

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslag V-147

A.C. Bakker

Statistisch onderzoek naar stormen,
waargenomen te Den Helder en Hoek van Holland

De Bilt, 1964

Statistisch onderzoek naar stormen, waargenomen te Den Helder
en Hoek van Holland

door

A.C. Bakker.

1. Inleiding

Vrijwel alle werken, die door Rijkswaterstaat in de open lucht worden uitgevoerd, zijn sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Zal de aanleg van bijv. wegen worden beïnvloed door regen, zeer hoge en zeer lage temperaturen (vorst), in nog meerdere mate zal de afhankelijkheid van het weer worden gevoeld bij de grote waterstaatswerken, zoals die momenteel op diverse plaatsen aan de Nederlandse kust in uitvoering zijn. Bij deze werken moeten in de eerste plaats wind, mist en golfbeweging van het water worden genoemd als de factoren, die de werkbaarheid kunnen beïnvloeden.

Het onderhavige rapport is speciaal gewijd aan de wind en wel alleen die wind, waarvan moet worden aangenomen, dat ze hinder veroorzaakt voor de werken nabij de Nederlandse kust.

In de praktijk blijken vanaf 7 Beaufort vrijwel alle windgevoelige werken moeilijkheden te ondervinden. Daarom zijn bij het onderzoek uit dit rapport vrijwel alleen windsnelheden van 15 m/sec en hoger betrokken.

Van de Nederlandse kuststations werden de waarnemingen van Den Helder het meest geschikt geacht voor bewerking, daar dit het enige kuststation is met een lange homogene waarnemingsserie, nl. reeds vanaf juni 1922. Het station Vlissingen, dat gezien de ligging nabij de Deltawerken in de eerste plaats voor een bestudering van de windwaarnemingen in aanmerking zou komen, is vele malen verplaatst, wat de waarnemingen sterk heeft beïnvloed [1]; van een bewerking van de waarnemingen van dit station is daarom geheel afgezien. Bovendien heeft het station Den Helder nog het voordeel, dat hierbij kan worden aangesloten bij onderzoekingen van anderen. [1 en 2].

Om toch nog een correspondentie te krijgen tussen de windwaarnemingen van Den Helder en de wind in ZW. Nederland, is getracht een koppeling tot stand te brengen met het station Hoek van Holland (zie par. 9 en 10).

Van de grootheden, die van belang moeten worden geacht bij de planning van waterbouwkundige werken, zijn in de hiernavolgende paragrafen frequentieverdelingen per maand en per seizoen afgeleid. Zo worden besproken de verdeling van het aantal stormdagen (par. 3), het aantal uren ≥ 15 m/sec per

maand (par. 4), het aantal stormen (par. 5), de stormduur (par. 6), de maximum windsnelheid die 1 maal per N jaren wordt overschreden (par. 8) en tenslotte de relatie van deze grootheden met die te Hoek van Holland (par. 9 en 10).

Het is altijd twijfelachtig of men aan bepaalde resultaten een prognostische waarde mag toekennen, omdat altijd de mogelijkheid van kleine klimaatschommelingen (in dit geval schommelingen van het windklimaat) aanwezig is. Deze reserve moet men zich bij ieder gebruik van de in dit rapport verkregen resultaten steeds realiseren.

2. Enkele afspraken en definities

- a De cijfers, die het uitgangspunt vormen voor dit rapport zijn uurgemiddelden van windrichting en windsnelheid van het station Den Helder, uit het tijdvak 1 juni 1922 tot 1 juli 1962, met een onderbreking van september 1944 t/m mei 1945.
- b De windrichting is verdeeld in 32 streken, 02 = NNO, 04 = NO, 06 = ONO enz.
- c De windsnelheid wordt steeds uitgedrukt in m/sec.
- d Het instrument, waarmee de wind te Den Helder wordt gemeten, is van het type Dines, dat werkt volgens het Pitot-buissysteem.
- e Vaak is een verdeling gemaakt in zomer- en winterhalfjaar. Onder het zomerhalfjaar worden verstaan de maanden april t/m september, onder het winterhalfjaar de maanden oktober t/m maart.

3. Aantal stormdagen

Onder een stormdag wordt verstaan een dag, waarop ten minste op een van de 24 uren een uurgemiddelde van de windsnelheid van $\gg 15$ m/sec is voorgekomen.

Uit een oogpunt van werkbaarheid kan het aantal stormdagen per maand een belangrijke maatstaf zijn voor het "productieverlies". Eigenlijk zou een scheiding moeten worden gemaakt tussen "overdag" en "snachts", omdat het meeste werk overdag wordt verricht. Hiervan is echter afgezien vanwege het feit, dat in het basismateriaal een splitsing in dag en nacht een zeer moeizame arbeid zou zijn en tevens op grond van de overweging, dat met name in het zomerhalfjaar veel werk op een zeer vroeg uur aanvangt of tot 's avonds laat voortduurt.

Het is mogelijk, dat bepaalde werken beschut liggen voor wind uit een bepaalde richting; daarom is bij het beschouwen van het aantal stormdagen nog een splitsing gemaakt in 3 groepen: windrichting ZZW-W, windrichting WNW-N en alle windrichtingen.

Ter onderlinge vergelijking van het aantal stormdagen in de verschillende maanden is het gemiddeld aantal stormdagen per maand uitgezet tegen de maanden, zie fig. 1. De zomer als "rustig seizoen" springt duidelijk naar voren.

Naast de kennis van het gemiddelde kan het van belang zijn iets te weten over de kans per maand op een veel groter resp. kleiner aantal stormdagen dan het gemiddelde. Dit gegeven kan worden verkregen door voor iedere maand overschrijdingskrommen van het aantal stormdagen te tekenen.

Omdat bij een beschouwing van de verdeling van het aantal stormdagen in bijv. het winterhalfjaar blijkt, dat tussen de diverse maanden onderling weinig verschil bestaat, is besloten, mede gezien de omvang die dit rapport zou aannemen als de overschrijdingskrommen voor alle maanden apart zouden worden bijgeleverd, de maanden van het winter- resp. het zomerhalfjaar samen te nemen. Aldus is uit het materiaal van de maanden april t/m september de verdeling van het aantal stormdagen voor de "gemiddelde zomermaand" afgeleid.

Op gelijke wijze is gehandeld met betrekking tot de "gemiddelde wintermaand" (oktober t/m maart). Voor resultaten zie fig. 3 (alleen windrichting ZZW-W), fig. 4 (alleen windrichting WNW-N) en fig. 5 (onafhankelijk windrichting).

De aldus in deze figuren verkregen gemiddelde kromme zal van de kromme geldend voor 1 maand weinig afwijken; slechts de lijnen van de "overgangsmoanden" maart en april wijken af van de kromme voor het betreffende halfjaar. De overschrijdingslijn voor deze twee maanden is gestippeld in de fig. 3, 4 en 5 ingetekend.

Het criterium voor een stormdag lag in deze paragraaf bij ≥ 15 m/sec. Door dit criterium te verleggen (bijv. naar $17\frac{1}{2}$ en 20 m/sec) krijgen we een indruk van de "zware storm"-dagen. In fig. 2 is de verdeling hiervan over het jaar in beeld gebracht.

4. Aantal uren per maand met gemiddelde windsnelheid ≥ 15 m/sec.

We beschouwen nu het aantal stormuren per maand, waarbij de vraag, hoe deze uren over de maand zijn verdeeld, buiten beschouwing wordt gelaten; dit wordt behandeld in paragraaf 6.

Het gemiddelde aantal stormuren in de verschillende maanden, alsmede het gemiddelde percentage van de tijd, dat de windsnelheid de 15 m/sec overschrijdt, is weergegeven in resp. fig. 6 en fig. 7.

Voorts zijn, in analogie met par. 3, in fig. 8 getekend de overschrijdingsfrequenties voor de "gemiddelde wintermaand" en de "gemiddelde zomermaand".

Gemiddeld bedraagt het aantal uren in de "wintermaand" 28 en in de "zomermaand" 10. Het blijkt uit fig. 8, dat dit gemiddelde 's winters met slechts 40% en 's zomers met slechts 34% kans wordt overschreden.

5. Aantal stormen

Bij een bestudering van het aantal stormen per maand, seizoen of jaar komt onmiddellijk de vraag naar voren hoe hierbij een storm moet worden gedefinieerd. Met name geldt dit dus de vraag of een onderbreking in een storm moet worden toegelaten of dat in zo'n geval van 2 stormen moet worden gesproken.

In vroegere publikaties is dit probleem eveneens aan de orde geweest, zie G. Verploegh - Stormstatistieken van de Nederlandse Lichtschepen [4]. In deze verhandeling over de lichtschepen werden in een stormperiode (waarnemingen ≥ 7 Bft) onder bepaalde voorwaarden geïsoleerde waarnemingen van 6 Bft toegelaten.

In het onderhavige geval stuit het letterlijk overnemen van deze methode op moeilijkheden. Naast het bezwaar dat met het toetsen van de windsnelheden uit de onderbrekingsuren aan een gelijkwaardig criterium een bijzondere hoeveelheid werk zou zijn gemoeid, biedt zich (in acht nemende het doel van dit rapport, nl. het probleem onwerkbaar weer) een betere mogelijkheid aan en wel in het toestaan van een onderbreking vast te leggen in een tijdsduur. Daartoe is aangenomen dat voor de meeste werken op het water de tijd van een storm, die een onderbreking vertoont van maximaal 5 uren, in zijn geheel als onwerkbaar moet worden beschouwd.

Voorts was het gewenst alleen stormen van een redelijk formaat te beschouwen en het grote aantal zeer kort durende stormen (< 3 uur) te elimineren. Een uitzondering wordt hierbij gemaakt voor de zeer korte stormen, die toch "zwaar" waren, waarbij het kenmerk "zwaar" werd gelegd op stormen met windsnelheden ≥ 17 m/sec.

Op grond van het bovenstaande werd een storm als volgt gedefinieerd:

Een storm is een min of meer aaneengesloten periode met gemiddelde uurlijkse windsnelheid ≥ 15 m/sec, waarbij:

- a de periode een lengte moet hebben van tenminste 3 uren, tenzij de windsnelheid ≥ 17 m/sec bereikt;
- b onderbrekingen mogen voorkomen van ≤ 5 uren.

Op deze algemene regel is een enkele maal nog weer een uitzondering gemaakt en is een storm in 2 delen gesplitst, nl. in die gevallen waarin tijdens een tijdelijke windafname een markante windrichtingsprong optrad ($> 45^\circ$).

Met bovengenoemde definitie als basis, zijn de aantallen stormen per maand, gesplitst naar windrichting, geteld.

De richting van de storm wordt bepaald door de windrichting behorende bij de maximale uurgemiddelde windsnelheid, die in de storm voorkwam. (Men zou de richting van de storm ook kunnen vastleggen door de windrichting waaruit de storm het grootste aantal uren heeft gewaaid. Uit een steekproef bleek, dat

dit geen invloed heeft op de resultaten in tabel 1. Anders gezegd, draait tijdens de storm de windrichting van bijv. W naar NW, dan valt het maximum van de storm vrijwel altijd in dat gedeelte, dat het langst duurt).

Het totale aantal getelde stormdagen bedroeg 924. We krijgen nu tabel 1.

Tabel 1. Gemiddeld aantal stormen per maand

	<u>april</u>	<u>mei</u>	<u>juni</u>	<u>juli</u>	<u>aug.</u>	<u>sept.</u>	<u>gemiddeld per zomermaand</u>
ZZW-W	0,8	0,3	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5
WNW-N	0,7	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,4
Alle richtingen	1,9	0,9	0,6	0,8	0,9	1,2	1,0

	<u>okt.</u>	<u>nov.</u>	<u>dec.</u>	<u>jan.</u>	<u>feb.</u>	<u>mrt.</u>	<u>gemiddeld per wintermaand</u>
ZZW-W	1,8	1,5	2,0	2,3	1,2	0,7	1,6
WNW-N	1,1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9
Alle richtingen	3,2	2,7	3,5	3,7	2,6	1,8	2,9

Uit de tabel blijkt (evenals dat bleek bij het aantal stormdagen en het aantal stormuren) dat het winterseizoen abrupt inzet in oktober en slechts geleidelijk afloopt in het voorjaar.

Gesplitst naar de diverse windrichtingen geven de figuren 9 en 10 de overschrijdingsfrequenties van het aantal stormen per maand.

Het aantal stormen uit ZW. richting blijkt in de winter en zomer omstreeks 50% groter te zijn dan het aantal uit NW. richting.

Voorts is nagegaan of de alhier gevonden verdeling van het aantal stormen per maand is weer te geven door de verdeling van Poisson ($f(x) = e^{-u} \frac{u^x}{x!}$, waarin u = gemiddelde van de verdeling en x de waarden 0, 1, 2 enz. heeft).

aantal stormen per maand	waargenomen gemiddelde per maand		Poisson	
	<u>zomer</u>	<u>winter</u>	<u>zomer</u>	<u>winter</u>
0	18,2	6,3	14,3	2,1
1	11,0	7,5	14,3	6,1
2	5,3	6,7	7,2	8,9
3	2,8	4,3	2,4	8,7
4	1,3	3,5	0,6	6,4
5	0,5	4,3	0,1	3,7
6	0,3	3,2	0,02	1,8
7		1,5		0,9
8		0,7		0,3

Toepassing van de χ^2 toets op het materiaal van de wintermaanden levert een χ^2 waarde van 9,25 bij 3 vrijheidsgraden; hieruit volgt een overschrijdingskans $P = 0,02$. De verdeling van het aantal stormen in de wintermaanden is dus niet door Poisson weer te geven.

Voor de zomermaanden krijgen we een χ^2 waarde van 3,15 bij 2 vrijheidsgraden. Dan wordt $P = 0,35$. De verdeling van het aantal stormen in de zomermaanden voldoet dus aan de verdeling van Poisson.

Tenslotte zij vermeld, dat het aantal kortdurende (< 3 uur) zware stormen (≥ 17 m/sec) in 39 jaar 41 bedroeg; uit de richtingen ZZW-W en WNW-N waren deze aantallen resp. 21 en 13.

6. Stormduur

6.1 Stormen gedefinieerd volgens het gestelde in paragraaf 5

De kortdurende stormen, die minder dan 3 uur duurden, zijn nu alle buiten beschouwing gelaten.

In tabel 2 is aangegeven de gemiddelde duur, gesplitst naar stormen met windrichting ZZW-W en WNW-N. Het totaal aantal stormen uit deze richtingen bedroeg resp. 445 en 279.

Tabel 2. Gemiddelde stormduur (in uren)

	jan.	feb.	mrt.	apr.	mei	juni
ZZW-W	9,8	9,4	7,9	8,3	9,5	8,5
WNW-N	9,5	15,3	8,6	11,6	10,8	12,1
	<u>juli</u>	<u>aug.</u>	<u>sept.</u>	<u>okt.</u>	<u>nov.</u>	<u>dec.</u>
ZZW-W	10,2	9,7	10,0	9,2	11,5	10,8
WNW-N	11,4	11,8	7,6	10,3	14,3	12,6

Uit tabel 2 blijkt duidelijk, dat een jaarlijkse gang in de duur niet valt te onderscheiden.

De figuren 11 en 12 geven de overschrijdingsfrequenties van de stormduur voor stormen met windrichting ZZW-W en WNW-N, nog weer gesplitst naar winter- en zomerhalfjaar. Geconcludeerd kan worden (dat volgt ook uit tabel 2) dat de duur van NW-stormen groter is dan die van ZW-stormen.

Voorts blijkt dat voor NW-stormen de kans op een bepaalde lange duur 's zomers kleiner is dan 's winters, maar dat voor ZW-stormen de kans op een bepaalde lange duur in de zomer even groot is als in de winter.

6.2 Duur van aaneengesloten perioden met windsnelheid ≥ 15 m/sec

We zien geheel af van de in par. 5 gegeven definitie van een storm en beschouwen nu uitsluitend de lengte van ononderbroken perioden met windsnelheid ≥ 15 m/sec. We krijgen dan tabel 3.

Tabel 3. Gemiddelde duur (uren) van aaneengesloten perioden met windsnelheid ≥ 15 m/sec

<u>jan.</u>	<u>feb.</u>	<u>mrt.</u>	<u>apr.</u>	<u>mei</u>	<u>juni</u>
5,3	4,4	4,1	4,2	4,2	4,1
<u>juli</u>	<u>aug.</u>	<u>sept.</u>	<u>okt.</u>	<u>nov.</u>	<u>dec.</u>
4,5	4,7	3,7	4,6	5,3	5,6

Een verband tussen de duur en het jaargetijde valt nauwelijks te onderscheiden, hoewel de maanden november, december en januari een iets grotere waarde bezitten. Een al of niet aanwezig verband is statistisch te toetsen. Als nulhypothese stellen we, dat al het materiaal uit één universum afkomstig is. Nadat het cijfermateriaal in een K maal m tabel is gegroepeerd, levert toepassing van de χ^2 toets een χ^2 som van 96,9 bij 92 vrijheidsgraden. Hieruit volgt een overschrijdingskans $P = 0,32$ en dus moet tot bevestiging van de nulhypothese worden geconcludeerd. De gemiddelde duur in de maanden november, december en januari is dus niet significant groter dan in de andere maanden.

Tenslotte geeft figuur 13 in analogie met fig. 11 en 12 de overschrijdingskansen van de duur van ononderbroken reeksen uren met windsnelheid ≥ 15 m/sec. Ook bij het beschouwen van deze figuur blijkt de conclusie betreffende het niet afhankelijk zijn van de duur van het jaargetijde geheel te worden bevestigd.

7. Volgens een uitspraak van Rijkcoort in het rapport van de Deltacommissie [1] was het gemiddelde aantal NW-stormen per jaar tussen 1922 en 1942 significant kleiner dan vóór 1922 en na 1942. Met behulp van het voor dit rapport verzamelde materiaal kan deze uitspraak ook voor enkele andere grootheden worden getoetst. We krijgen dan de volgende tabellen:

Tabel 4. Aantal stormdagen

	aantal stormdagen	gemiddeld	verschil
1922 t/m 1926	195	187	+ 8
1927 t/m 1931	224	187	+ 37
1932 t/m 1936	171	187	- 16
1937 t/m 1941	172	187	- 15
1942 t/m 1946	154	149	+ 5
1947 t/m 1951	148	187	- 39
1952 t/m 1956	170	187	- 17
1957 t/m 1961	220	187	+ 33

Als "jaar" is in deze, evenals in de volgende tabellen, steeds genomen het tijdvak 1 juli t/m 30 juni.

Tabel 5. Aantal uren met windsnelheid ≥ 15 m/sec.

	aantal uren	gemiddeld	verschil
1922 t/m 1926	1022	1144	- 122
1927 t/m 1931	1278	1144	+ 134
1932 t/m 1936	918	1144	- 226
1937 t/m 1941	1053	1144	- 91
1942 t/m 1946	929	915	+ 14
1947 t/m 1951	894	1144	- 250
1952 t/m 1956	1160	1144	+ 16
1957 t/m 1961	1671	1144	+ 527

Tabel 6. Aantal stormen

	aantal stormen	gemiddeld	verschil
1922 t/m 1926	125	118	+ 7
1927 t/m 1931	144	118	+ 26
1932 t/m 1936	99	118	- 19
1937 t/m 1941	118	118	0
1942 t/m 1946	92	94	- 2
1947 t/m 1951	101	118	- 17
1952 t/m 1956	102	118	- 16
1957 t/m 1961	141	118	+ 23

In aanmerking moet worden genomen, dat in het artikel van Rijkooft alleen NW-stormen zijn beschouwd en voorts, dat daarin een storm op andere wijze was gedefinieerd dan in dit rapport.

De cijfers uit tabel 6 wijzen erop, dat het aantal stormen in de periode 1932-1956 kleiner is dan vóór 1932 en na 1956. Een stormarmer tijdvak komt dus eveneens naar voren, doch het ligt in dit geval enigszins verschoven t.o.v. het resultaat, wanneer alleen NW-stormen worden beschouwd. Uit het materiaal van de tabellen 4 en 5 kan niet tot een bevestiging van de in de aanhef van deze paragraaf genoemde uitspraak worden geconcludeerd.

8. Maximale windsnelheden per tijdvak van verschillende lengte

Het doel van dit gedeelte van het onderzoek is, zo nauwkeurig mogelijk schattingen te maken van de windsnelheid, die met een frekwentie van 1 maal per N jaren wordt overschreden. De tijdvakken, die hierbij zijn beschouwd, zijn: 1 maand, 2 opeenvolgende maanden, 3 opeenvolgende maanden (alleen lente, zomer, herfst en winter), de combinatie mei t/m augustus en november t/m februari en tenslotte het zomer- en winterhalfjaar.

Voor deze diverse tijdvakken is van alle beschikbare jaren de bijbehorende maximale windsnelheid bepaald, wat dus in het algemeen 39 cijfers opleverde.

Na rangschikking naar grootte zijn op enkel logaritmisch papier overschrijdingskrommen getekend, waaruit de kans op overschrijding van een zekere windsnelheid kan worden afgelezen. De krommen zijn hierbij met inachtneming van het volgende getekend:

1e de kromming heeft steeds hetzelfde teken en wordt bij afnemende overschrijdingsfrequenties kleiner of gaat over in een rechte lijn;

2e tussen de kromming van de figuren betrekking hebbende op de diverse tijdvakken (1, 2, 3, 4 en 6 maanden) bestaat slechts een gering verschil, d.w.z. hoogstens een geleidelijke en geringe overgang.

Tenslotte is steeds ten aanzien van de windrichting onderscheid gemaakt in 3 mogelijkheden, nl. windrichting ZZW-W, WNW-N en alle richtingen.

De bovengenoemde procedure betreffende het tekenen van de frekwentiekrommen en de extrapolaties daarvan heeft verscheidene onzekerheden. Van het gebruik van "Gumbel" papier, in deze gevallen vaak gebezigd, is hier afgezien (zie de opmerkingen hierover van Dorrestein [2]).

Als voorbeeld van de bovenbeschreven figuren is in dit rapport opgenomen fig. 14, waarin dus staat uitgezet het maximale uurgemiddelde van de windsnelheid tegen het overschrijdingspercentage, in fig. 14a voor de maand februari resp. augustus, in fig. 14b voor de winter (december t/m februari) resp. de zomer (juni t/m augustus).

De resultaten van de figuren van de overige tijdvakken, zoals die zijn genoemd in het begin van deze paragraaf, zijn samengevat in de tabellen 7, 8 en 9.

Tabel 7. Waarden van de windsnelheid (uurgemiddelde, m/sec) te Den Helder welke gemiddeld 1 maal per N jaren worden overschreden

	<u>Windrichting ZZW t/m W</u>					
	<u>N = 2</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>100</u>
januari	19½	21½	23	24½	26	27½
februari	16½	19½	21	23½	25	26½
maart	16	18	19½	21½	23½	25
april	15½	17½	19	20½	21½	23
mei	14	17	18½	20½	22	23½
juni	14	16	17	18½	20	21
juli	15	17	18½	20½	21½	23
augustus	15½	17½	19	21	22½	24
september	15	18½	20½	23	24½	26½
oktober	17½	21	23	25	26	27½
november	17½	21	23½	25½	27	28½
december	18	20½	22	24	25½	27
<hr/>						
jan. + feb.	20	22	23½	25½	27	28½
feb. + maart	17½	20	21½	24	26	27½
maart + april	17	19	20½	22½	23½	25
april + mei	16½	18	19½	21½	23	24½
mei + juni	15½	17½	19	21½	23	24½
juni + juli	15½	17½	19	21	23	24½
juli + aug.	16	18½	20	22	24	25½
aug. + sept.	16½	19	20½	23	24½	26
sept. + okt.	19	21	22½	24½	26	28
okt. + nov.	19½	22½	24	26	27	28
nov. + dec.	19	22	23½	25	26½	28
dec. + jan.	20	22	23½	25	26	27½
<hr/>						
lente	17	19	20½	22½	24	25½
zomer	16	18½	20½	23	24½	26½
herfst	19½	22½	24	25½	27	28½
winter	20½	22½	23½	25½	26½	28
<hr/>						
mei t/m aug.	17	19½	21½	23½	25	26½
nov. t/m feb.	21	23½	24½	26	27½	28½
<hr/>						
zomerhalfjaar	18	20½	22	24	25	26½
winterhalfjaar	21½	23½	25	26½	27½	28½

Tabel 8. Waarden van de windsnelheid (uurgemiddelde, m/sec) te Den Helder
welke gemiddeld 1 maal per N jaren worden overschreden

	<u>Windrichting WNW t/m N</u>					
	<u>N = 2</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>100</u>
januari	17½	20½	22½	25	27	29
februari	15½	19½	21½	24	25½	27½
maart	15½	18½	20½	23	25	27
april	15	17½	19½	21½	23½	25
mei	14½	16	17½	19	20½	22
juni	14½	16	17	18½	19½	20½
juli	14	16	17	19	20	21½
augustus	14½	17	18½	20½	22	24
september	16	18	20	22½	24½	26½
oktober	17	19½	21	23½	25	27
november	16½	20	21½	24	26	27½
december	15½	19½	21½	24	26	27½
<hr/>						
jan. + feb.	18½	21½	23	25½	27½	29
feb. + maart	17½	21	22½	25	27	28½
maart + april	17	20	22	24½	26½	28½
april + mei	16	18	20	22	24	26
mei + juni	15½	17	18	19½	20½	21½
juni + juli	15	17	18	19½	21	22
juli + aug.	15½	17½	19	20½	22	23½
aug. + sept.	17	19	20½	22½	24	25½
sept. + okt.	18	20	22	24	25½	27½
okt. + nov.	18½	21	22½	24½	26	27½
nov. + dec.	18½	21	22½	24½	26	27½
dec. + jan.	19½	21½	23	25	26	27½
<hr/>						
lente	17	20	22	24½	26½	28½
zomer	15½	17½	19	21	22	23½
herfst	19½	21½	23	24½	26	27½
winter	19½	22	23½	25½	27	28½
<hr/>						
mei t/m aug.	16	18	19½	21	22	23½
nov. t/m feb.	20	22½	24	25½	27	28½
<hr/>						
zomerhalfjaar	18	20½	22	23½	25	26½
winterhalfjaar	20½	23	25	27½	29	31

Tabel 9. Waarden van de windsnelheid (uurgemiddelde, m/sec) te Den Helder
welke gemiddeld 1 maal per N jaren worden overschreden

	<u>Onafhankelijke windrichting</u>					
	<u>N = 2</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>100</u>
januari	20 $\frac{1}{2}$	22 $\frac{1}{2}$	24 $\frac{1}{2}$	26 $\frac{1}{2}$	28 $\frac{1}{2}$	30
februari	18 $\frac{1}{2}$	21	23	25 $\frac{1}{2}$	27	29
maart	17 $\frac{1}{2}$	19 $\frac{1}{2}$	21	23	24 $\frac{1}{2}$	26
april	17	19	20 $\frac{1}{2}$	22 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	25
mei	15 $\frac{1}{2}$	17 $\frac{1}{2}$	19	21	22 $\frac{1}{2}$	24
juni	15 $\frac{1}{2}$	17	18	19 $\frac{1}{2}$	20 $\frac{1}{2}$	21 $\frac{1}{2}$
juli	15 $\frac{1}{2}$	18	19 $\frac{1}{2}$	21 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	25
augustus	16	18	19 $\frac{1}{2}$	21 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$
september	16 $\frac{1}{2}$	19	21	23 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{2}$	27 $\frac{1}{2}$
oktober	19 $\frac{1}{2}$	21 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$	26	27 $\frac{1}{2}$
november	20	22 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{2}$	26 $\frac{1}{2}$	28
december	19	21 $\frac{1}{2}$	23	25 $\frac{1}{2}$	27	29
<hr/>						
jan. + feb.	20 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$	27	28 $\frac{1}{2}$	30
feb. + maart	19 $\frac{1}{2}$	21 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{2}$	27	29
maart + april	18	20 $\frac{1}{2}$	22	24 $\frac{1}{2}$	26	28
april + mei	17	19 $\frac{1}{2}$	21	23	24 $\frac{1}{2}$	26
mei + juni	16 $\frac{1}{2}$	18 $\frac{1}{2}$	20	21 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$
juni + juli	16 $\frac{1}{2}$	18 $\frac{1}{2}$	20	22	23 $\frac{1}{2}$	25
juli + aug.	17	19	20 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$	26
aug. + sept.	18	20	21 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	25	26 $\frac{1}{2}$
sept. + okt.	20	22	23	24 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{2}$	27
okt. + nov.	21	23	24 $\frac{1}{2}$	26	27	28 $\frac{1}{2}$
nov. + dec.	20 $\frac{1}{2}$	23	24	25 $\frac{1}{2}$	27	28
dec. + jan.	21	23	24 $\frac{1}{2}$	26 $\frac{1}{2}$	28	29 $\frac{1}{2}$
<hr/>						
lente	18 $\frac{1}{2}$	20 $\frac{1}{2}$	22	24 $\frac{1}{2}$	26	27 $\frac{1}{2}$
zomer	17	19 $\frac{1}{2}$	21	23	25	26 $\frac{1}{2}$
herfst	21 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{2}$	26 $\frac{1}{2}$	27 $\frac{1}{2}$
winter	21	23	25	27	28 $\frac{1}{2}$	30
<hr/>						
mei t/m aug.	17 $\frac{1}{2}$	20	22	23 $\frac{1}{2}$	25	26
nov. t/m feb.	21 $\frac{1}{2}$	24	25 $\frac{1}{2}$	27	28 $\frac{1}{2}$	30
<hr/>						
zomerhalfjaar	19	21 $\frac{1}{2}$	23	24 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{2}$	26 $\frac{1}{2}$
winterhalfjaar	22	24 $\frac{1}{2}$	26	28	29 $\frac{1}{2}$	31 $\frac{1}{2}$

Enkele resultaten, die hier in tabelvorm staan opgetekend, kunnen gemakkelijk in een wat overzichtelijker vorm worden bijeengebracht. Zie daartoe de figuren 15 en 16.

Zoals bekend, kwamen in de laatste decennia de allerzwaarste stormen voor in de nawinter en in het begin van de lente (7 april 1943: 30,8 m/sec, richting noord en 1 maart 1949: 29,2 m/sec, richting NNW). In de overschrijdingsgrafiekjes vormen deze stormen grote uitschieters ten opzichte van de gemiddelde overschrijdingslijn door de andere punten van de figuur.

Uit extrapolatie van de overschrijdingslijn volgt, dat de overschrijdingskans van een windsnelheid van 29,2 m/sec in maart 1 maal per 400 jaar bedraagt; een windsnelheid van 30,8 m/sec in april heeft een overschrijdingskans van eens per 1400 jaar.

9. Correspondentie met Hoek van Holland

Over het tijdvak juni 1956 t/m juni 1962 kan een verband tussen de stations Den Helder en Hoek van Holland worden afgeleid, omdat parallele waarnemingen beschikbaar zijn.

In de paragrafen 9.1 t/m 9.4 zijn uit deze parallele waarnemingen correspondentiefactoren bepaald, gebaseerd op de gegevens van 6 winterhalfjaren, 6 zomerhalfjaren en 6 hele jaren (van 1 juli t/m 31 juni). Deze correspondentiefactoren zijn bepaald door voor beide stations overschrijdingslijnen van de betrokken grootheid te tekenen en daarna de factor af te leiden, waarmee de betrokken grootheid geldend voor Hoek van Holland moest worden vermenigvuldigd, opdat een even grote overschrijdingskans werd verkregen als bij Den Helder. Als voorbeeld van deze werkwijze is bijgevoegd figuur 17. De correspondentiefactoren zijn steeds berekend voor het gedeelte van de krommen met overschrijdingspercentages tussen 30 en 70%.

Op grond van de moeilijk te beantwoorden vraag of de correspondentie tussen de twee bovengenoemde stations zich wel in één cijfer laat vastleggen (de plaatselijke omstandigheden op beide stations zijn verschillend) en voorts op grond van de slechts geringe lengte van het beschikbare tijdvak moet met nadruk worden vastgesteld, dat de voor Hoek van Holland verkregen cijfers slechts als een schatting kunnen worden beschouwd. Daarom is er tevens van afgezien de op Hoek van Holland betrekking hebbende cijfers in de figuren voor Den Helder in te tekenen. Met behulp van de gegeven factoren en de desbetreffende figuren van Den Helder is een vraag, betrekking hebbende op Hoek van Holland, op eenvoudige wijze te beantwoorden.

9.1 Aantal stormdagen

Vergelijking van het aantal stormdagen van Hoek van Holland met die te Den Helder leidt tot het volgende staatje:

Tabel 10.

Aantal stormdagen. Correspondentie Hoek van Holland
t.o.v. Den Helder

	<u>richting ZZW-W</u>	<u>richting WNW-N</u>	<u>alle richtingen</u>
winterhalfjaar	0,58	0,83	0,61
zomerhalfjaar	0,95	0,48	0,59
jaar (1 juli t/m 30 juni)	0,68	0,67	0,60

Indien de cijfers op de verticale as van fig. 1 worden vermenigvuldigd met $\approx 0,6$, krijgen we een schatting van een overeenkomstige figuur voor Hoek van Holland.

Hetzelfde kan worden gedaan met de cijfers op de horizontale as van de figuren 3, 4 en 5, waarbij als vermenigvuldigingsfactor resp. 0,7, 0,7 en 0,6 het meest redelijk lijkt.

9.2 Aantal uren per maand met gemiddelde windsnelheid ≥ 15 m/sec

Uit de 6 jaren parallelwaarnemingen laten zich als correspondentie-factoren tussen de waarnemingen te Hoek van Holland en Den Helder de volgende getallen afleiden:

winterhalfjaar	0,51
zomerhalfjaar	0,51
gehele jaar (1 juli t/m 30 juni)	0,51

Om een schatting van de corresponderende figuren 6 en 8 te verkrijgen, nu dus geldend voor Hoek van Holland, moeten in fig. 6 de cijfers van de verticale as en in fig. 8 die van de horizontale as vermenigvuldigd worden met de bovengevonden factor.

9.3 Aantal stormen

Uit de waarnemingen in de 6 jaren 1956 t/m 1962 volgen de volgende correspondentiefactoren (totaal in Hoek van Holland en Den Helder resp. 108 en 173 stormen):

	<u>richting ZZW-W</u>	<u>richting WNW-N</u>	<u>alle richtingen</u>
winterhalfjaar	0,59	0,80	0,61
zomerhalfjaar	1,00	0,50	0,65
gehele jaar (1 juli t/m 30 juni)	0,68	0,70	0,63

Vermenigvuldiging met bovengenoemde cijfers van de horizontale schaal van de fig. 9 en 10 levert een schatting van de kansverdeling van het aantal stormen per maand voor het station Hoek van Holland.

9.4 Stormduur

Hierbij worden weer 2 gevallen onderscheiden, nl. de duur van stormen, zoals die gedefinieerd zijn in paragraaf 5 en de duur van ononderbroken reeksen uren met windsnelheid ≥ 15 m/sec.

a Duur van stormen volgens de definitie uit paragraaf 5.

Totaal beschikbaar voor Hoek van Holland en Den Helder resp. 108 en 173 stormen.

We krijgen de volgende correspondentiefactoren (Hoek van Holland t.o.v. Den Helder):

	<u>richting ZZW-W</u>	<u>richting WNW-N</u>
winterhalfjaar	0,9	1,0
zomerhalfjaar	0,8	0,6

In aanmerking genomen de onnauwkeurigheid, die in de methode van vergelijking der twee stations schuilt, ronden we de winterfactor af op 1,0 en concluderen, dat geen verschil bestaat in de verdeling van de duur van winterstormen te Den Helder en Hoek van Holland.

De figuur 11 is onder het genoemde voorbehoud ten aanzien van de nauwkeurigheid bruikbaar voor het afleiden van de verdeling van de stormduur te Hoek van Holland. Hetzelfde kan gesteld worden ten aanzien van figuur 12 met inachtneming van een vermenigvuldigingsfactor 0,7 voor de cijfers op de horizontale as.

b Duur van ononderbroken perioden met windsnelheid ≥ 15 m/sec.

Totale aantal van deze perioden bij Hoek van Holland en Den Helder resp. 214 en 341.

Het is niet te verwachten, dat hierbij belangrijk andere resultaten te voorschijn komen dan bij de onder a genoemde stormen. Het blijkt echter, dat bij de kleine overschrijdingskansen (dus voor de langdurige perioden) de correspondentiefactor ligt in de orde van 0,8 (bij een overschrijdingswaarde van 10%). De waarde 1,0 wordt bereikt bij een overschrijdingswaarde

van 50 à 60%. Dit blijkt te gelden voor het zomer- en voor het winterhalfjaar.

Indien met deze factoren rekening wordt gehouden, geeft figuur 13 een goede schatting van de verdeling van de aaneengesloten perioden van harde wind geldend voor Hoek van Holland.

10. Maximale windsnelheden per tijdvak van verschillende lengte, geldend voor Hoek van Holland

Om voor deze grootheden tot een afleiding te komen van de correspondentie tussen Den Helder en Hoek van Holland, is op wat uitgebreidere wijze te werk gegaan dan in paragraaf 9 is gedaan. De correspondentiefactoren zijn op drie verschillende manieren bepaald.

a De 6 jaren (= 72 maanden) parallelle waarnemingen geven voor beide stations 72 maandelijke maximale uurgemiddelde windsnelheden, waarbij weer een splitsing is gemaakt in 3 windrichtingsgroepen, nl. ZZW-W, WNW-N en alle richtingen.

De waarnemingen zijn gesplitst in winter- en zomerhalfjaar; dat levert dus 36 winter- en 36 zomermaanden.

Uitgaande van de overweging, dat het op meteorologische gronden niet waarschijnlijk is, dat de correspondentiefactor tussen Den Helder en Hoek van Holland varieert afhankelijk van de vraag welke zomermaand (resp. wintermaand) wordt beschouwd, zijn deze 36 maanden gezamenlijk behandeld en is hieruit een gemiddelde factor afgeleid. Hierdoor wordt het voordeel verkregen, dat een serie van redelijke lengte beschikbaar is.

Met behulp van overschrijdingslijnen voor beide stations is afgeleid welke maximale windsnelheden te Hoek van Holland en Den Helder even vaak werden overschreden, dus dezelfde overschrijdingsfrequenties hadden. Dit is gedaan in het frequentiegebied 10-70%, wat globaal correspondeert met het windsnelheidsgebied van 15-22 m/sec. We krijgen nu de volgende tabel.

Tabel 11. Correspondentiefactoren van de maximale uurgemiddelde windsnelheid per maand te Hoek van Holland t.o.v. die te Den Helder

	<u>ZZW-W</u>	<u>WNW-N</u>	<u>alle richtingen</u>
winterhalfjaar	0,97	0,96	0,96
zomerhalfjaar	1,00	0,93	0,97

b In de beschikbare 6 jaren zijn alle perioden met harde wind onderzocht, waarbij onder harde wind hier worden verstaan uurgemiddelde windsnelheden $\geq 12,5$ m/sec. Per zelfde periode van harde wind zijn nu de maximale snelheden van beide stations genoteerd en daarna gegroepeerd op de betreffende windrichting van het station Hoek van Holland. Het totale aantal onderzochte perioden bedroeg 302.

Voor iedere windrichting zijn hierna de overschrijdingslijnen van de maximale windsnelheid getekend, waarna voor ieder station werd bepaald welke windsnelheid op beide stations even vaak (met gelijke frekwentie) werd overschreden. Uit de aldus verkregen windsnelheden zijn dan weer de correspondentiefactoren berekend. We krijgen de volgende tabel.

Tabel 12. Correspondentiefactoren van de maximale uurgemiddelde windsnelheid per zelfde periode van harde wind. Station Hoek van Holland t.o.v. Den Helder

windrichting	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N
aantal perioden	15	30	66	49	24	40	36	22	20
corresp. factor	0,86	0,87	0,98	1,01	1,04	0,95	0,94	0,92	0,93

c Als laatste methode ter bepaling van de correspondentie tussen Hoek van Holland en Den Helder werd een aantal gelijkwaardige windwaarnemingen beschouwd. Door deze gelijktijdigheid bestaat de mogelijkheid, dat bepaalde onregelmatigheden in het windveld de cijfers beïnvloeden; daarom moet, het doel van deze paragraaf in aanmerking genomen, deze methode meer als aanvulling en controle op de methode, genoemd onder a en b, worden beschouwd.

Voor de richtingen 20-24 (ZW-W) en 26-30 (WNW-NNW) zijn 4 stormen beschouwd, in totaal bevattende 141 resp. 99 waarnemingen. Uit deze waarnemingen komen als gemiddelde correspondentiefactoren te voorschijn 1,04 resp. 0,96.

Als conclusie uit het behandelde in a, b en c kan worden gesteld, dat de correspondentiefactor van de maximale uurgemiddelde windsnelheid per tijdvak (storm, maand, maanden) te Hoek van Holland t.o.v. die te Den Helder bedraagt:

windrichting	ZZW-W :	0,98
windrichting	WNW-N :	0,94
ongeacht windrichting	:	0,96

Na vermindering van de cijfers in de tabellen 7, 8 en 9 met resp. 2%, 6% en 4% zijn de daar gevonden cijfers met redelijke nauwkeurigheid op het station Hoek van Holland van toepassing.

LITERATUUR

1. P.J. Rijkooft Statistisch onderzoek van noordwesterstormen -
Meteorologische en Oceanische aspecten van storm-
vloeden op de Nederlandse kust.
Bijdrage tot het rapport van de Deltacommissie, blz.
108-123.

2. R. Dorrestein Statistiek en maximale windsnelheden (uurgemiddelden)
per winter- en per zomerhalfjaar, waargenomen te Den
Helder.
K.N.M.I. Verslag V-120.

3. 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.
K.N.M.I. Wetenschappelijk Rapport 55-010-1955.

4. G. Verploegh Klimatologische gegevens van de Nederlandse lichtschepen
over de periode 1910-1940. Deel I - Stormstatistieken.
Med. en Verh. K.N.M.I. nr. 67, 1956.

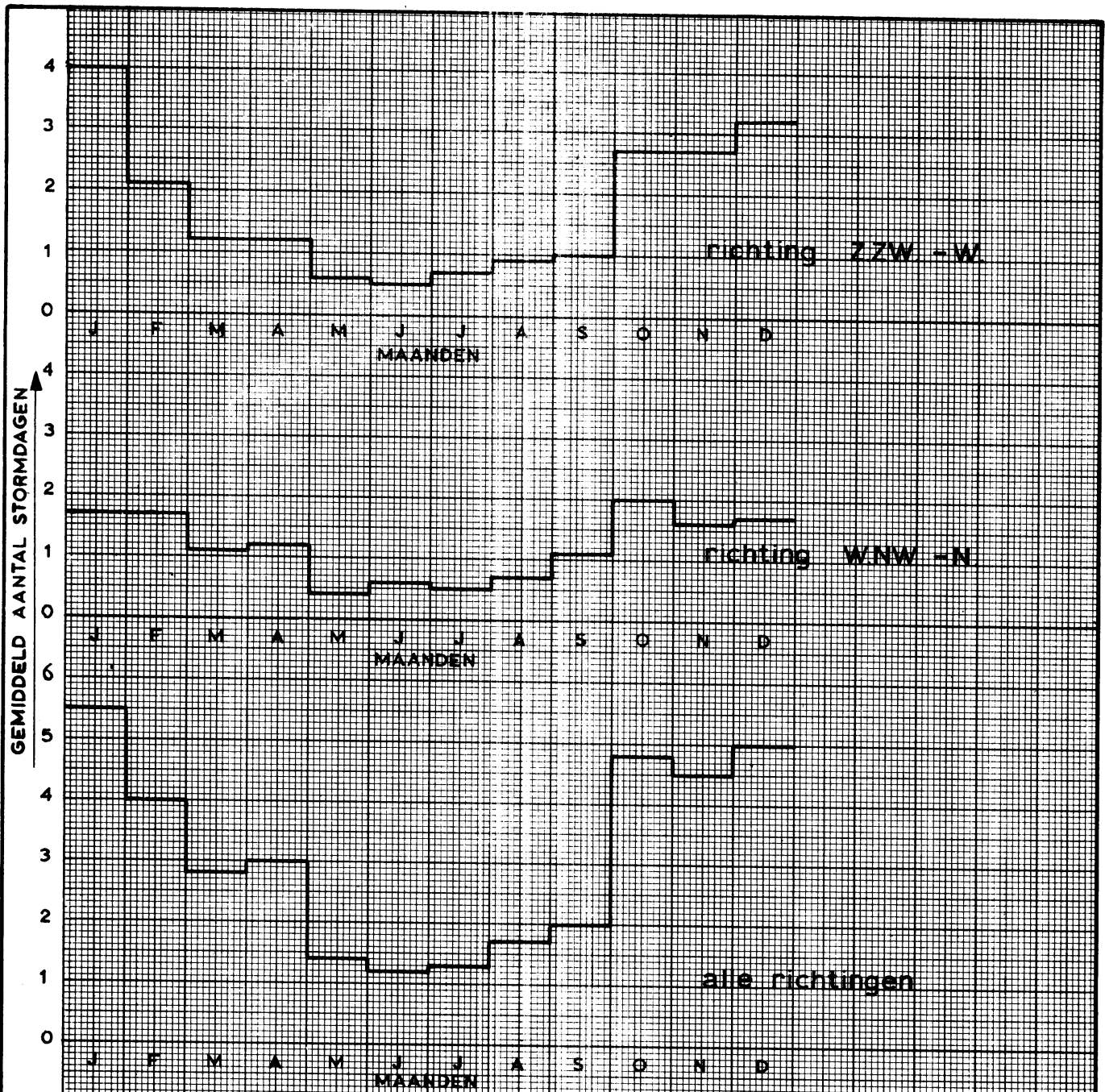


Fig. 1 GEMIDDELD AANTAL STORMDAGEN PER MAAND

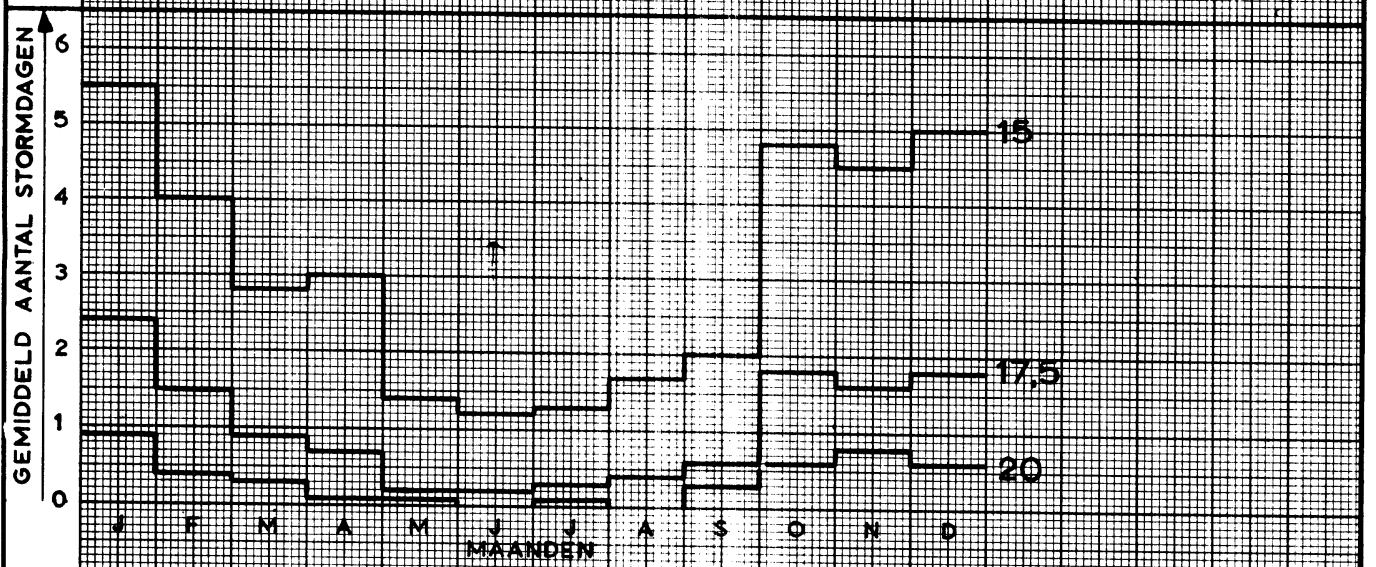


Fig. 2 GEMIDDELD AANTAL DAGEN WAAROP TENMINSTE 1 MAAL EEN JURGEMIDDELD OE VAN RESP. ≥ 15 , 17,5 EN 20 ^m/sec. IS WAARGENOMEN

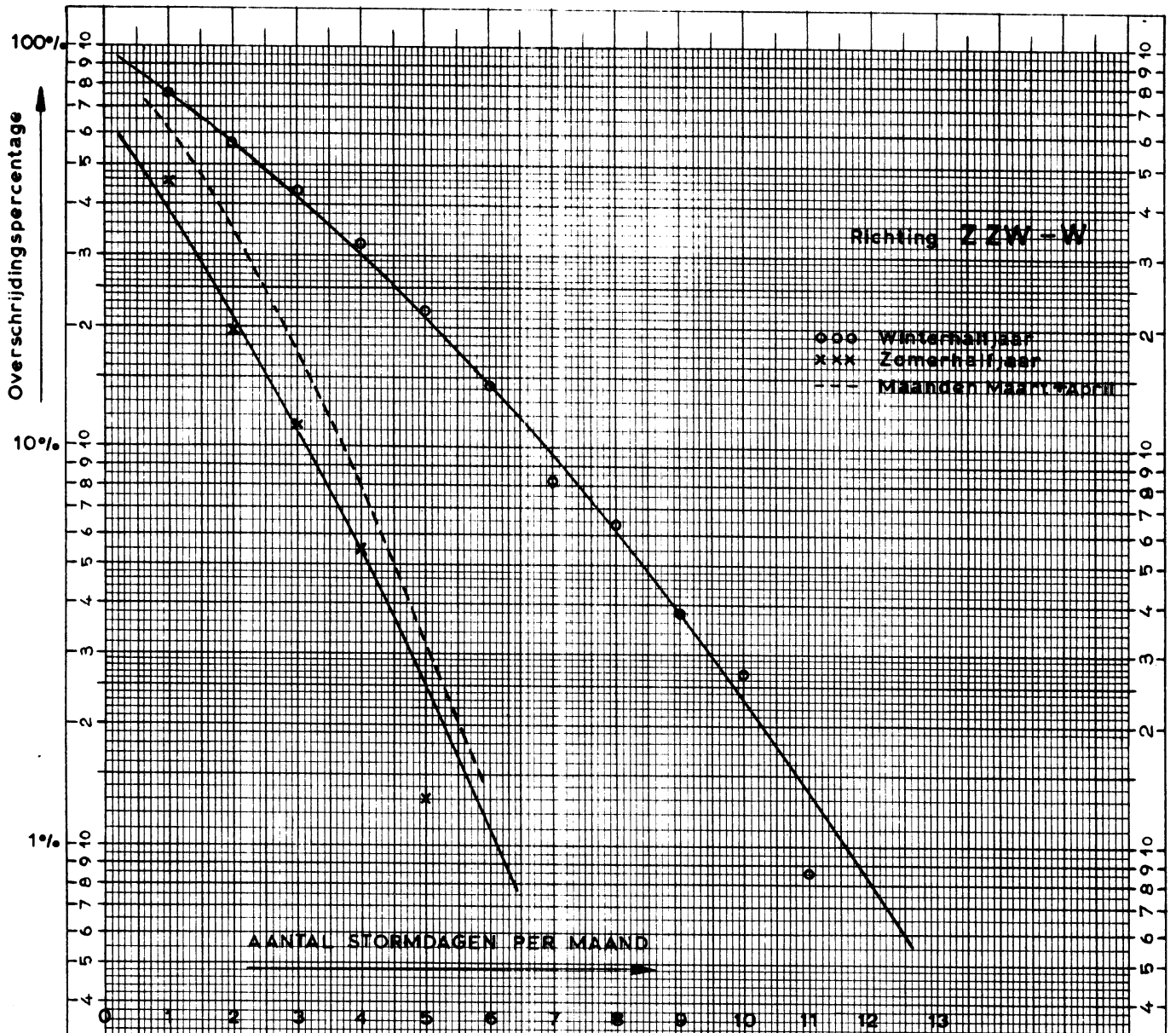


Fig. 3 Overschrijdingstoeiwenties van het aantal stormdagen per maand

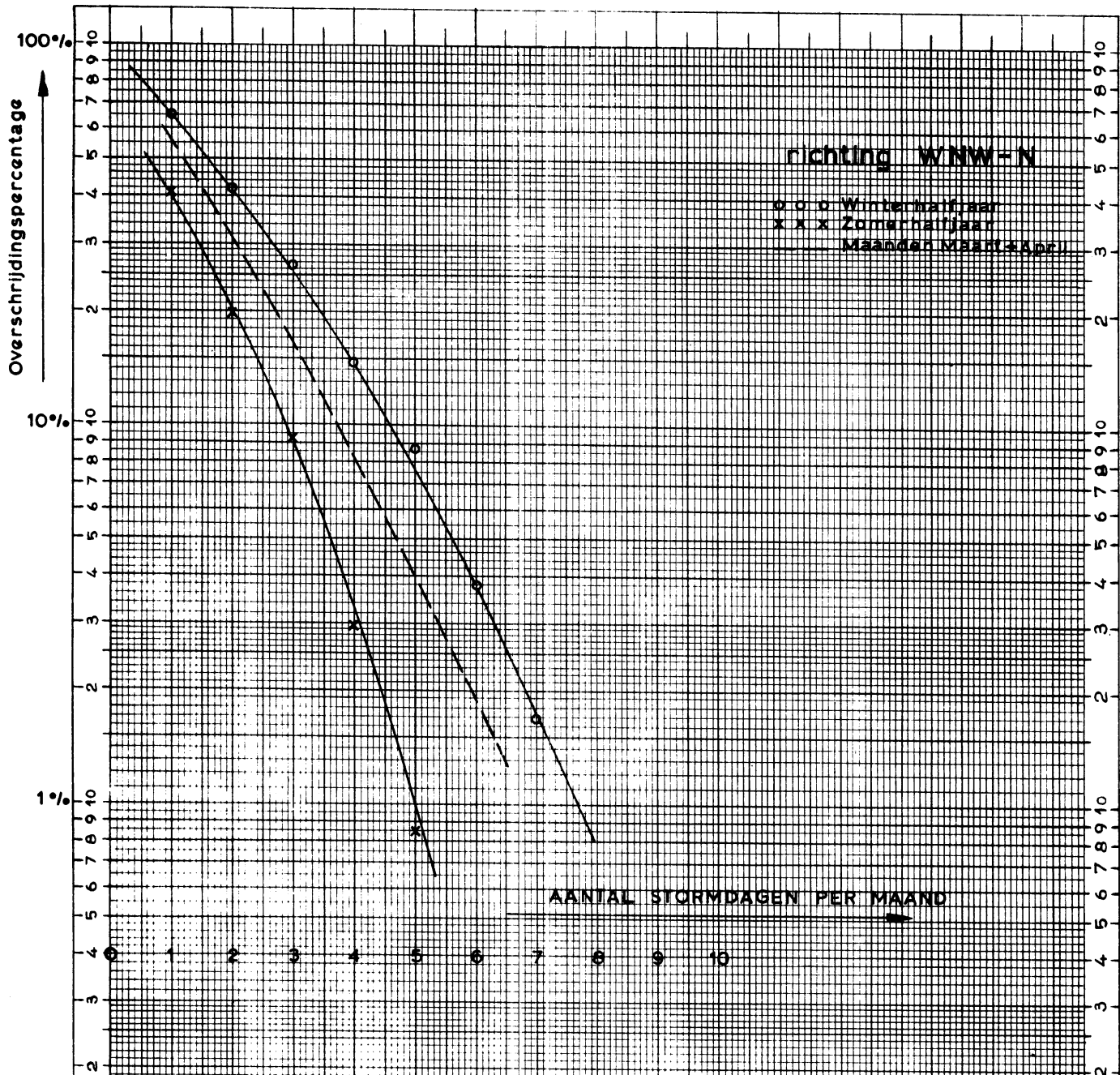


Fig. 4 Overschrijdingsfrequenties van het aantal stormdagen per maand.

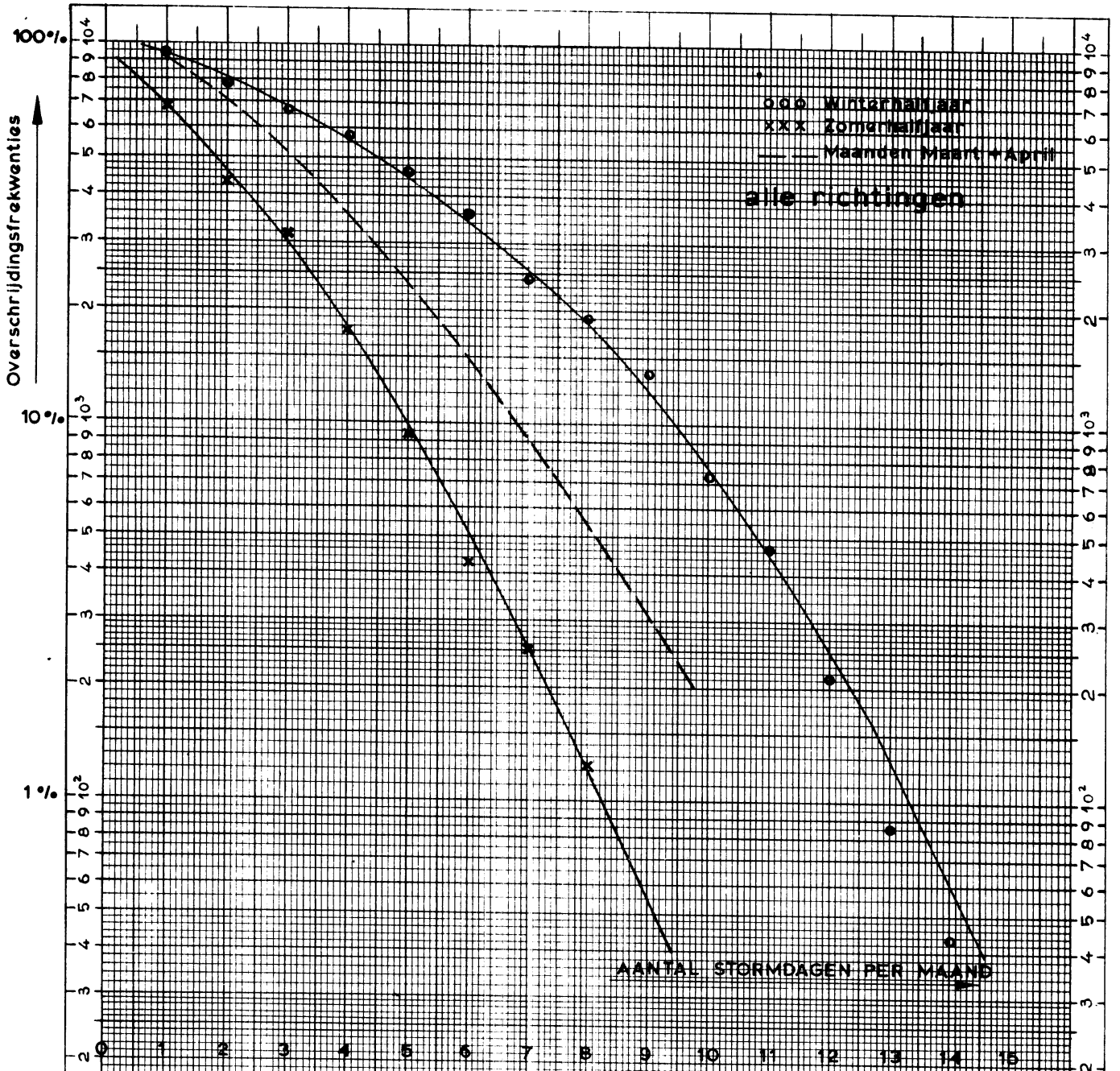


Fig. 5 Overschrijdingsfrequenties van het aantal stormdagen per maand

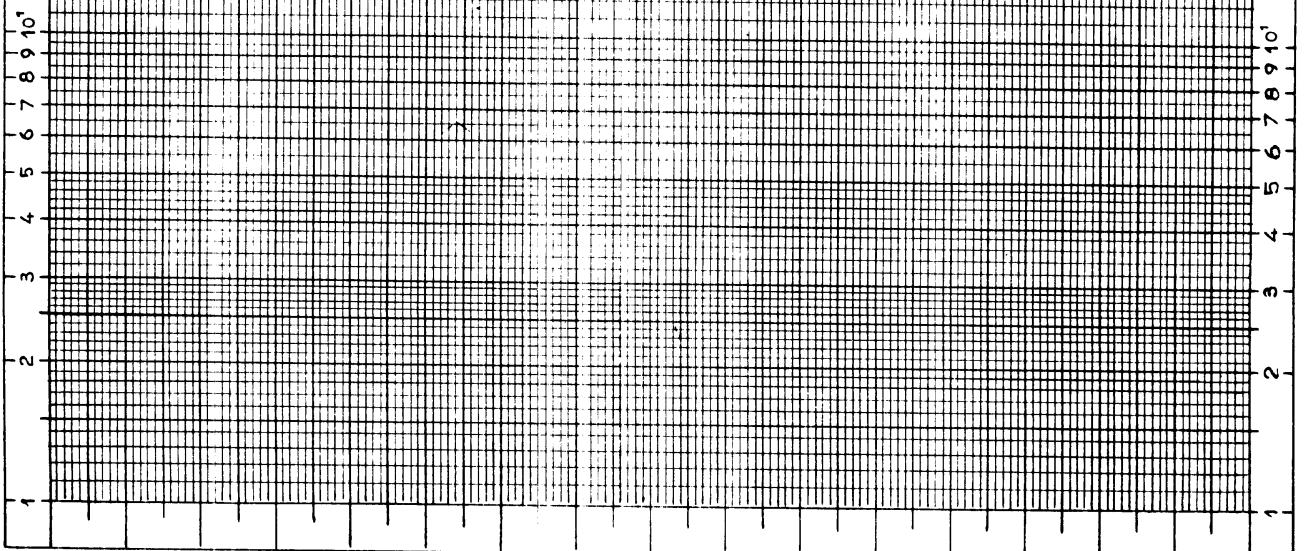


Fig. 6 GEMIDDELD AANTAL UREN MET WINDSNELHEID $\geq 15 \frac{m}{sec}$ PER MAAND

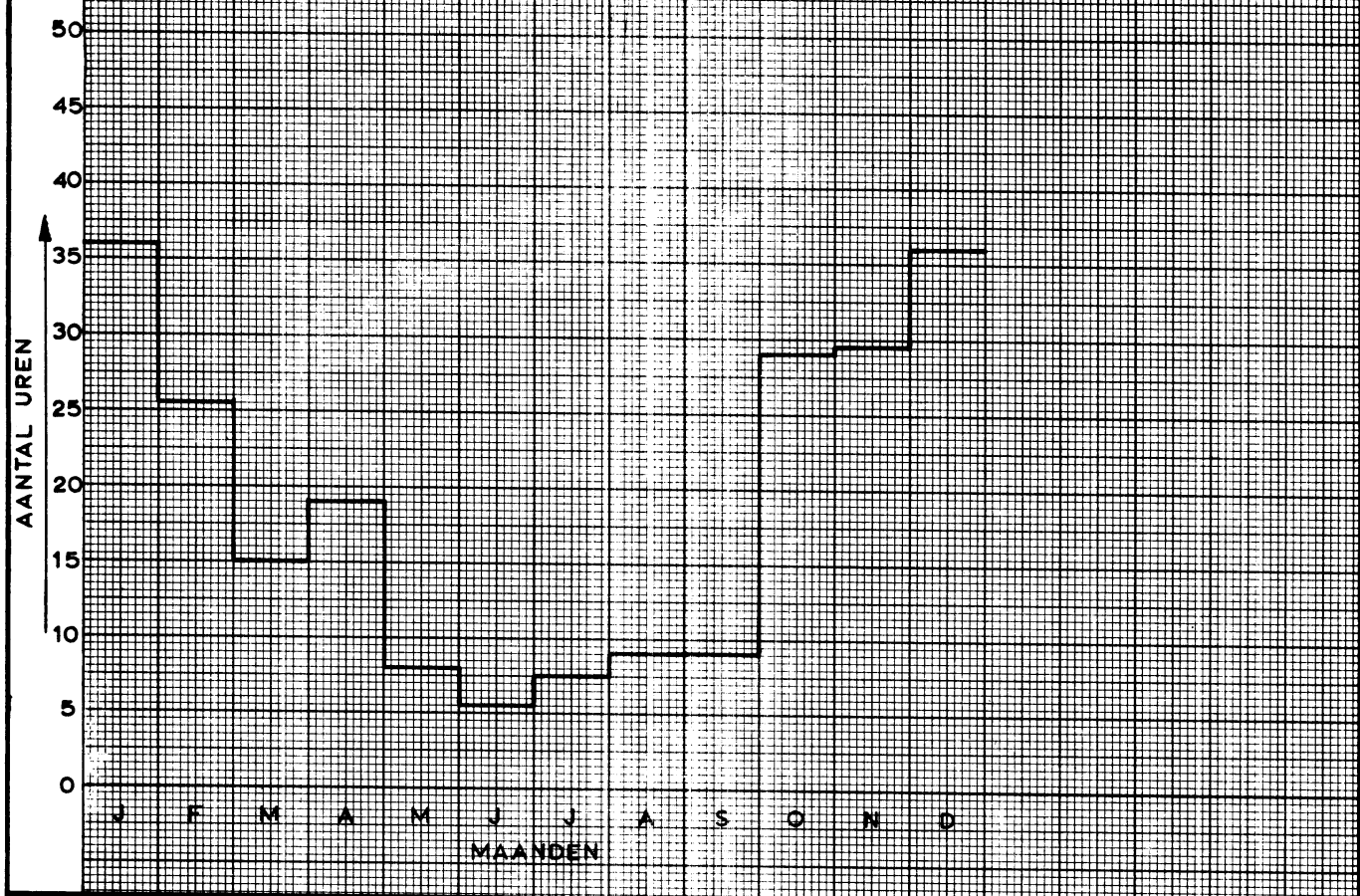
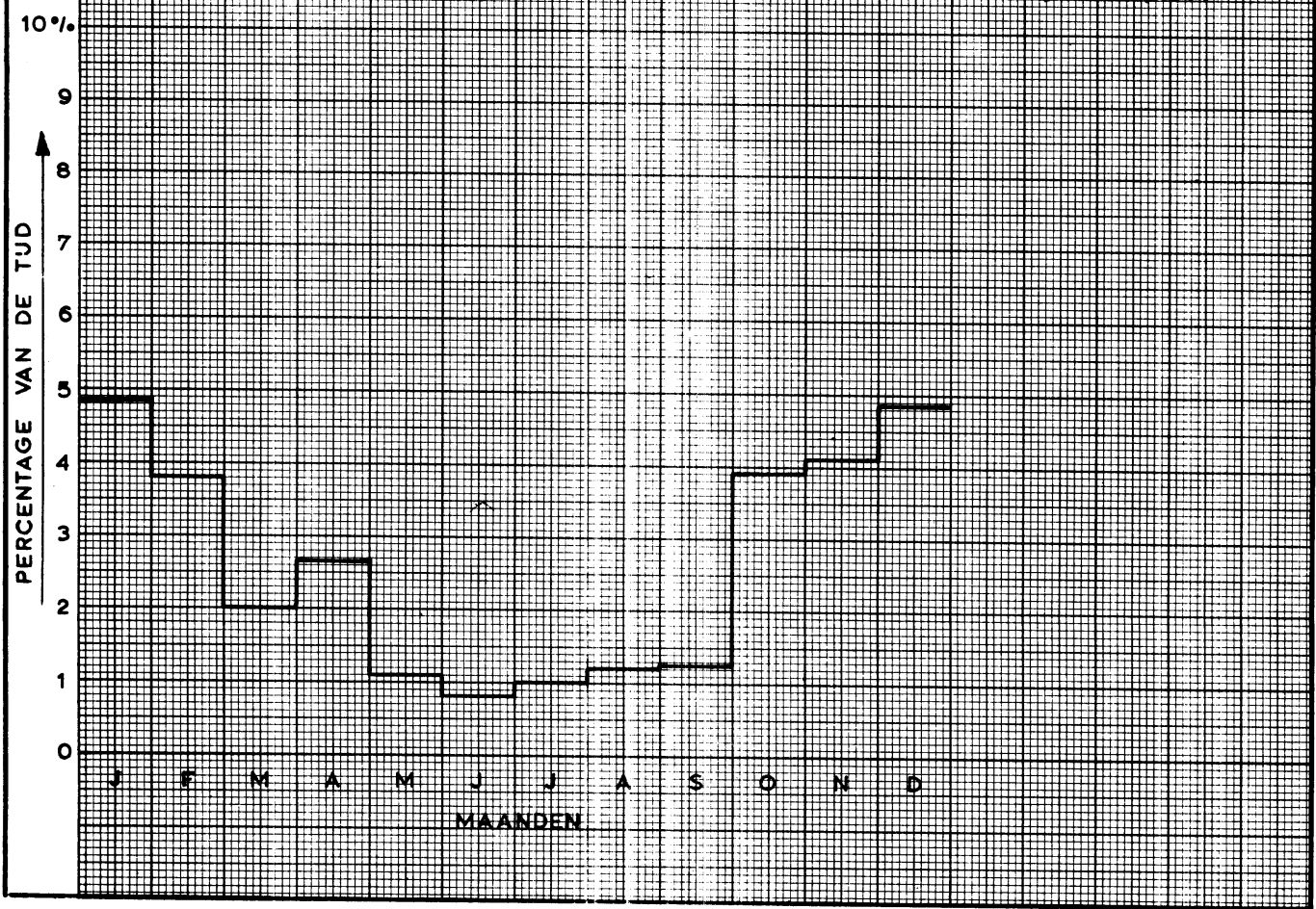


Fig. 7 GEMIDDELD PERCENTAGE VAN DE TIJD MET WINDSNELHEID $\geq 15 \frac{m}{sec}$



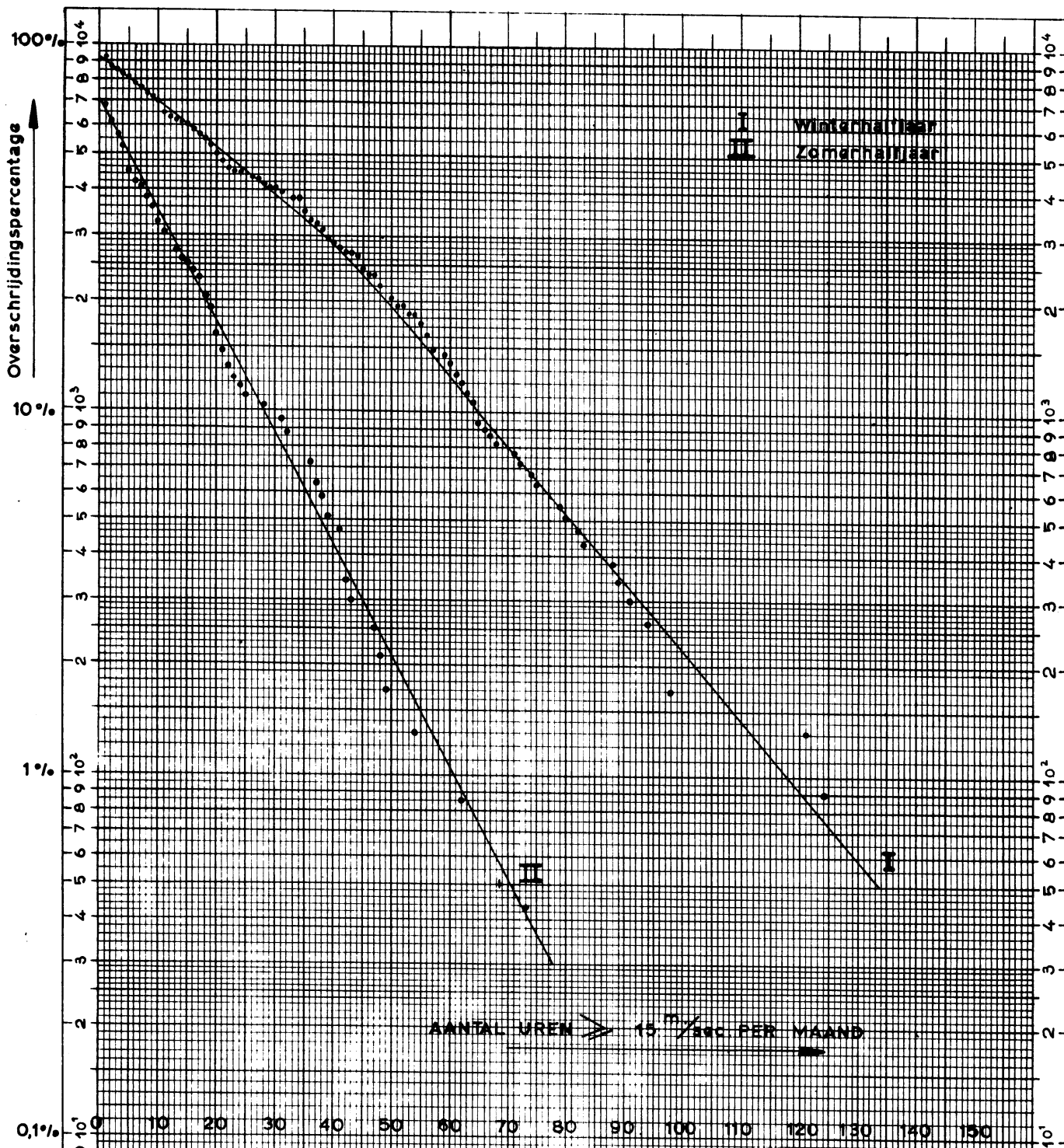


Fig 8 Overschrijdingsfrequenties van het aantal uren per maand met windsnelheid $\geq 15 \frac{m}{sec}$

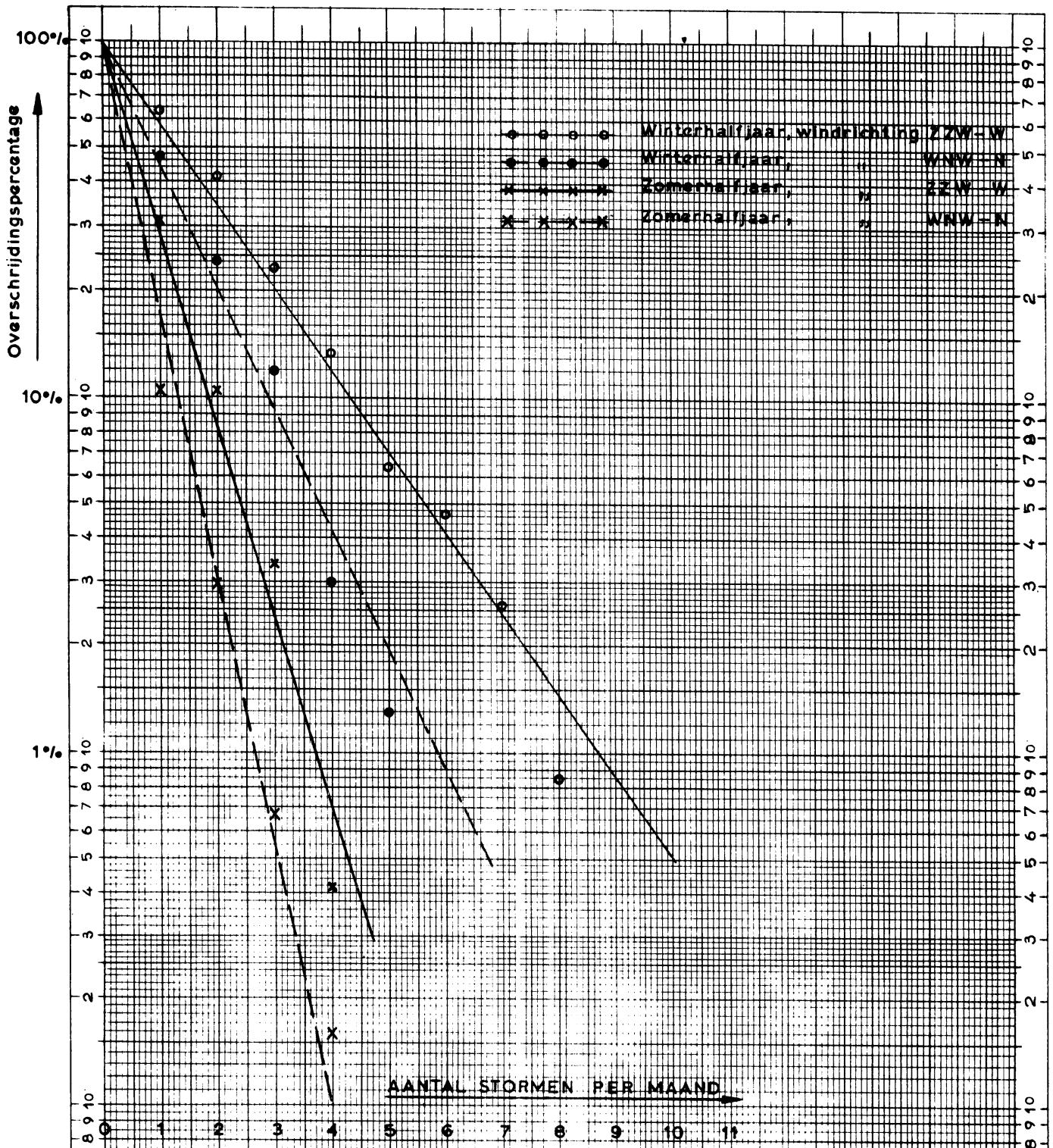


Fig. 9 Overschrijdingsfrequenties van het aantal stormen per maand.

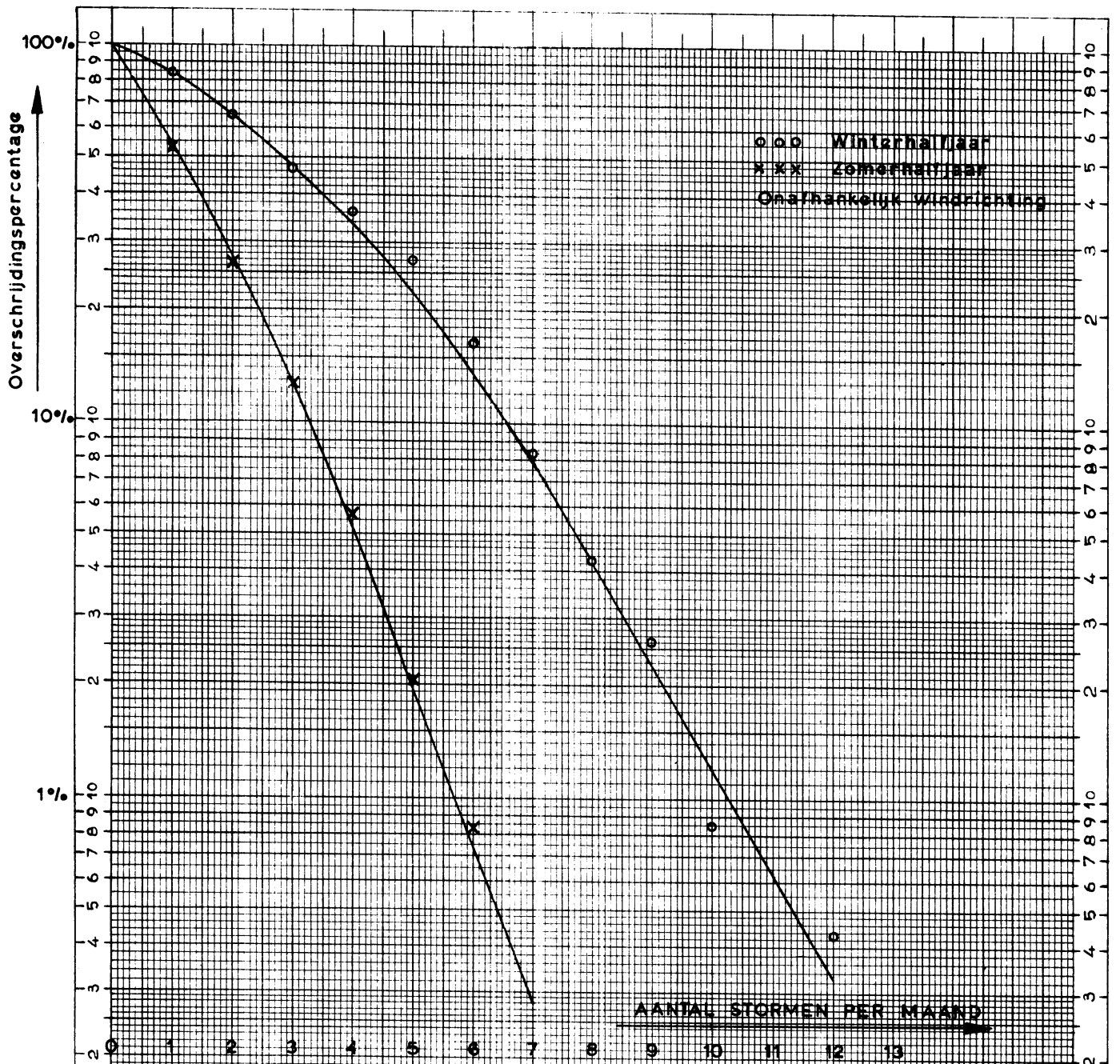


Fig. 10 Overschrijdingskrommen van het aantal stormen per maand

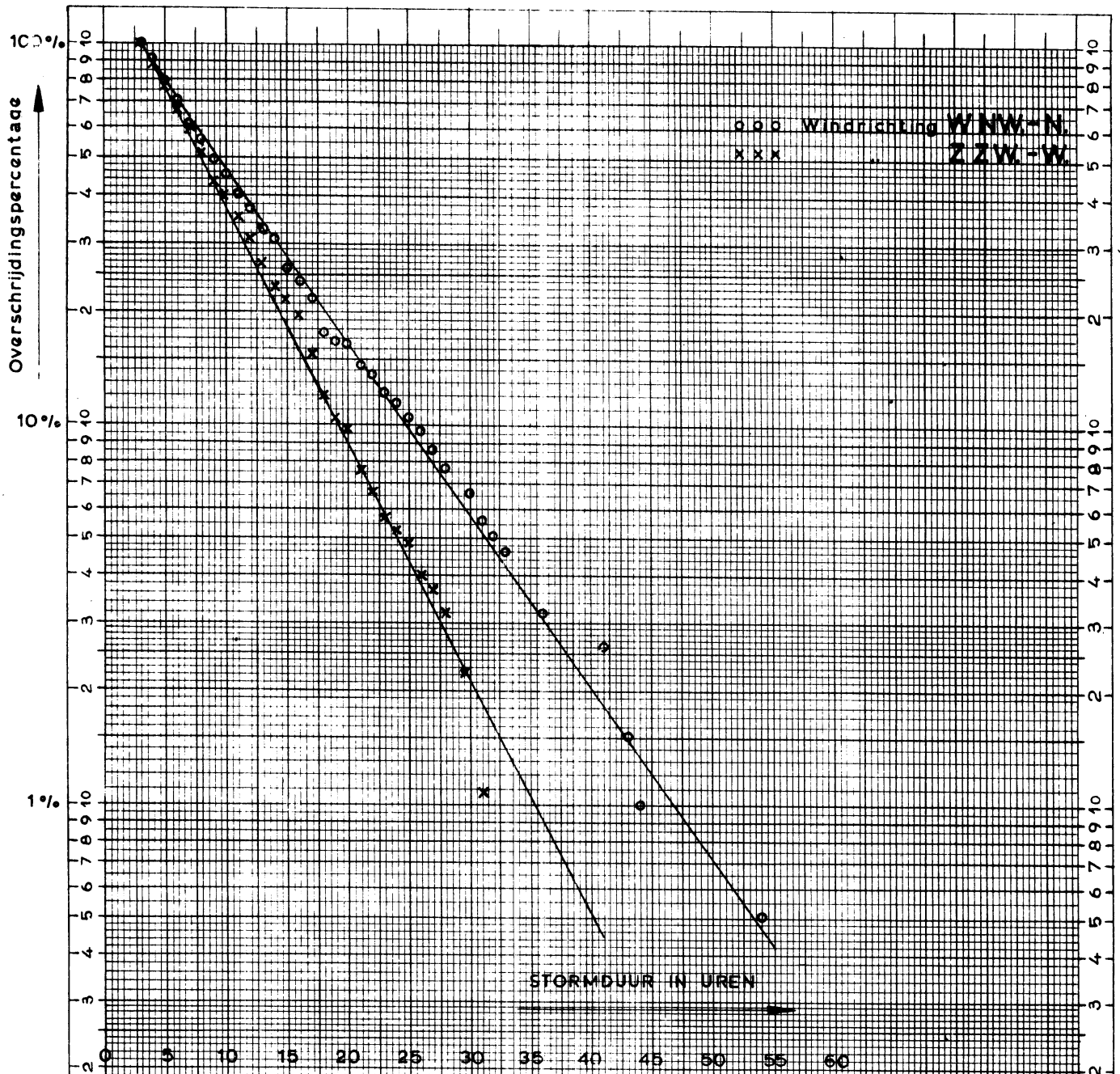


Fig. 11 Overschrijdingsfrequenties van de stormduur - Winterhalfjaar

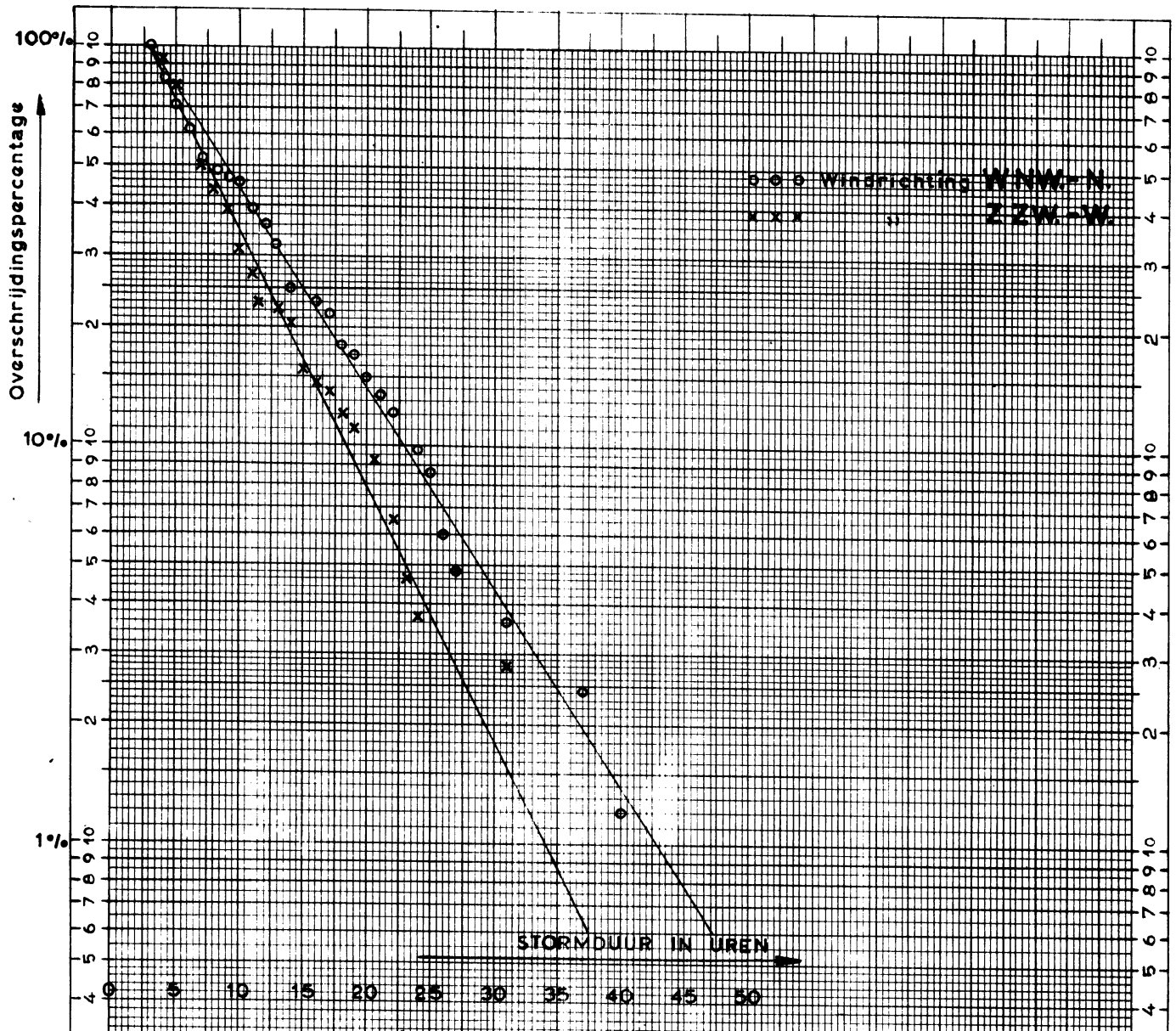


Fig. 12 Overschrijdingstrekwenties van de stormduur - Zomershalfjaar.

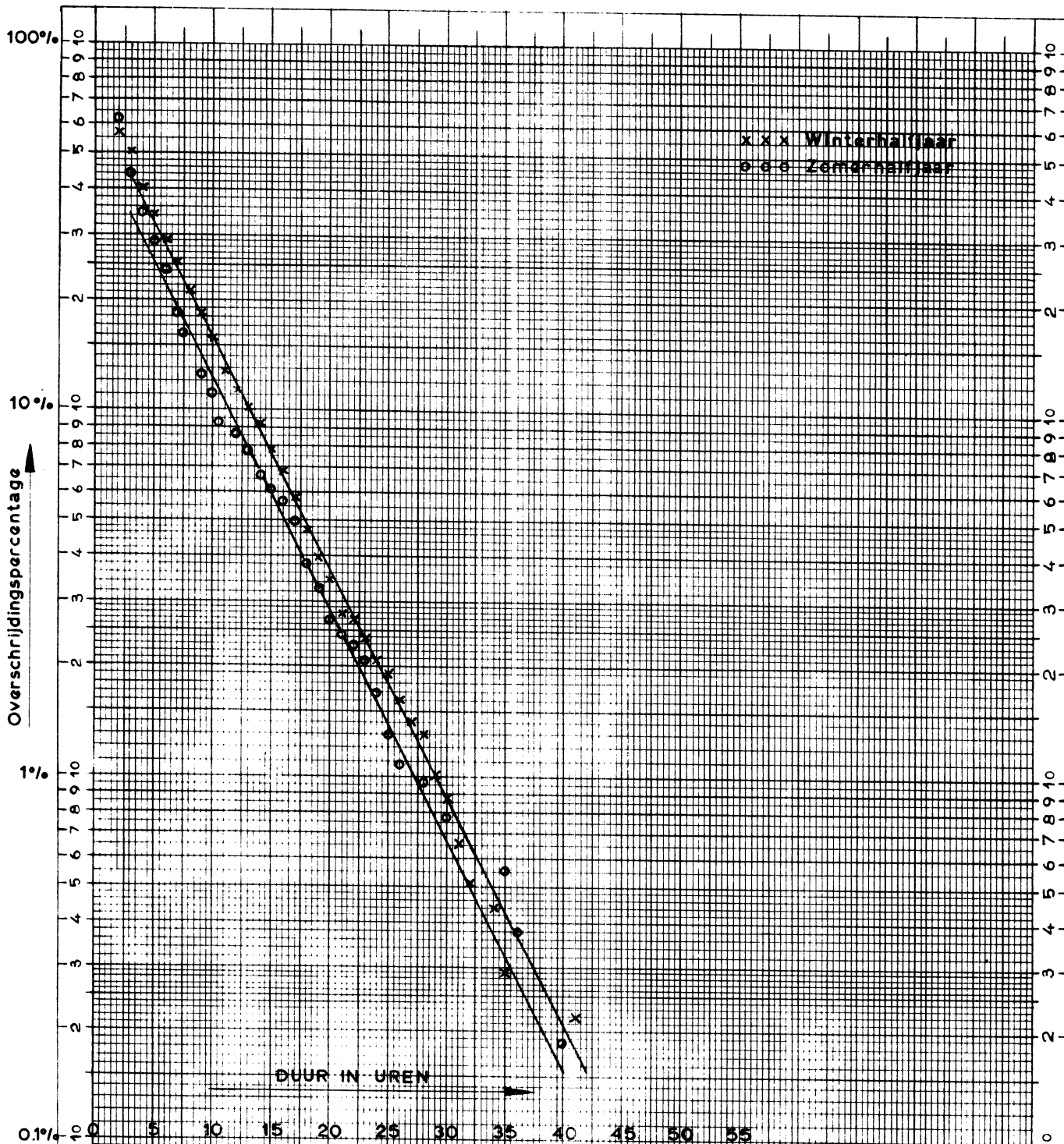


Fig. 13 Overschrijdingsfrequenties van onderbroken reeks uren met windsnelheid $\geq 15 \frac{m}{sec}$.

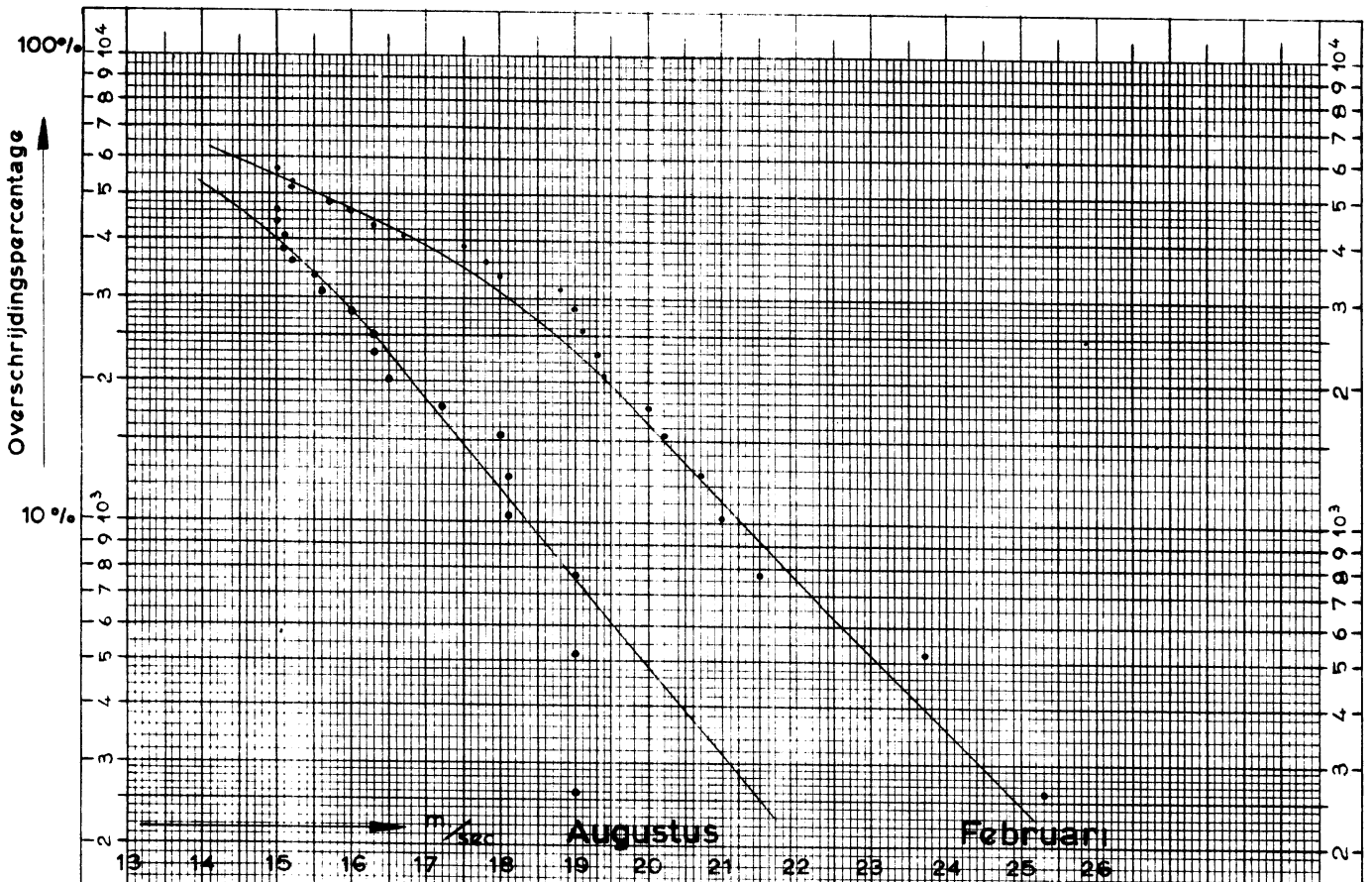


Fig. 14a Overschrijdingsfrequenties van de maximale uurgemiddelde windsnelheid in de maand Februari en Augustus (alleen windrichting WNW-N.)

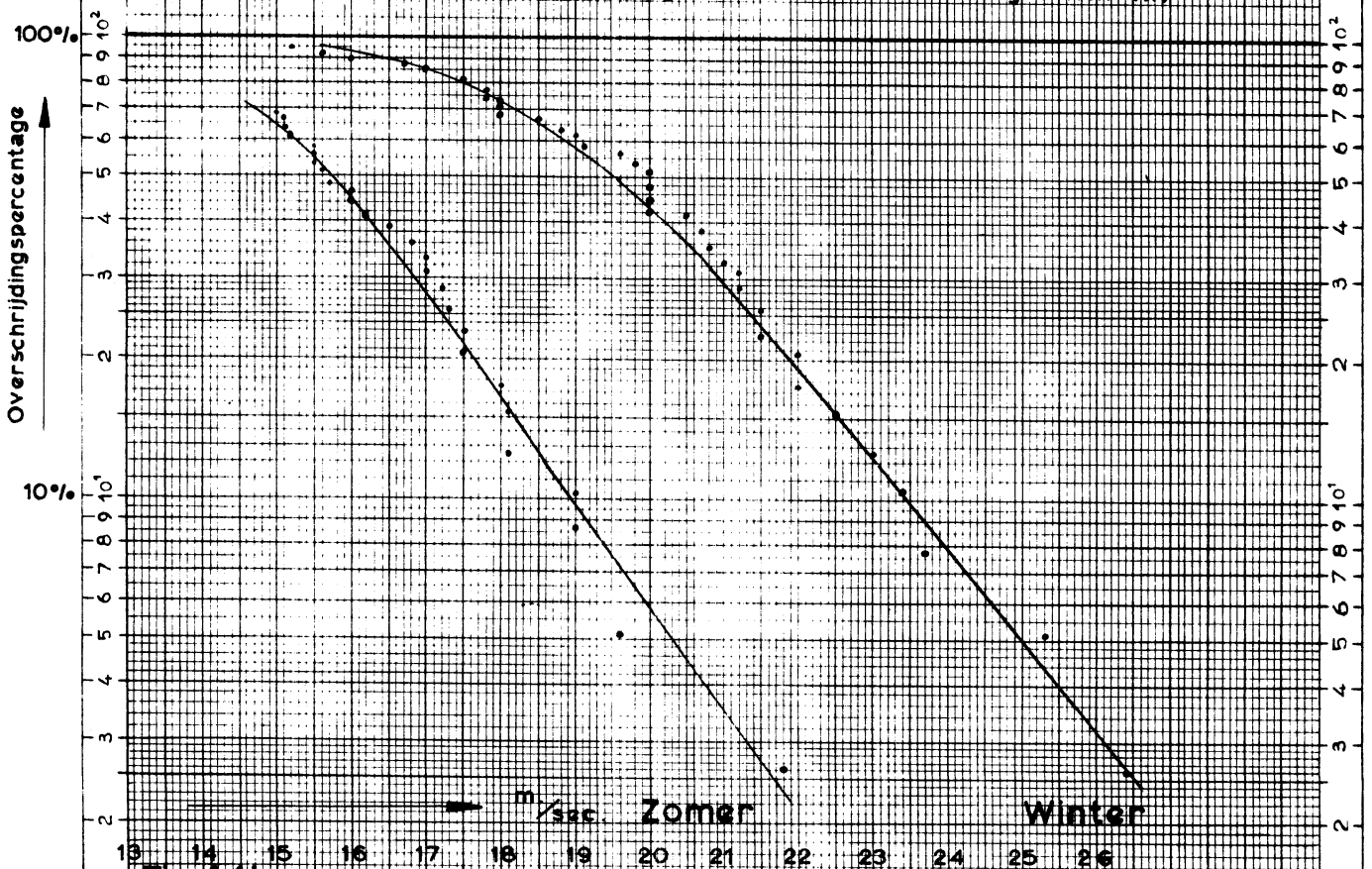


Fig. 14b Overschrijdingsfrequenties van de maximale uurgemiddelde windsnelheid in de winter (dec. 1/m. feb.) en de zomer (juni 1/m. aug.) (windrichting WNW-N.)

Fig. 15 WINDSNELHEID MET EEN OVERSCHRIDINGSKANS VAN RESP
10% EN 50% PER MAAND

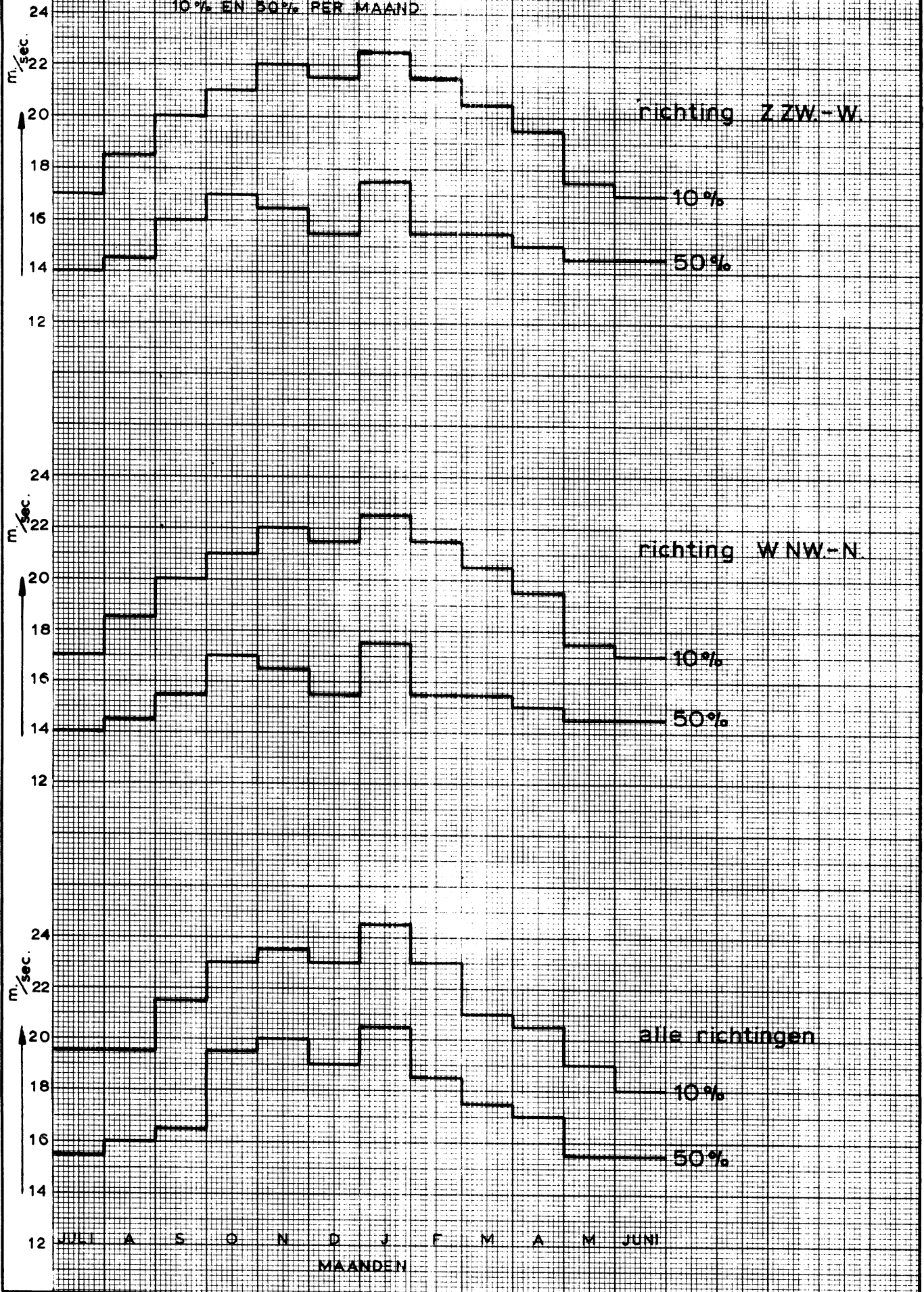
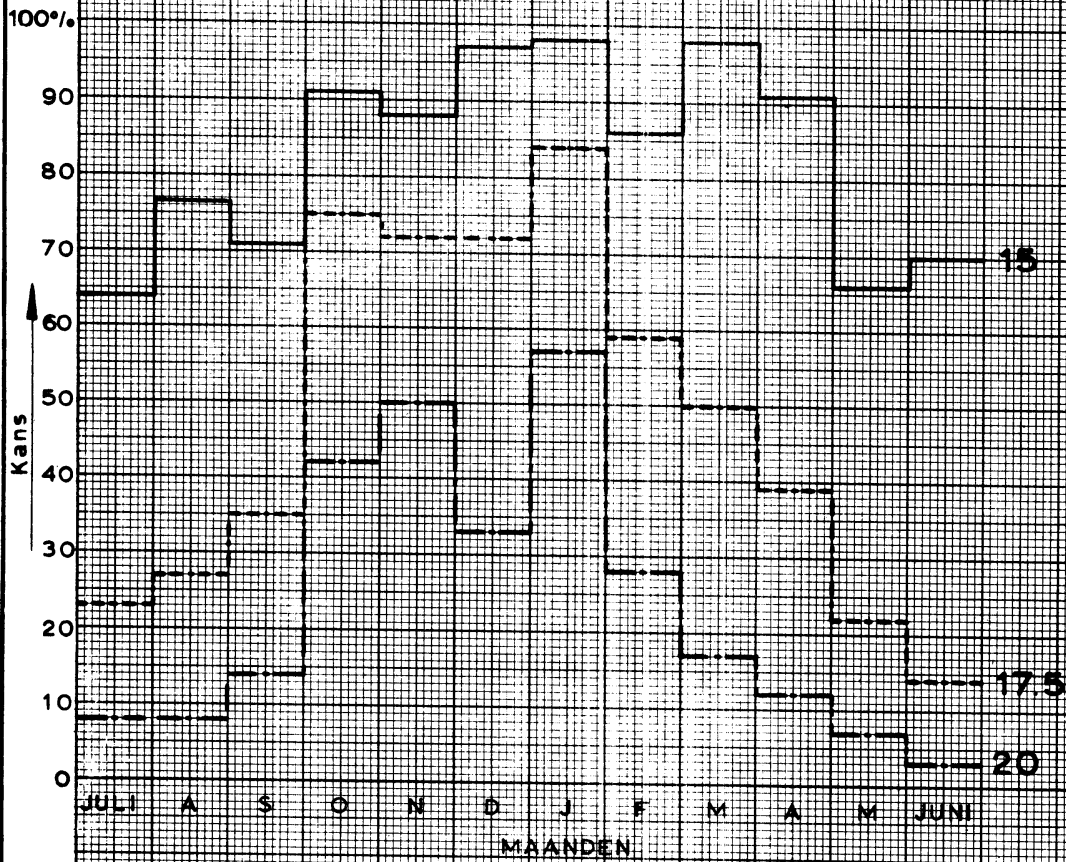


Fig. 16 KANS PER MAAND OP EEN MAXIMALE WINDSNELHEID
 VAN RESP. 15, 17,5 EN 20 ^m/sec.



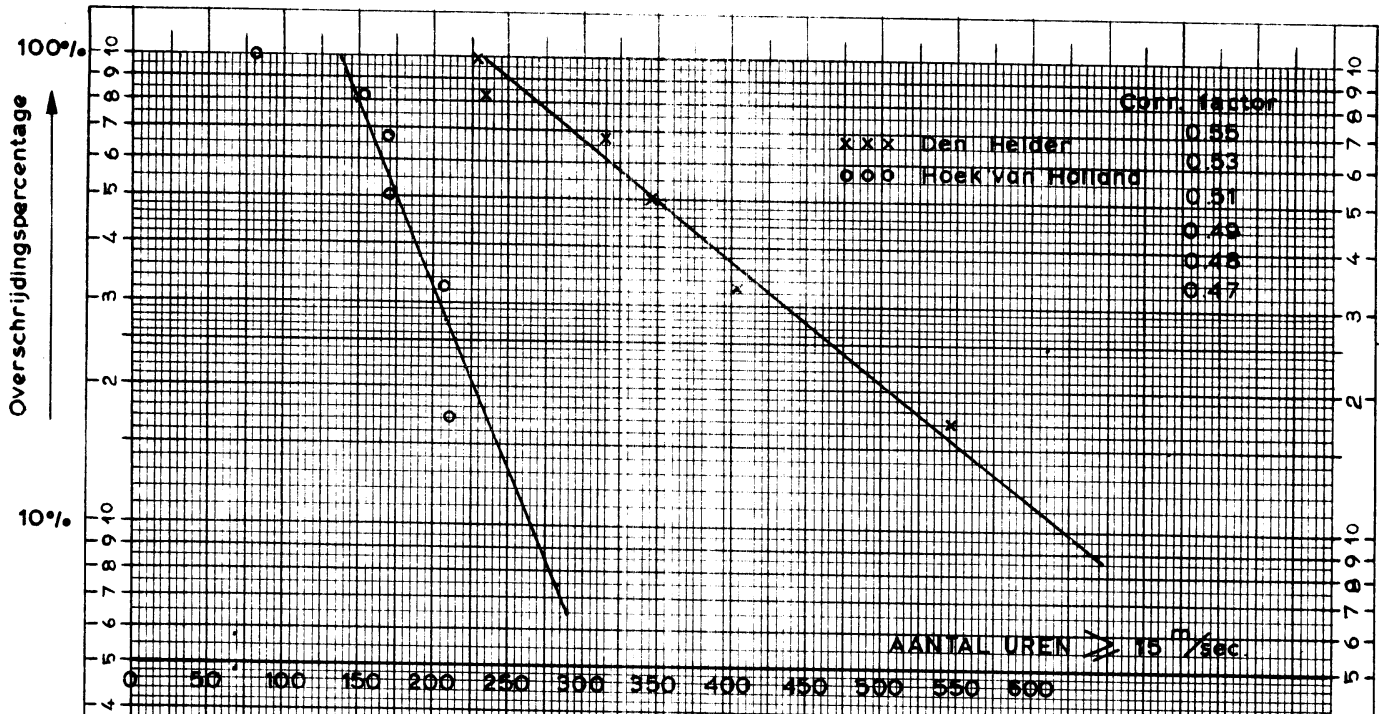


Fig 17a Correspondentie Hoek van Holland - Den Helder. Aantal uren per maand met windsnelheid $\geq 15 \frac{m}{sec}$, onafhankelijk windrichting, geheel jaar

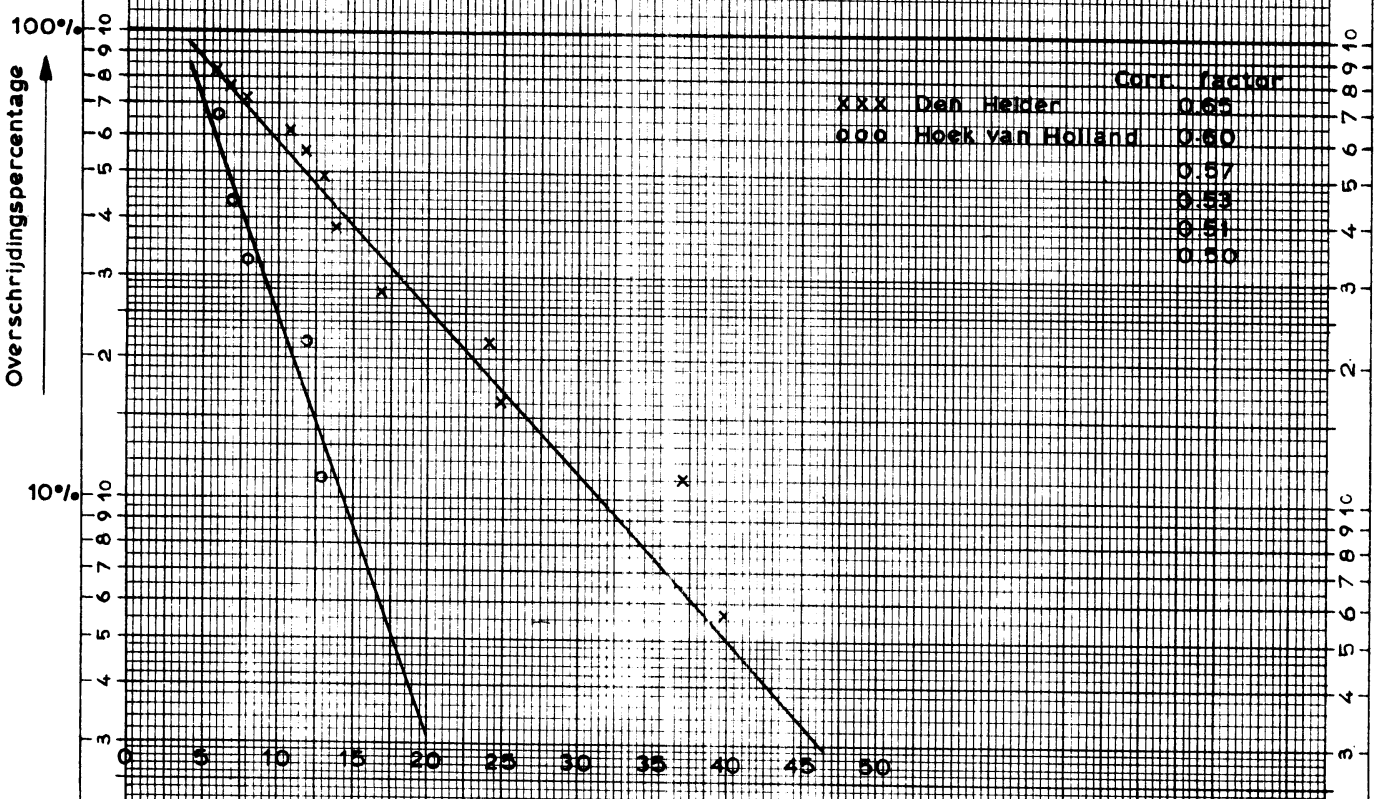


Fig 17b Correspondentie Hoek van Holland - Den Helder. Stormduur in uren, windrichting W-NW - N., zomerhalfjaar