

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

VERSLAGEN

V - 293

P.J. Rijkoort, A. Denkema en G.J. Yperlaan

**Klimatologische gegevens ter bepaling van de
potentieel beschikbare windenergie in de kust-
zone van Nederland.**

Bijdrage K. N. M. I. aan het verslag van
de eerste fase van het
Nationaal Onderzoek Programma Windenergie

De Bilt, 1977

Publikatienummer K. N. M. I. : V-293 (OD/SB).

Ongewijzigde herdruk De Bilt, 1980

U. D. C. : 551.556.3

Klimatologische gegevens ter bepaling van de potentieel beschikbare windenergie in de kustzone van Nederland.

Inleiding

Aangezien de hoeveelheid energie die in principe uit de windbeweging kan worden verkregen evenredig is met de derde macht van de windsnelheid, ligt het voor de hand dat men voor de bepaling van gebieden die in aanmerking komen voor eventuele winning van windenergie in eerste instantie aan de kustzone van ons land denkt. De gemiddelde snelheid is aan de kust $1\frac{1}{2}$ à 2 keer zo groot als in het zuid-oosten van het land en dat zou dus in de beschikbare energie een factor 3 à 8 betekenen, althans als de verhouding die voor de gemiddelde snelheid geldt ook min of meer voor alle snelheden geldt.

Om meer in concreto te kunnen aangeven hoeveel potentiële windenergie in ons land beschikbaar is, is een bewerking van windgegevens van een aantal windstations, hoofdzakelijk in de kustzone gelegen, uitgevoerd.

1. Het materiaal

Voor dit onderzoek zijn gegevens van een negental windstations gebruikt. Onder deze negen windstations is één in zee voor de kust gelegen n.l. het lichtschip Goeree.

De gegevens hebben betrekking op de normale waarnemingshoogte van ca. 10 m en zijn verkregen uit registraties van anemometers, uitgezonderd in geval van Goeree, waar de basisgegevens Beaufort-schattingen zijn, die omgezet zijn in snelheden in m/s.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de stations en de tijdvakken waarover de gegevens beschikbaar zijn.

De tijdvakken zijn zo groot mogelijk gekozen in de verwachting dat langere perioden grotere betrouwbaarheid geven. Het is daardoor helaas zo dat de tijdvakken voor de verschillende stations niet gelijk zijn. De vraag doet zich voor of de resultaten dan wel met elkaar vergelijkbaar zijn. Om hierover iets te kunnen zeggen zijn de gemiddelden van de windsnelheid bepaald, afzonderlijk voor winter en zomer, voor de volledige tijdvakken en voor het tijdvak 1961-1970. Dit laatste met uitzondering van Terschelling wegens het ontbreken van het tijdvak 1962-1968.

Tabel 1

| <u>Station</u> | <u>tijdvak</u> | <u>aantal jaren</u> |
|----------------|------------------------|---------------------|
| Vlissingen | 1-1 -'59 t/m 31-12-'75 | 17 |
| IJmuiden | 1-1 -'57 " 31-12-'75 | 19 |
| Den Helder | 1-1 -'49 " 31-12-'75 | 23 |
| Terschelling | 1-11-'58 " 27-5 -'62 | |
| | 11-7 -'63 " 31-12-'75 | 11 |
| Rotterdam | 1-1 -'57 " 31-12-'75 | 19 |
| Schiphol | 1-1 -'49 " 31-12-'75 | 27 |
| Leeuwarden | 1-10-'58 " 31-12-'75 | 17 + 2mnd |
| Urk | 1-1 -'59 " 31-12-'75 | 17 |
| Goeree | 1-1 -'49 " 31-12-'70 | 22 |

Uit de vergelijking van de gemiddelden voor 1961-1970 met die voor de volledige tijdvakken blijkt dat er voor alle stations slechts weinig verschil is tussen de gemiddelden van beide tijdvakken n.l. maximaal 3%. Het is derhalve niet nodig geoordeeld correcties toe te passen voor de ongelijkheid in de lengten van de tijdvakken.

Op de windsnelheden zoals die op de stations zijn geregistreerd is een z.g. beschuttingscorrectie toegepast (zie Wieringa 1976 en Denkema 1976), deze zorgt ervoor dat voor verschillen in de ruwheid van het terrein in de omgeving van het windstation wordt gecorrigeerd. De gecorrigeerde snelheden kunnen worden geacht te gelden voor een vlak, met gras bedekt terrein (ruwheidsparameter $z_0 = 0,03$ m.). Dit geldt ook voor de "echte" kuststations Vlissingen, IJmuiden, Den Helder, Terschelling en Urk. Naar schatting zullen de snelheden boven een vrij wateroppervlak in de buurt van deze stations 12% (zie Wieringa en v.d. Veer 1976) groter zijn. Uiteraard is de verhouding van de snelheid boven water en die boven land niet werkelijk constant, maar een functie van het temperatuurverschil tussen water en land (zie b.v. Richard et al., 1966, met overigens relatief grote windsnelheidsverschillen omdat vergeleken is met een tamelijk beschut landstation).

De gegevens van de stations zijn gegroepeerd in zes windrichtingssectoren van ieder 60° (15° - 75° , enz.), in zomer- en winterhalfjaar (met 15 apr. en 15 oct. als grenzen) en naar dag en nacht (2 uren rond zonopkomst en rond zonsondergang buiten beschouwing gelaten uit homogeniteits overwegingen). Voor alle combinaties van deze groeperingen zijn frequentie-verdelingen van de windsnelheid gemaakt.

Voor de praktische berekening van de totale potentiële windenergie is voorlopig volstaan met een beperkt aantal combinaties. Hiervoor zijn grafieken gemaakt met behulp waarvan de potentiële windenergie is te bepalen.

2. Grafieken voor de bepaling van het basisgegeven voor de potentiële windenergie.

Er wordt uitgegaan van het gegeven dat de energie die aan de wind kan worden onttrokken evenredig is met de derde macht van de windsnelheid (u^3). Om de totale aanwezige windenergie te verkrijgen moet u^3 over de frequentieverdeling van u worden geïntegreerd; echter niet over het gehele interval van u waarden omdat beneden een grenswaarde \tilde{u}_0 (b.v. 3 à 6 m/s) de windsnelheid te zwak is om de windgenerator in beweging te krijgen of houden, terwijl boven een grenswaarde \tilde{u}_b de windmolen aan een maximum aantal omwentelingen toe is; dan blijft de opgenomen energie gelijk aan \tilde{u}_b^3 ongeacht de windsnelheid. Bovendien is er nog een tweede bovengrens, waarbij de windmolen geblokkeerd dient te worden wegens risico van beschadiging. Aangezien in het algemeen de kansen waarmee dergelijke snelheden voorkomen zeer klein zijn, is deze tweede bovengrens buiten beschouwing gelaten.

Wanneer de windsnelheid in klassen van 1 m/s wordt genoteerd en u_i de waarde is in het midden van de klasse dan is de potentiële windenergie evenredig met:

$$S = \sum_{i=0}^{b-1} u_i^3 n_i + \tilde{u}_b^3 \sum_{i=b}^{\infty} n_i \quad \text{met } u_0 = \tilde{u}_0 \quad \text{en } u_b = \tilde{u}_b$$

De exploiteerbare energie zelf vindt men door S te vermenigvuldigen met een factor, welke afhangt van de efficiëntie waarmee een windmolen deze energie kan converteren tot b.v. asrotatie-energie.

S wordt genoteerd in eenheden van $10^6 \cdot (m/s)^3$.

Uit de beschikbare reeksen waarnemingen zijn de waarden van S berekend zowel afzonderlijk voor het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar als voor het gehele jaar. Bovendien is voor de echte kuststations Vlissingen, IJmuiden en Den Helder ook nog onderscheid tussen land- en zeewind gemaakt (grenzen bij 15° en 195°).

Voor ieder station is in de figuren 2.1 .. 2.10 een grafiek te vinden waarin S wordt aangegeven als functie van \tilde{u}_0 en \tilde{u}_b . Deze S waarden gelden uiteraard voor de normale waarnemingshoogte van ca. 10 m.

3. S als functie van \bar{u} .

In de inleiding werd opgemerkt dat op grond van bekende verschillen in de gemiddelde snelheid tussen kust en binnenland te verwachten is dat de

grootste waarden van windenergie in de kustzone (of op zee) zullen voorkomen. De vraag is nu in hoeverre S door de gemiddelde snelheid alleen is bepaald. In fig. 3.1 zijn voor drie stellen \tilde{u}_o , \tilde{u}_b de waarden van S uitgezet tegen \bar{u}^3 , alleen voor de resultaten van het gehele jaar. De S waarden zijn afgelezen van de figuren 2.

Het blijkt dat er een vrij strakke lineaire relatie is n.l.:

$$S(3,20) = 0,0167 \bar{u}^3 - 0,050$$

$$S(4,16) = 0,0150 \bar{u}^3 + 0,152$$

$$S(6,12) = 0,0111 \bar{u}^3 + 0,298$$

met correlatiecoëfficiënten 0,99. De constante term is in de eerste twee gevallen niet significant van nul afwijkend. Derhalve zou men deze relatie ook kunnen vervangen door:

$$S(3,20) = 0,0162 \bar{u}^3$$

$$\text{en } S(4,16) = 0,0156 \bar{u}^3$$

waarbij de coëfficiënt berekend is als \bar{S}/\bar{u}^3 .

Mits de range $\tilde{u}_o \dots \tilde{u}_b$ niet te klein is, is het blijkbaar mogelijk S direct te bepalen uit een evenredigheid met \bar{u}^3 .

N.B. De constante term moet natuurlijk nul zijn omdat voor het extreme geval dat $\bar{u} = 0$ moet gelden $S = 0$. In het geval $\bar{u} = 6$ en $u_b = 12$ betekent de afwijking van nul van de constante term waarschijnlijk dat het verband niet echt lineair kan zijn. De afwijking is echter zo gering dat

$$S(6,12) = 0,0124 \bar{u}^3$$

een zeer bruikbare relatie is, zoals fig. 3.1 laat zien.

In het algemeen is er dus sprake van een relatie:

$$S(\tilde{u}_o, \tilde{u}_b) = c(\tilde{u}_o, \tilde{u}_b) \bar{u}^3 \quad (3.1)$$

4. Bepaling van S waarden voor hoogten groter dan 10 m.

Het is uiteraard de bedoeling dat de windrotoren op een zo groot mogelijke hoogte worden opgesteld omdat de windsnelheid met de hoogte toeneemt en derhalve op grotere hoogten grotere totale windenergie opbrengst mogelijk is. Uit praktische overwegingen, in verband met de constructie, is de hoogte natuurlijk wel beperkt. Om de gedachte te bepalen zou men 40 à 80 m kunnen noemen.

Het is nu de vraag hoe groot S op deze hoogten is.

Een rechtstreekse berekening van S is helaas niet mogelijk omdat er nauwelijks waarnemingen op deze hoogten beschikbaar zijn; in feite alleen één jaar (1967-1968) van de 80 m mast te Vlaardingen en één jaar (1973) aan de 200 m mast te Cabauw. Er zal moeten worden getracht de S waarden op 10 m tot grotere hoogten te herleiden.

In eerste instantie kan daarvoor een zeer globale methode worden gebruikt, waarbij ondersteld wordt dat er tussen de snelheid op een hoogte h en die op 10 m een constante verhouding bestaat ($c_{h,10}$) onder alle omstandigheden. In dit geval kan S_h direct uit S_{10} worden afgeleid. Hiertoe moeten de grenswaarden \tilde{u}_0 en \tilde{u}_b eerst tot $\tilde{u}'_0 = \tilde{u}_0/c_{h,10}$ en $\tilde{u}'_b = \tilde{u}_b/c_{h,10}$ worden getransformeerd, daarna kan via de figuren 2 de waarde van \tilde{S} worden bepaald en tenslotte geeft vermenigvuldiging met $c_{h,10}^3$ de waarde van S op de hoogte h .

Een andere methode is aan te nemen dat de evenredigheid (3.1) ook op grotere hoogten geldt. \bar{u}_h kan dan gelijk $c_{h,10}\bar{u}_{10}$ gesteld worden waarna S met fig. 3.2 is te bepalen

Het bezwaar van beide methoden is dat $c_{h,10}$ in feite niet echt constant is. Het gebruik van een constante $c_{h,10}$ is gerechtvaardigd door het feit dat de grootste afwijking van de aangenomen constante waarde bij de zwakke windsnelheden onder stabiele omstandigheden voorkomt en dat deze afwijking bij toenemende windsnelheid kleiner wordt. Bij snelheden boven ca. 8 m/s is de atmosferische gelaagdheid doorgaans weinig van neutraal afwijkend. Aangezien het voor de berekening van de beschikbare windenergie vooral om de snelheden van ca. 5 tot ca. 15 m/s gaat is de aanname van een constante $c_{h,10}$ wel redelijk. Dat neemt niet weg dat het effect toch wel een rol kan spelen.

Met het verschil in toename van de snelheid met de hoogte rekening houden is mogelijk als gebruik wordt gemaakt van de aanpassing van de z.g. Weibull verdeling aan de frequentieverdelingen van de windsnelheid. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de dag- en de nachtwoarnemingen. Voor de verdeling van de nachtwoarnemingen is het nodig de Weibull verdeling te modificeren met drie extra parameters (zie Rijkooft 1972 en een publicatie in voorbereiding). Uit theoretische overwegingen is dan te verwachten dat de schaalparameter van de Weibull verdeling v met de hoogte varieert analoog aan de snelheid onder neutrale omstandigheden. Een der extra parameters die in feite het stabiliteits-effect in rekening brengt wordt ondersteld met de hoogte af te nemen en bij ca. 80 m nul te worden. Voor 40 m is een afnamefactor van 0,4 ingevoerd. In hoeverre dit laatste juist is moet nog nader onderzocht worden.

Met de onderstellingen uit het voorgaande is het nu mogelijk S uit te rekenen voor diverse stations, diverse hoogten en diverse keuzen van \tilde{u}_0 en \tilde{u}_b .

5. Numerieke resultaten

Voor de toepassing van de methoden om S voor hoogten boven 10 m te vinden volgens hoofdstuk 4 is in de eerste plaats kennis van $c_{h,10}$ nodig. In tabel 2

zijn voor enkele hoogten en voor resp. open land ($z_0 = 0,25$ m) en wateroppervlak ($z_0 = 0,0002$ m) waarden van $c_{h,10}$ vermeld. Hierbij is uitgegaan van 10 m open land waarvoor $c_{h,10}$ de waarde 1 heeft.

Tabel 2

| <u>hoogte</u> | <u>open land</u> | <u>ruw land</u> | <u>water</u> |
|---------------|------------------|-----------------|--------------|
| 10 | 1,00 | 0,89 | 1,12 |
| 20 | 1,12 | 1,05 | 1,19 |
| 30 | 1,19 | 1,15 | 1,24 |
| 40 | 1,24 | 1,21 | 1,27 |

De hoogte is beperkt tot 40 m. Ten aanzien van de verdere toename met de hoogte heerst nog enige onzekerheid. Zeel globaal lijkt een toename van ca. 5% van 40 naar 60 m een redelijke schatting, hetgeen een toename van 10 à 20% van 40 naar 60 m hoogte in de S waarden betekent.

De toepassing van de schattingsmethoden volgens 4 is beperkt tot de keuze $\tilde{u}_0 = 4$ en $\tilde{u}_b = 16$ m/s. Het effect van andere keuzen kan in eerste instantie uit de figuren 2 worden geschat. De resultaten van de berekeningen zijn in de volgende tabel samengevat.

Tabel 3

S waarden in 10^6 (m/s)³

Berekeningsmethode I (via grafieken 2)

| <u>station</u> | <u>open land</u> | | <u>ruw land</u> | | <u>water</u> | |
|----------------|------------------|------|-----------------|------|--------------|------|
| | 10 m | 40 m | 10 m | 40 m | 10 m | 40 m |
| Vlissingen | 2,53 | 4,7 | 1,75 | 4,38 | 3,55 | 4,06 |
| IJmuiden | 3,53 | 6,4 | 2,48 | 5,99 | 4,88 | 6,76 |
| Den Helder | 5,20 | 8,87 | 3,71 | 8,38 | 7,03 | 9,42 |
| Terschelling | 4,73 | 8,27 | 3,40 | 7,79 | 6,46 | 8,77 |
| Rotterdam | 2,41 | 4,44 | 1,67 | 4,15 | - | - |
| Schiphol | 3,61 | 6,31 | 2,59 | 5,95 | - | - |
| Leeuwarden | 2,33 | 4,37 | 1,62 | 4,07 | - | - |
| Urk | 3,70 | 6,58 | 2,61 | 6,20 | 5,09 | 7,01 |
| Goeree | - | - | - | - | 5,80 | 7,87 |

Methode II (via \bar{u} en fig. 3.2)

| <u>station</u> | <u>open land</u> | | <u>ruw land</u> | | <u>water</u> | |
|----------------|------------------|------|-----------------|------|--------------|------|
| | 10 m | 40 m | 10 m | 40 m | 10 m | 40 m |
| Vlissingen | 2,47 | 4,38 | 1,75 | 4,10 | 3,36 | 4,61 |
| IJmuiden | 3,49 | 6,19 | 2,48 | 5,80 | 4,75 | 6,52 |
| Den Helder | 5,29 | 9,38 | 3,76 | 8,78 | 7,20 | 9,88 |
| Terschelling | 5,02 | 8,91 | 3,56 | 8,33 | 6,83 | 9,37 |
| Rotterdam | 2,36 | 4,19 | 1,68 | 3,92 | - | - |
| Schiphol | 3,46 | 6,13 | 2,45 | 5,74 | - | - |
| Leeuwarden | 2,81 | 4,31 | 1,72 | 4,03 | - | - |
| Urk | 3,49 | 6,19 | 2,48 | 5,80 | 4,75 | 6,52 |
| Goeree | - | - | - | - | 5,86 | 8,23 |

Methode III (via de Weibull-verdelingen)

| | | | | | | |
|--------------|------|------|---|---|------|------|
| Vlissingen | 2,46 | 4,98 | - | - | 3,45 | 5,27 |
| IJmuiden | 3,42 | 6,60 | - | - | 4,52 | 6,50 |
| Den Helder | 5,22 | 9,14 | - | - | 7,11 | 9,71 |
| Terschelling | 4,77 | 8,60 | - | - | 6,51 | 9,03 |
| Rotterdam | 2,37 | 5,03 | - | - | - | - |
| Schiphol | 3,58 | 7,26 | - | - | - | - |
| Leeuwarden | 2,44 | 5,37 | - | - | - | - |
| Urk | 3,70 | 6,95 | - | - | - | - |
| Goeree | - | - | - | - | 5,12 | 7,31 |

De toepassing van methode III op de ruw land situatie is achterwege gelaten.

Onderlinge vergelijking van de tabellen geeft aan dat de eerste twee methoden goed overeenstemmen. De verschillen zijn doorgaans niet meer dan enkele procenten, in enkele gevallen tot ca. 8% oplopend. De overeenstemming van de resultaten van de derde methode met de eerste twee is eveneens goed met dien verstande dat voor de landstations de 40 m waarden volgens methode III duidelijk groter zijn dan die volgens I en II. Maar dat is juist wat te verwachten was in verband met het feit dat bij stabiele situaties boven land de hoogtetoename van de snelheid groter is dan onder neutrale omstandigheden het geval is.

In de figuren 5.1 en 5.2 zijn de S waarden die volgens methode III zijn berekend in beeld gebracht. Waarden boven water zijn omcirkeld. Zowel de S waarden voor 10 m als die voor 40 m geven inderdaad aan dat de kustzone het gebied is waar de grootste waarden aan potentiële windenergie voorkomen en dan in het bijzonder het gebied van Noord-Holland, de Wadden eilanden en het IJselmeer. De verschillen tussen de S waarden van land en van zee zijn zoals te verwachten is op 40 m geringer dan op 10 m.

6. De nauwkeurigheid van de S waarden en de variatie van jaar tot jaar.

Gezien het betrekkelijk grote aantal waarnemingen is de meeton nauwkeurigheid waarschijnlijk te verwaarlozen t.o.v. de onzekerheid in de verdere bewerkingen die uitgevoerd zijn om voor de diverse plaatsen en hoogten representatieve waarden te verkrijgen. Voor een deel komt dit tot uiting in de verschillen, in de orde van 5%, in de S waarden die volgens de drie methoden zijn berekend.

Veel belangrijker echter is de variatie die van jaar op jaar kan optreden. Een exacte berekening hiervan is niet uitgevoerd wegens tijdgebrek. Het is echter o.i. voldoende in verband met de relatie tussen S en \bar{u} om na te gaan hoe sterk \bar{u} of \bar{u}^3 varieert. Voor Den Helder blijkt dat, in het tijdvak 1940-1971, de jaargemiddelden van de windsnelheid normaal verdeeld zijn met een algemeen gemiddelde 7.0 m/s en standaard deviatie 0,18 m/s d.w.z. \bar{u} kan met 95% kans variëren tussen 6,64 en 7,36 en dus kan $S = 0,0157 \bar{u}^3$ variëren met 95% kans tussen 4,60 en 6,26. Gezien de grote correlatie tussen de windsnelheden in ons land is aan te nemen dat de jaar op jaar variatie in de overige stations zowel op 10 m als op 40 m relatief van dezelfde orde van grote is.

7. Lengten van tijdvakken met zwakke wind.

Uit de frequentie verdelingen die gebruikt zijn voor de berekening van S is ook af te leiden hoeveel uren met windsnelheden beneden de ondergrens \tilde{u}_0 per jaar voorkomen, dit zegt echter niets over het aantal uren achter elkaar dat er geen windenergie gewonnen kan worden. Om hierover iets te kunnen zeggen zijn in een afzonderlijke bewerking uit de waarnemingen van de beschikbare stations tijdvakken met $u < 4, 5$ of 6 m/s uitgezocht. In de figuren 7 zijn de aantallen tijdvakken van verschillende lengten in beeld gebracht. De lengten zijn in dagen genoteerd.

De figuren spreken voor zichzelf, alleen t.o.v. Goeree dient een opmerking te worden gemaakt. De krommen hebben hier een iets ander karakter dan die van de overige stations. Dit hangt vooral samen met het feit dat de gegevens van Goeree geen uurwaarnemingen zijn maar schattingen om de drie uur volgens de Beaufort-schaal die gebaseerd is op het karakter van het zeeoppervlak. Deze Beaufort eenheden zijn in m/s omgezet. Omdat om de drie uur wordt waargenomen is het mogelijk dat b.v. tussen twee opeenvolgende waarnemingen die beiden beneden de grenswaarde \tilde{u}_0 vallen één uur is voorgekomen met een snelheid boven de grens dat echter niet is waargenomen. De twee opeenvolgende drie uur waarnemingen worden geacht tot één tijdvak met snelheden beneden de grens te horen. Bij het waarnemen van uur op uur zou hier dus een afbreken van het tijdvak plaats vinden m.a.w. het waarnemen om de drie uur zullen dus gedeeltelijk te lange reeksen ontstaan, die indien men ieder uur had waargenomen in meerdere kortere reeksen zouden zijn uiteengevallen. In fig. 7.10 is het aantal reeksen van grotere lengten dus feitelijk te groot en het aantal reeksen van korte lengten te klein.

De gegevens uit de figuren 7 gelden voor het normale waarnemingsniveau van ca. 10 m. De overeenkomstige gegevens voor grotere hoogten kunnen helaas niet uit die op 10 m worden afgeleid. Nu speelt n.l. het feit dat onder stabiele omstandigheden de windsnelheid sterker met de hoogte toeneemt dan bij neutrale situaties in belangrijker mate een rol dan bij de bepaling van S, omdat het nu juist om de zwakke wind gaat. Zou men uit de figuren 7 door gebruik te maken van de factoren $c_{h,10}$ uit tabel 2 de lengten van tijdvakken met $u_h < \tilde{u}_0$ willen afleiden door bij $u_0 = \tilde{u}_0 / c_{h,10}$ af te lezen dan zal het resultaat zijn dat te veel lange reeksen worden verkregen en te weinig korte. Het is niet zonder meer te zeggen of men hiervoor kan corrigeren en zo ja hoeveel. Voorlopig zal moeten worden volstaan met de op bovenstaande wijze verkregen aantallen lange reeksen als bovengrenzen te beschouwen.

8. Frekwenties van de windsnelheid en de energie naar de windrichting.

Het is wenselijk op eenvoudige wijze te kunnen vaststellen, wat de meest efficiënte oriëntatie van een rij of veld windgeneratoren is in verband met het verschil in windsnelheid en dus in beschikbare windenergie bij de verschillende windrichtingen.

Daarvoor zijn windrozen van de stations Den Helder, IJmuiden, Schiphol, Rotterdam en Vlissingen gemaakt met de cumulatieve frekwenties van de uurgemiddelden van de windsnelheid per tien graden vak in procenten van het geheel. Overeenkomstige figuren zijn gemaakt voor u^3 als grootte, waarmee de beschikbare energie evenredig is.

Op alle windsnelheden zijn de zogenaamde beschuttingscorrecties toegepast. Frekwenties van windsnelheden kleiner dan 1.4 m/s en de overeenkomstige energiehoeveelheden zijn niet weergegeven.

De frekwentieverdelingen zijn gemaakt voor het zomer-halfjaar (16 april-15 oktober), het winter-halfjaar (16 oktober-15 april) en het gehele jaar. De windsnelheden en de energiegrootheden zijn aangegeven op de schaal-tjes aan de westzijde van de figuren 8 t/m 13 (kleine cijfers). De gelijke cumulatieve frekwenties van de klassen zijn onderling verbonden door dikke lijnen. De percentages zijn in de figuren met grote cijfers gegeven.

Met nadruk zij er op gewezen, dat de figuren geen informatie geven over de windsnelheid en de energiehoeveelheden met een cumulatieve frekwentie kleiner dan 0.5 procent en dus ook niet over de totale hoeveelheid energie per windrichting.

Naschrift.

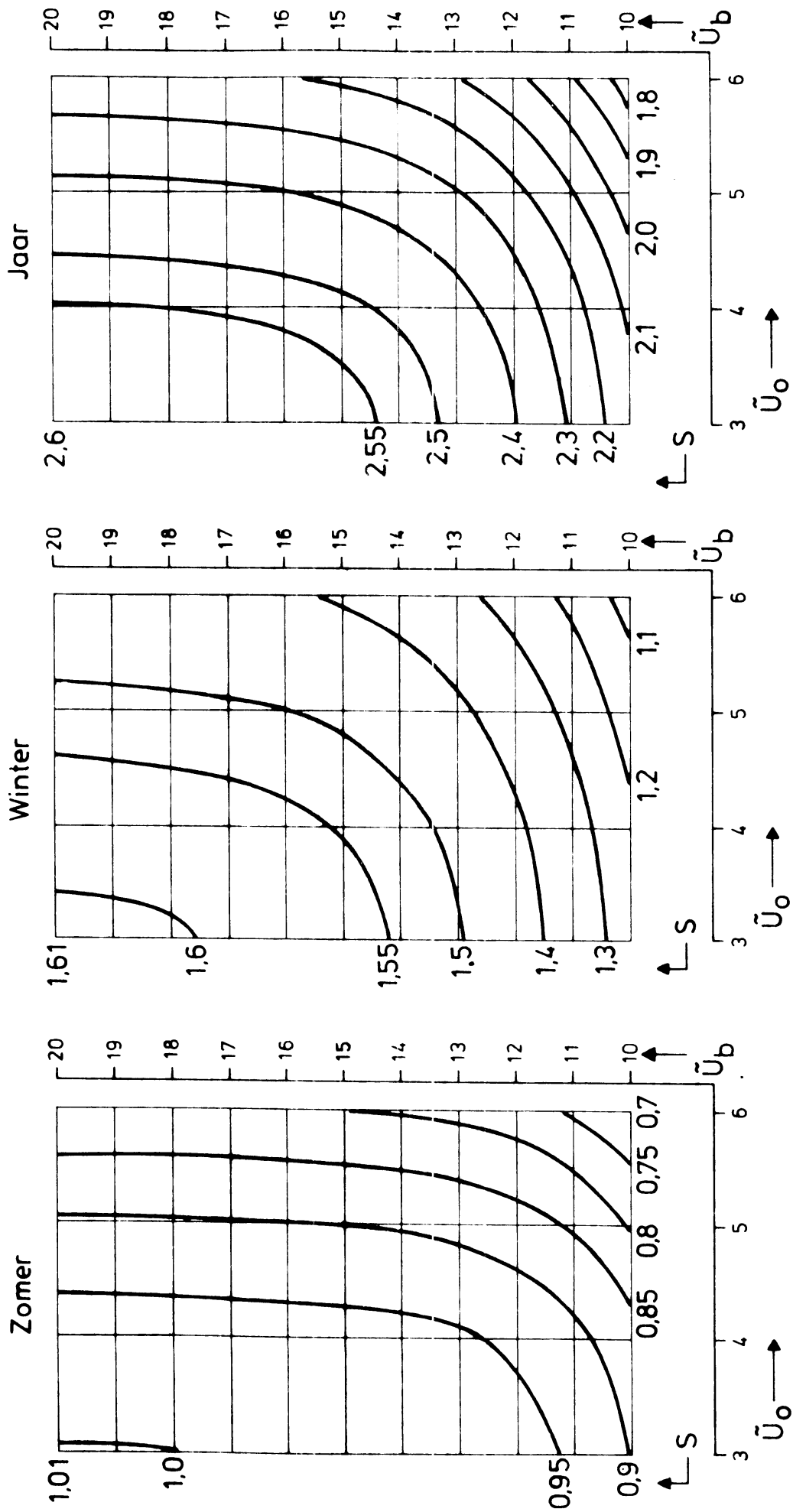
Bij het gereedmaken van de basisgegevens is medewerking verleend door het E.C.N. door het beschikbaar stellen van de heer A. de Ruyter, die voor het bepalen van de beschuttingsfactoren was ingeschakeld. De bepaling en toepassing van deze factoren vond plaats in overleg met Dr. J. Wieringa van de Afdeling Meteorologisch Onderzoek.

Het programmeren van de computerbewerkingen werd uitgevoerd door de heer H.H. Peeck van de Afdeling Machinale Bewerking Waarnemingen.

Literatuur.

- | | |
|---|--|
| T.L. Richards, H. Dragert, D.R. McIntyre | Influence of atmospheric stability and over-water fetch on winds over the lower Great Lakes. Monthly Weather Review 94 (1966) 448-453. |
| J. Wieringa | An objective exposure correction method for average wind speed measured at a sheltered location. Quart. J. Royal Met. Soc. 102 (1976) 448-253. |
| P.J. Rijkoort | De variatie van de windsnelheidsverdeling volgens waarnemingen op 10,40 en 80 m hoogte aan de meteorologische meetmast te Vlaardingen. K.N.M.I. W.R. 72-4 (1972). |
| A. Denkema | De herleiding van gemeten stationswindsnelheid naar representatieve open-terrein-windsnelheid, toegepast op een aantal in hoofdzaak langs de kust gelegen stations. K.N.M.I. V-282 (1976). |

Fig. 2.1.1 Vlissingen
1959 - 1975



Vlissingen
1959 - 1975

Fig. 2.1.2

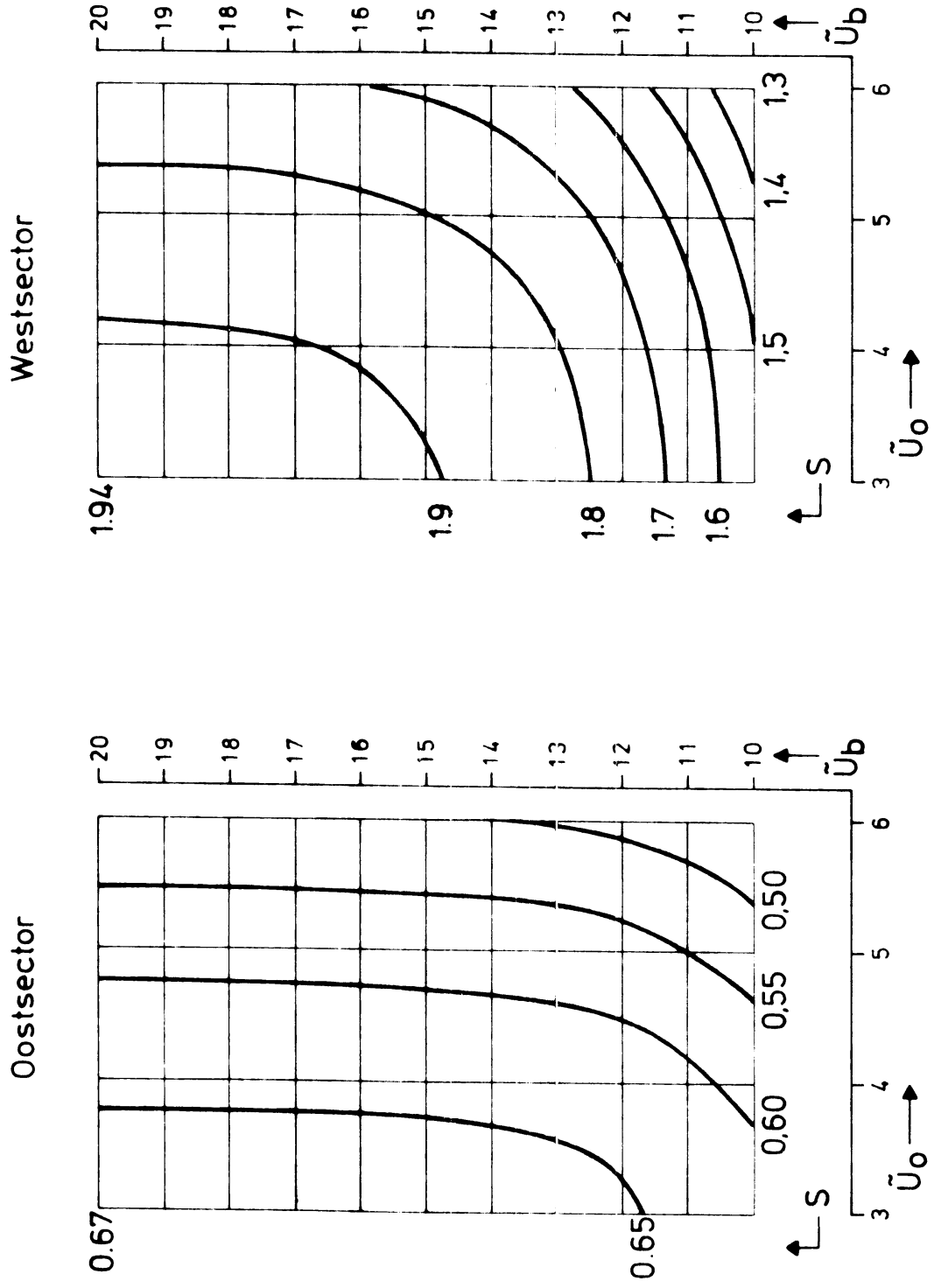


Fig. 2.2.1 Umuiden
1957-1975

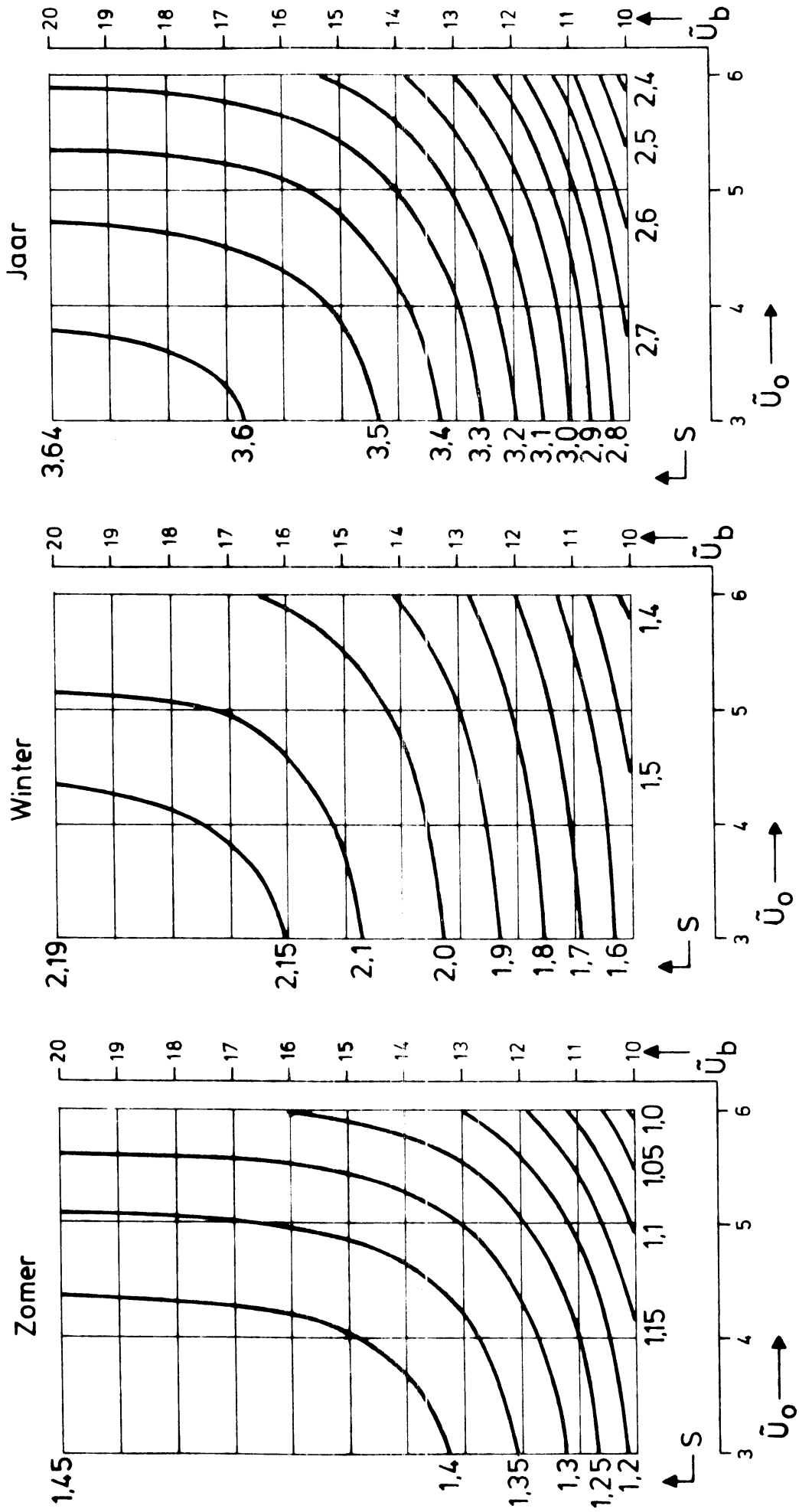


Fig. 2.2.2 Umuiden
1957 - 1975

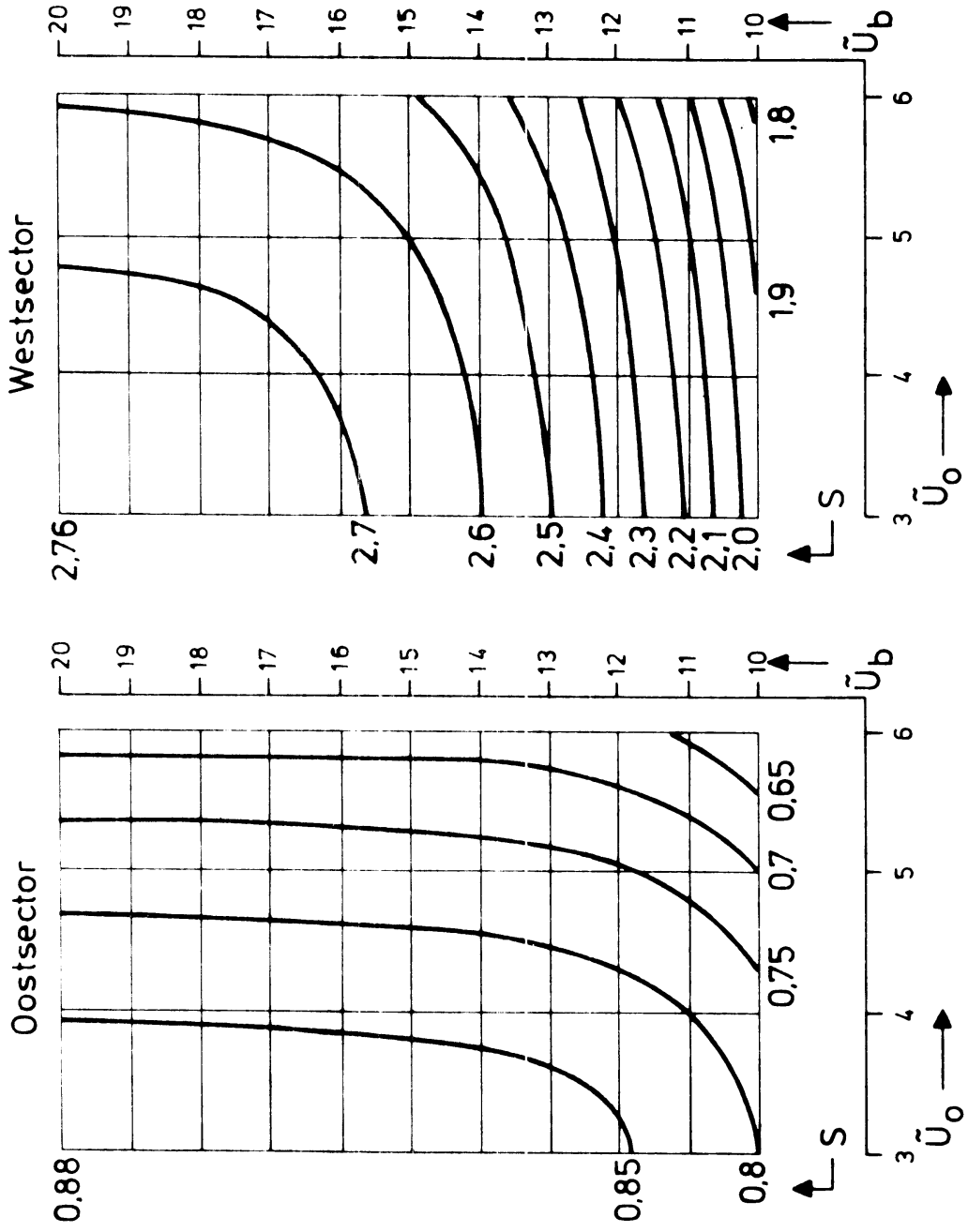


Fig. 2.3.1 Den Helder
1949 - 1971

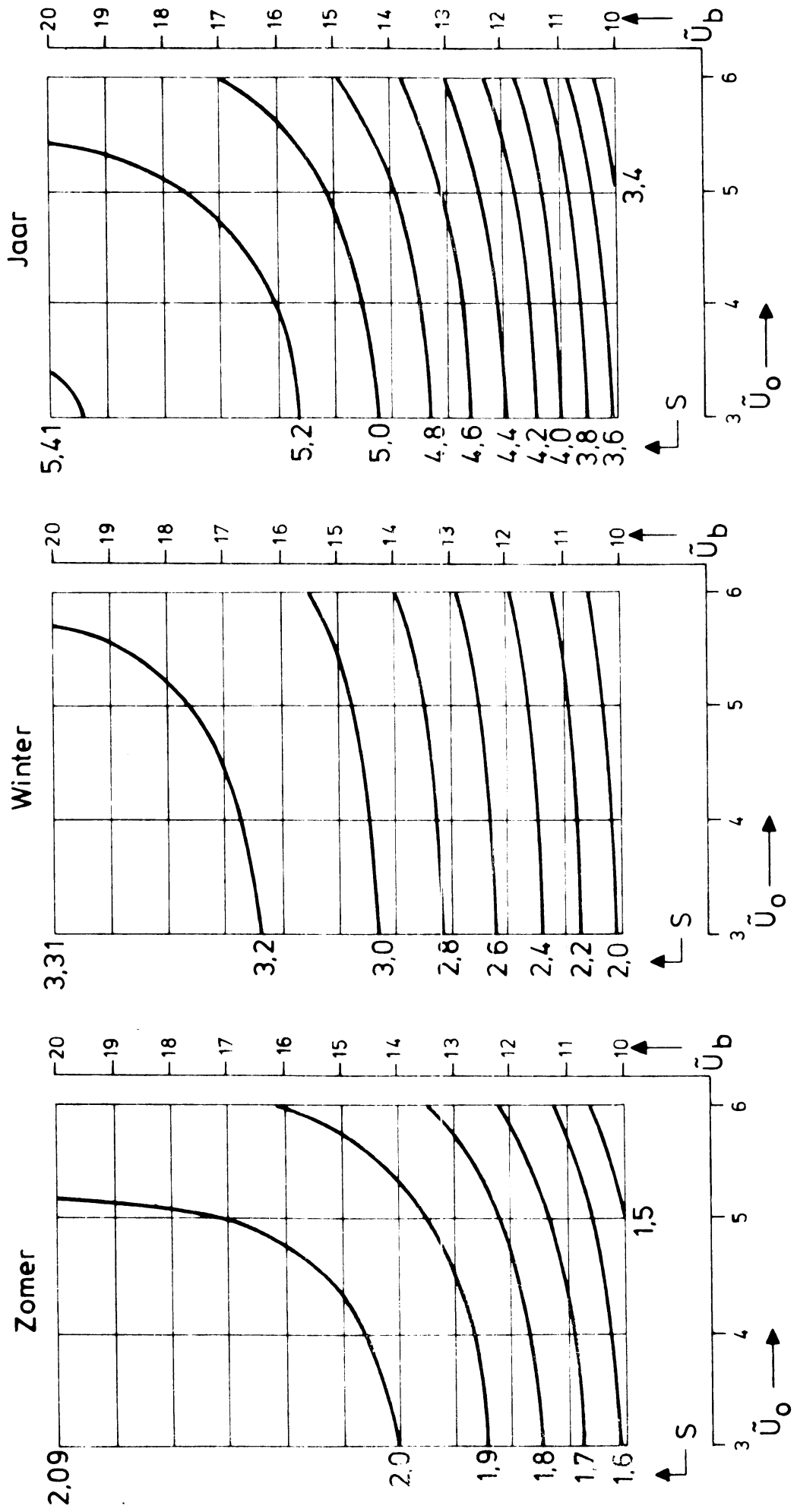


Fig. 2.3.2 Den Helder
1949 - 1971

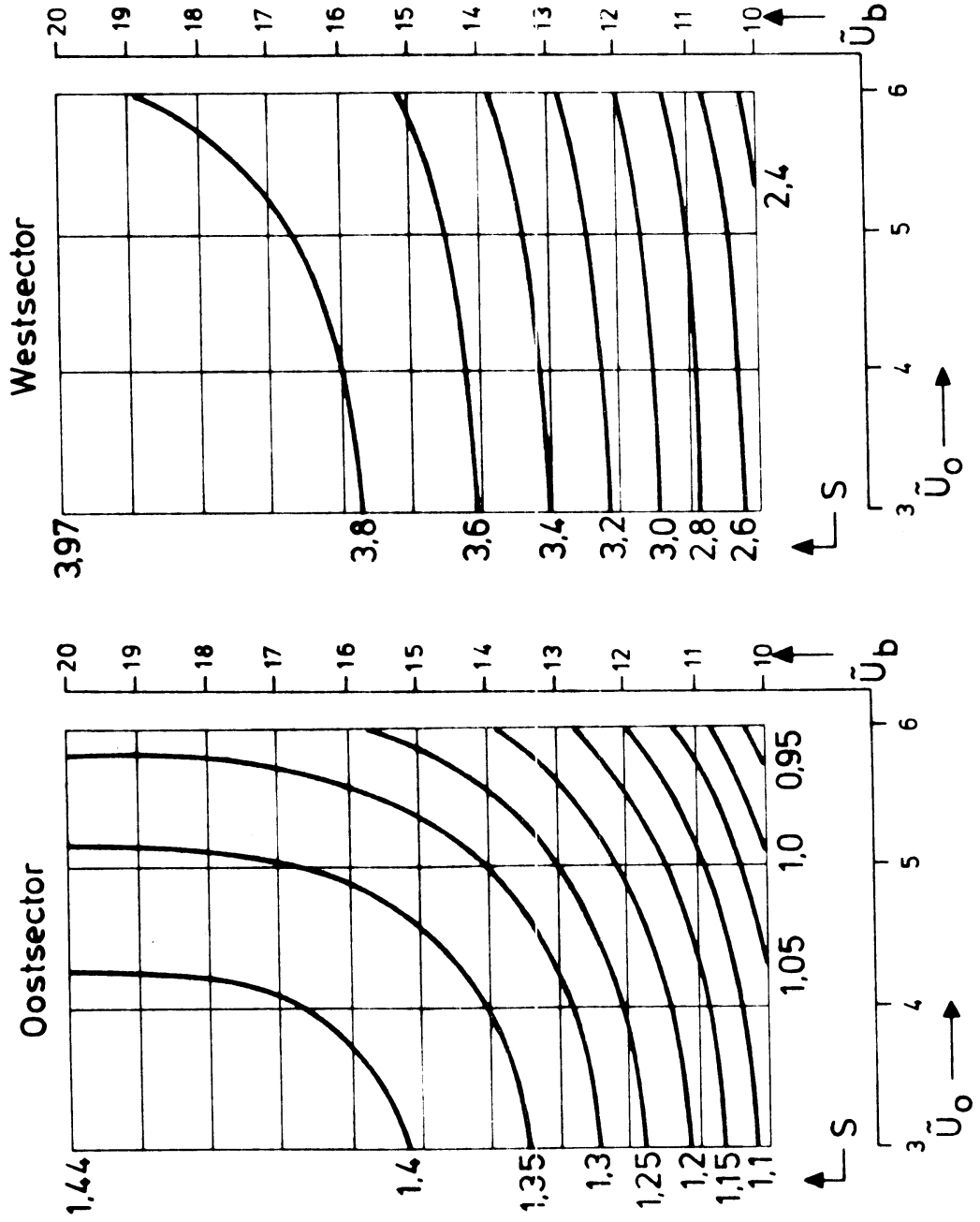


Fig. 2.4 Terschelling
1958-1962; 1968-1975

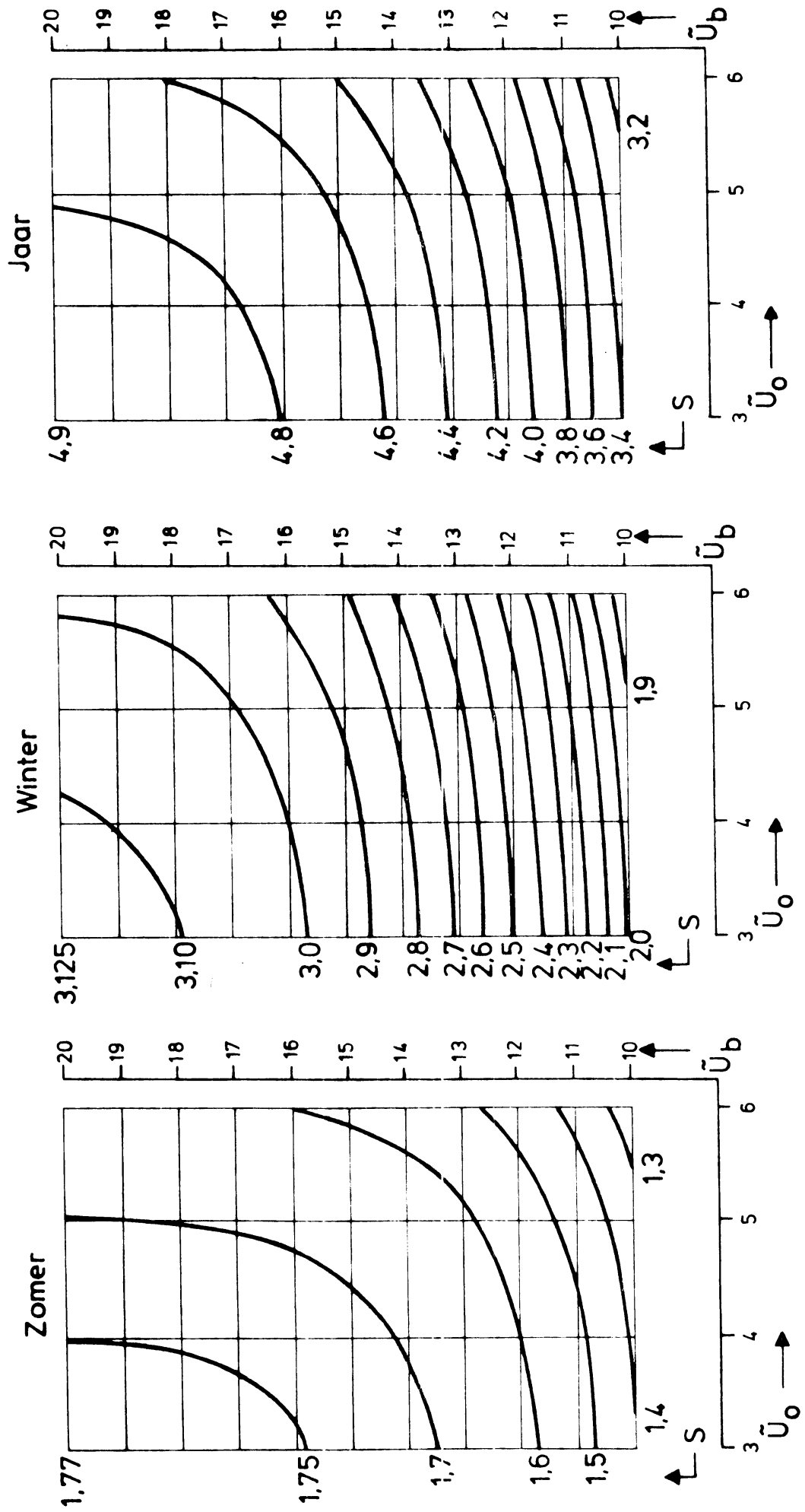


Fig. 2.5 Rotterdam
1957 - 1975

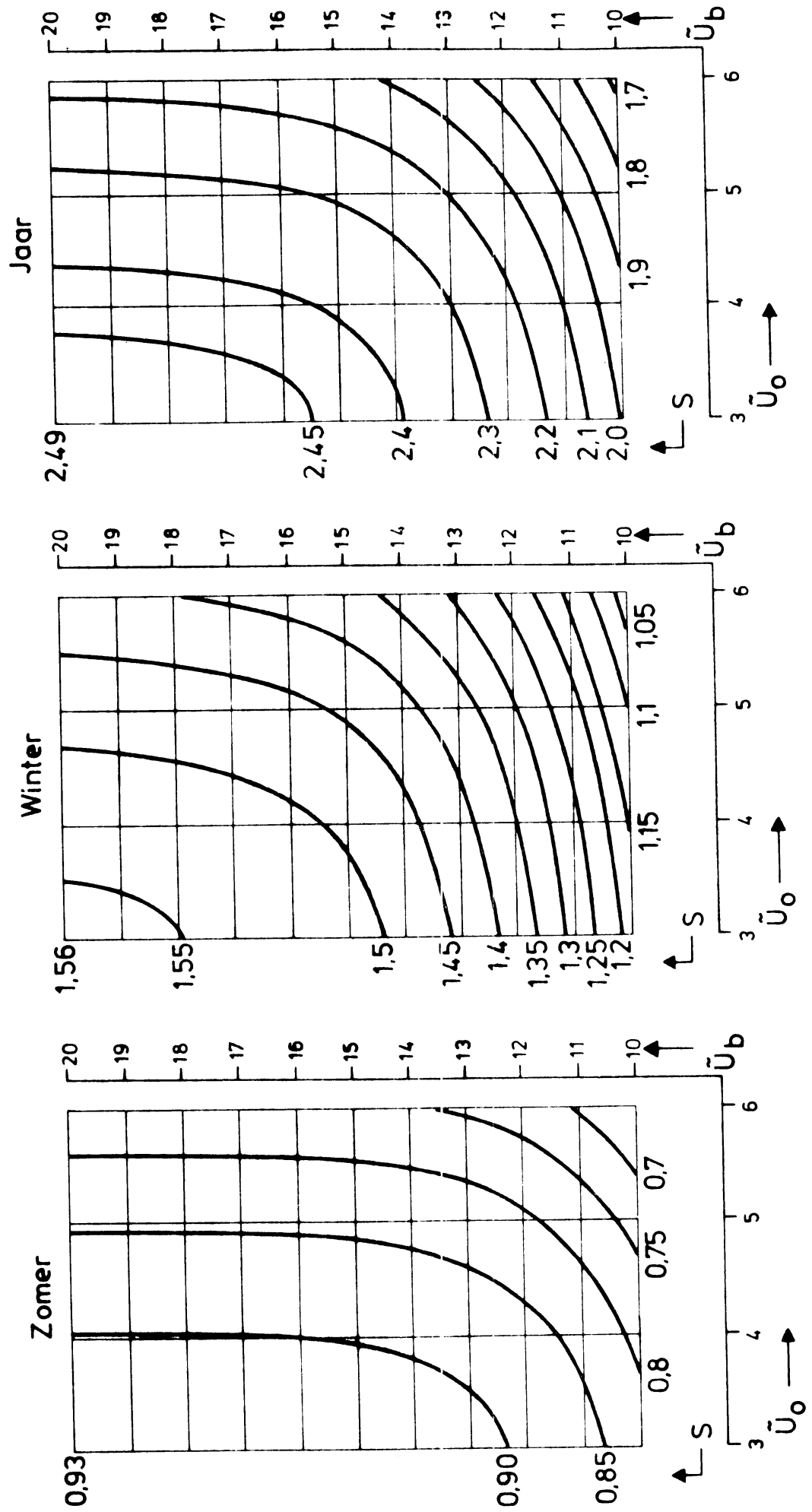


Fig. 2.6 Schiphol
1949 - 1975

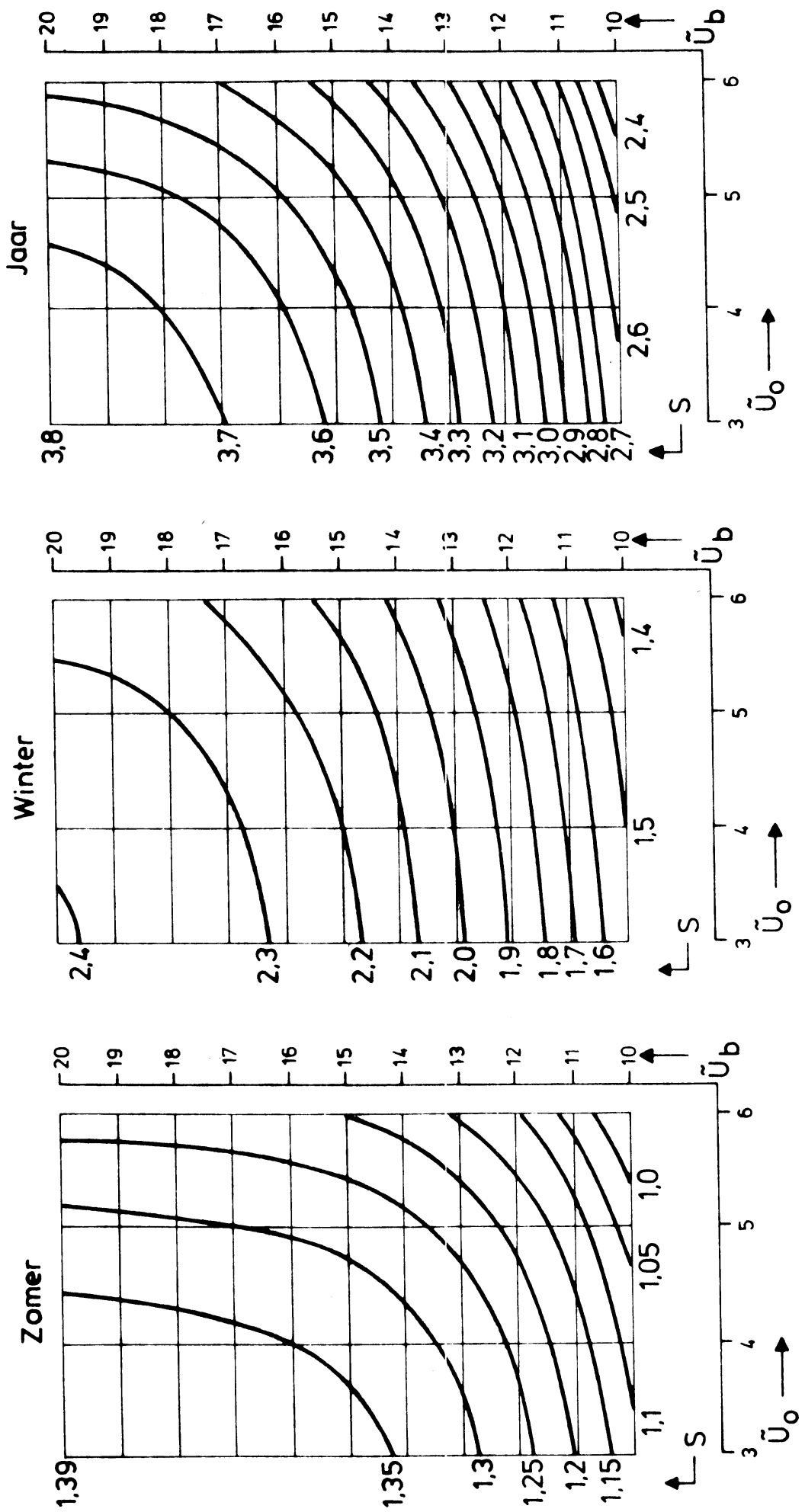


Fig. 2.7 Leeuwarden
1958 - 1975

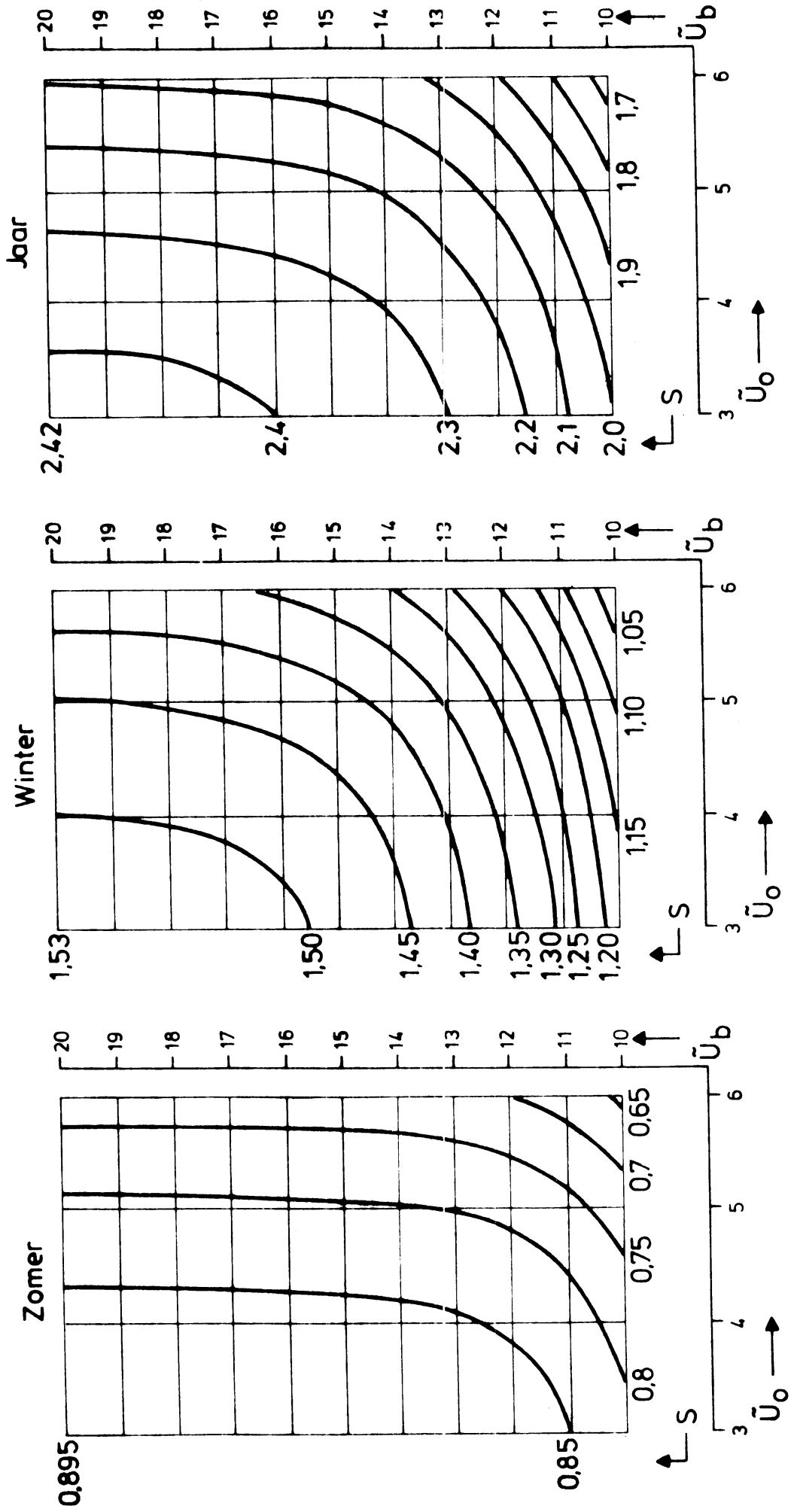


Fig. 2.8 Urk

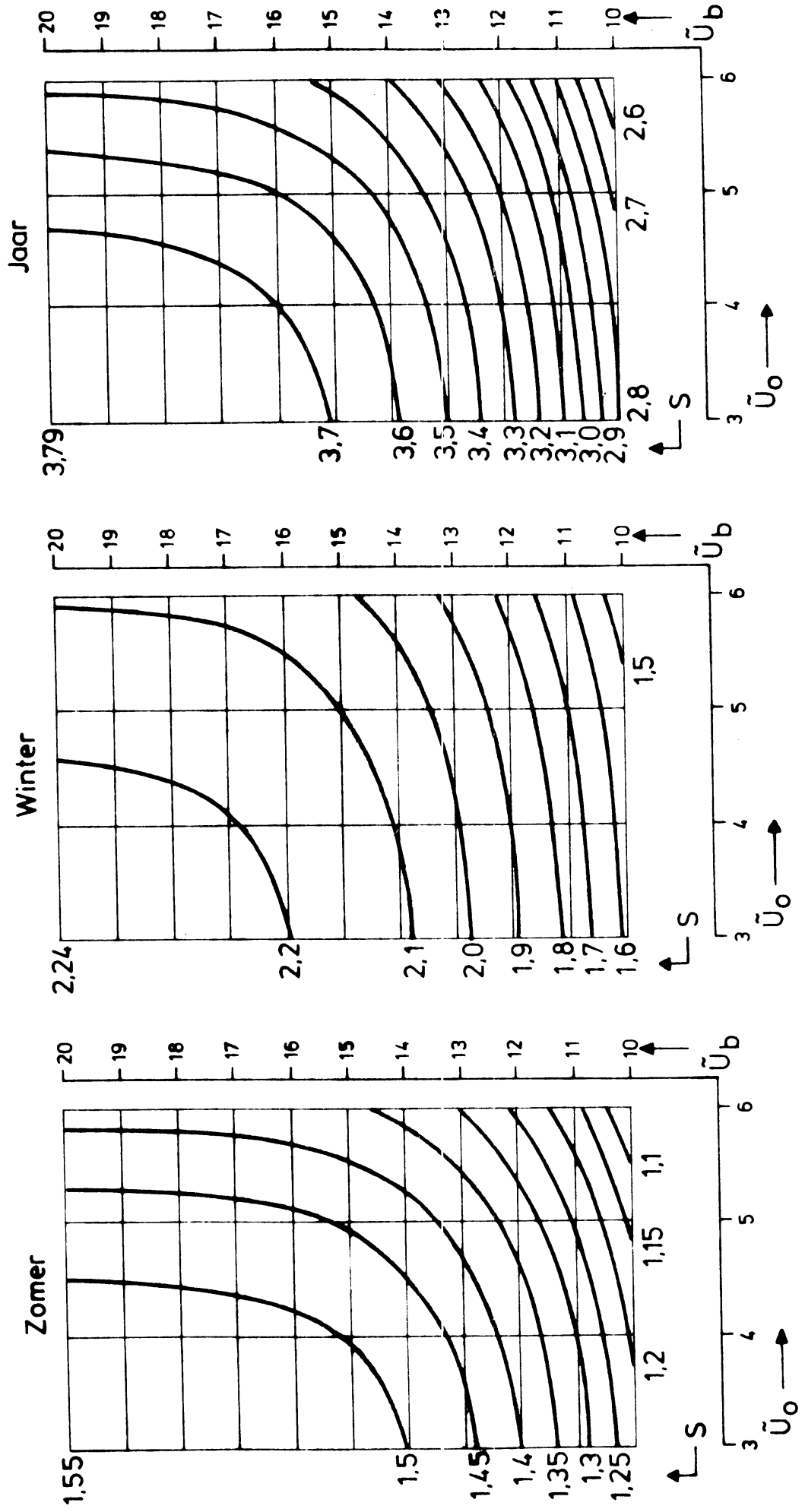


Fig. 2.9 Goeree
1949 - 1970

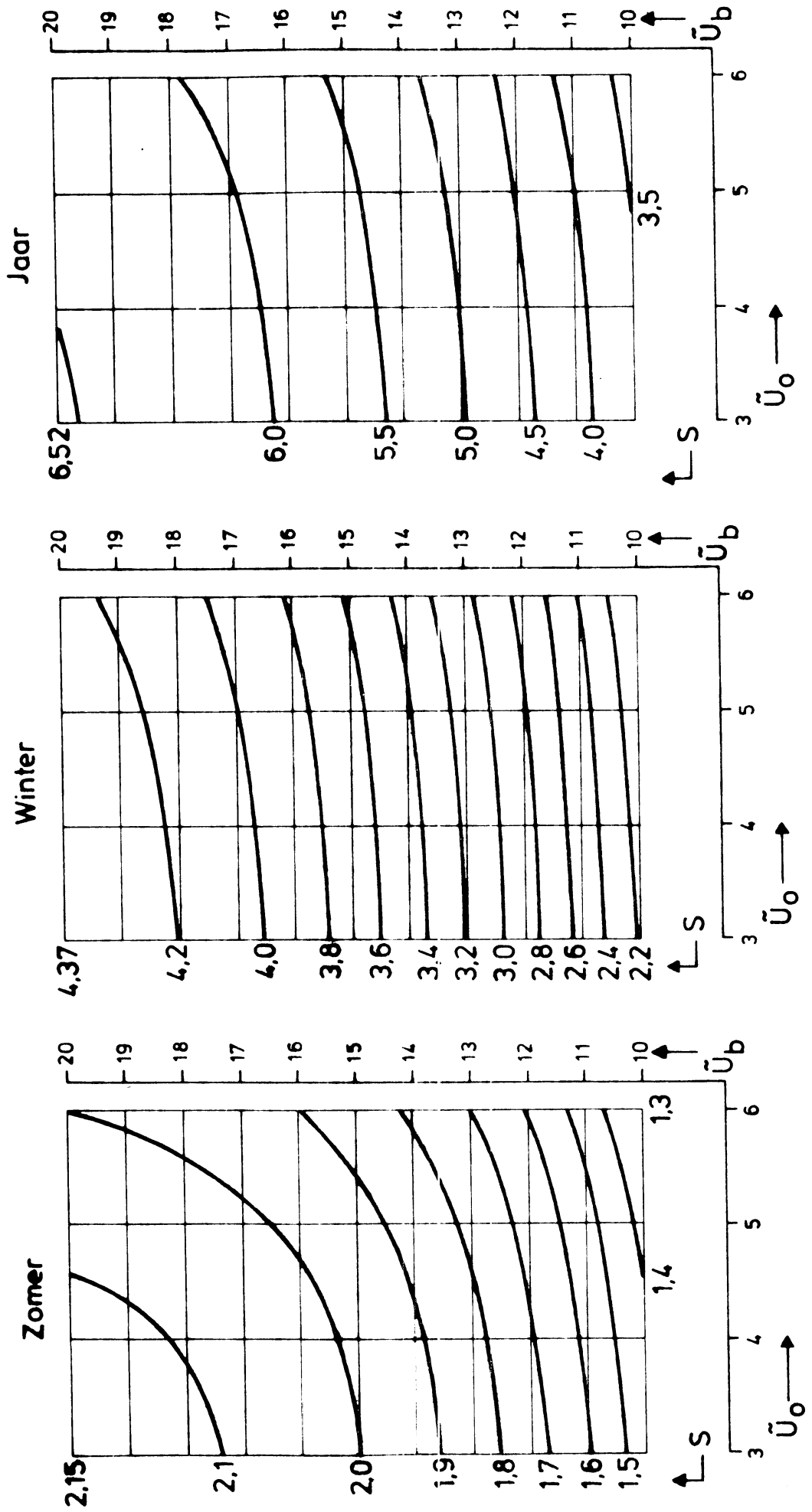


Fig. 3.1 Relatie tussen S en \bar{u}

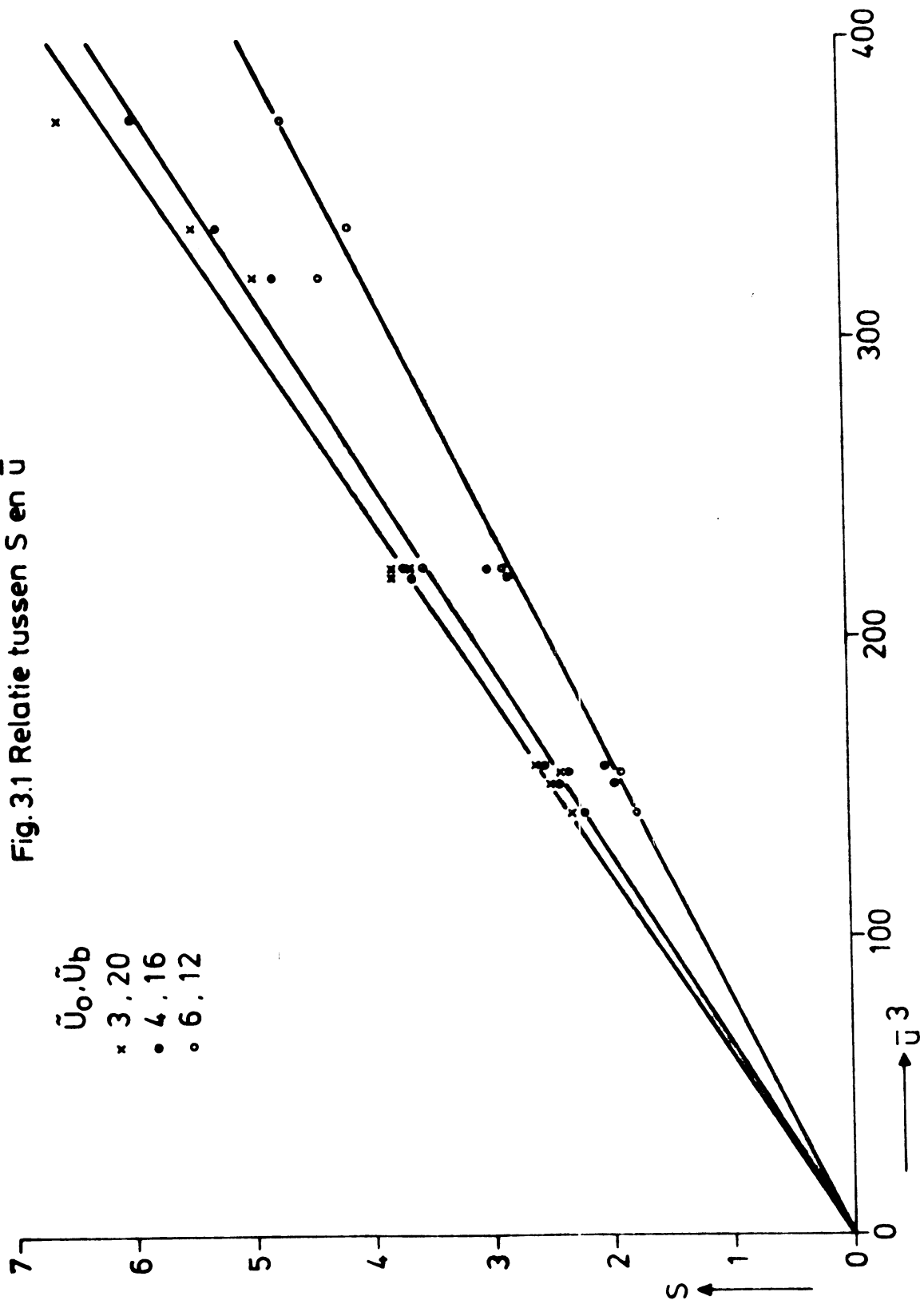
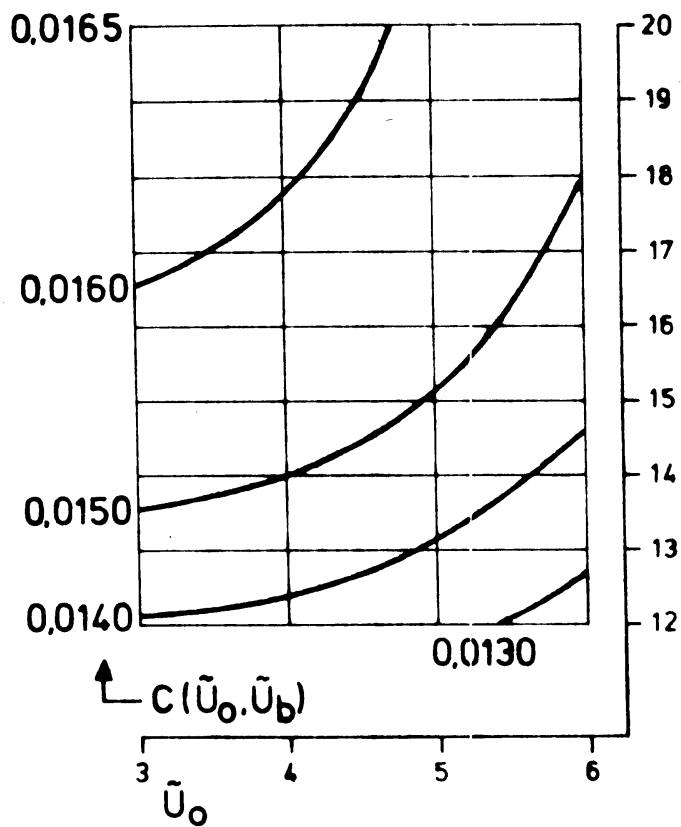


Fig. 3.2

Evenredigheids constante
 $C(\bar{U}_o, \bar{U}_b)$
van de relatie tussen
S en \bar{u} .



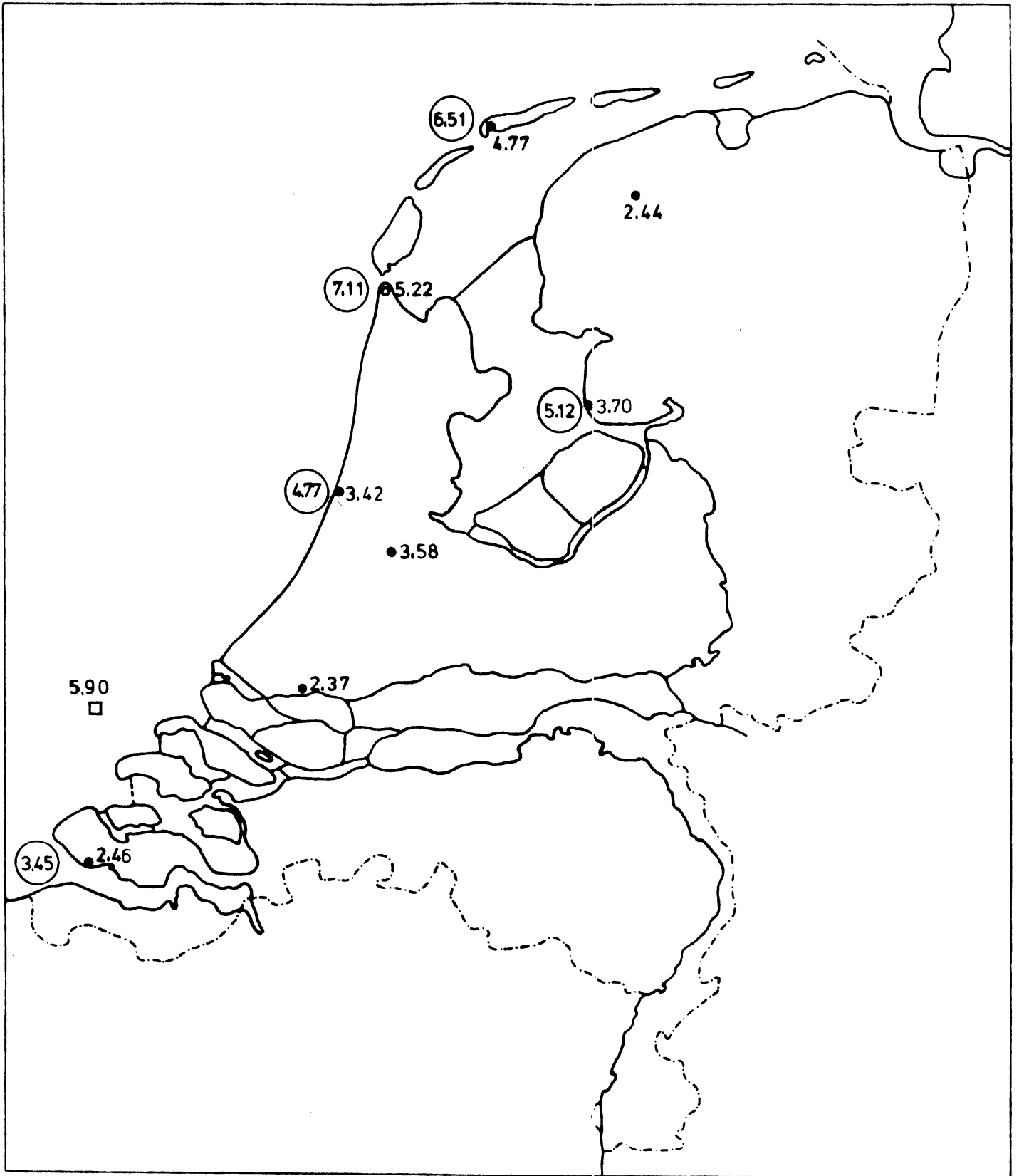


Fig.51 $S(10^6 (m/s)^3)$ per jaar 10m hoogte
 $\tilde{U}_0=4$ $\tilde{U}_b=16$

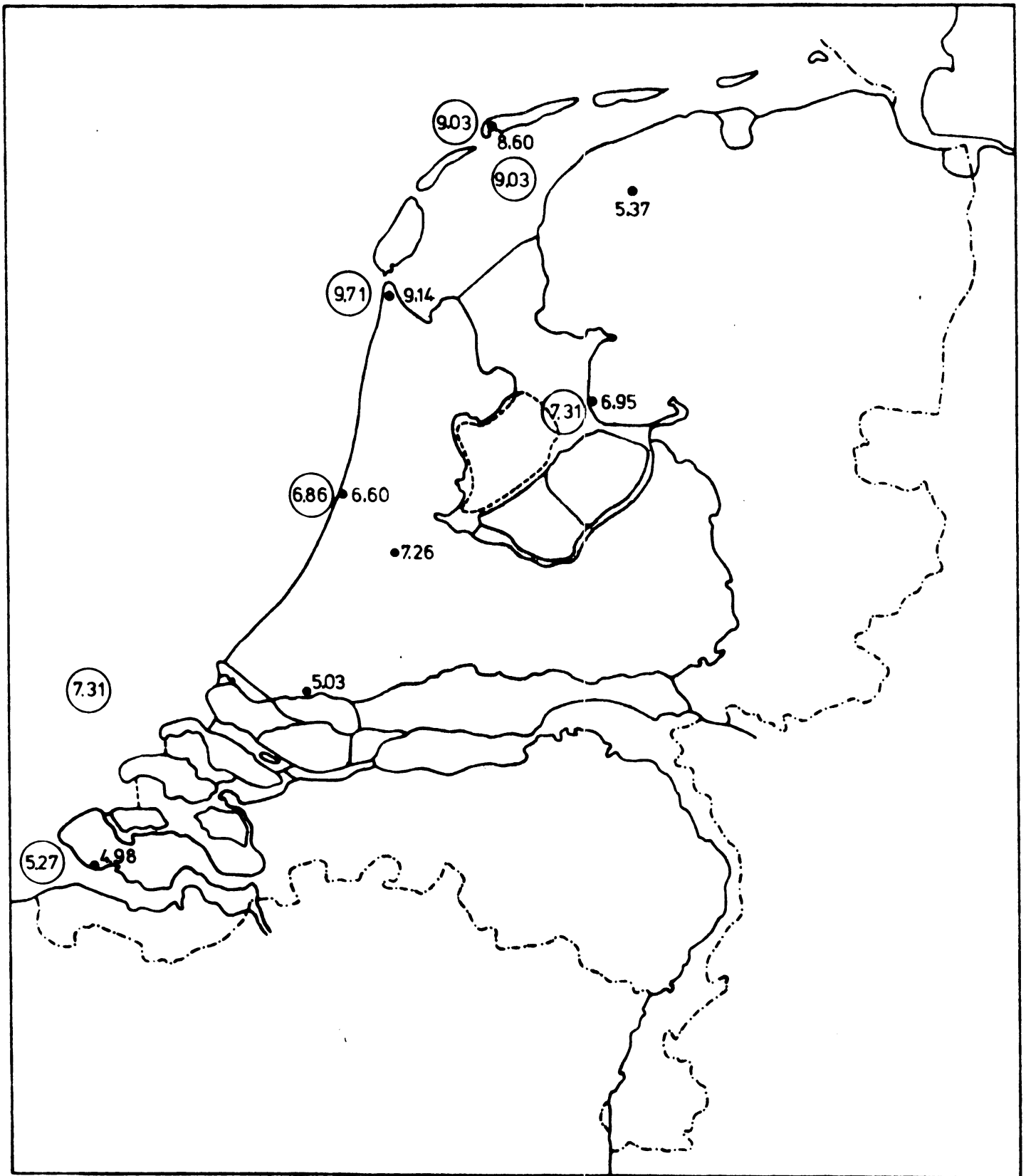


Fig.5.2 $S(10^6 \text{ (m/s)}^3)$ per jaar 40m hoogte
 $\bar{U}_0 = 4$ $\bar{U}_0 = 16$

Fig. 7.1 Vlissingen Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$ in dagen (n)

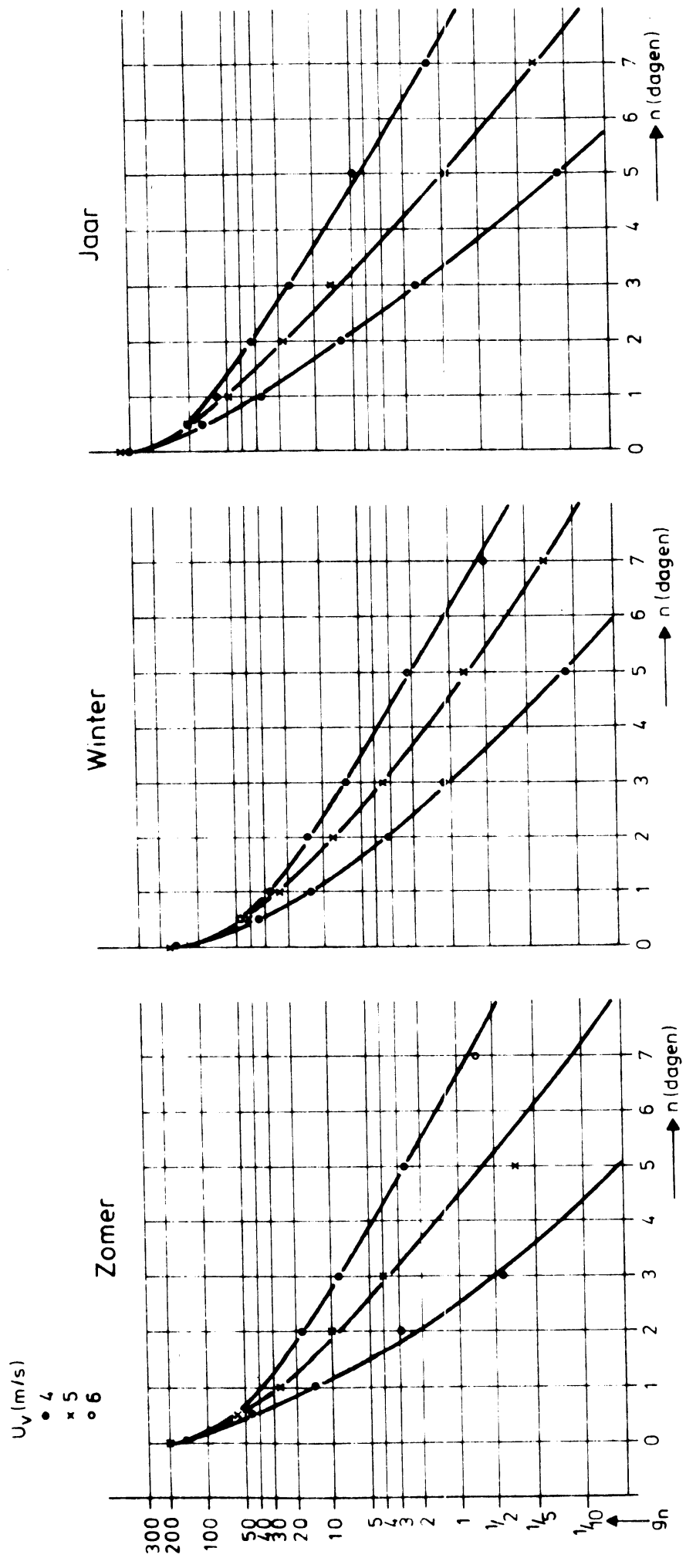


Fig. 7.2 Umuiden Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$ in dagen (n)

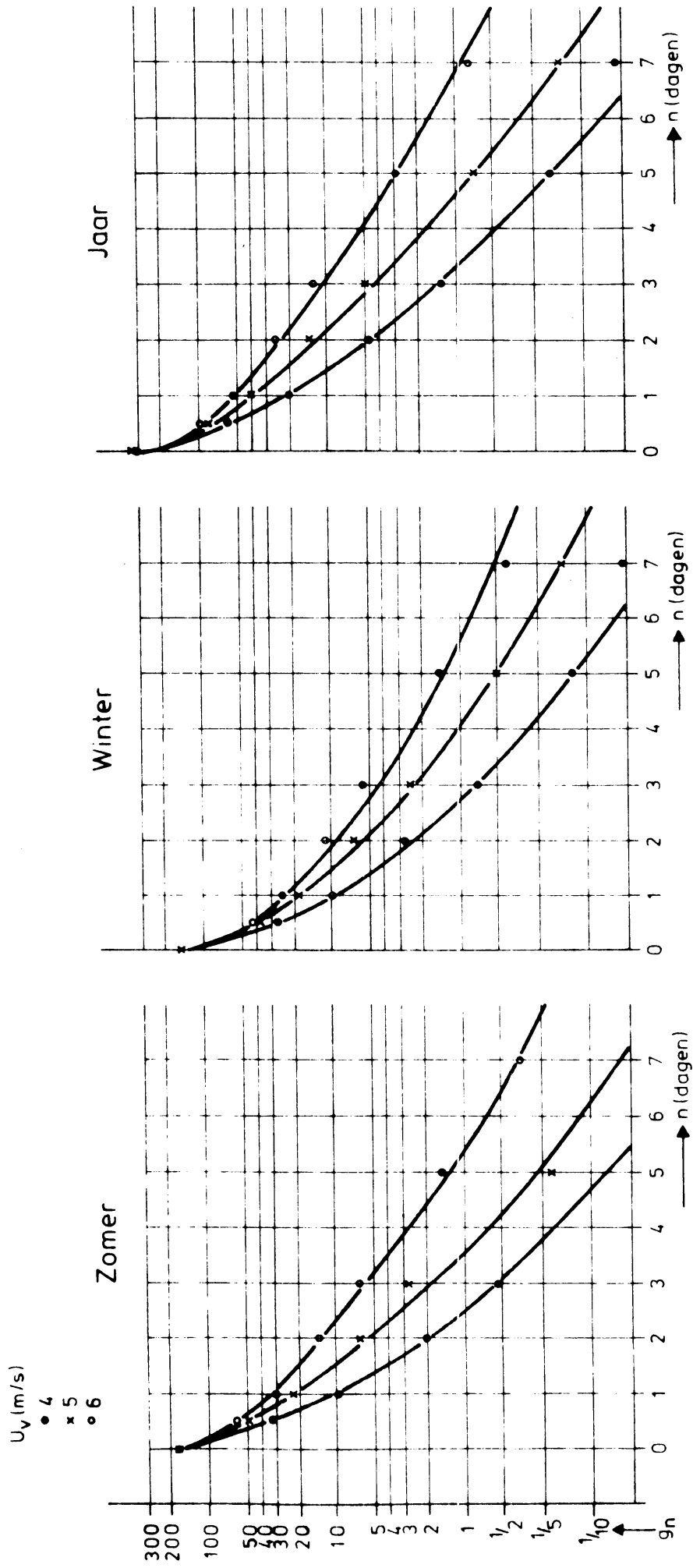


Fig. 7.3 Den Helder Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$, in dagen (n)

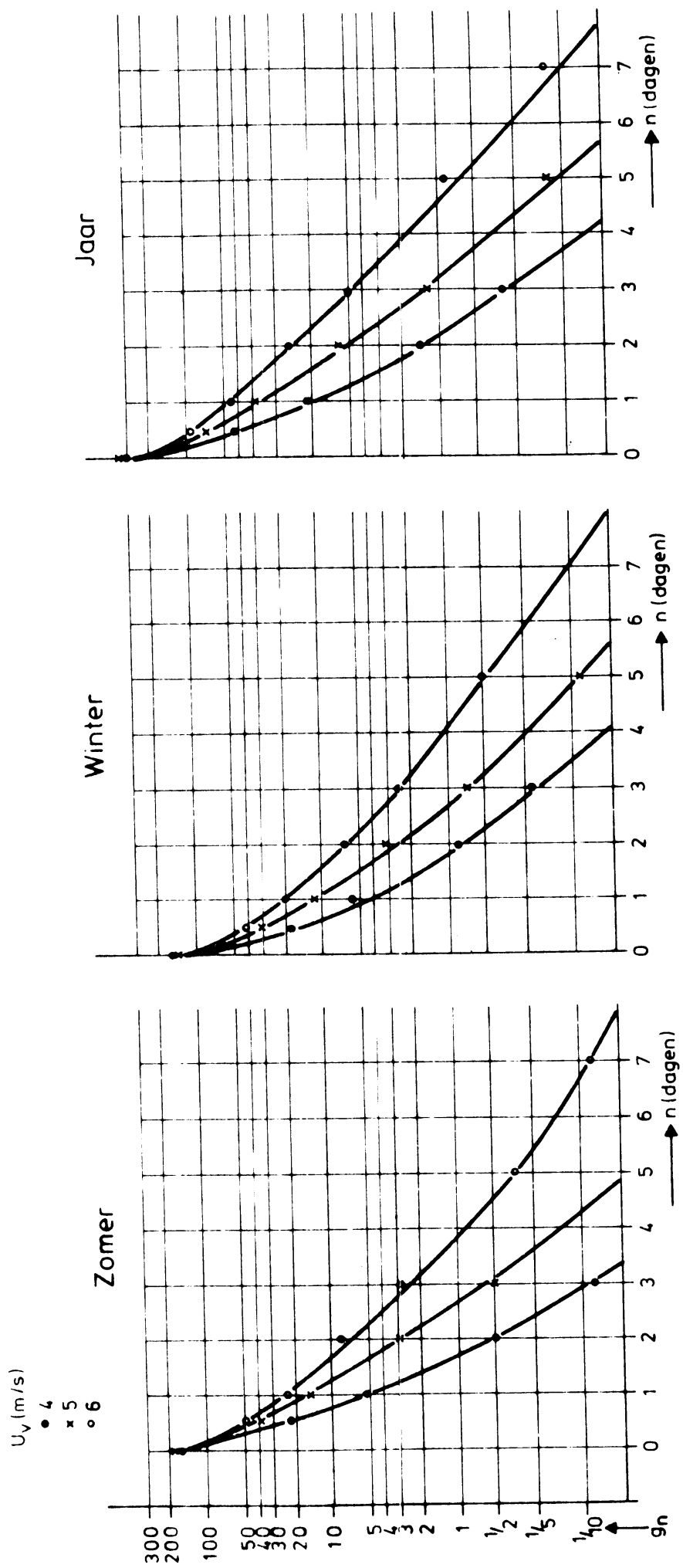


Fig 7.4 Terschelling Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$ in dagen (n)

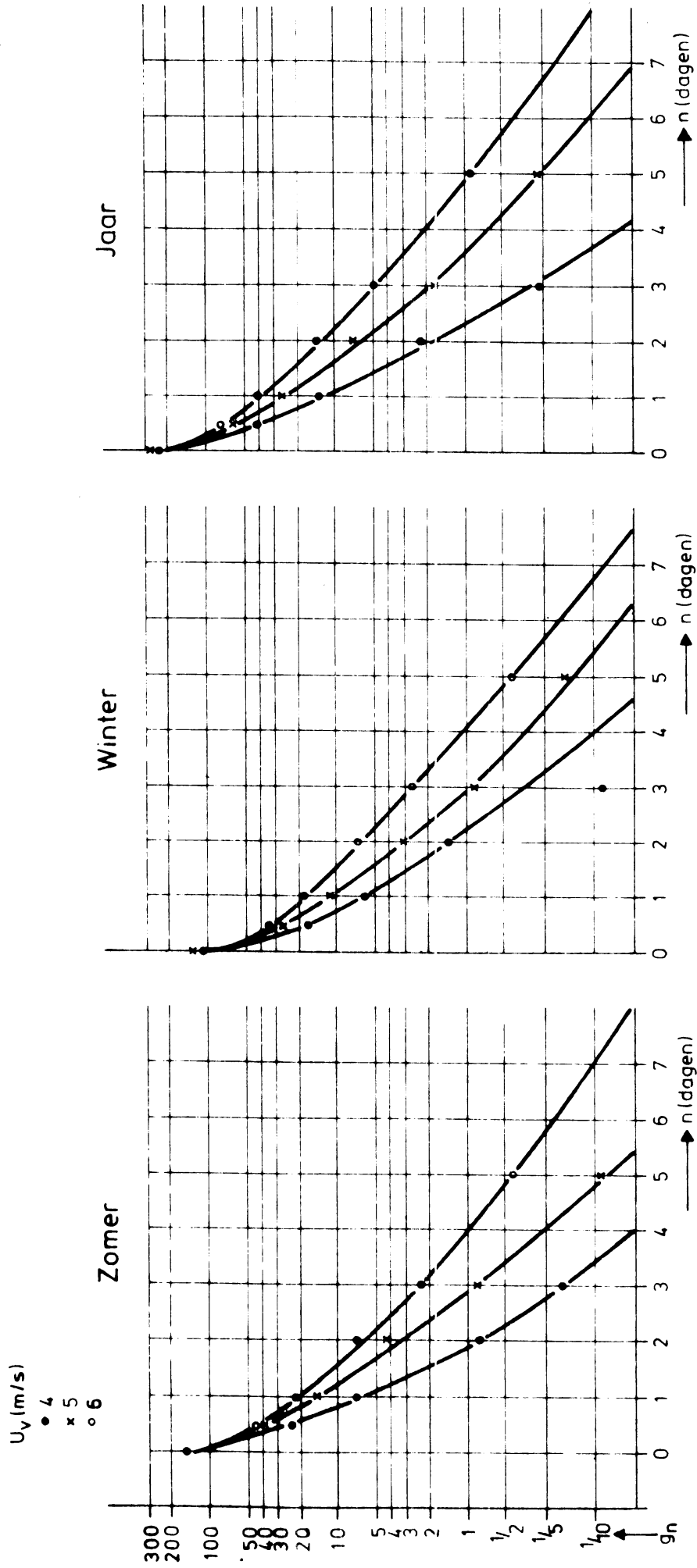


Fig 7.5 Rotterdam Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$ in dagen (n)

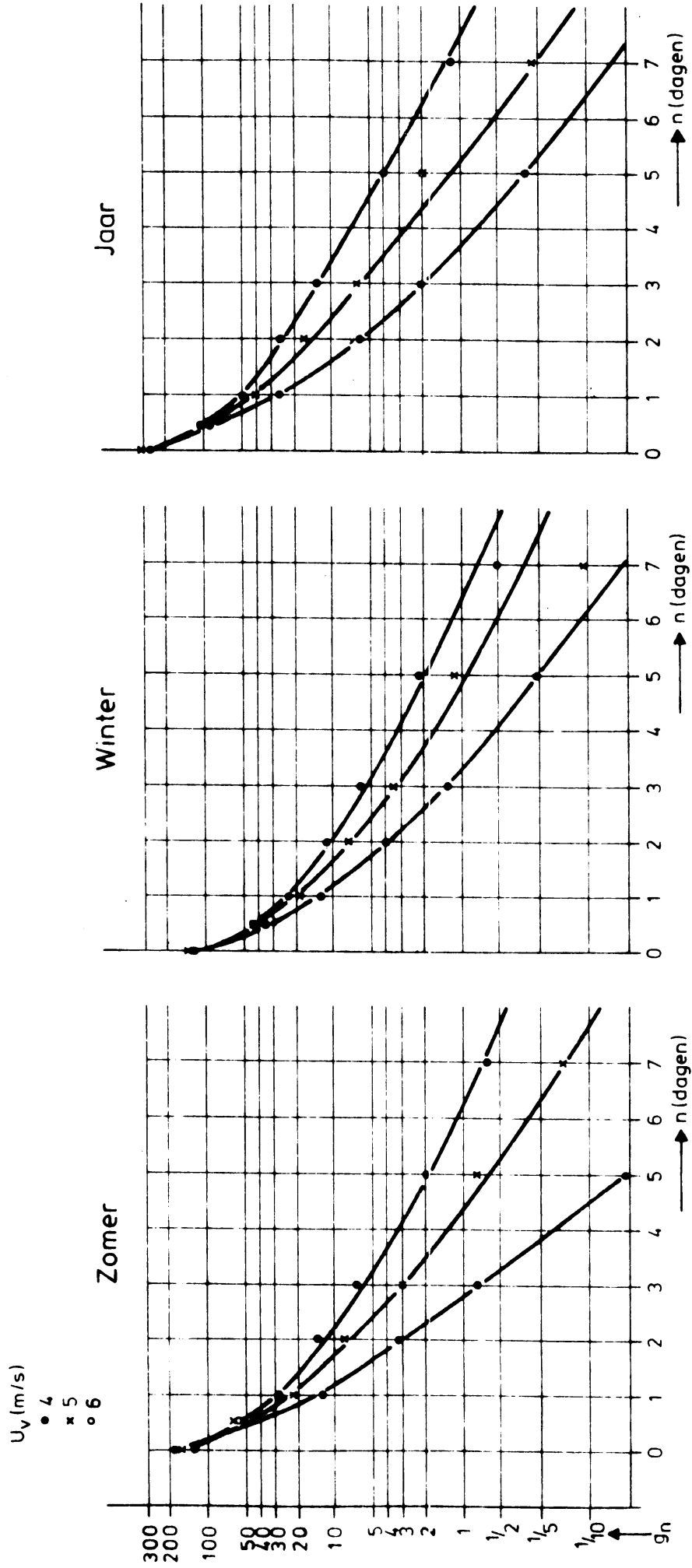


Fig. 7.6 Schiphol Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$, in dagen (n)

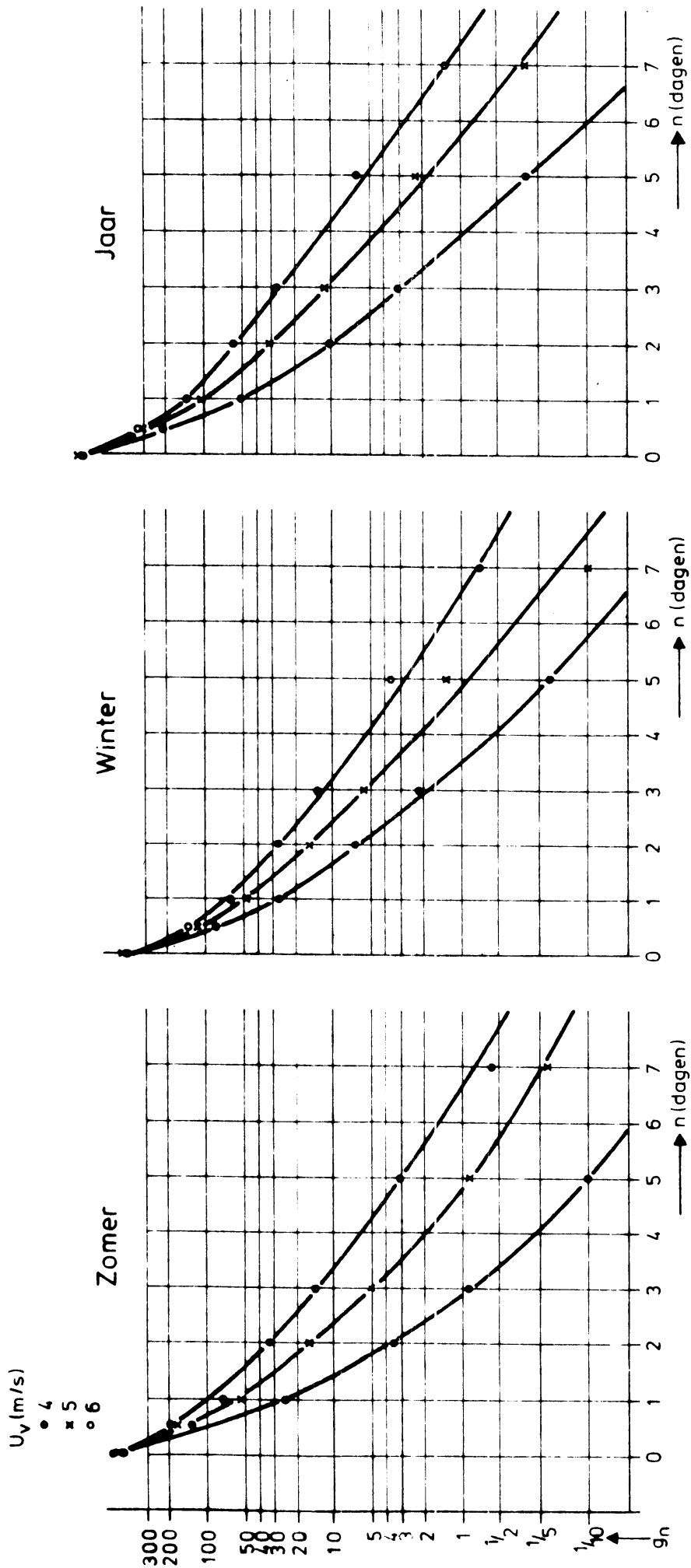


Fig. 7.7 Leeuwarden Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$ in dagen (n)

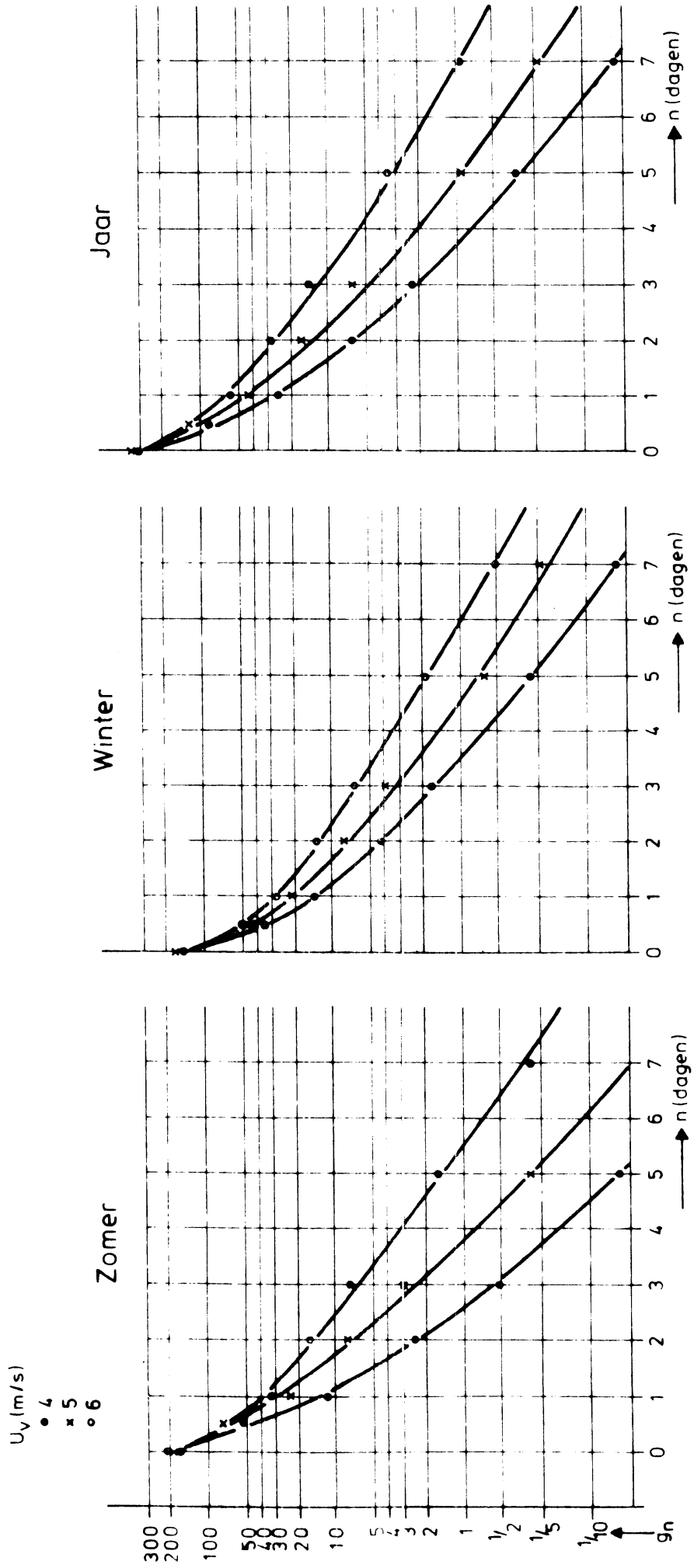


Fig. 7.8 Urk Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$, in dagen (n)

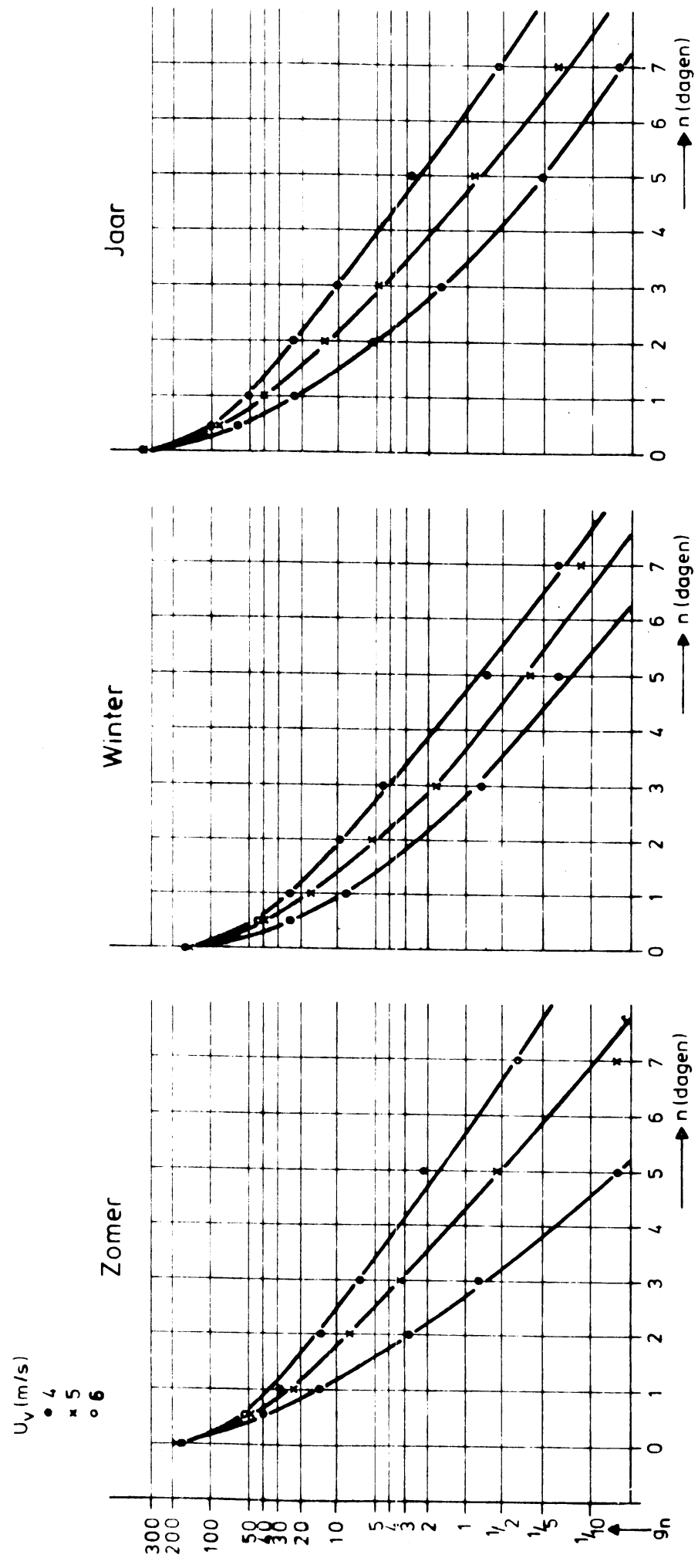
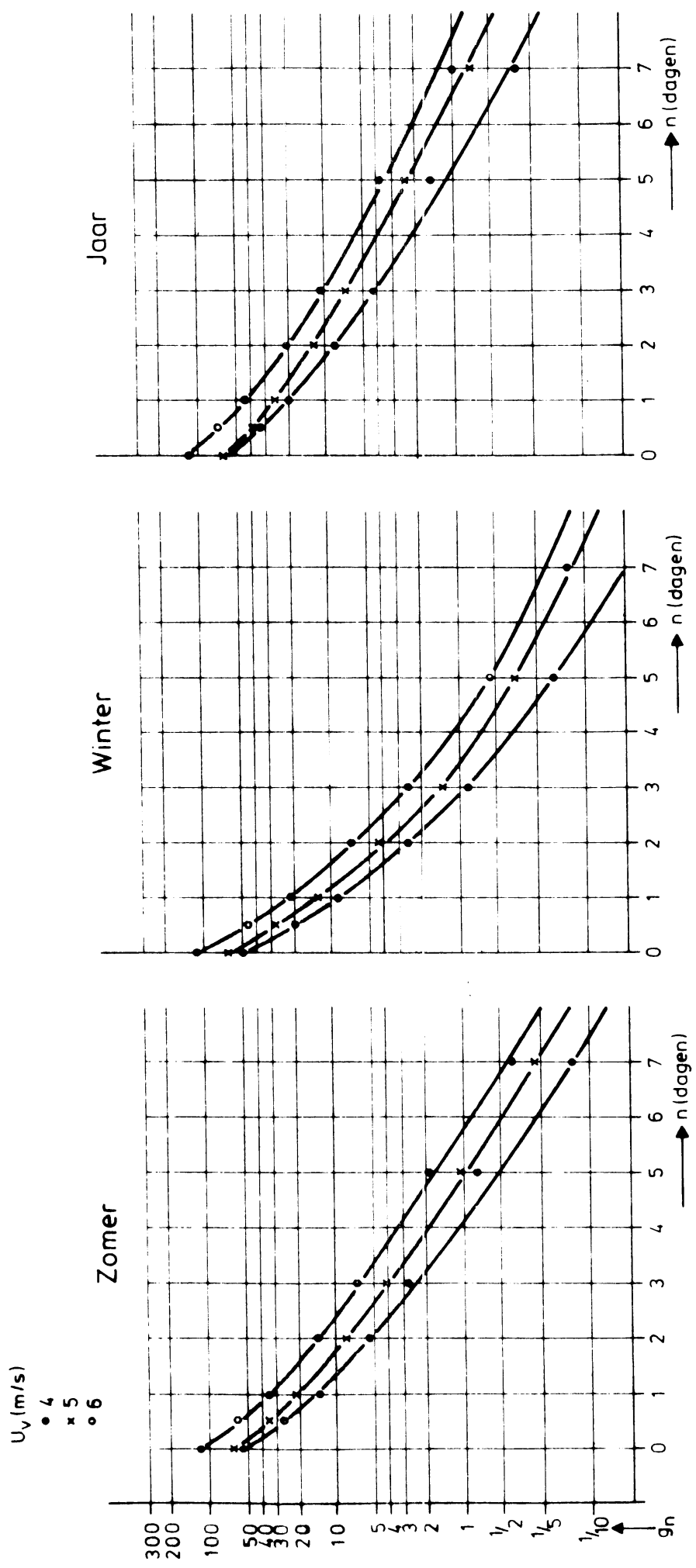
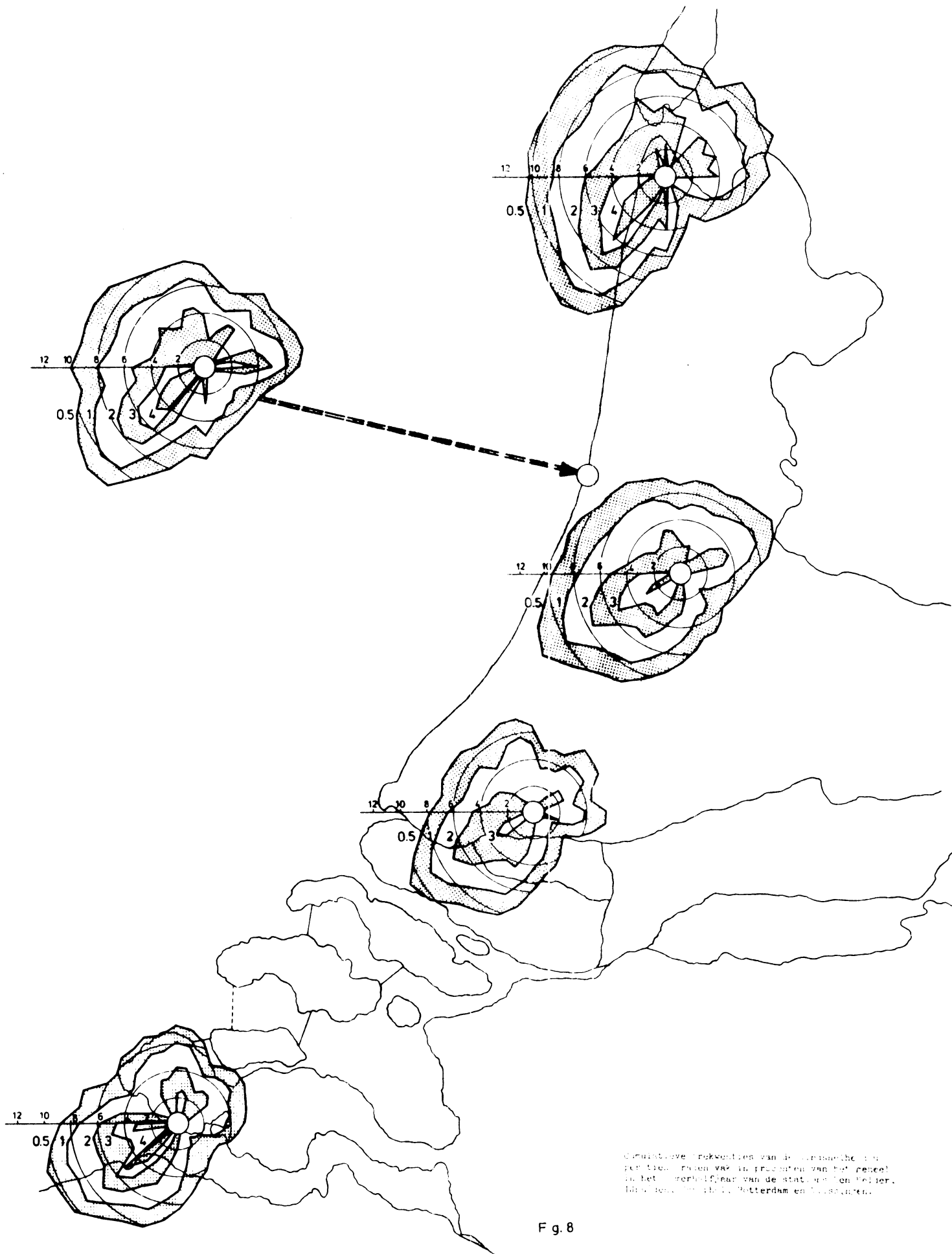


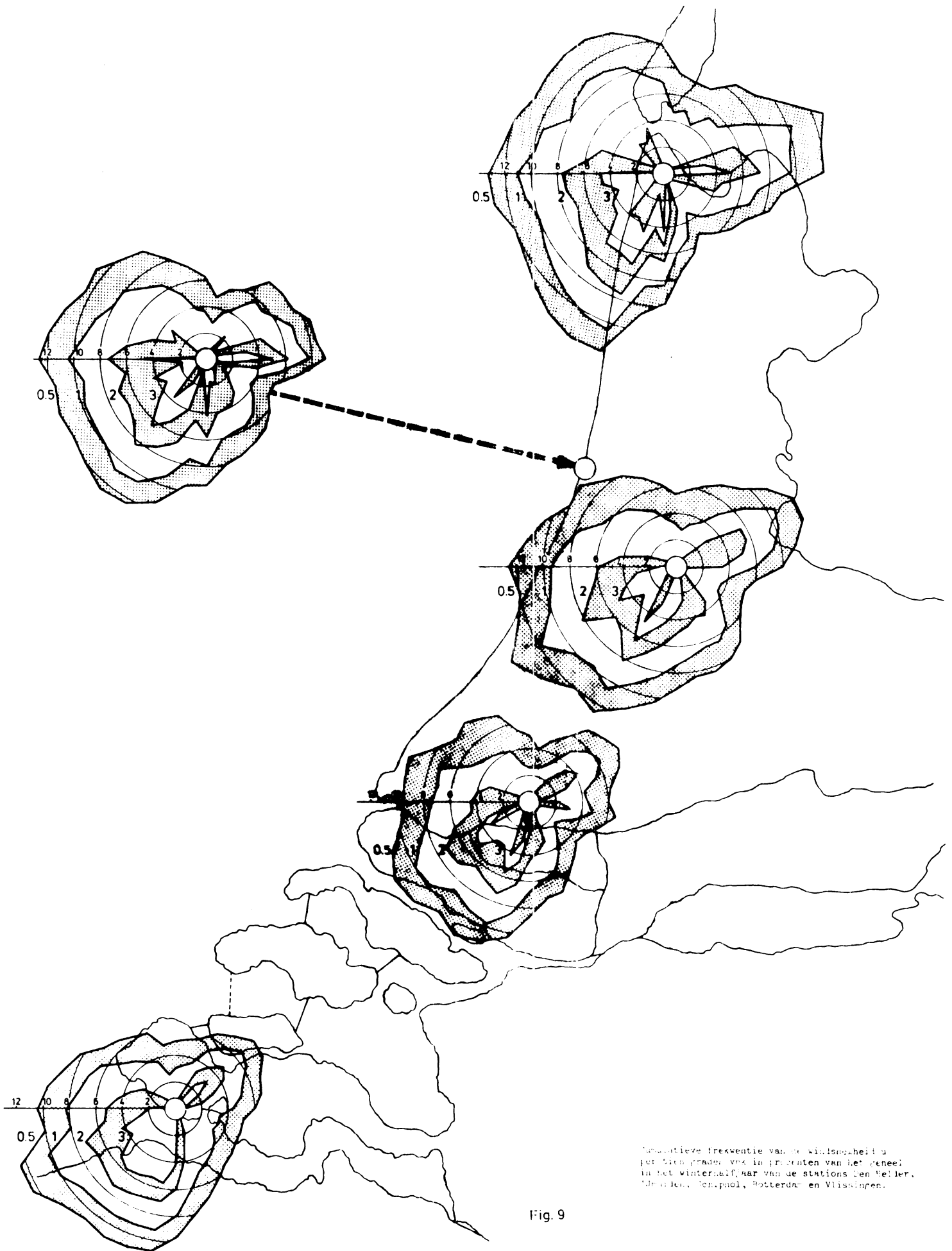
Fig 7.9 Goeree Aantal tijdvakken (g_n) met $u < u_v$, in dagen (n)





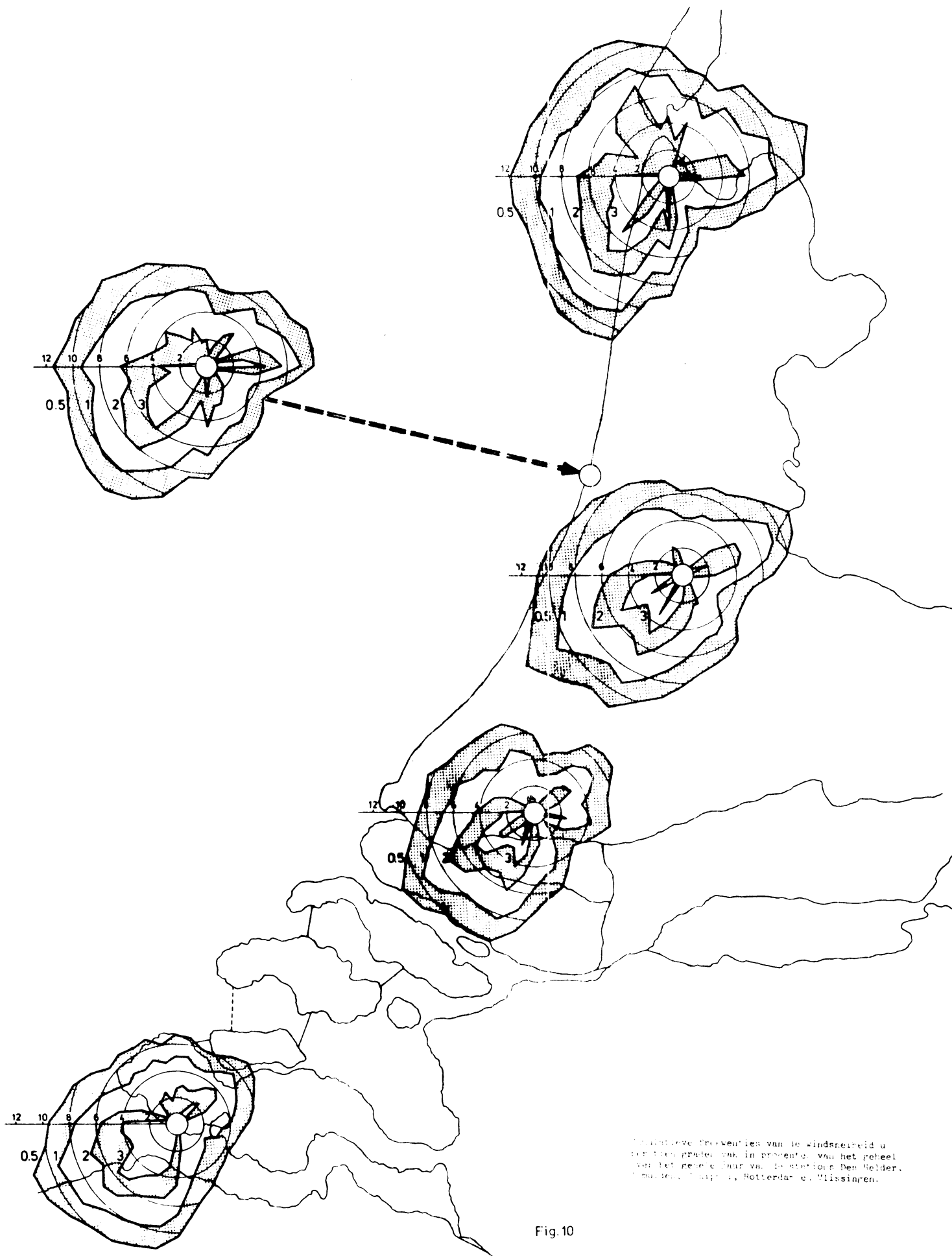
Omrichtingsfrequenties van de windsnelheid in
 per-tien minuten van de stations van het reseau
 in het noord-oosten van de stations van het reseau.
 (Dit is de situatie in Rotterdam en in de omgeving.)

F g. 8



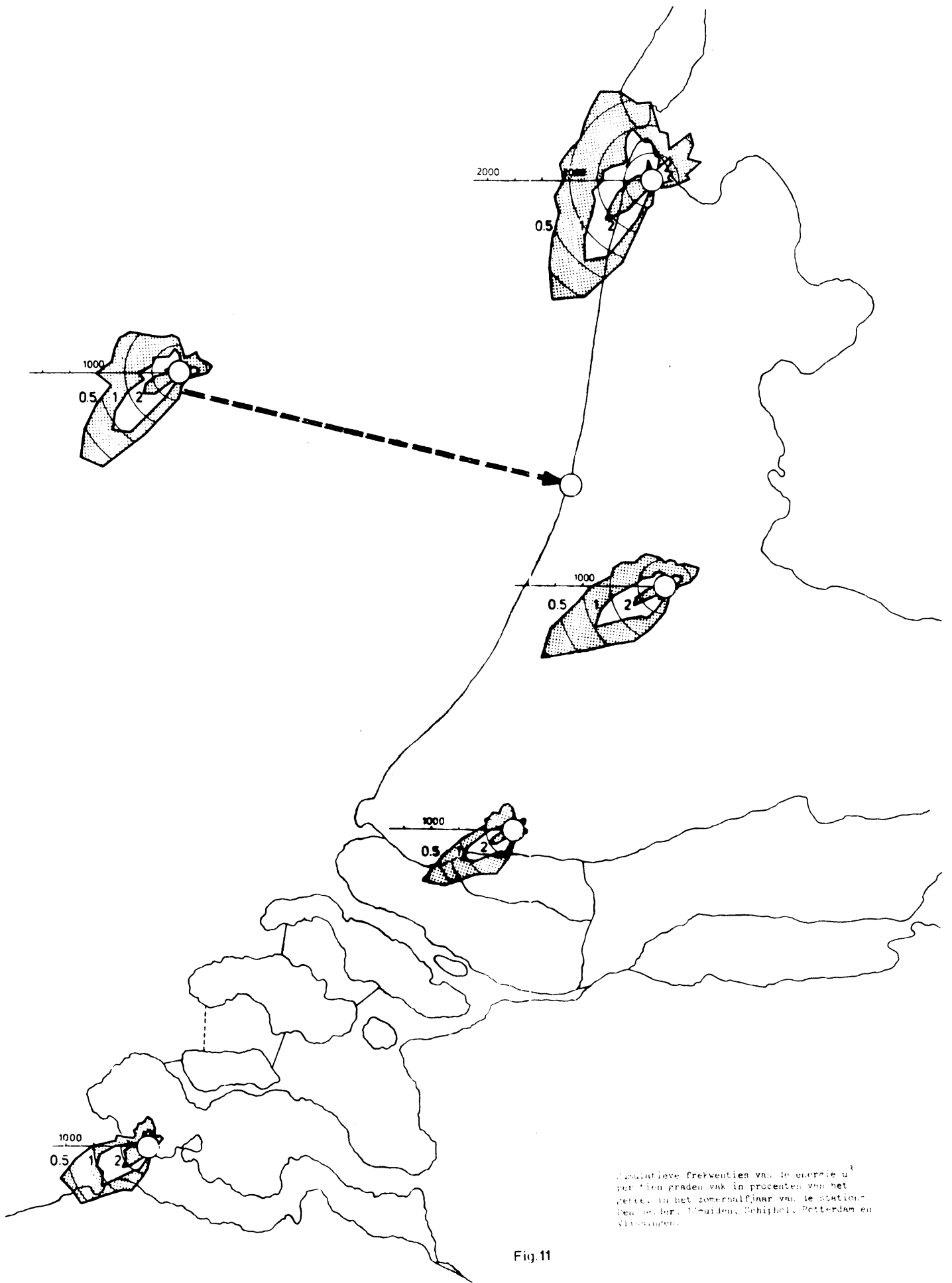
Statistische frequentie van de windsnelheid u per tien graden, verk in procenten van het geheel in het winterhalfjaar van de stations Den Helder, Amsterdam, Den Helder, Rotterdam en Vlissingen.

Fig. 9



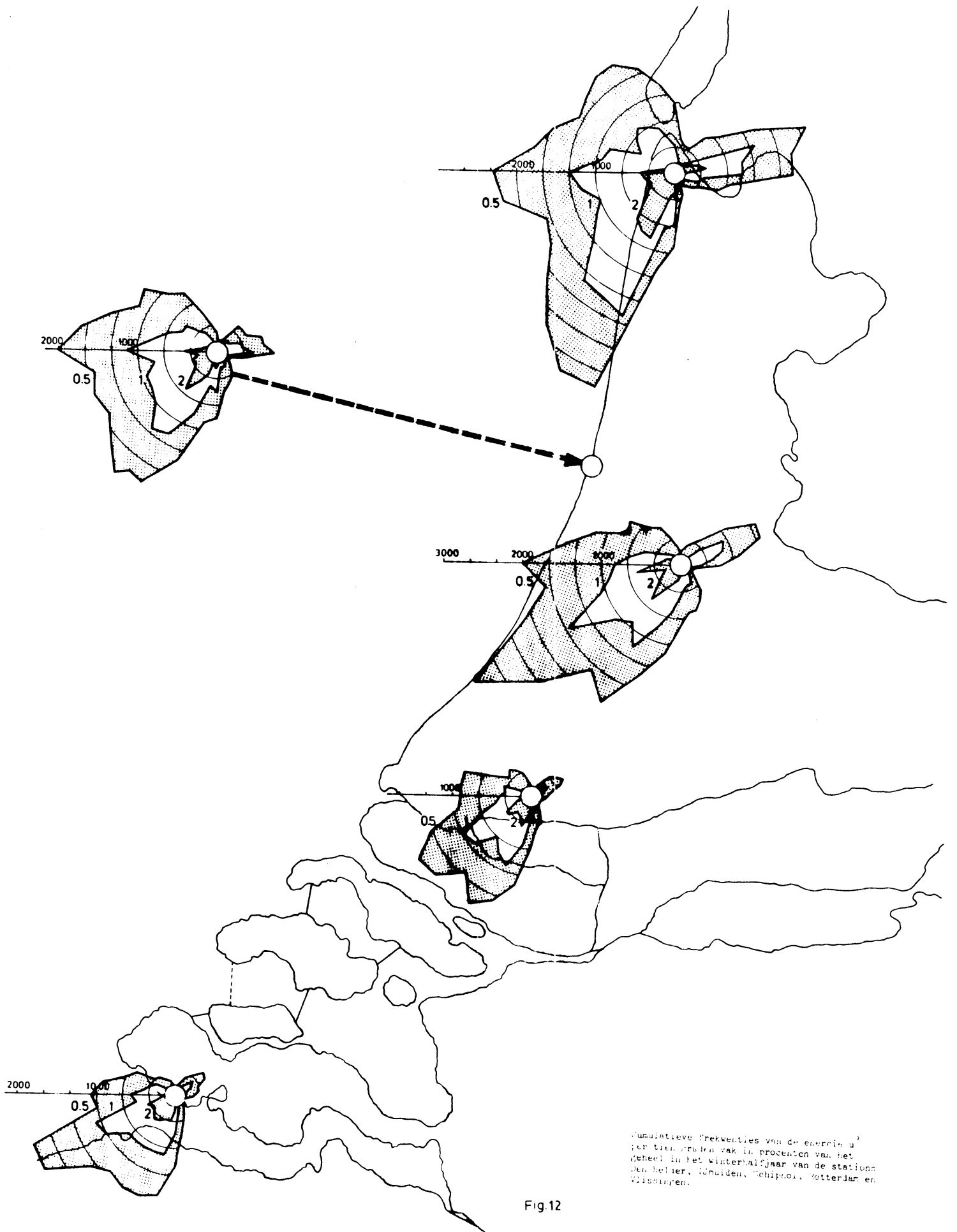
Polair stereografische afbeeldingen van de windsnelheid u op een 1000 m hoogte, in procenten van het geheel van het gehele jaar van de stations Den Helder, Rotterdam, Vlissingen, Rotterdam e. Vlissingen.

Fig.10



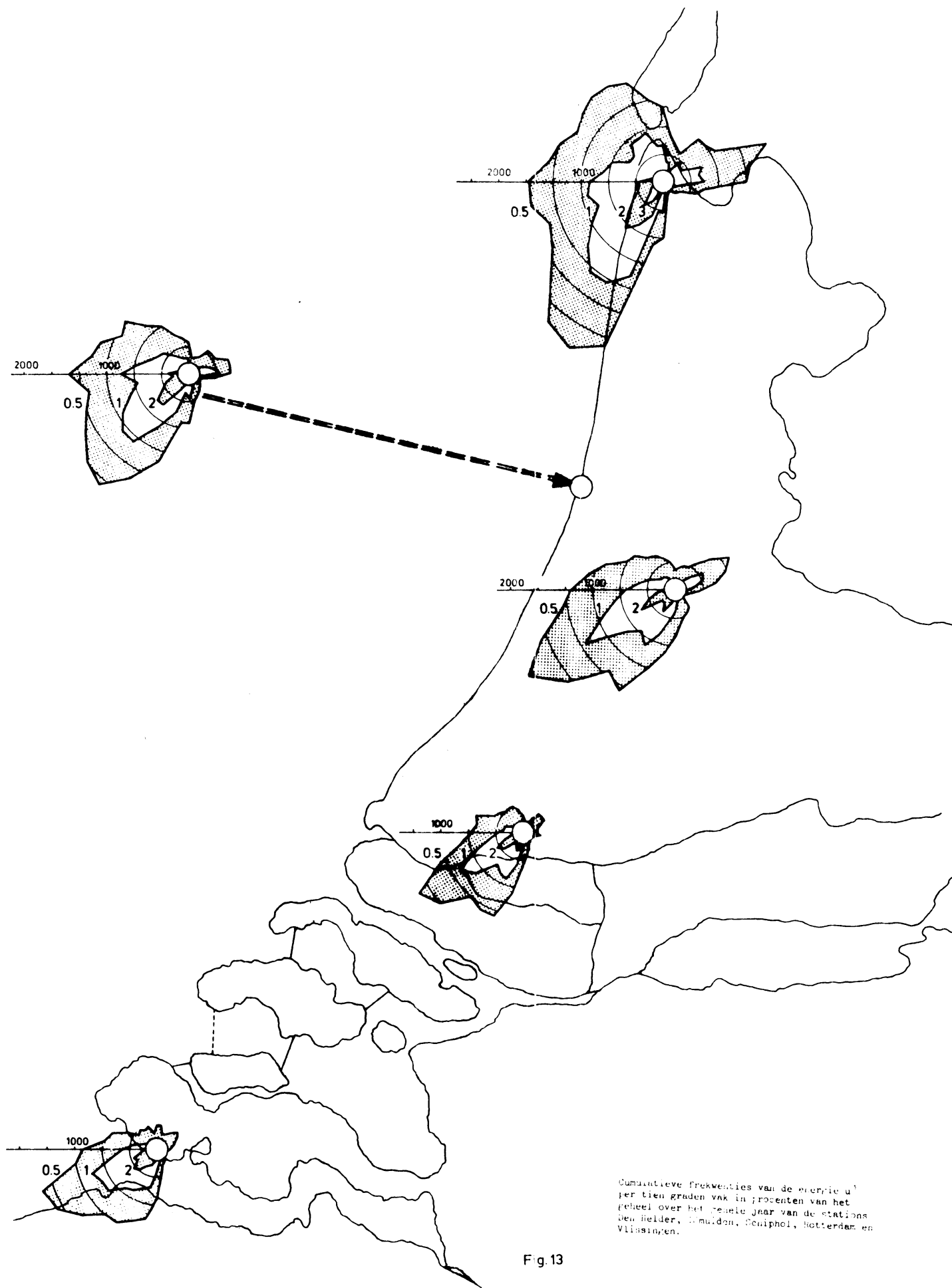
Cumulative frequenties van de energie u^3 per tien graden vak in procenten van het gebied in het zomervak van de stations IJmuiden, Schiphol, Rotterdam en Vlissingen.

Fig.11



Cumulatieve frequenties van de energie u^3
 per tien graden vak in procenten van het
 geheel in het winterhalfjaar van de stations
 Den Helder, Schiedam, Schiphol, Rotterdam en
 Wieringen.

Fig.12



Cumulative frequenties van de energie u^3 per tien graden vak in procenten van het geheel over het gehele jaar van de stations De Blied, Amulden, Schiphol, Rotterdam en Vlissingen.

Fig. 13