



Hydraulisch randvoorwaardenboek Vlaamse Kust



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Waterwegen en Zeewezen
Afdeling Waterwegen Kust

Inhoud

Inhoud ii

1	Inleiding	1
---	-----------------	---

Deel I Methodologie

2	Extreme waardeverdelingen op diep water.....	3
2.1	Werkwijze	3
2.1.1	<i>Richtingsafhankelijke statistische analyse van waterstanden.....</i>	<i>4</i>
2.1.2	<i>Bepalen van de opzet.....</i>	<i>4</i>
2.1.3	<i>Methodologie voor de statistische analyse</i>	<i>5</i>
2.1.4	<i>Opstellen extreme waardeverdelingen</i>	<i>6</i>
2.1.5	<i>Onzekerheden op de bekomen verdelingen</i>	<i>7</i>
2.1.6	<i>Extreme waarde verdelingen van de windsnelheid.....</i>	<i>9</i>
2.1.7	<i>Extreme waardeverdeling voor golven.....</i>	<i>13</i>
2.1.8	<i>Relatie golfhoogte – golfperiode</i>	<i>18</i>
2.1.9	<i>Extreme waardeverdelingen van de opzet.....</i>	<i>18</i>
2.1.10	<i>Extreme waarde verdeling van de waterstand.....</i>	<i>20</i>
2.1.11	<i>Samenvattende tabel voor een terugkeerperiode van 1000 jaar</i>	<i>22</i>
3	Extreme waarde verdelingen aan de kust.....	23
3.1	Werkwijze	23
3.2	Vorm Spectra	23
3.3	Inschatten onzekerheden	25
3.4	Piekperiode	26
3.5	Extreme waterstanden aan de Vlaamse Kust.....	27
4	Gebruik van de randvoorwaarden	28
4.1	Duinen	28
4.2	Dijken	28
5	Zeespiegelrijzing.....	30
6	Definities.....	32
7	Referenties	36

Deel II Resultaten

1 Inleiding

Het voorliggend rapport beschrijft de hydrodynamische randvoorwaarden voor de Vlaamse Kust. De methodologie om tot hydrodynamische randvoorwaarden te komen is ontwikkeld door IMDC in het kader van het project “Structureel herstel van de kustverdediging te Oostende en verbetering van de haventoeegang naar de haven van Oostende” in onderaanneming voor Technum NV.

Het eerste deel van het rapport beschrijft de gebruikte methodologie en randvoorwaarden op diep water. Deze randvoorwaarden op diep water zijn door het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout m.b.v. het numerieke golfmodel Swan vertaald naar een reeks uitvoerpunten nabij de kust. Daar worden ze omgezet in extreme waardeverdelingen voor elke lokatie.

In het tweede deel van dit rapport worden de resultaten, de hydrodynamische randvoorwaarden, opgegeven. Voor de Vlaamse Kust is als norm gekozen dat de eerste zeewering bestand moet zijn voor stormen met een terugkeerperiode van 1000 jaar. De eerste zeewering wordt hierbij gedefinieerd als het systeem van stranden, duinen, dijken, kaaimuren dat zeewaarts gelegen is van bewoonde gebouwen.

Deel I Methodologie

2 Extreme waardeverdelingen op diep water

Bij het ontwerp van structuren en bij het voorspellen van de morfologische evolutie zijn drie randvoorwaarden belangrijk: de waterstand, de golven en de wind. De **waterstand** heeft enerzijds invloed op de golfhoogte (vanwege dieptebeperkingen voor de golven), anderzijds bepaalt de waterstand ook het (overslag-)debiet over de dijk.

De **golven** zijn bepalend voor de krachtswerking op structuren (havendam, strand,...).

De **wind** bepaalt het transport van zand op het strand (eolisch transport) en levert energie aan de golven.

Voor de extreme waarden werd eerst een extreme waardeanalyse op diep water (waar de meeste golfgegevens beschikbaar zijn) uitgevoerd. Voor de waterstand werd de tijdreeks van de waarnemingen in Oostende (sinds 1925) geanalyseerd.

De bekomen extreme waarden werden met het door het WLH opgestelde numerieke golfmodel naar de kust vertaald.

Aangezien er geen meetresultaten, maar geëxtrapoleerde extreme waarden worden doorgerekend, moeten bepaalde aannames gemaakt worden voor golfperiode en vorm van het spectrum. Voor de golfperiode wordt uitgegaan van een relatie tussen golfhoogte en golfperiode, voor het spectrum wordt uitgegaan van een typische vorm tijdens een storm (Jonswap). Ook wordt uitgegaan van een eenduidige relatie tussen waterstand en golfhoogte (1 relatie per richting) (bv. bij een 1000 jarige waterstand hoort een 1000 jarige golfhoogte).

2.1 Werkwijze

De extreme waarde analyse gebeurt door de selectie van POT (Peak over Threshold) waarden per windrichting en per ontwerpduur. Er worden per parameter, onafhankelijk van elkaar, POT waarden geselecteerd.

Het is belangrijk om met POT waarden te werken aangezien een marginale kansverdeling teveel nadruk legt op de lagere waarden in de meetreeks. Extreme waardeverdelingen hebben de eigenschap dat ze het gedrag beschrijven van maxima van natuurkundige fenomenen, en worden enkel gefit in de extreme staart van de verdeling, wat de betrouwbaarheid in die zone ten goede komt. Op die manier wordt een verdeling bekomen van de extreme waarden van een bepaalde variabele. Bij marginale kansverdelingen is de fit in de staart van de verdelingen over het algemeen vrij zwak. Zoals de naam laat vermoeden dienen extreme waardeverdelingen opgesteld te worden op basis van extreme waarden, met name piekwaarden (POT waarden) of jaarlijkse maxima. Bij de methode van de jaarlijkse maxima gaat echter heel wat kostbare informatie verloren (in een bepaald jaar kunnen 3 extreme en onafhankelijke stormen voorkomen, terwijl het jaar daarop geen enkele belangrijke storm optreedt). Bovendien kan het gebeuren dat het maximum van het ene jaar en het maximum van het jaar daarop veroorzaakt worden door dezelfde stormachtige periode, zodat deze niet onafhankelijk zijn, met een vertekening van de afgeleide extreme waardenverdeling tot gevolg. Vandaar de keuze voor een extreme waardenanalyse op basis van POT waarden.

Ook is het belangrijk om per windrichting te werken: de constructies (havendam, dijken,...) worden nl. niet aan alle richtingen even sterk blootgesteld.

Voor een ontwerp is het belangrijk om voor verschillende ontwerpduren te werken : sommige constructies zullen tijdens een storm geleidelijk schade oplopen, de ontwerpformules gaan dan bv. uit van een stormduur van 6 uur waarover de golfhoogte gekend moet zijn. Voor overslagdebieten is 6 uur veel te veel aangezien de waterstand na hoogwater snel begint te dalen : enkel het golfklimaat tussen 1 uur voor en 1 uur na hoogwater is belangrijk.

Zeespiegelrijzing is enkel belangrijk voor constructies die niet gemakkelijk aangepast/verhoogd kunnen worden. Bij een strandsuppletie wordt geen rekening gehouden met een zeespiegelrijzing. Bij andere ontwerpen kan er ook aan gedacht worden om dusdanig te ontwerpen dat bij een toekomstige rijzing de constructie gemakkelijk kan verhoogd worden.

Een bespreking van de te verwachten zeespiegelrijzing voor de volgende 50 jaar is toegevoegd.

2.1.1 Richtingsafhankelijke statistische analyse van waterstanden

Het waterniveau is de som van de waterhoogte veroorzaakt door het (astronomisch) getij en door de (scheve) stormopzet. Het is belangrijk deze splitsing door te voeren, aangezien enkel de stormopzet een stochastische parameter is. Daarenboven zullen voor (wind-)richtingen met relatief lage extreme waterstanden geen extreme waarden gevonden kunnen worden indien enkel met de waterstand gewerkt wordt, aangezien de som van opzet en astronomische tijlhoogte te klein is t.o.v. de drempelwaarde (bv. een storm bij doortijl geeft een waterstand die kleiner is dan de waterstand bij springtijl zonder storm). Het is noodzakelijk om per richting de extreme waardeverdeling van de waterstand te kennen. De waterstand is immers enerzijds erg belangrijk voor de hoogte van bepaalde constructies, maar voor constructies die slechts vanuit bepaalde richtingen kunnen aangevallen worden, is de waterstand ook bepalend voor de golven die tot tegen de constructie kunnen komen (doordat ze beperkt worden door de waterdiepte).

Voor de analyse werden volgende stappen uitgevoerd:

- downloaden digitale gegevens bij AWK (waterstanden in Oostende, Zeebrugge en Nieuwpoort)
- verwerken gegevens (windrichting) KNMI (Vlissingen)
- verwerken gedigitaliseerde waterstanden uit de lange reeks (1925 – nu)
- bepalen astronomisch getij, rekening houdende met de zeespiegelrijzing
- een zo volledig mogelijke reeks van stormopzetten in Oostende bepalen (75 jaar) met bijhorende windrichting
- Statistische analyse van de stormopzet per richting m.b.v. de Peak Over Threshold methode (cf §2.1.3)
- Per waterhoogte de kans van voorkomen bepalen. Dit gebeurt door integratie: per (astronomische) hoogwaterstand (met gekende kans van voorkomen), wordt de nodige (scheve) opzet berekend (= verschil tussen beschouwde waterhoogte en astronomische), en de bijhorende kans van voorkomen voor deze opzet. Integratie over alle mogelijke astronomische hoogwaterniveaus geeft de totale kans van voorkomen.

2.1.2 Bepalen van de opzet

Bij de waterstand is het belangrijk om een splitsing aan te brengen tussen het deterministisch te bepalen astronomische deel van het getij en het door wind bepaalde stochastisch deel van de waterstand (de opzet). Dit vanwege het sterke getij (verschil tussen hoogwater bij springtijl en bij doortijl). Bij richtingen waaruit lage opzetten te verwachten zijn (bv. NO) zal zelfs een relatief extreme opzet (bv. 50 cm) meestal niet tot een extreme waterstand leiden. Als bijvoorbeeld deze opzet voorkomt bij een gewoon getij (bv. hoogwaterstand van 4.1 m) levert dit een totale waterstand van 4.6m op, wat overeenkomt met een astronomische hoogwaterstand bij springtijl (zonder storm) en dus niet in aanmerking kan komen als POT waarde. Ook voor richtingen waaruit wel grote opzetten te verwachten zijn, zullen grote stormen die bij doortijl voorkomen relatief lage waterstanden opleveren ten opzichte van kleine stormen die bij springtijl voorkomen.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de rechte en scheve opzet. Onder de rechte opzet wordt het verschil verstaan tussen de werkelijk opgetreden waterstand en het de waterstand ten gevolge van het astronomische getij op hetzelfde moment. Onder scheve opzet wordt het verschil verstaan tussen de opgetreden en voorspelde hoog- en laagwaterstanden. Deze hoeven dus niet op hetzelfde tijdstip plaats te vinden.

Door naar de scheve opzet te kijken wordt impliciet het effect meegenomen dat een maximale opzet niet gelijktijdig met Hoog Water hoeft samen te vallen. Bij het bepalen van de ontwerpconditie geeft dit dus een betere benadering van een extreme opzet.

Voor dit onderdeel van de studie waren gegevens van de afgelopen 75 jaar beschikbaar, te weten:

- uurlijkse waterstandsmetingen voor Oostende voor de jaren 1980 tot en met 2000,
 - gemeten hoog- en laagwaterstanden en tijdstippen voor de jaren 1981 tot en met 2000 en
 - de gemeten hoogwaterstanden en tijdstippen voor de jaren 1925 tot en met 1979.
- De methode om de opzetten te bekomen en te interpreteren, kan als volgt samengevat worden:
1. een getijanalyse van de meetseries levert een set astronomische getijcomponenten;
 2. op basis van de getijcomponenten worden astronomische predicties uitgevoerd;

3. hieruit worden de astronomische hoogwaterstanden en tijdstippen bepaald;
4. de verschillen met de gemeten hoogwaterstanden worden bepaald, d.i. de te gebruiken (scheve) opzet;
5. ten slotte wordt er een statistische analyse uitgevoerd op de scheve opzetten.

2.1.3 Methodologie voor de statistische analyse

De frequentieanalyse wordt toegepast op Peak Over Threshold (POT)-waarden. Een POT waarde is bijvoorbeeld de maximale significante golfhoogte (bepaald over de ontwerpduur) die tijdens een storm bereikt wordt en die hoger is dan een bepaalde drempelwaarde. Op het tijdstip dat dit maximum bereikt is, kunnen ook andere golfkarakteristieken uit de meetreeks afgeleid worden, die horen bij deze POT waarde (bijvoorbeeld de golfperiode, de windsnelheid, ...). Voor elke parameter worden onafhankelijk POT waarden bepaald. De windsnelheid gemeten op het moment dat de golfhoogte een POT waarde is, is niet noodzakelijk zelf een POT waarde. die bij de bepaalde POT waarde (voor golven) hoort, is dus niet noodzakelijk zelf een POT waarde in de windreeks.

Werken met POT waarden geeft de meest nauwkeurige resultaten voor het ontwerp, vermits daar vnl. gewerkt wordt met grote terugkeerperiode, precies het gebied waar een POT-waarden analyse zich afspeelt.

Met behulp van de relaties tussen gemeten parameters (bv. golfhoogtes gemeten door twee verschillende boeien) en de beschikbare tijdreeksen zal een zo volledig mogelijke tijdreeks opgesteld worden voor de wind (snelheid en richting) en de golven (hoogte en periode). Aangenomen wordt dat de golfrichting gelijk is aan de windrichting (wat uit een analyse ook het geval blijkt te zijn).

De procedure voor de statistische analyse wordt hieronder kort geschetst.

1. Aan de hand van opgestelde relaties tussen meetwaarden van verschillende toestellen werden gaten in de tijdreeksen zoveel mogelijk opgevuld om tot een zo compleet mogelijke tijdreeks te komen. Nadien werd nagegaan of de hoeveelheid overblijvende gaten afhankelijk was van het beschouwde seizoen (om vertekening te vermijden) en of er gaten bestaan waarbij extreme waarden vermoed kunnen worden.
2. POT-waarden selectie: alle onafhankelijke maximale waarden werden geselecteerd. Hiertoe werden een aantal onafhankelijkheidscriteria opgesteld. Hierbij is het belangrijk op te merken dat stormen welke niet volledig worden opgemeten, maar waar de piek zich duidelijk aftekent, wel werden meegenomen.
3. Eerste schatting optimale drempel en parameters. Dit gebeurt aan de hand van een aantal QQ-plots, waarbij de optimale drempel (minimale MSE) voor een extreme-waarden verdeling wordt bepaald, en waarbij aan de hand van objectieve visuele criteria (UH-schatter, Hill-schatter) een keuze kan gemaakt worden tussen de Weibull-verdeling en andere extreme-waarden-verdelingen (GEV en GPD), Deze methode werd voorgesteld door Beirlant (Practical Analysis of Extreme Values, 1996).
4. 'maximum likelihood method (MLM)' met variabele drempel rond de eerder gemaakte schatting voor deze drempel => betere schatting voor de gekozen verdeling. Aangezien de schatters bij deze methode voor de Weibull-verdeling niet in een expliciete formule kunnen uitgedrukt worden, werd deze berekend met een gemodificeerde Newton-Raphson-iteratie, zoals ze wordt voorgesteld door Hosking (Maximum Likelihood estimation of the parameters of the extreme-value distribution, 1985).
5. goodness of fit : evaluatie van de verkregen verdeling. Hoewel aannemelijk, is het immers niet zeker dat de Weibull-verdeling in alle gevallen de beste verdeling is (zowel voor wind, golven als opzet). De tests laten dus een waarde-oordeel toe over de keuze van distributie.
 - a. Chi²-test : deze test is gebaseerd op een vergelijking van het aantal geobserveerde en het aantal geschatte events in klassenintervallen
 - b. Kolmogorov-Smirnov test : deze test is gebaseerd op de afwijking tussen de empirische en de theoretische distributiefunctie
 - c. de log-likelihood measure geeft de mogelijkheid om verschillende distributies, welke met de MLM werden gefit, met elkaar te vergelijken.
6. de betrouwbaarheidsintervallen werden verder op basis van een Monte Carlo resampling methode begroot : hierbij worden 10000 kunstmatige POT-waardensets gegenereerd uitgaande van de karakteristieken van de afgeijkte verdeling. Voor elk van deze datasets wordt een nieuwe verdeling afgeijkt, telkens volgens de hoger geschetste

methodologie, waarna de verdeling van de geschatte parameters kan bepaald worden, om op die manier de betrouwbaarheidsintervallen te kennen.

2.1.4 Opstellen extreme waardeverdelingen

In wezen is de hier beschreven methode vrijwel gelijklopend met de methode die momenteel in de hydrologische studies in Vlaanderen wordt toegepast ("algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen", AWZ). De onderstaande uiteenzetting is mede gebaseerd op de ervaringen uit deze 2 studies, en op het theoretische werk van Beirlant (Practical Analysis of Extreme Values, Leuven University Press, 1996).

Het grote voordeel van deze methode berust op het feit dat geen verdeling wordt vooropgesteld. Terwijl bij andere methodes een verdelingsfunctie wordt vooropgesteld en enkel de bij de verdeling horende parameters fungeren als fittingonbekenden, komt er hier als het ware een onbekende bij, nl. het type verdeling.

Hiertoe worden de verschillende mogelijke frequentieverdelingen opgedeeld in klassen. Deze klassen worden dan vertegenwoordigd door een veralgemeende extreme-waarden distributie :

$$G(x) = 1 - \left(1 + \gamma \frac{x - x_t}{\beta} \right)^{-\frac{1}{\gamma}}$$

Die beschrijft de rechterstaart (de extreme waarden) van alle tot die klasse behorende kansdichtheidsfuncties.

De 3 klassen of deelgebieden kunnen onderverdeeld worden op basis van de extreme-waarden index γ , die de vorm van de staart van de veralgemeende extreme-waarden verdeling en bijgevolg van alle marginale verdelingsfuncties uit die klasse bepaalt. Bij stijgende γ wordt de staart van de verdeling zwaarder, wat duidt op een hogere kans van optreden van hoge waarden. Tot de klasse met $\gamma = 0$ (aangeduid als de exponentiële klasse) behoren onder andere de volgende marginale distributies : de exponentiële, de lognormale, de Weibull, de gamma en de Pearson type III verdelingen. De Pareto-klasse ($\gamma > 0$) bestaat onder andere uit de loghyperbolische en de log Pearson type III distributies. Deze laatste klasse betreft extreme-waarden verdelingen met een zware staart, wat zoveel betekent als een grote toename van de bestudeerde grootte bij toenemende terugkeerperiode. Naarmate γ daalt tot 0 wordt de staart van de verdeling lichter, om uiteindelijk voor $\gamma = 0$ een normale tot lichte staart te worden. De 'normale' staart wordt bereikt door de exponentiële verdeling. De exponentiële klasse bevat daarnaast de voor coastal engineering belangrijke Weibull-verdelingen. De staart van deze verdelingen kan beschreven worden aan de hand van de Weibull-index τ . Wanneer $\tau = 1$ is, herleidt de Weibull-distributie zich tot de gewone exponentiële verdeling. Naarmate τ groter dan 1 wordt, zal de staart lichter worden. Men spreekt dan van een super-exponentiële staartverdeling. Naarmate τ kleiner dan 1 wordt, zal de staart zwaarder worden (subexponentieel). Er bestaat dus een tussengebied waar zowel de subexponentiële Weibull-distributie als de Pareto-verdeling de extreme waarden goed kunnen beschrijven.

Tenslotte bestaat de klasse waar $\gamma < 0$ (Beta-verdelingen), waarvoor een maximale extreme waarde bestaat, wat neerkomt op het feit dat de staart naar boven begrensd is. Verdelingen uit deze klasse kunnen verwacht worden bij b.v. dieptelimitatie van de golven, maar zijn eerder zeldzaam (en zullen op diep water waarschijnlijk niet voorkomen).

De kansverdelingfunctie en de daarbij horende parameters worden in verschillende fases bepaald:

- Fase 1: afleiden POT-waarden
- Fase 2: aanmaken QQ-plots
- Fase 3: afleiden van de extreme waarden-index γ en keuze optimale drempel
- Fase 4: afleiden van de andere parameters
- Fase 5: bepalen van de terugkeerperioden

2.1.4.1 Type Weibull verdelingen

In coastal engineering toepassingen wordt voor extreme waarde-verdelingen dikwijls een Weibull-distributie gevonden (uit wat volgt zal blijken dat in deze studie de Weibull verdeling overwegend als

beste verdeling naar voor kwam), waarbij vnl. 2 vormen voorkomen : enerzijds de Weibull-verdeling met 2 parameters (k en u) :

$$P(H > h) = \exp\left(-\left(\frac{h}{u}\right)^k\right) \quad (1),$$

waarbij bij de POT-analyse gewerkt moet worden met de verschoven vorm :

$$P(H > h | h > h_0) = \exp\left(-\frac{h^k - h_0^k}{u^k}\right) \quad (2),$$

en anderzijds de Weibull-verdeling met 3 parameters (k,u en loc) :

$$P(H > h | h > h_0) = \exp\left(-\left(\frac{h - loc}{u}\right)^k\right) \quad (3).$$

Het is deze laatste Weibull-verdeling die werd toegepast in deze studie. Deze keuze kan verantwoord worden op basis van de conclusies van de Working Group on Extreme Wave Statistics in opdracht van de IAHR (International Association for Hydraulic Research), bestaande uit 7 vooraanstaande laboratoria (o.a. HR Wallingford, Delft Hydraulics, USACE, EDF). Deze conclusies werden voorgesteld door van Vledder et al (1994), waarbij de voorkeur werd gegeven voor de Weibull-verdeling met 2 parameters als het gaat om de marginale verdeling, en voor de Weibull-verdeling met 3 parameters als het gaat om de verdeling van POT-waarden. Over de loc-parameter werd voorgesteld deze "somewhat lower but close to the threshold value" te nemen, precies zoals het werd gedaan in deze studie.

Ook PIANC gebruikt de 3-parameter verdeling (PIANC, 1992).

Het is terecht dat de in de studie voorgestelde QQ-plot niet toepasbaar is voor deze Weibull-verdeling met 3 parameters. In de studie werd deze QQ-plot echter gebruikt voor de niet-parametrische schatting van een andere verdeling, nl. de Weibull-verdeling met 2 parameters (vergelijking (1)). Omvorming van de vergelijking (1) levert immers :

$$\ln(-\ln(p)) = k \ln(H) - k \ln(u) \quad (4),$$

hetgeen een rechte vormt in de QQ-plot waarin $\ln(-\ln(p))$ wordt uitgezet t.o.v. $\ln(H)$.

Bevestiging van de Weibull-verdeling met 3 parameters werd in de studie niet gedaan op basis van een QQ-plot. Wanneer men dat wel zou willen doen, dient hiervoor een andere QQ-plot te worden gemaakt, met name :

$$\ln(-\ln(p)) = k \ln(H - loc) - k \ln(u) \quad (5),$$

waarin $\ln(-\ln(p))$ dus wordt uitgezet t.o.v. $\ln(H - loc)$.

2.1.5 Onzekerheden op de bekomen verdelingen

Bij de afijking van extreme-waarden verdelingen kunnen op 3 niveau's onzekerheden voorkomen :

1. De onzekerheid van de sample : wanneer men 20 jaar gegevens heeft (b.v. 1980-2000), dan zien die gegevens er uiteraard anders uit dan een andere 20-jarige sample (b.v. 1960-1980). Nochtans moet de uiteindelijke afgeijkte verdeling de meest waarschijnlijke verdeling geven, dus voor elke 20 jaar die zou kunnen voorkomen. Het is vooral deze onzekerheid die steeds in rekening wordt gebracht bij de berekening van de betrouwbaarheidsintervallen. Men poogt deze betrouwbaarheidsintervallen te begroten door een groot aantal keer nieuwe samples te selecteren uit de gegevens, en telkens een nieuwe verdeling af te ijken. 3 resampling-methodes worden courant gebruikt : jacknife (gebruikt in de studie), Monte Carlo (getest in de studie) en bootstrap (niet gebruikt). De eerste twee geven meestal gelijkaardige resultaten, de bootstrap methode geeft nu eens bredere, dan weer nauwere grenzen volgens de literatuur. Bootstrap wordt aanbevolen bij kleinere datasets.

2. De onzekerheid van de keuze van het type van de verdeling : deze onzekerheid werd geminimaliseerd door uit te gaan van de conclusies van de Working Group on Extreme Wave Statistics in opdracht van de IAHR. Deze conclusies werden voorgesteld door G. van Vledder en Y. Goda in 1994, waarbij de voorkeur werd gegeven voor de Weibull-verdeling met 2 parameters als het gaat om de marginale verdeling, en voor de Weibull-verdeling met 3 parameters als het gaat om de verdeling van POT-waarden. In de studie werd dus uitgegaan van de 3-parameter Weibull verdeling. Deze verdeling bleek te resulteren in de nauwste betrouwbaarheidsintervallen. Het is niet duidelijk of deze onzekerheid cijfermatig kan begroot worden, vermits hiertoe een groot aantal verdelingen zou

moeten afgeijkt worden (resultierend in een waaier met een bepaalde spreiding), terwijl men juist weet dat er slechts 1 verdeling de (vermoedelijk) juiste is. Er zit dus een contradictie in het feit dat men andere verdelingen zou onderstellen - resultierend in bredere betrouwbaarheidsgrenzen - om een onzekerheid te schatten terwijl men heel goed weet dat die andere verdelingen veel onzekerder zijn, omdat zij net een breder betrouwbaarheidsinterval hebben.

Overigens werd telkens een 3-parameter Weibull, een 2-parameter Weibull, een Pareto en een exponentiële verdeling in overweging genomen !

3. De onzekerheid van de parameters van de gekozen verdeling : dit gebeurt met de analytische Maximum Likely-hood-methode. Hierdoor wordt de fout op de vorm- en de schaalfactor geminimaliseerd, en men kan aannemen dat de onzekerheid hier verwaarloosbaar wordt t.o.v. deze uit (1). De loc-parameter wordt hier opnieuw zodanig bepaald dat de betrouwbaarheidsintervallen minimaal worden, zodat opnieuw dezelfde redenering als in (2) kan aangehaald worden.

De loc-parameter bleek telkens dicht bij de drempel te liggen, overeenkomstig de conclusies van het IAHR : "somewhat lower but close to the threshold value".

De onzekerheid op de basisgegevens bedraagt voor de golfhoogte ongeveer 5 a 10 % voor de golfhoogte. In ons geval leidt dit tot onzekerheden in de orde van grootte tussen 30 en 60 cm (dus geschat 50 cm). De onzekerheid op de extreme waardeverdeling bedraagt echter in de orde van grootte 100 cm, waardoor de bijdrage van de meetfout te verwaarlozen is ($\sqrt{50^2+100^2}=111$ cm). De onzekerheid op de waterstandsmeting is te verwaarlozen en de onzekerheid op de windsnelheid blijkt voor de golfhoogte geen belangrijke onzekerheid te veroorzaken, waardoor de onzekerheid (binnen zekere grenzen) van de windsnelheid van minder belang is.

2.1.5.1 Resultaten op diep water

Onderstaande paragrafen geven zowel voor windsnelheid, golfhoogte als opzet/waterstand de extreme waardeverdelingen. Deze geeft de kans dat een bepaalde waarde overschreden wordt, indien geweten is dat het een POT is (dus dat de drempel overschreden is ($P(H>h|h>h_0)$)).

De terugkeerperiode van h is dus $1 / (P \text{ maal het aantal POT waarden in een jaar})$. Het aantal POT waarden per jaar (of dus de frequentie van voorkomen van POT's) is het aantal geselecteerde POT waarden in de tijdreeks, gedeeld door het aantal jaren in die tijdreeks. Deze getallen zijn ook getabelleerd.

Daarnaast wordt de piekperiode die hoort bij de extreme golfhoogte bepaald.

2.1.6 Extreme waarde verdelingen van de windsnelheid

2.1.6.1 Inleiding

Er worden per richting POT waarden geselecteerd. Per storm kunnen dus meerdere POT waarden voorkomen. Dit is gebeurd om te vermijden dat als de wind voor een bepaalde richting nooit of zelden zijn maximale snelheid bereikt (dus de maximale windsnelheid gedurende een storm komt altijd voor bij andere richtingen dan de beschouwde richting), de extreme waarde verdeling voor deze richting lage waarden zal opleveren. Indien nu de golven wel hun maximum bereiken bij deze richting, dan wordt bij het doorrekenen van de golven van diep naar ondiep water, een onrealistisch lage windsnelheid opgelegd bij deze golven. Om dit te vermijden werd dus per richting een maximum gezocht. Dit leidt tot conservatieve waarden.

Om in alle richtingssectoren voldoende POT-waarden te kunnen selecteren is het van groot belang de selectiecriteria zo mild mogelijk te maken, erover wakend dat de geselecteerde waarden zeker onafhankelijk zijn.

Palutikof (ref. Palutikof 1999) komt tot het besluit dat voor het afijken van een extreme-waarden verdeling de minimale tijdspanne tussen 2 POT-waarden 48 uur moet bedragen. In dat geval is het aantal geselecteerde maxima voor sommige (oostelijke) sectoren te klein. Daarom zal een kortere minimale tijdspanne gekozen worden, zodat toch voldoende POT-waarden geselecteerd worden in elke sector, en waarbij ervoor gezorgd wordt dat per sector alle POT-waarden minimaal 48h uit elkaar liggen. Op die manier wordt de onafhankelijkheid per richtingssector verzekerd, waar ze ook vereist is. De omnidirectionele verzameling van POT-waarden is in dit geval niet onafhankelijk, maar dat is strikt genomen ook niet vereist, vermits er geen frequentie-analyse wordt gedaan van deze verzameling als geheel. Meer concreet komt het op het volgende neer : door een kleinere minimale tussentijd te nemen is het mogelijk dat 2 POT-waarden gedurende één fysische storm worden geselecteerd, maar enkel en alleen als deze extrema bij verschillende richtingen voorkomen. Het gaat dus om een storm met 2 maxima bij een verschillende richting. Het is dus in elk geval veilig met beide extrema rekening te houden. Indien 1 van beide zou weggelaten worden t.g.v. het strenge onafhankelijkheidscriterium, wordt in feite gesteld dat die storm niet is voorgekomen, wat een onveilige aanname kan zijn. Volgens Smits (ref. Smits 2001b) is de gemiddelde duur van een windstorm boven 10 m/s – de in deze studie gekozen minimale drempel, zie verder – ongeveer 25 uur in Vlissingen. Het is duidelijk dat dit dan ook een goede waarde is voor de minimale tussentijd van de omnidirectionele POT-waarden.

Het tweede criterium voor de POT-selectie wordt gevormd door de minimale drempel. Smits (ref. Smits 2001b) neemt hiervoor 15 m/s, waarbij hij stelt dat deze drempel lager mag zijn, maar zeker groter moet blijven dan 4 m/s, omdat onder deze drempel de windsnelheden vertekend kunnen zijn t.g.v. de traagheid van de anemometer). Om voldoende POT-waarden te selecteren wordt de gesuggereerde drempel van 15 m/s verlaagd tot 10 m/s.

Er is vrijwel geen seizoensvariatie te bespeuren in het aantal gaten van de gevalideerde datareeksen. Aan elke POT-waarde wordt een richting toegekend op basis van de gemiddelde windrichting over een periode gelijk aan de beschouwde ontwerpduur (15 min, 2h en 6h).

2.1.6.2 Resultaten

De onderstaande tabellen geven voor de belastingsduren 15', 2h en 6h per richting de parameters van de afgeijkte Weibull en exponentiële verdelingen (die als beste verdelingen naar voorkwamen uit de

analyse), volgens de volgende vergelijking van de kans van overschrijden van de windsnelheid w (POT):

$$P(W > w | w > w_0) = \exp\left(-\left(\frac{w - loc}{u}\right)^k\right)$$

(met w_0 de drempel)

Verder geven de tabellen een aanduiding van het aantal POT-waarden per richting (boven de optimale drempel), en de windsnelheid (in m/s) met terugkeerperiode 1000 jaar, berekend volgens de corresponderende verdeling. Deze waarde moet als volgt begrepen worden: het is de windsnelheid die gemiddeld eens in 1000 jaar zal voorkomen uit die betrokken richtingssector (dus de snelheid overschrijden EN uit die richting komen). Of: in 1000 jaar zal gemiddeld 1 keer een windvlaag uit die richting komen met die bepaalde snelheid, los van het feit of in diezelfde 1000 jaar dezelfde windsnelheid ook nog kan voorkomen uit andere richtingen. Deze verdelingen zijn nodig voor de vertaling van het golfklimaat naar de kust met SWAN. De windsnelheid die eens om de 1000 jaar voorkomt, voor gelijk welke richting, zal dus hoger liggen dan alle waarden die in de tabel voorkomen.

15'	lengte tijdreeks	18.5	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	w bij 1000 j
NO	Weibull	3.67	1.267	10.65	10.75	296	32.67
NNO	Weibull	3.148	1.173	11.35	11.39	251	32.84
N	Weibull	3.447	1.177	10.35	10.35	287	34.00
NNW	Weibull	3.608	1.213	11.79	11.83	247	34.87
NW	Weibull	2.948	1.122	14.3	14.3	176	35.53
WNW	Weibull	2.571	1.038	17.26	17.29	95	37.57
W	Weibull	3.284	1.126	15.19	15.191	201	38.97

2h	lengte tijdreeks	18.2	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	w bij 1000 j
NO	Weibull	2.199	1.121	13.189	13.19	109	28.33
NNO	Weibull	2.377	1.075	12.38	12.38	128	30.46
N	Weibull	2.593	1.122	13.525	13.55	71	30.57
NNW	Weibull	2.46	1.122	13.71	13.71	119	30.77
NW	Weibull	2.735	1.252	14.46	14.46	119	29.98
WNW	Weibull	2.559	1.109	14.869	14.87	148	33.43
W	Weibull	3.281	1.194	14.4	14.49	188	35.53

6h	lengte tijdreeks	18.145	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	w bij 1000 j
NO	Weibull	2.357	1.185	12.32	12.41	104	26.88
NNO	Weibull	2.926	1.231	10	10.09	181	27.76
N	Weibull	2.816	1.205	12.3	12.43	78	28.71
NNW	Weibull	2.183	1.076	13.94	13.98	79	29.68
NW	Weibull	2.918	1.282	12.7	12.77	153	28.95
WNW	exponentieel	1.869	1	15.1	15.1	109	31.36
W	Weibull	2.184	1.03	16.28	16.35	85	33.63

Tabel 2-1 parameters voor de extreme waardeverdelingen van de windsnelheid

Voorbeeld

Gevraagd de 1000jarige windsnelheid uit het Noorden (voor een duur van 2 uur).

De frequentie van voorkomen van POT waarden in een jaar (p_{POT}) is 71/18.2

De gevraagde kans/frequentie is $p=1/1000$

Dus

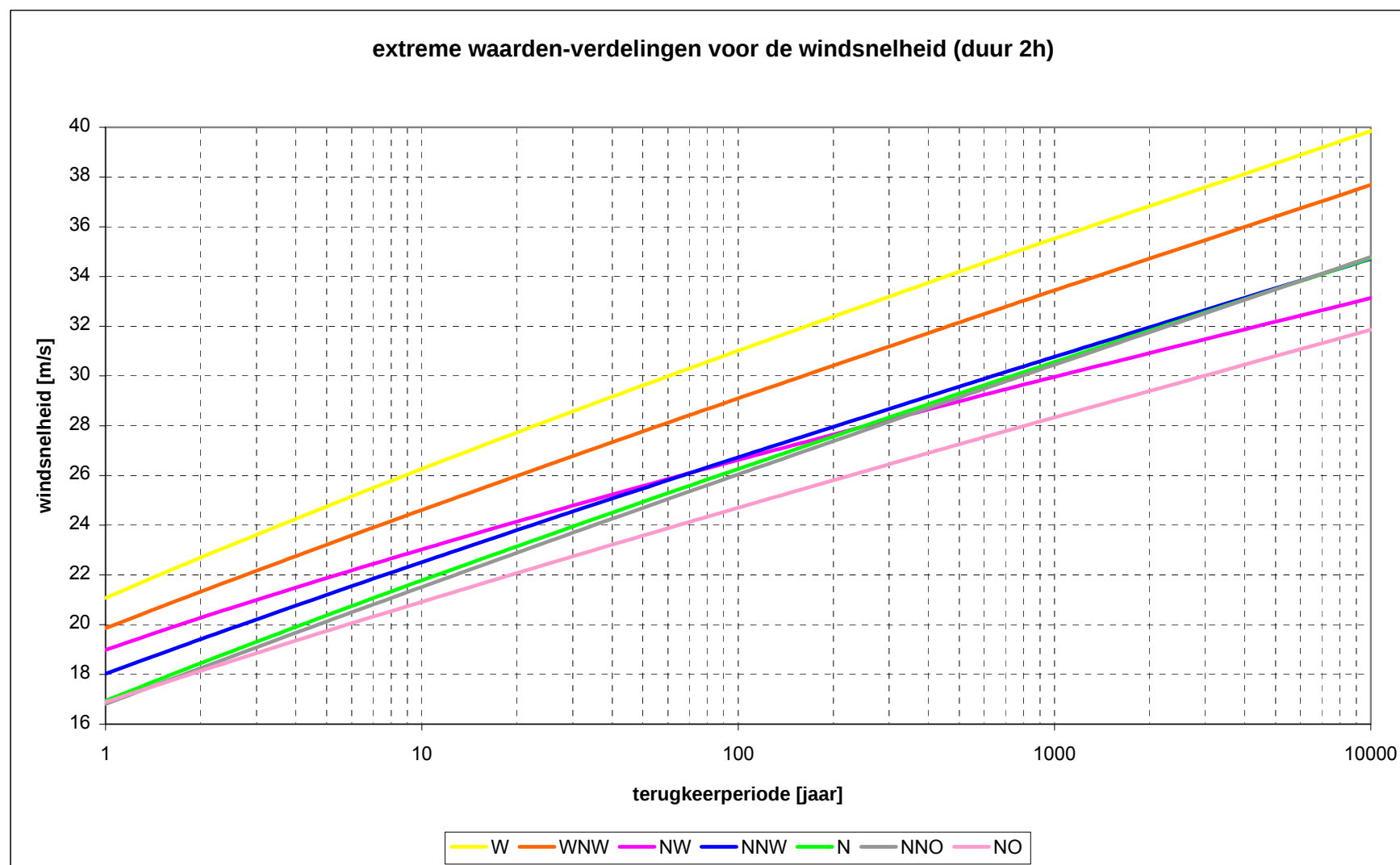
$$p = \frac{1}{1000} = p_{POT} \times p(W > w | w > w_0)$$

$$\Rightarrow p(W > w | w > w_0) = \frac{1}{1000} \frac{18.2}{71}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{1000} \frac{18.2}{71} = \exp\left(-\left(\frac{w - loc}{u}\right)^k\right) = \exp\left(-\left(\frac{w - 13.525}{2.593}\right)^{1.122}\right)$$

Of $w=30.57$

De afgeijkte verdelingen staan voor een duur van 2h samengevat in onderstaande figuur :



Figuur 2-1 extreme waardeverdelingen van de windsnelheid voor een duur van 2 uur.

2.1.7 Extreme waardeverdeling voor golven

2.1.7.1 Inleiding

Voor de golven werd er wel eerst een maximum bepaald per storm, en daarna de bijhorende richting afgelezen (richting die op het moment van het maximum voorkomt). Voor een duur van 2 uur bekomt men dan een moment t , waarop de tijdserie (met waarden om de 15 minuten) van lopende gemiddelden over een interval van 2 uur een piek vertoont. De richting werd in die tijdserie ook bepaald door lopende gemiddeldes van de richting. De richting op moment t is dus de gemiddelde richting tussen $t-1h$ en $t+1h$.

Op die manier werden per belastingsduur een groot aantal POT-waarden geselecteerd :

belastingsduur	aantal POT-waarden
15'	523
2h	407
6h	332

We verwijzen naar de selectie van onafhankelijke extreme windsnelheden voor wat betreft het minimale tussentijd onafhankelijkheidscriterium van de POT-selectie. Omdat golfontwikkeling en windsnelheid grootheden zijn die fysisch nauw verbonden zijn, gelden hier dezelfde principes, en lijkt het aangewezen hetzelfde scheidingscriterium te gebruiken : per richting bedraagt de minimale tussentijd 48 uur. Als minimale drempel werd een golfhoogte van 250 cm gehanteerd.

Er is vrijwel geen seizoensvariatie te bespeuren in het aantal gaten van de gevalideerde datareeksen.

2.1.7.2 Resultaten

De onderstaande tabellen geven voor de belastingsduren 15', 2h en 6h per richting de parameters van de afgeijkte Weibull-verdelingen van de significante golfhoogte H_s , volgens de volgende vergelijking :

$$P(H_s > hs | hs > hs_0) = \exp\left(-\left(\frac{hs - loc}{u}\right)^k\right)$$

(met hs_0 de drempel)

Verder geven de tabellen een aanduiding van het aantal POT-waarden per richting (boven de optimale drempel), en (ter illustratie) de golfhoogte (in cm) met terugkeerperiode 1000 jaar, berekend volgens de corresponderende verdeling. Deze waarde moet als volgt begrepen worden : het is de golfhoogte die gemiddeld eens in 1000 jaar zal voorkomen uit die betrokken richtingssector. Of : in 1000 jaar zal gemiddeld 1 keer een golf uit die richting komen met die bepaalde hoogte, los van het feit of in diezelfde 1000 jaar dezelfde golfhoogte ook nog kan voorkomen uit andere richtingen. Voor de vertaling van het golfklimaat naar de kust zal gewerkt worden in richtingssectoren, telkens gebruik makende van die specifieke verdeling.

15'	lengte tijdreeks	15.94	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	H_s bij 1000 j
NO	Weibull	68.945	1.176	255	256.05	23	628
NNO	Weibull	59.469	1.004	250.35	250.36	29	693
N	Weibull	67.483	1.228	299.35	299.36	17	627
NNW	Weibull	88.682	1.339	255.98	255.98	41	669
NW	Weibull	59.943	1.23	301.2	302.35	31	612/676*
WNW	Weibull	62.827	1.017	300	302	25	747
W	Weibull	80.135	1.179	270	272.66	32	718

2h	lengte tijdreeks	15.81	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	Hs bij 1000j
NO	Weibull	52.036	1.038	248.5	252.34	18	589
NNO	Weibull	43.323	0.933	251	251.23	21	610
N	Weibull	70.882	1.262	259	263.06	26	605
NNW	Weibull	79.757	1.331	248	252.72	34	617
NW	Weibull	30.956	0.979	308.1	308.1	19	537/615*
WNW	Weibull	56.727	1.015	273.82	273.83	31	691
W	Weibull	67.415	1.09	270	270.02	23	687

6h	lengte tijdreeks	15.59	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	Hs bij 1000j
NO	Weibull	45.126	1.02	254	256.39	15	552
NNO	Weibull	42.601	1.017	251.23	251.23	15	535
N	Weibull	83.772	1.537	240	253.57	23	545
NNW	Weibull	43.607	1.035	293.2	293.29	22	589
NW	Weibull	25.856	0.911	286	287.23	20	510/584*
WNW	Weibull	55.354	1.032	262	263.78	30	655
W	Weibull	56.361	1.062	299	302.07	14	642

Tabel 2-2 Parameters van de extreme waardeverdelingen voor de golfhoogte

* noot bij Tabel 2-2

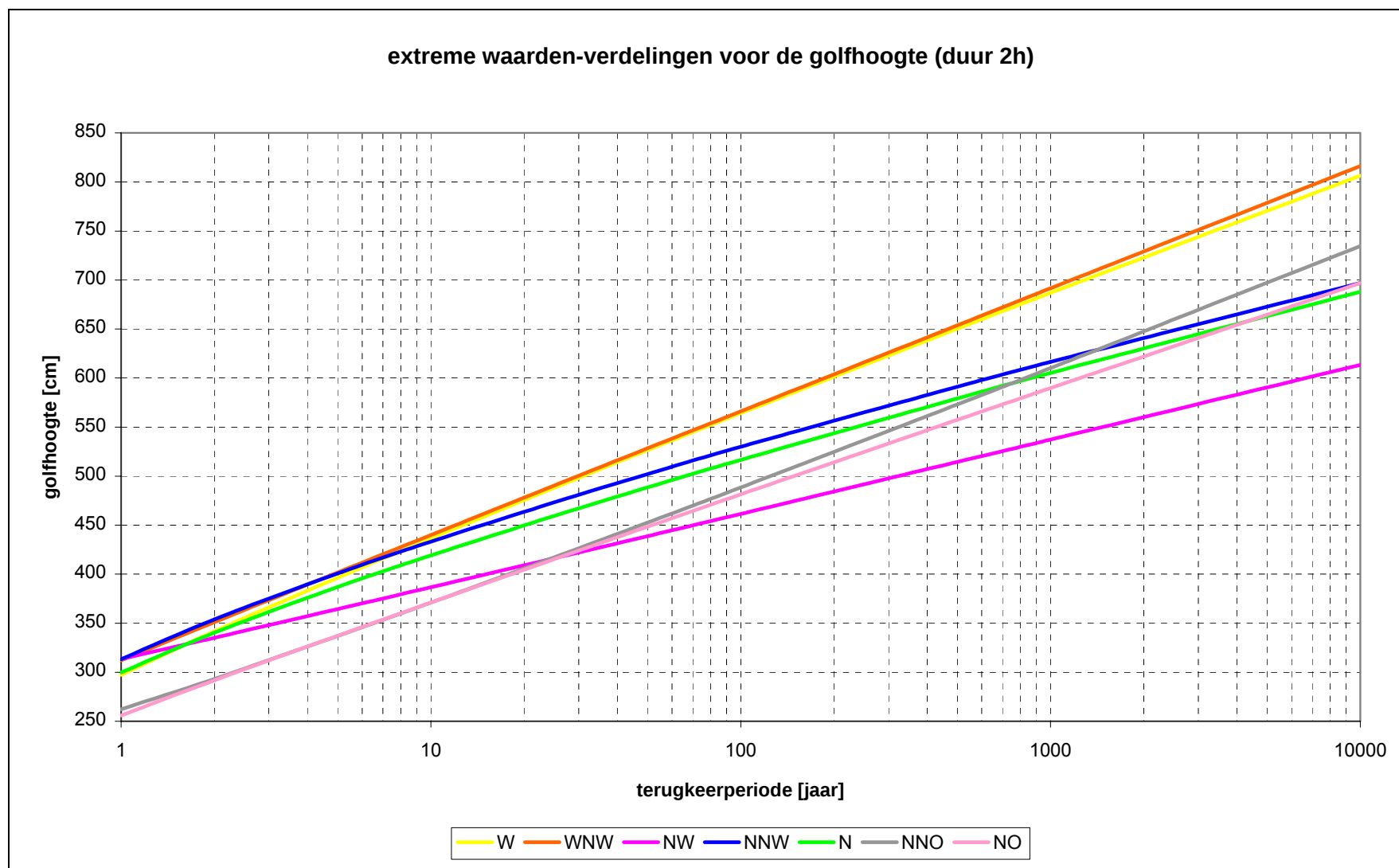
Op te merken valt dat de NW richting een duidelijk lagere golfhoogte geeft dan zijn naburige richtingen. Dit wijst er niet op dat uit deze richting geen hoge golven komen, maar wel dat de golfhoogte tijdens een storm zelden zijn maximum bereikt op het moment dat de richting NW is, maar wel bij een richting NNW of WNW. Hetzelfde fenomeen werd vastgesteld door AWK, gebaseerd op de Wavec data. (AWK, 2001). Hier worden twee types stormen onderscheiden: stormen met richting NNW-N-NNO en stormen met richting ZW, WZW en W.

De richting NW is de richting die het meest afgeschermd wordt door Engeland (de dichtste afstand tot Engeland is weliswaar in de westelijke richting, maar het Kanaal en het Thames estuarium bieden hier voldoende fetchlengte). Een tweede mogelijke verklaring is de weliswaar kleine dip voor de windsnelheid uit NW richting, bij duren van 2 en 6 uur (kortere duur is niet relevant voor de golfhoogte). (merk op dat de POT-waarde selectie voor wind anders was dan voor golven, voor wind werd er per richting een POT-waarde geselecteerd, voor golven werd eerst per storm een POT-waarde geselecteerd en werd dan de richting op het overeenkomstige moment afgelezen).

Gezien de verschillen tussen de NW richting en zijn buurrichtingen erg groot zijn, en de fysische verklaring meer onderzoek behoeft, werd door de opdrachtgever en zijn experts gevraagd een smoothing toe te passen. Dit heeft wel als nadeel dat de golfhoogte voor de richtingen NNW en WNW zal dalen, alhoewel ze mogelijk toch correct is. Daarom werd een smoothing toegepast, maar worden de nieuwe waarden enkel voor de NW richting gebruikt. De smoothing wordt bekomen door de waarde te vervangen door het rekenkundig gemiddelde van de waarde en zijn twee buurwaarden (dus WNW, NW en NNW).

De aangepaste waarde zijn ook opgenomen in de tabel.

De afgeijkte verdelingen staan samengevat in onderstaande figuren, respectievelijk voor de belastingsduren 2h, 6h en 15' :



Figuur 2-2 Extreme waardeverdelingen van de golfhoogte

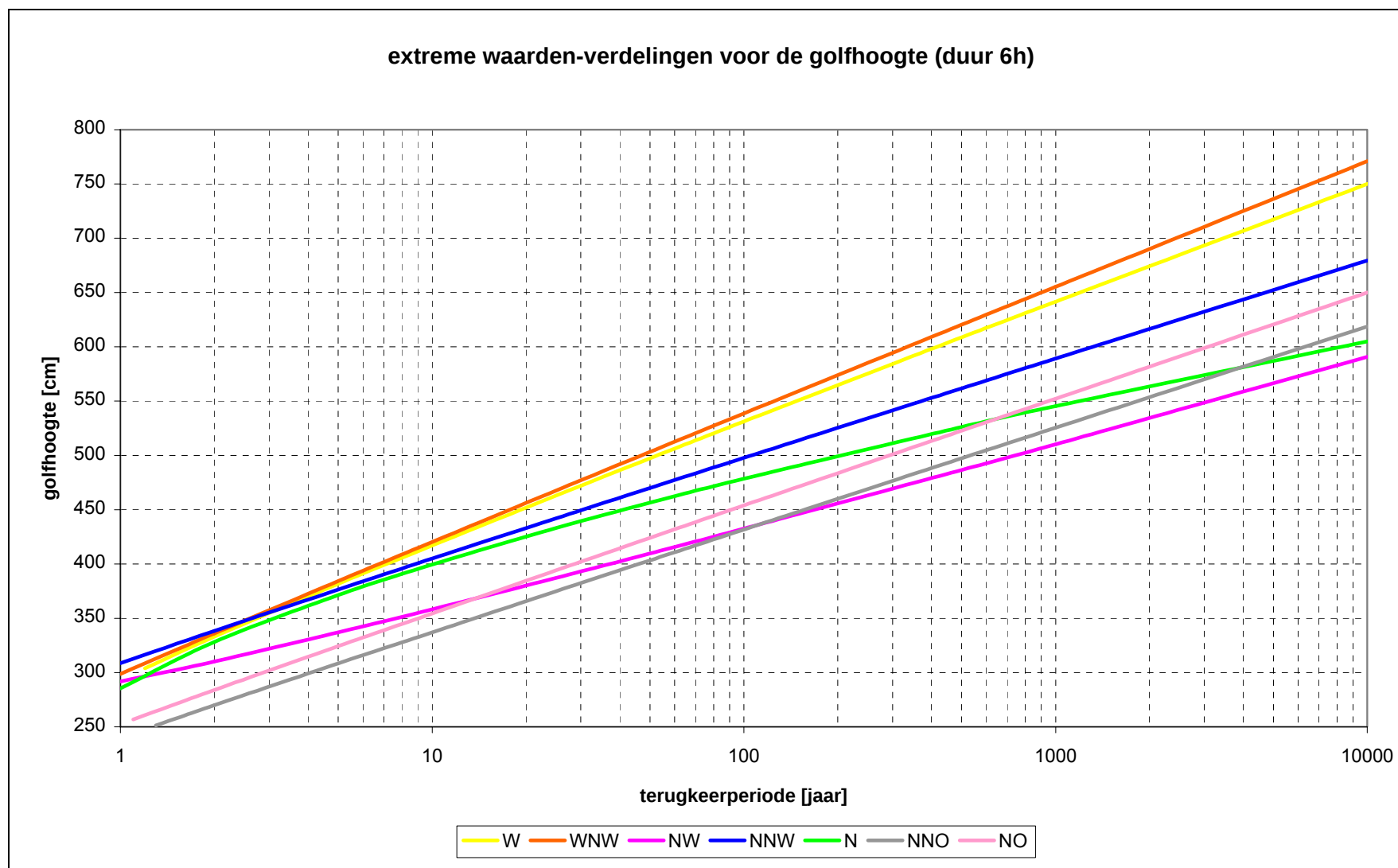


Figure 2-3 : Extreme waardeverdelingen van de golfhoogte (duur 6 uur)

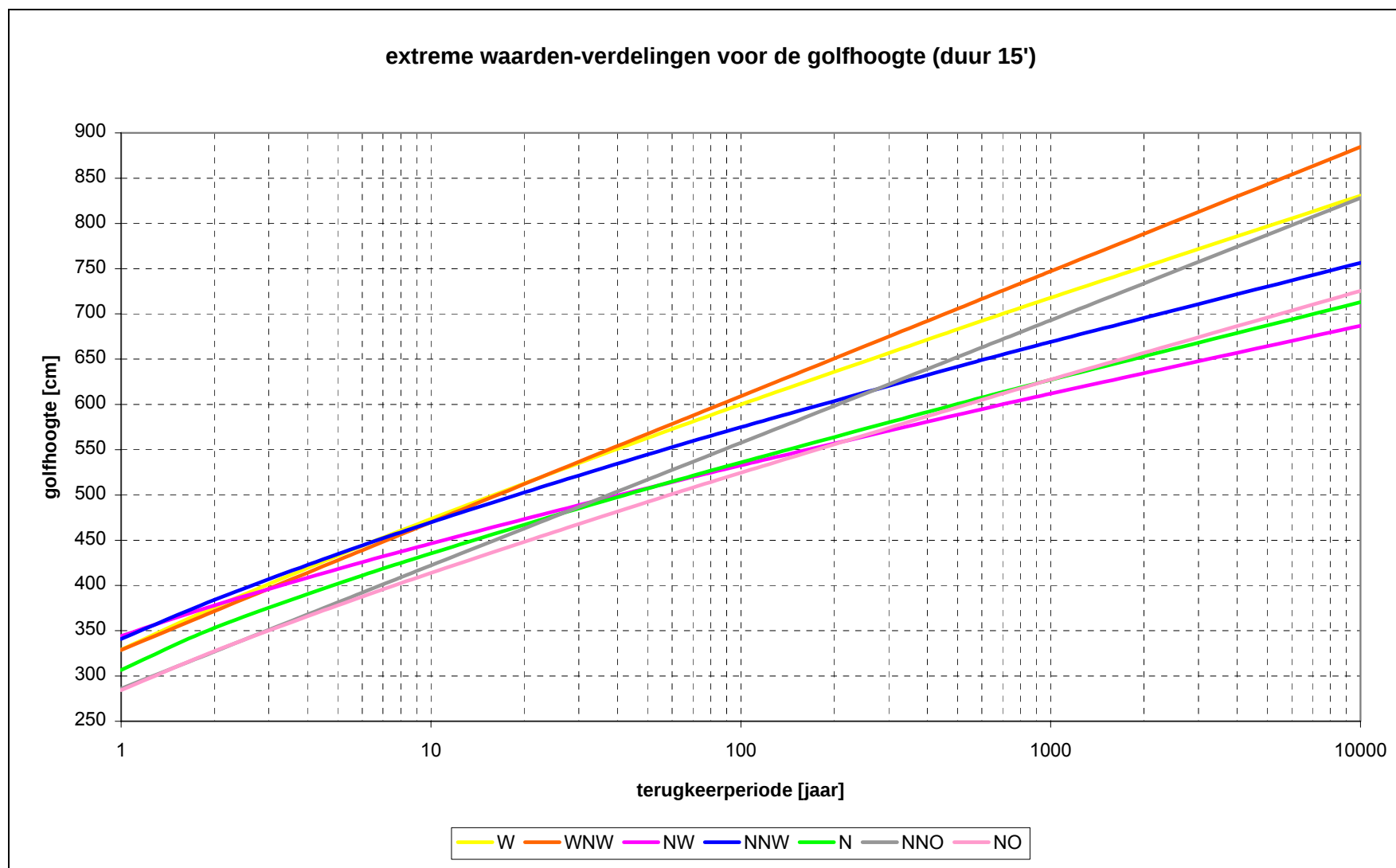
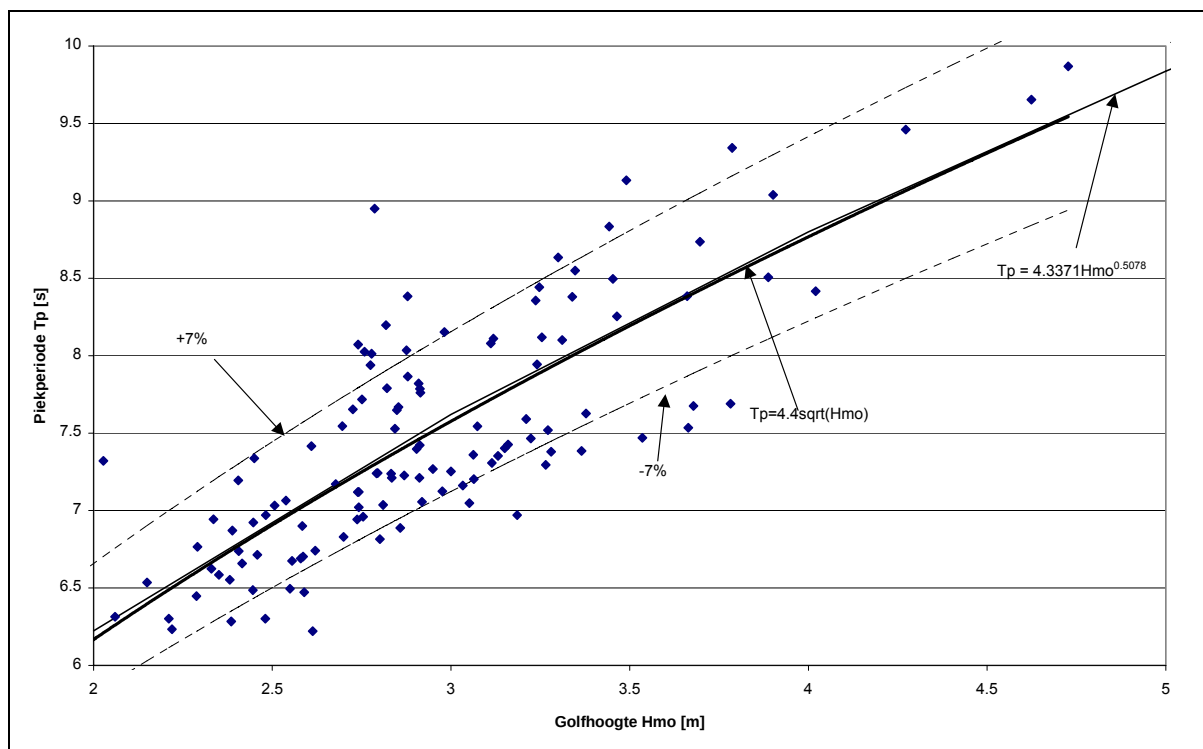


Figure 2-4 : Extreme waardeverdelingen van de golfhoogte (duur 15')

2.1.8 Relatie golfhoogte – golfperiode



Figuur 2-5 Relatie tussen Hmo en Tp voor de periode 1995 – 2001 (POT waarden Akkaert)

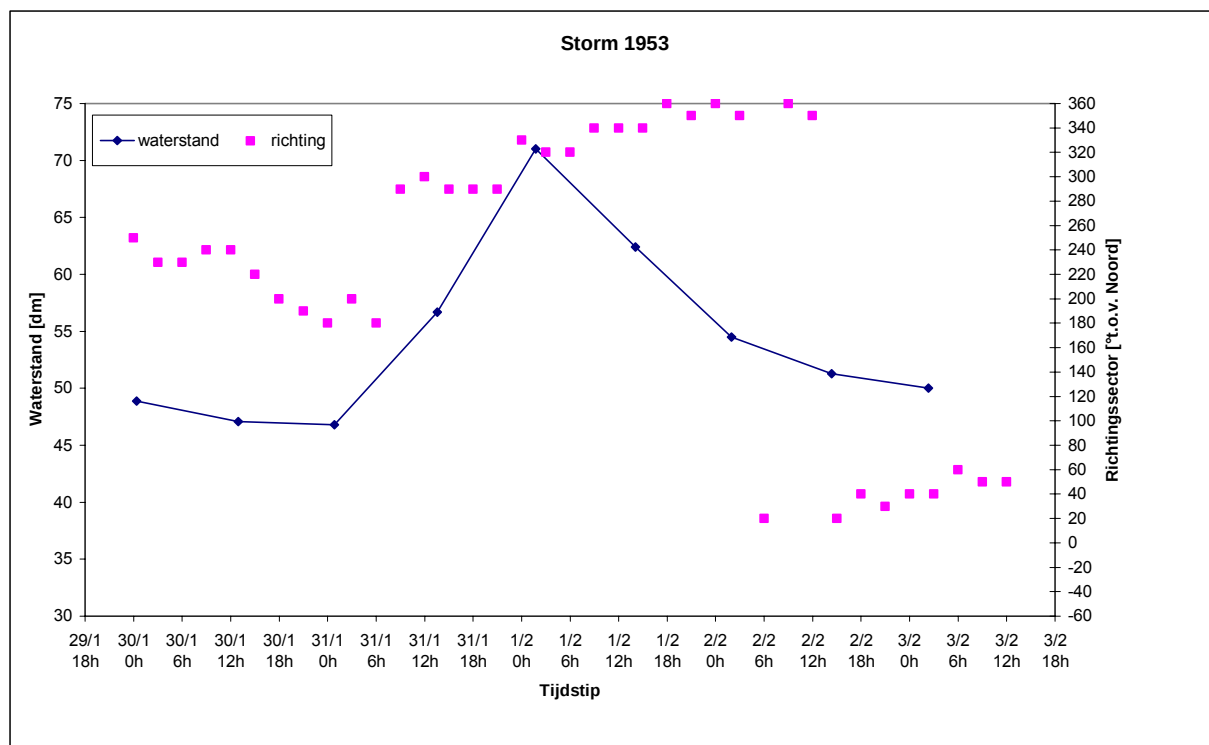
De relatie tussen golfhoogte en piekperiode werd afgeleid uit de meetreeks (1995 – 2001) van de Waverider aan de Akkaertbank. Volgende relatie werd gevonden $T_p = 4.4\sqrt{H_{m0}}$

2.1.9 Extreme waardeverdelingen van de opzet

2.1.9.1 Inleiding

Bij elke POT waarde hoort 1 windrichting. Deze werd bepaald door op het moment van voorkomen van de POT waarde, de windrichting af te lezen uit de windgegevens. Hiervoor werden voor de periode 1925 – 1959 de gewogen daggemiddelde gegevens van Vlissingen gebruikt. Vanaf 1959 betrof het uurgemiddelde gegevens. Aangezien het voorkomen van opzet een relatief traag proces is (orde van grootte enkele dagen, met een kern van 1 dag), is de windrichting die voorkomt net op het moment van hoogwater eigenlijk nogal willekeurig. Indien het astronomisch hoogwater zich 5 uur eerder had voorgedaan, had de opzet (en dus de waterstand) waarschijnlijk ongeveer even hoog geweest, maar was de windrichting misschien 30 graden gedraaid. Daarom werd besloten per richting ook de buurrichtingen in beschouwing te nemen. Dus alle POT waarden van de betreffende richting en de naburige richtingen werden beschouwd omdat de POT waarde uit de buurrichting eigenlijk ook had kunnen voorkomen bij de beschouwde richting.

Het nut kan getoond worden aan de hand van de storm van 1953. Het is namelijk zo dat de wind tijdens deze extreme storm op 10 uur draait over een hoek van 50° (dit is meer dan 2 richtingssectoren) en op 3 uur over 30° (zie onderstaande figuur). Deze laatste richtingen zullen een grote invloed hebben op de berekening van de richting die hoort bij de POT-waarde, terwijl deze eigenlijk niet verantwoordelijk is voor die grote opzet.



Figuur 2-6 Stormverloop 1953

Bovendien zou bij het toekennen van 1 windrichting aan elke storm, de extreme storm van 1953, die bepalend is voor de extreme-waarden verdeling, ertoe leiden dat 1 richtingssector een veel zwaardere staartverdeling zal krijgen dan de naburige richtingssectoren, terwijl deze storm uiteraard net zo goed uit de naburige sectoren had kunnen komen.

Dus worden de extreme-waarden analyses op de uitgebreide richtingssector uitgevoerd (3 keer $22.5^\circ \Rightarrow$ richtingssectoren met een opening van 67.5°). Vervolgens dienen de verdelingen herleid te worden naar smalle richtingssectoren van 22.5° (deling van de overschrijdingsfrequenties door 3).

We verwijzen naar de selectie van onafhankelijke extreme windsnelheden voor wat betreft het minimale tussentijd onafhankelijkheidscriterium van de POT-selectie. Omdat stormopzet en windsnelheid grootheden zijn die fysisch nauw verbonden zijn, gelden hier dezelfde principes, en lijkt het aangewezen hetzelfde scheidingscriterium te gebruiken : per richting bedraagt de minimale tussentijd 48 uur. Deze waarde wordt bevestigd in een studie van de duur van stormopzetten te Vlissingen (ref. IMDC 2003). Als minimale drempel wordt 40 cm gekozen, een waarde die verband houdt met de nauwkeurigheid van de tij-analyse (ref. Dronkers 1964, Dillingh 1993).

2.1.9.2 Resultaat

De onderstaande tabel geeft per richting de parameters van de afgeijkte verdelingen van de opzet o , volgens de volgende vergelijkingen:

$$\text{Weibull en exponentieel : } P(O > o | o > o_0) = \exp\left(-\left(\frac{o - loc}{u}\right)^k\right)$$

$$\text{Pareto : } P(O > o | o > o_o) = \left(1 - k\left(\frac{o - loc}{u}\right)\right)^{\frac{1}{k}}$$

Verder geeft de tabel een aanduiding van het aantal POT-waarden per uitgebreide richting (boven de optimale drempel), en de opzethoogte (in cm) met terugkeerperiode 1000 jaar, berekend volgens de corresponderende verdeling (op basis van de nauwe sector !). Deze waarde moet als volgt begrepen

worden : het is de stormopzet die gemiddeld eens in 1000 jaar zal voorkomen uit die betrokken richtingssector. Of : in 1000 jaar zal gemiddeld 1 keer een stormopzet uit die richting komen met die bepaalde hoogte, los van het feit of in diezelfde 1000 jaar dezelfde golfhoogte ook nog kan voorkomen uit andere richtingen. Deze verdelingen (herleid naar de nauwe sectoren van 22.5°) zijn nodig voor de omzetting naar waterstanden, die op hun beurt worden gebruikt voor de vertaling van het golfklimaat naar de kust met SWAN.

	lengte tijdreeks	75	jaar				
richting	type verdeling	u	k	loc	drempel	# POT's	o bij 1000 j
NO	exponentieel	45.939	1	40.2	40.2	15	105
NNO	exponentieel	59.886	1	40	40	55	150
N	exponentieel	68.904	1	63	63	44	184
NNW	exponentieel	74.832	1	67.543	69	71	211
NW	Pareto	52.221	-0.064	66.335	63.9	157	208
WNW	exponentieel	55.359	1	63.9	63.9	204	190
W	exponentieel	49.872	1	63.79	63.8	183	175

Tabel 2-3 Parameters van de extreme waardeverdelingen voor de opzet

Vervolgens dienen de (statistische) verdelingen van de stormopzet per richting gecombineerd te worden met de (deterministische) verdeling van het astronomisch getij, om zo de verdelingen van de waterstand te bekomen.

Alle verdelingen zijn van het exponentiele type, behalve voor de richting NW, waarvoor uit de analyse blijkt dat de Pareto-verdeling beter geschikt is. Het blijkt dat beide verdelingen gelijkaardige resultaten geven voor terugkeerperiodes kleiner dan 1000 jaar, maar dat de foutenmarge bij de Pareto-verdeling veel groter is. Deze foutenmarge is echter onrealistisch. Indien gekeken wordt naar de sector WNW-NW-NNW, dan blijkt dat de bovenste betrouwbaarheidsgrens aangeeft dat de storm van 1953 een terugkeerperiode heeft van 50 jaar (en de waterstand een terugkeerperiode van 30 jaar), ofwel dat deze storm zich al een aantal keer zou moeten voorgedaan hebben in de recente geschiedenis.

2.1.10 Extreme waarde verdeling van de waterstand

Dit gebeurt via de gebruikelijke convolutiemethode.

De overschrijdingskans van een extreme waterstand is bepaald als:

$$p(h > h_1) = \int p(h_a) \cdot f(o > (h_1 - h_a)) dh_a$$

met

h_1 : de beschouwde extreme waterstand

h_a : de astronomische hoogwaterstand

o : stormopzet

$p(h_a)$: de kansdichtheidsverdeling van h_a

$f(o)$: de kans dat een stormopzet groter is dan o

In de praktijk geeft dit:

$$p(h > h_1) = \sum_{i=1}^N f(o > (h_1 - h_{ai})) / N$$

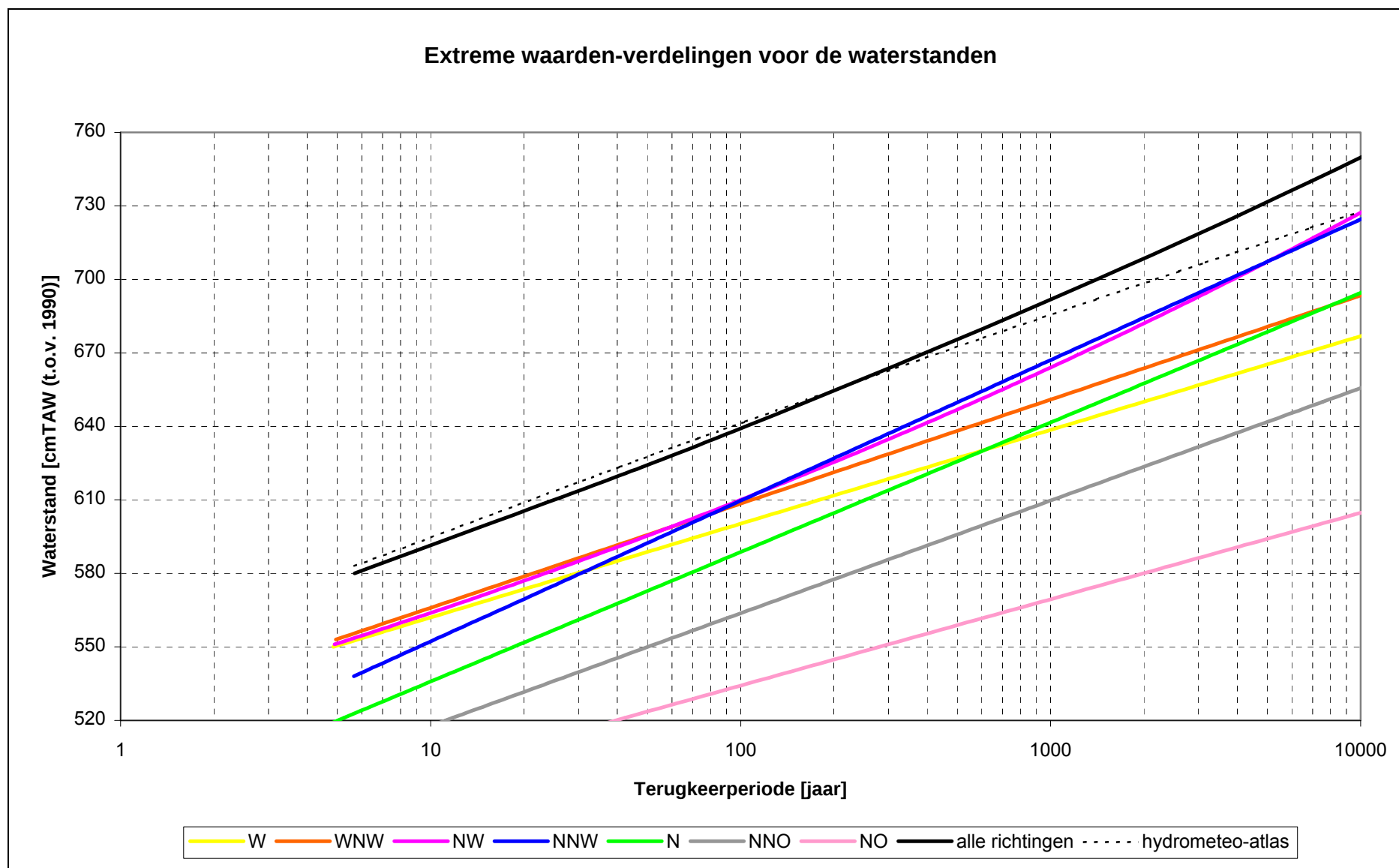
Met:

N het aantal hoogwaters in de Saros (nodale) periode (18.6 jaar)

h_{ai} de hoogte van het i^{de} astronomisch hoogwater

Voor een reeks waterstanden wordt zo de overschrijdingskans bepaald. Door middel van interpolatie kan ook voor tussenliggende overschrijdingskansen de overeenkomstige waterstand bepaald worden.

De onderstaande figuur toont de aldus bekomen resultaten voor de verschillende richtingssectoren. De combinatie van deze richtingsafhankelijke verdelingen leidt tot de aangeduide omnidirectionele verdeling (vette zwarte lijn in de figuur).



Figuur 2-7 extreme waardeverdeling van de waterstand

richting	h bij 1000 j (cm TAW)	Sigma (cm)
NO	570	21
NNO	610	20
N	641	21
NNW	667	33
NW	666	100/33
WNW	650	10
W	638	10
omnidirectioneel	692	

Tabel 2-4 1000-jarige waterstand h per richting

Rekening houdend met de zeespiegelrijzing zou de waterstand van de storm van 1953, wanneer hij nu zou voorkomen, 673 cmTAW bedragen. De globale terugkeerperiode hiervan bedraagt 450 jaar. De globale terugkeerperiode van de maximale stormopzet van 1953 (219 cm) bedraagt 527 jaar. Dit illustreert dat de storm van 1953 niet voorkwam bij een extreem springtij.

De waterstand is zonder een eventuele zeespiegelrijzing, bij het bepalen van de opzet werd er wel rekening gehouden met de zeespiegelrijzing van de voorbije eeuw.

De onzekerheid is vereenvoudigd bepaald door de onzekerheid op de opzet bij de overeenkomstige terugkeerperiode te nemen. De onzekerheid op de astronomische waterstand is maximaal 5 cm en kan dus verwaarloosd worden t.o.v. de onzekerheid op de opzet.

2.1.11 Samenvattende tabel voor een terugkeerperiode van 1000 jaar

overzicht terugkeerperiode 1000 jaar											
richting	opzet [cm]	waterstand [cmTAW]	golfhoogte [cm] en piekperiode [s]						windsnelheid [m/s]		
			duur 15'		duur 2h		Duur 6h		duur 15'	duur 2h	duur 6h
NO	105	570	628	11.4	589	11.0	552	10.6	32.7	28.3	26.9
NNO	150	610	693	11.9	610	11.2	534	10.5	32.8	30.5	27.8
N	184	641	627	11.3	605	11.1	545	10.6	34	30.6	28.7
NNW	211	667	669	11.7	617	11.3	589	11.0	34.9	30.8	29.7
NW	208	666	676	11.8	615	11.2	584	10.9	35.5	30	29
WNW	190	650	747	12.4	692	11.9	655	11.6	37.6	33.5	31.4
W	175	638	718	12.1	687	11.9	642	11.5	39	35.5	33.6

Tabel 2-5 Samenvatting voor de 1000-jarige storm (per richting) (zonder zeespiegelrijzing)

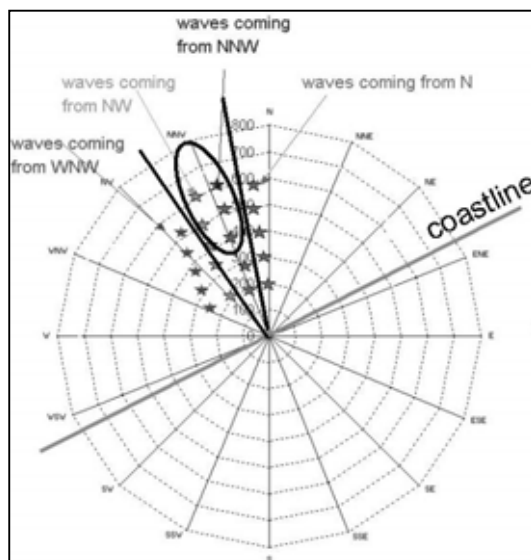
3 Extreme waarde verdelingen aan de kust

3.1 Werkwijze

In de huidige werkwijze wordt (per richting) aangenomen dat bij een waterhoogte een waterstand en windsnelheid hoort die dezelfde kans van overschrijden hebben als de golfhoogte. Per richting wordt een range van golfhoogtes bepaald. Aan elke klasse kan dan een overschrijdingsfrequentie en een kans van voorkomen (p) toegekend worden.

Alle combinaties $X(H_s, w, h, \theta, p)$ (op dezelfde extreme waardeverdeling) in diep water condities worden naar de kust vertaald en geven daar als resultaat de nieuwe combinatie $X'(H_s', w, h, \theta', p)$ (a ster in Figuur 3-1), waarbij windsnelheid, water niveau en kans van voorkomen niet wijzigen.

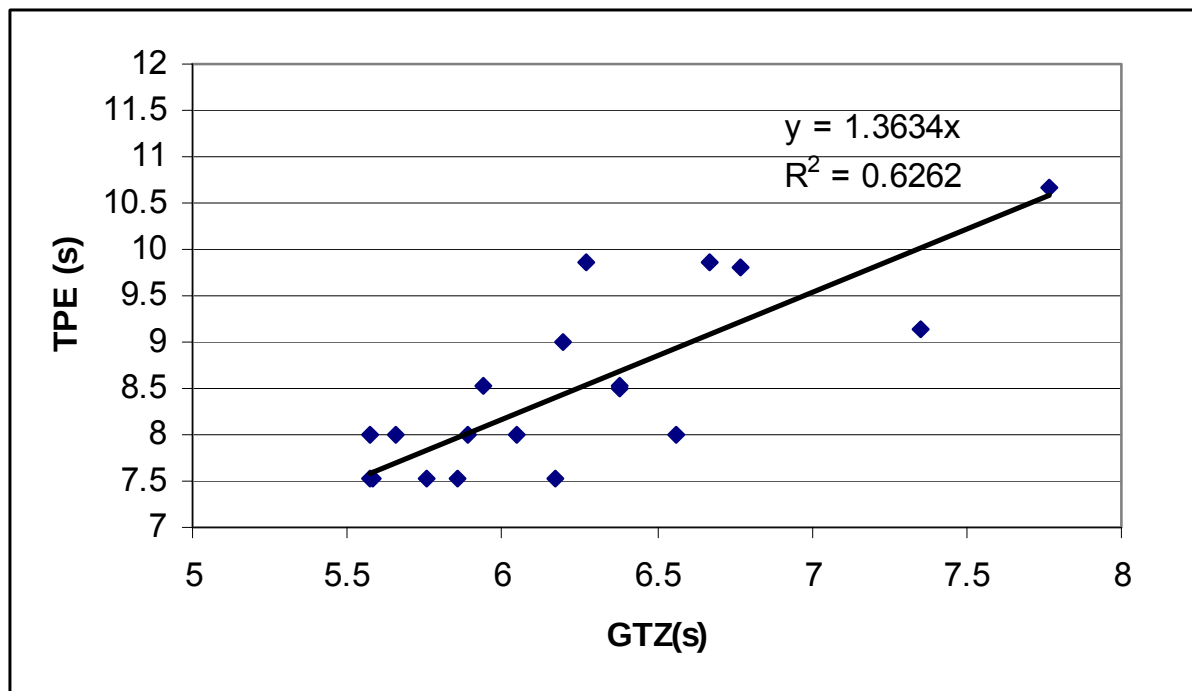
Nieuwe klassen worden gedefinieerd in de uitvoerpunten (verschillende richtingen en golfhoogte klassen) zoals getoond in Figuur 3-1 : bijvoorbeeld de kans dat golven komen uit het NW komen en groter zijn dan 400 cm is gelijk aan de kans van voorkomen van alle combinaties aan de kust (sterren binnen de ellips) die aan die voorwaarde voldoen.



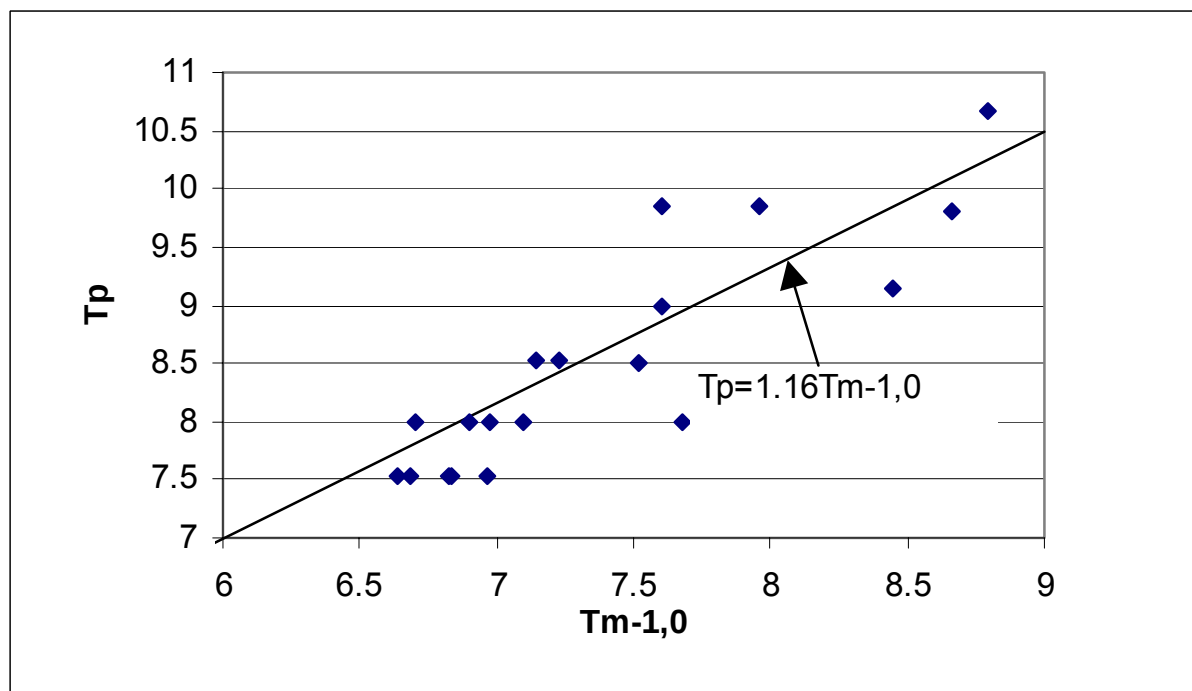
Figuur 3-1 Resulterende punten (X') op een golfroos

3.2 Vorm Spectra

Het blijkt dat Swan de vorm van het golfspectrum niet altijd correct berekend en dus is het nuttig om de vorm van het spectrum te bekijken. Hiertoe worden een aantal relaties tussen uit metingen afgeleide golfperiodes afgeleid.



Figuur 3-1 Relatie tussen de zero upcrossing golfperiode en de piekgolfperiode (Oostendeboei)



Figuur 3-2 Relatie tussen de $T_{m-1,0}$ en T_p (piekgolfperiode) (Oostendeboei)

3.3 Inschatten onzekerheden

Een aantal onzekerheden zijn moeilijk in te schatten:

1. onzekerheid op de zeespiegelrijzing (en de noodzakelijkerwijs bijhorende verandering van het klimaat dus de golfhoogte en de wind)
2. onzekerheid op de morfologische evolutie de komende 50 jaar (en dus ook op de golfhoogte voor golven die sterk bepaald worden door de diepte)
3. onzekerheid op de bathymetrie (tgv meetfouten)
4. onzekerheid geïntroduceerd door de aanname dat er een relatie bestaat tussen de waterstand en de golfhoogte en tussen golfhoogte en windsnelheid
5. onzekerheid doordat (noodzakelijkerwijs) moet verondersteld worden dat de opgelegde golfhoogte constant is over de rand van het model (noodzakelijk omdat er geen golfgegevens beschikbaar zijn over de hele rand).

Deze onzekerheden slaan bijna allemaal op de toekomst. Indien de bekomen ontwerprandvoorwaarden op diep water nu zouden voorkomen, zouden deze onzekerheden geen invloed hebben op het resultaat aan de kust. Eerder dan te proberen deze processen zo goed mogelijk te kwantificeren, is het aanbevolen de toestand voldoende te monitoren en indien nodig de randvoorwaarden te herberekenen. Daarenboven zijn in dit rapport, noodzakelijkerwijs een aantal conservatieve veronderstellingen gemaakt, die gedeeltelijk de onzekerheid op de toekomstige evolutie minder belangrijk maken:

- keuze van Maximum Likely methode ipv Beirlant
- veronderstellen dat het altijd springtij is (eigenlijk is het zo dat om realistisch te zijn er kan gesteld worden dat een extreem hoogwater maar kan voorkomen bij een astronomisch getij dat hoger is dan een gemiddeld springtij, of dus ongeveer 25% van de tijd. Bij een storm die om de 250 jaar voorkomt, heb je dus maar 1 kans op 4 dat het een extreem hoogwater (1000-jarig is). Dus bij een 1000-jarige waterstand hoort een 250 jarige golfhoogte. Dit zou een reductie van de golfhoogte op diep water geven van een kleine 10% ! (golfhoogte en opzet zijn beter met elkaar gecorreleerd)
- veronderstellen dat het maximum van de storm bij HW voorkomt (is redelijk, maar licht conservatief).

Hier worden twee bronnen van onzekerheid beschouwd: de onzekerheid op de diep- watergegevens en de onzekerheid op de vertaling van diep-watergegevens naar de kust.

De onzekerheid op de extreme waarde verdelingen op diep water zijn besproken in §2.1.5. Hieruit bleek dat het voornamelijk de extrapolatie van de extreme waardeverdeling naar grote terugkeerperiodes is die voor een onzekerheid zorgt.

De tweede bron van fouten is de vertaling van de extreme waardeverdelingen van diep naar ondiep water. Uit hoofdstuk 2 bleek de onzekerheid op de berekende golfhoogte ongeveer 9% te zijn, op de golfperiode 8%. Deze waarden zijn vergelijkbaar met wat gangbaar aangenomen wordt (vb PIANC, 1992). Wanneer de golven het strand naderen en nagenoeg al hun energie verliezen, kan de fout groter worden. Zo rapporteerde Durand et al, 2000 een afwijking van 16%. (bij een verhouding van H_s offshore / H_s onshore van 0.3, (ter vergelijking: op de lokatie Oostende-boei is die verhouding ongeveer 0.6 tot 0.8). Voor de locatie Oostende-boei kan nog opgemerkt worden dat de zwaarste stormen een vergelijkbare H_s/h hebben dan wat men voor de 1000-jarige condities bekomt.

In de onzekerheid op de gemodelleerde golfhoogte zit, zoals beschreven in hoofdstuk 2, ook al de onzekerheid op de golfmetingen verwerkt. Dit echter enkel indien de golfboei geen systematische fout vertoont. Indien deze bijvoorbeeld systematisch 10% te lage waarden geeft, dan geeft het model ook systematisch 10% te lage golfhoogtes (omdat er nu wel overeenkomst is tussen gemeten en berekende waarden).

De onzekerheid op de piekperiode op diep water heeft een te verwaarlozen invloed op de golfhoogte (3-tal cm).

Samengevat kan gesteld worden dat voor de 1000-jarige golfhoogte (5.12 m) de volgende onzekerheden kunnen in aanmerking genomen worden (Tabel 6.2). Aangezien deze onafhankelijk zijn kunnen ze kwadratisch opgeteld worden.

	Hs_offshore	windsnelheid	waterstand	Swan	totaal
sigma	7 cm	5 cm	7cm	46 cm	47 cm

Tabel 3-1 bijdrage tot de onzekerheid op de 1000-jarige golfhoogte

Het is duidelijk dat de fout op de golfmodellering dominant is.

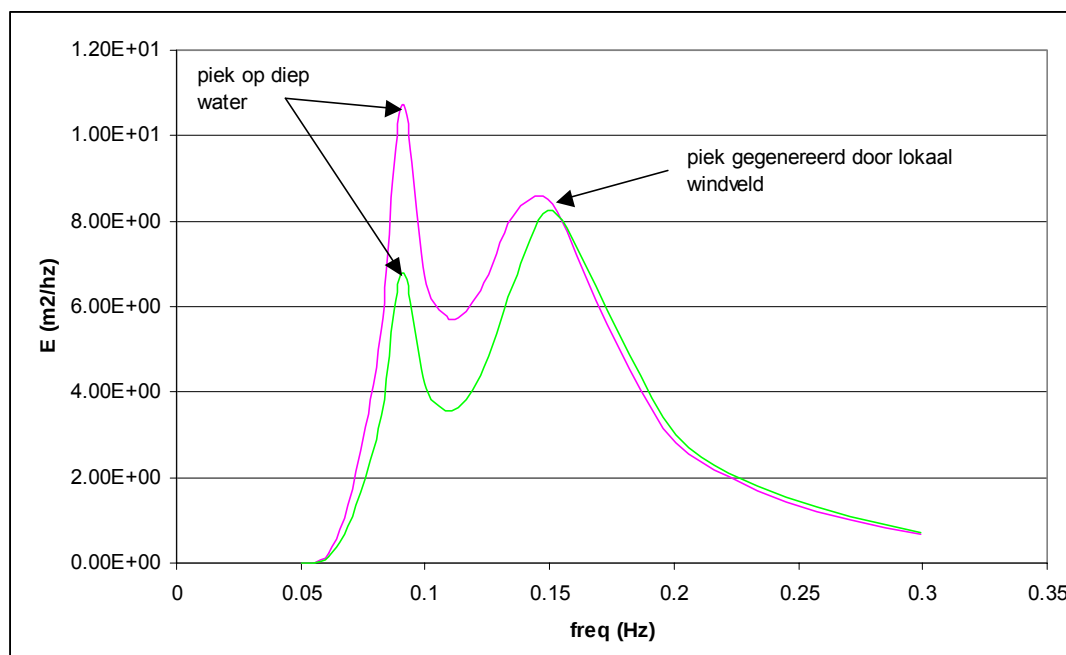
Voor de golfperiode (ongeveer 12 s bij een 1000 jarige storm) is de onzekerheid t.g.v. Swan 8%, de onzekerheid op de golfperiode op diep water 10%. Kwadratisch samentellen geeft een onzekerheid van 13% of 1.5 s.

Indien niet Hmo nodig is, maar bv. H33 dient ook nog een onzekerheid op deze relatie ingerekend te worden. Voor de 20 grootste stormen die in Oostende geregistreerd werden, bedroeg de onzekerheid op de relatie $H_{mo}/H_s (=1.05)$ 2.5%. Deze onzekerheid is dus ook te verwaarlozen t.o.v. de andere onzekerheden.

3.4 Piekperiode

Uit de analyse van de golfmodellering bleek dat de piekperiode op zeer ondiepe gedeeltes dikwijls sterk daalt.

Een verklaring hiervoor kan de ondiepe banken voor de uitvoerpunten zijn (in het westen liggen de punten in een ondiep deel, in het oosten kan de ondiepe Vlake van de Raan (diepte -2m TAW) een verklaring zijn: de golfenergie wordt op deze ondieptes sterk gereduceerd, en moet terug opbouwen; dit opbouwen gebeurt door de energie-toevoer met de wind, wat echter gekenmerkt wordt door lagere piekperiodes.

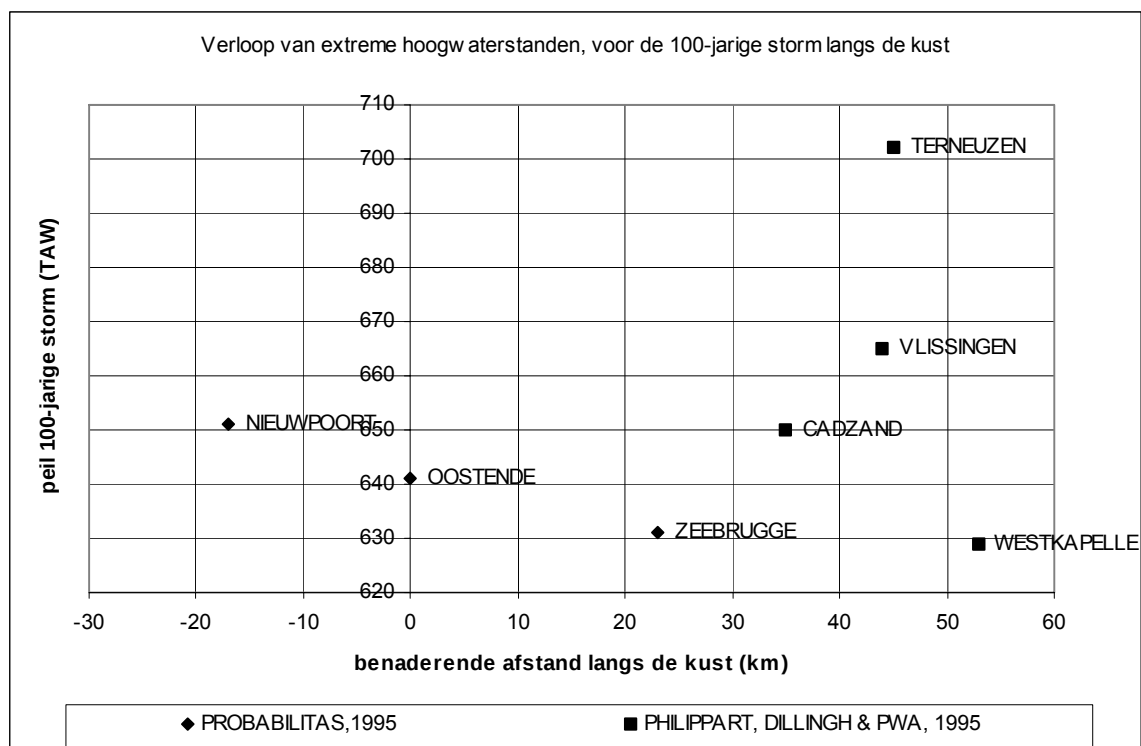
**Figuur 3-2 : 2 golfspectra ten oosten van Zeebrugge**

Bij duinafslag wordt echter wel met de hoogste piekperiode gewerkt (bij gebrek aan duinafslagformules voor dubbeltoppige spectra. Het is in Nederland ook de praktijk om in gevallen van een dubbeltoppig spectrum de piek met de hoogste periode te beschouwen (cfr. Werkdocument RIKZ 'Duinveiligheid bij nieuwe inzichten belasting en sterkte', RIKZ/AB/2002.842x, december 2002, p. 10).

3.5 Extreme waterstanden aan de Vlaamse Kust

De hoger afgeleide extreme waardeverdelingen van de waterstand zijn afgeleid voor de tijmeter in Oostende (voor Zeebrugge en Nieuwpoort is de meetperiode veel korter).

Voor andere plaatsen wordt er gecorrigeerd met de HW spring. Hierbij wordt verondersteld dat de stormopzet tijdens de 1000 jarige storm uniform is over heel de kustlijn, en dat dus enkel het getij voor variaties zorgt. Uit een analyse van de 100 jarige waterstanden (Verwaest, 2000) blijkt echter dat het verschil tussen de 100 jarige waterstand en het peil van een gemiddeld springtij hoger is in Vlissingen (1.88m) dan voor Zeebrugge/Oostende/Nieuwpoort (1.7m). Dit kan mogelijk verklaard worden doordat de Scheldemonding eigenlijk gevormd wordt door de lijn Zeebrugge – Westkapelle, men ziet dat de waterstanden geleidelijk toenemen van de monding naar stroomopwaarts (bv. verschil Vlissingen- Terneuzen 25 cm bij springtij, 45 cm bij storm). Die extra verhoging zal tussen Zeebrugge en Vlissingen lineair in rekening worden gebracht.



Figuur 3-3 100 jarige waterstand langs de kust

4 Gebruik van de randvoorwaarden

4.1 Duinen

Voor duinen wordt met Duros gewerkt om de afslag te berekenen. De Nederlandse norm schrijft voor dat de golfhoogte op diep water (-20 m NAP, of -18 m TAW) genomen dient te worden. In het geval van ondiepe banken voor de kust is dit het midden van de hoofdgeul voor de kust. Dus, enkel bij zeer lage, brede banken kan een reductie toegepast worden. De basis van de duinafslagberekening bestaat uit afslagprofielen na een storm, zoals bekomen in de Deltagoot (WLDelft). Hierbij is de afstand tussen diep water en de duin, net zoals voor de Nederlandse kust klein. Op het Belgisch Continentaal Plat is deze afstand wel groot, met veel banken tussenin. Het is daarom noodzakelijk om een 'diepwater'-golfhoogte te gebruiken die aan de teen van de duin/strand dezelfde golfhoogte oplevert als in de Nederlandse situatie. De teen van de duin/strand werd hier genomen op de -5m lijn. Aangezien de afstand tot 'diep water' kort is, moet enkel het shoaling proces beschouwd worden. Voor een piekperiode van 12s is de shoaling coefficient op de -5 m lijn (met dus een waterstad van ongeveer 12 m) nagenoeg gelijk aan 1 (1.02). Voorts dient opgemerkt te worden dat de golfhoogte van weinig invloed is. Aangezien vooral de ondiepe delen voor de duin belangrijk zijn, wordt de golfhoogte aan de teen van de duin in de praktijk volledig bepaald door de waterstand en nauwelijks door de inkomende golfhoogte.

Waar er in een profiel twee uitvoerpunten zijn (bv. zandbank voor de kust met contourlijn van -5 m (cfr. De Panne) zal dit het dichtst bij de kust gekozen worden.

Voor duinen is het rekenpeil gelijk aan de 1000 jarige waterstand +2/3 van de decimeringshoogte. De decimeringshoogte is hierbij het verschil tussen de 10000 en 1000 jarige waterstand.

4.2 Dijken

Vooreerst moet de maatgevende storm bepaald worden (in dit geval de 1000 jarige storm). Hiervoor worden eerst de 1000-jarige waterstand, golfhoogte en golfperiode bepaald. De golfhoogte wordt gedefinieerd als de significante golfhoogte over een periode van 2 uur.

Aan de hand hiervan kan de evolutie van de storm worden afgeleid.

De stormduur T_s (en daarmee de duur van de simulaties) is vastgesteld op 45 uur. Voor de waterstand wordt een springtij genomen, met daarop een stormverloop gesuperponeerd (stormopzet). De maximale stormopzet is het verschil tussen de 1000 jarige waterstand en de maximale waterstand bij het gekozen springtij. De stormopzet (O) varieert gedurende de stormduur volgens een cosinus-kwadraat functie, met een opzet van 0m aan het begin en einde van de storm :

$$O = O_{\max} \cos^2\left(\frac{\pi t}{T_s}\right)$$

Ook de golfhoogte varieert volgens deze cosinuskwadraat functie met het maximum uit het hydrodynamisch randvoorwaardenboek en een stormduur van 125 u. Voor de piekperiode wordt aangenomen dat de golfsteilheid constant blijft t.o.v. het maximum van de storm). Aangezien de storm relatief snel dicht bij zijn maximale condities komt (gezien de cosinus kwadraat functie) zijn deze begincondities niet zeer belangrijk.

Als korreldiameter wordt de gekende korreldiameter van de suppletie ingevoerd.

Op plaatsen waar een sterke langsgradiënt in sedimenttransport te verwachten is, dient deze begroot en in rekening gebracht te worden.

Na de storm wordt een nieuw profiel bekomen. Voor dit profiel wordt dan de golfhoogte aan de teen van de dijk bepaald voor hydrodynamische condities die zich voordien op het maximum van de storm. Dit is licht conservatief, aangezien het profiel nog verder ge-evolveerd is na het maximum van de storm.

In principe moet de golfhoogte aan de teen van de dijk gekend zijn. Echter, de meeste golfmodellen (bv. Swan, Endec, ...) geven minder betrouwbare golfhoogtes bij zeer kleine waterdieptes. Er wordt dan ook een zekere veiligheid ingebouwd om de golfhoogte op een halve golflengte van de teen van de dijk te nemen. Echter, ook zonder golfmodel, is het duidelijk dat de golfhoogte nooit groter kan zijn dan de waterdiepte aan de teen van de dijk. Als limiterende waarde wordt dan ook $0.9 \times$ de waterdiepte aan de teen gebruikt.

De periode die in Pc-overslag moet ingevoerd worden is $T_{m-1,0}$. In Durosta wordt de periode constant verondersteld. Met Swan(1D) wordt $T_{m-1,0}$ beter voorspeld. Voor Oostende wordt echter een onderschatting met 11% gevonden in vergelijking met gemeten waarde. Het is onduidelijk in hoeverre deze onderschatting functie is van de waterdiepte (dit kan verwacht worden op basis van het feit dat hoe ondieper het water, hoe meer het golfspectrum platgelagen wordt). Voorgesteld wordt te werken met de uit Swan bekomen golfperiode, vermeerderd met 20% (extra veiligheid t.o.v. de 11%), met een minimum van 1.1 keer de piekperiode op diep water. (op diep water, omdat op ondiep water het spectrum dubbeltoppig kan zijn, waarbij dan toch beter de piek met de grootste periode wordt genomen. Indien blijkt dat de piekperiode maatgevend is en de golfhoogte uit Durosta overeenkomt met die uit Swan, zijn de Swan berekeningen niet meer nodig, dit is ook wel te verwachten aangezien Swan de vorm van het spectrum slechts weinig verandert.

5 Zeespiegelrijzing

Bij het ontwerp van een harde structuur wordt met een ontwerpperiode van bv. 50 jaar gerekend en kan er niet zomaar uitgegaan worden van een constant gemiddeld zeeniveau. Vooral voor constructies die moeilijk aan te passen zijn, moet bij het ontwerp rekening gehouden worden met de te verwachten stijging van het zeeniveau.

Deze paragraaf is grotendeels gebaseerd op een studie van AWZ/Waterbouwkundig Laboratorium (WLB, MOD 592, 2000) (teksten in *italic*)

Ten gevolge van klimaatsveranderingen is het gemiddeld zeeniveau aan het stijgen. Voorspellingen suggereren dat deze stijging in de volgende eeuw zal versnellen.

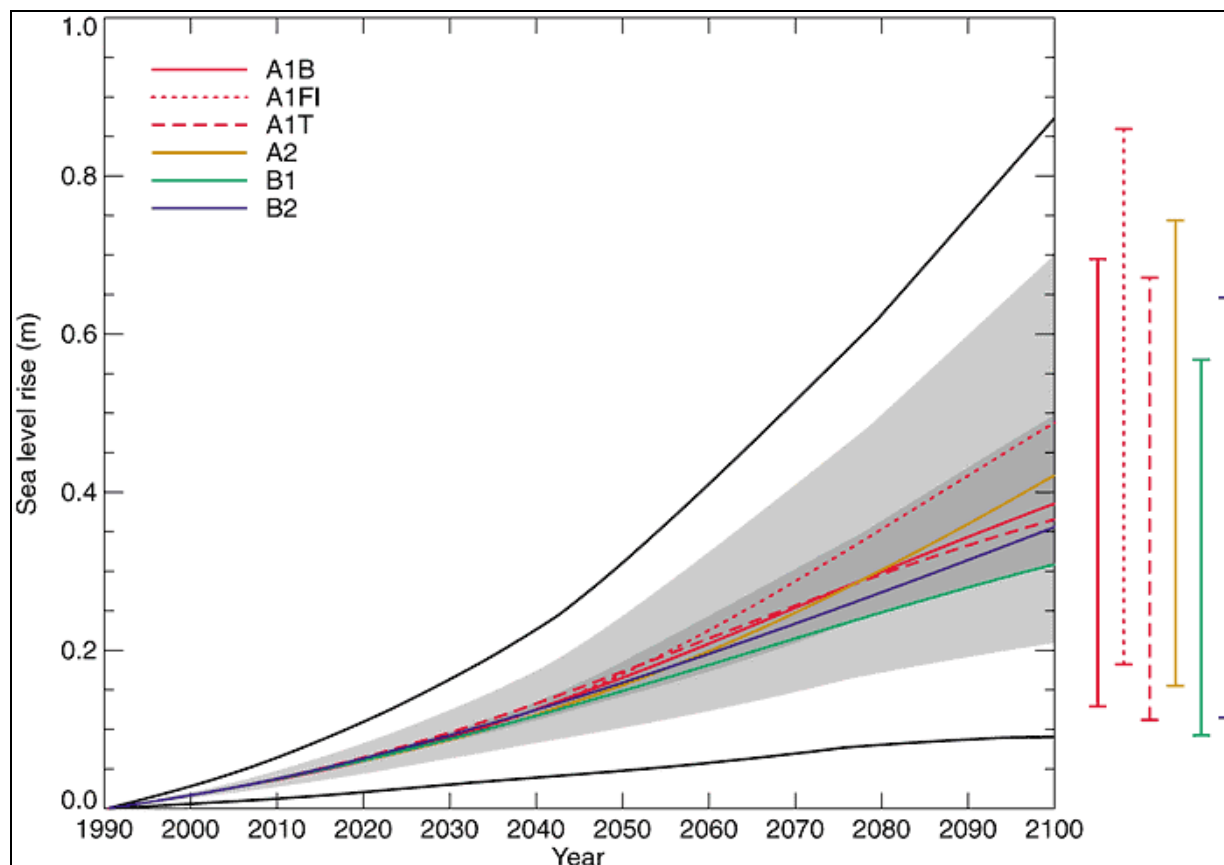
Voor België wordt tegen 2100 uitgegaan van een zeespiegelrijzing van 40 tot 70 cm (Schoeters en Vanhaecke, 1999)

Van Cauwenberghe (1999) analyseerde de tijwaarnemingen te Oostende met verschillende methodes en kwam tot de volgende conclusies:

- In de laatste 70 jaar is er een relatieve zeespiegelrijzing waargenomen in Oostende voor hoogwater 2 mm/jaar, voor het gemiddeld waterniveau 1.5 mm/ jaar (identiek aan het resultaat bekomen in deze studie (cf §2.1.2) en voor de laagwaters 1 mm/jaar. Deze stijgingen zijn relatief t.o.v. het land.*
- In Vlissingen is er minder stabiliteit dan in Oostende (bodem daalt meer) voor de periode vanaf 1890. Sinds 1927 stijgt enkel het HW sneller in Vlissingen*
- De resultaten tonen geen versnelling van de stijging van de zeespiegel*
- Gelijkaardige waarden voor relatieve zeespiegelrijzing zijn teruggevonden voor Nederland en het Verenigd Koninkrijk*
- De auteur stelt zich vragen bij het feit of er, vanaf een bepaald ogenblik, daadwerkelijk een versnelde zeespiegelrijzing zal optreden. Dergelijke voorspellingen zijn tot nu toe altijd gebaseerd op klimaatmodellen met veel onzekerheden.*

Rijkswaterstaat gaat in de komende eeuw uit van een relatieve zeespiegelrijzing van 60 cm (de Ronde et al, 1998). Deze verwachtingswaarde wordt ook door de afdeling Waterwegen Kust aangehouden als ontwerpwaarde voor de Zeeweringsinfrastructuur.

Bij de curves die de stijging van het zeeniveau in de tijd weergeven, en als resultaat een stijging van 60 cm de komende eeuw voorspellen (bv. Figuur 5-1, uit Intergovernmental Panel on Climate Change, www.ipcc.ch/pub/tar/wgl/429.htm), kan men aflezen dat de stijging is samengesteld uit een stijging van ongeveer 22 cm de eerste 50 jaar en een stijging van 38 cm de volgende 50 jaar.



Figuur 5-1 Global average sea level rise 1990 to 2100 for the SRES scenarios. Thermal expansion and land ice changes were calculated using a simple climate model calibrated separately for each of seven AOGCMs, and contributions from changes in permafrost, the effect of sediment deposition and the long-term adjustment of the ice sheets to past climate change were added. Each of the six lines appearing in the key is the average of AOGCMs for one of the six illustrative scenarios. The region in dark shading shows the range of the average of AOGCMs for all 35 SRES scenarios. The region in light shading shows the range of all AOGCMs for all 35 scenarios. The region delimited by the outermost lines shows the range of all AOGCMs and scenarios including uncertainty in land-ice changes, permafrost changes and sediment deposition. Note that this range does not allow for uncertainty relating to ice-dynamical changes in the West Antarctic ice sheet. See [11.5.4.3](#) for a full discussion. The bars show the range in 2100 of all AOGCMs for the six illustrative scenarios

Conclusie

De volgende 50 jaar kan een (relatieve) stijging van het gemiddeld zeeniveau van 22 cm verwacht worden.

Voor de veiligheid is vooral de stijging van het hoogwaterniveau belangrijk. Hierover zijn echter geen gegevens bekend, maar indien verondersteld wordt dat de verhouding van de stijging van het HW-niveau/gemiddeld niveau constant blijft ($\approx 2/1.5$), zou een stijging van het gemiddeld zeeniveau met 22 cm aanleiding geven tot een stijging van het HW-niveau met 30 cm de komende 50 jaar.

Voor de ontwerpperiode van 50 jaar, wordt in deze studie dan ook uitgegaan van een stijging van HW met 30 cm, waar de stijging van het gemiddeld zeeniveau noodzakelijk is, zal een waarde van 25 cm gebruikt worden.

6 Definities

Karakteristieken van een golfbeweging: H_s , H_{m0} , T_z ,...

Golfwaarnemingen gebeuren in gelokaliseerde punten. Uit dergelijke waarnemingen moet getracht worden golfparameters te bepalen die de golfbeweging zo goed mogelijk karakteriseren. De waarnemingen gebeuren dan ook liefst over een zo lang mogelijke tijdsduur (meerdere jaren),

In een golfregistratie wordt een golf bepaald door twee opeenvolgende neerwaartse of opwaartse nuldoorgangen (E: zero downcrossing or zero upcrossing).

De tijdsduur tussen twee opeenvolgende nuldoorgangen wordt gedefinieerd als de individuele golfperiode T . Het hoogteverschil tussen het golfdal en de golftop binnen dezelfde periode wordt gedefinieerd als de individuele golfhoogte H .

Gebruikt men neerwaartse nuldoorgangen om de golfperiode T te bepalen, dan spreekt men van PIANC zero upcrossing waves of IAHR zero downcrossing waves (IAHR-Recommendation); gebruikt men opwaartse nuldoorgangen, dan spreekt men van IAHR zero upcrossing waves.

In principe kan men vrij kiezen tussen de neerwaartse of de opwaartse nuldoorgang, maar de keuze heeft zijn invloed op de individuele golfhoogte H en de individuele golfperiode T . De keuze kan nauwelijks een invloed hebben op de statistische waarden. Internationaal wordt meestal de neerwaartse nuldoorgang gebruikt.

Voor ontwerpdoeleinden wordt als referentie golfhoogte de **significante golfhoogte** genomen. Deze parameter wordt op twee manieren gedefinieerd:

- Als het rekenkundig gemiddelde van het hoogste derde van alle golfhoogten van een golfopname (H_s) (Hydro Meteo Systeem: **H33**)
- Berekend uit het golfspectrum (H_{m0}) (Hydro Meteo Systeem: **H_{m0}**)

De **gemiddelde golfperiode** T_z (Hydro Meteo Systeem: **GTZ**) wordt gedefinieerd als het gemiddelde van alle individuele golfperiodes van een golfopname. De **gemiddelde golfperiode** T_z is dus ook gelijk aan de tijdsduur van de golfopname gedeeld door het aantal golven N , bepaald door het aantal nuldoorgangen t.o.v. het gemiddeld referentievlak.

Golfspectrum of energiedichtheidsspectrum: T_p , H_{m0} , m_n , $T_{m-1,0}$

Een golfbeweging in de natuur is een zeer onregelmatige beweging van het zeeoppervlak. De sommatie van een aantal regelmatige (sinusoïdale) golven geeft een onregelmatige golf. Omgekeerd kan een onregelmatige golf dus beschouwd worden als een som van sinusoïdale termen:

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(\omega_n t - \phi_n)$$

Als de amplitudes a_n worden uitgezet ten opzichte van de hoekfrequenties ω_n , verkrijgt men een amplitudespectrum; als men a_n^2 uitzet ten opzichte van hoekfrequenties ω_n , verkrijgt men een energiespectrum. Immers de energie E per m^2 van een samenstellende golf n met golfhoogte $H = 2a_n$ is gelijk aan $E = (1/8)\rho g H^2$.

Deze beide spectra zijn discreet.

In de natuur is het waarschijnlijk dat het spectrum bestaat uit een continue verdeling over de frequenties. Fourier-analyse wordt gebruikt om een onregelmatige golf te ontleden in sinusoïdale golven.

Uit de Fourier-analyse kan dan het energiedichtheidsspectrum of golfspectrum $S(f)$ worden berekend, zodanig dat

$$E = \rho g S(f) df$$

met E de energie per m^2 van een samenstellende golf.

Uit het golfenergie-dichtheidsspectrum kunnen verschillende parameters worden afgeleid.

Het **spectrummoment** van de n -de orde m_n wordt gedefinieerd als

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df$$

De **spectrale golfperiode** $T_{m-1,0}$ wordt gedefinieerd als m_{-1}/m_0 en meer algemeen **spectrale golfperiode** $T_{m_i,j}$ wordt gedefinieerd als m_i/m_j

De totale energie E_{tot} voor de ganse “zeetoestand” (per m^2 wateroppervlak) wordt dan gegeven door:

$$E_{tot} = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df$$

$$E_{tot} = \rho g m_0$$

In bovenstaande vergelijking is m_0 is het spectrummoment van de nul-de orde of de oppervlakte onder het spectrum.

De **significante golfhoogte** uit het energiespectrum H_{m0} wordt gedefinieerd als

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

Het energiedichtheidspectrum vertoont steeds een voor- en een achterflank waar de energie tot nul nadert, en een waarde van de frequentie waarvoor $S(f)$ een maximum vertoont. Bij deze piekfrequentie hoort een **piekperiode** T_p (Hydro Meteo Systeem **TPE**). De voorflank is steeds steiler dan de achterflank. Enerzijds is er een bovengrens qua periode T , en anderzijds zitten er in een onregelmatige golf steeds componenten met een kleine T , dus met grote hoekfrequentie.

De golfbeweging op een bepaalde plaats, en dus ook het energiedichtheidspectrum, is afhankelijk van een groot aantal factoren; zoals bv.

- De windgegevens (duur, sterkte en richting)
- De strijklengte
- De waterdiepte
- De aanwezigheid van een kust met bijhorende morfologie (refractie, diffractie)
- Het feit of we te doen hebben met het begin, het einde of het maximum van de storm

Directioneel Golfspectrum en de parameters RHF (Hoogfrequente Golfrichting) en RLF (Laagfrequente Golfrichting)

Een directioneel golfspectrum geeft de energiedichtheid in functie van de richting waaruit de golven komen en van de frequentie.

Uit een directioneel golfspectrum kunnen **RHF** en **RLF** worden afgeleid. **RHF** is de gemiddelde richting van de golfcomponenten met een piekperiode T_p tussen 2 en 5 sec. **RLF** is de gemiddelde richting van de golfcomponenten met een piekperiode T_p groter dan 10 sec.

Waargenomen golfspectra

Pierson-Moskowitz

Hoewel het Pierson-Moskowitz spectrum werd ontwikkeld voor het noorden van de Atlantische Oceaan, voor diep water en volledig ontwikkelde zeegang, is dit spectrum toch bruikbaar voor ontwerpstudies.

Het Pierson-Moskowitz spectrum wordt beschreven door de volgende vergelijking:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} e^{\frac{-B}{\omega^4}}$$

Voor het originele Pierson-Moskowitz spectrum geldt:

$$A = 0.0081g^2 \text{ en } B = 0.74 \frac{g^4}{U^4}$$

waarin:

g = de zwaartekrachtversnelling
U = de gemiddelde windsnelheid

Jonswap

Een ander spectrum, opgesteld aan de hand van golfwaarnemingen in de Noordzee is het Jonswap spectrum. Jonswap staat voor: JOINT NORTH SEA WAVE PROJECT.

Het Jonswap spectrum wordt eveneens beschreven door de vergelijking:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} e^{\frac{-B}{\omega^4}}$$

Voor A en B gelden andere uitdrukkingen:

$$A = 0.0081 g^2 \gamma e^{\frac{-(\omega - \omega_p)^2}{2\sigma^2 \omega_p^2}}$$

$$B = 1.25 \omega_p^4$$

waarin:

ω_p = de hoekfrequentie bij de piek in het spectrum

γ = een factor tussen 1 en 7 (E: peakedness factor)

$\sigma = 0.07$ voor $\omega < \omega_p$

$\sigma = 0.09$ voor $\omega > \omega_p$

Voor $\gamma = 1$ is het Jonswap spectrum gelijk aan het Pierson-Moskowitz spectrum.

POT-Analyse

De bepaling van de frequentie van voorkomen van extreme significante golfhoogten, van windsnelheden of van opzethoogten kan gebeuren hetzij door een kansverdeling te schatten voor alle gemeten waarden, hetzij door een kansverdeling te schatten enkel voor de meest extreme gemeten waarden. Deze laatste methode weerhoudt enkel de piekwaarden van de meetwaarden die een bepaalde drempelwaarde overschrijden. Het voordeel van de analyse van zulke piekwaarden (een zogenaamde **POT** of "peak over threshold" analyse) is dat de verschillende meetwaarden als onafhankelijke waarnemingen kunnen worden beschouwd en dat, op basis van resultaten van extreme waarden theorie, een welbepaalde vorm van de kansverdeling wordt verwacht.

Die onafhankelijkheid van de waarnemingen is een ruim interpreteerbaar begrip. Een volkomen statistische onafhankelijkheid houdt rekening met de groepvorming van de fysische grootheden. In deze studie is men vooral geïnteresseerd in gemiddelde terugkeerperioden – vaak zeer grote – en niet in de clustering van de tussentijden in geval van groepvorming, zodat een lichte statistische afhankelijkheid geen grote invloed zal hebben op de uiteindelijke resultaten. Een fysische onafhankelijkheid volstaat over het algemeen.

Voor elke bestudeerde grootheid werd een combinatie van 3 onafhankelijkheidscriteria gehanteerd :

- drempelwaarde : deze mag enerzijds niet te hoog gekozen worden, vermits dan het gevaar bestaat op onvoldoende waarden om een betrouwbare frequentie-analyse uit te voeren. Anderzijds kan een te lage waarde leiden tot het selecteren van 'onechte' pieken (ruispieken). Voor de analyse van de opzet werd een minimale drempel van 40 cm gehanteerd, omdat de filterresultaten onder deze waarde onnauwkeurig worden. Voor de golfhoogte werd de minimale drempel vastgesteld op 250 cm, een keuze die voortvloeit uit de manier waarop de datareeksen van de golven werden gevalideerd. De minimale drempel voor de windsnelheid bedraagt 10 m/s. Deze drempels gelden echter als voorlopige onderdrempels.
- de minimale tijdspanne tussen twee **POT**-waarden : ten gevolge van het getijde kunnen twee opeenvolgende pieken op het eerste zicht als onafhankelijk bestempeld worden, terwijl het in werkelijkheid om dezelfde storm gaat. Dit criterium stelt dus in zekere zin een minimale stormduur voor. Deze werd telkens vastgesteld op 48 uur.
- tussen 2 opeenvolgende **POT**-waarden moet de tijdreeks gedaald zijn tot een bepaald percentage van de kleinste van beide pieken. Voor de wind gaat het om 50% en voor de golven om 66%. Voor de opzet werd dit criterium niet gebruikt, omdat een storm theoretisch pas onafhankelijk zal zijn als de opzet daalt tot nul. Aangezien de waarden voor de opzet

onder 40 cm onbetrouwbaar zijn, moet de opzet zeker dalen tot die waarde tussen 2 onafhankelijke stormen.

Een **POT**-waarde wordt pas geselecteerd wanneer cumulatief aan de 3 criteria voldaan wordt.

Scheve HW en LW opzet

De getijbeweging aan kusten en in zeearmen wordt allereerst bepaald door twee factoren:

- de geijverwekkende kracht die voortvloeit uit de aantrekkingskrachten van maan en zon op de aarde en uit de krachten samenhangende met de beweging van het samenstel aarde-maan ten opzichte van zijn zwaartepunt
- de configuratie en bodemgesteldheid van zee, kust en zeearmen.

De beide hierboven genoemde factoren bepalen samen het “astronomisch getij.” Het optredende getij wijkt hiervan veelvuldig af als gevolg van de meteorologische omstandigheden boven zee, kusten en zeearmen. Wind sleept bijvoorbeeld als het ware deeltjes mee; en aanlandige wind zal de waterstand dan ook verhogen. Ook een verandering in luchtdruk kan de waterstand beïnvloeden.

Het werkelijke waterstandsverloop zal dus afwijken van het astronomisch getij; het werkelijk optredende waterstandsverloop wordt dan ook bepaald door het astronomisch getij, door de opwaaiing met het luchtdrukeffect, en door de wisselwerking tussen astronomisch getij en weerseffecten.

De **rechte opzet** wordt gedefinieerd als het ogenblikkelijk verschil tussen het werkelijk optredende en het astronomische getij.

De **scheve HW** opzet wordt gedefinieerd als het hoogteverschil tussen de opgetreden en de astronomische hoogwaterstand, ongeacht een eventueel tijdsverschil tussen beide. De **scheve LW** opzet is het overeenkomstig verschil tussen de beide laagwaterstanden.

7 Referenties

- Alkyon, 2001, TIDEMAT Tidal analysis, User manual; report I, version 1.00, A872R1, December 2001.
- Beirlant, 1996, Practical Analysis of Extreme Values
- Afdeling Waterwegen Kust, 1999, Hydrometeo Atlas, Meetnet Vlaamse Banken
- AWK, 2001, Extreem golfklimaat voor Oostende, analyse op basis van correlatie tussen diepwater- en ondiepwatermeetpunten 3^{de} nota golfrichting, interne nota (T.Verwaest)
- Dienst der Kust, 1986, Hydrometeo waarnemingen voor de Vlaamse Kust
- de Ronde et al, De keerzijde van ons klimaat, Rijkswaterstaat, RIKZ en RIZA, Univ Utrecht, IMAU
- Defevere, W., Ronco, L., Monbaliu, J., 2000 Verkenndend onderzoek ter bepaling van het golfklimaat, K.U.Leuven tekst+ Figuren
- Dillingh, D. et al, 1993, De basispeilen langs de Nederlandse kust, statistisch onderzoek, RIKZ DGW-93.023
- Dronkers, J.J., 1964, Tidal computations in rivers and coastal waters, North-Holland Publishing Company
- Durand, N., Tozer, N., Allsop, W., 2000, The application of Third-generation models in Coastal Engineering Studies
- Efron en Tibshirani, 1993, An introduction to the Bootstrap
- Goda, Y., H. Takeda, and Y. Moriya, 1967: Laboratory investigation of wave transmission over breakwaters, Rep. Port and Harbour Res. Inst., Vol. 13.
- Hosking, 1985, Maximum Likelihood estimation of the parameters of the extreme-value distribution
- IMDC, 2001 a, Opmaak van hydrologische modellen in het IJzerbekken en opstellen van debiet-duur-frequentie (QDF) relaties en compositiehydrogrammen, Deelrapport I : inventarisatie en statistische analyse van de beschikbare tijdreeksen, I/RA/11206/01.040/JBL
- IMDC, 2001 b, Leveren van numerieke hydrologische en hydraulische modelleringssoftware, met de implementatie van het Demerbekken Deelrapport II : statistische frequentie-analyse I/RA/11193/01.037/JBL
- IMDC 2003, Actualisatie van het Sigmaplan, DO3 : hydrologische en hydraulische modellen, volume 1a : statistiek Scheldebekken, I/RA/11199/03.027/JBL
- Monbaliu, 2002 Nota betreffende diepte gelimiteerde breking voor Oostende.
- Palutikof, J.P., et al, 1999, A review of methods to calculate extreme wind speeds, Meteorological Applications, 6, 119-132
- PIANC, 1992 Analysis of rubble mound breakwaters, sub group B, Uncertainty related to environmental data and estimated extreme events, by H.F. Burcharth, report of PIANC working group no. 12 of Permanent Technical Committee II
- Ris, R.C., 1997, Spectral modeling of wind waves in coastal areas, Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering Report no. 97-4
- RIKZ, 1993, De basispeilen langs de Nederlandse Kust – statistisch onderzoek

Schoeters,K., Vanhaecke,P., 1999, Studie “kader voor rapportering van “Climate Change”-effecten in België: uitwerking en toepassing” Eindverslag in opdracht van de Federale diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden. Ecolas NV

Seelig, W.N., 1979: Effects of breakwaters on waves: laboratory tests of wave transmission by overtopping, Proc. Conf. Coastal Structures, Vol. 79, No. 2, 941-961.

Smits, A., 2001a, Estimation of extreme return levels of wind speed : a modification of the Rijkooort-Weibull model, KNMI

Smits, A., 2001b, Estimation of extreme return levels of wind speed : an analysis of storm maxima, KNMI

Van Cauwenberghe,C., 1999 Relative sea level rise along the Belgian coast: analyses and conclusions with respect to the high water, the mean water sea and the low water levels, Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Afdeling Waterwegen Kust, Dienst hydrografie, Oostende

Van Vledder, G.Ph., Y. Goda, P. Hawkes, E. Mansard, M.J. Martin, M. Mathiesen, E. Peltier, and E. Thompson, 1994, Case studies of extreme wave analysis: A comparative analysis, Proc. WAVES'93, New Orleans

WLB, 2000, Effecten van een mogelijke klimaatverandering op het zeespiegelniveau, de rivierafvoer en de frequentie van hoogwaters en stormen, MOD 592

WL Delft, 1992, GETIJSYS, Analysis and Prediction of Tides, Volume I: User Manual, May 1992

Deel II Resultaten

Onderstaande tabel geeft de 1000 jarige waterstand (h), significante golfhoogte Hmo en de piekperiode (Tp) voor verschillende lokaties langsheen de kust. De waarden zijn afgerond tot 1 cijfer na de komma. Het gebruikte coördinatensysteem is Lambert 72. Zowel de basiswaarden, als de waarden met decimeringshoogte (waarbij de waterstand verhoogd wordt met 2/3 van de decimeringshoogte (verschil met een waterstand met een terugkeerperiode die 10x hoger is), wat gebruikt wordt bij strand/duinafslagberekeningen

De golfhoogtes zijn ook grafisch weergegeven in bijgevoegde figuren.

x	y	basis			Met 2/3 decimeringshoogte		
		Hmo	Tp	h	Hmo	Tp	h
19273	198922	4.3	12.0	7.2	4.5	12.6	7.6
19560	199224	4.3	12.0	7.2	4.5	12.6	7.6
19844	199553	4.4	12.0	7.2	4.6	12.6	7.6
20226	199701	4.5	12.0	7.2	4.7	12.6	7.6
20585	199873	4.5	12.0	7.2	4.7	12.6	7.6
20951	200009	4.5	12.0	7.2	4.7	12.6	7.6
21329	200136	4.5	12.0	7.2	4.6	12.6	7.6
21716	200269	4.4	12.0	7.2	4.6	12.6	7.5
21849	200397	4.4	12.0	7.2	4.6	12.6	7.5
22058	200476	4.4	12.0	7.2	4.6	12.6	7.5
22277	200571	4.4	12.0	7.2	4.6	12.6	7.5
22535	200649	4.4	12.0	7.2	4.5	12.6	7.5
22779	200710	4.3	12.0	7.2	4.5	12.6	7.5
23036	200776	4.3	12.0	7.2	4.4	12.6	7.5
23261	200847	4.3	12.0	7.1	4.4	12.6	7.5
23525	200915	4.2	12.0	7.1	4.4	12.6	7.5
23759	200941	4.2	12.0	7.1	4.4	12.6	7.5
23996	201009	4.2	12.0	7.1	4.4	12.6	7.5
24199	201060	4.2	12.0	7.1	4.3	12.6	7.5
24393	201159	4.2	12.0	7.1	4.3	12.6	7.5
24630	201236	4.1	12.0	7.1	4.3	12.6	7.5
24855	201336	4.1	12.0	7.1	4.2	12.6	7.5
25076	201417	4.0	12.0	7.1	4.2	12.6	7.5
25300	201530	4.0	12.0	7.1	4.1	12.6	7.5
25505	201657	4.0	12.0	7.1	4.2	12.6	7.5
25767	201785	4.0	12.0	7.1	4.1	12.6	7.5
25999	201920	3.9	12.0	7.1	4.0	12.6	7.5
26197	202040	3.9	12.0	7.1	4.1	12.6	7.5
26396	202220	3.9	12.0	7.1	4.0	12.6	7.5
26615	202443	3.8	12.0	7.1	3.9	12.6	7.5
26772	202636	3.8	12.0	7.1	3.9	12.6	7.5
26930	202817	3.7	12.0	7.1	3.8	12.6	7.5
27057	203011	3.8	12.0	7.1	3.9	12.6	7.5
27194	203202	3.9	12.0	7.1	4.0	12.6	7.5
27321	203396	4.0	12.0	7.1	4.1	12.6	7.5
27447	203568	4.1	12.0	7.1	4.2	12.6	7.5
27563	203720	4.1	12.0	7.1	4.3	12.6	7.5
27690	203892	4.2	12.0	7.1	4.3	12.6	7.5
27816	204065	4.2	12.0	7.1	4.4	12.6	7.5
27953	204247	4.3	12.0	7.1	4.4	12.6	7.5
28110	204408	4.4	12.0	7.1	4.5	12.6	7.5
28309	204652	4.4	12.0	7.1	4.6	12.6	7.5
28530	204915	4.6	12.0	7.1	4.7	12.6	7.5
28792	205177	4.7	12.0	7.1	4.9	12.6	7.5

28970	205379	4.9	12.0	7.1	5.0	12.6	7.5
29159	205561	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
22507	203433	4.5	12.0	7.1	4.7	12.6	7.5
22695	203594	4.6	12.0	7.1	4.8	12.6	7.5
22882	203707	4.6	12.0	7.1	4.8	12.6	7.5
23013	203780	4.6	12.0	7.1	4.8	12.6	7.5
23166	203870	4.6	12.0	7.1	4.8	12.6	7.5
23346	203976	4.6	12.0	7.1	4.8	12.6	7.5
23519	204078	4.7	12.0	7.1	4.9	12.6	7.5
23744	204218	4.7	12.0	7.1	4.9	12.6	7.5
23945	204349	4.7	12.0	7.1	4.9	12.6	7.5
24201	204491	4.8	12.0	7.1	5.0	12.6	7.5
24471	204640	4.8	12.0	7.1	5.0	12.6	7.5
24723	204735	4.8	12.0	7.1	5.0	12.6	7.5
24927	204871	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
25176	204976	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
25394	205086	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
25639	205194	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
25824	205270	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
26093	205374	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
26262	205429	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
26492	205477	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
26716	205502	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
26973	205481	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
27349	205266	4.8	12.0	7.1	5.0	12.6	7.5
27648	205281	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
27947	205358	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
28284	205472	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
28598	205586	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
28880	205659	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
29118	205733	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
29374	205838	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
29622	205933	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
29859	206025	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
30073	206089	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
30301	206205	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
30574	206292	5.0	12.0	7.1	5.2	12.6	7.5
30849	206328	5.0	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
31142	206484	5.0	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
31397	206541	5.0	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
31630	206609	5.0	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
31865	206672	5.0	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
32071	206700	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
32328	206732	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.5
32513	206740	4.9	12.0	7.1	5.1	12.6	7.4
32712	206743	4.9	12.0	7.1	5.0	12.6	7.4
32979	206761	4.9	12.0	7.1	5.0	12.6	7.4
33367	206713	4.9	12.0	7.1	5.0	12.6	7.4
33782	206682	4.8	12.0	7.1	5.0	12.6	7.4
34098	206726	4.8	12.0	7.1	5.0	12.6	7.4
34334	206712	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
34535	206859	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
34744	207004	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
34915	207123	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4

35133	207242	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
35396	207382	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
35703	207550	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
35917	207666	4.9	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
36060	207740	4.9	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
36285	207810	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
36464	207882	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
36689	207966	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
36934	208078	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
37131	208166	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
37279	208233	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
37532	208348	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
37860	208509	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
38144	208679	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
38469	208838	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
38756	208993	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
39012	209139	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
39258	209286	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
39538	209435	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
39807	209752	4.8	12.0	7.0	5.0	12.6	7.4
40154	209907	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
40478	210054	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
40771	210229	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
41058	210407	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
41334	210577	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
41631	210749	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
41908	210924	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
42158	211090	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
42419	211263	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
42588	211588	4.8	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
42913	211737	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
43153	211828	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
43309	211908	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
43537	211999	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
43805	212141	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
44044	212288	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.3
44218	212419	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.3
44393	212533	4.6	12.0	7.0	4.7	12.6	7.3
44555	212642	4.6	12.0	7.0	4.7	12.6	7.3
44834	212825	4.6	12.0	7.0	4.7	12.6	7.3
45061	213263	4.7	12.0	7.0	4.8	12.6	7.3
45440	213429	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
45859	213612	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
46179	213749	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
46374	213900	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
46648	214117	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
46991	214333	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
47094	214715	5.0	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
47299	214818	5.1	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
47509	214915	5.0	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
47786	215035	5.0	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
47942	215116	5.0	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
48110	215195	5.0	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
48297	215288	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3

48921	215570	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
49193	215782	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
49408	216030	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
49587	216284	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
49835	216578	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
50028	216868	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
49940	217681	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
50231	217851	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
50446	217994	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
50624	218179	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
50881	218219	4.9	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
51116	218331	4.9	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
51347	218416	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
51549	218553	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
51841	218616	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
52041	218725	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
52212	218807	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
52356	218849	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
52535	218897	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
52758	218938	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
52961	219003	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
53116	219079	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
53282	219186	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
53491	219291	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
53725	219410	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
53951	219550	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
54195	219634	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
54406	219726	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
54634	219821	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
54889	219926	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
55101	220053	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
55291	220155	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
55526	220271	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
55706	220394	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
55919	220448	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
56125	220503	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
56295	220593	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
56455	220723	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
56635	220829	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
56804	220912	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
56981	221011	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
57211	221020	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
57407	221075	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
57601	221177	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
57764	221267	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
57933	221377	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
58100	221480	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
58262	221587	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
58422	221700	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
58588	221820	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
58786	221944	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
58980	222070	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
59063	222365	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
59285	222474	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3

59447	222573	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
59680	222646	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
59879	222731	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
60048	222823	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
60259	222909	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
60479	223101	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
60721	223247	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
60952	223353	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.3
61129	223438	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
61371	223561	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
61568	223646	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
61782	223738	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
61941	223859	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
62170	224047	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
62297	224380	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
62500	224612	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
62698	224738	4.6	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
62887	224810	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
63087	224892	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
63333	225212	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
63482	225497	4.6	12.0	6.9	4.7	12.6	7.2
63581	225855	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.2
63670	226244	4.7	12.0	6.8	4.9	12.6	7.2
62995	226390	4.8	12.0	6.9	4.9	12.6	7.2
63234	226561	4.8	12.0	6.8	4.9	12.6	7.2
63541	226482	4.8	12.0	6.8	4.9	12.6	7.2
64034	226690	4.9	12.0	6.8	5.0	12.6	7.2
64379	226827	4.9	12.0	6.8	5.1	12.6	7.2
64652	226919	5.0	12.0	6.8	5.1	12.6	7.2
64824	226962	5.0	12.0	6.8	5.1	12.6	7.2
65121	226900	5.0	12.0	6.8	5.1	12.6	7.2
65474	226952	5.0	12.0	6.8	5.2	12.6	7.2
65820	226943	4.9	12.0	6.8	5.0	12.6	7.2
66157	226815	4.6	12.0	6.8	4.7	12.6	7.2
70403	228648	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
70802	228568	4.9	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
71071	228604	5.0	12.0	6.9	5.2	12.6	7.3
71402	228743	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
71772	228983	5.0	12.0	6.9	5.1	12.6	7.3
72126	228990	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
72301	229034	4.9	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
72620	229015	4.8	12.0	6.9	5.0	12.6	7.3
72950	229115	4.7	12.0	6.9	4.9	12.6	7.3
73259	229201	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
71551	228398	4.7	12.0	6.9	4.8	12.6	7.3
72077	228208	4.4	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
72489	228111	4.4	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
72775	228006	4.3	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
73151	227856	4.3	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
73382	227788	4.3	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
73586	227867	4.4	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
73814	227958	4.4	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
74042	228062	4.4	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
74283	228183	4.4	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3

74505	228280	4.5	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
74721	228371	4.5	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
75018	228311	4.5	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
75265	228188	4.1	12.0	6.9	4.3	12.6	7.3
75527	228276	4.2	12.0	6.9	4.3	12.6	7.3
75788	228346	4.2	12.0	6.9	4.4	12.6	7.3
76009	228421	4.3	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
76242	228533	4.4	12.0	6.9	4.5	12.6	7.3
76471	228654	4.4	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
76734	228744	4.4	12.0	6.9	4.6	12.6	7.3
76927	228847	4.5	12.0	7.0	4.6	12.6	7.3
77137	228927	4.5	12.0	7.0	4.6	12.6	7.3
77365	229036	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.3
77629	229144	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.3
77995	229311	4.6	12.0	7.0	4.7	12.6	7.3
78337	229465	4.6	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
78644	229608	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
78928	229460	4.5	12.0	7.0	4.6	12.6	7.4
79165	229503	4.4	12.0	7.0	4.6	12.6	7.4
79398	229619	4.4	12.0	7.0	4.6	12.6	7.4
79644	229738	4.4	12.0	7.0	4.6	12.6	7.4
79872	229853	4.5	12.0	7.0	4.6	12.6	7.4
80097	230009	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
80158	230300	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
80344	230386	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
80518	230473	4.6	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
80668	230541	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
80765	230587	4.7	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
80867	230639	4.6	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
80950	230673	4.6	12.0	7.0	4.9	12.6	7.4
81143	230753	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
81310	230826	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
81503	230913	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
81665	230993	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
81845	231067	4.6	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
82001	231148	4.5	12.0	7.0	4.8	12.6	7.4
82193	231221	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
82422	231336	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
82620	231422	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
82908	231559	4.5	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
83118	231657	4.4	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4
83376	231771	4.4	12.0	7.0	4.7	12.6	7.4

