en golfpiekperioden als functie van de windsnelheid en de windrichtingssector berekend. Er verschijnt een keuzeblok voor het aantal windsnelheden en een lijst voor het invoeren van de windsnelheden zelf (zie Figuur B-2). Als gekozen wordt voor duinen worden de golfhoogten en golfpiekperioden als functie van de waterstand berekend. Er verschijnt een keuzeblok voor het aantal waterstanden en een lijst voor het invoeren van de waterstanden zelf (zie Figuur B-3).

#### Aantal windsnelheden

Hier kan het aantal windsnelheden ingevuld worden waarvoor de golfhoogte en golfpiekperiode berekend moeten worden. Afhankelijk van het hier ingevulde aantal verschijnt een overeenkomstig aantal cellen, waarin windsnelheden ingevoerd moeten worden. Voor dit

aantal kan gekozen worden tussen 1 en 10. Als een groter aantal gewenst is, is dit te realiseren door herhaald PHK te gebruiken.

### Windsnelheid (m/s)

Hier kunnen windsnelheden ingevoerd worden. Er zijn zoveel cellen beschikbaar als het aantal windsnelheden, dat is opgegeven. Windsnelheden in het bereik van 1 m/s tot 45 m/s kunnen ingevoerd worden. Overigens wordt niet altijd voor elke windsnelheid een resultaat berekend.

### Aantal te gebruiken waarnemingen (maximaal)

Als gekozen is om te rekenen met duinen moet hier het gewenste aantal te gebruiken simultane waarnemingen worden ingevuld. Als gekozen wordt om  $N$  simultane waarnemingen te gebruiken, worden van alle beschikbare waarnemingen de  $N$  waarnemingen met de hoogste waterstanden geselecteerd. Het minimum aantal in te voeren waarnemingen is 10. Elk groter aantal kan worden opgegeven, maar toch is er een bovengrens. De statistiek van de waterstanden is namelijk zo dat geen negatieve waterstanden in de analyse gebruikt kunnen worden. Het maximum aantal gebruikte simultane waterstanden in de analyse is dus het aantal beschikbare positieve waterstanden, ondanks dat dus een groter aantal opgegeven kan worden.

The screenshot shows a software window titled 'PHK invoer'. It contains the following elements:

- Offshore locatie:** A dropdown menu with 'Westerschelde (eurvlsvls)' selected.
- Radio buttons:** 'Dijken' (unselected) and 'Duinen' (selected).
- Aantal te gebruiken waarnemingen (maximaal):** A text input field containing '125'.
- Aantal waterstanden:** A text input field containing '10'.
- waterstand (m+NAP):** A vertical list of ten text input fields containing the values: 2.9, 2.95, 3.0, 3.1, 3.2, 3.3, 3.5, 3.8, 4.3, and 5.0.
- Buttons:** 'Rekenen', 'Annuleren', and 'OK' at the bottom.

Figuur B-3 Invoerscherm van PHK als gekozen is voor het rekenen met duinen

### **Aantal waterstanden**

Hier kan het aantal waterstanden ingevuld worden waarvoor de golfhoogte en golfpiekperiode berekend moeten worden. Afhankelijk van het hier ingevulde aantal verschijnt een overeenkomstig aantal cellen, waarin waterstanden ingevoerd moeten worden. Voor dit aantal kan gekozen worden tussen 1 en 10. Als een groter aantal gewenst is, is dit te realiseren door herhaald PHK te gebruiken.

### **Waterstand (m + NAP)**

Hier kunnen waterstanden ingevoerd worden. Er zijn zoveel cellen beschikbaar als het aantal waterstanden, dat is opgegeven. Waterstanden in het bereik van 0 m + NAP tot 10 m + NAP kunnen ingevoerd worden. Overigens wordt niet altijd voor elke waterstand een resultaat berekend.

### **Knoppen**

Het invoerscherm heeft drie knoppen. Een *Rekenen*-knop, een *Annuleren*-knop en een *OK*-knop. Alleen als de invoer juist is ingevoerd zijn de knoppen *Rekenen* en *OK* beschikbaar. Onjuiste invoer wordt weergegeven door het rood gekleurde vakje.

Met de *Rekenen*-knop wordt het rekenalgoritme gestart. Als met windsnelheid gerekend wordt, wordt voor alle 30°-windrichtingssectoren gerekend en wordt voor elke windrichtingssector een figuur getoond (hoofdstuk 5). Als met waterstand gerekend wordt, wordt alleen voor de omnidirectionele richting gerekend en wordt alleen voor de omnidirectionele richting een figuur getoond (hoofdstuk 5). De uitvoer wordt in een zelfstandig programma getoond (hoofdstuk 6). Elke keer dat de *Rekenen*-knop ingedrukt wordt, worden alle figuren, die PHK heeft gecreëerd, afgesloten. De uitvoerbestanden blijven wel beschikbaar.

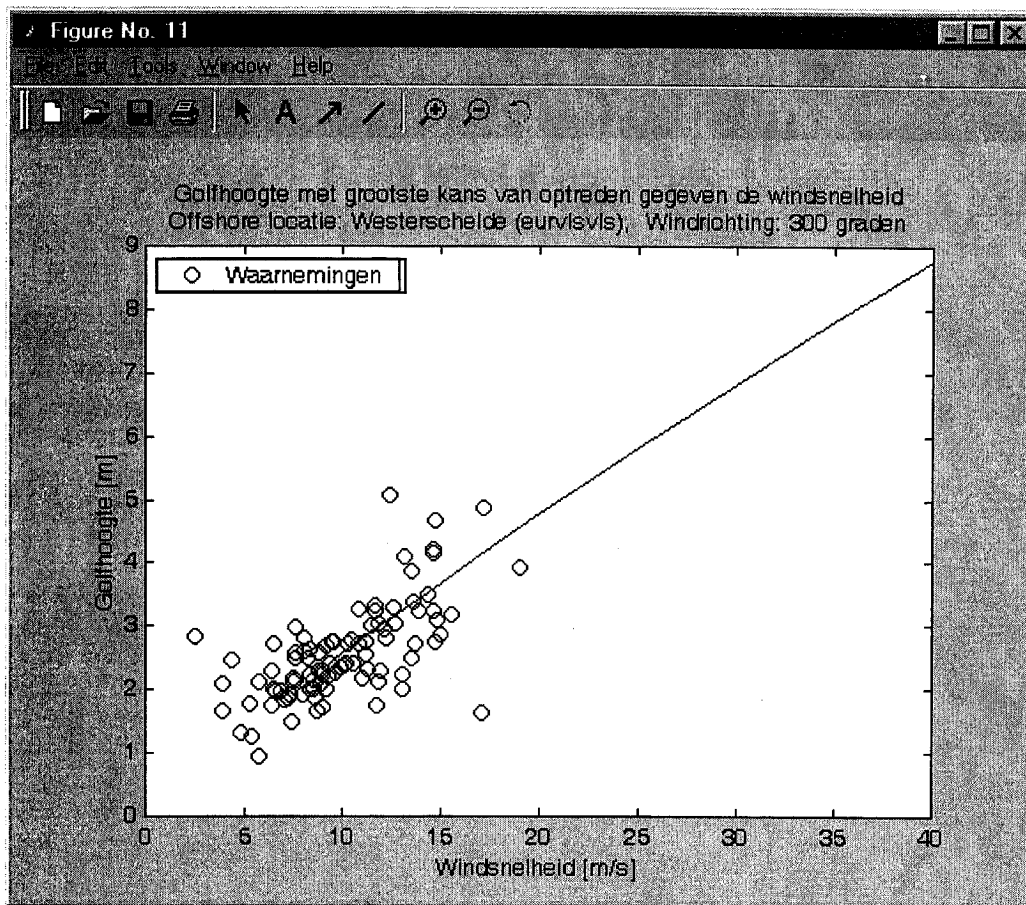
Met de knop *Annuleren* wordt PHK afgesloten en worden de wijzigingen niet bewaard. Met de knop *OK* wordt PHK ook afgesloten, maar worden wijzigingen wel bewaard. Zowel bij *Annuleren* als bij *OK* worden alle figuren en uitvoerbestanden, die PHK heeft gecreëerd, afgesloten.





## 5 Figuren

Bij elke berekening met PHK worden figuren getoond met de waarnemingen en de berekende golfhoogtes met de grootste kans van optreden. Als gekozen is voor een berekening met dijken wordt voor elke 30°-windrichtingssectoren een figuur gecreëerd. In deze figuren is de berekende golfhoogtes weergegeven met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid. In Figuur B-4 is een voorbeeld gegeven voor windrichting 300 graden. De twaalf figuren worden ook als *tif*-bestand opgeslagen. Deze bestanden hebben de namen *windsnelheid30.tif* t/m *windsnelheid360.tif* en bevinden zich in dezelfde folder als waar *PHK.m* zich bevindt.

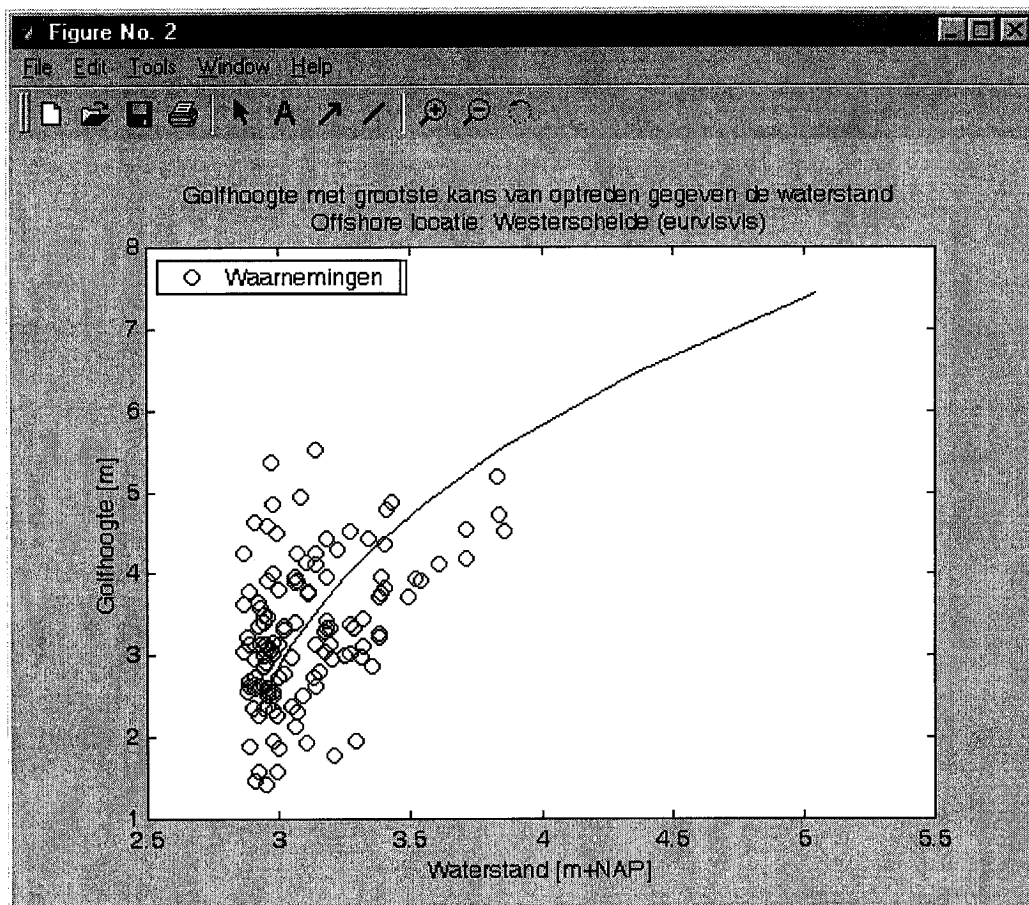


**Figuur B-4** Figuur van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid voor windrichting 300 graden

Voor de lagere windsnelheden zijn in Figuur B-4 geen golfhoogtes gepresenteerd met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid. Indien gewenst, kan zelfstandig een relatie voor de lagere windsnelheden en de golfhoogte gelegd worden. Dit kan door het punt met enerzijds windsnelheid 0 m/s en anderzijds golfhoogte 0 m te kiezen en vanuit dit punt een lijn te trekken naar de laagste windsnelheid, waarvoor wel een golfhoogte met de grootste kans van optreden berekend is.

Als gekozen is voor een berekening met duinen wordt alleen een figuur gecreëerd voor de omnidirectionele windrichting. In deze figuur zijn de berekende golfhoogtes weergegeven met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand. In Figuur B-5 is een voorbeeld

gegeven. Deze figuur wordt ook als *tif*-bestand opgeslagen onder de naam *waterstand.tif*. Deze figuur bevindt zich in dezelfde folder als waar *PHK.m* zich bevindt.



Figuur B-5 Figuur van de golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand

## 6 Uitvoer

In Figuur B-6 is een voorbeeld weergegeven van het uitvoerscherm van een PHK-berekening. Dit programma kent slechts één menu: *Bestand*. In dit menu bevinden zich twee menuopties: *Opslaan als* en *Afsluiten*. Met *Opslaan als* kan het uitvoerbestand opgeslagen worden onder een gewenste naam en op een gewenste plaats. Met *Afsluiten* sluit u het losse programma met de uitvoer van de PHK berekening.

Offshore locatie: Westerschelde (eurvlsvls)			
Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
30	9.00	2.465	7.07
30	10.00	2.899	7.66
30	12.00	3.654	8.60
30	14.00	4.331	9.36
30	17.00	5.270	10.33
30	20.00	6.156	11.17
30	25.00	7.562	12.37
30	30.00	8.908	13.43
30	35.00	10.213	14.38
30	40.00	11.486	15.25
60	10.00	2.092	6.51
60	12.00	2.809	7.54
60	14.00	3.431	8.34
60	17.00	4.288	9.32
60	20.00	5.100	10.16
60	25.00	6.401	11.38
60	30.00	7.664	12.46
60	35.00	8.906	13.43
60	40.00	10.131	14.32
90	10.00	1.987	6.34
90	12.00	2.299	6.82
90	14.00	2.616	7.28
90	17.00	3.096	7.92
90	20.00	3.576	8.51
90	25.00	4.373	9.41

Figuur B-6 Voorbeeld van het uitvoerbestand als gerekend wordt met windsnelheden



## 7 Offshore locaties

Ten behoeve van Hydra-K is de Nederlands kust in 6 regio's verdeeld:

1. Waddenzee oost
2. Waddenzee west
3. Kust noord
4. Kust zuid
5. Oosterschelde
6. Westerschelde

Voor elke regio is een bestand met simultaan optredende extremere combinaties van waterstand, windsnelheid, windrichting, golfhoogte en golfpiekperiode beschikbaar. In onderstaande tabel is voor elke regio de naam van het bestand gegeven. Bovendien zijn de locaties gegeven, waar de metingen van golfgegevens, windsnelheden en waterstanden afkomstig van zijn.

Regio	Bestandsnaam	Golfparameters	Windsnelheden	Waterstanden
Waddenzee oost	mvsontswdfz.dat	SON	Terschelling West	Delfzijl
Waddenzee west	mveldtswlrl.dat	ELD	Terschelling West	Harlingen
Kust noord	mveldkoyhld.dat	ELD	De Kooy	Den Helder
Kust zuid	mveurleghvh.dat	EUR	LEG (lichteiland Goeree)	Hoek van Holland
Oosterschelde	mveurvlsozb.dat	EUR	Vlissingen	OS Buiten
Westerschelde	mveurvlsvls.dat	EUR	Vlissingen	Vlissingen

Tabel B-1 Beschikbare meerdimensionale waarnemingen voor zes regio's langs de Nederlandse kust

Onderstaand is een voorbeeld gegeven van de opbouw van een bestand met simultane waarnemingen van waterstand, windsnelheid, windrichting en golfhoogte.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	4	19790102	1100	277	520	692	692	173	91	250	-77	10	44	-227	0	2	00
1	1	5	19790102	1200	317	560	745	745	177	125	267	-40	24	44	-165	0	15	00
1	1	6	19790102	1300	356	598	794	794	178	128	276	-7	38	44	-95	0	33	00
1	1	7	19790102	1400	398	630	838	838	181	139	297	34	47	44	-3	0	54	00
1	1	8	19790102	1500	434	660	878	878	175	158	324	99	47	44	154	0	71	00
1	1	9	19790102	1600	437	678	896	896	162	161	346	145	39	44	340	1	80	00
1	1	10	19790102	1700	412	670	891	891	147	149	6	145	29	44	324	0	77	00
1	1	11	19790102	1800	376	650	865	865	142	128	19	115	20	44	271	0	63	00
1	1	12	19790102	1900	334	620	820	820	137	108	24	77	13	44	179	0	44	00
3	2	1	19790110	800	257	500	665	665	207	143	170	-53	-17	44	-142	0	-28	00
3	2	2	19790110	900	286	518	687	687	204	156	170	-48	-19	44	-97	0	-32	00

Tabel B-2 Bovenste deel van een bestand met simultane waarnemingen

Van bovenstaand bestand zijn slechts enkele kolommen van belang voor PHK. De vierde kolom representeert de datum (jaar maand dag). De vijfde kolom staat voor de tijd (uren minuten). De zesde kolom is de golfhoogte (in cm). De negende kolom is de golfpiekperiode (in 0.01s), de elfde kolom is de windsnelheid (in dm/s), twaalfde kolom is de windrichting (in graden) en de zestiende kolom is de waterstand (in cm). De andere kolommen zijn onduidelijk. De zevende en de achtste kolom zijn waarschijnlijk ook golfperiodes. Voor de toepassing zijn eigenlijk alleen de kolommen 6, 9, 12 en 16 van belang.



## 8 Toevoegen van nieuwe locaties aan PHK

Nieuwe locaties kunnen aan PHK toegevoegd worden. Daartoe moet het bestand *PHK.ini* aangepast worden. Dit bestand bevindt zich in dezelfde directory als het programma PHK. Onderstaand is een deel van het bestand *PHK.ini* weergegeven.

```
[LOCATIES]
Locatie1=Waddenzee oost (sontswdfz)
Locatie2=Waddenzee west (eldtswlrl)
Locatie3=Kust noord (eldkoyhld)
Locatie4=Kust zuid (eurleghvh)
Locatie5=Oosterschelde (eurvlsosb)
Locatie6=Westerschelde (eurvlsvls)

[Waddenzee_oost_(sontswdfz)]
omschrijving=Waddenzee oost (sontswdfz)
waarnemingen=mvsontswdfz.dat
statistiek_wlo=dfz.e30
statistiek_wso=w-tsw_c.e30
statistiek_hso=Hs_son.e30
parameters_ab=ab_son.txt
```

Het bestand *PHK.ini* bevat verschillende rubrieken. De rubrieken zijn tussen rechte haken geplaatst. Bovenstaand zijn de rubrieken *Locaties* en *Waddenzee\_oost\_(sontswdfz)* weergegeven. Bij de rubrieken bevinden zich sleutels en waarden. Bij de rubriek *Locaties* zijn bovenstaand sleutels geplaatst: *locatie1* t/m *locatie6*. Deze sleutels zijn voorgeschreven en moeten beginnen met *Locatie* gevolgd door een volgnummer. Er mogen geen volgnummers ontbreken. Achter de sleutels zijn de waarden (locaties) geplaatst. Dit zijn de locaties, die gekozen kunnen worden in PHK (zie Figuur B-2). Voor elke locatie moet een aparte rubriek opgenomen worden in het bestand *PHK.ini*, die gelijk is aan de waarde uit de rubriek *Locaties*, waarbij de eventuele spaties vervangen zijn door ' \_'-en. *Waddenzee\_oost\_(sontswdfz)* is bovenstaand als rubriek weergegeven. In deze rubriek moeten zes sleutels opgenomen zijn: *omschrijving*, *waarnemingen*, *statistiek\_wlo*, *statistiek\_wso*, *statistiek\_hso* en *parameters\_ab*. Achter de sleutel *omschrijving* moet een omschrijving ingevuld worden. Deze verschijnt later in het uitvoerscherm. Achter de andere sleutels moet een bestandsnaam opgegeven worden. In onderstaande tabel is voor elke sleutel weergegeven welke informatie dit bestand moet bevatten.

Sleutel	Inhoud van het bestand
waarnemingen	Gezamenlijke waarnemingen waterstand, windsnelheid, windrichting, golfhoogte en golfpiekperiode (zie hoofdstuk 7)
statistiek_wlo	Statistiek voor de waterstanden (waterlevel offshore)
statistiek_wso	Statistiek voor de windsnelheden (windspeed offshore)
statistiek_hso	Statistiek voor de golfhoogten
parameters_ab	Parameters a en b voor de relatie tussen de golfhoogte en de golfpiekperiode

Om een nieuwe locatie toe te voegen moet bij de rubriek *Locaties* de sleutel *Locatie7* worden toegevoegd met daarachter een '=' en de naam van de nieuwe locatie. Vervolgens moet een rubriek met de naam van de locatie worden toegevoegd tussen rechte haken. Bij deze rubriek moeten de zes sleutels en waarden worden opgenomen met daarachter de omschrijving en de namen van de vijf desbetreffende bestanden. Deze bestanden moeten zich bevinden in een folder *Data*, die zich in dezelfde directory bevindt als het programma PHK. Het toevoegen van een locatie aan het programma PHK is overigens alleen mogelijk als PHK is afgesloten.



## **Deel C Testverslag**

# 1 Inleiding

Dit deel van de documentatie vormt het testrapport van de Preprocessor voor Hydra-K (PHK). In dit testrapport zijn drie locaties doorgerekend met PHK. De resultaten voor deze drie locaties zijn in aparte hoofdstukken beschreven: Waddenzee oost (sontswdfz) in hoofdstuk 2, Kust Noord (eldkoyhld) in hoofdstuk 3 en de Westerschelde (eurvlsvls) in hoofdstuk 4. In elk hoofdstuk is een onderverdeling gemaakt in de resultaten voor dijken en duinen. Bij de dijken wordt telkens de golfhoogte berekend met de grootste kans van optreden bij gegeven windsnelheid voor twaalf 30°-windrichtingssectoren. Bij de duinen wordt de golfhoogte berekend met de grootste kans van optreden bij gegeven waterstand voor de omnidirectionele windrichting. Elk hoofdstuk begint met een inleiding waarin de gebruikte invoerbestanden besproken worden en besluit met conclusies.



## 2 Waddenzee oost (sontswdfz)

### 2.1 Inleiding

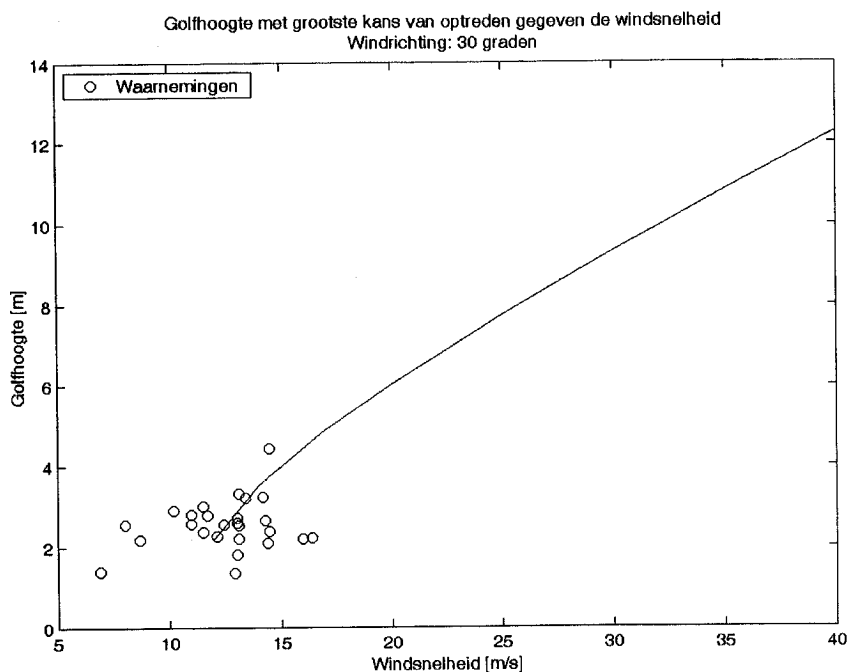
In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd voor offshore locatie Waddenzee oost (sontswdfz). Voor de waarnemingen wordt bij deze locatie gebruik gemaakt van het bestand *mvsontswdfz.dat* (Schiermonnikoog-Noord van Terschelling-west tot Delfzijl). Voor de statistiek van de waterstanden wordt gebruik gemaakt van het bestand *dfz.e30* (Delfzijl). Voor de statistiek van de windsnelheid wordt gebruik gemaakt van het bestand *w-tsw\_c.e30* (Terschelling-west). Voor de statistiek van de golfhoogte wordt gebruik gemaakt van het bestand *Hs\_son.e30* (Schiermonnikoog-Noord). Voor de machtsrelatie tussen de golfhoogte en de golfpiekperiode wordt gebruik gemaakt van de parameters  $a$  en  $b$  uit het bestand *ab\_son.txt* (Schiermonnikoog-Noord).

### 2.2 Dijken

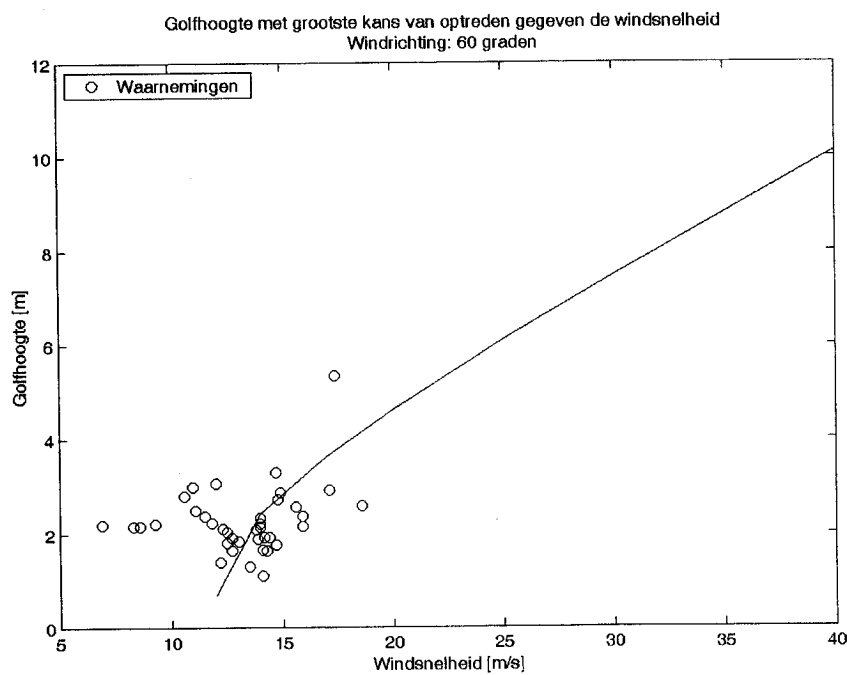
In deze paragraaf zijn de figuren weergegeven, die de golfhoogtes tonen, die de grootste kans van optreden hebben bij gegeven de windsnelheid voor twaalf 30°-windrichtingssectoren. Voor de windsnelheden hebben we in het userinterface van PHK de volgende tien windsnelheden ingevoerd. Dit zijn 9 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s, 17 m/s, 20 m/s, 25 m/s, 30 m/s, 35 m/s en 40 m/s. Omdat de golfhoogtes met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid slechts berekend zijn voor een beperkt aantal windsnelheden, vertonen de lijnen die deze golfhoogtes verbinden, enkele knikjes. In deze resulterende figuren zijn ook de waarnemingen weergegeven. In deze paragraaf is verder het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

#### Figuren

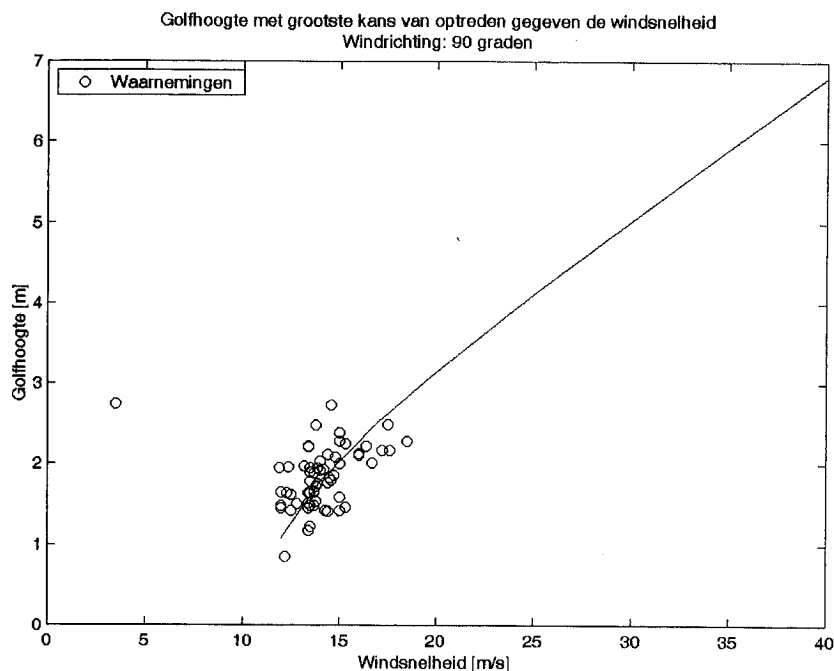
In onderstaande figuren zijn voor de twaalf 30°-windrichtingssectoren de lijnen weergegeven, die voor elke windsnelheid de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuren weergegeven.



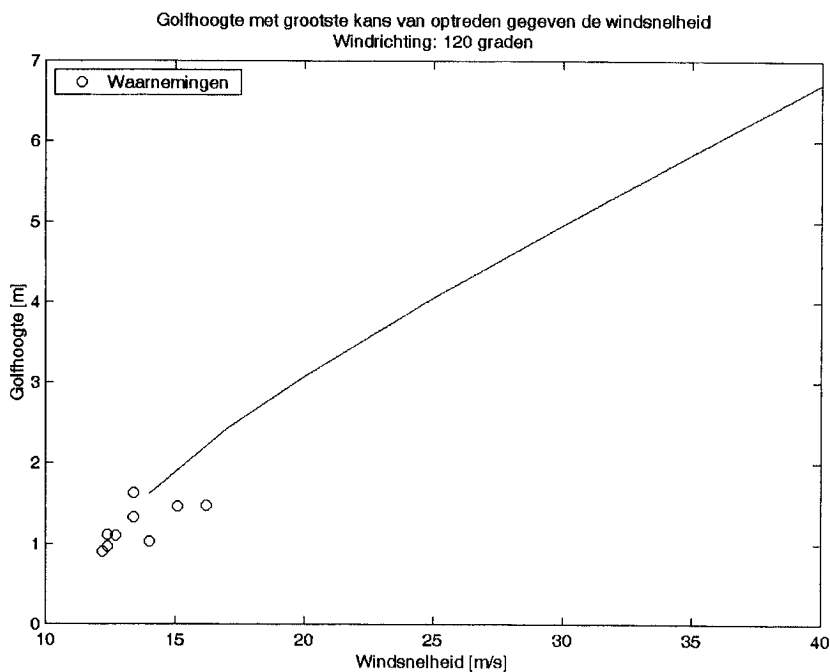
**Figuur C-1** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 30 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)*



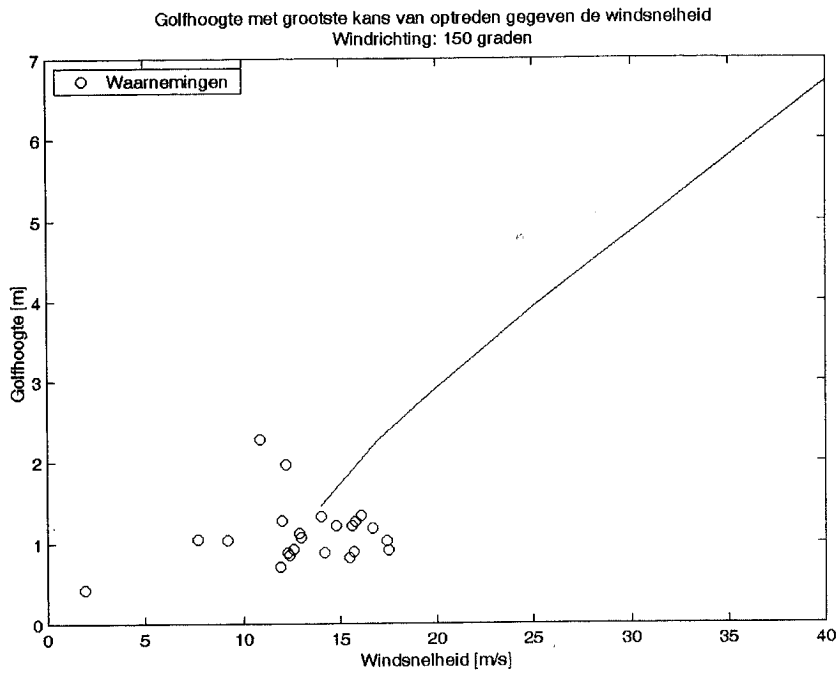
**Figuur C-2** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 60 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)*



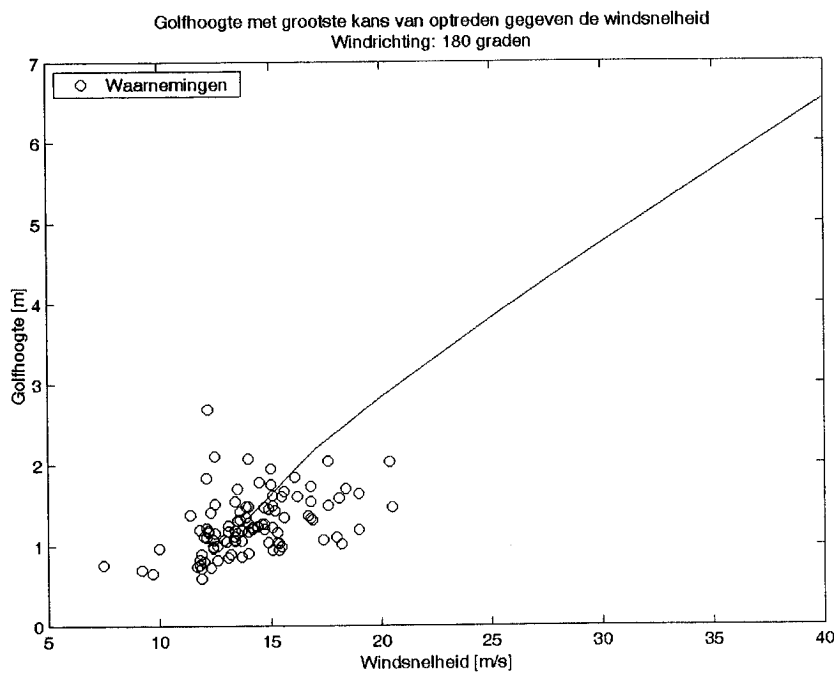
**Figuur C-3** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 90 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)



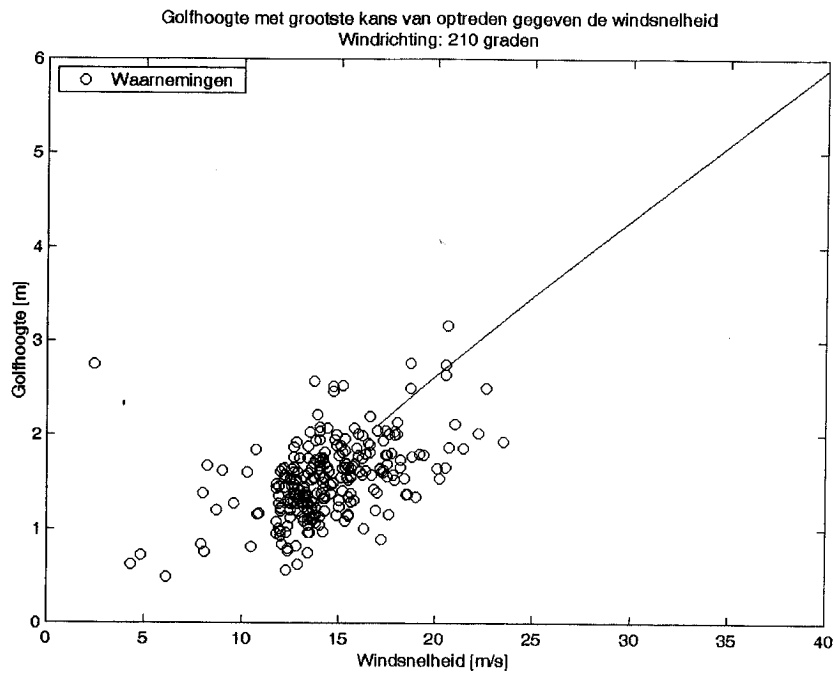
**Figuur C-4** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 120 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)



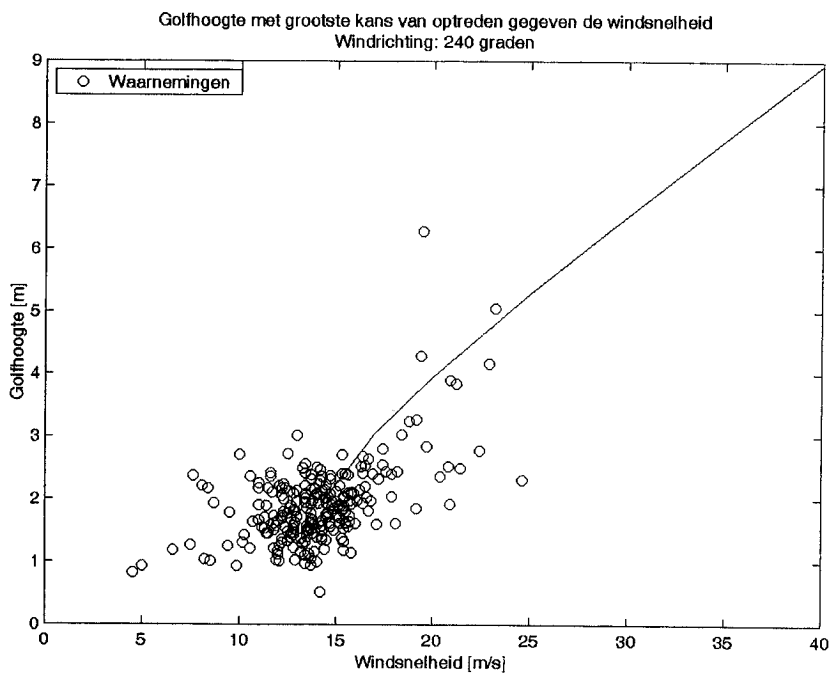
**Figuur C-5** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 150 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)



**Figuur C-6** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 180 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)

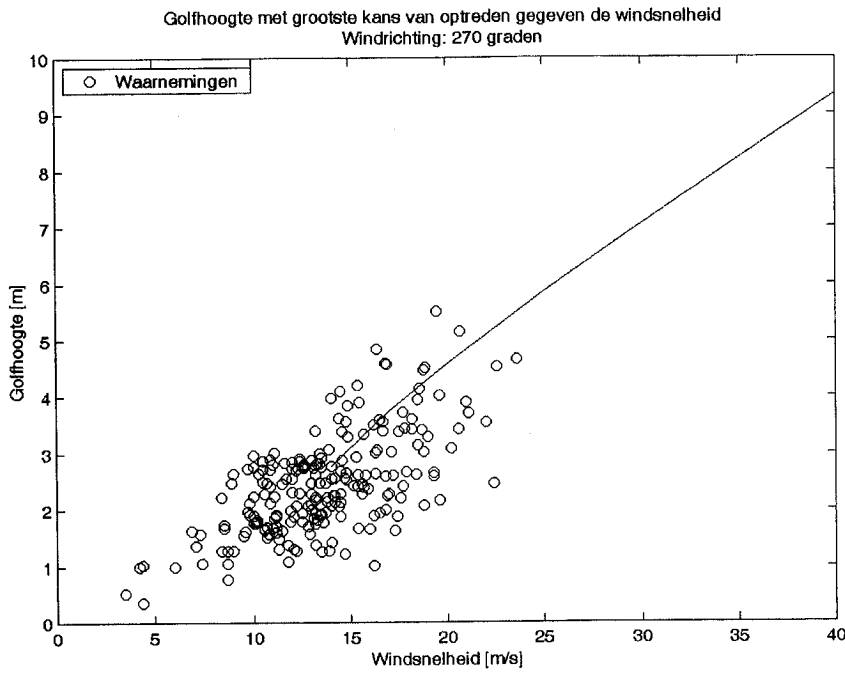


**Figuur C-7** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 210 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)

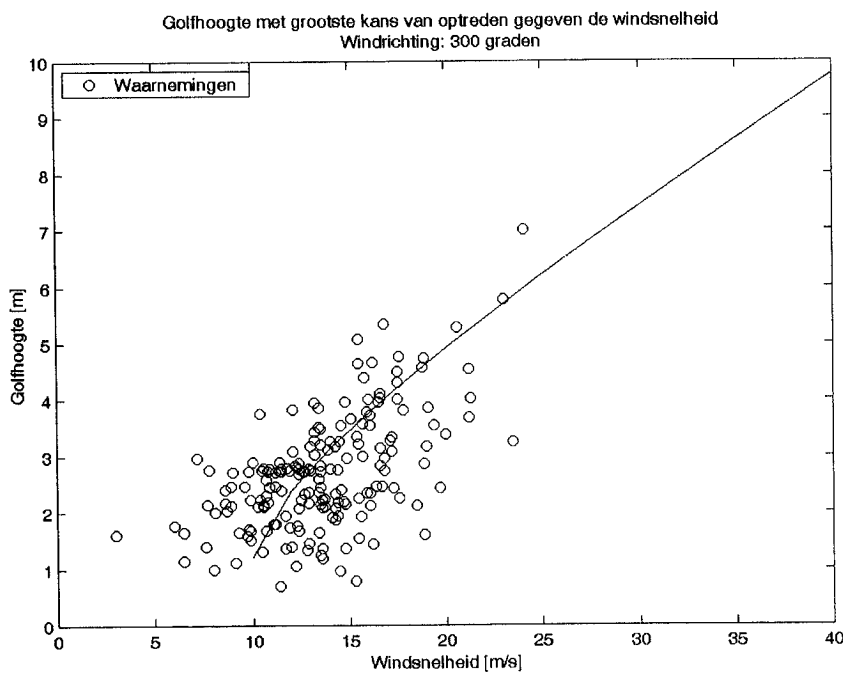


**Figuur C-8** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 240 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)

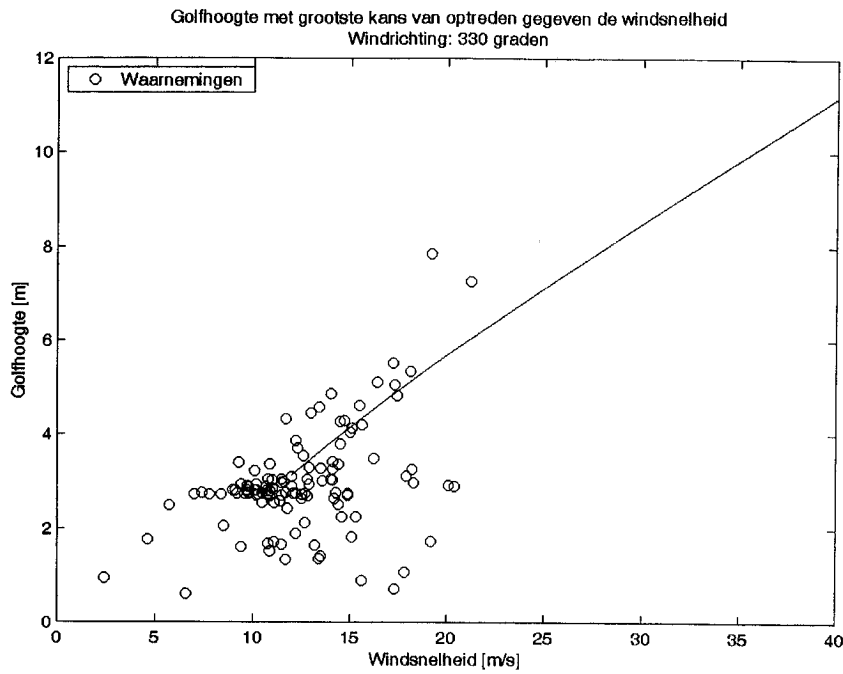




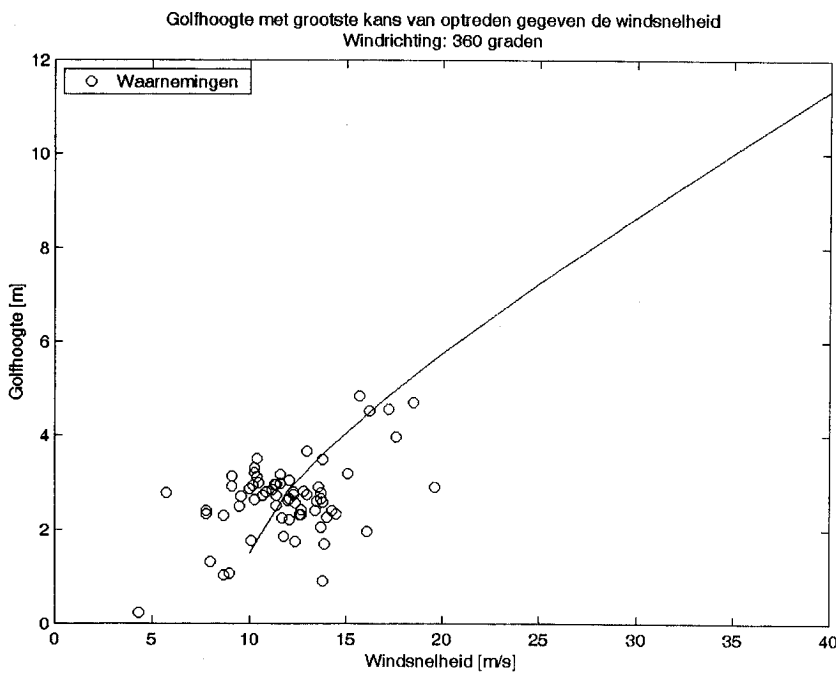
**Figuur C-9** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 270 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)*



**Figuur C-10** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 300 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)*



**Figuur C-11** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 330 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)



**Figuur C-12** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 360 graden bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz)

**Uitvoerbestand**

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Waddenzee oost (sontswdfz) voor dijken weergegeven. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Waddenzee oost (sontswdfz)

Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
30	12.00	2.205	6.68
30	14.00	3.532	8.46
30	17.00	4.893	9.95
30	20.00	6.031	11.05
30	25.00	7.729	12.51
30	30.00	9.306	13.73
30	35.00	10.815	14.80
30	40.00	12.279	15.77
60	12.00	0.693	3.75
60	14.00	2.418	7.00
60	17.00	3.635	8.58
60	20.00	4.616	9.67
60	25.00	6.081	11.10
60	30.00	7.458	12.29
60	35.00	8.794	13.34
60	40.00	10.108	14.31
90	12.00	1.079	4.67
90	14.00	1.788	6.02
90	17.00	2.523	7.15
90	20.00	3.150	7.99
90	25.00	4.111	9.12
90	30.00	5.026	10.09
90	35.00	5.920	10.95
90	40.00	6.802	11.74
120	14.00	1.625	5.74
120	17.00	2.430	7.01
120	20.00	3.079	7.90
120	25.00	4.049	9.05
120	30.00	4.959	10.02
120	35.00	5.840	10.88
120	40.00	6.706	11.65
150	14.00	1.465	5.45
150	17.00	2.272	6.78
150	20.00	2.923	7.69
150	25.00	3.910	8.90
150	30.00	4.854	9.91
150	35.00	5.782	10.82
150	40.00	6.705	11.65
180	14.00	1.349	5.23
180	17.00	2.186	6.65
180	20.00	2.837	7.58
180	25.00	3.810	8.78
180	30.00	4.733	9.79
180	35.00	5.638	10.68
180	40.00	6.536	11.50
210	17.00	2.098	6.52
210	20.00	2.637	7.31
210	25.00	3.477	8.39
210	30.00	4.288	9.32
210	35.00	5.090	10.15
210	40.00	5.889	10.92
240	14.00	1.847	6.12

240	17.00	3.045	7.85
240	20.00	3.952	8.95
240	25.00	5.285	10.35
240	30.00	6.534	11.50
240	35.00	7.748	12.53
240	40.00	8.943	13.46
270	14.00	2.782	7.51
270	17.00	3.738	8.70
270	20.00	4.570	9.62
270	25.00	5.844	10.88
270	30.00	7.045	11.94
270	35.00	8.207	12.89
270	40.00	9.343	13.76
300	10.00	1.223	4.98
300	12.00	2.390	6.96
300	14.00	3.138	7.97
300	17.00	4.070	9.08
300	20.00	4.905	9.97
300	25.00	6.196	11.20
300	30.00	7.420	12.26
300	35.00	8.604	13.20
300	40.00	9.761	14.06
330	12.00	3.128	7.96
330	14.00	3.833	8.81
330	17.00	4.793	9.85
330	20.00	5.693	10.74
330	25.00	7.123	12.01
330	30.00	8.503	13.12
330	35.00	9.851	14.12
330	40.00	11.176	15.04
360	10.00	1.492	5.50
360	12.00	2.823	7.56
360	14.00	3.690	8.64
360	17.00	4.773	9.83
360	20.00	5.743	10.78
360	25.00	7.241	12.11
360	30.00	8.659	13.24
360	35.00	10.030	14.25
360	40.00	11.367	15.17

## 2.3 Duinen

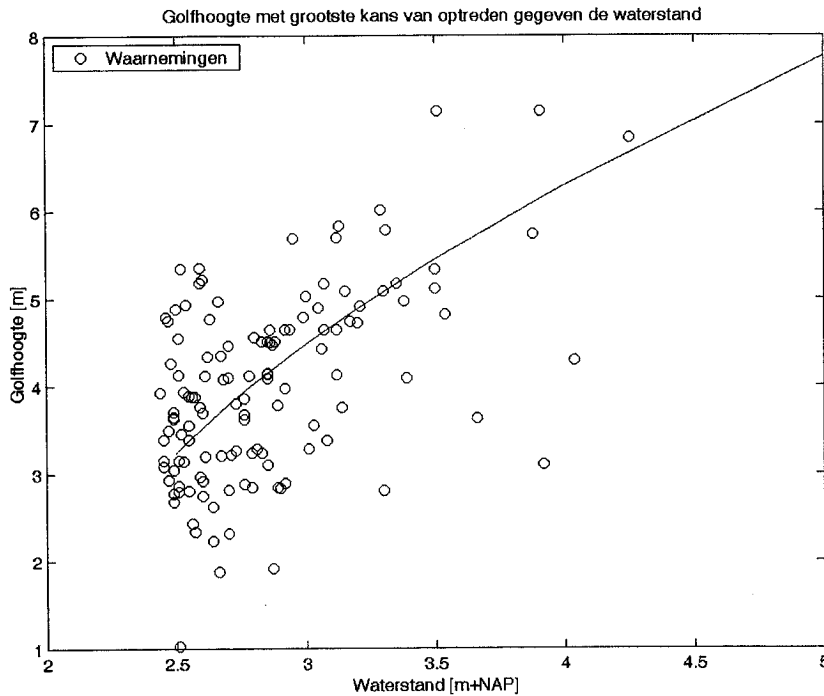
Bij duinen moeten we een keuze maken ten aanzien van het aantal simultane waarnemingen, dat we gebruiken in de analyse. In deze paragraaf presenteren we de resultaten voor twee keuzes voor dit aantal simultane waarnemingen. We kiezen voor 125 en 500 simultane waarnemingen.

### 125 waarnemingen

Voor onze keuze van 125 simultane waarnemingen voeren we in het userinterface van PHK de volgende tien waterstanden in: 2.5 m+NAP, 2.55 m+NAP, 2.6 m+NAP, 2.7 m+NAP, 2.8 m+NAP, 3.0 m+NAP, 3.2 m+NAP, 3.5 m+NAP, 4.0 m+NAP en 5.0 m+NAP. Het resultaat is in Figuur C-13 weergegeven. In deze figuur zijn de golfhoogtes weergegeven, die de grootste kans van optreden hebben gegeven de waterstand voor de locatie Waddenzee oost (sontswdfz). Ook zijn in deze figuur de waarnemingen weergegeven. Na de figuur is het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

**Figuur**

In onderstaande figuur is voor de omnidirectionele windrichting de lijn weergegeven, die voor elke waterstand de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuur weergegeven.



**Figuur C-13** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) als 125 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden

**Uitvoerbestand**

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Waddenzee oost (sontswdfz) voor duinen weergegeven bij 125 simultane waarnemingen. De gepresenteerde golfpiekperiodes zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Waddenzee oost (sontswdfz)

Waterstand [m]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
2.50	3.24	8.096
2.55	3.38	8.279
2.60	3.53	8.450
2.70	3.79	8.759
2.80	4.03	9.037
3.00	4.48	9.525
3.20	4.89	9.948
3.50	5.45	10.501
4.00	6.29	11.282
5.00	7.76	12.538

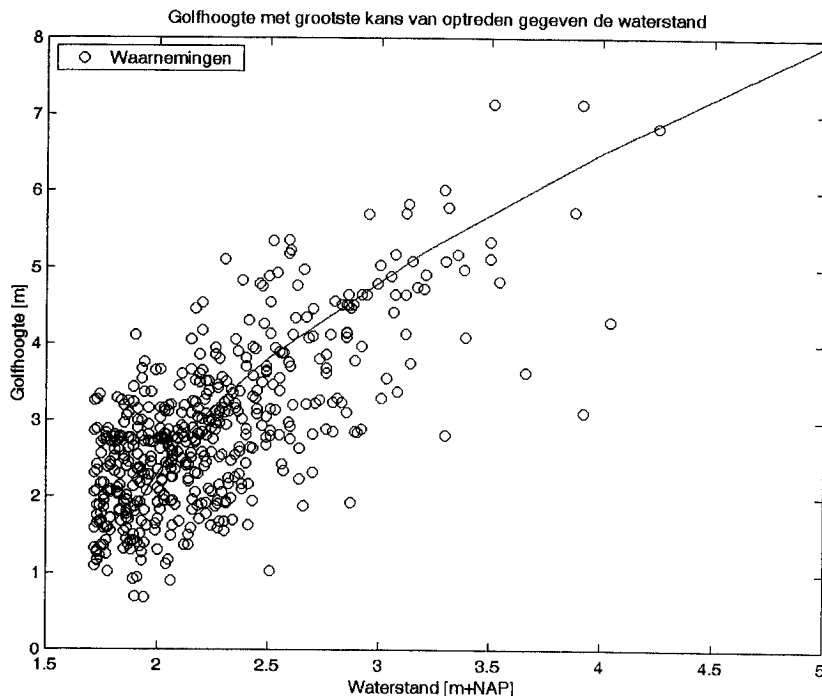
**500 waarnemingen**

Voor onze keuze van 500 simultane waarnemingen voeren we in het userinterface van PHK de volgende tien waterstanden in: 1.9 m + NAP, 1.95 m + NAP, 2.0 m + NAP, 2.1 m + NAP, 2.2 m + NAP, 2.3 m + NAP, 2.5 m + NAP, 3.2 m + NAP, 4.0 m + NAP en 5.0 m + NAP. Het resultaat

is in Figuur C-14 weergegeven. In deze figuur zijn de golfhoogtes weergegeven, die de grootste kans van optreden hebben gegeven de waterstand voor de locatie Waddenzee oost (sontswdfz). Ook zijn in deze figuur de waarnemingen weergegeven. Na de figuur is het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

**Figuur**

In onderstaande figuur is voor de omnidirectionele windrichting de lijn weergegeven, die voor elke waterstand de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuur weergegeven.



**Figuur C-14** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Waddenzee oost (sontswdfz) als 500 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden

**Uitvoerbestand**

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Waddenzee oost (sontswdfz) voor duinen weergegeven bij 500 simultane waarnemingen. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Waddenzee oost (sontswdfz)

Waterstand [m]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
1.90	1.81	6.047
1.95	2.08	6.490
2.00	2.31	6.840
2.10	2.70	7.388
2.20	3.02	7.820
2.30	3.31	8.183
2.50	3.81	8.783
3.20	5.21	10.269
4.00	6.50	11.476
5.00	7.92	12.665

## 2.4 Conclusie

Voor de offshore locatie Waddenzee oost (sontswdfz) zien de figuren er goed uit in de zin dat de lijn, die de golfhoogtes weergeeft met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid / waterstand goed bij de waarnemingen passen.

## 3 Kust Noord (eldkoyhld)

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd voor offshore locatie Kust Noord (eldkoyhld). Voor de waarnemingen wordt bij deze locatie gebruik gemaakt van het bestand *mveldkoyhld.dat* (Eierlandse Gat van De Kooy tot Den helder). Voor de statistiek van de waterstanden wordt gebruik gemaakt van het bestand *hld.e30* (Den Helder). Voor de statistiek van de windsnelheid wordt gebruik gemaakt van het bestand *w-yms\_c.e30* (IJsselmeer). Voor de statistiek van de golfhoogte wordt gebruik gemaakt van het bestand *Hs\_eld.e30* (Eierlandse Gat). Voor de machtsrelatie tussen de golfhoogte en de golfpiekperiode wordt gebruik gemaakt van de parameters  $a$  en  $b$  uit het bestand *ab\_eld.txt* (Eierlandse Gat).

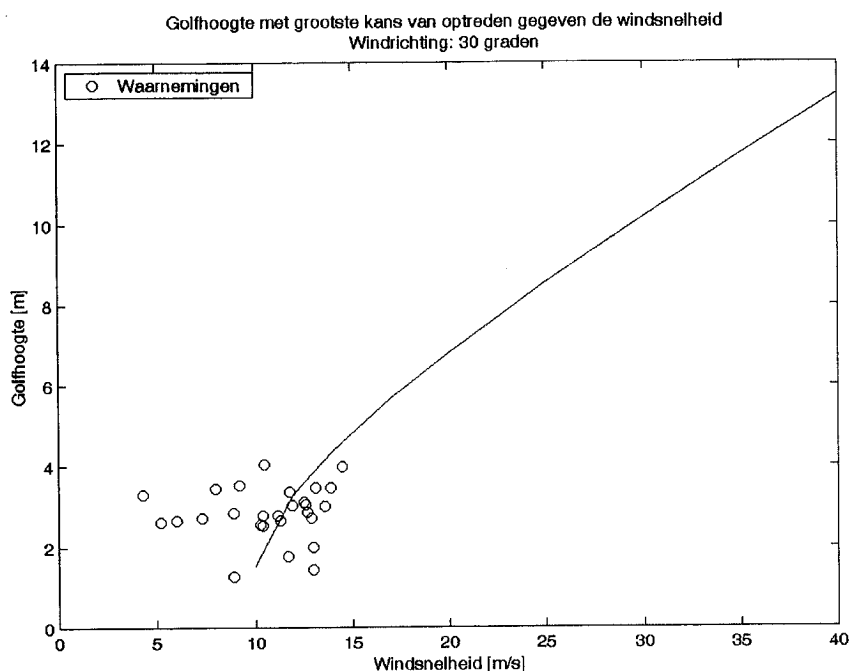
### 3.2 Dijken

In deze paragraaf zijn de figuren weergegeven, die de golfhoogtes tonen, die de grootste kans van optreden hebben bij gegeven de windsnelheid voor twaalf 30°-windrichtingssectoren. Voor de windsnelheden hebben we in het userinterface van PHK de volgende tien windsnelheden ingevoerd. Dit zijn 9 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s, 17 m/s, 20 m/s, 25 m/s, 30 m/s, 35 m/s en 40 m/s. Omdat de golfhoogtes met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid slechts berekend zijn voor een beperkt aantal windsnelheden, vertonen de lijnen die deze golfhoogtes verbinden, enkele knikjes. In deze resulterende figuren zijn ook de waarnemingen weergegeven. In deze paragraaf is verder het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

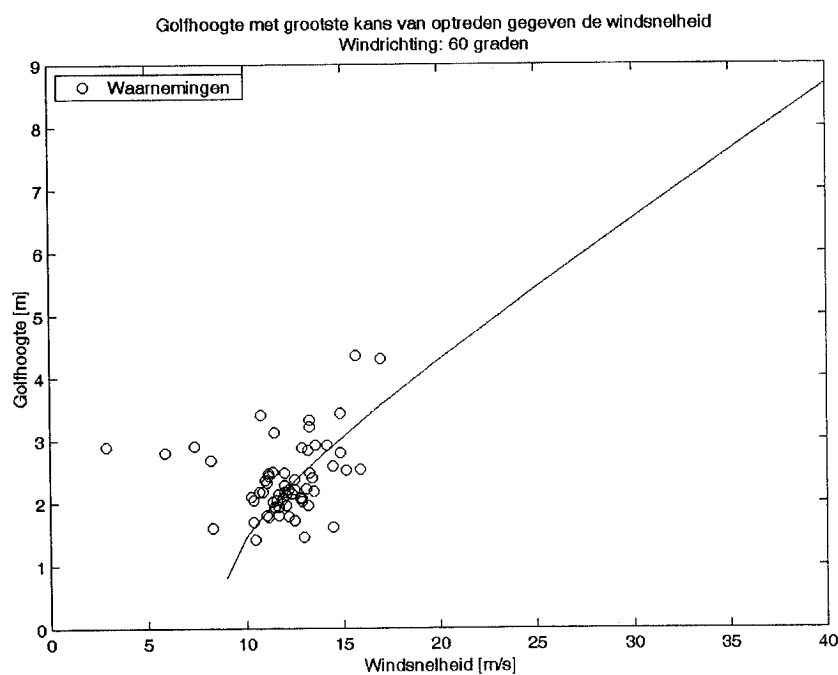
#### Figuren

In onderstaande figuren zijn voor de twaalf 30°-windrichtingssectoren de lijnen weergegeven, die voor elke windsnelheid de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuren weergegeven.

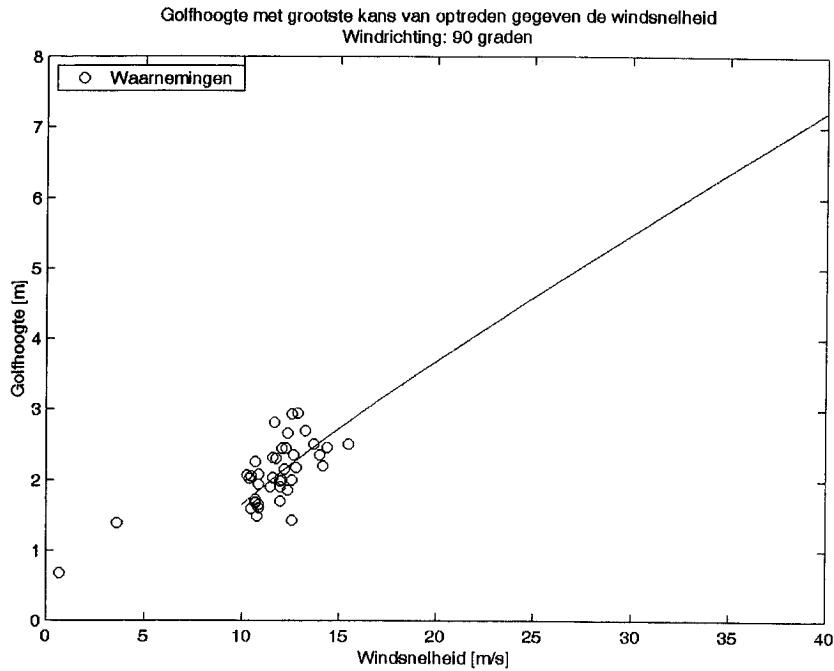




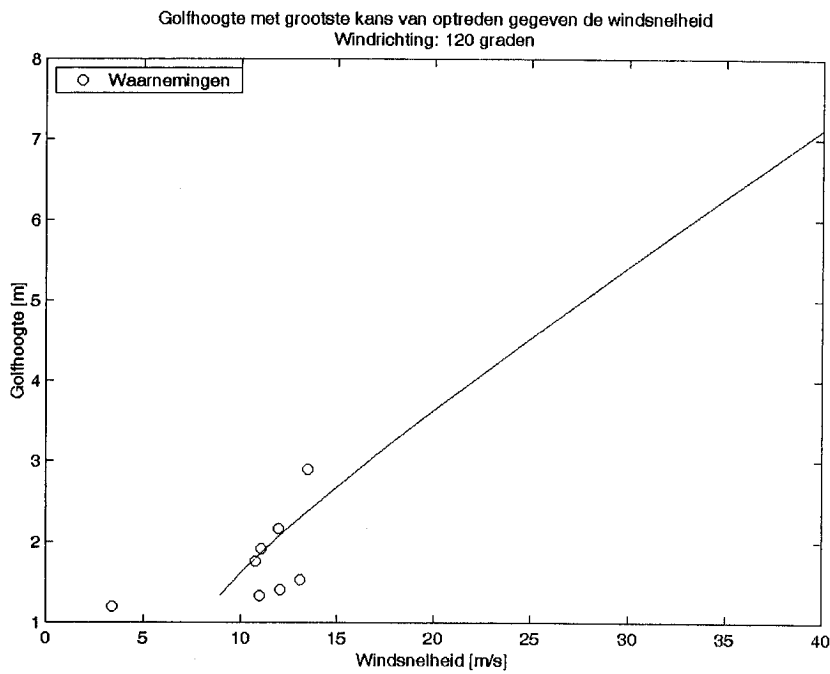
**Figuur C-15** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 30 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



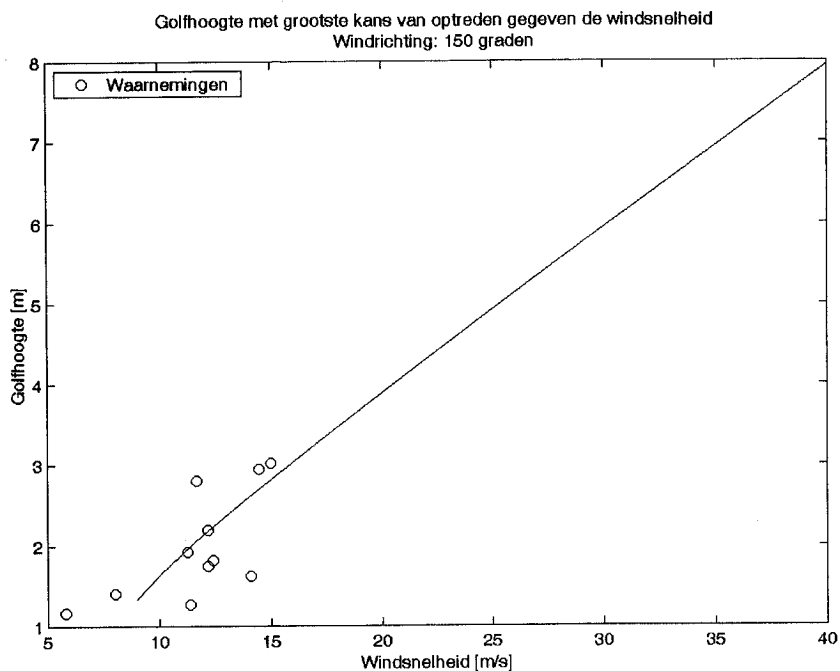
**Figuur C-16** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 60 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



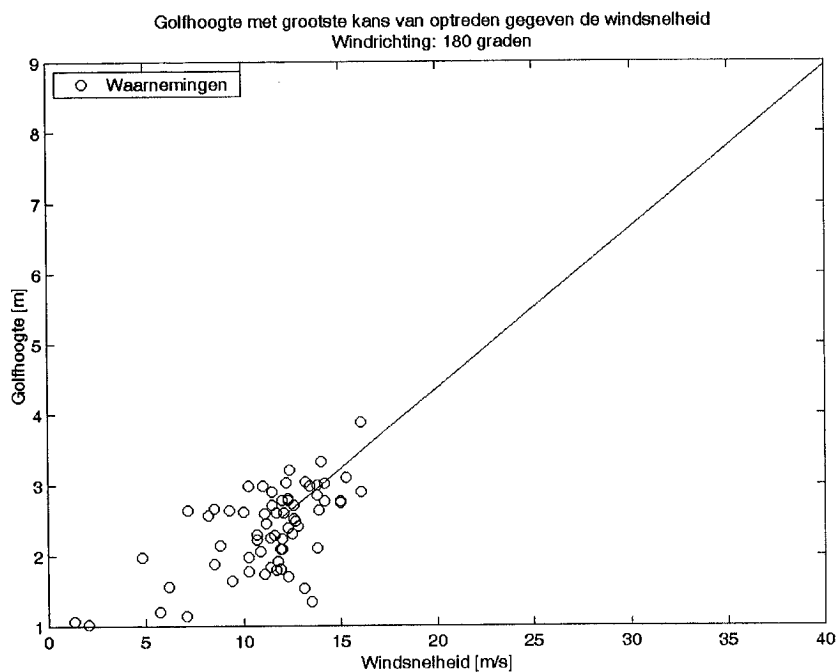
**Figuur C-17** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 90 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



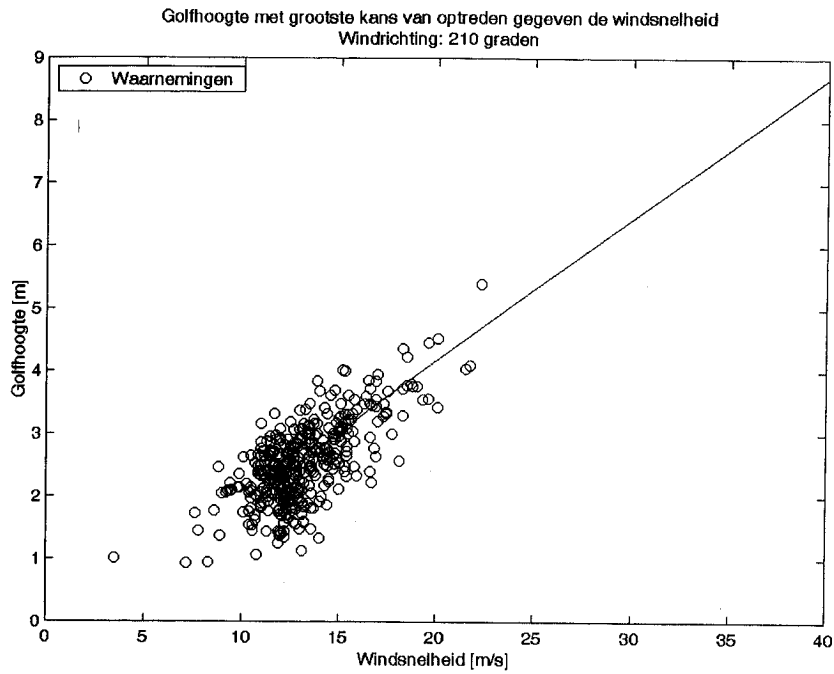
**Figuur C-18** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 120 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



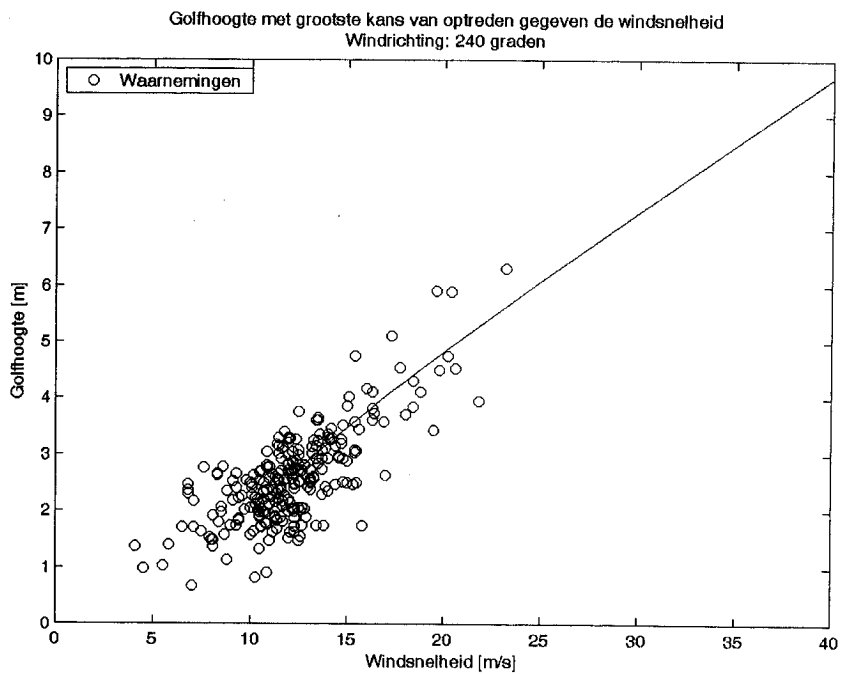
**Figuur C-19** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 150 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



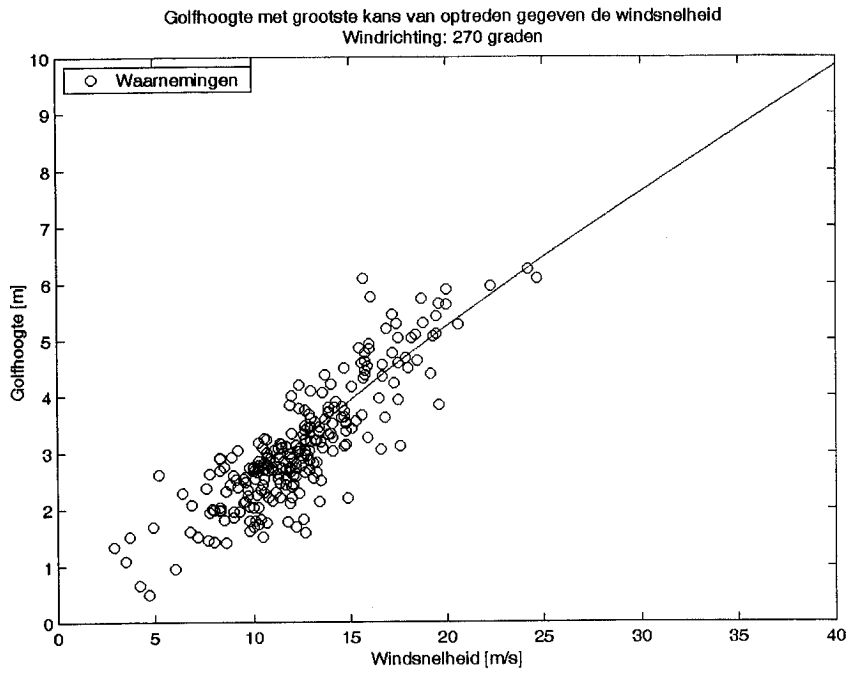
**Figuur C-20** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 180 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



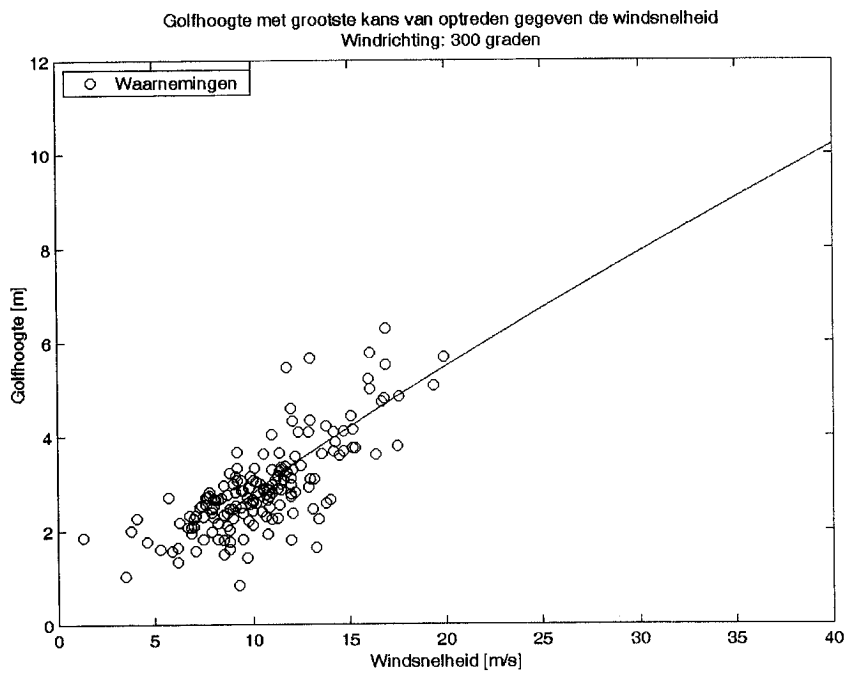
**Figuur C-21** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 210 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)*



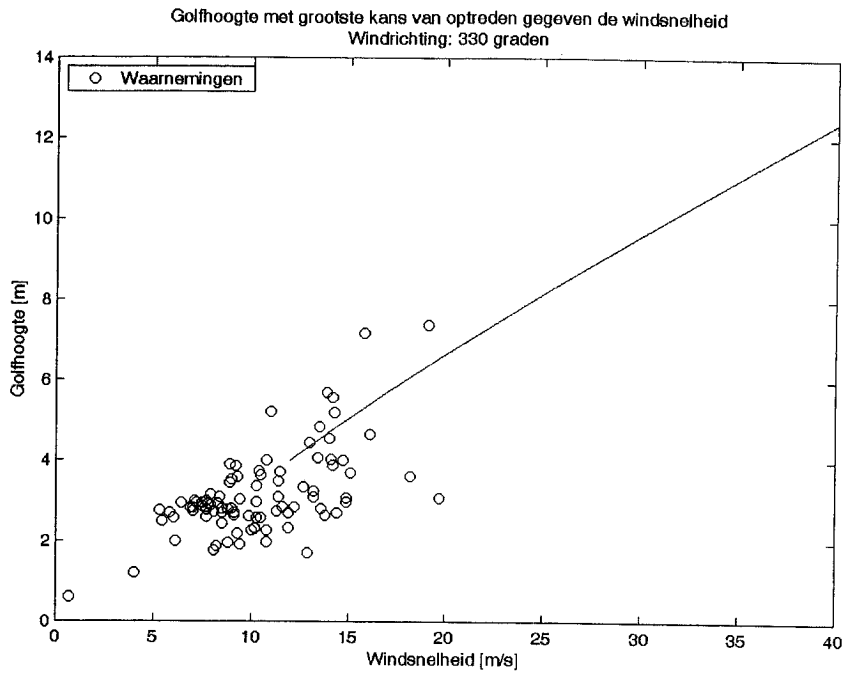
**Figuur C-22** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 240 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)*



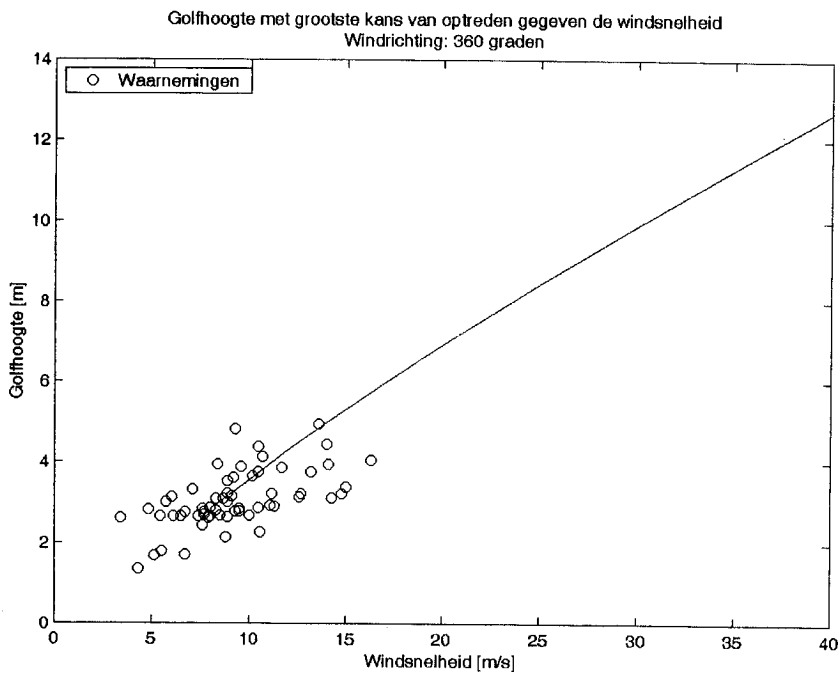
**Figuur C-23** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 270 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)*



**Figuur C-24** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 300 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)*



**Figuur C-25** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 330 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)



**Figuur C-26** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 360 graden bij locatie Kust Noord (eldkoyhld)

**Uitvoerbestand**

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de offshore locatie Kust Noord (eldkoyhld) voor dijken weergegeven. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Kust noord (eldkoyhld)

Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
30	10.00	1.542	5.59
30	12.00	3.316	8.19
30	14.00	4.376	9.41
30	17.00	5.666	10.71
30	20.00	6.802	11.74
30	25.00	8.534	13.15
30	30.00	10.154	14.34
30	35.00	11.706	15.40
30	40.00	13.210	16.36
60	9.00	0.820	4.07
60	10.00	1.461	5.44
60	12.00	2.207	6.69
60	14.00	2.791	7.52
60	17.00	3.566	8.50
60	20.00	4.285	9.31
60	25.00	5.426	10.48
60	30.00	6.530	11.50
60	35.00	7.612	12.42
60	40.00	8.680	13.26
90	10.00	1.644	5.77
90	12.00	2.107	6.53
90	14.00	2.526	7.15
90	17.00	3.117	7.94
90	20.00	3.683	8.64
90	25.00	4.595	9.65
90	30.00	5.484	10.54
90	35.00	6.358	11.35
90	40.00	7.221	12.09
120	9.00	1.344	5.22
120	10.00	1.610	5.71
120	12.00	2.071	6.48
120	14.00	2.488	7.10
120	17.00	3.073	7.89
120	20.00	3.633	8.58
120	25.00	4.536	9.58
120	30.00	5.414	10.47
120	35.00	6.278	11.28
120	40.00	7.131	12.02
150	9.00	1.337	5.20
150	10.00	1.633	5.75
150	12.00	2.142	6.59
150	14.00	2.603	7.26
150	17.00	3.257	8.12
150	20.00	3.888	8.87
150	25.00	4.918	9.98
150	30.00	5.935	10.96
150	35.00	6.945	11.86
150	40.00	7.951	12.69
180	12.00	2.549	7.18
180	14.00	3.000	7.79
180	17.00	3.677	8.63
180	20.00	4.356	9.39

180	25.00	5.493	10.55
180	30.00	6.637	11.59
180	35.00	7.787	12.56
180	40.00	8.941	13.46
210	12.00	2.295	6.82
210	14.00	2.787	7.51
210	17.00	3.493	8.41
210	20.00	4.182	9.20
210	25.00	5.313	10.37
210	30.00	6.437	11.42
210	35.00	7.561	12.37
210	40.00	8.684	13.26
240	12.00	2.577	7.22
240	14.00	3.197	8.05
240	17.00	4.037	9.04
240	20.00	4.826	9.89
240	25.00	6.085	11.10
240	30.00	7.306	12.16
240	35.00	8.505	13.12
240	40.00	9.689	14.01
270	12.00	3.067	7.88
270	14.00	3.654	8.60
270	17.00	4.466	9.51
270	20.00	5.232	10.29
270	25.00	6.447	11.43
270	30.00	7.613	12.42
270	35.00	8.746	13.31
270	40.00	9.852	14.12
300	9.00	2.480	7.09
300	10.00	2.792	7.52
300	12.00	3.376	8.27
300	14.00	3.928	8.92
300	17.00	4.719	9.78
300	20.00	5.482	10.54
300	25.00	6.709	11.66
300	30.00	7.898	12.65
300	35.00	9.059	13.54
300	40.00	10.197	14.37
330	12.00	4.018	9.02
330	14.00	4.718	9.77
330	17.00	5.707	10.75
330	20.00	6.650	11.60
330	25.00	8.160	12.85
330	30.00	9.615	13.95
330	35.00	11.032	14.95
330	40.00	12.418	15.86
360	9.00	3.170	8.01
360	10.00	3.562	8.49
360	12.00	4.294	9.32
360	14.00	4.983	10.04
360	17.00	5.967	10.99
360	20.00	6.911	11.83
360	25.00	8.425	13.06
360	30.00	9.886	14.15
360	35.00	11.306	15.13
360	40.00	12.695	16.03



### 3.3 Duinen

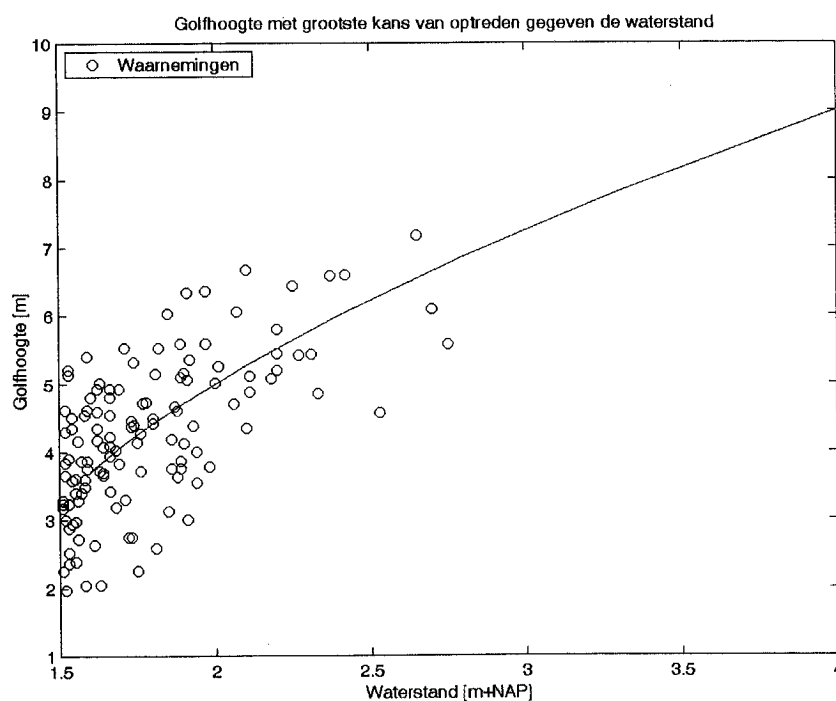
Bij duinen moeten we een keuze maken ten aanzien van het aantal simultane waarnemingen, dat we gebruiken in de analyse. In deze paragraaf presenteren we de resultaten voor twee keuzes voor dit aantal simultane waarnemingen. We kiezen voor 125 en 500 simultane waarnemingen.

#### 125 waarnemingen

Voor onze keuze van 125 simultane waarnemingen voeren we in het userinterface van PHK de volgende tien waterstanden in: 1.6 m+NAP, 1.65 m+NAP, 1.7 m+NAP, 1.8 m+NAP, 1.9 m+NAP, 2.1 m+NAP, 2.4 m+NAP, 2.8 m+NAP, 3.3 m+NAP en 4.0 m+NAP. Het resultaat is in Figuur C-27 weergegeven. In deze figuur zijn de golfhoogtes weergegeven, die de grootste kans van optreden hebben gegeven de waterstand voor de locatie Kust Noord (eldkoyhld). Ook zijn in deze figuur de waarnemingen weergegeven. Na de figuur is het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

#### Figuur

In onderstaande figuur is voor de omnidirectionele windrichting de lijn weergegeven, die voor elke waterstand de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuur weergegeven.



*Figuur C-27 Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) als 125 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden*

#### Uitvoerbestand

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Kust Noord (eldkoyhld) voor duinen weergegeven bij 125 simultane waarnemingen. De gepresenteerde golfpiekperiodes zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Kust noord (eldkoyhld)

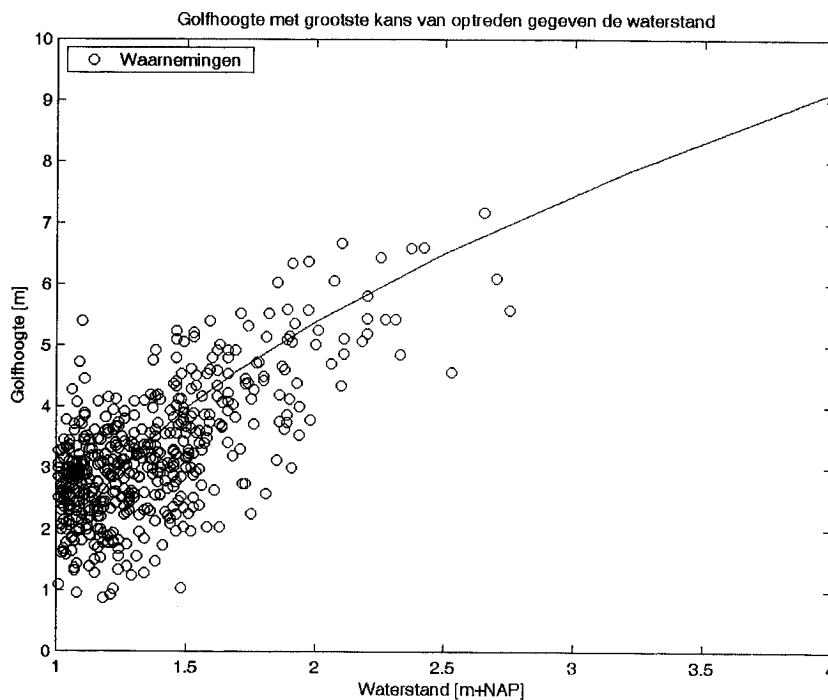
Waterstand	Golfhoogte	Piekperiode
[m]	[m]	[s]
1.60	3.71	8.673
1.65	3.90	8.891
1.70	4.08	9.092
1.80	4.41	9.454
1.90	4.72	9.775
2.10	5.27	10.331
2.40	6.00	11.024
2.80	6.86	11.786
3.30	7.81	12.578
4.00	9.00	13.503

## 500 waarnemingen

Voor onze keuze van 500 simultane waarnemingen voeren we in het userinterface van PHK de volgende tien waterstanden in: 1.1 m+NAP, 1.15 m+NAP, 1.2 m+NAP, 1.3 m+NAP, 1.5 m+NAP, 1.7 m+NAP, 2.0 m+NAP, 2.5 m+NAP, 3.2 m+NAP en 4.0 m+NAP. Het resultaat is in Figuur C-28 weergegeven. In deze figuur zijn de golfhoogtes weergegeven, die de grootste kans van optreden hebben gegeven de waterstand voor de locatie Kust Noord (eldkoyhld). Ook zijn in deze figuur de waarnemingen weergegeven. Na de figuur is het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

### Figuur

In onderstaande figuur is voor de omnidirectionele windrichting de lijn weergegeven, die voor elke waterstand de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuur weergegeven.



**Figuur C-28** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Kust Noord (eldkoyhld) als 500 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden

### *Uitvoerbestand*

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Kust Noord (eldkoyhld) voor duinen weergegeven bij 500 simultane waarnemingen. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Kust noord (eldkoyhld)

Waterstand [m]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
1.10	2.08	6.495
1.15	2.44	7.024
1.20	2.73	7.433
1.30	3.21	8.064
1.50	3.97	8.967
1.70	4.59	9.642
2.00	5.38	10.440
2.50	6.50	11.472
3.20	7.83	12.592
4.00	9.16	13.618

## 3.4 Conclusie

Voor de locatie Kust Noord (eldkoyhld) zien de figuren er goed uit in de zin dat de lijn, die de golfhoogtes weergeeft met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid / waterstand goed bij de waarnemingen passen.

## 4 Westerschelde (eurvsvls)

### 4.1 Inleiding

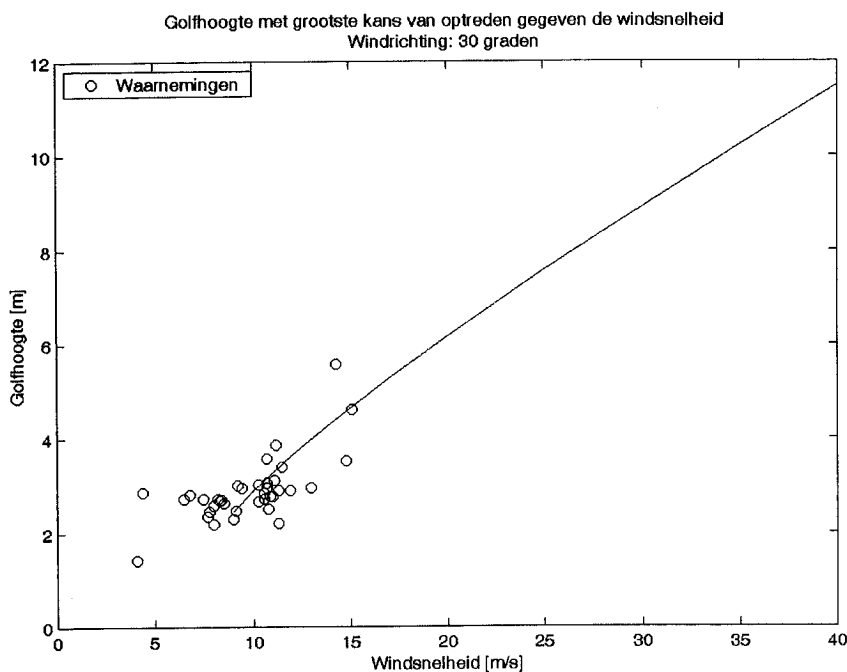
In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd voor offshore locatie Westerschelde (eurvsvls). Voor de waarnemingen wordt bij deze locatie gebruik gemaakt van het bestand *mveurvsvls.dat* (Euro-platform van Vlissingen tot Vlissingen). Voor de statistiek van de waterstanden wordt gebruik gemaakt van het bestand *vls.e30* (Vlissingen). Voor de statistiek van de windsnelheid wordt gebruik gemaakt van het bestand *w-hvh\_c.e30* (Hoek van Holland). Voor de statistiek van de golfhoogte wordt gebruik gemaakt van het bestand *Hs\_eur.e30* (Euro-platform). Voor de machtsrelatie tussen de golfhoogte en de golfpiekperiode wordt gebruik gemaakt van de parameters *a* en *b* uit het bestand *ab\_eur.txt* (Euro-platform).

### 4.2 Dijken

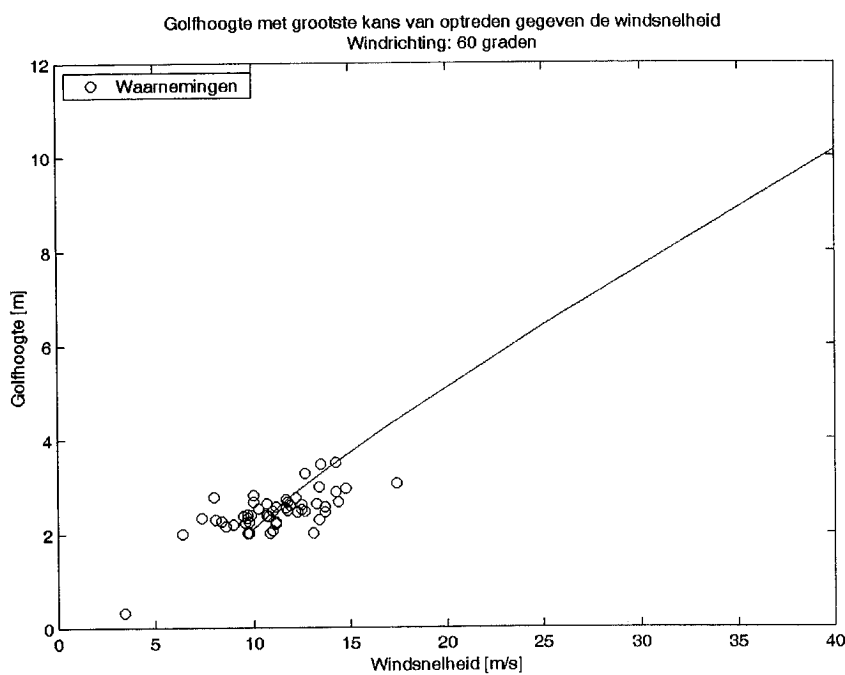
In deze paragraaf zijn de figuren weergegeven, die de golfhoogtes tonen, die de grootste kans van optreden hebben bij gegeven de windsnelheid voor twaalf 30°-windrichtingssectoren voor de locatie Westerschelde (eurvsvls). Voor de windsnelheden hebben we in het userinterface van PHK de volgende tien windsnelheden ingevoerd. Dit zijn 9 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s, 17 m/s, 20 m/s, 25 m/s, 30 m/s, 35 m/s en 40 m/s. Omdat de golfhoogtes met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid slechts berekend zijn voor een beperkt aantal windsnelheden, vertonen de lijnen die deze golfhoogtes verbinden, enkele knikjes. In deze resulterende figuren zijn ook de waarnemingen weergegeven. In deze paragraaf is verder het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

#### Figuren

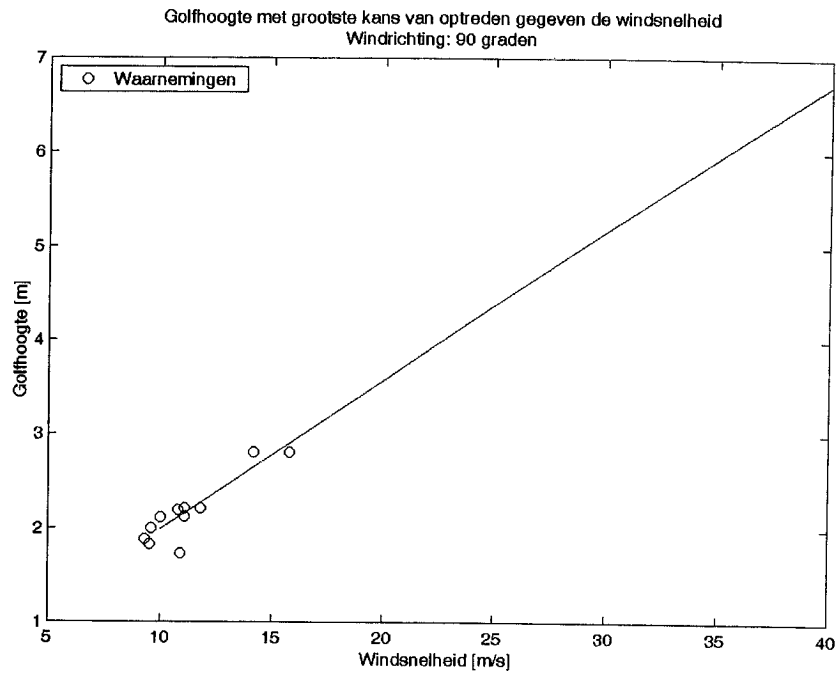
In onderstaande figuren zijn voor de twaalf 30°-windrichtingssectoren de lijnen weergegeven, die voor elke windsnelheid de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuren weergegeven.



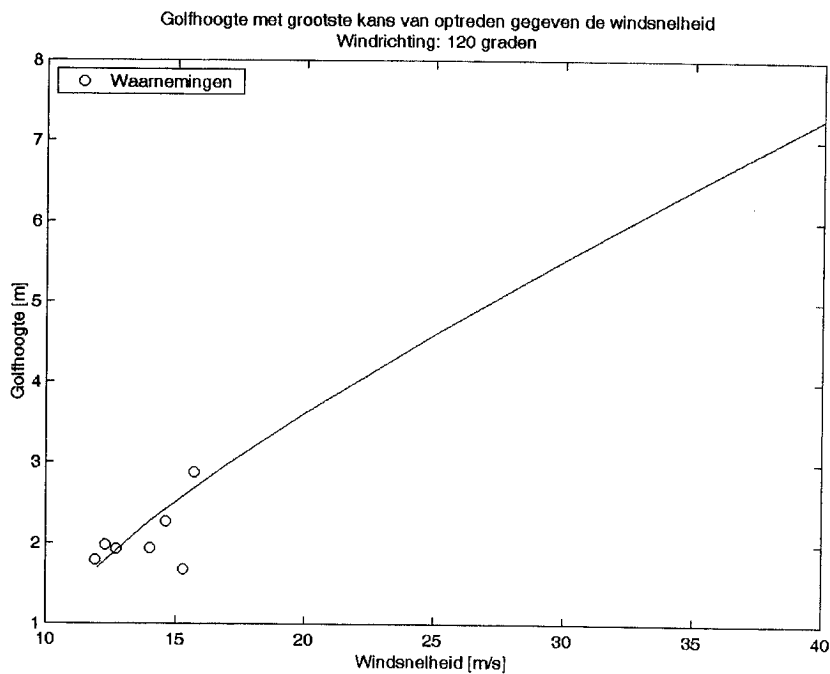
**Figuur C-29** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 30 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)



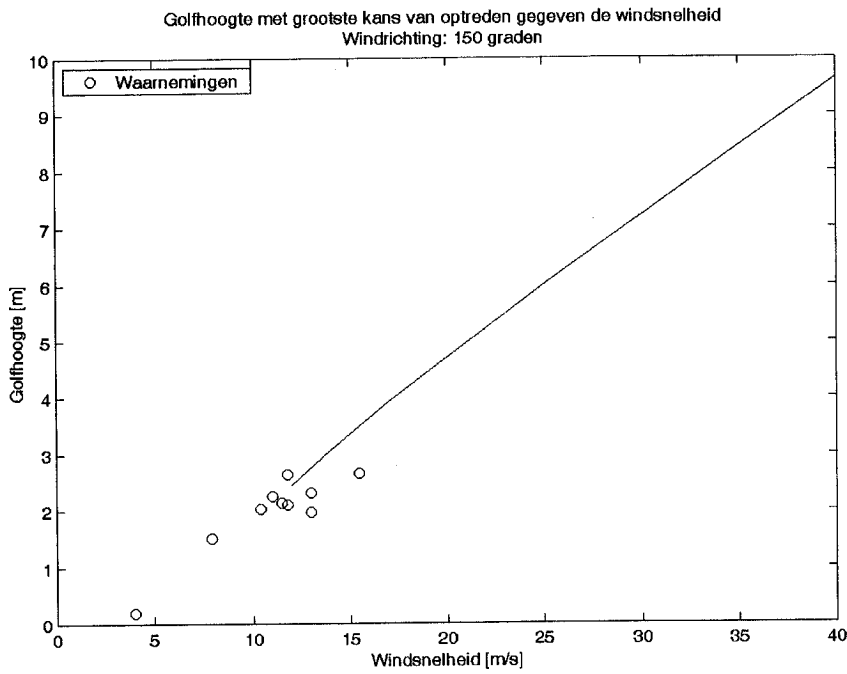
**Figuur C-30** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 60 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)



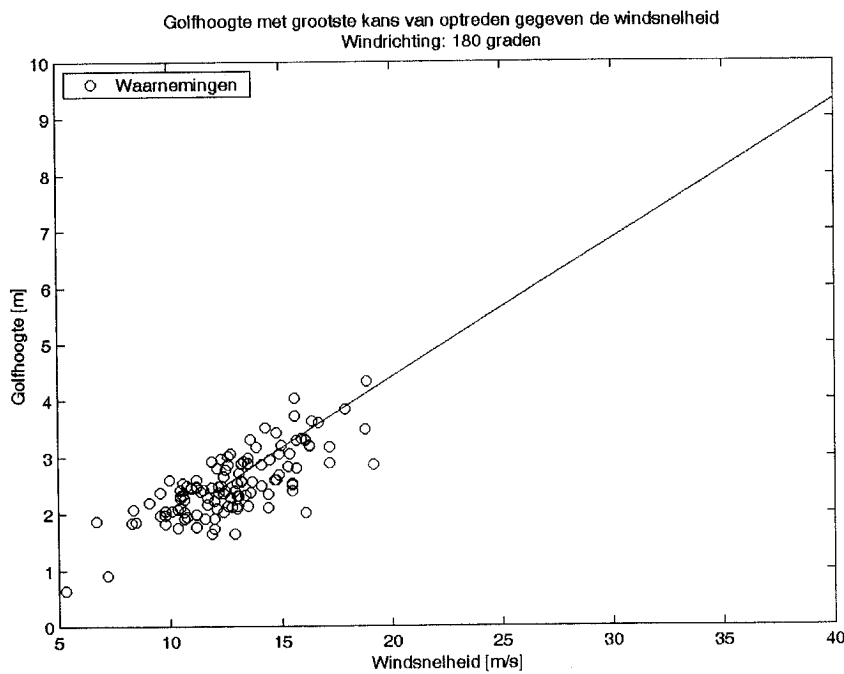
**Figuur C-31** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 90 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)



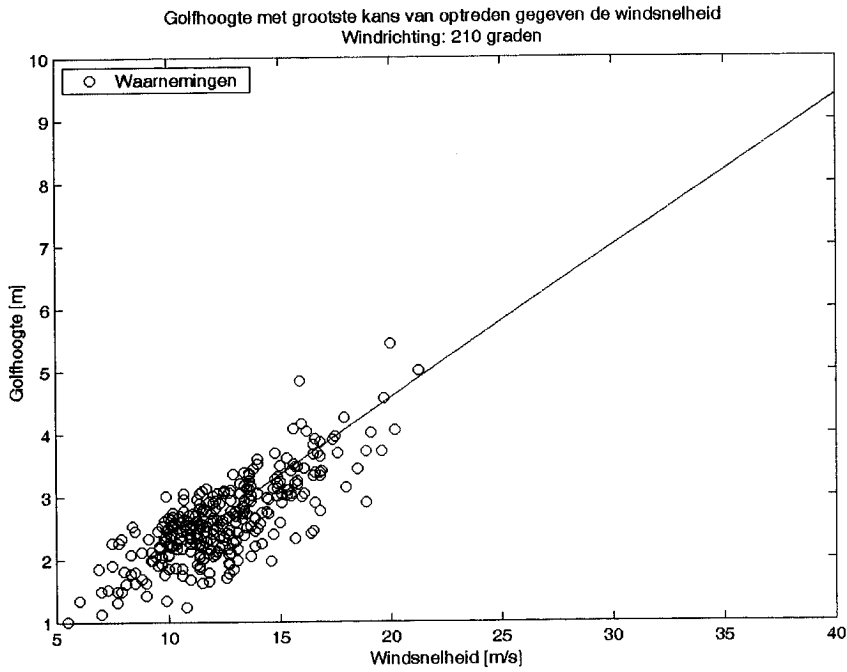
**Figuur C-32** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 120 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)



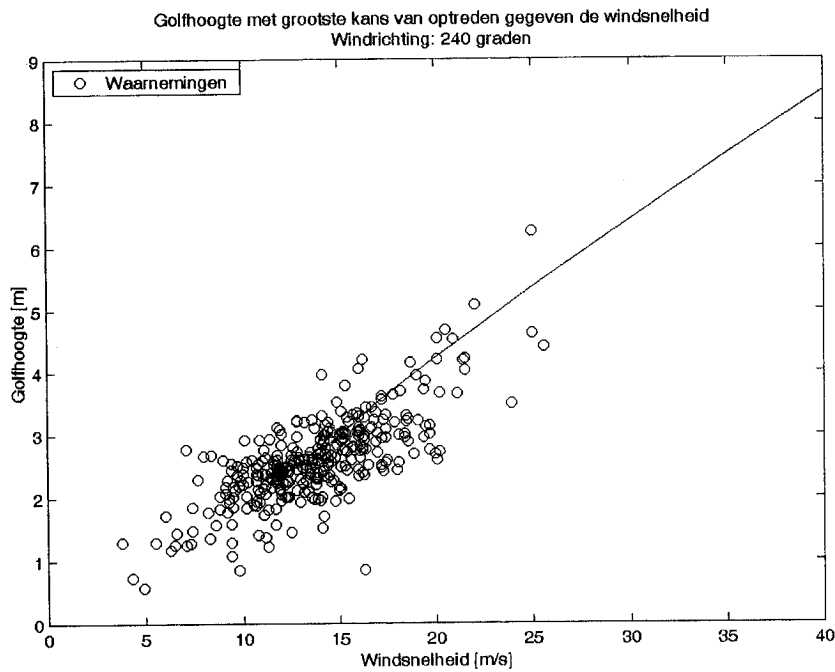
**Figuur C-33** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 150 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)*



**Figuur C-34** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 180 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)*

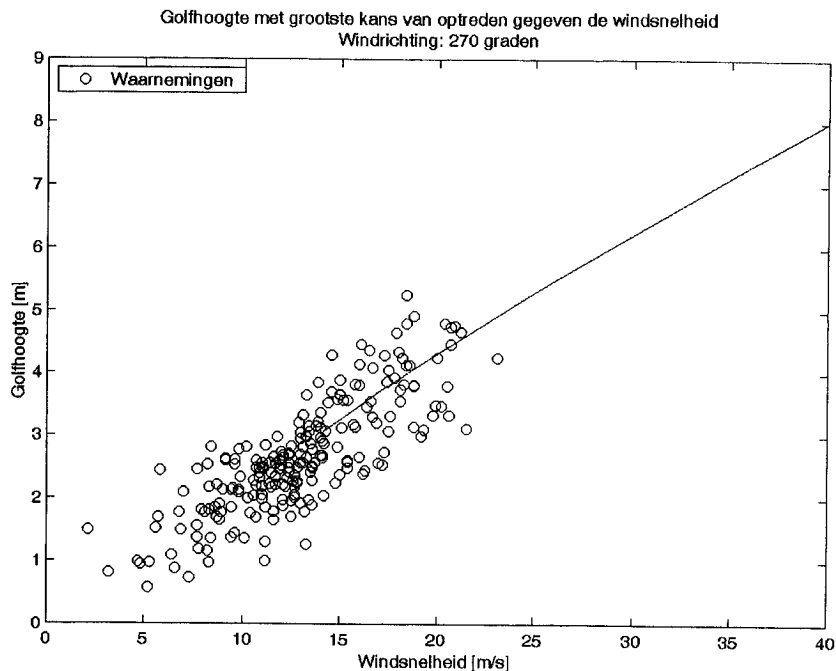


**Figuur C-35** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 210 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)

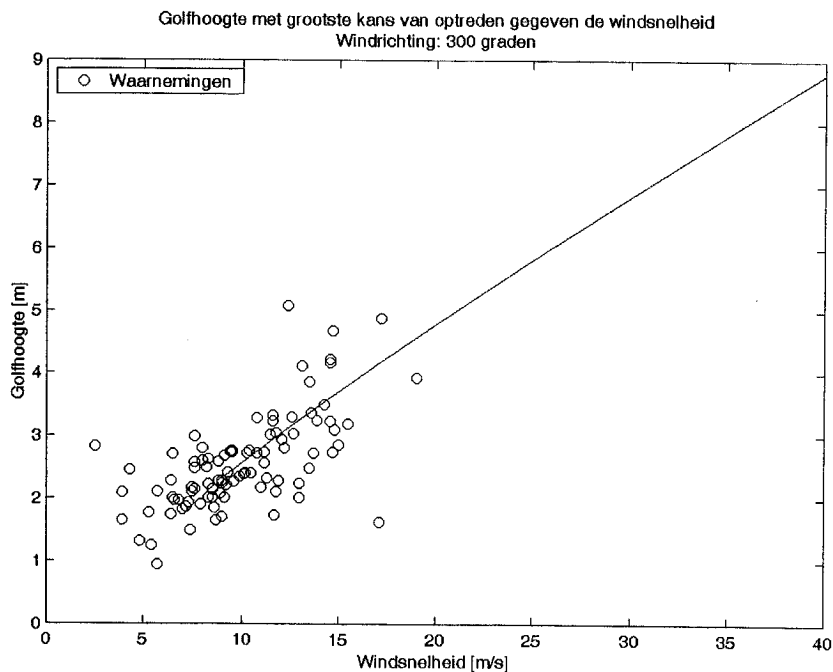


**Figuur C-36** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 240 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)

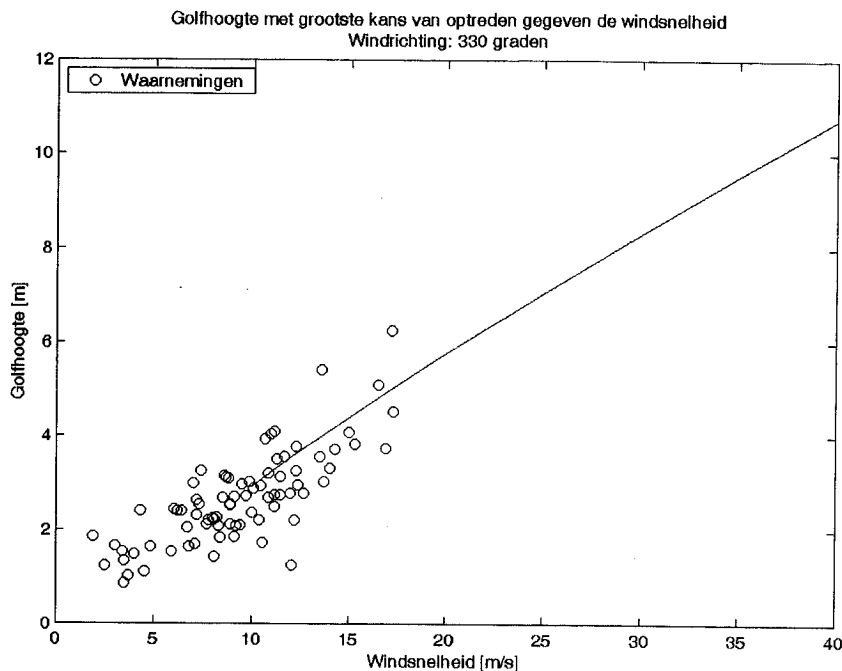




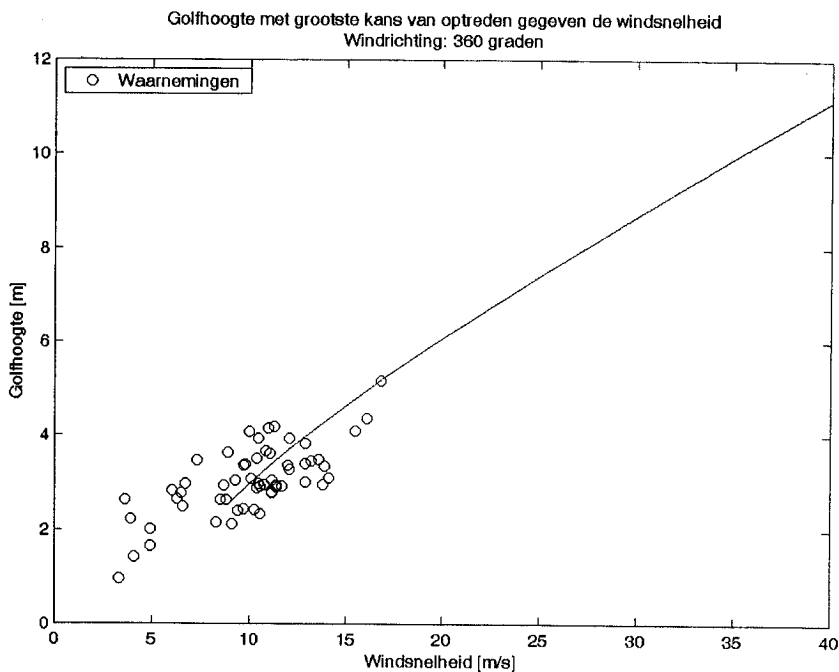
**Figuur C-37** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 270 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)*



**Figuur C-38** *Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 300 graden bij locatie Westerschelde (eurvlsvls)*



**Figuur C-39** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 330 graden bij locatie Westerschelde (eurv/svls)



**Figuur C-40** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid bij windrichting 360 graden bij locatie Westerschelde (eurv/svls)

## Uitvoerbestand

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Westerschelde (eurvlsvls) voor dijken weergegeven. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Westerschelde (eurvlsvls)

Windrichting [graden]	Windsnelheid [m/s]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
30	9.00	2.465	7.07
30	10.00	2.899	7.66
30	12.00	3.654	8.60
30	14.00	4.331	9.36
30	17.00	5.270	10.33
30	20.00	6.156	11.17
30	25.00	7.562	12.37
30	30.00	8.908	13.43
30	35.00	10.213	14.38
30	40.00	11.486	15.25
60	10.00	2.092	6.51
60	12.00	2.809	7.54
60	14.00	3.431	8.34
60	17.00	4.288	9.32
60	20.00	5.100	10.16
60	25.00	6.401	11.38
60	30.00	7.664	12.46
60	35.00	8.906	13.43
60	40.00	10.131	14.32
90	10.00	1.987	6.34
90	12.00	2.299	6.82
90	14.00	2.616	7.28
90	17.00	3.096	7.92
90	20.00	3.576	8.51
90	25.00	4.373	9.41
90	30.00	5.164	10.23
90	35.00	5.948	10.97
90	40.00	6.726	11.67
120	12.00	1.701	5.87
120	14.00	2.277	6.79
120	17.00	2.984	7.77
120	20.00	3.614	8.55
120	25.00	4.589	9.64
120	30.00	5.514	10.57
120	35.00	6.410	11.39
120	40.00	7.288	12.15
150	12.00	2.447	7.04
150	14.00	3.074	7.89
150	17.00	3.918	8.91
150	20.00	4.709	9.77
150	25.00	5.975	11.00
150	30.00	7.207	12.08
150	35.00	8.421	13.06
150	40.00	9.624	13.96
180	12.00	2.373	6.93
180	14.00	2.905	7.67
180	17.00	3.666	8.62
180	20.00	4.409	9.45
180	25.00	5.634	10.68
180	30.00	6.857	11.78
180	35.00	8.082	12.79
180	40.00	9.312	13.73

210	14.00	3.104	7.93
210	17.00	3.850	8.83
210	20.00	4.582	9.63
210	25.00	5.789	10.83
210	30.00	6.990	11.90
210	35.00	8.190	12.88
210	40.00	9.389	13.79
240	14.00	2.734	7.44
240	17.00	3.521	8.44
240	20.00	4.236	9.26
240	25.00	5.355	10.41
240	30.00	6.423	11.40
240	35.00	7.463	12.29
240	40.00	8.483	13.11
270	14.00	3.031	7.83
270	17.00	3.693	8.65
270	20.00	4.314	9.35
270	25.00	5.293	10.35
270	30.00	6.227	11.23
270	35.00	7.130	12.02
270	40.00	8.009	12.74
300	9.00	2.328	6.87
300	10.00	2.567	7.21
300	12.00	3.030	7.83
300	14.00	3.480	8.40
300	17.00	4.137	9.15
300	20.00	4.777	9.84
300	25.00	5.815	10.85
300	30.00	6.825	11.76
300	35.00	7.813	12.58
300	40.00	8.782	13.34
330	10.00	2.922	7.69
330	12.00	3.538	8.46
330	14.00	4.120	9.13
330	17.00	4.955	10.02
330	20.00	5.760	10.80
330	25.00	7.057	11.95
330	30.00	8.313	12.97
330	35.00	9.541	13.90
330	40.00	10.745	14.75
360	9.00	2.569	7.21
360	10.00	2.971	7.76
360	12.00	3.684	8.64
360	14.00	4.330	9.36
360	17.00	5.228	10.29
360	20.00	6.075	11.09
360	25.00	7.415	12.25
360	30.00	8.694	13.27
360	35.00	9.930	14.18
360	40.00	11.133	15.01

### 4.3 Duinen

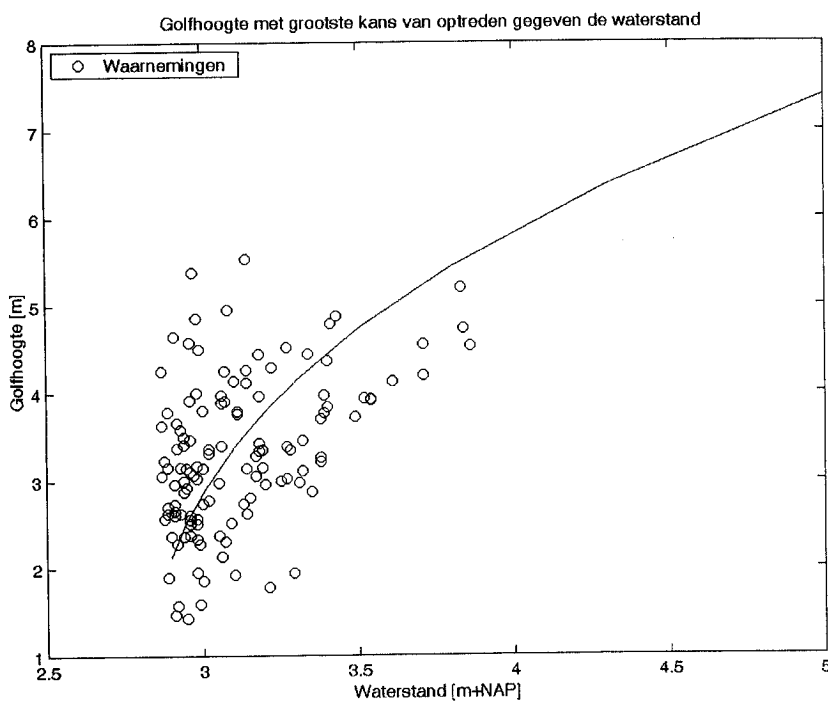
Bij duinen moeten we een keuze maken ten aanzien van het aantal simultane waarnemingen, dat we gebruiken in de analyse. In deze paragraaf presenteren we de resultaten voor twee keuzes voor dit aantal simultane waarnemingen. We kiezen voor 125 en 500 simultane waarnemingen.

## 125 waarnemingen

Voor onze keuze van 125 simultane waarnemingen voeren we in het userinterface van PHK de volgende tien waterstanden in: 2.9 m +NAP, 2.95 m +NAP, 3.0 m +NAP, 3.1 m +NAP, 3.2 m +NAP, 3.3 m +NAP, 3.5 m +NAP, 3.8 m +NAP, 4.3 m +NAP en 5.0 m +NAP. Het resultaat is in Figuur C-41 weergegeven. In deze figuur zijn de golfhoogtes weergegeven, die de grootste kans van optreden hebben gegeven de waterstand voor de locatie Westerschelde (eurvsvls). Ook zijn in deze figuur de waarnemingen weergegeven. Na de figuur is het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

### Figuur

In onderstaande figuur is voor de omnidirectionele windrichting de lijn weergegeven, die voor elke waterstand de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuur weergegeven.



*Figuur C-41 Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Westerschelde (eurvsvls) als 125 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden*

### Uitvoerbestand

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Westerschelde (eurvsvls) voor duinen weergegeven bij 125 simultane waarnemingen. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Westerschelde (eurvlsvls)

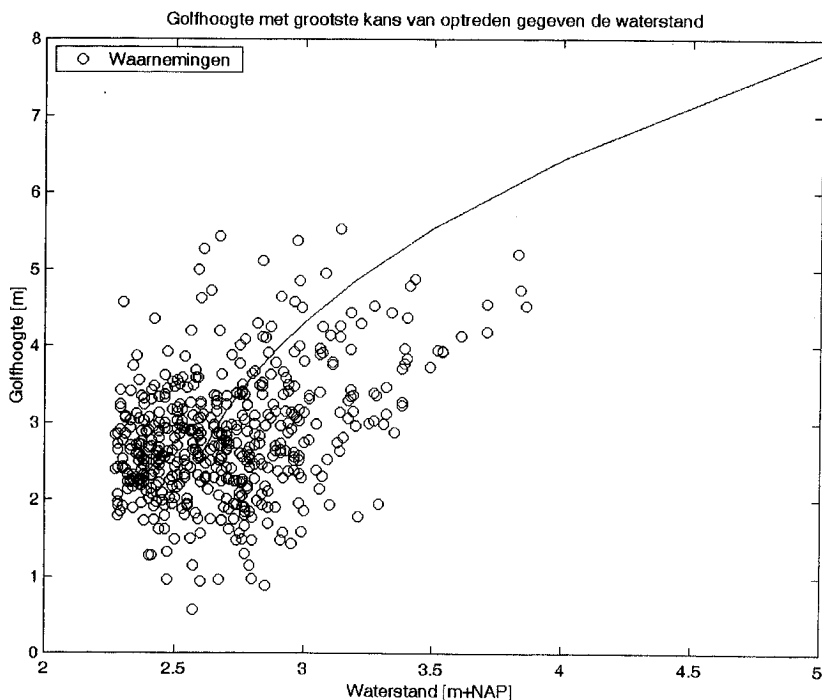
Waterstand [m]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
2.90	2.13	6.564
2.95	2.54	7.171
3.00	2.86	7.617
3.10	3.38	8.273
3.20	3.79	8.763
3.30	4.14	9.159
3.50	4.73	9.786
3.80	5.44	10.492
4.30	6.36	11.353
5.00	7.39	12.230

### 500 waarnemingen

Voor onze keuze van 500 simultane waarnemingen voeren we in het userinterface van PHK de volgende tien waterstanden in: 2.6 m+NAP, 2.65 m+NAP, 2.7 m+NAP, 2.8 m+NAP, 2.9 m+NAP, 3.0 m+NAP, 3.2 m+NAP, 3.5 m+NAP, 4.0 m+NAP en 5.0 m+NAP. Het resultaat is in Figuur C-42 weergegeven. In deze figuur zijn de golfhoogtes weergegeven, die de grootste kans van optreden hebben gegeven de waterstand voor de locatie Westerschelde (eurvlsvls). Ook zijn in deze figuur de waarnemingen weergegeven. Na de figuur is het bijbehorende uitvoerbestand weergegeven.

### Figuur

In onderstaande figuur is voor de omnidirectionele windrichting de lijn weergegeven, die voor elke waterstand de golfhoogte presenteert met de grootste kans van optreden. Ook zijn de waarnemingen in deze figuur weergegeven.



**Figuur C-42** Golfhoogte met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand bij de omnidirectionele windrichting bij locatie Westerschelde (eurvlsvls) als 500 simultane waarnemingen in de analyse gebruikt worden

### ***Uitvoerbestand***

Onderstaand is de inhoud van het uitvoerbestand voor de Westerschelde (eurvlsvls) voor duinen weergegeven bij 500 simultane waarnemingen. De gepresenteerde golfpiekperioden zijn berekend op basis van de machtsrelatie  $T_p = 4.5H_s^{0.5}$ .

Offshore locatie: Westerschelde (eurvlsvls)

Waterstand [m]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
2.60	2.56	7.204
2.65	2.88	7.640
2.70	3.15	7.991
2.80	3.60	8.544
2.90	3.98	8.978
3.00	4.31	9.338
3.20	4.86	9.920
3.50	5.54	10.591
4.00	6.44	11.422
5.00	7.82	12.580

## **4.4 Conclusie**

Voor de locatie Westerschelde (eurvlsvls) zien de figuren er goed uit in de zin dat de lijn, die de golfhoogtes weergeeft met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid / waterstand goed bij de waarnemingen passen.

## **Deel D Technische documentatie**



# 1 Inleiding

Dit deel van de documentatie bevat de technische documentatie van de Preprocessor voor Hydra-K (PHK). De technische documentatie bestaat uit een beschrijving van de procedures en functies uit PHK (hoofdstuk 2). Een beschrijving bestaat uit een aantal onderdelen. In de eerste plaats is de functionaliteit van de procedure of functie beschreven. Verder is de wijze van aanroepen beschreven en zijn de invoer- en uitvoerargumenten beschreven, als deze er zijn. Ten slotte is bij elke procedure en elke functie beschreven welke externe functies gebruikt worden en door welke procedures en functies ze worden aangeroepen. Een aantal functies zijn afhankelijk van muisklikken op het hoofd-invoerscherm. Deze functies worden dus door geen enkele andere functie aangeroepen, maar deze worden wel gebruikt. Bij deze functies is dit overigens wel vermeld. Verder melden we dat PHK net als Hydra-K *geen* globale variabelen bevat, maar wel enkele globale constanten. Deze globale constanten staan in GlobalConstants.m. Deze globale constanten zijn gebruikt om de leesbaarheid van de code te bevorderen. Ten slotte merken we op dat voor drie procedures van PHK geldt dat deze ook in Hydra-K gebruikt worden. Het betreft hier GlobalConstants (paragraaf 2.9), InitialiseerGlobalconstants (paragraaf 2.13) en normaliseerhoek (paragraaf 2.14). Verder zijn er twee procedures van PHK, die in grote mate overeenkomen met de dienovereenkomstige procedure uit Hydra-K: PHKHaalWaarnemingen uit PHK (paragraaf 2.6) met Haalwaarnemingen uit Hydra-K en Inifile (paragraaf 2.12). Voor een integratie van PHK met Hydra-K kan hier rekening mee worden gehouden.



## 2 Procedures en functies PHK

In dit hoofdstuk zijn de beschrijvingen van de procedures en functies van PHK opgenomen.

### 2.1 PHK

#### function PHK

Preprocessor voor Hydra-K (PHK).

Dit is het hoofdprogramma om de golfhoogte en de golfpiekperiode te berekenen die de grootste kans van optreden hebben gegeven de windsnelheid / waterstand.

Het aanroepen van deze routine resulteert in het verschijnen van het hoofd-invoerscherm van waar uit de berekeningen worden gemaakt.

```
AANROEP
  PHK
```

#### Externe functies:

- EgPHK Maken van het hoofdscherm van PHK.
- PHKExitFunction De functie die wordt aangeroepen als PHK wordt gestopt.
- GnDispError Haal de echte foutmelding uit een (Matlab-)fout en laat deze zien in een message-box.
- GnRaiseError Het maken van een foutmelding en deze doorgeven aan het systeem.
- InitialiseerGlobalConstants Met deze functie worden de globale constanten geïnitieerd.

### 2.2 PHKBerekenHsTp

#### function PHKBerekenHsTp (Uidata)

Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.

In deze routine worden de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden berekend bij gegeven windsnelheid / waterstand. Zowel de berekening ten behoeve van dijken als de berekening ten behoeve van duinen wordt in deze routine uitgevoerd. Als berekeningen worden uitgevoerd ten behoeve van dijken dan worden de golfhoogte en golfpiekperiode berekend met de grootste kans van optreden gegeven de windsnelheid en de windrichtingssector. Als berekeningen worden uitgevoerd ten behoeve van duinen dan worden de golfhoogte en golfpiekperiode berekend met de grootste kans van optreden gegeven de waterstand voor de omnidirectionele windrichting.

Eerst wordt de statistiek gelezen uit de statistiek bestanden  
 Vervolgens worden de simultane waarnemingen uit de bestanden gelezen.  
 De ingelezen data wordt getransformeerd naar de genormeerde ruimte.  
 In de getransformeerde ruimte wordt de koppeling bepaald tussen golfhoogte enerzijds en windsnelheid / waterstand anderzijds.

Ook de opgegeven windsnelheden / waterstanden worden getransformeerd naar de genormaliseerde ruimte.

Voor de opgegeven getransformeerde windsnelheden / waterstanden worden de getransformeerde golfhoogtes berekend met de grootste kans van optreden.

De berekende getransformeerde golfhoogtes worden teruggetransformeerd naar de werkelijke golfhoogtes

Uit de berekende golfhoogtes wordt ten slotte de golfpiekperiode berekend uitgaande van de machtsrelatie  $T_p = a (H_s \wedge b)$

AANROEP

PHKBerekenHsTp (Uidata)

INVOER

Uidata: Structuur met de door de gebruiker ingevulde waarden  
in het user-interface

### Externe functies:

- GlobalConstants Dit is geen functie, maar bestand met globale constanten.
- PHKDataFromExp2Normal Terugtransformeren van de waterstand, windsnelheid of golfhoogte vanuit de genormeerde ruimte.
- PHKLaadStatistiek Inlezen van de statistische parameters.
- PHKNormaliseerData Transformeren van de waterstand, windsnelheid of golfhoogte naar de genormeerde ruimte.
- PHKHaalWaarnemingen Ophalen van de waarnemingen en bepalen voor elke waarneming in welke windsector deze ligt.

### Deze functie wordt aangeroepen door:

- CbRekenen De callback van de Rekenen-knop.

## 2.3 PHKDataFromExp2Normal

### function X=PHKDataFromExp2Normal(Xslang,StormSectorIndex,WeibullPars)

Terugtransformeren van de waterstand, windsnelheid of golfhoogte vanuit de genormaliseerde ruimte.

Voor berekeningen ten behoeve van duinen wordt deze functie gebruikt om de waterstand en de golfhoogte vanuit de genormeerde ruimte terug te transformeren voor alleen de onmidirectionele windrichting. Voor berekeningen ten behoeve van dijken wordt deze functie gebruikt om de windsnelheid en de golfhoogte vanuit de de genormeerde ruimte terug te transformeren voor alle windrichtingssectoren tegelijk

AANROEP

X=PHKDataFromExp2Normal(Xslang,StormSectorIndex,WeibullPars)

INVOER

Xslang: een vector met genormaliseerde waterstanden, windsnelheden of golfhoogtes

StormSectorIndex: de index van de stormsector, volgt uit de windrichting

WeibullPars: de Weibullparameters voor de waterstand, windsnelheid of golfhoogte. Bij berekeningen ten behoeve van duinen

wordt alleen de onmidirectionele windrichting gebruikt. Bij berekeningen ten behoeve van dijken worden alle windrichtingssectoren tegelijk genormeerd. De Weibullparameters zijn:

omega : de drempelwaarde  
mu : de stormfrequentie  
sigma : de schaalparameter  
alpha : de vorm- of krommingsparameter

UITVOER

X: een vector met waterstanden, windsnelheden of golfhoogtes

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHKBerekenHsTp Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.

## 2.4 PHKLaadStatistiek

**function [Stat] = PHKLaadStatistiek (Locatie)**

Inlezen van de statistische parameters.

In deze routine worden de Weibull-parameters omega, mu, alpha, sigma voor de variabelen waterstand, windsnelheid en golfhoogte ingelezen

AANROEP

[Stat] = StatLaadStatistiek (Locatie)

INVOER

Locatie: de locatie waarvoor de statistiek moet worden bepaald

UITVOER

Stat: een struct-array met de Weibull-parameters voor waterstand, windsnelheid en sign. golfhoogte (allen offshore)

De Weibull parameters zijn:

omega : de drempelwaarde  
mu : de stormfrequentie  
sigma : de schaalparameter  
alpha : de vorm- of krommingsparameter

Deze struct-array bevat zowel de omni-directionele waarden als de waarden per richtingsector (taartpunt).

Ook bevat deze struct-array een vector met hoeken voor de verschillende sectoren (taartpunten) van de wind.

De struct-array is als volgt opgebouwd:

Stat.h.omni	: de omni-directionele Weibull parameters voor de waterstand
Stat.h.matrix	: Weibull-parameters per richtingsector voor de waterstand
Stat.u.omni	: de omni-directionele Weibull parameters voor de windsnelheid
Stat.u.matrix	: Weibull-parameters per richtingsector voor de windsnelheid
Stat.hs.omni	: de omni-directionele Weibull parameters voor de significante golfhoogte

```

Stat.hs.matrix      : Weibull-parameters per richtingsector
                    : voor de significante golfhoogte
Stat.richtingSector : vector met de hoeken voor de verschillende
                    : sectoren van de wind (de bisectrice
                    : van de taartpunt)

```

**Externe functies:**

- GnRaiseError Het maken van een foutmelding en deze doorgeven aan het systeem.
- IniFile Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHKBerekenHsTp Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.

**2.5 PHKNormaliseerData****function Xslang=PHKNormaliseerData (X, StormSectorIndex, WeibullPars)**

Transformeren van de waterstand, windsnelheid of golfhoogte naar de genormaliseerde ruimte.

Voor berekeningen ten behoeve van duinen wordt deze functie gebruikt om de waterstand en de golfhoogte naar de genormeerde ruimte te transformeren voor alleen de onmidirectionele windrichting. Voor berekeningen ten behoeve van dijken wordt deze functie gebruikt om de windsnelheid en de golfhoogte naar de genormeerde ruimte te transformeren voor alle windrichtingssectoren tegelijk

**AANROEP**

```
Xslang=PHKNormaliseerData (X,StormSectorIndex,WeibullPars)
```

**INVOER**

```

X:                een vector met waterstanden, windsnelheden of golfhoogtes
StormSectorIndex: de index van de stormsector, volgt uit de windrichting
WeibullPars:      de Weibullparameters voor de waterstand, windsnelheid
                  of golfhoogte. Bij berkeningen ten behoeve van duinen
                  wordt alleen de onmidirectionele windrichting gebruikt.
                  Bij berekeningen ten behoeve van dijken worden alle
                  windrichtingssectoren tegelijk genormeerd. De
                  Weibullparameters zijn:
                  omega : de drempelwaarde
                  mu    : de stormfrequentie
                  sigma : de schaalparameter
                  alpha : de vorm- of krommingsparameter

```

**UITVOER**

```

Xslang:           een vector met genormaliseerde waterstanden, windsnel-
                  heden of golfhoogtes

```

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHKBerekenHsTp Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.

## 2.6 PHKHaalWaarnemingen

```
function [WaarnData, WaarnStormSectorIndex, WaarnAantalJaren] =
PHKHaalWaarnemingen ( Locatie, Selectiewaarnemingen, RichtingSector )
```

Ophalen van de waarnemingen en bepalen voor elke waarneming in welke windsector deze ligt.

### AANROEP

```
[WaarnData, WaarnStormSectorIndex, WaarnAantalJaren] ...
= PHKHaalWaarnemingen ( Locatie, RichtingSector)
```

### INVOER

Locatie: naam van de locatie, string of cell

Selectiewaarnemingen: criterium voor de selectie van de waarnemingen: zie stap 2 Methode de Haan op basis van de hoogste waterstand of windsnelheid of op basis van de hoogste belasting

RichtingSector: array met de sectorgrenzen (in graden)

### UITVOER

WaarnData: 6 koloms matrix met de gelezen en naar de juiste eenheden omgerekende waarnemingsdata, resp. (waterstand, windsnelheid, golfperiode, polfhoogte, golfrichting, windrichting)

WaarnStormSectorIndex: de sectorindex van de storm (windrichting van de storm)

WaarnAantalJaren: Aantal jaren waarvoor deze waarnemingen gelden (afgerond naar boven)

### Externe functies:

- GlobalConstants Dit is geen functie, maar bestand met globale constanten.
- IniFile Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.
- normaliseerHoek Normaliseert hoek zodanig dat  $0 \leq \text{hoek} < 2 \cdot \pi$ .
- SelecteerMaxima Maak vector met indexen waarvoor geldt dat  $\text{Data}(\text{Maxindex}) = \text{maximum van data voor elke storm}$ .

### Deze functie wordt aangeroepen door:

- PHKBerekenHsTp Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.

## 2.7 SelecteerMaxima

```
function [Maxindex] = SelecteerMaxima (Data, Stormindex)
```

Maak vector met indexen waarvoor geldt dat  $\text{Data}(\text{Maxindex}) = \text{maximum van data voor elke storm}$ .

### AANROEP

```
[Maxindex] = SelecteerMaxima (Data, Stormindex)
```

### INVOER

Data: kolom-vector met waarden

StormIndex: kolom-vector met de index van de storm behorend bij de waarden

**UITVOER**

**Maxindex:** kolom-vector met de indexen in Data waar zich de maximum waarde van elke storm zich bevindt

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- [PHKHaalWaarnemingen](#) Ophalen van de waarnemingen en bepalen voor elke waarneming in welke windsector deze ligt.

## 2.8 File2Cell

**function Cell = File2Cell (Filename)**

Lees een ASCII-bestand en zet inhoud in cell-array.

**AANROEP**

Cell = File2Cell (Filename)

**INVOER**

Filename: naam van de te lezen bestand

**UITVOER**

Cell: cell-array met de inhoud van het bestand

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- [FgZetLabels](#) Het plaatsen van een label, string en/of naam op een control.

## 2.9 GlobalConstants

**This is a script file.**

Dit is geen functie, maar bestand met globale constanten.

Deze constanten worden door Phk slechts eenmaal geïnitieerd en mogen in andere M-files alleen maar gebruikt worden en niet van waarde veranderen.

**AANROEP**

globalconstants

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- [InitialiseerGlobalConstants](#) Met deze functie worden de globale constanten geïnitieerd.
- [PHKBerekenHsTp](#) Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.
- [PHKHaalWaarnemingen](#) Ophalen van de waarnemingen en bepalen voor elke waarneming in welke windsector deze ligt.

## 2.10 GnDispError

**function msg = GnDispError (fout)**

Haal de echte foutmelding uit een (Matlab-)fout en laat deze zien in een message-box.



```

AANROEP
  msg = GnDispError (fout)
INVOER
  fout:      een (matlab)fout (error-functie)
UITVOER
  msg:      de fout zonder de door matlab toegevoegde informatie

```

### Deze functie wordt aangeroepen door:

- [PHK Preprocessor voor Hydra-K \(PHK\)](#).
- [CbRekenen](#) De callback van de Rekenen-knop.

## 2.11 GnRaiseError

### function GnRaiseError (Number, varargin)

Het maken van een foutmelding en deze doorgeven aan het systeem.

```

AANROEP
  GnRaiseError (Number, varargin)
INVOER
  Number:      foutnummer
  varargin:    0,1 of meer argumenten, afhankelijk van de (fout)melding

```

### Externe functies:

- [IniFile](#) Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.

### Deze functie wordt aangeroepen door:

- [PHK Preprocessor voor Hydra-K \(PHK\)](#).
- [PHKLaadStatistiek](#) Inlezen van de statistische parameters.

## 2.12 IniFile

### function varargout = IniFile (Actie, Sectie, Sleutel, Waarde )

Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.  
Deze ini-file voldoet aan de conventies van een windows-ini-file.

```

AANROEP
  varargout = IniFile (Actie, Sectie, Sleutel, Waarde )
INVOER
  Actie:      'LEES', 'SCHRIJF' of 'BEWAAR'
  Sectie:     alleen bij Actie='LEES' of 'SCHRIJF'
              naam van de sectie waaruit gelezen of waarin geschreven
              moet worden
  Sleutel:    alleen bij Actie='LEES' of 'SCHRIJF'
              naam van de sleutel waarvan de waarde moet worden gelezen
              of worden geschreven
  Waarde:     alleen bij Actie='LEES' of 'SCHRIJF'
              bij schrijven de te schrijven waarde, bij lezen de verstekwaarde

```

**UITVOER**

varargout: wordt alleen gevuld bij Actie 'LEES' en bevat dan de gevonden waarde of de opgegeven default-waarde

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- CbOKCancel De callback van de OK- en Cancelknop.
- FgPHK Maken van het hoofdscherm van PHK.
- FgZetLabels Het plaatsen van een label, string en/of naam op een control.
- PHKExitFunction De functie die wordt aangeroepen als PHK wordt gestopt.
- GnRaiseError Het maken van een foutmelding en deze doorgeven aan het systeem.
- PHKLaadStatistiek Inlezen van de statistische parameters.
- PHKHaalWaarnemingen Ophalen van de waarnemingen en bepalen voor elke waarneming in welke windsector deze ligt.

## 2.13 InitialiseerGlobalConstants

**function InitialiseerGlobalConstants**

Met deze functie worden de globale constanten geïntialiseerd.  
Deze functie mag slechts eenmaal worden aangeroepen.

**AANROEP**

```
InitialiseerGlobalConstants
```

**Externe functies:**

- GlobalConstants Dit is geen functie, maar bestand met globale constanten.

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHK Preprocessor voor Hydra-K (PHK).

## 2.14 normaliseerHoek

**function HoekUit = normaliseerHoek ( HoekIn )**

Normaliseert hoek zodanig dat  $0 \leq \text{hoek} < 2\pi$ .

**AANROEP**

```
HoekUit = normaliseerHoek(HoekIn)
```

**INVOER**

HoekIn: kolomvector met hoeken in radialen

**UITVOER**

HoekUit: kolomvector met hoeken in radialen die liggen tussen 0 en  $2\pi$

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHKHaalWaarnemingen Ophalen van de waarnemingen en bepalen voor elke waarneming in welke windsector deze ligt.

## 2.15 CbNuseWI

### function CbNuseWI(ControlHandle)

De callback van de NuseWL-editcontrol.

AANROEP

    CbNuseWl (ControlHandle)

INVOER

    ControlHandle:    handle naar een edit-control

N.B. Wordt aangeroepen als callback van een edit-control vanuit FgPHK!!!

#### Externe functies:

- PHKStateChanged Deze functie zorgt er voor dat de OK- en Rekenenknop alleen maar ge-enabled zijn als dat mag.

## 2.16 CbNWI

### function CbNWI (ControlHandle)

De callback van het 'aantal waterstanden'-editcontrol.

AANROEP

    CbNWI (ControlHandle)

INVOER

    ControlHandle:    handle naar een edit-control

#### Externe functies:

- PHKStateChanged Deze functie zorgt er voor dat de OK- en Rekenenknop alleen maar ge-enabled zijn als dat mag.

#### Deze functie wordt aangeroepen door:

- FgPHK Maken van het hoofdscherm van PHK.

## 2.17 CbNWs

### function CbNWs (ControlHandle)

De callback van het 'aantal windsnelheden'-editcontrol.

AANROEP

    CbNWs (ControlHandle)

INVOER

    ControlHandle:    handle naar een edit-control

#### Externe functies:

- PHKStateChanged Deze functie zorgt er voor dat de OK- en Rekenenknop alleen maar ge-enabled zijn als dat mag.

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- FgPHK Maken van het hoofdscherm van PHK.

**2.18 CbOKCancel****function CbOKCancel (ControlHandle)**

De callback van de OK- en Cancelknop.

AANROEP

CbOKCancel (ControlHandle)

INVOER

ControlHandle: handle naar een pushbutton-control

N.B. Wordt aangeroepen als op het Userinterface de OK of Cancel-knop wordt ingedrukt!!!

**Externe functies:**

- PHKExitFunction De functie die wordt aangeroepen als PHK wordt gestopt.
- IniFile Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.

**2.19 CbRdoDijkenDuinen****function CbRdoDijkenDuinen (ControlHandle)**

De callback van een button van de Dijken/duinen-radio-groep.

AANROEP

CbRdoDijkenDuinen (ControlHandle)

INVOER

ControlHandle: handle naar een pushbutton-control

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- FgPHK Maken van het hoofdscherm van PHK.

**2.20 CbRekenen****function CbRekenen (ControlHandle)**

De callback van de Rekenen-knop.

AANROEP

CbRekenen (ControlHandle)

INVOER

ControlHandle: handle naar een pushbutton-control

N.B. Wordt aangeroepen als op het Userinterface de Rekenen-knop wordt ingedrukt!!!

**Externe functies:**

- GnDispError Haal de echte foutmelding uit een (Matlab-)fout en laat deze zien in een message-box.
- PHKBerekenHsTp Berekenen van de golfhoogte en golfpiekperiode met de grootste kans van optreden.

**2.21 FgKeyPress****function FgKeyPress**

De Keypress-functie van een figuur.

AANROEP

FgKeyPress (is een eigenschap van het figuur)

N.B. Wordt aangeroepen als op het Userinterface een toets wordt ingedrukt!!!

**2.22 FgPHK****function figure = FgPHK**

Maken van het hoofdscherm van PHK.

AANROEP

figure = FgPHK

UITVOER

figure: handle naar het hoofdscherm

**Externe functies:**

- CbNWI De callback van het 'aantal waterstanden'-editcontrol.
- CbNWs De callback van het 'aantal windsnelheden'-editcontrol.
- CbRdoDijkenDuinen De callback van een button van de Dijken/duinen-radio-groep.
- FgZetLabels Het plaatsen van een label, string en/of naam op een control.
- IniFile Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHK Preprocessor voor Hydra-K (PHK).

**2.23 FgZetLabels****function FgZetLabels (ControlHandle, IniSection)**

Het plaatsen van een label, string en/of naam op een control.

AANROEP

FgZetLabels (ControlHandle, IniSection)

INVOER

ControlHandle: handle naar en Matlab Ui-object

IniSection:	Sectie van de ini-file waar de tekst voor de control te vinden is
-------------	---

**Externe functies:**

- FgZetLabels Het plaatsen van een label, string en/of naam op een control.
- File2Cell Lees een ASCII-bestand en zet inhoud in cell-array.
- IniFile Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- FgPHK Maken van het hoofdscherm van PHK.
- FgZetLabels Het plaatsen van een label, string en/of naam op een control.

## 2.24 PHKExitFunction

**function PHKExitFunction**

De functie die wordt aangeroepen als PHK wordt gestopt.

```
AANROEP
    PHKExitFunction
```

**Externe functies:**

- IniFile Met deze functie kan een zgn. ini-file worden gelezen en geschreven.

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- PHK Preprocessor voor Hydra-K (PHK).
- CbOKCancel De callback van de OK- en Cancelknop.

## 2.25 PHKStateChanged

**function PHKStateChanged (Parent)**

Deze functie zorgt er voor dat de OK- en Rekenenknop alleen maar ge-enabled zijn als dat mag.

```
AANROEP
    PHKStateChanged (Parent)
INVOER
    Parent:    handle naar het figuur
```

**Deze functie wordt aangeroepen door:**

- CbNWI De callback van het 'aantal waterstanden'-editcontrol.
- CbNWs De callback van het 'aantal windsnelheden'-editcontrol.
- CbNuseWI De callback van de NuseWL-editcontrol.

## **Deel E Literatuur**

## Literatuurlijst

[Duits, 2004]

Parametrisatie in drie dimensies voor Hydra-K. M.T. Duits. HKV LIJN IN WATER. Lelystad, januari 2004.

[Rosenblatt, 1952]

Remarks on a multivariate transformation. M. Rosenblatt. *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 23, No. 3, September 1952, pag. 470-472.

[De Valk et al., 1997]

Gevoeligheidsanalyse Probabilistische Belastingmodellen en Rekentechnieken; Deelrapport 2: locatie Friesche Zeegat, faalmechanisme Golfoverslag [*HKV-rapport PR089*]. C.F. de Valk, A.C.W.M. Vrouwenvelder, J.M. van Noortwijk, M.T. Duits en M. Kok. HKV LIJN IN WATER, TNO-Bouw en Argoss. Lelystad, december 1997.

[De Valk, 1999]

A semi-parametric method for determining design load values. C.F. de Valk. Argoss. Vollenhove, juni 1999.

[Vreugdenhil et al., 1999]

Rekenmodel Dijkbekleding – Hydra-Q – Deel I: Definitiestudie [*HKV-rapport PR287*]. B.J. Vreugdenhil, M.T. Duits, A. Hoekstra en J.M. van Noortwijk. HKV LIJN IN WATER, augustus 1999.

[Vreugdenhil et al., 2000]

Hydra-K – Functioneel ontwerp [*HKV-rapport PR313*]. B.J. Vreugdenhil, J.M. van Noortwijk en C. de Gooijer. HKV LIJN IN WATER, Lelystad, december 2000.

[Vreugdenhil et al., 2001]

Probabilistische rekenmethode voor het bepalen van ontwerppunten [*HKV-rapport PR375.20*]. B.J. Vreugdenhil, J.M. van Noortwijk en M.T. Duits. HKV LIJN IN WATER, januari 2001.