

21 JUNI 1966

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslagen V-179  
(R III-299-1966)

Vergelijkende metingen van de grondtemperatuur te De Bilt in 1961.

door

Dr. J.P.M. Woulenberg

De Bilt, 1966

Kon. Ned. Meteor. Inst.  
De Bilt

Vergelijkende metingen van de grondtemperatuur te De Bilt in 1961.

door

Dr. J.P.M.Woudenberg

551.525.2

1. Aanleiding tot het onderzoek.

Tot 1 januari 1961 werden de metingen van de grondtemperatuur met behulp van kwikthermometers op het waarnemingsterrein van het KNMI te De Bilt uitsluitend op 3, 10, 25, 50, 75 en 100 cm diepte verricht.

Teneinde de niveaus in overeenstemming te brengen met die welke door de WMO worden aanbevolen (zie Technical Regulations par. 3.1.3.1) en tevens de noodzakelijk geachte vervanging van de thermometers te realiseren, werd in december 1960 een tweede serie grondthermometers geplaatst op hetzelfde terrein ten westen van de oude opstelling op een afstand van ca 1,00 m (zie fig. 1). De middens van de vloeistofreservoirs van de thermometers in de nieuwe opstelling bevinden zich op 5, 10, 20, 50, 75 en 100 cm diepte.

Om te kunnen nagaan in hoeverre de reeksen gegevens van de oude en de nieuwe opstelling op elkaar aansluiten, is de oude opstelling niet verwijderd. Gedurende het gehele jaar zijn de thermometers van de beide opstellingen op de vastgestelde tijdstippen afgelezen.

De metingen in 1961 vonden op beide opstellingen steeds gelijktijdig plaats, d.w.z. die op 3 resp. 5 cm, 10, 20 resp. 25 cm diepte driemaal daags te 8.40, 14.40 en 19.40 uur M.E.T., die op 50, 75 en 100 cm diepte uitsluitend te 14.40 uur M.E.T.

(In het hiernavolgende zijn alle tijden in M.E.T. uitgedrukt).

2. Vroeger verricht onderzoek.

Reeds eerder waren vergelijkende metingen op het proefterrein van het KNMI te De Bilt uitgevoerd, n.l. in het tijdvak van maart 1957 tot maart 1959.

Deze geschieden toen in het kader van een onderzoek naar de representativiteit van een meetpost voor grondtemperaturen. Naast de vaste opstelling bevonden zich voor dezelfde diepten nog een tweede op ca 12 m ten NO en een derde opstelling op ca 90 m ten NNO van de vaste meetpost. Door Rijkooort (1961) is over de resultaten van deze metingen gerapporteerd. Hij kwam o.a. tot de volgende conclusies.

Op een onderlinge afstand van 12 m bleken incidenteel verschillen in temperatuur van 2 à 3 °C op 10 cm diepte en van ca 0,6 °C op 100 cm te kunnen voorkomen. Voorts bleek de waarde van de temperatuur op een afzonderlijk punt op een gegeven diepte enkele tienden °C te kunnen afwijken van het gebiedsgemiddelde, berekend uit de resultaten van de metingen op het genoemde drietal plaatsen op het proef-

terrein, met een onzekerheidsmarge van  $\pm 0,7$  °C op 10 cm, van  $\pm 0,22$  °C op 25, 50 en 75 cm en van  $\pm 0,16$  °C op 100 cm diepte.

Deze resultaten werden afgeleid uitsluitend uit de metingen te 14.40 uur.

Op zaterdag en zondag vonden toen geen metingen op de tijdelijk opstellingen plaats.

### 3. Resultaten van de metingen in 1961.

#### 3.1 Vergelijking van de decadegemiddelden op elk der termijnuren.

Teneinde een overzicht van de temperaturen op verschillende diepten op de twee meetplaatsen te verkrijgen zijn allereerst gemiddelden per decade voor ieder der drie termijnuren - voor zover metingen driemaaldaags plaats vonden - berekend. De gemiddelde waarden per decade zijn in tabel 1 opgenomen.

Voorts zijn voor iedere decade de verschillen  $\bar{V}_d$  in gemiddelde temperatuur op gelijke diepten op de oude ( $T_{o_d}$ ) en de nieuwe meetplaats ( $T_{n_d}$ ) berekend. In fig. 2 zijn de gemiddelde waarden  $\bar{V}_d$  voor 10 cm diepte te 8.40, 14.40 en 19.40 uur, in fig. 3 de gemiddelde waarden  $\bar{V}_d$  op 50, 75 en 100 cm diepte te 14.40 uur grafisch weergegeven. Naar aanleiding van tabel 1 en fig. 2 en 3 kan het volgende worden opgemerkt.

Op grond van het feit, dat bij een positieve warmtebalans van het aardoppervlak een warmtegolf zich van dat oppervlak naar diepere lagen voortplant, waarbij een fasevertraging en een amplitudovermindering optreedt, moet worden verwacht, dat zeker in de zomer te 8.40 uur de temperatuur op 3 cm diepte hoger is dan die op 5 cm diepte. Van mei II t/m augustus II en ook in september III blijkt de gemiddelde temperatuur op 3 cm meer dan  $0,2$  °C lager te zijn dan op 5 cm diepte, terwijl in de overige decaden de afwijkingen van weinig of geen betekenis zijn.

Dit wijst vermoedelijk op verschillen in samenstelling van de grond en/of verschillen in de grasbegroeiing. Bij het ontbreken van gegevens hiervoor kan geen nadere conclusie uit de verkregen gegevens worden getrokken. Om 19.40 uur blijken de verschillen, op een tweetal uitzonderingen na, steeds kleiner dan  $0,2$  °C te zijn. Het is voorts in ons klimaat, waarin de dagelijkse gang van de temperatuur vaak afwijkt van de normale niet verwonderlijk, mede gelet op hetgeen hiervoor werd opgemerkt, dat geen regelmatig beeld van de verschillen in gemiddelde temperatuur op de twee diepten van 3 en 5 cm wordt verkregen.

Tabel 1. Gemiddelde grondtemperaturen (°C) per decade te De Bilt in 1961.

decade	3(0) en 5(N) cm.						10 cm.					
	8.40 u		14.40 u		19.40 u		8.40 u		14.40 u		19.40 u	
	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N
jan. I	3,4	3,5	4,3	4,4	3,8	3,9	3,7	3,6	4,1	4,2	4,1	4,0
II	1,2	1,3	1,7	1,7	1,5	1,5	1,8	1,6	1,9	1,8	1,9	1,8
III	0,9	1,0	1,2	1,3	1,3	1,3	1,0	1,1	1,1	1,3	1,2	1,4
feb. I	3,5	3,4	4,6	4,5	4,4	4,3	3,6	3,5	4,1	4,2	4,4	4,3
II	5,3	5,2	7,8	7,6	7,4	7,2	5,8	5,5	6,6	7,0	7,2	7,2
III	5,6	5,6	7,5	7,4	7,4	7,3	6,0	5,8	6,9	7,1	7,2	7,3
mrt. I	4,9	4,7	8,2	8,2	7,9	7,6	5,6	5,2	6,7	7,5	7,6	7,7
II	6,5	6,4	9,1	9,2	8,7	8,6	7,1	6,7	8,1	8,6	8,6	8,7
III	5,8	5,9	9,6	9,7	8,4	8,4	6,2	6,1	8,0	8,8	8,3	8,5
apr. I	8,3	8,4	11,8	11,8	10,8	10,8	8,5	8,5	10,1	10,9	10,7	10,8
II	10,6	10,8	14,0	14,0	13,2	13,3	10,8	10,8	12,3	13,0	12,9	13,2
III	11,3	11,4	14,0	14,1	13,5	13,6	11,5	11,6	12,8	13,4	13,3	13,6
mei. I	12,5	12,7	16,2	16,3	14,8	14,9	12,4	12,5	14,3	15,5	14,7	15,1
II	12,3	12,7	16,6	16,9	15,5	15,6	12,4	12,7	14,9	16,2	15,4	15,9
III	11,4	11,8	16,1	16,0	14,9	15,0	11,7	11,8	14,4	15,3	14,8	15,3
jun. I	14,8	15,3	19,9	20,1	18,5	18,6	14,6	14,9	17,5	18,8	18,0	18,5
II	14,4	15,0	18,9	19,4	18,3	18,5	14,8	14,9	17,1	18,3	17,9	18,7
III	16,7	17,3	23,3	23,8	21,8	21,7	16,8	16,9	20,3	21,8	21,2	21,8
jul. I	16,7	17,3	21,4	21,5	20,3	20,3	17,1	17,1	19,7	20,3	20,1	20,4
II	15,2	15,7	18,5	18,8	17,9	17,9	15,6	15,7	17,2	17,8	17,8	18,0
III	15,7	16,0	19,6	19,5	18,8	18,7	16,0	16,0	17,9	18,7	18,5	18,8
aug. I	16,0	16,3	20,0	19,8	18,9	18,8	16,5	16,4	18,4	18,9	18,8	18,9
II	14,9	15,2	18,2	18,2	17,2	17,3	15,3	15,4	17,1	17,5	17,3	17,5
III	16,1	16,2	19,8	19,7	18,9	18,8	16,3	16,3	18,3	18,6	18,8	18,8
sep. I	16,8	16,8	20,6	20,7	19,0	19,0	17,2	17,0	19,3	19,6	19,3	19,3
II	15,6	15,7	19,8	19,6	18,4	18,4	15,9	15,8	18,0	18,5	18,4	18,5
III	15,5	15,8	19,1	18,6	17,6	17,6	16,0	15,9	17,6	17,8	17,9	17,8
okt. I	14,3	14,5	16,6	16,2	15,7	15,6	14,8	14,7	15,7	15,8	15,9	15,9
II	9,9	10,0	12,8	12,7	11,4	11,3	10,6	10,6	12,1	12,3	12,1	12,0
III	8,6	8,8	11,9	11,7	10,2	10,2	9,1	9,1	10,8	11,1	10,6	10,6
nov. I	6,1	6,2	8,2	8,1	7,0	7,0	6,9	6,8	7,9	8,0	7,7	7,6
II	5,0	5,1	6,5	6,5	5,8	5,8	5,7	5,6	6,4	6,4	6,2	6,1
III	2,4	2,4	3,4	3,9	3,7	3,7	3,2	2,8	3,5	3,7	3,9	3,9
dec. I	4,6	4,6	5,2	5,3	5,9	5,9	5,1	4,9	5,3	5,2	5,3	5,1
II	3,7	3,9	4,0	4,1	3,5	3,6	4,4	4,2	4,3	4,2	4,1	4,0
III	-2,0	-1,8	-1,1	-0,8	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9

Tabel 1 (vervolg)

decade	20(N) en 25(O) cm						50 cm		75 cm		100 cm	
	8.40 u		14.40 u		19.40 u		14.40 u		14.40 u		14.40 u	
	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N
jan. I	4,2	4,0	4,3	4,1	4,3	4,2	5,1	5,3	5,8	6,1	6,6	6,4
II	2,8	2,4	2,9	2,4	2,9	2,5	4,2	4,4	5,3	5,4	6,1	5,9
III	1,8	1,6	1,9	1,7	1,8	1,8	2,9	3,2	4,1	4,2	5,0	4,8
feb. I	4,0	3,7	4,0	3,8	4,1	4,1	4,4	4,5	4,8	4,9	5,2	5,1
II	6,1	5,9	6,2	6,1	6,6	6,8	6,2	6,3	6,2	6,3	6,4	6,1
III	6,5	6,3	6,4	6,4	6,8	7,0	6,6	6,7	6,6	6,8	6,9	6,6
mrt. I	6,2	5,9	6,4	6,3	6,9	7,2	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,0
II	7,7	7,4	7,7	7,8	8,1	8,4	7,8	7,9	7,7	7,7	7,8	7,5
III	6,9	6,8	7,2	7,4	7,7	8,0	7,4	7,5	7,5	7,6	7,7	7,6
apr. I	9,0	8,9	9,1	9,4	9,7	10,1	8,9	9,0	8,6	8,5	8,5	8,4
II	11,1	11,1	11,2	11,6	11,6	12,3	10,6	10,8	10,0	10,1	9,7	9,6
III	11,7	11,7	11,9	12,2	12,3	12,9	11,4	11,5	10,8	10,9	10,5	10,4
mei. I	12,8	12,6	12,9	13,5	13,4	14,2	12,3	12,5	11,6	11,8	11,3	11,2
II	12,9	13,0	13,3	14,1	14,0	14,9	12,8	13,0	12,2	12,4	11,9	11,9
III	12,7	12,4	13,0	13,6	13,5	14,3	12,7	12,8	12,4	12,5	12,2	12,1
jun. I	14,8	14,9	15,2	16,3	15,8	17,2	14,1	14,4	13,4	13,5	12,9	12,9
II	15,3	15,2	15,7	16,3	16,3	17,5	15,0	15,2	14,4	14,5	13,9	13,8
III	17,1	17,0	17,6	18,8	18,5	20,1	16,4	16,7	15,5	15,6	14,8	14,8
jul. I	17,7	17,6	17,8	18,5	18,5	19,3	17,2	17,2	16,4	16,4	15,3	15,6
II	16,2	16,0	16,3	16,4	16,7	17,3	16,0	16,0	15,6	15,6	15,1	15,1
III	16,5	16,3	16,6	17,2	17,2	17,9	16,2	16,3	15,7	15,8	15,3	15,2
aug. I	16,9	16,7	17,1	17,4	17,6	18,2	16,7	16,7	16,1	16,2	15,7	15,6
II	15,9	15,7	16,2	16,5	16,5	17,0	16,0	16,1	15,8	15,9	15,6	15,4
III	16,7	16,5	16,8	17,2	17,4	18,0	16,3	16,3	15,8	15,8	15,4	15,4
sep. I	17,7	17,5	17,8	18,1	18,3	18,8	17,5	17,5	17,0	17,0	16,5	16,4
II	16,4	16,2	16,7	17,0	17,3	17,8	16,3	16,4	16,0	16,0	15,8	15,7
III	16,7	16,4	16,8	16,9	17,2	17,4	16,7	16,7	16,4	16,4	16,1	16,0
okt. I	15,4	15,1	15,4	15,3	15,7	15,8	15,6	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5
II	12,1	11,5	12,2	12,0	12,4	12,4	13,2	13,2	13,9	14,0	14,3	14,1
III	10,4	9,9	10,5	10,4	10,9	10,9	11,5	11,5	12,1	12,2	12,7	12,6
nov. I	8,3	7,8	8,4	8,0	8,5	8,2	9,7	9,8	10,7	10,9	11,6	11,4
II	6,9	6,6	6,9	6,6	6,9	6,8	8,1	8,3	9,2	9,3	10,1	9,9
III	4,4	3,7	4,4	3,9	4,6	4,2	6,0	6,2	7,4	7,6	8,6	8,4
dec. I	5,9	5,5	5,9	5,5	5,9	5,6	6,8	6,9	7,5	7,6	8,3	8,1
II	5,3	4,8	5,2	4,8	5,2	4,8	6,4	6,5	7,1	7,2	7,8	7,7
III	0,7	0,1	0,7	0,2	0,6	0,2	2,8	3,1	4,3	4,5	5,6	5,4

Fig. 2 laat zien, dat de waarden van  $\bar{V}_d$  op 10 cm diepte in de lente en de zomer vrij groot zijn, vooral te 14.40 uur doch ook dat de spreiding in de  $\bar{V}_d$ -waarden groot is. Zulks was eveneens geconstateerd door Rijkooft bij zijn onderzoek in de jaren 1957 en 1958 (zie Rijkooft, 1961). Voorts is uit fig. 2 af te lezen, dat de verschillen  $\bar{V}_d$  te 14.40 uur behalve in de maanden januari en december steeds negatief zijn, d.w.z. op de nieuwe meetplaats zijn de temperaturen te 14.40 uur gemiddeld steeds hoger dan die op de oude meetplaats. Te 19.40 uur is dit eveneens het geval in de maanden maart t/m augustus. Dit is in overeenstemming met hetgeen Rijkooft bij diens bovenvermelde onderzoek vond in 1957, doch niet in de maanden mei t/m juli 1958.

In de verschillen  $\bar{V}_d$  te 14.40 uur en 19.40 uur valt in fig. 2 duidelijk een jaarlijkse gang waar te nemen. Voor de waarden  $\bar{V}_d$  te 8.40 uur is dat veel minder duidelijk. Bij slechts één jaar gegevens is dit moeilijk te toetsen.

Ook op grotere diepten bleken in de loop van het jaar verschillen te blijven bestaan, alhoewel deze meest slechts gering waren.

De verschillen dienen als systematisch te worden gekenmerkt. Indien deze reëel zijn, zou dit kunnen wijzen op verschillen in thermische eigenschappen van de grond op de twee meetplaatsen. Daarnaast kan men zich afvragen, in hoeverre de meetapparatuur van invloed is geweest op de gemeten waarden van de temperatuur. Het contact tussen de gronddeeltjes en de thermometer kan verschillend zijn geweest bij de beide opstellingen. Om hierover evenwel een uitspraak te kunnen doen, zou een uitgebreider onderzoek vereist zijn.

Opvallend is, dat de waarde van  $\bar{V}_d$  voor 10 cm diepte te 14.40 uur in de eerste decade van juli veel kleiner is dan de hoogste waarde, die in de derde decade van juni werd bereikt. Dit hangt waarschijnlijk samen met het abrupte einde van een korte periode met zomerse en tropische dagen van 28 juni tot 2 juli. Dit verschijnsel wijst er wel op, dat de geconstateerde verschillen in temperatuur in belangrijke mate aan verschillen in omstandigheden in het grondpakket op de beide plaatsen moeten worden toegeschreven. Hierbij denken wij in het bijzonder aan het vochtgehalte. In 1961 kwamen afwisselend droge en natte tijdvakken voor, zodat mag worden aangenomen, dat het vochtgehalte van de grond in de zomer sterk naar de plaats en de tijd varieerde. Ter illustratie beschouwen wij fig. 4, waarin de dagelijkse waarden  $V_t = T_{o,t} - T_{n,t}$  te 14.40 uur voor 10 cm diepte zijn uitgezet voor de maanden mei en juni 1961. In deze maanden was de beschouwde temperatuur op de oude meetplaats steeds lager dan die op de nieuwe plaats. De waarden  $V_t$  waren in het algemeen het kleinst op dagen met een geringe dagelijkse gang van de luchttemperatuur. Dit was b.v. het geval op 19, 26 en 31 mei, alsmede op 2, 3, 12 en 18 juni toen de zon geheel verstek liet gaan.

De waarden van  $V_t$  waren het grootst op zeer zonnige dagen, zoals op 12, 13 en 22 mei,

4, 5, 6, 15, 19, 23, 29 en 30 juni.

Tussen de gemiddelde temperaturen op overeenkomstige diepten te 14.40 uur bleken gedurende het gehele jaar verschillen te bestaan zoals reeds was aangetoond door tabel 1 en de figuren 2 en 3. In fig. 5 zijn de gemiddelde temperaturen te 14.40 uur van de eerste decade van iedere maand als functie van de diepte uitgezet. De variaties van de  $\bar{V}_d$ -waarden, zowel naar de diepte als de tijd, komen daarin duidelijk naar voren.

Tabel 2. Gemiddelde overdagwaarden van de grondtemperatuur (in °C) op 3, 5, 10, 20 en 25 cm diepte in de nieuwe (N) en de oude opstelling (O) per decade in 1961.

mnd.	dec	3	5	10 <sub>N</sub>	10 <sub>O</sub>	20 <sub>N</sub>	25 <sub>O</sub>	mnd.	dec	3	5	10 <sub>N</sub>	10 <sub>O</sub>	20 <sub>N</sub>	25 <sub>O</sub>
jan.	I	3,8	3,9	3,9	4,0	4,1	4,3	jul	I	19,5	19,7	19,3	19,0	18,4	18,0
	II	1,5	1,5	1,8	1,9	2,8	2,9		II	17,3	17,5	17,2	16,9	16,6	16,4
	III	1,1	1,2	1,3	1,1	1,7	1,8		III	18,0	18,1	17,8	17,5	17,1	16,8
feb.	I	4,2	4,1	4,0	4,1	3,9	4,1	aug	I	18,3	18,3	18,1	17,9	17,4	17,2
	II	6,9	6,7	6,6	6,5	6,3	6,6		II	16,8	16,9	16,8	16,6	16,4	16,2
	III	6,8	6,8	6,7	6,7	6,6	6,6		III	18,3	18,2	17,9	17,8	17,2	17,0
mrt.	I	7,0	6,8	6,8	6,6	6,5	6,5	sep	I	18,8	18,8	18,6	18,6	18,1	17,9
	II	8,1	8,1	8,0	7,9	7,9	7,8		II	17,9	17,9	17,6	17,4	17,0	16,8
	III	7,9	8,0	7,8	7,5	7,4	7,3		III	17,4	17,3	17,2	17,2	16,9	16,9
apr.	I	10,3	10,3	10,1	9,8	9,5	9,3	okt	I	15,5	15,4	15,5	15,5	15,4	15,5
	II	12,6	12,7	12,3	12,0	11,7	11,3		II	11,4	11,3	11,6	11,6	12,0	12,2
	III	12,9	13,0	12,9	12,5	12,3	12,0		III	10,2	10,2	10,3	10,2	10,4	10,6
mei	I	14,5	14,6	14,4	13,8	13,4	13,0	nov	I	7,1	7,1	7,5	7,5	8,0	8,4
	II	14,8	15,1	14,9	14,2	14,0	13,4		II	5,8	5,8	6,0	6,1	6,7	6,9
	III	14,1	14,3	14,1	13,6	13,4	13,1		III	3,2	3,3	3,5	3,5	3,9	4,4
jun.	I	17,7	18,0	17,4	16,7	16,1	15,3	dec	I	5,2	5,3	5,1	5,2	5,5	5,9
	II	17,2	17,6	17,3	16,6	16,3	15,8		II	3,7	3,9	4,1	4,3	4,8	5,2
	III	20,6	20,9	20,2	19,5	18,6	17,8		III	-1,5	-1,3	-1,0	-0,9	0,2	0,7

### 3.2 Vergelijking van de gemiddelde overdagwaarden per decade.

Voor de diepten, waar de aflezing van de grondthermometers driemaal per dag plaats vond, zijn de gemiddelde overdagwaarden van de temperatuur per decade berekend en in tabel 2 opgenomen.

Uit deze gegevens kan allereerst worden afgeleid, dat de gemiddelde overdag-temperatuur op 5 cm diepte op de nieuwe meetplaats in 29 van de 36 decaden gemiddeld gelijk aan of hoger was dan die op 3 cm op de oude meetplaats. Van de tweede decade van maart tot en met de tweede decade van augustus was dit steeds het geval.

Op 10 cm diepte was de temperatuur op de nieuwe meetplaats in het voorjaar en de zomer gemiddeld hoger dan die op de oude plaats.

Op 20 cm diepte op de nieuwe meetplaats was de gemiddelde temperatuur in het voorjaar en in de zomer hoger dan die op 25 cm op de oude plaats. In het late najaar en in de winter was het omgekeerde het geval.

### 3.3. Vergelijking van de jaargemiddelden.

Tenslotte zijn ook de jaargemiddelden van de grondtemperatuur op de verschillende diepten berekend. Tot een diepte van 25 cm is zulks geschied uit de driemaaldaagse waarnemingen te 8.40, 14.40 en 19.40 uur. De aldus verkregen jaargemiddelden zijn in tabel 3 ondergebracht. De jaargemiddelden van de temperatuur te 14.40 uur op 50, 75 en 100 cm diepte zijn verzameld in tabel 4.

Tabel 3. Jaargemiddelden van de gemiddelde overdag-waarden van de grondtemperatuur op 3, 5, 10, 20 en 25 cm diepte te De Bilt in 1961.

Diepte (cm)	Temperatuur (°C)	
	O	N
3	11,3	-
5	-	11,3
10	10,9	11,2
20	-	10,9
25	10,9	-

Tabel 4. Jaargemiddelden van de grondtemperatuur te 14.40 uur op 50, 75 en 100 cm diepte te De Bilt in 1961.

Diepte (cm)	Temperatuur	
	O	N
3	12,5	-
5	-	12,5
10	11,4	11,9
20	-	10,9
25	10,8	-
50	10,9	11,1
75	11,0	11,1
100	11,1	11,0

Uit de tabellen 3 en 4 kan het volgende worden afgeleid. Waar op beide plaatsen op dezelfde diepte werd gemeten blijken de jaargemiddelden niet volkomen gelijk te zijn. Op de nieuwe meetplaats is het jaargemiddelde overal iets hoger, behalve op 100 cm diepte, waar dit 0,1 °C lager is. De jaargemiddelden op 3 en 5 cm diepte blijken gelijk te zijn.



3. Nadere analyse van de verschillen in temperatuur op de twee meetplaatsen.

Uit tabel 1 en de fig. 2 en 3 hadden wij reeds afgeleid, dat er voor diepten tot 25 cm althans voor enige der termijnuren een jaarlijkse gang in de verschillen tussen de temperaturen op overeenkomstige diepten bestaat. Wij zullen hiervan afzien bij een eerste analyse en ons afvragen in hoeverre de gemiddelde waarden  $\bar{V}_m$  van de verschillen in grondtemperatuur op de twee plaatsen per maand een verdeling hebben met gemiddelde nul.

Hiertoe passen wij de t-toets van Student toe op de reeksen van maandgemiddelden  $\bar{V}_m$  voor 10 cm en 20-25 cm voor elk der termijnuren en voor 50, 75 en 100 cm voor het middaguur. In tabel 5 zijn de resultaten van de berekeningen opgenomen. Er is hierbij een betrouwbaarheidsdrempel van 5% aangehouden.

Tabel 5. Toetsing van de significantie van de verschillen  $\bar{V}_m$  in gemiddelde maandtemperatuur op gelijke diepten.

diepte (cm)	10			20/25			50	75	100
tijdstip (uur)	8.40	14.40	19.40	8.40	14.40	19.40	14.40	14.40	14.40
+ = significant verschil	—	+	—	+	—	+	+	+	+

De gemiddelde verschillen  $\bar{V}_m$  wijken blijkens tabel 5 in de meeste gevallen significant van nul af. De tegenovergestelde uitkomsten voor de diepten 10 en 20/25 cm zijn toe te schrijven aan het feit, dat de temperatuur op 20 cm niet zonder meer met die op 25 cm vergeleken kan worden vanwege verschillen in fase en amplitudo van de temperatuurgolf. Overigens wijzen de uitkomsten op de genoemde diepten op een verschillende dagelijkse gang van de temperatuur.

Voor wat betreft de gegevens te 14.40 uur op 10, 50, 75 en 100 cm diepten kan worden opgemerkt, dat de gemiddelde waarden  $\bar{V}_m$  significant van nul verschillen, zodat hieruit mag worden geconcludeerd tot verschillende omstandigheden in het bodemprofiel van de twee meetplaatsen.

Wij zullen voorts nader ingaan op de toevallige variaties in de waarden van  $V_t$ , derhalve in de reeksen van waargenomen verschillen op elk termijnuur voor elke maand afzonderlijk. (Voor een statistische analyse van de gegevens per decade is het aantal gegevens onvoldoende geacht). De standaard-deviatie van het universum van dagwaarden der temperatuurverschillen  $V_t$  per termijnuur werd geschat door

$$s_v = \sqrt{\frac{\sum (v_t - \bar{V}_m)^2}{n - 1}}$$

waarin n = het aantal dagen van de maand.

Dit is in de eerste plaats geschied voor die gevallen, waar op beide plaatsen op dezelfde diepten werd gemeten, d.w.z. op 10, 50, 75 en 100 cm. Ondanks de reeds boven gesignaleerde bezwaren is dit ook gedaan voor de waarden  $V_t = T_{25} - T_{20}$

De waarden  $S_v$  zijn in fig. 6 grafisch voorgesteld. In de loop van het jaar blijken deze waarden nogal te variëren. Voor alle in fig. 6 weergegeven gevallen is nagegaan, in hoeverre er van een jaarlijkse gang sprake is. Hiertoe is de toets van Hartley gebezigd. Deze toets vereist de kennis van het quotient

$$F = \frac{S_v^2 \text{ max}}{S_v^2 \text{ min}}$$

Voor de verschillende gevallen vinden we voor  $F$  de volgende waarden:

10	cm, 8.40 uur	: 11,4
10	cm, 14.40 uur	: 15,4
10	cm, 19.40 uur	: 5,4
25/20	cm, 8.40 uur	: 4,5
25/20	cm, 14.40 uur	: 11,4
25/20	cm, 19.40 uur	: 16,5
50	cm, 14.40 uur	: 3,6
75	cm, 14.40 uur	: 3,5
100	cm, 14.40 uur	: 8,8

Wij dienen echter rekening te houden met het feit, dat de 30 of 31 waarden per maand niet onafhankelijk van elkaar zijn. Het aantal graden van vrijheid is derhalve kleiner dan ca 30. Om een schatting te maken van het effectieve aantal onafhankelijke verschillen  $N_e$  zijn voor enige gevallen autocorrelatiecoëfficiënten berekend. In de zomer blijken deze het grootst, in de winter het kleinst te zijn. Gemiddeld kunnen wij  $N_e = 10$  stellen bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%. Hierbij behoort een kritieke waarde van  $F = 9,34$ .

Hieruit kan worden geconcludeerd, dat alleen in de gevallen 10 cm, 8.40 en 14.40 uur en 25/20 cm, 14.40 en 19.40 uur van een significante jaarlijkse gang van de  $S_v$ -waarden kan worden gesproken.

(Strikt genomen waren wij vanwege de variaties in  $N_e$  van maand op maand op een andere toets aangewezen, doch vanwege het daarvoor nodige rekenwerk hebben wij daarvan afgezien).

Er zij hier nog gewezen op de grote waarden van  $S_v$  in december, die in enkele gevallen boven die in de zomermaanden uitgaan. Dit zal waarschijnlijk een gevolg zijn van de inval van strenge vorst in de tweede helft van de maand december.

In fig. 7 t/m 13 zijn de waarden  $\bar{V}_m$  en  $\bar{V}_m \pm 2 S_v$  grafisch voorgesteld voor resp. de diepten 10 cm te 8.40, 14.40 en 19.40 uur, en 20/25, 50, 75 en 100 cm te 14.40 uur.

Voor de diepten tot 25 cm komt de grote variatie in de loop van het jaar duidelijk naar voren. Op 50 en 75 cm diepte is de variatie evenwel veel geringer. Daarentegen is op 100 cm diepte de variatie van de  $\bar{V}_m$ -waarden weer groter, terwijl echter blijkens het voorgaande de jaarlijkse gang van  $S_v$ -waarden niet significant is.

In navolging van Rijkoort (1961) zijn voor de zomermaanden en de wintermaanden de

$S_v$ -waarden berekend. Onder zomermaanden worden hier verstaan de maanden mei t/m augustus, onder wintermaanden november t/m februari. De berekeningen zijn alleen uitgevoerd voor de gegevens van 14.40 uur, teneinde het gemiddelde verloop naar de diepte in de grond te kunnen beschouwen. Fig. 15 geeft de resultaten van de berekening weer.

Uit de bijzondere ligging van het punt voor  $S_v$  op 20/25 cm diepte blijkt, dat het verschil in diepte invloed heeft op de variantie, hetgeen ook wel te verwachten was. Alleen tot 25 cm diepte is er een duidelijk verschil tussen de zomer- en winterwaarde van  $S_v$ . Voor grotere diepten zijn de waarden ongeveer gelijk.

Op 100 cm diepte is evenwel de waarde van  $S_v$  groter dan die op 75 cm diepte, hetgeen niet overeenkomt met wat men zou verwachten.

Mede op grond hiervan zou men kunnen beweren dat de metingen op 100 cm diepte op een van beide meetplaatsen niet geheel correct zijn geweest of dat de bodemeigenschappen ter plaatse anders waren dan die bij de andere opstelling op 100 cm diepte. In het eerste geval kan b.v. worden verondersteld, dat de steelcorrectie van de thermometer niet op de juiste wijze is aangebracht. Dit was achteraf niet meer te controleren.

Voor zover het overeenkomstige diepten betreft, zijn de waarden van  $S_v$  (zie fig. 14) kleiner dan die gevonden door Rijkooft (1961), bijeengebracht in diens fig. 6.

## 5. Conclusies

1. Uit vergelijkende metingen van de grondtemperatuur op een tweetal vlak bij elkaar gelegen plaatsen op het proefterrein van het KNMI te De Bilt in 1961 is wederom duidelijk gebleken, dat belangrijke verschillen in temperatuur op gelijke diepten onder uiterlijk identieke omstandigheden kunnen voorkomen. (Alleen op 10, 50, 75 en 100 cm was directe vergelijking mogelijk. De vloeistofreservoirs van de overige thermometers bevonden zich bij de ene opstelling op 3 en 25 cm diepte, bij de andere op 5 en 20 cm diepte; wijziging van de meetdiepte had plaats op grond van een aanbeveling van de W.M.O.)
2. a. Voor de jaargemiddelden, berekend uit de te 14.40 uur afgelezen waarden, waren de verschillen op 10, 50 en 75 cm diepte resp. 0,5, 0,2 en 0,1 °C, waarbij de gemiddelden op de ene plaats steeds hoger waren dan op de andere. Op 100 cm diepte was het verschil 0,1 °C doch met tegenovergesteld teken dan bij de eerder genoemde.  
b. De verschillen tussen de maandgemiddelden, bepaald uit de te 14.40 uur afgelezen waarden, bleken voor de diepten 10, 50, 75 en 100 cm significant te zijn. De verschillen tussen de maandgemiddelden te 8.40 en 19.40 uur bleken voor 10 cm diepte niet significant te zijn. (De verschillen tussen de gemiddelde maandtemperatuur op 20 en 25 cm diepte bleken te 8.40 uur en 19.40 uur wel, te 14.40 uur niet significant te zijn, dus juist tegenovergesteld aan de situatie op 10 cm diepte).  
c. Bij de gemiddelden per decade voor ieder termijnuur waren de grootste verschillen op 10 cm: te 8.40 uur: 0,6 °C, te 14.40 uur: 1,5 °C en te 19.40 uur: 0,8 °C; op

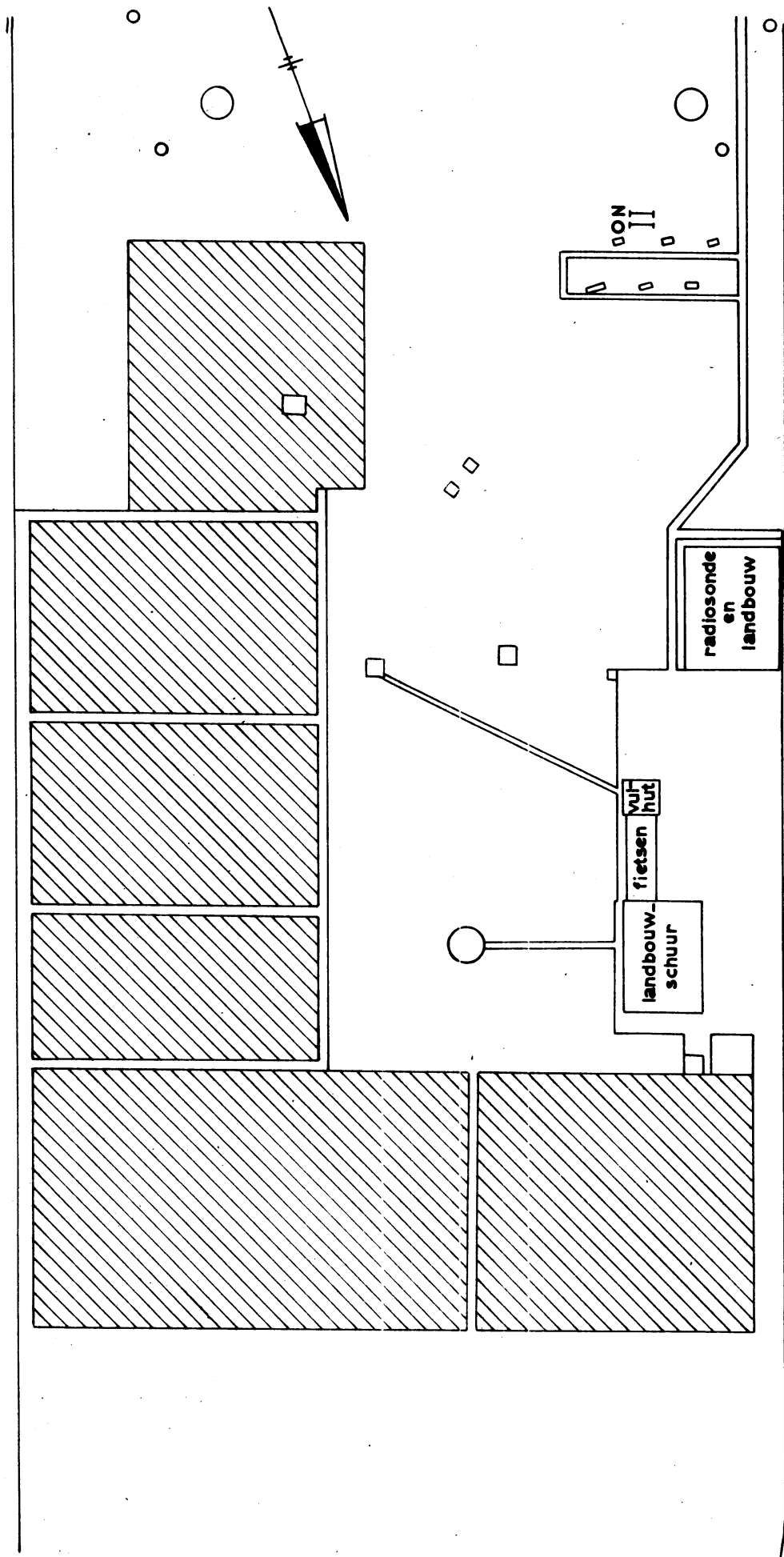
50, 75 en 100 cm diepte te 14.40 uur: 0,3 °C. De gemiddelde overdag-waarden per decade van de temperatuur op 10 cm diepte op de twee meetplaatsen verschilden maximaal 0,7 °C. Dit kwam voor in enige decaden van mei en juni.

d. In mei en juni kwamen ook de grootste verschillen in dagwaarden van de temperatuur voor. De grootste waarde van deze verschillen was 2,3 °C te 14.40 uur op 10 cm diepte. (In genoemde maanden was de temperatuur op 10 cm diepte te 14.40 uur op de ene plaats steeds hoger dan op de andere).

3. Uit de significantie van de verschillen in temperatuur op gelijke diepten kan worden afgeleid, dat de fysische eigenschappen van de grond op korte afstand sterk kunnen variëren.
4. Bij toepassing van de op een bepaalde diepte en een bepaalde plaats verkregen gegevens van de grondtemperatuur voor de naaste omgeving dient met een grote onzekerheidsmarge rekening te worden gehouden.
5. Voor een nadere analyse van de fysische eigenschappen van de grond, is de kennis van de dagelijkse amplitudo van de grondtemperatuur vereist.  
Registratie van de grondtemperatuur op verschillende diepten verdient daarom aanbeveling, bij voorkeur met behulp van elektrische weerstandsthermometers.
6. Het is niet onmogelijk, dat bij de gebruikte kwikthermometers afwijkingen zijn opgetreden, die verschillen in aanwijzingen tengevolge hebben gehad. Het verdient daarom aanbeveling een nader onderzoek in te stellen naar de invloed van de eigenschappen van een kwikthermometer op de aanwijzing daarvan.

De Bilt, december 1964.

SITUATIE VAN DE PLAATSEN OP HET PROEFTERREIN TE DE BILT,  
 WAAR IN 1961 DE TWEE SERIES GRONDTERMOMETERS WAREN OPGESTELD.



▨ akkerbouw

□ gras

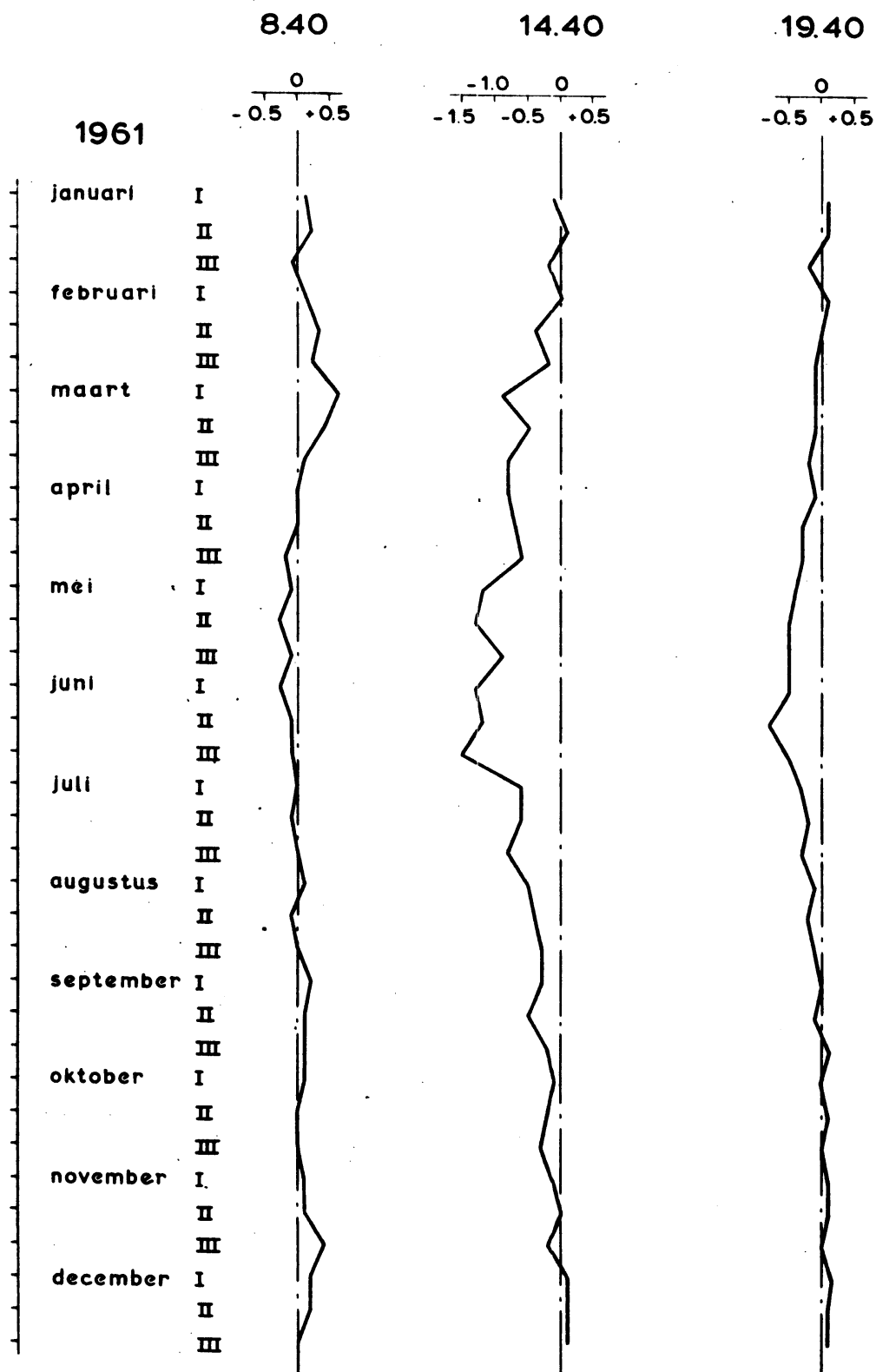
— N = nieuwe opstelling  
 — O = oude opstelling

Schaal 1:5 mm. = 1 mtr.

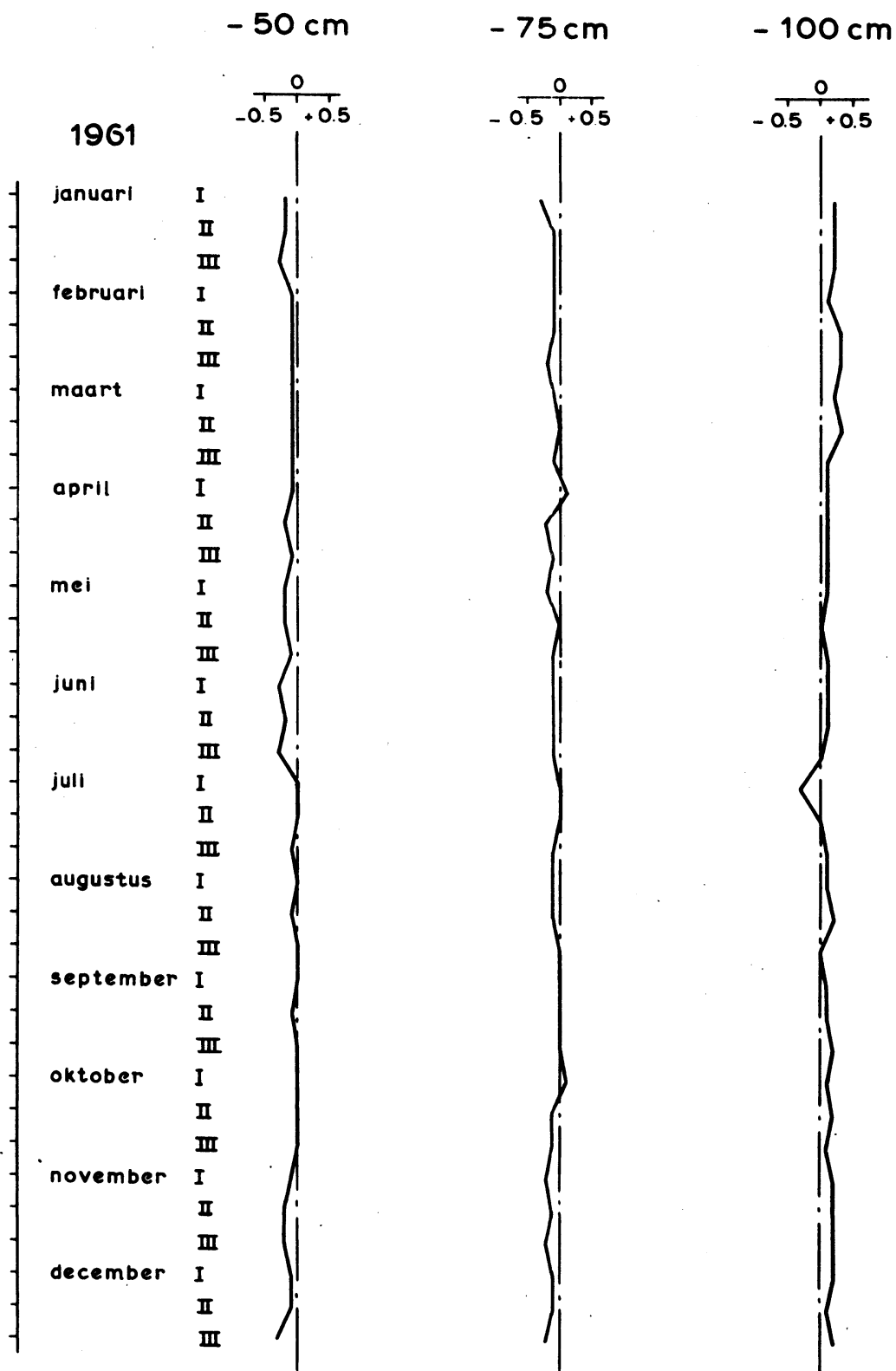
Fig. 1

Fig. 2

HET VERLOOP VAN  $\bar{V}_d = \bar{T}_{O_d} - \bar{T}_{N_d}$  (°C) OP 10 cm DIEPTE  
 RESP. TE 8.40, 14.40 EN 19.40 UUR MET



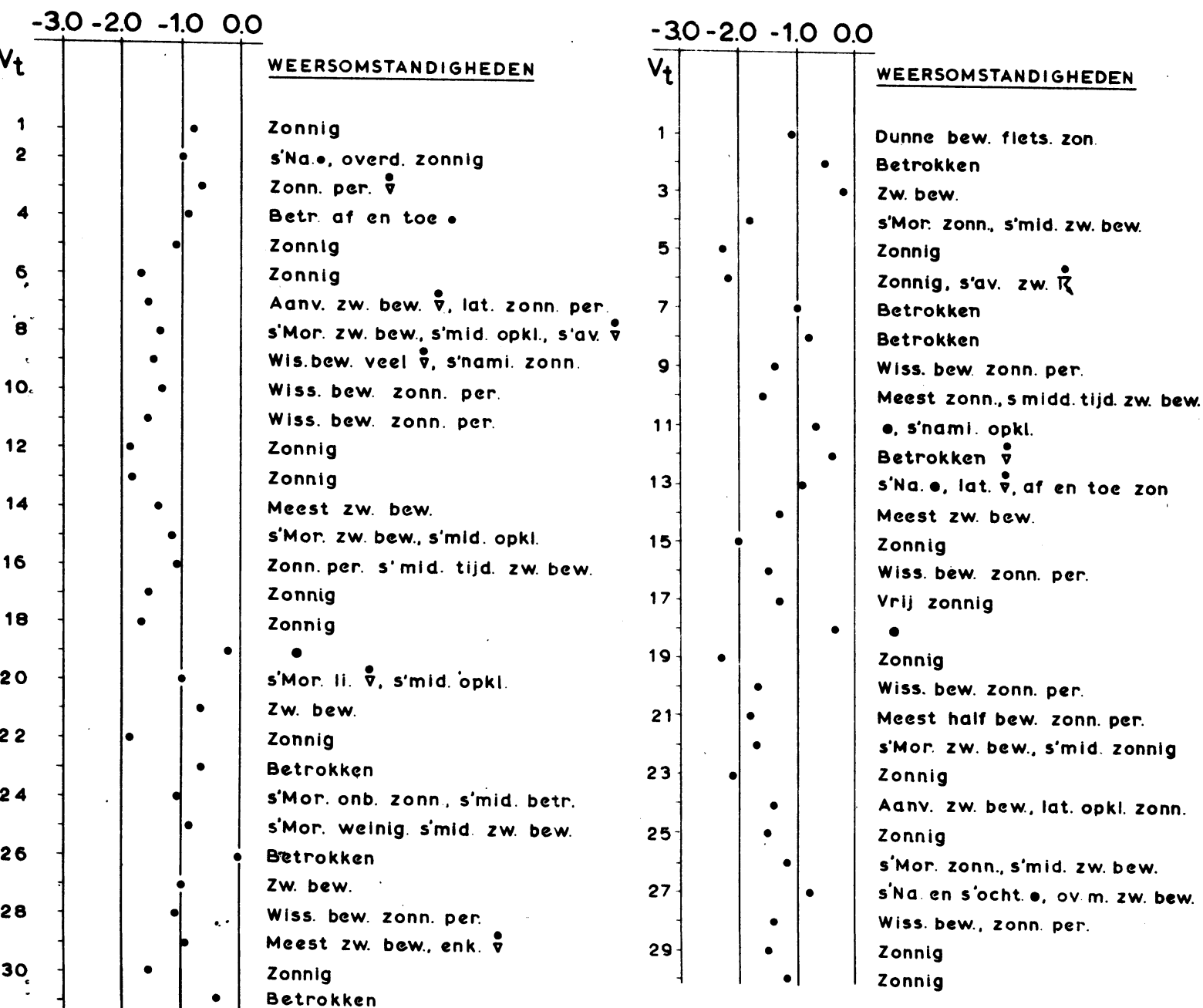
HET VERLOOP VAN  $\bar{V}_d = \bar{T}_{O_d} - \bar{T}_{N_d}$  (°C) TE 14.40 MET OP  
 RESP. 50, 75 EN 100 cm DIEPTE



VERSCHIL  $V_t = T_{ot} - T_{nt}$  IN TEMPERATUUR (°C) TUSSEN DE OUDE EN DE NIEUWE OPSTELLING OP 10 cm DIEPTE TE DE BILT TE 14.40 UUR MET IN MEI EN JUNI 1961

MEI

JUNI





GEMIDDELDE WAARDEN VAN DE GRONDTEMPERATUUR IN DE EERSTE DECADE VAN IEDERE MAAND ALS FUNKTIE VAN DE DIEPTE

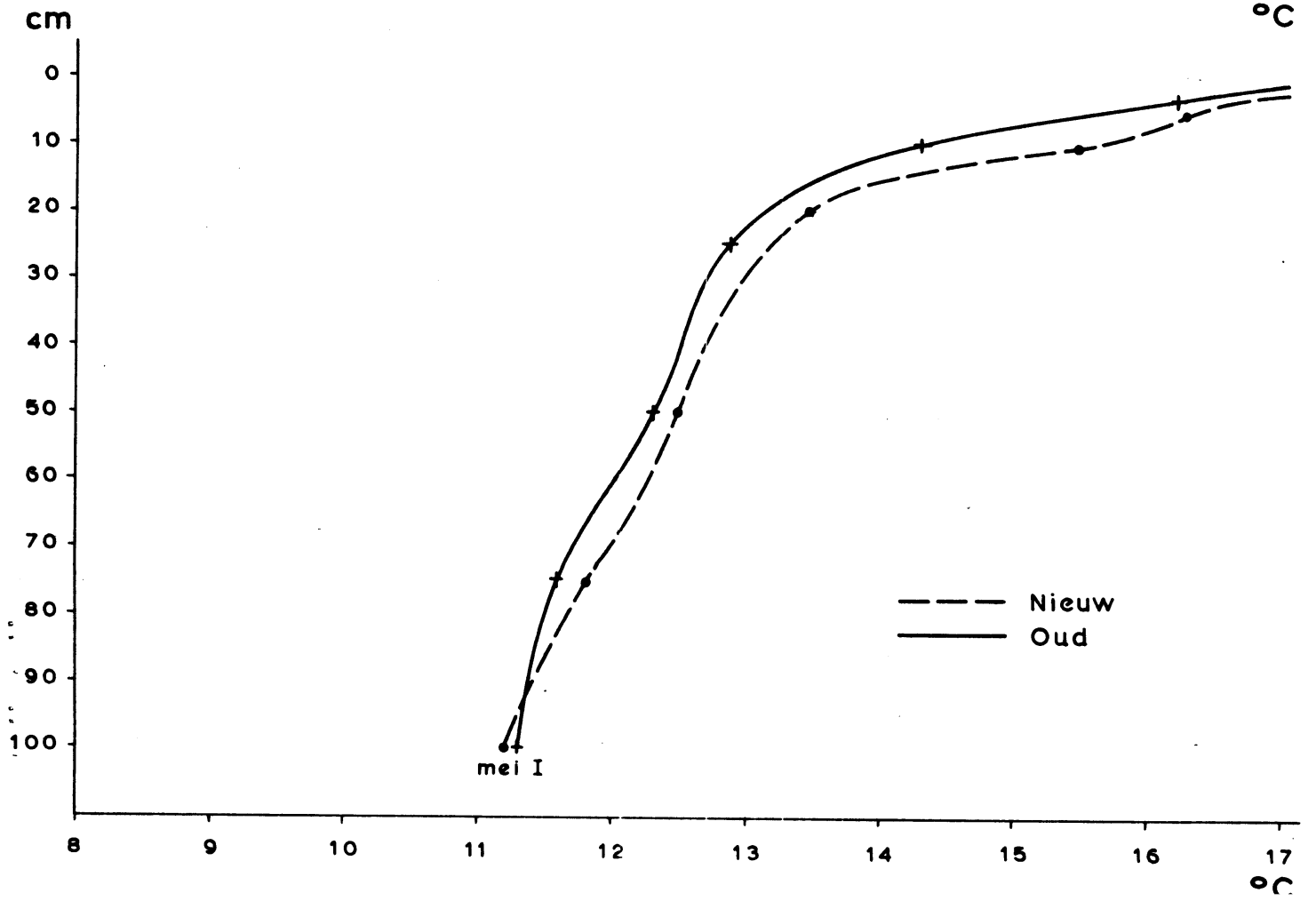
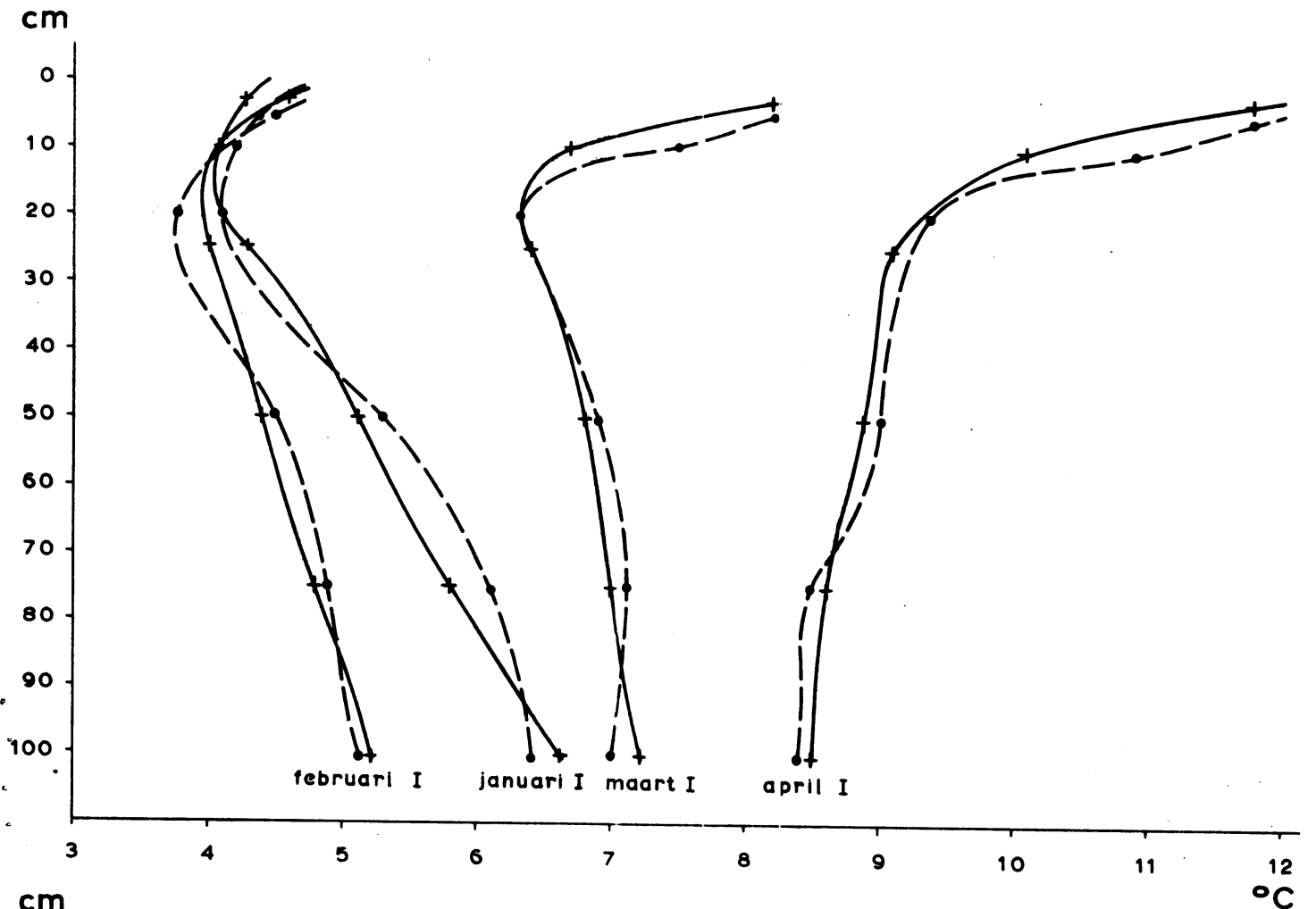
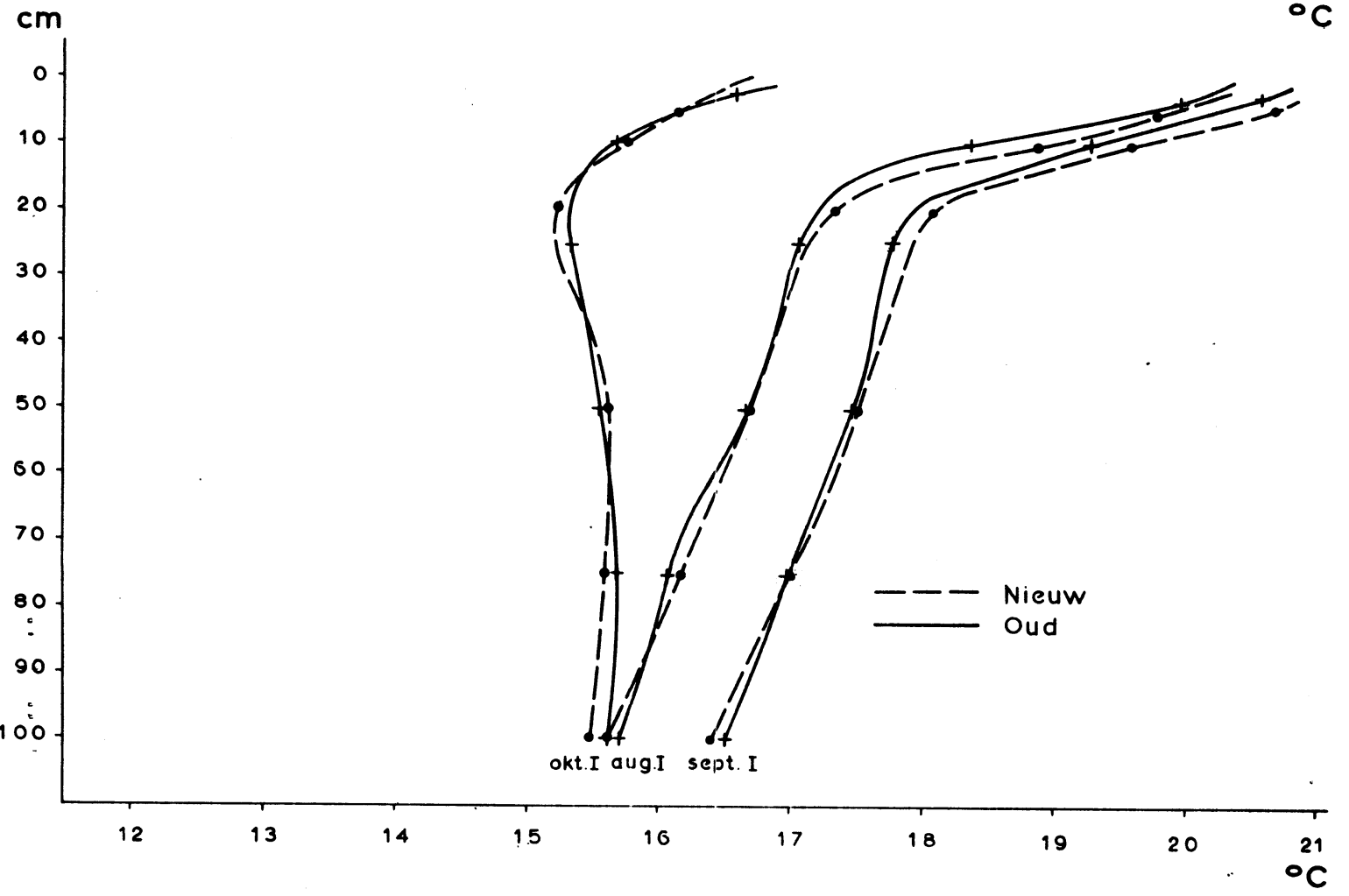
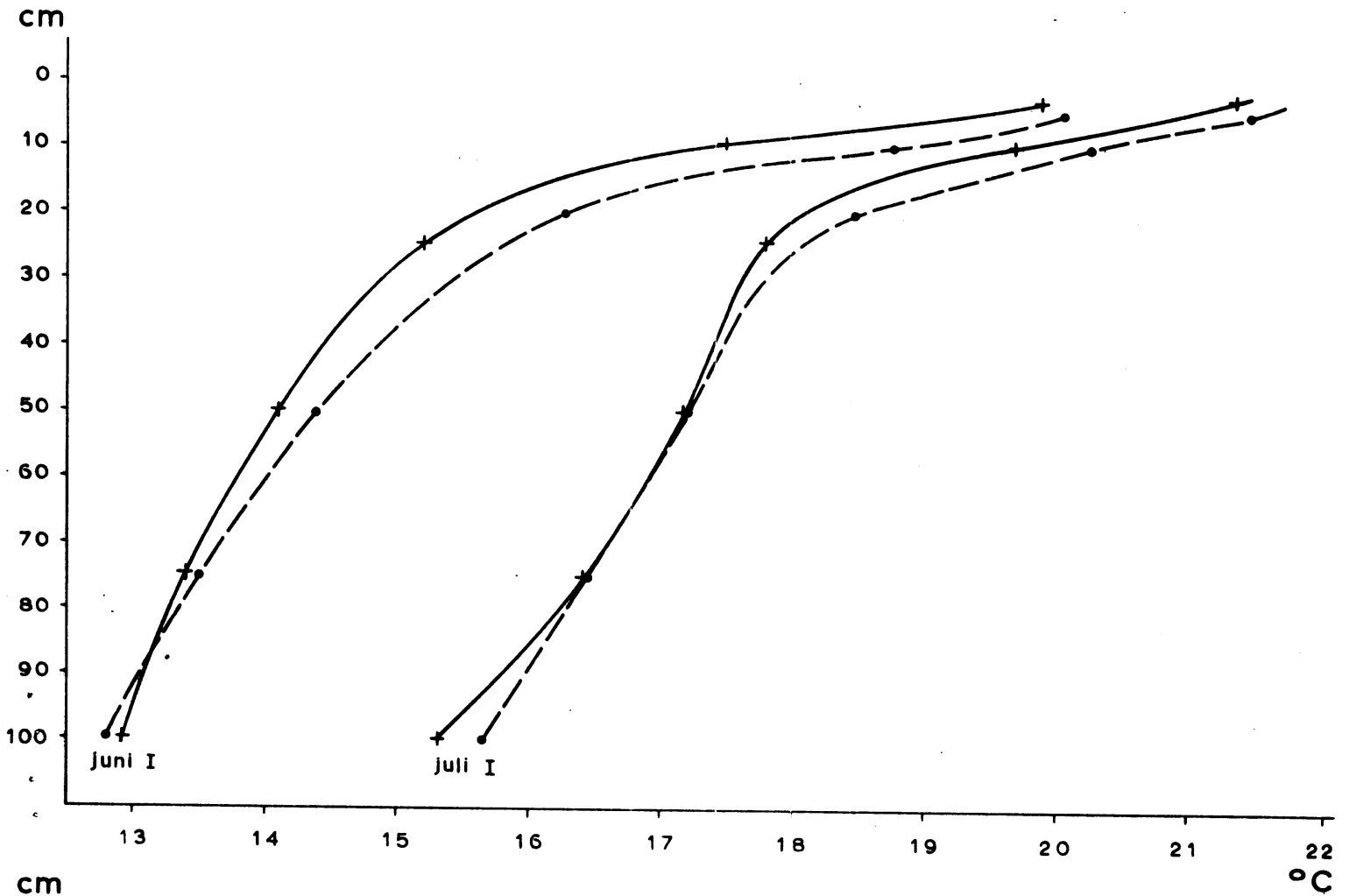
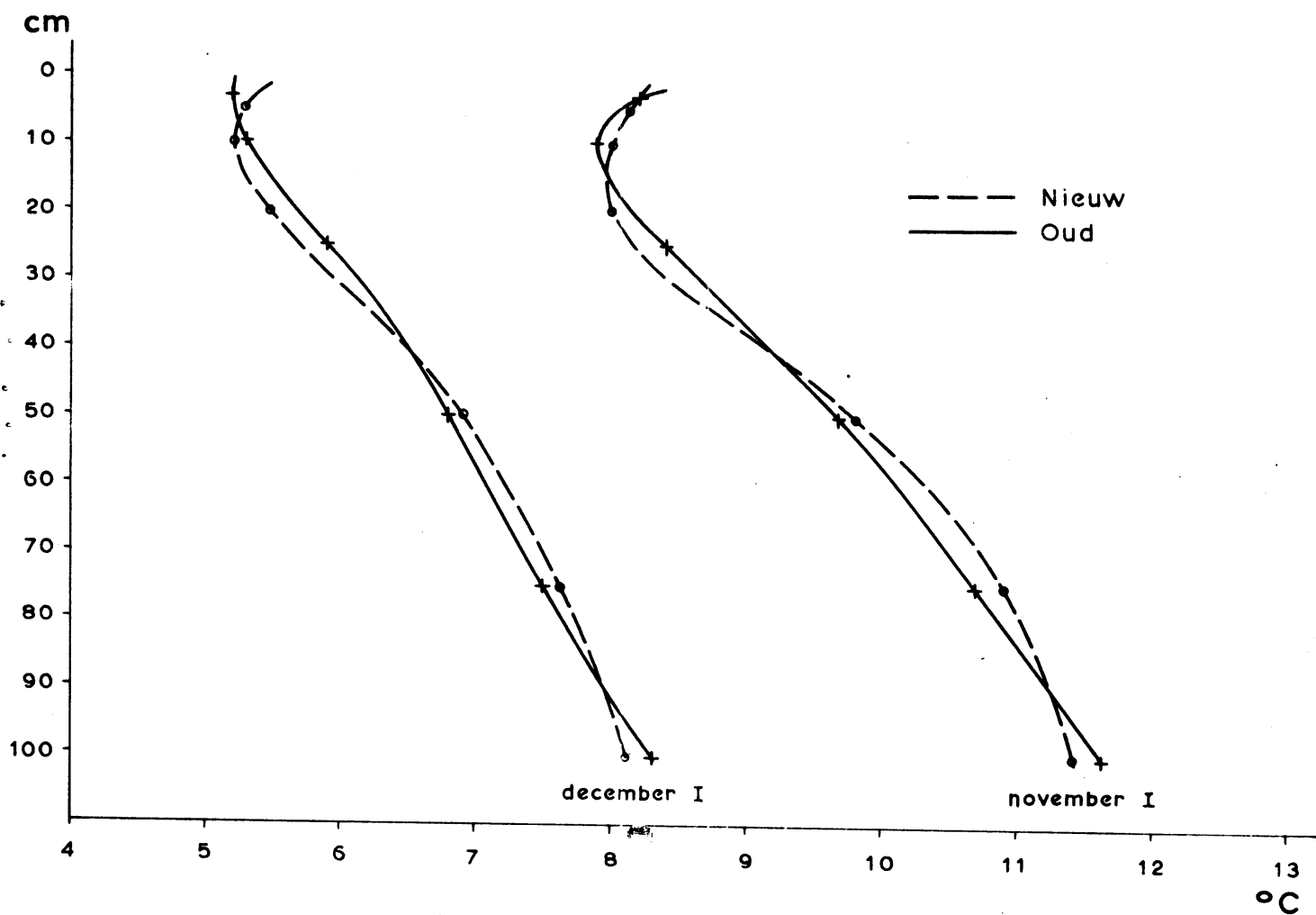


Fig. 5<sup>D</sup>

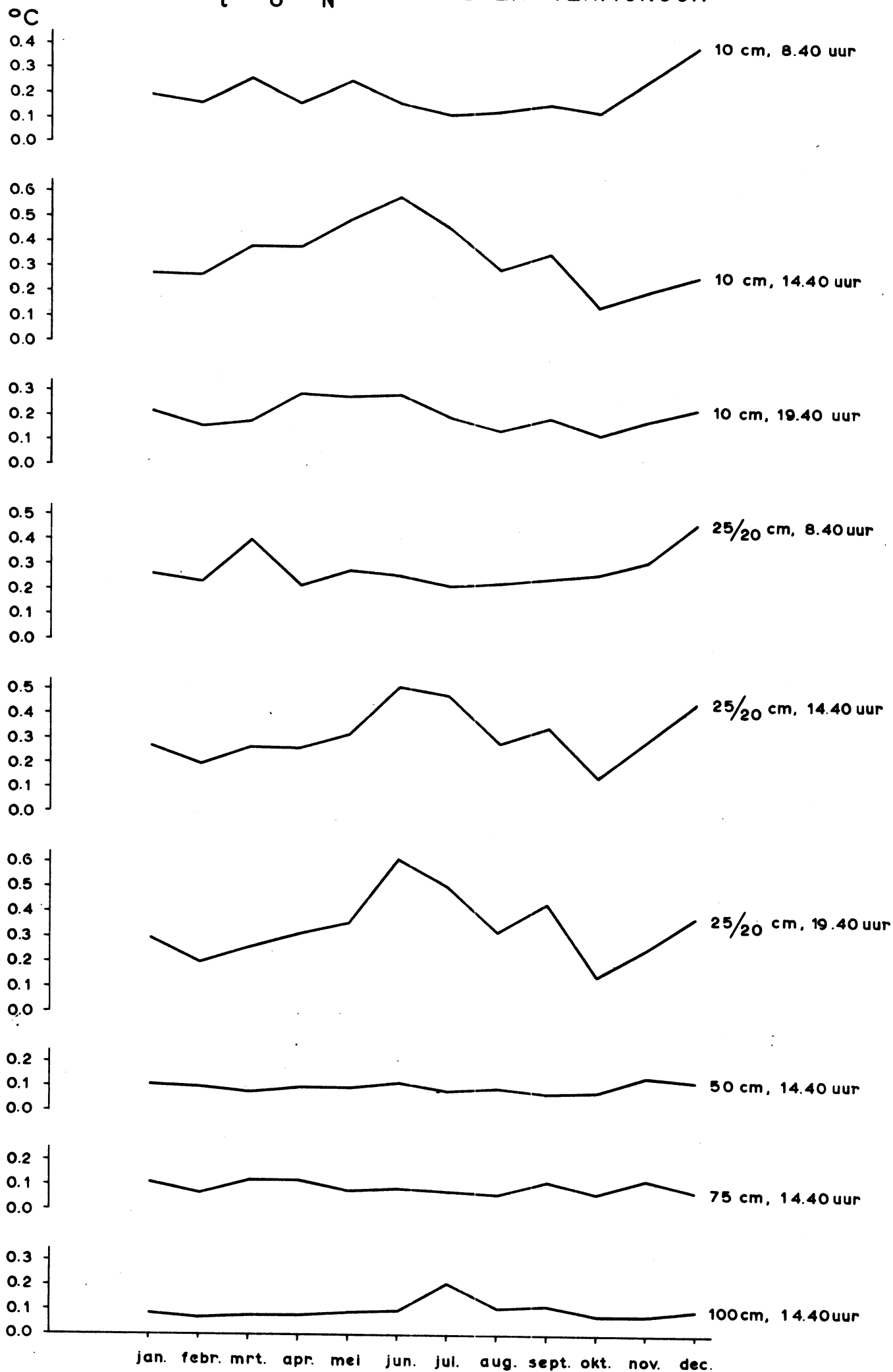
GEMIDDELDE WAARDEN VAN DE GRONDTEMPERATUUR IN DE EERSTE DECADE VAN IEDERE MAAND ALS FUNKTIE VAN DE DIEPTE



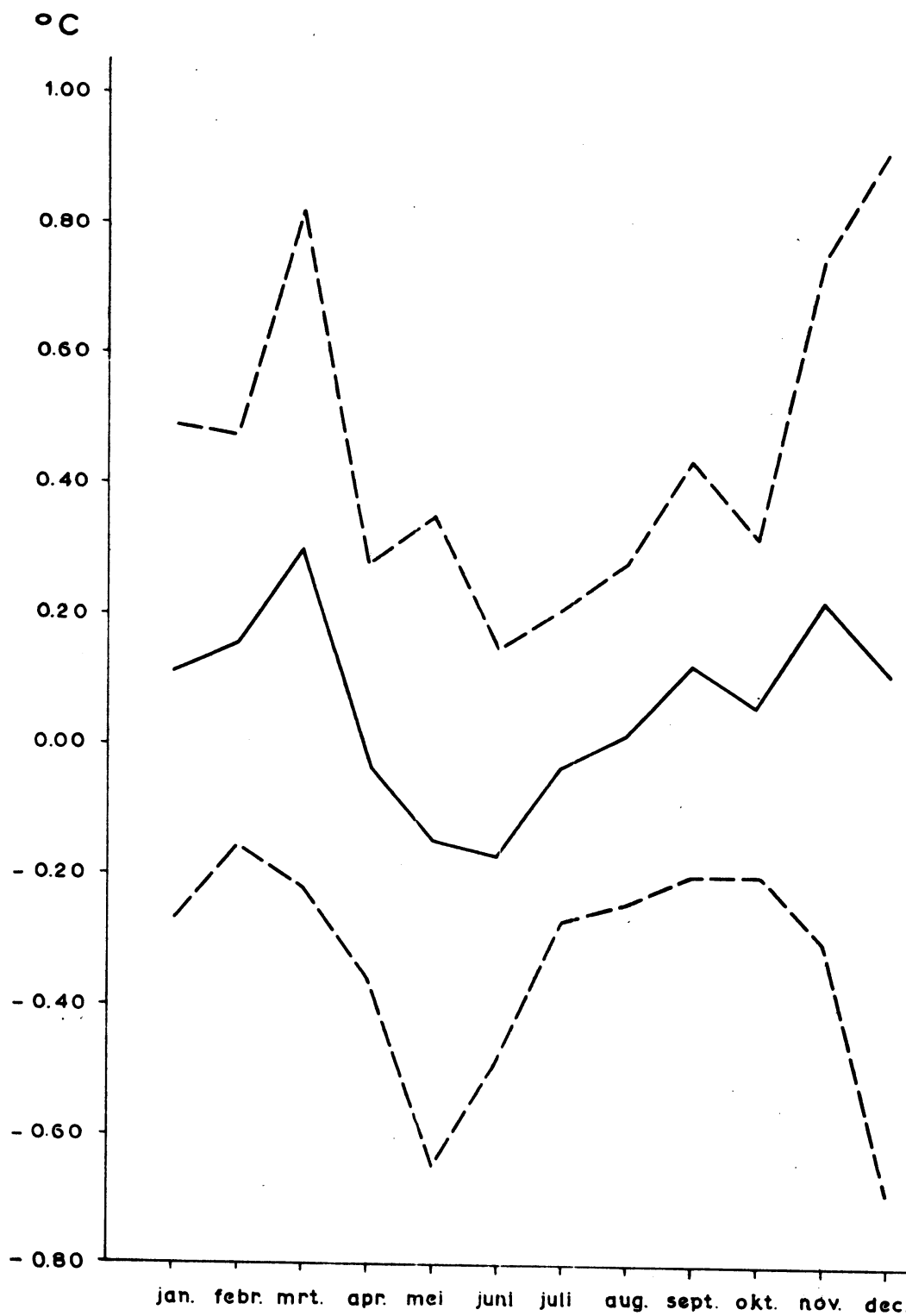
GEMIDDELDE WAARDEN VAN DE GRONDTEMPERATUUR IN DE EERSTE  
DECADE VAN IEDERE MAAND ALS FUNKTIE VAN DE DIEPTE



STANDAARD AFWIJKINGEN  $S_V$  VOOR IEDERE MAAND VAN DE VERSCHILLEN  $V_t = T_o - T_N$  VOOR IEDER TERMIJNUUR Fig. 6



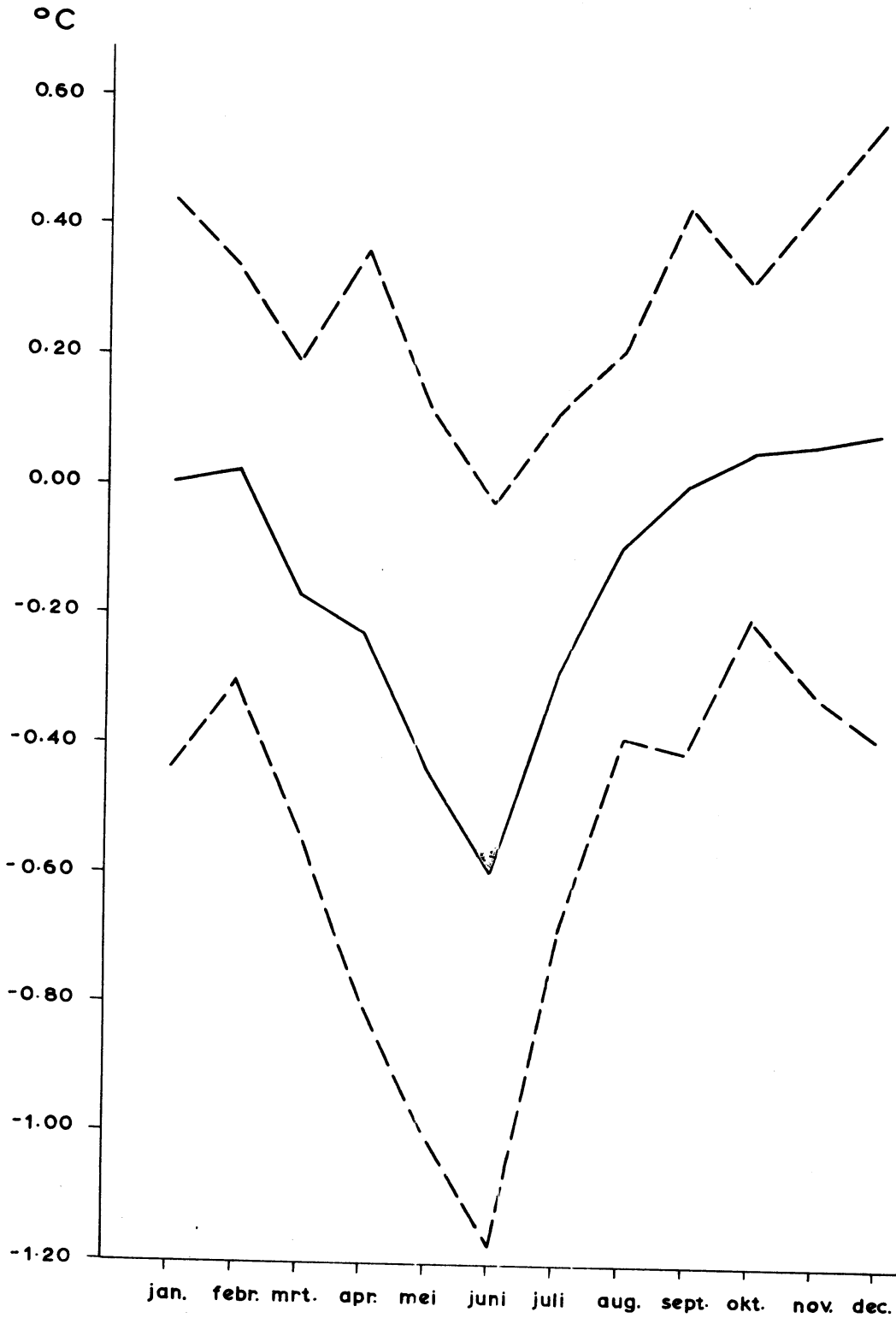
HET VERLOOP VAN  $\bar{V}_m$  EN  $\bar{V}_m \pm 2 S_v$  OP 10 cm  
DIEPTE TE 8.40 uur



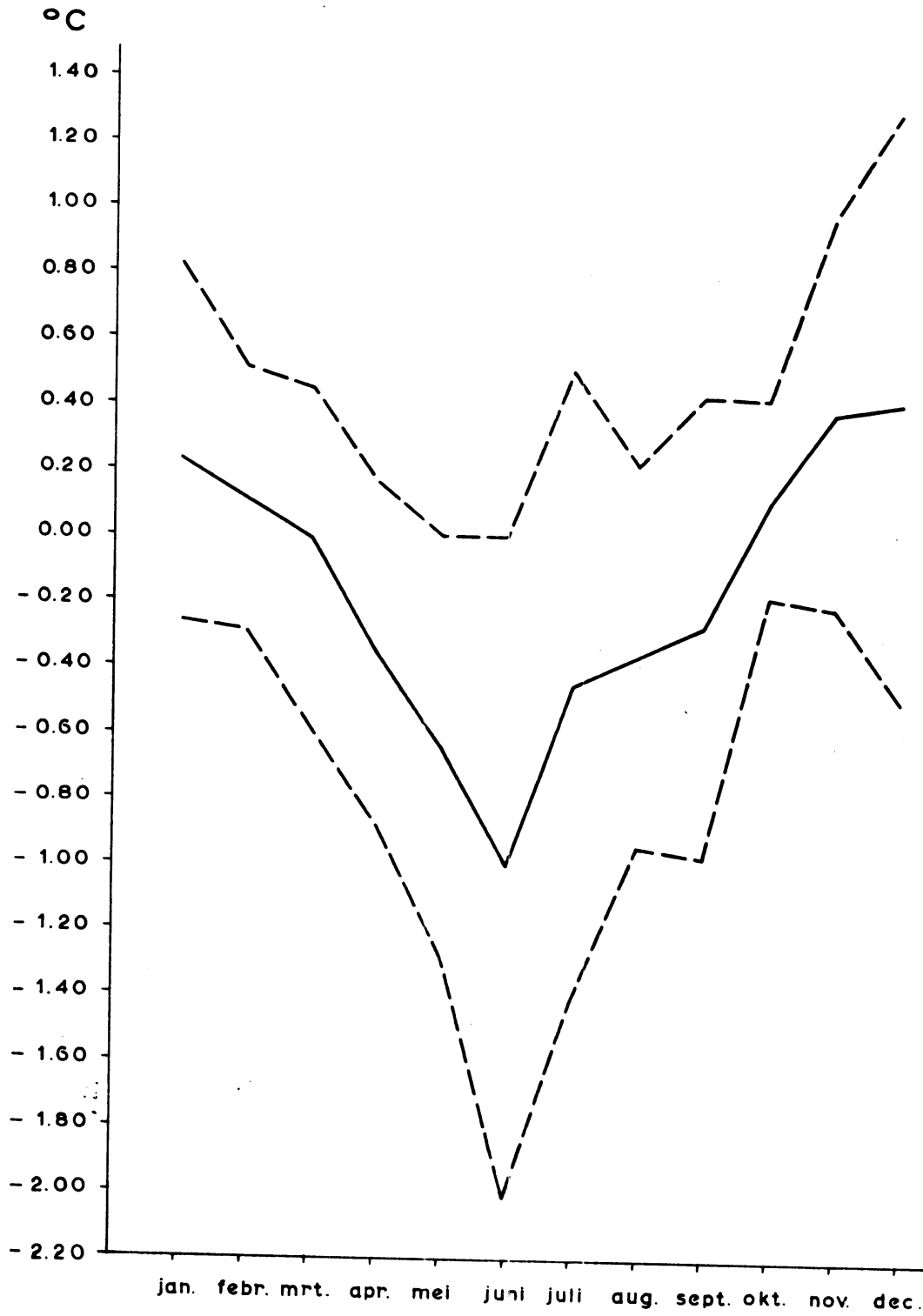
HET VERLOOP VAN  $\bar{V}_m$  EN  $\bar{V}_m \pm 2S_V$  OP 10 cm DIEPTE  
TE 14.40 uur



HET VERLOOP VAN  $\bar{V}_m$  EN  $\bar{V}_m \pm 2S_v$  OP 10 cm DIEPTE TE 19.40 uur



HET VERLOOP VAN  $\bar{V}_m$  EN  $\bar{V}_m \pm 2S_v$  OP 20/25 cm DIEPTE TE 14.40 uur





HEI VERLOOP VAN  $V_m$  EN  $V_m \pm 2S_v$  OP RESP. 50, 75 EN 100 cm DIEPTE TE 14.40 uur

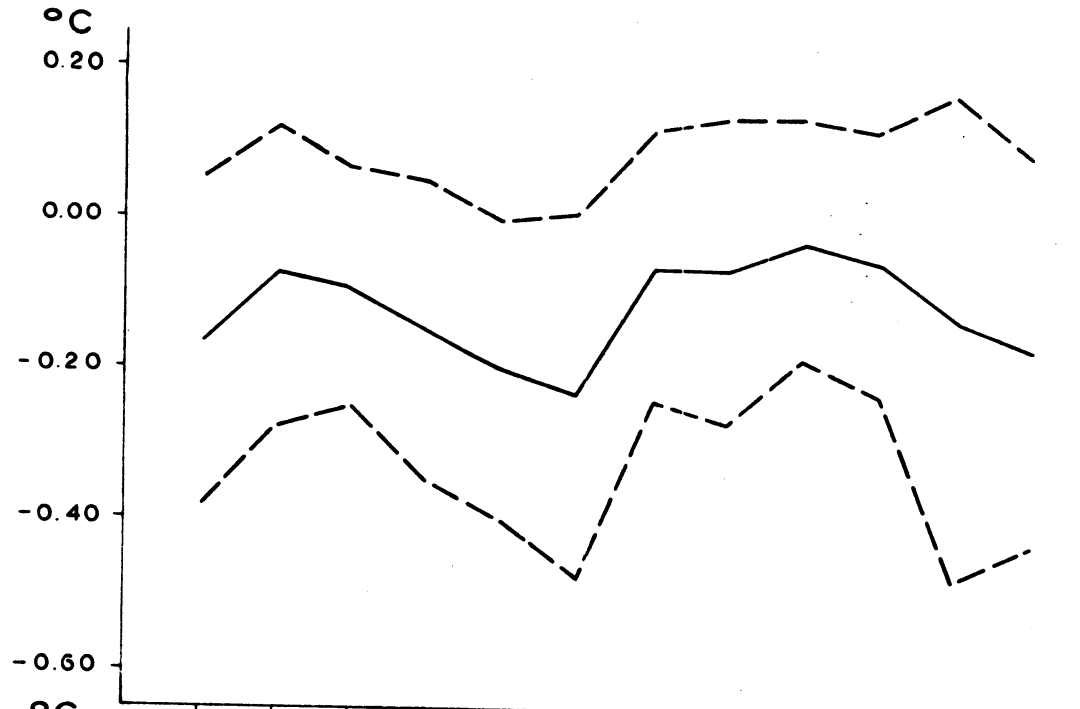


Fig. 11  
(50 cm)

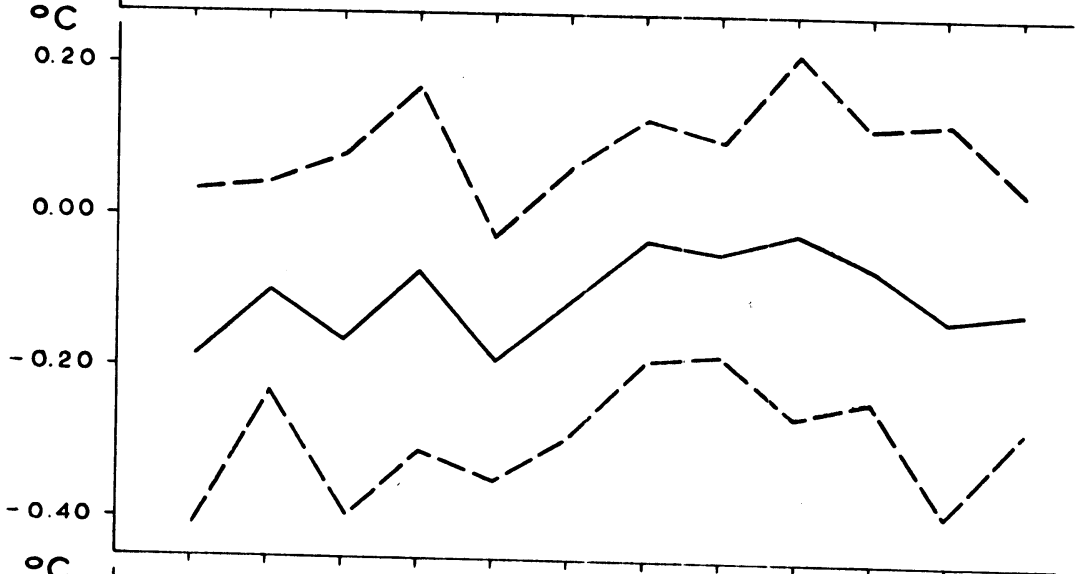


Fig. 12  
(75 cm)

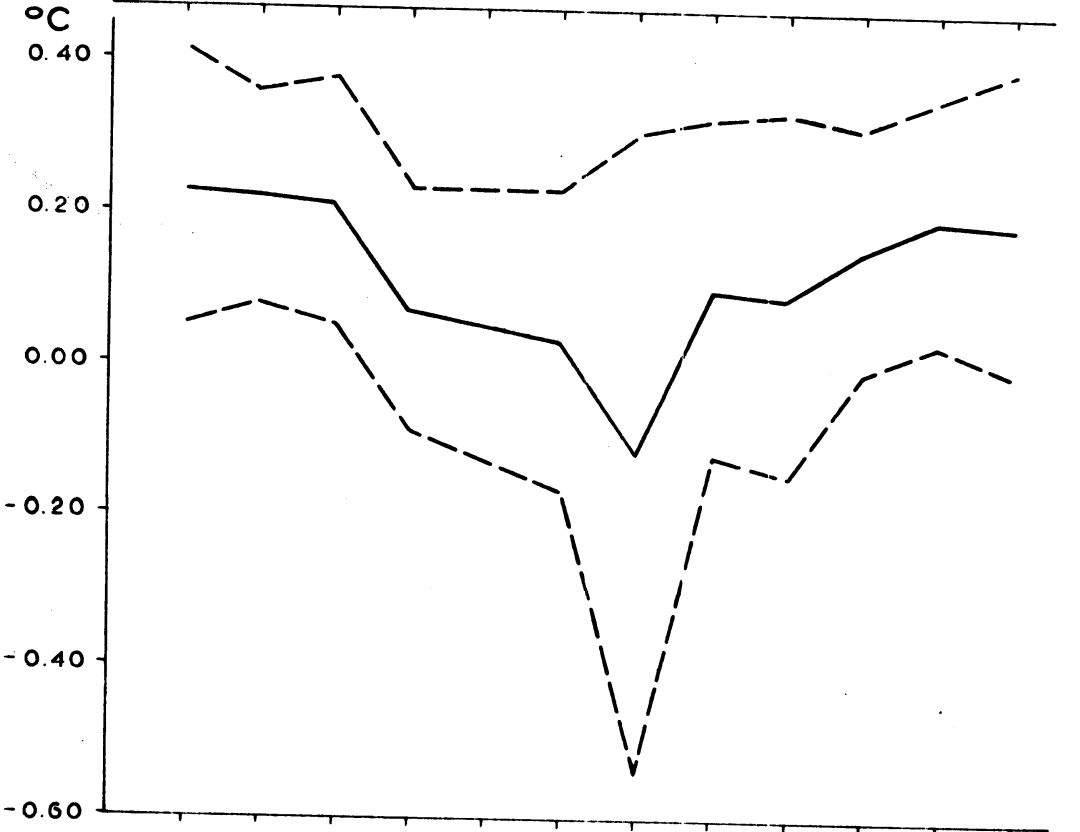


Fig. 13  
(100 cm)

jan. febr. mrt. apr. mei juni juli aug. sept. okt. nov. dec.

HET VERLOOP VAN DE  $S_V$ -WAARDEN VOOR  
DE ZOMER (x) EN VOOR DE WINTER (o)

