

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 75-8

P. J. Rijkoort

Windrichtingsvariatie na verloop  
van één of twee uur.

De Bilt, 1975

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 75-8 (Stat. Bureau)

U.D.C.: 551.553.6 :  
519.2

## Summary

Wind direction differences after one and two hours (indicated by  $\Delta_1$  and  $\Delta_2$ ) have been determined from wind data over the period 1961-1970 of the meteorological station Schiphol. The purpose was to find a rule of thumb for the wind direction variation within one or two hours in case of dispersion of noxious gases after an accidental discharge. The results are given in the KNMI-publication W.R. 74-12.

In the present study the basic data have been used to examine the wind direction variation.

The material was divided into a number of groups according to season (4), wind direction (4), wind speed (3) and stability (4). The distributions of  $\Delta$  for the different group combinations seemed to be inhomogeneous, which could be caused by situations with large wind direction variation like passages of fronts. As a rough estimate a limit of  $|\Delta| = 90^\circ$  was used. It turned out that it was possible to fit a normal distribution function to the values  $x = \sin \Delta$  if  $|\Delta| < 90^\circ$ .

The variation of the mean value  $\bar{x}$  and the standard deviation  $s_x$  under the different group combinations is shown in the figures 3 and 7. By using a two-way analysis of variance it appeared that by grouping the material into wind direction, wind speed groups there was no significant interaction between the other factors (viz. season and stability). This was not the case when another group combination was chosen. From the overall mean value and the significant season and stability effects smoothed values  $\tilde{x}$  and  $\tilde{s}_x$  have been determined; these are shown in the figures 4 and 8. Furthermore the figures 5, 6 and 9 show the effect on the values of  $\tilde{x}$  and  $\tilde{s}_x$  of a change from  $\Delta_1$  to  $\Delta_2$  and from low wind speeds to higher wind speeds.

The quantity  $q$  (the number of observations with  $|\Delta| > 90^\circ$  in per cents) is dealt with in the same way (figures 10, 11 and 12).

In chapter 3 the results are considered of the determination of an 80% angle ( $\varphi_{80}$ ) for the distribution of  $|\Delta|$  from the smoothed

values  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{s}_x$  and  $\tilde{q}$ . These are found in table 10. The  $\phi_{80}$  is identical with  $\frac{1}{2}\alpha$  in W.R. 74-12. The values of  $\alpha$  for the rule of thumb as calculated directly from numerical distributions of  $|\Delta|$  are reproduced in table 9. Comparing table 10 with table 9 shows that there is good agreement in the cases of wind speed  $> 7$  kts, but in the group 1-6 kts this is less satisfactory, notably for  $\Delta_2$ . This may be due to the fact that in this case the  $\Delta$ -values have a rather large dispersion, so that truncation at  $90^\circ$  may not be correct.

-o-o-o-

## Samenvatting

Het is wenselijk over een vuistregel te beschikken om in geval van een calamiteit, waarbij zich een giftige gaswolk verspreidt, snel te kunnen aangeven in welke windrichtingssector de verspreiding in de komende één à twee uur zal plaatsvinden. Hiertoe werden uit windgegevens van Schiphol over het tijdvak 1961-1970 de windrichtingsverschillen na één resp. twee uur ( $\Delta_1$  resp.  $\Delta_2$ ) bepaald. Het materiaal werd ingedeeld in vier seizoenen, vier stabiliteitsklassen, vier windrichtingssectoren en vier snelheidsgroepen, waarvan er echter één (met  $u > 21$  kts) buiten beschouwing bleef wegens het geringe aantal waarnemingen. De vuistregel is verkregen op basis van een directe numerieke bewerking van  $|\Delta|$ . (Zie W.R. 74-12).

In het rapport dat hier wordt samengevat is iets grondiger nagegaan hoe  $\Delta_1$  resp.  $\Delta_2$  variëren in afhankelijkheid van de diverse combinaties van groepsindelingen. Aan de numerieke frequentieverdelingen per groep werden theoretische verdelingen aangepast. Beperking tot  $|\Delta| < 90^\circ$  was daarbij helaas nodig, waarna de verdeling van  $x_t = \sin \Delta_t$  ( $t = 1$  of  $2$ ) redelijk met een normale verdeling kon worden benaderd; deze beperking was een grove poging tot homogeniseren van het materiaal in verband met frontpassages waarbij zeer grote richtingsveranderingen kunnen optreden. In de figuren 3 en 7 is te zien hoe gemiddelden ( $\bar{x}$ ) en standaarddeviaties ( $s_x$ ) variëren. Met behulp van variantie-analyse werd nagegaan in hoeverre de variaties van beide parameters reëel zijn. Op grond hiervan werden vereffende waarden van  $\bar{x}$  en  $s_x$  bepaald. (Zie de figuren 4 en 8).

De grootte  $q$  (= aantal  $\Delta$ 's met  $|\Delta| > 90^\circ$ ) werd analoog behandeld (zie de figuren 10 en 11) met  $\tilde{q}$  als vereffende waarden.

De vereffende waarden  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{s}_x$  en  $\tilde{q}$  bleken als lineaire relaties van de vorm  $\tilde{x}_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j$  enz. te kunnen worden geschreven indien indeling plaatsvindt in windrichtings- en snelheidsgroepen; de  $\alpha_i$ 's en  $\beta_j$ 's geven dan respectievelijk het seizoens- en stabiliteitseffekt aan.

Verder is nagegaan hoe  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{s}_x$  en  $\tilde{q}$  veranderen als van  $\Delta_1$  naar  $\Delta_2$  wordt overgegaan (zie de figuren 5, 9 en 12) en wat het verschil is tussen de snelheidsgroep wat betreft  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{s}_x$  en  $\tilde{q}$  (zie de figuren 6, 9 en 11).

In hoofdstuk 3 is de hoek  $\varphi_{80}$  berekend uit de vereffende waarden  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{s}_x$  en  $\tilde{q}$  (tabel 10). Hierin is  $\varphi_{80}$  de hoek waarbinnen 80% van het totaal aantal richtingsverschillen na één uur is gelegen. Deze  $\varphi_{80}$  is identiek met  $\frac{1}{2} \alpha$  in W.R. 74-12. In tabel 9 zijn  $\varphi_{80}$ -waarden gegeven, die afkomstig zijn uit de gegevens van W.R. 74-12. Hierbij zijn de totalen in de laatste drie kolommen identiek met de  $\alpha$ 's van dat rapport. Vergelijking van tabel 10 met deze totalen in tabel 9 laat zien dat voor de snelheidsgroepen 7-10 kts en 11-21 kts de rechtstreekse berekening en die via  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{s}_x$  en  $\tilde{q}$  goed overeenstemmen. Voor de groep 1-6 kts is dit echter niet zo fraai, vooral in het geval van  $\Delta_2$ . Dit zal stellig samenhangen met het feit dat in deze situaties de hoekvariatie vrij groot is en het afkappen bij  $|\Delta| = 90^\circ$  niet helemaal correct.

## INHOUD

	pg.
0.1 Inleiding.	1
0.2 Beoordelingsstandpunt.	2a
1. De frekwentieverdeling van $\Delta$ .	3
1.1 Algemeen.	3
1.2 Aanpassing van een normale verdeling van de frekwentieverdeling van $x = \sin \Delta$ .	4
2. De variatie van de parameters van de verdeling van $x$ .	11
2.1 De variatie van $\bar{x}$ .	11
2.1.1 Toepassing van variantie-analyse.	11
2.1.2 Variatie van $\bar{x}$ als functie van tijdsinterval resp. snelheid.	18
2.1.3 Samenvatting van de belangrijkste effecten in de variatie van $\bar{x}$ .	20
2.2 De variatie van $S_x$ .	21
2.2.1 Toepassing van variantie-analyse.	21
2.2.2 Variatie van $S_x$ als functie van tijdsinterval resp. snelheid.	23
2.2.3 Samenvatting van de belangrijkste effecten in de variatie van $S_x$ .	24
2.3 De variatie van $(q)$ , het aantal windrichtingsveran- deringen $> 90^\circ$ (inclusief gevallen met variabele windrichting).	24
2.3.1 Toepassing van variantie-analyse.	24
2.3.2 Variatie van $q$ als functie van tijdsinterval en snelheid.	25
2.3.3 Samenvatting van de belangrijkste effecten in de variatie van $q$ .	26
3. De kans op $ \Delta  \geq \phi$ .	26

## Windrichtingsvariatie na een tijdsverloop van één of twee uur

P.J. Rijkooft

### 0.1 Inleiding

In geval van een calamiteit, waarbij een gevaarlijke gaswolk vrijkomt, is het noodzakelijk zeer snel een schatting te kunnen maken van de variatie van de windrichting over een tijdvak van één of twee uur na de calamiteit, uitgaande van de windrichting op het moment van de calamiteit.

Om in staat te zijn voor dit doel een vuistregel op te stellen, is een statistische studie van de verandering van de gemiddelde windrichting na één respektievelijk twee uur uitgevoerd met behulp van gegevens van het station Schiphol over de periode 1961-1970.

Waarden van het windrichtingsverschil na één respektievelijk twee uur werden bepaald, genoteerd als  $\Delta_1$ , respektievelijk  $\Delta_2$ . Deze  $\Delta$ -waarden werden ingedeeld in een aantal categorieën, die in principe eenvoudig zijn te bepalen, nl.

#### a. de vier seizoenen (klimatologisch):

L	Lente (maart, april, mei)
Z	Zomer (juni, juli, augustus)
H	Herfst (september, oktober, november)
W	Winter (december, januari, februari)

#### b. vier windrichtingssectoren van $90^\circ$ :

NO	$0^\circ - 90^\circ$
ZO	$90^\circ - 180^\circ$
ZW	$180^\circ - 270^\circ$
NW	$270^\circ - 360^\circ$

#### c. vier stabiliteitsklassen volgens Pasquill:

A + B	onstabiel (overdag)
C + D	neutraal (overdag)
D	neutraal (nacht)
E + F	stabiel (nacht)



d. vier windsnelheidsklassen:

1	< 7 knopen
2	7-10 knopen
3	11-21 knopen
4	> 21 knopen

De indeling in vier stabiliteitsklassen is ingevoerd uit onderzoekspunt, maar zal voor praktische toepassing worden beperkt tot de tweedeling: dag of nacht.

De vierde snelheidsklasse is in het onderzoek buiten beschouwing gebleven, omdat het aantal waarnemingen hierin te gering is gebleken voor bewerking.

Om zo snel mogelijk gegevens voor de vuistregel ter beschikking te hebben, is aanvankelijk rechtstreeks uit de numerieke verdeling van  $|\Delta_1|$  (de absolute waarde van  $\Delta_1$  resp.  $\Delta_2$ ) de hoek  $\varphi_{80}$  \*) bepaald als hoek waarbinnen 80% van de waarnemingen  $\Delta_1$  is begrepen.

In dit rapport zal het echter niet zozeer gaan om de berekening van  $\varphi_{80}$ , maar om de vraag: welke effecten spelen een rol in de variatie van  $\Delta_1$  zelf? Tenslotte worden dan toch wel waarden voor  $\varphi_{80}$  verkregen, die dan kunnen worden vergeleken met de rechtstreeks berekende.

N.B.: Voor praktisch gebruik is, in W.R. 74-12, op de  $\varphi_{80}$ -waarden nog een faktor toegepast waarmee de turbulente fluktuaties van de wind binnen het uur in rekening worden gebracht. Dit blijft hier buiten beschouwing.

---

\*)  $\varphi_{80} \equiv \frac{1}{2} \alpha$  in W.R. 74-12

## 0.2 Beoordelingsstandpunt

Het is de bedoeling in de volgende paragrafen na te gaan in hoeverre de parameters van de verdeling van  $\Delta_i$  reëel variëren in afhankelijkheid van seizoen, stabiliteit en windrichtingssector. Hierbij zal hoofdzakelijk gebruik worden gemaakt van variantie-analyse om de statistische significantie vast te stellen. Er zal echter voor de beoordeling niet volledig worden vastgehouden aan de 5%-significantie-grens om de volgende redenen:

- 1e als dit wel gedaan wordt, ontstaat een zeer ingewikkeld patroon van uitspraken inzake wel of niet reëel zijn van de diverse effecten, dat nauwelijks meer te interpreteren is met een fysisch-meteorologische verklaring en dat bovendien niet praktisch toepasbaar is;
- 2e in verband met de mogelijke aanwezigheid van persistentie, zoals in 1.2 genoemd, is het aantal onderling onafhankelijke waarnemingen, waarop de schattingen van de gezochte parameters berusten, waarschijnlijk kleiner dan **het werkelijke aantal**. D.w.z. dat men doorgaans eigenlijk op iets minder dan 5% basis zou moeten oordelen.

## 1. De frekwentieverdeling van $\Delta$ .

### 1.1 Algemeen

De indeling in de diverse categorieën leidt tot een groot aantal groepen waarbinnen een aantal waarnemingen van  $\Delta_1$  (of  $\Delta_2$ ) beschikbaar is; deze zijn in de vorm van frekwentieverdelingen genoteerd. Aangezien aan de indeling in stabiliteitsklassen nog zijn toegevoegd: de combinaties A+B en C+D samengevat tot dag, D en E+F samengevat tot nacht en ten slotte alles bij elkaar samengevat tot dag + nacht, terwijl d.4 buiten beschouwing blijft, is het aantal groepen in totaal dus  $4 \times 4 \times 7 \times 3 = 336$ . Voor elk van de groepen zijn frekwentieverdelingen gemaakt, zowel van  $\Delta_i$  als van  $|\Delta_i|$ . De waarde van  $\Delta$  is genoteerd in tientallen graden, ontstaan als verschil van twee windrichtingen, die zelf in tientallen graden zijn gegeven. Dit betekent, dat de "ware" waarde van het verschil  $\Delta$  niet altijd tussen  $\Delta - 5^\circ$  en  $\Delta + 5^\circ$  behoeft te liggen. Het kan zelfs zijn, dat een  $\Delta$  die genoteerd is als bijv.  $60^\circ$  in werkelijkheid kleiner is dan een  $\Delta$  genoteerd als  $50^\circ$ . De indeling in klassen van tien graden van de frekwentieverdelingen is dus niet helemaal zuiver. De fout die gemaakt wordt is echter te gering om ervoor te corrigeren; het effect ervan is dat de standaarddeviatie van de frekwentieverdeling iets te groot wordt geschat. Voor het praktische probleem betekent dit een kleine fout naar de veilige kant.

Bij het numeriek berekenen van de frekwentieverdelingen zijn de  $\Delta$ -waarden van  $-170^\circ$  ..  $-90^\circ$  tezamen genomen evenals die van  $+90^\circ$  ..  $+180^\circ$ .

In figuur 1a, ..., d zijn enkele voorbeelden van frekwentieverdelingen van  $\Delta$  in beeld gebracht.

Het samenstellen van frekwentieverdelingen van de absolute waarde van  $\Delta$  is uitgevoerd met het oog op het maken van een vuistregel, die zo eenvoudig mogelijk moet zijn en bij voorkeur moet bestaan uit de grootte van een hoeksector in vaste positie t.o.v. de momentane windrichting. Uit figuur 1 blijkt, dat een eventuele systematische afwijking van nul van de gemiddelde waarde van  $\Delta$  niet groot zal zijn en voor het praktische doel wel verwaarloosbaar. Zoals reeds opgemerkt, gaat het in dit rapport om de vraag hoe  $\Delta_i$  varieert en zal

de systematische afwijking van  $\bar{\Delta}$  juist worden onderzocht.

De vloeiende krommen in figuur 1 komen in de volgende paragraaf ter sprake.

## 1.2 Aanpassing van een normale verdeling aan de frekwentieverdeling van $x = \sin \Delta$ .

Voor een onderzoek naar eventuele verschillen tussen de diverse frekwentieverdelingen zou het wenselijk zijn de beschikking te hebben over een theoretische funktie waarmee de verdeling kan worden beschreven, zodat de parameters van de aangepaste verdelingen kunnen worden gebruikt om eventuele variaties tussen de verschillende groepen te onderzoeken. Nu is er sprake van de verdeling van een hoekgrootte, die van  $-180^\circ$  tot  $+180^\circ$  varieert. Hiervoor is een aantal zgn. circulaire verdelingen bekend (zie Mardia). Helaas bleek het onmogelijk met een van deze funkties een bevredigende aanpassing te vinden. De reden hiervoor is mogelijk gelegen in gebrek aan homogeniteit van het materiaal. Er komt een, overigens klein, aantal zeer grote  $\Delta$ -waarden voor, waarschijnlijk ten gevolge van bijzondere situaties als bijv. frontpassages enz. Dit aantal is groter dan men zou verwachten als men een of andere funktie aanpast aan de grote massa van de waarnemingen, die tussen  $-50^\circ$  en  $+50^\circ$  ligt. Er is mogelijk sprake van een combinatie van verdelingen: één met een gemiddelde in de buurt van nul en een kleine spreiding van misschien ca.  $20^\circ$  en één die de variatie van  $\Delta$ -waarden in bijzondere meteorologische situaties beschrijft. Het is echter niet in te zien hoe de vorm van die laatste verdeling zou moeten zijn. Er is nog gepoogd met enkele eenvoudige mogelijkheden van combinaties iets te bereiken, echter met negatief resultaat.

Ten slotte is besloten aan te nemen dat alle waarden van  $\Delta$  waarvoor  $|\Delta| > 90^\circ$  is, afkomstig zijn van bijzondere situaties. Als de waarden van  $\Delta$ , die tussen  $-90^\circ$  en  $+90^\circ$  liggen, met  $x = \sin \Delta$  worden getransformeerd, blijkt de grootte  $x$  vrij redelijk aan een normale verdeling te voldoen. In figuur 2 zijn voor dezelfde groepen als in figuur 1 de cumulatieve verdelingen van  $x$  uitgezet op waarschijnlijkheidspapier. De punten geven de overschrijdingskansen aan

zoals ze zijn berekend uit de waarnemingen en de rechte stelt de theoretische verdeling voor op grond van  $\bar{x}$  en  $S_x$ . Hieruit blijkt dat er inderdaad een goed lineair verband is. In enkele gevallen komt er voor x-waarden in de buurt van + 1 of -1 nog wel enige afwijking voor. Het is echter te verwachten, dat enerzijds enkele  $\Delta$ -waarden met  $|\Delta| < 90^\circ$  afkomstig zijn van bijzondere meteorologische situaties en dus eigenlijk buiten beschouwing hadden moeten blijven, terwijl anderzijds mogelijk ten aanzien van enkele  $\Delta$ -waarden met  $|\Delta| > 90^\circ$  het omgekeerde geldt. Van een exacte toetsing van de aanpassing is afgezien, omdat de waarnemingen binnen een groep niet helemaal onderling onafhankelijk zijn. Er kunnen immers waarnemingen van opeenvolgende uren in eenzelfde groep terecht komen en die zijn natuurlijk in sterke mate onderling afhankelijk. Gezien de ligging van de punten in de grafische voorstelling en de opmerkingen in het voorgaande, lijkt het dat er geen bezwaar is de gemiddelden ( $\bar{x}$ ) en de standaarddeviaties ( $S_x$ ) van de x-waarden te gebruiken om de variatie van de verdelingen van  $\Delta$  in afhankelijkheid van de diverse categorieën nader te onderzoeken.

N.B.: Ter illustratie vindt men in figuur 1 ook de "theoretische" distributieve verdeling getekend.

In de tabellen 1, 2 en 3 vindt men respectievelijk voor de snelheidsgroepen 1-6 kts, 7-10 kts en 11-20 kts, voor de diverse windrichtings-, seizoens- en stabiliteitsgroepen \*) de waarden van de parameters van de verdeling van x, nl.  $\bar{x}$ ,  $S_x$  en  $S_{\bar{x}}$ ; bovendien is de hoek, in graden en minuten, overeenkomende met  $\bar{x}$ , onder  $\Delta^*$  in de tabellen opgenomen. Verder is het totaal aantal waarnemingen en het percentage  $\Delta$ -waarden met  $|\Delta| > 90^\circ$  tezamen met  $\Delta$  is variabel aangegeven, respectievelijk met n en q.

---

\*) De indeling in stabiliteitsklassen is volgens de bekende classificatie van Pasquill; zie diens "Atmospheric Diffusion".

Tabel 1a · 1-6 kts Δ<sub>1</sub>

		<u>Lente</u>						<u>Zomer</u>					
		$\bar{x}$	Δ*	S <sub>x</sub>	S <sub><math>\bar{x}</math></sub>	n	q	$\bar{x}$	Δ*	S <sub>x</sub>	S <sub><math>\bar{x}</math></sub>	n	q
NO	A+B	0.039	2°14'	0.377	0.031	155	7.0	0.025	1°24'	0.382	0.023	310	7.7
	C+D	-0.031	-1°46'	0.420	0.034	175	12.6	-0.026	-1°24'	0.452	0.034	211	14.7
	D	0.050	2°48'	0.333	0.024	198	7.0	0.013	0°42'	0.360	0.024	246	11.3
	E+F	0.050	2°48'	0.309	0.017	382	10.4	0.039	2°12'	0.317	0.015	474	8.0
ZO	A+B	0.039	2°22'	0.458	0.040	149	13.5	0.036	2° 0'	0.433	0.027	284	12.4
	C+D	0.063	3°36'	0.459	0.038	168	14.4	0.093	5° 3'	0.417	0.027	269	10.7
	D	0.061	3°30'	0.376	0.020	367	7.1	0.105	6° 0'	0.308	0.017	357	6.2
	E+F	0.037	2° 0'	0.305	0.014	491	7.1	0.062	3°30'	0.290	0.012	623	6.3
ZW	A+B	0.023	1°12'	0.444	0.038	162	17.3	0.124	7° 6'	0.378	0.022	336	8.4
	C+D	0.098	5°36'	0.418	0.029	250	16.0	0.101	5°42'	0.413	0.025	312	10.8
	D	-0.001	-0° 0'	0.372	0.021	366	11.6	-0.000	-0° 0'	0.387	0.018	521	8.3
	E+F	-0.075	-4°18'	0.369	0.018	475	9.0	-0.084	-4°48'	0.327	0.012	888	10.8
NW	A+B	0.006	0°18'	0.418	0.043	112	15.2	0.078	4°24'	0.412	0.027	260	13.1
	C+D	0.067	3°48'	0.433	0.035	179	13.4	0.056	3°12'	0.428	0.028	265	13.6
	D	0.020	1° 6'	0.415	0.028	255	14.2	-0.062	-3°30'	0.403	0.024	324	16.7
	E+F	-0.006	-0°18'	0.365	0.020	409	17.6	-0.007	-0°18'	0.351	0.016	561	13.9
		<u>Herfst</u>						<u>Winter</u>					
NO	A+B	-0.015	-0°32'	0.320	0.024	190	4.7	-0.006	-0°18'	0.313	0.035	84	6.0
	C+D	-0.017	-0°36'	0.353	0.022	290	7.5	0.008	0°24'	0.329	0.029	135	5.9
	D	0.049	2°42'	0.335	0.018	398	11.8	0.043	2°24'	0.321	0.021	252	8.8
	E+F	0.024	1°18'	0.318	0.014	583	10.9	0.045	2°30'	0.323	0.019	317	9.7
ZO	A+B	0.071	4° 0'	0.346	0.025	219	11.5	-0.026	-1°30'	0.319	0.033	106	10.4
	C+D	0.028	1°30'	0.358	0.021	311	6.8	-0.005	-0°12'	0.296	0.021	211	7.2
	D	0.019	1° 6'	0.335	0.014	588	6.8	0.032	1°48'	0.328	0.016	430	7.5
	E+F	0.024	1°18'	0.284	0.010	927	7.1	0.006	0°18'	0.294	0.017	331	5.7
ZW	A+B	0.080	4°30'	0.430	0.039	137	11.6	0.089	-5° 6'	0.376	0.051	61	11.5
	C+D	0.002	0° 0'	0.391	0.024	293	7.6	0.059	3°18'	0.378	0.030	187	14.4
	D	0.001	0° 0'	0.391	0.019	488	10.4	0.013	0°42'	0.389	0.019	437	8.8
	E+F	-0.117	-6°42'	0.347	0.017	483	10.5	-0.023	-1°18'	0.387	0.023	330	11.5
NW	A+B	0.123	7° 0'	0.440	0.053	78	14.1	-0.005	-0°12'	0.396	0.043	97	14.4
	C+D	0.032	1°48'	0.409	0.036	157	16.4	0.026	1°24'	0.405	0.035	143	7.0
	D	0.022	1°12'	0.401	0.027	276	19.8	-0.038	-2° 6'	0.391	0.025	274	13.2
	E+F	-0.003	-0° 6'	0.398	0.026	307	24.7	-0.050	-2°48'	0.373	0.021	363	17.1

Tabel 1b 1-6 kts  $\Delta_2$

		<u>Lente</u>						<u>Zomer</u>					
		$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q	$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q
NO	A+B	-0.007	-0°18'	0.431	0.036	155	7.7	-0.003	-0° 6'	0.479	0.029	310	11.3
	C+D	-0.026	-1°24'	0.461	0.039	175	20.0	-0.015	-0°48'	0.473	0.036	211	20.0
	D	0.098	5°36'	0.400	0.030	198	10.1	0.024	1°24'	0.442	0.031	246	15.9
	E+F	0.089	5° 6'	0.400	0.022	382	12.7	0.081	4°36'	0.367	0.018	474	9.8
ZO	A+B	0.014	0°42'	0.505	0.046	149	20.1	0.043	2°24'	0.477	0.032	284	21.6
	C+D	0.116	6°36'	0.552	0.048	168	22.1	0.179	10°12'	0.522	0.035	269	18.5
	D	0.104	5°54'	0.463	0.025	367	8.4	0.190	10°54'	0.387	0.021	357	7.5
	E+F	0.066	3°42'	0.372	0.017	491	7.7	0.129	7°24'	0.330	0.014	623	9.1
ZW	A+B	0.087	5° 0'	0.551	0.049	162	22.8	0.183	10°30'	0.476	0.028	336	13.5
	C+D	0.122	6°54'	0.506	0.037	250	27.2	0.156	8°54'	0.479	0.030	312	16.4
	D	-0.010	-0°30'	0.460	0.026	366	15.4	-0.042	-2°18'	0.439	0.020	521	10.7
	E+F	-0.121	-6°54'	0.430	0.021	475	12.7	-0.119	-6°48'	0.407	0.015	888	14.4
NW	A+B	0.135	7°42'	0.525	0.057	112	24.1	0.079	4°30'	0.478	0.033	260	19.6
	C+D	0.064	3°36'	0.489	0.041	179	19.5	0.079	4°30'	0.486	0.034	265	21.2
	D	0.008	0°24'	0.536	0.037	255	17.2	-0.042	-2°24'	0.482	0.030	324	20.1
	E+F	-0.020	-1° 6'	0.448	0.026	409	25.3	0.004	0°12'	0.420	0.020	561	21.2
		<u>Herfst</u>						<u>Winter</u>					
NO	A+B	0.008	0°24'	0.376	0.028	190	6.4	-0.108	-6°12'	0.353	0.041	84	11.9
	C+D	0.018	1° 0'	0.380	0.024	290	11.0	0.018	1° 0'	0.358	0.032	135	8.3
	D	0.066	3°42'	0.407	0.022	398	13.9	0.057	3°12'	0.390	0.026	252	9.6
	E+F	0.049	2°42'	0.387	0.017	583	13.8	0.055	3° 6'	0.372	0.022	317	9.1
ZO	A+B	0.059	3°18'	0.475	0.035	219	15.5	-0.094	-5°18'	0.377	0.039	106	14.1
	C+D	0.005	0°18'	0.467	0.027	311	7.1	-0.021	-1° 6'	0.385	0.027	211	7.1
	D	0.044	2°30'	0.383	0.016	588	8.0	0.032	1°48'	0.409	0.021	430	9.1
	E+F	0.050	2°48'	0.329	0.011	927	9.7	0.040	2°12'	0.356	0.020	331	7.5
ZW	A+B	0.064	3°36'	0.547	0.051	137	18.1	0.135	7°42'	0.413	0.060	61	22.9
	C+D	0.024	1°18'	0.494	0.031	293	13.7	0.051	2°54'	0.480	0.039	187	18.1
	D	-0.020	-1° 6'	0.458	0.022	488	12.8	0.030	1°42'	0.454	0.023	437	13.6
	E+F	-0.156	-8°54'	0.424	0.020	483	11.5	-0.061	-3°24'	0.464	0.027	330	13.6
NW	A+B	0.140	8° 0'	0.502	0.063	78	20.5	-0.099	-5°36'	0.495	0.057	97	22.7
	C+D	0.012	0°36'	0.479	0.044	157	25.5	-0.030	-1°42'	0.490	0.044	143	13.3
	D	-0.000	-0° 0'	0.512	0.036	276	28.3	-0.044	-2°30'	0.487	0.033	274	20.2
	E+F	0.015	0°48'	0.436	0.030	307	33.6	-0.117	-6°42'	0.431	0.026	363	21.8

Tabel 2a 7-10 kts  $\Delta_1$

		<u>Lente</u>						<u>Zomer</u>					
		$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q	$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q
NO	A+B	-0.026	-1°30'	0.271	0.018	227	1.2	-0.031	-1°42'	0.261	0.011	525	0.4
	C+D	-0.008	-0°24'	0.282	0.014	417	0.7	0.001	0° 0'	0.279	0.015	342	3.0
	D	0.026	1°30'	0.216	0.010	500	0.6	0.029	1°36'	0.232	0.012	399	0.9
	E+F	0.017	0°54'	0.212	0.014	240	0.8	0.018	1° 0'	0.197	0.011	325	0.0
ZO	A+B	-0.022	-1°12'	0.295	0.025	144	0.0	0.060	3°24'	0.313	0.021	222	1.4
	C+D	0.070	4° 0'	0.341	0.017	128	3.2	0.091	5°12'	0.331	0.019	309	2.2
	D	0.084	4°42'	0.267	0.012	528	0.2	0.076	4°18'	0.256	0.013	373	1.6
	E+F	0.029	1°36'	0.193	0.014	187	0.0	0.062	3°30'	0.180	0.016	127	0.0
ZW	A+B	0.037	2° 6'	0.274	0.020	193	0.0	0.056	3° 6'	0.285	0.014	413	1.2
	C+D	0.033	1°48'	0.339	0.014	627	2.6	0.066	3°42'	0.312	0.010	926	0.8
	D	-0.020	-1° 6'	0.299	0.012	680	0.7	-0.015	-0°48'	0.253	0.009	746	0.4
	E+F	-0.025	-1°24'	0.299	0.020	233	0.8	-0.090	-5° 6'	0.253	0.018	193	0.5
NW	A+B	-0.040	-2°18'	0.314	0.025	157	0.6	0.040	-2°18'	0.287	0.015	366	0.6
	C+D	0.018	1° 0'	0.314	0.014	487	1.6	0.006	0°18'	0.309	0.013	609	1.6
	D	-0.004	-0°12'	0.283	0.013	504	0.6	-0.004	-0°24'	0.271	0.013	448	1.5
	E+F	-0.029	-1°36'	0.252	0.019	180	1.2	-0.012	-0°42'	0.242	0.020	145	0.0
		<u>Herfst</u>						<u>Winter</u>					
NO	A+B	-0.022	-1°12'	0.243	0.017	198	0.0	-0.032	-1°48'	0.214	0.018	150	0.7
	C+D	-0.030	-1°42'	0.251	0.013	359	0.6	-0.032	-1°48'	0.236	0.013	314	0.8
	D	0.015	0°48'	0.210	0.009	497	1.0	0.016	0°54'	0.203	0.008	731	0.5
	E+F	0.026	1°30'	0.191	0.011	308	0.3	0.011	0°36'	0.189	0.011	319	0.3
ZO	A+B	-0.030	-1°42'	0.250	0.020	164	0.0	-0.001	-0° 0'	0.235	0.026	84	0.0
	C+D	0.033	1°48'	0.261	0.011	526	0.8	-0.003	-0° 6'	0.241	0.012	415	0.0
	D	0.030	1°42'	0.216	0.007	992	1.0	0.008	0°24'	0.214	0.007	913	0.6
	E+F	0.009	0°30'	0.197	0.009	437	0.5	0.018	1° 0'	0.199	0.013	229	0.4
ZW	A+B	-0.069	-3°54'	0.222	0.026	72	2.8	-0.014	-0°42'	0.348	0.093	14	0.0
	C+D	0.012	0°42'	0.314	0.014	548	1.3	0.033	1°54'	0.311	0.016	399	1.6
	D	-0.040	-2°12'	0.291	0.010	831	0.5	0.010	0°30'	0.300	0.011	813	1.0
	E+F	-0.071	-4° 0'	0.286	0.020	204	0.0	-0.065	-3°42'	0.288	0.019	226	1.3
NW	A+B	0.080	4°36'	0.252	0.041	39	2.6	-0.099	-5°36'	0.300	0.087	12	0.0
	C+D	-0.006	-0°18'	0.325	0.023	204	2.5	-0.015	-0°48'	0.301	0.019	266	1.2
	D	-0.022	-1°12'	0.346	0.021	285	4.3	-0.010	-0°30'	0.330	0.016	438	2.0
	E+F	-0.076	-4°18'	0.298	0.038	64	1.6	-0.033	-1°54'	0.347	0.029	142	0.0



Tabel 2b 7-10 kts  $\Delta_2$

		<u>Lente</u>						<u>Zomer</u>					
		$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q	$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q
NO	A+B	-0.035	-1°54'	0.310	0.021	227	1.2	-0.056	-3°12'	0.307	0.014	525	1.8
	C+D	-0.017	-0°34'	0.349	0.017	417	2.4	-0.031	-1°42'	0.336	0.019	342	4.4
	D	0.045	2°30'	0.278	0.012	500	1.0	0.059	3°18'	0.289	0.015	399	1.3
	E+F	0.025	1°24'	0.293	0.019	240	2.4	0.061	3°30'	0.259	0.014	325	0.3
ZO	A+B	-0.039	-2°12'	0.377	0.032	144	1.4	0.108	5°42'	0.418	0.029	222	4.6
	C+D	0.087	4°54'	0.436	0.022	428	9.1	0.146	8°18'	0.411	0.024	309	5.2
	D	0.136	7°48'	0.319	0.014	528	1.6	0.129	7°18'	0.326	0.017	373	2.5
	E+F	0.070	4° 0'	0.250	0.018	187	0.0	0.103	5°54'	0.240	0.021	127	0.0
ZW	A+B	0.089	5° 6'	0.365	0.027	193	3.6	0.061	3°30'	0.388	0.019	413	3.3
	C+D	0.027	1°30'	0.435	0.018	627	7.3	0.090	5° 6'	0.382	0.013	926	3.2
	D	-0.021	-1°12'	0.359	0.014	680	1.9	-0.013	-0°42'	0.328	0.012	746	0.7
	E+F	-0.026	-1°30'	0.390	0.026	233	2.6	-0.108	-6° 6'	0.361	0.026	193	0.0
NW	A+B	-0.087	-4°54'	0.401	0.032	157	2.5	0.073	4°12'	0.375	0.020	366	3.0
	C+D	-0.029	-1°36'	0.386	0.018	487	4.6	0.013	0°42'	0.375	0.015	609	2.4
	D	-0.025	-1°24'	0.339	0.015	504	1.8	-0.045	-2°30'	0.341	0.016	448	3.5
	E+F	-0.048	-2°42'	0.306	0.023	180	2.9	-0.045	-2°30'	0.306	0.026	145	2.8
		<u>Herfst</u>						<u>Winter</u>					
NO	A+B	-0.067	-3°48'	0.296	0.021	198	0.5	-0.047	-2°36'	0.274	0.022	150	0.7
	C+D	-0.037	-2° 6'	0.331	0.018	359	2.2	-0.055	-3° 1'	0.287	0.016	314	0.3
	D	0.026	1°30'	0.274	0.012	497	1.6	0.022	1°12'	0.250	0.009	731	0.9
	E+F	0.047	2°42'	0.233	0.013	308	0.9	0.028	1°30'	0.229	0.013	319	1.2
ZO	A+B	-0.067	-3°48'	0.309	0.024	164	0.6	-0.040	-2°18'	0.306	0.033	84	0.0
	C+D	0.021	1°12'	0.344	0.015	526	1.8	0.008	0°24'	0.314	0.015	415	0.6
	D	0.047	2°36'	0.273	0.009	992	1.5	0.019	1° 6'	0.267	0.009	913	1.2
	E+F	0.023	1°18'	0.242	0.012	437	1.0	0.050	2°48'	0.239	0.016	229	0.9
ZW	A+B	-0.114	-6°30'	0.357	0.044	72	11.1	0.032	1°48'	0.425	0.114	14	0.0
	C+D	0.002	0° 6'	0.404	0.018	548	3.6	0.040	2°18'	0.367	0.019	399	4.6
	D	-0.043	-2°24'	0.362	0.013	831	0.9	-0.005	-0°12'	0.369	0.013	813	1.5
	E+F	-0.143	-8° 6'	0.349	0.024	204	0.5	-0.099	-5°36'	0.348	0.023	226	2.2
NW	A+B	0.044	2°30'	0.314	0.052	39	5.2	-0.109	-6°12'	0.268	0.077	12	0.0
	C+D	-0.031	-1°48'	0.397	0.029	204	4.4	-0.029	+1°36'	0.372	0.023	266	2.7
	D	-0.057	-3°12'	0.408	0.025	285	7.7	-0.020	-1° 6'	0.366	0.018	438	4.8
	E+F	-0.149	-8°30'	0.365	0.046	64	3.2	-0.092	-5°12'	0.380	0.032	142	2.8

Tabel 3a 11-21 kts  $\Delta_1$

		<u>Lente</u>						<u>Zomer</u>					
		$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q	$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q
NO	C+D	-0.016	-0°48'	0.187	0.005	1314	0.1	-0.015	-0°48'	0.195	0.006	940	0.0
	D	0.015	0°48'	0.141	0.004	1132	0.4	0.025	1°24'	0.174	0.009	390	0.0
ZO	C+D	0.034	1°54'	0.233	0.009	622	0.7	0.099	5°36'	0.279	0.015	332	0.3
	D	0.069	3°54'	0.222	0.011	414	1.2	0.050	2°48'	0.222	0.022	107	1.8
ZW	C+D	0.017	1° 0'	0.222	0.005	2124	0.2	0.021	1°12'	0.222	0.004	2730	0.5
	D	0.014	0°48'	0.213	0.006	1407	0.4	0.007	0°18'	0.216	0.007	874	0.4
NW	C+D	-0.007	-0°24'	0.223	0.006	1496	0.2	0.004	0°12'	0.223	0.006	1609	0.2
	D	-0.006	-0°18'	0.219	0.008	790	0.1	-0.021	-1° 6'	0.218	0.011	401	0.2
		<u>Herfst</u>						<u>Winter</u>					
NO	C+D	-0.006	-0°18'	0.171	0.007	531	0.0	-0.013	-0°42'	0.172	0.006	863	0.0
	D	0.012	0°42'	0.142	0.005	733	0.0	0.006	0°18'	0.148	0.004	1666	0.0
ZO	C+D	0.042	2°24'	0.201	0.008	704	0.1	0.027	1°30'	0.180	0.007	679	0.0
	D	0.047	2°36'	0.181	0.006	914	0.1	0.022	1°12'	0.167	0.005	1172	0.2
ZW	C+D	0.009	0°24'	0.216	0.005	1692	0.4	0.002	0° 6'	0.204	0.006	1007	0.2
	D	0.002	0° 0'	0.216	0.005	1754	0.3	0.013	0°42'	0.198	0.004	1944	0.3
NW	C+D	-0.027	-1°30'	0.270	0.013	453	0.0	0.001	0° 0'	0.248	0.011	545	0.2
	D	-0.041	-2°18'	0.284	0.014	441	0.7	-0.020	-1°12'	0.243	0.008	902	0.2

Tabel 3b 11-21 kts  $\Delta_2$

		<u>Lente</u>						<u>Zomer</u>					
		$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q	$\bar{x}$	$\Delta^*$	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	n	q
NO	C+D	-0.022	-1°12'	0.219	0.006	1314	0.6	-0.023	-1°18'	0.240	0.008	940	0.6
	D	0.016	0°54'	0.181	0.005	1132	0.5	0.028	1°30'	0.221	0.011	390	1.1
ZO	C+D	0.061	3°30'	0.313	0.013	622	2.1	0.128	7°18'	0.360	0.020	332	2.4
	D	0.116	6°36'	0.265	0.013	414	1.7	0.142	8° 6'	0.340	0.033	107	1.8
ZW	C+D	0.021	1°12'	0.294	0.006	2124	0.6	0.031	1°42'	0.297	0.006	2730	0.8
	D	0.033	1°48'	0.276	0.007	1407	0.5	0.012	0°42'	0.261	0.009	874	1.6
NW	C+D	-0.016	-0°54'	0.275	0.007	1496	0.2	-0.013	-0°42'	0.263	0.007	1609	0.4
	D	-0.017	-0°54'	0.254	0.009	790	0.4	-0.058	-3°18'	0.246	0.012	401	0.2
		<u>Herfst</u>						<u>Winter</u>					
NO	C+D	-0.022	-1°12'	0.202	0.009	531	0.2	-0.027	-1°30'	0.201	0.007	863	0.1
	D	0.014	0°42'	0.181	0.007	733	0.1	0.008	0°24'	0.179	0.004	1666	0.1
ZO	C+D	0.064	3°18'	0.265	0.010	704	0.1	0.044	2°30'	0.247	0.010	679	0.4
	D	0.083	4°42'	0.241	0.008	914	0.4	0.046	2°36'	0.223	0.007	1172	0.3
ZW	C+D	-0.008	-0°24'	0.288	0.007	1692	0.7	-0.015	-0°48'	0.286	0.009	1007	0.4
	D	0.002	0° 6'	0.273	0.007	1754	0.6	0.017	1° 0'	0.259	0.006	1944	0.8
NW	C+D	-0.056	-3°12'	0.319	0.015	453	0.8	-0.017	-0°54'	0.294	0.013	545	0.6
	D	-0.058	-3°18'	0.327	0.016	441	3.0	-0.020	-1° 6'	0.299	0.010	902	0.7

## 2. De variatie van de parameters van de verdeling van $x$

### 2.1 De variatie van $\bar{x}$

#### 2.1.1 Toepassing van variantie-analyse

In deze paragraaf zal de waarde van  $\bar{x}$  voor de verschillende categorieën nader worden bekeken. In de figuren 3a, b en c zijn de  $\bar{x}$ -waarden uit de tabellen 1a en b in beeld gebracht. Om na te gaan in hoeverre de verschillen in  $\bar{x}$  tussen de groepen reëel zijn te achten, is gebruikgemaakt van variantie-analyse. (Zie bijv. W.R. 75-1). Nu is voor de toepassing van deze techniek een theoretische voorwaarde, dat de varianties van  $\bar{x}$  voor de verschillende groepen gelijk zijn.

In de praktijk is echter vaak niet aan deze voorwaarde voldaan, zoals ook in dit onderzoek het geval is. Het is echter zo, dat kleine afwijkingen van de voorwaarde wel toelaatbaar zijn, zoals door Scheffé (zie Scheffé blz. 356) is nagegaan. In een aantal eenvoudige gevallen bleek een faktor 3 tussen de grootste en de kleinste variantie erin te resulteren, dat bij toetsing met de 5% significantiedrempel in feite werd beoordeeld op grond van een significantiedrempel, die tussen 4 en 7% was gelegen.

In de tabellen 1a resp. 1b is te zien dat voor de groepen 1-6 kts  $\Delta_1$  resp.  $\Delta_2$  de maximale verhouding tussen de  $S_x$ -waarden resp. 1.6 en 1.7 is. Voor de varianties is de maximale verhouding dus kleiner dan 3. Voor de andere snelheids-  $\Delta$  groepen is de maximale standaarddeviatie-verhouding iets groter: ca. 1.9 voor 7-10 kts (bij zowel  $\Delta_1$  als  $\Delta_2$ ) en ca. 2.0 voor 11-20 kts (bij zowel  $\Delta_1$  als  $\Delta_2$ ).

Aangezien tenslotte uit praktische overwegingen niet op het materiaal van de verschillende tabellen in zijn geheel variantie-analyse is toegepast, maar slechts op kleinere groepen gegevens, is het bezwaar van de kleine ongelijkheid in de varianties niet ernstig. In een volgende paragraaf zal nader worden bekeken in hoeverre er nog reële verschillen zijn in de waarden van  $S_x$ .

In principe zou men op de  $\bar{x}$  gegevens van de tabellen drievoudige variantie-analyse kunnen toepassen, waarbij men onderscheid maakt naar de categorieën: seizoen, richting en stabiliteit. Nu was op het moment van de bewerking wel een programma voor tweevoudige variantie-analyse beschikbaar, echter nog niet voor drievoudige. Er is derhalve een aantal malen tweevoudige variantie-analyse toegepast. Hierbij bestaan 3 x 4 (resp. 2) mogelijkheden. Men kan nl. per richtingsgroep: seizoen en stabiliteitseffekt en hun interacties toetsen, per seizoen: richting en stabiliteit onderzoeken of per stabiliteitsgroep: seizoen en richting. Gebleken is dat alleen bij toepassing van de variantie-analyse per richtingsgroep de interactie tussen de hoofdeffekten niet significant is. Voor de definitieve bewerking is dus uitgegaan van deze indeling.

Wat dus niet getoetst wordt bij beperking tot tweevoudige variantie-analyse zijn de hogere orde interacties, bijv. in hoeverre een eventuele interactie tussen richting en stabiliteit met het seizoen varieert, enz. Dit zijn echter zulke complexe verschijnselen, dat praktische toepassing te ingewikkeld wordt om uit te voeren.

Het resultaat van de toepassing van de variantie-analyse is te vinden in tabel 4.

Voor een goed begrip van de resultaten wordt de betekenis van de tweevoudige variantie-analyse in het kort samengevat als volgt:

Een stochastische grootheid  $x_{ij}$  wordt waargenomen onder indeling in enerzijds klassen  $A_i$  ( $i = 1, \dots, I$ ) en anderzijds klassen  $B_j$  ( $j = 1, \dots, J$ ). De vraag is nu of de waarde van  $x$  afhankelijk is van  $A_i$ , hetzij van  $B_j$ , hetzij van beide. Er kan dus sprake zijn van 1e een A-effekt en 2e een B-effekt; deze worden de hoofdeffekten genoemd. Indien beide aanwezig zijn, is het mogelijk dat het A-effekt nog varieert met  $B_j$ , resp. het B-effekt varieert met  $A_i$ ; men spreekt dan van interactie. Zijn A- en B-effekt onafhankelijk van elkaar, dan is er geen interactie.

Per  $(i, j)$  "cel" worden  $n_{ij}$  waarden  $x$  waargenomen. De meetwaarden van  $x$  kunnen dus met  $x_{i,j,k}$  worden aangegeven, waarbij  $k = 1, \dots, n_{ij}$ .

Alle  $N (= \sum_i \sum_j n_{ij})$  waarden  $x$  bezitten een "overall" gemiddelde

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{ijk} x_{ijk} \quad \text{en een totale variantie } \text{var } x = \frac{1}{N-1} \sum_{ijk} (x_{ijk} - \bar{x})^2.$$

Deze totale variantie kan worden gesplitst in bijdragen ten gevolge van het A-effekt, van het B-effekt en van de interactie. Er blijft dan nog over een variantie-bijdrage ten gevolge van waarnemingsfouten (en eventuele andere effecten); deze wordt de rest-variantie genoemd.

Voor iedere x-waarneming is te schrijven

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (2.1)$$

waarin  $\mu$  een algemene term voorstelt,  $\alpha$  het A-effekt,  $\beta$  het B-effekt en  $\gamma$  de interactie. De term  $\epsilon$  geeft de stochastische variabiliteit van  $x$  weer.

De realiteit van interactie en hoofdeffekten kan nu beoordeeld worden op grond van de verhouding van de betrokken variantie en de rest-variantie. Immers, naarmate de rest-variantie groter is vergeleken met de variantie van het beschouwde effect, is het onwaarschijnlijker dat het effect reëel is. De verhouding van effect-variantie tot rest-variantie is zelf een statistische grootte. Deze voldoet aan een zgn. F-verdeling met  $\nu_1$  en  $\nu_2$  vrijheidsgraden. (Dit zijn de aantallen onafhankelijke waarnemingen waarop de variantie berust). Hierbij is  $\nu_1$  het aantal vrijheidsgraden van de effect-variantie en  $\nu_2$  het aantal vrijheidsgraden van de rest-variantie. Voor de mathematisch-statistische formulering van de methode wordt verwezen naar de statistische literatuur zoals bijv. Dixon and Massey of De Jonge (zie ook Rijkoort, W.R. 75-1).

In tabel 4 zijn, alleen voor 1-6 kts en  $\nu_1$ , de waarden van de toetsingsgrootheden vermeld voor de interacties en hoofdeffekten voor ieder van de 12 groepen, ingedeeld in drie mogelijke indelingen. Niet vermeld in deze tabel zijn de aantallen vrijheidsgraden. Het aantal vrijheidsgraden van de rest-variantie,  $\nu_2$ , is steeds zeer groot (nl.  $\sum_{ij} (n_{ij}-1)$  en dit varieert tussen 2000 en 7000), terwijl  $\nu_1$  voor de interactie  $(I-1)(J-1) = 9$  bedraagt en voor de hoofdeffekten  $3 (= I-1 = J-1)$ .

Onder  $F_{5\%}$  zijn in de tabel de 5%-waarden van de F-verdeling aangegeven. De berekende F-waarden, die groter zijn dan  $F_{5\%}$ , zijn onderstreept, waarmee de significantie is aangegeven.

In de laatste kolom is de gemiddelde F-waarde vermeld voor simultane toetsing. De 5% F-waarde hiervoor is als  $F_{5\%}^S$  vermeld. Het is nl. zo dat  $\nu_2$  zo groot is, dat deze als  $\infty$  is te beschouwen; de verdeling van  $\nu_1 F$  komt dan overeen met een  $\chi^2$  verdeling met  $\nu_1$  vrijheidsgraden. Dan volgt  $\Sigma \nu_1 F$ , een  $\chi^2$  verdeling met  $\Sigma \nu_1$  vrijheidsgraden en  $\frac{\Sigma \nu_1 F}{\Sigma \nu_1}$ , een F-verdeling met  $\Sigma \nu_1$  en  $\nu_2 = \infty$  vrijheidsgraden. Voor de interactie betekent dat  $\bar{F}$  een F-verdeling met  $\nu_1 = 36$ ,  $\nu_2 = \infty$  volgt, en voor het hoofdeffekt dat  $\bar{F}$  een F-verdeling met  $\nu_1 = 12$ ,  $\nu_2 = \infty$  volgt.

Uit tabel 4 blijkt, dat bij indeling in windrichtingsgroepen alleen bij ZW significante interactie aanwezig is; bij indeling in seizoenen is er in drie gevallen significante interactie en bij indeling in stabiliteitsgroepen in twee gevallen. Simultaan gezien is er, zoals reeds opgemerkt, bij indeling in windrichtingsgroepen geen interactie; bij indeling in seizoenen of stabiliteitsgroepen wel. Voor het verdere

Tabel 4

F-waarden voor de groep 1-6 knopen.  $\Delta T = 1$ .

effekt	NO	ZO	ZW	NW	$F_{5\%}$	$F^S$	$F_{5\%}^S$
interactie	0.60	1.36	<u>2.12</u>	1.24	1.89	1.33	1.39
seizoen	0.49	<u>8.56</u>	<u>3.59</u>	2.43	2.60	<u>3.77</u>	1.75
stabiliteit	<u>5.23</u>	1.19	<u>49.70</u>	<u>7.16</u>	2.60	<u>15.13</u>	1.74
	<u>Lente</u>	<u>Zomer</u>	<u>Herfst</u>	<u>Winter</u>			
interactie	<u>2.99</u>	<u>9.86</u>	<u>4.99</u>	1.70	1.89	<u>4.88</u>	1.39
richting	<u>5.40</u>	<u>11.57</u>	<u>8.72</u>	<u>3.77</u>	2.60	<u>7.36</u>	1.75
stabiliteit	<u>4.65</u>	<u>14.00</u>	<u>5.66</u>	0.97	2.60	<u>6.32</u>	1.76
	A+B	C+D	D	E+F			
interactie	1.82	1.17	<u>2.56</u>	<u>2.37</u>	1.89	<u>1.98</u>	1.39
seizoen	<u>3.10</u>	<u>3.11</u>	0.57	1.90	2.60	<u>2.17</u>	1.75
richting	<u>3.10</u>	<u>5.69</u>	<u>9.00</u>	<u>53.56</u>	2.00	<u>17.81</u>	1.75

onderzoek is derhalve met indeling in richtingsgroepen verder gewerkt en is de interactie buiten beschouwing gelaten. Dit betekent, dat in (2.1)  $\gamma_{ij} = 0$  gesteld kan worden, dus

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

en

$$\bar{x}_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

De toepassing van de variantie-analyse levert schattingen voor  $\mu$ ,  $\alpha_i$  en  $\beta_j$  en hieruit is dus een "gladgestreken" nieuwe schatting voor  $\bar{x}_{ij}$  te bepalen, nl.

$$\tilde{x}_{ij} = \hat{\mu} + \hat{\alpha}_i + \hat{\beta}_j \quad (2.2)$$

Op te merken valt nog dat de 9 parameters  $\mu$ ,  $\alpha_1 \dots \alpha_4$ ,  $\beta_1 \dots \beta_4$  niet eenduidig te bepalen zijn; immers als bijv.  $\alpha_i$  door  $\alpha_i - \alpha_4$ ,  $\beta_j$  door  $\beta_j - \beta_4$  en  $\mu$  door  $\mu + \alpha_4 + \beta_4$  wordt vervangen, blijft  $\tilde{x}_{ij}$  onveranderd. Voor de bepaling van de waarden van de parameters kunnen dus bijv. aan twee parameters willekeurige waarden worden toegekend. Hiervoor is gekozen  $\alpha_4 = \beta_4 = 0$ . De toepassing van de variantie-analyse geeft dus verder aan in hoeverre één of beide hoofdeffekten reëel zouden kunnen zijn. Daarbij is te bedenken dat de significantie van een hoofdeffekt alleen maar betekent dat niet alle  $\alpha$ 's resp. alle  $\beta$ 's nul zijn. De vraag is dus eigenlijk, welke van de  $\alpha$ 's of  $\beta$ 's van nul afwijken, indien het effect significant is, of nog iets algemener: welke reële verschillen tussen de  $\alpha$ 's resp.  $\beta$ 's zijn aanwezig.

Door Scheffé is als uitbreiding van de variantie-analyse een methode ontwikkeld (de S-methode) om simultaan onbetrouwbaarheidsmarges aan te geven voor de mogelijke verschillen tussen de  $\alpha$ 's resp. de  $\beta$ 's. Deze methode geeft aanwijzingen waar het effect hoofdzakelijk is gelegen, maar geeft, zoals alle statistische uitspraken, geen absolute conclusies; met name is het bijv. mogelijk dat het verschil tussen  $\alpha_1$  en  $\alpha_3$  significant is, maar dat tussen  $\alpha_1$  en  $\alpha_2$  en tussen  $\alpha_2$  en  $\alpha_3$  beide niet. D.w.z. men zou dus in principe  $\alpha_2$  zowel aan  $\alpha_1$  gelijk kunnen stellen als aan  $\alpha_3$ , maar niet aan beide, omdat  $\alpha_1$  ongelijk  $\alpha_3$  is te achten. Een duidelijke uitspraak ten aanzien van  $\alpha_2$  is dus niet mogelijk.

Om deze reden is er nu volstaan ~~de~~ schattingen van  $\alpha$  en  $\beta$ , zoals ze in eerste instantie zijn verkregen, te gebruiken voor figuren waar  $\tilde{x}$  volgens (2.2) in beeld is gebracht en niet te trachten niet-significante verschillen weg te werken om aldus betere schattingen te verkrijgen.

De variantie-analyse is verder ook toegepast op de overige snelheidsgroepen en op de gegevens met een tijdsverschil van twee uur. Bij de snelheidsgroep 11-21 kts is in de stabiliteitsindeling slechts sprake van dag of nacht; de stabiliteitsklasse A+B of E+F komt per definitie niet voor. De aantallen vrijheidsgraden zijn in dit geval dus resp. 3, 3 en 1. De resultaten van de berekening van de toetsingsgrootte F zijn vermeld in tabel 5, waarin volledigheidshalve ook is opgenomen de groep 1-6 kts,  $\Delta_1$ , die reeds in tabel 4 staat. Bij de beoordeling van de resultaten moet worden bedacht, dat deze niet onderling onafhankelijk zijn. Voor eenzelfde snelheidsgroep zijn de x-waarden gebaseerd op dezelfde gegevens. Ook tussen de snelheidsgroepen bestaat enig verband, nl. ten gevolge van de persistentie in de windwaarnemingen van uur op uur.

Er blijkt uit tabel 5, dat er mogelijk toch wel sprake is van enige interactie; de simultane F-waarden zijn nu net boven de 5%-grens, maar zo weinig, dat mede gezien het algemene beoordelingsprincipe deze interactie toch buiten beschouwing is gelaten. In grote lijnen komen de sterk significante effecten overeen met die van tabel 4.

In de figuren 4a,b,c, die analoog zijn aan 3a,b,c, kunnen de resultaten van de bepaling van de waarden  $\tilde{x}$  worden overzien. Een visuele beoordeling van deze figuren, gesteund door de resultaten van de toepassing van de S-methode, welke niet numeriek worden vermeld, geeft de volgende resultaten als belangrijkste effecten:

Bij NO : een stabiliteitseffekt waarbij 's nachts een ruiming van ca.  $2^\circ$  en overdag vrijwel geen effect. Geen seizoenseffekt.

Bij ZO : geen duidelijk stabiliteitseffekt, maar wel een seizoenseffekt, nl.: in de winter geen verandering, in de zomer ca.  $4^\circ$  ruiming en in de herfst en lente kleinere ruimingen.

Bij ZW en NW : een enigszins omgekeerd effect aan dat bij NO, nl. ruiming overdag en geen verandering of krimpung 's nachts. Bij dit



Tabel 5

$\Delta T = 1$	effekt	NO	ZO	ZW	NW	F <sub>5%</sub>	F <sup>S</sup>	F <sub>5%</sub> <sup>S</sup>
1-6 kts	interaktie	0.60	1.36	<u>2.12</u>	1.24	1.89	1.33	1.39
	seizoen	0.49	<u>8.56</u>	<u>3.59</u>	2.43	2.60	<u>3.77</u>	1.75
	stabiliteit	<u>5.23</u>	1.19	<u>49.70</u>	<u>7.16</u>	2.60	<u>15.13</u>	1.75
7-10	interaktie	0.47	1.74	<u>2.33</u>	1.45	1.89	<u>1.50</u>	1.39
	seizoen	1.04	<u>25.01</u>	<u>6.54</u>	1.00	2.60	<u>8.40</u>	1.75
	stabiliteit	<u>16.73</u>	<u>7.24</u>	<u>30.34</u>	2.12	2.60	<u>14.11</u>	1.75
11-21	interaktie	1.41	<u>4.14</u>	1.61	1.02	2.60	<u>2.04</u>	1.75
	seizoen	0.72	<u>12.84</u>	1.94	<u>3.30</u>	2.60	<u>4.70</u>	1.75
	stabiliteit	<u>44.04</u>	0.44	0.79	<u>4.08</u>	3.84	<u>12.34</u>	2.37
$\Delta T = 2$								
1-6 kts	interaktie	1.20	<u>2.47</u>	<u>2.30</u>	1.32	1.89	<u>1.82</u>	1.39
	seizoen	0.57	<u>24.62</u>	<u>4.12</u>	<u>7.30</u>	2.60	<u>9.15</u>	1.75
	stabiliteit	<u>9.29</u>	<u>5.80</u>	<u>69.55</u>	<u>5.79</u>	2.60	<u>22.61</u>	1.75
7-10	interaktie	0.70	<u>2.44</u>	<u>2.94</u>	<u>2.72</u>	1.89	<u>2.20</u>	1.39
	seizoen	2.24	<u>41.75</u>	<u>8.56</u>	<u>3.15</u>	2.60	<u>13.92</u>	1.75
	stabiliteit	<u>38.86</u>	<u>13.71</u>	<u>31.81</u>	<u>4.86</u>	2.60	<u>22.31</u>	1.75
11-21	interaktie	0.42	2.10	<u>3.65</u>	1.96	2.60	<u>2.03</u>	1.75
	seizoen	0.84	<u>15.92</u>	<u>10.19</u>	<u>4.65</u>	2.60	<u>7.90</u>	1.75
	stabiliteit	<u>64.75</u>	<u>6.52</u>	3.13	2.46	3.84	<u>19.22</u>	2.37

laatste is er nog verschil tussen ZW en NW. Bij ZW is er geen verandering bij de neutrale situaties, maar een krimpings van 3° tot 6° tijdens stabiele situaties; bij NW is er 's nachts geen duidelijk effect.

N.B.: De S-methode geeft, wat het seizoenseffekt bij ZO betreft, alleen als significant aan het verschil tussen zomer en herfst en zomer en winter.

2.1.2 Variatie van  $\bar{x}$  als functie van het tijdsinterval resp. de snelheid

De voorgaande conclusies gelden in eerste instantie voor de groep 1-6 kts en  $\Delta_1$ . De figuren voor de overige groepen geven in grote lijnen een overeenkomstig beeld. Hierbij blijkt dat de effecten bij de hogere snelheidsgroepen zwakker zijn dan bij 1-6 kts en sterker voor  $\Delta_2$  dan voor  $\Delta_1$ .

Deze laatste conclusies worden iets duidelijker in de figuren 5 en 6. In figuur 5 is voor ieder van de richtingsgroepen per snelheidsklasse het verband tussen de richtingsverandering na twee uur en die na één uur aangegeven; hiervoor zijn per groep **niet** de 16 x-waarden van figuur 4 gebruikt, maar de zeven resp. vijf parameters  $\mu$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_j$  waaruit  $\tilde{x}$  is opgebouwd. Voor de twaalf gevallen is de lineaire regressie-rechte  $y = a + bx$  bepaald, waarin x de parameterwaarde voor  $\Delta_1$  en y die voor  $\Delta_2$  is. In de eerste plaats is gebleken dat a slechts in één geval significant van nul afwijkt; simultaan is er geen reden de onderstelling  $a = 0$  te verwerpen. De regressiecoëfficiënten b variëren; er is echter geen duidelijk verband met de snelheid, wel met de windrichting; derhalve kunnen per windrichtingssector de parameters voor de diverse snelheidsgroepen bij elkaar worden genomen, zodat er 19 paren (x,y) per richtingsgroep zijn. De regressiecoëfficiënten a en b en hun standaarddeviaties  $s_a$  en  $s_b$  blijken dan de waarden te bezitten, die in tabel 6 zijn vermeld.

Tabel 6

	a	$s_a$	b	$s_b$
NO	-0.000	0.005	1.613	0.192
ZO	-0.013	0.006	1.858	0.165
ZW	+0.001	0.003	1.442	0.040
NW	-0.005	0.005	1.716	0.144

Het blijkt nu dat a weer gelijk aan 0 kan worden gesteld; alleen bij ZO is de a-waarde net iets groter dan 2 x de standaarddeviatie. Simultaan gezien geen reden om  $a = 0$  te verwerpen. In de b-waarde zijn enkele opvallende verschillen. Voor de richting ZW is b het kleinst (1.44), bij ZO het grootst (1.86). Gezien de waarden van

de standaarddeviatie moet dit verschil reëel worden geacht. Bij de ZO-richtingen is het zo, dat b zonder bezwaar gelijk aan 2 kan worden gesteld. Dit is wat te verwachten is van een systematisch effect dat na verloop van één uur een richtingsvariatie  $x$  oplevert. Is er geen dagelijkse gang, dan komt er na verloop van een tweede uur weer  $x$  bij. De resultaten in figuur 4a zijn hiermee in overeenstemming. Bij ZO is er immers geen significante afhankelijkheid van de stabiliteit. Bij ZW daarentegen is er een zeer sterke variatie met de stabiliteit en voor deze richtingsgroep wordt dan ook de kleinste waarde van b gevonden.

Als de snelheidsgroepen 1-6 kts en 7-10 kts worden vergeleken wat betreft de parameters  $\mu$ ,  $\alpha$  en  $\beta$ , dan is het resultaat zoals in figuur 6 is te zien. De berekening van de lineaire regressiecoëfficiënten a en b en bijbehorende standaarddeviaties levert de resultaten van tabel 7; hierbij is gesteld  $p_{7-10 \text{ kts}} = a + bp_{1-6 \text{ kts}}$ , waarin  $p = \mu$  of  $\alpha$  of  $\beta$ .

Tabel 7

		a	$s_a$	b	$s_b$
$\Delta_1$	NO	-0.001	0.008	0.559	0.281
	ZO	-0.012	0.006	1.488	0.184
	ZW	-0.003	0.005	0.631	0.055
	NW	-0.003	0.009	0.504	0.187
$\Delta_2$	NO	-0.007	0.005	1.015	0.111
	ZO	-0.005	0.005	1.022	0.080
	ZW	+0.002	0.010	0.587	0.072
	NW	-0.007	0.022	0.419	0.259

In de eerste plaats is op te merken dat een zuivere statistische beoordeling van de resultaten in tabel 7 moeilijk is, omdat er afhankelijkheid bestaat tussen de gegevens voor  $\Delta_1$  en die voor  $\Delta_2$ . Er wordt volstaan met een globale beoordeling. Het is zonder meer duidelijk dat a niet van 0 afwijkt. De waarde van b is iets moeilijker te beoordelen. Voor  $\Delta_1$  bestaat een groot verschil tussen NO en ZO, voor  $\Delta_2$  echter in het geheel niet. In het laatste geval is b

nagenoeg 1. Deze waarde is zeker ook acceptabel voor NO bij  $\Delta_1$ . Voor ZO is dit op grond van de waarde van  $s_b$  niet het geval. Het is echter zeer goed mogelijk dat in dit geval, mede gezien het geringe aantal waarnemingen, ten onrechte de hypothese  $b = 1$  wordt verworpen.

Voor de westelijke richtingsgroepen kan zowel voor  $\Delta_1$  als voor  $\Delta_2$  eenzelfde waarde voor  $b$  worden geaccepteerd, die globaal op 0.5 is te stellen. M.a.w., bij oostelijke windrichtingen bestaat, althans voor snelheden tot 5 m/s, geen windrichtingseffekt op de systematische windrichtingsverandering in de tijd; bij westelijke windrichting neemt de windrichtingsverandering af.

### 2.1.3 Samenvatting

Samenvattend kan de systematische windrichtingsverandering in de tijd als volgt worden beschreven:

Na verloop van één uur is een systematische windrichtingsverandering mogelijk, die varieert tussen  $-7^\circ$  en  $+7^\circ$ . Deze verandering is afhankelijk van de stabiliteit van de atmosfeer, van het seizoen en van de windrichtingssector. Bij ZO-richtingen overweegt het seizoenseffekt en is een stabiliteitseffekt niet aanwezig (of althans niet aantoonbaar). Het seizoenseffekt bij ZO bestaat uit een ruiming van ca.  $4^\circ$  in de zomer en geen verandering in de winter; lente en herfst geven slechts 2 à  $3^\circ$  ruiming.

Bij de overige windrichtingen overweegt het stabiliteitseffekt; bij NO vindt geen richtingsverandering plaats in geval van onstabiele situaties, maar een ruiming van 2 à  $3^\circ$  in stabiele, terwijl voor westelijke richtingen een omgekeerd effect aanwezig is, nl. ruiming van ca. 2 à  $6^\circ$  in onstabiele situaties en geen verandering of krimp tot ca.  $6^\circ$  in stabiele gevallen. Dit laatste is het sterkst bij ZW en iets zwakker bij NW.

Bovengenoemde effecten gelden voor zwakke winden, nl. in de klasse 1-6 kts. Voor snelheden tussen 7 en 10 kts worden bij oostelijke richtingen dezelfde windrichtingsveranderingen als voor 1-6 kts gevonden, terwijl bij westelijke richtingen de verandering ongeveer  $\frac{1}{2}$  x zo klein wordt.

In overeenstemming met het bovenstaande is de verandering in de windrichting na twee uur vergeleken met die na één uur. Bij ZO, waar

geen stabiliteitseffekt is, is de windrichtingsverandering nagenoeg 2 x zo groot geworden; bij ZW, waar het stabiliteitseffekt het sterkst is, is de windrichtingsverandering slechts 1.4 x zo groot. Voor de andere windrichtingsgroepen ligt deze faktor tussen 1.4 en 2.

## 2.2 De variatie van $S_x$

### 2.2.1 Toepassing variantie-analyse

Bij de beschouwing van de variatie in de gemiddelde windrichtingsverandering is opgemerkt, dat de variatie in de varianties (= kwadraat van de standaardafwijking) zo gering is, dat deze voor de statistische beoordeling van  $\bar{x}$  buiten beschouwing kan blijven. Toch is variatie in de standaarddeviaties aanwezig en zijn hierin systematische effecten te onderkennen. In de figuren 7a, b en c zijn de waarden van  $S_x$  (uit de tabellen 1, 2 en 3) in beeld gebracht, op analoge wijze als voor  $\bar{x}$  is gedaan.

De beoordeling van de variatie in  $S_x$  kan weer gebeuren met behulp van variantie-analyse. Het is nl. zo, dat de steekproefgrootte  $S_x$  zelf een stochastische grootte is; deze bezit dus een zekere standaarddeviatie. De theoretische waarde van deze standaarddeviatie is  $\frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$ , zodat  $\frac{S_x}{\sqrt{2n}}$  een schatting van deze standaarddeviatie is, of wel  $\text{var } S_x = \frac{\sigma^2}{2n}$  en  $\frac{S_x^2}{2n}$  is een schatting van  $\text{var } S_x$ .

De variantie-analyse zoals die is toegepast op de variatie van  $\bar{x}$  gaat ervan uit, dat per "cel" van n waarnemingen  $x$  het gemiddelde  $\bar{x}$  en de variantie  $S_x^2$  gegeven is. Als de variatie van  $S_x$  wordt onderzocht met variantie-analyse, moet  $S_x$  worden opgevat als het gegeven gemiddelde van bijv. een grootte  $z$ , dus  $S_x = \bar{z}$ . Voor de variantie van  $z$  geldt dan dus:

$$\text{var } z = S_z^2 = n S_{\bar{z}}^2 = n \cdot \text{var } S_x = n \cdot \frac{S_x^2}{2n} = \frac{1}{2} S_x^2 \quad \text{en} \quad S_z = \frac{S_x}{\sqrt{2}}.$$

De afwijking van de voorwaarde van gelijke varianties voor de toepassing van de variantie-analyse is dus even groot als in het geval van  $\bar{x}$ . Het resultaat van de toepassing van de variantie-analyse op  $S_x$  is vermeld in tabel 8. In tegenstelling tot het onderzoek naar de variatie van  $\bar{x}$  is het nu niet mogelijk de interactie buiten beschouwing

Tabel 8

$\Delta_1$		NO		ZO		F <sub>5%</sub>	ZW	NW	F <sub>5%</sub>
		L+Z	H+W	L+Z	H+W				
1-6 kts	effekt								
	interactie	0.59	0.73	<u>3.12</u>	<u>5.69</u>	2.60	<u>4.19</u>	1.21	1.83
	seizoen	3.57	0.98	<u>23.43</u>	<u>4.33</u>	3.84	<u>4.37</u>	1.40	2.60
	stabiliteit	<u>40.03</u>	2.47	<u>95.12</u>	<u>21.31</u>	2.60	<u>22.76</u>	<u>14.29</u>	2.60
7-10	interactie	2.29	1.36	1.00	1.76	2.60	<u>5.24</u>	<u>6.97</u>	1.83
	seizoen	0,04	<u>6.62</u>	1.11	3.26	3.84	<u>14.12</u>	<u>18.08</u>	2.60
	stabiliteit	<u>57.74</u>	<u>31.38</u>	<u>89.40</u>	<u>38.90</u>	2.60	<u>32.39</u>	<u>7.06</u>	2.60
11-21	interactie	<u>15.42</u>	0.82	<u>9.28</u>	1.24	3.84	1.05	1.56	2.60
	seizoen	<u>30.11</u>	2.24	<u>23.67</u>	<u>29.80</u>	3.84	<u>18.22</u>	<u>57.23</u>	2.60
	stabiliteit	<u>166.87</u>	<u>95.55</u>	<u>10.47</u>	<u>27.19</u>	3.84	<u>6.93</u>	0.26	3.84
$\Delta_2$ 1-6 kts	interactie	<u>4.29</u>	0.04	1.47	<u>15.05</u>	2.60	<u>2.60</u>	0.41	1.83
	seizoen	0.53	<u>3.94</u>	<u>30.02</u>	0.57	3.84	<u>5.14</u>	3.02	2.60
	stabiliteit	<u>18.85</u>	2.57	<u>86.64</u>	<u>43.06</u>	2.60	<u>25.78</u>	<u>18.75</u>	2.60
7-10	interactie	2.59	2.35	<u>2.71</u>	1.77	2.60	<u>5.14</u>	<u>4.44</u>	1.83
	seizoen	1.59	<u>22.11</u>	0.00	<u>5.82</u>	3.84	<u>7.46</u>	<u>7.28</u>	2.60
	stabiliteit	<u>29.46</u>	<u>38.75</u>	<u>89.87</u>	<u>62.14</u>	2.60	<u>23.35</u>	<u>12.10</u>	2.60
11-21	interactie	<u>5.92</u>	0.02	1.92	0.00	3.84	<u>3.30</u>	<u>3.81</u>	2.60
	seizoen	<u>58.00</u>	0.25	<u>36.26</u>	<u>19.06</u>	3.84	<u>4.50</u>	<u>56.10</u>	2.60
	stabiliteit	<u>78.73</u>	<u>46.52</u>	<u>22.18</u>	<u>32.65</u>	3.84	<u>80.31</u>	<u>6.00</u>	3.84

te laten, althans niet als we, bij NO en ZO, alle vier seizoenen tegelijk willen beschouwen. In figuur 7 is dit duidelijk te zien. Lente en zomer gedragen zich bij NO en ZO geheel anders dan herfst en winter. Bij ZW en NW is dit echter niet zo duidelijk het geval. Er is nog wel in enkele gevallen significante interactie aanwezig, maar niet zo markant dat deze beslist niet buiten beschouwing zou kunnen blijven. Derhalve is de variantie-analyse voor NO en ZO afzonderlijk op L + Z en H + W toegepast en voor ZW en NW op alle

seizoenen tegelijk. Dit is konsekwent (zie algemeen beoordelingsstandpunt in 0.2) toegepast op alle snelheidsgroepen en voor zowel  $\Delta_1$  als  $\Delta_2$ . Tabel 8 geeft het overzicht van de resultaten. Ook nu nog is een aantal interactie-effecten significant. Op grond van het aanvaarde beoordelingsstandpunt zijn deze interactie-effecten echter buiten beschouwing gelaten. Bovendien is voor de oostelijke richtingen alleen het stabiliteitseffect in aanmerking genomen en bij westelijke richtingen seizoens- en stabiliteitseffecten. Met deze effecten zijn, analoog aan  $x$ , voor  $S_x$  nieuwe "gladgestreken" schattingen  $\tilde{S}_x$  verkregen. Zie figuur 8a,b en c.

### 2.2.2 Variatie van $S_x$ als functie van tijdsinterval resp. snelheid

Tussen de  $S_x$ -waarden voor  $\Delta_1$  en die voor  $\Delta_2$  is een zeer duidelijk verband. Dit is echter niet, analoog aan de behandeling van  $\bar{x}$ , onderzocht door regressie-rechten te berekenen, omdat bij  $S_x$  voor oostelijke richtingen de splitsing in lente-zomer en herfst-winter moest worden gemaakt en daarna alleen stabiliteitseffecten in aanmerking zijn genomen, zodat in deze gevallen slechts 4 (of bij 11-21 kts 2) parameters per geval aanwezig zijn.

Volstaan wordt met figuur 9, waarin onder a de  $\tilde{S}_x$ -waarden voor  $\Delta_2$  tegen die voor  $\Delta_1$  zijn uitgezet. De drie snelheidsgroepen zijn afzonderlijk aangegeven. Inderdaad blijkt er een vrij strak verband tussen  $\tilde{S}_{x_2}$  en  $\tilde{S}_{x_1}$  te zijn; dit is nagenoeg een evenredigheid, waarbij de indruk wordt verkregen dat er enig verschil is tussen de snelheidsgroepen. De evenredigheidsfactoren zijn nl. ongeveer als volgt: voor 1-6 kts: 1.20; 7-10 kts: 1.25; 11-21 kts: 1.30.

Nu is beoordeling van het verband tussen  $\tilde{S}_{x_2}$  en  $\tilde{S}_{x_1}$  op grond van figuur 9a niet goed mogelijk, omdat de  $S_x$ -waarden, die hier zijn uitgezet, niet geheel onderling onafhankelijk zijn. In figuur 9b is alleen het constante deel ( $\mu_{S_x}$ ) van  $\tilde{S}_x$  (de gemeenschappelijke term  $\mu$  uit de variantie-analyse theorie) uitgezet en dan blijkt, dat er ofwel een kleine afwijking van de lineariteit is, dan wel dat het verband wel lineair is, maar geen evenredigheid, bijv. lineair + constante term.

Wat de variatie van  $\tilde{S}_x$  met de snelheid betreft, is uit figuur 9b af te leiden dat, zoals te verwachten is,  $\tilde{S}_x$  met toenemende snelheid afneemt.

### 2.2.3 Samenvatting van de belangrijkste effecten in de variatie van $S_x$

$S_x$  is 's nachts kleiner dan overdag, waarbij 's nachts de stabiele situaties weer kleinere  $S_x$ -waarden geven dan de neutrale. Tussen de onstabiele en neutrale situaties overdag is geen duidelijk systematisch verschil.

Bij oostelijke windrichtingen is het dag-nacht effect in lente en zomer veel sterker dan in herfst en winter, en wel zodanig, dat er 's nachts vrijwel geen verschil tussen lente, zomer en herfst, winter meer is. Het dag-nacht effect in lente en zomer is bij oostelijke richtingen ook sterker dan bij westelijke richtingen.

Bij westelijke richtingen is een seizoenseffect aanwezig maar een duidelijk systematisch beeld omtrent het karakter van dit effect ontbreekt, behoudens het feit dat de zomer vrijwel overal de kleinste  $S_x$ -waarden oplevert.

$S_x$ -waarden zijn voor  $\Delta_2$  globaal genomen ca. 25 groter dan voor  $\Delta_1$ , terwijl  $S_x$  afneemt bij toenemende snelheid.

## 2.3 De variatie van het aantal windrichtingsveranderingen (inclusief gevallen met variabele windrichting).

### 2.3.1 Toepassing van variantie-analyse

In het voorgaande is nagegaan hoe de windrichtingsverandering van  $\Delta T$  uur zich gedraagt in afhankelijkheid van stabiliteit, seizoen en windrichtingssektor, zowel wat gemiddelde als standaarddeviatie betreft. Hierbij zijn alleen absolute veranderingen  $< 90^\circ$  beschouwd. Voor de vuistregel bij calamiteiten gaat het om de kans dat een bepaalde grootte van richtingsverandering niet wordt overschreden. Hiervoor is de kans op richtingsverandering  $> 90^\circ$  dus ook van belang.

Voor de snelle bepaling van de vuistregel zijn in het begin van het onderzoek dan ook de percentages van windsnelheidsveranderingen beneden bepaalde grenzen, t.o.v. het totale aantal waarnemingen in de betrokken groep, bepaald.

In deze paragraaf zullen de percentages (q) windrichtingsveranderingen  $> 90^\circ$ , inclusief de gevallen waarbij eerste dan wel tweede uurvak of beide windrichtingen variabel zijn, nader worden onderzocht.



De numerieke waarden van  $q$  zijn in de tabellen 1, 2 en 3 vermeld; deze zijn in de figuren 10a, b en c op de bekende wijze weergegeven.

Ook voor deze  $q$ -waarden is geprobeerd een zekere mate van vereffening uit te voeren, analoog aan hetgeen bij  $\bar{x}$  en  $S_x$  is gedaan. In principe kan ook op de  $q$ -waarden de variantie-analyse worden toegepast. De standaarddeviatie voor een kansschatting  $q$  is, op grond van de binomiale verdeling,  $\sqrt{\frac{q(1-q)}{n}}$ . Voor voldoende grote  $n$ -waarden kan de  $q$ -waarde worden opgevat als het gemiddelde van een normaal verdeelde grootheid  $y$  met standaarddeviatie  $S_y = \sqrt{q(1-q)}$ , immers dan is  $\bar{y} = q$  en  $S_{\bar{y}}^2 = \frac{1}{n} \cdot S_y^2 = \frac{q(1-q)}{n}$ .

Wel is het zo, dat, althans voor de snelheidsgroepen 7-10 en 11-21 kts, de  $q$ -waarden zeer klein zijn, soms zelfs nul, en dan is de benadering van de verdeling van  $q$  door een normale verdeling niet meer aanvaardbaar, zodat het dan niet meer zinvol is met een variantie-analyse de realiteit van de diverse effecten te toetsen. Er is in feite mee volstaan het variantie-analyse programma toe te passen om de vereffening te bereiken, waarbij voor de uniformiteit in alle gevallen en aansluitend bij hetgeen met  $S_x$  is gedaan, voor NO en ZO een splitsing in lente-zomer en herfst-winter is gemaakt, waarbinnen alleen een stabiliteitseffekt in beschouwing is genomen. Figuur 11a, b en c geeft het resultaat van de vereffening.

### 2.3.2 Variatie van $q$ als functie van tijdsinterval en snelheid

Uiteraard zijn de  $q$ -waarden voor  $\Delta_2$  groter dan voor  $\Delta_1$ . In figuur 12 zijn de parameterwaarden ( $\mu$ ,  $\alpha$  of  $\beta$ ) voor de drie snelheidsgroepen tegen elkaar uitgezet. De relatie is nagenoeg een evenredigheid, hoewel er een kleine, juist significante afwijking is. De best aangepaste rechte is  $p_1 = 1,323 p_2 + 0,005$  - als  $p_1$  de parameterwaarde voor  $\Delta_2$  en  $p_2$  die voor  $\Delta_1$  voorstelt. Aangezien de puntenwolken voor de snelheidsgroepen 7-10 kts en 11-21 kts zonder duidelijke afwijkingen binnen die van 1-6 kts vallen, lijkt er geen reden te zijn de relatie van  $q$  met het tijdsinterval voor de verschillende snelheidsgroepen afzonderlijk te beschouwen.

Ook binnen de snelheidsgroepen zijn er geen duidelijke aanwijzingen voor verschil in de relatie tussen  $q$  en tijdsinterval voor de diverse seizoens-, richtings- of stabiliteitscategorieën; dit is niet nader in figuur 12 aangegeven.

Voor de relatie van  $q$  met de snelheid wordt volstaan met, op grond van figuur 11, vast te stellen dat  $q$  afneemt bij toenemende snelheid van 10 à 20% bij 1-6 kts via 1-5% bij 7-10 kts tot < 1% bij 11-21 kts.

### 2.3.3 Samenvatting van de belangrijkste effecten in de variatie van $q$

De grootste  $q$ -waarden komen voor bij NW, vooral in de herfst en in het bijzonder bij de stabiele situaties.

Bij oostelijke richtingen is er een duidelijk stabiliteitseffect, in lente en zomer zodanig, dat de  $q$ -waarde overdag groter is dan 's nachts; in herfst en winter is het effect, althans bij NO, andersom. Voor de overdagwaarden geldt dat deze in lente en zomer groter zijn dan in herfst en winter; bij de nachtwaarden is er geen verschil tussen lente en zomer enerzijds en herfst en winter anderzijds.

De  $q$ -waarden zijn voor  $\Delta_2$  ca.  $4/3$  x zo groot als voor  $\Delta_1$ , terwijl  $q$  afneemt met de snelheid van 10 à 20% bij 1-6 kts tot bijna nul bij 11-21 kts.

### 3. De kans op $|\Delta| \geq \varphi$

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, was het praktische doel van het onderzoek in eerste instantie het verkrijgen van een vuistregel om snel te kunnen aangeven binnen welke hoek in het komende uur de windrichting zal kunnen variëren. Voor dit doel is begonnen met rechtstreeks grafisch uit de beschikbare Schiphol-gegevens een schatting te maken van de hoek  $\varphi$  waarbinnen met 80% (resp. 90%) kans de windrichting zal variëren (zie W.R. 74-12). Hoewel 80% eigenlijk een te geringe "zekerheid" is, bleek bij de eerste beschouwing van het materiaal reeds, dat als een grotere zekerheid wordt geëist, althans bij zwakke wind, de hoeken  $\varphi$ , die worden verkregen, dermate groot zijn dat er in de praktijk niet meer mee te werken is.

De waarde van  $\varphi$  is voor bovengenoemde vuistregel verkregen uit grafieken van de frekwentieverdeling van  $|\Delta|$ .

Nu in hoofdstuk 2 "gladgestreken" waarden zijn gevonden voor  $\bar{x}$ ,  $S_x$  en  $q$ , is het mogelijk hiermee waarden van  $\varphi$  te berekenen. Dit is uitgevoerd voor diverse groeperingen en ten slotte ook voor dezelfde

indeling als voor de vuistregel is aangehouden, nl. lente-zomer overdag enerzijds en lente-zomer 's nachts + herfst-winter anderzijds, zowel voor  $\Delta_1$  als  $\Delta_2$ .

De indeling voor de vuistregel is gebaseerd op de gegevens in de figuren 6a en 6b van W.R. 74-12, met bij voorkeur niet meer dan twee groepen om de vuistregel zo eenvoudig mogelijk te houden. Uit bovengenoemde gegevens zijn, door (niet gewogen) middelen,  $\varphi$ -waarden bepaald, die in tabel 9 zijn vermeld. Hierbij zijn dus lente en zomer

Tabel 9

	oost			west			totaal		
	1-6	7-10	11-21	1-6	7-10	11-21	1-6	7-10	11-21
$\Delta_1$									
L+Z d	50	25	15½	52	23	15	51	24	15
H+W d	30	17	12	48	22½	14½	39	20	13
L+Z n	31	16	12	46	19½	13	38½	18	12½
H+W n	30	14	10½	68	22½	14½	49	18	12½
							42½	19	13
$\Delta_2$									
L+Z d	74	31	22	88	34	20½	81	32½	21
H+W d	41	23	15	89	32	20	65	27½	17½
L+Z n	43	22	18	74	26	18	58½	24	18
H+W n	44	18	14	92	30	20	85	24	17½
							69	25	17½

resp. herfst en winter samengenomen evenals, in eerste instantie, NO en ZO, resp. NW en ZW. De uiteindelijke indeling in enerzijds lente-zomer overdag en anderzijds de overige drie groepen tezamen is, zeker wat de oostelijke richtingen betreft, gemotiveerd, iets minder duidelijk voor de westelijke richtingen. Het tezamen nemen van oost en west is voor lente+zomer overdag zonder meer gerechtvaardigd; voor de overige drie groepen is dit minder evident, maar uit praktische overwegingen wel te accepteren. In het derde gedeelte van de tabel zijn de gemiddelde waarden van  $\varphi$ , ongeacht de richting, vermeld, waarbij tevens  $\varphi$ , gemiddeld over de drie groepen H+W d, L+Z n en H+W n, is genoteerd. Deze laatste  $\varphi$ -waarden zijn de basis voor de grafieken figuur 2 en figuur 3 in W.R. 74-12.<sup>1)</sup>

1) Er wordt nogmaals aan herinnerd dat de  $\varphi$  in dit rapport overeenkomt met  $\frac{1}{2} \alpha$  in W.R. 74-12.

Uitgaande van de "gladgestreken" waarden  $\bar{x}$ ,  $\bar{S}_x$  en  $\bar{q}$  is de berekening voor  $\phi_{80}$  voor de indeling in vier groepen van tabel 9, ongeacht de windrichting, uitgevoerd. Het resultaat is te vinden in tabel 10.

Tabel 10

$\Delta_1$	1-6 kts	7-10 kts	11-21 kts
L+Z d	44½	23½	16½
H+W d	35	21	15½
L+Z n	34½	19½	15
H+W n	33½	18½	14½
	} 34	} 19½	} 15

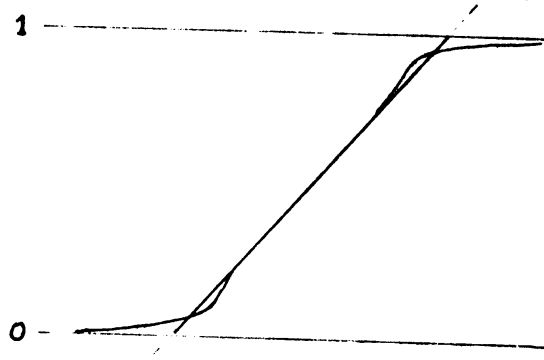
$\Delta_2$	1-6 kts	7-10 kts	11-21 kts
L+Z d	90	31½	21
H+W d	52	28	19
L+Z n	51	25½	20
H+W n	47½	23½	18½
	} 49½	} 25	} 19

Bij vergelijking met de rechtstreeks grafisch bepaalde waarden volgens tabel 9 blijkt, dat voor de snelheidsgroepen 7-10 kts en 11-21 kts de  $\phi$ -waarden nagenoeg gelijk zijn aan elkaar.

Voor de 1-6 kts groep zijn er vrij grote verschillen. Daarbij is het zo, dat voor  $\Delta_1$  de via gladgestreken parameters verkregen waarden vrij veel kleiner zijn dan de rechtstreeks berekende waarden behoudens in het geval  $\Delta_2$  lente-zomer overdag, waardoor met de gladgestreken parameters een waarde  $> 90$  wordt verkregen. Eigenlijk is het zo, dat in dit geval geen  $\phi$  is te bepalen. Dit laatste hangt samen met het feit dat in vrij veel gevallen  $q > 20\%$  is. Dit komt ook wel voor bij enkele andere deelgroepen. Bij  $\Delta_1$  L+Z d overweegt echter onder de acht deelgroepen het aantal deelgroepen met  $q > 20\%$  zodanig, dat voor de groep in haar geheel ook  $q > 20\%$  geldt, zodat het 80%-punt niet is te bepalen.

Verder wordt het verschil tussen rechtstreeks en via gladgestreken parameters berekende  $\phi$ -waarden veroorzaakt door de

onvolmaaktheid van het gekozen model: de aanpassing met de normale verdeling aan  $\sin \Delta$ , waarbij is afgeknot bij  $\Delta = \pm 90$  en dus in  $\Delta = \pm 1$ . Voor de groep 1-6 kts is de spreiding doorgaans vrij groot en zijn de kanswaarden van  $\Delta$ 's dicht bij  $90^\circ$  eveneens tamelijk groot. In deze gevallen is de aanpassing van de afgeknotte verdeling van  $x = \sin \Delta$  waarden met een normale verdeling niet zo goed als wenselijk. Hoewel, zoals in de figuren 2a en 2b is te zien, deze aanpassing soms zeer redelijk kan zijn, blijkt toch in een aantal gevallen een systematisch verschil aanwezig, dat bij overgang naar absolute



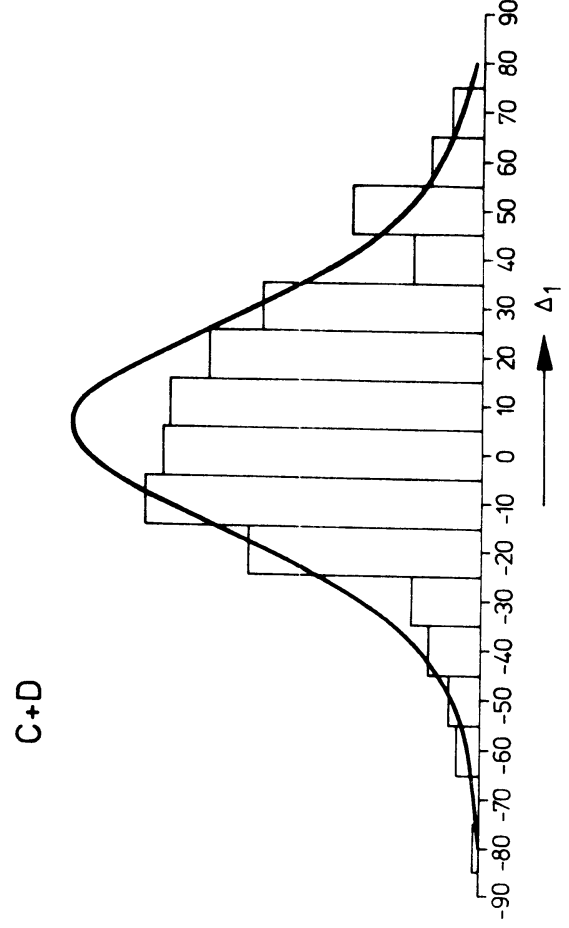
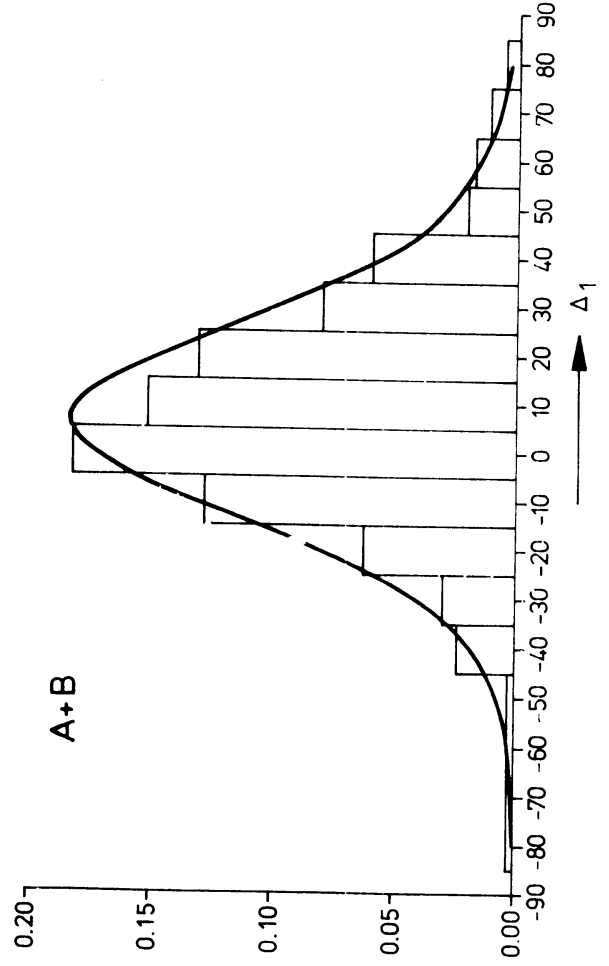
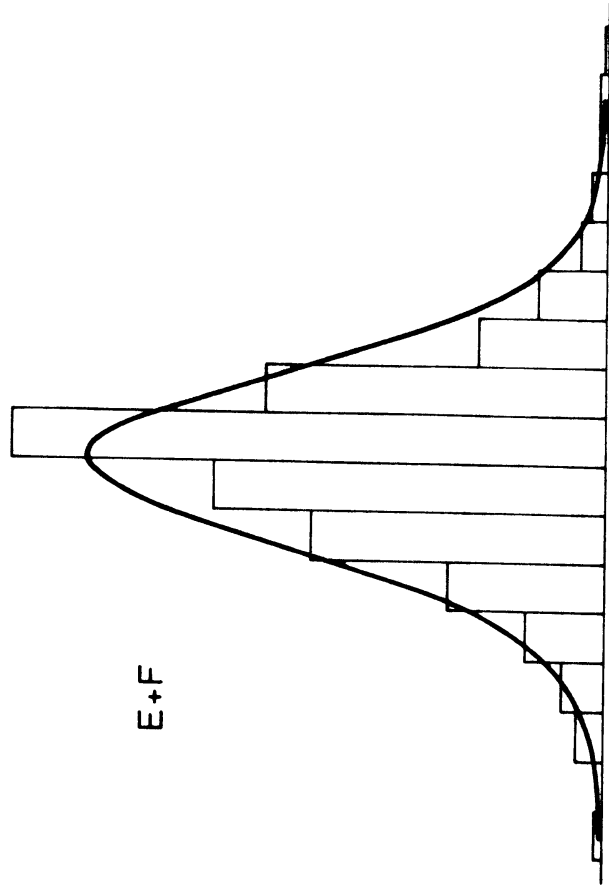
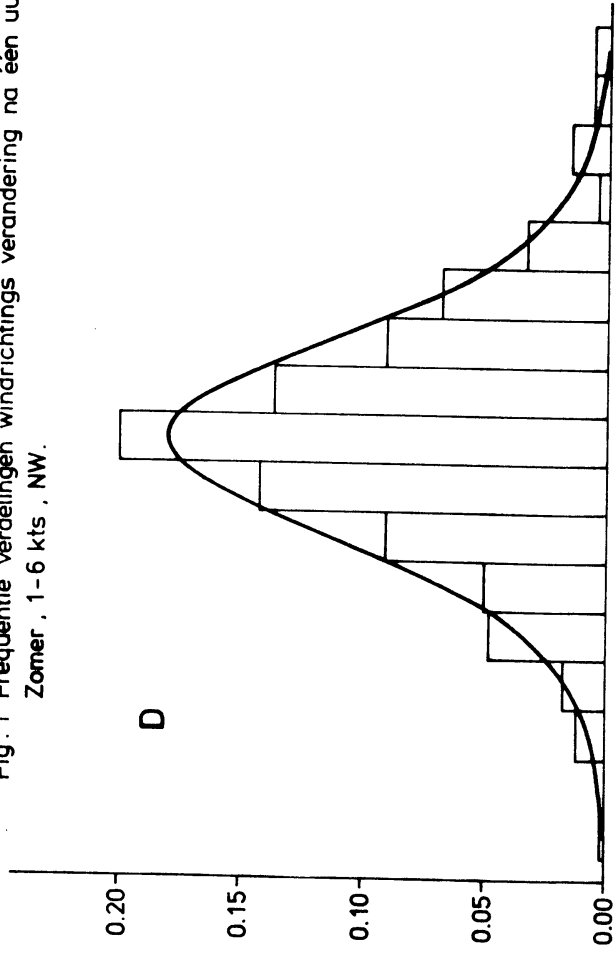
waarden tot het geconstateerde verschil voert. In feite is het nl. zo, dat de numerieke verdeling van  $x$  veelal een vorm heeft, die verloopt als de getrokken lijn in bijgaande schets, terwijl de aangepaste normale verdeling volgens de gestippelde rechte verloopt.

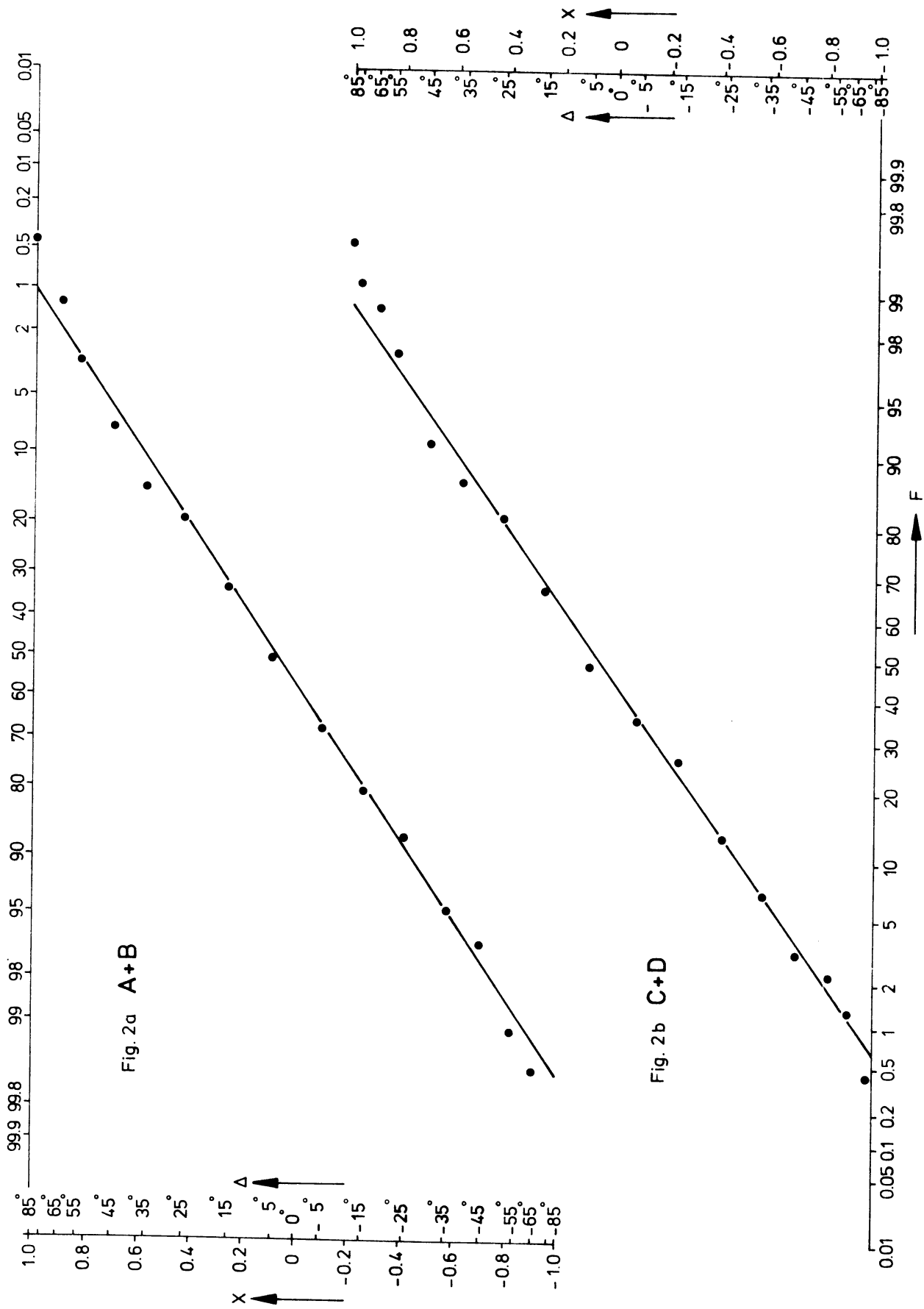
Nu is de aanpassing met de normale verdeling ingevoerd om na te gaan in hoeverre er bepaalde effecten ten gevolge van seizoen, stabiliteit of windrichting aanwezig zijn, niet om een schatting te maken voor de vuistregel. Hiervoor kan ten slotte beter van de rechtstreeks berekende waarden gebruik worden gemaakt.

Literatuur

- K.V. Mardia : Statistics of Directional Data.  
Acad. Press. 1972.
- H. Scheffé : The Analysis of Variance.  
John Wiley, 1959.
- W.J. Dixon and F.J. Massey : Introduction to statistical Analysis.  
Mc Graw-Hill, 1957.
- H. de Jonge : Inleiding tot de Medische Statistiek (dl. II).  
Inst. voor Preventieve Geneeskunde, Leiden, 1964.
- W.N. Lablans en P.J. Rijkooft : De betekenis van de veranderlijkheid  
van de windrichting voor schattingen van de ligging  
van het besmette gebied na ongevallen met schadelijke  
stoffen.  
KNMI W.R. 74-12.
- P.J. Rijkooft : Een algemeen lineair statistisch model voor de  
bepaling van een aantal relaties tussen grootheden.  
KNMI W.R. 75-1.
- F. Pasquill : Atmospheric Diffusion.  
Van Nostrand, Londen, 1962.

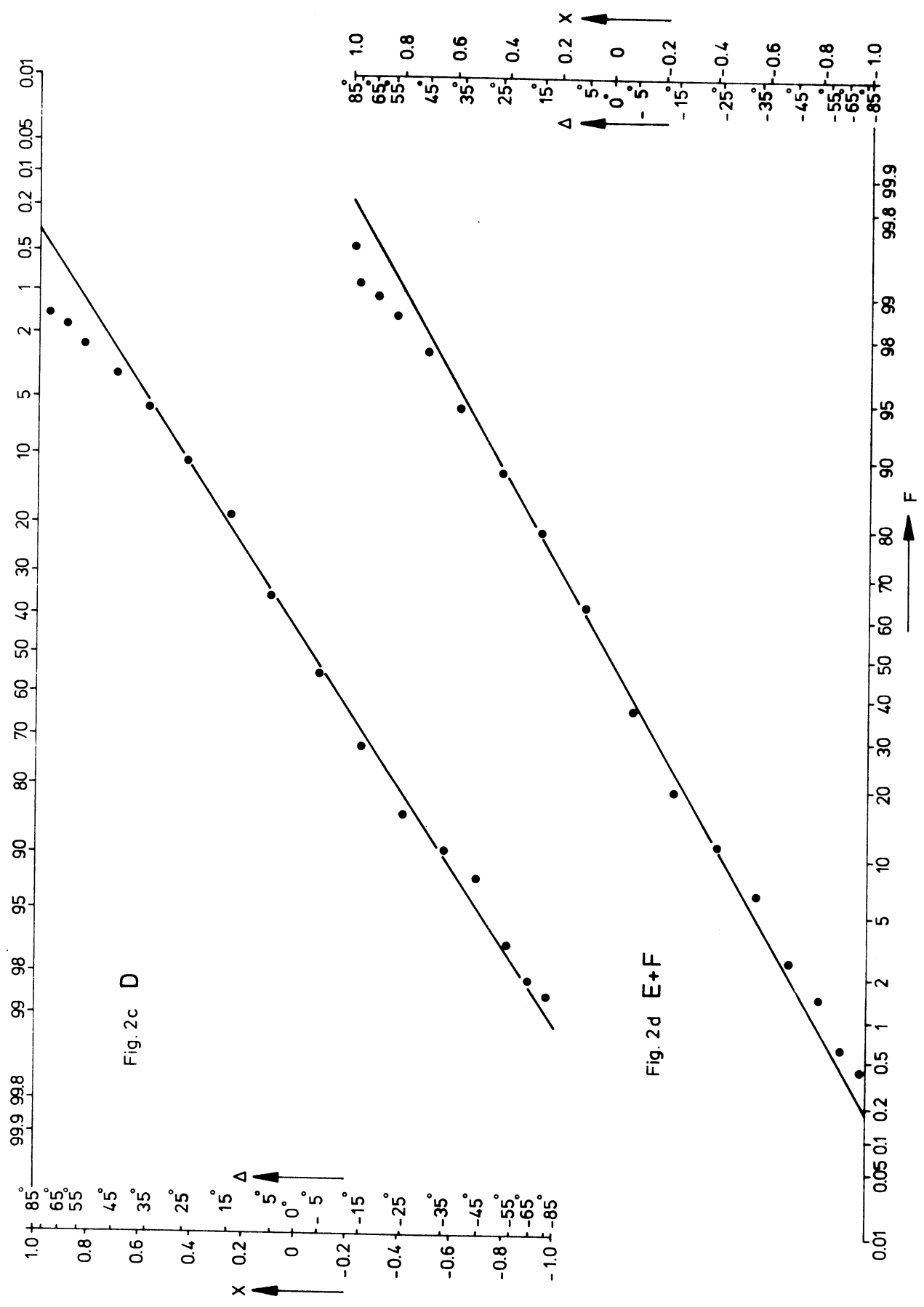
Fig: 1 Frequentie verdelingen windrichtings verandering na één uur ( $\Delta_1$ )  
 Zomer, 1-6 kts, NW.





Cumulative verdeling van het windrichtingsverschil na één uur  
 Zomer , 1-6 kts , NW.





Cumulatieve verdeling van het windrichtingsverschil na één uur  
 Zomer , 1-6 kts , NW.

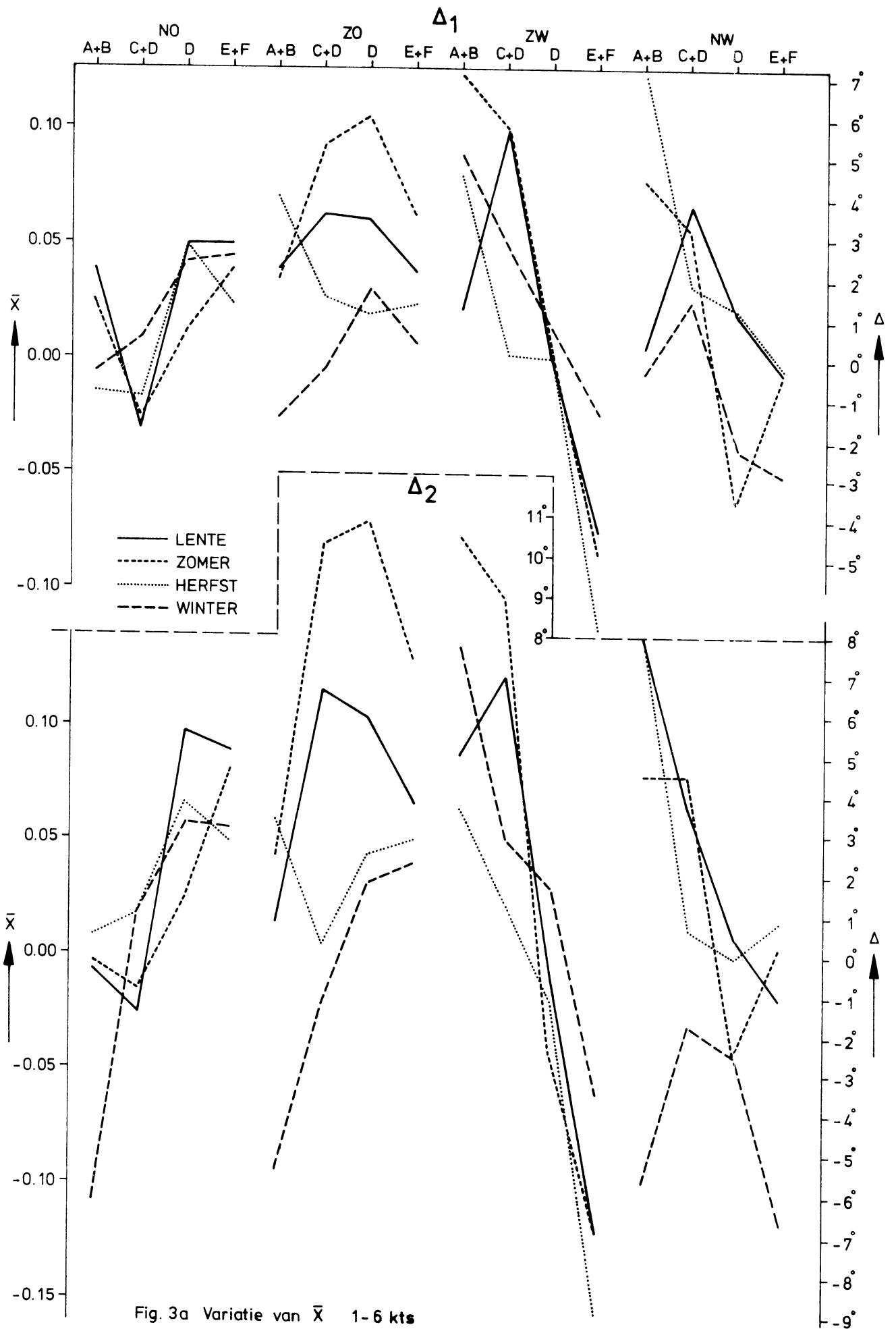


Fig. 3a Variatie van  $\bar{X}$  1-6 kts

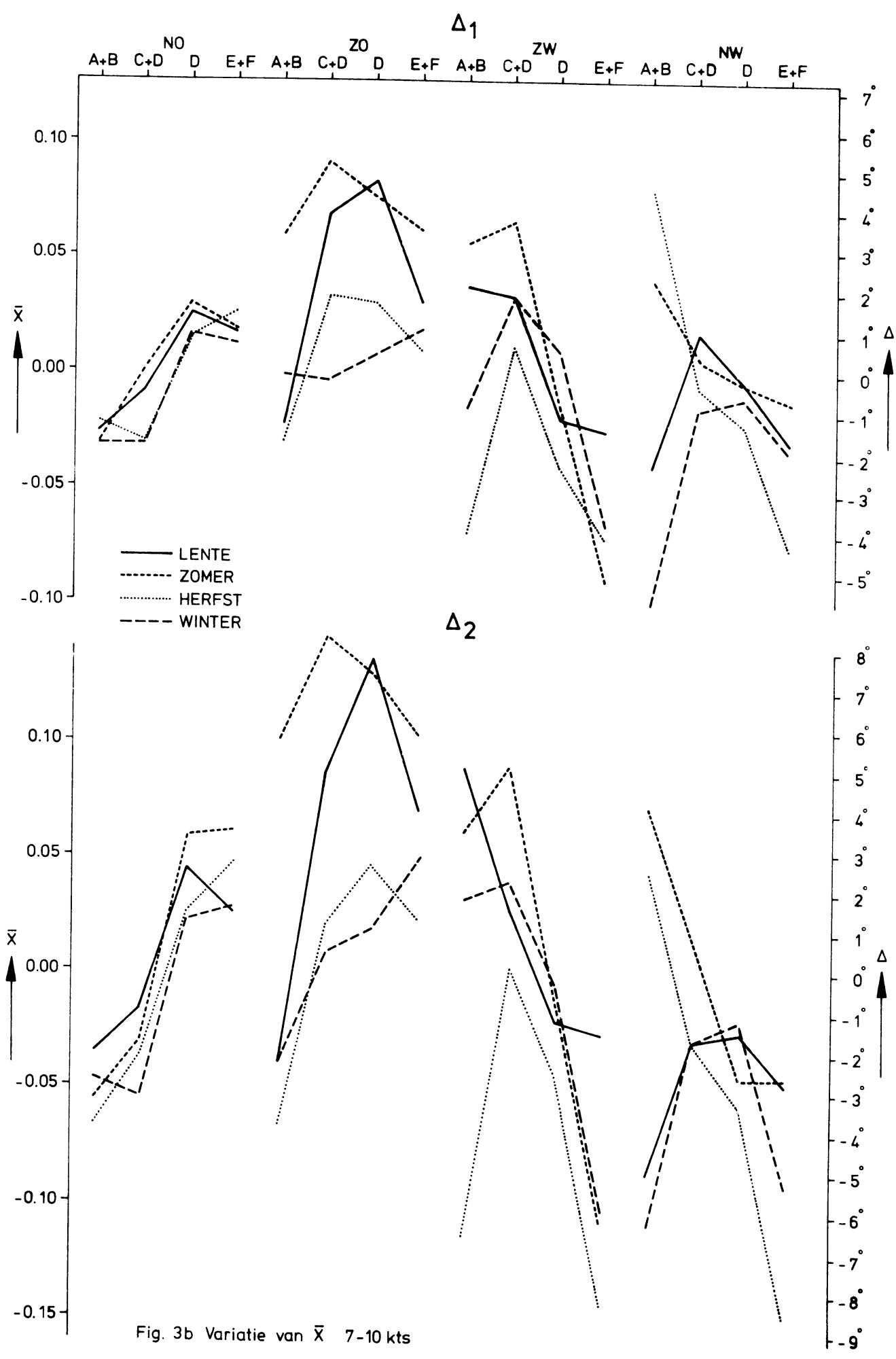


Fig. 3b Variatie van  $\bar{x}$  7-10 kts

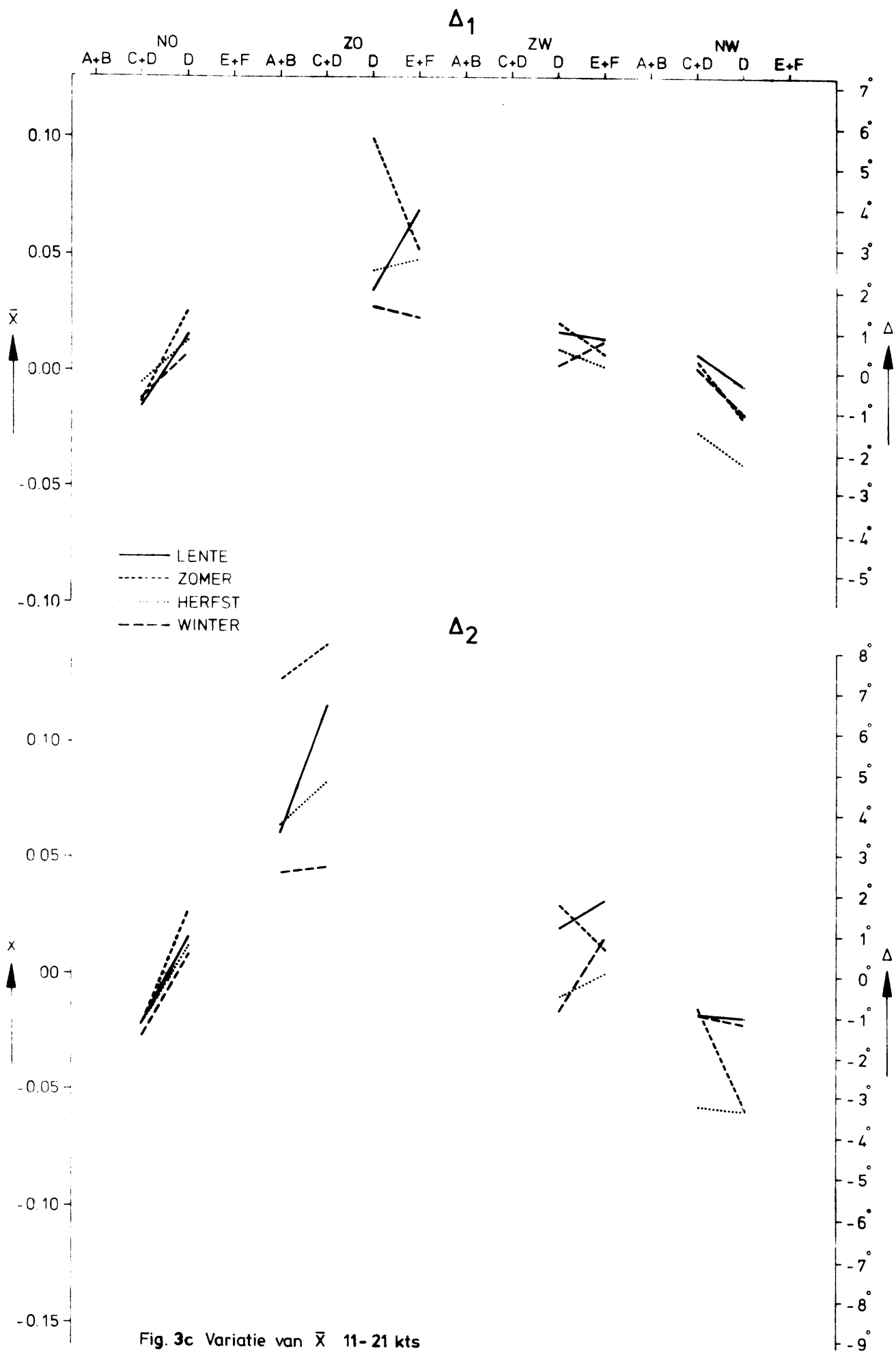


Fig. 3c Variatie van  $\bar{x}$  11-21 kts

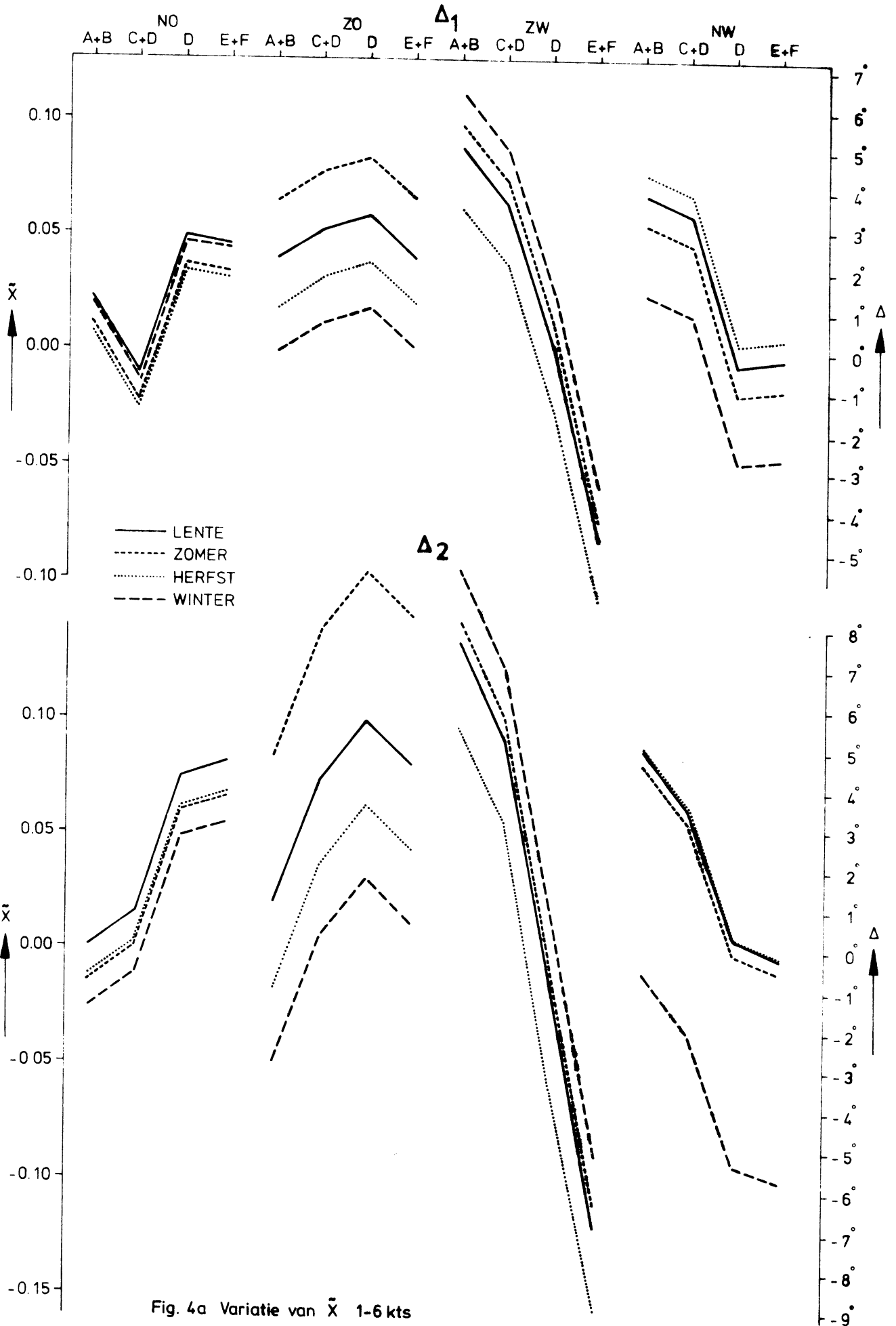


Fig. 4a Variatie van  $\bar{X}$  1-6 kts

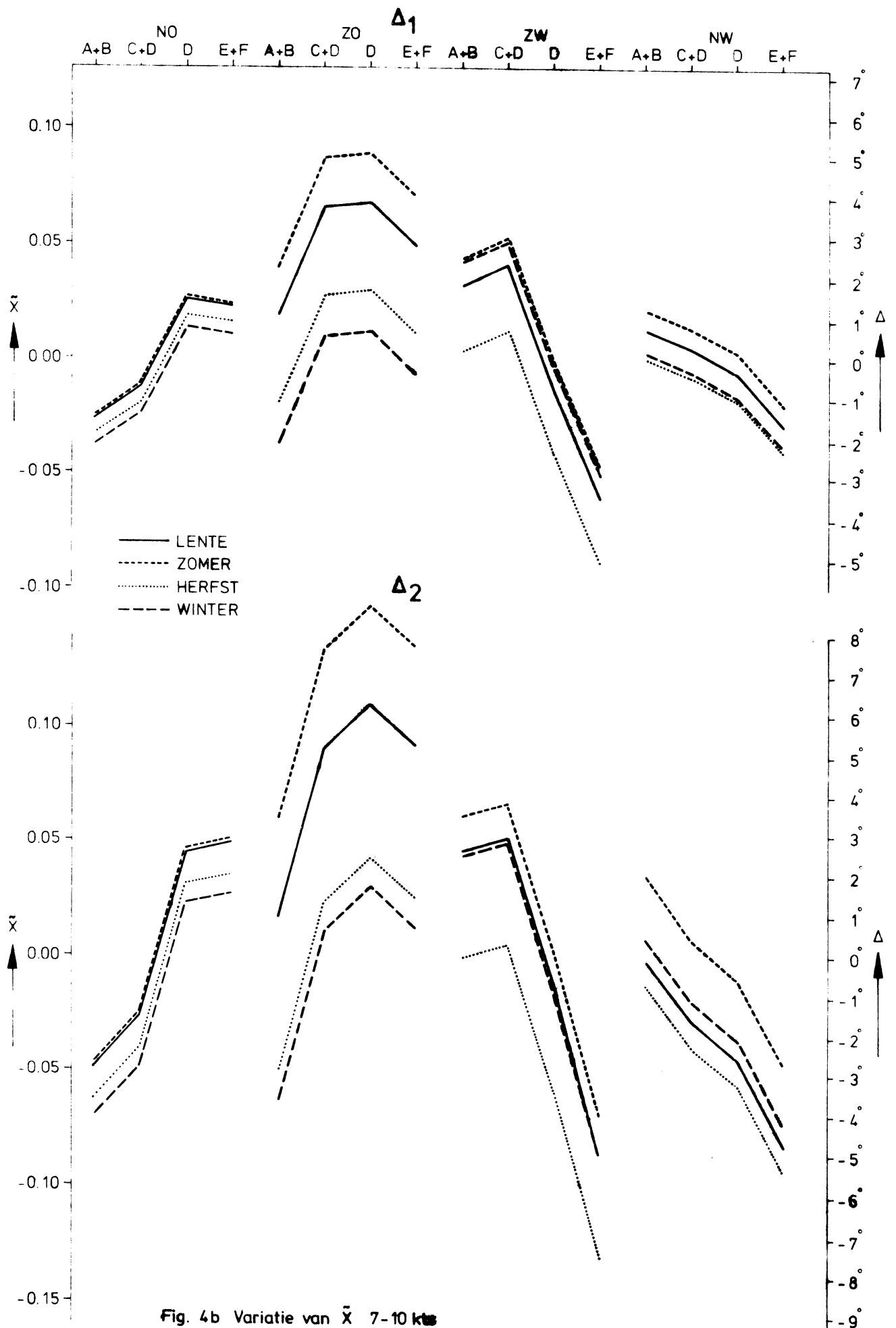


Fig. 4b Variatie van  $\bar{X}$  7-10 kts

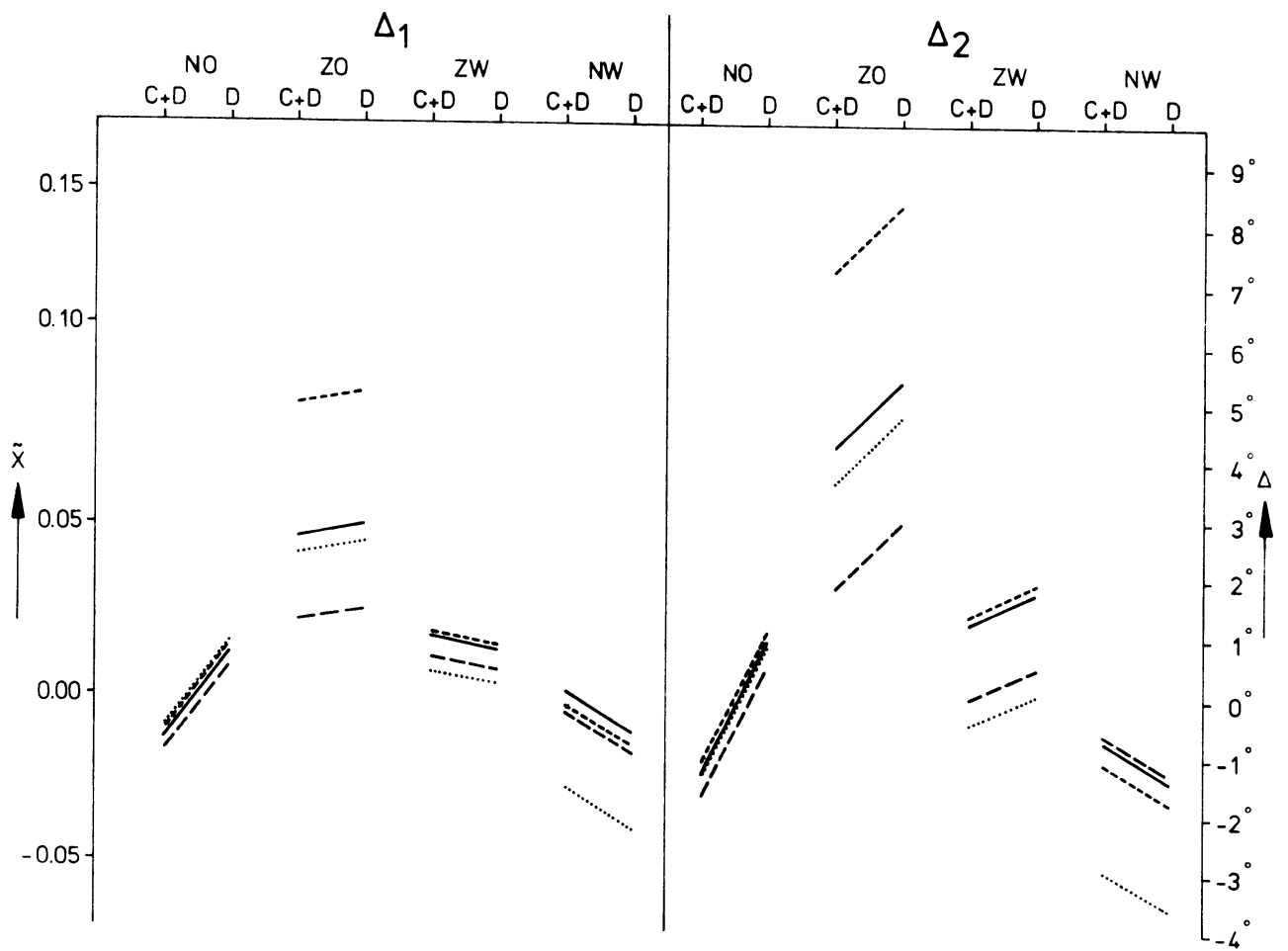


Fig. 4c Variatie van  $\tilde{X}$  11-21 kts

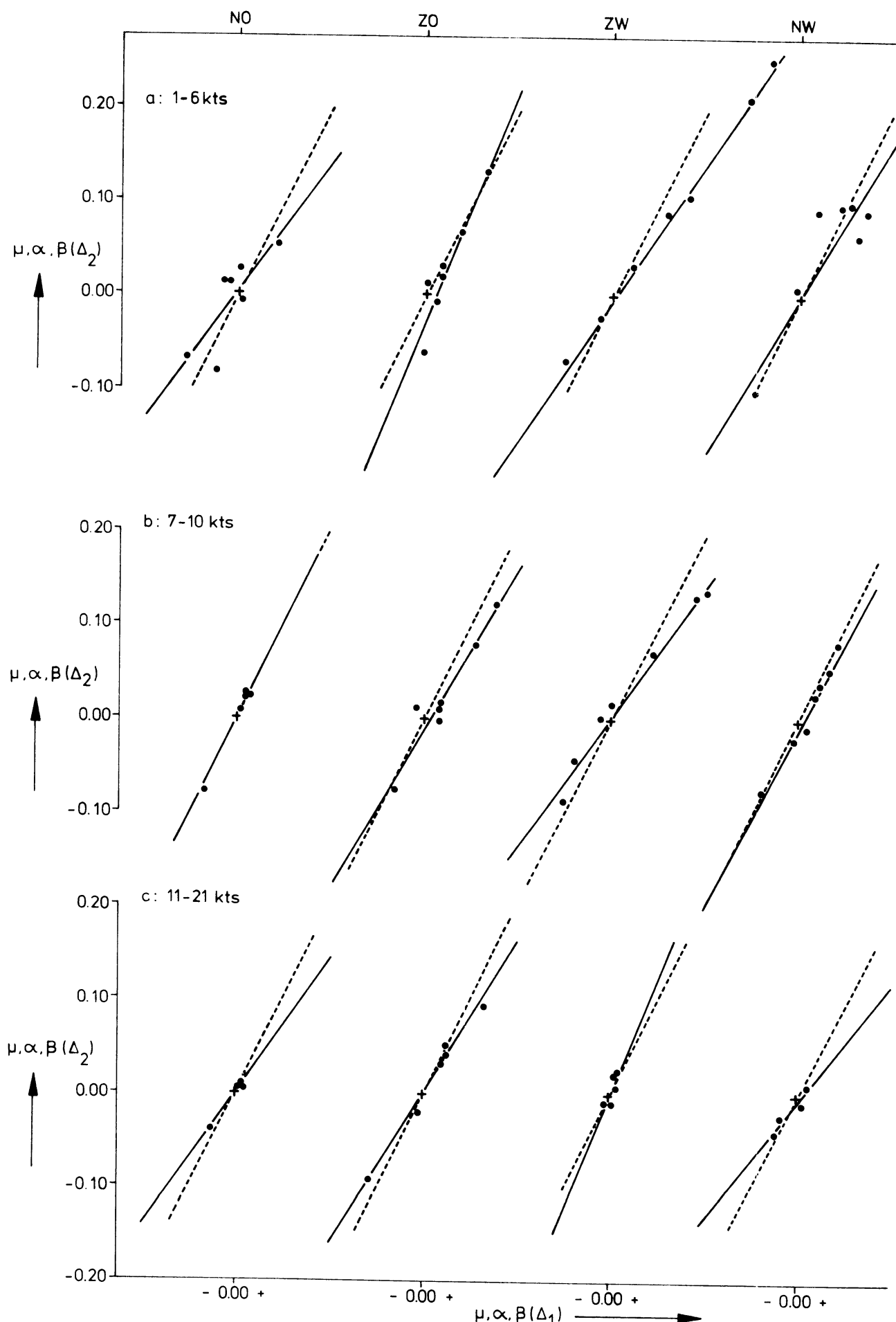


Fig. 5 Verband tussen de parameters  $\mu, \alpha, \beta$  van  $\bar{X}$  voor  $\Delta_2$  en  $\Delta_1$   
 Zie voor legenda fig. 6



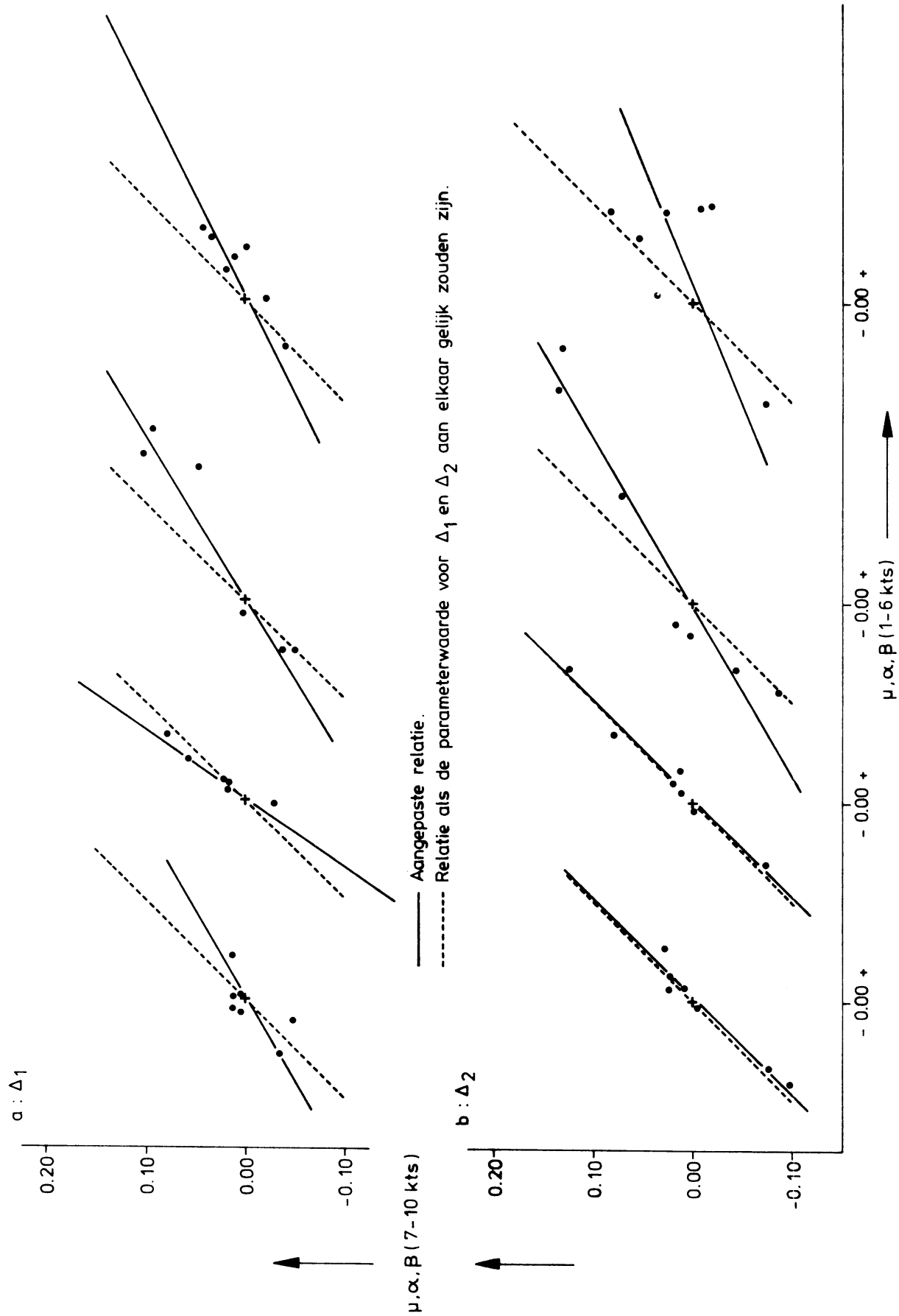


Fig. 6 Verband tussen de parameters  $\mu, \alpha, \beta$  van  $\bar{X}$  voor 7-10 kts en 1-6 kts

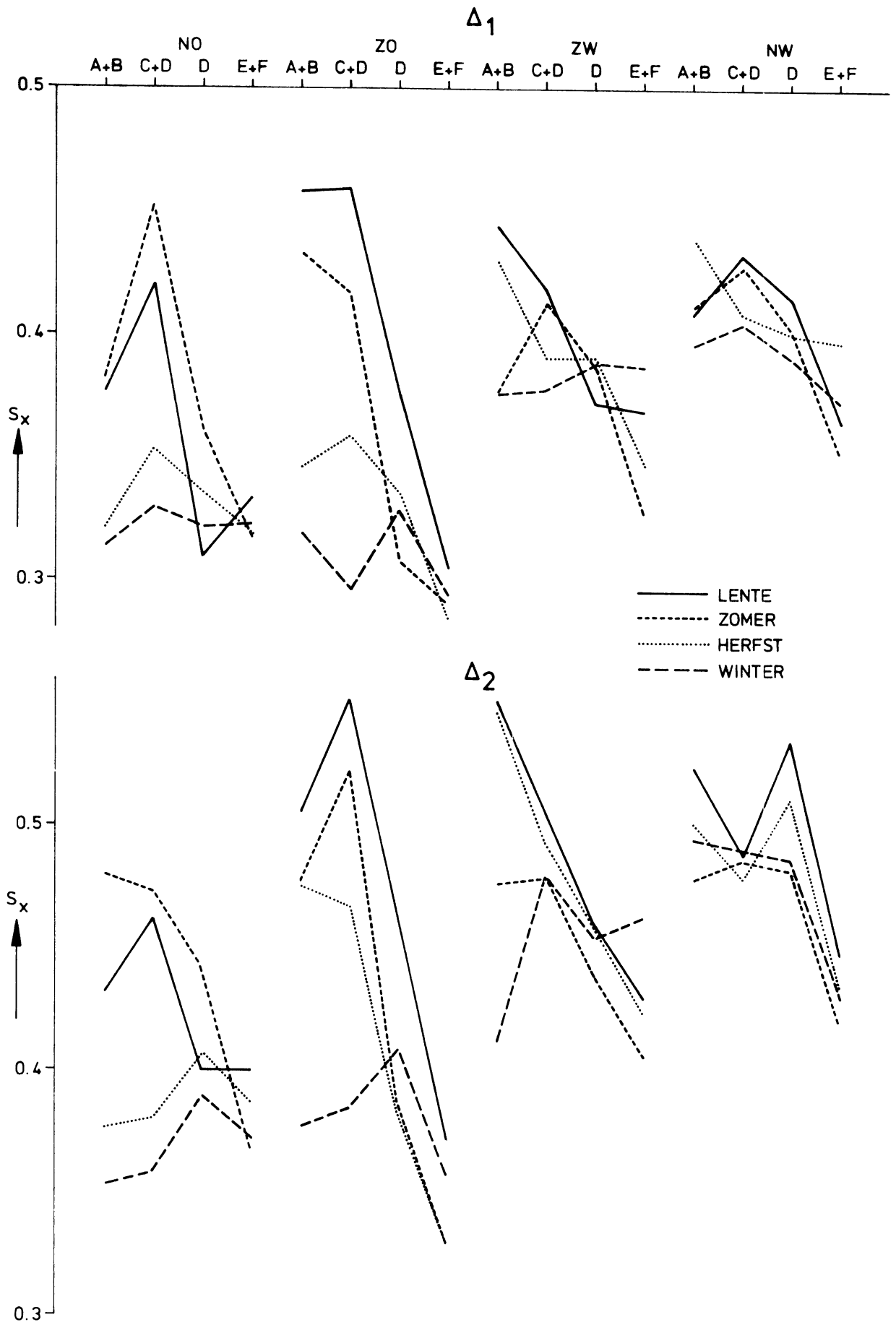


Fig. 7a Variatie van  $S_x$  1-6 kts

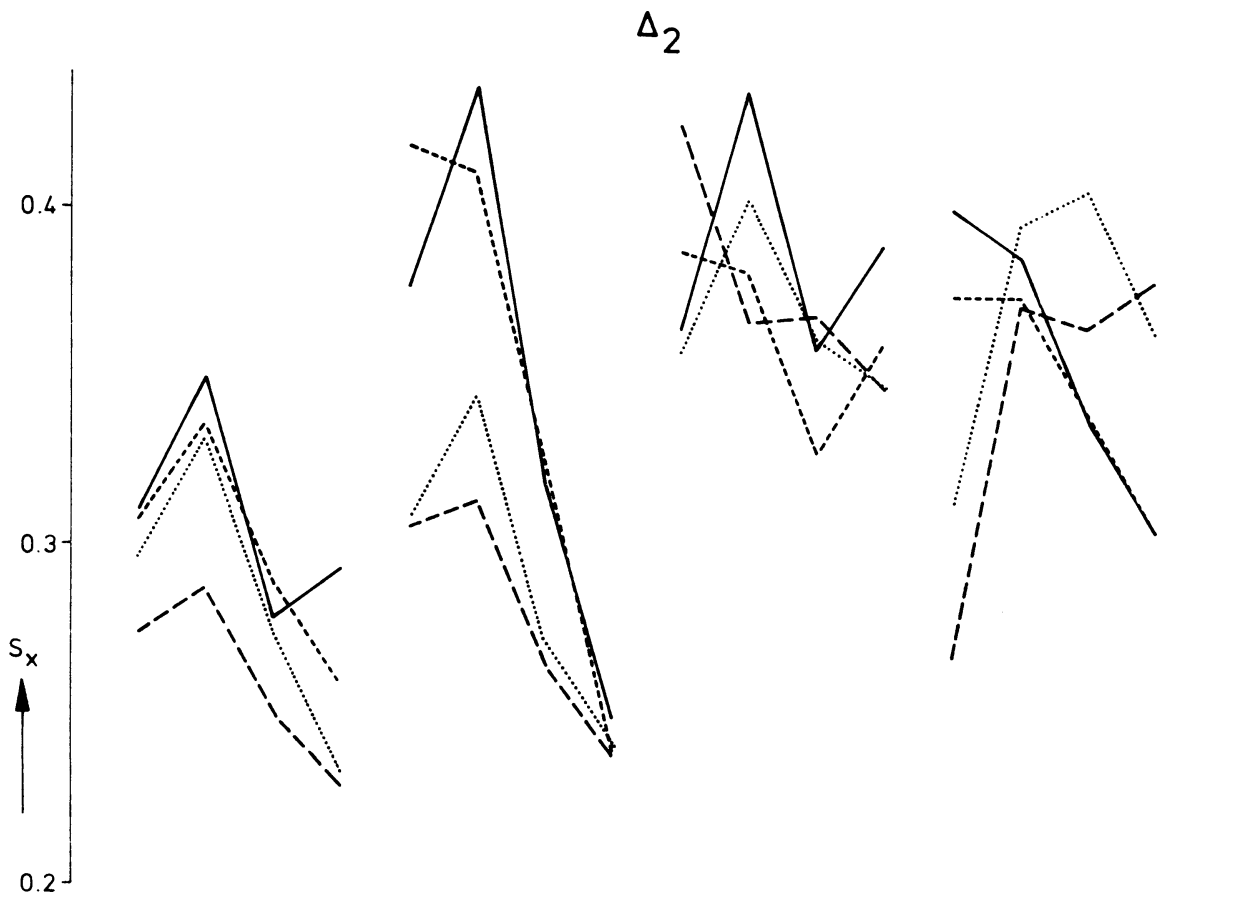
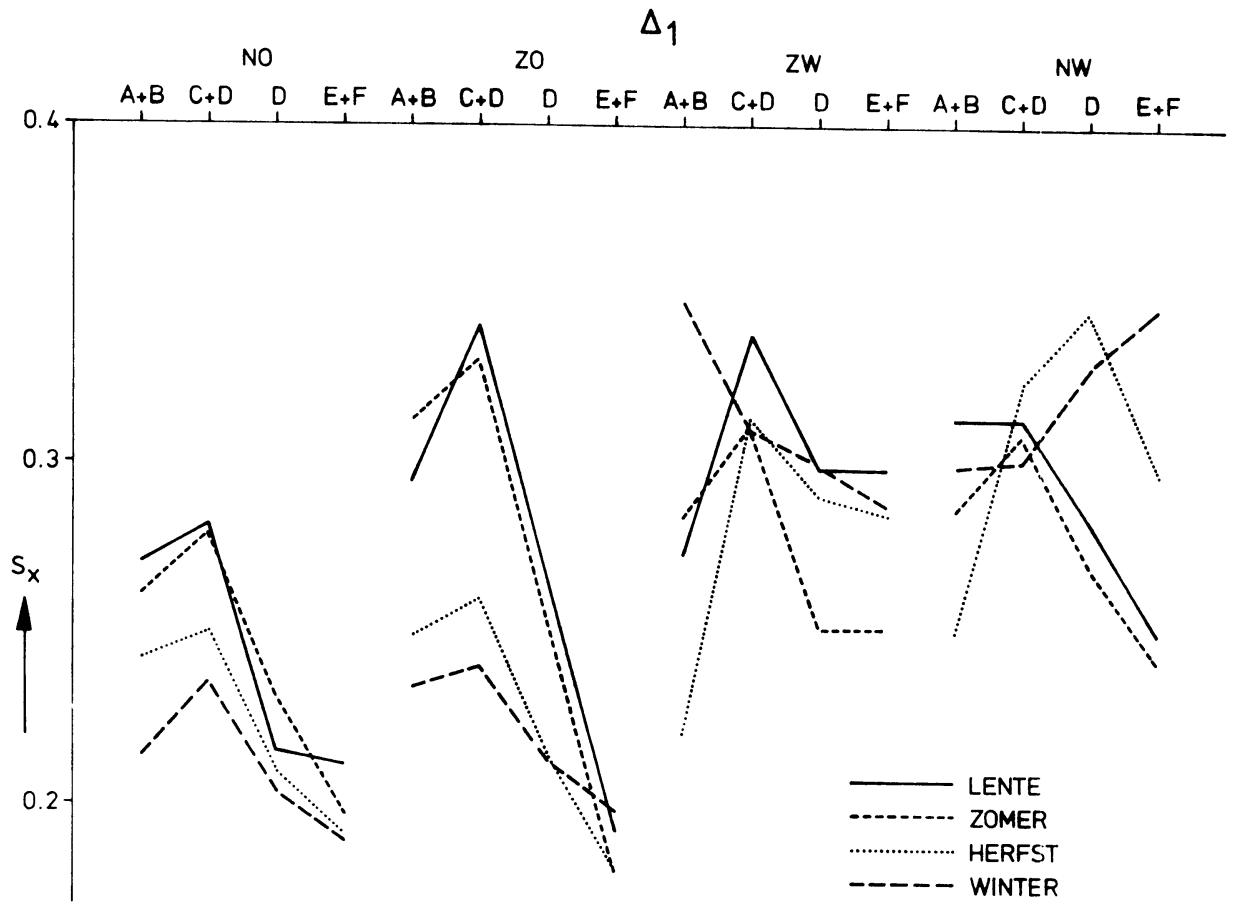


Fig. 7b Variatie van  $S_x$  7-10 kts

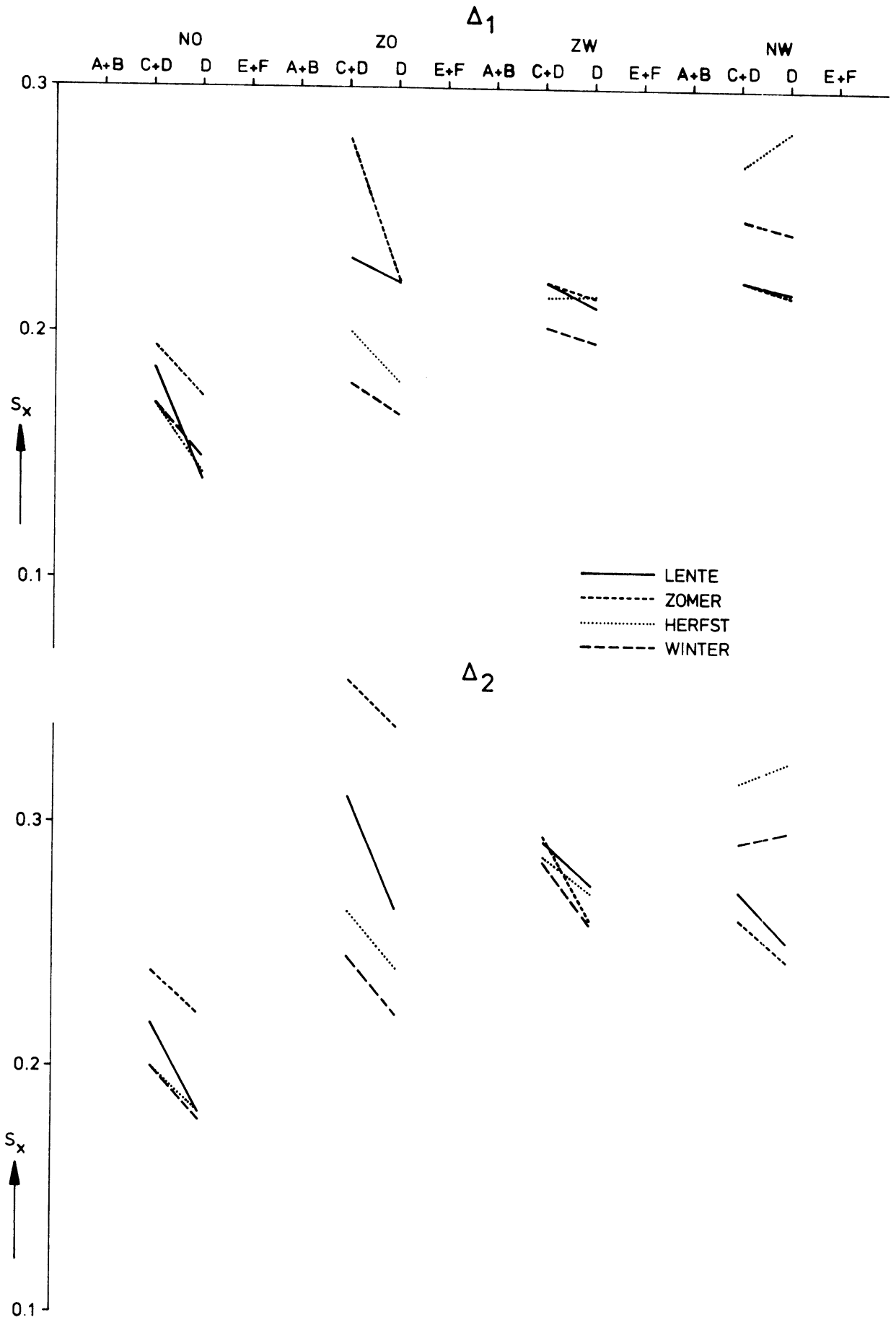
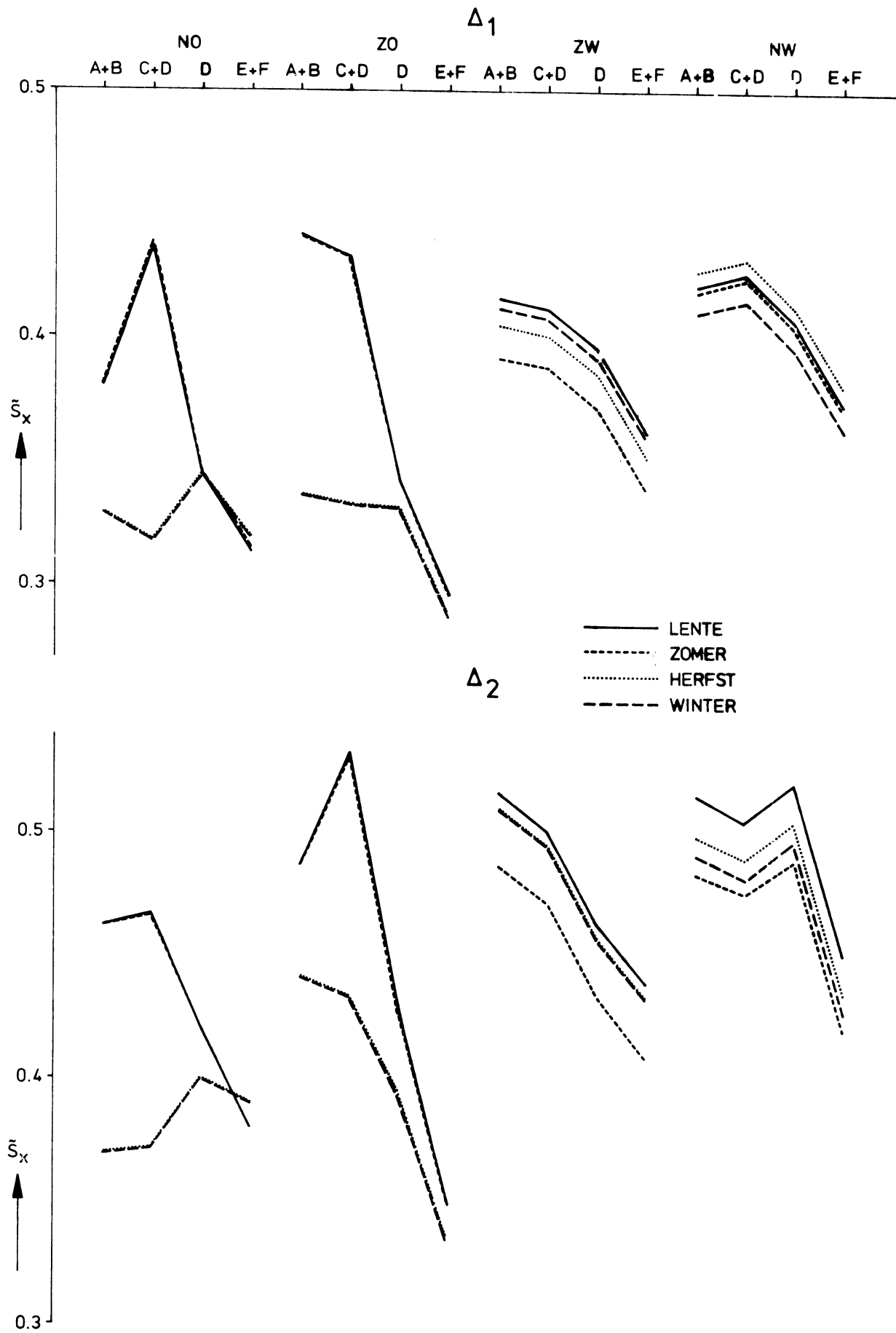


Fig. 7c Variatie van  $S_x$  11-21 kts



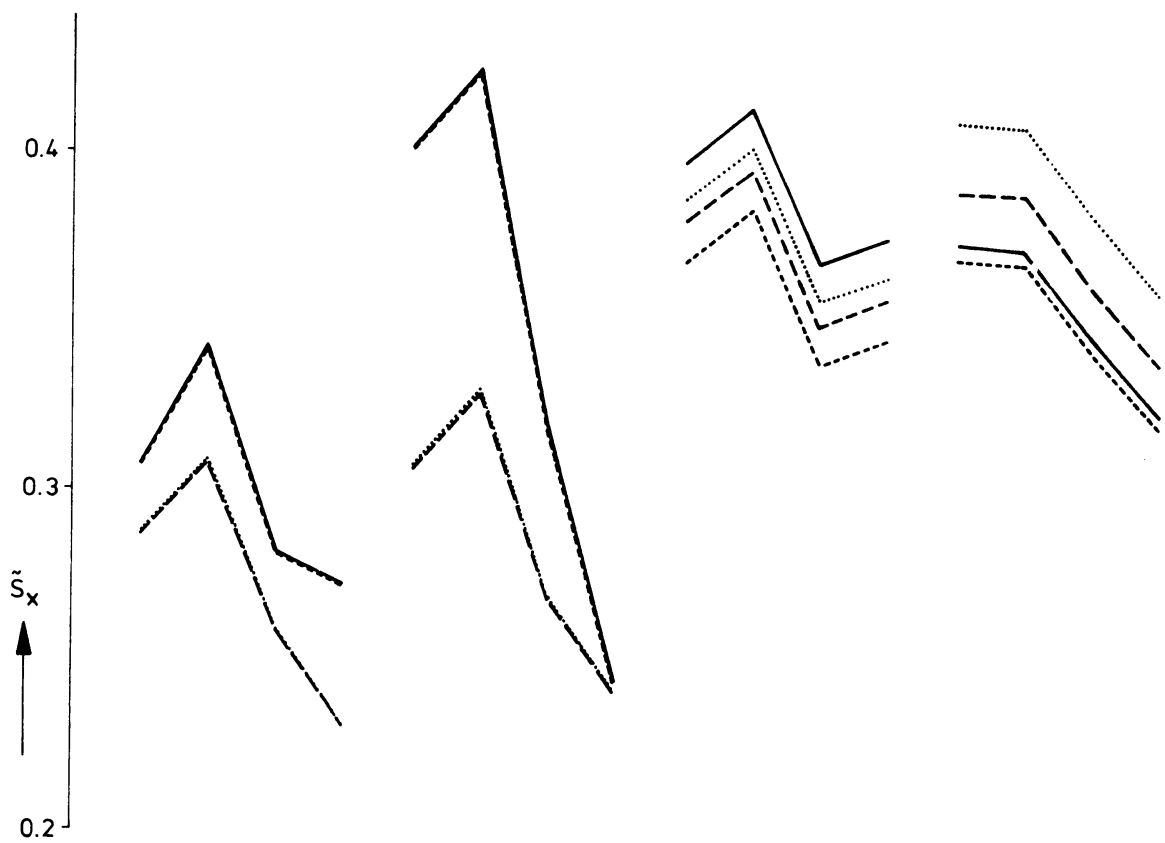
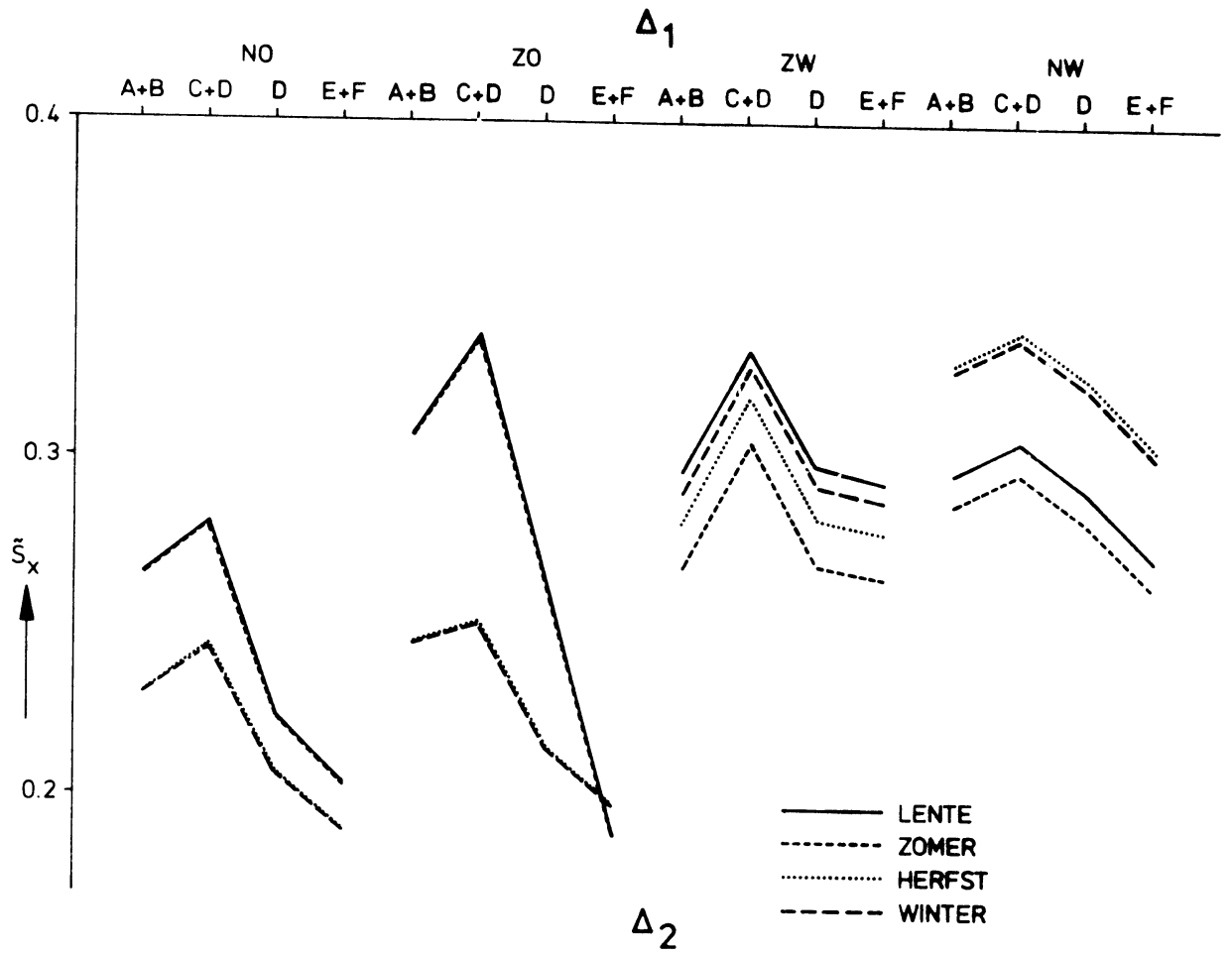
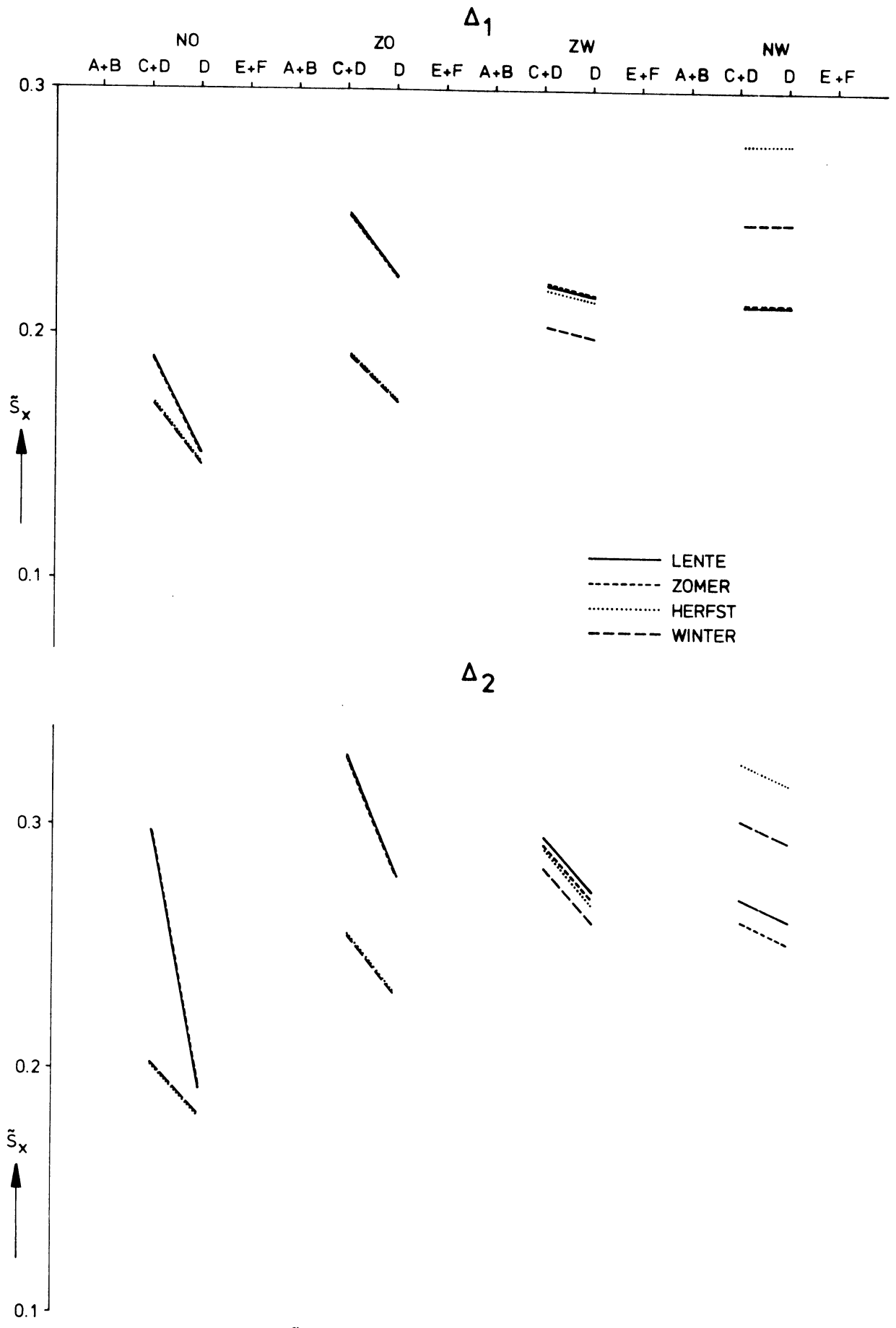


Fig. 8b Variatie van  $\tilde{S}_x$  7-10 kts



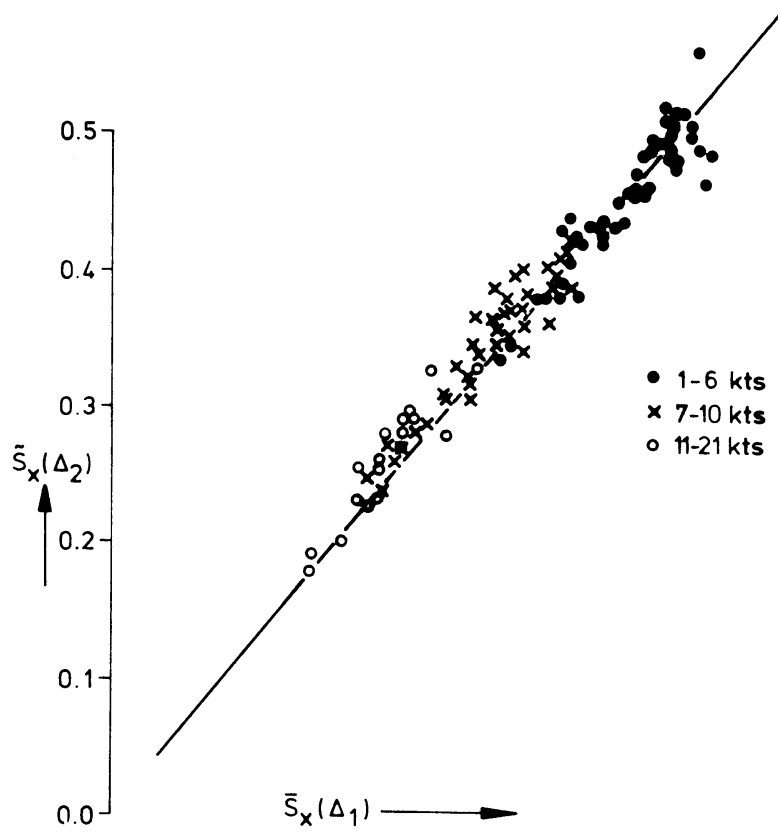


Fig. 9a Verband tussen  $\bar{S}_x(\Delta_2)$  en  $\bar{S}_x(\Delta_1)$

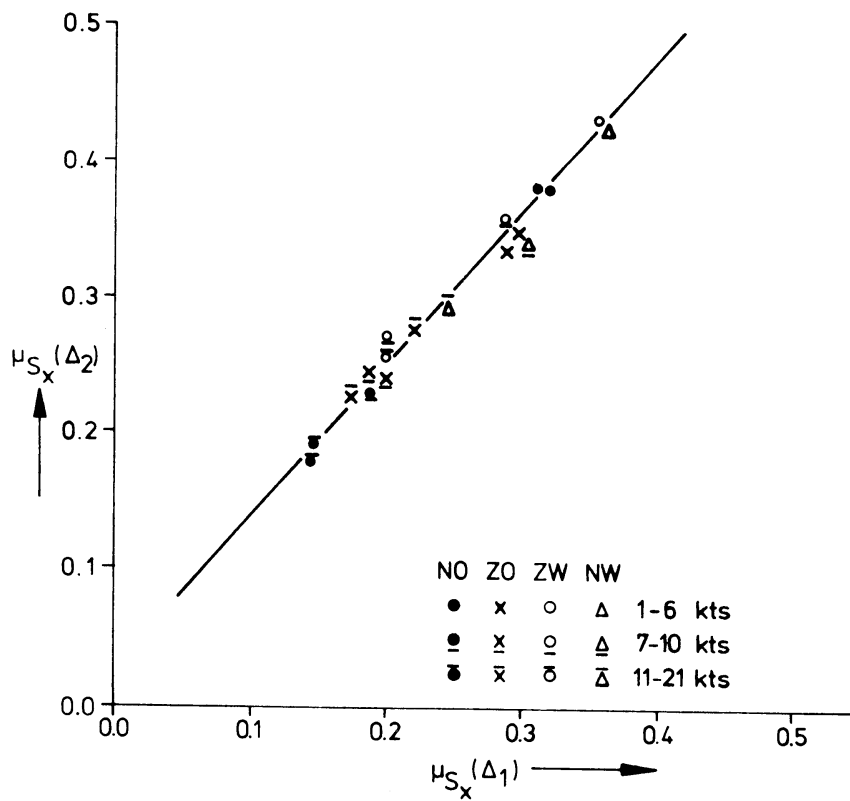


Fig. 9b Verband tussen  $\mu_{S_x}(\Delta_2)$  en  $\mu_{S_x}(\Delta_1)$



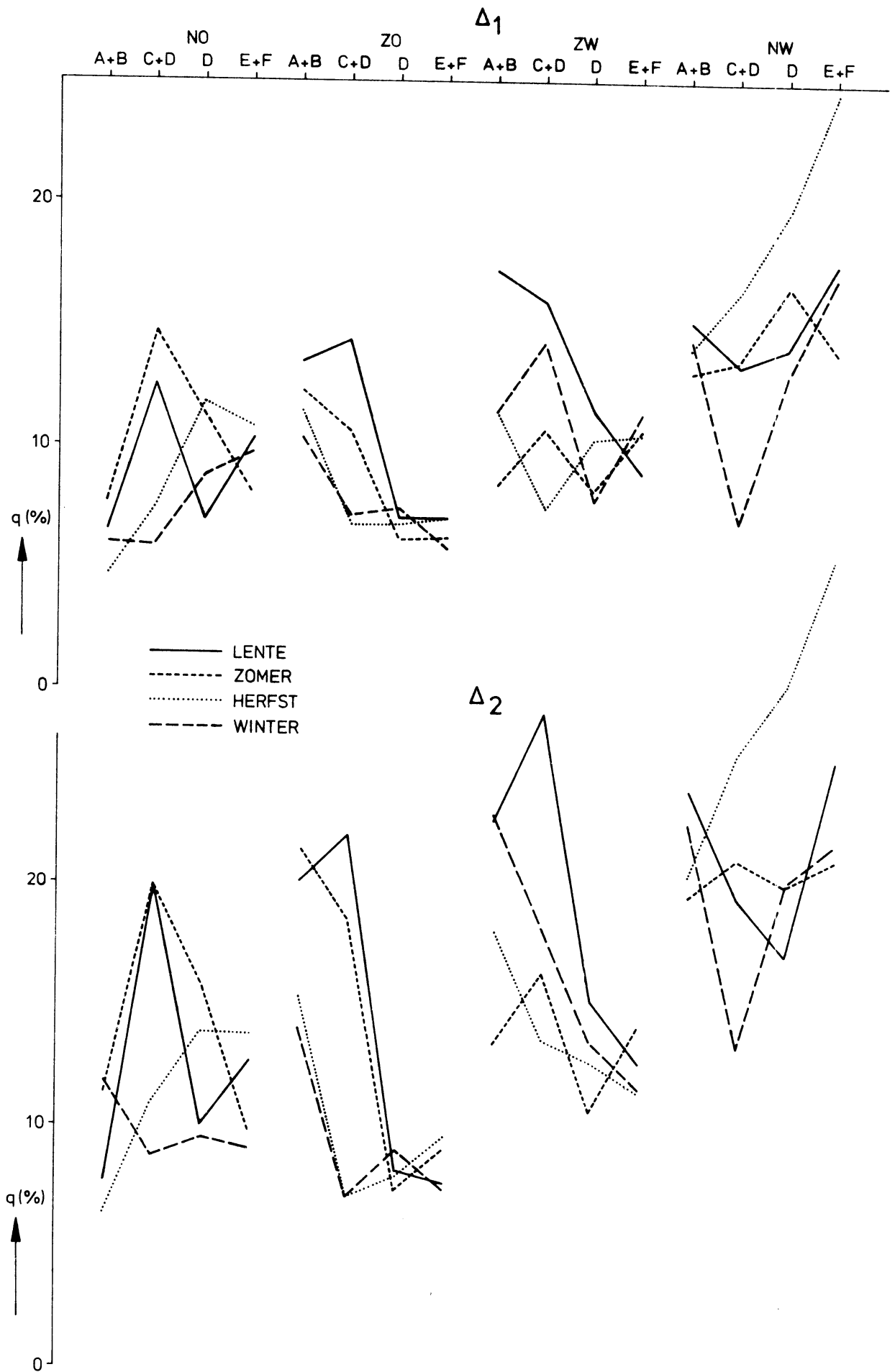


Fig.10a Percentage  $|\Delta| > 90$  of  $\Delta$  variabel ( $q$ ) 1-6 kts

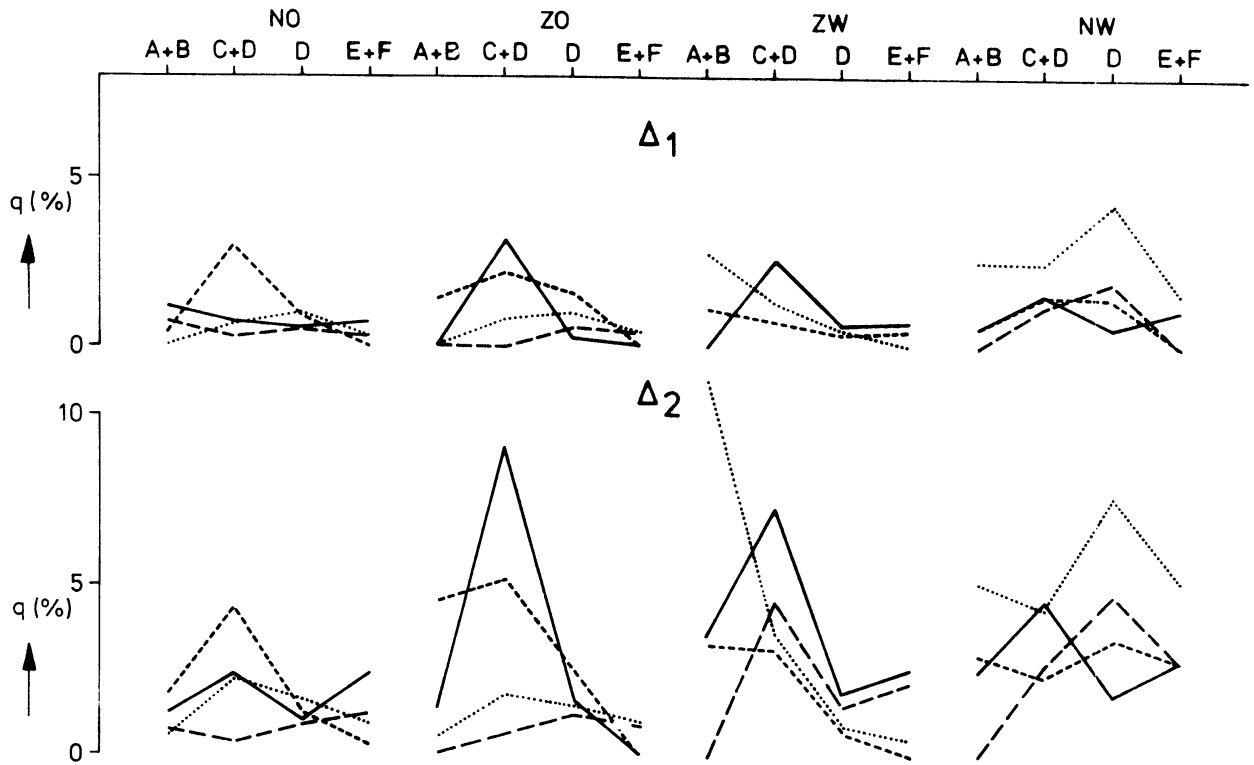


Fig.10b Percentage  $|\Delta| > 90$  of variabel (q) 7-10 kts

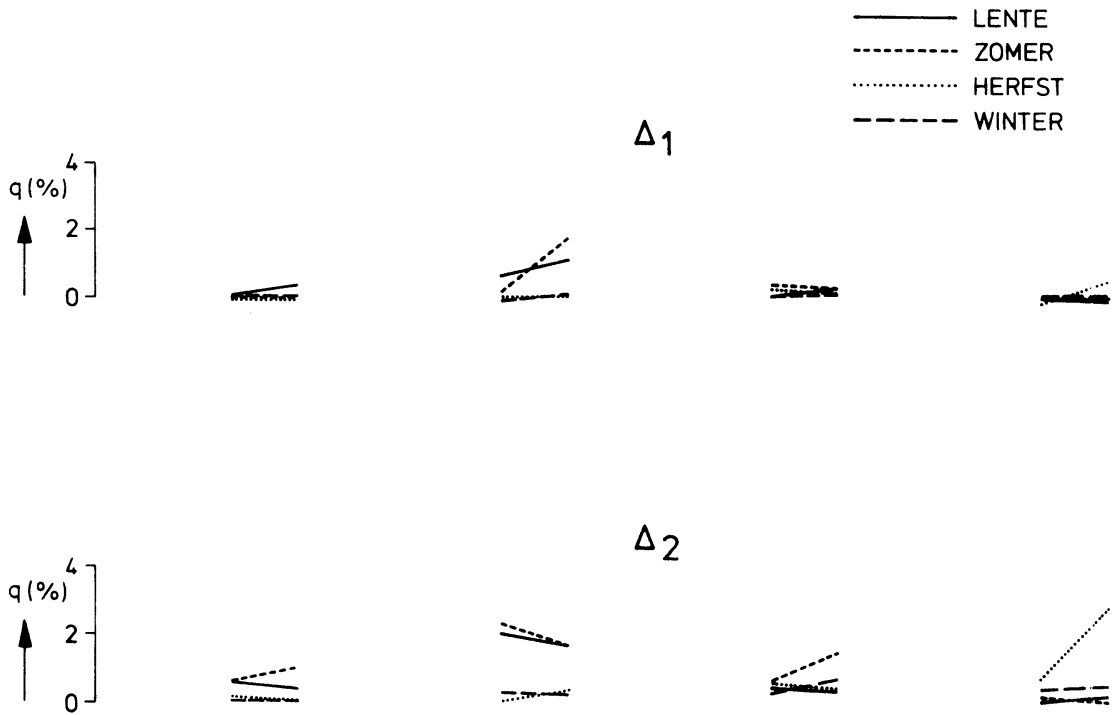


Fig.10c Percentage  $|\Delta| > 90$  of variabel (q) 11-21 kts

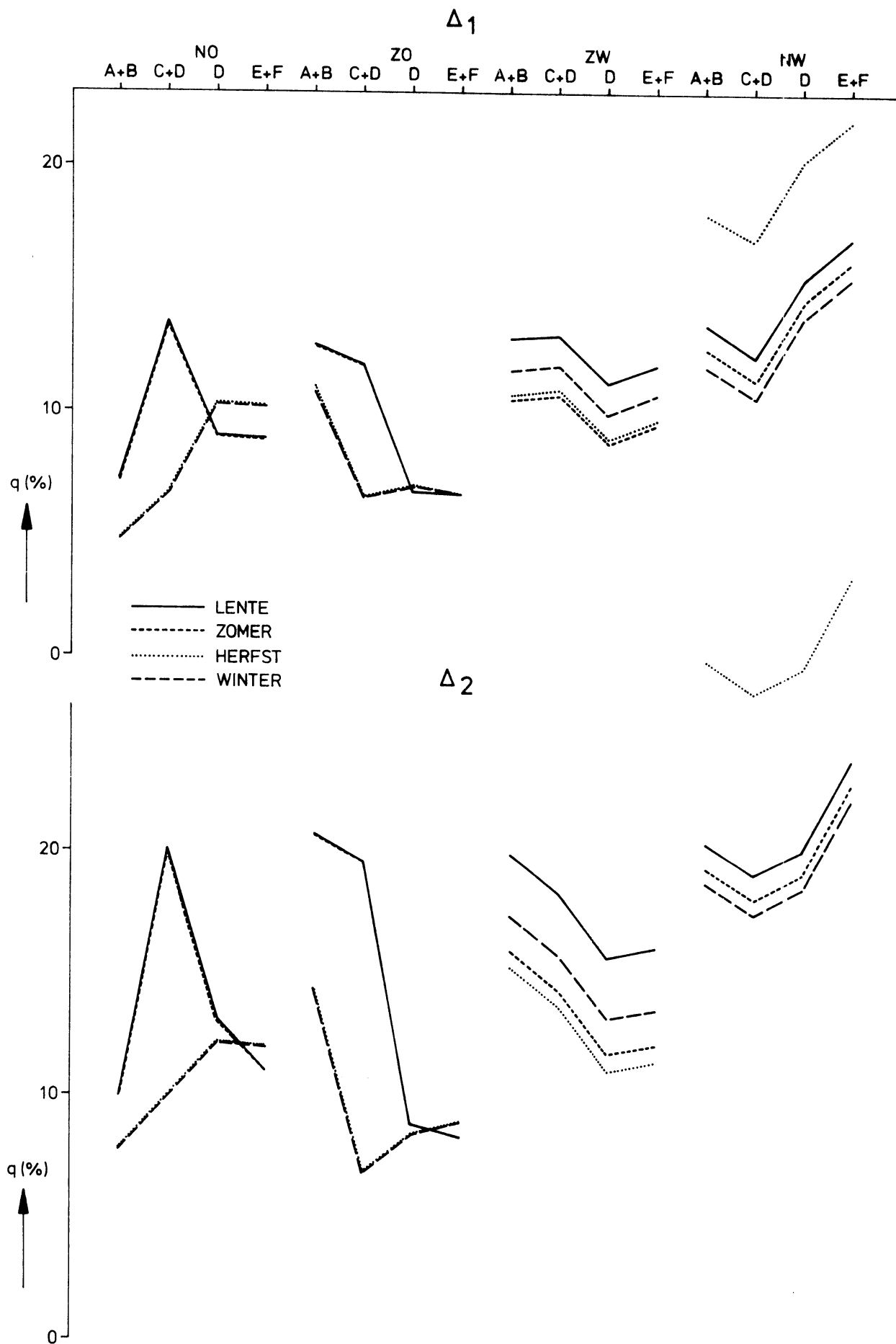


Fig. 11a Percentage  $|\Delta| > 90$  of variabel ( $\tilde{q}$ , vereffend) 1-6 kts

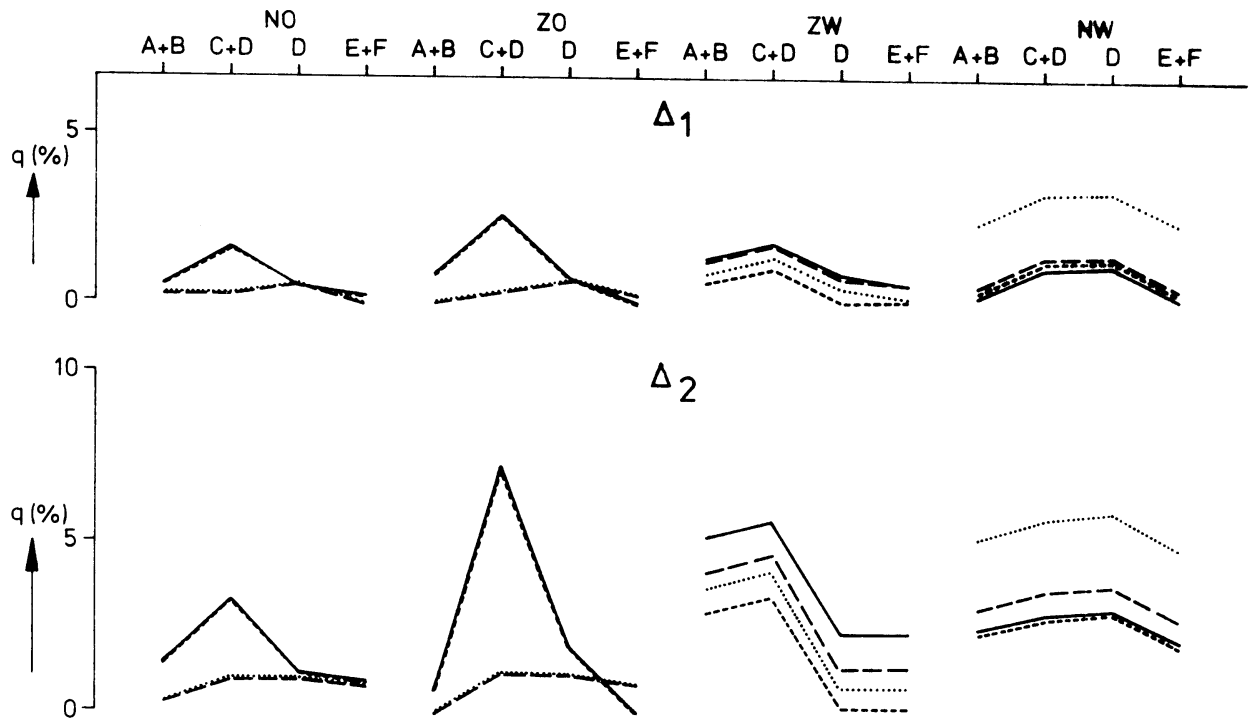


Fig.11 b Percentage  $|\Delta| > 90$  of variabel ( $\tilde{q}$ , vereffend) 7-10 kts

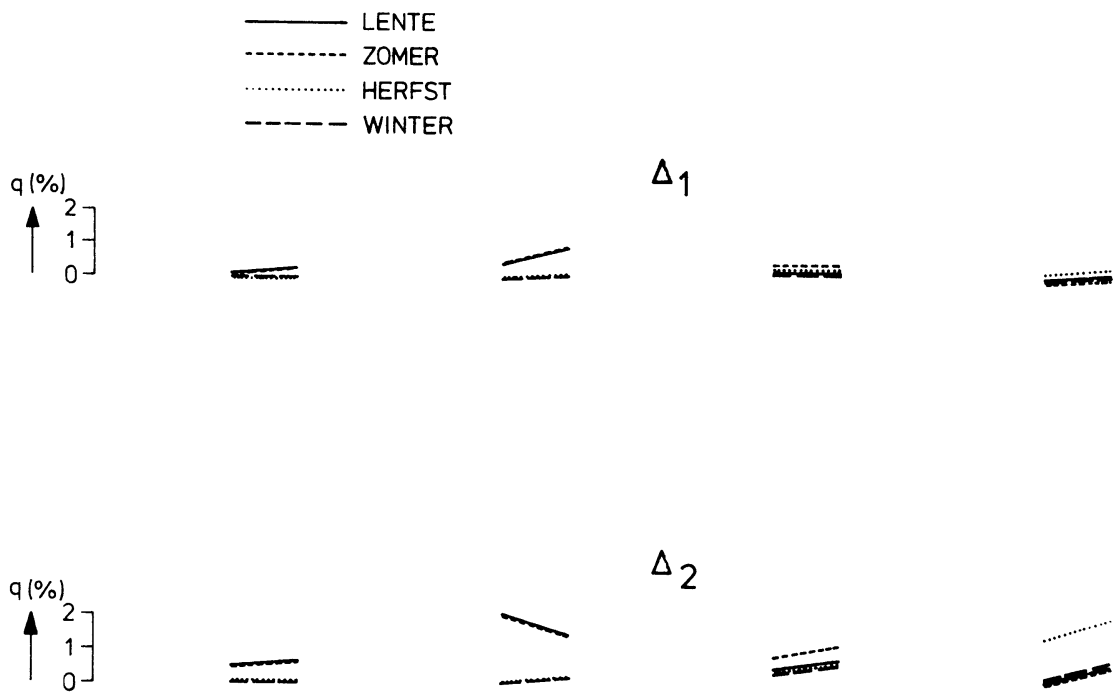


Fig.11c Percentage  $|\Delta| > 90$  of variabel ( $\tilde{q}$ , vereffend) 11-21 kts

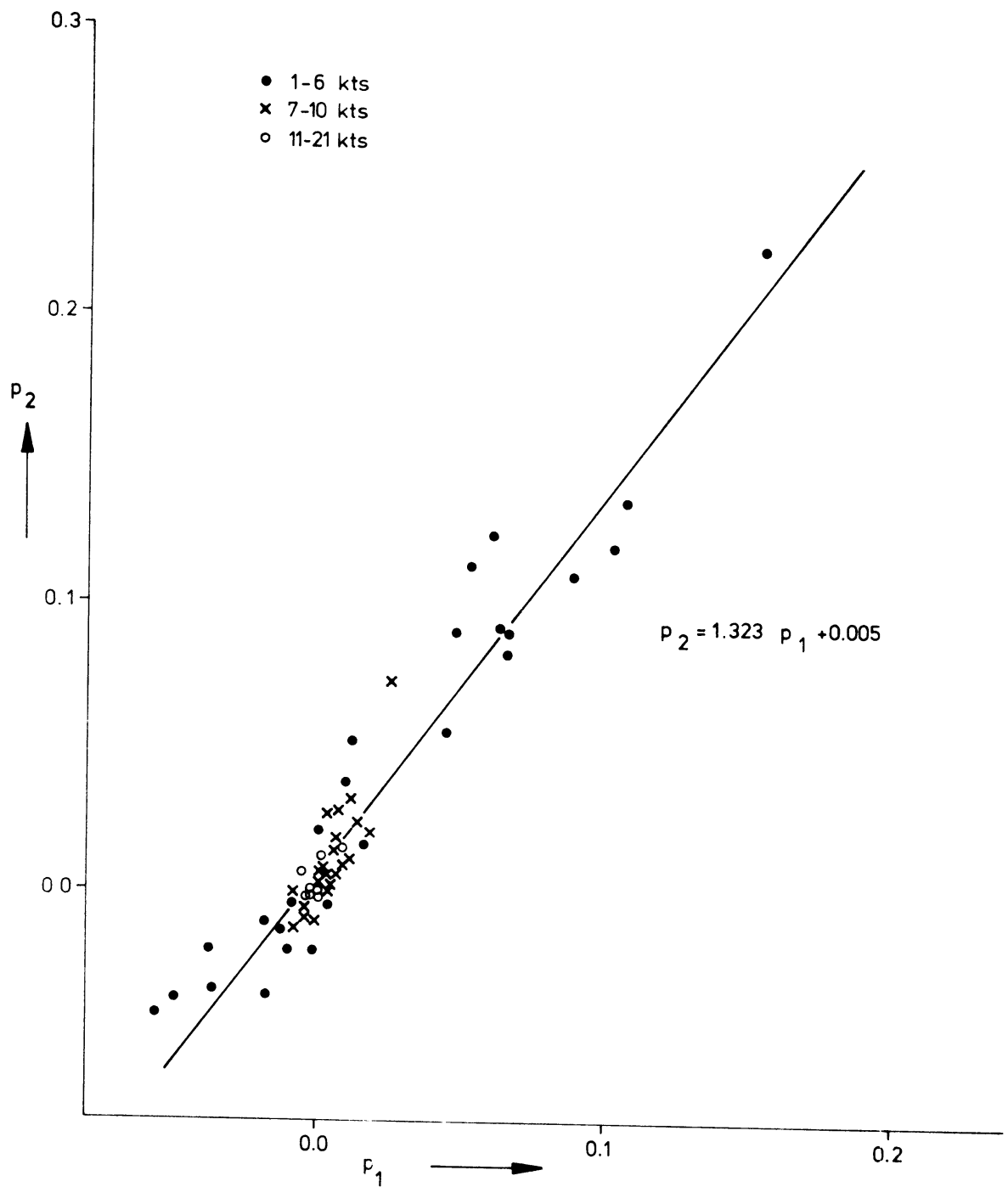


Fig.12 Relatie tussen de parameterwaarden ( $\mu, \alpha$ , of  $\beta$ ) van  $\bar{q}$  voor  $\Delta_2$  en  $\Delta_1$   
 $p_i = \mu$  of  $\alpha$  of  $\beta$  voor  $\Delta_i$  ( $i = 1$  of  $2$ )