

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Wetenschappelijk Rapport W.R. 62-6

A.C. Bakker

Enkele wind- en golfstatistieken uit het Deltagebied

De Bilt, 1962

All Rights Reserved.

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

A.C. Bakker

Enkele wind- en golfstatistieken uit het Deltagebied

Als gevolg van de voortschrijding van de Deltawerken en op grond van het daarmee samenhangend toenemende aantal vragen, door Rijkswaterstaat gesteld betreffende frekventies van winden en golven, zijn in het onderhavige rapport enkele tabellen bijeengebracht, die het mogelijk maken op diverse vragen onmiddellijk een antwoord te geven.

I. WIND

a. Windrichting

Tabel 1 geeft de maandelijkse frekventieverdeling van de windrichting, tabel 1a voor de lichtschepen Goeree ($51^{\circ}56'N$, $3^{\circ}40'E$, waarnemingstijdvak 1949 t/m 1959), Maas ($52^{\circ}02'N$, $3^{\circ}53'5''E$, waarnemingstijdvak 1911 - 1917, 1919 - 1939) en Schouwenbank ($51^{\circ}47'N$, $3^{\circ}27'5''E$, waarnemingstijdvak 1910 - 1915, 1921 - 1934) en tabel 1b voor de stations Vlissingen (tijdvak 1921 t/m 1950) en Hoek van Holland (tijdvak 1949 t/m 1958). De gegevens van Maas en Schouwenbank zijn overgenomen uit Verploegh, Med. en Verh. 67. [1].

De wijzen waarop de windrichting gedefinieerd is, vertonen kleine en voor de praktijk onbetekenende verschillen. Volledigheidshalve worden hier de definities vermeld. Voor het lichtschip Goeree is genomen voor een hoofdstreek, b.v. Noord, het aantal waarnemingen van 350 , 360 en 10° , voor de tussenhoofdstreken, b.v. NO, het aantal waarnemingen van 30° , 40° , 50° en 60° [2]. De aantallen van de overschietende richtingen 20° , 70° enz. werden gelijkelijk over beide aangrenzende sectoren verdeeld. Voor de lichtschepen Maas en Schouwenbank is de richting opgegeven t.o.v. het magnetisch noorden. De magnetische declinatie bedroeg in het waarnemingstijdvak 11 à 12° . Ten slotte is bij Vlissingen en Hoek van Holland de windrichting als volgt gedefinieerd:

$N = 337\frac{1}{2}^{\circ} - 022\frac{1}{2}^{\circ}$, $NE = 022\frac{1}{2}^{\circ} - 067\frac{1}{2}^{\circ}$ enz.

Een vergelijking van de cijfers van de 3 lichtscheperen toont aan, dat onderling slechts geringe verschillen bestaan; opvallend is wel op Schouwenbank het grote percentage ZO-winden in april en augustus, en het kleine percentage N-winden in april. Het grote verschil met lichtschip Maas, dat ruwweg in hetzelfde tijdvak waarnam, doet enige twijfel aan de juistheid van de cijfers van Schouwenbank ontstaan.

b. Windkracht

Tabel 2 geeft een overzicht van de verdeling van de windkracht per maand, in tabel 2a staan de aantallen waarnemingen, gedaan op het lichtschip Goeree in de jaren 1949 t/m 1959. Tabel 2b is cumulatief ingericht, d.w.z. de getallen geven het percentage van de tijd, dat de windkracht x Bft. en meer bedroeg; wederom voor de lichtscheperen Goeree, Maas en Schouwenbank. Tabel 2c is analoog met tabel 2b, nu voor Vlissingen en Hoek van Holland. In plaats van Bft-waarden staan nu aangegeven windsnelheden in m/sec. De getallen uit de tabellen 2b en 2c zijn onderling niet geheel vergelijkbaar, omdat de begrenzingen van de windkracht, aangegeven bovenaan iedere kolom, tussen de 3 tabellen onderling niet precies gelijk te stellen zijn. Zie voor een uitvoerige uiteenzetting over de omzetting van Bft-schaaldelen in m/sec [3].

Ten slotte is er nog een klein verschil tussen de tabellen 2b en 2c: de windsnelheden, gebruikt om te komen tot tabel 2c zijn uurgemiddelden, die van tabel 2b 10-min.-gemiddelden.

Vaak verdient een grafische voorstelling de voorkeur boven een tabel.

In bijlage 1 zijn overschrijdingskrommen getekend voor de windkracht. Lichtscheperen Goeree, Maas en Schouwenbank. Omdat de waarnemingen op de lichtscheperen worden verricht om de 3 uur, komt 1 waarneming per jaar overeen met $\frac{3 \text{ uur}}{8766 \text{ uur}} = 0,034 \%$.

Beschouwen we nu de kromme van Goeree, dan blijkt:

Windkracht	8B	en	meer	is	voorgekomen	op	gem.	58	waarnemingen	per	jaar
"	9B	"	"	"	"	"	"	17	"	"	"
"	10B	"	"	"	"	"	"	5	"	"	"

Ter vergelijking volgen hier ook de aantallen stormen, gedurende welke de windkracht 8B resp. 9B resp. 10B overschreed (zie WR 55-010 [4]).

Aantal stormen met windkracht	8B	en	meer	in	6	jaar:	77
"	"	"	"	9B	"	"	6 " : 28
"	"	"	"	10B	"	"	6 " : 9

In deze laatste gevallen is een telmethode toegepast, waarbij één of meer waarden van 1B minder, voorafgegaan en gevolgd door de genoemde B-waarde, in een reeks werden toegelaten.

Bijlage 2; Overschrijdingskromme windkracht, windrichting W of NW (250° t/m 330°). Lichtschip Goeree.

Windkracht	8B	en	meer	uit	W	of	NW	is	voorgekomen	op	gem.	29	waarn.	p.j.
"	9B	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	10	"	"
"	10B	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	3	"	"

Ten slotte is bijeengebracht in tabel 3a het aantal waarnemingen van de verschillende combinaties van windrichting en windkracht voor het lichtschip Goeree over de jaren 1949 t/m 1959; in tabel 3b zijn de waarnemingen gerangschikt volgens de maanden.

II. GOLVEN

Tabel 4 geeft een overzicht van de maandelijkse aantallen waarnemingen van golfhoogten van het lichtschip Goeree. De instructie voor het verichten van golfwaarnemingen op het lichtschip werd met ingang van 1958 gewijzigd. De waarnemingen zijn sindsdien gescheiden in zeegang en deining. Een golfveld wordt deining genoemd, indien het niet meer onderworpen is aan het windveld, dat het opwekte. Op het lichtschip komt het er in de praktijk op neer dat men golven, die een andere richting hebben dan de windrichting, deining noemt.

In tabel 4 zijn zeegang- en deiningwaarnemingen beide geteld. Met "vlak" wordt in de tabel een effen zee bedoeld; in de rij "<0,25" zijn die golven geteld, die nog wel uit een bepaalde richting kwamen, maar waarvan de hoogte minder dan 25 om bedroeg.

Vervolgens is in bijlage 3 getekend de overschrijdingskromme der golfhoogten voor het lichtschip Goeree, tijdvak januari 1949 t/m mei 1961. In dit geval is bij een waarneming, waarin zeegang en deining werd gemeld, alleen die met de grootste golfhoogte genomen.

Met deze grafiek laat zich dus een vraag beantwoorden als: "welke golfhoogte werd gemiddeld op 1 waarneming per jaar overschreden?" We zagen reeds, dat 1 waarneming per jaar overeenkomt met 0,034 %, zodat het antwoord luidt: 6,6 m of in andere bewoordingen: gedurende gemiddeld 3 uur of minder per jaar is een golfhoogte voorgekomen van minstens 6,6 m.

Te verwachten is, dat de waarnemingen van hoge golven in series zullen voorkomen, alle behorende tot een bepaalde storm. Uit een korte waarnemingsserie 1949-1955 blijkt (zie WR 55-010 [47]), dat in deze 6 jaar

11 stormen optraden, waarbij de golfhoogte $4\frac{1}{2}$ m overschreed, dus ruwweg 2 per jaar. Dus, hoewel een golfhoogte van $4\frac{1}{2}$ m of meer volgens bijlage 3 gemiddeld op 10 waarnemingen per jaar is voorgekomen, bedraagt het aantal malen, dat deze waarde gedurende een zekere (vrijwel) aaneengesloten periode wordt overschreden, gemiddeld slechts ongeveer 2 per jaar.

Tevens is in bijlage 3 getekend de overschrijdingskromme van de golfmeetpaal BG II, welke door Rijkswaterstaat is geplaatst op omstreeks 8 km ten NW van de vuurtoren van Schouwen; de diepte bij deze paal bedraagt omstreeks 10 m.

De registrering van de golven geschiedt op deze paal met behulp van een golfamplitudeschrijver van Wemelsfelder (uitvoerige beschrijving in [6]). Bij deze golfamplitudeschrijver wordt de verticale waterbeweging door een vlotter gevolgd en geregistreerd. Per 300 m geïntegreerde opwaartse beweging van de vlotter wordt slechts 60 m geschreven (een "blok"), de overige 240 m worden niet opgetekend. Per meter geïntegreerde beweging wordt de papierstrook 0,1 mm voortbewogen. Een blokje is dus 6 mm breed. Uit de aldus verkregen blokjes kan met behulp van een door Wemelsfelder ontworpen schaalteje volgens een bepaald recept $H\frac{1}{3}$ (het gemiddelde van de hoogste 33 % van de golven) worden bepaald.

We kunnen nu voor de golfmeetpaal BG II het materiaal afzonderlijk sorteren op HW en LW. Hiertoe zijn dus die blokjes uitgewerkt, die het dichtst bij HW en LW liggen.

Ten gevolge van het bovenomschreven mechanisme van het apparaat worden bij kleine golfhoogten weinig blokjes geschreven en is het daarom moeilijk de golfhoogte precies op het tijdstip van hoogwater te bepalen. Gesteld kan worden, dat bij $H\frac{1}{3} \geq \frac{1}{2}$ m de afwijking van het tijdstip van hoogwater hoogstens $\frac{1}{2}$ uur kan bedragen, omgerekend in waterhoogte is dit een voor ons doel te verwaarlozen fout t.o.v. de gemiddelde hoogwaterstand.

Het blijkt nu, dat de kromme, die betrekking heeft op de hoogwaters, verschilt van die, welke betrekking heeft op de laagwaters; de golven bij LW zijn lager dan bij HW. Een dergelijke afhankelijkheid van de diepte is bij lichtschip Goeree nog niet te vinden.

Met behulp van onderstaande tabel is getracht de gemiddelde verhouding te bepalen tussen de golfenergie op de 10 m dieptelijn en op lichtschip Goeree. Met de richting, waaruit de golven komen is hier dus geen rekening gehouden. Ook zijn de tijdvakken verschillend, doch voor het verkrijgen van een voorlopige indruk is de hier toegepaste methode bruikbaar.

Overschrijdings- percentage	paal BG II		H Goeree	$\frac{H \frac{1}{3} \text{ LW}}{H \frac{1}{3} \text{ HW}}$ BG II	Verhouding HW	$\frac{\text{BG II}}{\text{Goeree}}$ LW
	$H \frac{1}{3}$ HW	$H \frac{1}{3}$ LW				
80	35 cm	28 cm	50 cm	0,80	0,70	0,56
70	45	35	68	0,77	0,66	0,52
60	55	45	87	0,82	0,63	0,52
50	65	52	104	0,80	0,62	0,50
40	79	62	123	0,79	0,64	0,50
30	95	76	146	0,80	0,65	0,52
20	117	92	172	0,79	0,68	0,54
10	156	122	220	0,78	0,71	0,55
5	195	152	260	0,78	0,75	0,58
1	289	225	360	0,78	0,80	0,62

Uit deze tabel blijkt:

- a) bij een zeeniveaunderschil van ruim 2 m ter plaatse van paal BG II (gem. HW is 1,10 m +NAP, gem. LW is 1,10 m -NAP) is voor alle overschrijdingspercentages de verhouding tussen $H \frac{1}{3}$ bij LW en bij HW gelijk en heeft de waarde 0,8;
- b) de verhouding tussen de golfhoogten op BG II en lichtschip Goeree bedraagt bij HW omstreeks 0,65 en bij LW omstreeks 0,53, ofwel de verhouding tussen de gemiddelde golfenergie (die ongeveer evenredig is met het kwadraat van de golfhoogten) bij 10 m en die bij 20 m diepte bedraagt bij HW omstreeks 0,42 en bij LW omstreeks 0,28.

Omdat voor de werken in het Zuidnederlandse kustgebied de combinatie van hoge golven met een W of NW-wind het meest hinderlijk is, is nog afzonderlijk getekend bijlage 4:

Overschrijdingskromme golfhoogten, gepaard gaande met W of NW-wind (sector 250 t/m 330°), lichtschip Goeree.

Hieruit laat zich aflezen bijvoorbeeld: Een golfhoogte van ten minste 4 m, gepaard gaande met wind uit W of NW is voorgekomen gedurende gemiddeld 0,4 % van de tijd ofwel gemiddeld 35 uur of minder per jaar.

APPENDIX

Extreme golfhoogten

Met behulp van de gevonden overschrijdingskrommen kunnen we een schatting maken van de grootte van de golven, die in extreme situaties voor de kust kunnen voorkomen. Meer dan een schatting zal het niet kunnen zijn, daar het waarnemingstijdvak nog te kort is.

In het Deltaplan wordt bij de bouw van de waterkeringen uitgegaan van een superstorm, die een waterhoogte in Hoek van Holland teweegbrengt van 5 m +NAP. Voor deze waterstand wordt een overschrijdingsfrequentie aangenomen van 10^{-4} per jaar; stellen we het aantal hoogwaters per jaar op 700, dan heeft de waterstand 5 m +NAP een frequentie $1,4 \cdot 10^{-7}$ per hoogwater.

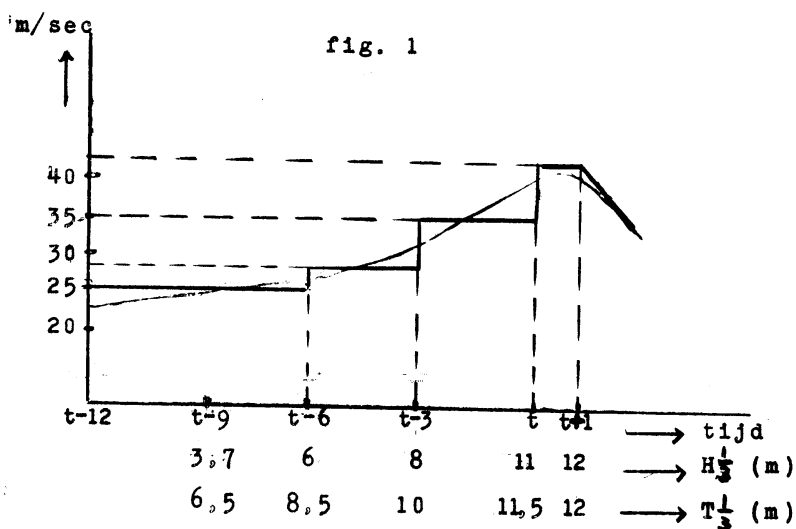
Lineaire extrapolatie naar deze frequentie levert een golfhoogte van omstreeks 15 meter (zie bijlage 5, deze vormt de staart van bijlage 3); verwacht moet worden, dat de geringe diepte bij het lichtschip Goeree (~ 20 m) de golfhoogte tot een lagere waarde beperkt.

We kunnen ook nog een poging wagen via de overschrijdingskromme van de windkracht. Hier hebben we een wat langere waarnemingstijd, indien we tevens de voormalige lichtscheper Maas en Schouwenbank in het materiaal betrekken (zie bijlage 1).

In dit geval levert extrapolatie naar een frequentie $1,4 \cdot 10^{-7}$ een windsnelheid van 40 à 44 m/sec (zie bijlage 6, deze bestaat weer uit een gedeelte van bijlage 1).

Hierna kunnen we ons een fictieve NW-storm voorstellen, waarbij deze windsnelheid wordt bereikt, en berekenen in welke orde van grootte de golfhoogte zal liggen bij het lichtschip Goeree gedurende het maximum van de storm.

Het aangenomen verloop van de wind is getekend in bijgaande figuur. Voorts wordt aangenomen: 1e, dat deze wind waait over een voldoende lange fetch, b.v.



1850 km (de afstand van het lichtschip Goeree tot de 60e breedtegraad);
2e, dat we met een diepe zee te maken hebben, in dit geval >150 m.

Met behulp van de diagrammen, gegeven door Groen-Dorrestein [7] en

uitgaande van het gegeven verloop van de storm kunnen we voor ieder tijdstip de significante golfhoogte en periode berekenen (zie eveneens bijgaande figuur). Voor de windsnelheid van 42 m/sec die slechts 1 uur duurt, blijkt ten gevolge van het verloop van de storm een effectieve duur van 7 uur te moeten worden toegepast. We vinden nu $H\frac{1}{3} = 12$ m, $T\frac{1}{3} = 12$ sec, $L = 225$ m. Een factor, die een extra onzekerheid geeft aan deze uitkomst, is het niet bekend zijn van de invloed van de verstuiwing van het water, een invloed, die bij deze windsnelheid een rol moet spelen.

De onderstelling omtrent de diepte is niet juist. We stellen deze over de hele fetch op 40 m. Nemen we nu weer aan: 1e, een voldoende lange fetch, en bovendien 2e, een voldoende lange duur, dan vinden we voor de grenswaarde, die de golfhoogte onder deze omstandigheden zal bereiken, een waarde $H\frac{1}{3} = 11$ m; voorts $T\frac{1}{3} = 12$ sec, $L = 230$ m.

In deze beide gevallen heeft de tweede veronderstelling tot gevolg, dat de gevonden waarden hoger zijn dan we in werkelijkheid op de Noordzee zullen vinden.

Naar de kust toe zullen de golven ten gevolge van verschillende oorzaken energie verliezen. Het energieverlies door de bodemwrijving zal speciaal voor de hoogste golven een factor van betekenis zijn, terwijl ook het continue verlies ten gevolge van "branden" een rol moet spelen (zoals bij stormen van de kust af kan worden waargenomen).

Voor het energieverlies veroorzaakt door wrijving langs de bodem zouden we een ruwe schatting kunnen maken met behulp van door Putnam en Johnson gegeven formules [8]. Uit deze formules kunnen we afleiden, dat het relatieve energieverlies per meter van de lopende golf per m^2 oppervlak bedraagt:

$$\frac{8 k H}{g v} F(h, T),$$

waarin k = wrijvingscoëfficiënt

H = golfhoogte (m)

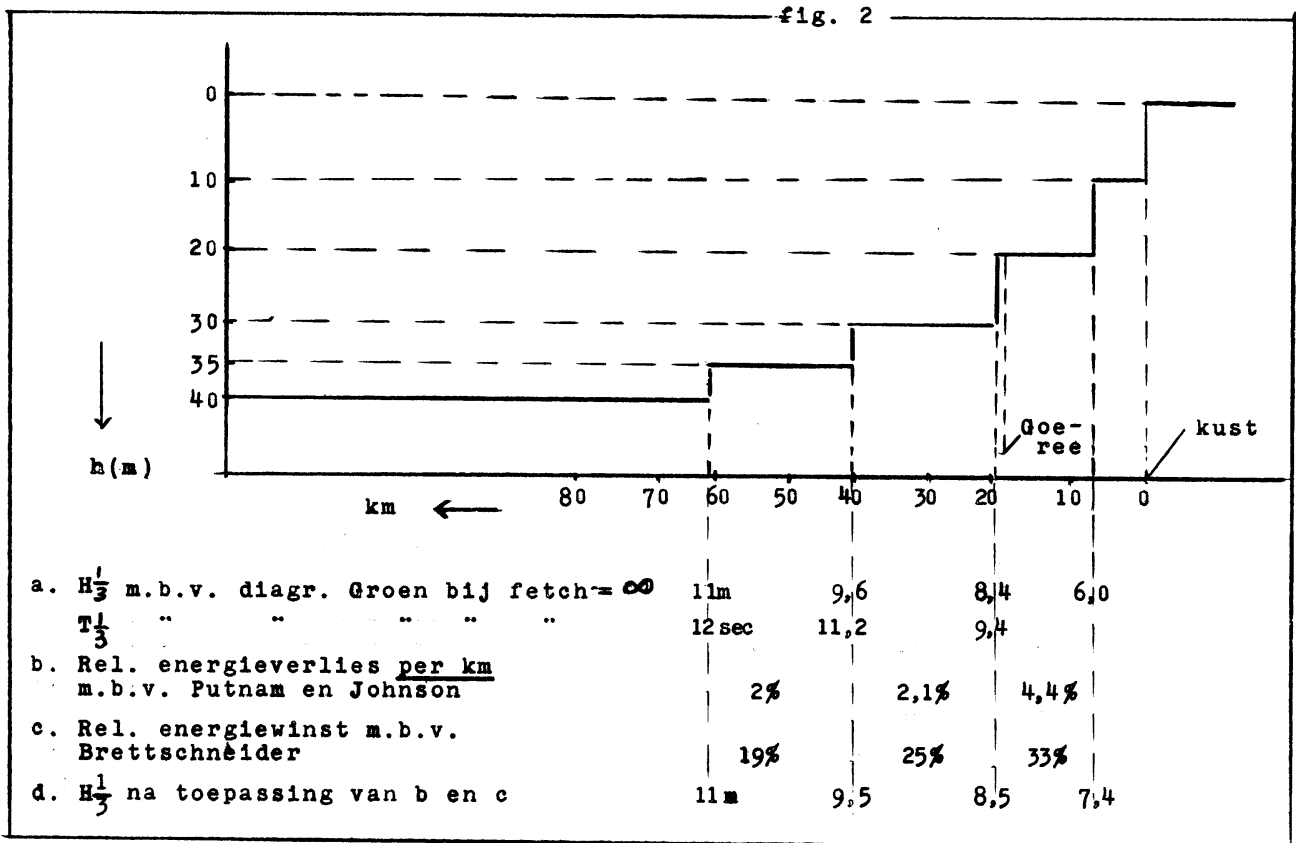
v = groepsnelheid (m/sec)

h = diepte (m)

$$F(h, T) = \frac{4}{3} \pi^2 T^{-3} \left(\sin h \frac{2\pi h}{L} \right)^{-3} \quad (\text{joule}/m^2 \cdot \text{sec})$$

Voorts veronderstellen we een verloop van de diepte, gerekend vanaf het lichtschip Goeree in **WNW** richting, zoals aangegeven in fig. 2. De diepte van 40 m wordt weer aangenomen te bestaan over de gehele Noordzee, terwijl 2 vakken van $22\frac{1}{2}$ km (20 lengteminuten) ten **WNW** van lichtschip Goeree met 35 en 30 m diepte zijn gedacht. (Indien we bij deze windsnelheid

een opzet in rekening brengen van ~ 4 m, dan komt deze diepteverdeling redelijk met de werkelijkheid overeen).



Putnam en Johnson geven voor $k = 0,01$ en voor $F(h, T)$ een tabel met waarden afhankelijk van h en T . Voor de groepsnelheid v , afhankelijk van h en t , zijn waarden gebruikt gegeven door Brettschneider. Toepassing van de formules geeft getallen voor het relatieve energieverlies per m, waarna het verlies over $22\frac{1}{2}$ km is te berekenen (zie fig. 2).

Doordat de golven een wind van 42 m/sec in de rug hebben, wordt het verlies door bodemwrijving gedeeltelijk gecompenseerd door energietoevoer van de wind. Ter berekening hiervan zijn diagrammen van Brettschneider gebruikt.

Hierna is de golfhoogte stap voor stap te berekenen, de resultaten zijn eveneens in fig. 2 opgenomen.

Dicht bij de kust zal de vernietiging van golfenergie door breking plaatsvinden. Zou men geheel afzien van de bodemwrijving dan volgt uit de diagrammen van Groen-Dorrestein, uitgaande van een aanvangssteilheid $s = \frac{11}{230} = 0,048$, dat de brekerhoogte H_b omstreeks 11 m bedraagt, waarna met behulp van de relatie $D_b = 1,3 H_b$ voor de brekerdiepte 14 m zou volgen.

Brengen we de bodemwrijving wel in rekening en gaan we uit van de gevonden golfwaarden op 30 m en op 20 m, dan vinden we voor de brekerdiepte waarden van 10 à 12 m.

In de uitgevoerde berekeningen zitten talrijke veronderstellingen en benaderingen, waardoor de gevonden getallen slechts betrekkelijke waarde hebben en hoogstens een indicatie kunnen zijn. Als conclusie kan worden gesteld:

- a) Bij een storm van 42 m/sec uit NW is er voor de Nederlandse kust t.g.v. de beperkte diepte een bovenste grens gesteld aan de waarde van $H\frac{1}{3}$.
- b) Waarschijnlijk ligt deze bovenste grens ter plaatse van het lichtschip Goeree (diepte ~ 20 m) in de orde van 8 à 9 m en ter plaatse van de 10 m dieptelijn in de orde van 6 à 7 m; deze laatste golven bevinden zich daarbij in de brekingszone.

-o-o-o-

Maandelijke frekwentieverdeling (%) van de windrichting.
Lichtschepen Goeree, Maas en Schouwenbank.

Tabel 1a

	N			NO			O			ZO			Z			ZW			W			NW			Stil		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
jan.	6,7	4,5	4,0	8,0	4,4	3,1	10,4	12,8	11,7	8,0	10,3	9,7	16,5	17,5	17,8	21,1	25,2	27,8	16,1	15,0	15,5	12,8	10,2	10,1	0,5	0,3	0,3
feb.	7,3	6,1	5,3	12,5	7,8	7,4	11,4	15,4	14,7	8,4	13,1	12,2	16,9	15,4	16,2	20,5	21,2	23,6	12,8	11,3	11,1	9,4	8,4	9,1	0,8	1,3	0,6
mrt.	10,5	6,8	5,0	17,0	13,8	14,2	12,6	12,4	13,8	13,5	10,5	11,6	13,2	10,9	10,5	16,4	22,8	21,9	7,1	12,8	13,9	8,5	8,6	8,5	1,2	1,4	0,6
apr.	20,7	14,9	10,2	18,9	19,3	19,8	4,7	8,0	8,2	4,1	6,5	15,9	9,3	7,1	12,4	19,3	20,1	15,2	12,4	11,9	9,7	9,3	10,2	7,6	1,2	2,0	1,0
mei	19,4	14,0	12,1	18,8	24,8	21,1	8,4	10,0	9,0	5,6	5,6	6,3	8,5	5,3	6,4	17,7	18,8	20,8	11,2	10,5	13,6	8,6	8,0	9,4	1,9	3,0	1,4
juni	18,2	17,9	14,1	16,4	15,7	16,7	5,7	6,1	6,8	3,1	4,2	5,3	7,0	4,0	3,9	22,4	21,7	20,0	15,4	14,9	19,3	10,0	13,1	12,3	1,9	2,5	1,6
juli	14,2	12,5	10,2	11,0	12,3	14,1	4,5	4,6	5,8	3,7	5,5	5,8	5,5	4,7	4,3	27,2	25,5	23,9	18,9	19,7	21,0	13,3	13,1	13,1	1,6	2,2	1,8
aug.	10,1	12,5	7,9	8,9	12,1	10,5	5,8	6,6	9,3	7,0	6,8	15,3	9,3	6,4	11,0	26,4	21,9	20,0	17,6	19,7	17,6	13,3	12,6	7,7	1,6	1,4	0,7
sept.	7,3	10,3	9,9	13,3	9,6	11,2	11,1	11,4	13,4	9,5	10,6	8,6	10,1	10,4	8,1	18,3	17,3	17,7	16,0	15,4	16,9	13,3	13,4	13,8	1,1	1,6	0,4
okt.	8,9	7,7	6,0	6,9	7,5	7,6	9,4	11,9	13,9	11,3	12,7	10,0	15,0	15,0	12,9	21,1	18,1	22,4	14,7	14,5	14,5	11,5	11,4	12,3	1,1	1,0	0,4
nov.	10,0	6,6	5,4	6,6	5,1	3,5	11,0	13,3	12,8	10,8	14,3	13,5	23,6	16,5	13,4	15,0	20,6	22,7	12,2	12,2	14,1	10,3	11,0	14,4	0,5	0,4	0,2
dec.	4,1	4,7	4,4	6,0	4,4	3,5	7,6	11,9	11,5	8,5	10,4	8,0	20,2	21,5	19,0	24,4	22,7	26,1	17,7	12,2	14,9	10,9	11,7	12,4	0,5	0,6	0,2
jaar	11,3	9,6	7,6	11,9	12,1	11,1	8,6	9,9	10,9	7,9	9,2	10,3	13,1	10,8	11,0	20,8	21,9	22,5	14,3	13,9	14,8	10,9	11,1	11,2	1,1	1,5	0,7

Tabel 1b

Maandelijke frekwentieverdeling (%) van de windrichting.
Stations Vlissingen en Hoek van Holland.

	N		NO		O		ZO		Z		ZW		W		NW		stil	
	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh	Vs	Hvh
jan.	4	5,6	9	7,8	13	15,0	8	9,3	23	15,1	24	18,2	13	16,1	6	9,4	1	3,2
feb.	7	7,0	15	11,6	13	13,6	7	6,3	16	15,2	20	19,5	14	16,0	7	8,0	1	2,8
mrt.	10	10,7	16	15,4	13	17,8	7	13,2	12	8,4	16	13,7	16	9,5	9	8,2	1	2,9
apr.	15	22,2	14	15,8	10	9,5	5	4,2	9	5,9	15	15,4	19	15,6	12	10,1	1	1,1
mei	17	18,7	17	15,3	11	11,5	6	6,7	9	7,5	14	12,8	16	15,5	10	9,9	1	1,9
juni	14	21,2	11	10,6	7	8,3	4	5,2	7	6,0	16	15,3	26	19,8	15	11,3	1	2,1
juli	9	15,9	9	8,5	7	6,7	5	4,0	10	5,6	20	15,6	28	25,6	13	15,5	0	2,6
aug.	10	10,9	9	5,7	8	8,0	5	6,9	11	11,6	20	17,9	24	22,9	11	12,9	1	3,1
sept.	9	8,2	11	5,6	10	12,8	6	9,1	16	12,6	18	17,8	19	19,3	10	12,0	2	2,6
okt.	6	8,5	13	7,2	13	12,5	6	7,9	19	18,0	19	20,4	14	13,7	8	8,8	1	2,9
nov.	5	9,7	10	7,6	11	13,4	8	12,8	24	19,6	21	13,4	12	12,1	7	9,1	1	2,1
dec.	4	4,0	9	5,5	12	8,7	7	10,4	24	19,3	20	24,2	14	16,0	9	8,7	1	3,2
jaar	9	11,9	12	9,8	11	11,4	6	8,0	15	12,1	18	17,1	18	17,0	10	10,4	1	2,5

Tabel 2a

Maandelijks frekwentieverdeling van de windkracht (Bft). Lichtschip Goeree.

A : Aantal waarnemingen in het tijdvak 1 januari 1949 tot 1 januari 1960.

% : Percentage per maand van de windkracht.

	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		totaal
	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	
jan.	14	0,5	113	4,1	218	8,0	518	19,0	617	22,6	492	18,0	374	13,7	227	8,2	109	3,8	36	1,3	8	0,3	1	<0,1	2727
feb.	21	0,7	123	5,0	271	11,0	567	22,9	625	25,2	427	17,2	279	11,3	122	5,0	31	1,3	8	0,3	2	<0,1	3	0,1	2479
mrt.	32	1,2	211	7,7	418	15,3	661	24,2	778	28,5	345	13,0	175	6,4	75	2,7	24	0,8	6	0,2	2	<0,1	2	<0,1	2729
apr.	30	1,2	138	5,6	305	12,4	638	25,9	682	27,7	407	16,5	197	8,0	53	2,2	12	0,5							2462
mei	47	1,9	179	7,1	339	13,4	689	27,2	762	30,7	360	14,2	104	4,2	34	1,3	5	0,2	4	0,2					2523
juni	46	1,9	178	7,3	339	13,9	678	27,9	751	30,9	336	13,8	90	3,7	15	0,6									2433
juli	40	1,6	145	5,9	292	11,9	590	24,1	664	27,1	427	17,4	223	9,1	48	2,0	16	0,7	4	0,2					2449
aug.	43	1,6	191	7,0	381	14,0	691	25,4	662	24,4	401	14,8	230	8,5	76	2,8	38	1,4	4	0,1	2	<0,1			2719
sept.	26	1,1	117	4,9	256	10,7	550	22,9	660	27,5	449	18,7	241	10,0	65	2,7	27	1,1	8	0,3					2399
okt.	29	1,1	101	3,9	246	9,6	551	21,5	667	26,0	440	17,1	308	12,0	163	6,4	45	1,8	12	0,5	2	<0,1	1	<0,1	2565
nov.	12	0,5	65	2,5	179	6,8	506	19,2	743	28,2	474	18,0	368	14,0	211	8,0	64	2,4	13	0,5	5	0,2			2639
dec.	13	0,5	108	4,0	182	6,7	467	17,1	654	23,9	486	17,8	440	16,1	209	7,7	117	4,3	30	1,1	18	0,7	4	0,1	2728
jaar	353	1,1	1669	5,4	3426	11,1	7106	23,0	8265	26,8	5044	16,3	3029	9,8	1298	4,2	487	1,6	125	0,4	39	0,1	11	<0,1	30852

Tabel 2b

Percentages per maand van het aantal waarnemingen \geq Eft en meer.
Lichtschepen Goeree, Maas en Schouwenbank.

	≥ 1			≥ 2			≥ 3			≥ 4			≥ 5			≥ 6			≥ 7			≥ 8			≥ 9		
	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S	G	M	S
jan.	99,5	98,7	99,6	95,4	91,0	92,9	87,4	73,9	73,7	68,3	46,6	43,5	45,8	25,0	25,3	27,7	12,3	13,0	14,0	5,0	5,2	5,6	1,0	1,9	1,7	0,4	0,6
feb.	99,3	97,9	99,4	94,1	87,0	90,6	83,3	63,0	68,0	60,3	36,5	41,0	35,1	20,2	22,9	17,9	9,9	11,7	6,7	3,5	5,3	1,7	0,3	1,8	0,5	0,2	0,4
mrt.	98,8	98,7	98,3	91,2	83,6	85,3	75,8	60,3	63,0	51,5	32,7	36,3	23,1	15,6	18,9	10,4	7,6	10,4	4,0	2,8	5,0	1,2	0,9	1,3	0,4	0,2	0,3
apr.	98,7	98,1	99,9	93,1	84,2	87,6	80,7	60,8	64,5	54,8	33,6	34,7	27,2	15,3	18,0	10,6	6,7	9,3	2,6	2,3	3,3	0,5	0,3	0,6	-	0,1	0,1
mei	98,2	96,1	98,7	90,6	76,9	82,4	77,5	50,1	54,3	50,3	23,7	27,2	20,1	8,6	12,3	5,8	3,4	5,2	1,7	0,7	1,9	0,4	0,1	0,3	0,2	-	-
juni	98,1	97,4	98,2	90,9	80,1	82,7	77,0	54,2	60,5	49,0	27,4	32,4	18,1	12,2	14,8	4,3	4,0	6,6	0,6	1,1	2,4	-	0,3	0,7	-	0,1	0,2
juli	98,4	97,6	98,1	92,5	80,8	83,7	80,5	53,5	58,7	56,5	27,1	31,9	29,3	11,8	15,9	11,9	4,5	7,5	2,8	1,4	3,2	0,8	0,2	1,2	0,2	-	0,2
aug.	98,3	98,5	99,4	91,3	82,3	86,8	77,5	55,9	63,5	51,9	29,2	33,7	27,6	13,4	15,9	12,9	5,2	7,3	4,4	1,3	2,8	1,6	0,3	0,9	0,2	0,1	0,3
sept.	98,8	98,4	99,7	94,0	84,8	88,4	83,4	60,2	66,4	60,5	33,5	38,6	32,8	17,8	20,6	14,2	9,0	11,4	4,2	3,2	5,0	1,5	0,7	1,8	0,3	0,1	0,3
okt.	98,8	99,1	99,7	95,0	90,4	92,1	85,3	70,5	71,9	63,8	45,4	44,3	37,8	26,0	26,2	20,7	14,4	15,4	8,7	6,3	7,4	2,3	2,2	2,8	0,6	0,5	0,6
nov.	99,6	99,5	99,8	97,1	91,7	94,2	90,4	73,2	76,4	71,1	49,4	49,6	43,1	28,5	32,0	25,0	15,3	19,0	11,1	6,8	9,1	3,1	1,8	3,7	0,7	0,5	1,3
dec.	99,4	99,7	99,8	95,6	92,4	93,8	89,0	76,2	77,0	71,7	49,8	49,9	44,8	28,2	30,6	30,0	14,5	18,9	13,9	6,5	9,3	6,2	2,0	4,4	1,9	0,4	1,7
jaar	98,6	98,5	99,1	93,3	85,5	88,3	82,1	62,6	66,4	58,2	36,2	38,5	32,5	18,5	21,0	16,1	8,9	11,2	6,3	3,4	4,9	2,1	0,9	1,7	0,6	0,2	0,4

Tabel 2c

Percentages per maand van het aantal waarnemingen \times m/sec en meer.
Station Vlissingen, 1921 t/m 1950.

	≥ 1	≥ 3	≥ 5	≥ 7	≥ 9	≥ 11	≥ 14	≥ 17	≥ 19
jan.	99	87	64	41	22,8	12,0	4,3	1,3	0,5
feb.	98	82	57	36	20,1	10,5	3,1	0,8	0,3
mrt.	98	78	49	27	11,4	4,5	1,1	0,2	0,1
apr.	98	81	53	30	13,8	6,3	1,7	0,3	0,1
mei	98	77	44	22	7,9	2,6	0,6	0,2	$< 0,05$
juni	98	79	46	23	8,7	3,5	0,8	0,1	$< 0,05$
juli	98	78	47	26	12,0	4,4	0,9	0,1	$< 0,05$
aug.	97	77	47	25	11,1	4,3	0,8	0,1	$< 0,05$
sept.	97	76	48	27	12,4	5,3	1,6	0,5	0,2
okt.	97	80	54	34	18,3	8,7	2,7	0,7	0,2
nov.	98	82	61	37	20,4	10,5	3,4	0,9	0,4
dec.	98	83	60	39	21,3	10,7	3,4	1,1	0,4
jaar	98	80	52	30	14,9	6,9	2,0	0,5	0,2

Percentages per maand van het aantal waarnemingen \times knopen en meer
(1 kn = 0,51 m/sec).

Station Hoek van Holland, 1949 t/m 1958.

	≥ 1	≥ 5	≥ 9	≥ 13	≥ 17	≥ 22	≥ 27	≥ 32	≥ 37
jan.	97	87	68	52	33,8	20,1	7,8	3,7	1,2
feb.	97	85	65	47	29,9	14,3	5,8	1,3	0,3
mrt.	97	84	58	37	21,7	11,9	4,7	1,9	0,6
apr.	99	89	66	46	28,4	11,9	3,6	1,4	0,5
mei	98	86	60	38	20,8	7,2	1,7	0,4	0,2
juni	98	87	61	37	18,7	6,2	2,0	0,2	$< 0,05$
juli	97	87	64	44	27,9	14,8	5,1	1,7	0,4
aug.	97	84	58	39	26,1	13,1	5,1	1,3	0,1
sept.	97	87	64	46	30,6	15,8	6,2	1,7	0,3
okt.	97	83	60	44	28,6	14,6	6,1	2,0	0,8
nov.	98	87	67	48	31,3	16,9	5,6	2,1	0,7
dec.	97	87	67	51	34,9	18,5	8,8	4,0	1,8
jaar	97	86	63	44	27,7	13,7	5,2	1,8	0,6

Tabel 3b

Aantal waarnemingen van de verschillende combinaties van windrichting en windkracht. Lichtschip Goeree, 1949 t/m 1959.

		<u>januari</u>											
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N		7	16	43	29	26	28	17	11	5			
NO		10	16	36	62	46	30	12	7				
O		9	21	68	64	51	41	21	6	4			
ZO		13	32	50	65	33	19	5					
Z		29	49	94	114	90	37	21	9	6			
ZW		16	34	113	143	106	100	41	16	6			
W		17	25	70	87	81	60	46	33	11	7	1	
NW		12	25	44	53	59	59	64	27	4	1		
Stil	14												
Totaal	14	113	218	518	617	492	374	227	109	36	8	1	(2727)

		<u>februari</u>											
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N		12	25	35	49	21	21	9	6	2	1	1	
NO		15	22	75	72	62	39	18	3	3			
O		10	33	50	69	52	36	34					
ZO		20	50	62	54	15	5			1			
Z		25	51	115	107	69	34	10	5	2			
ZW		22	41	121	148	94	65	13	3				
W		9	32	67	74	67	43	21	5				
NW		10	17	42	52	47	36	17	9		1	2	
Stil	21												
Totaal	21	123	271	567	625	427	279	122	31	8	2	3	(2479)

		<u>maart</u>											
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N		28	61	65	66	40	19	4	2	1	1	1	
NO		25	57	112	153	59	35	13	9				
O		26	47	80	116	53	19	2					
ZO		34	74	121	118	20	1						
Z		45	65	113	93	26	11	5	2				
ZW		24	51	94	127	70	40	33	9				
W		16	34	40	45	34	16	7	1	1			
NW		13	29	36	60	43	34	11	1	4	1	1	
Stil	32												
Totaal	32	211	418	661	778	345	175	75	24	6	2	2	(2729)

Table 3b (vervolg)

		<u>april</u>										
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		16	39	127	143	118	54	10	2			
NO		17	54	96	149	98	46	5	1			
O		12	19	25	37	19	4					
ZO		21	27	34	17	3						
Z		24	44	58	54	29	19	2				
ZW		17	59	121	149	70	47	12				
W		18	43	102	78	32	16	12	4			
NW		13	20	75	55	38	11	12	5			
Stil	30											
Totaal	30	138	305	638	682	407	197	53	12			(2467)
		<u>mei</u>										
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		21	47	111	169	105	31	7				
NO		21	51	128	165	85	13	11				
O		25	32	75	59	15	5	1				
ZO		28	44	44	22	2						
Z		20	49	73	55	11	4	2				
ZW		27	54	112	139	67	36	10	2			
W		18	39	89	82	38	8	2	3	3		
NW		19	23	57	71	37	7	1		1		
Stil	47											
Totaal	47	179	339	689	762	360	104	34	5	4		(2523)
		<u>juni</u>										
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		25	35	108	177	76	20	1				
NO		29	63	89	145	64	10					
O		16	26	49	40	6	1					
ZO		14	16	37	4	4	1					
Z		21	39	64	31	10	3	1				
ZW		20	63	155	165	89	41	13				
W		32	64	104	110	55	9					
NW		21	33	72	79	32	5					
Stil	46											
Totaal	46	178	339	678	751	336	90	15				(2433)

Tabel 3b (vervolg)

		<u>juli</u>											
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N		28	40	93	111	68	7	1					
NO		22	51	64	86	41	3	3					
O		18	22	36	33	2							
ZO		10	30	30	20								
Z		13	27	48	31	14	2						
ZW		19	54	118	161	153	117	31	9	3			
W		23	42	109	123	91	57	11	7	1			
NW		12	26	92	99	58	37	2					
Stil	40												
Totaal	40	145	292	590	664	427	223	48	16	4			(2449)

		<u>augustus</u>											
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N		24	49	88	58	42	12	1					
NO		25	50	70	72	24	2						
O		24	29	51	47	7							
ZO		23	51	81	31	4							
Z		29	40	71	63	29	16	4	1				
ZW		28	63	145	179	148	94	42	16	2			
W		17	46	92	127	100	62	21	12	1	1		
NW		21	53	93	85	47	44	8	9	1	1		
Stil	43												
Totaal	43	191	381	691	662	401	230	76	38	4	2		(2719)

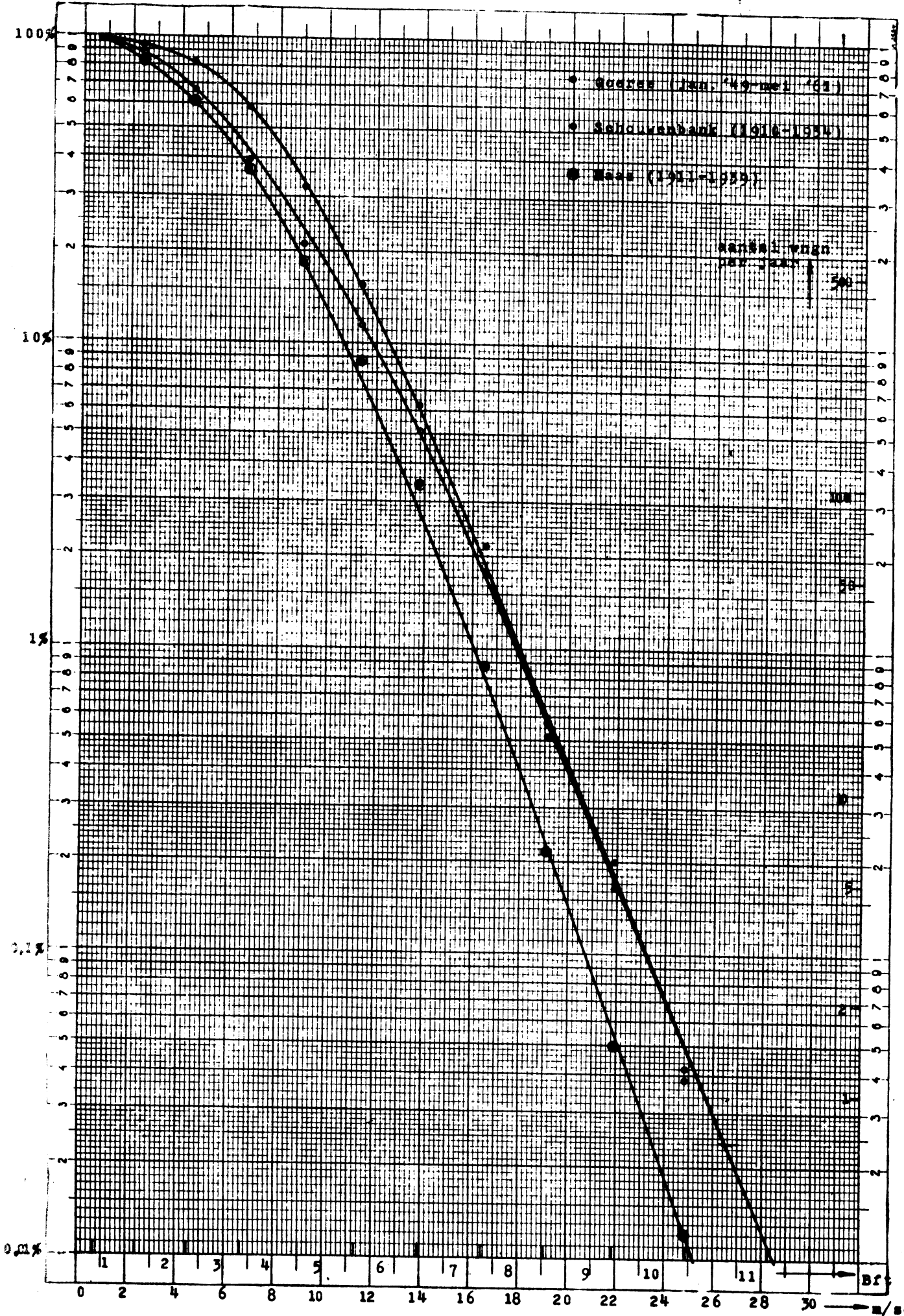
		<u>september</u>											
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N		16	20	44	53	25	14	2					
NO		16	43	104	94	51	9	2					
O		21	38	80	90	29	8	1					
ZO		15	49	85	49	21	10						
Z		16	36	57	68	38	19	7	1				
ZW		16	32	74	114	103	66	14	16	3			
W		12	19	46	102	109	56	27	9	5			
NW		5	19	60	90	73	59	12	1				
Stil	26												
Totaal	26	117	256	550	660	449	241	65	27	8			(2399)

Tabel 3b (vervolg)

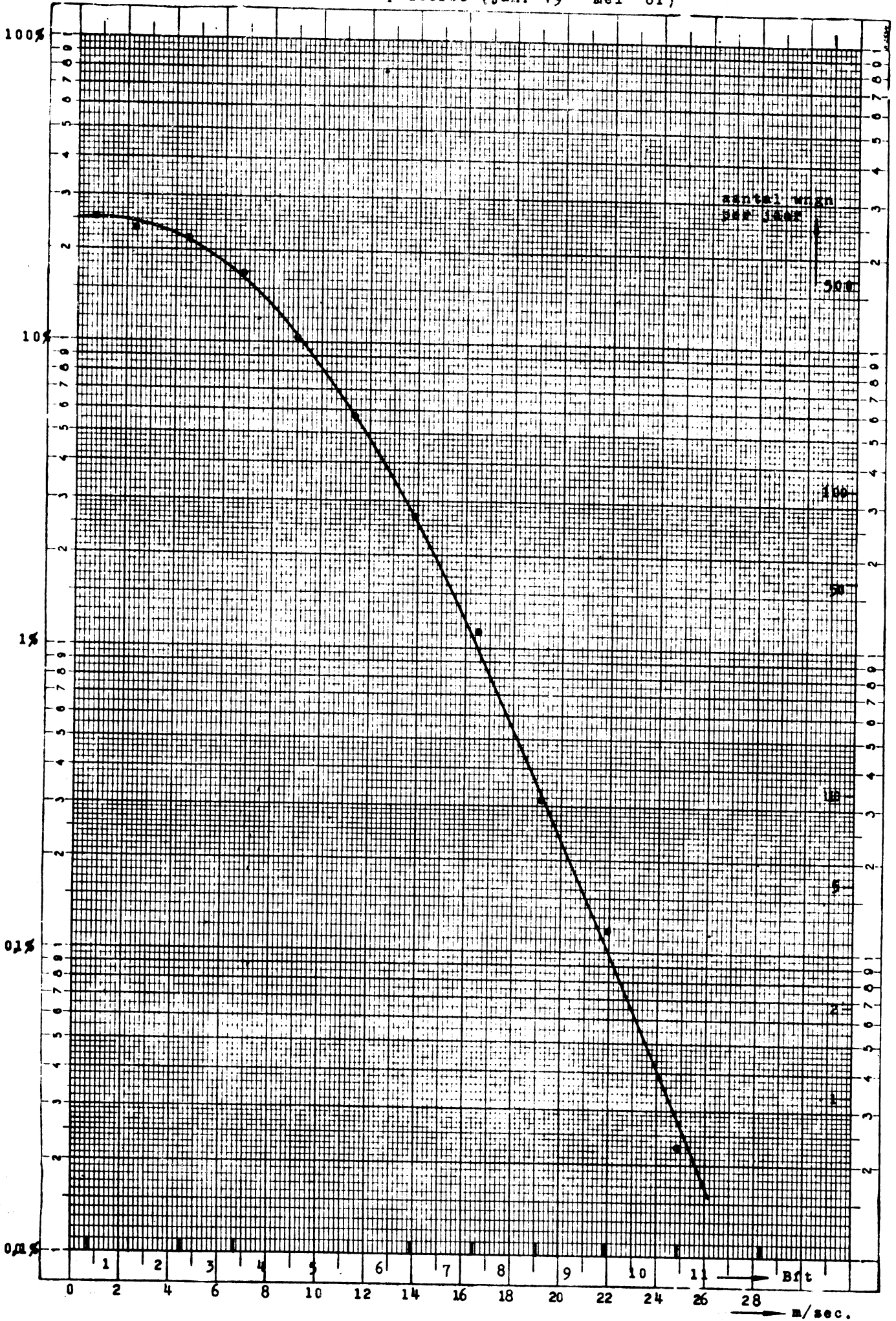
		<u>oktober</u>										
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		12	24	45	61	34	31	18	2			
NO		10	37	49	33	24	7	12	3	1		
O		13	29	67	81	36	14	2				
ZO		13	47	105	94	25	5	2				
Z		21	42	108	87	67	37	20	2	1		1
ZW		10	36	89	141	109	106	37	9	3	2	
W		12	16	49	95	85	65	38	13	4		
NW		10	15	39	75	60	43	34	16	3		
Stil	29											
Totaal	29	101	246	551	667	440	308	163	45	12	2	1 (2565)

		<u>november</u>										
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		3	24	41	66	52	44	20	5	5	3	
NO		7	17	37	44	29	28	10	2			
O		8	27	79	97	55	16	8	1			
ZO		15	35	86	80	31	21	16	2			
Z		16	37	113	184	126	85	43	17	1		
ZW		7	17	53	111	68	87	39	11	2	1	
W		4	13	63	89	45	48	46	11	4		
NW		5	9	34	72	68	39	29	14	1	1	
Stil	12											
Totaal	12	65	179	506	743	474	368	211	63	13	5	(2639)

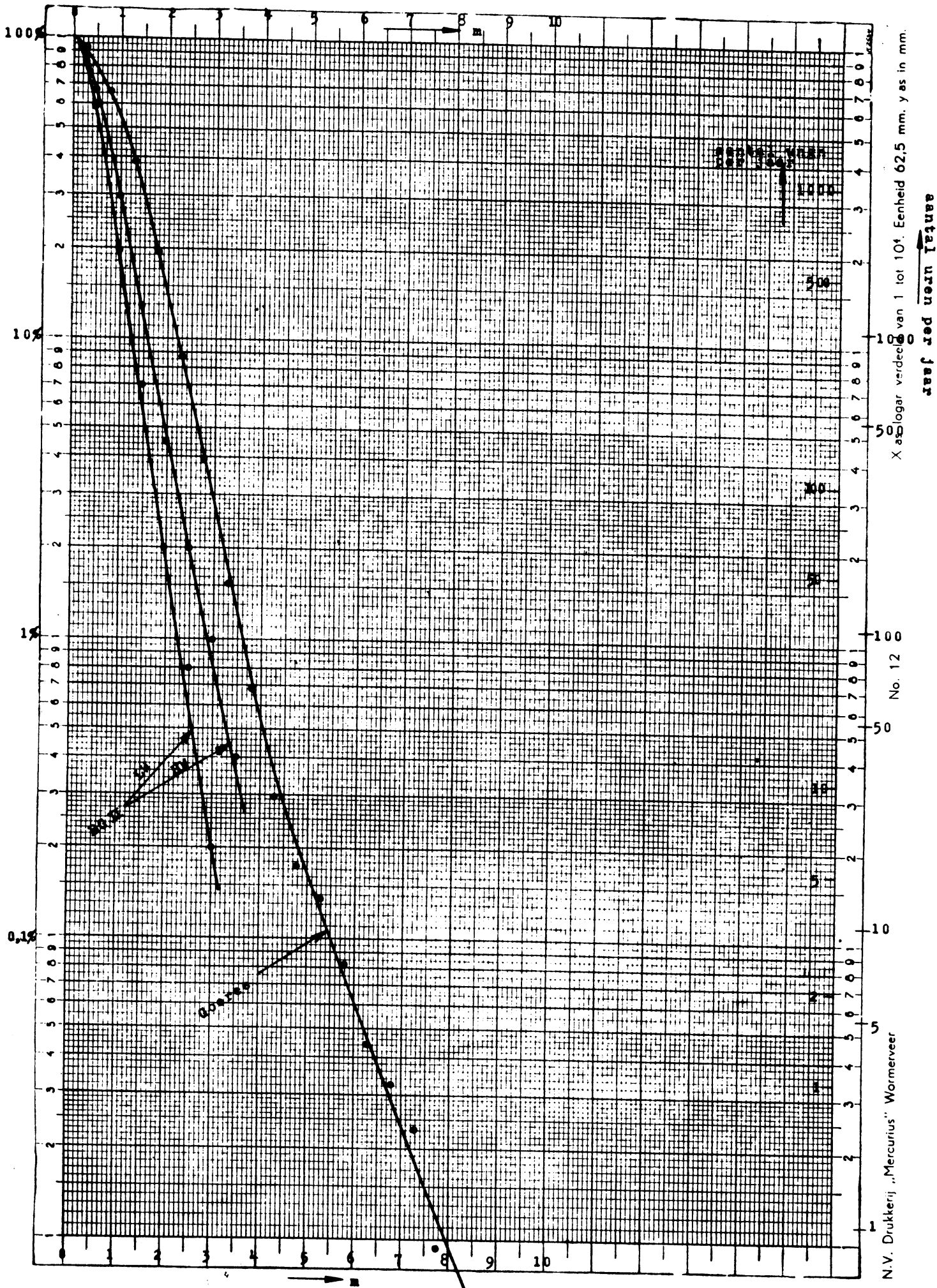
		<u>december</u>										
Bft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		7	6	20	35	24	14	6				
NO		4	11	37	41	20	32	17	2			
O		14	14	61	74	17	20	7				
ZO		17	24	55	60	38	15	10	11	2		
Z		23	42	101	140	119	80	27	18	2	1	
ZW		16	50	97	152	128	118	71	30	4		
W		17	20	63	88	99	90	47	42	11	6	
NW		10	15	33	64	41	71	24	14	11	11	4
Stil	13											
Totaal	13	108	182	467	654	486	440	209	117	30	18	4 (2728)



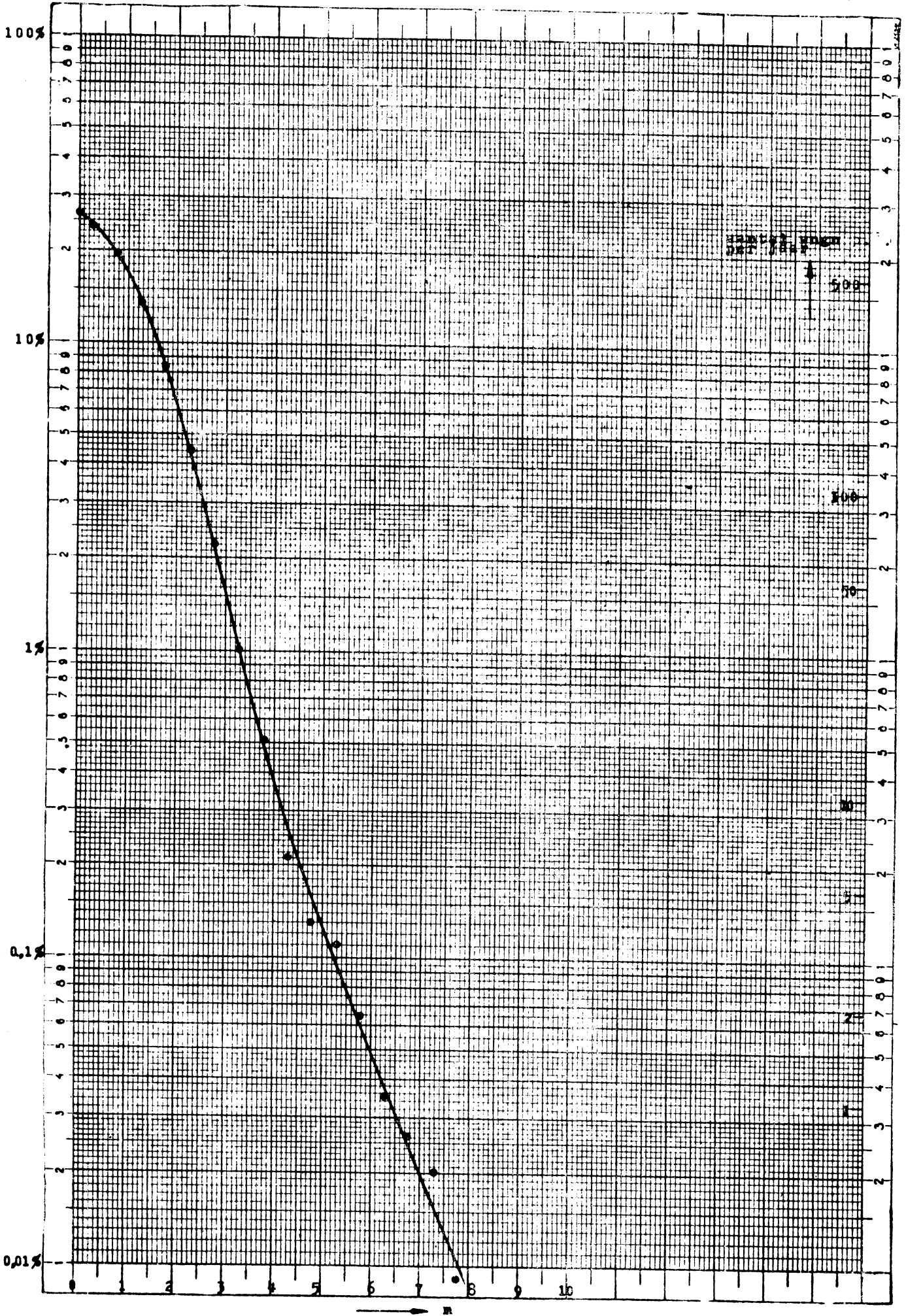
X as logar verdeeld van 1 tot 101. Eenheid 62,5 mm. y as in mm.



X as logar verdeeld van 1 tot 101. Eenheid 62,5 mm. y as in mm.

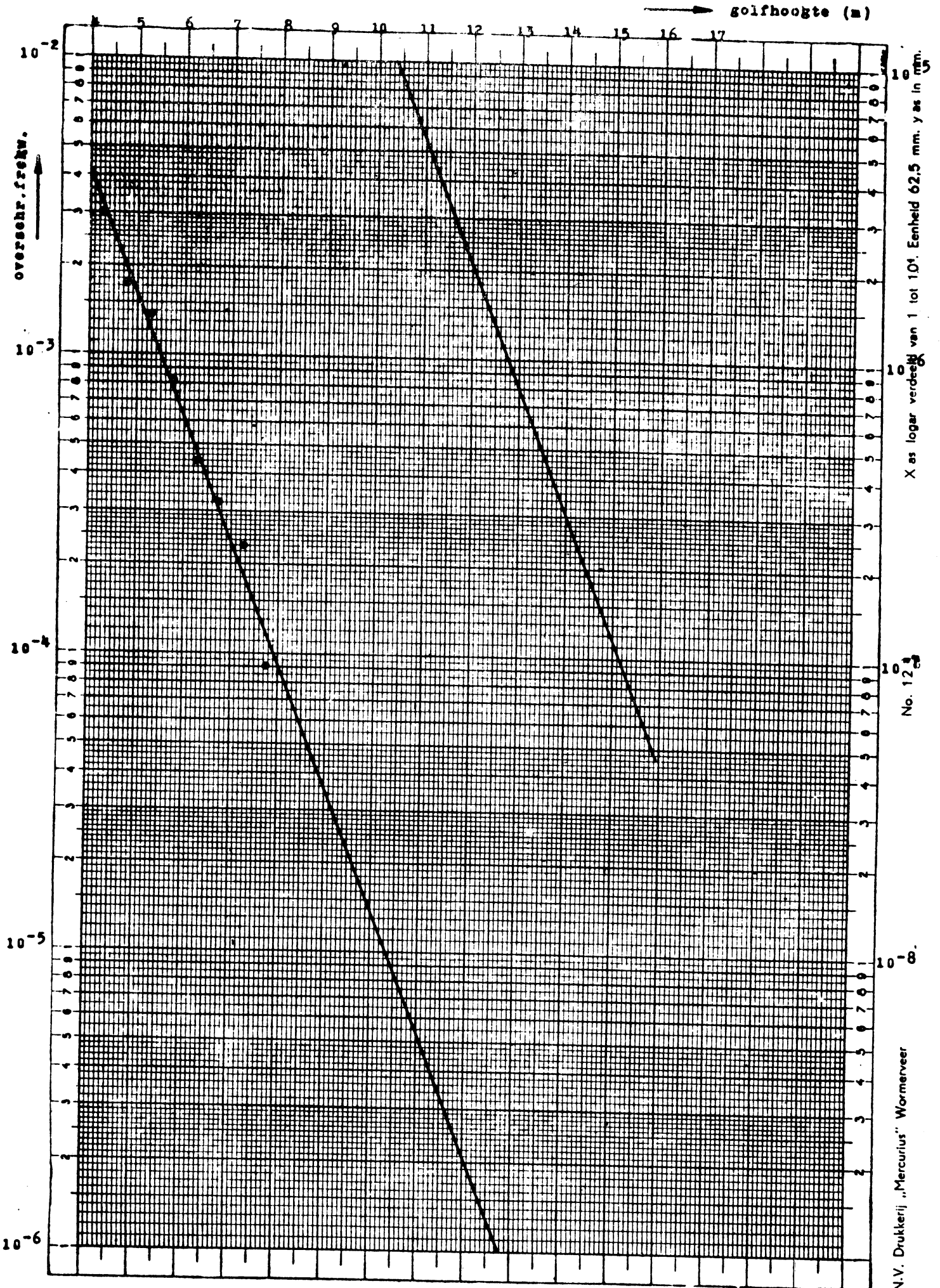


Bijlage 4 Overschrijdingskromme golfhoogten, gepaard gaande met wind uit de sector W en NW (250 t/m 330°) - Lichtschip Goeree (jan. '49 - mei '61).



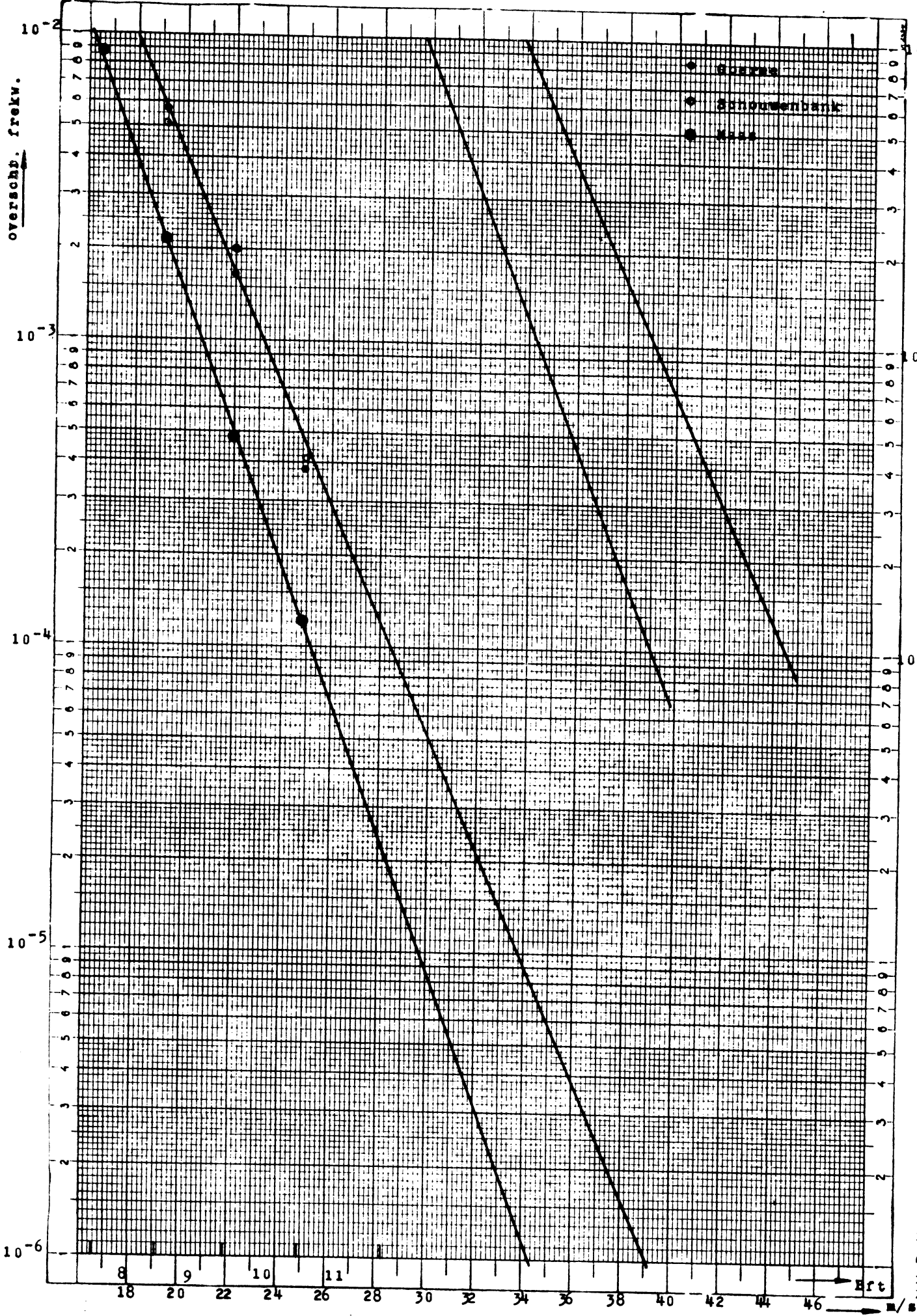
X as logar verdeeld van 1 tot 10¹. Eenheid 62.5 mm. y as in mm.

Bijlage 5 Extrapolatie golfhoogten lichtschip 3oerec.



X as logar verdeeld van 1 tot 10¹. Eenheid 62,5 mm. y as in mm.
 No. 12
 N.V. Drukkerij „Mercurius“ Wormerveer

Bijlage 6 Extrapolatie windsnelheid lichtschepen Goeree, Schouwenbank en Maas.



X as logar verded van 1 tot 101. Eenheid 62,5 mm. y as in μm .

No. 127

N.V. Drukkerij „Mercurius” Wormerveer

Literatuur

1. G. Verploegh, Klimatologische gegevens van de Nederlandse lichtschepen over de periode 1910-1940.
Med. en Verh. KNMI, nr. 67.
2. Meteorologische en Oceanografische waarnemingen verricht aan boord van Nederlandse lichtschepen in de Noordzee.
Jrg 1 t/m 11, 1949 t/m 1959.
3. G. Verploegh, The equivalent velocities for the Beaufort estimates of the wind force at sea.
Med. en Verh. KNMI, nr. 66.
4. R. Dorrestein, Aantal en duur van perioden met hoge windkracht en met hoge golven, waargenomen op het lichtschip "Goeree" in de jaren 1949 t/m 1954.
Wetensch. Rapport KNMI W.R. 55-010.
5. R. Dorrestein, Enkele statistieken betreffende wind- en golfwaarnemingen lichtschip "Goeree".
Verslagen KNMI, V-45.
6. P.J. Wemelsfelder, Golfamplitudeschrijver type S64.
Rapport Rijkswaterstaat 1957.
7. P. Groen en R. Dorrestein, Zeegolven 1958.
8. J.A. Putnam en J.W. Johnson, The dissipation of wave energy by bottom friction.
T.A.G.U. Vol 30 nr. 1. Feb. 1949.
9. C.L. Brettschneider, Generation of wind waves over a shallow bottom.
Beach Erosion Board 1954.