

notitie ~~WWKZ-88G-248~~

aan: TAW werkgroep 5
van: W. van Aalst
datum: 1 maart 1983
onderwerp: Golfhoogte-waterstandrelaties t.p.v.
de NAP-20 m lijn langs de
Nederlandse kust.

1. Inleiding

Hoewel er door RWS reeds vele jaren simultane waterstand- en golfhoogtemetingen worden verricht zijn er door velerlei oorzaken voor extreme omstandigheden onvoldoende golfwaarnemingen beschikbaar om b.v. door middel van extrapolaties betrouwbare verwachtingen van golfhoogte-waterstandsrelaties te verkrijgen (bijlage 1). Door de Deltacommissie is reeds in 1960 de kans van optreden van een bepaalde hoogwaterstand d.m.v. extrapolatie van beschikbare meetresultaten voor verschillende kustlokaties bepaald. (1)

In notitie WWKZ-82G.259 (7) is een methode gepresenteerd voor de berekening van golfhoogte-waterstandrelaties. In de betreffende notitie is voor de lokatie Hoek van Holland t.p.v. de NAP-20 m lijn de voorwaardelijke kansverdeling van golfhoogten berekend ten behoeve van de leidraad duinafslag. Naar aanleiding van deze notitie is door werkgroep 5 van de TAW de vraag gesteld in hoeverre de uitkomsten tevens bruikbaar waren voor andere lokaties van de Nederlandse kust.

Het door Vrijling en Bruinsma (4) ontwikkelde simulatiemodel berust op het feit, dat zowel de windopzet als de golfvelden voor de Nederlandse kust worden veroorzaakt door hetzelfde windveld boven de Noordzee. De berekening van de windopzet geschiedt met het model van Weenink en de golfhoogten worden met een van Bretschneider afkomstige relatie bepaald. Voorts wordt verondersteld dat de gedurende storm optredende windsnelheden behorende bij een gegeven waterstand Weibull-verdeeld zijn en dat de parameters van deze verdeling te koppelen zijn aan de opgetreden hoogwaterstand.

Deze koppeling maakt het mogelijk de voorwaardelijke kansverdeling van significante golfhoogten bij een gegeven hoogwaterstand te simuleren. In voornoemde notitie is tevens de kans van optreden van deining en de voorkomenskans van een strijklengte tussen 200 en 800 km verdisconteerd.

2. Iets gewijzigde opzet

Beschouw de populatie van alle mogelijke stormen. Stormen worden gekenmerkt door een zekere duur D en een hevigheid u (een karakteristieke windsnelheid- en -richting boven de Nederlandse kust die gedurende 9 uren onafgebroken wordt overschreden) en een richtingsverdeling van de windsnelheden boven de Noordzee (bijlage 2).

De hoogwaterstand h bestaat uit twee componenten:

$$h = s + a \quad 1$$

s is de bijdrage van de windopzet en a die van het astronomisch tij aan de hoogwaterstand. De windsnelheden en -richtingen boven de Noordzee bepalen volgens Weenink (2) de grootte van s . (zie par. 5).

De fetch F en de windsnelheid u zijn maatgevend voor de als gevolg van een bepaalde storm optredende significante golfhoogte H_s .

$$H_s = 0,283 \frac{u^3}{g} \tanh \left[0,53 \left[\frac{g(d+h)}{u^2} \right]^{0,15} \right] \tanh \left[\frac{0,0125 (gF/u^2)^{0,42}}{\tanh 0,53 \left[\frac{g(d+h)}{u^2} \right]^{0,75}} \right] \quad 2$$

H_s = significante golfhoogte (m)

g = versnelling van de zwaartekracht (m^2/s)

u = windsnelheid (m/s)

d = diepte (m t.o.v. NAP)

h = hoogwaterstand (m t.o.v. NAP)

F = strijklengte (m)

De fetch F is d.m.v. een eenduidige relatie gekoppeld aan de windduur D (6).

$$\begin{aligned} \tilde{D} &= 60 \tilde{F}^{0,7} \\ \tilde{D} &= gD/u^2; \quad \tilde{F} = gF/u^2 \end{aligned} \quad 3$$

Bovendien is de kansverdeling van u bij een gegeven hoogwaterstand h $p(u|h)$ en de voorkomenskans van een bepaalde stormduur $p(D)$ bekend. $p(u|h)$ is Weibull-verdeeld (3) met parameters u_{top} , u_{min} en α .

$$p(u|h) = \frac{\alpha-1}{u_{top}-u_{min}} \left(\frac{u-u_{min}}{u_{top}-u_{min}} \right)^{\alpha-1} \exp \left[-\frac{\alpha-1}{\alpha} \left(\frac{u-u_{min}}{u_{top}-u_{min}} \right)^\alpha \right] \quad 4$$

$p(D)$ is lognormaal verdeeld (4):

$$p(D) = \frac{1}{D \ln(1,4) \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln D - \ln 5,3}{\ln(1,4)} \right)^2 \right] \quad 5$$

(D in uren).

Bij elke hoogwaterstand h behoort een andere verdeling van u bepaald door de relaties:

$$u_{min} = f(h) \text{ en } u_{top} = g(h) \quad 6$$

Er is derhalve voor elke H_S - bepaald m.b.v. de Bretschneider relatie (1) - de kans van optreden te bepalen als gevolg van verschillende combinaties van u en D . Zo wordt aan elke hoogwaterstand h een kansverdeling van H_S toegevoegd.

$$p(H_S|h) = \iint p(u|h) p(D) du dD \quad 7$$

3. Keuze van lokaties

In overleg met de werkgroep is er gekozen voor de locaties Vlissingen (Vl), Hoek van Holland (HvH), Den Helder (DH), Eierlandsche Gat (EG) en Borkum (Bo).

De keuze is ingegeven door de beschikbaarheid van Weenink-coëfficiënten voor die locaties. Helaas zijn er niet voor al deze locaties getij-, en golfhoogtegegevens beschikbaar. Zo zijn er golfwaarnemingen van Terschelling gebruikt voor de simulaties van EG en getijmetingen van Delfzijl voor Bo. Gegevens betreffende het maximale springtij zijn verstrekt door het COW (5).

4. Diepteschematisatie

Een beschouwing van de bodemconfiguratie van de Noordzee toont de wenselijkheid van een plaatsafhankelijke bodemschematisatie voor noordwester-stormen. Golfvelden uit het noordwesten zullen gemakkelijker de noordwest kust bereiken dan de zuidelijke kusten. Bovendien groeien zij minder gehinderd door de bodem. In plaats van een schematisatie van de Noordzee tot een bak van 35 m diepte zoals door Vrijling en Bruinsma is toegepast wordt thans voorgesteld de Noordzee in drie diepten te verdelen afhankelijk van de strijklengte F :

$$F \leq 200 \text{ km} \quad d = d_1$$

$$200 \text{ km} < F \leq 800 \text{ km} \quad d = d_2$$

$$F > 800 \text{ km} \quad d = d_3$$

De waarden van d_1 , d_2 en d_3 worden voor de verschillende locaties verschillend gekozen en dienen ter afregeling van het model.

Door Weenink (2) is een meer met de werkelijkheid overeenkomende schematisatie gehanteerd.

5. De coëfficiënten van Weenink (2)

Zoals eerder vermeld behoort bij elke hoogwaterstand h een andere verdeling van de windsnelheden $p(u|h)$. De koppeling tussen de windsnelheid en h komt tot stand middels een rekenwijze van Weenink. Weenink heeft de Noordzee verdeeld in een vijftal vakken (2). De gemiddelde windsnelheid u_n en -richting θ_n in elk van die vakken draagt bij aan de windopzet s voor de Nederlandse kust. De bijdragen zijn verschillend voor verschillende locaties. Voor HvH b.v. is het verband:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5$$

$$\begin{aligned} \text{waarbij : } s_1 &= (0,33 \cos \theta_1 - 0,09 \sin \theta_1) \cdot 5,87 \times 10^{-3} u_1^2 \\ s_2 &= (0,13 \cos \theta_2 - 0,22 \sin \theta_2) \cdot 5,84 \times 10^{-3} u_2^2 \\ s_3 &= (0,04 \cos \theta_3 + 0,02 \sin \theta_3) \cdot 8,28 \times 10^{-3} u_3^2 \\ s_4 &= (0,56 \cos \theta_4 + 0,02 \sin \theta_4) \cdot 8,93 \times 10^{-4} u_4^2 \\ s_5 &= -(3,01 \cos \theta_5 + 8,27 \sin \theta_5) \cdot 8,77 \times 10^{-7} u_5^2 \end{aligned}$$

Weenink geeft overeenkomstige relaties voor Vl, DH, EG en Bo. Het is mogelijk alle windsnelheden uit te drukken als een fractie van u, de windsnelheid boven de Nederlandse kust hetgeen resulteert in:

$$s = C \times u^2 \quad 9$$

s = de maximale windopzet, C een coëfficiënt karakteristiek voor de windrichtingsverdeling boven de Noordzee. Voor HvH is de relatie te schrijven als

$$s^{HvH} = C^{HvH} \times u_{HvH}^2$$

Een beschouwing van de relaties van Weenink leert, dat er bepaalde configuraties van windsnelheden en -richtingen zijn, die grotere waarden van de coëfficiënt C opleveren dan andere.

Het verloop van de windopzet w (t) tijdens een storm kan bij benadering worden geschreven als:

$$w(t) = s_m \cos^2(\pi t / D_w) \quad 10$$

waarbij s_m de maximale waarde van de windopzet voorstelt en D_w de duur van de windopzet. De in de tijd gemiddelde waarde van de windopzet, is voor een dergelijk verloop gelijk aan $1/2 s_m$.

(De windopzet zal niet onbeperkt met de windsnelheid toenemen als gevolg van de afname van de z.g. dragcoëfficiënt. In het vervolg is hiermede geen rekening gehouden).

De hoogst mogelijke hoogwaterstand tijdens een ideale storm, dit is een storm met een windrichtingsverdeling die de maximale windopzet s_m oplevert voor een bepaalde locatie, kan volgens Bruinsma en Vrijling worden benaderd door:

$$h = s_m + a_{spr} \quad 11$$

waarbij a_{spr} de maximale waarde van het astronomische springtij voor die locatie voorstelt en

$$s_m = C_m u^2 \quad 12$$

Als wordt verondersteld dat de gemiddelde opzet van een dergelijke storm ($\bar{s} = 1/2 s_m$) gelijk is aan de gemiddelde maximale opzet van alle stormen van de populatie, dan kan de gemiddelde hoogwaterstand van alle stormen worden geschreven als:

$$h = \bar{s} + \bar{a}$$

waarbij \bar{a} het gemiddeld astronomisch hoogwater voorstelt.

Volgens relatie 12 geldt dat:

$$s_m = C_m u^2$$

de maximale windopzet voor een gegeven windsnelheid ontstaat indien C maximaal is. Rest dus de bepaling van C_m per locatie.

Aangezien het niet eenvoudig is C_m langs analytische weg te bepalen is hiervoor een empirische werkwijze gekozen. Bekend is, dat noordwester stormen de hoogste combinatie van waterstanden en golfhoogten veroorzaken. Daarom is de bepaling van C_m beperkt tot winden uit de noordwestelijke sector.

Van de storm van februari 1953 is m.b.v. GONO-uitvoer voor verschillende tijdstippen het gemiddelde van de windsnelheid en -richting voor de verschillende vakken van Weenink bepaald. Met deze uitkomsten is voor de verschillende locaties C berekend. Vervolgens zijn de gemiddelde windrichtingen van alle vakken over $+ 15^\circ$, $+ 30^\circ$ en $+ 45^\circ$ verdraaid en zijn de berekeningen opnieuw uitgevoerd. Dezelfde berekeningen zijn uitgevoerd voor de storm van 3 januari 1976. Een en ander is weergegeven in de bijlagen 3 t/m 12. Van al deze uitkomsten is voor elke locatie de hoogste waarde van C als C_m gekozen. (figuur 13).

Vervolgens is \bar{C} gelijkgesteld aan $1/2 C_m$.

In bijlage 21 zijn de op grond van deze berekeningen gevonden coëfficiënten C_m weergegeven. De gevoeligheid van de kansverdelingen voor variaties van C_m is door Bruinsma onderzocht.

Met behulp van de relaties 9, 11 en 12 is af te leiden:

$$u_{\min} = \sqrt{\frac{h_r - a_{spr}}{C_m}} \quad 13$$

$$u_{\text{top}} = \sqrt{\frac{h_r - \bar{a}}{\bar{C}}} \quad 14$$

u_{min} is de minimale windsnelheid die bij maximaal springtij en een optimale windrichtingsverdeling een gegeven hoogwaterstand h kan veroorzaken en u_{top} is de meest waarschijnlijke windsnelheid oftewel de windsnelheid die gemiddeld genomen dezelfde h zou kunnen opleveren.

De parameters u_{min} en u_{top} worden gekoppeld aan de Weibull-verdeling van de windsnelheid waarbij voor α bij gebrek aan gegevens de waarde 2,6 die door Vrijling (3) voor de Oosterscheldemonnd gevonden is, wordt aangehouden.

Afregeling

Ter ijking van het model zijn de kansverdelingen overeenkomstig formule 7 gegenereerd met een voor dat doel geschreven computerprogramma voor verschillende combinaties van d_1 , d_2 en d_3 en vergeleken met de GONO-waarden van de storm van 1953.

Op grond van deze uitkomsten is voor de verschillende locaties gekozen voor bodemschematisaties zoals aangegeven in bijlage 14.

De uitkomsten zijn gevoelig voor dieptevariaties. Een en ander is kwantitatief onderzocht door Bruinsma (7) (zie ook bijlage 15).

Resultaten en Conclusies

De resultaten van de simulatieberekeningen van de voorwaardelijke kansverdelingen van H_g voor de verschillende locaties en een drietal overschrijdingsfrequenties van h zijn in de bijlagen 16 t/m 21 weergegeven. Uit de figuren en enkele eenvoudige tests blijkt, dat de verdelingen bij benadering normaal zijn. In bijlage 22 is het verloop van H_g als functie van h voor de vijf locaties geschetst. Tevens is een indicatie van de te verwachten standaardafwijking van de verdelingen aangegeven. Het is ter verduidelijking nuttig enige opmerkingen te wijden aan de verschillen met het model zoals gepresenteerd in notitie WWKZ-82G.259.

- Er is in dit model geen aparte voorziening voor deining getroffen. Deining is hier te beschouwen als zeevang die honderden kilometers van de Nederlandse kust is ontstaan en gedurende vele uren aan de inwerking van eenzelfde windveld heeft blootgestaan. Dit model is daarom uitsluitend bruikbaar onder omstandigheden waarbij deining geen belangrijke rol speelt (b.v. stormomstandigheden).

- In plaats van een uniforme verdeling van de mogelijke fetches is de kans van voorkomen van een bepaalde fetch gekoppeld aan de stormduur, waarbij een exacte definitie van het begrip stormduur achterwege blijft.
- In de formules van Bretschneider is de diepte afhankelijk van de waterhoogte gekozen. Een gevolg is, dat de toename van H_g met toenemende h minder snel afneemt dan in het geval van een constante diepte.
- Doordat de diepte als vrije parameter is opgevoerd is het mogelijk bij het beschikbaar komen van nieuwe meetresultaten het model steeds fijner af te regelen. De eerste afregeling is vrij grof gedaan op grond van enkele GONO-resultaten. Met name de relatie tussen de locale windsnelheid en H_g zou bij de ijking nader dienen te worden bekeken. (zie ook bijlage 23).

Een zinvolle verbetering van, de thans gebezigde afregeling zou zijn de invoering van de schematisatie volgens Weenink (2)

$$d = 223 \exp \left[-b \left(\frac{Y}{Y_F} \right) \right] \quad 15$$

waarbij b een voor de afregeling te gebruiken vrije parameter is, die voor de verschillende locaties verschillend kan worden gekozen. Y_F is een referentiepunt langs de Nederlandse kust en Y een coördinaat die de locatie aangeeft waar de diepte wordt bepaald. Weenink heeft bij zijn berekeningen voor b de waarde 2,04 aangehouden. Het is dan wel noodzakelijk de Bretschneider relatie aan te passen, aangezien de relatie strikt genomen slechts geldt voor een constante diepte.

Bijlage 22 waarin de eindresultaten zijn verwerkt laat het volgende beeld zien:

Den Helder en Borkum hebben voor eenzelfde overschrijdingsfrequentie sterk verschillende hoogwaterstanden, maar ongeveer dezelfde gemiddelde significante golfhoogte terwijl het verloop van de lijn van het Eierlandsche Gat die van Den Helder dicht benaderd.

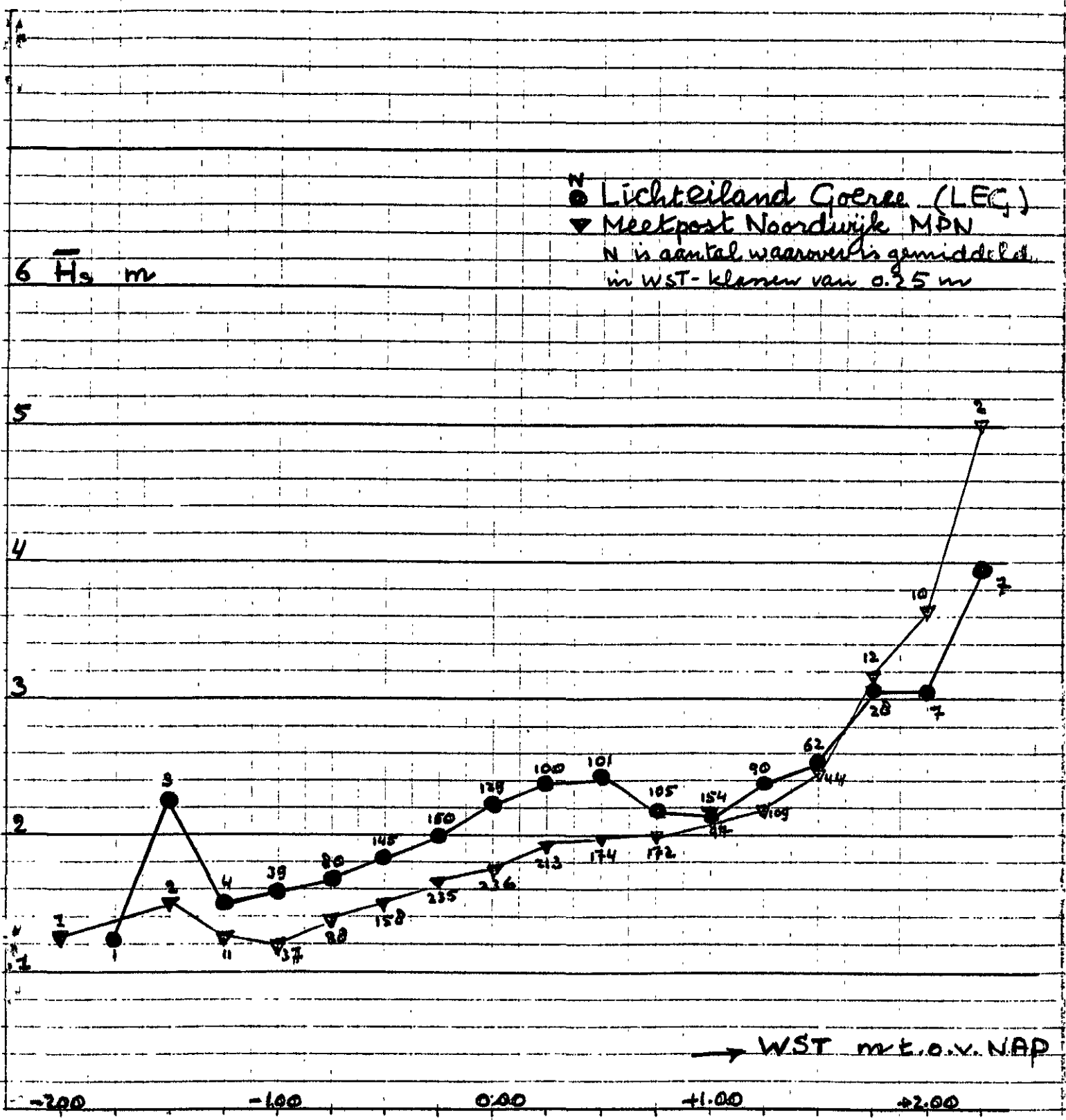
In geval van Vlissingen is er op grond van een visuele beschouwing van het bodemprofiel en van GONO-berekeningen gekozen voor een belangrijk ondiepere bodemschematisatie. Ter vergelijking is de in notitie WWKZ-82G.259 voor HvH gepresenteerde lijn eveneens in bijlage 22 opgenomen.

Lijst van gebruikte symbolen:

α	parameter van een Weibull-verdeling
\bar{a}	gemiddeld astronomisch hoogwater
a_{spr}	hoogste astronomisch hoogwater (springtij)
C	coëfficiënt in een windopzetrelatie
C_m	maximale waarde van C
d, d_1, d_2, d_3	diepte
D	stormduur
D_w	duur van de windopzet
F	strijklengte
g	versnelling van de zwaartekracht
h	hoogwater; de som van astronomisch tij en stormeffect
S	windopzet
S_m	maximale waarde van de windopzet
\bar{S}	gemiddelde waarde van de windopzet
U	windsnelheid
U_{min}, U_{top}	parameters van een Weibull-verdeling
$w(t)$	windopzet als functie van de tijd

Literatuur

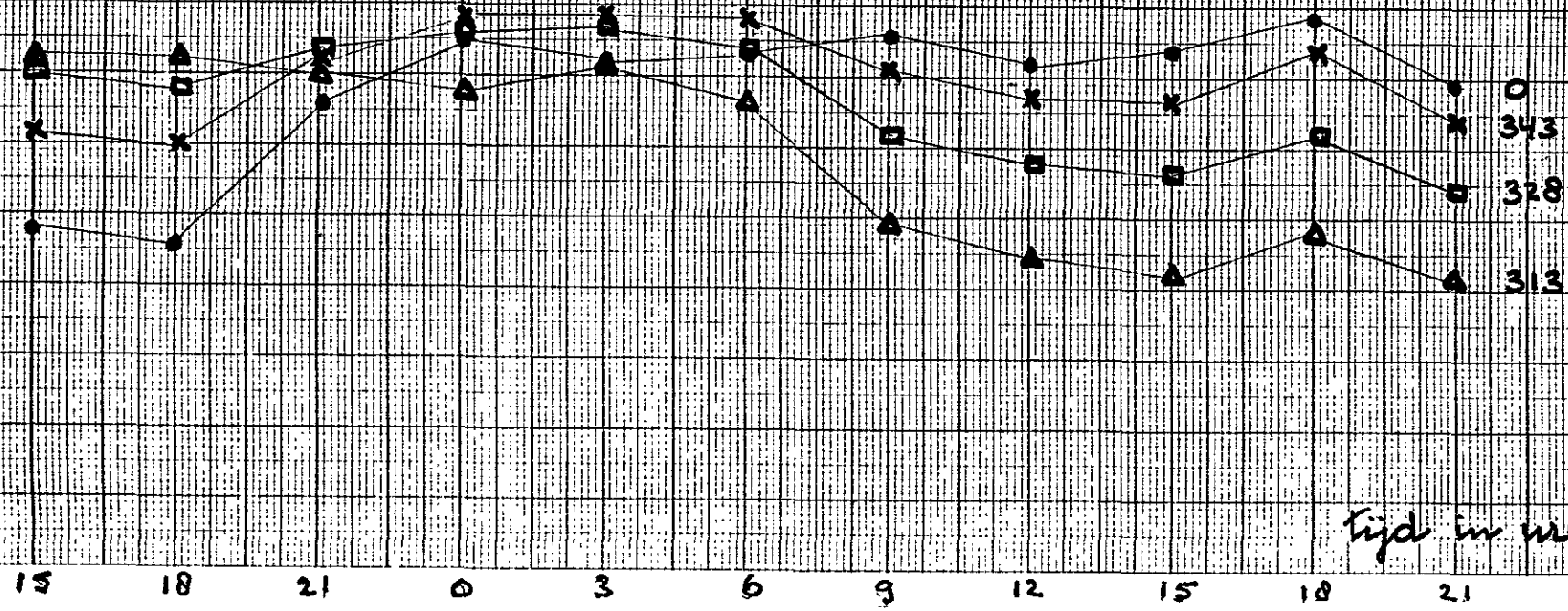
1. Rapport Deltacommissie deel 4.
2. Rapport Deltacommissie deel 2.
3. Vrijling, J.K. Onderzoek naar het golfklimaat in de monding van de Oosterschelde t.b.v. de bouw van de stormvloedkering, Rijkswaterstaat Deltadienst (nog niet verschenen).
4. Vrijling, J.K. en Bruinsma J. Hydraulic Boundary Conditions, Hydraulic Aspects of Coastal Structures, Delft University Press, Delft, 1980, pp. 109-132.
5. Dillingh, D., Aan te houden waarde voor het springtij langs de Nederlandse kust t.b.v. het bepalen van golfhoogte-waterstandsrelaties notitie COW 82-25.
6. Bouws, E., A simple model of time-dependent wave growth in shallow water, compared with storm wave data near lightship Texel (KNMI-report).
7. Bruinsma, J., Golfhoogte-waterstandsrelatie t.p.v. de NAP -20 m lijn langs de Nederlandse kust. Notitie WWKZ-82G.259.



Gemeten relatie tussen de gemiddelde significante golfhoogte \bar{H}_s en de waterstand WST.

Variatie van C bij Vl. gedurende de '53 storm
en een drietal gedraaide stormen.

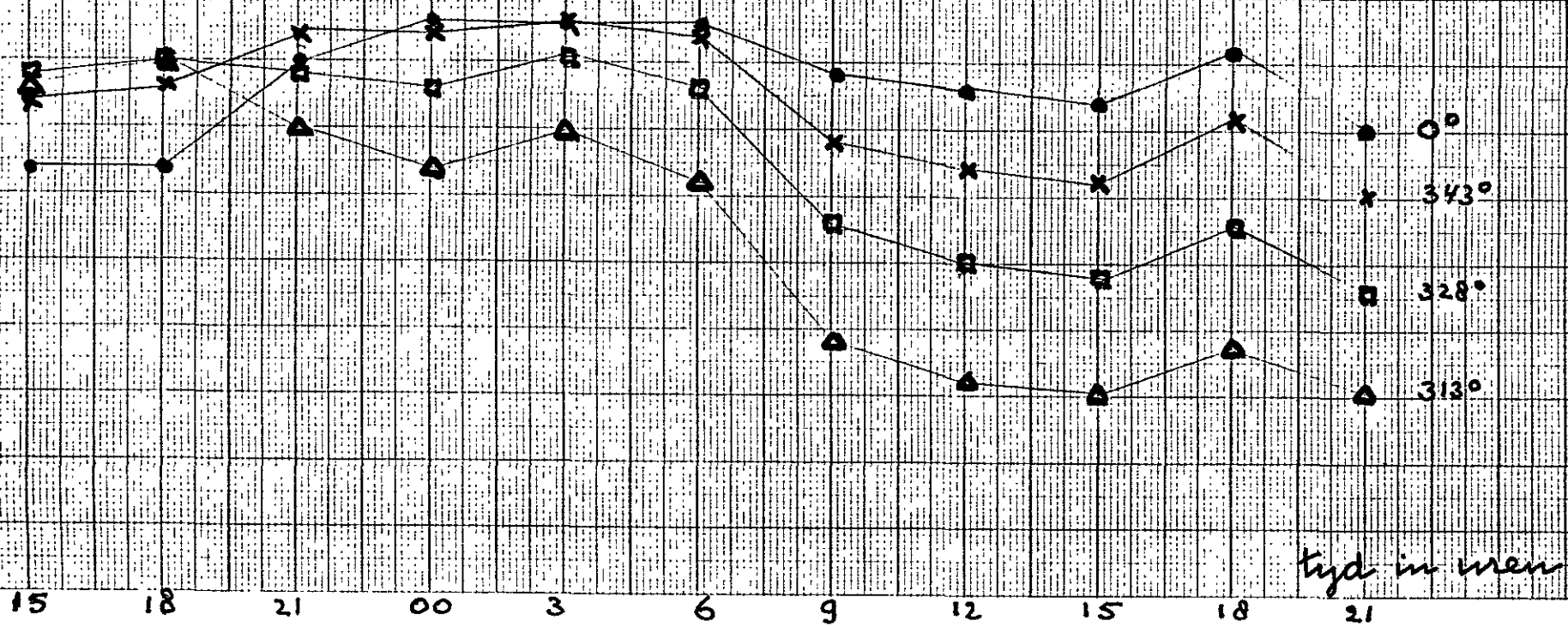
C



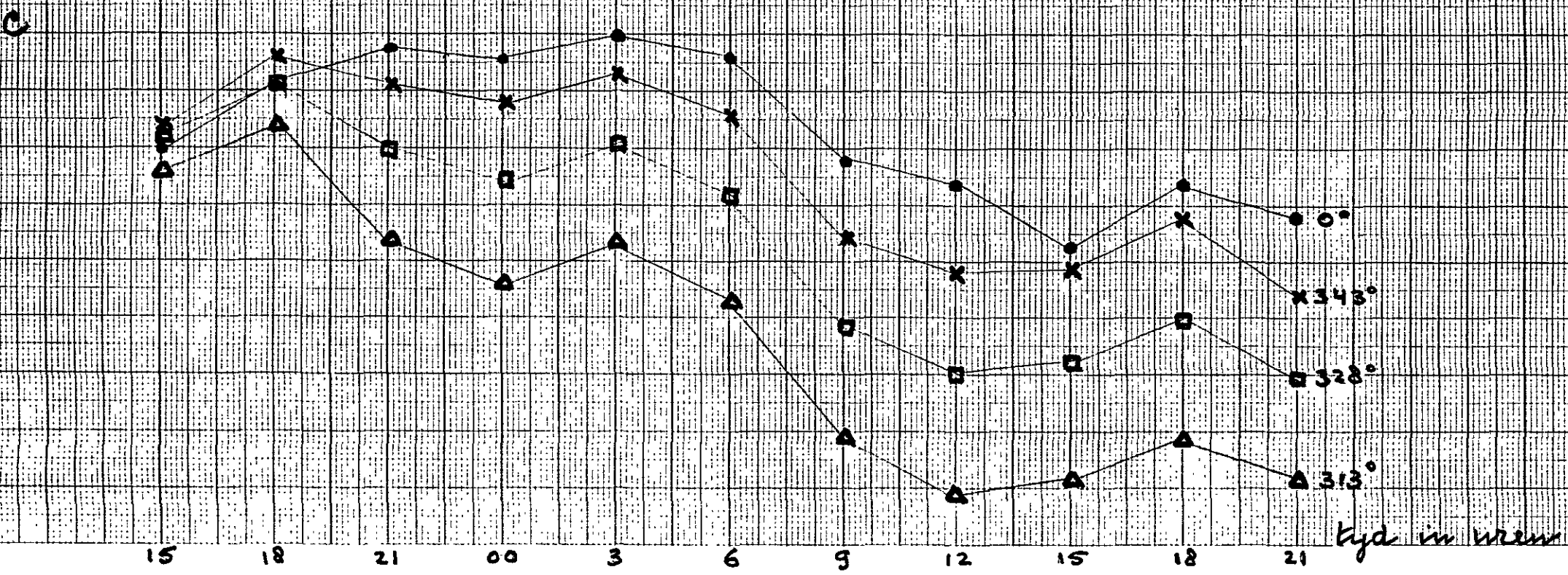
tijd in men

Variatie van σ bij HvH gedurende de '53 storm
en een aantal gedraaide stormen

c

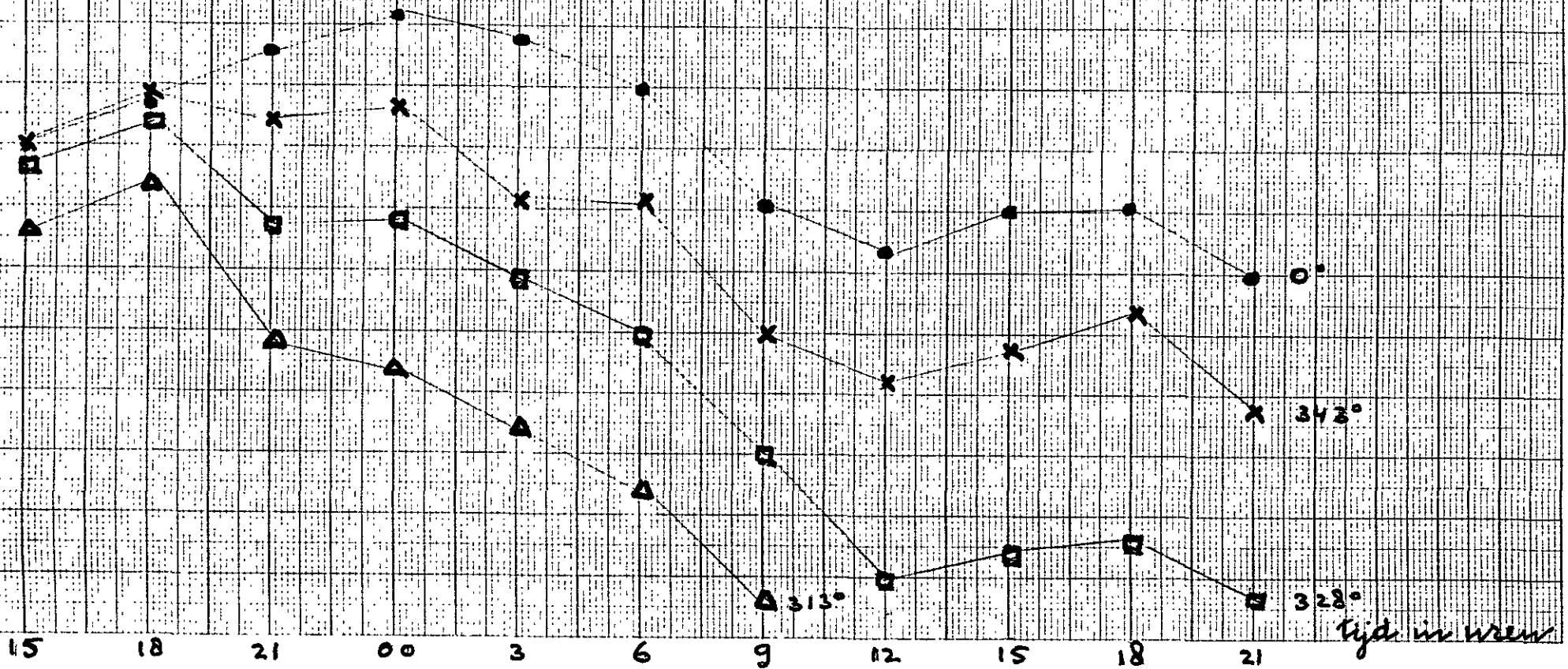


Variatie van C bij DH gedurende de 53 storm
 en een drietal gedraaide stormen



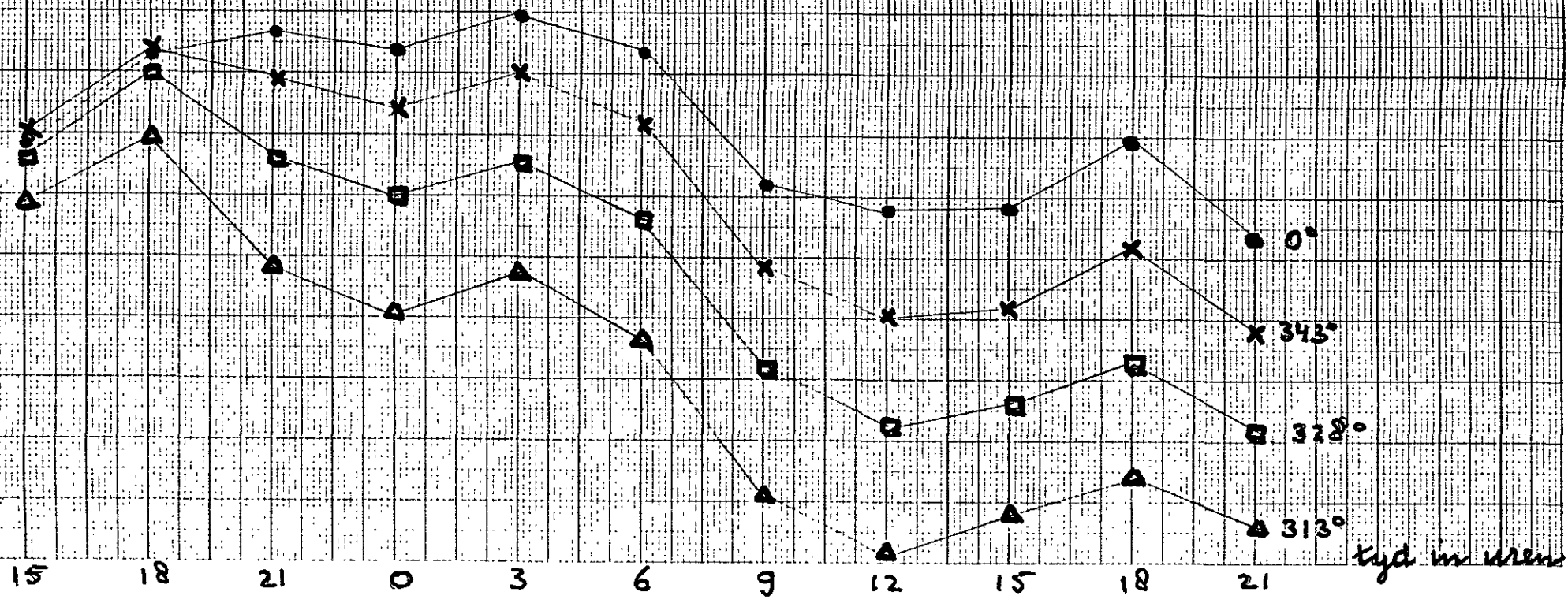
Variatie van C bij B₀ gedurende de '53 storm
en een aantal gedraaide stormen.

C



Variatie van c bij EG gedurende de '53 storm
en een aantal gedurende stormen

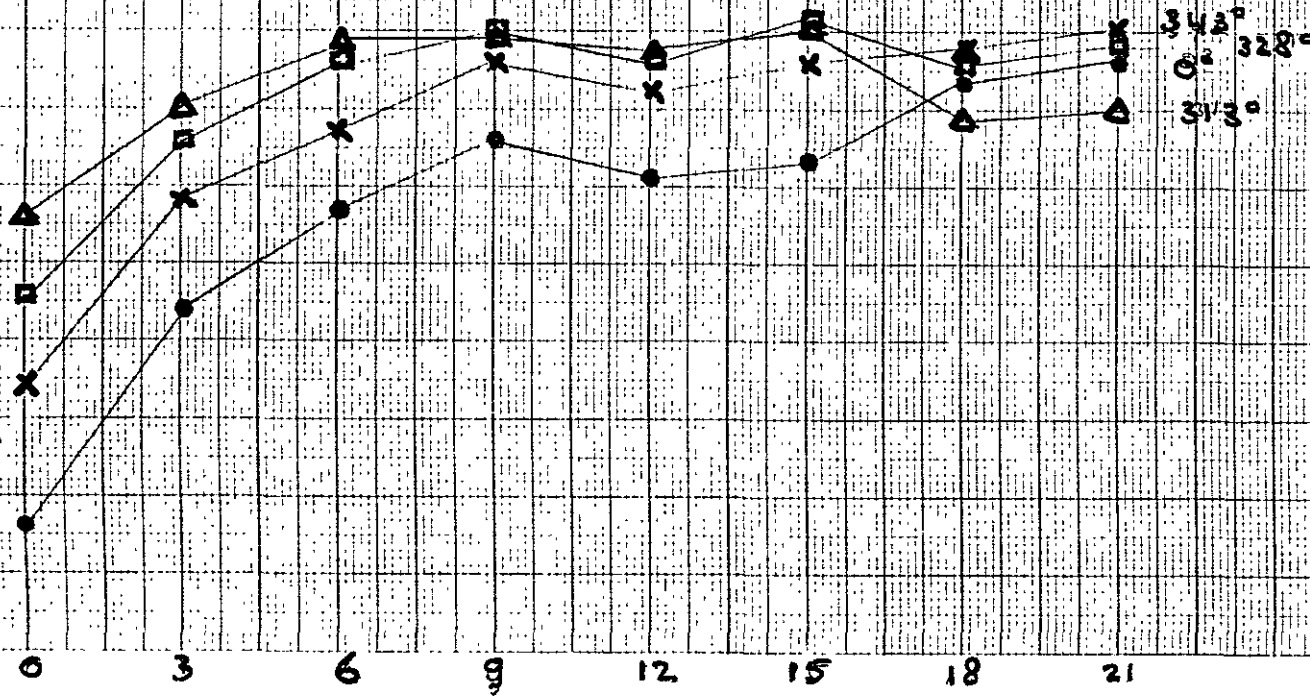
c



tyd in uren

Variable van C gedurende de 76 storm bij VE
 en een aantal gedraaide stormen

c

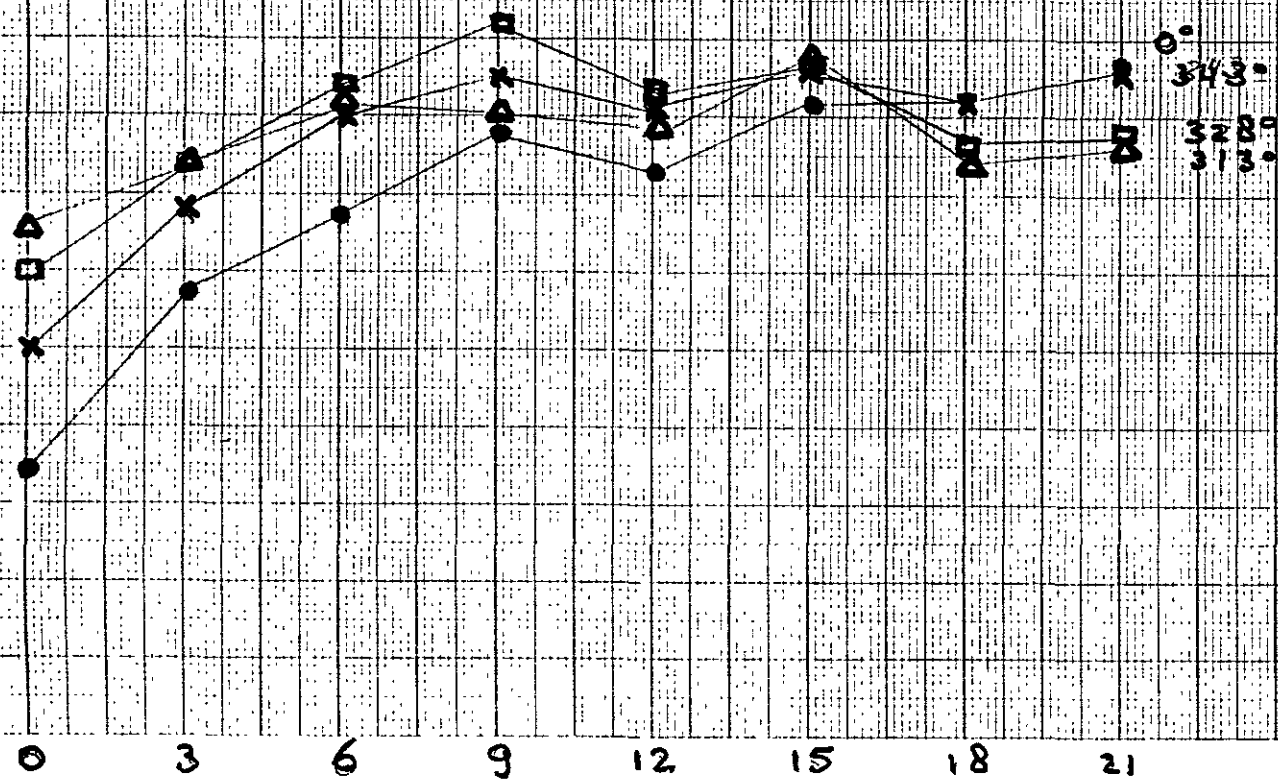


34.2°
 32.8°
 31.3°

Tijd in uren

Variatie van C bij HWTI gedurende de F6 storm
en een drietal gedraaide stormen

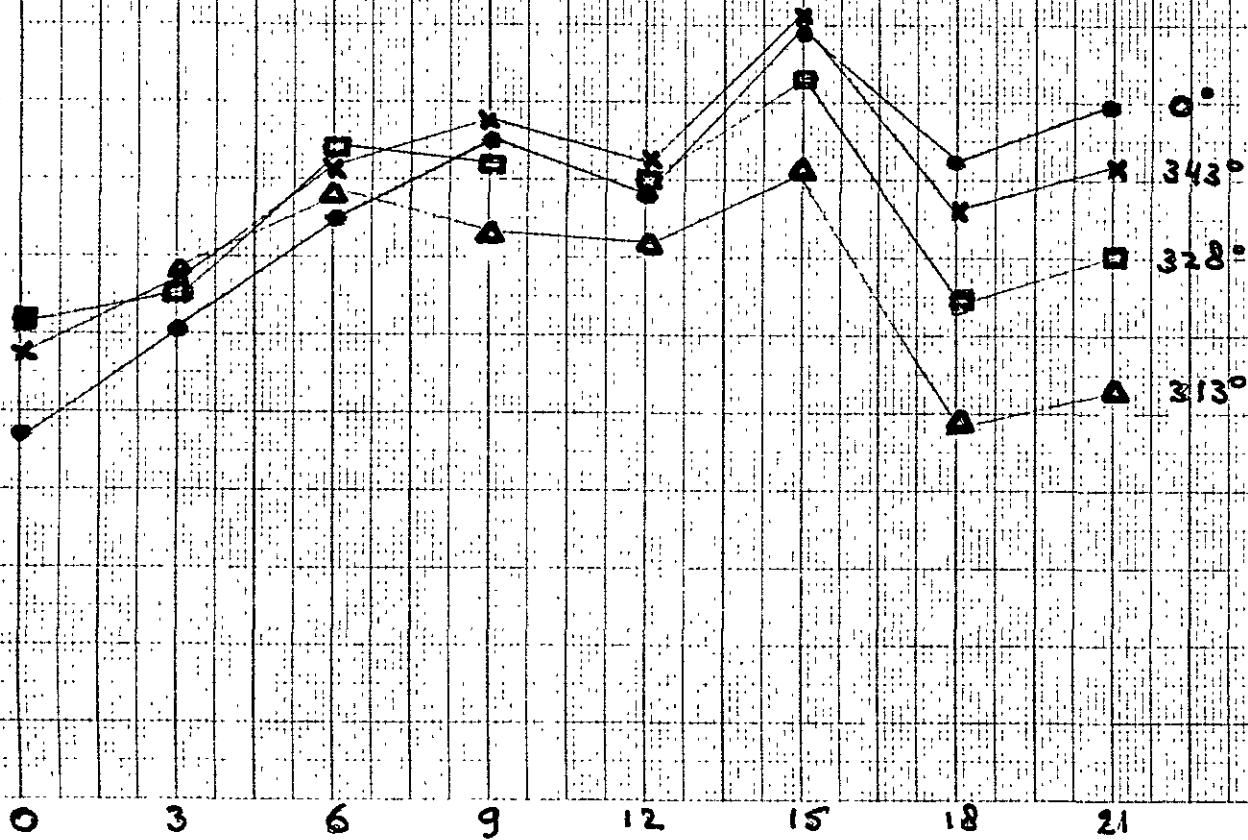
C



Tijd in uren

Variatie van c bij DH gedurende de 76 storm
en een aantal gedraaide stormen

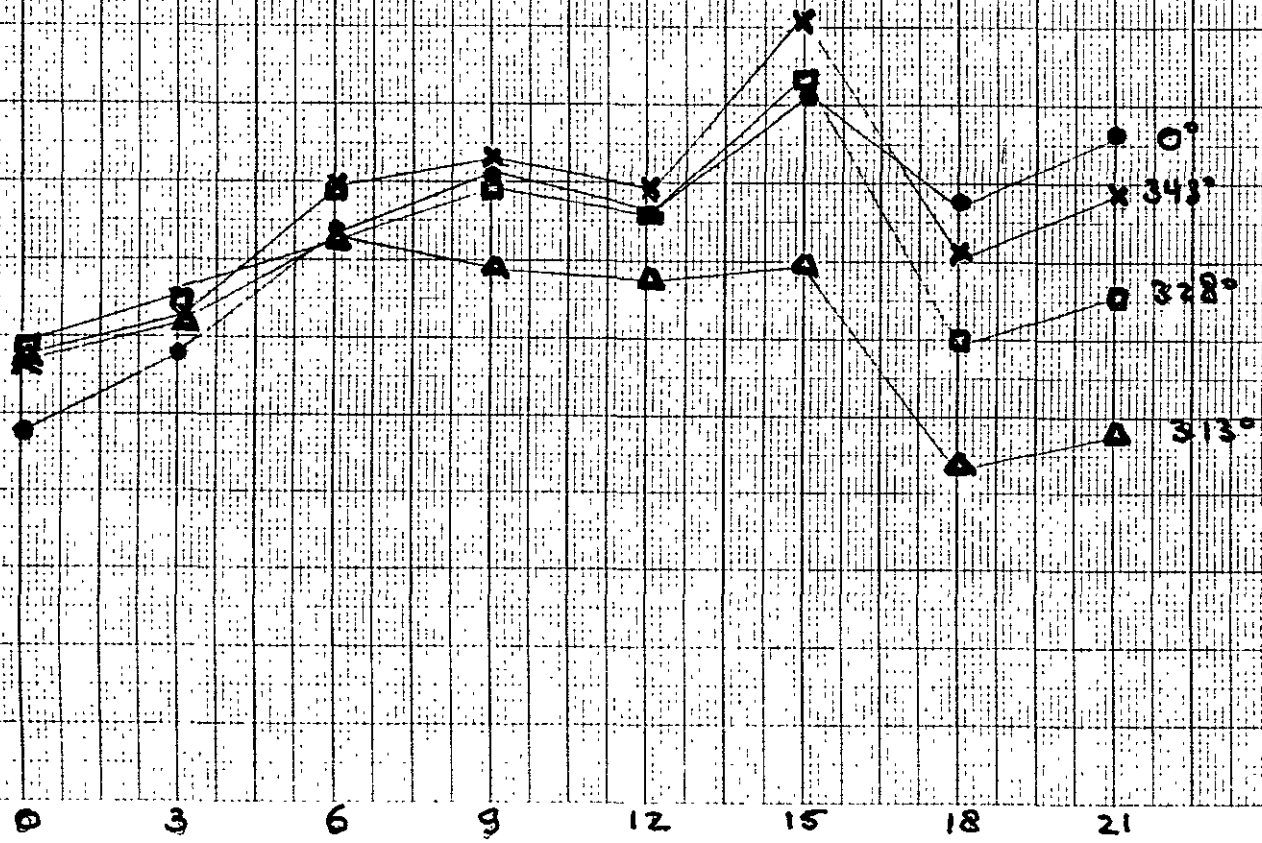
c



Tijd in uren

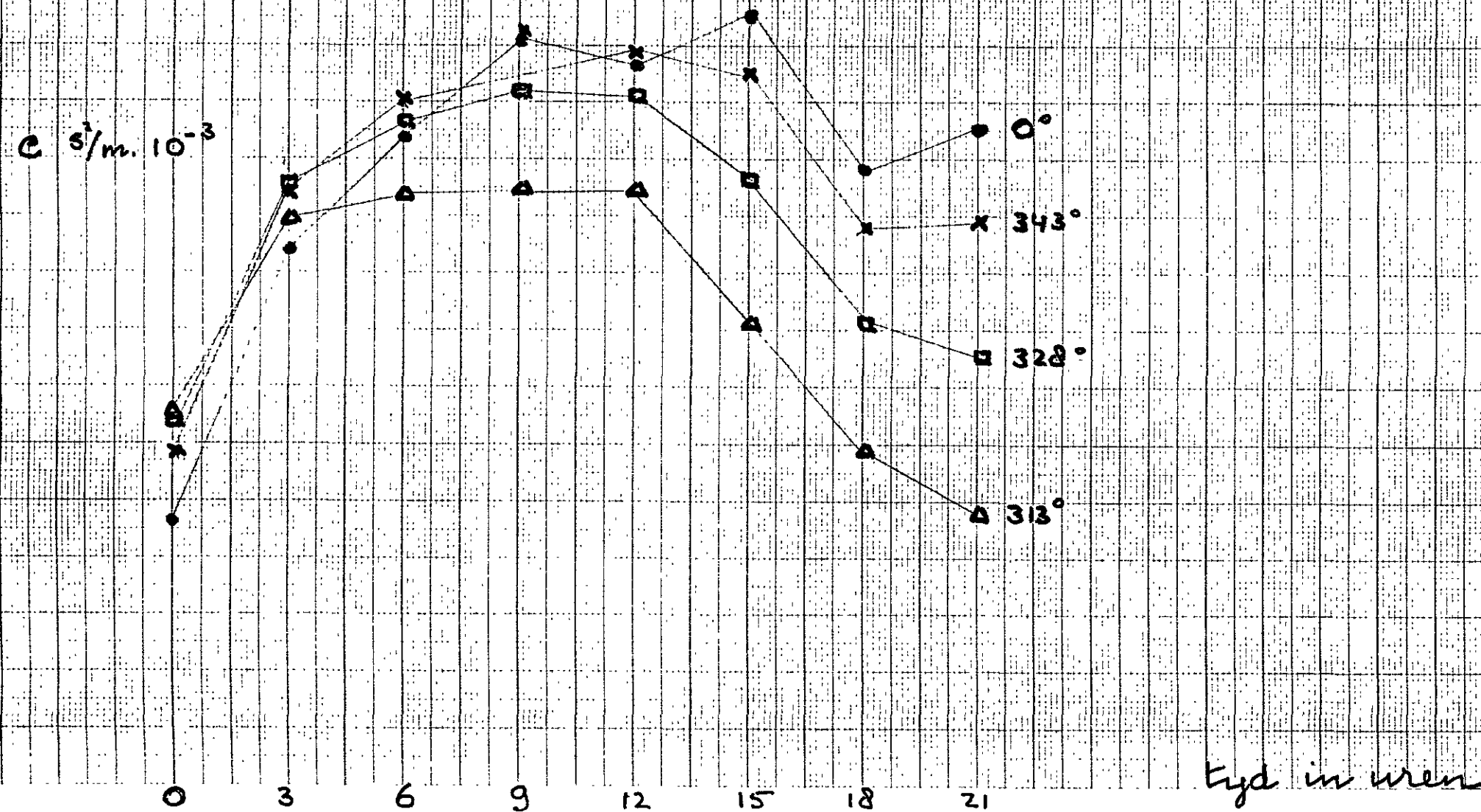
Variatie van c bij EQ gedurende de 76 Storm
en een aantal gedurende stormen

c

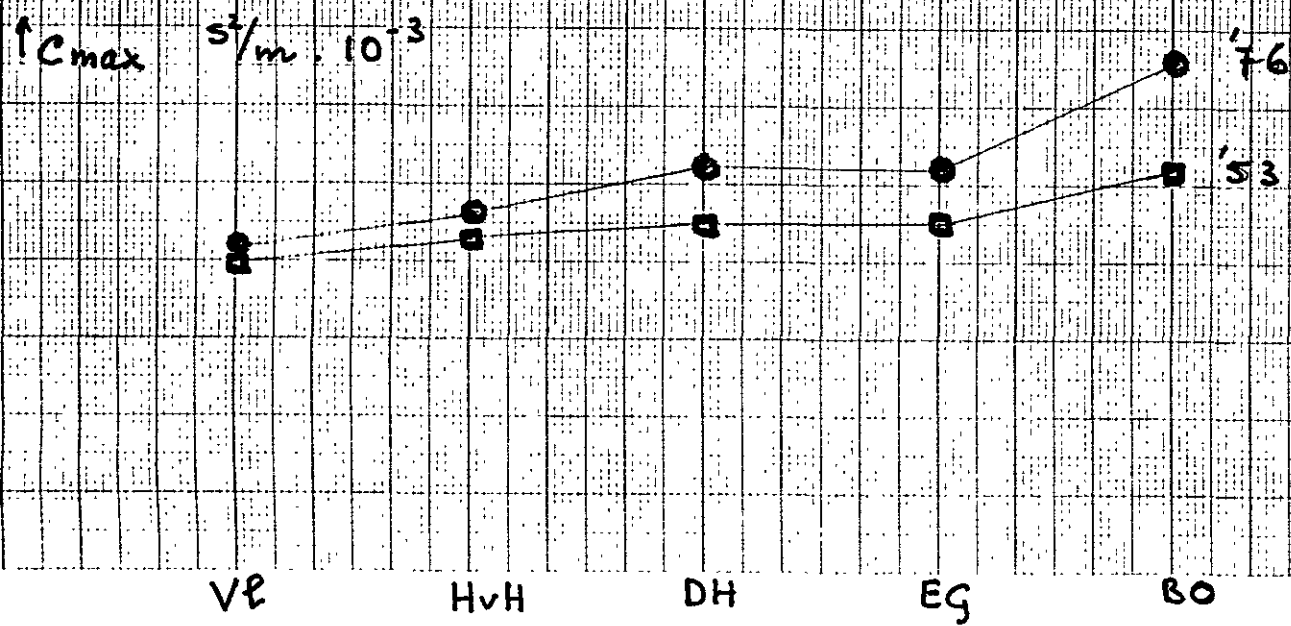


Tijd in uren

Variatie van C bij 30 gedurende de 76 storm
 t.w. een aantal gedurende stormen.



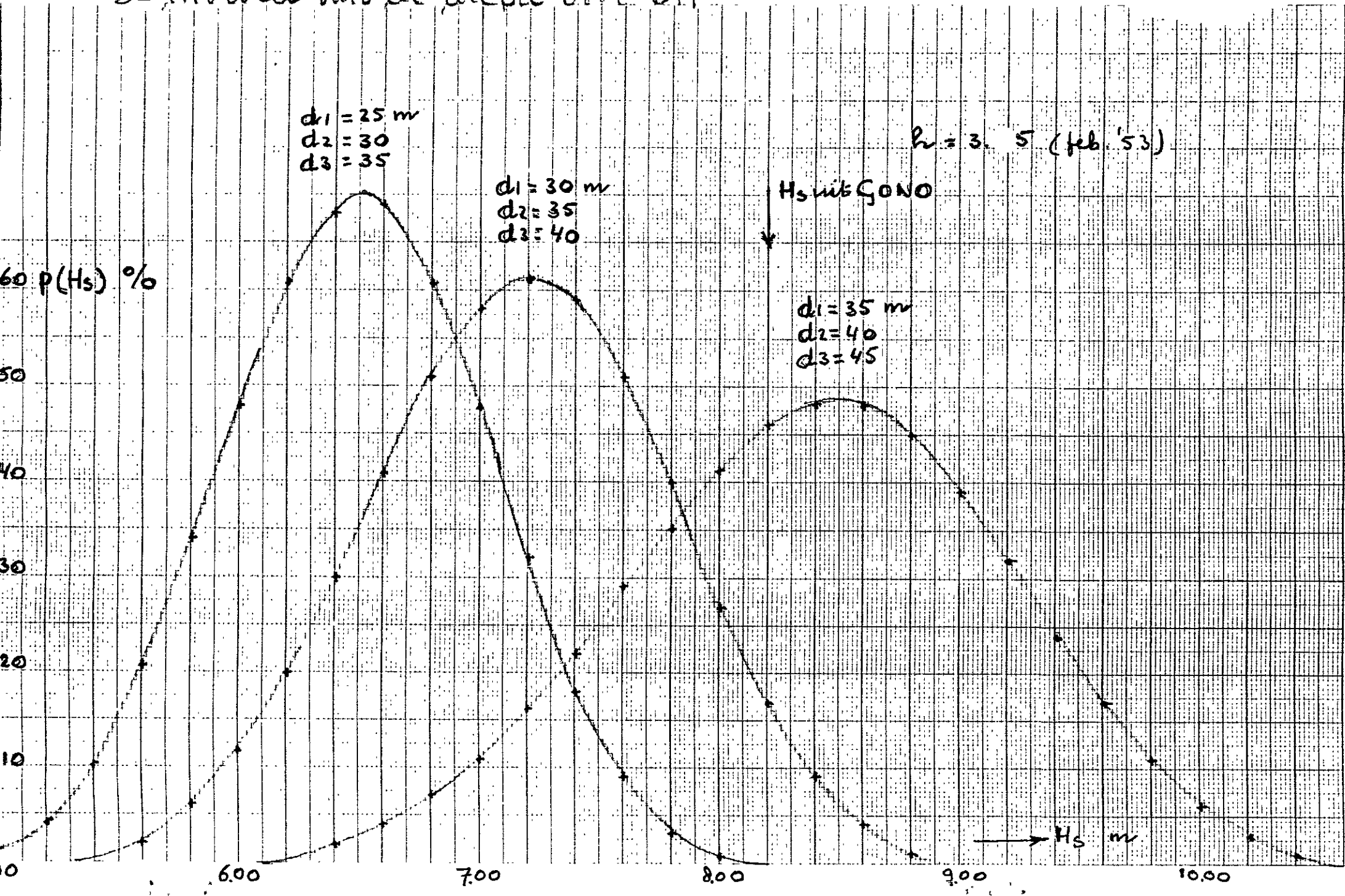
C_m voor de verschillende locaties



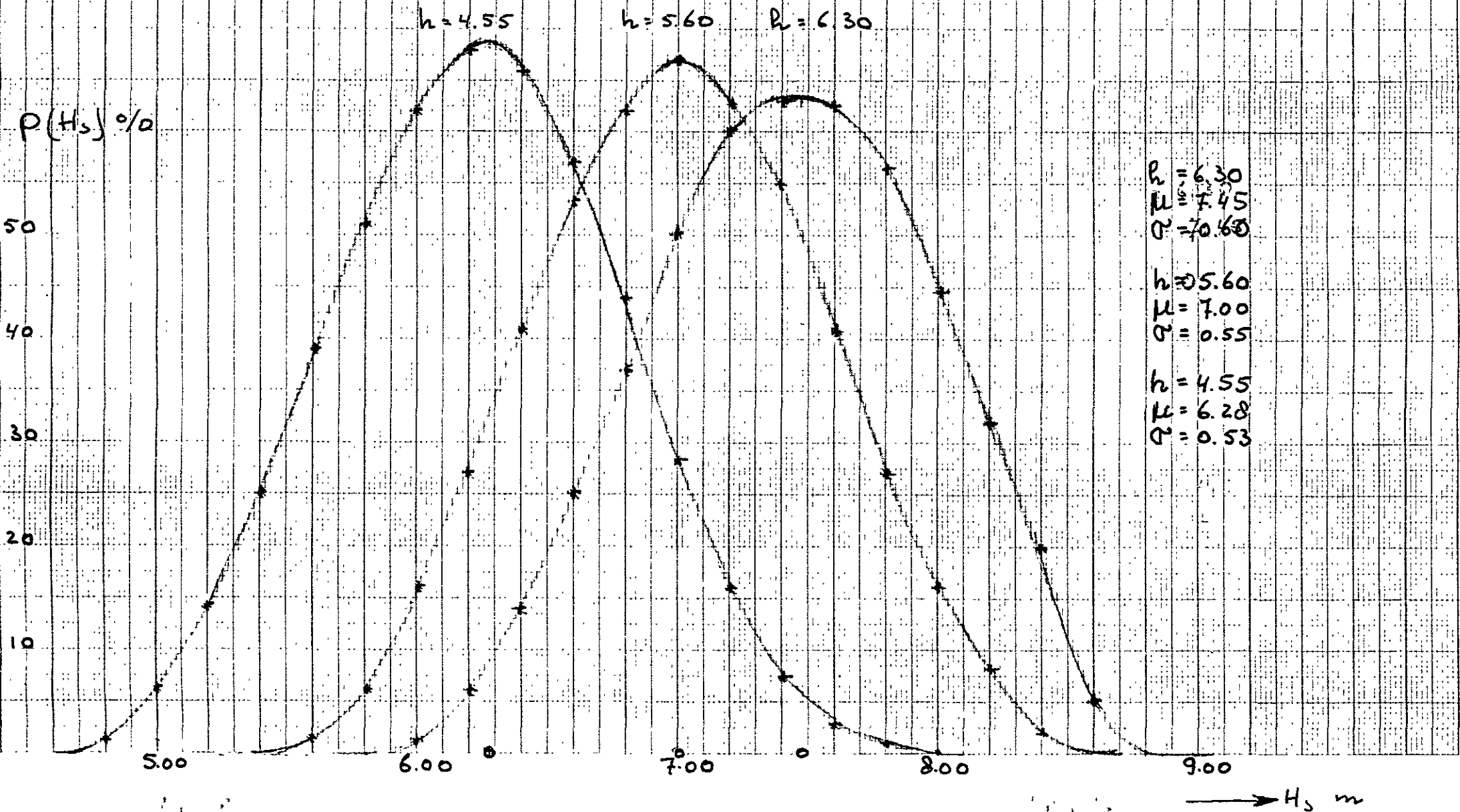
	GONO-res.		Deltarapp					IJKingsdiepten voor versch. Fetches 200 km; 200 - 500 km; 7500 km
	Vwind kn	H _s m	h m	u _{top} kn	H _{min} m	H _{top} ⁼ m	m	
Vlissingen	46	4.7	4.55	70	3.48	6.23	0.53	15,20,25 m
Hoek van Holland	56	6.6	3.85	70	3.85	6.88	0.56	20,25,30 m
Den Helder	59	8.2	3.25	65	3.90	7.81	0.68	30,35,40 m
Eierlandse Gat	58	5.8	3.18	60	3.59	7.53	0.68	30,35,40 m
Borkum	58	6.0	3.27	50	2.67	6.55	0.72	30,35,40 m

IJKing d.m.v. GONO-berekeningen van de storm van februari 1953.

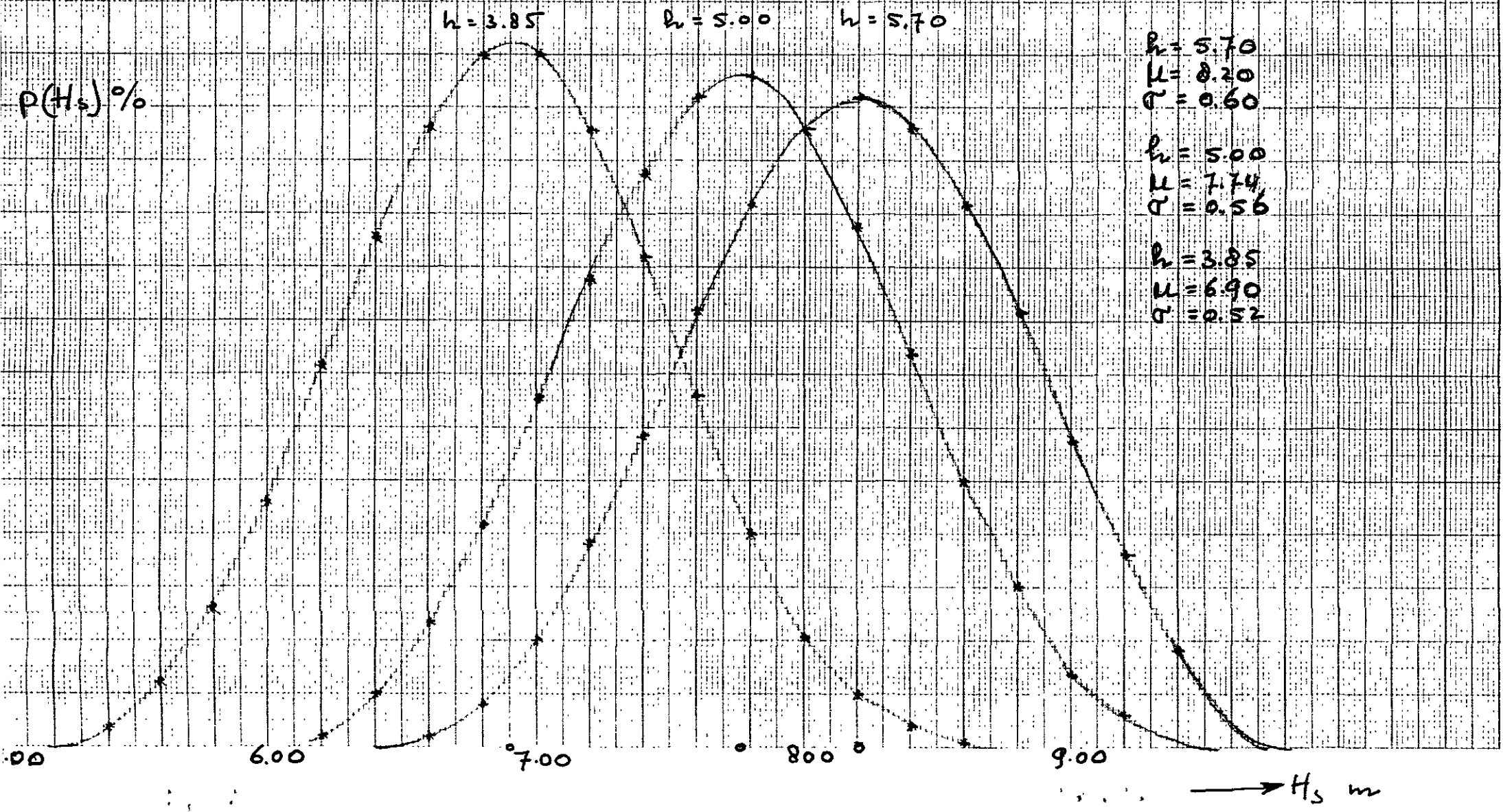
De invloed van de diepte voor D11



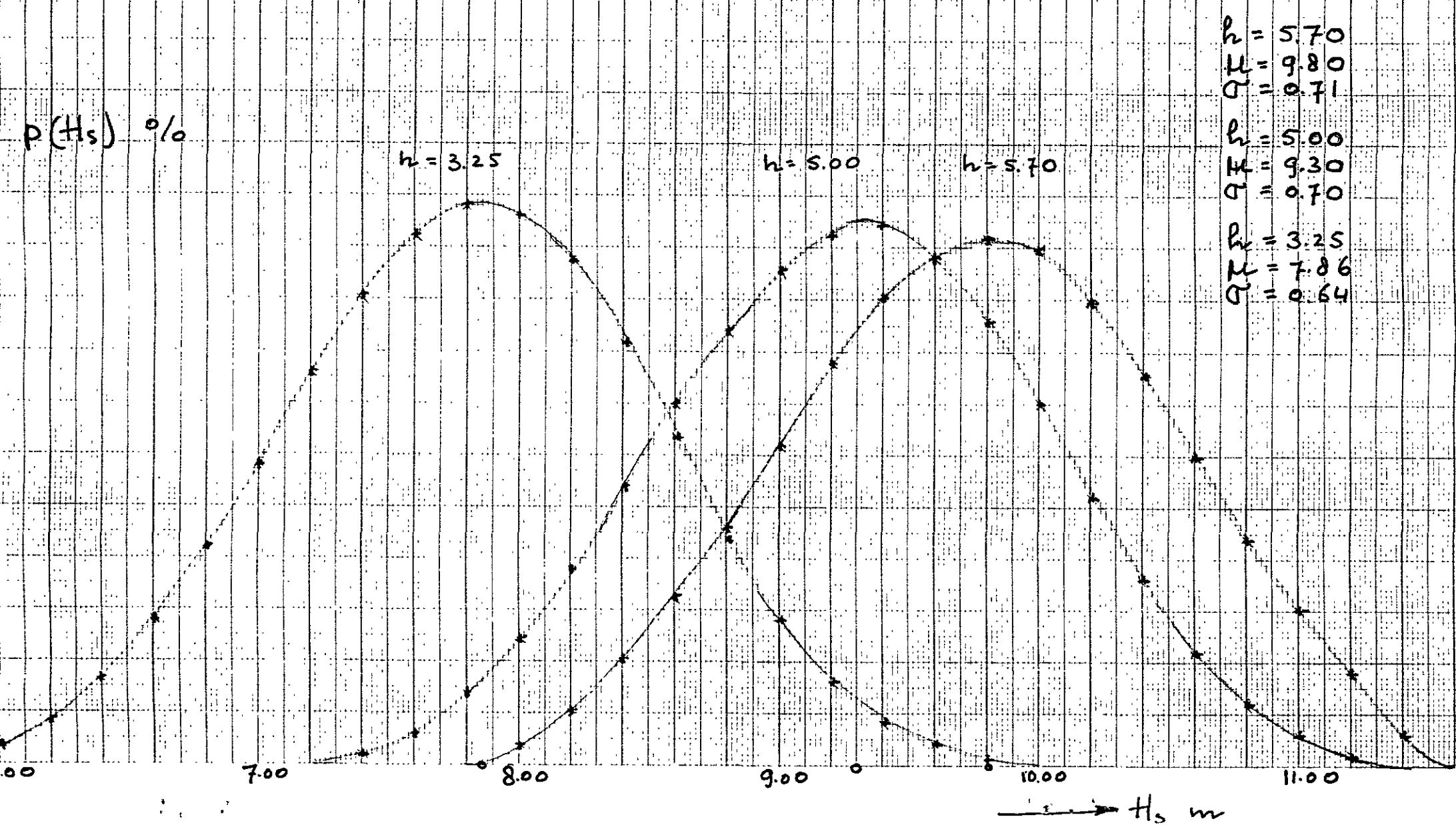
Ransverdeling van H_s bij verschillende h
voor de lokale vlissingen.



Kansverdeling van H_s bij verschillende h
 voor de Lokatte Hoek van Holland



Kansverdeling van H_s bij verschillende h
voor de lokatie Den Helder



Kansverdeling van H_s bij verschillende R
voor de lokale Eierlandse Gat

$R = 6.00$
 $M = 9.90$
 $\sigma = 0.74$

$R = 5.30$
 $M = 9.40$
 $\sigma = 0.74$

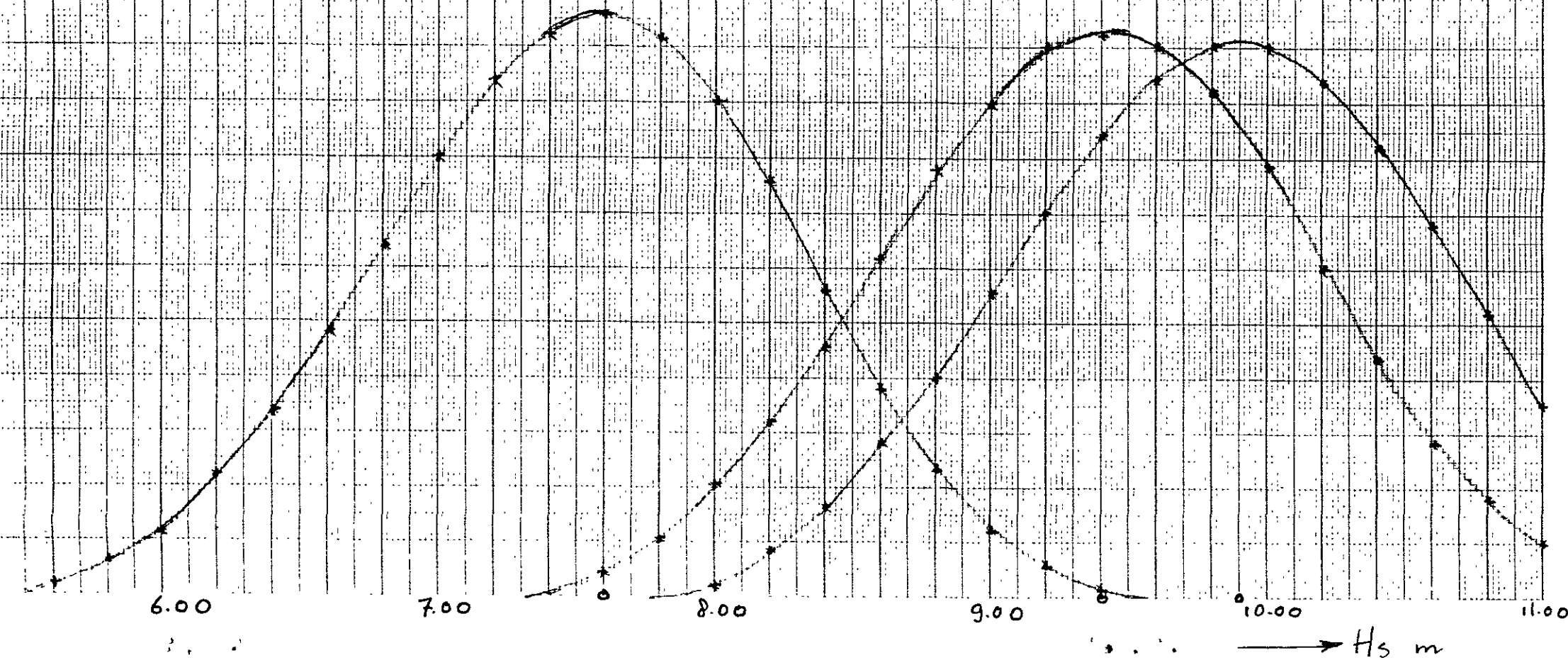
$R = 3.18$
 $M = 7.60$
 $\sigma = 0.68$

$P(H_s) \%$

$R = 3.18$

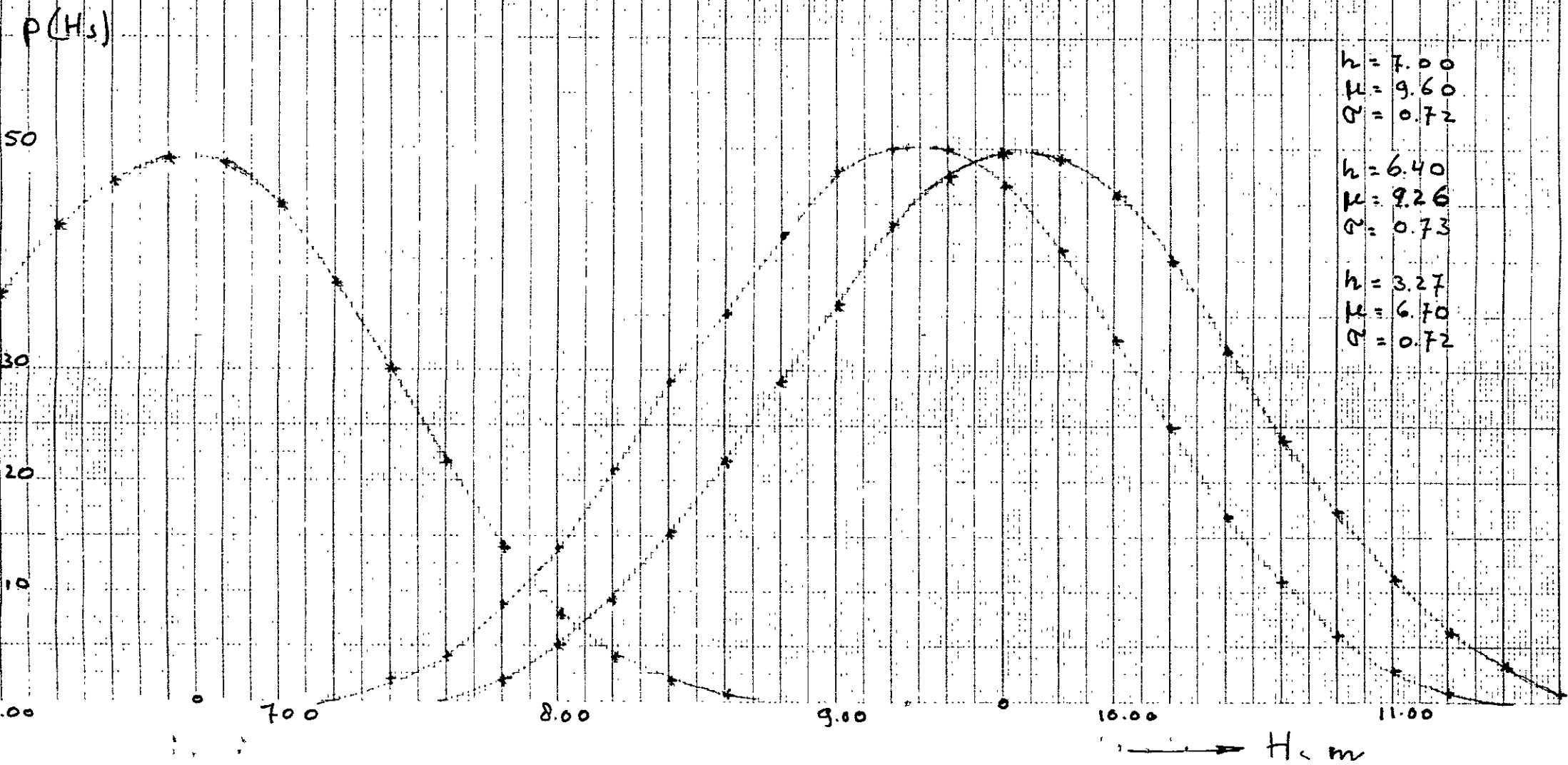
$R = 5.30$

$R = 6.00$



→ H_s m

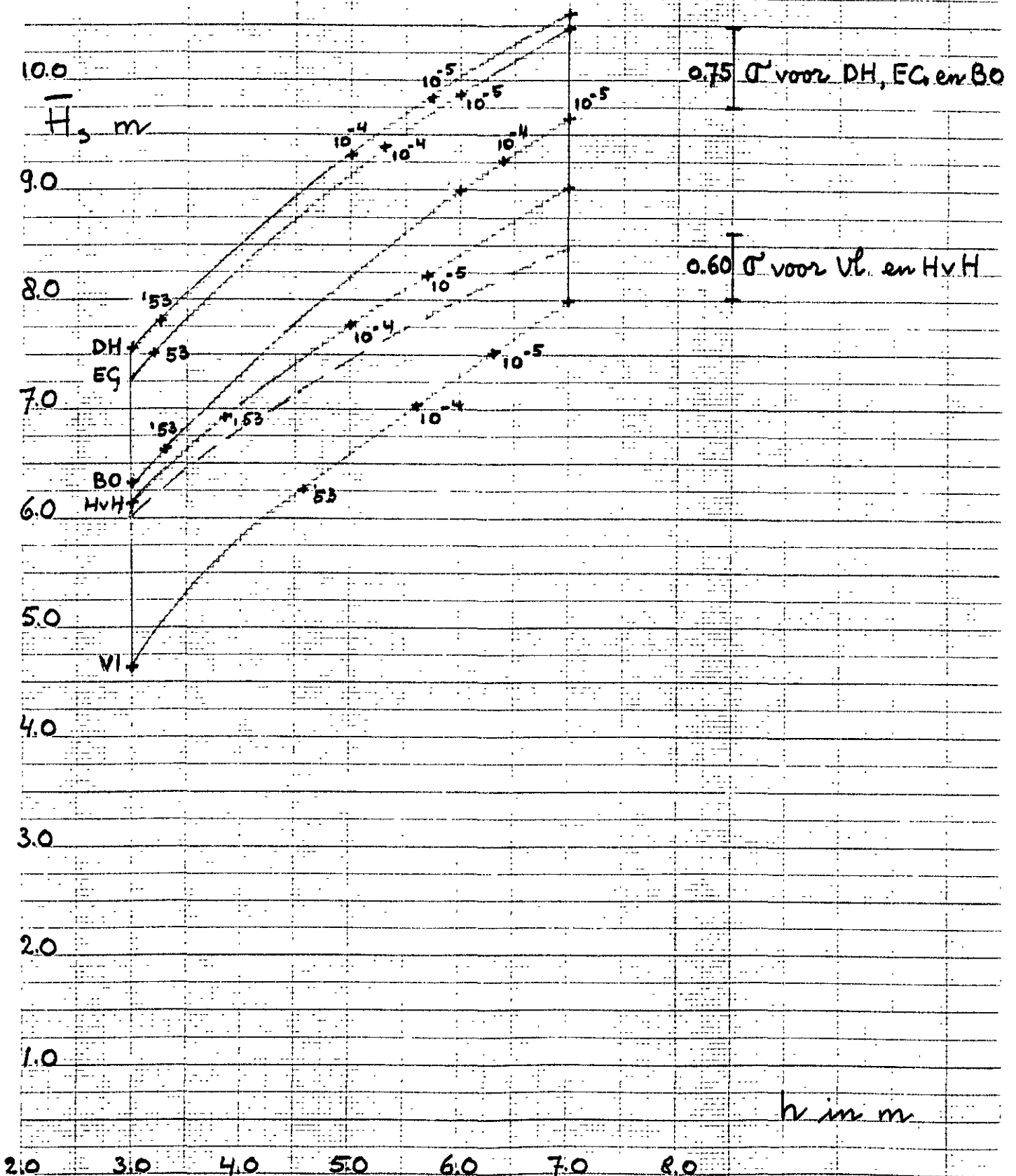
Kansverdeling van H_s bij verschillende h
voor de lokatie Borken.

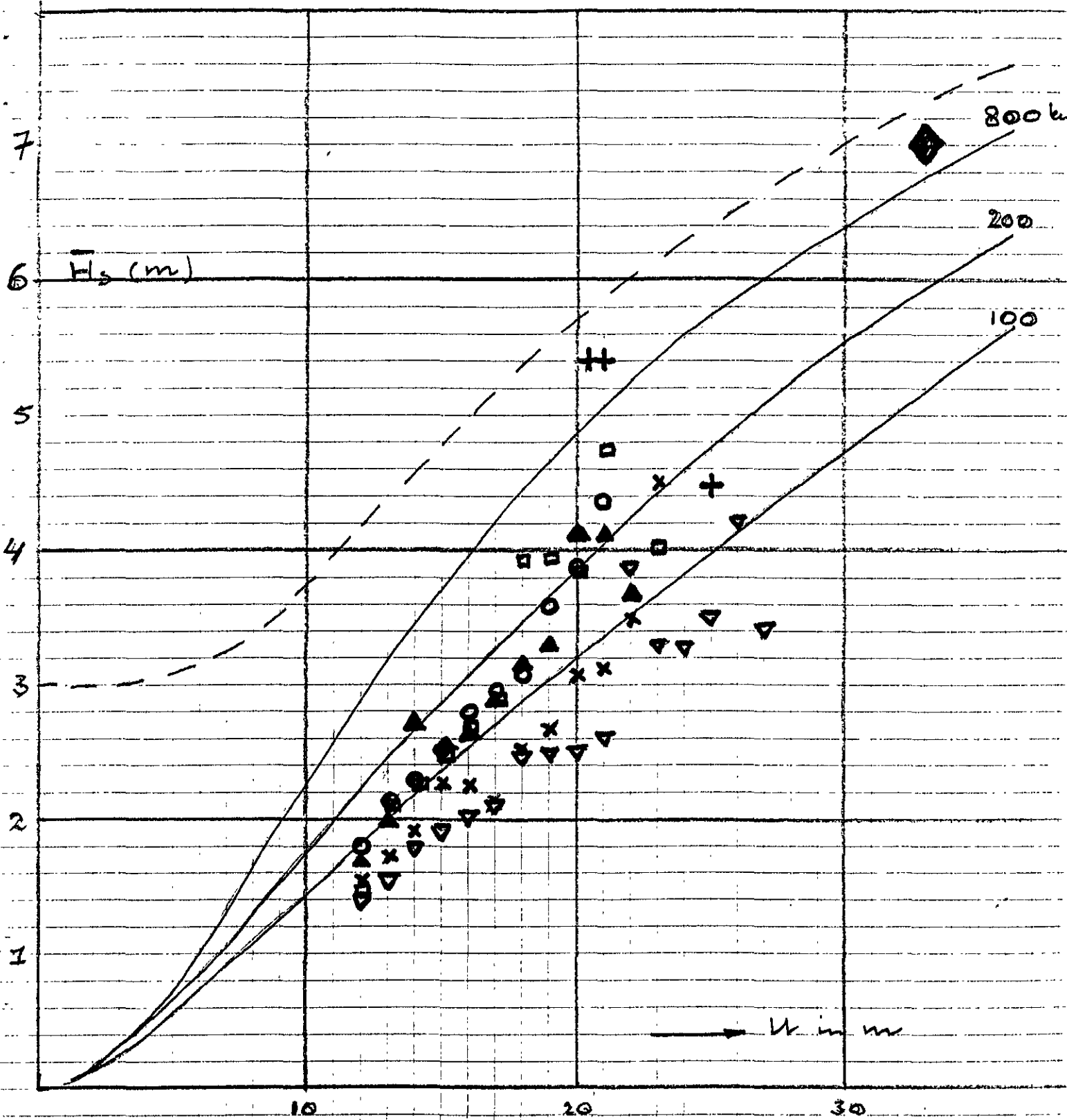


	Weenink coëff. s^2/m	Astr.tij m	Astr. springtij m	diepten m	overschrijd.freq.h=1/10 ⁻⁴				overschrijd.freq.h=1/10 ⁻⁵			
					h m	H _{min} m	H _{top} = \bar{H} m	σ m	h m	H _{min} m	H _{top} = \bar{H} m	σ m
Vlissingen	4.2x10 ⁻³	1.98	2.50	15,20,25	5.60	4.28	7.01	0.55	6.30	4.73	7.37	0.60
Hoek van Holland	4.6x10 ⁻³	1.04	1.40	20,25,30	5.00	4.70	7.74	0.58	5.70	5.15	8.18	0.60
Den Helder	5.2x10 ⁻³	0.54	0.80	30,35,40	5.00	5.30	9.30	0.70	5.70	5.76	9.77	0.71
Eierlandse Gat	5.2x10 ⁻³	0.76	1.05	30,35,40	5.30	5.34	9.39	0.74	6.00	5.81	9.85	0.74
Borkum	6.6x10 ⁻³	1.24	1.60	30,35,40	6.40	5.06	9.26	0.73	7.00	5.41	9.64	0.72

Parameters (\bar{H}, σ') van de normale verdeling van H_S
voor de verschillende locaties en twee overschrijdings-
kansen van de hoogwaterstand h.

Het verloop van \bar{H}_s met de waterstand voor de locaties Vlissingen (VL) Hoek van Holland (HVH) Den Helder (DH) Eierlandse Gat (EG) en Borkum (BO). De gestreepte curve geeft het resultaat voor HVH overeenkomstig notitie WWKZ-82g.25g. De fracties bij de meetpunten geven de overschrijdingsfrequenties van de Bijbehorende waterstand.





- LEG
 - × SON
 - ELD
 - △ SWB
 - ▽ MPN
- } periode juni '76 t/m dec. '81

◆ Tessel 3 jan '76
 + Euro-5 3 jan '76