



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Technische Universiteit Delft
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek
(Bezoekadres Stevinweg 1)
Postbus 5048
2600 GA DELFT

Randvoorwaarden voor golfperioden langs de Nederlandse kust

Rapp
RIKZ
gb. 019

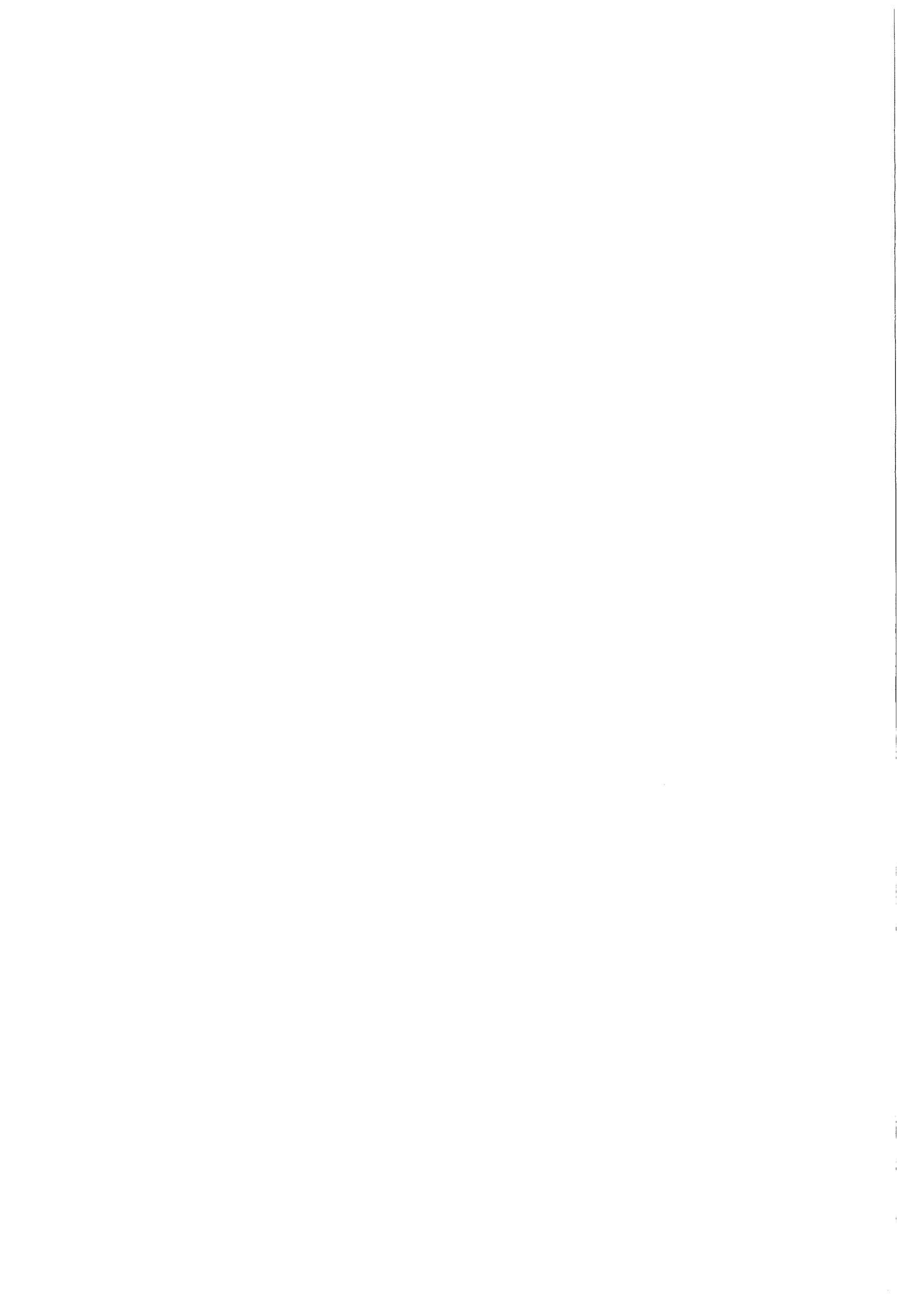
Rapport RIKZ - 96.019

Auteurs : A.P. Roskam
J. Hoekema

Juli 1996

23158185

610 Day Mars



Samenvatting

Om te kunnen voldoen aan de in de "Wet op de Waterkering" gestelde voorwaarden voor de berekening van de veiligheid van waterkeringen, zijn verdelingen van extreme waarden nodig van combinaties van parameters op het gebied van onder andere golven, waterstand en wind. Bij deze multivariabele statistiek worden, als randvoorwaarden, de enkelvoudige extreme-waarden-verdelingen (marginale verdelingen) gebruikt van deze parameters. In dit rapport worden de marginale verdelingen van de golf-periode parameters $T_{m_{02}}$ (gemiddelde periode) en T_p (piekperiode) bepaald.

Dit rapport is te beschouwen als een vervolg op het rapport "**Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water**" (RIKZ-95.024). In dat rapport wordt meer informatie gegeven over de achtergronden van dit onderzoek en het kader, waarbinnen dit in het project HYDRA wordt uitgevoerd.

Meestal zal voor de golfperiode de parameter $T_{m_{02}}$ bruikbaar zijn. Dit is de spektraal gemiddelde golfperiode; een stabiele karakterisering van de golfperiode verdeling. Bij de berekening van de veiligheid van dijken speelt de piekperiode T_p een belangrijke rol (golfoploop). De direct uit de spektra afgeleide waarden van deze parameter zijn echter zeer instabiel. Daarom is een stabielere variant ontwikkeld (T_{pb}) die goed bruikbaar is als alternatief voor T_p . Deze blijkt een vrijwel zuivere schatter van T_p met een nauwkeurigheid van dezelfde orde als die van de golfhoogte H_{m_0} .

Vervolgens zijn opgetreden maxima geselecteerd van de golfperiode parameters $T_{m_{02}}$ en T_p . Daarbij bleken veel maxima voor te komen, behorend bij geringe golfhoogten en lage windsnelheden, veroorzaakt door deining. Omdat deze condities niet van belang zijn voor de veiligheidsberekeningen aan de kust, behoren deze de extreme-waarden-statistiek niet te beïnvloeden. Er is daarom een methode gekozen om uit de geselecteerde maxima de storm maxima af te splitsen. De verdere statistiek wordt uitsluitend op deze storm maxima gebaseerd.

Ook de afhankelijkheid tussen golfhoogte maxima en maxima van golfperioden is onderzocht. Deze bleek groot, ongeveer 80% van de onafhankelijk geselecteerde maxima van golfhoogten en -perioden bleek binnen dezelfde storm te vallen.

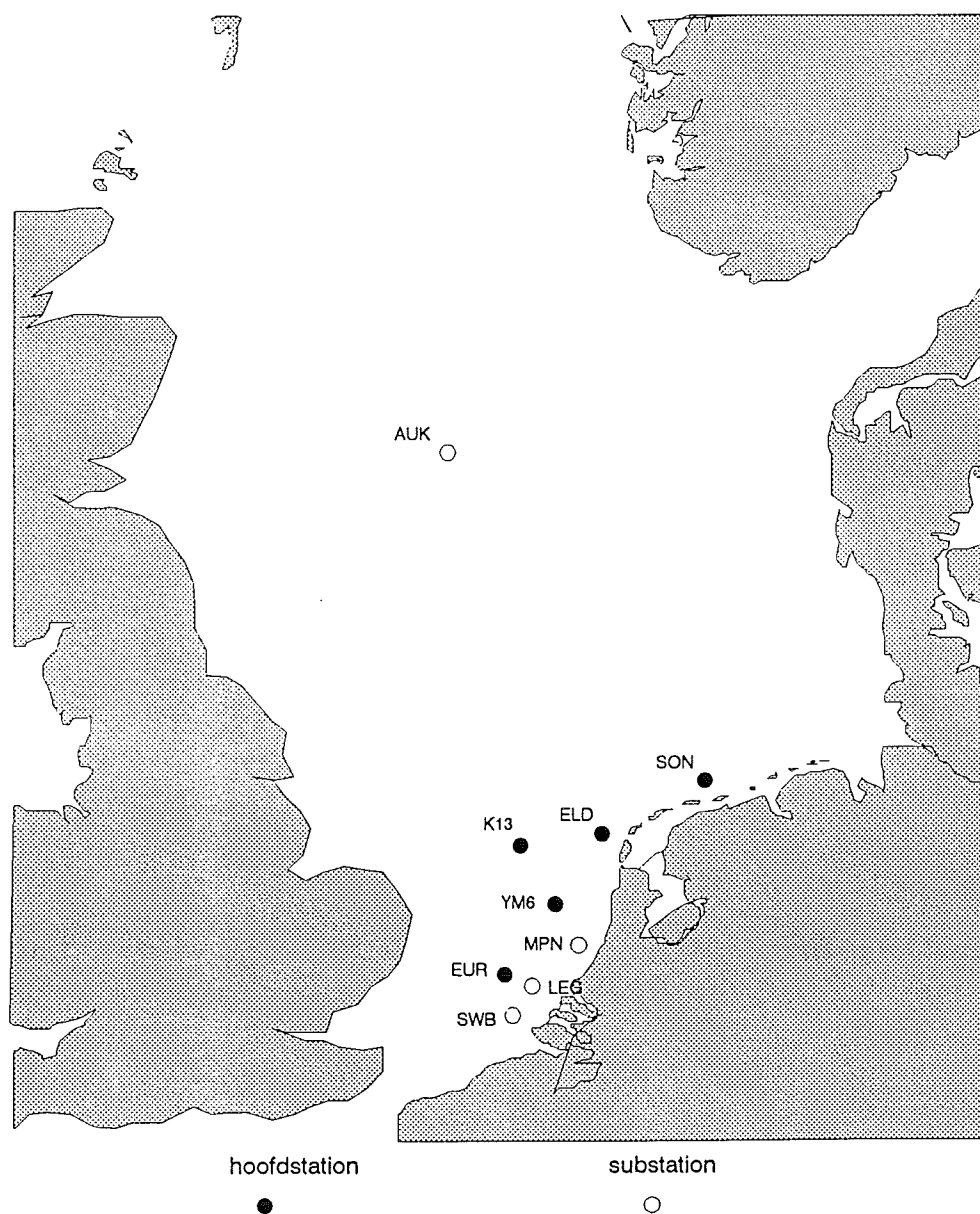
Uit de geselecteerde maxima van golfperioden zijn, op dezelfde manier als bij de golfhoogten, extreme waarden en extreme-waarden-verdelingen geschat. Daarbij is gebruik gemaakt van de conditionele Weibull-verdeling, waarbij de drempelperiode van die verdeling werd gevarieerd, zodat een drempeltraject kon worden vastgesteld, waarover de schattingsprocedure optimaal is. Vervolgens zijn gemiddelden van de verdelingsparameters over het gekozen drempeltraject bepaald en aan de hand daarvan is gekozen voor vaste waarden voor alle meetstations van de krommingsparameter α , namelijk 4,0 voor de golfperiode $T_{m_{02}}$ en 3,0 voor T_p . Hiermee zijn de extreme waarden van beide golfparameters voor de 5 meetstations berekend. Voor de golfperiode parameter $T_{m_{02}}$ bleken de 10^{-4} -extremen tussen 9,4 en 11,9 seconden te liggen en voor T_p tussen 13,3 en 19,4 seconden.

Bij de extreme waarden zijn ook betrouwbaarheidsintervallen berekend. Bij de golfperiode $T_{m_{02}}$ bedraagt de breedte van het 90%_betrouwbaarheidsinterval voor 10^{-4} -extremen gemiddeld ongeveer 2 seconden met kleine onderlinge verschillen tussen de stations en voor T_p is hetzelfde interval gemiddeld 4,6 seconde breed. Bij T_p zijn de onderlinge verschillen in betrouwbaarheid tussen de stations groter.

INHOUD

Samenvatting	3
Inhoud	5
1 Inleiding	7
2 Golfperioden	9
2.1 Inleiding	
2.2 De golfperiode $T_{m_{02}}$	
2.3 De golfperiode T_p	
2.4 Alternatieven voor T_p	
2.5 Statistische kenmerken van $T_{m_{02}}$, T_p , T_{pp} en T_{pb}	
2.6 Bestanden van golfperiode parameters	
3 Selectie van maxima	21
3.1 Inleiding	
3.2 Selectie van maxima van $T_{m_{02}}$ en T_{pb}	
3.3 Afhankelijkheid tussen maxima van golfhoogten en golfperioden	
3.4 Storm maxima en overige maxima van golfperioden	
3.5 Correctie van maxima voor systematisch afwijkingen	
4 Extreme waarden van $T_{m_{02}}$ en T_p	31
4.1 Inleiding	
4.2 De conditionele Weibull-verdeling	
4.3 Afhankelijkheid van de drempelperiode en keuze drempeltraject	
4.4 Keuze van de verdeling en de resulterende extreme golfperioden	
4.5 Bijzonderheden bij en aanvullingen op de resultaten.	
5 Samenvatting van de resultaten en conclusies	41
Literatuur	43
Lijst van figuren	45
Lijst van tabellen	47
Lijst van bijlagen	49
Bijlage 1 t/m 10	apart deel

.....
Figuur 1.1
Golfmeetstations voor de Nederlandse kust.



1 Inleiding

In verband met de "Wet op de Waterkering" moeten verdelingen en extreme waarden worden berekend van een aantal, voor de veiligheid van die waterkering van belang zijnde parameters, meestal hydraulische. Van die parameters zijn vooral waterstand, windrichting en -snelheid, golfhoogte en golfperiode van belang. Voor de veiligheidsberekeningen zijn meestal combinaties van hoge waarden van verschillende parameters tegelijk van belang. Om hiermee om te kunnen gaan wordt gebruik gemaakt van multivariabele statistiek. De daarbij gebruikte statistische methode gaat uit van de enkelvoudige kansverdelingen van elke parameter apart -de marginale verdelingen- en combineert deze, gebruik makend van de onderlinge afhankelijkheid, tot meerdimensionale kansdichtheidsverdelingen.

Van de meeste van de eerdergenoemde hydraulische parameters zijn de marginale verdelingen al bekend. Voor waterstanden zijn deze berekend in het onderzoek "Basispeilen" [lit. 1], voor de windsnelheid kan gebruik worden gemaakt van door het KNMI berekende extreme-waarden-verdelingen, zie "Windklimaat van Nederland" van Wieringa en Rijkooft [lit. 2] en voor golfhoogten is onlangs de studie naar extreme waarden afgerond en vastgelegd in het rapport "Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water" [lit. 3]. Aansluitend op het laatstgenoemde rapport en grotendeels gebruik makend van dezelfde gegevens en methoden wordt in dit rapport beschreven hoe de marginale verdelingen en de daaruit volgende extreme waarden van twee golfperiode parameters zijn geschat.

Kader en achtergronden van het onderzoek naar een uniforme berekeningsmethode voor de veiligheid van de kust en de daarvoor benodigde randvoorwaarden worden verder belicht in [lit. 3].

De hier gerapporteerde berekeningen zijn verricht binnen het project HYDRA (HYDraulische RAndvoorwaarden).

De plaats van dit project, de relaties met andere projecten en samenwerkingsverbanden met andere onderzoeksinstituten worden eveneens gegeven in [lit. 3].

De randvoorwaarden voor golfperioden langs de Nederlandse kust zijn berekend voor vijf golfmeetstations op relatief diep water, dezelfde als in [3], te weten de stations SON, ELD, K13, YM6 en EUR.

Figuur 1.1 geeft de posities weer van deze meetpunten. Voor informatie over de meetstations en inwinmethoden, zie [lit. 3]

Vaak zal voor veiligheidsberekeningen een vertaling van de diep water randvoorwaarden naar de kust nodig zijn. Dit gebeurt met golfmodellen, zoals bijvoorbeeld HISWA. In dit rapport wordt hier niet op ingegaan.

Als golfperiode parameters worden de gemiddelde spektrale golfperiode (T_{m02}) en de spektrale piekperiode (T_p) gebruikt. Eerstgenoemde is een veel gebruikte, stabiele karakterisering van de verdeling van de golfperioden, bij benadering gelijk aan de gemiddelde periode in het tijddomein. De waarde wordt berekend uit het energie-dichtheidsspektrum.

De piekperiode T_p is het omgekeerde van de piekfrequentie, dit is de frequentie die behoort bij de maximale energiedichtheid in het spektrum. Deze parameter wordt vaak gebruikt om modelspektra te karakteriseren. Bij de ontwerpberekeningen voor dijkconstructies wordt ook gebruik gemaakt van de golfperiode T_p . Als karakterisering van **gemeten** golfperioden wordt de parameter T_p echter sterk beïnvloed door de meetnauwkeurigheid. De uit een gemeten spektrum geschatte waarde van T_p is onnauwkeurig en instabiel, althans vergeleken met andere periode parameters.

Vanwege het belang voor veiligheidsberekeningen aan dijken, zal toch een verdeling van de extreme waarden van T_p worden geschat, naast die van $T_{m_{02}}$. Daartoe zal eerst worden getracht een stabielere en nauwkeuriger variant van de piekperiode te ontwikkelen en vervolgens zullen continue bestanden met drie-uurlijkse waarden van beide golfperiode parameters worden opgebouwd (periode 1979-1993). Dit is beschreven in hoofdstuk 2.

Vervolgens worden maxima van de golfperioden geselecteerd. Daarbij doet zich het probleem voor dat er vaak lange golfperioden voorkomen bij lage of zeer lage golfhoogten, namelijk als er deining aanwezig is. Om te voorkomen dat er maxima van golfperioden bij zulke lage golfhoogten worden geselecteerd, is een ondergrens voor de golfhoogte gebruikt. Daarnaast is een toets gebruikt om geselecteerde maxima te onderscheiden in storm maxima en door deining beïnvloede maxima. De selectie procedure wordt beschreven in hoofdstuk 3.

De extreme-waarden-statistiek wordt gebaseerd op de maxima van golfperioden in stormsituaties. Tijdens deiningssituaties treden weliswaar ook lange golfperioden op, maar omdat die per definitie geen koppeling hebben met hoge waterstanden, grote golfhoogten of hoge windsnelheden, leiden deze niet tot extreme belastingen van constructies.

Uit de geselecteerde maxima wordt een extreme-waarden-verdeling geschat. Daarbij wordt, net als bij de golfhoogten, uitgegaan van de conditionele Weibull-verdeling. Eerst worden verdelingen geschat, waarbij de waarde van de krommingsparameter α vrij wordt gelaten, later worden voor de uiteindelijk gekozen verdelingen, op grond van onderlinge samenhang, vaste, voor alle meetstations gelijke, waarden van α gebruikt.

Tenslotte wordt de betrouwbaarheid van de geschatte extreme waarden en van de verdeling onderzocht.

De beschrijving van de berekening van de extremen staat in hoofdstuk 4.

In dit hoofdstuk wordt ook een vergelijking gemaakt met methode en resultaten bij de schatting van de marginale verdeling van golfhoogten, volgens [lit. 3]. Met name wordt gekeken naar de aanvullende onderzoeken bij de golfhoogten, zoals de Hs-max studie, klimaatcorrecties en het gebruiken van NESS gegevens.

In hoofdstuk 5 worden een samenvatting van de resultaten en enige conclusies gegeven.

2 Golfperioden

2.1 Inleiding

De extreme-waarden-verdeling van golfperioden zal worden geschat voor 2 golfperiode parameters, namelijk $T_{m_{02}}$ en T_p . In dit hoofdstuk zullen eigenschappen en definities van deze parameters worden gegeven en zal de bestandsopbouw worden besproken.

2.2 De golfperiode $T_{m_{02}}$

De parameter $T_{m_{02}}$ is de meest gebruikte karakterisering van de golfperiode-verdeling van onregelmatige golven, althans van de spektrale parameters. Het is een goede benadering van de gemiddelde golfperiode in het tijddomein (d.i. de tijdsduur van meten gedeeld door het aantal golven). In de HYDRA-bestanden [lit. 3], waarin drie-uurlijks waarden worden gegeven van golfhoogte, golfperiode, golfrichting, waterstand en windsnelheid en -richting, is $T_{m_{02}}$ de parameter voor de golfperiode. De definitie luidt :

$$T_{m_{02}} = \sqrt{(m_0/m_2)}$$

m_0 = nulde moment van het energiedichtheidspektrum (0,03-0,50 Hz)

m_2 = tweede moment, idem.

2.3 De golfperiode T_p

De golfperiode T_p is de periode, behorend bij de grootste energiedichtheid in het spektrum. De waarde van T_p wordt berekend als $1/f_p$; f_p is de frequentie waarbij de energiedichtheid $S(f)$ maximaal is.

Als alle andere 'maxima-schatters' is de geschatte waarde van T_p uit metingen tamelijk onnauwkeurig. De uitkomst hangt immers, anders dan bij gemiddelden, slechts van één enkele waarde af.

Een ander aspect van de nauwkeurigheid van T_p is de grote discretisatiestap van de waarden van T_p bij grote golfhoogten. Omdat T_p het omgekeerde is van f_p en omdat de frequentiestap van het spektrum 0,01 Hz bedraagt kunnen de waarden van T_p discreet slechts $1/(n \cdot 0,01)$ bedragen, ofwel (bij grote T_p) : 9,1 of 10,0 of 11,1 of 12,5 of 14,3 of 16,7 etc. bedragen.

Deze discretisatiefout kan verkleind worden door het spektrum met een kleinere resolutie, bijvoorbeeld 0,005 Hz, te berekenen, maar dit veroorzaakt weer grotere onnauwkeurigheid in de geschatte spektrale dichtheden, zodat er per saldo geen winst wordt behaald. Dit is o.a. onderzocht bij de verwerking van de Egmond 1982 meting EG2320, zie [lit. 4]. Daar blijkt dat alleen een langere registratieduur tot winst in de schattingsnauwkeurigheid van T_p leidt, maar dit kan weer problemen geven met de stationairiteit.

Bijlage 2.1 illustreert de geringe nauwkeurigheid van de parameter T_p . Uit de plot blijkt duidelijk de sprongsgewijze verandering van T_p en de grote spreiding. In het gebied waarin de gemiddelde golfhoogten en perioden maximaal en gemiddeld tamelijk constant zijn (uur 16 tot 34 : $H_{m_0} \approx 6-7$ m) varieert de golfperiode T_{m_02} tussen 8 en 9 seconden en de piekperiode tussen 10 en 17 seconden.

Een laatste nauwkeurighedsaspect van de parameter T_p betreft het voorkomen van meertoppige spektra. Als in een spectrum twee verschillende golfvelden voorkomen (zeegang en deining) met ongeveer gelijke energiedichtheden, maar verschillende gemiddelde frequenties, zal de waarde van T_p heen en weer kunnen springen tussen beide golfvelden en zo kunnen tussen opeenvolgende waarden grote verschillen voorkomen. Dit maakt T_p behalve onnauwkeurig ook instabiel.

Er zijn natuurlijk methoden te bedenken om de schattingsnauwkeurigheid van T_p van een gemeten spectrum te verbeteren. In grote lijnen zijn daarvoor drie methoden bruikbaar, namelijk het fitten van een kromme door de piek van het spectrum, het fitten van krommen door beide flanken van het spectrum en het berekenen van momenten van een klein deel van het spectrum om de piek. Dit wordt in de volgende paragraaf nader uiteengezet.

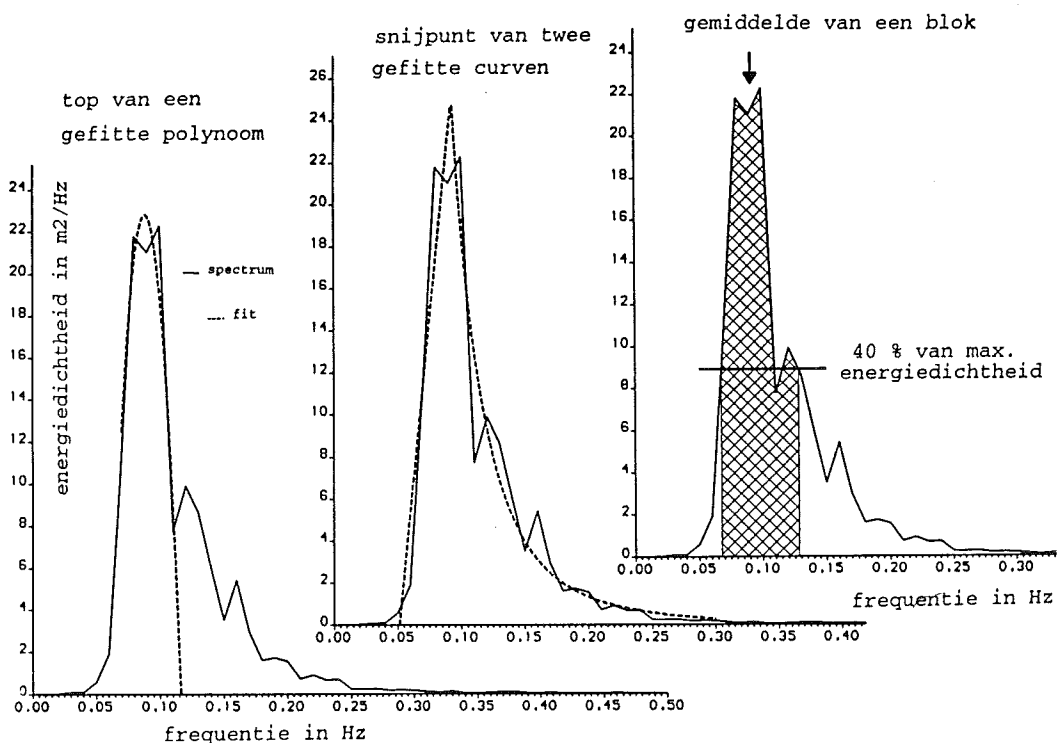
2.4 Alternatieven voor T_p

Een aantal mogelijkheden om een meer nauwkeurige en stabielere schatting van de piekperiode van spektra uit metingen te verkrijgen, bestaat uit :

- het fitten van een polynoom door de piek van het spectrum en de frequentie waarbij deze polynoom een maximum heeft gebruiken om T_p af te leiden. Daarbij is de graad van de polynoom en het aantal punten om en nabij de piek, waarmee de fit wordt berekend, van belang. Onderzocht zijn 2^e- en 3^e-graads polynomen door 5, 7 of 9 punten. In figuur 2.1 wordt een voorbeeld gegeven van het fitten van een tweedegraads-kromme met 5 punten om de top van het spectrum
- het fitten van curven door zowel de linker- als de rechterflank van het spectrum (het deel om de piek), T_p wordt dan berekend uit het snijpunt van beide curven. Daarbij kan vooraf een vaste graad worden opgelegd, bijvoorbeeld een 4^e- of 5^e-graad voor de rechterflank (in overeenstemming met theoretische spektra) of een rechte voor de linkerflank. In figuur 2.1 wordt een voorbeeld van het fitten van curven gegeven.
- het afsplitsen van het deel van het spectrum dat de piek bevat en van dit deel (blok) via bepaling van de momenten de gemiddelde periode schatten. Als blok kan bijvoorbeeld het deel van het spectrum om de piek met een grotere energiedichtheid dan x% van de maximale dichtheid worden gebruikt. Hier zijn blokken beschouwd met als grenzen 80% tot 20% en er zijn verschillende momentschatters voor de gemiddelde periode van zo'n blok gebruikt. Het laatste spectrum van figuur 2.1 toont zo'n blok, in dit geval het blok dat begrensd wordt door de frequenties, waarbij de energiedichtheid 40% van het maximum bedraagt.

Figuur 2.1

Alternatieve schattingsmethoden voor de piekperiode.



Voor een eerste schifting zijn alle bovengenoemde varianten onderzocht met een dataset van ruim 30000 spektra van meetstation EUR. Daarbij bleek dat er inderdaad enige verbetering van de nauwkeurigheid optrad, hoofdzakelijk bij grotere golfhoogten, maar dat er ook in een deel van de gevallen geen betrouwbare uitkomst werd gevonden en dat in sommige gevallen de systematische verschillen vrij groot waren.

Bij de methoden met een polynoom fit door de top bleken die met 3^e-graads krommen door 5 of 7 punten om de top het best. De nauwkeurigheid nam met 10 tot 20% toe en het systematische verschil (de bias) bleef beperkt tot gemiddeld 0,1 sec. De fit met een 3^e-graads kromme is theoretisch beter dan die met een 2^e-graads, omdat de spektrumvorm in het algemeen asymmetrisch is. In ca. 1% van de gevallen bleek schatting niet mogelijk, de top van de polynoom lag in zo'n geval (ver) buiten het beschouwde gebied.

Uit dit eerste onderzoek met allerlei polynoomfits, is er één ontwikkeld, waarmee verder wordt gerekend. Bij deze fit wordt eerst onderzocht hoever het spektrum, voor en na de top, monotoon daalt. Is dit aan een van beide flanken niet meer dan een punt (per definitie het minimum), dan wordt een 2^e-graads polynoom gefit door 3 punten, is dit aan een van beide flanken niet meer dan 2 punten, dan wordt een 2^e-graads kromme gefit door 5 punten en anders een 3^e-graads door 7 punten. Bij deze methode is er altijd een top binnen het onderzochte gebied en wordt, zo mogelijk de beste fit-methode (3^e-graads door 7 punten) gebruikt. De op deze manier geschatte piekperiode wordt T_{pp} genoemd.

Bij de methode met aparte krommen door de linker en rechter flank en het snijpunt als schatting voor de piek, zijn twee varianten geprobeerd, één met aan beide zijden een kromme van de gedaante $y=a*x^b$ en één met aan de linkerflank een rechte. Beide varianten voldeden slecht, bij lage Hm_0 zelfs slechter dan de gewone T_p , bij hoge Hm_0 iets beter maar met een vrij grote systematische fout en met een vrij groot percentage niet geldige schattingen (tot 20%). Deze methode is niet verder ontwikkeld.

De laatste methode gaat uit van een gebied in het spektrum, aan beide zijden van de piek, waarbij de energiedichtheid groter is dan een zeker percentage van de energiedichtheid bij de piek. Van zo'n blok kan dan de gemiddelde periode worden bepaald en dit is dan een schatter voor T_p . Bij deze methode komen geen ongeldige schattingen voor.

Meer in detail gebeurt de bepaling van de breedte van het blok als volgt (zie ook figuur 2.1) :

zowel links als rechts van de piek (respectievelijk aan de laagfrequente en aan de hoogfrequente flank) wordt onderzocht bij welke frequentie voor het eerst twee opeenvolgende frequenties een lager energieniveau hebben dan x% van de energiedichtheid aan de piek. Door lineaire interpolatie wordt vervolgens de exacte frequentie bepaald waarbij de energiedichtheid onder het x%_niveau daalt.

Hierbij worden tevens maximale breedten voor het verschil met f_p gehanteerd van 0,05 Hz (links) en 0,06 Hz (rechts).

Bij het voorbereidend onderzoek zijn verschillende percentages gebruikt en een aantal manieren om de gemiddelde periode te bepalen. Na onderlinge vergelijking bleek een blokbreedte met energiedichtheden tot 40% en $T_{m_{-10}}$ (d.i. m_{-1}/m_0) als schatter voor de periode de beste combinatie.

De zo geschatte waarde voor T_p wordt in het vervolg T_{pb} genoemd.

2.5 Statistische kenmerken van $T_{m_{02}}$, T_p , T_{pp} en T_{pb}

Hier worden eerst een aantal statistische aspecten van bovengenoemde golfperiode parameters onderzocht.

Voor de parameter $T_{m_{02}}$ zijn allereerst de integratie grenzen van belang. Hier zijn de standaardgrenzen 0,03 Hz en 0,50 Hz gebruikt. Uit het onderzoek bij de verwerking van Egmond meting EG2320 [lit. 4] bleek $T_{m_{02}}$ tamelijk gevoelig voor de bovengrens. Bij verhoging van de bovengrens wordt $T_{m_{02}}$ lager en andersom.

Voor normale 'diep' water spektra met een flinke golfhoogte (bijv > 2m) blijft de invloed van de integratiegrenzen binnen de perken. Uit [lit. 4] blijkt dat $T_{m_{02}}$ voor dit soort spektra met ca. 6% afneemt bij verhoging van de bovengrens tot 1,0 Hz. In ondiep water kunnen de verschillen veel groter zijn, tot 20%!

Gezien de systematische invloed van de Integratiegrenzen, moeten deze een onderdeel vormen van de definitie van de parameter $T_{m_{02}}$ en gelden de in het hiernavolgende berekende extreme waarden slechts voor de golfperiode $T_{m_{02}}$, bepaald over 0,03 t/m 0,50 Hz!

Voor de parameter T_p zijn de integratiegrenzen niet van belang, mits de piek van het spektrum maar binnen het frequentiegebied 0,03-0,50 Hz valt.

In het hiernavolgende wordt de nauwkeurigheid van de periode parameters onderzocht en worden onderlinge systematische verschillen tussen de verschillende schatters voor T_p bekeken. Dit wordt eerst gedaan met behulp van de meetgegevens van twee stormen in januari 1995, waarvan continue reeksen met spektra beschikbaar zijn en vervolgens met alle meetgegevens over de periode 1979-1993, waarvan drie-uurlijks spektra aanwezig zijn.

Voor beide stormperiodes in januari 1995 (1/1 - 3/1 en 9/1 - 12/1) zijn ten behoeve van de metingen voor de 'case studie Petten' [lit. 5] voor elke twintig minuten spektra verkregen uit het meet- en inwinsysteem van de Directie Noordzee in het HMR te Hoek van Holland voor vier meetstations, namelijk ELD, K13, YM6 en EUR.

Meetstation SON heeft in de beschouwde perioden helaas niet geregistreerd.

Uit deze spektra zijn de waarden bepaald van de standaard parameters H_{m_0} , $T_{m_{02}}$ en T_p en voor enkele alternatieven voor T_p , namelijk T_{pp} en twee varianten van T_{pb} , die voor 60% ($T_{pb60\%}$) en voor 40% ($T_{pb40\%}$), beide bepaald met de momenten m_{-1} en m_0 .

De al eerder genoemde bijlage 2.1 laat het verloop zien van de golfhoogte H_{m_0} en van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p bij de storm van 1-3 januari 1995 bij meetstation ELD.

Bijlage 2.2^a toont bij dezelfde storm en hetzelfde meetstation het verloop van de golfperioden $T_{m_{02}}$, T_p en T_{pp} . De spreiding in T_{pp} is iets kleiner dan die in T_p , maar nog steeds erg groot.

In bijlage 2.2^b is T_{pp} vervangen door $T_{pb60\%}$. Deze schatter voor T_p is duidelijk beter, maar heeft nog steeds grote uitschieters. Tenslotte toont bijlage 2.2^c het verloop van $T_{pb40\%}$. Hier is de spreiding veel kleiner, ongeveer twee maal zo groot als die van $T_{m_{02}}$; de spreidingsbreedte is ca. 2 seconden.

De belangrijkste eigenschappen voor een alternatieve T_p -parameter behoren stabiliteit en zuiverheid te zijn. Deze eigenschappen zijn voor de parameters T_p , T_{pp} , $T_{pb60\%}$ en $T_{pb40\%}$ onderzocht met behulp van de meetreeksen van de beide januari-stormen.

De stabiliteit is onderzocht door de spreiding te berekenen in de verhouding tussen de verschillende T_p -schatters en $T_{m_{02}}$. Aangezien $T_{m_{02}}$ een zeer stabiele maat is en omdat verwacht mag worden dat deze verhouding bij benadering constant is, zal de spreiding in de verhouding $T_p/T_{m_{02}}$ voor het grootste deel veroorzaakt worden door de spreiding in T_p . Bij een stabiele T_p -schatter zal deze spreiding daarom kleiner zijn dan bij een minder stabiele.

De zuiverheid van de T_p -schatter wordt bepaald door eventuele systematische verschillen tussen de verschillende parameters.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de gemiddelde waarden per meetstation van alle gebruikte periodematen. De tabel laat een klein systematisch verschil zien tussen T_p en de alternatieven.

Het systematische verschil (de bias) tussen T_p en T_{pp} is gemiddeld 0,14 seconden en varieert bij de 4 stations tussen 0,03 en 0,20 seconden. Bij T_p en $T_{pb60\%}$ is dit gemiddeld 0,15 en liggen de individuele waarden tussen 0,07 en 0,23 en bij T_p en $T_{pb40\%}$ tenslotte is de bias wat groter, gemiddeld 0,30 (variatie 0,14-0,40).

De spreiding in de verhouding tussen $T_{m_{02}}$ en $T_{pb40\%}$ is verreweg de laagste. Dit bevestigt wat ook bijlage 2.2 al liet zien, namelijk dat $T_{pb40\%}$ duidelijk de meeste stabiele T_p -schatter is. Deze parameter heeft echter ook het grootste systematische verschil met T_p .

Tabel 2.1

Overzicht van gemiddelde golfperioden en van spreidingen in de verhouding van golfperioden tijdens beide stormen in januari 1995.

meet- sta- tion	gemiddelde perioden in seconden					spreiding σ in verhouding $V = T_{...}/T_{m_{02}}$				
	$T_{m_{02}}$	T_p	T_{pp}	$T_{pb60\%}$	$T_{pb40\%}$	T_p	T_{pp}	$T_{pb60\%}$	$T_{pb40\%}$	V_{gem}
ELD	6,85	9,90	9,72	9,75	9,54	0,21	0,18	0,14	0,11	1,44
K13	7,06	9,93	9,77	9,78	9,53	0,22	0,19	0,14	0,11	1,40
YM6	6,81	10,17	9,97	9,93	9,85	0,24	0,21	0,19	0,16	1,49
EUR	5,98	8,20	8,17	8,13	8,06	0,15	0,14	0,12	0,11	1,37
alle	6,68	9,55	9,41	9,40	9,25	0,207	0,180	0,149	0,121	1,43

Als intermezzo eerst enige cijfers over de breedte van het blok, dat gebruikt wordt bij de bepaling van T_{pb} (blokbreedte ; zie figuur 2.1). Om enig inzicht te verkrijgen in de kwalificaties van deze schatter is het gewenst om te weten welk deel van het spektrum als 'blok' wordt gebruikt. Daartoe zijn bij de verwerking van de januari-stormen van elk spektrum de blokbreedten bepaald en zijn hiervan gemiddelden berekend. Tabel 2.2 geeft die gemiddelden.

Tabel 2.2

Gemiddelde blokbreedten bij de bepaling van $T_{pb60\%}$ en $T_{pb40\%}$ tijdens de stormen van januari 1995.

meet- sta- tion	gemiddelde blokbreedte in frequentiestappen van 0,01 Hz					
	links 60%	rechts 60%	totaal 60%	links 40%	rechts 40%	totaal 40%
ELD	1,7	2,4	4,1	2,3	3,9	6,2
K13	1,8	2,3	4,1	2,3	3,8	6,1
YM6	1,5	2,3	3,8	1,9	4,0	5,9
EUR	1,7	2,4	4,1	2,5	3,8	6,3
alle	1,7	2,3	4,0	2,2	3,9	6,1

De gemiddelde blokbreedte blijkt bij $T_{pb60\%}$ ongeveer 4 frequentiestappen van 0,01 Hz te bedragen en bij $T_{pb40\%}$ zijn dat er ruim 6. Dit is een flink deel van het energierijke gedeelte van het spektrum, bij $T_{pb40\%}$ en bij grotere golfhoogte (bijvoorbeeld $H_{m_0} > 2$ m) vaak meer dan de helft van alle energie in het spektrum. Op grond daarvan mag verwacht worden dat de nauwkeurigheid van T_{pb} van dezelfde orde zal zijn als die van H_{m_0} .

Voor het blok van $T_{pb40\%}$ is asymmetrisch, de rechterflank is gemiddeld 1,75 maal zo breed als de linker. Dit maakt dat het 'gemiddelde' van zo'n blok vaak bij een hogere frequentie zal liggen dan f_p . Dit wordt geheel of gedeeltelijk gecorrigeerd door het gemiddelde te bepalen uit m_{-1} en m_0 , want middeling via deze momenten

leidt tot een laagfrequent gemiddelde. De parameter $T_{m_{.10}}$ over een geheel spectrum is bijvoorbeeld in diep water gemiddeld ca. 25% hoger dan $T_{m_{02}}$. Met de keuze van de momenten kan in principe een aanwezige bias geheel worden gecorrigeerd, maar uit praktische overwegingen zijn hogere momenten minder gewenst vanwege de slechte nauwkeurigheid en grote gevoeligheid voor integratiegrenzen.

De nauwkeurigheid van de alternatieven voor T_p kan worden geschat door gebruik te maken van gedeelten van de metingen van de januaristormen, waarin de golfperiode niet of nauwelijks veranderde. Uit de registraties van beide stormen bij 4 meetstations zijn in totaal 10 gedeelten van 10 tot 50 opeenvolgende 20 minuten reeksen gehaald waarbinnen de golftoestand -vooral de golfperiode- stationair was. Van elk van deze delen zijn gemiddelde en standaardafwijking van de golfparameters bepaald. Als de golftoestand exact stationair was, is de standaardafwijking van een golfparameter onder die condities een zuivere schatter van de nauwkeurigheid van die parameter. Ook als de afwijking van stationaire golfcondities klein is ten opzichte van die standaardafwijking, is dit een goede schatting.

In tabel 2.3 worden de samengevatte resultaten gegeven, voor grote en middelgrote golfhoogten. De standaardafwijking van de golfhoogte H_{m_0} blijkt overeenkomstig de verwachting -zie bijv. [lit. 3]- ca. 5% te zijn, die van $T_{m_{02}}$ minder dan 3% en die van T_p gemiddeld 10%, maar bij grote golfhoogte aanmerkelijk groter dan bij lagere, kennelijk een gevolg van grote discretisatiestappen bij zeer grote waarden van T_p . Bij de beste alternatieve schatter voor T_p ($T_{pb40\%}$) is de spreiding iets minder dan de helft van die van T_p en van dezelfde orde als die van H_{m_0} .

Tabel 2.3

Nauwkeurigheid van de verschillende golfparameters, berekend uit de spreiding in stationaire perioden van de stormen van januari 1995.

golf- hoogte klasse	H_{m_0} gem [m]	relatieve standaard afwijking σ in procenten					
		H_{m_0}	$T_{m_{02}}$	T_p	T_{pp}	$T_{pb60\%}$	$T_{pb40\%}$
hoog	5,5	5,0	2,6	12,7	9,9	6,8	5,2
middel	3,8	5,1	2,8	7,6	6,7	5,4	4,7
alle	4,6	5,1	2,7	10,1	8,3	6,1	4,9

Als laatste voor wat betreft de stormen van januari 1995 is gekeken naar de systematische verschillen (bias) tussen de diverse periode schatters.

Dit is gedaan door de gemiddelden te berekenen over de stationaire perioden, weer gesplitst naar grote en middelgrote golfhoogten. De verschillen tussen deze gemiddelden zijn een indicatie voor systematische afwijkingen.

Bij hoge waarden van T_p is, gegeven de grote discretisatiestap en de grote spreiding, de middelingsmethode van invloed. Gewoon rekenkundig middelen is hier niet goed, dit geeft een systematische fout. Omdat T_p het omgekeerde is van f_p en f_p gegeven is in discrete stappen van 0,01 Hz, moeten de waarden van T_p harmonisch gemiddeld worden, of moet het gemiddelde van f_p berekend worden en daaruit T_p . Het gemiddelde van 20,0 en 14,28 (d.i. 17,14) verschilt bijvoorbeeld flink van het omgekeerde van het gemiddelde van 0,05 en 0,07 (d.i. $1/0,06 = 16,67$)!

Van de parameters T_p en $T_{pb40\%}$ zijn ter illustratie van dit effect, naast de rekenkundig gemiddelden ook de via frequenties afgeleide gemiddelden berekend.

De uitkomsten zijn gegeven in tabel 2.4. De laatste 2 kolommen bevatten harmonische gemiddelden, de overige rekenkundige. De systematische verschillen met T_p zijn voor T_{pp} en $T_{pb60\%}$ ongeveer 0,1 sec en voor $T_{pb40\%}$ 0,2 tot 0,3 sec. De harmonische gemiddelden van T_p zijn ongeveer 0,2 seconde lager dan de rekenkundige en die van $T_{pb40\%}$ nauwelijks.

Hiermee kan ongeveer de helft van het systematische verschil tussen T_p en $T_{pb40\%}$ worden verklaard, bij grote golfhoogten zelfs vrijwel de gehele bias. De resterende 0,15 sec bij hoofdzakelijk middelgrote golfhoogten is zo klein dat ze verwaarloosd mag worden.

Tabel 2.4

Gemiddelden van verschillende golfperiode parameters, berekend uit de stationaire perioden van de stormen van januari 1995.

golf- hoogte klasse	Hm_0 gem [m]	gemiddelde golfperiode $T_{...}$ in seconden						
		T_{m02}	T_p	T_{pp}	$T_{pb60\%}$	$T_{pb40\%}$	T_{ph}	$T_{pbh40\%}$
hoog	5,5	7,94	11,20	11,07	11,24	10,99	10,98	10,95
middel	3,8	6,49	9,04	8,93	8,86	8,73	8,99	8,71
alle	4,6	7,21	10,12	10,00	10,05	9,86	9,98	9,83

De conclusie van het onderzoek naar alternatieven voor T_p op basis van de meetgegevens van beide januaristormen in 1995 is dus dat $T_{pb40\%}$ verreweg de beste alternatieve schatter is. Deze zal in het verdere onderzoek worden gebruikt en deze variant zal verder kortweg T_{pb} worden genoemd.

Resumerend kan worden gesteld dat de parameter T_{pb} - berekend over het blok met als grenswaarden 40% van de maximale energiedichtheid en het gemiddelde berekend met $m_{.1}/m_0$ - een nauwkeurige en vrijwel zuivere schatter is van de piekperiode van spektra met flinke golfhoogten.

De relatieve nauwkeurigheid is vrijwel gelijk aan die van Hm_0 en de systematische fout is klein, hooguit enkele tienden van seconden en deze neemt zeker niet toe bij grote piekperioden.

Bij continue reeksen, zoals de hier gebruikte reeksen van de beide januari 1995 stormen, is er natuurlijk een veel betere en meer voor de hand liggende methode om een nauwkeurige schatting van T_p te verkrijgen, namelijk het filteren van de data-reeks, bijvoorbeeld door lopend (harmonisch) middelen. Door gebruik te maken van alle 20 minuten uitkomsten van een parameter, kan een tijdreeks van die parameter worden verkregen waarin de statistische onnauwkeurigheid voor een zeer groot deel is weggefilterd.

Continue reeksen zijn echter maar incidenteel beschikbaar. Voor de normale klimatologische golfmetingen zijn slechts 3-uurlijks spektra aanwezig. Er is onderzocht of een methode met lopend middelen van 3-uurlijkse waarden van T_p zou kunnen leiden tot stabielere en zuivere schattingen van de piekperiode, maar dit bleek niet het geval. Daartoe zouden tenminste uurlijkse waarden nodig zijn.

Tenslotte zijn voor de vijf hoofdmeetstations uit alle beschikbare spektra in de periode 1979-1993 nog eens een aantal alternatieven voor T_p berekend. Dit betrof T_{pp} , $T_{pb60\%}$ en $T_{pb40\%}$, beide laatste met verschillende momentenschatters voor het gemiddelde ($T_{m_{01}}$, $T_{m_{10}}$ en $T_{m_{20}}$). Analyse van de verschillen bevestigde dat de parameter T_{pb} (40% ; m_{-1}/m_0) ook hier de beste alternatieve schatter voor de piekperiode is.

Tabel 2.5 laat de belangrijkste resultaten zien, echter alleen voor T_{pb} als alternatieve schatter voor T_p en alleen voor spektra met golfhoogten groter dan 2 m.

Deze ondergrens voor de golfhoogte is gebruikt omdat specifiek gezocht werd naar een alternatieve schatter voor T_p voor grotere golfhoogten, namelijk die waarop de extreme waarden statistiek zal worden gebaseerd.

Bij lagere golfhoogten is de spreiding in T_p nog veel groter. Bij golfhoogten van 0,75 tot 2 meter is de spreiding in $T_p/T_{m_{02}}$ gemiddeld ongeveer 0,27 en bij nog lagere golfhoogten groter dan 0,5. Bij deze golfhoogten speelt niet alleen de slechte schattingsnauwkeurigheid van T_p een rol, maar ook de aanwezigheid van deining. Geen enkele alternatieve T_p -schatter geeft bij deze lage golfhoogten een significant betere waarde voor de piekperiode!

De uitkomsten in tabel 2.5 verschillen in wezen niet van die uit het onderzoek met de januari stormen. De bias van T_{pb} met T_p is 0,24 seconden, waarvan echter weer een deel voortkomt uit het rekenkundig middelen van de piekperioden, zodat de echte bias verwaarloosbaar mag worden geacht.

De spreiding in $T_p/T_{m_{02}}$ neemt bij T_{pb} af van 0,15 tot 0,10 waaruit mag worden geconcludeerd dat T_{pb} ook hier veel stabiel is dan T_p .

De gemiddelde blokbreedte is ruim 0,05 Hz en ook hier zeer asymmetrisch, bij benadering links 1/3 deel en rechts 2/3.

Het onderzoek naar de extreme-waarden-verdeling van piekperioden zal verder geheel worden uitgevoerd met T_{pb} als schatter voor die piekperiode.

Tabel 2.5

Enkele statistische kenmerken van golfperiode parameters uit spektra van de gehele meetperiode 1979-1993. Golfhoogten H_{m_0} groter dan 2 meter.

meet- sta- tion	n	gemiddelde perioden in seconden			spreiding σ in $V = T_{...}/T_{m_{02}}$			gem. blokbreedte 40% in aantal df (0,01 Hz)		
		$T_{m_{02}}$	T_p	T_{pb}	T_p	T_{pb}	Vgem	links	rechts	totaal
SON	4391	6,02	8,65	8,29	0,16	0,10	1,43	1,9	3,9	5,8
ELD	4967	5,85	8,00	7,75	0,16	0,10	1,36	1,9	3,5	5,4
K13	9543	5,77	7,82	7,59	0,16	0,11	1,35	1,8	3,3	5,1
YM6	5450	5,76	7,78	7,55	0,16	0,11	1,35	1,8	3,4	5,2
EUR	5053	5,40	7,17	7,01	0,11	0,07	1,33	1,9	3,3	5,2
gem	5881	5,76	7,88	7,64	0,151	0,098	1,36	1,86	3,48	5,34

2.6 Bestanden van golfperiode parameters

De HYDRA-bestanden met golfparameters uit [lit. 3] bevatten voor de golfperiode slechts de parameter $T_{m_{02}}$. Om T_p en alle varianten daarvan te kunnen berekenen, zijn de golfspektra voor de periode 1979-1993 van 5 meetstations uit het data-bestand DONAR gehaald. Vaak zijn er spektra van 2 verschillende sensoren, in de beginjaren waverider of stappenbaak en later een wavec-boei als vervanger (SON en ELD) of toegevoegd aan hetzelfde meetstation (K13, YM6 en EUR). Al deze spektra zijn gebruikt bij het zoeken naar de beste alternatieve parameter voor T_p .

Vervolgens zijn hieruit bestanden opgebouwd van enkele periode parameters, gelijksoortig aan de drie-uurlijkse HYDRA-bestanden voor golfhoogten etc. Hierbij is gebruik gemaakt van de in die HYDRA-files (de GA3<...>-files, zie [lit. 3]) opgeslagen kwaliteit kenmerken en sensor codes, zodat de aanvullende files met golfperiodes steeds zo veel mogelijk gelijk zijn aan de HYDRA-bestanden.

Uit overwegingen van gebruiksgemak zijn aan de periode bestanden ook de aanvullende gegevens wind en waterstand toegevoegd. De gegevensfiles bestaan zodoende uit :

- datum en tijd	[UT]
- golfhoogte H_{m_0}	[cm]
- golfperiode $T_{m_{02}}$	[ms]
- golfperiode T_p	[ms]
- golfperiode T_{pb}	[ms]
- kwaliteit kenmerk voor H_{m_0} en $T_{m_{02}}$	[-]
- sensor code (meetinstrument)	[-]
- kwaliteit kenmerk voor T_p en T_{pb}	[-]
- kwaliteit kenmerk voor wind en waterstand	[-]
- gemeten waterstand	[cm tov NAP]
- astronomisch verwachte waterstand	[cm tov NAP]
- windsnelheid	[dm/s]
- windrichting	[gr]

De files bevatten 3-uurlijkse reeksen meetwaarden over de periode 1979-1993 (aanvullende gegevens t/m 1991) en zijn 43832 regels lang. De namen zijn respectievelijk GPA3SON ; GPA3ELD ; GPA3K13 ; GPA3YM6 en GPA3EUR.

De waarden van H_{m_0} , van het kwaliteit kenmerk voor H_{m_0} en $T_{m_{02}}$, van de sensor code en van de 4 aanvullende gegevens zijn rechtstreeks overgenomen uit de HYDRA-bestanden (uit de GA3....-files, zie [lit. 3]) en de waarden van $T_{m_{02}}$, T_p en T_{pb} zijn waar mogelijk berekend uit de spektra.

De waarden van de golfperiode parameters worden in milliseconden berekend, niet omdat de nauwkeurigheid zo groot is, maar omdat het in de verdere procedure van het schatten van extreme waarden een voordeel is als er zo min mogelijk exact gelijke waarden van maxima van die periode parameters voorkomen.

Bij ontbrekende spektra of als uit het kwaliteit kenmerk van H_{m_0} uit de GA3...-file blijkt dat het spektrum niet betrouwbaar is, wordt voor $T_{m_{02}}$ de waarde uit de GA3-file gebruikt. Dit is dan meestal een geschatte waarde voor $T_{m_{02}}$, die ontstaan is in de procedure om ontbrekende data aan te vullen, zie [lit. 3]. Deze waarden van $T_{m_{02}}$ zijn uitgedrukt in eenheden [0,1 sec]. Om ook hier zo min mogelijk gelijke waarden te krijgen worden via random generatie twee decimalen toegevoegd en worden ook deze afgeleide waarden van $T_{m_{02}}$ uitgedrukt in milliseconden.

Uit deze waarde voor $T_{m_{02}}$ worden de ontbrekende waarden voor T_p en T_{pb} geschat, voor beide dezelfde waarde, op de manier die in [lit. 3] is afgeleid als optimale schatter voor T_p bij grote golfhoogten. Deze methode maakt gebruik van de verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte.

Als tenslotte ook in de GA3...-file geen waarde voor $T_{m_{02}}$ aanwezig is, worden alle periode parameters in het golfperiode bestand op de dummywaarde -999 gezet.

Het kwaliteit kenmerk voor T_p en T_{pb} krijgt de waarde 0 als T_p en T_{pb} uit het spektrum berekend zijn en 1 als er geen spektrum is maar het kwaliteit kenmerk voor H_{m_0} en $T_{m_{02}}$ uit de GA3..-files wel op 0 staat. In de overige gevallen is het kwaliteit kenmerk voor T_p en T_{pb} gelijk aan dat voor H_{m_0} en $T_{m_{02}}$. Voor dummywaarden is dit 9.

Tot slot geeft tabel 2.6 een overzicht van de percentages berekende, geschatte en dummywaarden voor T_p en T_{pb} . Gemiddeld is ongeveer 73% van de waarden voor de piekperioden uit het spektrum bepaald, is ca. 21% geschat uit waarden van $T_{m_{02}}$ en staat ongeveer 6% op een dummywaarde.

.....
Tabel 2.6

Overzicht van de percentages berekende en geschatte waarden voor T_p en T_{pb} .
Per meetstation. Meetperiode 1979-1993.

waarden van T_p en T_{pb} :	golfmeetstation				
	SON	ELD	K13	YM6	EUR
.....
berekend uit spektrum	77%	58%	91%	72%	64%
geschat uit $T_{m_{02}}$	17%	22%	9%	24%	35%
dummy	6%	20%	0%	4%	1%

3 Selectie van maxima

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op de selectie van maxima voor zowel $T_{m_{02}}$ als voor T_{pb} . Bij die selectie is een zichtduur (breedte; onderlinge tijdsverschil) van twee dagen gebruikt om afhankelijkheid tussen geselecteerde maxima te voorkomen. Ook is onderzocht hoe groot de samenhang is tussen maxima van golfhoogten en maxima van golfperioden.

Belangrijkste complicatie bij het bepalen van marginale statistiek van golfperioden is de inhomogeniteit van de verzameling lange golfperioden. Lange golfperioden komen meestal voor onder stormomstandigheden en behoren dan bij grote golfhoogten, maar in deiningssituaties komen ook lange golfperioden voor bij lage of zeer lage golfhoogte.

In dit hoofdstuk wordt een methode gegeven om deze gevallen af te splitsen. Tenslotte wordt op de geselecteerde maxima een correctie toegepast voor de overschatting die bij maxima-selectie systematisch optreedt.

3.2 Selectie van maxima van $T_{m_{02}}$ en T_{pb}

Uit de continue reeks 3-uurlijkse meetwaarden van $T_{m_{02}}$ of T_{pb} uit de periode 1979-1993 worden maxima van de waarden van die parameters geselecteerd. Dit gebeurt met een zichtduur selectie met een breedte van 2 dagen, dat wil zeggen dat het onderlinge tijdsverschil tussen opeenvolgende maxima steeds tenminste 48 uur moet bedragen.

Net zoals bij golfhoogten worden ook hier alleen maxima geselecteerd die in de winterperiode (1 oktober t/m 31 maart) vallen.

Bij deze selectie wordt een ondergrens voor de golfhoogte H_{m_0} gebruikt om te voorkomen dat al te veel maxima met grote golfperiode en kleine golfhoogte worden geselecteerd. Het selecteren van erg veel van dit soort maxima moet worden voorkomen omdat dit anders, vanwege de vrij grote breedte (2 dagen), de selectie van echte (storm) maxima kan beïnvloeden.

De waarden van de ondergrens zijn gegeven in tabel 3.1. Ze komen overeen met de golfhoogte, die in winterperioden gemiddeld 50% van de tijd wordt overschreden.

Bij elk station wordt een aantal maxima geselecteerd, dat overeenkomt met gemiddeld 25 per jaar registratieduur. Van elk geselecteerd maximum wordt vervolgens vastgesteld of het een 'storm' maximum betreft of niet. In het laatste geval betreft het meestal een door deining gedomineerd maximum, maar omdat het lang niet altijd uitsluitend deining is, wordt deze categorie 'overige' maxima genoemd.

De manier waarop dit wordt bepaald, zal verder in dit rapport worden beschreven. De aantallen op deze manier geselecteerde maxima worden gegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1

Overzicht van registratieduur, selectie ondergrens van de golfhoogte en geselecteerde aantallen maxima. Per meetstation. Meetperiode 1979-1993.

meet- sta- tion	netto reg. duur [jaar]	ondergrens golfhoogte H_{m_0} [m]	aantallen geselecteerde maxima				
			totaal	--- $T_{m_{02}}$ -selectie---		--- T_{pb} -selectie---	
				storm	overige	storm	overige
SON	14,2	1,25	355	282	73	252	103
ELD	12,0	1,40	300	247	53	225	75
K13	15,0	1,65	375	304	71	250	125
YM6	14,4	1,35	360	298	62	250	110
EUR	15,0	1,35	375	329	46	296	79

3.3 Afhankelijkheid tussen maxima van golfhoogten en golfperiodes

Teneinde een indruk te verkrijgen van de afhankelijkheid tussen maxima van golfhoogten en van golfperiodes is hier onderzocht in welke mate deze samenvallen en welke tijdsverschuivingen hierbij optreden.

Begonnen is te onderzoeken welk deel van de geselecteerde golfhoogte en -periode maxima bij dezelfde stormen wordt gevonden. Dit is gedaan door zowel voor de golfhoogte H_{m_0} als voor de golfperiodes $T_{m_{02}}$ en T_{pb} de 200 hoogste maxima te selecteren. Uitgaande van elk periode maximum werd gezocht of er ook een H_{m_0} maximum geselecteerd was binnen 24 uur voor of na het periode maximum. Bij de golfperiode $T_{m_{02}}$ bleek dit bij 80% van de maxima het geval en bij de T_{pb} -maxima was dit 70%. De overeenkomst was uiteraard het hoogst bij de hoogste periode maxima. Bij de hoogste 50 maxima was dit meer dan 90% en bij de laagste 50 maxima ongeveer 50%.

Ook de rangorde van golfhoogte en golfperiode maxima van overeenkomstige stormen bleek niet veel te verschillen. Van de 50 stormen, waarbij de periode maxima het hoogst waren (plaatscijfer 1 t/m 50), bleek het gemiddelde plaatscijfer van de overeenkomende golfhoogte maxima gemiddeld 40 ($T_{m_{02}}$) of 45 (T_{pb}) te zijn.

Zoals verwacht mocht worden, zijn het voor een groot deel dezelfde stormen, waarbij de grootste golfhoogten en de langste golfperiodes optreden. Pas als naar minder extreme omstandigheden wordt gekeken, bijvoorbeeld stormen die minstens vijf maal per winterperiode voorkomen, worden de verschillen groter. Bij T_{pb} zijn de verschillen wat groter dan bij $T_{m_{02}}$.

Uitgaande van de 200 geselecteerde golfhoogte maxima, is gekeken naar de verschillen in de tijdstippen tussen golfhoogte en golfperiode maximum. De verschillen bleken voor $T_{m_{02}}$ gemiddeld 1,2 uur en voor T_{pb} gemiddeld 1,8 uur te bedragen, waarbij in beide gevallen het periode maximum gemiddeld na het golfhoogte maximum optreedt.

De gemiddelden van de absolute waarden van de tijdsverschillen, een indicatie voor de spreiding, bleken 3 en 4 uur te bedragen, dat is niet veel meer dan een verschuiving van één meetwaarde in de 3-uurlijkse reeksen.

Vervolgens is het gemiddelde verloop bepaald van de golfhoogte H_{m0} en de golfperiodes T_{m02} en T_p over de duur van de storm. Daartoe zijn een aantal maxima van de golfhoogte H_{m0} geselecteerd met daarbij de voorafgaande en opvolgende 10 meettijdstippen en voor elk van die tijdstippen zijn gemiddelden bepaald van golfhoogte en golfperiode over die geselecteerde stormen.

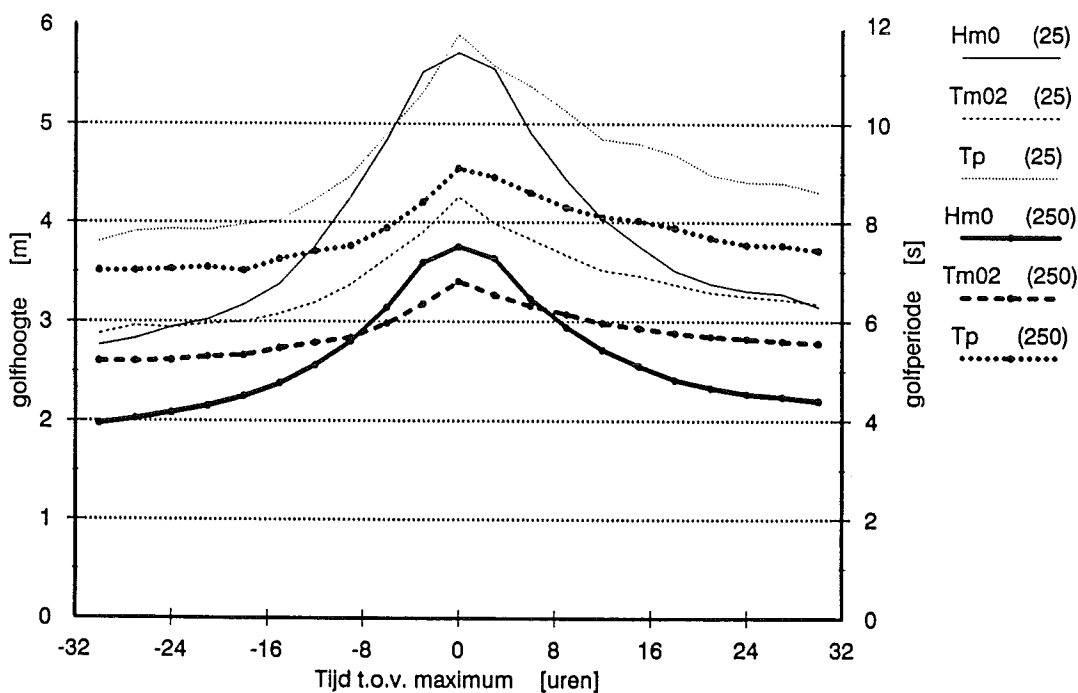
Dit is voor elk station gedaan voor de hoogste 25 maxima uit de periode 1979-1993 en voor de hoogste 250 maxima uit diezelfde periode. Dit onderscheid is gemaakt om na te gaan of er verschil is tussen extreme stormen en gemiddelde stormen. Figuur 3.1 toont de resultaten voor meetstation ELD en bijlage 3.1 voor de overige meetstations. De plots laten zien dat de gemiddelde tijdstippen van de maxima van alle drie golfparameters samenvallen, zowel voor de extreme stormen als voor de gemiddelde stormen.

Bij de golfhoogten is het verloop van de storm tamelijk symmetrisch maar bij de golfperiodes nemen de waarden na de top langzamer af.

Uit de plots blijkt dat de golfperiodes meestal licht najlen op de golfhoogten (faseverschil $\ll 3$ uur). Dit wijst er op dat de maxima van golfperiodes iets vaker na het maximum van de golfhoogten vallen dan ervoor.

.....
 Figuur 3.1

Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens de hoogste 25 respectievelijk 250 stormen in de periode 1979-1993. Meetstation ELD.



Tabel 3.2 geeft een indruk van de verdeling van de tijdsverschillen tussen de maxima van golfhoogten en golfperiodes. De tabel geeft het percentage van de golfperiode maxima dat 6 uur of meer voor het golfhoogte maximum valt, het percentage van de gevallen waarbij de tijdstippen van beide maxima niet meer dan drie uur verschillen en tenslotte het percentage golfperiode maxima dat 6 uur of meer na het golfhoogte maximum valt. Omdat de resultaten van de 5 meetstations onderling nauwelijks verschillen, zijn de gemiddelden over alle stations gegeven. De tabel laat zien dat in 60 tot 80% van de gevallen het tijdsverschil minimaal is, dat de tijdsverschillen bij T_{pb} groter zijn dan bij $T_{m_{02}}$ en dat de verschillen bij extreme stormen kleiner zijn dan bij gemiddelde stormen.

Tabel 3.2

Frequentieverdeling van de opgetreden tijdsverschillen tussen maxima van golfhoogten en golfperiodes, gemiddeld over de 5 meetstations.

grootte van het tijdsverschil	golfperiode $T_{m_{02}}$		golfperiode T_{pb}	
	n=25	n=250	n=25	n=250
periode max. \geq 6 uur vroeger	6%	7%	7%	10%
verschil \leq 3 uur	81%	73%	67%	61%
periode max. \geq 6 uur later	13%	20%	26%	29%

3.4 Storm maxima en overige maxima van golfperiodes

Zoals eerder gesteld komen soms zeer lange gemiddelde golfperiodes voor bij kleine golfhoogten en bij lage windsnelheden. Het golfveld bestaat dan meestal geheel of gedeeltelijk uit deining. Omdat dit soort omstandigheden geen rol spelen bij kritieke belastingen op dijken en duinen -het soort belastingen waarvoor hier extreme waarden worden gezocht- moeten deze maxima niet in de selectie van maxima voor de berekening van extreme waarden worden opgenomen. De geselecteerde maxima worden daarom gesplitst in storm maxima en overige maxima.

Alle maxima die niet aan de eisen voor een storm maximum voldoen, belanden in de klasse overige maxima. De oorzaak is natuurlijk vrijwel altijd de aanwezigheid van deining, maar omdat het slechts zelden uitsluitend deining betreft, maar meestal een combinatie van zeegang en deining, is het minder juist om die klasse 'deining' te noemen. Dit geeft tevens de moeilijkheid aan bij het afsplitsen van storm maxima; duidelijke deining maxima vormen geen probleem, maar bij combinaties van zeegang en deining kan niets anders dan een arbitraire grens worden gebruikt. Naast maxima van golfperiodes, die door de invloed van deining extra lang zijn, kunnen, hoofdzakelijk bij T_{pb} , bij de overige maxima natuurlijk ook waarden voorkomen, die extra lang zijn door meetfouten of meetonnauwkeurigheid.

Voor de splitsing wordt gebruik gemaakt van een grenswaarde van de golfperiode, gebaseerd op de verwachtingswaarde voor die periode bij gegeven golfhoogte H_{m_0} . Daarbij wordt gebruik gemaakt van de relaties tussen H_{m_0} en $T_{m_{02}}$ resp. T_{pb} die in [lit. 3] zijn afgeleid. Deze zijn :

$$Tm' = c1*\sqrt{Hm_0}$$

$$Tp' = c2*Tm' \quad \text{waarbij voor } c2 \text{ geldt :}$$

$$Hm_0/d \leq c3 : c2 = c4$$

$$Hm_0/d \geq c3 : c2 = 0,5*(Hm_0/d) + c5$$

- Tm' = verwachtingswaarde voor de golfperiode Tm_{02}
- Tp' = verwachtingswaarde voor de golfperiode T_p
- Hm_0/d = relatieve golfhoogte, t.o.v. de momentane waterdiepte
- c = constante

De waarden van de constanten $c1$, $c3$, $c4$ en $c5$ en van de gemiddelde waterdiepten, zoals die gebruikt zijn in [lit. 3], worden eenvoudigheidshalve hier nogmaals gegeven, zie tabel 3.3.

In de verhouding Hm_0/d wordt de momentane waterdiepte gebruikt, waarbij rekening wordt gehouden met de waterstand tijdens de meting.

.....
Tabel 3.3

Overzicht van de constanten die gebruikt worden bij de schatting van Tm_{02} en T_p uit de golfhoogte.

meet- sta- tion	diepte tov NAP [m]	constanten			
		c1	c3	c4	c5
SON	19	3,53	0,10	1,40	1,35
ELD	26	3,35	0,12	1,36	1,30
K13	30	3,29	0,12	1,36	1,30
YM6	21	3,35	0,14	1,33	1,26
EUR	32	3,14	0,14	1,33	1,26

De grenswaarden voor de splitsing in storm maxima (als het gevonden maximum lager is dan de grenswaarde) en overige maxima (gevonden maximum hoger dan de grenswaarde) worden nu gegeven door :

$$Tmg = 1,1*Tm' + 1,0 \quad \text{voor } Tm_{02}$$

$$Tpg = 1,1*Tp' + 0,25*Hm_0 + 1,0 \quad \text{voor } T_{pb}$$

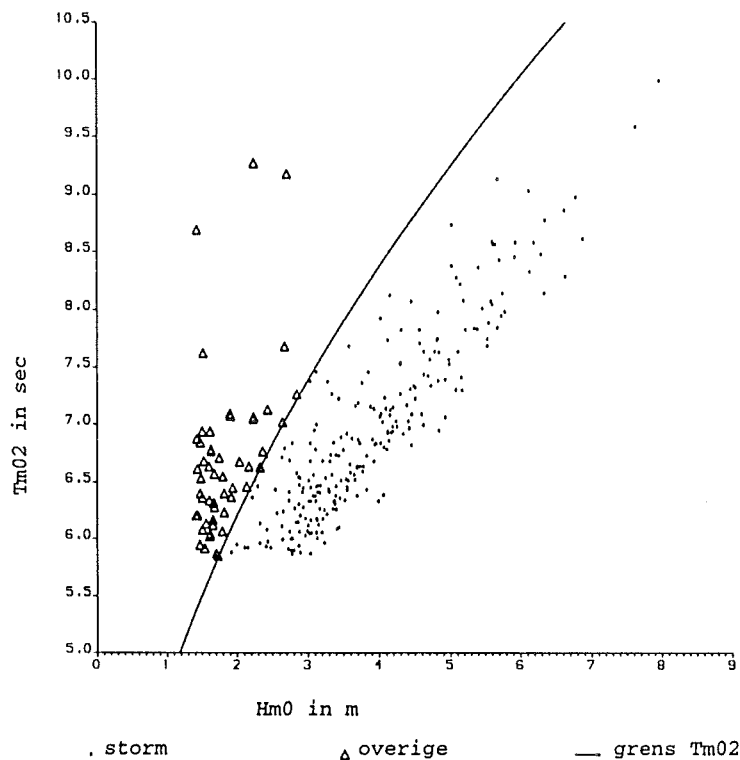
Dit zijn puur empirische vergelijkingen. Zoals eerder gesteld treedt er bijna nooit zuivere deining op, maar bijna altijd een combinatie van zeegang en deining. Daarvan moeten de gevallen van 'overheersende deining' worden afgesplitst, maar uit de vage omschrijving blijkt al dat dit altijd een subjectieve splitsing zal zijn. De splitsingsmethode is daarom beoordeeld op het resultaat. Er zijn diverse varianten onderzocht en de hiervoor gegeven criteria gaven de beste resultaten. Figuur 3.2 geeft een voorbeeld van de splitsing van maxima van de golfperiode Tm_{02} in storm maxima en overige maxima, in dit geval voor SON. De getrokken lijn geeft de grenswaarde aan.

Dezelfde figuren voor de andere meetstations worden gegeven in de bijlagen 3.2 en soortgelijke figuren voor maxima van T_{pb} in de bijlagen 3.3.

Bij T_{pb} is de grenswaarde afhankelijk van golfhoogte en waterstand (in de factor Hm_0/d). Dit kan niet in de eenvoudige plots van bijlage 3.3 worden weergegeven, daarom is in die plots de getrokken lijn slechts een benadering van het grenscriterium (waterstand 0). Vandaar ook dat bij SON (bijlage 3.3^a), waar de invloed van Hm_0/d het grootst is, er enkele punten aan de verkeerde kant van de lijn staan.

.....
 Figuur 3.2

Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} , gescheiden in storm maxima en overige maxima, met grenslijn. Meetstation ELD.



De plots laten zien dat de splitsing in de meeste gevallen een behoorlijk onderscheid maakt tussen duidelijke maxima van deiningperioden en van stormen, maar ook dat de splitsing zo nu en dan, vooral bij lage golfhoogten, tamelijk willekeurig kan zijn.

Om de effecten van de splitsing verder te onderzoeken zijn van enkele, voor de veiligheidsberekeningen belangrijke parameters (golfhoogte, windsnelheid en waterstand) gemiddelden berekend van de waarden die ze hebben op het moment van het maximum van de golfperioden. Van storm maxima mag worden verwacht dat de gemiddelden van deze parameters hoog zullen zijn en bij de overige maxima mogen normale, gemiddelde waarden worden verwacht.

De resultaten zijn gegeven in tabel 3.4. Deze berekening is alleen gedaan voor de T_{pb} -selectie omdat hierbij de splitsing de grootste invloed heeft. Het aantal waarden waarover de gemiddelden zijn berekend is steeds gelijk aan het geselecteerde aantal maxima (n) bij de categorie overige. Bij 'overige' zijn dit steeds alle waarden en

bij 'stormen' de waarden van de parameters behorend bij de hoogste n geselecteerde T_{pb} -maxima.

Tabel 3.4 laat zien dat gemiddelde golfhoogten, windsnelheden en waterstanden bij de overige maxima, zoals verwacht mocht worden, steeds veel lager zijn dan bij de storm maxima.

Tabel 3.4

Gemiddelde waarden van enkele parameters bij de T_{pb} -selectie, voor storm maxima en voor overige maxima.

meet- sta- tion	n	T_{pb} [sec]		Hm_0 [m]		windsnelh [m/s]		waterst [m NAP]	
		storm	overige	storm	overige	storm	overige	storm	overige
SON	103	11,6	10,8	4,70	1,65	15	7	+1,3	0,0
ELD	75	10,9	10,5	5,08	2,02	16	4	+1,2	-0,1
K13	125	9,9	11,2	4,55	2,37	15	5	+0,6	-0,2
YM6	110	9,9	10,5	4,40	1,96	18	6	+1,0	-0,1
EUR	79	9,3	8,9	4,56	1,76	17	6	+1,2	+0,5

Een laatste controle op de invloed van de overige maxima wordt gegeven in de bijlagen 3.4. Daar zijn overschrijdingskrommen geplot van enkele parameters voor storm maxima, overige maxima en alle maxima (storm en overige gecombineerd). De bijlagen bevatten slechts enkele (7) voorbeelden van de 20 combinaties uit tabel 3.4. De overige vertonen eenzelfde beeld.

De eerste 2 plots van bijlage 3.4 laten duidelijk zien dat het meenemen van de overige maxima bij T_{pb} leidt tot veel hogere extreme waarden dan bij stormen alleen. De volgende plots tonen echter dat het wel of niet toevoegen van de overige maxima aan de storm maxima geen enkele invloed heeft op de extreme waarden van golfhoogten of windsnelheid of waterstand.

De overschrijdingskrommen van overige maxima en alle maxima verschillen steeds veel. In enkele gevallen komen bij de overige maxima enkele vrij hoge waarden voor (zie bijvoorbeeld de overschrijdingskrommen voor de golfhoogte Hm_0 bij K13, bijlage 3.4^d) maar ook dan is er nauwelijks verschil in overschrijdingsfrequenties bij storm maxima of alle maxima.

3.5 Correctie van maxima voor systematisch afwijkingen

De hoogst gemeten waarde binnen een tijdreeks, die het verloop van de waarden van een parameter tijdens een storm weergeeft, is geen zuivere schatter van het maximum van die storm, althans niet als er sprake is van een beperkte meetnauwkeurigheid. Afhankelijk van de duur van de storm, de tijd-intervallen tussen de meetwaarden en de schattingsnauwkeurigheid treedt systematische over- of onderschatting op.

Als het aantal meetwaarden binnen een stormperiode klein is, zal er gemiddeld sprake zijn van onderschatting, omdat het meettijdstip niet altijd samenvalt met het maximum van de storm en als dit aantal groot is, zal er overschatting optreden

omdat er dicht bij het maximum van de storm meerdere meetwaarden zijn met een vrijwel gelijke verwachtingswaarde, waaruit de hoogste wordt gekozen. Naarmate de meetnauwkeurigheid slechter is, zal de gemiddelde overschatting groter worden. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze systematische fout, zie [lit. 6] en voor de mogelijke gevolgen van deze fout [lit. 10].

De mate van over- of onderschatting voor verschillende stormduren en voor verschillende waarden van de meetnauwkeurigheid, is onderzocht met behulp van simulaties. Daartoe werd een sinusvormig verloop van een golfparameter tijdens storm aangenomen, waarbij als stormduur de tijd werd gekozen waarover de waarde van die parameter groter was dan 90% van het maximum. Voor elke combinatie van stormduur en spreiding in de meetwaarden (σ) worden 2000 realisaties berekend van het verloop van de (3-uurlijkse) waarden van een parameter tijdens storm, uitgaande van een random gekozen fase en elke meetwaarde berekend als de verwachtingswaarde volgens het sinusvormige verloop met daaraan een randomwaarde toegevoegd, waarvan de grootte afhangt van de gekozen waarde van σ .

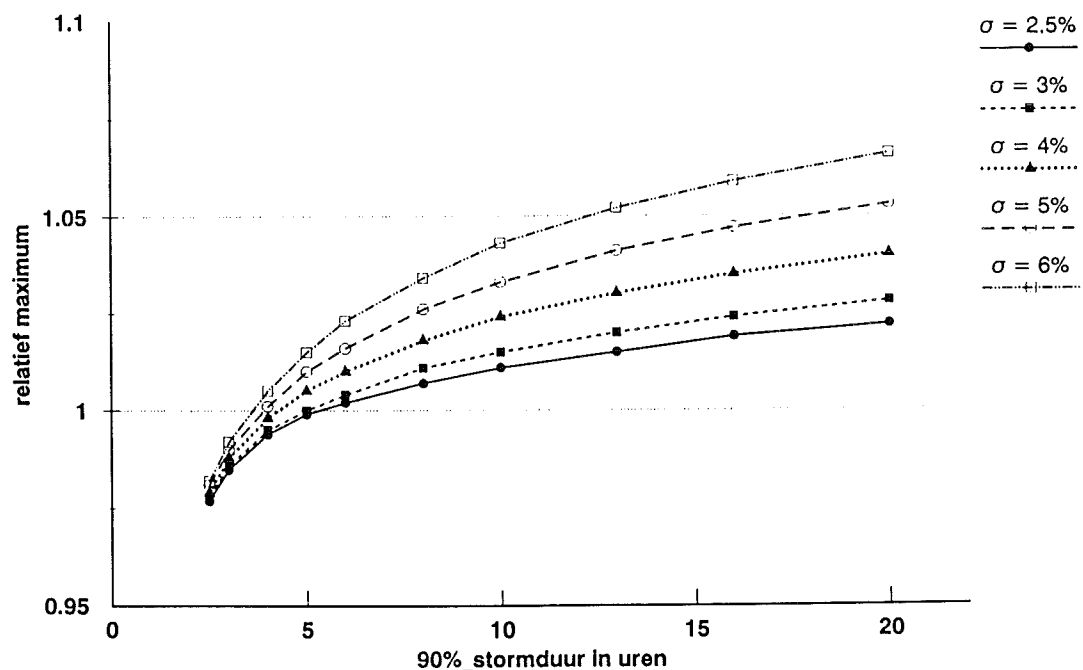
De resultaten zijn gegeven in figuur 3.3 voor stormduren van 2,5 tot 20 uur, met 3-uurlijkse meetwaarden en relatieve schattingsfouten van 2,5% tot 6%.

De figuur laat zien dat de systematische fout voor de golfperiode $T_{m_{02}}$ ($\sigma = 2\frac{1}{2}\text{-}3\%$) bij normale stormduren (5-15 uur) beperkt blijft tot hooguit 2% overschatting.

Bij de golfperiode T_{pb} is de relatieve spreiding groter ($\sigma = 4\text{-}6\%$) en kan de systematische overschatting oplopen tot ca 6%.

.....
Figuur 3.3

Systematische fout bij het schatten van maxima uit 3-uurlijkse waarnemingen. De verhouding tussen verwacht en werkelijk maximum, afhankelijk van stormduur en spreiding.



De grootte van een correctie van deze systematische fout hangt, vooral bij T_{pb} , af van de stormduur. Er is daarom een parameter ontwikkeld, die samenhangt met die stormduur.

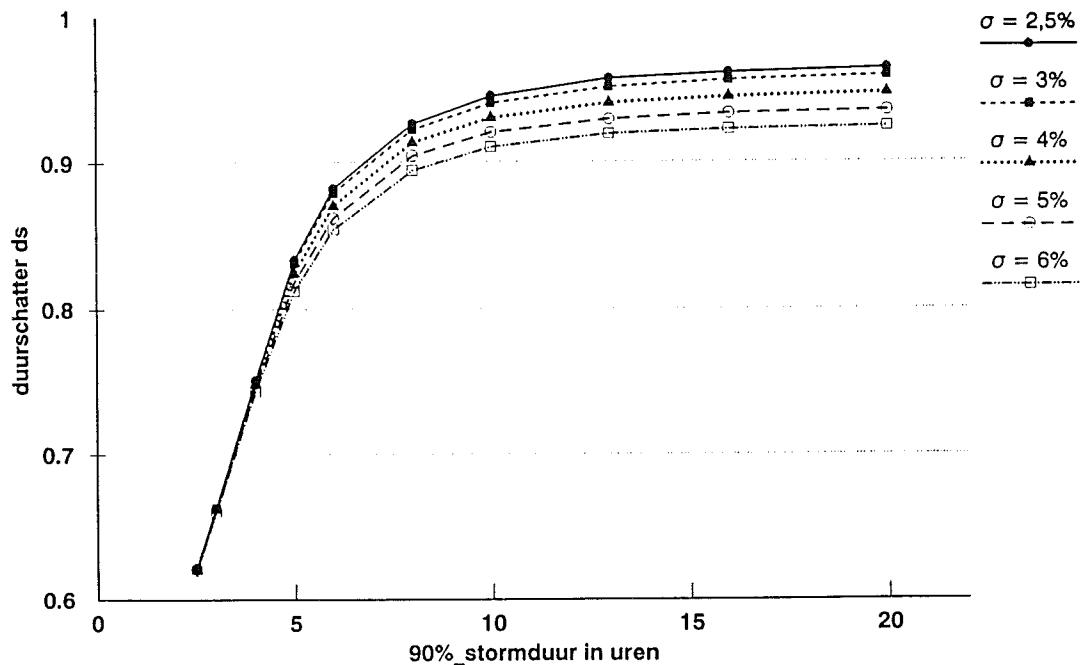
Deze parameter, ds , is het gemiddelde van de waarde van de onderzochte parameter over enige tijd voor en na een maximum, genormeerd met dat maximum. Bij 3-uurlijkse meetwaarden is gekozen voor een middelingsbreedte van 15 uur. Voor T_{pb} bijvoorbeeld, geldt dan :

$$ds = \{T_{pb}(j-2) + T_{pb}(j-1) + T_{pb}(j) + T_{pb}(j+1) + T_{pb}(j+2)\} / \{5 \cdot T_{pb}(j)\}$$

$T_{pb}(j)$ is de maximum waarde tijdens een storm

Bij de simulaties zijn ook gemiddelde waarden van ds bepaald, afhankelijk van stormduur en schattingsnauwkeurigheid van de beschouwde parameter, ook hier voor 3-uurlijkse meetwaarden. De resultaten zijn gegeven in figuur 3.4. Deze grafiek toont voor stormduren, kleiner dan 10-15 uur een goede samenhang tussen de stormduur en de waarde van ds . Bij langere stormduren tendeeert het gemiddelde van ds naar een limietwaarde, die afhangt van de grootte van σ .

Figuur 3.4
 Relatie tussen stormduur en de parameter ds , afhankelijk van stormduur en spreiding, voor 3-uurlijkse meetwaarden. Berekend met simulaties.



Voor alle geselecteerde maxima van T_{pb} en $T_{m_{02}}$ zijn de waarden van d_s berekend en zijn frequentieverdelingen van deze stormduurparameter gemaakt. Dit is gedaan voor alle meetstations apart, maar de onderlinge verschillen bleken verwaarloosbaar. Uit die verdelingen bleek dat d_s realistische waarden levert bij korte stormduren maar dat de waarden van d_s bij langere stormduren hoger zijn dan die bij het simulatie onderzoek, hoger ook dan de limietwaarden. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door toevalspreiding en anderzijds doordat het verloop van de golfperiode tijdens storm lang niet altijd sinusvormig is.

Met behulp van de simulatie resultaten en van de gevonden frequentieverdelingen van d_s is het volgende correctie schema voor de maxima van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_{pb} opgesteld :

$T_{m_{02}}$:	$d_s \leq 0,93$	correctiefactor 1,000	63% van alle maxima
	$d_s > 0,93$	" 0,980	37% " " "
T_{pb} :	$d_s < 0,85$	correctiefactor 1,000	14% van alle maxima
	$0,85 \leq d_s \leq 0,95$	" 0,975	72% " " "
	$d_s > 0,95$	" 0,950	14% " " "

Deze correcties zijn alleen toegepast op de geselecteerde maxima van $T_{m_{02}}$ en T_{pb} als deze -blijkens het kwaliteit kenmerk- echt uit de spektra berekend zijn en niet als het geschatte/aangevulde waarden van deze golfperioden betrof.

Na het corrigeren van deze systematische fout is voor elk meetstation een zo goed mogelijke bestand verkregen met storm maxima van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_{pb} , waarop -in het volgende hoofdstuk- schattingen van extreme waarden van golfperioden kunnen worden gebaseerd.

4 Extreme waarden van $T_{m_{02}}$ en T_p

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden met behulp van de geselecteerde maxima van stormen extreme waarden van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p geschat. Het schatten van extremen voor de parameter T_p zal steeds gebaseerd zijn op de opgebouwde dataset van de parameter T_{pb} , maar in het vervolg zal voor de piekperiode steeds de algemene parameternaam T_p worden gebruikt.

Bij het schatten van de extreme waarden van golfperioden en de verdeling daarvan wordt in beginsel dezelfde methode gevolgd als bij de extremen van de golfhoogten. Deze begint met het fitten van een conditionele, drempelafhankelijke Weibull-verdeling door de overschrijdingskrommen van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p voor allerlei verschillende drempelwaarden van die golfperioden. Hieruit wordt een drempeltraject geselecteerd, waarover betrouwbare uitkomsten mogen worden verwacht. Vervolgens worden gemiddelden van de Weibull-parameters berekend over dat drempeltraject en wordt de onderlinge samenhang tussen de uitkomsten van de verschillende meetstations beschouwd. Aan de hand daarvan worden uiteindelijk voor elk meetstation de parameters van de extreme-waarden-verdeling gekozen en worden de extreme (10^{-4}) waarden berekend.

Bij de schatting van extreme waarden voor de golfhoogten zijn na dit stadium nog de uitkomsten toegevoegd van enkele specifieke deelonderzoeken, zoals 'Hs-max', klimaatcorrecties en het verlengen van de 'waarnemings'-periode door het toevoegen van gecorrigeerde NESS-maxima over de periode 1964-1978, zie [lit. 3]. De klimaatcorrecties zijn bij de golfhoogten uiteindelijk niet toegepast en zullen hier bij de golfperioden niet worden onderzocht.

Het Hs-max onderzoek was vooral bedoeld voor golfhoogten, maar bij de modeluitkomsten zijn ook verwachtingswaarden van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p gegeven. Deze zullen summier worden beschouwd.

Van het verlengen van de waarnemingsperiode met NESS gegevens is in dit geval afgezien. Gezien de ervaringen bij de extreme waarden van golfhoogten leek het niet erg waarschijnlijk dat dit veel effect zou hebben en daarmee de grote extra inspanning zou rechtvaardigen.

Een belangrijk onderdeel van die extra inspanning zou bestaan uit het ontwikkelen van bias-correcties voor beide golfperiode parameters. Voor de piekperioden is, gezien de grote discretisatiestappen van deze parameter, nauwelijks te verwachten dat dit tot een bruikbaar resultaat zal leiden.

4.2 De conditionele Weibull-verdeling

In "Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust" [lit. 3] is de keuze van de conditionele Weibull-verdeling voor de extreme waarden van de golfhoogte uitgebreid toegelicht. Het belangrijkste argument was de robuustheid van de verdeling, zie ook [lit. 7]. Om dezelfde reden is deze verdeling ook gekozen voor de extreme waarden van de golfperioden.

Voor het vinden van de parameters van zo'n conditionele Weibull-verdeling bij een gegeven overschrijdingsverdeling, wordt de maximum likelihood methode gebruikt.

De conditionele Weibull-verdeling wordt gegeven door :

$$F(T_{..}) = p_{\text{cond}} * \exp \left(-\left(\frac{T_{..}}{\sigma}\right)^\alpha + \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha \right) \quad \text{waarbij } T_{..} > \omega$$

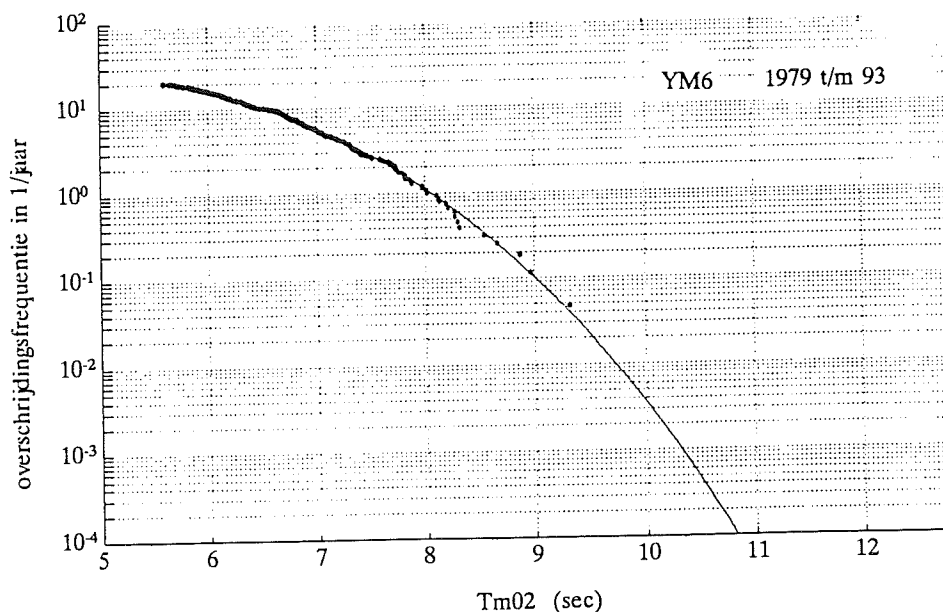
met

$T_{..}$	= golfperiode	[s]
$F(T_{..})$	= frequentie van overschrijding van de golfperiode $T_{..}$	[aantal/jaar]
ω	= drempelwaarde (ondergrens) voor de golfperiode $T_{..}$	[s]
p_{cond}	= frequentie van overschrijding van de drempelwaarde	[aantal/jaar]
σ	= schaalparameter van de verdelingsfunctie	[s]
α	= krommingsparameter van de verdelingsfunctie	[-]

Figuur 4.1 geeft een willekeurig voorbeeld van een overschrijdingsverdeling van de golfperiode T_{m02} , station YM6, geplot op een halflogaritmische schaal met daardoor een conditionele Weibull-verdeling gefit (maximum likelihood).

Figuur 4.1

Voorbeeld van een overschrijdingsverdeling met Weibull-fit.



Bij de golfhoogten is vanwege de te verwachten samenhang tussen de meetstations gekozen voor eenzelfde waarde van de krommingsparameter α voor alle stations. Het ligt voor de hand dit ook voor golfperioden te doen. Omdat er een sterke afhankelijkheid is tussen golfhoogten en golfperioden, valt te verwachten dat er ook een relatie zal bestaan tussen de waarden van de krommingsparameters van de extreme-waarden-verdelingen van golfhoogten en golfperioden.

Dit is onderzocht met simulaties. Eerst is een reeks golfhoogte maxima gesimuleerd waarvan de verdeling zo exact mogelijk voldoet aan een Weibull-verdeling met de waarde voor α die gebruikt is bij de golfhoogteverdelingen, namelijk 2,62. Vervolgens zijn de maxima van golfhoogten getransformeerd naar golfperioden met behulp van de relatie :

$$T_m = a * H_m^b$$

Door de zo verkregen set golfperiode maxima zijn Weibull-verdelingen gefit. Daarbij bleek de waarde van α bij de golfperiodeverdelingen $1/b$ maal de waarde van α bij de golfhoogteverdelingen te bedragen. De waarde van a is niet van invloed op de verhouding van beide α 's (wel op de waarde van σ).

Bijlage 4.1 illustreert dit. Voor deze plot is eerst de verdeling van de maxima van de golfhoogten bij K13 gesimuleerd, met drempelhoogte 4,3 m, $\alpha=2,62$, $\sigma=3,68$ en een extreme (10^{-4}) golfhoogte van 9,7 m. Uit elk golfhoogte maximum is een maximum van de golfperiode afgeleid via $T_m = 3,29 * \sqrt{H_{m0}}$ ($b=0,5$).

Het bovenste plaatje laat zien dat voor fits over tenminste 40 maxima de gesimuleerde reeks golfhoogte maxima vrijwel exact voldoet aan de verwachte Weibull-verdeling met $\alpha=2,62$. Het onderste plaatje van bijlage 4.1 toont dat de daaruit -via een 'wortel'-relatie- afgeleide verdeling van maxima van golfperiodes voldoet aan een Weibull-verdeling met $\alpha=5,24$.

Vaak wordt aangenomen dat golfperiode recht evenredig is met de wortel uit de golfhoogte. In dat geval mag voor de extreme-waarden-verdeling van golfperiodes een waarde voor α van $2 * 2,62$ d.i. ruim 5 worden verwacht. Gezien de spreiding in de relatie tussen golfhoogten en golfperiode en allerlei andere spreidingsbronnen zal de waarde van α sterk kunnen variëren, bij T_p meer dan bij $T_{m0,2}$. Bij beide behoort α in elk geval gemiddeld hoger te zijn dan die bij de golfhoogten.

Aangezien uit ervaring bekend is dat bij grote golfhoogten de relatie tussen H_{m0} en T_p tamelijk goed benaderd kan worden door een lineaire relatie, mag worden verwacht dat α bij de golfperiode T_p niet zo heel groter hoeft te zijn dan de waarde 2,62 die bij de golfhoogten werd gebruikt.

4.3 Afhankelijkheid van de drempelperiode en keuze drempeltraject

De extreme waarden voor de golfperiodes worden in belangrijke mate bepaald door de keuze van de drempelwaarde van de conditionele Weibull-verdeling.

Bij een hoge drempelwaarde wordt het best voldaan aan de voorwaarde dat slechts extreme waarden worden gebruikt, maar is de fit onnauwkeurig door het kleine aantal waarden en bij een lage drempel is het aantal waarden groot en is de fit dus nauwkeurig, maar wordt deze wel beïnvloed door vaak voorkomende, niet extreme stormen.

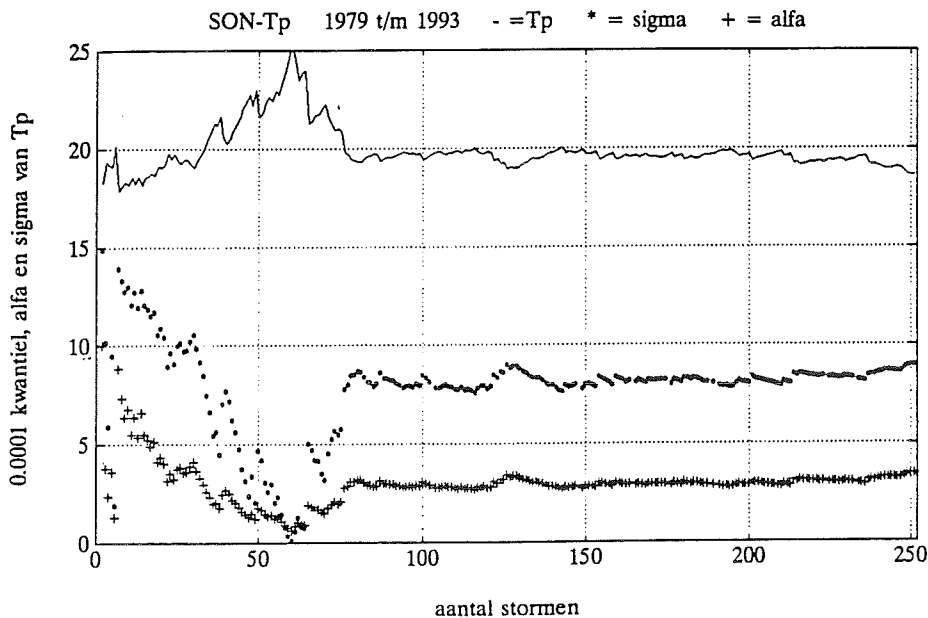
Teneinde een optimale waarde voor die drempel te vinden, zijn eerst fits berekend voor alle beschikbare drempelwaarden, binnen de gegeven dataset van geselecteerde maxima van golfperiodes.

Figuur 4.2 is een voorbeeld van de relatie tussen de drempelwaarde en de parameters van de Weibull-verdeling en de extreme (10^{-4}) golfperiode. In de bijlagen 4.2 (a t/m e) worden deze plots gegeven voor alle stations en voor beide golfperiode parameters. De plots tonen niet de drempelwaarde zelf, maar het aantal stormen met een maximum dat deze drempel overschrijdt.

Figuur 4.2 laat voor station SON en golfperiode T_p het verloop van de parameters α en σ en de extreme (10^{-4}) golfperiode zien als functie van het aantal stormen, waarop de fit is gebaseerd. Uit dit verloop blijkt duidelijk dat de schattingsmethode bij minder dan 80 stormen instabiel is. Bij meer dan 200 stormen is de schatting nog steeds stabiel, maar beginnen de waarden voor α en σ toe te nemen en de

.....
 Figuur 4.2

Het verloop van de Weibull-parameters α en σ en de extreme (10^4) golfperiode T_p als functie van het aantal stormen, dat de drempelperiode overschrijdt. Meetstation SON.



verwachtingswaarde voor de extreme golfperiode af te nemen. Het optimale drempeltraject ligt kennelijk bij drempelwaarden die, bij dit meetstation, 80 tot 200 keer worden overschreden in de meetperiode, ofwel gemiddeld ongeveer 5 tot 14 maal per jaar.

Voor beide periode parameters en voor elk van de 5 meetstations is het optimale drempeltraject bepaald. Vanwege de onderlinge samenhang tussen de meetstations is vervolgens getracht om, net als bij de golfhoogten, daaruit een voor alle stations geschikt gemeenschappelijk traject te vinden.

Het traject van drempelwaarden, die gemiddeld tussen 6-maal per jaar en 15-maal per jaar worden overschreden bleek daarbij een bruikbaar compromis, zie de bijlagen 4.2. Dit is een iets breder en iets minder extreem traject dan het traject, dat bij de extreme golfhoogten is gebruikt (5/jr - 10/jr).

In de tabellen 4.1 en 4.2 zijn, voor achtereenvolgens $T_{m_{02}}$ en T_p , de gekozen drempeltrajecten weergegeven, als echte drempelwaarden van de golfperioden en als aantallen storm maxima die deze drempels overschrijden.

Bovendien zijn in deze tabellen de gemiddelde waarden over deze drempeltrajecten opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de gefitte verdelingen, namelijk van de Weibull-parameters α en σ , van de drempelperioden en van de extreme (10^4) golfperioden.

Het drempeltraject bestaat daarbij steeds uit alle waarden, behorend bij golfperioden, die gemiddeld tussen 6 en 15 maal per jaar worden overschreden.

Tabel 4.1

Drempeltrajecten en gemiddelde waarden over die drempeltrajecten voor de golfperiode $T_{m_{02}}$.

meet- sta- tion	aantal storm maxima	drempeltraject		gemiddelden over drempeltraject			
		aantallen	seconden	drempel	α	σ	$T_{m_{02}}(10^4)$
SON	282	85-213	6,1-7,3	6,65	3,59	5,87	12,3
ELD	247	72-180	6,3-7,2	6,70	4,22	6,18	11,5
K13	304	90-225	6,3-7,0	6,62	3,41	5,15	11,2
YM6	298	86-216	6,1-7,0	6,52	4,34	5,82	10,6
EUR	329	90-225	5,9-6,5	6,20	4,71	5,11	9,1

Tabel 4.2

Drempeltrajecten en gemiddelde waarden over die drempeltrajecten voor de golfperiode T_p .

meet- sta- tion	aantal storm maxima	drempeltraject		gemiddelden over drempeltraject			
		aantallen	seconden	drempel	α	σ	$T_p(10^4)$
SON	252	85-213	8,2-10,2	9,11	2,90	8,11	19,6
ELD	225	72-180	8,1-9,6	8,80	2,64	6,50	17,7
K13	250	90-225	7,8-9,0	8,40	2,17	4,73	17,1
YM6	250	86-216	7,6-8,9	8,27	2,94	6,48	15,8
EUR	296	90-225	7,4-8,3	7,82	4,37	6,80	12,4

4.4 Keuze van de verdeling en de resulterende extreme golfperioden

Net zoals bij de golfhoogten gaat ook bij de golfperioden de voorkeur uit naar een extreme-waarden-verdeling, bestaande uit een Weibull-verdeling met een vaste, voor alle stations gelijke waarde voor de krommingsparameter α . De belangrijkste overweging daarbij is, dat daarmee de geografische samenhang tussen de meetstations tot uitdrukking komt.

Bij de golfperiode parameter $T_{m_{02}}$ vormt het vaststellen van een gezamenlijke waarde voor α geen enkel probleem, de gemiddelden per station variëren niet veel (van 3,4 tot 4,7 ; zie tabel 4.1) en vertonen geen duidelijk geografisch verklaarbaar patroon. Daarom ligt het bij deze parameter voor de hand om als vaste waarde voor α het gemiddelde te kiezen. Dit bedraagt **4,0**.

Bij de golfperiode parameter T_p zijn de onderlinge verschillen in de gemiddelden van α bij de 5 meetstations groter. Het gemiddelde over alle stations bedraagt 3,0 en de gemiddelden van SON, ELD en YM6 liggen daar voldoende dicht bij, maar het gemiddelde bij K13 is veel lager (2,2) en dat bij EUR is veel hoger (4,4).

Bij EUR is de hoge waarde van α waarschijnlijk het gevolg van het grote aantal geschatte waarden voor T_p . Het meetstation EUR is pas eind 1982 in gebruik genomen en alle waarden van de golfperiode $T_{m_{02}}$ van voor die datum zijn geschat uit omliggende meetstations (hoofdzakelijk het dichtbij gelegen Lichteiland Goeree),

zie [lit. 8]. In die gevallen is er geen spektrum aanwezig en wordt T_p (eigenlijk T_{pb}) geschat uit Tm_{02} . Volgens tabel 2.6 betreft dit 35% van de bij EUR aanwezige waarden voor T_p .

Vanwege de grote diepte bij EUR zal de invloed van die diepte op de relatie tussen T_p en Tm_{02} gering zijn en zal T_p dus vrijwel altijd geschat worden via een lineaire relatie met Tm_{02} , hetgeen voor die gevallen een waarde van α van ruim 4 doet verwachten. (Het gemiddelde van α voor Tm_{02} bij EUR (4,71) is wellicht om dezelfde reden ook aan de hoge kant.) Een deel van de waarden van Tm_{02} , waaruit T_p wordt geschat, zal echter zelf ook geschat zijn, meestal uit Hm_0 via een 'wortel'-relatie, zodat in die gevallen de waarde van α 5,24 zou zijn.

Deze veronderstellingen zijn gecontroleerd door van meetstation EUR ook de extreme waarden voor T_p te berekenen over de periode 1983-1993, dus zonder de volledig aangevulde periode aan het begin van de meetreeks. Het gemiddelde van de parameter α bleek dan inderdaad een stuk lager uit te komen en de gemiddelde 10^{-4} -extremum wat hoger, op ongeveer 13 sec.

Daarmee is de hoge gemiddelde waarde van α bij EUR voor een goed deel verklaard en is aangetoond dat het zeker redelijk is om bij dat station gebruik te maken van een lagere waarde van α , bijvoorbeeld 3,0.

Bij meetstation K13 komt van alle meetstations het vaakst deining voor en deze is daar het hoogst. Dit heeft te maken met de ligging, in het centrum van de Noordzee. Bijlage 3.3 laat ook duidelijk zien dat bij dit meetstation de splitsing van de maxima van T_{pb} in storm en overige maxima het lastigst is, zie vooral bijlage 3.3^c. Deze bijlage toont ook een vijftal hoge overige maxima van met golfhogten Hm_0 van 5 m of meer. Dit zijn duidelijk geen echte deining maxima, maar storm maxima met een grote deining invloed op T_p . Voor het hoogste T_p maximum binnen de storm maxima geldt ongetwijfeld hetzelfde, zij het in iets mindere mate, waardoor dit maximum nog juist als storm maximum kon worden gekwalificeerd.

De invloed van deze gebrekkige afsplitsing van deiningsinvloed is duidelijk te zien in het verloop van de krommingsparameter α , zie bijlage 4.2^c. Bij een hoge drempelwaarde en dus bij een gering aantal stormen (< 70) is de schatting zeer instabiel met erg lage waarden voor α (voor een vrij groot gebied zelfs 0,0). Bij meer dan 70 stormen wordt de schatting steeds stabiel, neemt α geleidelijk toe tot ongeveer 3 en neemt de extreme waarde voor T_p geleidelijk af tot bijna 15 sec. Een experiment heeft aangetoond dat, als de 2 hoogste maxima worden weggelaten of met 1 à 2 seconden worden verminderd, de schattingsmethode stabiliseert met een waarde voor α die over het gehele drempeltraject omstreeks 3 is en een verwachtingswaarde voor de extreme golfperiode van ca. 15 sec.

Daarom is er hier voor gekozen om ook bij K13 de vaste waarde voor α van 3 te gebruiken, echter met de restrictie dat de hiermee berekende extreme waarden nadrukkelijk alleen gelden voor stormsituaties en dat het bij dit station misschien soms nodig kan zijn om expliciet rekening te houden met deiningsomstandigheden. Een aanwijzing in die richting is te vinden in tabel 3.4, waarin blijkt dat de gemiddelde golfhogte bij overige maxima wat hoger is dan dezelfde waarde bij de omliggende stations, maar overigens nog steeds nauwelijks meer dan de helft van ditzelfde gemiddelde bij storm maxima.

Ter geruststelling blijkt echter uit bijlage 3.4^d dat de overschrijdingsverdeling van de golfhogte Hm_0 voor storm maxima nauwelijks verschilt van die voor 'storm + overige' maxima. Bovendien is het meetstation K13 voor berekeningen aan de veiligheid van de kust het minst belangrijk.

Op grond van deze overwegingen is besloten om ook voor de golfperiode T_p extreme waarden te berekenen met behulp van de conditionele Weibull-verdeling met een vaste waarde voor de krommingsparameter α , namelijk 3,0.

Bijlage 4.3 geeft voor de 5 meetstations het verloop van α , σ en de extreme (10^{-4}) golfhoogte als functie van het aantal stormen boven de drempelperiode, gefit met vaste waarden voor α . De plots laten voor beide golfperiode parameters een zeer stabiel verloop van de extreme waarden zien.

Bij het berekenen van de waarden voor de plots zijn per meetstation weer gemiddelden berekend over de bekende drempeltrajecten van alle van belang zijnde parameters (ω (drempel) ; α (kromming) en σ (schaal)) en met behulp daarvan zijn de definitieve parameters van de conditionele Weibull-fits vastgesteld en de extreme golfperiodes berekend. Deze zijn gegeven in tabel 4.3 voor $T_{m_{02}}$ en 4.4 voor T_p .

Tabel 4.3

Definitieve waarden van de parameters van de extreme-waarden-verdeling van de golfperiode $T_{m_{02}}$, met enige extremen.

meet- sta- tion	meet- duur [jaren]	parameters v/d Weibull-verdeling				extreme waarden golfperiode $T_{m_{02}}$ [s]				
		ω	α	σ	P_{cond}	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
SON	14,2	6,6	4,0	6,295	10,5	8,6	9,8	10,6	11,3	11,9
ELD	12,0	6,7	4,0	6,107	10,6	8,5	9,6	10,4	11,0	11,6
K13	15,0	6,6	4,0	5,700	10,6	8,1	9,1	9,8	10,4	10,9
YM6	14,4	6,5	4,0	5,657	10,3	8,1	9,0	9,7	10,2	10,8
EUR	15,0	6,2	4,0	4,838	10,4	7,2	8,0	8,5	9,0	9,4

Tabel 4.4

Definitieve waarden van de parameters van de extreme-waarden-verdeling van de golfperiode T_p , met enige extremen.

meet- sta- tion	parameters v/d Weibull-verdeling				extreme waarden golfperiode T_p [s]				
	ω	α	σ	P_{cond}	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
SON	9,1	3,0	8,276	10,4	12,8	15,0	16,7	18,2	19,4
ELD	8,8	3,0	7,206	10,3	11,6	13,4	14,9	16,1	17,1
K13	8,4	3,0	6,616	10,6	10,8	12,5	13,8	14,9	15,8
YM6	8,2	3,0	6,598	10,4	10,7	12,4	13,7	14,7	15,7
EUR	7,8	3,0	5,458	10,4	9,5	10,7	11,7	12,6	13,3

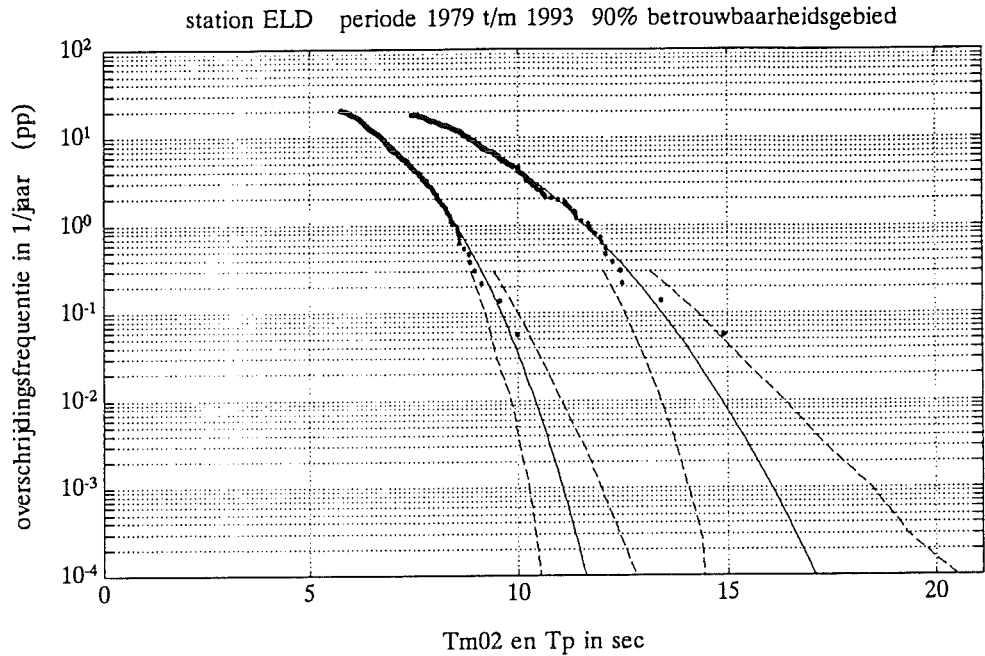
Figuur 4.3 toont voor station ELD de overschrijdingskrommen voor de golfperiodes $T_{m_{02}}$ en T_p en de uiteindelijk gekozen extreme-waarden-verdeling voor die parameters. Bij deze verdelingen zijn tevens betrouwbaarheidsbanden gegeven. Over de berekening daarvan volgt later meer.

In de bijlagen 4.4 zijn soortgelijke plots als figuur 4.3 gegeven voor alle meetstations.

De hier in tabelvorm en als plot gegeven extreme-waarden-verdelingen van de golfperiode parameters $T_{m_{02}}$ en T_p vormen het eindresultaat van het onderzoek naar de marginale statistiek van golfperiodes. In de volgende paragraaf zullen nog enkele bijzonderheden bij en aanvullingen op deze resultaten worden gegeven.

Figuur 4.3

Overschrijdingskrommen voor de golfperioden T_{m02} en T_p met de gekozen extreme-waardenverdeling en met het 90%_betrouwbaarheidsgebied. Station ELD.



4.5 Bijzonderheden bij en aanvullingen op de resultaten.

In figuur 4.3 en bijlage 4.4 zijn bij de weergave van de gekozen extreme-waardenverdelingen ook betrouwbaarheidsintervallen toegevoegd. Deze zijn berekend met de 'bootstrap'-methode, zoals beschreven in [lit. 9].

Deze schattingsprocedure is bijzonder rekenintensief, daarom zijn van elke lijn die een boven- of ondergrens aangeeft slechts voor acht frequenties waarden berekend en deze zijn onderling verbonden met rechte lijnen.

De betrouwbaarheidsintervallen zijn berekend met vrije schatting van beide Weibullparameters α en σ , omdat de gekozen waarden voor de vaste α 's bij T_{m02} en T_p geen absoluut zekere waarden zijn, maar ook slechts schattingen. Schatting met een opgegeven vaste waarde voor α zou hier resulteren in een veel te smal betrouwbaarheidsgebied (2 tot 3 maal zo smal).

De berekende en in de plots gegeven banden vertegenwoordigen samen het 90%_betrouwbaarheidsgebied. Ze vormen echter wel een tamelijk conservatieve schatting, omdat enkele factoren die een positieve invloed hebben op de nauwkeurigheid, zoals middeling over een drempeltraject en het gebruik van een gemiddelde waarde voor α , niet worden meegenomen. De banden vertegenwoordigen dus een breder waarschijnlijkheidsgebied, hoeveel breder is moeilijk te schatten, mogelijk gemiddeld in de orde van het 95%_betrouwbaarheidsgebied.

In tabel 4.5 worden per station de breedten gegeven van het 90%_betrouwbaarheidsinterval voor de extreme (10^{-4}) golfperioden. Uit die tabel blijkt dat die breedte

voor $T_{m_{02}}$ gemiddeld over alle stations iets minder dan één seconde ofwel een kleine 10% is en dat het interval licht asymmetrisch is.

Bij de parameter T_p is het interval 2 tot 3 maal zo groot en meer asymmetrisch. Bovendien zijn de onderlinge verschillen tussen de stations veel groter.

Tabel 4.5

Breedten van het 90%_betrouwbaarheidsinterval voor extreme (10^{-4}) golfperioden.

meet- sta- tion	90%_betrouwbaarheidsinterval van $T_{m_{02}}$			90%_betrouwbaarheidsinterval van T_p		
	ondergrens sec	10^4 extr. sec	bovengrens sec	ondergrens sec	10^4 extr. sec	bovengrens sec
SON	10,9	11,9	12,9	17,2	19,4	22,1
ELD	10,5	11,6	12,8	14,4	17,1	20,5
K13	10,0	10,9	12,0	13,1	15,8	19,4
YM6	10,0	10,8	11,7	13,7	15,7	17,9
EUR	8,8	9,4	10,1	12,5	13,3	14,2
gem.	10,0	10,9	11,9	14,2	16,3	18,8

De plots van de overschrijdingskrommen voor T_p en $T_{m_{02}}$ met de gekozen extreme-waarden-verdeling in de bijlagen 4.4 laten in het algemeen een goede overeenstemming zien tussen de 'gemeten' overschrijdingsverdeling en de gefitte 'theoretische' kromme. Bij de parameter $T_{m_{02}}$ is de overeenstemming bij alle stations goed, maar bij T_p zijn de fits bij K13 (enkele 'te hoge' gemeten waarden) en EUR (theoretische verdeling aan de hoge kant) duidelijk minder. Dit mocht echter worden verwacht, want om eerder besproken redenen is bij EUR een flink wat lagere waarde voor α gebruikt dan de gemiddelde waarde bij vrije schatting, wat een minder sterke kromming van de gefitte lijn tot gevolg heeft en bij K13 juist andersom.

In het rapport "Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water" zijn verwachtingswaarden gegeven voor de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p onder de omstandigheden waarbij de extreme (10^{-4}) golfhoogte optreedt. De verwachtingswaarden uit [lit. 3] behoren lager te zijn dan de hier geschatte marginale extremen omdat ook tijdens iets minder extreme golfhoogten, zeer extreme golfperioden op kunnen treden.

Tabel 4.6 laat de verschillen zien. Voor $T_{m_{02}}$ varieert dit verschil van 1,0 sec bij de noordelijke stations tot 0,3 bij EUR. Het verschil bij EUR is iets kleiner dan verwacht en bij de overige stations is het ongeveer naar verwachting.

Bij de golfperiode T_p zijn de verschillen veel groter, van 2,5 tot 0,8 sec, maar ook bij de noordelijke stations het grootst. Bij ELD, K13 en YM6 voldoen de verschillen ongeveer aan de verwachting, bij SON is het verschil wat groter dan verwacht en bij EUR is het aan de lage kant.

Tabel 4.6 geeft ook de waarden van de verhouding $T_p/T_{m_{02}}$ voor extreme golfperioden. Ook deze komen goed overeen met de verwachtingen, met dezelfde restricties voor SON en EUR.

Tabel 4.6

Vergelijking van de gevonden extreme waarden met de verwachtingswaarden uit [lit. 3].

meet- sta- tion	10 ⁴ extremen van T _{m02}			10 ⁴ extremen van T _p			T _p / T _{m02}	
	extreem	uit [3]	verschil	extreem	uit [3]	verschil	extreem	uit [3]
SON	11,9	10,9	1,0	19,4	16,7	2,5	1,63	1,53
ELD	11,6	10,6	1,0	17,1	15,5	1,6	1,47	1,46
K13	10,9	10,2	0,7	15,8	14,7	1,1	1,45	1,44
YM6	10,8	10,1	0,7	15,7	14,5	1,2	1,45	1,44
EUR	9,4	9,1	0,3	13,3	12,5	0,8	1,41	1,37

Tot slot nog enkele opmerkingen over de golfperioden uit het 'Hs-max'-onderzoek, dat is beschreven in [lit. 3]. Bij dit onderzoek zijn met behulp van modellen bovengrenzen geschat van de golfhoogten in de zuidelijke Noordzee. Dit is gedaan voor een standaard model, met een normale model-calibratie en voor een maximum model met een calibratie, gericht op een zo hoog mogelijke golfhoogte.

Deze modellen leverden natuurlijk ook golfperioden bij de gevraagde golfhoogten. Omdat calibratie en validatie voor dit onderzoek uitsluitend gericht waren op golfhoogten, zijn deze golfperioden echter minder betrouwbaar. Om toch een indruk te krijgen van deze modelwaarden, volgen enige vergelijkingen.

De golfperioden zijn gegeven in de tabellen 7.1 en 7.2 in [lit. 3]. Bij het standaard model varieerden de golfperioden T_{m02} van 7,5 tot 9,4 seconden, de laatste echter bij een zeer grote golfhoogte (13,2 m). De modelverwachtingen van de golfperiode T_{m02} voor nog extremer situaties dan 10⁴ zijn dus vrij veel lager dan de hier gevonden extremen. Bij het maximum model variëren de verwachtingen voor T_{m02} tussen 9,5 en 10,9 seconden, gemiddeld ook wat lager dan de hier berekende extremen en behorend bij veel grotere golfhoogten. De modelschattingen van T_{m02} zijn dus duidelijk aan de lage kant.

Bij het maximum model worden ook waarden gegeven van T_p. Deze variëren van 21,3 tot 13,9 en vertonen ook hogere waarden bij de noordelijk en lagere bij de zuidelijke. De modelschattingen voor T_p lijken dus aanmerkelijk beter dan die voor T_{m02}.

5 Samenvatting van de resultaten en conclusies

Om te kunnen voldoen aan de in de "Wet op de Waterkering" gestelde voorwaarden voor de berekening van de veiligheid van waterkeringen, zijn extreme-waardenverdelingen nodig van combinaties van parameters op het gebied van onder andere golven, waterstand en wind. Voor deze multivariabele statistiek zijn, als randvoorwaarden, de enkelvoudige extreme-waardenverdelingen (marginale verdelingen) vereist van deze parameters.

In dit rapport wordt het onderzoek naar de marginale verdelingen van de golfperiode parameters $T_{m_{02}}$ en T_p beschreven.

De belangrijkste resultaten van bovengenoemd onderzoek zijn :

- er is een alternatieve schatter voor T_p ontwikkeld, T_{pb} genaamd, die bij niet al te lage golfhoogten (vanaf H_{m_0} ca. 2 m) een vrijwel zuivere en nauwkeurige schatter is van de piekperiode.
- er zijn bestanden opgebouwd van golfperioden over de periode 1979-1993, die onder andere de golfperiode parameters $T_{m_{02}}$, T_p en T_{pb} bevatten.
- de zichtduur selectie methode is voor maxima van golfperioden uitgebreid met een manier om storm maxima te scheiden van overige, meestal door deining beïnvloede, maxima.
- er is een methode ontwikkeld om geselecteerde maxima te corrigeren voor systematische fouten in de schattingsmethode, gebruik makend van de geschatte stormduur.
- er zijn extreme (10^{-4}) waarden en extreme-waardenverdelingen van de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p geschat

De extreme-waardenverdelingen worden voor beide parameters en voor de vijf meetstations gegeven door de conditionele Weibull-verdeling :

$$F(T_{..}) = p_{cond} * \exp\left(-\left(\frac{T_{..}}{\sigma}\right)^\alpha + \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha\right) \quad (T_{..} > drempel \omega)$$

waarbij $F(T_{..})$ de frequentie van overschrijding (aantal/jaar) is van de golfperiode $T_{..}$. De drempelwaarde ω varieert voor de verschillende meetstations tussen 6,2 en 6,7 sec ($T_{m_{02}}$) of tussen 7,8 en 9,1 (T_p). De jaarlijkse overschrijdingskans p_{cond} bedraagt hierbij steeds ongeveer 10,5.

De waarde van krommingsparameter α is, per golfperiode parameter, voor alle meetstations gelijk gekozen en bedraagt bij $T_{m_{02}}$ 4,0 en bij T_p 3,0.

De waarde van de schaalparameter σ tenslotte varieert, afhankelijk van parameter en meetstation tussen 4,8 en 8,3.

De exacte waarden van alle Weibull-parameters zijn gegeven in tabel 4.3 en 4.4.

Een samenvatting van de resulterende extreme (10^{-4}) waarden met het 90%-betrouwbaarheidsinterval wordt voor de vijf onderzochte meetstations en voor beide golfperiode parameters gegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1

Samenvatting van de resulterende extreme (10^{-4}) waarden van $T_{m_{02}}$ en T_p .

meet- sta- tion	10^{-4} extremen van $T_{m_{02}}$		10^{-4} extremen van T_p	
	waarde	90% betr. interval	waarde	90%-betr. interval
SON	11,9	10,9 - 12,9	19,4	17,2 - 22,1
ELD	11,6	10,5 - 12,8	17,1	14,4 - 20,5
K13	10,9	10,0 - 12,0	15,8	13,1 - 19,4
YM6	10,8	10,0 - 11,7	15,7	13,7 - 17,9
EUR	9,4	8,8 - 10,1	13,3	12,5 - 14,2

Voor tussenliggende punten langs de Nederlandse kust op vergelijkbare waterdiepte (20-30 m) kunnen extreme (10^{-4}) waarden worden gevonden door interpolatie tussen de bij de meetstations gevonden waarden.

Zoals ook bij de golfhoogten, zijn de extreme waarden voor de golfperioden het hoogst in het noorden (SON en ELD) en het laagst in het zuiden (EUR). Naar verhouding zijn de onderlinge verschillen echter groter, vooral bij de golfperiode T_p . Kennelijk verandert de energie verdeling over het spektrum, gaande van noord naar zuid in de zuidelijke Noordzee. Bij een zelfde energieinhoud bevatten bij de noordelijke stations de lagere frequenties meer energie en is de vorm enigszins anders. Dit laatste blijkt uit de verandering in de verhouding tussen T_p en $T_{m_{02}}$. Deze is in het noorden bij SON het grootst (1,63). (Bij dit station is deze verhouding door de geringe waterdiepte extra groot.) Bij ELD, K13 en YM6 is deze gemiddeld ($\approx 1,45$) en bij EUR wat lager (1,41).

De gevonden extreme (10^{-4}) golfperioden van de marginale verdeling zijn -zoals te verwachten was- wat groter dan de verwachtingswaarden voor die golfperioden bij gegeven extreme golfhoogten, zoals die in [lit. 3] gegeven zijn. Bij $T_{m_{02}}$ is dit verschil maximaal 1,0 seconde en bij T_p bedraagt het 0,8 (EUR) tot 2,5 seconden (SON).

Literatuur

1. "De basispeilen langs de Nederlandse kust. De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen."
M.E. Philippart, D. Dillingh, S.T. Pwa.
Rapport RIKZ-95.008, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, mei 1995.
2. "Windklimaat van Nederland"
J. Wieringa, P.J. Rijkooort
KNMI, 1983, Staatsuitgeverij, Den Haag.
3. "Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water"
J.G. de Ronde, J.G.A. van Marle, A.P. Roskam, J.H. Andorka Gal
Rapport RIKZ-95.024, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, december 1995.
4. "Verwerking van Egmond 1982 meting EG2320 ten behoeve van :
- de validatie van golfmodellen in zeer ondiep water
- de bepaling van golfparameters in zeer ondiep water i.v.m. berekeningsmethoden voor de sterkte/veiligheid van dijken."
A.P. Roskam, werkdocument RIKZ/OS-95.136x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, januari 1996.
5. "Verification set Petten ; January 1, 1995 - January 10, 1995"
J.H. Andorka Gal, report RIKZ/OS-96.137x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, July 1996.
6. "Bepaling van het maximum van de golfhoogte H_{m0} tijdens storm."
A.P. Roskam, werkdocument GWAO-93.113x, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, april 1993.
7. "Robust estimation of exceedance frequencies of significant wave height"
C.F. de Valk en A.K. Otta, WL report H 1817, Delft Hydraulics, november 1993.
8. "De opbouw van datafiles voor golfklimatologie in HYDRA.
Overzichtsrapportage"
A.P. Roskam, werkdocument RIKZ/OS - 94.152x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, december 1994.
9. "Estimating confidence regions for Weibull parameters and quantiles"
C.F. de Valk, WL report H 2240, Delft Hydraulics, november 1993.
10. "The effect of sampling variability on the comparison of hindcast and measured wave heights"
G.Z. Forristall, J.C. Heideman, A.P. Roskam, L. Vanderschuren.
Shell Report EP 95-1721 (confidential), June 1995

Lijst van figuren

	<u>blz:</u>
1.1 Golfmeetstations voor de Nederlandse kust.	6
2.1 Alternatieve schattingsmethoden voor de piekperiode.	11
3.1 Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens de hoogste 25 respectievelijk 250 stormen in de periode 1979-1993. Meetstation ELD.	23
3.2 Geselecteerde maxima van de golfperiode $T_{m_{02}}$, gescheiden in storm maxima en overige maxima, met grenslijn. Meetstation ELD.	26
3.3 Systematische fout bij het schatten van maxima uit 3-uurlijkse waarnemingen. De verhouding tussen verwacht en werkelijk maximum, afhankelijk van stormduur en spreiding.	28
3.4 Relatie tussen stormduur en de parameter d_s , afhankelijk van stormduur en spreiding, voor 3-uurlijkse meetwaarden. Berekend met simulaties.	29
4.1 Voorbeeld van een overschrijdingsverdeling met Weibull-fit.	32
4.2 Het verloop van de Weibull-parameters α en σ en de extreme (10^{-4}) golfperiode T_p als functie van het aantal stormen, dat de drempelperiode overschrijdt. Meetstation SON.	34
4.3 Overschrijdingskrommen voor de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p met de gekozen extreme-waarden-verdeling en met het 90%_betrouwbaarheidsgebied. Station ELD.	38

Lijst van tabellen

	<u>blz:</u>
2.1 Overzicht van gemiddelde golfperioden en van spreidingen in de verhouding van golfperioden tijdens beide stormen in januari 1995.	14
2.2 Gemiddelde blokbreedten bij de bepaling van $T_{pb60\%}$ en $T_{pb40\%}$ tijdens de stormen van januari 1995.	14
2.3 Nauwkeurigheid van de verschillende golfparameters, berekend uit de spreiding in stationaire perioden van de stormen van januari 1995.	15
2.4 Gemiddelden van verschillende golfperiode parameters, berekend uit de stationaire perioden van de stormen van januari 1995.	16
2.5 Enkele statistische kenmerken van golfperiode parameters uit spektra van de gehele meetperiode 1979-1993. Golfhoogten H_{m_0} groter dan 2 meter.	17
2.6 Overzicht van de percentages berekende en geschatte waarden voor T_p en T_{pb} . Per meetstation. Meetperiode 1979-1993.	19
3.1 Overzicht van registratieduur, selectie ondergrens van de golfhoogte en geselecteerde aantallen maxima. Per meetstation. Meetperiode 1979-1993.	22
3.2 Frequentieverdeling van de opgetreden tijdsverschillen tussen maxima van golfhoogten en golfperioden, gemiddeld over de 5 meetstations.	24
3.3 Overzicht van de constanten die gebruikt worden bij de schatting van $T_{m_{02}}$ en T_p uit de golfhoogte.	25
3.4 Gemiddelde waarden van enkele parameters bij de T_{pb} -selectie, voor storm maxima en voor overige maxima.	27
4.1 Drempeltrajecten en gemiddelde waarden over die drempeltrajecten voor de golfperiode $T_{m_{02}}$.	35
4.2 Drempeltrajecten en gemiddelde waarden over die drempeltrajecten voor de golfperiode T_p .	35
4.3 Definitieve waarden van de parameters van de extreme-waardenverdeling van de golfperiode $T_{m_{02}}$, met enige extremen.	37

4.4	Definitieve waarden van de parameters van de extreme-waarden-verdeling van de golfperiode T_p , met enige extremen.	37
4.5	Breedten van het 90%_betrouwbaarheidsinterval voor extreme (10^{-4}) golfperioden.	39
4.6	Vergelijking van de gevonden extreme waarden met de verwachtingswaarden uit [lit. 3].	40
5.1	Samenvatting van de resulterende extreme (10^{-4}) waarden van T_{m02} en T_p .	42

Lijst van bijlagen

De bijlagen zijn gegeven in een apart, losstaand deel van dit rapport.
Onderstaand het overzicht :

- 2.1 Het verloop en de spreiding van de golfperiode T_p tijdens de storm van 1-3 januari 1995.
- 2.2^a Spreiding in de golfperiode T_{pp} t.o.v. die in T_p en $T_{m_{02}}$.
- 2.2^b Spreiding in de golfperiode $T_{pb60\%}$ t.o.v. die in T_p en $T_{m_{02}}$.
- 2.2^c Spreiding in de golfperiode $T_{pb40\%}$ t.o.v. die in T_p en $T_{m_{02}}$.
- 3.1^a Gemiddelde verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens storm.
Meetstation : SON
- 3.1^b idem. Meetstation : ELD
- 3.1^c idem. Meetstation : K13
- 3.1^d idem. Meetstation : YM6
- 3.2^e idem. Meetstation : EUR
- 3.2^a Geselecteerde maxima van de golfperiode $T_{m_{02}}$. Storm maxima en overige maxima. Meetstation : SON
- 3.2^b idem. Meetstation : ELD
- 3.2^c idem. Meetstation : K13
- 3.2^d idem. Meetstation : YM6
- 3.2^e idem. Meetstation : EUR
- 3.3^a Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} . Storm maxima en overige maxima. Meetstation : SON
- 3.3^b idem. Meetstation : ELD
- 3.3^c idem. Meetstation : K13
- 3.3^d idem. Meetstation : YM6
- 3.3^e idem. Meetstation : EUR
- 3.4^a Overschrijdingsfrequenties van de golfperiode T_{pb} voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
Meetstation : K13
- 3.4^b idem. Meetstation : YM6
- 3.4^c Overschrijdingsfrequenties van de golfhoogte H_{m_0} .
Meetstation : SON
- 3.4^d idem. Meetstation : K13
- 3.4^e Overschrijdingsfrequenties van de windsnelheid.
Meetstation : EUR
- 3.4^f Overschrijdingsfrequenties van de waterstand.
Meetstation : YM6
- 3.4^g idem. Meetstation : EUR

- 4.1 Vergelijking van de waarde van de krommingsparameter α van de Weibull-verdeling bij golfhoogten en golfperioden.
- 4.2^a Verloop van de Weibull-parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel.
Meetstation : SON.
- 4.2^b idem. Meetstation : ELD
- 4.2^c idem. Meetstation : K13
- 4.2^d idem. Meetstation : YM6
- 4.2^e idem. Meetstation : EUR
- 4.3^a Verloop van de Weibull-parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
Meetstation : SON
- 4.3^b idem. Meetstation : ELD
- 4.3^c idem. Meetstation : K13
- 4.3^d idem. Meetstation : YM6
- 4.3^e idem. Meetstation : EUR
- 4.4^a Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperioden $T_{m_{02}}$ en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
Meetstation : SON
- 4.4^b idem. Meetstation : ELD
- 4.4^c idem. Meetstation : K13
- 4.4^d idem. Meetstation : YM6
- 4.4^e idem. Meetstation : EUR



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Randvoorwaarden voor golfperioden langs de Nederlandse kust

Bijlagen

Rapport RIKZ - 96.019

Auteurs : A.P. Roskam
J. Hoekema

Juli 1996

Technische Universiteit Delft
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek
(Bezoekadres Stevinweg 1)
Postbus 5048
2600 GA DELFT

Rapp
RIKZ
96.019. B

2315884

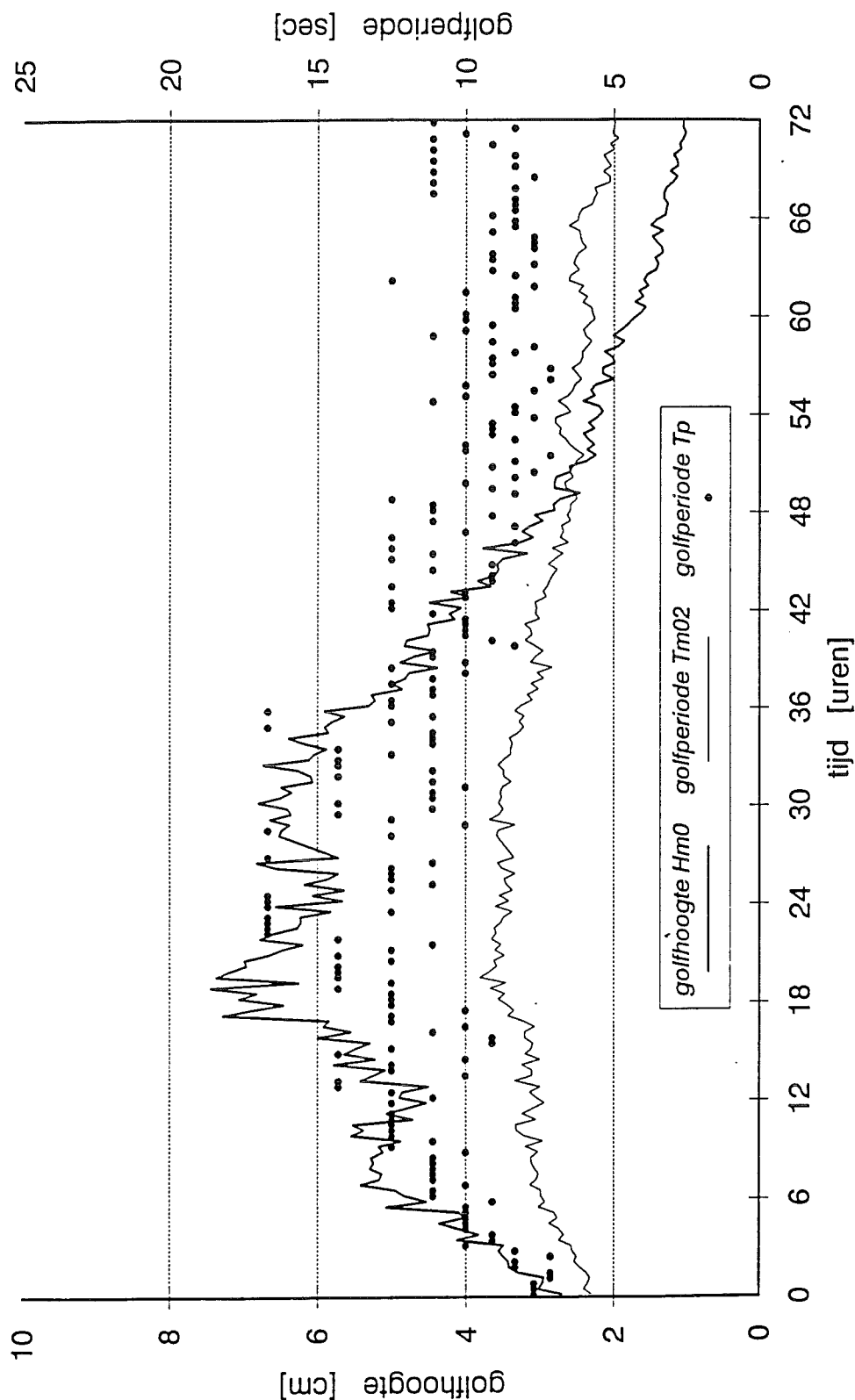
GW Drog Mor

Lijst van bijlagen

- 2.1 Het verloop en de spreiding van de golfperiode T_p tijdens de storm van 1-3 januari 1995.
- 2.2^a Spreiding in de golfperiode T_{pp} t.o.v. die in T_p en T_{m02} .
- 2.2^b Spreiding in de golfperiode $T_{pb60\%}$ t.o.v. die in T_p en T_{m02} .
- 2.2^c Spreiding in de golfperiode $T_{pb40\%}$ t.o.v. die in T_p en T_{m02} .
- 3.1^a Gemiddelde verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens storm.
 Meetstation : SON
- 3.1^b idem. Meetstation : ELD
- 3.1^c idem. Meetstation : K13
- 3.1^d idem. Meetstation : YM6
- 3.2^e idem. Meetstation : EUR
- 3.2^a Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} . Storm maxima en overige maxima. Meetstation : SON
- 3.2^b idem. Meetstation : ELD
- 3.2^c idem. Meetstation : K13
- 3.2^d idem. Meetstation : YM6
- 3.2^e idem. Meetstation : EUR
- 3.3^a Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} . Storm maxima en overige maxima. Meetstation : SON
- 3.3^b idem. Meetstation : ELD
- 3.3^c idem. Meetstation : K13
- 3.3^d idem. Meetstation : YM6
- 3.3^e idem. Meetstation : EUR
- 3.4^a Overschrijdingsfrequenties van de golfperiode T_{pb} voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
 Meetstation : K13
- 3.4^b idem. Meetstation : YM6
- 3.4^c Overschrijdingsfrequenties van de golfhoogte H_{m0} .
 idem. Meetstation : SON
- 3.4^d idem. Meetstation : K13
- 3.4^e Overschrijdingsfrequenties van de windsnelheid.
 idem. Meetstation : EUR
- 3.4^f Overschrijdingsfrequenties van de waterstand.
 idem. Meetstation : YM6
- 3.4^g idem. Meetstation : EUR

- 4.1 Vergelijking van de waarde van de krommingsparameter α van de Weibull-verdeling bij golfhoogten en golfperiodes.
- 4.2^a Verloop van de Weibull-parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel.
Meetstation : SON.
- 4.2^b idem. Meetstation : ELD
- 4.2^c idem. Meetstation : K13
- 4.2^d idem. Meetstation : YM6
- 4.2^e idem. Meetstation : EUR
- 4.3^a Verloop van de Weibull-parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
Meetstation : SON
- 4.3^b idem. Meetstation : ELD
- 4.3^c idem. Meetstation : K13
- 4.3^d idem. Meetstation : YM6
- 4.3^e idem. Meetstation : EUR
- 4.4^a Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperiodes $T_{m_{02}}$ en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
Meetstation : SON
- 4.4^b idem. Meetstation : ELD
- 4.4^c idem. Meetstation : K13
- 4.4^d idem. Meetstation : YM6
- 4.4^e idem. Meetstation : EUR

**golfhoogten en golfperiodes tijdens
de storm van 1 t/m 3 januari 1995**
meetstation : ELD



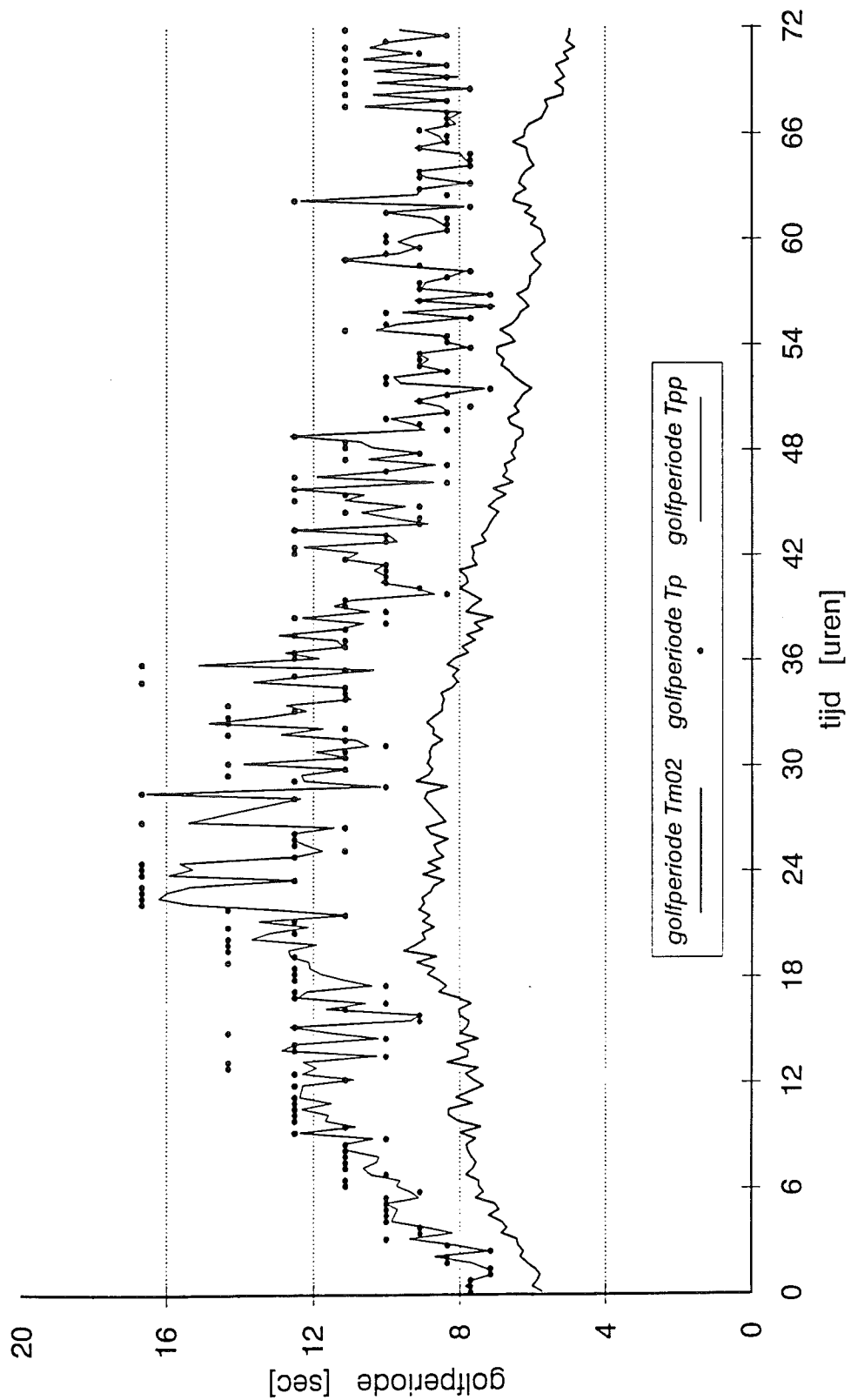
Het verloop en de spreiding van de golfperiode T_p
tijdens de storm van 1-3 januari 1995.

Randvoorwaarden voor
golfperiodes

RIKZ-96.019



verschillende golfperiodes tijdens
de storm van 1 t/m 3 januari 1995
meetstation : ELD



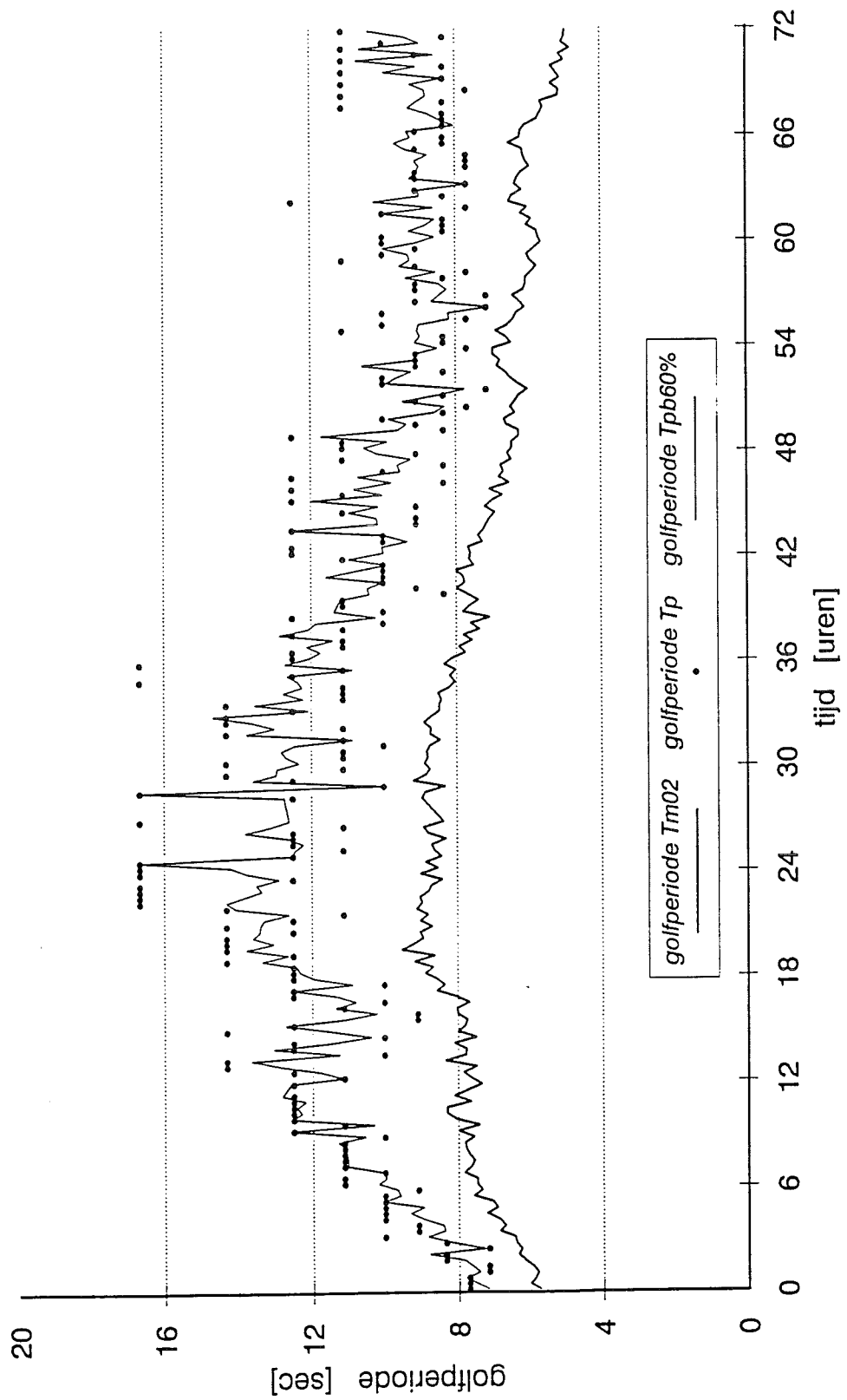
Spreiding in de golfperiode T_{pp} t.o.v. die in T_p en T_{m02} .

Randvoorwaarden voor
golfperiodes

RIKZ-96.019



verschillende golfperiodes tijdens
de storm van 1 t/m 3 januari 1995
meetstation : ELD

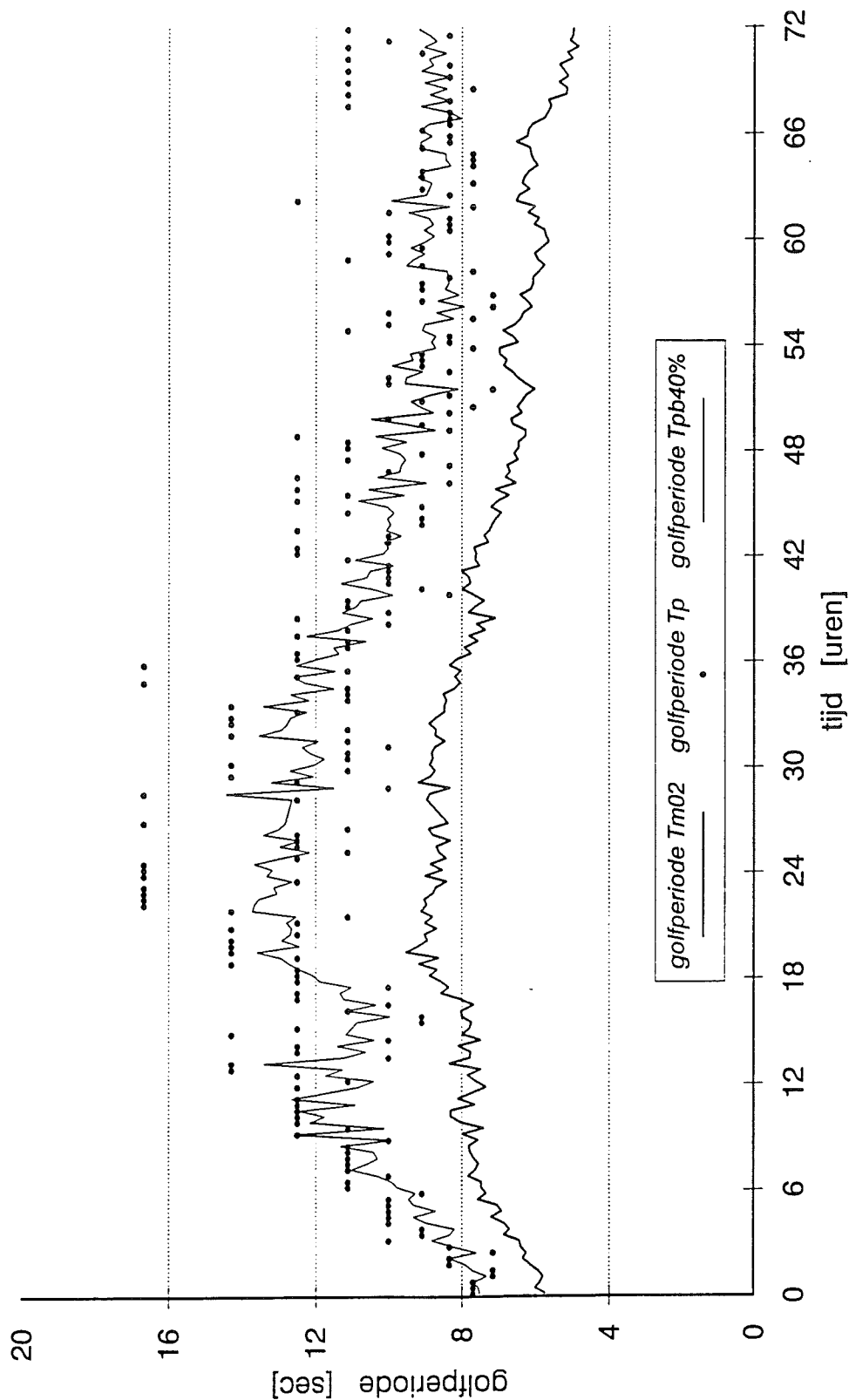


Spreiding in de golfperiode $T_{pb60\%}$ t.o.v. die in T_p en T_{m02} .

Randvoorwaarden voor
golfperiodes
RIKZ-96.019



verschillende golfperiodes tijdens
de storm van 1 t/m 3 januari 1995
meetstation : ELD

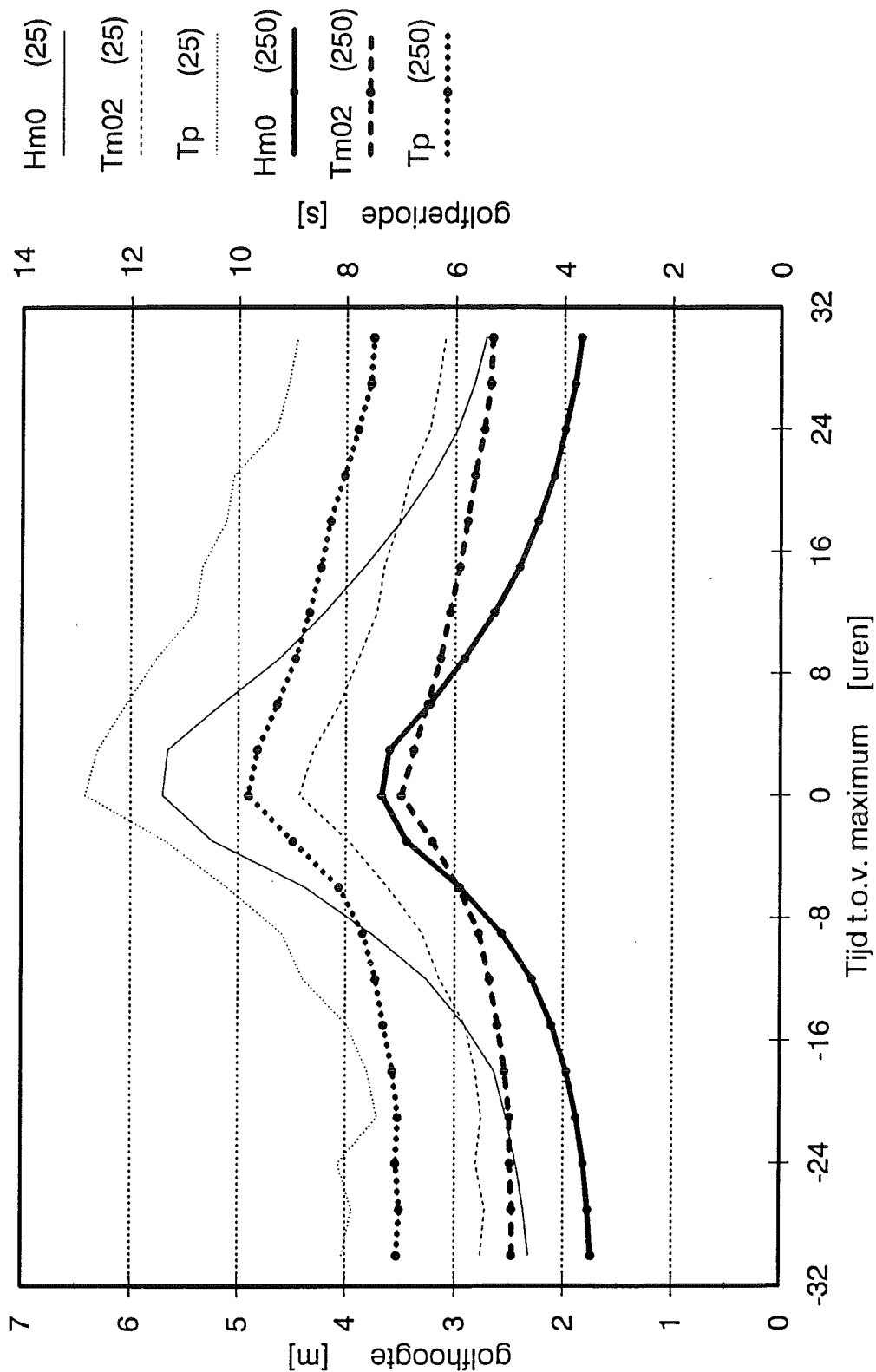


Spreading in de golfperiode $T_{pb40\%}$ t.o.v. die in T_p en T_{m02} .

Randvoorwaarden voor
golfperiodes
RIKZ-96.019



**Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode
tijdens de hoogste 25 / 250 stormen (1979-1993)**
Station : SON



Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens storm.

Meetstation : SON

Randvoorwaarden voor
golfperiodes

RIKZ-96.019

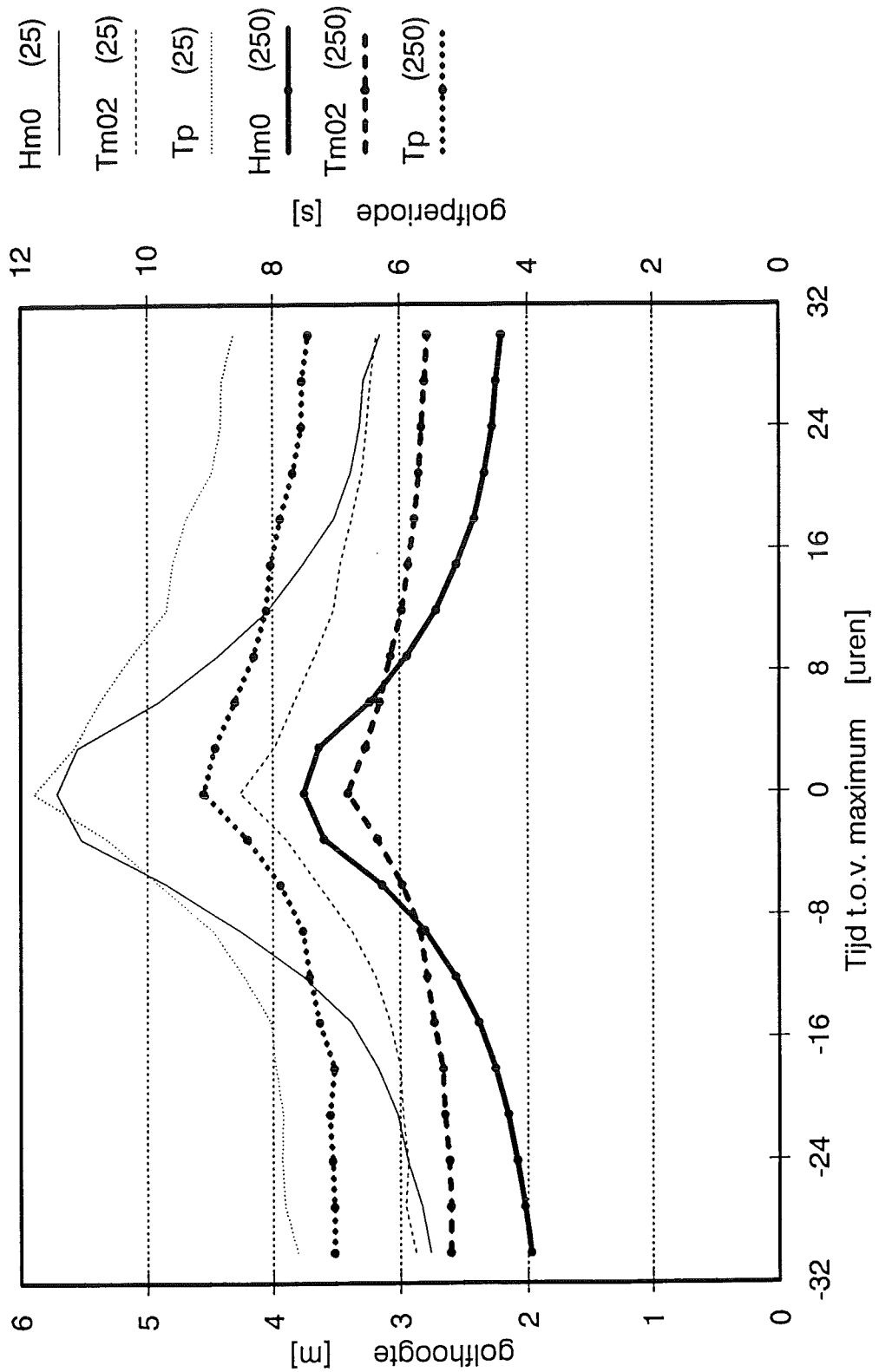


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.1^a

**Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode
tijdens de hoogste 25 / 250 stormen (1979-1993)**

Station : ELD



Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens storm.

Meetstation : ELD

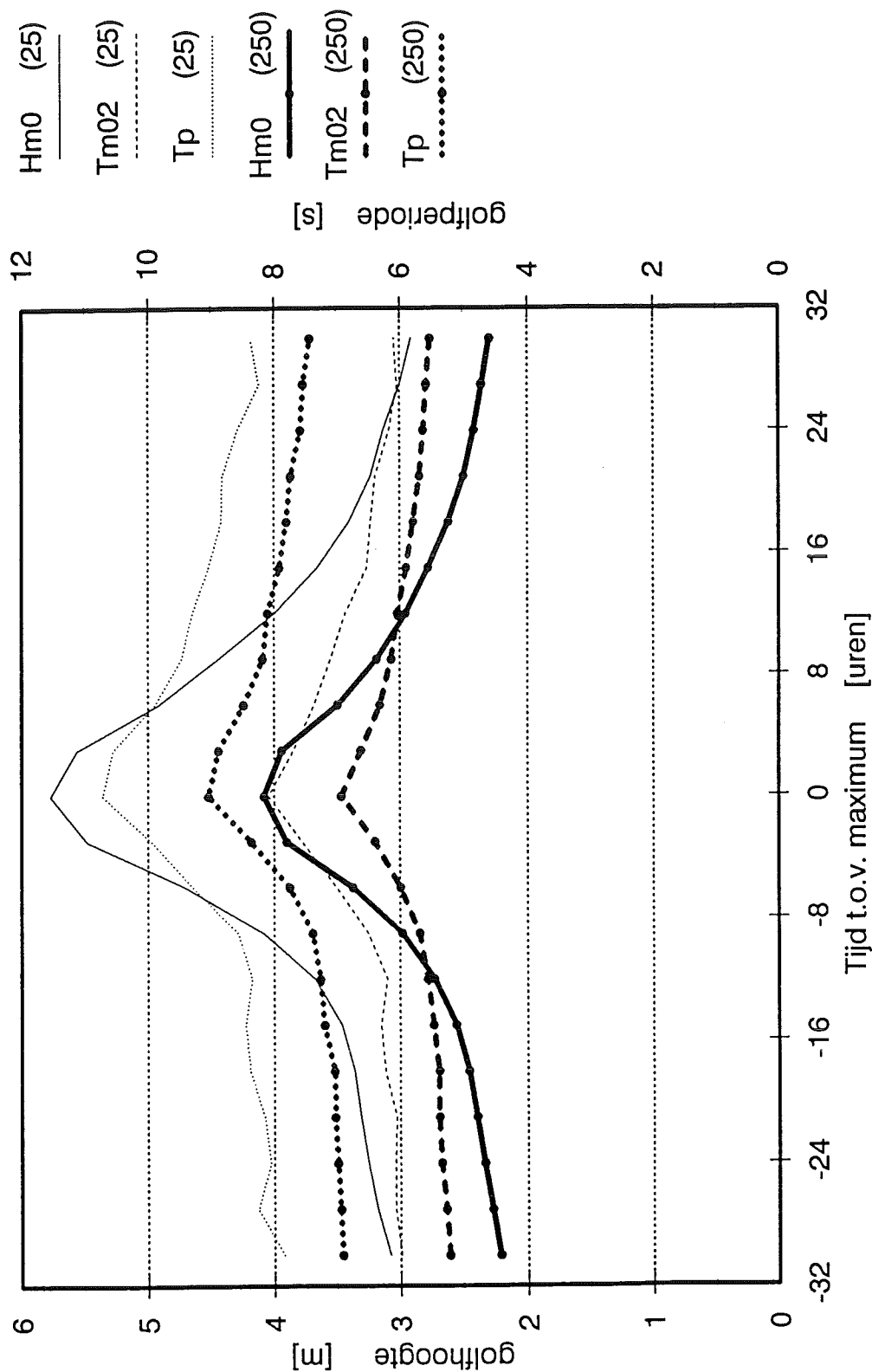
Randvoorwaarden voor
golfperiodes
RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.1^b

**Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode
tijdens de hoogste 25 / 250 stormen (1979-1993)**
Station : K13



Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens storm.

Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor
golfperiodes

RIKZ-96.019

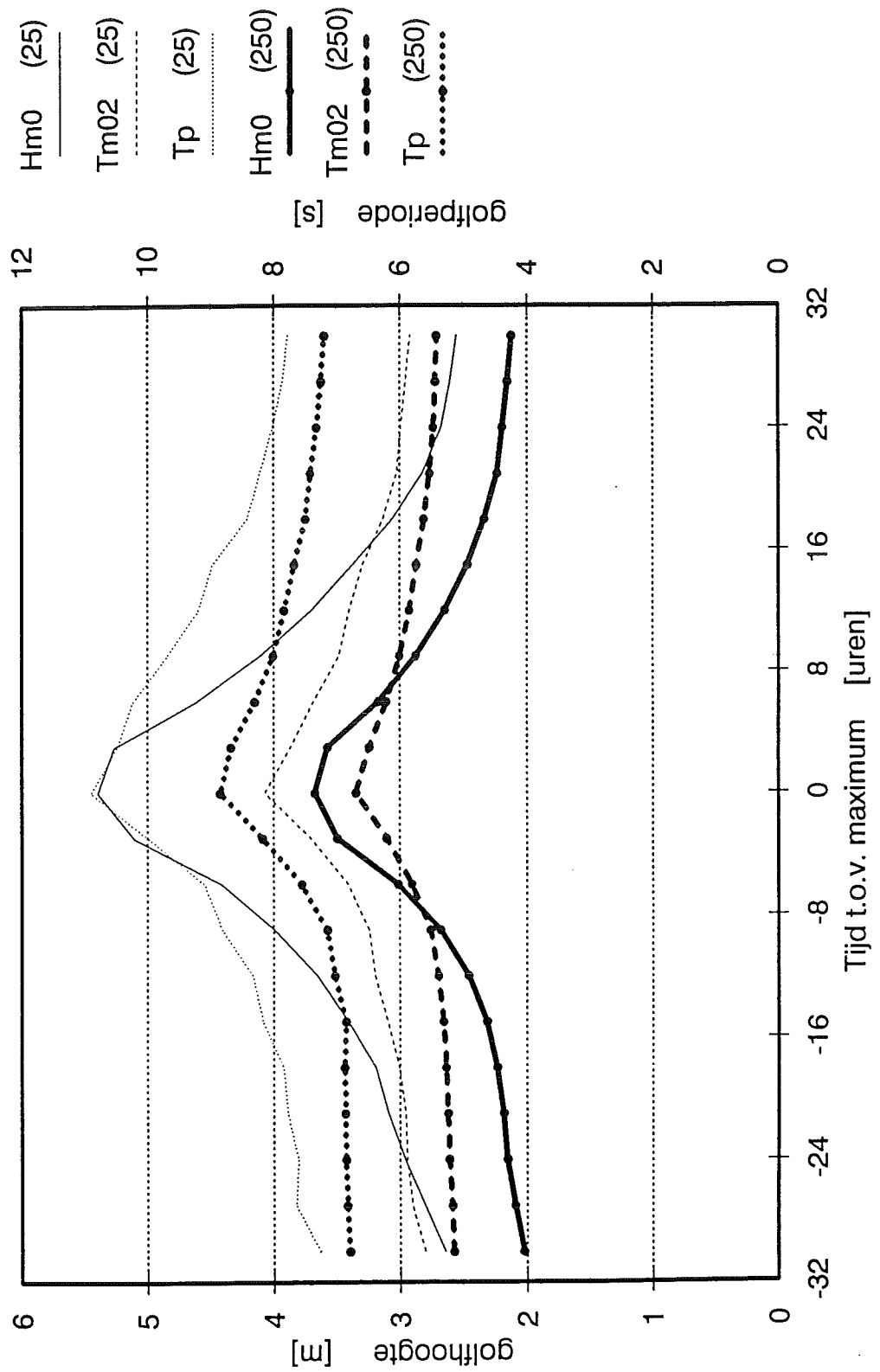


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.1^c

Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode
 tijdens de hoogste 25 / 250 stormen (1979-1993)

Station : YM6



Gemiddeld verloop van golfhoogte en golfperiode tijdens storm.

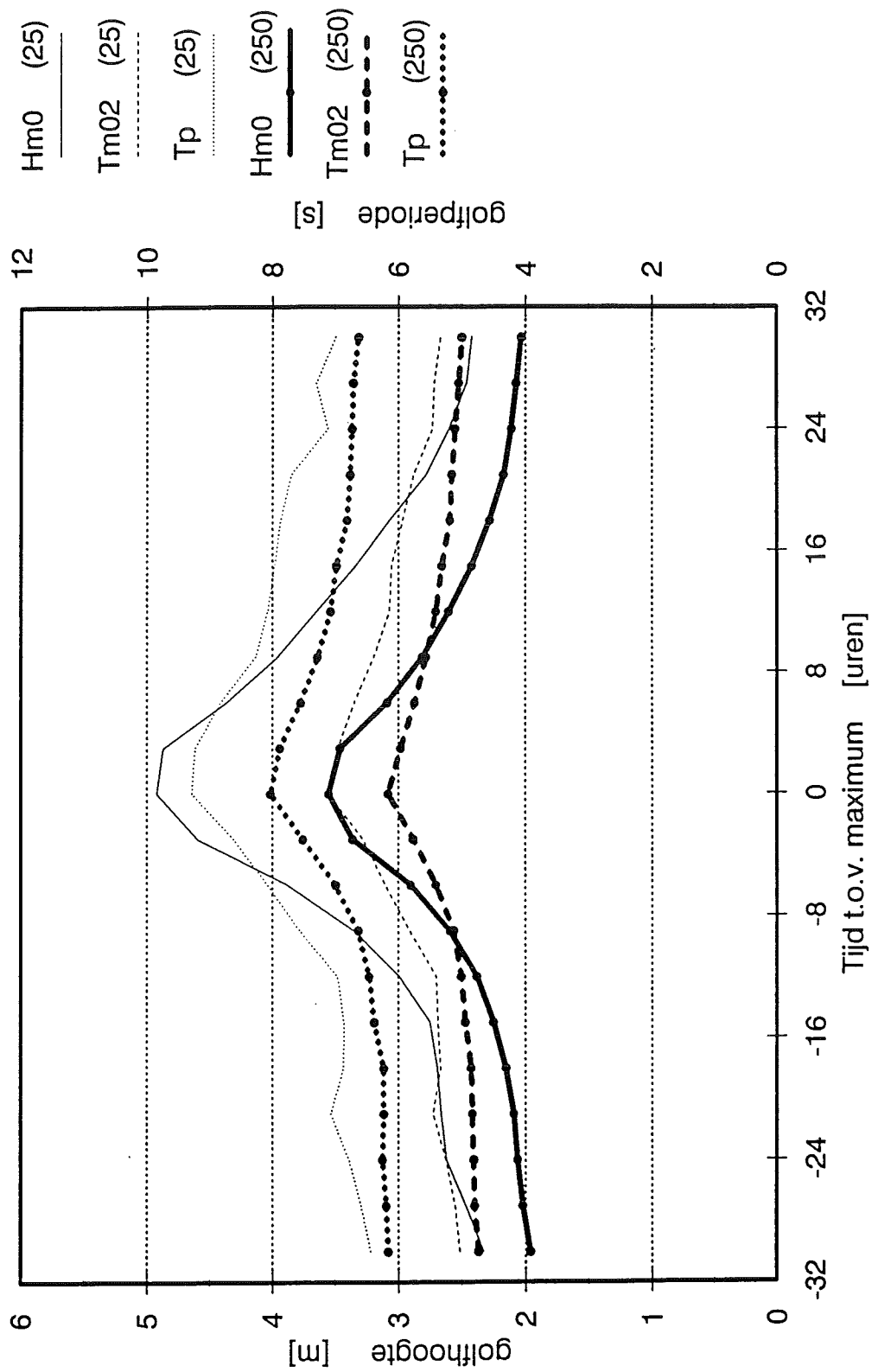
Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor
 golfperiodes

RIKZ-96.019



**Gemiddeld verloop van golfhogte en golfperiode
tijdens de hoogste 25 / 250 stormen (1979-1993)**
Station : EUR



Gemiddeld verloop van golfhogte en golfperiode tijdens storm.

Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor
golfperiodes

RIKZ-96.019

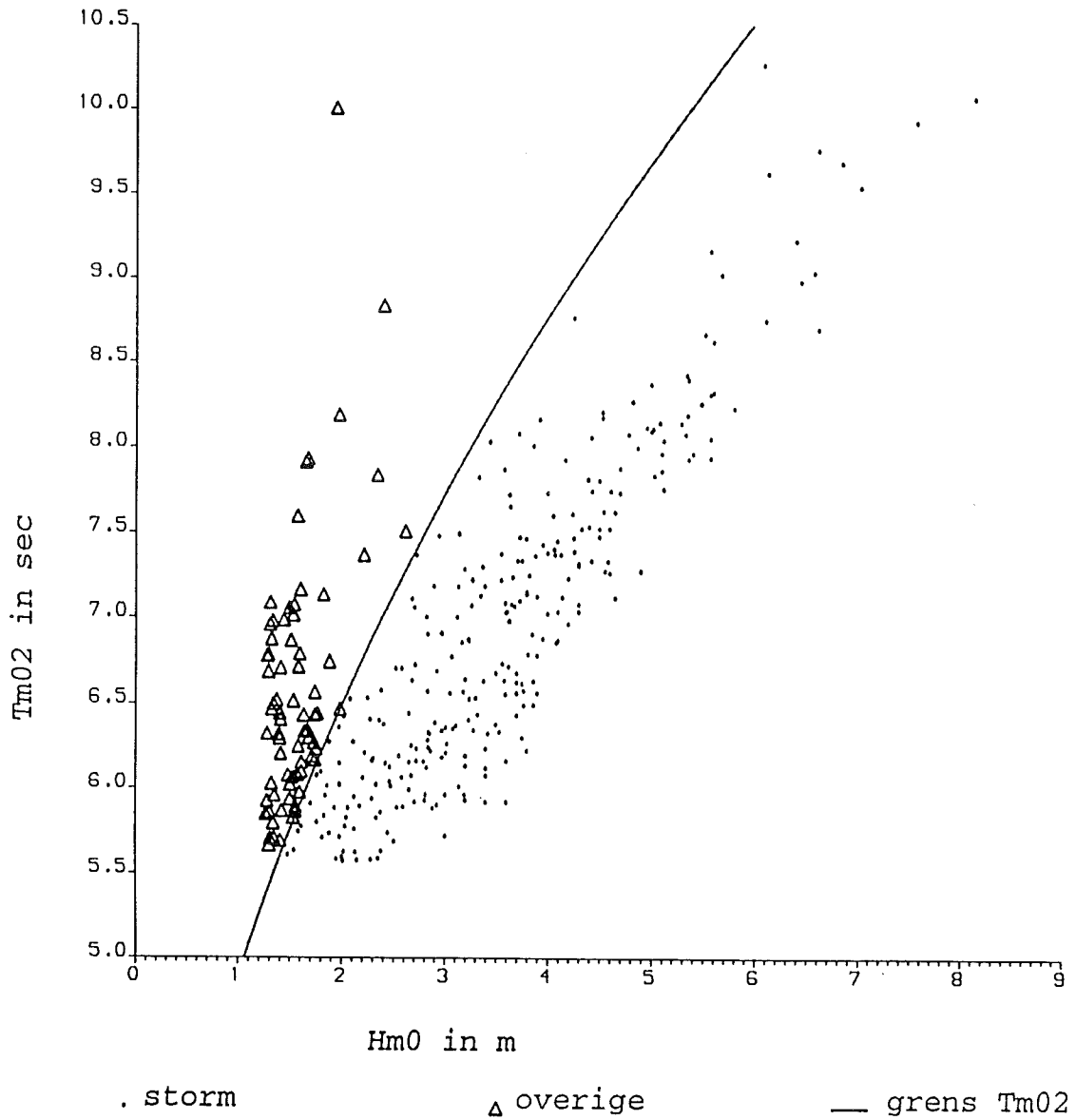


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.1^e

SON Tm02

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : SON

Randvoorwaarden voor

golfperioden

RIKZ-96.019

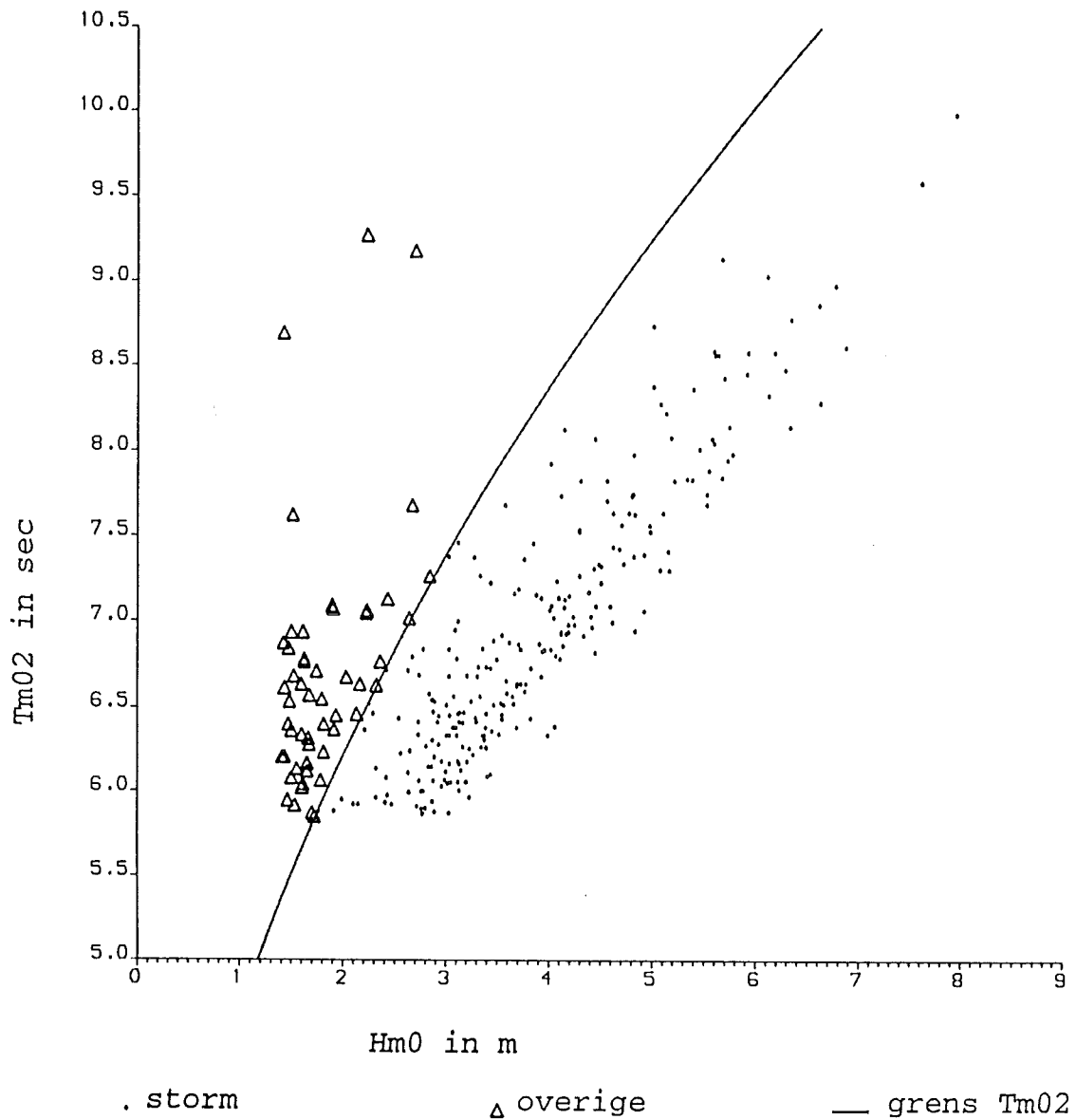


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.2^a

ELD Tm02

storm maxima en overige maxima



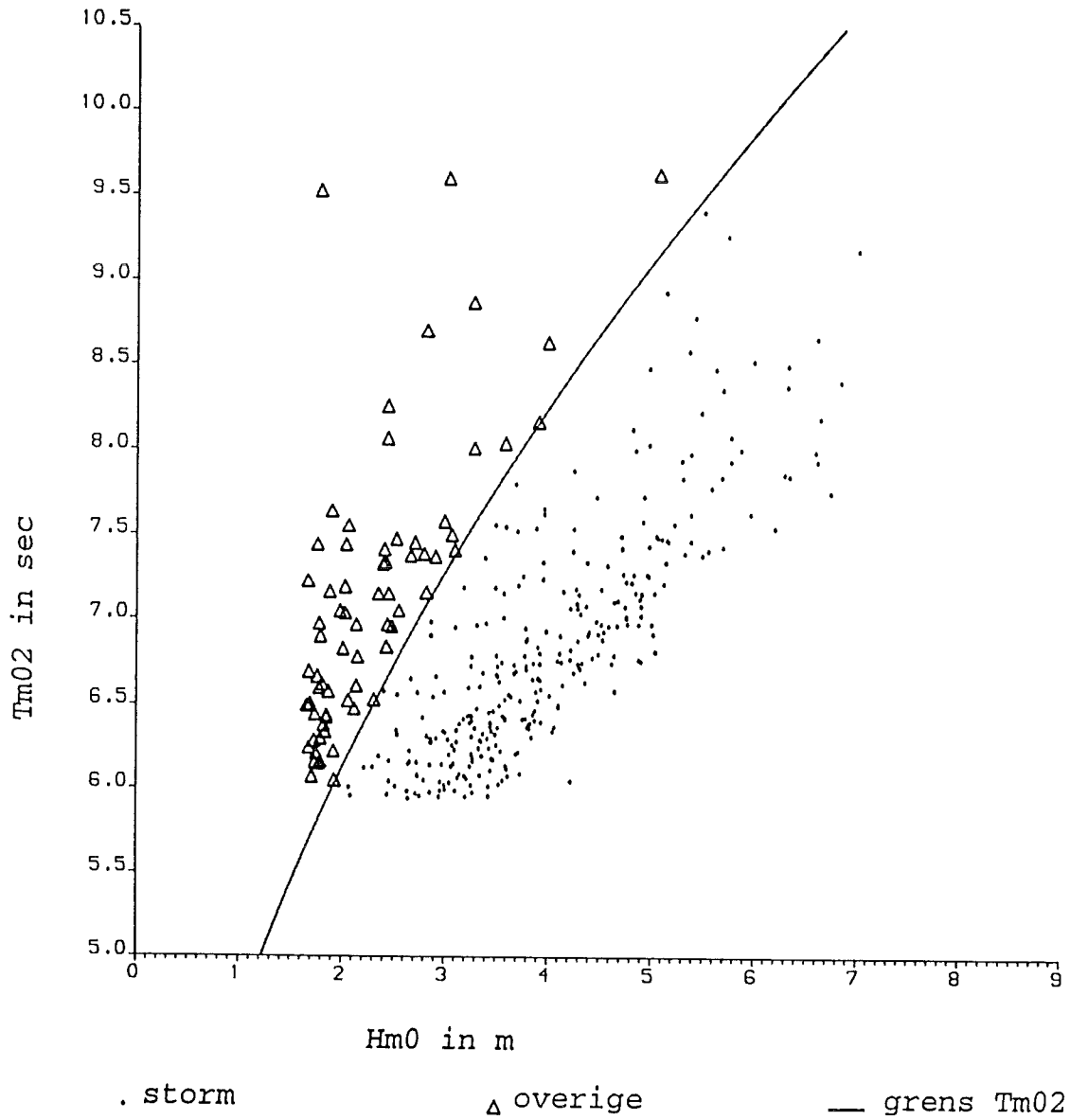
Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} .
Storm maxima en overige maxima.
Meetstation : ELD

Randvoorwaarden voor
golfperioden
RIKZ-96.019



K13 Tm02

storm maxima en overige maxima



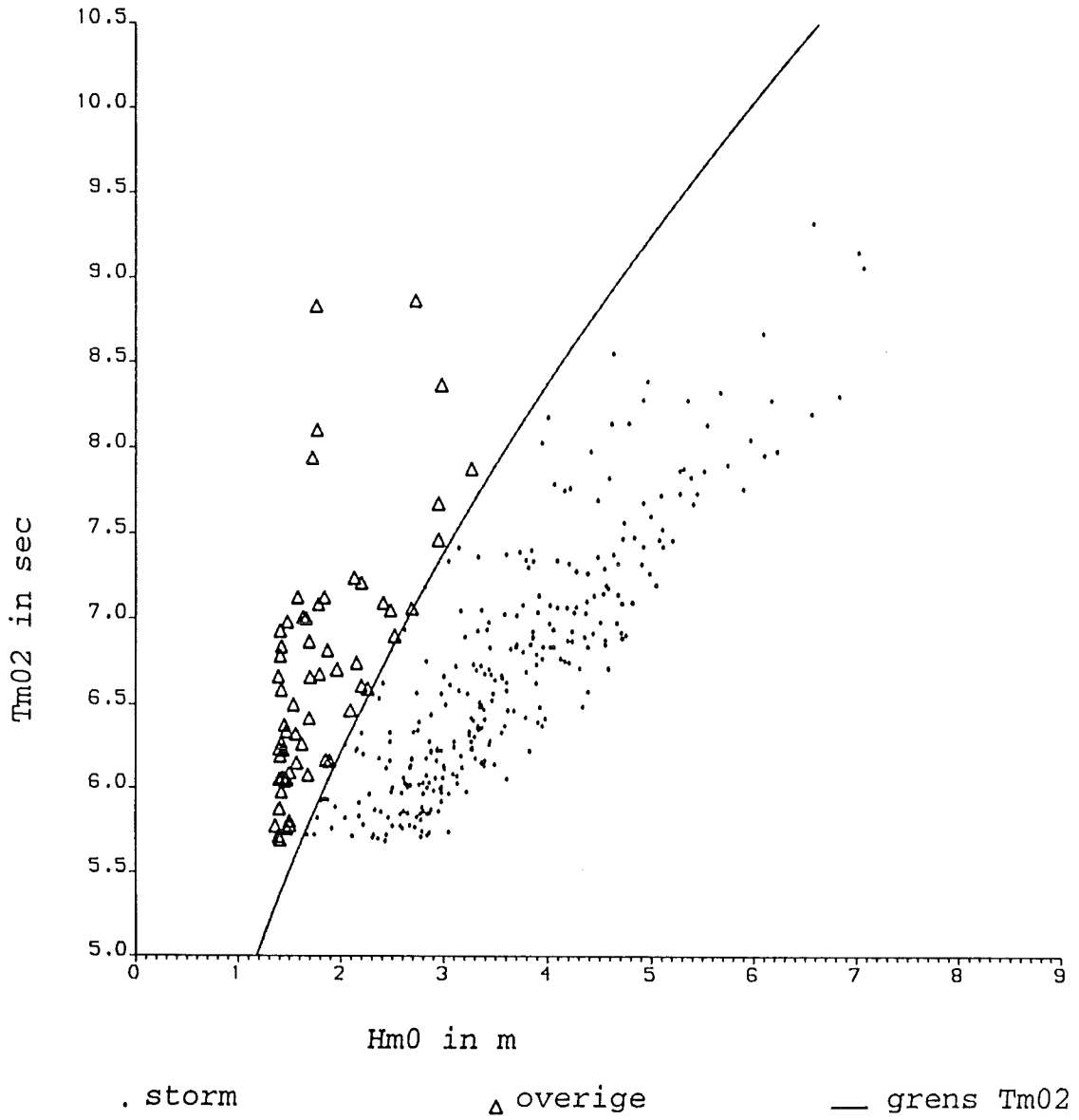
Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} .
Storm maxima en overige maxima.
Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor
golfperioden
RIKZ-96.019



YM6 Tm02

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor

golfperiodes

RIKZ-96.019

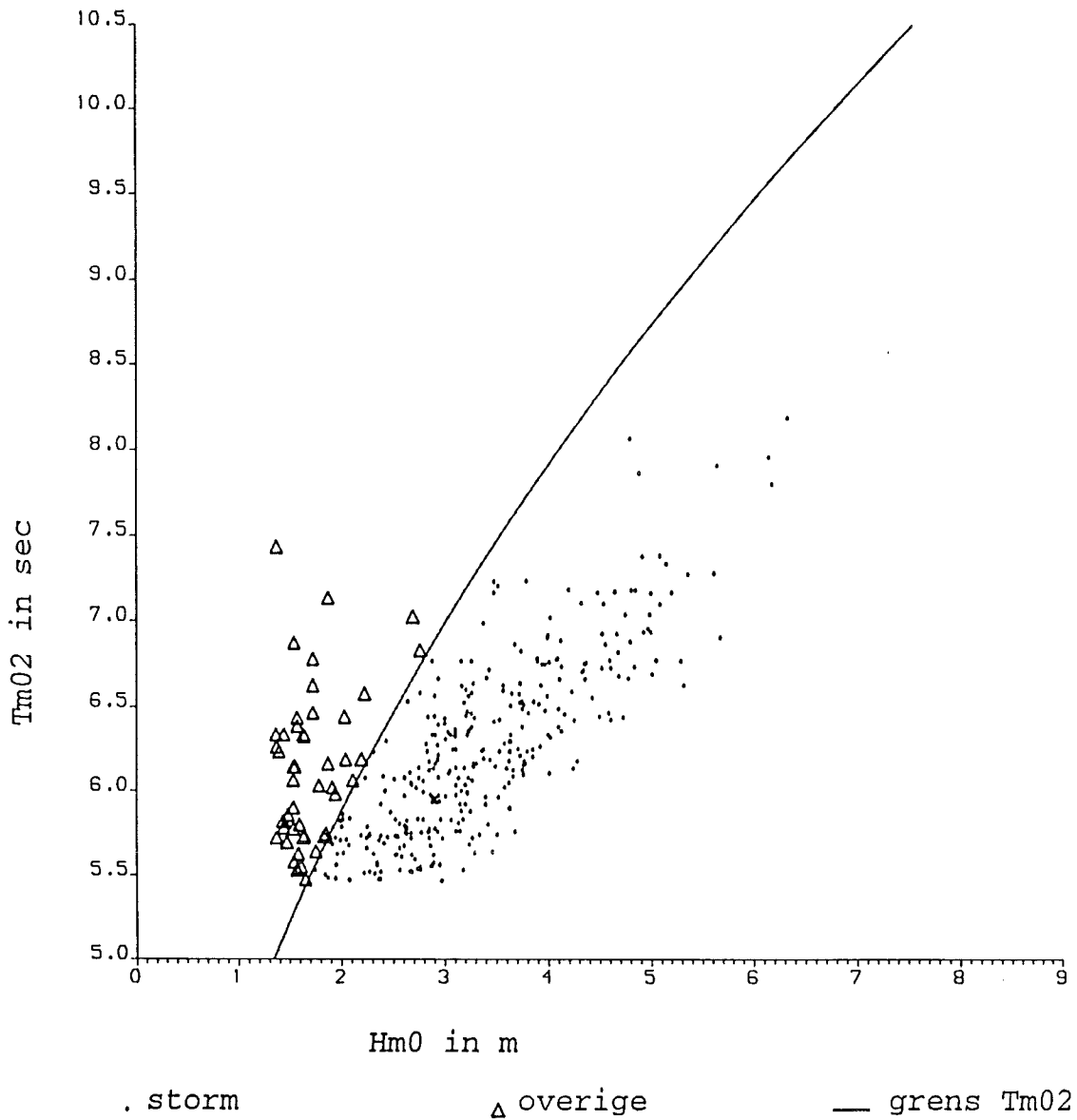


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.2^d

EUR Tm02

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{m02} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor

golfperioden

RIKZ-96.019

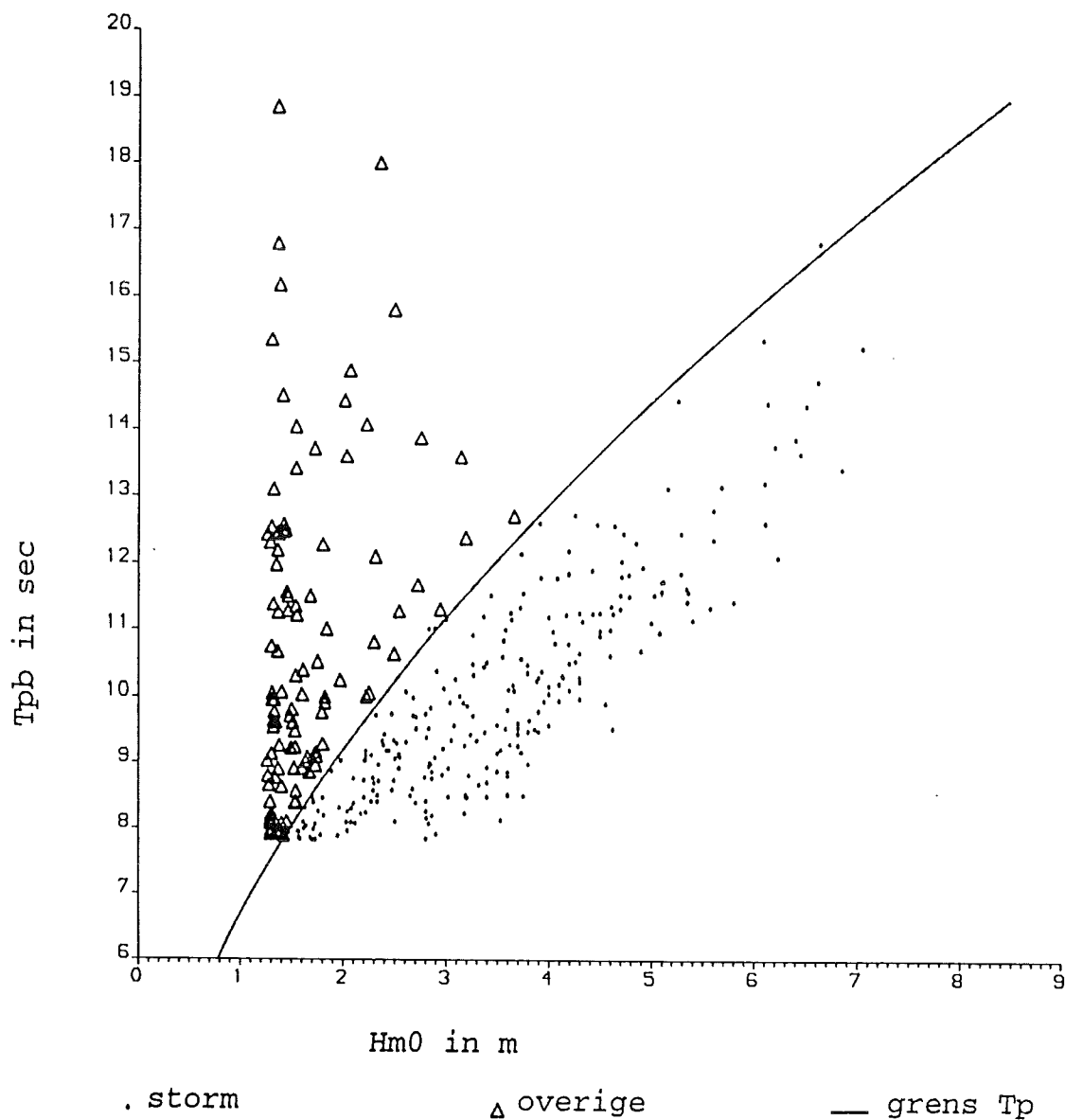


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.2^e

SON T_{pb}

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : SON

Randvoorwaarden voor
golfperioden

RIKZ-96.019

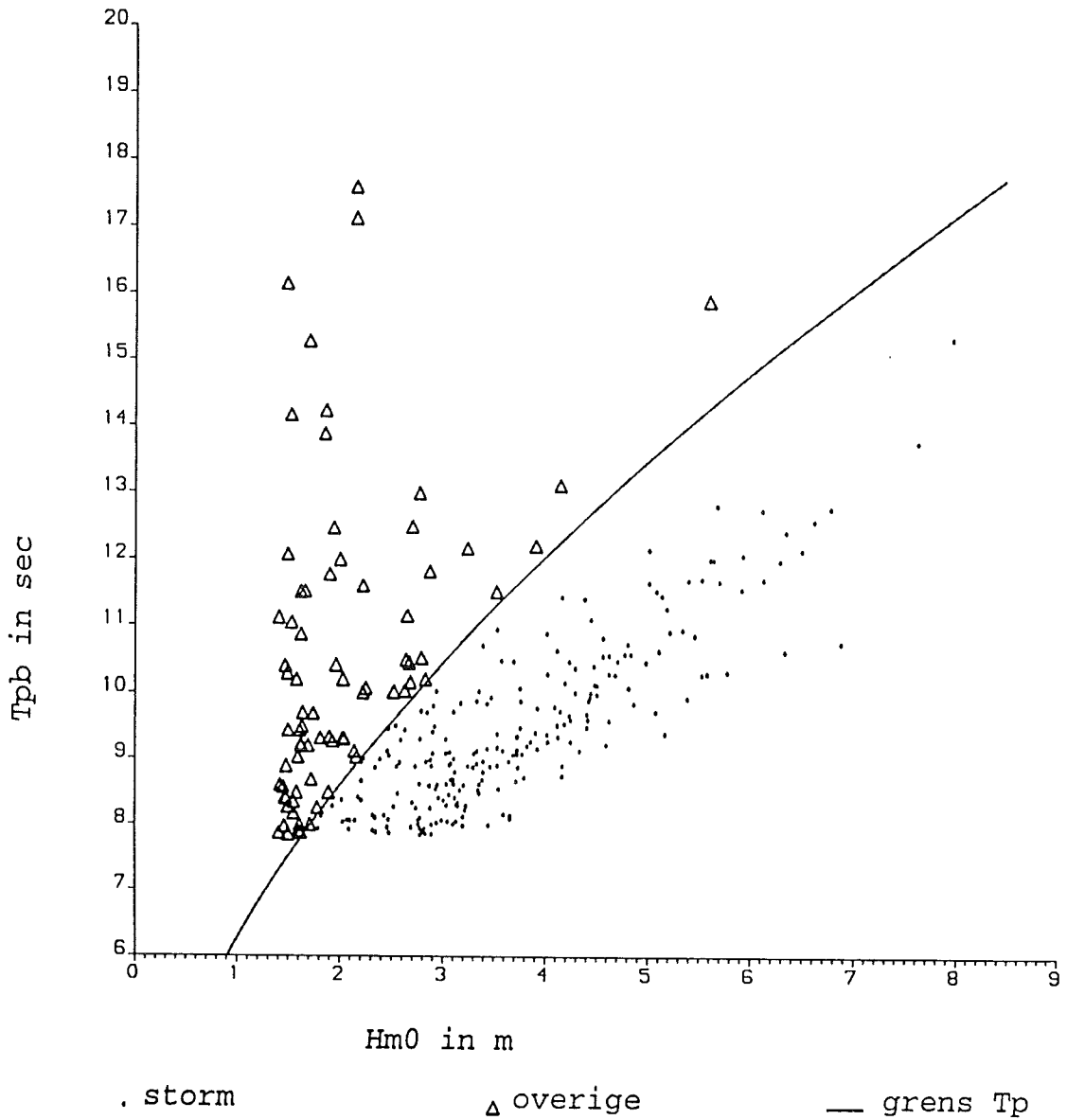


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.3^a

ELD T_{pb}

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : ELD

Randvoorwaarden voor

golfperioden

RIKZ-96.019

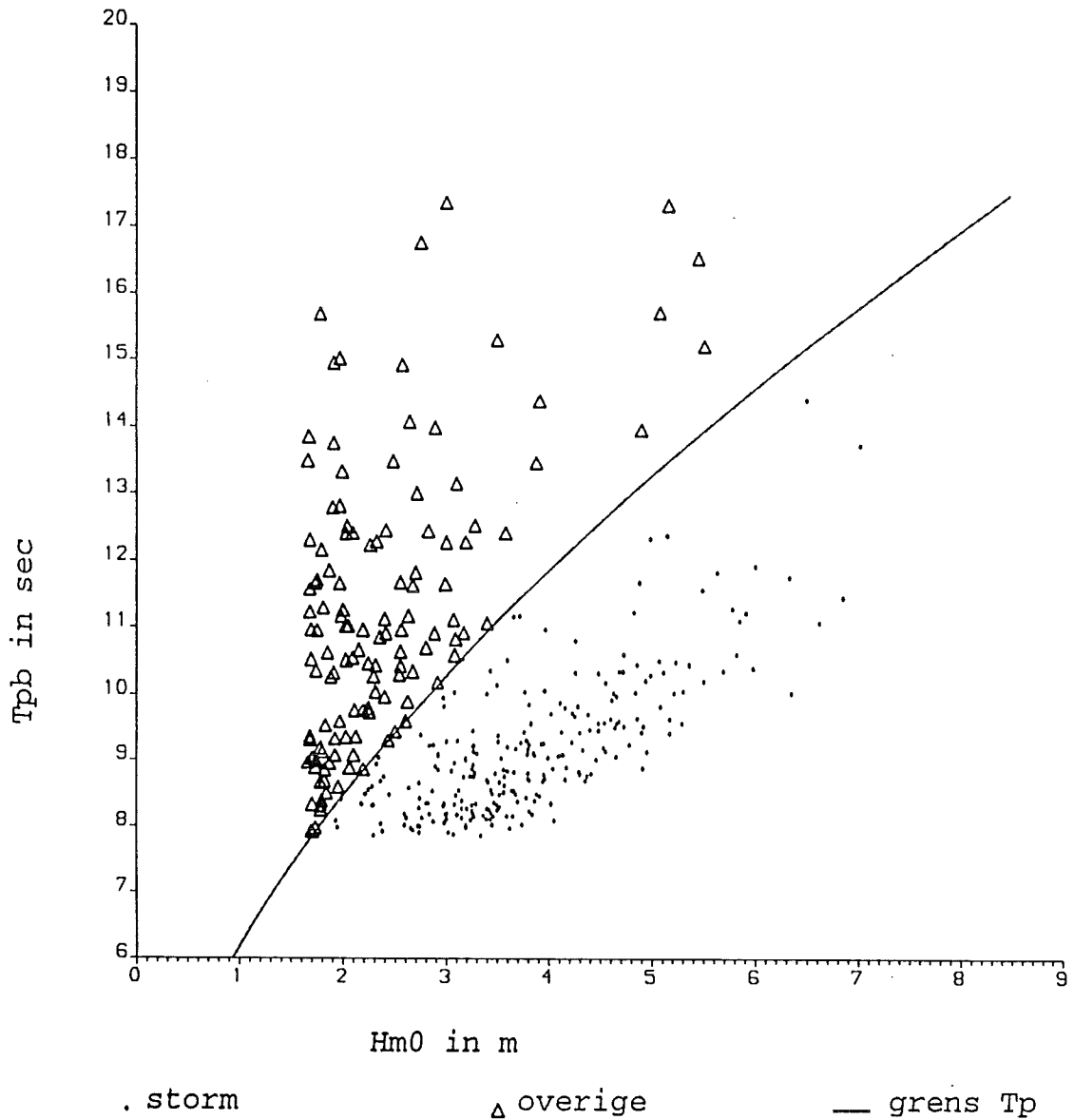


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.3^b

K13 T_{pb}

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor
golfperioden

RIKZ-96.019

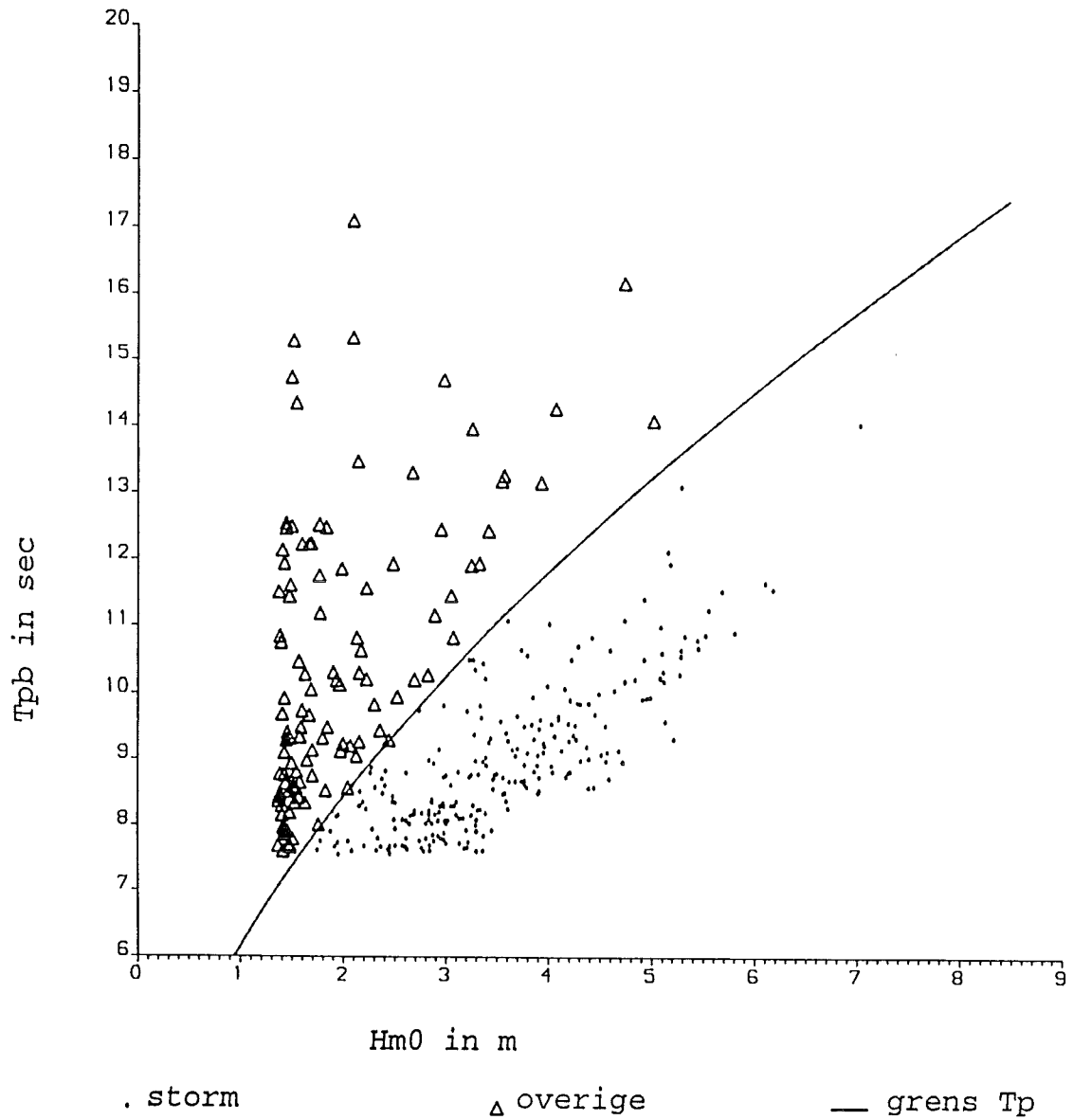


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.3^c

YM6 T_{pb}

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor
golfperioden

RIKZ-96.019

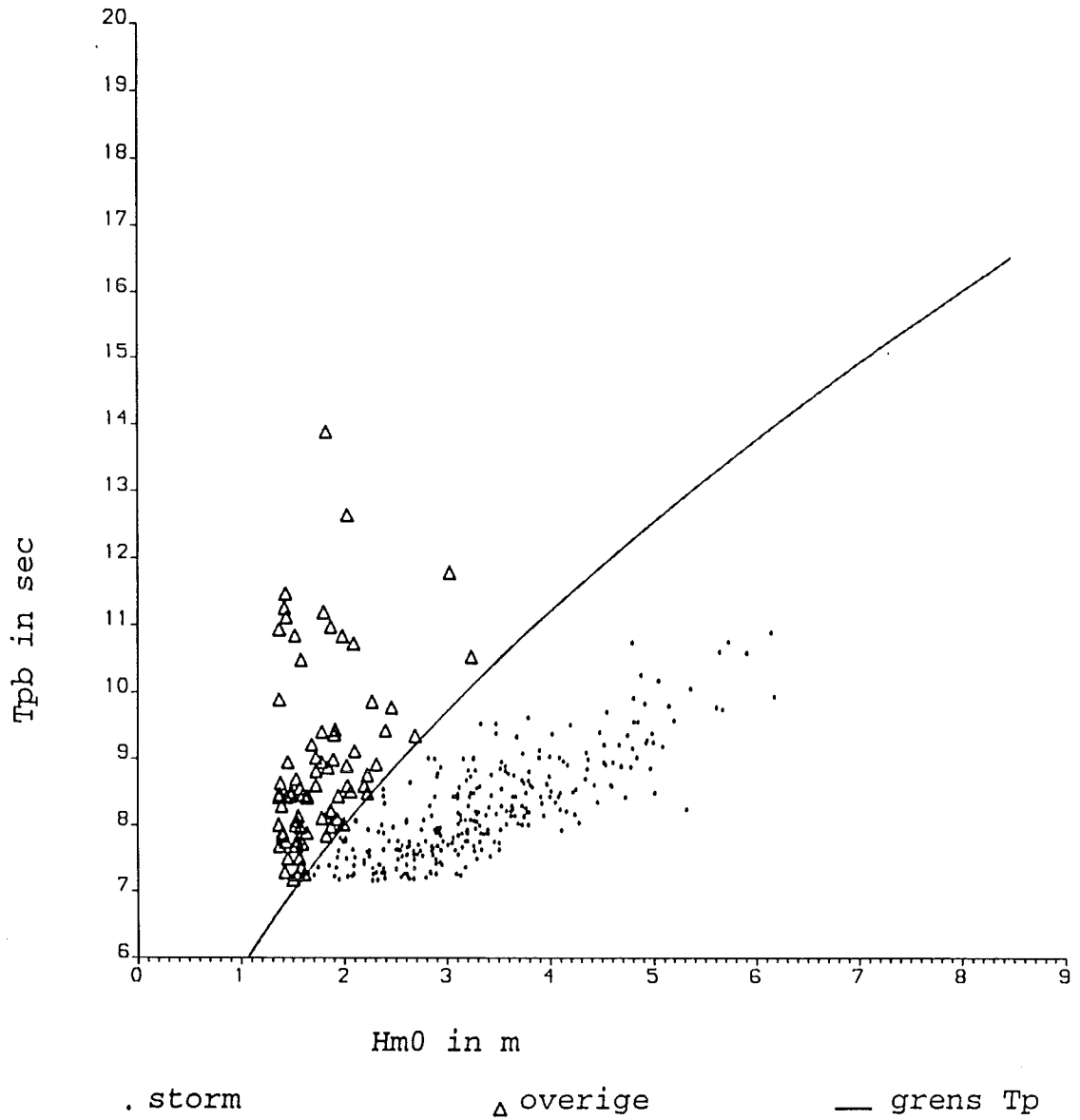


Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.3^d

EUR T_{pb}

storm maxima en overige maxima



Geselecteerde maxima van de golfperiode T_{pb} .

Storm maxima en overige maxima.

Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor
golfperioden

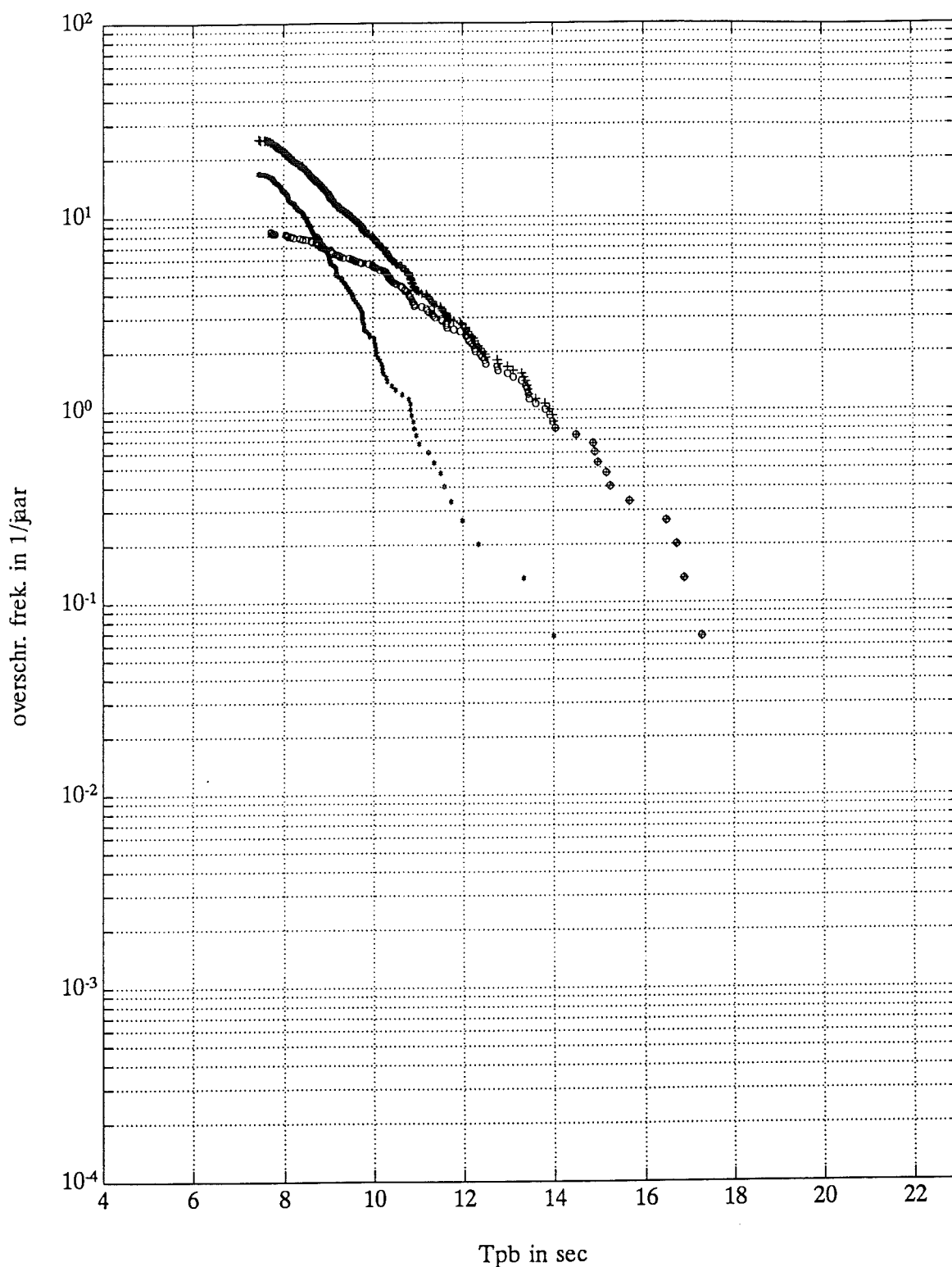
RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.3°

K13-Tpb zidtp parameter: Tpb * storm o overige + totaal



Overschrijdingsfrequenties van de golfperiode T_{pb} voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.

Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor golfperioden

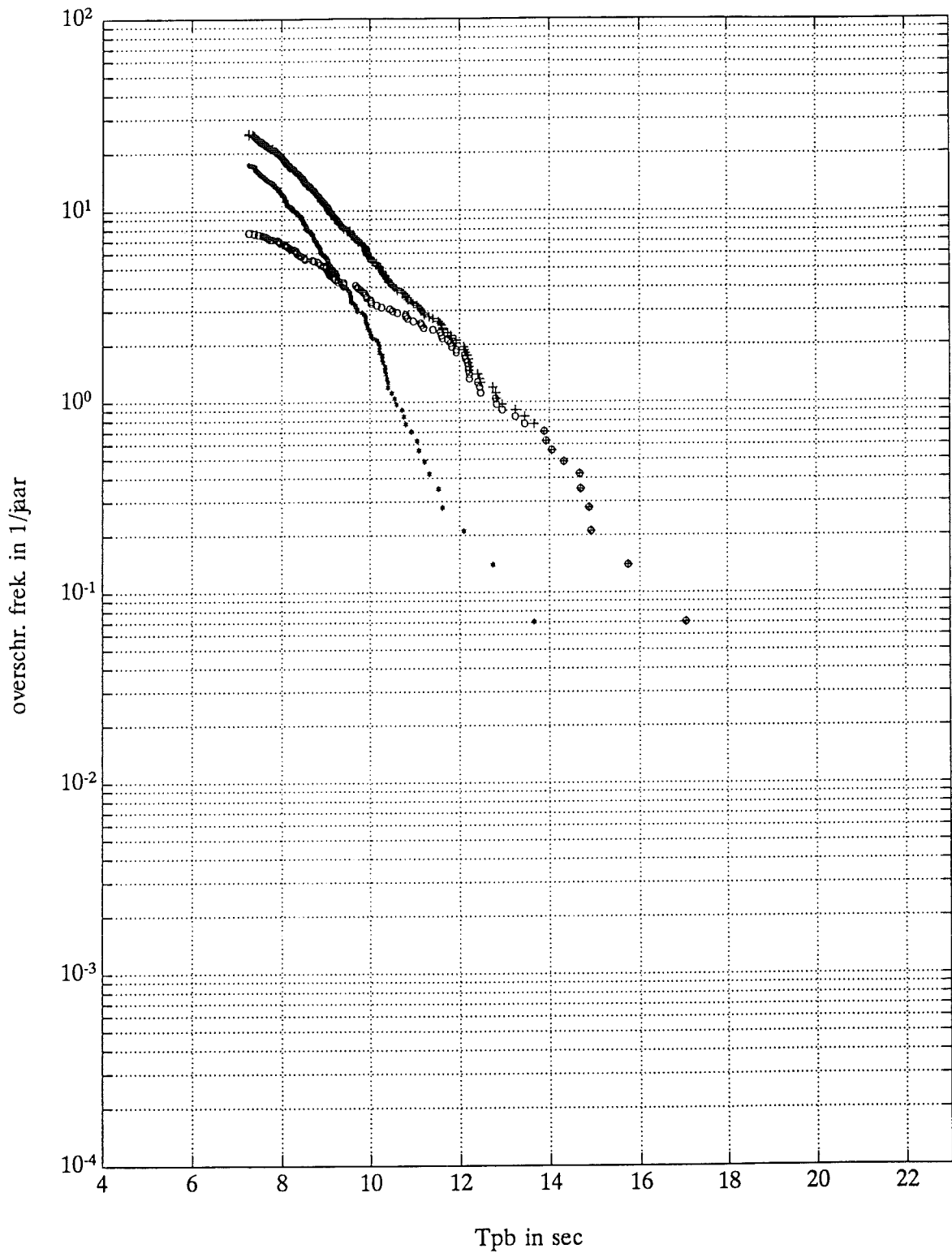
RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.4^a

YM6-Tpb zidtp parameter: Tpb * storm o overige + totaal

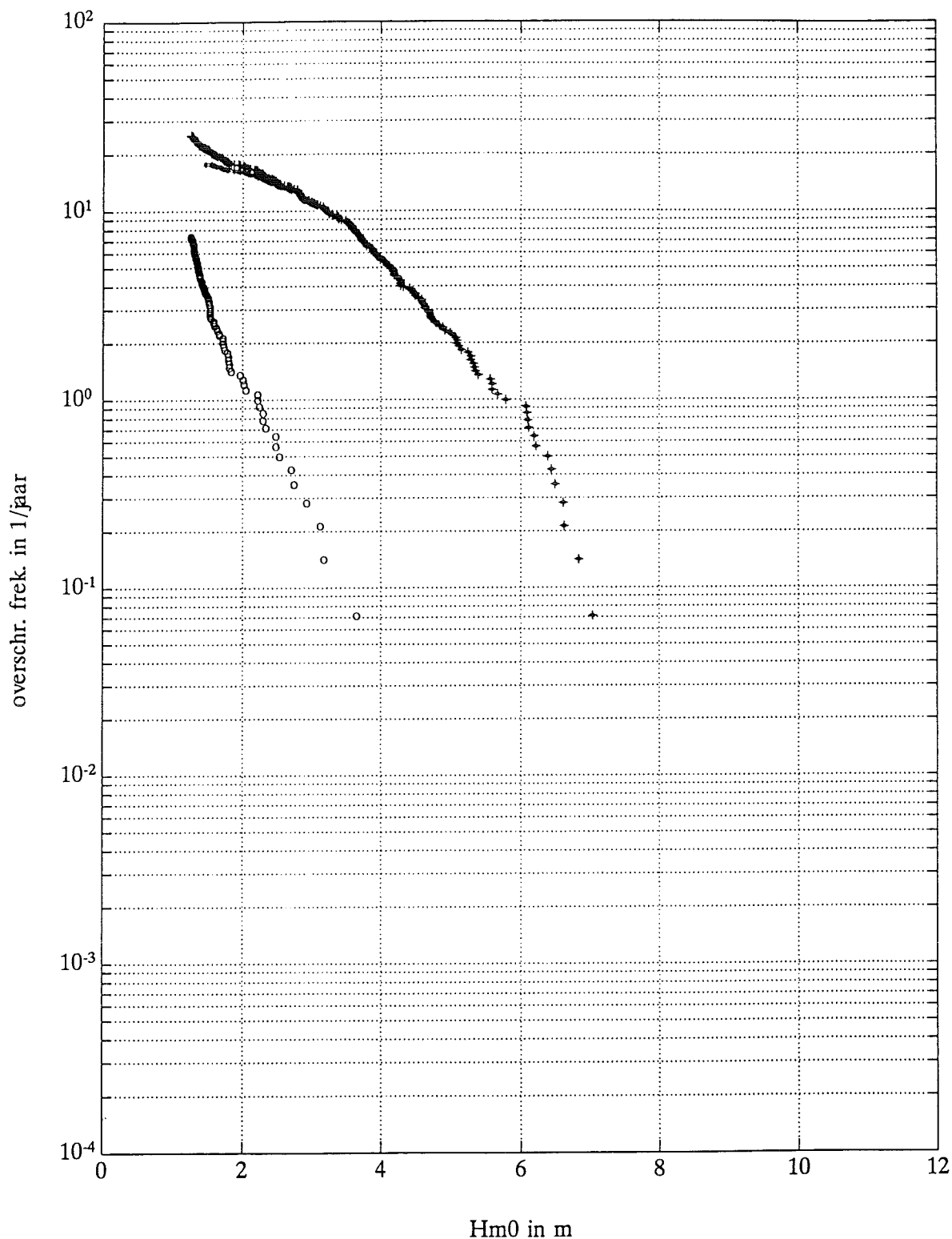


Overschrijdingsfrequenties van de golfperiode T_{pb} voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
 Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor
 golfperioden
 RIKZ-96.019



SON-Tpb zidtp parameter: H_{m0} * storm o overige + totaal

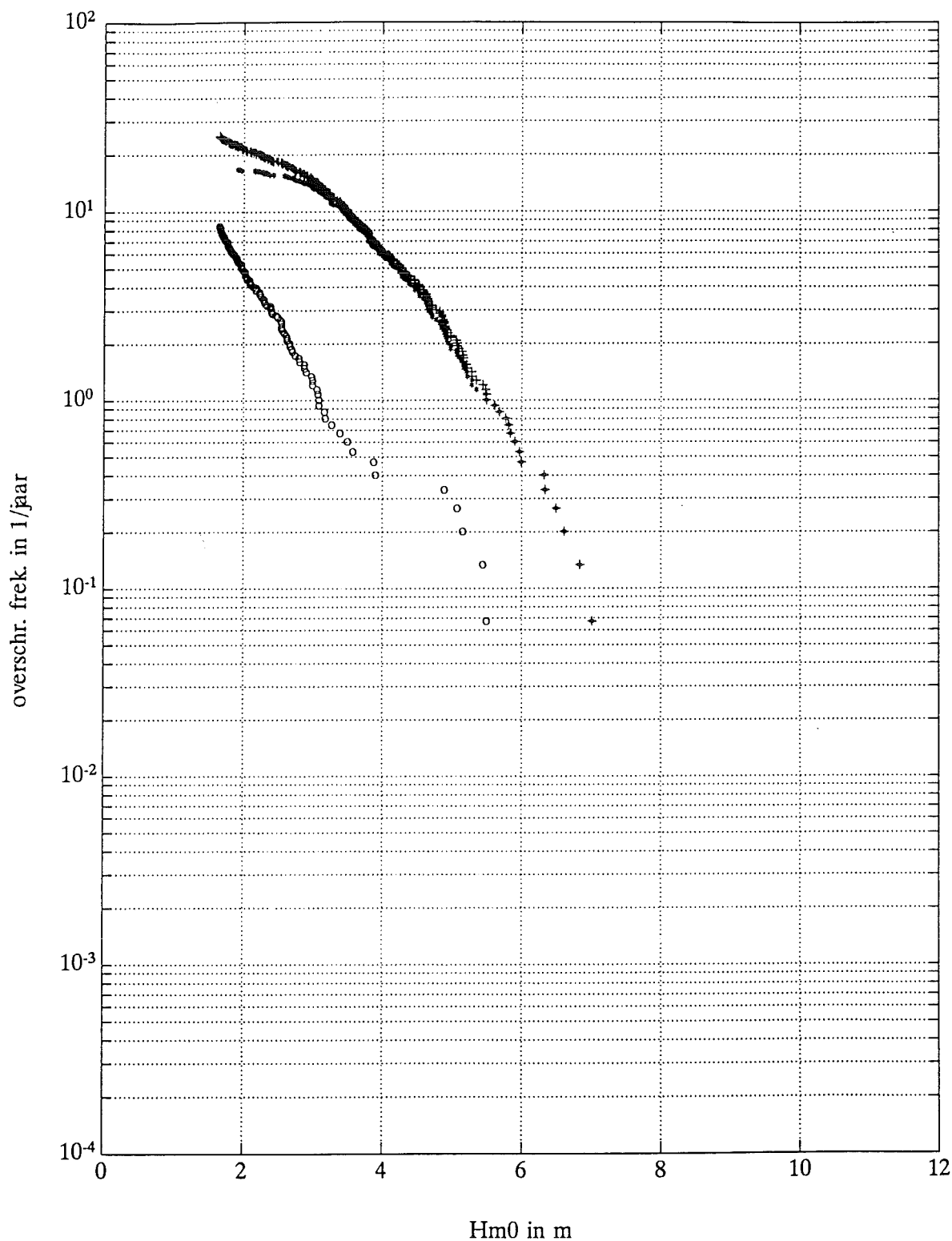


Overschrijdingsfrequenties van de golfhoogte H_{m0} voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
 Meetstation : SON

Randvoorwaarden voor
 golfperioden
 RIKZ-96.019



K13-Tpb zidtp parameter: H_{m0} * storm o overige + totaal



Overschrijdingsfrequenties van de golfhoogte H_{m0} voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.

Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor golfperioden

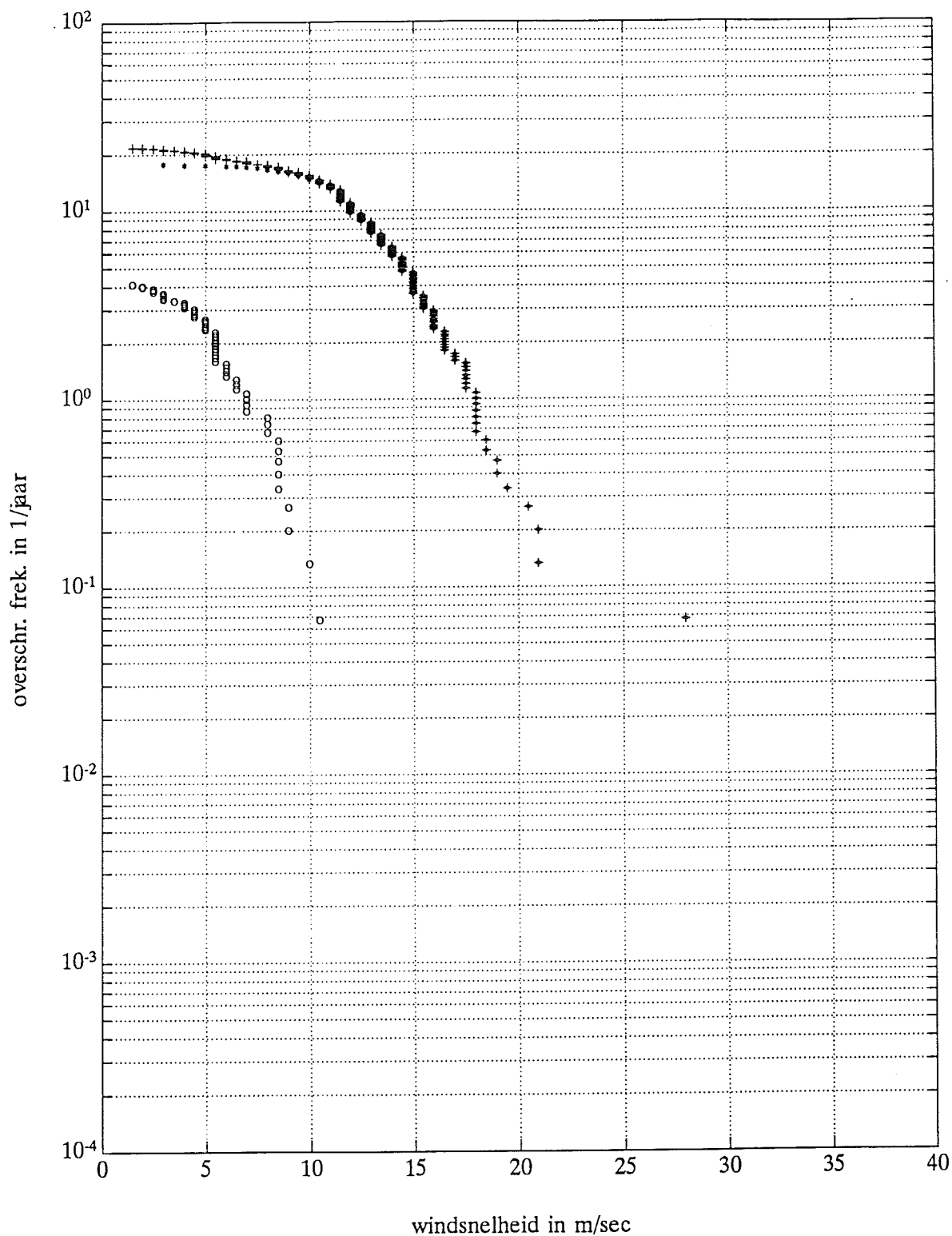
RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 3.4^d

EUR-Tpb zidtp parameter: vwind * storm o overige + totaal

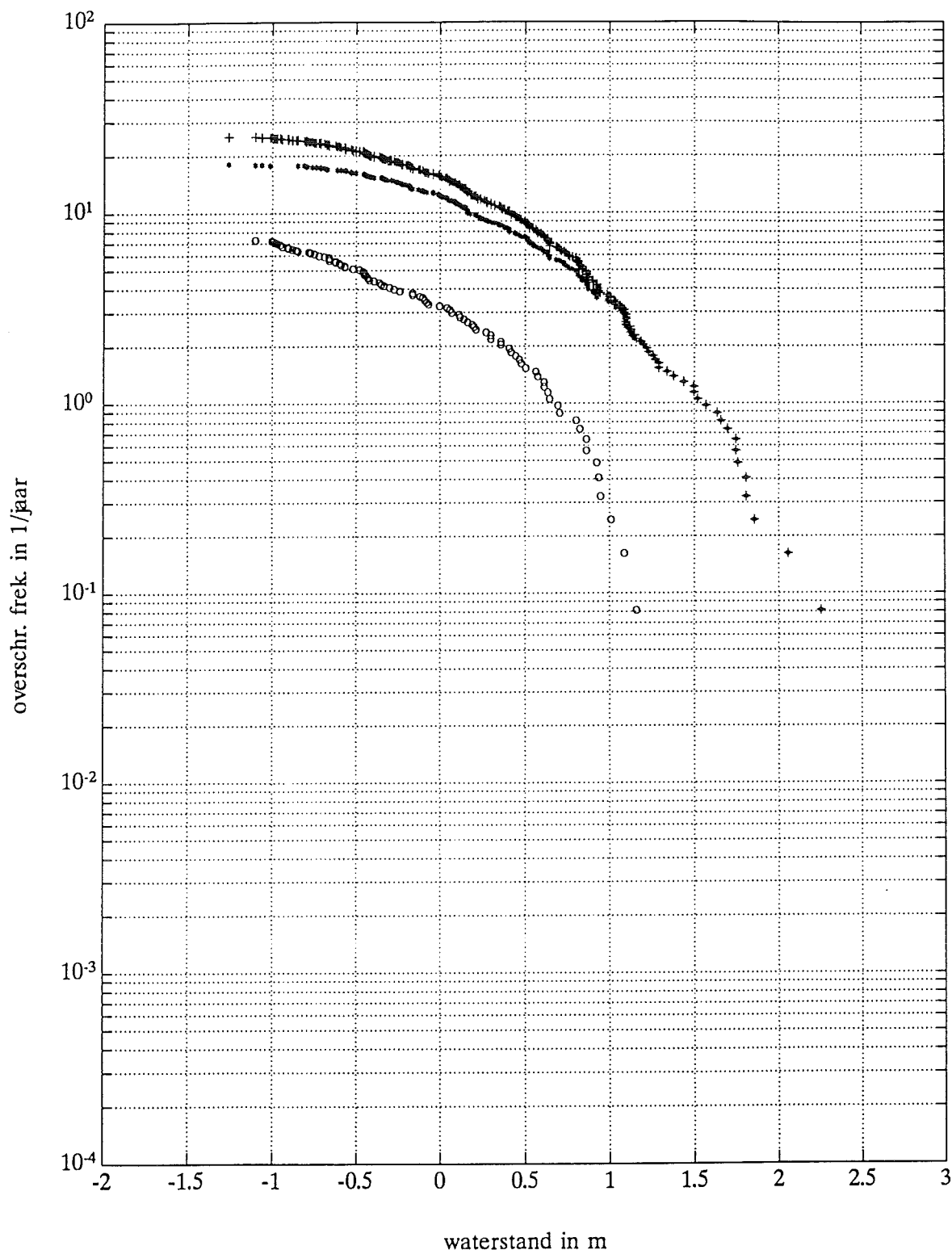


Overschrijdingsfrequenties van de windsnelheid voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
 Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor
 golfperioden
 RIKZ-96.019



YM6-Tpb zidtp parameter: wst * storm o overige + totaal

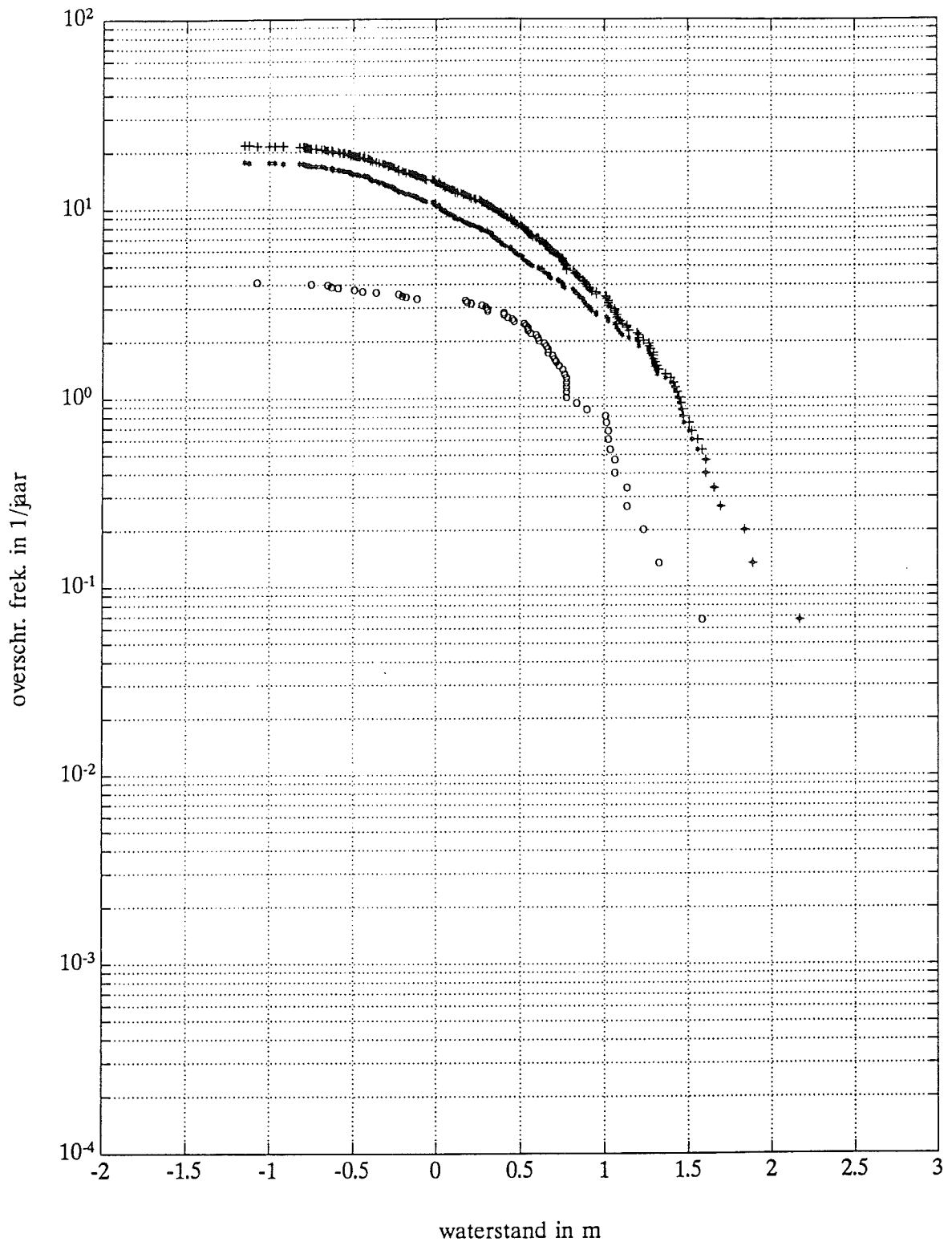


Overschrijdingsfrequenties van de waterstand voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
 Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor
 golfperioden
 RIKZ-96.019



EUR-Tpb zidtp parameter: wst * storm o overige + totaal

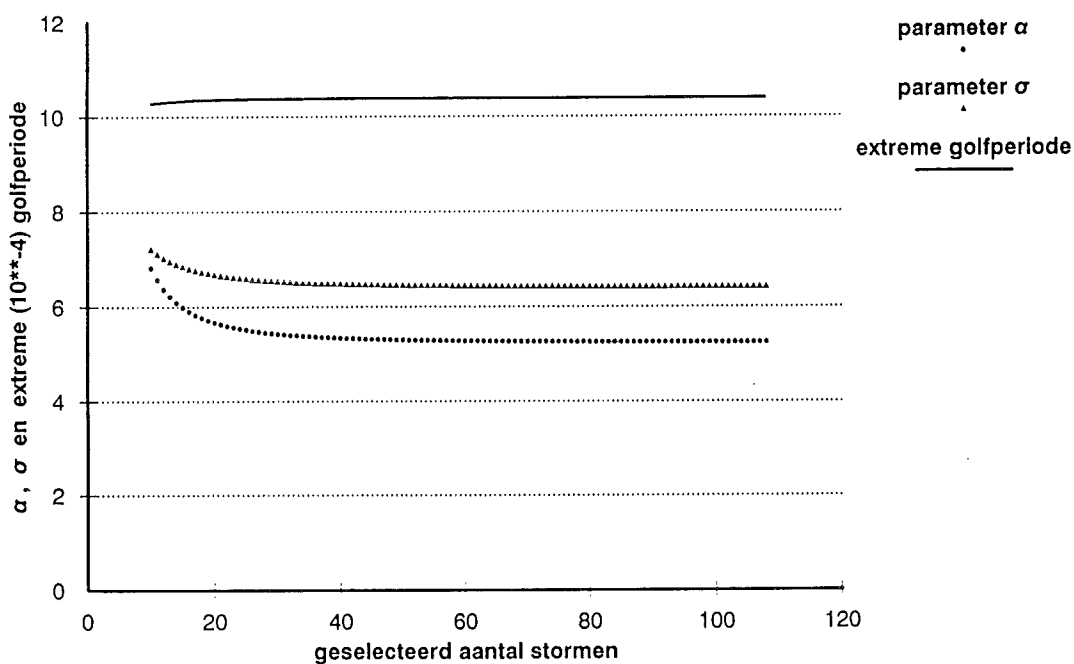
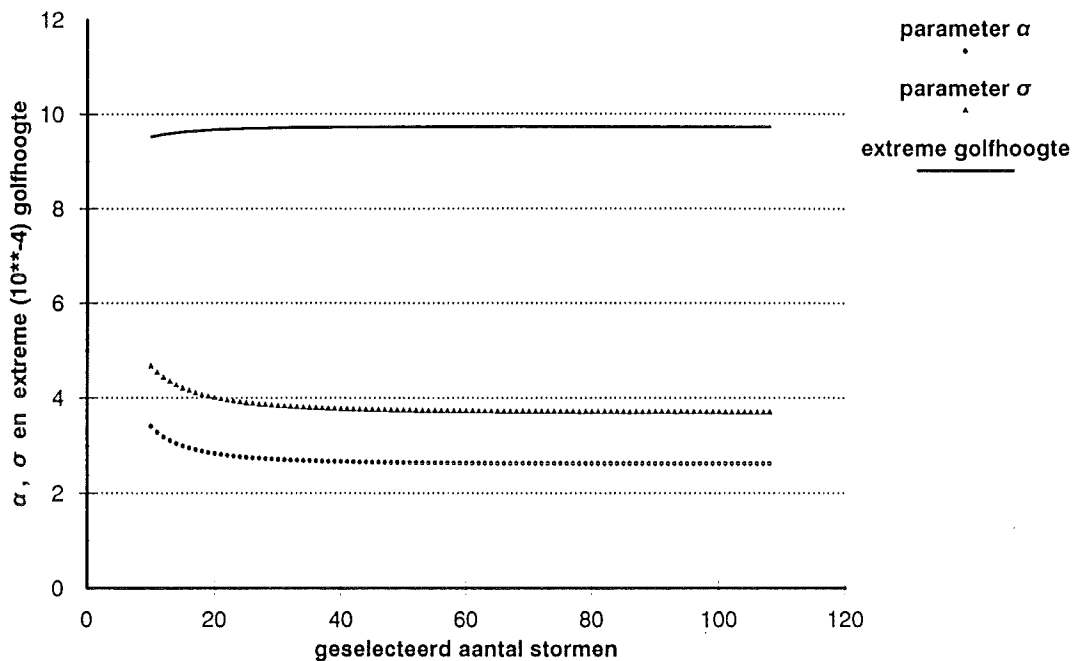


Overschrijdingsfrequenties van de waterstand voor storm maxima, overige maxima en alle maxima. T_p -selectie.
 Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor golfperioden
 RIKZ-96.019



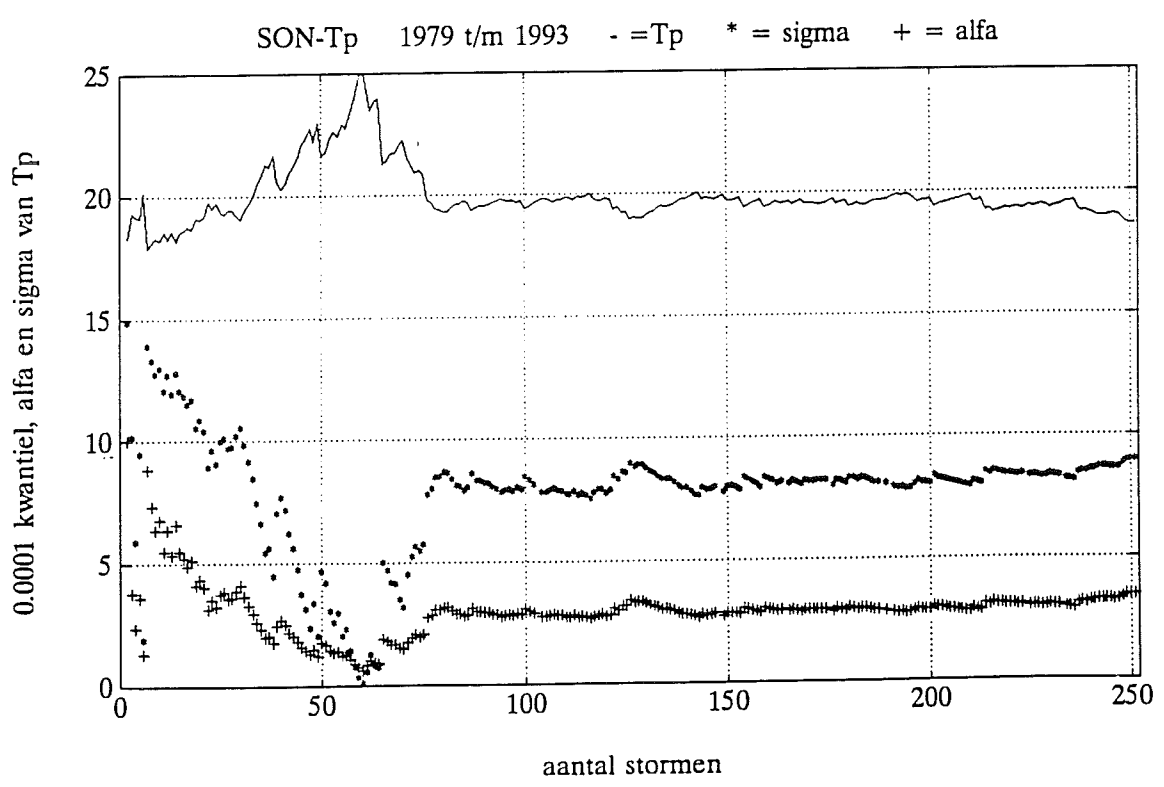
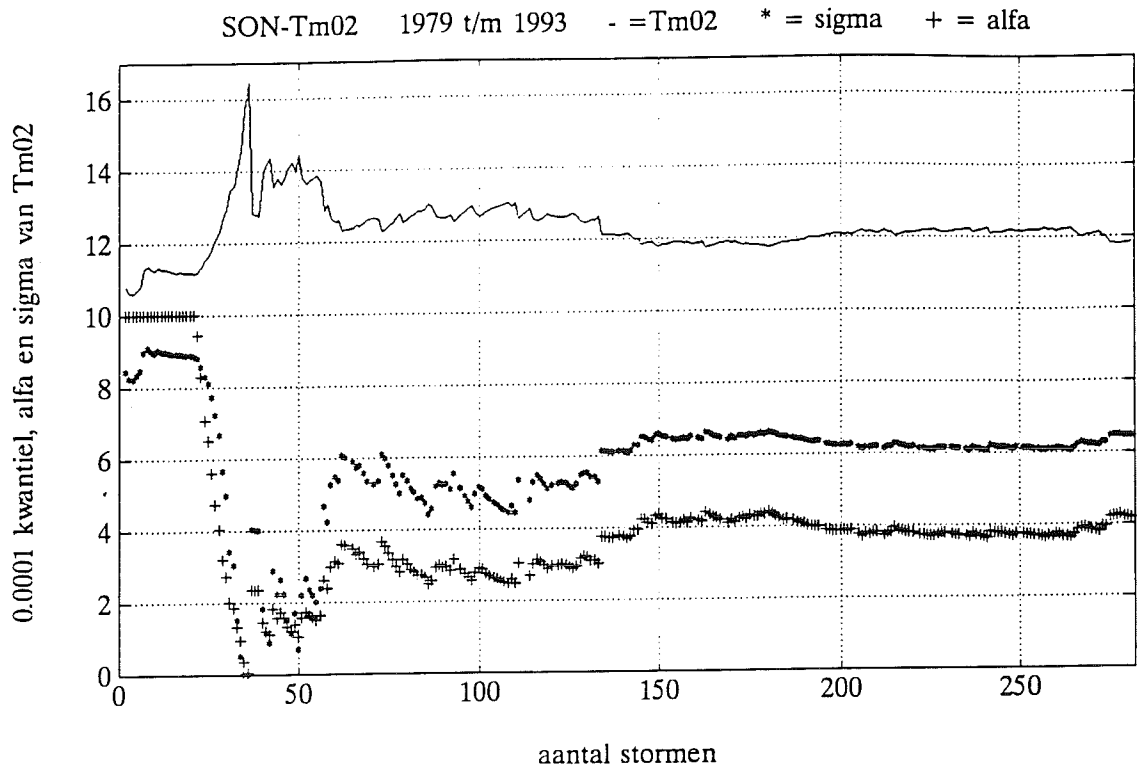
Vergelijking krommingsparameter α bij golfhoogten en golfperioden uit geslmuleerde reeksen maxima van stormen



Vergelijking van de waarde van de krommingsparameter α van de Weibull verdeling bij golfhoogten en golfperioden.

Randvoorwaarden voor
golfperioden
RIKZ-96.019



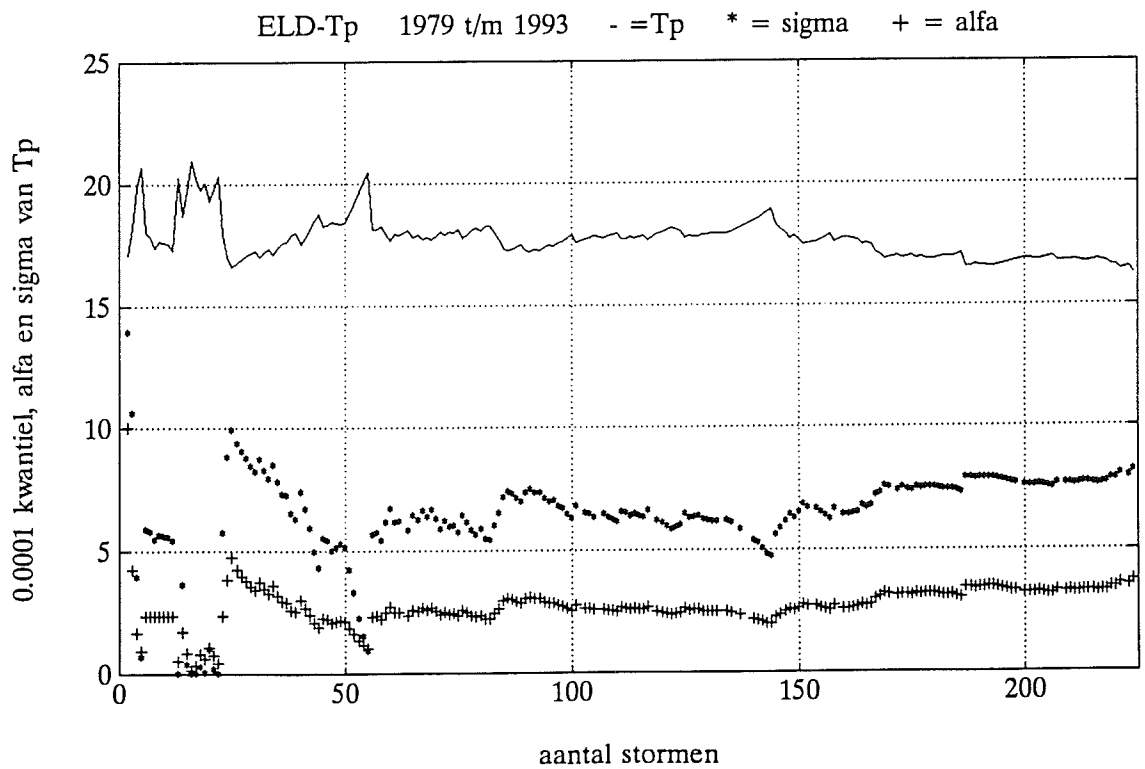
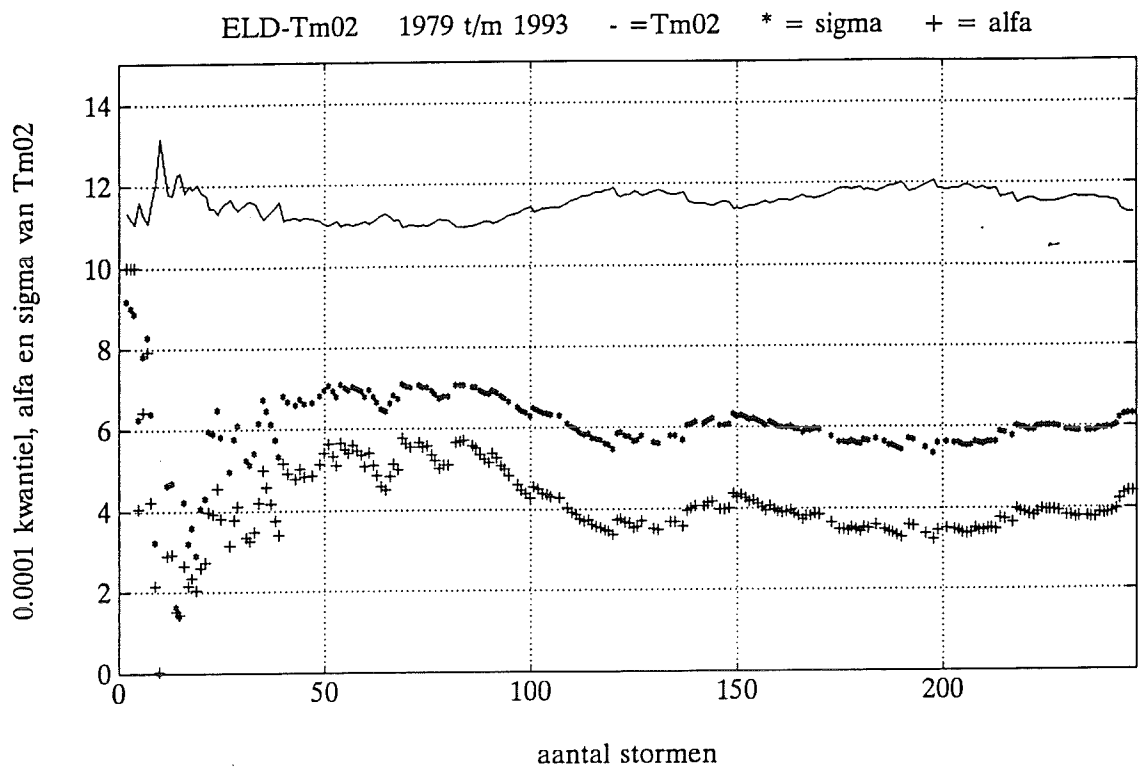


Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel.

Meetstation : SON

Randvoorwaarden voor golfperiodes
RIKZ-96.019





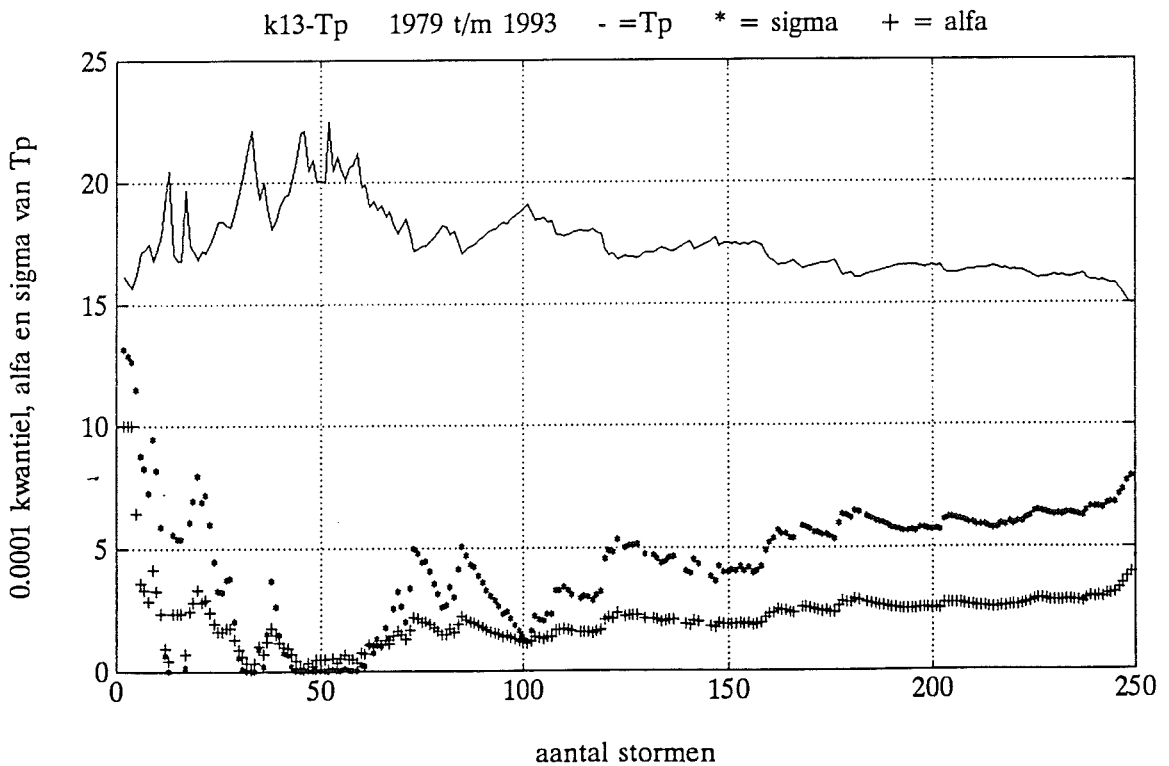
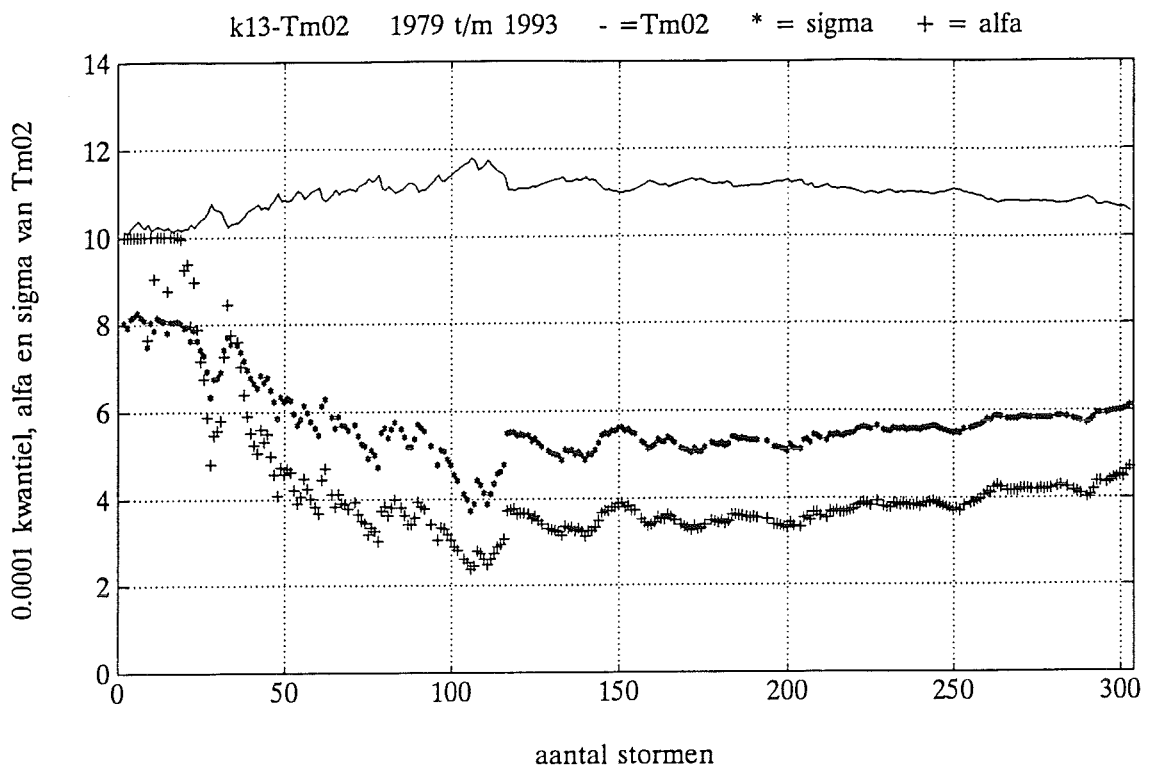
Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel.

Meetstation : ELD

Randvoorwaarden voor golfperiodes

RIKZ-96.019





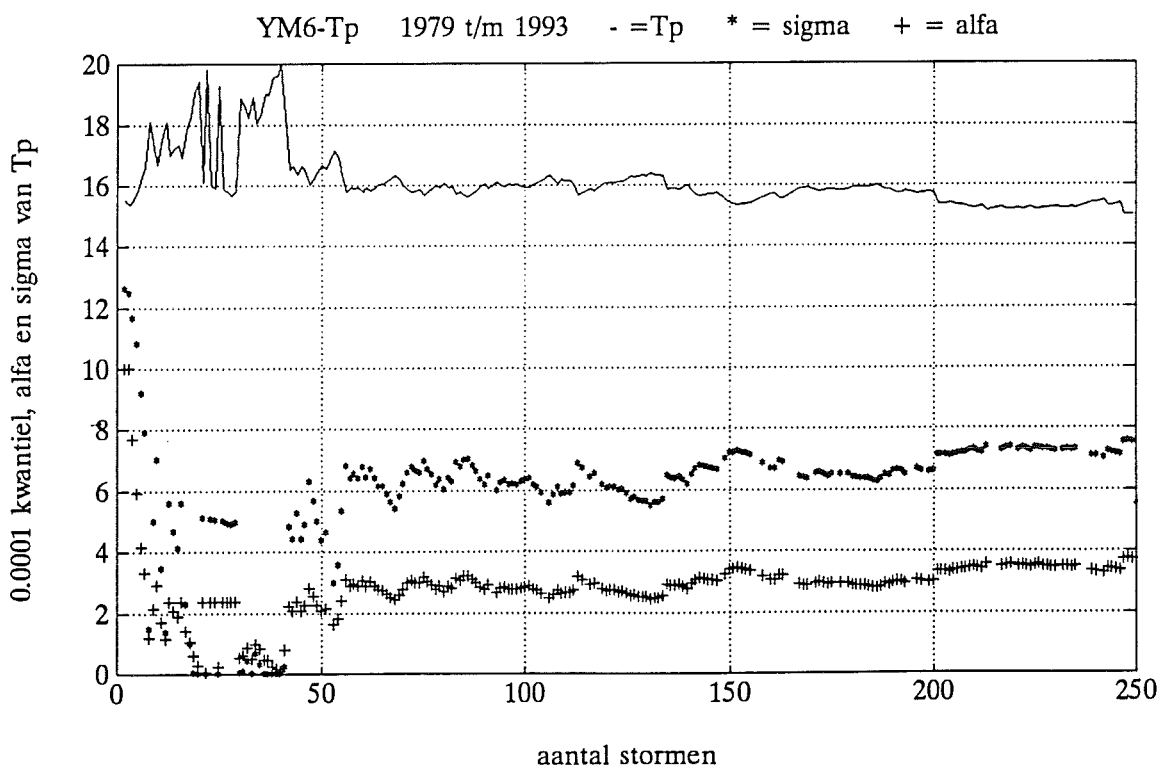
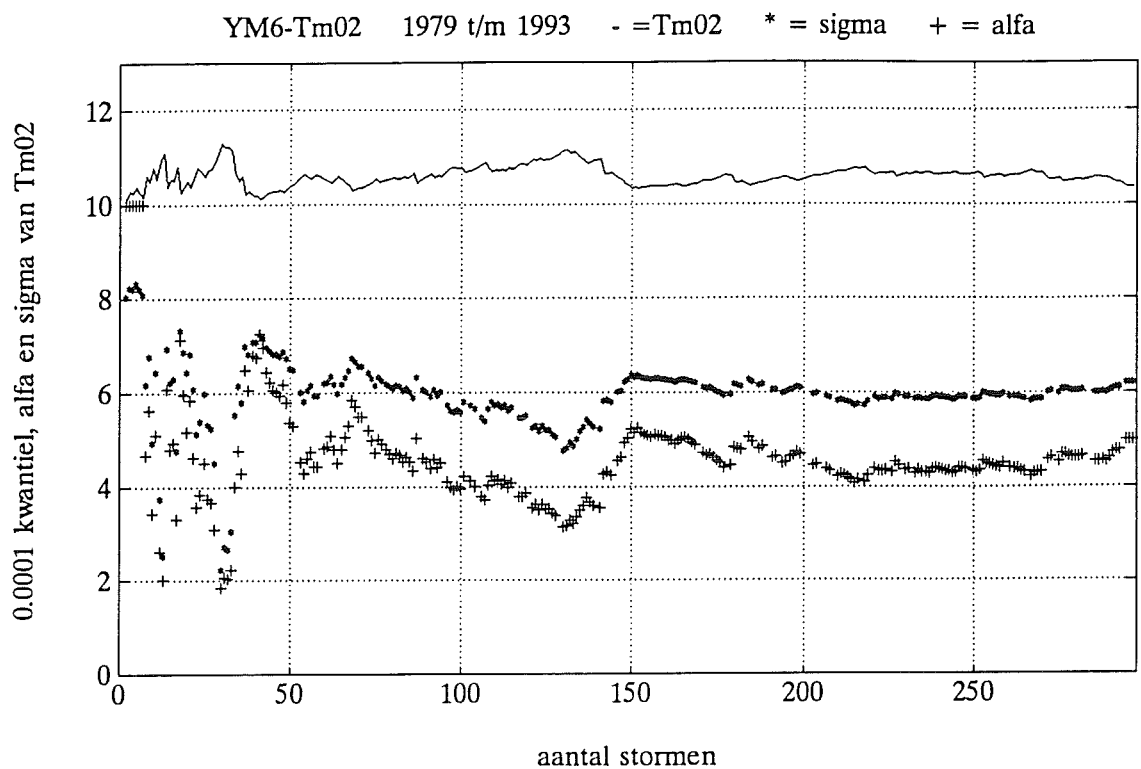
Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel.

Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor golfperioden

RIKZ-96.019





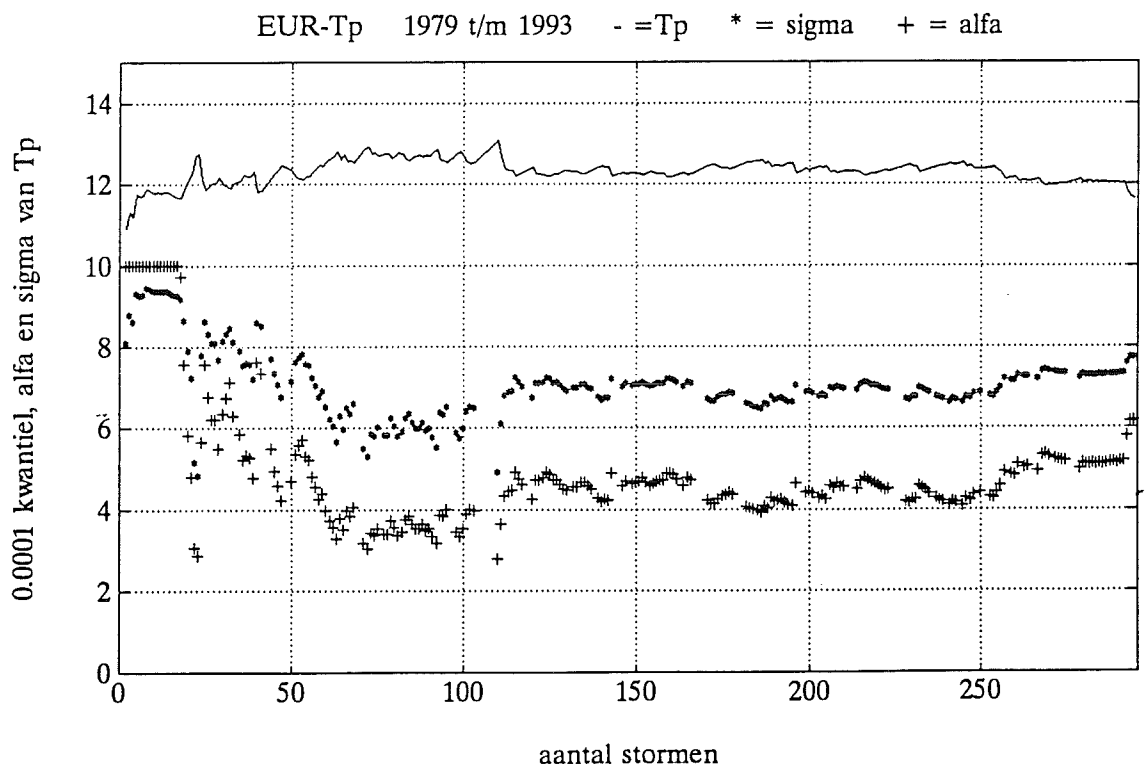
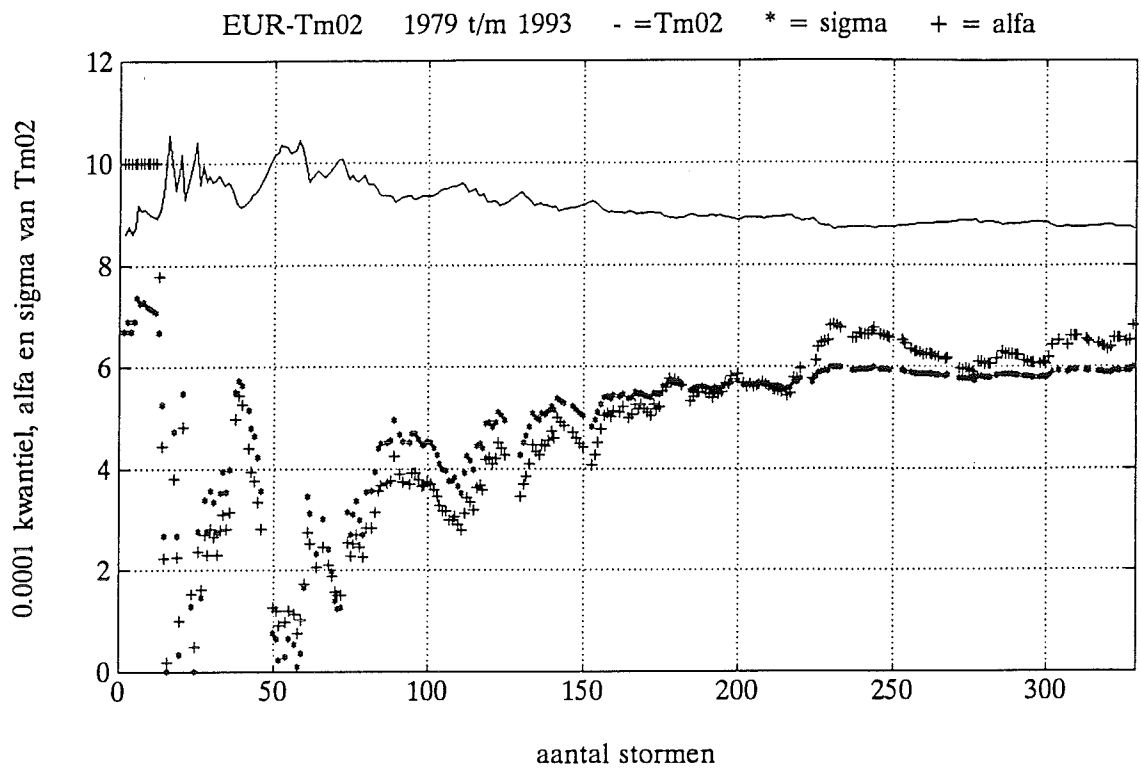
Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode
als functie van het aantal stormen boven de drempel.

Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor
golfperiodes

RIKZ-96.019





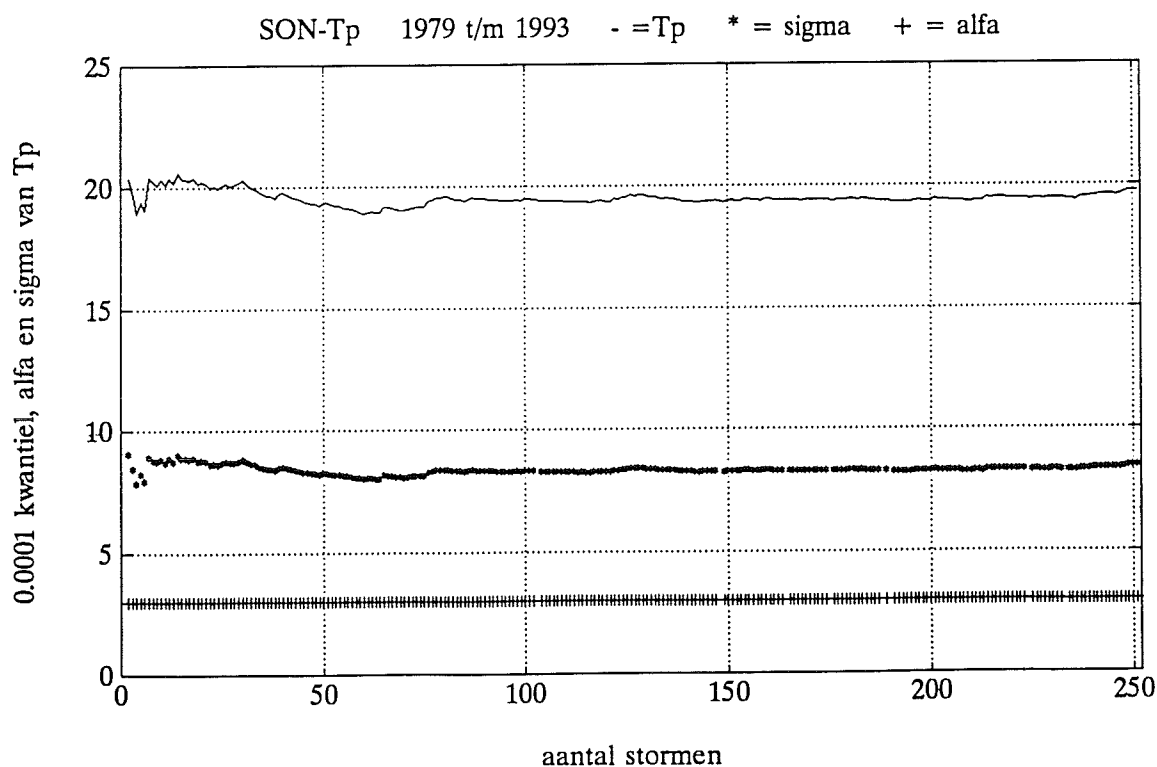
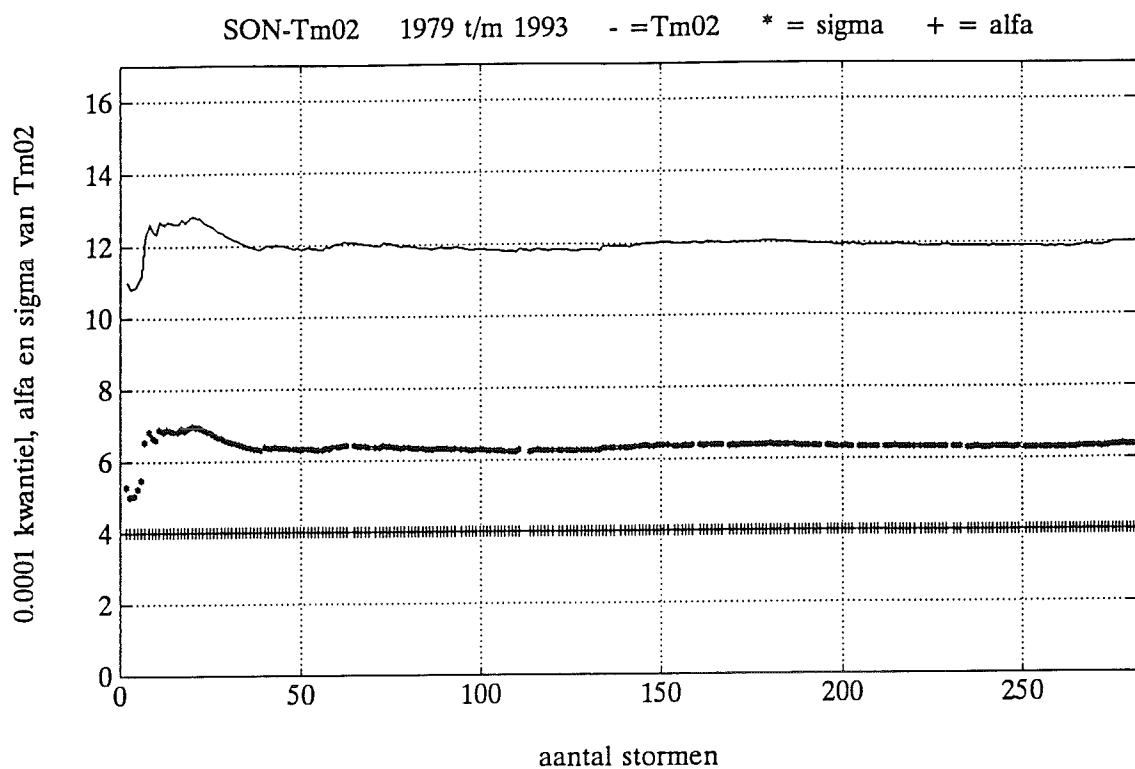
Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel.

Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor golfperiodes

RIKZ-96.019

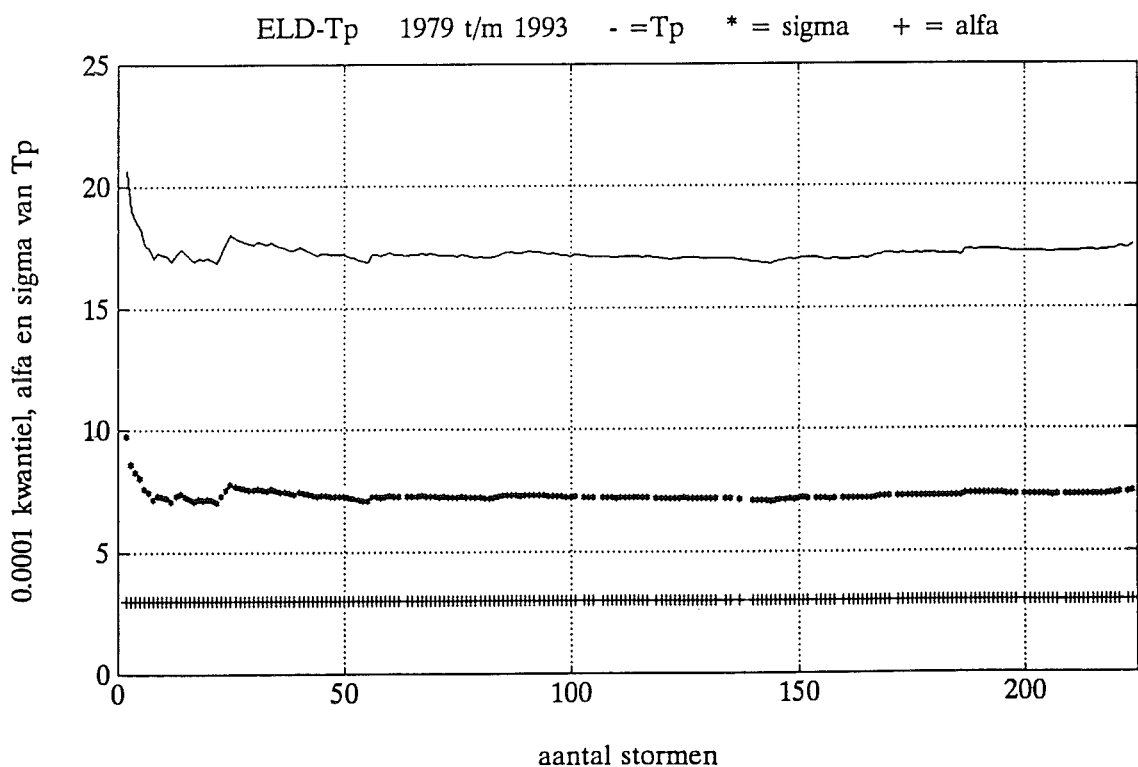
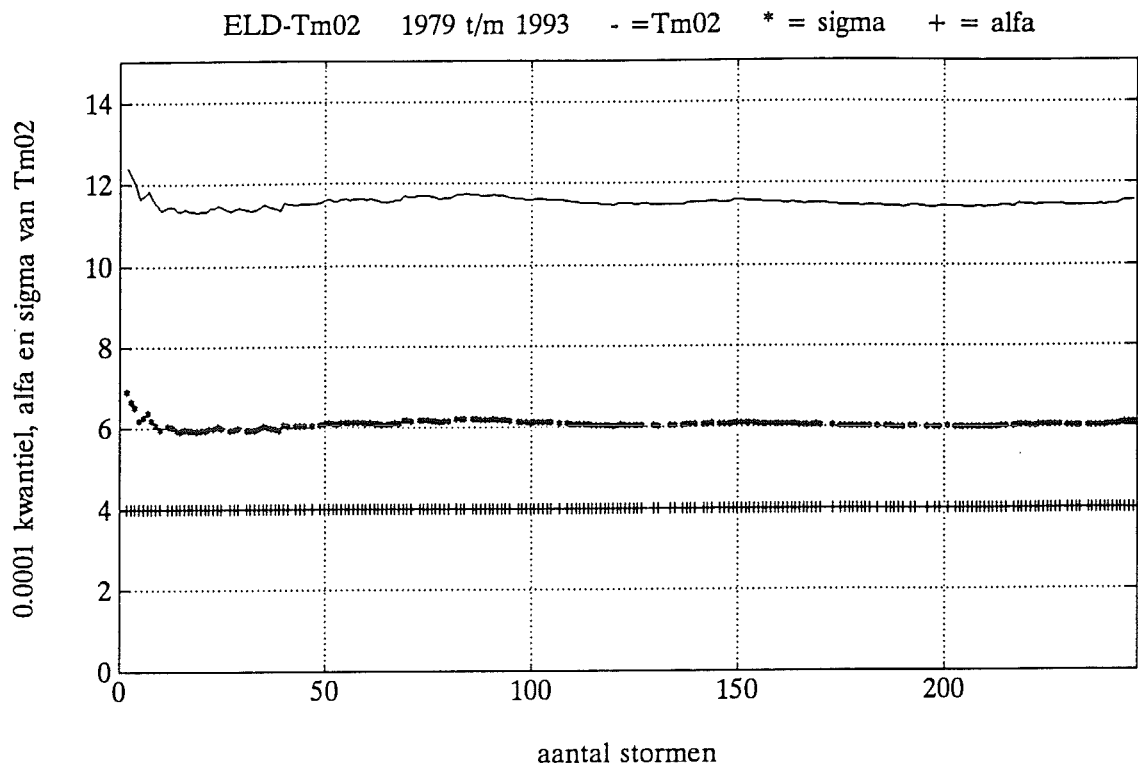




Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
 Meetstation : SON

Randvoorwaarden voor
 golfperiodes
 RIKZ-96.019

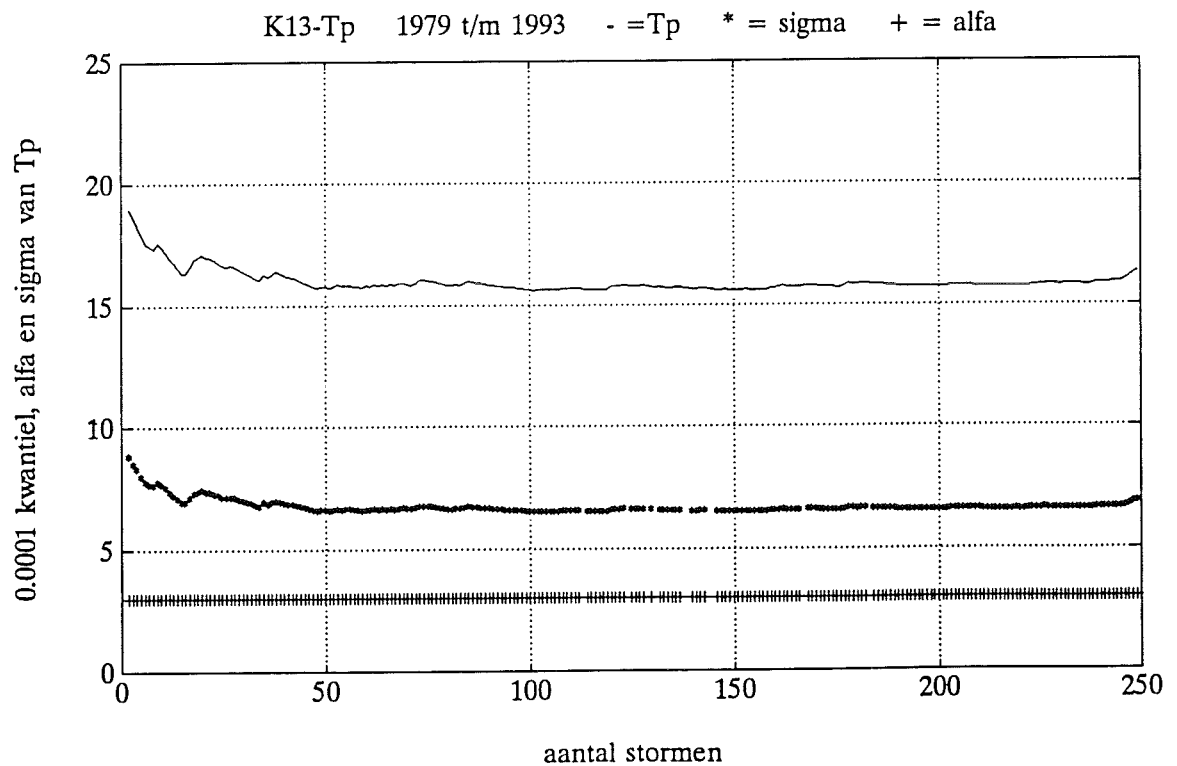
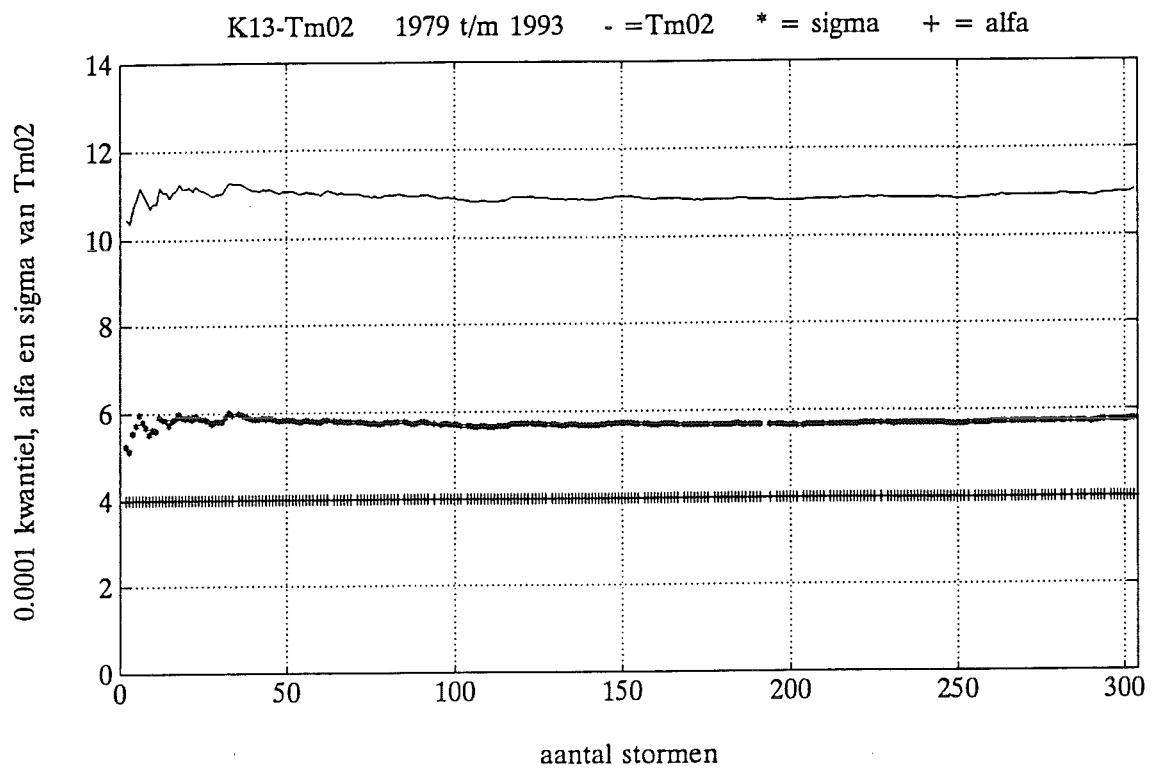




Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
 Meetstation : ELD

Randvoorwaarden voor
 golfperiodes
 RIKZ-96.019

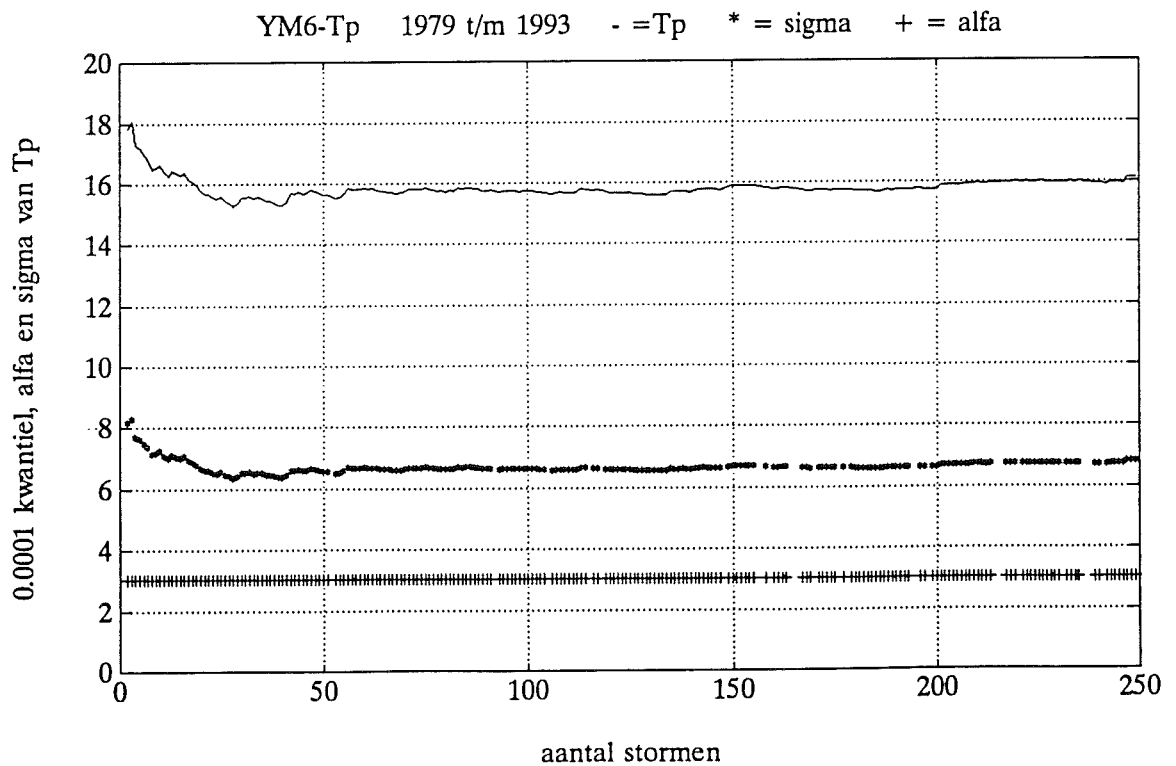
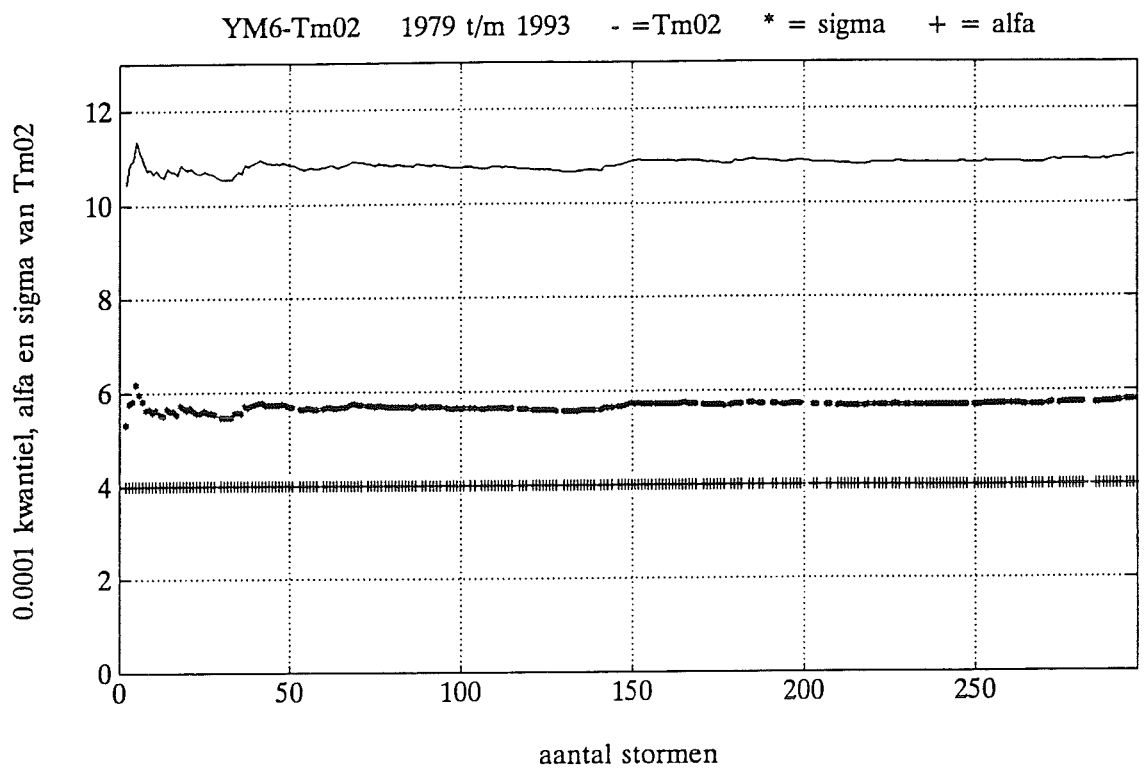




Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
 Meetstation : K13

Randvoorwaarden voor
 golfperioden
 RIKZ-96.019

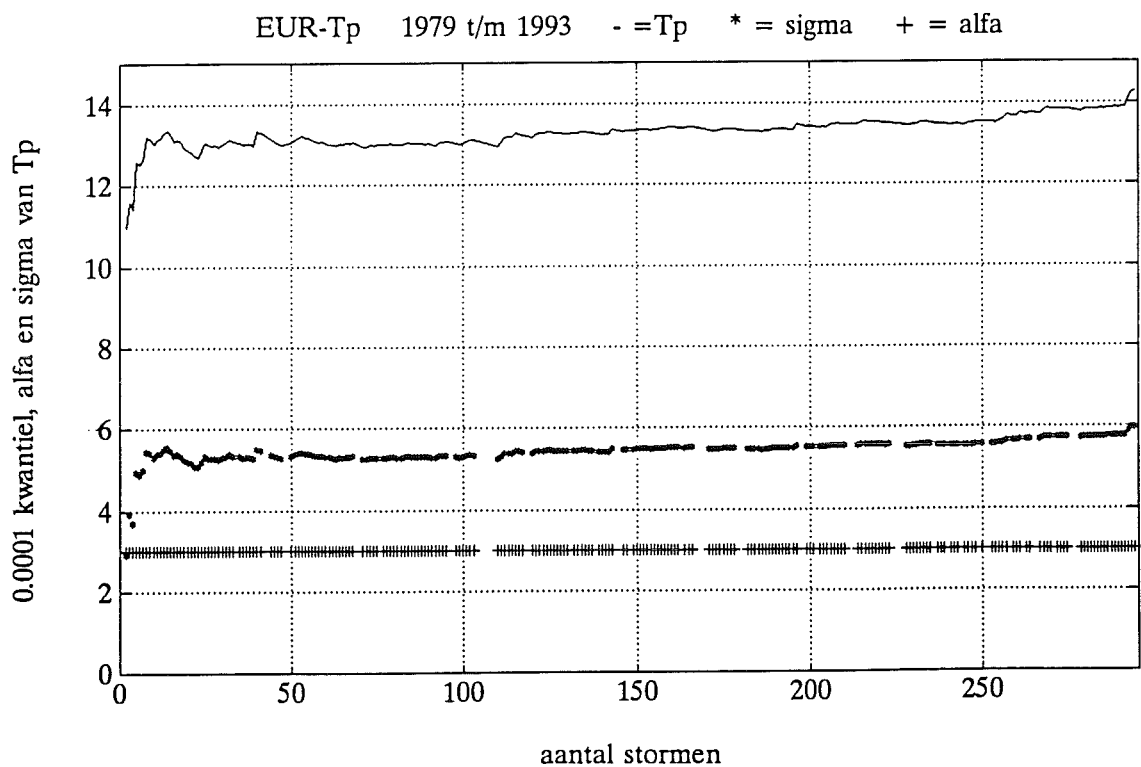
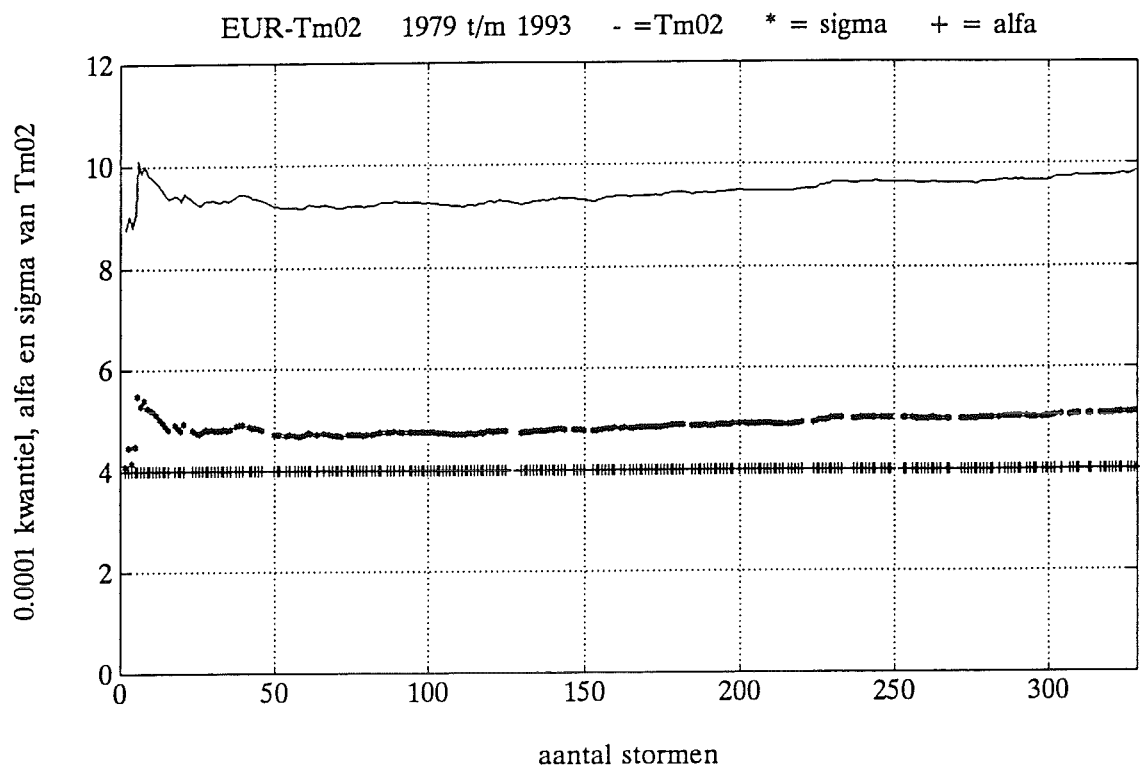




Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
 Meetstation : YM6

Randvoorwaarden voor
 golfperioden
 RIKZ-96.019



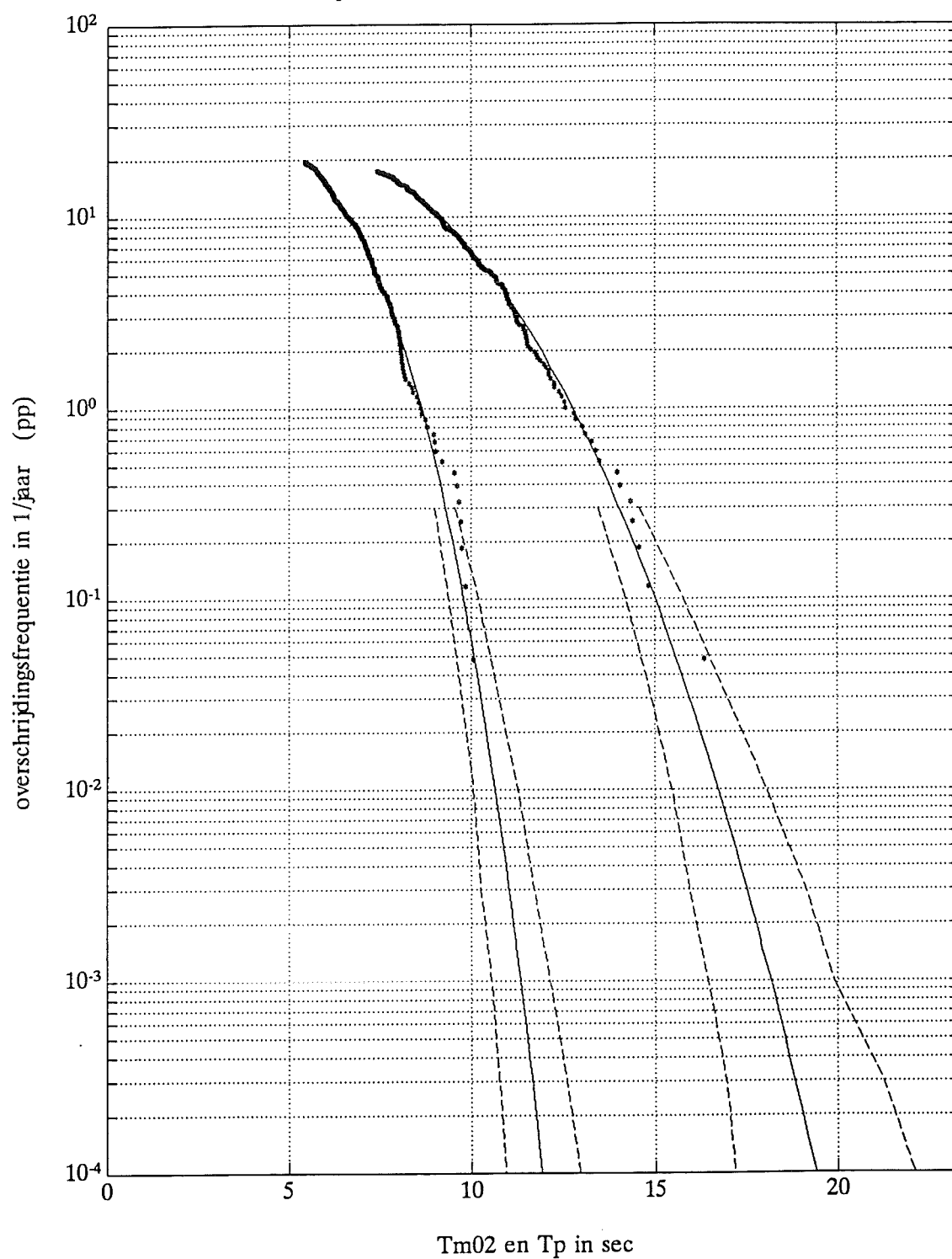


Verloop van de Weibull parameters en de extreme golfperiode als functie van het aantal stormen boven de drempel. Vaste α .
 Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor
 golfperiodes
 RIKZ-96.019



station SON periode 1979 t/m 1993 90% betrouwbaarheidsgebied



Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperioden T_{m02} en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
 Meetstation : SON

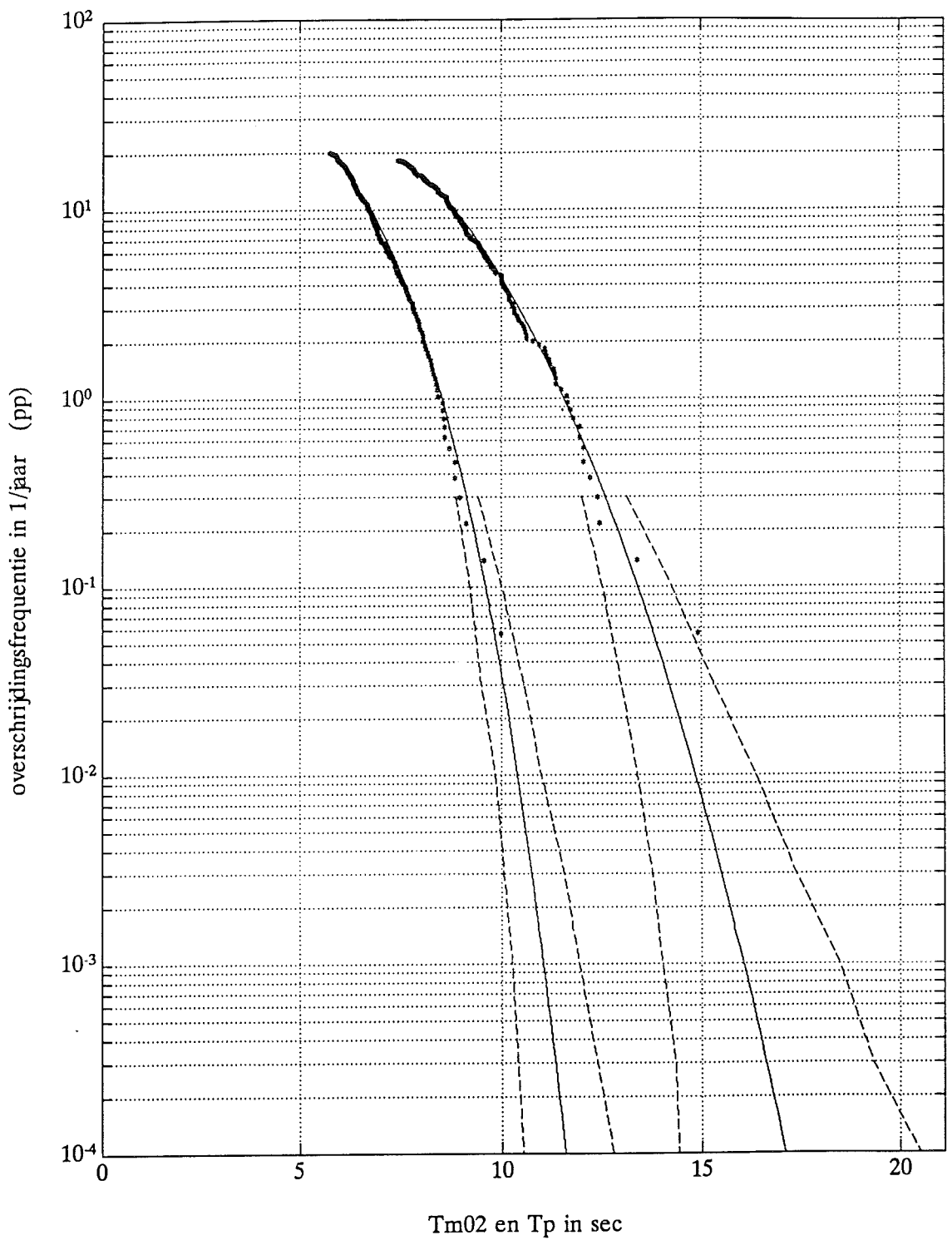
Randvoorwaarden voor golfperioden
 RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 4.4^a

station ELD periode 1979 t/m 1993 90% betrouwbaarheidsgebied



Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperioden T_{m02} en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
 Meetstation : ELD

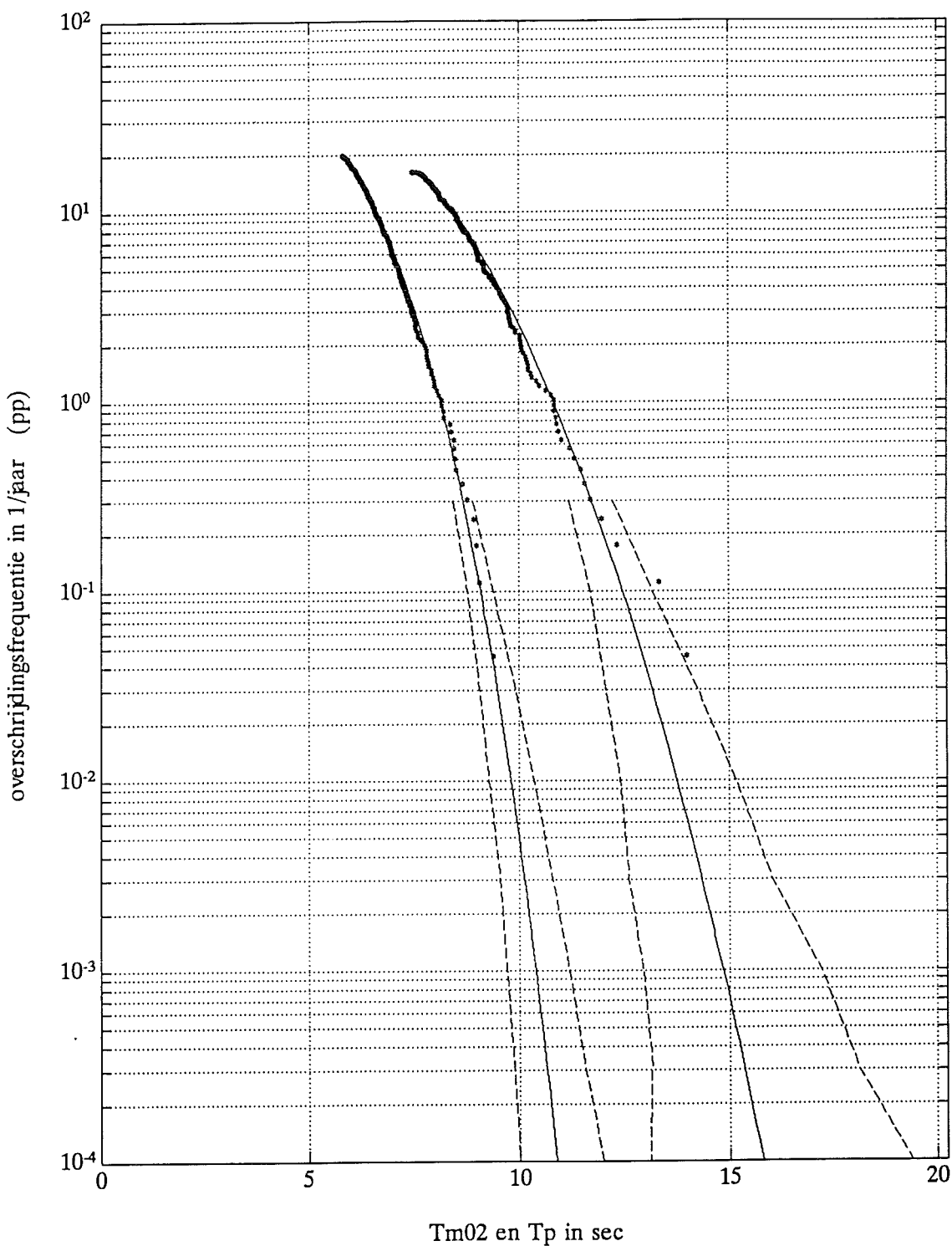
Randvoorwaarden voor golfperioden
 RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 4.4^b

station K13 periode 1979 t/m 1993 90% betrouwbaarheidsgebied



Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperioden T_{m02} en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
 Meetstation : K13

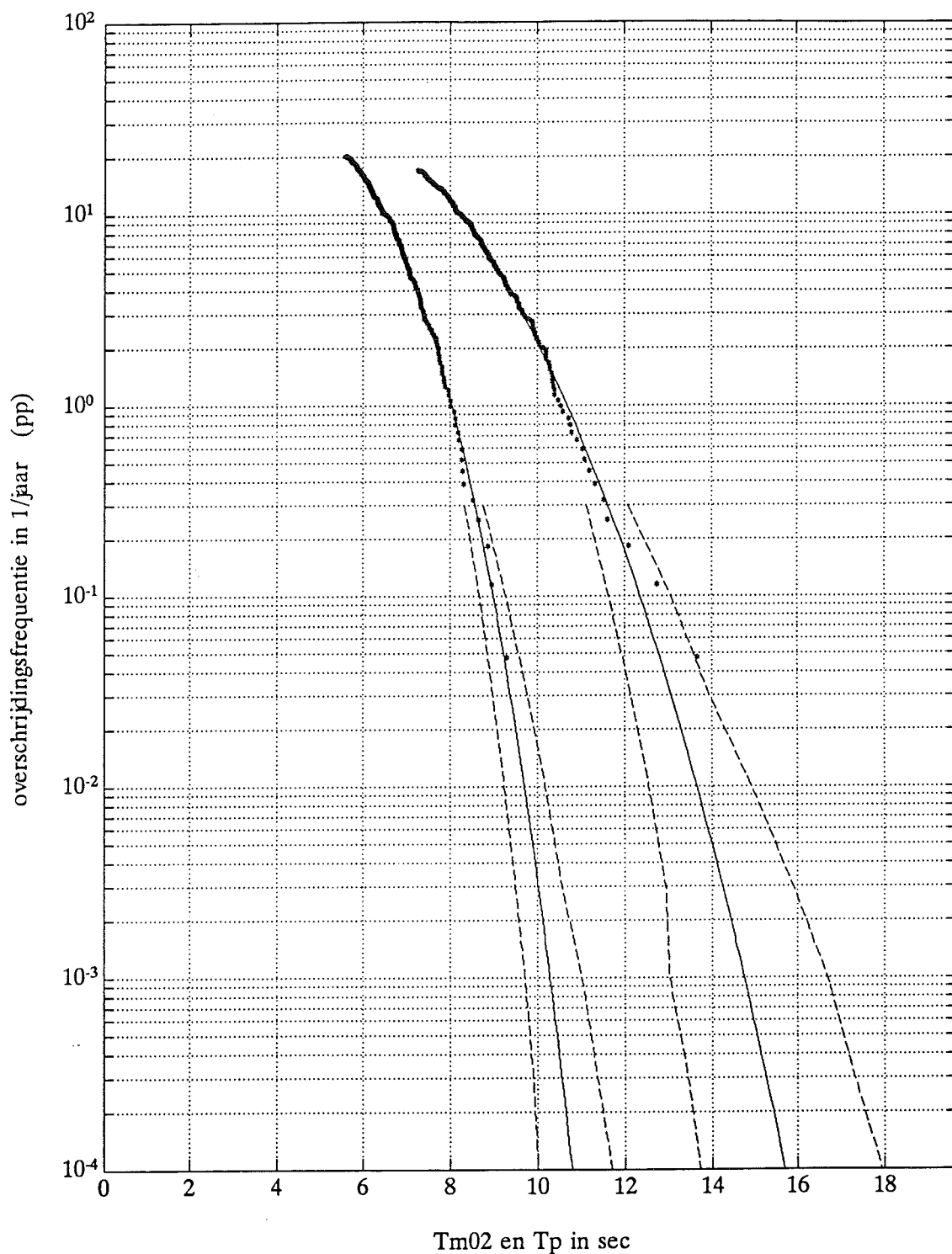
Randvoorwaarden voor golfperioden
 RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 4.4^c

station YM6 periode 1979 t/m 1993 90% betrouwbaarheidsgebied



Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperioden T_{m02} en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
 Meetstation : YM6

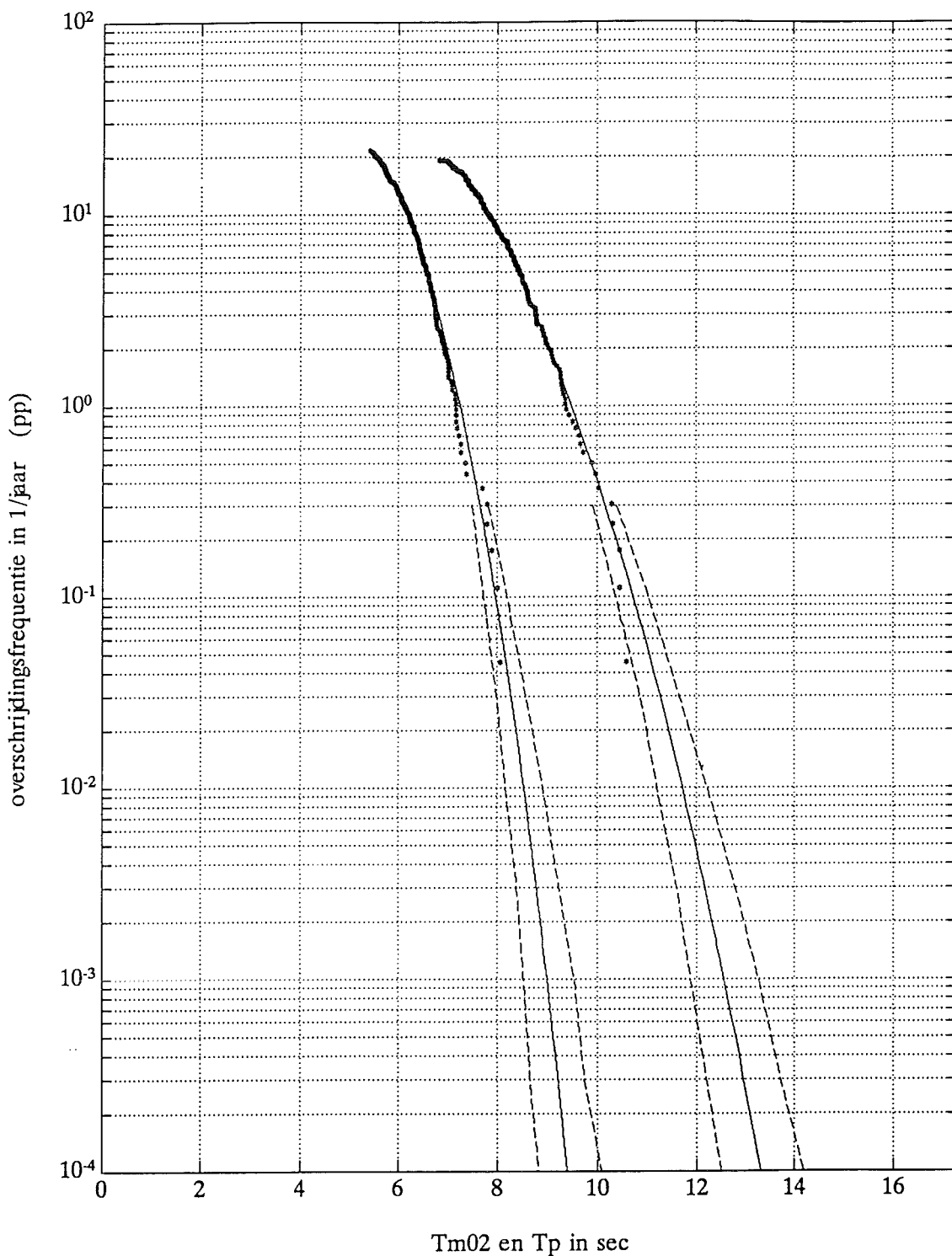
Randvoorwaarden voor golfperioden
 RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 4.4^d

station EUR periode 1979 t/m 1993 90% betrouwbaarheidsgebied



Overschrijdingsfrequenties en extreme-waarden-verdelingen voor de golfperioden T_{m02} en T_p met 90%-betrouwbaarheidsinterval.
 Meetstation : EUR

Randvoorwaarden voor golfperioden
 RIKZ-96.019



Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

BIJLAGE 4.4^e