

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 62

E. Bouws

Beoordeling van golfgegevens van het Meetnet Noordzee
bewerkt door het nieuwe CIC-systeem (1984) in
Hoek van Holland

De Bilt, 1985

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. 62 (00)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Oceanografisch Onderzoek,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

U.D.C.: 551.466.2 :
517.512.2

ISSN: 0169-1708

Technisch Rapport

E. Bouws

**Beoordeling van golfgegevens van het Meetnet Noordzee
bewerkt door het nieuwe CIC-systeem (1984)
in Hoek van Holland**

Samenvatting

Het Meetnet Noordzee is voor het KNMI een belangrijke bron van golfgegevens uit de Noordzee. Sinds 1982 is in het vernieuwde Controle en Informatie Centrum (CIC) een nieuw systeem voor centrale gegevensverwerking in bedrijf. Daarnaast bleef nog tot 1984 het oude verwerkingssysteem gehandhaafd, omdat het nieuwe systeem door allerlei oorzaken niet aan alle verlangens kon voldoen. In de loop van 1984 werd met name wat betreft de transmissie van gegevens via de inzamelautomaat op het KNMI het stadium bereikt, dat de golfmetingen van enkele meetnetstations niet meer op ponsband behoeften te worden vastgelegd voor verwerking in De Bilt; daarmee verviel de noodzaak om het oude systeem van het CIC, dat volledig versleten was, nog langer in bedrijf te houden. Immers nu kon gebruik gemaakt worden van bewerkte gegevens, d.w.z. golfspectra en statistische uitkomsten van tijdreeksen; registraties van de metingen waren nu niet meer nodig. Dit vereiste echter wel een grondige analyse van het resultaat van de bewerking door het CIC systeem, alsmede een evaluatie van de continuïteit en de kwaliteit van de gegevens. Dit technisch rapport beschrijft in hoofdzaak een studie naar overeenkomsten en verschillen tussen de oude en de nieuwe toestand, met respectievelijk verwerking van ponsbanden op het KNMI en de real-time verwerking van metingen in het CIC. Wat het aspect van de kwaliteit van de gegevens betreft wordt hier volstaan met de vaststelling, dat de meeste gegevens tenminste gelijkwaardig zijn aan de gegevens uit het oude systeem. Wel is het zo, dat men steeds bedacht moet blijven op fouten; kwaliteitsbewaking is overigens een vrij algemeen voorkomend probleem bij geautomatiseerde waarnemingsystemen.

Wat betreft de golfverwerking in het nieuwe systeem als zodanig is gebleken, dat de uitkomsten op enkele punten iets afwijken van de bestaande praktijk. Hierbij kan ook worden verwezen naar een uitgebreid onderzoek naar de vergelijkbaarheid van golfverwerkingsprogrammatuur onder auspiciën van Rijkswaterstaat (cf. Leenman, 1984). Daarbij zijn naast enige andere methoden ook die van het KNMI en het CIC betrokken. Resultaten van dit onderzoek komen in de loop van 1985 beschikbaar.

Inhoud

1. Inleiding
2. Overeenkomst en verschil tussen de drie soorten golfgegevens van het Meetnet Noordzee (ponsband, lijnverbinding, usertape)
3. Resultaten
 - 3.1 Het spectrum
 - 3.2 Gemiddelde afwijking van hoog-frevente componenten van het spectrum
 - 3.3 Het tijdsdomein; vergelijking met spectrale grootheden
4. Conclusies
5. Literatuur
6. Figuren

1. Inleiding

Op het KNMI spelen zeegolven vanouds een belangrijke rol. Het golfonderzoek houdt zich er bezig met het ontwikkelen en verbeteren van verwachtingsmodellen en met de klimaatbeschrijving van de Noordzee. De modellen zijn bestemd voor de operationele dienst die - ten dele in Zierikzee in samenwerking met Rijkswaterstaat - golfverwachtingen uitgeeft, waarbij meetgegevens onontbeerlijk zijn voor een zo betrouwbaar mogelijk resultaat. Deze meetgegevens worden grotendeels ingewonnen met behulp van het Meetnet Noordzee, dat een aantal meetposten omvat, verspreid over de Noordzee, echter met het zwaartepunt in het gebied ten westen van de Hollandse kust. Tot 1984 zijn door de afdeling oceanografisch onderzoek van het KNMI ponsbandregistraties verwerkt afkomstig van de voorloper van het huidige meetnet en het oude CIC-dataverwerkingsstelsel. Naast incidentele inzameling ten behoeve van de ontwikkeling en verificatie van het golfmodel GONO zijn sinds 1977 routinematig drie-uurlijkse golfmetingen verwerkt en gearhiveerd afkomstig van de meetpost K-13-A (53,2°N, 13,2°E), gelegen in het overgangsgebied van de centrale Noordzee naar de zuidelijke Noordzee. Deze reeks is van grote waarde voor de beschrijving van het golfklimaat. Voortzetting van deze reeks is gewenst; dit vereist echter een gedetailleerde beschrijving van elke verandering van de gegevens.

De meetposten van het Meetnet Noordzee zenden hun hydro-meteo-gegevens naar een centrale computer in het Controle en Informatie Centrum (CIC) in Hoek van Holland, waar deze in tijdsegmenten van 10 minuten doorlopend worden verwerkt en opgeslagen in een compacte vorm:

- SFR's, bestaande uit 7 getallen,
- LFR's, bestaande uit 127 getallen.

Thans zijn er twee golven-SFR's en één golven-LFR. De laatste bevat gedetailleerde resultaten van zowel tijdsdomein- als spectrale verwerking. Dit rapport heeft in hoofdzaak betrekking op laatstgenoemde verwerking, en is gebaseerd op LFR-gegevens die via een directe lijnverbinding van Hoek van Holland naar De Bilt zijn verzonden, ten dele ook op gegevens op zogenaamde usertapes, die de LFR-gegevens in algemeen leesbare vorm bevatten.

De hierboven beschreven centrale verwerking in het CIC is sinds 1982 in bedrijf, ter vervanging van een veel kleiner systeem, dat de golfgegevens van enkele meetposten voor direct gebruik bewerkte, en desgewenst parallel de ruwe tijdreeksen op ponsband vastlegde. Inwinning van tijdreeksen is in het nieuwe systeem niet zonder meer mogelijk. Sinds maart 1984 was men ook op het KNMI zover, dat de inzamelautomaat in De Bilt via de lijnverbinding met Hoek van Holland de golven-LFR's ontving en doorzond naar de B-6800-computer; op het OPER-pack werden vanaf die tijd van elk etmaal een speciale LFR-file aangemaakt, onder andere om via IMIS op beeldscherm de gewenste golfgegevens te kunnen aflezen. Daarnaast werd tot juni 1984 doorgedaan met het verzamelen van ponsbandgegevens via het oude systeem in Hoek van Holland, en werden tevens gegevens via usertapes ingezameld. Deze overlappende periode bood ons de mogelijkheid om een vergelijking te maken tussen de door het nieuwe CIC-systeem bewerkte gegevens en de door het verwerkingsprogramma REGI van het KNMI-golfonderzoek bewerkte ponsbandregistraties van het oude CIC-systeem. Deze vergelijking diende een voldoende lange tijd te beslaan met enige variatie in de golftoestand, omdat gestreefd werd naar

- inzicht in de continuïteit en de kwaliteit van de gegevensstroom via Hoek van Holland,
- een gedetailleerde beschrijving van eventuele verschillen tussen de in beginsel op dezelfde principes gebaseerde methoden van verwerking van respectievelijk het CIC-systeem en het KNMI.

De vergelijkingen zijn uitgevoerd tussen reeksen van (nagenoeg) gelijktijdige gegevens van een bepaalde meetpost (meestal K-13-A):

- (1) de uitkomsten van de op het KNMI verwerkte ponsbandregistraties,
- (2) de via de lijnverbinding ontvangen gegevens,
- (3) de naderhand op usertape ontvangen gegevens.

Hierbij dienden de ponsbandgegevens als referentie, omdat daarmee reeds sinds 1977 was gewerkt. De via de lijnverbinding en usertape ontvangen gegevens zouden in beginsel exact gelijk moeten zijn, maar door een tijdsverschil van 10 minuten tussen de bemonsteringsperioden van 20 minuten wordt enige variabiliteit geïntroduceerd als gevolg van de eindige meetduur, zie paragraaf 2.

De vergelijking tussen de drie soorten gegevens had betrekking op

- statistische gegevens van de tijdreeksen: het aantal golven, overschrijdingswaarden van golfhoogte en golfperiode bij bepaalde percentages, diverse gemiddelde golfhoogten en golfperiodes, verder nog de hoogste golf van de registratie;
- het spectrum $S(f)$, met $f < 0,50$ Hz;
- spectrale parameters (voor zover die achteraf door het KNMI verwerkingsprogramma uit het aangeleverde spectrum worden afgeleid, blijven deze hier buiten beschouwing): golfhoogte en golfperiodes bepaald uit momenten van het spectrum:

$$m_n = \int f^n S(f) df;$$

- daarnaast het laag-, midden- en hoogfrequente deel van de variantie m_0 , het aantal vrijheidsgraden en de breedte parameter Q_p (het CIC-systeem levert Q_p op gehele waarden afgerond).

Wat de kwaliteit en de continuïteit van de gegevens betreft is gebleken, dat de voorbewerkte gegevens incidenteel fouten bevatten, die in de huidige situatie niet onmiddellijk als zodanig worden onderkend, bijvoorbeeld met behulp van indicatoren van het CIC-systeem. De ervaring is, dat weliswaar de rekenintensieve bepaling van het spectrum is komen te vervallen, maar dat de archivering van de CIC-golfgegevens tenminste evenveel zorg vereist als bij de verwerking van gegevens uit de onbewerkte tijdreeksen; in het laatste geval worden - vaak onvoorziene - fouten veel directer en dus gemakkelijker onderkend. Getracht is om dit te ondervangen met behulp van een gedeeltelijk geautomatiseerde kwaliteitsbewaking die in het KNMI-verwerkingsprogramma voor CIC-gegevens (lijnverbinding/usertape) is ingebouwd.

2. Overeenkomst en verschil tussen de drie soorten golfgegevens van het meetnet Noordzee (ponsband, lijnverbinding, usertape)

De verwerking van golfmetingen in het nieuwe CIC-systeem is opgezet aan de hand van vrij gedetailleerde specificaties, geformuleerd door de gebruikers, hoofdzakelijk KNMI en Rijkswaterstaat (cf. Van der Hoeven, e.a., 1979). Het eindresultaat is beschreven in section C van de documentatie van het CIC-computersysteem. Als gevolg van de doorlopende samenwerking in het kader van de Raad van Overleg voor het fysisch oceanografisch onderzoek van de Noordzee sloten bestaande golfverwerkingsprogrammatuur bij KNMI en Rijkswaterstaat reeds vrij nauw op elkaar aan, zodat de specificaties voor het CIC-systeem weinig principiële problemen opleverden. Niettemin waren verschillen op enkele punten onvermijdelijk, die onder speciale omstandigheden (korte golfperioden) tot vrij grote afwijkingen kunnen leiden, zoals uit deze studie blijkt.

Tot 1984 zijn ten behoeve van het golfonderzoek op het KNMI veel ponsbandregistraties verwerkt van golfmetingen nabij de Eurogeul ten westen van Hoek van Holland en in blok K-13 ten westen van de Waddeneilanden. De verwerking van deze ponsbanden geschiedde met behulp van het rekenprogramma GSP/REGI, dat wat de spectrale berekening betreft is gebaseerd op fast-fourier-transformatie, zie Bouws (1981). Elke registratie wordt opgesplitst in segmenten van 200 seconden, met als resultaat een spectrale resolutie van 5 mHz. Het spectrum wordt - afgezien van de frequenties kleiner of gelijk aan 0,10 Hz - gepresenteerd met een resolutie van 0,01 Hz. De segmenten zijn voorzien van een 10% Hanning taper, en overlappen elkaar overeenkomstig. Bij een meetduur van 20 minuten beslaan 6 segmenten de eerste 1100 seconden; de rest wordt meegenomen in een 7e segment, dat gedeeltelijk het 6e overlapt. Dit leidt tot (niet systematische) verschillen in uitkomsten met de spectrale berekening van het CIC-datasysteem, omdat daar geen overlapping plaatsvindt.

De ponsbandregistraties van het oude CIC-systeem hadden een bemonsteringsperiode van 0,5 seconde. In het nieuwe systeem wordt de oorspronkelijke bemonstering per 0,25 seconde door middel van interpolatie teruggebracht tot 0,39 seconde, zodat een segment van 200 seconden (ter

verkrijging van een spectrale resolutie van 5 mHz) 512 getallen bevat, met het oog op de fourier transformatie door de active preprocessor (APP), die gebaseerd is op machten van 2. In paragraaf 3 wordt uiteengezet, dat dit leidt tot een zekere reductie van de hoogfrequente componenten van het golfspectrum.

Ook in het tijdsdomein treden merkbare verschillen op, als gevolg van de toepassing van selectiecriteria op korte golven. Het CIC-systeem omvat een verwaarlozingscriterium, dat de kortste golven onderdrukt d.m.v. interpolatie, terwijl dit niet gebeurt bij de KNMI-verwerking. Ook dit wordt verder uitgewerkt in paragraaf 3, geïllustreerd met resultaten.

In het voorgaande zijn de verschillen tussen oude en nieuwe verwerking van golfmetingen behandeld. Er is echter nog een andere oorzaak voor verschillen, ditmaal tussen golfgegevens die via de lijnverbinding Hoek van Holland - De Bilt binnen komen en die naderhand via usertapes worden aangeleverd, namelijk een tijdsverschil van 10 minuten. Overeenkomstig de specificaties hebben de golfrecords op de usertapes betrekking op een meetduur van 20 minuten beginnend op het hele uur. De inzameling via de lijnverbinding is echter gekoppeld aan het meteo-berichtenverkeer, hetgeen het gevolg heeft, dat de eerste golven-LFR betrekking heeft op het 10-minuten interval vóór het hele uur en de tweede golven-LFR op het 10 minuten interval na het hele uur. Als gevolg van de eindigheid van de informatie is het aantal vrijheidsgraden van de golfgegevens beperkt, hetgeen equivalent is met een zekere variabiliteit. Deze loopt vrij sterk uiteen voor verschillende parameters en is betrekkelijk gering voor de golfhoogte en golfperiode. De "laagfrequente energie" heeft daarentegen meestal een betrekkelijk klein aantal vrijheidsgraden, soms niet veel meer dan de individuele componenten van het spectrum (24 vrijheidsgraden), zodat hier bij onderlinge vergelijking een vrij grote spreiding verwacht mag worden. In mindere mate geldt dit ook voor de vergelijking van gelijktijdige metingen met en zonder overlap van de 200-seconden segmenten; ook hier is nog van enig tijdsverschil sprake.

Al deze verschillen maken het in de praktijk onmogelijk om een rechtstreekse vergelijking te maken gebaseerd op één enkel geval. De vergelijking is daarom op statistische wijze uitgevoerd. Per te

vergelijken element werd een tijdreeks gevormd van (nagenoeg) gelijktijdige gegevens verkregen langs twee verschillende wegen. Hieruit werden het gemiddelde verschil en de spreiding bepaald op ongeveer dezelfde manier als bij het verifiëren van verwachtingsmodellen op waarnemingsgegevens.

De gemiddelde afwijking werd bepaald uit het verschil van $\langle Y_i/X_i \rangle$ met 1, waarbij X_i en Y_i de i -de waarde van de te vergelijken tijdreeksen voorstellen. De spreiding werd weergegeven met behulp van de strociindex $SI = rms/\langle X_i \rangle$, waarbij

$$rms = \langle \{(Y-X) - \langle Y-X \rangle\}^2 \rangle^{1/2}$$

dus zonder verwaarlozing van de gemiddelde afwijking, die in sommige gevallen vrij groot kan zijn.

3. Resultaten

3.1 Het spectrum

Van de meetpost K-13-A zijn 144 metingen geselecteerd uit de periode 27 maart - 15 april 1984 voor een vergelijking van

- (1) de KNMI-verwerking van registraties op ponsband van het CIC,
- (2) de uitkomsten van de verwerking in het CIC verkregen via de lijnverbinding, en
- (3) dito via usertapes achteraf.

Tijdens deze periode heeft zich een redelijke scala van golfsituaties voorgedaan; extreem hoge en lage golfhoogten kwamen echter niet voor. Van de belangrijkste elementen zijn resultaten samengevat in tabel 1.

Tabel 1

Onderlinge vergelijkingen van simultane golfmetingen:

- I: X: usertape-golfrecords; Y: lijnverbinding; metingen voor Y 10 minuten vroeger dan die voor X.
- II: X: ponsbandregistraties; Y: lijnverbinding; metingen voor Y 10 minuten vroeger dan die voor X.
- III: X: ponsbandregistraties; Y: usertape-golfrecords; afgezien van verschil in overlap van deelsegmenten metingen voor X en Y nagenoeg gelijktijdig.

	I			II		III	
	<X>	<Y/X>	SI	<Y/X>	SI	<Y/X>	SI
H _{mo}	1,16 m	1,00	0,05	0,99	0,04	0,99	0,02
T _{mo2}	4,6 s	1,00	0,03	1,02	0,02	1,02	0,01
m _o LF	69 cm ²	1,03	0,78	1,04	0,51	1,01	0,39
m _o MF	586 cm ²	1,00	0,16	1,00	0,15	1,00	0,09
m _o HF	348 cm ²	1,00	0,10	0,96	0,10	0,97	0,04
EDF	-	1,00	0,09	0,80	0,11	0,80	0,08

Figuur 1 toont het verloop van $\langle Y/X \rangle$ met de golffrequentie. Opvallend is de relatief grote spreiding bij frequenties kleiner dan 0,1 Hz, als gevolg van de veel grotere variabiliteit van deze componenten vergeleken met het hoog-frequente deel van het spectrum.

Enkele kanttekeningen bij tabel 1:

- Bij vergelijking I mag men verwachten, dat de gemiddelde afwijkingen minimaal zullen zijn, omdat deze op dezelfde verwerking zijn gebaseerd. Het tijdverschil van 10 minuten zal echter enige variabiliteit veroorzaken. Inderdaad is $\langle Y/X \rangle$ meestal 1,00, met uitzondering van de laag-frequente variantie m_0 LF (0,03-0,10 Hz), waar de variabiliteit vrij groot is, gezien ook het gedrag van de strooiindex SI; dit wordt toegeschreven aan de omstandigheid, dat slechts een deel van de metingen substantieel bijdraagt, waardoor het effectieve aantal vrijheidsgraden relatief gering is; dit is equivalent met de relatief grote variabiliteit van de laagfrequente flank van golfspectra.
- De invloed van het tijdverschil is vooral zichtbaar in de SI-resultaten, zie vergelijking III versus I en II. Bij III verschillen de meettijden ca. 2 minuten als gevolg van de overlap van deelsegmenten in de KNMI-verwerking, hetgeen resulteert in veel kleinere SI-waarden dan bij I en II.
- In vergelijkingen II en III is meestal sprake van enige afwijking van $\langle Y/X \rangle$ t.o.v. 1. Bij II kan worden opgemerkt, dat ook een vergelijking over een veel langere periode met 317 gevallen nagenoeg dezelfde resultaten opleverde. De afwijkingen lijken dan ook reëel te zijn.
- De gemiddelde afwijkingen van H_{m0} , T_{m02} en de laag- midden- en hoogfrequente varianties m_0 LF, m_0 MF en m_0 HF (0,03-0,10 Hz; 0,10-0,20 Hz; 0,20-0,50 Hz) worden toegeschreven aan de invloed van de omzetting van de bemonstering van de tijdreeksen van 0,25 s naar 0,39 s; zie paragraaf 3.2. Hierbij worden hoogfrequente componenten iets verzwakt, hetgeen leidt tot een reductie van vooral m_0 HF en derhalve ook van H_{m0} , en tot een lichte verschuiving naar langere golfperioden. De afwijking van EDF (equivalent aantal vrijheidsgraden van totale variantie m_0) is het gevolg van een verschil in definitie tussen de CIC-verwerking en de verwerking met het KNMI-programma GSP/REGI; in de toenmalige versie van dat programma werd het aantal vrijheidsgraden berekend op basis van het aantal segmenten. (Sinds oktober 1984 wordt

EDF berekend op basis van de reële tijdsduur van de verwerkte getallenreeks, meer overeenkomstig bij de CIC-verwerking.)

3.2 Gemiddelde afwijking van hoogfrequente componenten van het spectrum

Uit figuur 1 en tabel 1 blijkt, dat het hoogfrequente deel van het spectrum zoals dit wordt berekend in het CIC enigszins wordt gereduceerd. In deze paragraaf wordt aangetoond, dat dit veroorzaakt wordt door de omzetting van de bemonsteringsperiode van 0,25 naar 0,39 seconden, met als resultaat 512 getallen in een tijdsinterval van 200 seconden. Uit de documentatie van het CIC-verwerkingssysteem (section C, par. 7.2.3.8.7, interpolatie van 4 naar 2,56 Hz) blijkt, dat deze omzetting geschiedt door lineaire interpolatie tussen de oorspronkelijke getallen. Dit werkt als een laag-doorlatend filter $R^2(f)$ voor de kwadraten van de amplituden:

$$R^2(f) = \frac{\cos^2 p}{p} \int_0^p (\cos x)^{-2} dx, \quad (1)$$

waarbij $p = \frac{1}{2} \cdot 2\pi f \cdot T_s$, f de golffrequentie en T_s de oorspronkelijke bemonsteringsperiode, als regel 0,25 seconde. De interpolatie volgens (1) wordt aanschouwelijk gemaakt met behulp van figuur 2, waarin een sector van een cirkel staat afgebeeld met M het middelpunt van de cirkel met straal 1. De omloopsnelheid is $2\pi f$ en p is de halve tophoek van driehoek ABM . Uitgaande van een gelijke kans van de geïnterpoleerde waarden tussen de oorspronkelijke getallen A en B , voorgesteld door lijnstuk MI , vinden we formule (1) als gemiddelde van de kwadraten van de amplituden na interpolatie. Afleiding van de integraal geeft:

$$R^2 = \frac{\sin p \cdot \cos p}{p}. \quad (2)$$

Het verloop van (2) wordt geïllustreerd door tabel 2, waarbij van twee verschillende basistijdreeksen is uitgegaan, met bemonsteringsperioden resp. 0,25 en 0,50 s.

Tabel 2

Reductie van golfamplitude als gevolg van interpolatie naar bemonstering van 2,56 Hz, als functie van frequentie f .

f	$p(T_s = 0.25 \text{ s})$	R^2	$p(T_s = 0.5 \text{ s})$	R^2
0.1	0,0785	0,996	0,1571	0,984
0.2	0,1571	0,984	0,3146	0,935
0.3	0,2356	0,963	0,4712	0,858
0.4	0,3146	0,935	0,6283	0,757
0.5	0,3927	0,900	0,7854	0,637

Tabel 2 en figuur 1 bevatten het kwadraat van R , omdat hier sprake is van de vergelijking van golfspectra, waarvan de componenten evenredig zijn met het kwadraat van de amplitude van het golfsignaal met overeenkomstige frequentie. Het rechterdeel van de tabel laat zien, wat er gebeurt, als slechts om de 0,5 seconden is bemonsterd; sommige vergelijkingen van spectra van waverider Euro-5 suggereerden een dergelijk verloop. Een dergelijke bemonstering is echter ongebruikelijk; het is niet opgehelderd, wat de oorzaak was van de geconstateerde sterke reductie van hoogfrequente componenten.

Het verloop van de gemiddelde verhouding per frequentie f $\langle Y(f)/X(f) \rangle$ kan worden benaderd met behulp van lineaire regressie door een formule voor een weerstand-condensator (rc) filter:

$$\hat{R}^2 = \{1 + (f/f_0)^2\}^{-1}, \quad (3)$$

waarbij $f_0 = (2\pi rc)^{-1}$, de frequentie waarbij $\hat{R} = 0,5$; de reductie van de hoogfrequente componenten wordt aldus weergegeven met f_0 . Uit (3) volgt:

$$f_0 = f (\hat{R}^{-2} - 1)^{-\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Door middel van lineaire regressie langs de waarden van R^2 in tabel 2 vinden we $f_0 = 1,5 \text{ Hz}$ bij $T_s = 0,25 \text{ s}$, en $f_0 = 0,7 \text{ Hz}$ bij $T_s = 0,5 \text{ s}$.

Het verloop van $\langle Y/X \rangle$ van de reeks van 144 golfmetingen van K-13-A (vergelijkingen II en III) leverde $f_0 = 1,4$ Hz op, en de reeks van 317 metingen van K-13-A (analoog aan II) $f_0 = 1.3$ Hz. Deze iets kleinere waarden worden toegeschreven aan een geringe ruis in de ponsband-registraties. Dit hangt tevens samen met de afwijkingen in panelen II en III van figuur 1 bij frequenties $> 0,4$ Hz. De regressie ter bepaling van f_0 werd uitgevoerd langs het hoogfrequente deel van het gemiddelde spectrum, waar de strooiindex SI niet onevenredig groot is ten opzichte van de gemiddelde afwijking $\langle Y/X \rangle - 1$, zoals het geval is aan de laagfrequente kant van het gemiddelde spectrum; laagfrequente componenten vertonen een veel grotere variabiliteit dan componenten die grotendeels samenhangen met het "verzadigde" deel van het zeegangsspectrum. Een bijproduct van de regressie langs $\langle Y/X \rangle$ -waarden van het hoogfrequente deel van het gemiddelde spectrum is de restspreiding. Deze bleek voor de hierboven vermelde vergelijkingen steeds 0,02 te bedragen, ca. 2 % van $\langle Y/X \rangle$. Een globale vergelijking met de χ^2 -verdeling leverde op, dat deze redelijk overeenstemde met de verdeling van de restspreiding bij 24 vrijheidsgraden per component vermenigvuldigd met het aantal gevallen (144 resp. 317). De strooiindex SI, bepaald voor elke component van het spectrum uit de reeks Y/X , zie paragraaf 2, bedroeg ca. 0,3. Anderzijds blijkt, dat de χ^2/k -verdeling, met k het aantal vrijheidsgraden (= 24), het 10 %-nivo heeft bij 0,65 en het 90 %-nivo bij 1,38, van ongeveer dezelfde grootteorde als de gevonden strooiindices; dit laatste weer met uitzondering van frequenties $< 0,1$ Hz, waar het effectieve aantal vrijheidsgraden veel kleiner is dan in het hoogfrequente deel van het spectrum.

3.3 Het tijdsdomein; vergelijking met spectrale grootheden

Behalve het golfspectrum en daarvan afgeleide grootheden levert het CIC-golfverwerkingssysteem ook uitkomsten die de tijdreeks rechtstreeks beschrijven, bijvoorbeeld het aantal golven (neergaande nuldoorgangen) gedurende de meetduur van 20 minuten, diverse gemiddelde golfhoogten en golfperioden, en een reeks overschrijdingswaarden van golfhoogten en golfperioden bij bepaalde percentages: 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 20%, 33%, 50%, 65%, 80%, 90%. Evenals in paragraaf 3.1 worden eerst enige

resultaten gepresenteerd in tabel 3, gebaseerd op dezelfde 144 simultane reeksen als tabel 1.

Tabel 3

Onderlinge vergelijkingen van simultane golfmetingen, analoog aan tabel 1.

I : X: usertape; Y: lijnverbinding

II : X: ponsband; Y: lijnverbinding

III: X: ponsband; Y: usertape

	I			II		III	
	$\langle X \rangle$	$\langle Y/X \rangle$	SI	$\langle Y/X \rangle$	SI	$\langle Y/X \rangle$	SI
$\bar{H}_{1/3}$	1,15 m	1,00	0,04	1,03	0,04	1,03	0,03
\bar{H}	0,77 m	1,00	0,04	1,09	0,05	1,09	0,05
H_{\max}	1,89 m	1,00	0,11	1,01	0,10	1,01	0,06
\bar{T}	4,7 s	1,01	0,03	1,15	0,06	1,14	0,06
$\bar{T}_{H1/3}$	5,6 s	1,00	0,03	1,04	0,05	1,04	0,04

Er zijn opvallende verschillen met tabel 1:

- De invloed van het tijdverschil van 10 minuten bij vergelijkingen I en II blijkt gering, als we kijken naar de strooiindex in vergelijking met III; een uitzondering vormt H_{\max} . Hierbij moet nog worden bedacht, dat bij de bepaling van tijdsdomeinparameters geen segmentering van de meetreeks wordt toegepast, derhalve geen overlap van deelsegmenten plaatsvindt, bij vergelijking III is dus sprake van gelijktijdigheid.
- De gemiddelde afwijking $\langle Y/X \rangle - 1$ is overwegend groter dan bij de spectrale gegevens in tabel 1, bij vergelijkingen II en III (KNMI-versus CIC-verwerking).

Kennelijk is de voorbewerking van de tijdreeks van grote invloed op de resultaten in het tijdsdomein. In tegenstelling tot het KNMI-verwerkingsprogramma GSP/REGI verwaarloost de CIC-golfverwerking "korte golven", gedefinieerd als drie opeenvolgende nuldoorgangen met tegengesteld teken, d.w.z. neergaand-opgaand-neergaand of opgaand-neergaand-opgaand (zie CIC, section C, par. 7.2.3.8.8). De verwaarlozing treedt in werking, zodra de tijd tussen eerste en tweede nuldoorgang en

de tijd tussen tweede en derde nuldoorgang beide korter zijn dan 1 seconde. Dit verwaarlozingscriterium wordt toegepast in navolging van de bestaande procedure van off-line golfverwerking bij Rijkswaterstaat, echter ongeacht de amplitude van de korte golf. Uit vergelijkingen door H. Keyser (1984, persoonlijke mededelingen) bleek, dat het CIC-systeem de korte golven veel drastischer verwaarloost dan de overige RWS-golfverwerkings-programmatuur.

Het ligt voor de hand, dat de invloed van het verwaarlozingscriterium evenredig toeneemt met het aantal golven; bij geringe golfhoogte is het aantal (neergaande) nuldoorgangen meestal groot en zullen er naar verhouding veel golven verwaarloosd worden. Beperkt men zich tot de hogere golven, bijvoorbeeld tot hoogste derde deel, dan neemt de invloed van het verwaarlozingscriterium af, al werkt dit nog door via het aantal golven; dat wordt na verwaarlozing kleiner, met als gevolg een grotere $\bar{H}_{1/3}$. H_{\max} blijkt - vanzelfsprekend - ongevoelig voor het verwaarlozingscriterium.

Tabel 4

Invloed van de verwaarlozing van korte golven door de CIC-golfverwerking bij verschillende golfhoogten.

aantal gevallen	$\bar{H}_{1/3} \leq 1 \text{ m}$			$\bar{H}_{1/3} > 1 \text{ m}$			$\bar{H}_{1/3} > 2 \text{ m}$		
	$\langle X \rangle$	$\langle Y/X \rangle$	SI	$\langle X \rangle$	$\langle Y/X \rangle$	SI	$\langle X \rangle$	$\langle Y/X \rangle$	SI
$\bar{H}_{1/3}$	0,69 m	1,05	0,04	1,45 m	1,02	0,04	2,36 m	1,01	0,04
\bar{H}		1,12	0,06		1,08	0,05		1,04	0,04
H_{\max}		1,01	0,11		1,00	0,04		1,00	0,06
\bar{T}	3,4 s	1,22	0,09	4,4 s	1,13	0,05	5,3 s	1,06	0,03
$\bar{T}_{H1/3}$	4,4 s	1,09	0,08	5,8 s	1,03	0,03	6,9 s	1,02	0,02
		KNMI	CIC		KNMI	CIC		KNMI	CIC
$\langle H_{\text{mo}} \rangle / \langle \bar{H}_{1/3} \rangle$		1,03	0,98		1,06	1,02		1,07	1,04
$\langle T_{\text{mo}2} \rangle / \langle \bar{T} \rangle$		1,16	0,96		1,09	0,98		1,05	1,00

Tabel 4 laat zien, hoe bij toenemende golfhoogte en golfperiode de verschillen tussen de CIC- en KNMI-uitkomsten afnemen. De eerder genoemde reeks van 317 gevallen van simultane golfgegevens via ponsband en lijnverbinding afkomstig van meetpost K-13-A is hiertoe opgesplitst in drie golfhoogteklassen (de tweede klasse met significante golfhoogte groter dan 1 meter omvat ook de metingen uit hoogste klasse, met golfhoogte groter dan 2 meter).

Tabel 4 laat ook zien, welke verhoudingen bestaan tussen grootheden uit het spectrum en het tijdsdomein die theoretisch overeenkomstig zijn. Wat de significante golfhoogten betreft zijn de KNMI-uitkomsten beter in overeenstemming met diverse publicaties, waaronder die van Longuet-Higgins (1980), die de volgende empirische relatie heeft afgeleid:

$$\bar{a} = 0,925 (2m_0)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

waar a de rms-golfamplitude voorstelt. Uitgaande van $H_{\text{rms}} = 2a$, en $\bar{H}_{1/3} = \sqrt{2} H_{\text{rms}}$, geeft (5) met behulp van $H_{m0} = 4 m_0^{\frac{1}{2}}$:

$$H_{m0}/\bar{H}_{1/3} = 1,07 \quad (6)$$

Forristall (1978) vindt voor deze verhouding uit de door hem uitgewerkte metingen met wavestaffs aan booreilanden 1,06 (cf. zijn vergelijking (2): $\bar{H}_{1/3} = 3,77 m_0^{\frac{1}{2}}$). Longuet-Higgins toont aan, dat er een verband bestaat tussen de constante in (5) en de breedte van het spectrum.

Wat de gemiddelde golfperiode betreft zien we, dat het CIC-verwaarlozingscriterium een betere overeenstemming oplevert tussen T_{m02} en \bar{T} , met een onderlinge verhouding die betrekkelijk ongevoelig is voor de golfhoogte en de golfperiode. Het is echter de vraag, of dit resultaat voor elke gebruiker bevredigend is; het is denkbaar, dat voor sommige toepassingen een statistiek van korte golven vereist is. In elk geval is het jammer, dat het CIC-verwaarlozingscriterium niet overeenstemt met de bestaande praktijk bij Rijkswaterstaat.

De verdelingen van individuele golfhoogten en golfperioden worden weergegeven door middel van overschrijdingswaarden bij gegeven percentage,

zie de inleiding van deze paragraaf. Het verwaarlozingscriterium blijkt ook hier een vrij grote invloed te hebben, hetgeen geïllustreerd wordt met tabel 5, en figuren 3 en 4. Wat de verdeling van individuele golfhoogten betreft zijn in de tabel ter vergelijking enige uitkomsten volgens de Rayleigh-verdeling opgenomen:

$$P(H > H_0) = \exp(-2H_0^2/\bar{H}_{1/3}^2) \quad (7)$$

Omgeschreven in overschrijdingsnivo's levert dit:

$$H_{n\%} = \bar{H}_{1/3} \left\{ \frac{\ln(100/n)}{2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

waarbij in tabel 5 wordt uitgegaan van $\bar{H}_{1/3} = 1,12$ m.

Tabel 5

Vergelijking van verdelingen van individuele golfhoogten en golfperioden uit:

X: ponsbandregistraties op KNMI verwerkt;

Y: gegevens van CIC-golfverwerking.

	H				T			
	<X>	(8)	<Y/X>	SI	<X>	(11)	<Y/X>	SI
1%	1,66 m	1,70 m	0,98	0,07	8,1 s		1,04	0,08
5%	1,36 m	1,37 m	1,01	0,05	6,9 s	7,5 s	1,05	0,05
10%	1,20 m	1,20 m	1,02	0,05	6,3 s	6,3 s	1,06	0,06
50%	0,68 m	0,66 m	1,10	0,07	4,1 s	4,1 s	1,16	0,09
90%	0,25 m	0,26 m	1,39	0,20	1,9 s	1,9 s	1,39	0,17

In tabel 5 blijkt, dat de verdeling van <X> nauw aansluit bij (7), de Rayleigh-verdeling. Bij overschrijdingspercentages vanaf 50% blijkt <Y/X> flink toe te nemen, hetgeen wijst op een forse afwijking van de Rayleigh-verdeling. Dit blijkt ook uit figuur 3. Hier zijn de overschrijdingswaarden van de verdelingen van golfhoogten volgens beide verwerkingsmethoden gedeeld door uitkomsten van vergelijking (8). Bij de hogere percentages neemt de strooiindex ook toe; dit is toe te schrijven aan de relatief toenemende invloed van ruis bij geringe golfhoogten.

Tabel 5 bevat ook een vergelijking van de verdeling van individuele golfperioden. Jammer genoeg bestaat hiervoor geen universele kansverdeling; de verdelingen zijn elk afhankelijk van de breedte van het spectrum. In de praktijk blijkt deze echter niet al te extreem te variëren. Longuet-Higgins (1975) gebruikt de volgende verdeling van golfperioden:

$$p(\eta) = \frac{1}{2(1 + \eta^2)^{3/2}} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{T - \bar{T}}{v \cdot \bar{T}} \quad .$$

Hierbij wordt de breedte van het spectrum gegeven door:

$$v = \left(\frac{\mu_2}{m_0}\right)^{\frac{1}{2}} \bar{T}, \quad (10)$$

waarin m_0 de variantie van het golfsignaal, en μ_2 het tweede moment van het frequentiespectrum ten opzichte van $(\bar{T})^{-1}$. Uit (9) is via integratie af te leiden, dat de overschrijdingskans is

$$n/100 = 0,5 - \frac{n}{2(1 + \eta^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

Daaruit volgt dan weer, met $v = 0,4$:

$$T_{n\%} = \bar{T} (1 + 0,4 \eta_{n\%}), \quad (11)$$

$$\eta_{n\%} = (1 - 0,02 n) (1 + \eta_{n\%}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Met behulp van iteratie zijn enige waarden van $\eta_{n\%}$ en vervolgens $T_{n\%}$ bepaald, waarbij $\bar{T} = 4.1$ s. De keuze van $v = 0,4$ is bepaald met behulp van een aantal golfspectra, waarbij een goede correlatie bleek te bestaan tussen v en Q_p ; de overeenkomstige waarde van Q_p is 3. Tevens bleek, dat v in de meeste gevallen ligt tussen 0,35 en 0,45. (De spreiding van de individuele waarden van v over de serie van 144 vergeleken golfmetingen is niet bepaald). De indruk bestaat, dat (9) niet opgaat voor extreme overschrijdingsnivo's. Tabel 5 laat echter zien, dat $\langle X \rangle$ en (11) tussen het 10%- en het 90%-nivo redelijk overeenstemmen. Daarentegen vertoont $\langle Y/X \rangle$ vanaf het 50%-nivo - korte golfperioden - een vrij forse afwijking. In figuur 4 zijn de overschrij-

dingswaarden van de verdelingen van golfperioden volgens beide verwerkingsmethoden gedeeld door uitkomsten van (11). Het resultaat is, zoals verwacht, minder fraai dan bij de verdeling van golfhoogten. De KNMI-methode blijkt zich in de buurt van de verdelingsfunctie van Longuet-Higgins te bevinden; daarentegen vertoont de CIC-methode over het grootste deel van de verdeling een duidelijke positieve afwijking. In tabel 5 blijkt, dat ook hier de strooiindex voor de hoogste percentages, derhalve de kortste golfperioden, toeneemt, hetgeen evenals bij de lage golfhoogten wordt toegeschreven aan de relatief toenemende invloed van ruis bij kleine golfamplituden.

4. Conclusies

In dit rapport is een onderzoek beschreven naar de vergelijkbaarheid van de golfgegevens, zoals die het KNMI bereiken vanuit het Meetnet Noordzee via het computersysteem van het CIC, met gegevens op ponsband van het oude CIC-systeem bewerkt met KNMI golfverwerkingsprogrammatuur. De resultaten van het onderzoek zijn getoetst aan de beschrijving van de golfverwerking door de active preprocessors van het CIC-systeem. De gegevens hiervoor werden verzameld tijdens de periode maart - mei 1984, toen het oude CIC-systeem nog in bedrijf was. Er werd onder meer een reeks van 144 golfmetingen samengesteld van de meetpost K-13-A, waarbij gegevens beschikbaar waren op ponsband, usertape en via de lijnverbinding tussen Hoek van Holland en De Bilt. Deze reeks omvatte de periode 27 maart - 15 april 1984, en was geheel storingvrij gemaakt.

Aan een van de doelstellingen van het onderzoek, nagaan of de gegevens via de lijnverbinding op het KNMI op de juiste wijze werden verwerkt, in overeenstemming met de gegevens op de usertape, werd volledig voldaan. Helaas was door een tijdsverschil van 10 minuten geen rechtstreekse vergelijking per meting mogelijk, maar de reeks van 144 metingen bood voldoende houvast voor een statistische benadering.

Het onderzoek naar de vergelijkbaarheid van het oude type gegevens die op het KNMI verwerkt zijn, met gegevens van het nieuwe CIC-systeem leverde de volgende resultaten op. (1) Aangetoond is, dat de omzetting van de bemonstering van 4 Hz naar 2,56 Hz een merkbaar effect heeft op het hoogfrequente deel van het spectrum, zie bijvoorbeeld figuur 1. (In dit verband moet worden opgemerkt, dat de frequentierespons van sommige golfsensoren onderling nog veel grotere verschillen kunnen vertonen; met name is dit geconstateerd bij spectra van Ekofisk.) (2) De verwaarlozing van alle "korte golven" (niet alleen bij kleine amplituden zoals gebruikelijk bij de golfverwerking van Rijkswaterstaat) heeft een vrij fors effect op de verdeling van golfhoogten en golfperiodes, zoals geïllustreerd wordt door figuren 3 en 4. Vooral bij golfmetingen met relatief korte periodes, en dus geringe golfhoogte, leidt dit tot grote verschillen ten opzichte van theoretische verdelingsfuncties, zoals de Rayleigh-verdeling voor nuldoorgang-golven. (3) De hierboven vermelde

afwijkingen van de CIC-gegevens leiden ook tot afwijkende onderlinge relaties tussen spectrale parameters en tijdsdomein parameters, bijvoorbeeld H_{m0} en $\bar{H}_1/3$, zie tabel 4, vooral bij golfhoogten kleiner dan 1 meter.

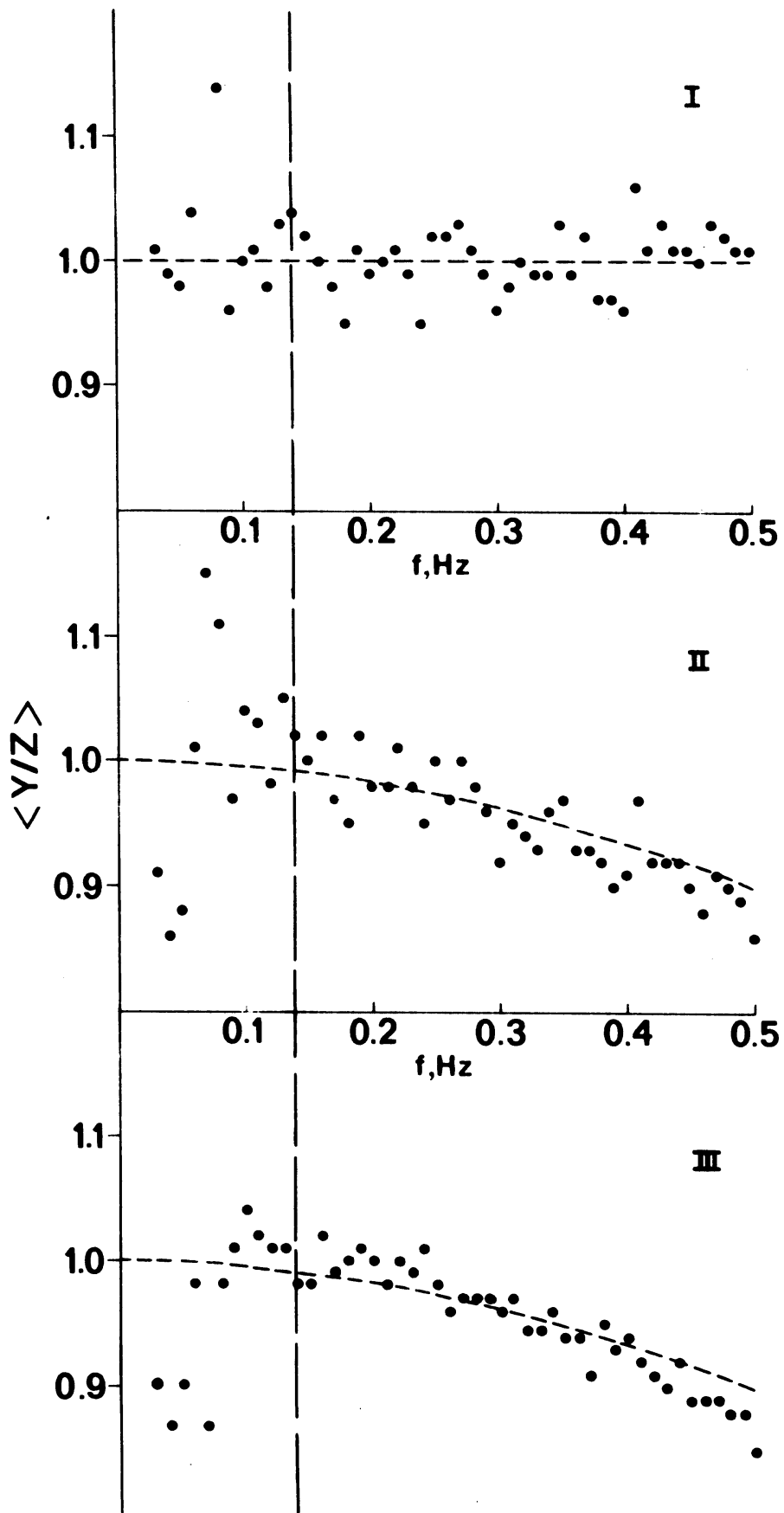
Los van het onderzoek naar de frequentierespons van het CIC-systeem is gebleken, dat de kwaliteit van de golfgegevens van het meetnet over het algemeen bevredigend is. Toch blijkt de gedeeltelijk geautomatiseerde kwaliteitsbewaking bepaald geen luxe te zijn; zowel gegevens via de lijnverbinding als op usertape kunnen incidenteel geheel of gedeeltelijk fout zijn. Aanbevolen wordt daarom om bij toepassing van de gearchiveerde gegevens deze grondig na te lopen op consistentie, bijvoorbeeld door vergelijking van windsnelheid met het gedrag van het hoog-frequente deel van het spectrum.

5. Literatuur

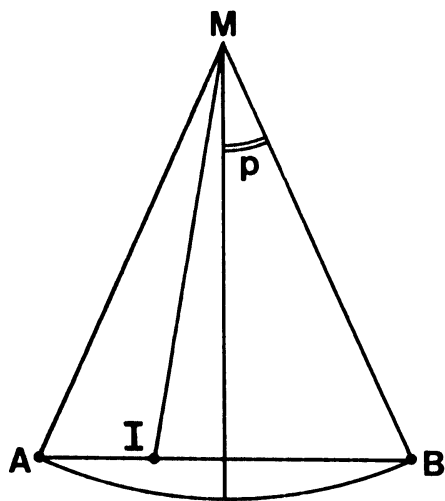
- Bouws, E., 1981. De verwerking van golfmetingen ter berekening van golfspectra. KNMI Technisch Rapport TR-10.
- CIC: Meetnet Noordzee. CIC-computersysteem. Section C: "Active Preprocessor". TNO-TPD (losbladige documentatie vanaf 1979).
- Forristall, G.Z., 1978. On the statistical distribution of wave heights in a storm. J. Geophysical Research 83 (C5): 2353-2358.
- Van der Hoeven, P.C.T., A.J. Frantzen, W.R. Raaff en C.A. Velds, 1979. Specificaties voor automatische meetstations. KNMI V-323.
- Leenman, R.A., 1984. Opzet onderzoek vergelijking standaard golfverwerkingsprogramma's van diverse instanties. Rijkswaterstaat notitie WKZ 84G 250.
- Longuet-Higgins, M.S., 1975. On the joint distribution of the periods and amplitudes of sea waves. J. Geophysical Research 80 (18): 2688-2694.
- Longuet-Higgins, M.S., 1980. On the distribution of heights of sea waves: some effects of nonlinearity and finite band width. J. Geophysical Research 85 (C3): 1519-1523.

6. Figuren

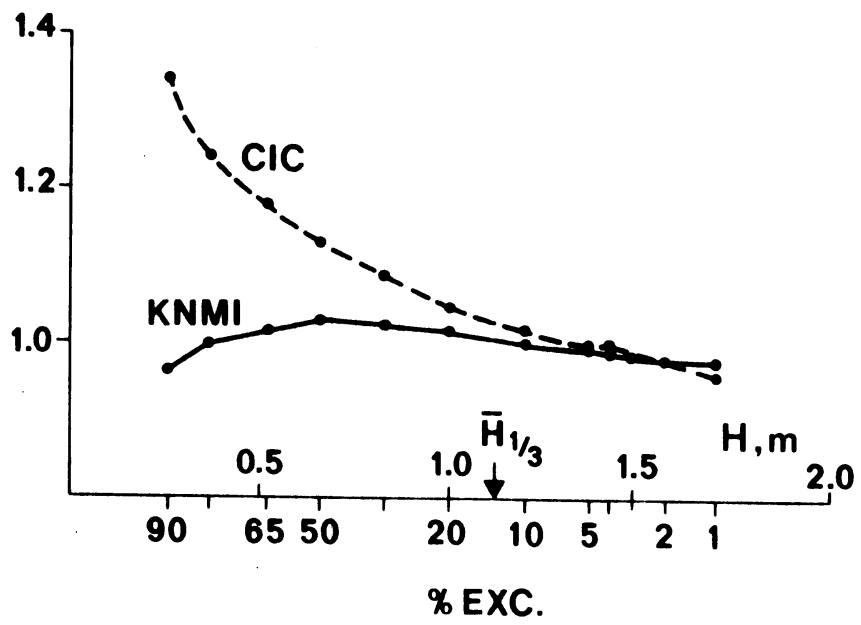
1. Vergelijking van de afzonderlijke componenten van de spectra van 144 simultane golfmetingen. Voor de betekenis van I, II en III zie tabel 1. De verticale gestreepte lijn met $f = 0,14$ Hz geeft het maximum aan van het gemiddelde spectrum van de 144 metingen; bij lagere frequenties neemt de variabiliteit sterk toe, waardoor onderling vergelijken geen bruikbare resultaten oplevert. Het theoretische verloop is in de drie panelen aangeduid met een stippellijn: in I $R^2=1$, in II en III R^2 volgens (2), zie par. 3.2.
2. Illustratie van formule (1). Lijnstuk MI stelt een willekeurige amplitude voor als resultaat van interpolatie. Middeling over boog AB leidt dan tot (1).
3. Effect van de verwerking van nuldoorgang-golfhoogten respectievelijk volgens KNMI-methode en volgens CIC-methode. De verticale as geeft de verhouding tussen overschrijdingswaarden bij bepaalde percentages en dito volgens de Rayleigh-verdeling, vgl. (8).
4. Effect van de verwerking van nuldoorgang-golfperioden respectievelijk volgens KNMI-methode en volgens CIC-methode. De verticale as geeft de verhouding tussen overschrijdingswaarden bij bepaalde percentages en dito volgens een verdeling van Longuet-Higgins, vgl. (11).



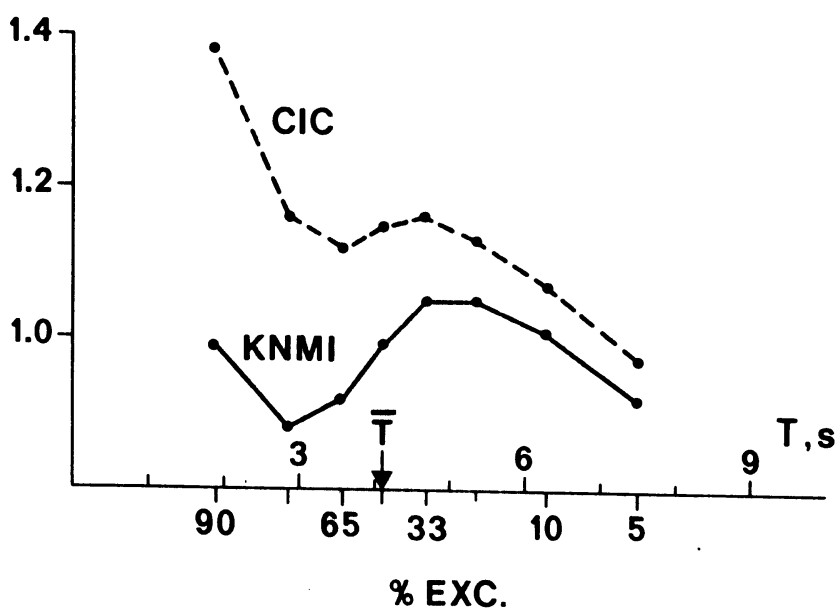
figuur 1



figuur 2



figuur 3



figuur 4