

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Wetenschappelijk Rapport W.R. 59-3 (IV-16)

R. Dorrestein

Over het verband tussen de hoogten der hoogste
individuele golven en de hoogte die door 10%
der golven wordt overschreden, volgens waarne-
mingen bij het lichtschip "Goeree".

De Bilt, 1959

All Rights Reserved.

Nadruk zonder toestemming van het K.N.M.I. is verboden.

R. Dorrestein

Over het verband tussen de hoogten der hoogste
individuele golven en de hoogte die door 10%
der golven wordt overschreden, volgens waarne-
mingen bij het lichtschip "Goeree".

On the relation between the heights of the highest
individual waves and the height which is exceeded
by 10% of the waves, as found at the lightvessel
"Goeree".

INHOUD

Summary	pag.	1
1. Inleiding		2
2. Bewerking van 30 registraties van 900 sec.		3
2.1 Toetsing van de verhouding h_m/h^*		3
2.2 Beschouwing van de hoogten h waarvoor $P(h)$ theoretisch $1/n$, $2/n$ en $3/n$ is		4
3. Bewerking van 2 registraties van 3600 sec.		5
4. Commentaar; variatie van de aangenomen verdelings- wet		5
5. Besluit		7
Appendix 1. Enkele bijzonderheden der onderzochte registraties		9
" 2. Opsomming van de hogere golven op 23 en 24 januari 1959		10
" 3. Onderzoek naar het in groepen voorkomen van de hogere golven ("persistentie")		11

S U M M A R Y

From the wave records, obtained in December 1958 and January 1959 with the K.N.M.I. wave-height recorder on board the lightvessel Goeree in the southern North Sea, thirty were selected for this investigation. An effective number of waves, n , was defined as the total duration of the record (900 sec) divided by the average wave period as determined from the highest waves. This number ranged from 123 to 185. Then the "ten percent highest" waves and the height h^* which is exceeded by 10% of the waves, were determined. The selection of the records has been such that h^* was at least 125 cm in all cases. Besides these 30 records of 900 sec, two records of 3600 sec (one hour) duration have been analyzed. In appendix 1, for every record the values of h^* and the heights of the three highest waves, h_m , h'_m and h''_m , have been tabulated.

Fig. 1 shows the values found for the ratio of the greatest wave height of the record, h_m , to h^* , for the 30 first mentioned records, in three categories: A, records containing 123 - 142 waves (14 cases), B, those containing 147 - 164 waves (10 cases) and C, those containing 167 - 185 waves (6 cases).

The relative frequencies of the higher waves ($h \geq h^*$) have been compared with what could be expected first, from the theoretical probability for a wave to exceed a height h : $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$, and secondly, from a modified formula for the probability: $P_1(h) = 1,1 \times 11^{-(h/h^*)^2}$ ($h \geq h^*$). The results of this comparison for the 30 records are shown in Fig. 3, where the three crosses indicate empirically found average relative frequencies, and in Table 3, where $P_{emp}(h)$ indicates empirically found average relative frequencies. There is a slight indication that the real probability for a wave to exceed a height h is a little less than according to both formulas.

For the two records of one hour duration, in fig. 2 the numbers of waves exceeding a certain height have been plotted logarithmically against the square of the wave height, and the theoretical straight line according to the formula $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$ has been drawn in the same diagram. No significant deviations are apparent here.

The degree of "grouping", or "persistence", of the waves of height $h \geq h^*$ in the records has been discussed in appendix 3. The average number of consecutive waves with $h \geq h^*$ appeared to be 1,27, whereas, without correlation between consecutive waves, this number would be about $10/9 = 1,11$. The difference is considered to be sufficiently small to consider the waves in the record approximately as independent elements of a sample, at least as far as only the higher waves are concerned.

OVER HET VERBAND TUSSEN DE HOOGTEN DER HOOGSTE
INDIVIDUELE GOLVEN EN DE HOOGTE DIE DOOR 10%
DER GOLVEN WORDT OVERSCHREDEN, VOLGENS WAARNE-
MINGEN BIJ HET LICHTSCHIP "GOEREE"

door

R. Dorrestein.

1. INLEIDING.

Door het personeel van het lichtschip "Goeree" (positie $51^{\circ}56'N$, $3^{\circ}40'E$) worden sinds november 1958 regelmatig golfhoogteregeistraties gemaakt met de K.N.M.I. golfhoogtemeter, en wel één of tweemaal per dag.

De hoogteveranderingen van het wateroppervlak zijn geregistreerd op schaal 1 : 50 of 1 : 100. De golfhoogten in de registratie zijn opgemeten in hele millimeters en daarna met 50 of 100 vermenigvuldigd. De tijdschaal is 5,1 cm per minuut.

Definities:

- T_0 = een gemiddelde periode bepaald uit de groepjes van de hoogste golven.
- n = (fictief) totaal aantal golven in een registratie = duur van de registratie gedeeld door T_0 .
- h = golfhoogte.
- h^* = "10%-golf". Theoretische definitie: hoogte die door $\frac{1}{10} n$ golven in de registratie wordt overschreden.

Praktische definitie (in verband met de afronding op veelvouden van 5 cm of 10 cm): de hoogte die door tenminste $\frac{1}{10} n$ golven in de registratie wordt bereikt of overschreden, maar door iets minder dan $\frac{1}{10} n$ golven wordt overschreden. - De 10%-golf is ongeveer 7% hoger dan de op de gebruikelijke manier gedefinieerde "significante" hoogte.

- h_m = hoogte van de hoogste golf in de registratie.
- h'_m = hoogte van de op één na hoogste golf in de registratie.
- h''_m = hoogte van de op twee na hoogste golf in de registratie.
- $P(h)$ = (theoretische definitie) overschrijdingskans = op de lange duur de fractie van de golven die hoger is dan h .

Onderzocht werden 30 golfregistraties, te weten al die beschikbare registraties van het tijdvak 1 december 1958 tot 18 januari 1959 waarin de hoogte die door 10% der golven overschreden werd tenminste 125 cm was. De duren der registraties zijn normaliter 900 seconden; n varieert van 123 tot 185. Bovendien zijn bewerkt twee registraties van 23 en 24 januari 1959, die een uur lang zijn (dus 4 maal zo lang als de andere). Voor al deze registraties zijn enkele bijzonderheden en gemeten golfhoogten opgenomen in appendix 1.

De hoogten der golven zijn bepaald van het dal tot de hieropvolgende top en, zoals gezegd, afgerond op veelvouden van 5 cm of 10 cm. Hobbeltjes in de helling van niet hoger dan 1 dm werden genegeerd (de invloed van een verlegging van deze grens op de resultaten is gering).

Getoetst werd de verdeling van Rayleigh volgens de formule $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$, voor $h \geq h^*$. Deze verdeling voor de hoogten is theoretisch aannemelijk als het spectrum niet te breed is. De toetsing is geschied op twee manieren.

2. BEWERKING DER 30 REGISTRATIES VAN 900 SEC.

2.1 Toetsing van de verhouding h_m/h^* .

De verwachtingswaarde en de spreiding van deze verhouding voor een groot aantal registraties hangen op grond van de bovengenoemde verdelingswet van n af, maar in betrekkelijk geringe mate (zie b.v. het rapport K.N.M.I. IV no. 5, 1953, pag. 15).

De volgende tabel 1 geeft enkele getallen. E staat voor verwachtingswaarde (waartoe het gemiddelde voor een groot aantal registraties wordt geacht te naderen), σ voor de standaardafwijking of middelbare afwijking in de individuele registraties.

TABEL 1		
n	$\frac{E(h_m)}{h^*}$	$\frac{\sigma(h_m)}{E(h_m)}$
50	1,38	13%
100	1,49	12%
150	1,55	11%
200	1,59	10%
500	1,71	9%
1000	1,80	8%

Hier is gedaan alsof $h^* = E(h^*)$, m.a.w. de gevonden h^* zal praktisch niet afwijken van de populatiewaarde; verder is ondersteld dat de opeenvolgende golven kunnen worden beschouwd als onafhankelijke elementen in de

steekproef, d.w.z. dat de golven vrijwel geen persistentie vertonen. Dit is ongeveer waar, tenzij het spectrum zeer smal is; we komen hierop nog terug.

De 30 registraties van 900 sec werden in 3 groepen verdeeld: categorie A met $n = 127$ tot 142 , B met $n = 147$ tot 164 en C met $n = 167$ tot 185 ; resp. 14, 10 en 6 stuks; zie appendix 1.

Figuur 1 geeft de verdeling der gevonden waarden van h_m/h^* alsmede de gevonden gemiddelden en de theoretische gemiddelden. De gevonden gemiddelden nemen sterker toe dan de theoretische; dit zal toeval zijn. In categorie A is het gevonden gemiddelde duidelijk iets lager dan het theoretische; het verschil, $0,08^5$, is ongeveer tweemaal de verwachte middelbare afwijking, die $\pm \frac{10^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{14}} \% = 2,8\%$ of $0,04$ bedraagt. In de categorieën B en C zijn de afwijkingen tussen de gevonden en theoretische waarden zeker niet significant. Conclusie: er is een aanwijzing dat $\frac{E(h_m)}{h^*}$ iets (ongeveer $0,03$) kleiner is dan volgens de aangenomen verdelingswet.

2.2 Beschouwing van de hoogten h waarvoor $P(h)$ theoretisch $\frac{1}{n}$, $\frac{2}{n}$ en $\frac{3}{n}$ is.

Na de bepaling van h^* in elk der registraties werden telkens bepaald de verhoudingen h_1/h^* , h_2/h^* en h_3/h^* waarvoor resp. $P(h_1) = 10^{-(h_1/h^*)^2} = \frac{1}{n}$, $P(h_2) = 10^{-(h_2/h^*)^2} = \frac{2}{n}$ en $P(h_3) = 10^{-(h_3/h^*)^2} = \frac{3}{n}$.

De verwachtingswaarde van het aantal der golven in elke registratie die resp. h_1 , h_2 en h_3 overschrijdt is dan dus resp. 1, 2 en 3. In werkelijkheid zij dit aantal resp. n_1 , n_2 en n_3 , dikwijls anders dan resp. 1, 2 en 3, maar verwacht moet worden dat het gemiddelde van resp. n_1 , n_2 en n_3 , over vele registraties wel dicht in de buurt van resp. 1, 2 en 3 zal liggen, als de aangenomen verdelingswet geldt.

De volgende tabel 2 geeft de resultaten:

$n_1 = 0$ in 13 gevallen	$n_2 = 0$ in 8 gevallen	$n_3 = 0$ in 4 gevallen
= 1 in 14 "	= 1 in 5 "	= 1 in 5 "
= 2 in 2 "	= 2 in 10 "	= 2 in 5 "
= 3 in 1 geval	= 3 in 7 "	= 3 in 11 "
		= 4 in 4 "
		= 5 in 1 geval
$n_1 =$ gemiddeld 0,70 over 30 gevallen	$n_2 =$ gemiddeld 1,53 over 30 gevallen	$n_3 =$ gemiddeld 2,30 over 30 gevallen

Voor de verdeling der waarden van n_1 , n_2 en n_3 kan bij benadering een Poisson-verdeling verwacht worden¹⁾, waarbij dus de standaardafwijking gelijk

noot 1) Het gaat hier immers in elke registratie om een groot aantal (ongeveer 150) "proeven" (=golven) met elk een zeer kleine kans (ongeveer $\frac{1}{150}$, $\frac{2}{150}$ en $\frac{3}{150}$) op een "succes" (= golfhoogte tenminste resp. h_1 , h_2 en h_3).

is aan de wortel uit het gemiddelde. Neemt men aan dat het populatie-gemiddelde van n_1 , n_2 en n_3 resp. 1, 2 en 3 is, dan wordt de verwachte middelbare afwijking van het gemiddelde van de steekproef (30 registraties) resp. $\sqrt{\frac{1}{30}} = 0,18$, $\sqrt{\frac{2}{30}} = 0,26$ en $\sqrt{\frac{3}{30}} = 0,32$. De werkelijk optredende, negatieve, afwijkingen: -0,30, -0,47 en -0,70 zijn dus + 2 maal zo groot, d.w.z. niet significant, doch wel "indicatief".

Conclusie: er is een aanwijzing dat de hoogste golven gemiddeld iets lager zijn dan volgens de aangenomen verdelingswet.

3. BEWERKING VAN 2 REGISTRATIES VAN 3600 SEC.

De twee beschikbare extra lange registraties, van 23 en 24 januari 1959, zijn elk verdeeld in 4 stukken van 900 sec, aangeduid met resp. 1A tot 1D en 2A tot 2D. Deze stukken zijn op dezelfde wijze behandeld als de andere 30 registraties; zie appendix 1. De vier getallen voor n en de vier voor h^* van beide dagen kloppen onderling redelijk met elkaar: voor h^* werd gevonden: 23 januari resp. 205, 205, 210, 200 cm; 24 januari resp. 370, 370, 380, 350 cm. Het gemiddelde van h_m/h^* voor 23 januari is 1,65; de verwachtingswaarde voor 151 golven (tabel 1) is 1,55; het gemiddelde van h_m/h^* voor 24 januari is 1,58; de verwachtingswaarde voor 132 golven is 1,53. De conclusie uit de vorige paragraaf dat er een aanwijzing bestaat dat de hoogste golven gemiddeld iets lager zijn dan volgens de aangenomen verdelingswet, wordt dus hierdoor wat verzwakt; zie echter het einde van de volgende paragraaf.

Wanneer elk der beide registraties als één geheel beschouwd wordt is het resultaat als volgt:

23 januari : $h^* = 205$ cm, $h_m/h^* = 2,05$, verwachtingswaarde van h_m/h^* (604 golven) is 1,74.

24 januari : $h^* = 370$ cm, $h_m/h^* = 1,76$, verwachtingswaarde van h_m/h^* (527 golven) is 1,72.

Uit deze twee gevallen kunnen uiteraard geen statistische conclusies getrokken worden.

Fig. 2 geeft, in beide gevallen voor de hogere golven, de aantallen golven die elke hoogte overschrijden, op logaritmisch papier uitgezet tegen het kwadraat van deze hoogte (trapjeslijnen). De beide schuinlopende rechte lijnen geven de theoretische overschrijdingsfrequentie, gebaseerd op de gevonden waarden van n en h^* .

4. COMMENTAAR; VARIATIE VAN DE AANGENOMEN VERDELINGSWET.

Er zijn verschillende oorzaken denkbaar voor reële afwijkingen van de aangenomen verdelingswetten. Indien het spectrum zeer smal is liggen

T_0 en n goed vast en kan de wet $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$ verwacht worden te gelden, voor zover niet-lineaire verschijnselen verwaarloosd mogen worden. Er is dan echter sterke persistentie tussen de hoogten der opeenvolgende golven, zodat het effectieve aantal onafhankelijke golven kleiner is dan n . Dit maakt dat $l_m^e h^*$ minder nauwkeurig bepaald kan worden en 2_m^e de verwachtingswaarde $E(h_m)$ kleiner wordt. De redenering volgens 2.2 blijft echter gelden, behalve dat de spreiding in de waarden van n_1 , n_2 en n_3 toeneemt.

In feite zijn de spectra zo breed dat de persistentie slechts een bescheiden rol zal spelen; zie appendix 3. Maar daarom doet zich iets anders voor. De wet $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$ geldt nl., zoals S.O. Rice in 1944 liet zien, asymptotisch ook bij een betrekkelijk breed spectrum nog wel voor de ordinaten der extrema ten opzichte van de nullijn, mits we het aantal n der golven bepalen niet uit de gemiddelde periode der hoogste golven, maar uit de gemiddelde periode van alle positieve (of negatieve) nuldoorgangen. Mogelijk geldt hetzelfde voor de hoogten zoals ze gedefinieerd zijn in dit rapport. De laatstgenoemde periode is altijd iets kleiner dan de gemiddelde periode der hoogste golven, behoort dat althans te zijn. Voorlopig onderzoek heeft geleerd dat de verschillen meestal beneden 10% blijven.

Nemen we eens aan dat we (teneinde onze formule voor P te mogen toepassen) het aantal golven eigenlijk 10% hoger moeten stellen dan n en houden we de gevonden waarden van h^* aan, dan zijn dit dus hoogten die worden overschreden, niet door $\frac{1}{10}$, maar door $\frac{1}{11}$ van de golven in de registratie. Dit betekent dat dan de overschrijdingskans voor een hoogte h is $P_1(h) = 11^{-(h/h^*)^2} \approx 10^{-\log 11 \cdot (h/h^*)^2} = 10^{-1,0414(h/h^*)^2}$, te betrekken op 1,10 n golven. (Zou men deze overschrijdingskans weer betrekken op de oude waarde n , dan zou men krijgen $P_1(h) = \frac{11}{10} \times 10^{-1,0414(h/h^*)^2}$.)

Hieruit volgt, dat thans voor een hoogte $h = x$ (variabel, doch willekeurig) de theoretische overschrijdingskans, betrokken op 1,10 n golven, dezelfde is als eerst, betrokken op n golven, voor een hoogte $h = ca$ 1,02 x ; dit wil zeggen dat de hoogten die bij elke gegeven overschrijdingskans behoren, t.o.v. de hoogten volgens de eerste formule met ca. 2% zijn verlaagd (zie fig. 3).

De theoretische waarden van $E(h_m)$ worden dan ca. 1% lager, want hierbij moet ook nog rekening worden gehouden met de toename met 10% van het onderstelde aantal golven, welke op zichzelf, volgens tabel 1 bij $n = ca.$ 150 de waarde van $E(h_m)$ ongeveer 1% zou doen toenemen.

De waarden van h waarvoor de overschrijdingskans resp. $\frac{1}{n}$, $\frac{2}{n}$ en $\frac{3}{n}$ is worden volgens het bovenstaande ca. 2% lager. Voor de in 2.2 gedefinieerde waarde h_1 volgens $10^{-(h_1/h^*)^2} = \frac{1}{n}$ wordt de overschrijdingskans nu wat kleiner, nl.: $10^{-1,0414(h_1/h^*)^2} = (\frac{1}{n})^{1,0414} = omstreeks \frac{0,81}{n}$ bij n tussen 100 en 200. Voor h_2 en h_3 komen er eveneens overschrijdingskansen die

lager zijn dan $\frac{2}{n}$ en $\frac{3}{n}$, nl. omstreeks $0,83 \times \frac{2}{n}$ en $0,85 \times \frac{3}{n}$. Op een aantal van 1,10 n golven betekent dat, voor h_1 , h_2 en h_3 , verwachtingswaarden van het aantal overschrijdende golven resp. 0,89, 1,83 en 2,80. Deze waarden komen al dichter bij de in 2.2 gevonden gemiddelde waarden (0,70, 1,53 en 2,30).

Niet-lineariteit speelt natuurlijk ook een rol, o.m. doordat bij harde wind de toppen van de hogere golven worden afgeblazen. Een vluchtig onderzoek liet echter geen correlatie zien tussen de verhoudingen h_m/h^* , h'_m/h^* , h''_m/h^* enerzijds en de windkracht en de dominantie van zeegang of deining anderzijds.

Tot hiertoe is gesproken over factoren die maken dat de hoogste golven uit een registratie gemiddeld lager worden dan volgens de aangenomen verdelingswet. We moeten erop wijzen dat er aan de andere kant ook meestal, in meer of mindere mate, een factor werkzaam is die maakt dat de hoogste golven uit een registratie gemiddeld hoger worden dan volgens de aangenomen wet. Deze factor is de variabiliteit in de gemiddelde golfenergie, zoals die door uitwendige factoren en met name door de natuurlijke fluctuaties van de wind (met perioden van enkele minuten en hoger) wordt opgelegd. Immers, bij de afleiding van de theoretische wetten gaat men steeds uit van een golfbeeld dat alleen door inwendig-statistische oorzaken fluctueert, maar niet onderhevig is aan uitwendige veranderende factoren. Zijn deze laatste er wel, dan moeten we theoretisch rekenen met een verdelingswet voor de hoogten der golven die een zekere superpositie is van termen zoals $10^{-(h/h^*)^2}$ met verschillende ^{waarden} van h^* , en een dergelijke superpositie werkt steeds in het voordeel van de hogere golven, vergeleken met lagere golven. Het is zeker niet uitgesloten te achten, dat juist hierdoor bij de twee uur-registraties (vorige paragraaf) de verschillen tussen empirie en theorie betrekkelijk zo gering zijn.

5. BESLUIT.

Voor de overschrijdingskans $P(h)$ van een golfhoogte h bij gegeven h^* en n (volgens de in het begin gegeven definities; $h \geq h^*$ gedacht) is de uitdrukking $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$ mogelijk iets aan de hoge kant. De gewijzigde uitdrukking $P_1(h) = 1,1 \times 10^{-1,04(h/h^*)^2}$ is vermoedelijk dichter bij de waarheid, maar overschat de hoogste golven vermoedelijk ook nog. De toetsingen zijn in hoofdzaak uitgevoerd voor registraties van + 130 tot + 180 golven.

De volgende tabel 3 geeft voor een aantal waarden van h/h^* de bijbehorende waarden van:

1^e $P(h) = 10^{-(h/h^*)^2}$ (hiervoor zijn ronde getallen genomen),

2^e $P_1(h) = 1,1 \times 10^{-1,0414(h/h^*)^2}$,

3^e $P_{emp}(h)$, een empirische overschrijdingskans, gevonden uit de gemiddelde aantallen golven die de hoogten h_1 , h_2 en h_3 overschrijden (zie boven, paragraaf 2.2), waarbij gerekend is met een gemiddeld aantal van 150 golven per registratie (kruisjes in fig. 2), na interpolatie (voor $h/h^* = 1,41$, $P(h) = 1 : 100$) of na bescheiden extrapolatie (voor $h/h^* = 1,52$, $P(h) = 1 : 200$).

TABEL 3

$\frac{h}{h^*}$	$P(h)=10^{-(h/h^*)^2}$	$P_1(h)=1,1 \times 11^{-(h/h^*)^2}$	$P_{emp}(h)$
1,00	(1 : 10)	(1 : 10)	(1 : 10)
1,30	1 : 50	1 : 54	1 : 65
1,41	1 : 100	1 : 110	1 : 130
1,52	1 : 200	1 : 227	1 : 280
1,64	1 : 500	1 : 590	-
1,73	1 : 1000	1 : 1210	-
1,82	1 : 2000	1 : 2500	-
2,00	1 : 10000	1 : 13310	-

APPENDIX I.

Enkele bijzonderheden der onderzochte registraties.

Datum 1958-1959	wind- richting (dd) ¹⁾	wind- kracht (B)	hoofdzake- lijk zeegang (z) en/of deining (d)	h* (cm)	h _m (cm)	h' _m (cm)	h'' _m (cm)	n	cate- gorie	opmer- kingen
1.12	02	4	z + d	165	235	220	200	185	C	
id.	02	4	d	165	220	205	200	153	B	
5.12	35	5	z + d	165	220	200	195	142	A	
6.12	02	5	d	235	385	330	330	127	A	
8.12	22	5	z + d	160	200	190	175	175	C	
9.12	31	8	z	420	590	565	510	123	A	
11.12	27	6	z	305	470	370	365	138	A	
14.12	26	6	z	165	305	240	230	183	C	buifig
27.12	19	5	z + d	135	335	200	195	179	C	
28.12	26	3	d	140	235	195	185	167	C	
30.12	24	5	z	165	220	215	205	158	B	
31.12	22	7	z	275	510	405	400	157	B	
1.1	25	6	z + d	230	355	330	315	162	B	
id.	21	7	z	245	360	340	305	135	A	
2.1	24	6	z	210	355	315	305	152	B	
id.	28	7	z	245	410	395	370	138	A	
3.1	30	6	z + d	285	470	370	365	142	A	
4.1	31	6	z + d	225	295	290	270	135	A	
5.1	29	5	z	210	310	305	285	151	B	
7.1	20	5	z + d	265	385	375	360	147	B	
id.	36	8	z	310	430	420	400	135	A	buifig
8.1	36	7	z	350	550	500	480	136	A	buifig
id.	36	7	z	280	340	330	320	141	A	zwaar buifig
9.1	29	8	z + d	380	470	470	460	136	A	
10.1	32	6	z + d	285	450	380	375	148	B	zwaar buifig
11.1	29	7	z + d	300	475	435	410	141	A	
12.1	29	9	z	500	690	620	600	128 ²⁾	A	buifig
13.1	16	3	d	145	220	220	195	158	B	
16.1	32	3	z	160	205	200	185	180	C	buifig
18.1	23	6	z	220	330	305	295	164	B	
23.1 ³⁾	29	6	z + d	205	420	335	285	154		1 A
"	27	6	"	205	305	270	270	151		1 B
"	27	6	"	210	320	275	265	146		1 C
"	27	6	"	200	305	270	260	153		1 D
23.1 ⁵⁾	27	6	z + d	205	420	335	320	604		3600 sec
24.1 ⁴⁾	31	7	z	370	550	550	540	134		2 A
"	31	7	z	370	580	580	560	133		2 B
"	31	7	z	380	540	530	530	127		2 C
"	31	7	z	350	650	480	430	133		2 D
24.1 ⁵⁾	31	7	z	370	650	580	580	527		3600 sec

1) 36 = noord, 09 = oost, enz.

2) Registratieduur 960 sec.

3) Op 23.1 vier maal 900 sec van 8.36 tot 9.36 GMT. Wind langzaam afnemend en krimpnd.

4) Op 24.1 vier maal 900 sec van 9.24 tot 10.30 GMT met een hiaat van 6 min. tussen het eerste en het tweede kwartier omdat toen olie van de machinekamer werd uitgepompt. Windkracht is een "dikke" 7, dus bijna 8.

5) Deze regel heeft betrekking op het totaal der 4 vorige regels, dus op een registratieduur van een uur.

APPENDIX 2.

Opsomming van de hogere golven in de registraties van 23 en 24 januari 1959.

Ter illustratie van de wijze waarop de hogere golven in de tijd op elkaar volgen is in het onderstaande een chronologische opsomming van de hogere golven in de registraties 1 A tot 1 D en 2 A tot 2 D van 23 en 24 januari 1959 gegeven. Voor 1 A tot 1 D, 23 januari, zijn alle golven van tenminste 200 cm (afgerond op veelvoud van 5 cm) gegeven, uitgedrukt in de eenheid 5 cm. Voor 2 A tot 2 D, 24 januari, alle golven van tenminste 350 cm (afgerond op veelvoud van 10 cm), uitgedrukt in de eenheid 10 cm. Verder is de volgende notatie gebruikt:

- + de opgegeven golven volgen direct op elkaar;
- er is één golf lager dan de aangenomen grens tussen de beide opgegeven golven;
- = er zijn twee golven lager dan de aangenomen grens tussen de beide opgegeven golven;

geen symbool: er zijn meer dan twee golven lager dan de aangenomen grens tussen de beide opgegeven golven.

De drie hoogste golven zijn telkens onderstreept.

	n	Golven van $\geq 40 \times \frac{1}{2}$ dm (1A-D) en van ≥ 35 dm (2A-D):
1A	154	49-40+ <u>67</u> 50 <u>57</u> 40 40 43 40 55 43+50 42 51 44 41+40 <u>84</u> 53 53 47.
1B	151	40 <u>54</u> +45 42 43 -43 40=41 42 43-47 41 52-51+ <u>54</u> 40 41 50=40+48+40+ <u>61</u> +48 41.
1C	146	42 43 <u>52</u> +46 41 46+43+46+ <u>55</u> +50 42 45 43+ <u>64</u> <u>53</u> 51 49.
1D	153	41+43= <u>46</u> +40+43 44 <u>61</u> 49 51 40 46-48= <u>52</u> 46 54 43.
2A	134	53 <u>54</u> 50-37 47 -38 52 38 <u>55</u> 44 36 36-37+35= <u>55</u> +35-53+44 42.
2B	133	35-43+43 43 41 =37=37+ <u>56</u> =37=37-37=52 40+38 <u>58</u> 58-47 37 45.
2C	127	38 35 37 <u>53</u> +38 39 39-35+35 38+35 30+37 35 52+42 40 40 36+ <u>54</u> +45 <u>53</u> +45.
2D	133	<u>48</u> 38 <u>65</u> 37 38 35=41 42 38 37 37+ <u>43</u> 38 42.

APPENDIX 3.

Onderzoek naar het in groepen voorkomen van de hogere golven ("persistentie").

De mate van onderlinge afhankelijkheid van opeenvolgende golven in de registraties werd voor de hogere golven op de volgende wijze nagegaan.

Het aantal golven in elke registratie met een hoogte (na afronding) h^* of meer bedraagt, volgens de gegeven praktijkdefinitie, steeds tenminste $\frac{1}{10} n$. Nagegaan werd hoe deze aantallen "hogere" golven verdeeld waren over de registratie: gesteld werden de aantallen die geïsoleerd voorkwamen (dus voorafgegaan en gevolgd door een lagere golf), de aantallen tweetallen (dus twee "hogere" golven in successie, voorafgegaan en gevolgd door een lagere golf), de aantallen drietallen, enz. Daarna werden deze aantallen gesommeerd over de 30 registraties van 900 sec.

Het resultaat was: 493 "hogere" golven waren verdeeld over 297 losse, 63 tweetallen, 11 drietallen, 3 viertallen en 5 vijftallen, in totaal 379 "groepen". Het gemiddelde aantal golven per "groep" was dus $493/379 = 1,30$. (Voor de 2 \times 4 deelregistraties van 23 en 24 januari (zie appendix 2) was dit $129/107 = 1,21$.)

Zouden de golven wat betreft hun hoogte geen persistentie vertonen, m.a.w. zou de kans op het optreden van een "hogere" golf steeds $\frac{1}{10}$ zijn, onafhankelijk van de voorgaande golf, dan zouden de aantallen losse, tweetallen, enz. zich naar verwachting moeten verhouden ongeveer als $1 : 10^{-1} : 10^{-2} : 10^{-3}$ enz. (iets minder snel afnemend, zie boven) en het gemiddelde aantal golven per "groep" zou naar verwachting ongeveer $\frac{10}{9} = 1,11$ zijn (iets hoger wegens de afronding).

Een - betrekkelijk geringe - mate van persistentie blijkt dus wel aanwezig te zijn.

Hetzelfde is gedaan voor de "hogere" golven met een hoogte h^{**} of meer, wanneer de hoogte h^{**} wordt gedefinieerd op dezelfde wijze als h^* , maar nu voor $\frac{1}{20} n$ golven. Hiervan was het resultaat: 246 "hogere" golven waren verdeeld over 190 losse, 19 tweetallen, 3 drietallen, 1 viertal en 1 vijftal, in totaal 214 "groepen". Het gemiddelde aantal golven per "groep" was dus $246/214 = 1,15$.

Zonder persistentie zouden de aantallen zich ongeveer moeten verhouden als $1 : 20^{-1} : 20^{-2}$ enz. en zou het gemiddelde aantal golven per "groep" iets meer dan $\frac{20}{19} = 1,05$ zijn. Ook hier blijkt dus een geringe mate van persistentie.

Hoe hoger de onderste grens der beschouwde "hogere" golven, hoe dichter het aantal golven per "groep" bij één komt.

Conclusie: voor de bepaling van de verwachtingswaarde $E(h_m)$ voor de hoogte van de hoogste golf in een registratie zou men eigenlijk moeten rekenen met een effectief aantal golven dat iets lager is dan n , maar deze verlaging zal vermoedelijk minder dan 10% zijn, en de invloed op $E(h_m)/h^2$ zal derhalve minder dan 1% zijn (vergelijk de desbetreffende tabel 1).

Deze conclusie stemt overeen met hetgeen D.E. Cartwright vond na een analyse van een continue registratie van ca 10000 golven, opgenomen met de Britse "ship-borne wave recorder" in de Golf van Biskaje (Proc.Roy. Soc., London, A, 247, 1958, 22-48).

Februari 1959.

GOLFREGLSTRATIES LS. GOEREE

dec. 1958 en jan. 1959

30 gevallen met „10% golf” ≥ 125 cm

Horizontaal: verhouding tussen hoogte van hoogste golf en van „10% golf” (Elk streepje is een geval)

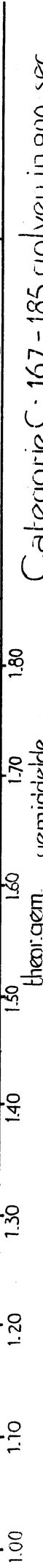
gemiddelde theor. gem.

Categorie A: 123 - 142 golven in 900 sec
(14 gevallen)



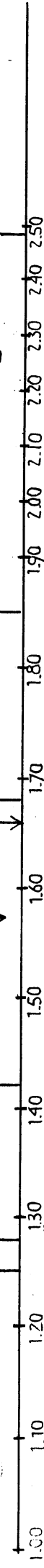
gemiddelde theor. gem.

Categorie B: 147 - 164 golven in 900 sec
(10 gevallen)



gemiddelde theor. gem.

Categorie C: 167 - 185 golven in 900 sec
(6 gevallen)



gemiddelde

1.50

↑ 1.60

↑ theor. gemiddelde

↑ uit $P(h) = 10 - (h/H^*)^2$.

Alle 3 categorieën tezamen

GOLFREGISTRATIES LS. GOEREE

