

12 feb. 1962

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslagen V - 102
(R III - 268 - 1961)

Vergelijkende metingen van de bodentemperatuur
in De Bilt

door

Drs. P.J. Rijkoort.



Vergelijkende metingen van de bodemtemperatuur in De Bilt.

Drs. P.J. Rijkoort.

551.525.2

0. Inleiding.

Evenals bij het meten van andere meteorologische grootheden, doet zich bij het meten van de bodemtemperatuur de vraag voor in hoeverre de meting in een enkele punt representatief is voor een geheel gebied. Zelfs als we onder het gebied een klein gebied, b.v. een weiland verstaan, is het de vraag of de puntmeting voldoende representatief is.

Teneinde een indruk te krijgen van de representativiteit van de bodemtemperatuurmetingen zijn op het waarnemingsterrein in De Bilt in beging 1957 een tweetal grondthermometer opstellingen (II en III in fig.1) gemaakt, met thermometers op dezelfde diepten als bij de reeds aanwezige opstelling (I in fig.1). Deze diepten zijn ca. 0 cm, 10, 25, 50, 75 en 100 cm. De diepte van ca. 0 cm wijkt vermoedelijk voor de vaste opstelling (I) iets af van die bij de beide anderen. Bij de vaste opstelling is deze diepte waarschijnlijk ongeveer 3 cm. Bij de twee extra opstellingen is getracht de thermometerbol direct onder de oppervlakte te plaatsen. Verder is getracht tijdens het onderzoek de uitwendige omstandigheden voor de drie opstellingen zo veel mogelijk gelijk te maken door de grasmat overal even kort te houden.

De afstand tussen opstelling I en II is ca. 12 m, die tussen II en III ca. 90 m.

De waarnemingen zijn beperkt tot eenmaal per dag, n.l. om 14 uur. Verder is met de 5 waarnemingen op maandag t/m vrijdag volstaan, teneinde de waarnemers niet met te veel extra werk te belasten. Bovendien zouden meer waarnemingen per week ons in verband met de persistentie, toch vermoedelijk niet meer informatie opgeleverd hebben.

Het waarnemingstijdvak liep van maart 1957 tot maart 1959.

1. De waarnemingsresultaten.

1.1 Het verschil tussen zomer en winter.

Voor een globaal overzicht van de resultaten werden de vijf waarnemingen per week gemiddeld. Deze gemiddelden zullen we met $T_i^{(5)}$ ($i = 1, 2$ en 3 , resp. voor de opstellingen I, II en III) aangeven. Verder bepaalden we $v_{23}^{(5)} = T_2^{(5)} - T_3^{(5)}$ en $v_{21}^{(5)} = T_2^{(5)} - T_1^{(5)}$. Uit grafieken van $v_{23}^{(5)}$ als functie van de tijd (fig.2) bleek dat vooral voor de geringe diepten de variatie van $v_{23}^{(5)}$ in de zomer veel groter was dan in de winter. We komen hierop later terug.

Eerst zullen we de gemiddelden over de zomer- en winterperioden nader beschouwen. Op grond van bovengenoemde grafieken verstaan we onder de zomerperiode het tijdvak van 1 maart tot ong. 10 oktober en onder de winterperiode het tijdvak van ong. 10 oktober tot 1 maart van het volgende jaar. Over deze perioden zijn de waarden $v_{23}^{(5)}$ en $v_{21}^{(5)}$ voor de verschillende diepten gemiddeld. Hierbij zijn, wegens de afwijkende diepten nabij 0 cm, voor $v_{21}^{(5)}$ alleen de diepten 10 cm en meer gebruikt (fig.3).

In de tabellen 1 en 2 zijn de resultaten samengevat.

Tabel 1

Gemiddelde waarden van $v_{23}^{(5)}$ [°C]

diepte [cm]:		0	10	25	50	75	100
"zomer"	{ mrt-okt 1957	+0.81	+0.33	+0.14	+0.30	+0.17	+0.27
	{ mrt-okt 1958	+0.22	+0.84	+0.48	+0.72	+0.52	+0.66
"winter"	{ okt'57-mrt'58	-0.21	+0.15	0.00	+0.16	+0.11	+0.31
	{ okt'58-mrt'59	-0.32	+0.10	-0.06	0.00	-0.34	+0.14

Tabel 2

Gemiddelde waarden van $v_{21}^{(5)}$ [°C]

diepte [cm]:		10	25	50	75	100
"zomer"	{ mrt-okt 1957	+1.12	-0.16	+0.17	-0.07	+0.23
	{ mrt-okt 1958	+0.12	0.00	0.00	-0.19	-0.09
"winter"	{ okt'57-mrt'58	+0.60	+0.41	+0.54	+0.21	+0.32
	{ okt'58-mrt'59	+0.42	+0.33	+0.42	+0.17	+0.21

De verschillen tussen de resultaten zijn met enkele statistische toetsen onderzocht. In de eerste plaats het verschil tussen zomer en winter; met de toets van Wilcoxon blijken de 12 zomer-waarden van tabel 1 op ander niveau te liggen dan de 12 winter-waarden. De overschrijdingskans van de toetsingsgrootte W is kleiner dan 0.001. Het is dus hoogst onwaarschijnlijk dat we de zomer- en winter-waarden als afkomstig uit eenzelfde "universum" mogen beschouwen. Ook het verschil tussen "zomer" en "winter" in tabel 2 is (even sterk) significant. Het merkwaardige feit doet zich voor, dat in tabel 1 de winterwaarden om de nul schommelen en de zomerwaarden alle groter dan nul zijn (gemiddeld ca. 0.5°C), terwijl in tabel 2 juist de zomer-

waarden om de nul schommelen en de winterwaarden alle positief zijn. Voor de verschillen van tabel 1 zou men wel een plausibele verklaring kunnen geven. In de zomer kunnen de groei van het gras en de uitdroging van de bodem aanleiding zijn tot plaatselijke verschillen; in de winter daarentegen, als de grasgroei stilstaat en de bodem vrijwel verzadigd is met water, verwacht men grotere homogeniteit. In het bijzonder de winterwaarden van tabel 2 wekken enige bevreemding. De zomerwaarden van tabel 2 zou men nog wel in overeenstemming met de "verklaarende" omstandigheden kunnen achten, in verband met het feit dat de opstellingen 1 en 2 betrekkelijk dicht bij elkaar liggen. Het verschil in de winterwaarden blijft echter moeilijker verklaarbaar. Er zijn dus blijkbaar plaatselijke verschillen in bodemstructuur en -omstandigheden (neerslag en uitdroging enz.) die systematisch verschillen in de bodemtemperatuur (tot ca. $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$) veroorzaken. Er zouden door de verschillen in bodemstructuur bijvoorbeeld faseverschuivingen in het jaarlijks verloop der temperaturen in twee punten op gelijke diepte kunnen ontstaan.

Het blijkt verder dat er tussen de waarnemingen in beide jaren ook systematische verschillen voorkomen. Hiertoe is het voldoende als we de tekens van het verschil der verschillen beschouwen. We geven n.l. een min-teken als V_{23} of V_{21} van de tweede "zomer" (of "winter") kleiner is dan die van de eerste "zomer" (of "winter") en een plus-teken in het tegenovergestelde geval. De tabellen 1a en 2a geven de resultaten.

Tabel 1a

diepte	0	10	25	50	75	100
zomer	-	+	+	+	+	+
winter	-	-	-	-	-	-

Tabel 2a

diepte	10	25	50	75	100
zomer	-	+	-	-	-
winter	-	-	-	-	-

Zonder toetsen is wel duidelijk, dat hier geen sprake is van een toevallige verdeling van tekens. Terwijl het bijvoorbeeld, volgens tabel 1 bij opstelling II in beide zomers warmer was dan bij opstelling III, was dit blijkbaar in 1958 in sterkere mate het geval dan in 1957. Ook hierbij zullen verschillen in bodemstructuur wel van belang zijn en volstaan we met vast te stellen dat de systematische verschillen die we constateren van jaar tot jaar anders kunnen zijn.

We gaan vervolgens na of er verschil is tussen de waarnemingen op verschillende diepten. Op de 4 rijen van 6 $V_{23}^{(5)}$ waarden, uit resp. 4 rijen van 5 $V_{21}^{(5)}$ waarden, is de methode der m-rangschikkingen toegepast.

De rangnummers zijn in de tabellen 1b en 2b opgenomen.

	diepte	0	10	25	50	75	100
"zomer"	1957	1	2	6	3	5	4
	1958	6	1	5	2	4	3
"winter"	1957/58	6	3	5	2	4	1
	1958/59	5	2	4	3	6	1

	diepte	10	25	50	75	100
"zomer"	1957	1	5	3	4	2
	1958	1	2½	2½	5	4
"winter"	1957/58	1	3	2	5	4
	1958/59	1½	3	1½	5	4

De toetsingsgrootte heeft voor tabel 1b een overschrijdingskans 0.02 en voor tabel 2b een overschrijdingskans < 0.001. Er is inderdaad ook een significant verschil in de waarde van V_{23} resp. V_{21} op de verschillende diepten. Waarschijnlijk zal dit weer veroorzaakt worden door verschillen in de structuur van de bodem in verschillende lagen.

We moeten echter opmerken, dat we niet met zekerheid kunnen zeggen dat de thermometers volkomen juist hebben aangewezen gedurende de twee jaren. De gehele serie thermometers is voor en na de waarnemingsperiode geijkt. Over het algemeen klopten beide ijkingen goed met elkaar. Echter waren er toch wel enkele gevallen waar in een gedeelte van het temperatuurgebied verschillen van één of enkele tienden graden voorkwamen. Hiervoor werd niet gecorrigeerd. We weten namelijk toch niet precies hoe de toe te passen correctie in de loop van de twee jaren is veranderd.

1.2 Vijfdaagse gemiddelden.

We gaan thans de vijfdaagse gemiddelden nader beschouwen.

In de figuren 2 en 3 zijn de waarden $V_{23}^{(5)}$ resp. $V_{21}^{(5)}$ grafisch voorgesteld als functie van de tijd.

In de eerste plaats is, vooral voor de geringe diepten, duidelijk te zien dat van maart tot omstreeks begin oktober de spreiding in de V-waarden groot is; in de winterperiode daarentegen klein.

De zomerwaarden zijn vervolgens onderling vergeleken. Hierbij blijkt dat tussen het verloop van de $V_{23}^{(5)}$ waarden in 1957 en dat in 1958 geen verband bestaat. Voor enkele diepten, n.l. 0, 10 en 50 cm, is de correlatiecoëfficiënt berekend. We hebben ons tot deze gevallen beperkt, o.a. omdat er in 1958 enkele hiaten zijn geweest.

We gebruiken de volgende notatie: $x_i = V_{23}^{(5)}$ voor het jaar 1957 op de diepte i , en $y_i = V_{23}^{(5)}$ voor het jaar 1958 op diepte i .

We berekenden

$$r_{x_0y_0} = -0,19$$

$$r_{y_{10}y_{10}} = -0,26$$

$$r_{x_{50}y_{50}} = +0,22$$

Bij een steekproefgrootte van 32 (zoals hier het geval is) is de 5% drempel van de r -waarden 0,35, dus is er geen significante correlatie tussen x en y .

Opvallend is dat in juli en augustus 1958 de V_{23} -waarden belangrijk groter zijn dan in de overeenkomstige maanden van 1957.

Het verloop van de V -waarden op de opeenvolgende diepten komt duidelijk overeen.

1.3 Spreiding van de afzonderlijke V -waarden om het maandgemiddelde.

We willen thans onderzoeken hoe groot de spreiding van de afzonderlijke dagwaarden is. We zullen hiertoe niet de spreiding om de vijfdaagse gemiddelden berekenen, maar de spreiding om de maandgemiddelden.

In de eerste plaats is uit de figuren 2 en 3 reeds te zien, dat naast de systematische variatie in de vijfdaagse gemiddelden ook een toevalsvariatie aanwezig is. In de tweede plaats is een aantal van vijf waarden wel wat gering om een standaard deviatie te berekenen; per maand hebben we echter ca. 20 dagwaarden ter beschikking en dat is voldoende. Bovendien sluiten we, met het gebruik van maandwaarden, aan bij het feit dat de maand de meest gebruikelijke klimatologische middelingsperiode is.

Berekend zijn gemiddelden en spreidingen t.o.v. dit gemiddelde per maand van V_{23} op diepten 0, 10, 25, 50, 75 en 100 cm en van V_{21} op diepten 10, 25, 50, 75 en 100 cm. De resultaten zijn in de figuren 4 (1 ... 6) en 5 (1 ... 5) samengevat en wel is \bar{V} en $\bar{V} \pm 2S_V$ uitgezet, waarbij S_V de schatting van de universum standaard deviatie van de afzonderlijke dagwaarden is, n.l. $S_V = \sqrt{\frac{\sum (v - \bar{v})^2}{n-1}}$

In de figuren 4 is duidelijk een seizoeneffect te zien. De spreidingswaarden zijn 's-winters kleiner dan 's-zomers. In de figuren 5

daarentegen zien we geen verschil tussen winter- en zomerwaarden. Bovendien blijkt dat de grootte van $S_{V_{21}}$ ongeveer gelijk is aan die van $S_{V_{23}}$ in de zomer. Fig. 6 geeft hiervan een duidelijker beeld. We hebben hiervoor de maanden mei ... augustus als zomer genomen en november ... februari als winter. Over de tweemaal vier maanden van de twee jaren is S_V gemiddeld namelijk als volgt:

$$S_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (n_i - 1) S_{V_i}^2}{\sum_{i=1}^8 n_i - 1}}$$

Hierbij geeft de index i de acht maanden aan.

We verkrijgen tenslotte vier series S_V -waarden, n.l. voor V_{21} van zomer en winter en voor V_{23} van zomer en winter. In fig. 6 zijn de resultaten grafisch voorgesteld. In de eerste plaats zien we daaruit dat de S afneemt als de diepte toeneemt, zoals te verwachten is. Verder zijn bij $S_{V_{23}}$ alle winterwaarden kleiner dan de overeenkomstige zomerwaarden. Bij $S_{V_{21}}$ is dit niet het geval en bovendien liggen de $S_{V_{21}}$ -waarden ongeveer op het niveau van de winterwaarden van $S_{V_{23}}$. De laatste twee constateringingen zijn eigenlijk in strijd met wat we zouden verwachten op grond van het feit dat de afstand tussen II en I (n.l. 12 m) veel kleiner is dan die tussen II en III (n.l. 90 m). Men is immers in eerste instantie geneigd te onderstellen dat verschillen groter worden als men twee meetpunten verder van elkaar verwijderd.

2. Algemene opmerkingen en conclusies.

We hebben in het voorgaande de variatie van de verschillen V_{21} , resp. V_{23} gesplitst in een "systematisch" variatie (de variatie van het maandgemiddelde V_{21} resp. V_{23}) en de "toevals" standaard-deviatie S_V . Nu is het helaas zo, dat de variatie van het maandgemiddelde toch niet zo zeer systematisch is; de variatie is niet zonder meer met een jaarlijkse gang te beschrijven. Vermoedelijk hangt de variatie met de bodemomstandigheden samen, waarbij we in het bijzonder aan het vochtgehalte denken.

Als we zonder verder onderzoek iets over de representativiteit willen zeggen, dan moeten we de totale variatie in aanmerking nemen en kunnen we slechts een globale uitspraak doen.

We moeten dan vaststellen, dat metingen van de bodemtemperatuur zelfs op de korte afstand van ca. 12 m verschillen opleveren die op 10 cm diepte 2 à 3°C kunnen bedragen en op 100 cm nog ca. 0,6°C.

Nu gaat het echter niet zozeer om het verschil tussen twee meetpunten dan wel om het verschil tussen één meetpunt en het gemiddelde over een bepaald gebied. In dit geval worden de toevallige fouten iets kleiner. Hoeveel laat zich als volgt berekenen.

De variantie van bijvoorbeeld $T_2 - \bar{T}_2$ t.o.v. het gemiddelde $\frac{1}{3}(T_1 - \bar{T}_1 + T_2 - \bar{T}_2 + T_3 - \bar{T}_3)$ is

$$\begin{aligned} & \mathcal{E} \left\{ T_2 - \bar{T}_2 - \frac{1}{3} (T_1 - \bar{T}_1 + T_2 - \bar{T}_2 + T_3 - \bar{T}_3) \right\}^2 = \\ & \mathcal{E} \left[\frac{1}{3} \left\{ T_2 - \bar{T}_2 - (T_1 - \bar{T}_1) \right\} + \frac{1}{3} \left\{ T_2 - \bar{T}_2 - (T_3 - \bar{T}_3) \right\} \right]^2 = \\ & \frac{1}{9} \mathcal{E} V_{21}^2 + \frac{1}{9} \mathcal{E} V_{23}^2 + \frac{2}{9} \mathcal{E} V_{21} V_{23} \end{aligned}$$

Als V_{21} en V_{23} ongecorreleerd zijn, is dus de gezochte variantie

$$\frac{1}{9} (\text{var } V_{21} + \text{var } V_{23})$$

en ingeval $\text{var } V_{21} \approx \text{var } V_{23}$ is de gezochte standaard-deviatie

$$\sqrt{\frac{2}{9}} \cdot S_V = 0,47 S_V.$$

In enkele steekproeven die we namen bleek de correlatie wel vrij klein te zijn, maar positief. De gezochte standaard-deviatie zal dus nog iets groter zijn. Bovendien komt er nog bij, dat we in plaats van het uiteraard onbekende gebiedsgemiddelde, het gemiddelde van de drie beschikbare waarnemingen hebben genomen. De afwijking tussen beide gemiddelden geeft ook nog een bijdrage tot de spreiding. Globaal kunnen we dus $\frac{1}{2} S_V$ als schatting wel aannemen.

Anders is het met de z.g. systematische fout. Het hangt er maar van af welke opstelling men toevallig kiest. De afwijkingen van de waarnemingen in één der meetpunten t.o.v. het gemiddelde der drie kunnen in bepaalde gevallen van dezelfde orde van grootte zijn als die tussen de waarnemingen van twee opstellingen.

Nemen we b.v. de maandgemiddelden van het verschil W van de temperaturen van de tweede opstelling en van het gemiddelde van de drie opstellingen, dus

$$W = \bar{T}_2 - \frac{1}{3} (\bar{T}_1 + \bar{T}_2 + \bar{T}_3) = \frac{1}{3} \left\{ (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) + (\bar{T}_2 - \bar{T}_3) \right\} =$$
$$\frac{1}{3} (V_{21} + V_{23})$$

dan komen we tot de volgende resultaten.

De waarden van de grootte W zijn voor de diepten 10, 25, 50, 75 en 100 cm en de 24 beschikbare maanden gemakkelijk uit de reeds berekende

te bepalen en in fig.7 grafisch voorgesteld. Het blijkt dat W voor alle diepten overwegend positief is. Verder verkrijgen we de indruk dat de maandwaarden van W enige persistentie bezitten en de variatie van W om het gemiddelde voor de verschillende diepten dus, niet geheel toevallig is. Aangezien we echter, zonder verder onderzoek en verdere gegevens niets van het verdere verloop van de variatie weten, moeten we rekening houden met een spreiding van W om zijn gemiddelde, die resp. 0.21, 0.08, 0.08, 0.09 en 0.06°C blijkt te bedragen.

Tenslotte geven we de volgende globale cijfers. We zien hierbij af van de geconstateerde verschillen tussen zomer en winter. Nemen we voor de toevallige variatie om het maandgemiddelde de volgende waarden (uit fig.6 door halvering geschat):

-10 cm	-25, -50 en -75 cm	-100 cm
0,25	0,08	0,05





en stellen we deze spreiding onafhankelijk van de variatie van W, dan is de totale standaard-deviatie, gevonden door kwadratisch middelen, resp.:

0.33	0.11	en	0.08
------	------	----	------

We moeten dus vaststellen, dat meting in één enkel punt t.o.v. het gebiedsgemiddelde een afwijking geeft die enkele tienden °C kan bedragen, maar waarvan we niets naders weten en die bovendien nog een onzekerheidsmarge van niet minder dan $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ op 10 cm, van $\pm 0.22^{\circ}\text{C}$ op diepten van 25 tot 75 cm en van $\pm 0.16^{\circ}\text{C}$ op 100 cm diepte bezit.

Hier komt nog een belangrijk punt bij. De metingen betreffen tenslotte een klein gebied, n.l. met afmetingen van ca. 100 m, dat enigszins als homogeen kan worden beschouwd.

In een net van bodemtemperatuur-stations in ons land zouden de meetpunten representatief moeten zijn voor een veel groter gebied. Het is echter duidelijk, dat tussen de gemiddelde bodemtemperatuur over een groot gebied en de meting in één punt grotere verschillen kunnen voorkomen dan die nu in een klein gebied werden vastgesteld.

-  BOUWLAND
-  GRASLAND
-  WEGEN EN PADEN
-  GEBOUWEN E. D.

Schaal 1:500

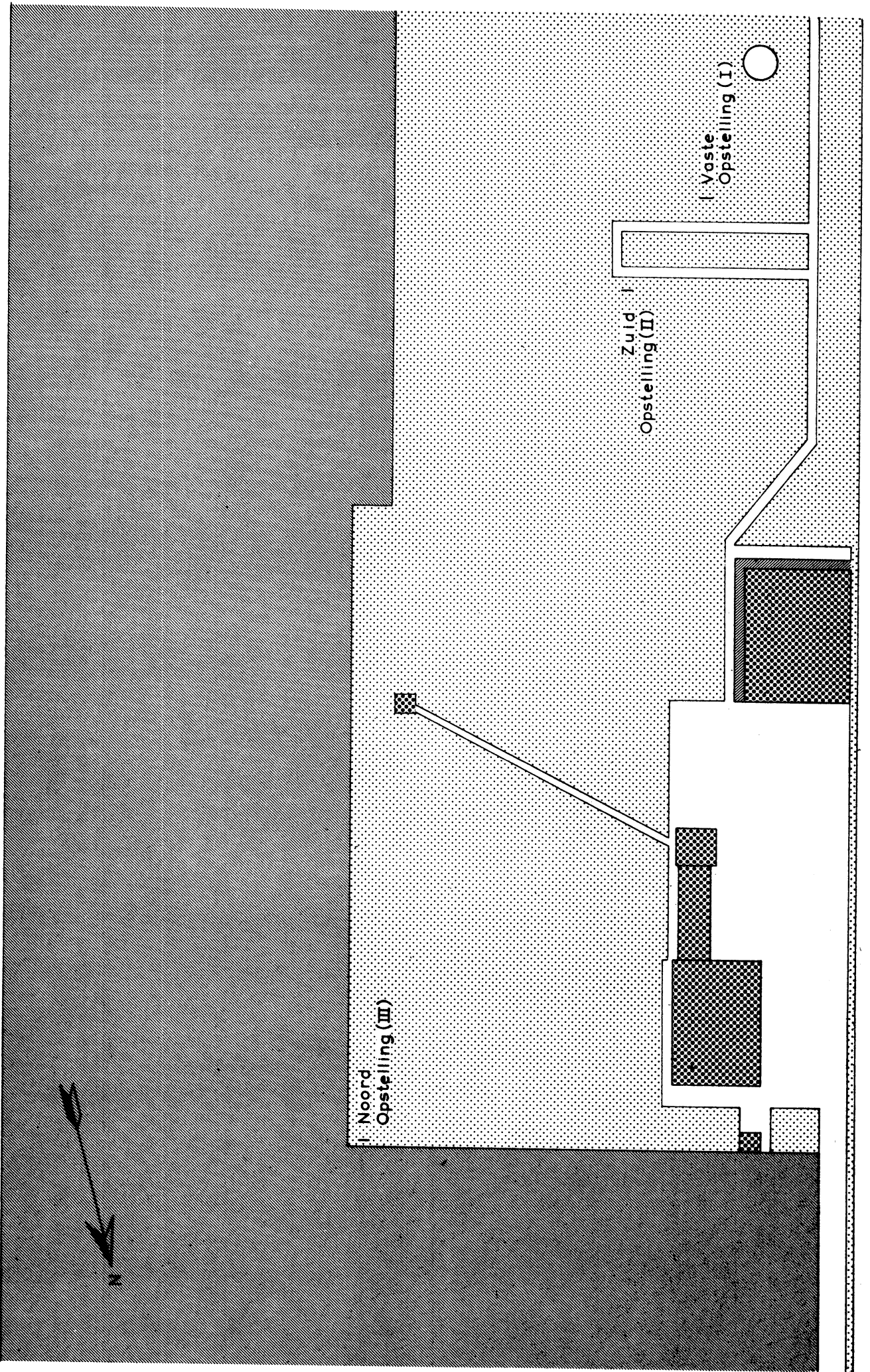
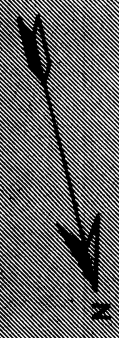
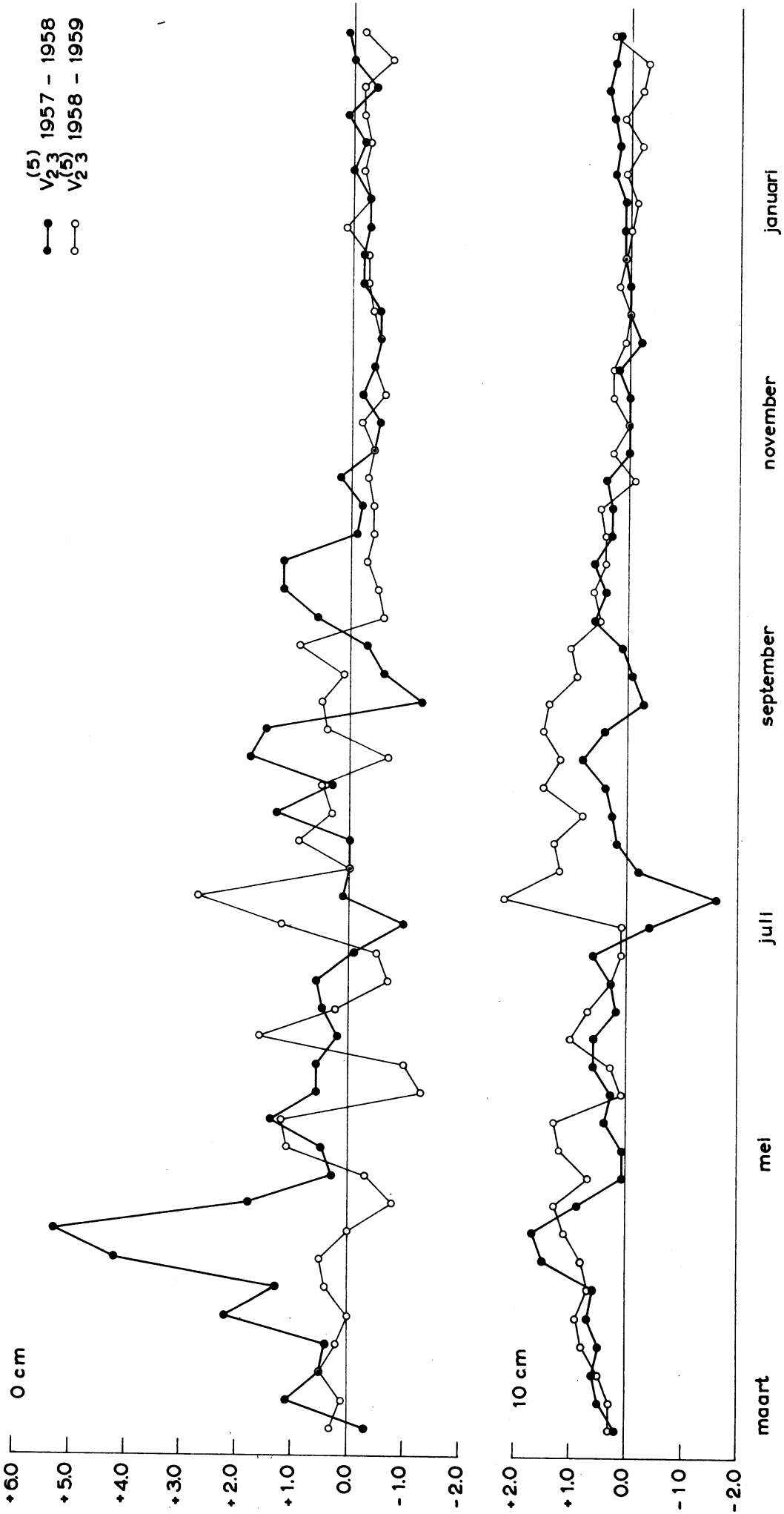


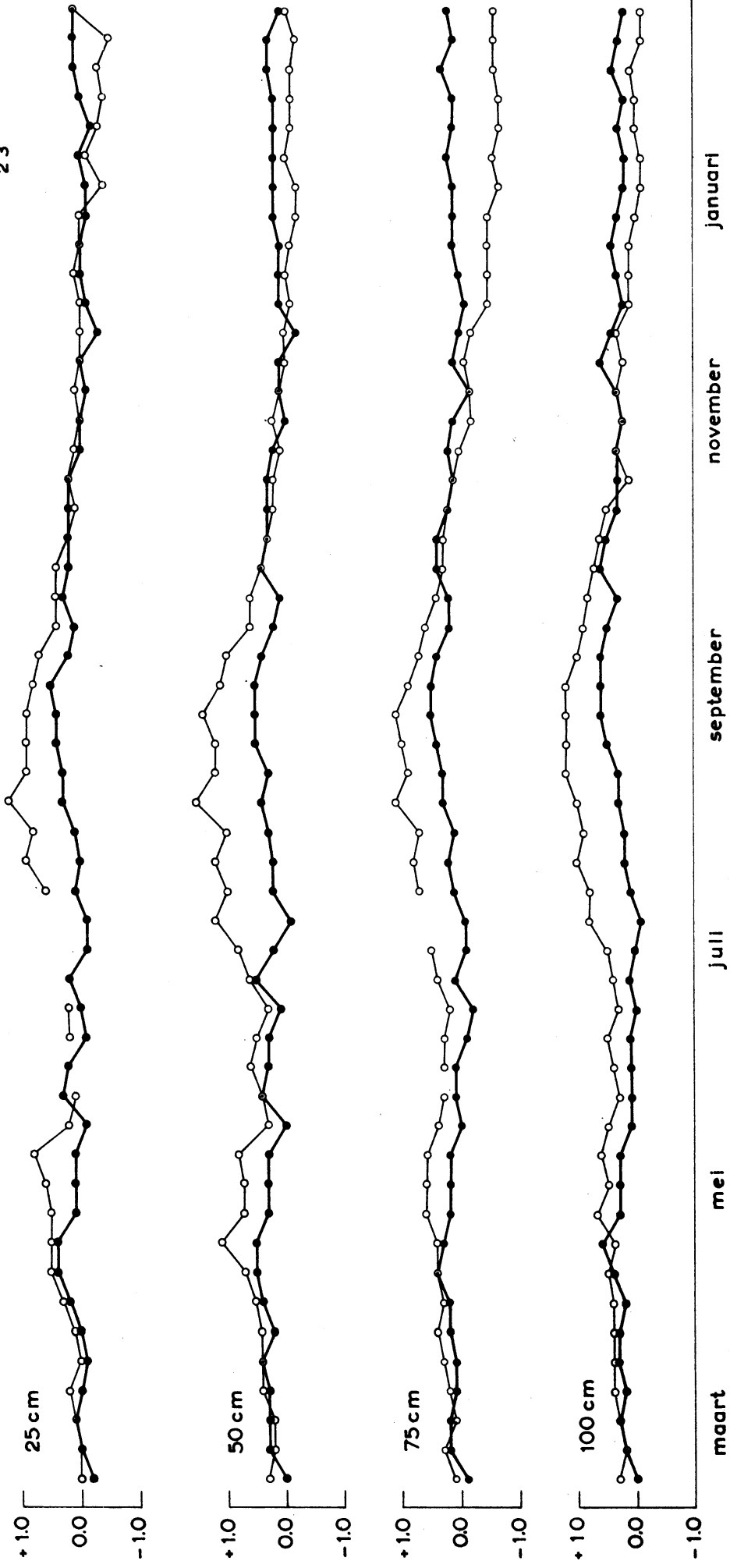
Fig. 1.

Fig. 2



●— V₂₃⁽⁵⁾ 1957 - 1958
 ○— V₂₃⁽⁵⁾ 1958 - 1959

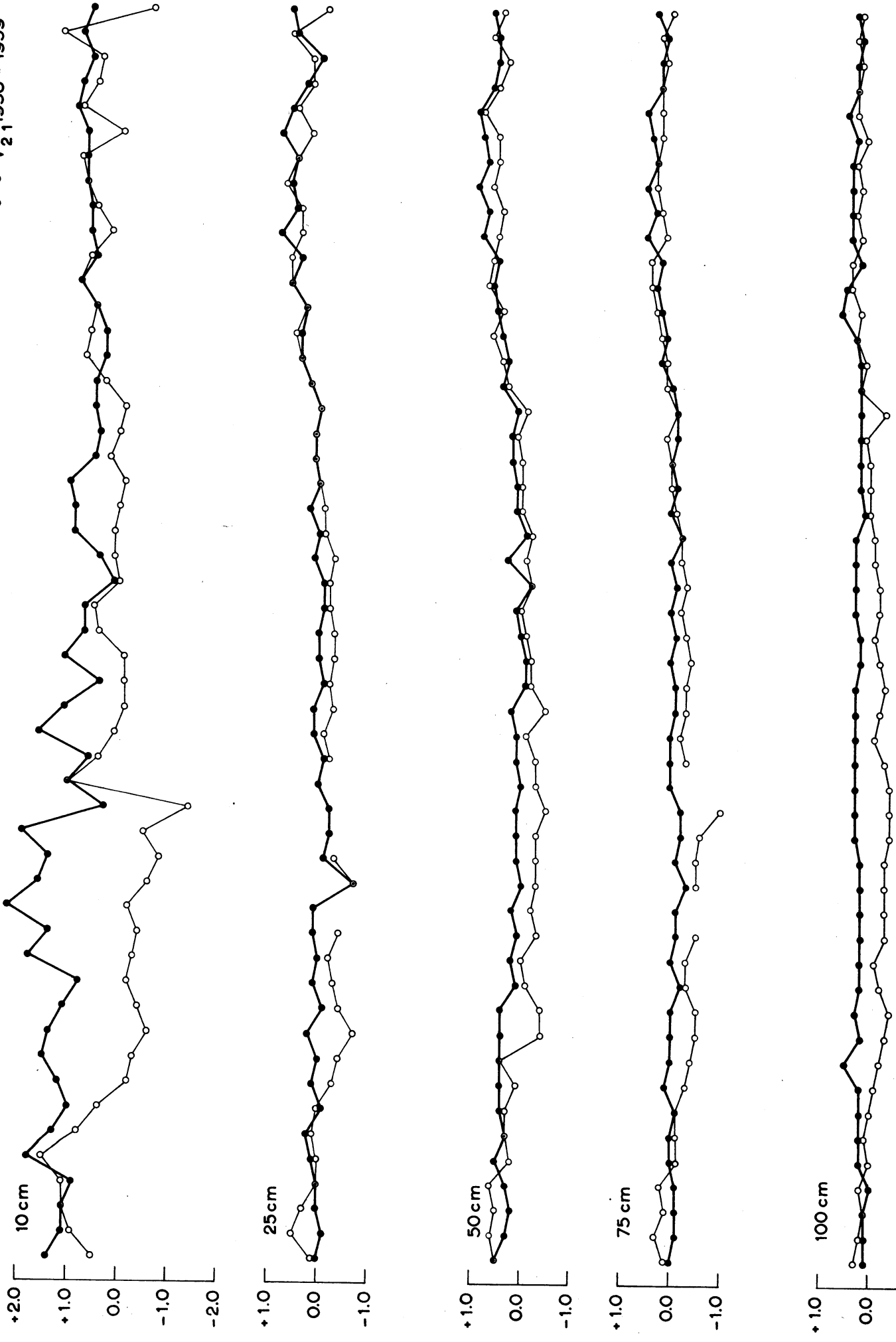
Fig 2 (vervolg)



maart mei juli september november januari

Fig. 3

● $V_{2,1}^{(5)}$ 1957 - 1958
○ $V_{2,1}^{(5)}$ 1958 - 1959



maart mei juli september november januari

Fig. 4.1

Bodemtemperatuur De Bilt
Diepte: 0 cm
 $V_2 \text{ } 3^{\circ} \text{ } T_2 - T_3$

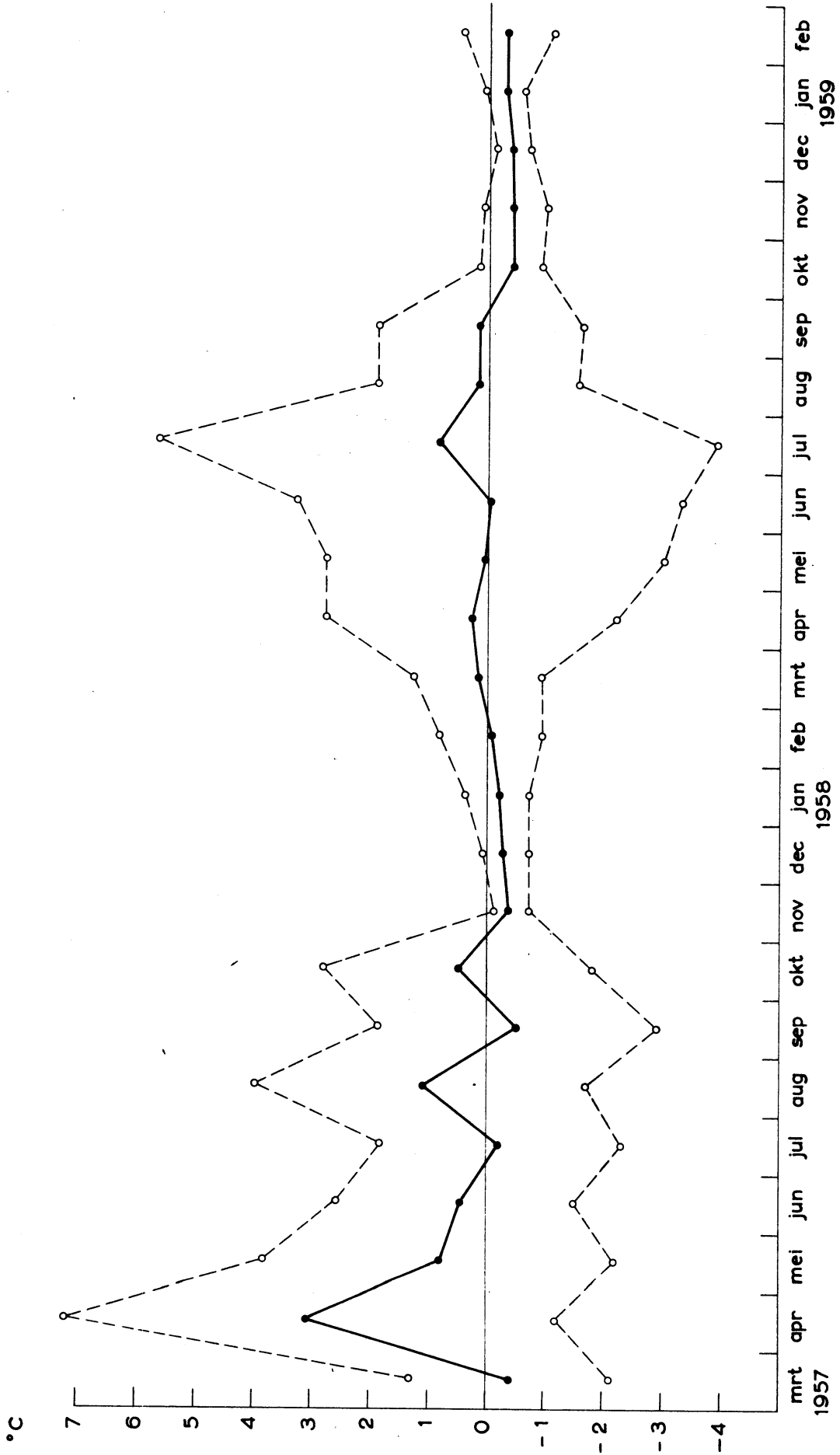


Fig. 4.2

Bodemtemperatuur De Bilt $V_{23} = T_2 - T_3$

°C Diepte: -10 cm

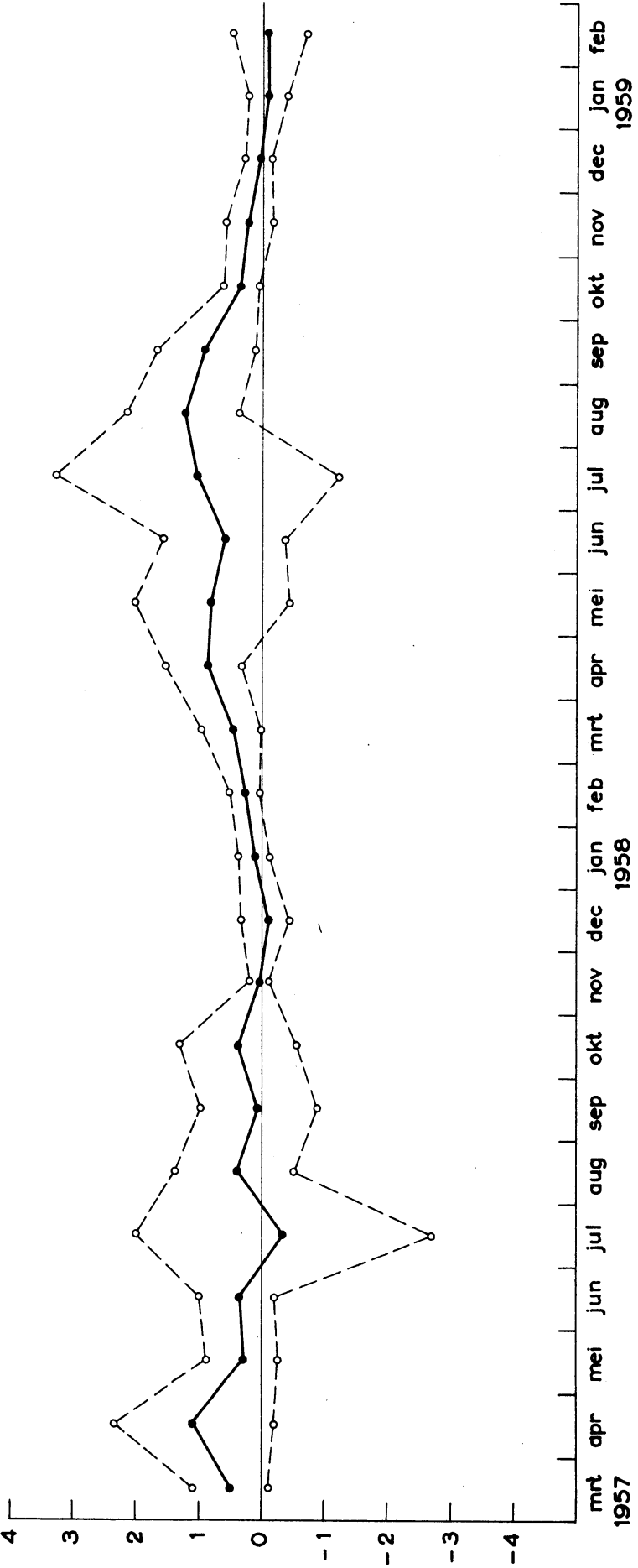


Fig. 4.3

V₂ 3 = T₂ - T₃

De Bilt

Bodemtemperatuur

Diepte :-25 cm

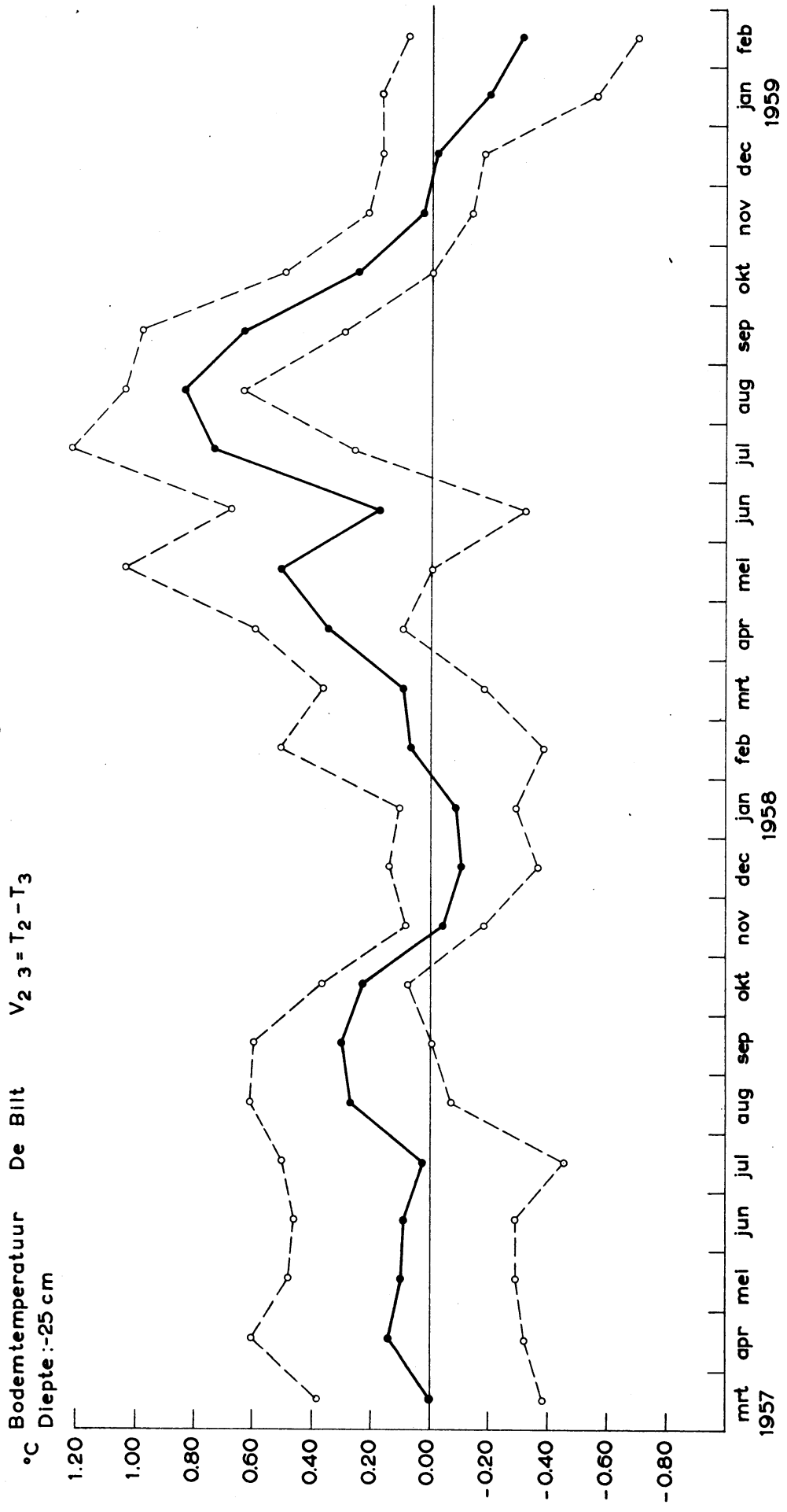


Fig. 4.4

Bodemtemperatuur De Bilt $V_{23} = T_2 - T_3$
Diepte: - 50 cm

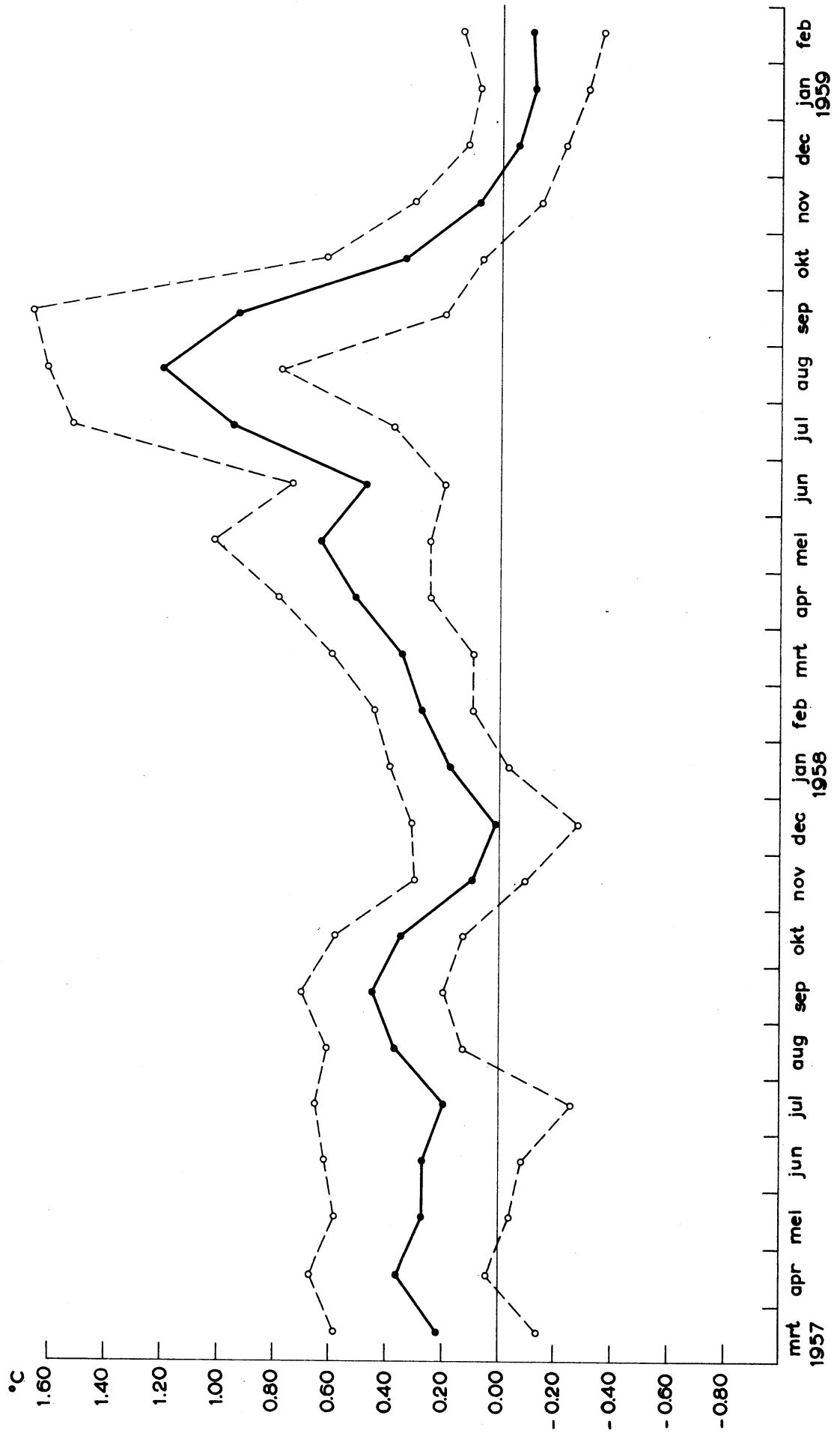


Fig. 4.5

Bodemtemperatuur De Bilt $V_{2,3} = T_2 - T_3$

°C Diepte: -75 cm

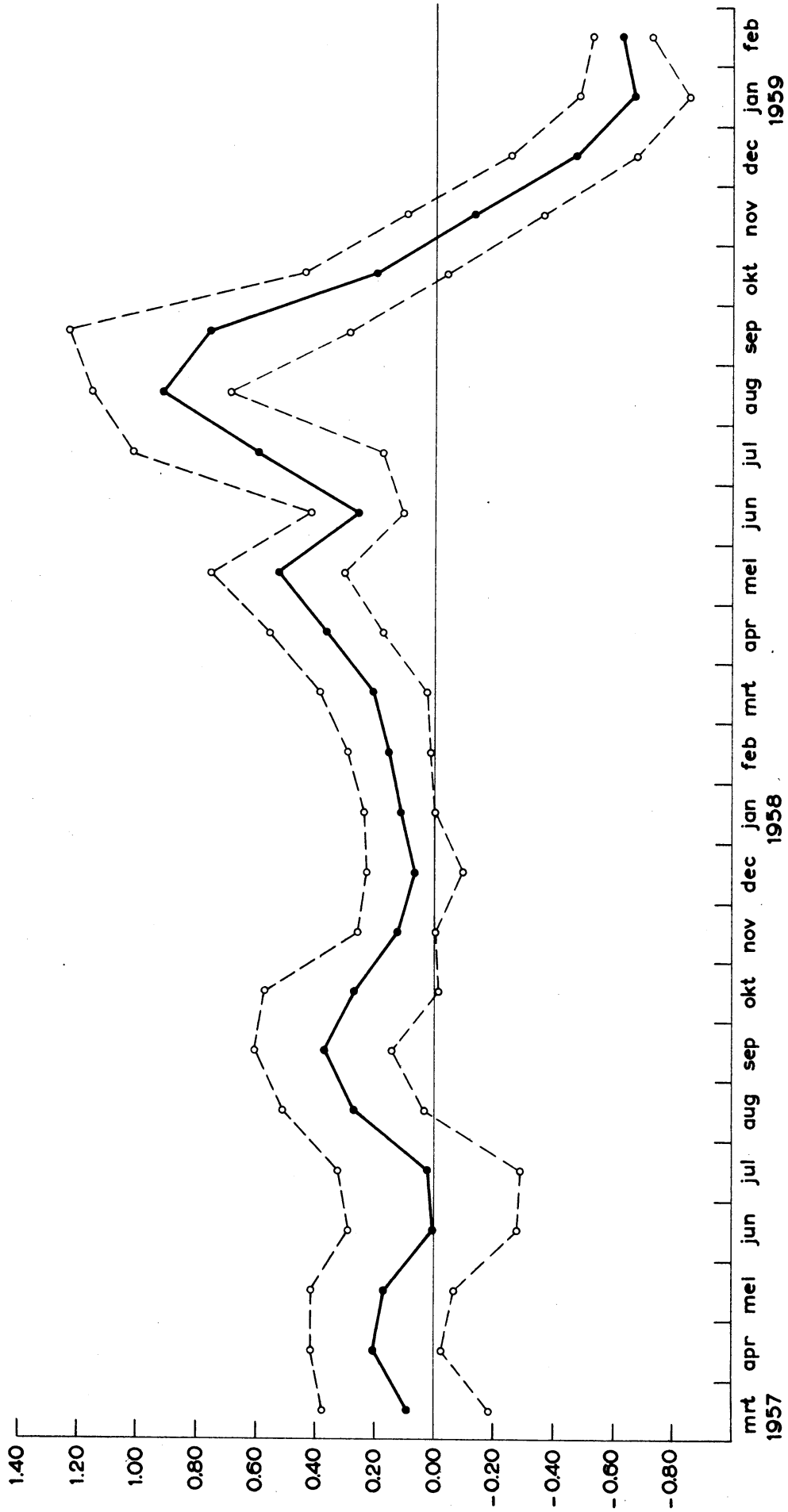


Fig. 4.6

Bodemtemperatuur De Bilt $V_{2.3} = T_2 - T_3$

°C Diepte: 100 cm

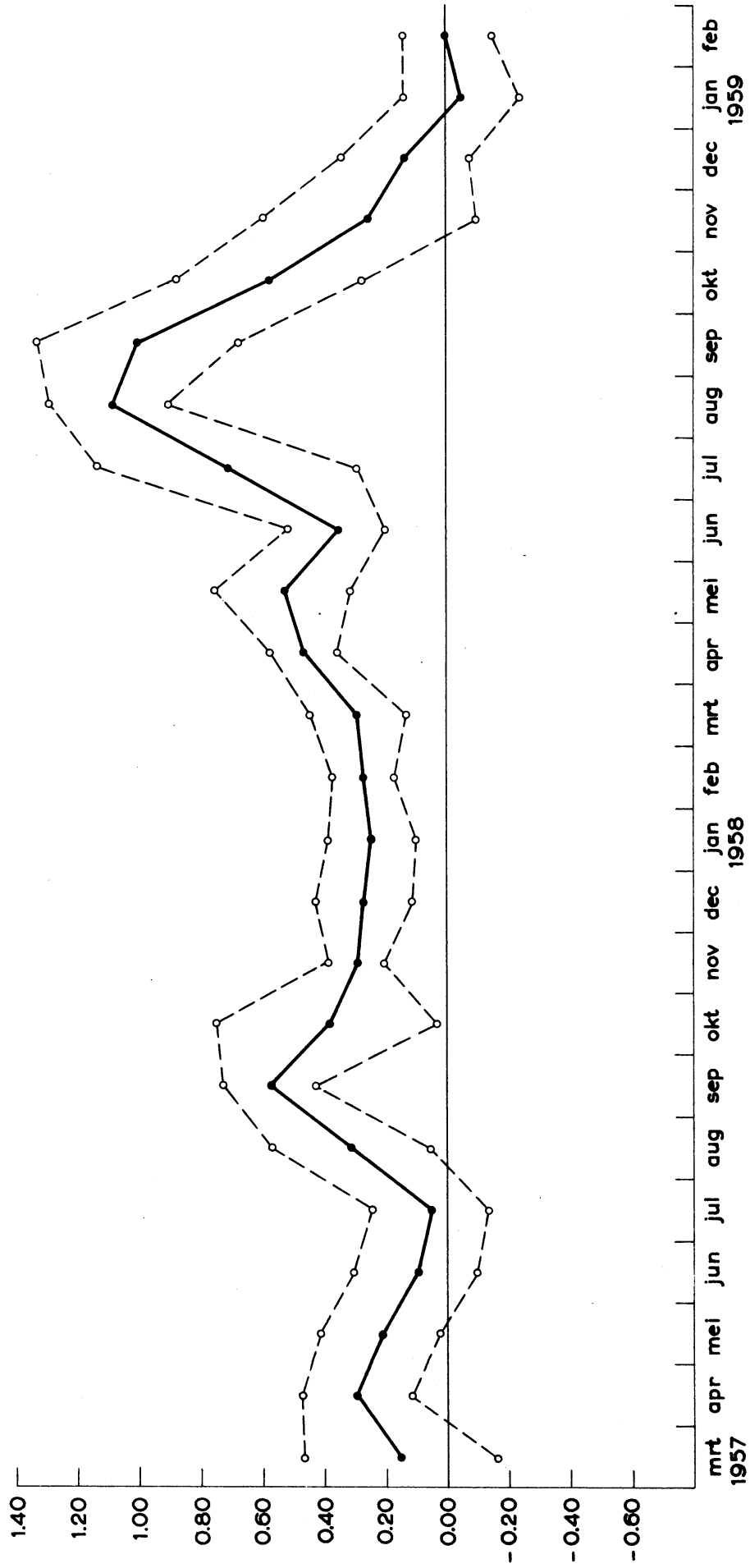


Fig. 5.1

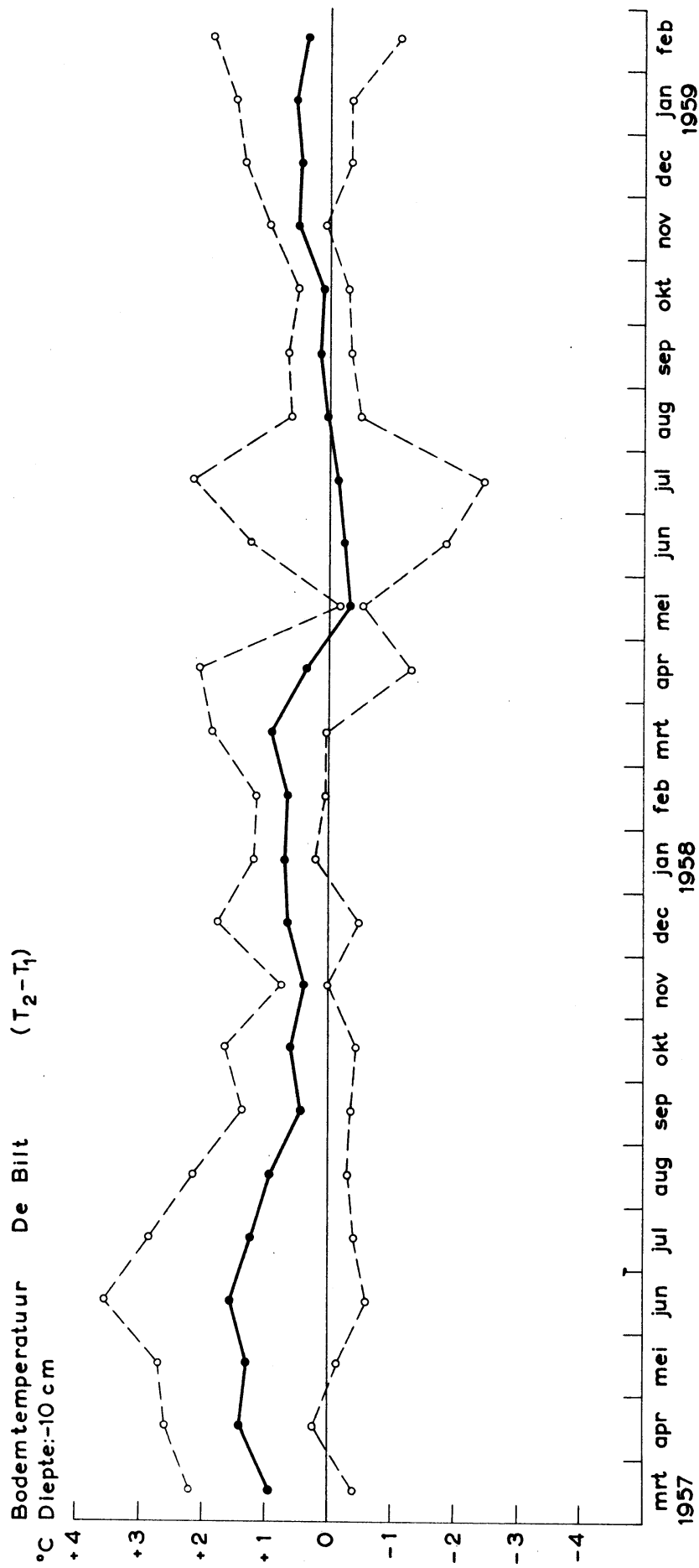


Fig. 5.2

Bodemtemperatuur De Bilt $V_{21} = T_2 - T_1$
°C Diepte: - 25 cm

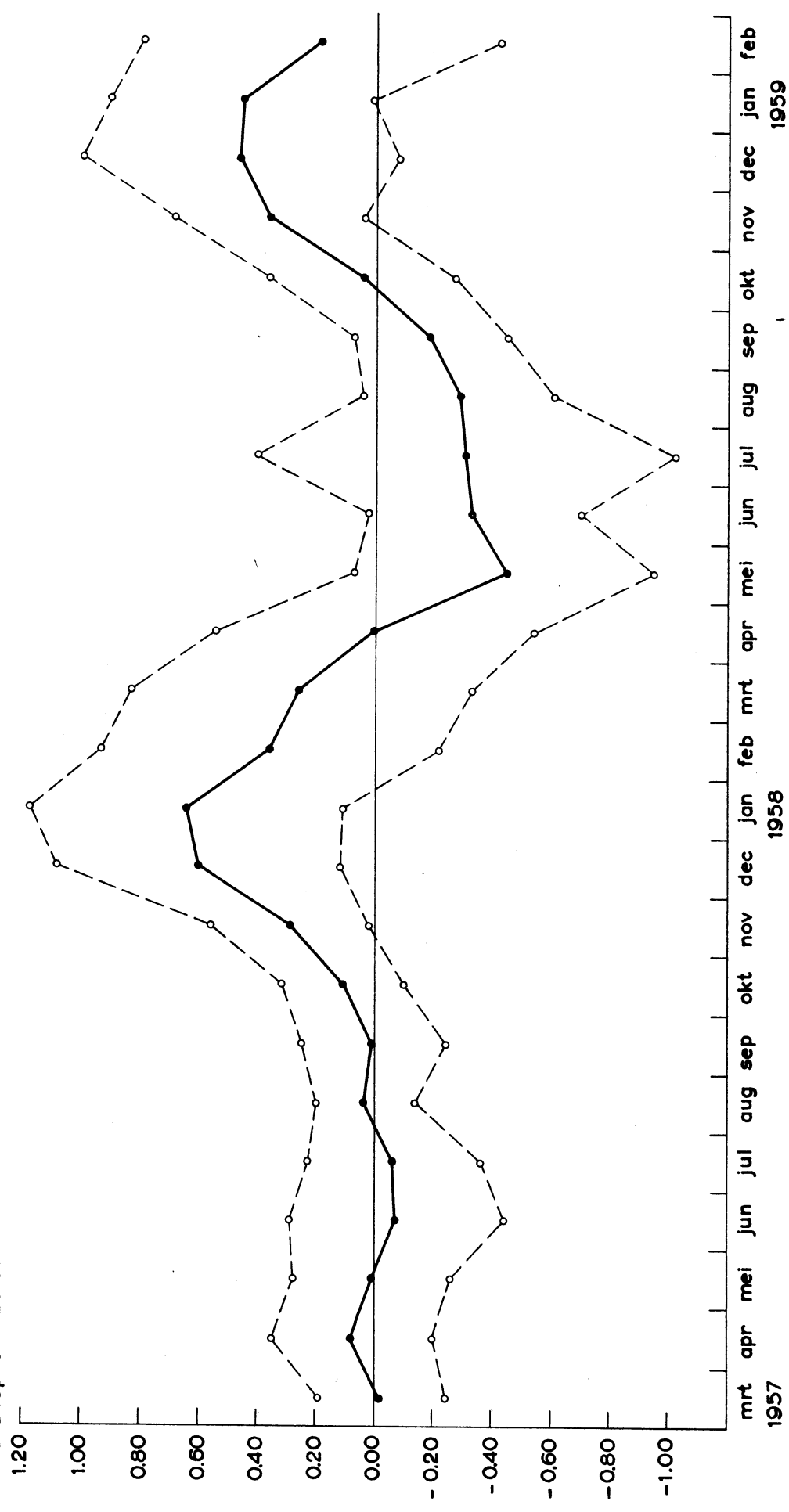


Fig. 5.3

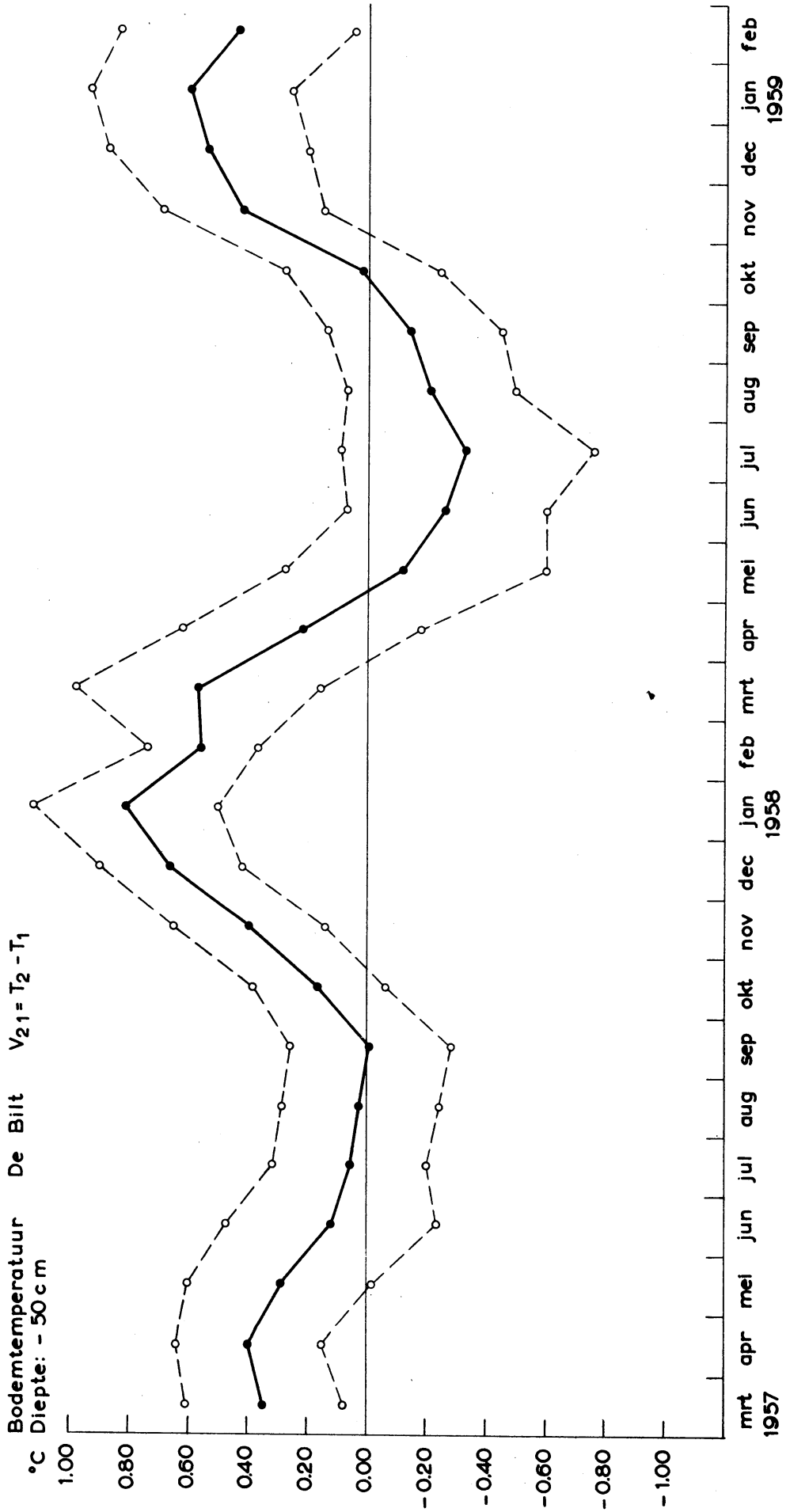


Fig. 5.4

Bodemtemperatuur De Bilt $V_{21} = T_2 - T_1$
°C Diepte: -75 cm

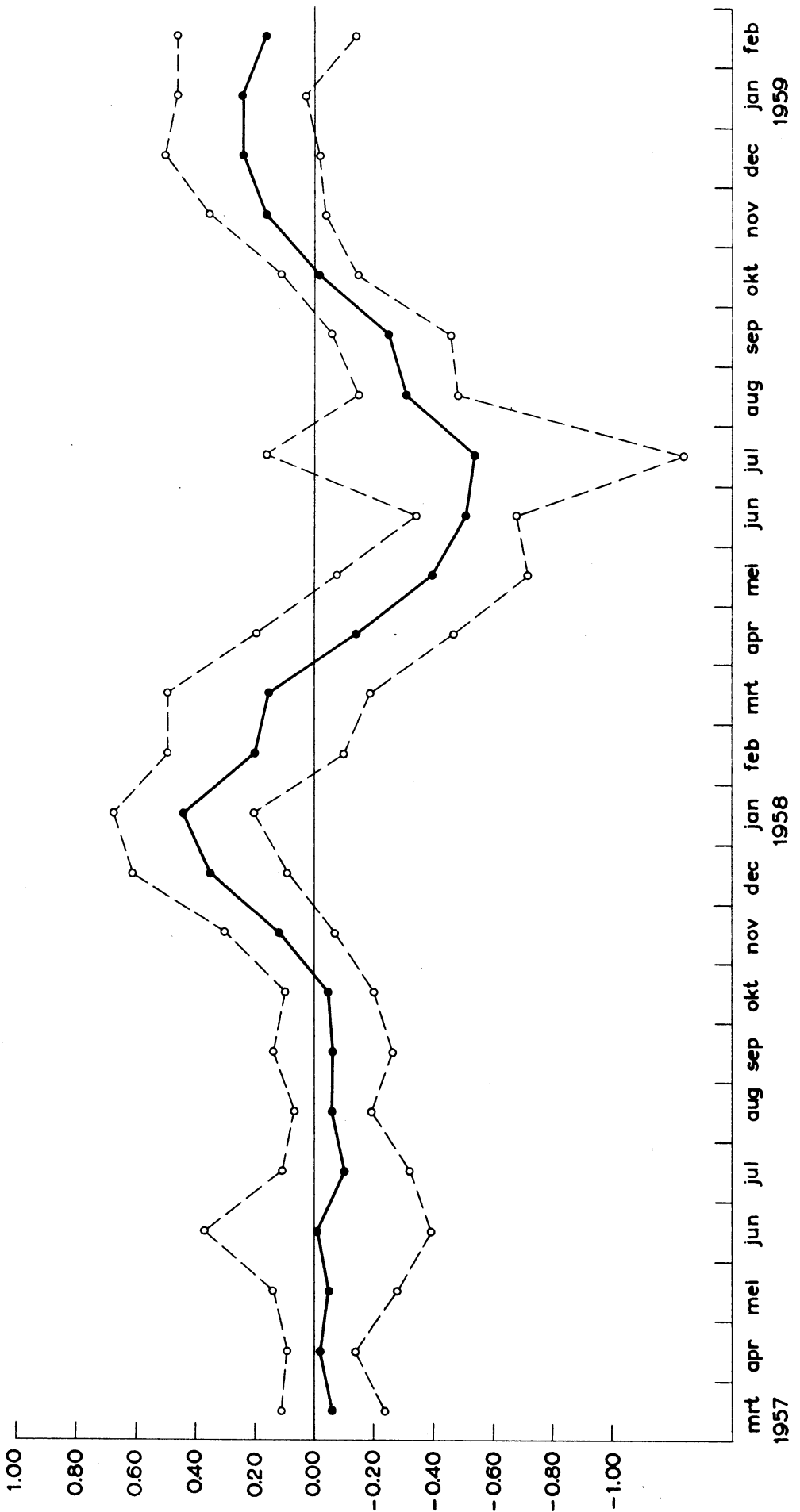


Fig. 5.5

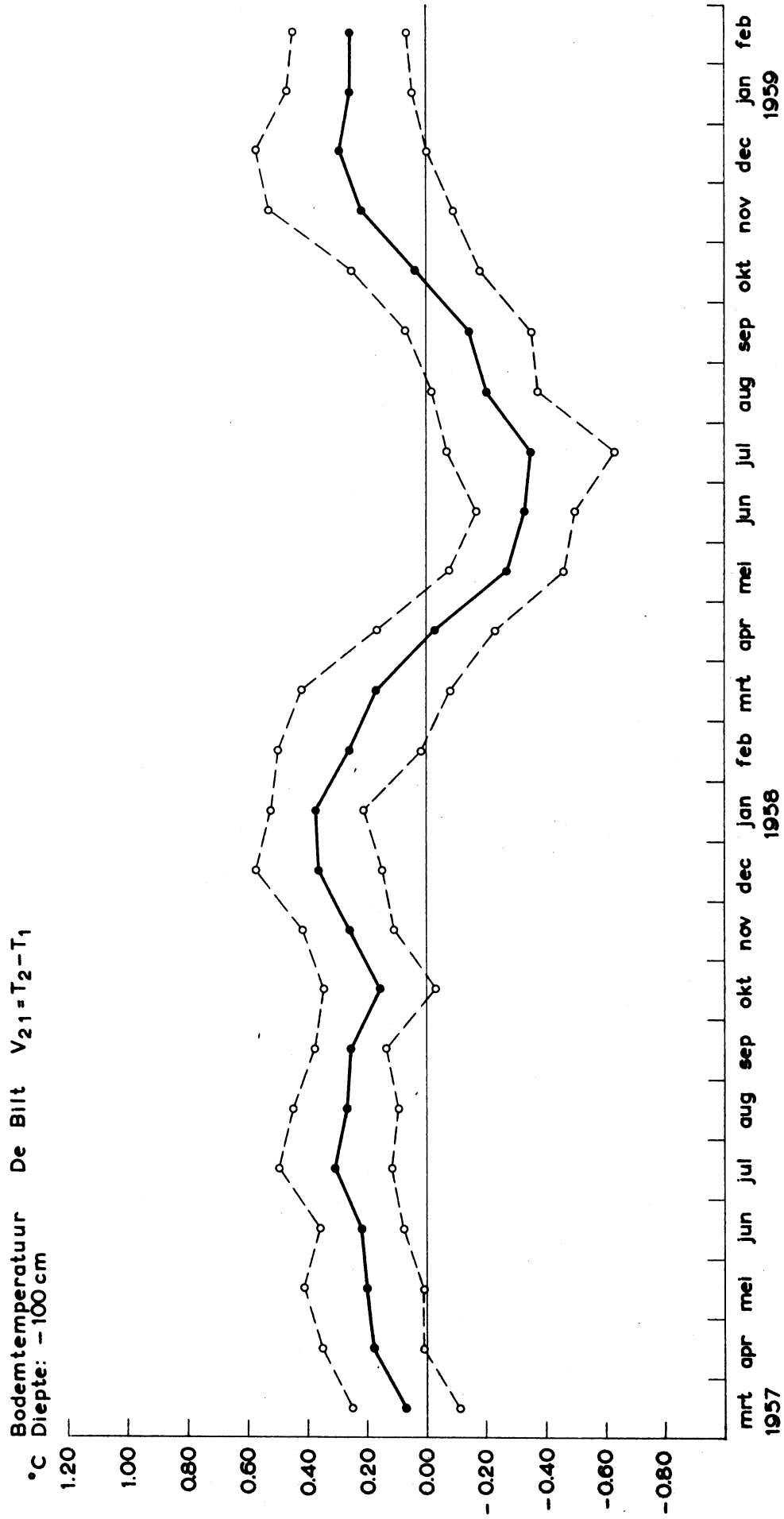


Fig. 6

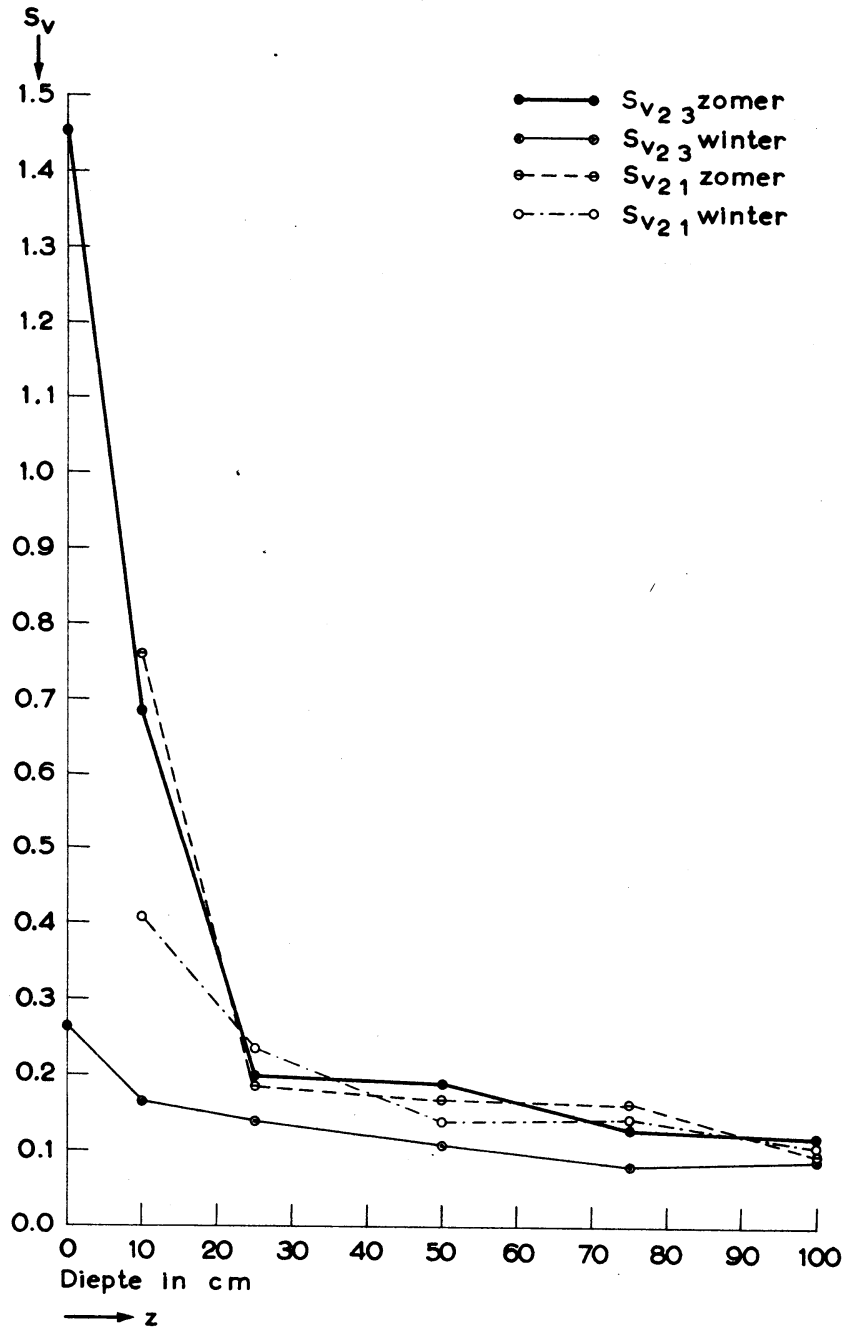


Fig. 7

