

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Wetenschappelijk Rapport
W.R. 68-1

J.P.M. WOUDEBERG

Nachtvorst in Nederland

De Bilt, 1968

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 68-1 (R III-304).

All Rights Reserved

**Nadruk zonder toestemming van het
K.N.M.I. is verboden**

U.D.C. 551.524.36 :
551.524.37 :
551.584.4 :
632

I N H O U D

	blz.
1. Inleiding	5
2. De dagelijkse minimumtemperatuur op 10 cm hoogte	15
3. De dagelijkse minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte	78
4. Vergelijking van de dagelijkse minimumtemperatuur op 10 cm hoogte met die op 2,20 m hoogte	98
5. De invloed van de toestand en de bedekking van de grond op de dagelijkse minimumtemperatuur op 10 cm hoogte	136
6. Schade aan kleinfruitgewassen door nachtvorst	153
7. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	169
Summary, conclusions and recommendations	175
Literatuur	181
Appendix	185

1. INLEIDING

Het is bekend, dat de temperatuur van de luchtlaag vlak bij de grond op eenzelfde tijdstip van plaats tot plaats sterk kan uiteenlopen als gevolg van verschillen in de lokale gesteldheid van het terrein. Dit is één van de redenen waarom men voor macroklimatologische doeleinden de metingen van de temperatuur en ook van de vochtigheid van de lucht niet in deze als "storingslaag" betitelde zone van de atmosfeer verricht, doch als regel op een hoogte van 1,50 à 2,20 m boven de grond. Alleen met behulp van de op deze hoogte verkregen gegevens is het mogelijk een niet te zeer van de lokale bodemgesteldheid afhankelijk beeld te verkrijgen van het verloop van de beide genoemde weer-elementen in de tijd en naar de plaats.

Naast de zonnestraling en de daglengte, welke de plantengroei voor een belangrijk deel beheersen is de temperatuur van grote betekenis. De groei van een plant vindt alleen plaats tussen een bovengrens en een benedengrens van de temperatuur. Temperaturen boven of beneden bepaalde, nog ruimere, grenzen zijn letaal voor planten of plantendelen. Deze kritieke grenzen hebben voor verschillende plantensoorten verschillende waarden en zijn zelfs enigszins variabel, afhankelijk van andere omstandigheden.

Voor een studie van de levensprocessen van een kort gewas, alsmede van de ziekten en plagen, die zich daarin kunnen voordoen in relatie tot hun milieu, zijn de luchttemperaturen gemeten in de meteorologische kooi op een hoogte van 1,50 à 2,20 m vaak niet toereikend gebleken. Metingen van de temperatuur in en vlak boven het gewas zijn in dit opzicht juist van veel belang.

Ook in ander opzicht is de luchttemperatuur vlak bij het aardoppervlak van grote betekenis. Vooral tijdens de eerste ontwikkeling van de gewassen in het voorjaar worden lage temperaturen, speciaal die beneden het vriespunt, moeilijk of in het geheel niet verdragen. De frequentie van het voorkomen van schadelijke lage temperaturen in een zeker gebied is mede bepalend voor de mogelijkheid tot de verbouw van een gewas in dat gebied. Waar in het verleden een bepaalde teelt mislukte, was dit vaak het gevolg van onvoldoende kennis van deze frequenties.

Als niveau waarop luchttemperaturen vlak bij het aardoppervlak gemeten worden is een hoogte van 10 cm gebruikelijk. Op deze hoogte heeft men immers minder last van oneffenheden in het terrein en, bij metingen boven een grasdek, van de plantendelen, dan op geringere hoogte. Bij onderzoekingen in de laatste jaren is voorts gebleken, dat de laagste luchttemperaturen vaak niet aan het aardoppervlak zelf voorkomen, doch op een hoogte van ca. 10 cm daarboven en soms nog wat hoger (Lützker, 1960; Zeroka & Rosteck, 1961; Scharringa, 1958^a), een verschijnsel, dat nog niet verklaard is kunnen worden (Möller, 1964).

Het meten van minimumtemperaturen op een hoogte van 10 cm is derhalve wel uitermate geschikt om de risico's van de teelt van bepaalde gewassen met betrekking tot schadelijke lage temperaturen te kunnen vaststellen.

In de warmtehuishouding van de onderste luchtlaag spelen ook de warmtecapaciteit en het warmte-geleidingsvermogen van de bovenste grondlaag een belangrijke rol. Als gevolg van verschillen in structuur en vochtigheid van de grond zullen deze grootheden van plaats tot plaats sterk uiteenlopen. Vooral boven grasland blijken grote verschillen in temperatuur, gelijktijdig gemeten op verschillende punten van een perceel, te kunnen voorkomen (Scharringa, 1956). Op bouwland, waar de grond regelmatig wordt bewerkt, varieert de temperatuur van de lucht vlak boven de grond van plaats tot plaats minder sterk, zoals uit metingen is gebleken.

Belangrijke verschillen in temperatuur op dichtbijeengelegen plaatsen doen zich vooral voor in windstille nachten met weinig of geen bewolking, tijdens welke advectie, behalve door afstroming van koude lucht van lagere delen in het terrein, vrijwel niet plaats vindt. Het zijn ook deze nachten, waarin de meeste kans is op voor gewassen schadelijke temperaturen. De drempelwaarde van de temperatuur beneden welke schade aan het gewas wordt toegebracht, blijkt niet voor alle gewassen dezelfde te zijn.

Als gevolg van absorptie en emissie van straling zal de temperatuur van plantendelen vaak afwijken van die van de omliggende lucht. Door verschillen in orientatie van plantendelen en als gevolg van afscherming door andere delen van de plant komen grote verschillen in warmtehuishouding voor. Dientengevolge kunnen ook grote verschillen in temperatuur tussen de plantendelen onderling voorkomen, zowel overdag als 's nachts.

In het kader van deze verhandeling gaat de belangstelling alleen uit naar de situatie gedurende de nacht. Aangezien de hoeveelheid invallende straling gedurende de nacht slechts een geringe fractie is van die overdag, kan worden verwacht, dat de verschillen in temperatuur tussen de plantendelen onderling alsmede die tussen een plantendeel en de omringende lucht 's nachts veel kleiner zijn dan overdag.

Uit theoretische overwegingen kan worden afgeleid, dat 's nachts de temperatuur van een jonge vrucht ten hoogste 2°C lager kan zijn dan die van de omringende lucht (Scharringa, 1964). Oriënterende metingen toonden aan, dat het verschil in temperatuur inderdaad in deze orde van grootte is. Wij nemen daarom aan dat het verschil tussen de temperatuur van de luchtlaag nabij een plantendeel (geopende bloem van een vruchtboom, jong lot van een gewas, enz.) eveneens ten hoogste ongeveer 2°C bedraagt.

Daarmede is echter nog niet bekend, beneden welke temperatuur schade aan het gewas wordt veroorzaakt. Bovendien zal niet alleen de temperatuur van het gewas als zodanig van invloed zijn, doch ook de tijd gedurende welke deze beneden een gestelde drempelwaarde is gebleven. Het is duidelijk, dat wij dan nog over andere gegevens dienen te beschikken dan alleen van de minimum-waarde van de temperatuur van de omringende lucht. Registratie van de temperatuur van enige belangrijke plantendelen en de omringende lucht zal een eerste vereiste zijn.

Door laboratoriumonderzoek hebben verschillende auteurs getracht vast te stellen welke temperatuur door een gewas nog juist kan worden verdragen. Zo vermeldt Young (1935) de in tabel 1.1 opgenomen drempelwaarden van de temperatuur, welke door enige fruitgewassen gedurende ten hoogste 30 minuten worden doorstaan.

Tabel 1.1 Temperaturen (°C), die door enige fruitgewassen gedurende ten hoogste 30 minuten worden verdragen. (volgens Young, 1935)

gewas	rose of witte knop stadium	bloem geopend	jonge vruchtjes
Appel	- 3,9	- 2,2	- 1,7
Peer	- 3,9	- 2,2	- 1,1
Kers	- 2,2	- 2,2	- 1,1
Pruim	- 3,9	- 2,2	- 1,1
Persik	- 3,9	- 2,8	- 1,1

Een tijdsduur van 30 minuten is willekeurig gekozen en berust niet op enige praktijkervaring, door anderen wordt als tijdsduur 90 minuten gehanteerd (Till, 1956; Pisek & Schiessl, 1946).

Verschillende andere auteurs in de Verenigde Staten van Amerika hadden reeds eerder kritieke waarden van de temperatuur, die door bloemen en jonge vruchtjes nog juist worden verdragen, vastgesteld. Deze gegevens, door West en Edlefson (1917) vermeld, zijn in tabel 1.2 opgenomen.

Tabel 1.2 Kritieke temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) tijdens de bloei van fruitgewassen volgens verschillende auteurs (volgens West & Edlefson, 1917).

gewas	rose of witte knop stadium	bloem geopend	jonge vruchtjes
Appel	-2,8 tot -3,9	-1,7 tot -2,2	-1,1 tot -2,2
Peer	-1,7 tot -3,9	-1,7 tot -2,2	-1,1 tot -2,2
Kers	-1,7 tot -5,6	-1,1 tot -2,2	-1,1 tot -2,2
Pruim	-1,1 tot -5,6	-0,6 tot -2,2	-0,6 tot -2,2
Perzik	-1,7 tot -6,7	-1,1 tot -3,9	-1,1 tot -2,8

Bij het beoordelen van de tabellen 1.1 en 1.2 dient in aanmerking te worden genomen dat de oorspronkelijke gegevens in gehele graden Fahrenheit waren vermeld, zodat de onnauwkeurigheid van de hierin opgenomen gegevens op $0,2$ à $0,3^{\circ}\text{C}$ kan worden gesteld.

Tabel 1.2 laat zien, dat de door verschillende auteurs gevonden letale temperaturen voor een bepaald gewas in een bepaald stadium van ontwikkeling nogal uiteenlopen. Dit moet in de eerste plaats worden toegeschreven aan verschillen in gevoeligheid van de rassen. Anderzijds zal, behalve het ontwikkelingsstadium, ook het milieu invloed hebben op de kritieke waarden van de temperatuur, zoals de vochtigheid van de grond en van de atmosfeer, als ook de voedingstoestand van de boom. Voorts is de snelheid, waarmede de afkoeling van de plantendelen plaats vindt, eveneens van belang.

Uit tabel 1.1 blijkt verder dat de jonge vruchtjes het meest gevoelig zijn voor lage temperaturen.

Volgens Dorsey (zie Sprenger, 1948) zouden de bloemknoppen, bloemen en jonge vruchtjes van appelryassen lagere temperaturen kunnen verdragen

dan andere auteurs hebben gevonden (zie tabel 1.3).

Ook door de "Versuchsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau" in Wädenswil (Anonymus, 1938) was gevonden, dat de geopende bloemen van de meeste

Tabel 1.3 Temperaturen ($^{\circ}\text{C}$), die door appels tijdens de bloei nog juist worden verdragen (naar Dorsey)

stadium	kritieke temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
rose knop stadium	- 7
geopende bloem	- 4 à - 5
jonge vrucht	- 3 à - 4

vruchtbomen een temperatuur van -4°C nog kunnen verdragen. Gezien de grote verschillen in de resultaten van onderzoek door verschillende auteurs in het verleden uitgevoerd, zou een nader onderzoek naar de kritieke waarden van de temperatuur van de in ons land algemeen geteelde fruitgewassen in hun verschillende stadia van ontwikkeling zeer gewenst zijn. Tevens zal dan moeten worden nagegaan in hoeverre de kritieke temperatuur afhankelijk is van het milieu en van de afkoelingsnelheid. Ook de biologische zijde van het vraagstuk zal daarbij de nodige aandacht moeten hebben. Een dergelijk veelomvattend onderzoek is echter tot nu toe niet mogelijk gebleken.

In andere landen heeft men de laatste jaren getracht nauwkeurige gegevens over de voor fruitgewassen schadelijke temperaturen te verkrijgen.

Durand (1963) bezigt daartoe de actinothermische index, d.i. de temperatuur aangewezen door een volkomen vrij opgestelde thermometer op 40 cm hoogte boven een grasoppervlak nabij de boomgaard. Uit een dertigjarige reeks gegevens leidde hij af, dat fruitgewassen in het witte - of rose knopstadium weinig of geen schade ondervonden indien de actinothermische index boven -5°C bleef; voor de volledig geopende bloem en voor het jonge vruchtje waren deze waarden resp. $-3\frac{1}{2}$ en $-2\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. (Durand, 1963).

Voor peren kwam hij op grond van een 38-jarige reeks tot de volgende drempelwaarden van de actinothermische index: witte knop-stadium: -8°C ; geopende bloem: $-3\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ en jonge vrucht: $-2\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ (Durand, 1965). Ook beneden deze drempelwaarden werd in enkele gevallen geen schade geconstateerd.

Durand merkt dan ook op, dat meer bekend zou moeten zijn van de afkoelings-snelheid en van de tijd, gedurende welke de temperatuur beneden de kritieke waarde is geweest. Wij zouden nog willen opmerken, dat een groot verschil kan bestaan tussen de actinothermische index boven gras en die nabij be-doelde gewassen.

Perraudin (1963) heeft in de laatste jaren zowel in het laboratorium als in het veld temperatuurmetingen aan plantendelen verricht. Het is daarbij gebleken dat de resistentie van fruitgewassen tegen nachtvorst afhankelijk is van het ras, het ontwikkelingsstadium, de fysiologische toestand, de vochtigheid, de duur van de nachtvorst, terwijl voorts de resistentie af-hankelijk moet zijn van factoren die nog niet bekend zijn. Perraudin (1965) wijst er dan ook op, dat de resultaten van zijn onderzoekingen met voorzichtigheid gehanteerd moeten worden. Voor appel en peer vond hij, dat in het algemeen beneden een luchttemperatuur van -4°C de nog gesloten bloemknoppen beschadigd werden, beneden -2°C de geopende bloem en beneden resp. -2 en -1°C het jonge vruchtje. Voor kers en pruim kwam hij tot de-zelfde drempelwaarden als voor de peer. De genoemde waarden van de tempe-ratuur komen dus ongeveer overeen met die vermeld in tabel 1.2. Nieuwe en meer gedetailleerde informatie zijn derhalve op grond van de metingen van Perraudin niet verkregen. Uitspraken, zoals de grotere gevoeligheid van de goudreinet ten opzichte van rassen als Jonathan en Golden Delicious bieden weinig houvaast. Bovendien stelde Perraudin vast, dat in enige ge-vallen bij z.g. minder gevoelige rassen de late val ernstig was, zodat bij de oogst niet meer vast te stellen was, welk ras het meeste van nachtvorst te lijden had.

Het is evenwel duidelijk, dat nachtvorst mede de grootte van de oogst be-paalt. Zolang echter onze kennis over de invloed van de omstandigheden op de grootte van de schade door nachtvorst onvoldoende is, is het niet goed mogelijk de frequentie van het voorkomen van nachtvorst te bepalen uit de schade aan een bepaald ras gedurende een aantal jaren. Dit betekent even-wel niet, dat gegevens over schade aan fruitgewassen tengevolge van nachtvorst op zichzelf onbelangrijk zijn. Indien deze gegevens aan vele rassen van fruitgewassen over het gehele land worden verzameld, kunnen deze toch van grote waarde zijn. Het is immers vrijwel onmogelijk om in alle, vooral voor de tuinbouw belangrijke gebieden temperatuurmetingen op gro-te schaal te verrichten.

Het opnemen van schade aan gewassen door lage temperaturen heeft tot nu een zeer incidenteel karakter gehad.

Het is echter niet bij alle gewassen mogelijk de grootte van de schade in cijfers vast te leggen. Indien bij aardappelen in een vergevorderd stadium van ontwikkeling alle bovengrondse delen zijn bevroren, dan betekent dat een ernstig verlies in knolopbrengst, die wel ten naaste bij te schatten is.

Bij fruitgewassen is het veel moeilijker om de schade vast te stellen, omdat dit eerst na enige tijd mogelijk is. Vaak heeft men na nachtvorst een te somber beeld van de omvang van de schade. Indien wat minder vruchten goed gezet zijn, kan de kilogram-opbrengst toch nog zeer redelijk zijn. Bovendien kan een lichte nachtvorst bij een rijke bloei en overvloedige vruchtzetting voor de gewenste dunning zorgen.

In dit verband zullen wij ons niet begeven op het terrein van de economische schade als gevolg van nachtvorst. Wij beperken ons dus tot de biologische schade aan het gewas, die b.v. bij fruit is aan te geven door het percentage bevroren bloemen. Op deze wijze zijn in een aantal tuinbouwconsulentschappen gegevens verzameld over de omvang van de schade aan enkele klein fruitgewassen. Uit de verkregen gegevens werden gemiddelden voor elk van de betrokken gebieden vastgesteld.

In een nacht met weinig bewolking en weinig wind zal gedurende enige uren de temperatuur in het algemeen weinig van de minimum waarde verschillen. Wij nemen aan, dat de temperatuur, die door plantendelen nog juist wordt verdragen tussen -1 en -2°C ligt, waarbij wij ons baseren op de gegevens in tabel 1.2. Voorts is, zoals boven werd vermeld, de temperatuur van een plantendeel gedurende de nacht ten hoogste 2°C lager dan die van de omringende lucht, dus die aangewezen door een tegen straling beschermde thermometer.

Wij kunnen derhalve stellen, dat beneden een luchttemperatuur van 0°C schade aan een gewas kan worden veroorzaakt.

Voor groot fruit kan in dit verband de temperatuur op 1,50 à 2,00 m hoogte als maatgevend worden beschouwd, voor lage gewassen die op de gemiddelde hoogte van het gewas.

Voor een beoordeling van de kans op nachtvorst kan ten aanzien van de teelt van groot fruit worden volstaan met de gegevens van de minimumtemperatuur op 1,50 m hoogte. Daartoe zijn in eerste instantie de gegevens van de termijnstations beschikbaar. Aangezien evenwel ook de minimumtemperatuur op 1,50 m hoogte afhankelijk is van de aard van de begroeiing in de onmiddellijke omgeving kan de informatie op grond van de metingen op termijnstations voor bepaalde gebieden niet toereikend zijn. Metingen op speciaal daartoe ingerichte waarnemingsposten zullen daarom gewenst zijn.

Voor lage gewassen zullen ten aanzien van de nachtvorstkansen veel meer gegevens ten dienste moeten staan. Deze zullen moeten worden verkregen uit een uitgebreid net van waarnemingsposten op geringere hoogte, bij voorkeur op 10 cm.

Het komt vaak voor, dat men in een gebied, waar plannen bestaan tot herverkaveling en het uitvoeren van cultuurtechnische werken, vooraf informatie wil hebben over de nachtvorstkansen in dat gebied. Bij cultuurtechnische werken worden meestal zowel de structuur als de waterhuishouding van de grond gewijzigd. Deze veranderingen hebben tot gevolg, dat de resultaten van metingen, die vóór de ingreep werden verricht, niet zonder meer op de nieuwe situatie kunnen worden toegepast. Dit geldt zowel voor de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte als voor die op geringere hoogte. Ook gegevens op 1,50 m hoogte uit het verleden bieden in dit geval weinig houvast met betrekking tot de nachtvorstkansen in de nieuwe situatie.

In de volgende hoofdstukken zal worden gerapporteerd over het onderzoek met betrekking tot nachtvorst, dat in Nederland tot nu werd verricht.

Te De Bilt werden reeds van oktober 1915 af dagelijkse metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte boven een kort gehouden grasmat uitgevoerd. Deze waarnemingen zijn met korte onderbrekingen tot op heden voortgezet, zij het dan, dat de plaats en de wijze van opstelling enige malen werden veranderd.

Eind 1937 werden ook op een aantal stations buiten De Bilt minimumthermometers op 10 cm hoogte opgesteld, welke alle tegen hemel- en bodem-

straling waren beschermd. Over de uitkomsten der waarnemingen, welke in het tijdvak 1915-1942 waren verkregen, is reeds uitvoerig door Braak (1943) bericht. De meeste van deze stations waren echter zodanig gelegen, dat het onderzoek voor de tuinbouw slechts weinig bruikbare resultaten heeft opgeleverd.

In 1947 werd op voorstel van de Afdeling Tuinbouw van het toenmalige Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening opnieuw begonnen met metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte, eerst op een klein aantal stations in enkele tuinbouw- of voor de tuinbouw bestemde gebieden, van 1949 tot 1954 op een groot aantal stations verspreid over het land. Over de in enkele gebieden verrichtte metingen werd door Woudenberg (1946; 1947 en 1949) rapport uitgebracht.

Als uitvloeisel van de in de voorafgaande jaren geleden schade in de aardbeicultuur werd in 1950 en 1951 een afzonderlijk onderzoek in dit gebied ingesteld. Voor details kan worden verwezen naar de desbetreffende publicaties (Kramer, 1950; Woudenberg, 1951^a, 1951^b).

Over de resultaten van deze metingen op 10 cm hoogte in de jaren 1949 t/m 1954 zal worden bericht in hoofdstuk 2.

Zoals boven uiteengezet zijn de gegevens van de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte (2,20 of 1,50 m) voldoende bruikbaar voor een globale beoordeling van de geschiktheid van een bepaalde streek voor de aanplant van boomgaarden, vooral wanneer die streek uit bodemkundig en landschappelijk oogpunt weinig verschilt van die in de omgeving van het naastbijgelegen termijnstation. In de jaren na de tweede wereldoorlog onderging het net van termijnstations in ons land een belangrijke uitbreiding, zodat wij thans beschikken over een vrij groot aantal gegevens van de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte in een aantal voor de fruitteelt belangrijke gebieden. In hoofdstuk 3 is aan de frequentieverdeling van deze minimumtemperaturen nadere aandacht geschonken.

De vraag dringt zich op of er een nauwe correlatie bestaat tussen de op de normale waarnemingshoogte gemeten minimumtemperaturen en die op

10 om hoogte boven de grond. Op enige stations zijn gedurende de jaren 1947-1954 op beide hoogten metingen van de minimumtemperatuur uitgevoerd, zodat het mogelijk was een onderzoek naar de correlatie tussen de op beide hoogten verkregen gegevens in te stellen. Over de resultaten van dit onderzoek wordt gerapporteerd in hoofdstuk 4.

Voorts is aandacht geschonken aan de verschillen in minimumtemperatuur boven dicht bij elkaar gelegen perceeltjes grasland en zwarte grond. Daartoe was te De Bilt in de jaren 1954 t/m 1958 zowel boven gras als boven zwarte grond een minimum-thermometer opgesteld, die beide tegen hemel- en bodemstraling waren afgeschermd. Tevens is nagegaan of in het algemeen boven blijvend grasland lagere minimumtemperaturen worden gemeten dan boven regelmatig bewerkte grond. Ook is onderzocht in hoeverre de temperatuur vlak boven met gras begroeide grond in een boomgaard afwijkt van die gemeten vlak boven grasland. De resultaten van deze studies worden besproken in hoofdstuk 5.

In de jaren 1939-1958 zijn door enige Rijkstuinbouwconsulentschappen gegevens verzameld over de mate, waarin door nachtvorst schade aan klein fruit was veroorzaakt. Nagegaan is, in hoeverre de schade is te verklaren uit de kort voor tot kort na de bloei gemeten minimumtemperaturen op de in of nabij de betrokken gebieden gevestigde termijnstations van het K.N.M.I. In hoofdstuk 6 wordt hierop nader ingegaan.

Een samenvatting van het onderzoek en de daaruit getrokken conclusies zijn in hoofdstuk 7 opgenomen.

2. DE DAGELIJKSE MINIMUMTEMPERATUUR OP 10 CM HOOGTE.

Als gevolg van het feit, dat de afkoeling van de lucht voornamelijk plaats vindt door netto stralingsverliezen aan het aardoppervlak en de daarop aanwezige planten en andere voorwerpen, zal gedurende de nachtelijke uren de temperatuur van de lucht in de op genoemde objecten rustende laag als regel wat hoger zijn dan die aan het grensvlak van deze objecten. De verschillen in orientatie en in de aard van de objecten hebben tot gevolg, dat de temperaturen hiervan van plaats tot plaats sterk uiteen kunnen lopen.

Ook de temperatuur van de lucht als zodanig vertoont lokale verschillen als gevolg van variaties in de warmte capaciteit en warmtegeleidingsvermogen van de grond. De op een bepaalde plaats gemeten minimumtemperaturen behoeven derhalve niet kenmerkend te zijn voor het gehele perceel, waarop de metingen plaats vinden. Op percelen waar regelmatig bewerking van de grond plaats vindt, zijn de variaties in het algemeen slechts gering (zie hoofdstuk 1). Voor het verkrijgen van een beeld van het voorkomen van schadelijke lage temperaturen in een gebied, kan echter niet worden volstaan met de meting van de minimumtemperatuur op een enkele plaats (Scharringa, 1958^b). Meting van de minimumtemperatuur op een zeer groot aantal plaatsen stuit evenwel op onoverkomenlijke praktische bezwaren, zodat voor een algemene beoordeling van de nachtvorstkansen in een bepaald gebied met de gegevens van enige geselecteerde plaatsen genoegzaam moet worden genomen.

Ondanks de genoemde beperkingen en bezwaren zijn in tuinbouw- of voor de tuinbouw bestemde gebieden, op een betrekkelijk groot aantal posten in ons land minimumtemperaturen gemeten met behulp van op 10 cm hoogte geplaatste minimum-thermometers, bij voorkeur op een kaal gehouden stukje grond, op een aantal plaatsen evenwel ook boven gras.

2.1 Opstelling van de thermometers

De vraag deed zich voor of de minimum-thermometers al dan niet tegen straling beschermd moeten zijn. Men zou blijkens het voorgaande geneigd zijn de voorkeur te geven aan vrij opgestelde thermometers, omdat ook de gewassen vrij aan straling zijn blootgesteld.

Primault (1964) heeft aangedrongen op deze wijze van opstellen, omdat naar zijn mening de stralingstemperaturen moeten worden gemeten. In Zwitserland en ook in Frankrijk worden ten behoeve van onderzoek naar de schadelijke temperaturen algemeen thermometers geheel vrij op een hoogte van 40 à 50 cm geplaatst boven een kortgehouden grasmat. De gemeten temperaturen worden met actinothermische index aangeduid.

Er zijn evenwel enige bezwaren verbonden aan een vrije opstelling van de minimum-thermometers bij een opzet als door ons werd beoogd. De voornaamste daarvan zijn:

1. De aanwijzing van een (minimum)thermometer is evenzeer afhankelijk van de vorm en het uiterlijk van het vloeistofreservoir.
2. Indien de minimum-thermometer onbedekt is, kan overdag door zonnestraling alcohol naar de expansieruimte destilleren.
3. Indien onvoldoende zorg gedragen wordt voor de verwijdering van delen van kleine planten in de omgeving van de thermometer, kunnen deze van invloed zijn op de stralingshuishouding en daarmee op de aanwijzing van de minimum-thermometer.
4. De kans op breuk van een onbeschermd opgestelde thermometer is groter dan die van een beschermd opgesteld exemplaar.

Durand (1962) heeft aangetoond, dat de aanwijzing van een thermometer voorzien van een cilindrisch vloeistofreservoir niet significant afwijkt van die van een gevorkt exemplaar, zodat volgens deze auteur aan het bezwaar, genoemd onder 1, niet veel gewicht behoort te worden toegekend.

Aan het bezwaar sub 2 kan volgens Primault (1964) worden tegemoet gekomen, door overdag de thermometer te bedekken. Dit vraagt evenwel meer toezicht. Volgens mededeling van Modlibowska (zie Primault, 1964) kan men ook volstaan met het aanbrengen van een permanent zwart scherm boven het expansievat van de thermometer.

Indien geen intensieve controle mogelijk is, moet aan het bezwaar sub 3 een groot gewicht worden toegekend. Een grotere kans op breuk (punt 4) betekent tevens een grotere kans op onderbreking van de meetreeks, hetgeen ongewenst is.

Aangezien aan de praktische bezwaren moeilijk kan worden tegemoet gekomen zijn de minimum-thermometers in ons land steeds beschermd tegen hemel- en bodemstraling opgesteld geweest.

Indien de thermometer van boven door een tweetal plaatjes is afgeschermd, mag worden aangenomen, dat de temperatuur van het vlak bij de thermometer aanwezige afschermplaatje die van de lucht volgt, zodat de thermometer eveneens vrijwel de luchttemperatuur zal aanwijzen. Zodoende is het mogelijk de aldus verkregen waarden van de temperatuur te vergelijken met die verkregen in de meteorologische kooi.

Het is evenwel gewenst te weten welke relatie er bestaat tussen de minimumtemperatuur T_{nb} , gemeten met een beschermde thermometer, en de minimumtemperatuur T_{no} , gemeten met een onbeschermde van hetzelfde type. Teneinde hierover nadere informatie te verkrijgen zijn in de jaren 1954 t/m 1958 op het waarnemingsterrein van het K.N.M.I. te De Bilt parallelmetingen uitgevoerd met behulp van een tweetal gevorkte minimum-thermometers van eenzelfde serie (fabriekaat Kon, Leerdam), opgesteld boven onbegroeide grond.

Voor een onderlinge vergelijking werden de gegevens verkregen in de maanden maart t/m september gebruikt. Zodoende beschikten wij over een ruime hoeveelheid waarnemingsmateriaal. De genoemde gegevens werden ondergebracht in verschillende groepen al naar de weersomstandigheden gedurende de nacht, teneinde tevens de invloed van die omstandigheden op de verschillen in aanwijzing van de beide minimum-thermometers te kunnen beoordelen.

Aangezien de windsnelheid en de bewolgingsgraad van de hemel de twee belangrijkste factoren zijn, die de nachtelijke warmtehuishouding beheersen, zijn de weersomstandigheden gedurende de nacht door de waarden van deze factoren gekarakteriseerd. Omdat gegevens van maanden met lange nachten buiten beschouwing zijn gelaten, heeft de beoordeling van de omstandigheden alleen plaats gevonden op grond van de synoptische waarnemingen te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. (d.i. resp. 22, 1 en 4 uur M.E.T.) De groepering van de gegevens geschiedde als volgt:

a. naar de windsnelheid v :

gemiddeld voor de drie waarnemingsuren:

I : $\bar{v} < 3$ m/s

II : $3 \leq \bar{v} \leq 6$ m/s

III : $\bar{v} > 6$ m/s

b. naar de bedekkingsgraad N :

A: op elk der drie uren is $N = 8/8$ (notatie = 8,8,8)

B: op elk der drie uren is $N = 0/8, 1/8$ of $2/8$ (notatie: $\overset{0}{2}, \overset{0}{2}, \overset{0}{2}$)

C: op twee der drie uren is $N = 0/8, 1/8$ of $2/8$, op het derde uur $N > 2/8$ (notatie: $\overset{0}{2}, \overset{0}{2}, \overset{3}{8}$)

D: op een der drie uren is $N = 0/8, 1/8$ of $2/8$, op de twee overige uren is $N > 2/8$: notatie: $\overset{0}{2}, \overset{3}{8}, \overset{3}{8}$

E: alle overige gevallen (notatie: $\overset{3}{7}, \overset{3}{7}, \overset{3}{7}$)

(Bij de hier gebruikte notaties betekent $\overset{0}{2}$ derhalve:

$0/8 \leq N \leq 2/8$. Bij de notatie $\overset{0}{2}, \overset{0}{2}, \overset{3}{8}$ zijn ook begrepen de gevallen $\overset{0}{2}, \overset{3}{8}, \overset{0}{2}$ en $\overset{3}{8}, \overset{0}{2}, \overset{0}{2}$, enz.)

Met betrekking tot deze meteorologische grootheden dient nog het volgende te worden opgemerkt.

Voor de windsnelheid wordt de ongereduceerde waarde gebruikt, zoals die te De Bilt op 36 m hoogte op de toren wordt gemeten. Reductie tot de situatie op het proefterrein is niet mogelijk, omdat de windsnelheid ter plaatse onder invloed van bomen en gebouwen in de omgeving sterk richting-afhankelijk is. In verband hiermede is de grens tussen de groepen I en II op 3 m/s gesteld, hetgeen bij een logaritmisch windprofiel gemiddeld overeenkomt met ongeveer 2 m/s op 10 m hoogte boven vlak terrein. Vlak boven de grond wordt bij deze situatie de lucht vrijwel in rust geacht te zijn. Het proefterrein te De Bilt ligt voornamelijk beschut tegen noordelijke en westelijke winden. Daardoor is het mogelijk, dat gevallen in groep II zijn ondergebracht, terwijl zij in feite tot groep I behoord. Wij hebben omwille van de eenvoudigheid gemeend voor alle richtingen dezelfde grens te moeten aanhouden, waarbij tevens in overweging werd genomen, dat het aantal gevallen voor een nadere analyse van de richting-afhankelijkheid niet toereikend is, vooral niet bij de voor ons interessante gevallen I en B (resp. zwakke wind en onbewolkte hemel).

Schatting van de bedekkingsgraad van de hemel is vooral 's nachts moeilijk, zodat het mogelijk is, dat in een aantal gevallen de genoteerde waarde de feitelijke situatie niet juist weergeeft.

De verschillen in minimumtemperatuur aangegeven door de beschermde en de onbeschermde thermometer, $\Delta T_n = T_{nb} - T_{no}$ werden voor elk der 15 groepen in klassen met een breedte van $0,5^\circ\text{C}$ ondergebracht als volgt: van $-1,2$ t/m $-0,8$, van $-0,7$ t/m $-0,3$, van $-0,2$ t/m $+0,2$, enz. De aantallen gegevens van ΔT_n in elk der 15 groepen zijn in tabel 2.1 vermeld. Hieruit blijkt, dat in verreweg de meeste ge-

Tabel 2.1 Aantal gegevens van ΔT_n in elk der 15 groepen van weersomstandigheden gedurende de nacht.

	A	B	C	D	E
I	32	26	61	41	83
II	103	91	138	96	192
III	41	9	16	23	43

vallen voorkomen in de groepen onder II, derhalve bij windsnelheden van 3 t/m 6 m/s. Voorts blijkt uit tabel 2.1 dat het aantal "ideale" nachten voor nachtvorst, dat zijn de gevallen onder BI, in de jaren, waarin het vergelijkend onderzoek plaats vond, zeer klein was. Ook voor de andere windsnelheidsklassen in groep B was het aantal betrekkelijk klein. Het aantal ten dele voor nachtvorst gunstige nachten (groep CI) was belangrijk groter dan het aantal ideale nachten. (groep BI)

De frequentieverdelingen van de verschillen $\Delta T_n = T_{nb} - T_{no}$ tussen de minimumtemperatuur, aangewezen door de bedekte (T_{nb}) en die aangewezen door de onbedekte thermometer (T_{no}) zijn voor elk van de 15 groepen, vermeld in tabel 2.1, weergegeven in figuur 2.1.

De bezetting van de klassen met $\Delta T_n > 2^\circ\text{C}$ blijkt voor vrijwel alle groepen gering te zijn, hoewel wij voor de groepen met geringe bewolking en lage windsnelheid een hogere bezetting hadden verwacht.

Fig.2.1 Frequentieverdeling van de verschillen $\Delta T_n = T_{nb} - T_{no}$ per groep (zie tabel 4) naar gegevens van de maanden maart t/m september van de jaren 1954 t/m 1958.

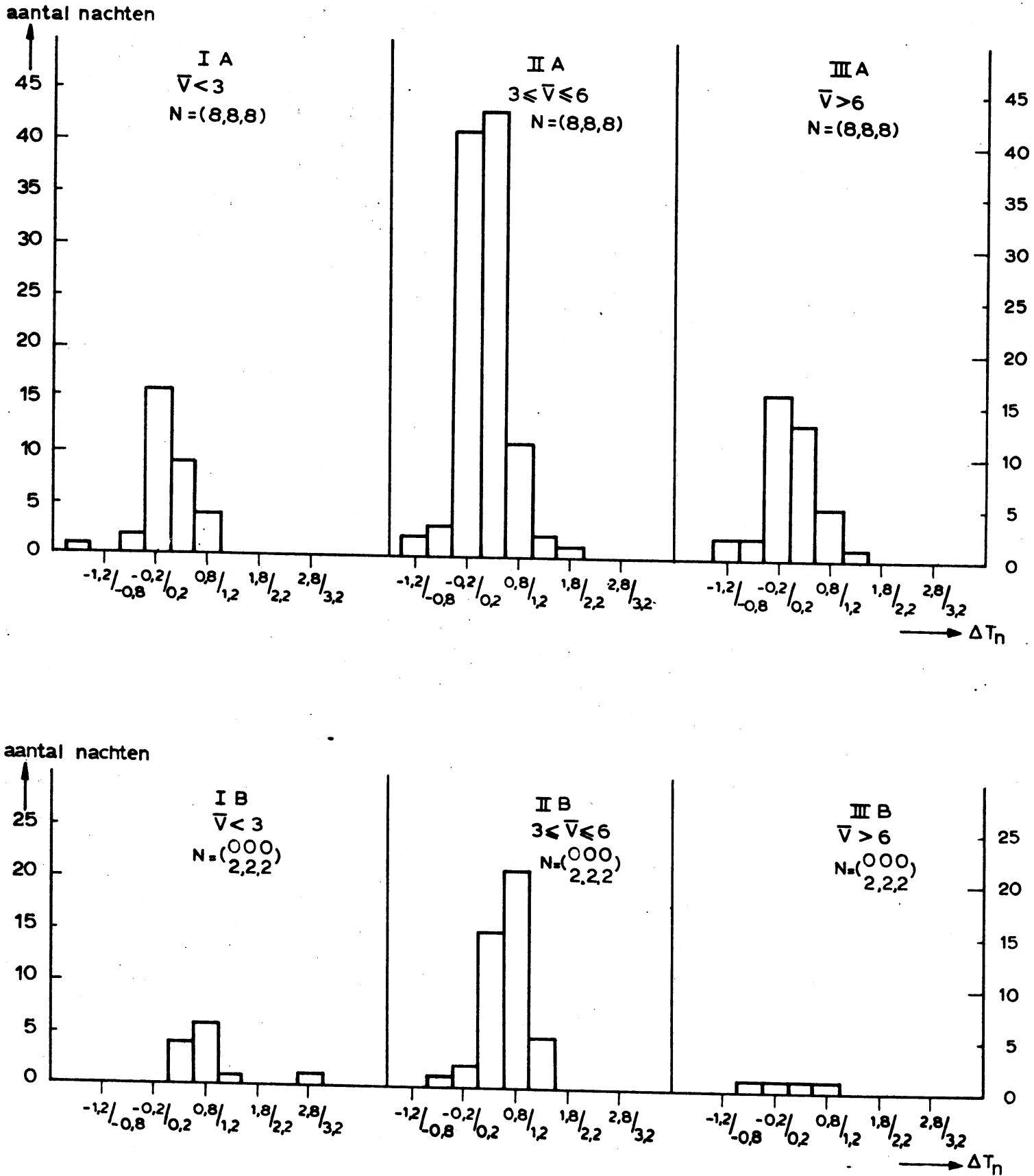
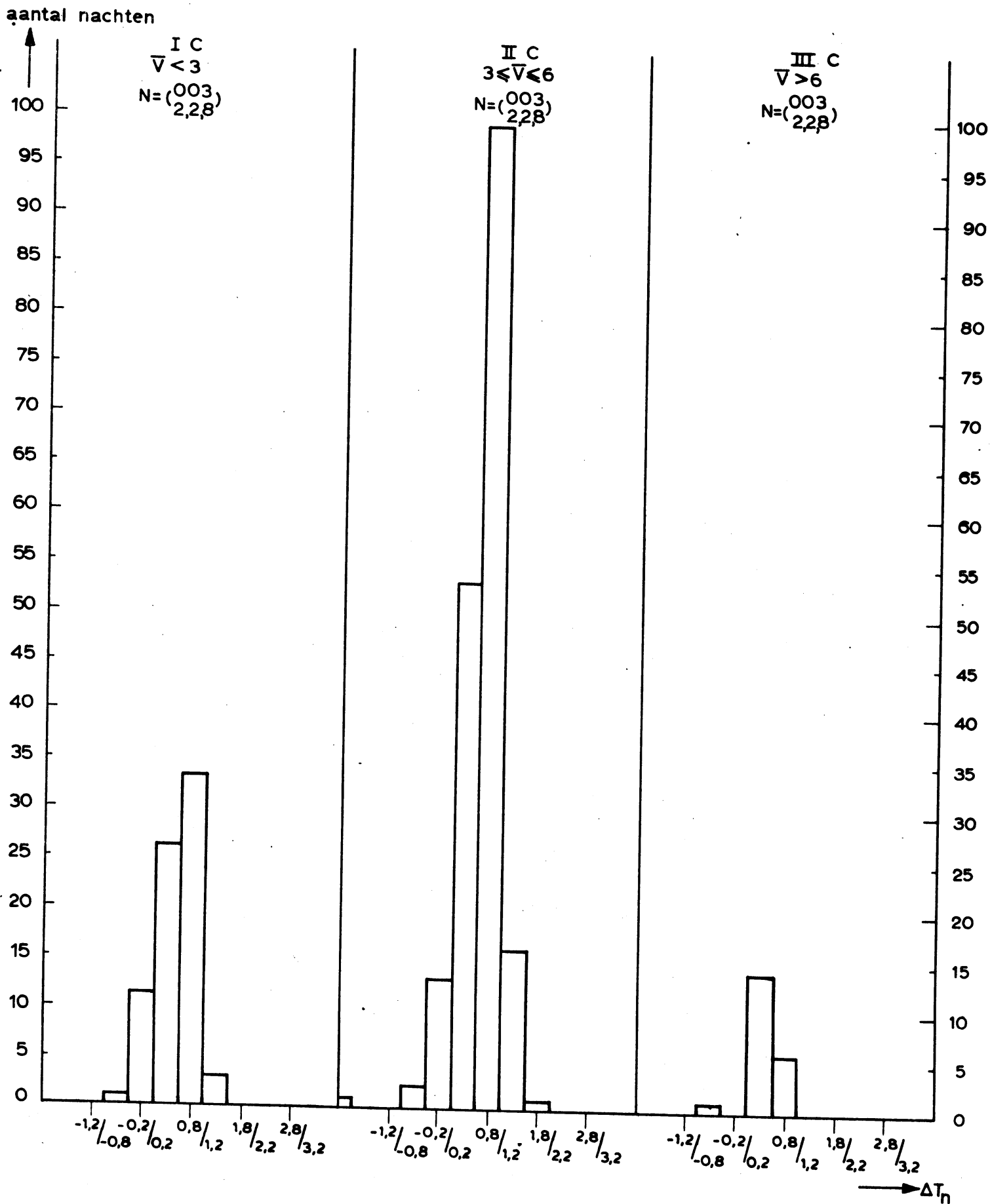
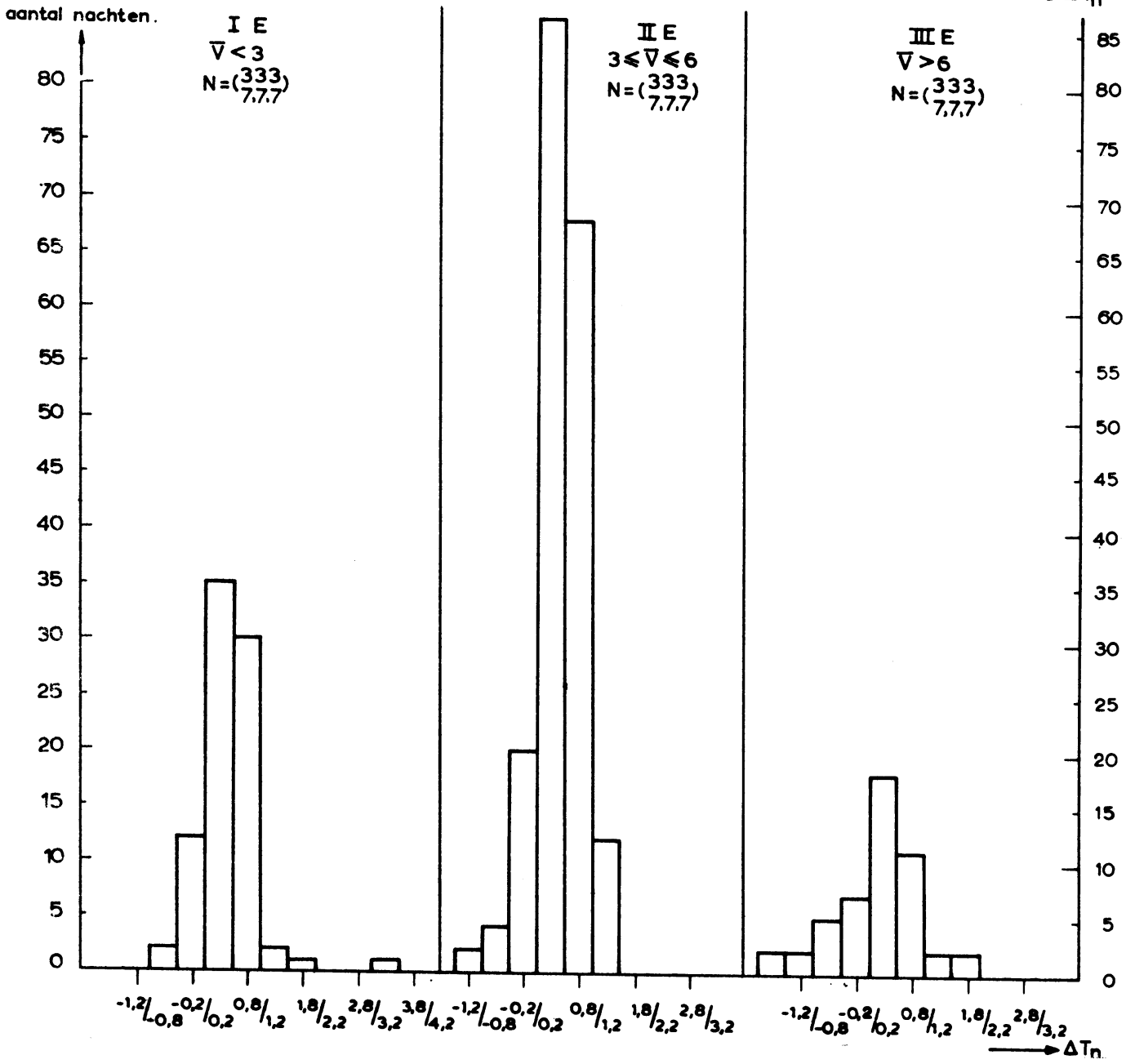
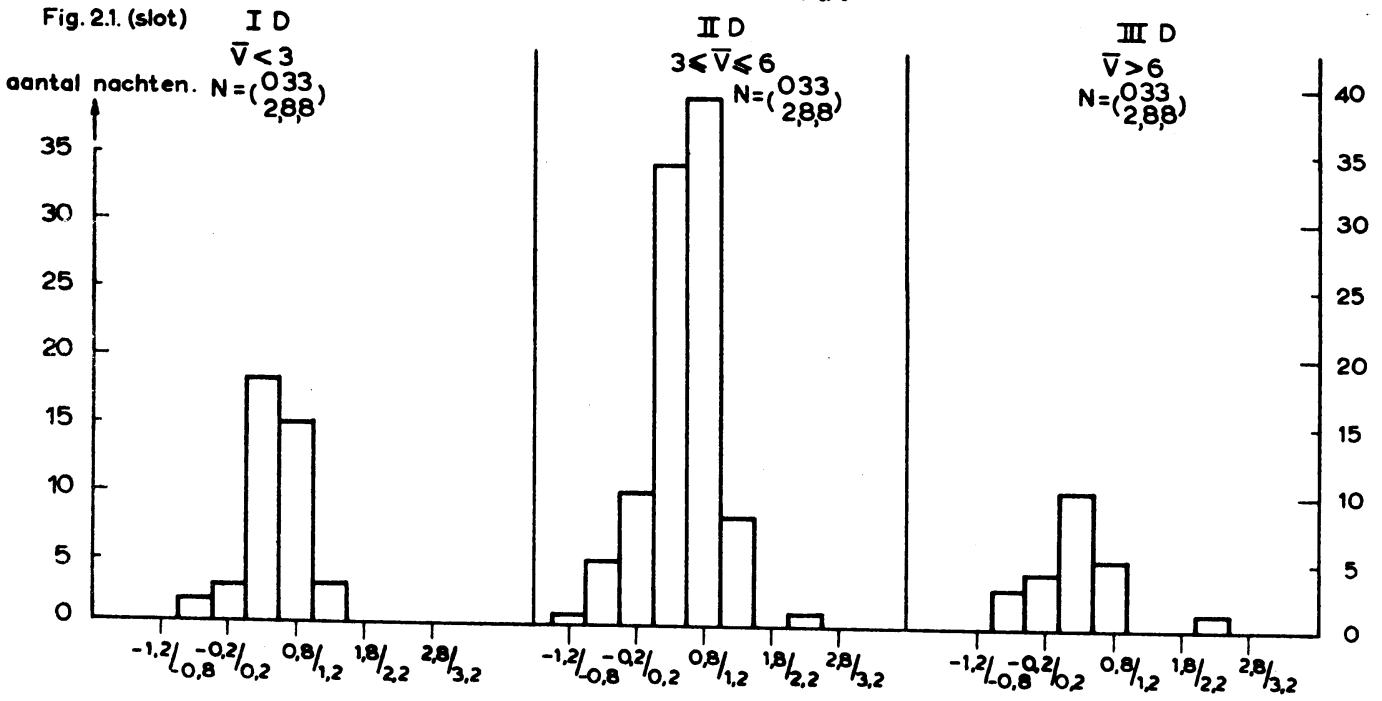


Fig. 2.1. (vervolg)





Een waarde van $\Delta T > 2^{\circ}\text{C}$ kwam een enkele maal voor in de groepen I B, I E, II A, II C, II D, III D en III E. Tegen de verwachting in was dit ook het geval bij de groepen II A (volledig bedekte hemel en matige wind) en III D en III E (meer dan matige wind). Het is moeilijk hiervoor een verklaring te geven. Het is echter gebleken, dat bij harde wind de index van de thermometers kan verschuiven door in de thermometer opgewekte trillingen. In twee gevallen bleek dit o.i. duidelijk toen na harde wind zeer lage minima ten opzichte van die in de normale meteorologische kool voorkwamen, terwijl de onderlinge verschillen tussen de minima van de twee thermometers eveneens groot waren. In de betrokken gevallen moet de turbulentiegraad van de atmosfeer zodanig groot worden geacht, dat grote verschillen in temperatuur op korte afstand nabij de grond uitgesloten zijn. De genoemde gevallen werden daarom buiten beschouwing gelaten. Dit geschiedde ook met een derde geval, waarbij hoogst waarschijnlijk een grote afleesfout was gemaakt. Het is voorts niet onmogelijk, dat door in de thermometers opgewekte trillingen bij harde wind de verschillen ΔT_n kleiner zijn geworden dan in werkelijkheid het geval was. Hierop wijzen de negatieve waarden van ΔT_n in de groepen III A t/m III E (windsnelheid > 6 m/s), waar men deze niet zou verwachten. In deze groepen komen echter ook enkele betrekkelijk grote waarden van ΔT_n voor, die men evenmin zou verwachten. Wij dienen evenwel in het oog te houden, dat de omstandigheden gedurende de nacht zijn gekarakteriseerd op grond van waarnemingen op een drietal tijdstippen. De omstandigheden in het tijdvak tussen twee waarnemingen kunnen evenwel geheel anders zijn geweest. Wij achten derhalve onvoldoende gronden aanwezig om de gesignaleerde gevallen als onbetrouwbaar te kwalificeren, zodat deze niet werden verwijderd.

Voorts is nagegaan in hoeverre de 15 frequentieverdelingen in fig. 2.1 statistisch significant van elkaar verschillen. Bij de groeps- of paarsgewijze toetsing werd als nulhypothese gesteld dat de steekproeven uit één universum stammen. In tabel 2.2 zijn de resultaten van de toetsingen vermeld. Voor meer bijzonderheden omtrent de wijze van toetsen zij verwezen naar Appendix I.

Uit tabel 2.2 blijkt, dat voor een groot aantal groepen de nulhypothese niet kon worden verworpen.

Tabel 2.2 Toetsing van de significantie van de verschillen tussen de onderscheiden groepen van verschillen ΔT_n in dagelijkse minimumtemperatuur, aangewezen door een bedekte (T_{nb}) en een onbedekte thermometer (T_{no}) boven zwarte grond. Onbetrouwbaarheidsdrempel 5%. (voor betekenis letters en cijfers zie tekst).

Groepen		verschil significant?	Groepen		verschil significant?	groepen		verschil significant?
I A	II A	neen	I A	I B	ja	II B	II D	ja
I A	III A	neen	I A	I C	ja	II B	II E	ja
II A	III A	neen	I A	I D	ja	II C	II D	neen
I B	II B	neen	I A	I E	ja	II C	II E	ja
I B	III B	neen	I B	I C	neen	II D	II E	neen
II B	III B	ja	I B	I D	neen	III A	III B	neen
I C	II C	neen	I B	I E	neen	III A	III C	ja
I C	III C	neen	I C	I D	neen	III A	III D	ja
II C	III C	neen	I C	I E	neen	III A	III E	ja
I D	II D	neen	I D	I E	neen	III B	III C	neen
I D	III D	neen	II A	II B	ja	III B	III D	neen
II D	III D	neen	II A	II C	ja	III B	III E	neen
I E	II E	neen	II A	II D	ja	III C	III D	neen
I E	III E	ja	II A	II E	ja	III C	III E	ja
II E	III E	ja	II B	II C	neen	III D	III E	neen

In tabel 2.3 zijn de gemiddelde verschillen ΔT_n voor elk der 15 groepen bijeengebracht.

Uit de tabellen 2.2. en 2.3 blijkt duidelijk, dat:

1. ook bij harde wind en/of een volledig bedekte hemel er gemiddeld wel

Tabel 2.3 Gemiddelde verschillen $\Delta T_n (=T_{nb} - T_{no})$ tussen de dagelijkse waarden van de minimumtemperatuur aangewezen door een bedekte (T_{nb}) en door een onbedekte thermometer (T_{no}) boven zwarte grond voor elk der 15 groepen.

groep	A	B	C	D	E
I	0,3	0,8	0,7	0,6	0,6
II	0,3	0,8	0,8	0,7	0,7
III	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4

enig verschil is tussen de temperatuur van een bedekte en die van een onbedekte thermometer.

2. ook bij harde wind de invloed van de bedekkingsgraad van de hemel significant is, en
3. dat met uitzondering van de gevallen bij geheel bedekte hemel (A) de onderlinge verschillen tussen de groepen slechts gering en in de meeste gevallen niet significant zijn.

Dienovereenkomstig kan worden afgeleid, dat de gemiddelde verschillen ΔT_n onder verschillende omstandigheden zijn als vermeld in tabel 2.4.

Tabel 2.4 Gemiddelde verschillen ΔT_n in temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) tussen een bedekte en een onbedekte thermometer.

	geheel bewolkt (A)	vrijwel onbewolkt (B + C)	overige gevallen (D + E)
lichte tot matige wind (I+II)	0,3	0,8	0,7
minstens harde wind (III)	0,2	0,5	0,5

De metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte werden in het tijdvak 1916-1946 op alle plaatsen uitgevoerd met behulp van een minimum-thermometer, geplaatst in een statief, uitgerust met een tweetal vierkante plaatjes van eterniet van 8 x 8 cm boven het vloeistofreservoir.

Van 1946 af is het statief bovendien uitgerust met een vierkant plaatje onder het vloeistofreservoir (zie fig. 2.2).

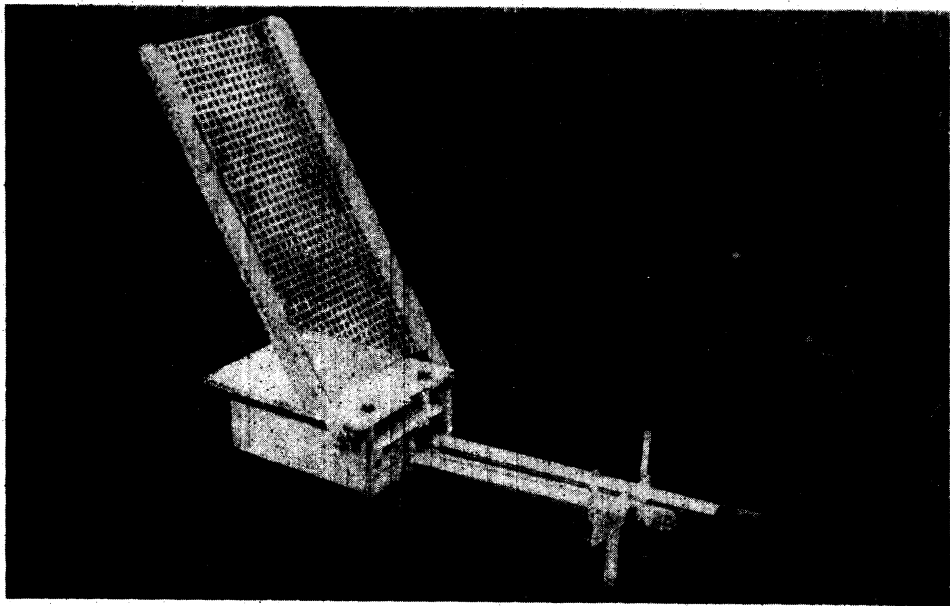


Fig. 2.2 Statief voor metingen van de minimum-temperatuur op 10 cm hoogte.

Tevens werden de afmetingen vergroot tot 10 x 10 cm. Aanvankelijk waren de plaatjes van hout (triplex), na 1950 van vinilyne.

De metingen van vóór 1946 kunnen beïnvloed zijn geweest door bodemstraling. Vergelijkende metingen hebben evenwel aangetoond, dat de verschillen in aanwijzing van thermometers, geplaatst in statieven met en zonder plaatje onder het vloeistofreservoir statistisch niet significant zijn.

2.2 Kritieke temperatuur; nachtvorst

In hoofdstuk 1 werd reeds ingegaan op de voor fruitgewassen kritieke temperaturen. Voor andere tuinbouwgewassen zijn weinig gegevens bekend. Op grond van de resultaten van diverse onderzoeken kan worden aangenomen, dat in het algemeen door nachtvorst schade wordt toegebracht, als de temperatuur van het gewas tenminste 30 minuten 1 à 2°C onder het vriespunt is geweest.

Wij nemen voorts aan, dat de temperatuur van een gewas en die aangewezen door een onbedekte thermometer weinig van elkaar verschillen. Op grond van het in paragraaf 2.1 behandelde kunnen wij het verschil in temperatuur tussen een bedekte en een onbedekte thermometer in heldere windstille nachten zeker op 0,8°C stellen. In het algemeen kan dus schade door nachtvorst worden verwacht, indien de minimumtemperatuur, aangewezen door een tegen straling beschermde thermometer beneden 0°C is.

Wij stellen derhalve het volgende:

Schadelijke nachtvorst wordt geacht te zijn opgetreden, indien een tegen hemel- en bodemstraling beschermde thermometer, opgesteld op 10 cm hoogte, een temperatuur beneden het vriespunt heeft aangewezen.

2.3 Metingen te De Bilt

Op 1 oktober 1915 zijn op het waarnemingsterrein van het K.N.M.I. te De Bilt dagelijkse metingen begonnen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte boven een kort gehouden grasmat. De gegevens uit de jaren 1915 t/m 1942 ondergingen reeds een bewerking. (zie Braak, 1943). Voor elk van de 12 maanden werden de gemiddelde maandelijkse minimumtemperaturen (het gemiddelde van de laagste van de in elk der 28 kalender-maanden

gemeten dagelijkse minimumtemperaturen) berekend. Volgens Braak (1943) was over het tijdvak 1916-1942 de gemiddelde maandelijkse minimumtemperatuur op 10 cm hoogte in april $-4,1^{\circ}\text{C}$ en in mei $-2,4^{\circ}\text{C}$. Het hoogste en het laagste minimum in hetzelfde tijdvak voor april waren resp. $-0,3$ en $-8,8^{\circ}\text{C}$ en voor mei resp. $0,9$ en $-5,3^{\circ}\text{C}$.

Door ons zijn de uitkomsten van de metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte, verkregen in de maanden april en mei van de jaren 1916 t/m 1961 (behalve van 1945) nader geanalyseerd. De beperking tot de maanden april en mei is gebaseerd op de betekenis van de minimumtemperatuur voor de plantengroei in deze maanden.

De metingen hebben in het tijdvak 1916-1961 niet steeds onder dezelfde omstandigheden plaats gevonden. In 1951 werd de thermometeropstelling overgebracht van het zeer beschut gelegen oude terrein naar het nieuwe waarnemingsterrein, dat naar het zuiden vrij open is gelegen. De metingen van vóór 1930 zijn niet geheel betrouwbaar, aangezien ijkwaarden van de gebruikte thermometer ontbraken. Braak (1943) leidde deze af uit een vergelijking van de gegevens van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte met die op 2,20 m in de meteorologische kooi. In het gehele meetgebied diende op de afgelezen maanden een correctie van $+ 0,6^{\circ}\text{C}$ te worden toegepast.

Op deze wijze was vergelijking van de gegevens verkregen in het tijdvak 1930-1950 met die van de jaren 1951-1960 niet mogelijk, omdat in 1951 tegelijk met de minimum-thermometeropstelling op 10 cm hoogte ook de meteorologische kooi naar het nieuwe terrein werd overgebracht.

Voorts werd nagegaan of de drie deelreeksen 1916-1930, 1931-1950 (zonder 1945) en 1951-1961 tezamen als een homogene reeks zijn te beschouwen, waaronder wij hier willen verstaan, dat de reeksen van gemiddelde waarden van de minimumtemperatuur niet significant van elkaar verschillen.

Daartoe werd de H-toets van Kruskal en Wallis (zie b.v. Dixon & Massey, 1957) op de maandgemiddelden van de dagelijkse minimumtemperatuur van de maanden april en mei afzonderlijk toegepast. Daarbij bleek, dat de hypothese, dat de drie deelreeksen aselechte steek-

proeven vormen uit eenzelfde populatie bij een 5% onbetrouwbaarheidsdrempel niet verworpen behoeft te worden. Voor nadere bijzonderheden zij verwezen naar Appendix II. Wij kunnen derhalve alle dagelijkse gegevens van de minimumtemperatuur van de maanden april en mei van de jaren 1916 t/m 1961 gebruiken voor een nadere analyse.

In de tabellen 2.5 en 2.6 zijn de dagelijkse waarden van de minimumtemperatuur respectievelijk gemeten in de maanden april en mei van de jaren 1916 t/m 1961 vermeld, voor zover deze beneden 0°C waren.

Uit tabel 2.5 volgt, dat in het beschouwde tijdvak in elke maand april de minimumtemperatuur minstens één maal beneden het vriespunt kwam. Tabel 2.6 laat zien, dat in enige jaren in de maand mei geen minimumtemperatuur beneden 0°C is voorgekomen. (1918, 1931, 1937, 1947, 1948 en 1950). Het valt voorts op, dat nachten met minimumtemperaturen beneden 0°C vaak in reeksen voorkomen.

In het hiernavolgende zullen de resultaten van de bemerkingen van het waarnemingsmateriaal worden besproken.

a. Variatie van de nachtvorstfrequentie in de loop van april en van mei.

In de eerste plaats is nagegaan in hoeverre de frequentie van nachtvorstnachten in de loop van de maanden april en mei verandert. Hiertoe zijn de gegevens per pentade (reeks van vijf dagen, de 6e pentade van mei telt evenwel 6 dagen) beschouwd.

Voor iedere pentade is de frequentie van voorkomen van minimumtemperaturen beneden het vriespunt in het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945) per graad-klasse ($-0,1$ t/m $-1,0$, $-1,1$ t/m $-2,0$, enz.) bepaald. De relatieve frequenties, berekend t.o.v. het totaal aantal nachten in elk der 12 pentaden van de maanden april en mei, zijn, tot in gehele procenten afgerond, opgenomen in tabel 2.7C. In de tabellen 2.7A en 2.7B zijn de procentuele aantallen voor de deeltijdvakken resp. 1916-1950 en 1951-1961 opgenomen. In de tabellen zijn bovendien de relatieve frequenties van alle minimumtemperaturen beneden 0°C vermeld, alsmede in tabel 2.7C het totaal aantal nachten in de betrokken pentade van het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945).

Tabel 2.5 Minimumtemperaturen op 10 om hoogte te De Bilt op dagen waarop deze in april van de jaren 1916-1961 (zonder 1945) beneden 0°C waren.

Datum	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930
1	-1,5			-1,3			-8,8	-1,4	-2,1	-1,6	-2,5				
2		-5,6	-0,6	-5,1			-6,0		-0,6	-1,7	-0,6	-1,6	-0,2	-0,7	
3	-0,5		-0,2	-5,9			-7,4	-2,4	-3,4				-0,2	-4,1	-1,0
4		-3,4		-4,5						-3,8					
5		-6,6		-5,0		-1,8	-2,6		-2,4	-0,2				-5,9	
6	-0,2	-3,5					-3,7	-2,0	-0,1				-0,2		
7					-0,1		-7,5	-3,2					-2,7	-0,9	
8		-5,6				-4,3		-0,1	-2,3						
9	-2,3	-4,0					-1,9	-1,5		-1,0		-0,8			
10	-1,3	-0,7					-7,4	-7,3	-3,5						
11	-1,5	-3,1					-0,3	-1,7	-3,1			-2,2			-1,2
12									-5,9		-0,7				-2,0
13						-0,6					-2,6				
14											-1,5				-2,3
15								-0,4		-1,3			-1,4	-0,5	
16						-6,6		-0,2				-0,2			
17	-0,9					-5,6	-0,4		-2,7	-1,4		-0,6		-0,4	
18		-2,6		-0,4		-4,2			-5,4				-2,3	-0,5	
19		-4,5	-2,2			-3,2		-0,6		-0,9			-0,4		-2,0
20			-4,3			-3,9	-2,9			-4,0			-2,5		
21			-2,7	-1,6			-2,4	-0,2		-0,2				-5,1	
22		-0,9	-2,6	-4,5	-0,7	-0,5	-5,0			-2,8	-1,1		-3,6	-6,4	
23		-5,0		-5,6	-0,6	-1,3	-4,7		-4,4		-1,0		-2,9	-4,4	-1,0
24	-1,4	-5,6		-1,3	-1,2			-1,6			-0,2		-1,4	-4,0	
25				-0,7				-6,0		-3,4				-2,2	
26										-4,3				-4,4	
27										-2,4		-0,4		-0,4	
28				-0,5				-4,0		-2,1				-2,0	
29				-4,2								-0,9			
30		-0,5							-0,7	-2,4		-2,0			

Tabel 2.5 vervolg

Datum	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1946
1	-5,1										-0,7			-4,8	-1,1
2	-1,2		-0,7												
3					-2,7							-0,8			
4					-3,0			-1,2							
5	-1,0			-0,9	-3,3						-1,4		-0,3		
6	-2,1			-1,9	-0,7						-0,9				
7	-4,1				-3,7	-1,2			-0,6	-4,2	-0,4		-1,5		-1,0
8	-0,2					-3,2			-1,8		-3,9				
9	-0,1								-0,8		-4,4				
10						-1,9		-3,2			-4,6				-2,8
11								-2,8		-2,5	-0,5				-3,4
12						-1,0	-0,3			-2,6					
13					-2,4	-2,8				-1,1					-1,4
14		-3,0	-0,3		-0,6	-4,3				-0,8					
15			-3,6		-0,9	-2,7									
16										-0,1	-2,0	-1,2			
17			-3,0	-0,2				-0,8		-1,5	-2,5				
18	-3,3		-3,6					-4,9							
19			-4,9					-1,5							
20		-1,9	-2,5			-2,0		-2,8						-1,3	-2,3
21			-3,0			-3,0		-4,8							-0,7
22			-5,0												-0,8
23		-0,2	-3,7			-3,5						-1,0			-2,7
24						-2,4					-0,6				
25											-0,9				
26								-1,6	-2,6		-0,8				
27									-1,0						
28									-0,1					-0,2	
29	-1,0										-1,2		-2,1		
30								-0,5				-2,6			-0,1

Tabel 2.5 slot

Datum	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
1						-5,7						-2,9			
2						-5,4		-0,5		-1,6		-3,0			
3					-1,1	-5,2				-0,5		-2,9			-1,3
4						-4,0									-0,8
5	-1,6					-3,9	-0,8	-1,0		-4,1					
6		-1,1				-0,6		-3,5		-3,9					
7				-0,2				-0,8		-7,6					
8							-4,0	-5,5			-0,1				
9								-1,8				-4,2			
10	-1,5	-1,9	-1,9					-0,4				-2,5			
11	-2,1						-3,7	-4,4			-4,4				
12		-0,9			-2,9			-4,6		-3,8	-5,5	-1,3			
13		-0,2		-1,7				-2,5			-4,0	-0,9			
14				-0,6					-0,5		-5,8	-0,1			
15					-3,9		-1,5				-1,8				
16									-3,1	-1,5				-4,2	
17				-1,9				-3,8	-0,2		-2,0	-3,1			
18					-5,2			-7,1		-4,4				-0,4	
19						-0,1			-4,2	-5,2					
20					-0,4			-0,3		-6,6	-1,1		-4,2		
21					-2,4		-0,2			-2,0	-0,1		-5,9		
22					-2,5			-1,4	-2,7	-1,8			-1,6	-2,3	
23					-1,5			-0,3		-2,6		-0,6			
24					-0,5	-0,1		-3,5	-0,7	-4,8		-1,3	-0,6	-1,9	-0,2
25					-0,2	-0,7		-1,8	-5,2						
26				-1,4			-4,5			-2,7					
27	-1,3	-0,6	-1,3			-2,2								-4,4	
28														-0,2	
29					-3,0	-0,6		-4,6					-1,6		
30			-1,1		-3,4			-4,9		-1,0				-3,9	

Tabel 2.7 Relatieve frequenties per pentade (in procenten van het totaal aantal nachten in de betrokken pentade in ieder tijdvak) van minimumtemperaturen op 10 om hoogte te De Bilt, voor zover deze beneden het vriespunt waren, voor de 12 pentaden in april en mei.

Min.temp. °C	Mnd.	a p r i l						m e i					
		Pentade	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
A Tijdvak 1916 - 1950 (zonder 1945)													
-0,1 t/m -1,0		9	11	9	8	10	8	2	6	7	5	4	1
-1,1 t/m -2,0		7	8	6	6	5	5	6	4	5	6	1	1
-2,1 t/m -3,0		4	3	6	6	6	4	2	4	2	1	0	0 ⁺
-3,1 t/m -4,0		2	3	2	3	3	1	2	1	2	2	0	0
-4,1 t/m -5,0		2	3	1	3	5	2	1	2	1	0	0	0
<-5,0		5	2	1	2	3	0	1	0	1	0	0	0
Totaal < 0,0 °C		29	30	25	28	32	20	14	17	18	14	5	2
B Tijdvak 1951 - 1961													
-0,1 t/m -1,0		9	7	5	9	18	5	4	4	5	2	9	2
-1,1 t/m -2,0		5	2	5	5	15	2	5	4	4	0	4	2
-2,1 t/m -3,0		5	2	4	0	9	5	5	0	2	2	2	0
-3,1 t/m -4,0		4	5	7	5	2	4	4	2	0	4	2	0
-4,1 t/m -5,0		1	1	2	2	1	2	0	1	0	0	0	1
<-5,0		5	4	4	7	4	0	2	2	2	0	0	0
Totaal < 0,0 °C		29	21	27	28	49	18	20	13	13	8	17	5
C Gehele tijdvak 1916 - 1961 (zonder 1945)													
-0,1 t/m -1,0		9	10	8	8	12	8	2	5	7	4	5	1
-1,1 t/m -2,0		7	6	6	6	7	4	6	4	5	4	2	1
-2,1 t/m -3,0		4	3	5	5	7	4	3	3	2	1	1	0 ⁺
-3,1 t/m -4,0		3	5	4	4	3	1	2	1	2	2	1	0
-4,1 t/m -5,0		2	3	2	2	2	0 ⁺	0 ⁺	2	0 ⁺	2	1	0 ⁺
<-5,0		5	3	1	3	3	0	1	0 ⁺	1	0	0	0
Totaal < 0,0 °C		30	30	26	28	34	17	14	15	17	13	10	2
Totaal aantal nachten 1916-1961		225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	270

+ betekent: één maal voorgekomen (< 0,5%)

Uit tabel 2.7 zouden de volgende conclusies kunnen worden getrokken:

1. De frequentie van nachtvorsten neemt in de loop van de maanden april en mei niet regelmatig af.
2. In de 5e pentade van april is duidelijk een tweede maximum in het voorkomen van nachtvorst in deze maand te onderkennen. In dit tweede maximum is het aantal gevallen van lichte nachtvorst (minimumtemperatuur tussen 0 en -2°C) groter dan in het eerste maximum in de 1e en 2e pentade.
3. De frequentie van zware nachtvorsten (minimumtemperatuur $< -4^{\circ}\text{C}$) is in de eerste vijf pentaden van april vrijwel gelijk.
4. Met de zesde pentade van april wordt de frequentie van nachtvorsten duidelijk kleiner, vooral wat de zware nachtvorsten (minimumtemperatuur $< -4^{\circ}\text{C}$) betreft.
5. Gedurende de eerste drie pentaden van mei komen gemiddeld vrijwel gelijke aantallen nachten met minimumtemperaturen beneden het vriespunt voor. Van een z.g. "ijsheiligen-periode", de derde pentade van mei, is geen sprake.

In verband met het onder punt vijf vermelde is nagegaan, hoe het is gesteld met het verloop van de dag voor dag berekende normaal van de gemiddelde etmaaltemperatuur op 2,20 (1,50) m hoogte over het standaardtijdvak 1931-1960. In het algemene verloop is er geen inzinking op 11, 12 en 13 mei te constateren. Zulks is wel het geval in de tweede pentade van mei, doch de verschillen in gemiddelde temperatuur met de voorgaande en volgende dagen zijn niet significant.

Hetzelfde blijkt ook voor de dag voor dag berekende normaal van de minimumtemperatuur het geval te zijn.

Deze resultaten ondersteunen derhalve de conclusie, die in punt 5 is neergelegd.

b. Variatie van de nachtvorstfrequentie in april en mei in de loop van de jaren 1916-1961.

Voorts kan men zich afvragen, hoe het is gesteld met de nachtvorstfrequentie in de loop van de jaren. Reeds uit de tabellen 2.5 en 2.6 is af te lezen, dat er jaren zijn met veel, andere jaren met weinig of geen nachten met een minimumtemperatuur beneden het vriespunt.

Tabel 2.8 Frequenties van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte te De Bilt beneden een aantal grenzen in een drietal tijdvakken van 15 jaren voor de maanden april en mei (1945 buiten beschouwing gelaten).

Tijdvak	<0°C	<-1°C	<-2°C	<-3°C	<-4°C	<-5°C	<-6°C	<-7°C
april								
1916-1930	161	110	80	48	37	21	7	3
1931-1946	103	66	45	22	11	1	0	0
1947-1961	123	87	57	40	26	13	3	2
mei								
1916-1930	63	41	22	9	3	1	0	0
1931-1946	59	38	18	11	6	2	0	0
1947-1961	43	29	17	11	5	3	1	0

Tabel 2.9 Frequenties van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte te De Bilt beneden een aantal grenzen in een vijftal tijdvakken van 9 jaren in de maanden april en mei (1945 buiten beschouwing gelaten).

Tijdvak	<0°C	<-1°C	<-2°C	<-3°C	<-4°C	<-5°C	<-6°C	<-7°C
april								
1916-1924	97	71	55	42	30	18	6	3
1925-1933	86	54	38	20	11	4	1	0
1934-1942	64	40	26	10	6	0	0	0
1943-1952	57	38	19	10	5	4	0	0
1953-1961	83	60	43	32	22	9	3	2
mei								
1916-1924	32	20	11	4	0	0	0	0
1925-1933	38	25	12	5	2	1	0	0
1934-1942	36	25	13	8	5	2	0	0
1943-1952	24	13	5	3	1	0	0	0
1953-1961	37	25	16	11	5	3	1	0

Teneinde te kunnen nagaan, in hoeverre van een algemene toe- of afneming van de nachtvorstfrequentie in de maanden april en mei kan worden gesproken, is voor drie 15-jarige tijdvakken, waarin de reeks van 1916-1961 (zonder 1945) kan worden verdeeld, de frequentie van het voorkomen van minimumtemperaturen beneden het vriespunt vastgesteld. Dit is geschied voor een achttal drempels, die elk 1°C verschillen. De verkregen gegevens zijn voor de maanden april en mei afzonderlijk in tabel 2.8 vermeld. Hieruit is het volgende af te leiden.

April. Het aantal nachten met nachtvorst in deze maand is in de loop der jaren aan sterke schommelingen onderhevig geweest. Van de drie 15-jarige tijdvakken kenmerkte zich dat van 1931-1946 als een met het kleinste aantal nachten met nachtvorst. Vooral het aantal zware nachtvorsten (minimumtemperatuur $< -4^{\circ}\text{C}$) was in dit tijdvak gering. In het tijdvak 1916-1930 kwamen nachtvorsten, ook zware (minima $< -4^{\circ}\text{C}$), het meest veelvuldig voor. Deze conclusie dient nader getoetst te worden. Wij stellen daarom de hypothese, dat de verdelingen in de drie tijdvakken uit één universum stammen. Met de χ^2 -toets kan worden aangetoond, dat dit niet het geval is, met een kans van 5% dat de uitspraak onjuist is. Wij mogen derhalve besluiten, dat het aantal nachtvorsten, ook de zware, in het tijdvak 1931-1946 kleiner was dan in de tijdvakken daarvoor en daarna.

Mei. De variatie in de frequentie van nachtvorsten in de drie tijdvakken blijkt in deze maand minder groot te zijn dan in april (zie tabel 2.8). In het tijdvak 1916-1930 was het totaal aantal nachten met nachtvorst het grootst, doch het aantal zware nachtvorsten (minima $< -4^{\circ}\text{C}$) het kleinst. Om dit nader te kunnen toetsen, stellen wij de hypothese H_0 , dat de frequentieverdelingen in de drie tijdvakken schattingen zijn van eenzelfde universum-kansverdeling. Het blijkt, dat deze hypothese bij toepassing van de χ^2 -toets bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% niet behoeft te worden verworpen. Een variatie in de nachtvorstfrequentie in de loop van de jaren 1916-1961 kan voor mei derhalve niet worden aangetoond.

Voorts is nagegaan in hoeverre de frequenties in vijf 9-jarige tijdvakken, waarin de periode 1916-1961 (zonder 1945) kan worden verdeeld, weer details opleveren over de variatie van de frequenties in de loop van dat gehele tijdvak.

De frequenties van de minimumtemperaturen beneden een achttal drempelwaarden zijn in tabel 2.9 opgenomen. In eerste instantie kan hieruit

worden afgeleid, dat het aantal dagen met nachtvorst in de jaren 1943-1952 zowel in de maand april als in de maand mei het kleinst was. In het tijdvak 1953-1961 was dat aantal in beide maanden belangrijk groter. In dit laatste tijdvak was het aantal nachten met minima beneden -2°C het grootst van de vijf tijdvakken. Dat het probleem van de bestrijding van nachtvorst in de vijftiger jaren na een periode met weinig nachtvorst, zoals in 1943-1952, meer in het middelpunt van de belangstelling is komen te staan, is op grond van deze conclusies wel verklaarbaar.

Ook in dit geval is nagegaan, in hoeverre de conclusies in statistisch opzicht gefundeerd zijn. Wij gaan daarbij uit van de hypothese, dat zowel voor april als voor mei de vijf verdelingen tot één universum behoren. Op grond van deze hypothese werd zowel voor april als voor mei een distributieve verdeling afgeleid met theoretische aantallen. Voor april bleek de theoretische significant te verschillen van de werkelijke verdeling, voor mei echter niet. Ook bij een indeling in vijf 9-jarige tijdvakken kan alleen voor de maand april worden vastgesteld, dat de frequentie van nachtvorsten in de loop van het tijdvak 1916-1961 sterk varieerde.

c. Frequenties van het aantal dagen per maand met minimumtemperaturen beneden zekere grenzen.

Vervolgens is onderzocht, of er een zekere wetmatigheid bestaat in de frequentieverdeling van de aantallen dagen per maand dat in april en in mei een bepaalde temperatuurgrens T_0 werd onderscheiden. Dit is geschied voor de grenzen 0 en -2°C .

Zij n het aantal dagen van de maand en p de kans op een dag met $T_{n10} < T_0$, dan wordt de kans op een maand met x dagen, elk met een $T_{n10} < T_0$, gegeven door:

$$\varphi(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, \dots, n \quad (2.1)$$

indien mag worden ondersteld, dat de kans, dat op een bepaalde dag $T_{n10} < T_0$ is, niet afhangt van de waarden van T_{n10} op voorafgaande dagen.

Zij voorts N het aantal maanden in de steekproef, dan zijn er onder deze gemiddeld een aantal van

$$A(x) = N \varphi(x) \quad (2.2)$$

elk met x dagen met $T_{n10} < T_0$.

Dan is de beste schatting van $A(x)$:

$$\hat{A}(x) = N \hat{P}(x) = N \binom{n}{x} \hat{p}^x (1 - \hat{p})^{n-x} \quad (2.3)$$

Wij hebben nagegaan, in hoeverre de verdelingen van x in de maanden april en mei door een binominale verdeling kunnen worden beschreven.

In de fig. 2.3 en 2.4 is weergegeven het aantal maanden april uit de 45 in het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945), waarin het aantal dagen met een minimumtemperatuur T_{n10} beneden 0°C , resp. beneden -2°C , 0, 1, ..., n bedroeg. Het grootste aantal dagen in één maand met $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$ was 19, dat met $T_{n10} < -2^\circ\text{C}$ was 11.

Voor $T_0 = 0^\circ\text{C}$ verkrijgen wij bij toepassing van bovenvermelde formules:

$$\hat{p}_1 = \frac{387}{1350} = 0,287$$

$$\hat{A}_1(x) = 45 \binom{30}{x} 0,287^x \cdot 0,713^{30-x}$$

Toetsing met de χ^2 -toets van de aldus verkregen verdeling tegen de werkelijke verdeling gaf als resultaat, dat de aanpassing slecht is, d.w.z. dat de hypothese, dat de kansverdeling van het aantal dagen per maand met $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$ een binominale zou zijn, bij een 5% significantiedrempel moet worden verworpen.

Voor $T_0 = -2^\circ\text{C}$ zijn de uitkomsten:

$$\hat{p}_2 = \frac{182}{1350} = 0,135$$

$$\hat{A}_2(x) = 45 \binom{30}{x} 0,135^x \cdot 0,865^{30-x}$$

Toetsing met de χ^2 -toets van de op grond hiervan verkregen verdeling tegen de werkelijke verdeling geeft eveneens als resultaat, dat de hypothese, dat de kansverdeling van het aantal dagen per maand met minima beneden -2°C een binominale zou zijn, bij een 5% significantiedrempel moet worden verworpen.

De figuren 2.5 en 2.6 geven de frequentieverdelingen voor de maand mei, resp. voor de grenzen 0 en -2°C . Het grootste aantal dagen in één maand met $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$ was in mei 10, dat met $T_{n10} < -2^\circ\text{C}$: 7.

Voor de grens $T_0 = 0^\circ\text{C}$ zijn de uitkomsten:

Fig.2.3. Frequentieverdeling van de maandelijkse aantallen dagen met $T_{n_0} \leq 0^\circ\text{C}$ (fig.2.3), resp. $T_{n_0} \leq -2^\circ\text{C}$ (fig.2.4.) over 45 april-maanden.

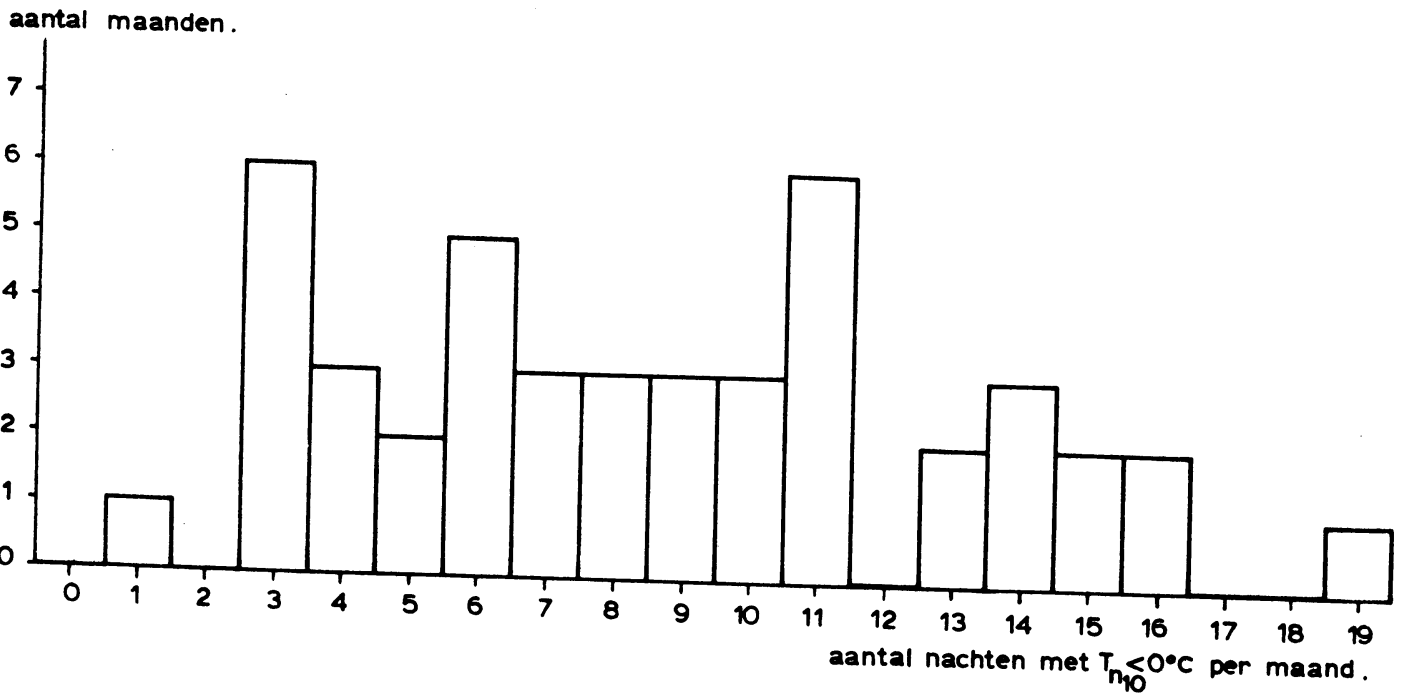
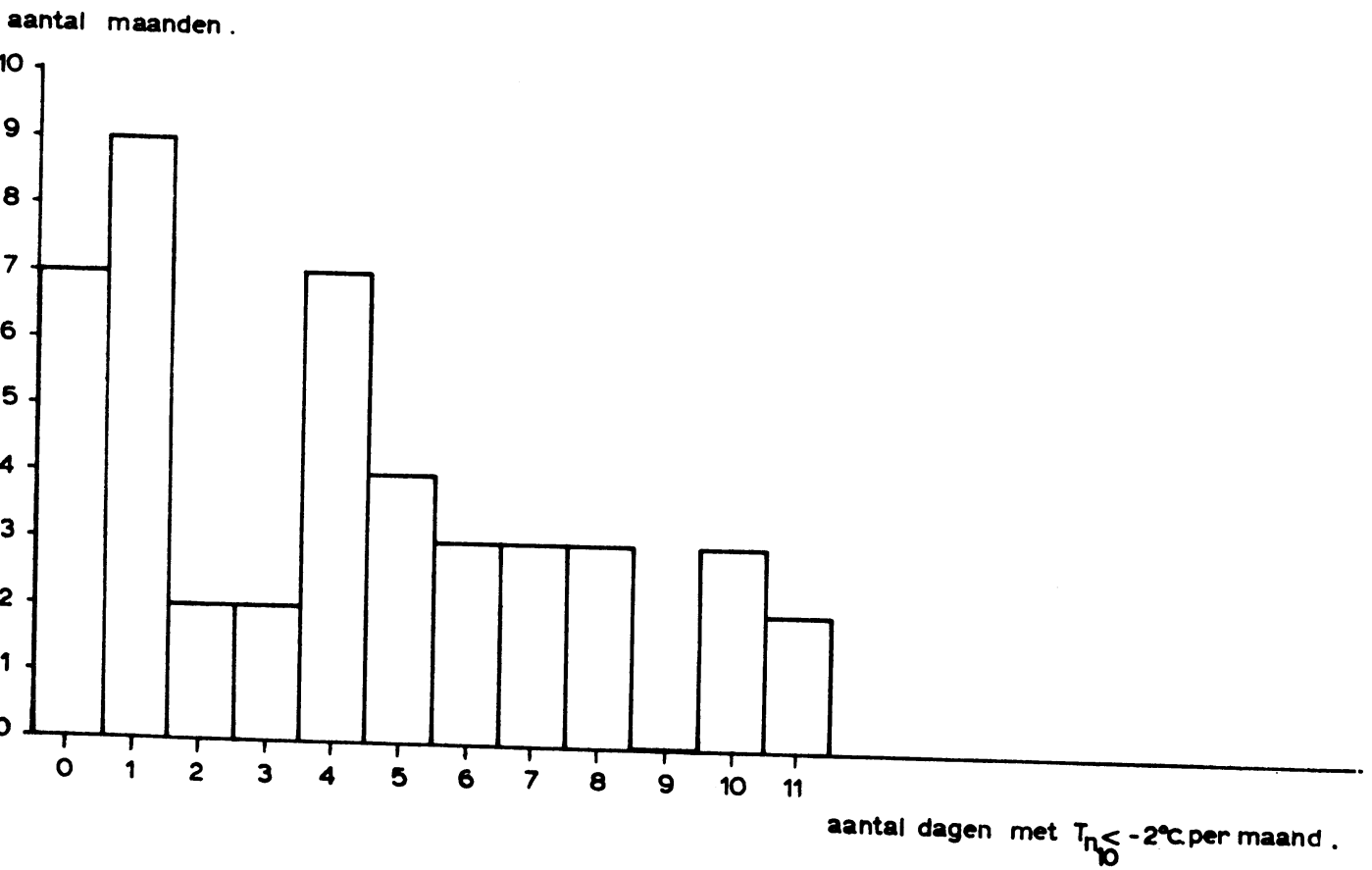


Fig.2.4.



$$\hat{p}_3 = \frac{165}{1395} = 0,118$$

$$\hat{A}_3(x) = 45 \binom{31}{x} 0,118^x \cdot 0,882^{31-x}$$

Toetsing met de χ^2 -toets toonde aan, dat de hypothese dat de kansverdeling van het aantal nachten met $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$ een binominale zou zijn bij een 5% significantiedrempel niet behoeft te worden verworpen. In fig. 2.5 is tevens de binominale verdeling weergegeven.

Voor de grens $T_0 = -2^\circ\text{C}$ verkrijgen wij het volgende:

$$\hat{p}_4 = \frac{56}{1295} = 0,040$$

$$\hat{A}_4(x) = 45 \binom{31}{x} 0,040^x \cdot 0,960^{31-x}$$

Met behulp van de χ^2 -toets kan worden vastgesteld, dat de hypothese, dat de kansverdeling van het aantal dagen per maand met $T_{n10} < -2^\circ\text{C}$ bij een 5% significantiedrempel niet behoeft te worden verworpen. De binominale verdeling is mede in fig. 2.6 weergegeven.

Eerder was opgemerkt, dat toepassing van de formule (2.1) voor $\varphi(x)$ strikt genomen alleen dan geoorloofd is, indien er geen persistentie aanwezig is. Dat de verdeling van het aantal dagen per maand met T_{n10} beneden zekere grenzen vóór april niet, vóór mei wel door een binominale verdeling kan worden voorgesteld, zouden wij willen verklaren met het feit, dat in april de nachtvorstnachten sterk gepersisteerd zijn, in mei echter in veel minder sterke mate.

In de volgende paragraaf zal nader op de persistentie worden ingegaan.

d. Frequenties van aaneengesloten reeksen nachten met nachtvorst.

Bij een beschouwing van de tabellen 2.5 en 2.6 valt het op, dat het aantal gevallen waarin een nacht met nachtvorst werd gevolgd door één of meer nachten met nachtvorst, vooral in april, vrij groot is, m.a.w. er komen tamelijk veel nachtvorstnachten in reeksen voor. Wij hebben daarom nagegaan, hoe het is gesteld met de frequentie van reeksen nachtvorstnachten.

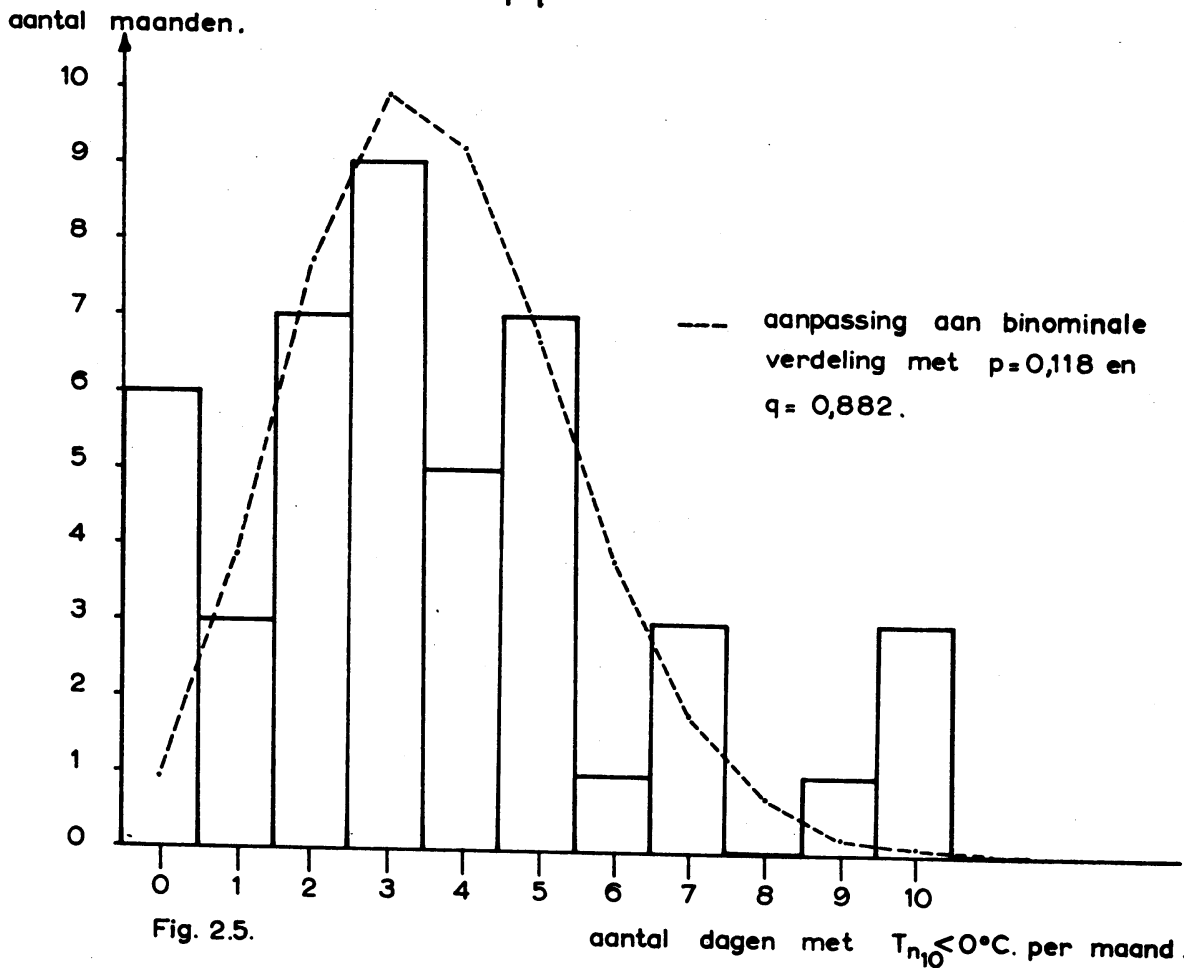


Fig. 2.5.

aantal dagen met $T_{n_{10}} < 0^{\circ}\text{C}$. per maand.

Frequentieverdeling van de maandelijkse aantallen dagen met $T_{n_{10}} < 0^{\circ}\text{C}$.(fig.2.5.), resp. $T_{n_{10}} < -2^{\circ}\text{C}$.fig.2.6. over 45 mei-maanden.

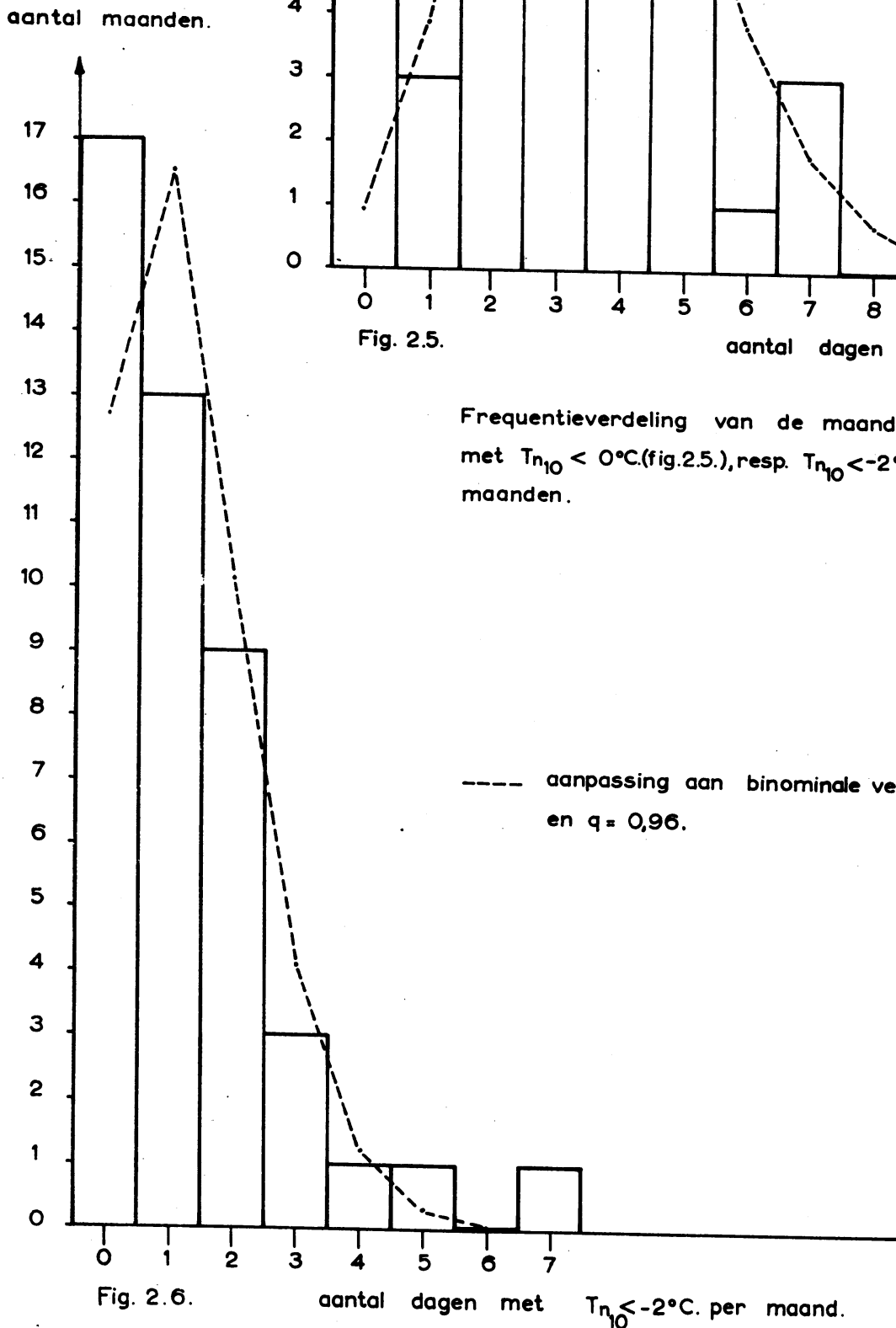


Fig. 2.6.

aantal dagen met $T_{n_{10}} < -2^{\circ}\text{C}$. per maand.

In het hierna volgende zal onder een "k-reeks" nachtvorstnachten worden verstaan een reeks van k achtereenvolgende nachten met nachtvorst die zowel voorafgegaan als gevolgd wordt door een nacht zonder nachtvorst.

Voorts definiëren wij:

p : de "overall" kans op een nacht met nachtvorst, d.w.z. ongeacht de waarde van T_{n10} in de voorafgaande en volgende nachten.

$p(j/i)$: de kans op precies j achtereenvolgende nachten met nachtvorst, onder voorwaarde, dat er direct daaraan voorafgaand reeds precies i achtereenvolgende nachten met nachtvorst zijn voorgekomen.

$p(\geq j/i)$: de kans op tenminste j achtereenvolgende nachten met nachtvorst onder voorwaarde, dat reeds i achtereenvolgende nachten met nachtvorst daaraan direct zijn voorafgegaan.

$p(\geq j/\geq i)$: de kans op tenminste j nachten met nachtvorst, nadat er direct aan voorafgaande reeds tenminste i nachten met nachtvorst zijn voorgekomen.

Zij n_k = het aantal reeksen van nachten met nachtvorst van lengte k en N_k = het aantal reeksen van dagen met nachtvorst met een lengte $\geq k$.

Aangezien het aantal door telling verkregen gegevens eindig is, levert het feitelijke materiaal slechts relatieve frequenties, die wij met \hat{p} willen aanduiden. \hat{p} is derhalve een schatting van p . De bovengenoemde kansen p kunnen als volgt worden geschat (zie o.a. Levert en de Boer, 1965):

$$\hat{p}(j/i) = \frac{N_{i+j} - N_{i+j+1}}{N_i} \quad (2.4)$$

$$\hat{p}(\geq j/i) = \frac{N_{i+j}}{N_i} \quad (2.5)$$

$$\hat{p}(\geq j/\geq i) = \frac{\sum_{t=i}^{\infty} N_t}{\sum_{t=j}^{\infty} N_t} \quad (2.6)$$

met i en $j = 1, 2, 3, \dots$.

In formule (2.6) is de bovengrens in feite niet ∞ , doch in ons geval het aantal dagen van de maand.

I Nachten met $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$.

Allereerst zullen wij onder een nachtvorstnacht verstaan een nacht

met een minimumtemperatuur $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. Van de 1350 april-nachten waren er 387, waarin $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ was. Van deze 387 waren er 109, die noch direkt vooraf gegaan, noch direkt gevolgd waren door een nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, de z.g. "eenlingen".

Het aantal nachten, met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, dat in reeksen voorkwam was dus 278.

Tabel 2.10. Aantallen k -reeksen van nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in april (1916-1961; zonder 1945).

lengte k (dagen)	aantal (n_k)	$N_k = n_k + n_{k+1} + \dots$	$n_k \times k$
1	109	198	109
2	44	89	88
3	21	45	63
4	8	24	32
5	9	16	45
6	2	7	12
7	3	5	21
8	1	2	8
9	1	1	9
son	198	387	387

Hierbij dient te worden opgemerkt, dat een reeks reeds eind maart kan zijn begonnen, of in mei nog worden voortgezet. Hier is evenwel alleen rekening gehouden met de lengte van de reeks in april.

De aantallen reeksen van k achtereenvolgende nachten, elk met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ zijn in tabel 2.10 vermeld. Uit tabel 2.10 volgt, dat in april de gemiddelde reekslengte (bij nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$), 2,0 dagen bedraagt. Bij gebruikmaking van de gegevens van tabel 2.10 kunnen de kansen op i nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ na tenminste één nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ met behulp van formule (2.5) als volgt worden geschat.

$$p(>1/0) = \frac{198}{963} = 0,21$$

$$p(>1/1) = \frac{89}{198} = 0,45$$

$$p(>1/2) = \frac{45}{89} = 0,51$$

$$p(>1/3) = \frac{24}{45} = 0,53$$

$$p(>1/4) = \frac{16}{24} = 0,67$$

$$p(>1/5) = \frac{7}{16} = 0,44$$

$$p (\geq 1/6) = \frac{5}{7} = 0,71$$

$$p (\geq 1/7) = \frac{2}{5} = 0,40$$

$$p (\geq 1/8) = \frac{1}{2} = 0,50$$

$$p (\geq 1/9) = \frac{0}{1} = 0,00$$

Hieruit blijkt wel, dat de kans op nog meer nachtvorstnachten zeker niet afneemt, naarmate er reeds meer zijn voorgekomen, welk verschijnsel wij met "persistentie" willen aanduiden. Overigens dient hierbij te worden aangetekend, dat de kansgetallen door de geringe aantallen waarnemingen bij toenemende i steeds minder betrouwbaar worden.

De kans op tenminste één nacht met nachtvorst in april, nadat direkt daaraan voorafgaand reeds tenminste één nachtvorstnacht is voorgekomen, is

$$p (\geq 1/\geq 1) = \frac{189}{387} = 0,49$$

De "overall"-kans op een nachtvorstnacht, d.w.z. dat een willekeurige nacht in april er één is met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, is

$$p (\geq 1/\geq 0) = \frac{387}{1350} = 0,29$$

Wij zien dus dat

$$p (\geq 1/\geq 1) \geq p (\geq 1/\geq 0),$$

hetgeen duidelijk op persistentie wijst.

Op basis van een "overall"-kans van 0,29 zou de gemiddelde reekslengte $\frac{1}{1-0,29} = 1,4$ dagen zijn. Het feitelijke aantal was evenwel 2,0 dagen.

Resumerend blijkt de persistentie van nachtvorstnachten uit:

1. het aantal nachtvorstnachten per maand is niet binominaal verdeeld,
2. hoe groter het aantal achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, hoe groter de kans op nog meer nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$,
3. de gemiddelde reekslengte is groter dan de theoretische zonder persistentie.

Nachtvorst ontstaat voornamelijk na een inval van koude lucht uit noordelijke breedten, gevolgd door opklaringen. De koude lucht verblijft dan vaak enige dagen in onze omgeving. Het gevolg is dus, dat nachtvorstnachten in langere reeksen kunnen voorkomen.

In de 45 mei-maanden was de situatie als volgt:
 van de 1395 nachten hadden 164 een minimumtemperatuur $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. Daarvan
 waren er 110 voorafgegaan en/of gevolgd door een nacht met eveneens
 $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. Het aantal "leenlingen" was derhalve 54. Evenals bij april is
 hier geen rekening gehouden met het voorkomen van nachtvorstnachten
 eind april en begin juni.

De aantallen reeksen van k achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in
 mei zijn vermeld in tabel 2.11. Hieruit volgt, dat de gemiddelde reeks-
 lengte in mei 1,8 dagen bedraagt.

Tabel 2.11. Aantallen k-reeksen van nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in mei (1916-
 1961, zonder 1945)

lengte k (dagen)	aantal (n_k)	$N_k = n_k + n_{k+1} + \dots$	$n_k \times k$
1	54	92	54
2	20	38	40
3	10	18	30
4	3	8	12
5	3	5	5
6	1	2	6
7	1	1	7
SOM	92	164	164

Bij gebruikmaking van de gegevens van tabel 2.11 kunnen de kansen op
 i achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ na tenminste één nacht met
 $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ met behulp van formule (2.5) als volgt worden geschat.

$$P(\geq 1/0) = \frac{92}{1231} = 0,07$$

$$P(\geq 1/1) = \quad = 0,41$$

$$P(\geq 1/2) = \frac{18}{38} = 0,48$$

$$P(\geq 1/3) = \frac{8}{18} = 0,44$$

$$P(\geq 1/4) = \frac{5}{8} = 0,63$$

$$P(\geq 1/5) = \frac{2}{5} = 0,40$$

$$P(\geq 1/6) = \frac{1}{2} = 0,50$$

$$P(\geq 1/7) = \frac{0}{1} = 0,00$$

Ook hier zien wij de kans op een nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ toenemen, naarmate reeds meer nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ zijn voorafgegaan.

Op fysische gronden is er evenwel een grens aan deze toeneming van de kans. Zoals aan tabel 2.7 (Paragraaf 2.3a) kan worden ontleend, komt in de laatste pentade van mei slechts sporadisch een minimumtemperatuur beneden 0°C voor, terwijl in juni de kans op het voorkomen nog kleiner wordt, als gevolg van de stijging in de jaarlijkse gang van de gemiddelde temperatuur. Hiermede is bij onze beschouwingen geen rekening gehouden.

De kans op tenminste één nacht met een minimumtemperatuur $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in mei, nadat daaraan voorafgaand reeds minstens een nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ is voorgekomen, is

$$\hat{p} (\geq 1 / \geq 1) = \frac{72}{164} = 0,44$$

De "overall"-kans op een nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ is in mei:

$$\hat{p} (\geq 1 / \geq 0) = \frac{164}{1395} = 0,12$$

Derhalve is

$$\hat{p} (\geq 1 / \geq 1) \gg \hat{p} (\geq 1 / \geq 0)$$

m.a.w. de persistentie in het voorkomen van nachtvorstnachten blijkt in mei zeer groot te zijn.

Bij afwezigheid van persistentie zou de gemiddelde reekslengte van achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ 1,1 bedragen. Deze blijkt evenwel 1,8 te zijn. Ook dit wijst duidelijk op persistentie.

II. Nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$.

In gevallen, dat de minimumtemperatuur slechts even beneden het vriespunt lag, mag worden verondersteld, dat de duur van de periode in de nacht met een temperatuur beneden 0°C in het algemeen kort was. Onder deze omstandigheden zal vaak weinig schade aan gewassen zijn veroorzaakt. Daarom is voorts nagegaan, hoe het is gesteld met het voorkomen van nachten met een minimumtemperatuur $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$.

In de 45 april-maanden van het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945), kwamen 181 dagen voor met een minimumtemperatuur beneden -2°C . De relatieve frequentie van zulk een dag is derhalve $181/1350 = 0,13$.

Tabel 2.12. Aantallen k-reeksen van nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ in april (1916-1961, zonder 1945).

k-reeks (dagen)	aantal n_k	$N_k = n_k + n_{k+1} + 1$	$n_k \times k$
1	66	105	66
2	18	39	36
3	12	21	36
4	5	9	20
5	2	4	10
6	1	2	6
7	1	1	7
som	105	181	181

In 115 gevallen daarvan was de dag voorafgegaan en/of gevolgd door een dag met een $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$. Dat wil dus zeggen, dat bijna 64% van de dagen met nachtvorst in aaneengesloten reeksen voorkwamen. De aantallen van de reeksen van lengte k zijn in tabel 2.12 vermeld.

De gemiddelde lengte van reeksen achtereenvolgende dagen met een $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ blijkt derhalve in april 1,7 dagen te zijn. De kans op i achtereenvolgende dagen met een $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ na tenminste één dag met een $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is, met behulp van de gegevens van tabel 2.12 berekend, als volgt:

$$\begin{aligned}
 p(>1/1) &= \frac{105}{1169} = 0,09 \\
 p(>1/2) &= \frac{39}{105} = 0,37 \\
 p(>1/3) &= \frac{21}{39} = 0,54 \\
 p(>1/4) &= \frac{9}{21} = 0,43 \\
 p(>1/5) &= \frac{4}{9} = 0,44 \\
 p(>1/6) &= \frac{2}{4} = 0,50 \\
 p(>1/7) &= \frac{1}{2} = 0,50 \\
 p(>1/8) &= \frac{0}{1} = 0,00
 \end{aligned}$$

Ook hier zien wij de kans op een nacht met een minimumtemperatuur $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ toenemen naarmate meer zulke nachten zijn gepasseerd.

De kans op nog meer nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ direkt na een willekeurig aantal achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is naar schatting:

$$\hat{p} (\geq 1 / \geq 1) = \frac{76}{181} = 0,42$$

De "overall"-kans op een nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is:

$$\hat{p} (\geq 1 / \geq 0) = \frac{181}{1350} = 0,13$$

Het blijkt dus dat $\hat{p} (\geq 1 / \geq 1) \gg \hat{p} (\geq 1 / \geq 0)$,

hetgeen ook hier wijst op een duidelijke persistentie.

Bij afwezigheid van persistentie zou de gemiddelde lengte van de reeks van nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ 1,2 dagen zijn. In werkelijkheid is deze 1,7 dagen. Ook dit duidt op persistentie.

In een zeer koud voorjaar zullen in de eerste helft van april nachtvorsten in het algemeen weinig schade aanrichten als gevolg van de late ontwikkeling van de gewassen onder deze omstandigheden. Daarom is afzonderlijk nagegaan hoe de kansen zijn op minimumtemperaturen beneden -2°C in de derde decade van april.

Van de 450 nachten in deze decade in het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945) waren er 57 met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$. Hiervan waren er 42, die voorafgegaan en/of gevolgd werden door een nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$. Het aantal "eenlingen" bedraagt dus 15. De aantallen k-reeksen van nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ zijn in tabel 2.13 vermeld.

Het blijkt, dat in de derde decade van april de gemiddelde reekslengte 1,6 dagen is. In de gehele maand april was dat aantal 1,7 dagen. Er is evenwel geen rekening gehouden met de situatie aan het eind van de tweede decade van april en die in het begin van mei.

Tabel 2.13. Aantallen k-reeksen van nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ in de derde decade van april (1916-1945, zonder 1945).

k-reeks (dagen)	aantal n_k	$N_k = n_k + n_{k+1} \dots$	$n_k \times k$
1	15	23	15
2	6	8	12
3	0	2	0
4	1	2	4
5	0	1	0
6	1	1	6
som	23	37	37

De kansen op i achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ na tenminste één nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ kunnen met de gebruikmaking van de gegevens van tabel 2.13 en formule (2.5) als volgt worden geschat.

$$p(\geq 1/0) = \frac{23}{413} = 0,06$$

$$p(\geq 1/1) = \frac{8}{23} = 0,35$$

$$p(\geq 1/2) = \frac{2}{8} = 0,25$$

$$p(\geq 1/3) = \frac{2}{2} = 1,00$$

$$p(\geq 1/4) = \frac{1}{2} = 0,50$$

$$p(\geq 1/5) = \frac{1}{1} = 1,00$$

$$p(\geq 1/6) = \frac{0}{1} = 0,00$$

Hieruit blijkt, dat de kans op nog meer nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ toeneemt naarmate er reeds enige zijn voorgekomen. Hier wil ik er nogmaals op wijzen, dat de kansgetallen steeds minder betrouwbaar worden, naarmate i toeneemt, als gevolg van de zeer geringe aantallen waarnemingen. De kans op tenminste één nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ in de derde decade van april, nadat direct daaraan voorafgaand reeds tenminste één nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is voorgekomen is

$$\hat{p}(\geq 1/\geq 1) = \frac{14}{37} = 0,38$$

De "overall"-kans op een nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is $\hat{p}(\geq 1/\geq 0) = \frac{37}{450} = 0,08$.

Aangezien $\hat{p}(\geq 1/\geq 1) \gg \hat{p}(\geq 1/\geq 0)$, is hier duidelijk persistentie aanwezig. Op basis van de "overall"-kans zou de gemiddelde reekslengte 1,1 dagen zijn. Aangezien de werkelijke 1,6 dagen is, blijkt ook hier persistentie.

Van de 1395 mei-nachten in het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945) hadden 56 een minimumtemperatuur beneden -2°C . Hun relatieve frequentie was derhalve slechts 0,04.

De aantallen reeksen van achtereenvolgende dagen met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ waren zoals vermeld in tabel 2.14.

Tabel 2.14. Aantallen k -reeksen van nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ in mei (1916-1961, zonder 1945).

lengte k van de reeks (dagen)	aantal n_k	N_k	$n \times k$
1	29	41	29
2	9	12	18
3	3	3	9
som	41	56	56

Blijkens tabel 2.14 kwam het overgrote deel van de dagen met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ niet in een gesloten reeks voor. De kansen op nog meer nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ indien er reeds minstens één is voorgekomen zijn als volgt

$$\hat{p} (\geq 1/0) = \frac{41}{1339} = 0,03$$

$$\hat{p} (\geq 1/1) = \frac{12}{41} = 0,30$$

$$\hat{p} (\geq 1/2) = \frac{3}{12} = 0,25$$

$$\hat{p} (\geq 1/3) = \frac{0}{3} = 0,00$$

De kansen zijn in de maand mei derhalve belangrijk kleiner dan in de maand april. De kans op nog meer nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ direkt na een willekeurig aantal achtereenvolgende nachten met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is naar schatting:

$$\hat{p} (\geq 1/\geq 1) = \frac{16}{56} = 0,29$$

De "overall"-kans op een nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is:

$$\hat{p} (\geq 1/\geq 0) = \frac{56}{1398} = 0,04$$

Ook in mei is er dus duidelijk persistentie aanwezig.

In het tijdvak 1916-1961 (zonder 1945) zijn van de 45 april-maanden er 39 voorgekomen, waarin tenminste één maal een minimumtemperatuur beneden -2°C werd gemeten. In de derde decade van april bedroeg dat aantal 24.

Van de 45 mei-maanden waren er 17 waarin tenminste één maal een minimumtemperatuur beneden -2°C werd gemeten.

2.4 Metingen op andere plaatsen in het land.

Teneinde meer informatie te verkrijgen over het voorkomen van nachtvorst dan zulks mogelijk is op grond van de resultaten van de metingen van de temperatuur op de normale waarnemingshoogte op de termijnstations van het K.N.M.I., werd na de tweede wereldoorlog het toen bestaande netwerk van stations, waar dagelijks de minimumtemperatuur op 10 om hoogte werd bepaald, uitgebreid. Bij de vestiging van nieuwe stations werd vooral gelet op de belangen van de tuinbouw. De metingen, die in de jaren 1946, 1947 en 1948 werden uitgevoerd, hadden vrijwel uitsluitend ten doel de nachtvorstkansen in enige tuinbouwgebieden of voor de tuinbouw bestemde gebieden te kunnen beoordelen. Over de resultaten van deze metingen is elders reeds gerapporteerd (Woudenberg, 1946, 1947 en 1948).

Eerst in 1949 vonden de metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte op wat meer uitgebreide schaal plaats. Het aantal stations uitgerust met een minimumthermometer op 10 cm hoogte, werd in de volgende jaren steeds groter, zodat toen een betrekkelijk dicht stationsnet over het land werd verkregen. Figuur 2.7 geeft de ligging aan van de stations die in het tijdvak 1949-1954 in de maanden april en mei werkzaam zijn geweest. In tabel 2.15 zijn nadere bijzonderheden over de ligging van de stations gegeven alsmede over de omstandigheden waaronder de metingen hebben plaats gevonden. Tevens is aangeduid gedurende welke jaren in het beschouwde tijdvak de metingen in de maanden april en mei werden verricht.

Zoals uit tabel 2.15 blijkt zijn de omstandigheden op de stations zeer verschillend geweest. Uit afzonderlijke onderzoeken (zie o.a. Scharinga, 1956; 1958) was reeds gebleken dat, behalve de meteorologische omstandigheden, ook de aard, de toestand en de bedekking of begroeiing van de grond een belangrijke invloed hebben op de mate, waarin de temperatuur gedurende de nacht daalt. In het algemeen was het gewas in de nabijheid van de stations, waar een minimumthermometer op 10 cm hoogte was opgesteld, kenmerkend voor het grondgebruik in de streek, waarin het station was gelegen. Wij kunnen hieruit evenwel niet afleiden, dat ook de gemeten minimumtemperaturen voor de gehele streek mogen gelden. Vooral in gebieden met een sterk variërende bodemgesteldheid, zoals in de veenkoloniale gebieden en ook in streken met hoofdzakelijk grasland zal de minimumtemperatuur van plaats tot plaats sterk kunnen verschillen. Over de invloed van de aard van het gewas op de minimumtemperatuur zal in hoofdstuk 5 worden ingegaan. Wij zullen ons in dit hoofdstuk voornamelijk beperken tot een overzicht van de per decade verkregen uitkomsten der gemiddelden van de dagelijkse minimumtemperaturen op 10 cm hoogte en van de procentuele aantallen dagen waarop de minimumtemperatuur op 10 cm beneden 0°C kwam.

Van de in totaal 160 stations waren er slechts 84, die in de maanden april en mei in de vier jaren 1951-1954 hebben gefunctioneerd; voor slechts 24 stations was dit voor het volledige tijdvak 1949-1954 het geval. Op vele der 84 resp. 24 stations zijn hiaten in de waarnemingsreeks ontstaan door breuk van de thermometer of door onderbreking

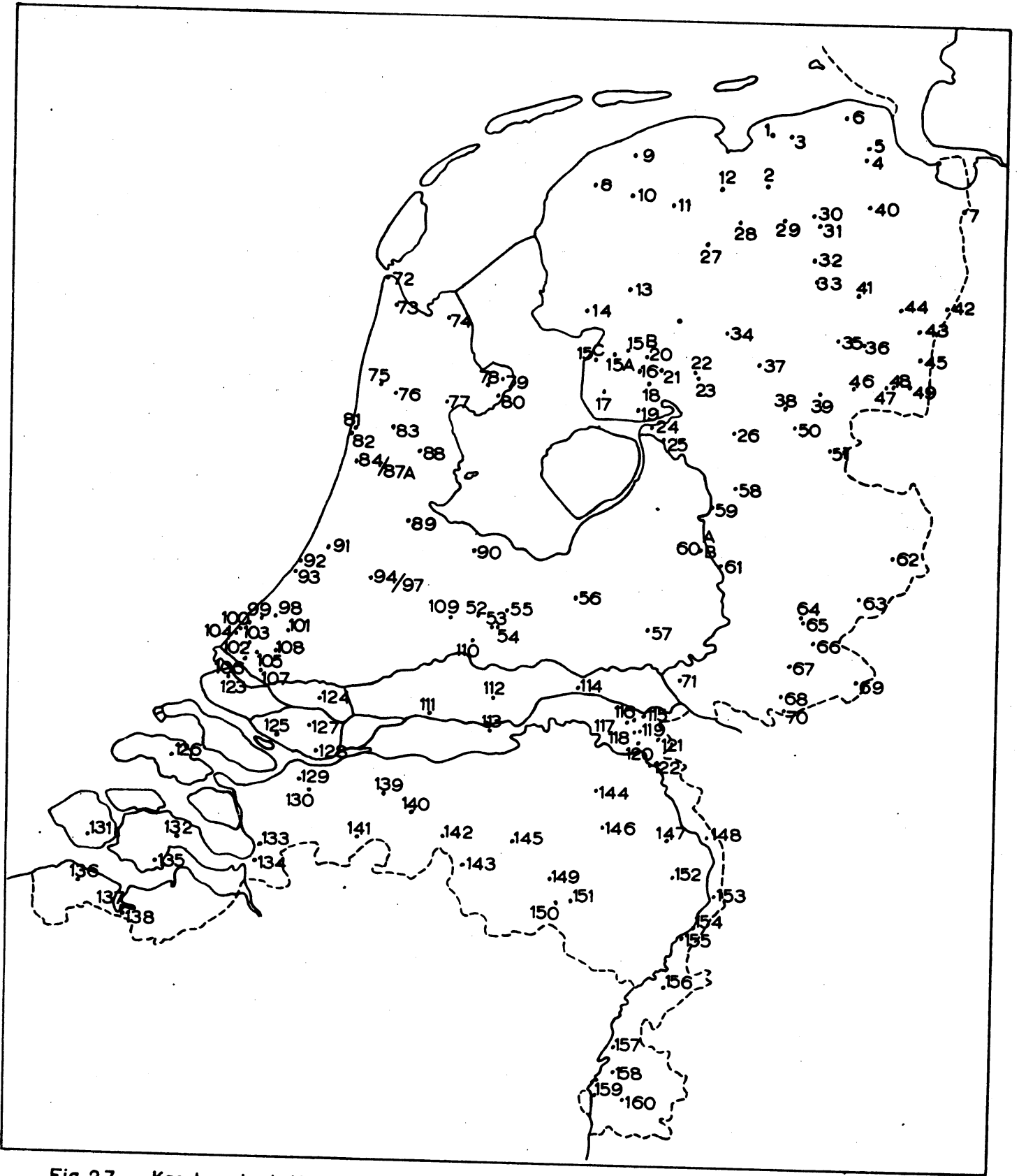


Fig. 2.7. Kaart met stations, waar in de jaren 1949-1954 de minimum-temperatuur op 10cm hoogte werd gemeten.

Tabel 2.15. Lijst van stations, waar in de jaren 1949-1954 metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte plaats vonden.

Vak	No.	Station	Grond soort	Gewas in nabijheid	1949	1950	1951	1952	1953	1954
I	1	Wehe-Den Hoorn	klei	gras						+
	2	Grijpskerk	zw.klei	kruiden(laag)			+	+	+	
	3	Mensingeweer	klei	siertuin			+	+		
	4	Loppersum	klei	boomgaard, zwart			+			
	5	Zeerijp	zavel	boomgaard, gras				+	+	+
	6	Uithuizen	zavel	siertuin			+	+	+	+
	7	Nieuw-Beerta	klei	gras				+	+	+
II	8	Berlicum	zavel	aardbeien		+	+	+		+
	9	Marrum	li.zavel	aardbeien			+	+		
	10	Leeuwarden	zeeklei	gras		+	+	+	+	+
	11	Noord-Bergum	zand	aardbeien		+	+	+	+	
	12	Buitenpost	li.zavel	kruiden(laag)				+	+	+
III	13	Joure	veen	gras		+	+	+	+	
	14	Balk	zand	lage tuinb.gew.		+	+	+	+	
	15A	F14/30 NO-Polder	zavel	gras		+	+	+	+	+
	15B	K17/18 NO-Polder	zavel	gras				+	+	+
	15C	B58/C23 NO-Polder	zand	zwarte grond			+	+	+	+
	16A	N51/52 NO-Polder	zavel	gras	+	+	+	+	+	+
	16B	R76/79 NO-Polder	zand	gras	+	+	+	+	+	+
	16C	R80 NO-Polder	zand	gras					+	+
	17A	H45/51 NO-Polder	zavel	gras		+	+	+	+	+
	17B	O34/65 NO-Polder	klei	boomgaard, zwart	+	+	+	+	+	+
	18A	S57 NO-Polder	zw.zavel	boomgaard, zwart	+	+	+	+	+	+
	18B	S44/61 NO-Polder	zand	gras	+		+	+		+
	19A	P100 NO-Polder	zand	gras	+	+	+	+	+	+
19B	T106/112 NO-Polder	zavel	gras	+	+	+	+	+		
	20	Kuinre	klei	gras			+	+		
	21	Blankenham	klei	gras			+	+		

Tabel 2.15 Vervolg

Vak	No	S t a t i o n	Grond- soort	Gewas in nabijheid	1949	1950	1951	1952	1953	1954
III	22	Giethoorn I	zand-veen	gras	+	+	+	+	+	+
	23	Giethoorn II	veen	gras	+	+	+	+	+	+
	24	IJsselmuiden	klei	tuinb.gew.(laag)			+	+	+	+
	25	's Heerenbroek	zand	gras	+	+	+	+		
	26	Nieuw-Leusen	zand	gras	+	+	+	+		
IV	27	Drachten	zand	tuinb.gew.(laag)		+			+	
	28	Marum (Gr.)	zand	tuinb.gew.(laag)					+	+
	29	Leek	zand	tuinb.gew.(laag)		+	+	+	+	
	30	Paterswolde	zand	zwarte grond					+	+
	31	Elde	zand	gras	+	+	+	+	+	+
	32	Ubbena	zand	halfstboomg.(zwart)			+	+	+	+
	33	Assen	zand	gras					+	+
	34	Frederiksoord	zand	zwarte grond	+	+	+	+	+	+
	35	Witteveen	zand-veen	heide			+	+	+	+
	36	Odoornerveen	li.zavel	zwarte grond						+
	37	Ruinen	li.zavel	gras					+	+
	38	Zuidwolde	zand	bessen (zwart)			+			+
	39	Hollandse Veld	zand	aardappelen						+
V	40	Sappemeer	dalgrond	tuinb.gew.(laag)			+	+	+	+
	41	Gasselte	zand	boomgaard(gras)			+	+	+	+
	42	Laudermarke	dalgrond	gras		+				
	43	Valthermond	dalgrond	gras		+		+		+
	44	Nieuw-Buinen	zand	jonge bos aanpl.				+		
	45	Emmer-Erfscheidenvveen	dalgrond	zwarte grond		+	+	+	+	+
	46	Dalen	dalgrond	mais					+	
	47	Nieuw-Amsterdam I	dalgrond	zwarte grond					+	+
	48	Nieuw-Amsterdam II	dalgrond	zwarte grond					+	+
	49	Erica	dalgrond	aardappelen		+	+			
	50	Dedemsvaart	veen	tuinb.gew.(laag)	+	+	+	+	+	+
	51	Hardenberg	li.klei	zwarte grond				+	+	+

Tabel 2.15 Vervolg

Vak	No.	S t a t i o n	Grond- soort	Gewas in nabijheid	1949	1950	1951	1952	1953	1954
VI	52	De Bilt	zand	gras	+	+	+	+	+	+
	53	Zeist I	zand	boomgaard (gras)					+	+
	54	Zeist II	zand	bloem gew.					+	+
	55	Soesterberg	zand	gras				+	+	+
	56	Voorthuizen	zand	tuinb.gew.(laag)		+	+	+	+	+
	57	Deelen	zand	gras			+	+	+	+
	VII	58	Heino	zand	zwarte grond			+	+	+
59		Wijhe	klei	gras					+	+
60A		Terwolde I	klei	boomgaard (gras)	+	+	+	+	+	+
60B		Terwolde II	klei	jonge boomg.(zw.gr.)	+		+	+	+	+
61		Epse	zand	jonge boomg.(gr.)	+	+	+	+	+	+
62		Vliegv.Twente	zand	gras		+	+	+	+	+
63		Haaksbergen	zand	struikboomg. (gras)					+	+
64		Borculo I	zand	gras	+	+	+	+	+	+
65		Borculo II	zand	tuinb.gew.(laag)	+			+	+	+
66		Beltrum	zand	boomgaard (zwart)				+	+	+
67		Zieuwent	zand	tuinb.gew.(laag)		+	+			
68		Varsseveld	zand	tuinb.gew.(laag)					+	+
69		Winterswijk	zand	aardappelen				+		
70		Breedenbroek	zand	aardbeien		+	+	+	+	+
71	Didam	li.zavel	tuinb.gew.(laag)				+	+	+	
VIII	72	Den Helder	klei	gras		+	+	+	+	+
	73	Breezand	zand	zwarte grond			+	+	+	+
	74	Wieringerwerf	li.zeelei	zwarte grond			+	+	+	+
	75	Oudkarspel	klei	tuinb.gew.(laag)		+	+		+	+
	76	Broek op Langendijk	zavel	tuinb.gew.(laag)		+	+	+	+	+
	77	Berkhout	zw.klei	boomgaard (gras)						+
	78	Hoogkarspel	zavel	aardappelen				+	+	
	79	Bovenkarspel	zavel	tuinb.gew.(laag)					+	
	80	Venhuisen	zavel	aardappelen				+	+	+

Tabel 2.15 Vervolg

Vak	No.	S t a t i o n	Grond- soort	Gewas in nabijheid	1949	1950	1951	1952	1953	1954
VIII	81	Castricum I	duinzand	bolgewassen	+	+	+	+	+	+
	82	Castricum II	duinzand	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+	+	+
	83	Graft	zeeklei	tuinb.gew. (laag)					+	
	84	Heemskerk I	zand	aardbeien		+	+	+	+	+
	85	Heemskerk II	zand	aardbeien		+	+	+	+	
	86	Heemskerk III	zand	aardbeien		+	+	+	+	+
	87	Heemskerk IV	zand	aardbeien		+	+	+	+	+
	87A	Heemskerk V	zand	aardbeien					+	+
	88	ZO-Beemster	zeeklei	jonge boomg. (zw.gr.)		+	+	+	+	+
IX	89	Schiphol	veen	gras		+	+	+	+	+
	90	's Graveland	zand	tuinb.gew. (laag)			+	+		+
	91	Lisse	zand	zwarte grond	+	+	+	+	+	+
	92	Katwijk	zand	gras				+	+	+
	93	Vliegvl. Valkenburg	zand	gras		+	+	+	+	+
	94	Langeraar I	veen	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+	+	+
	95	Langeraar II	veen	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+	+	+
	96	Langeraar III	veen	aardappelen	+	+	+	+	+	+
	97	Langeraar IV	veen	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+	+	+
	98	Ypenburg	klei	gras		+	+	+	+	+
	99	Wateringen	zavel	aardbeien					+	+
	100	Poeldijk	zavel	aardappelen					+	+
	101	Pijnacker	veen	aardbeien					+	+
	102	Naaldwijk	zand	aardbeien			+	+	+	+
	103	's Gravezande I	zand	aardappelen		+	+	+	+	+
	104	's Gravezande II	zand	aardappelen		+	+	+	+	+
	105	De Lier	zavel	aardappelen						+
	106	Maasdijk	zand	aardappelen		+	+	+	+	+
107A	Maasland I	klei	aardappelen		+	+	+	+	+	
107B	Maasland II	klei	aardappelen			+	+	+	+	
108	Schipluiden	veen	tuinb.gew. (laag)		+					

Tabel 2.15 Vervolg

Vak	No. Station	Grond- soort	Gewas in nabijheid	1949	1950	1951	1952	1953	1954
X	109 Vleuten	klei	struikboomg. (gras)		+	+	+	+	+
	110 Houten	klei	div.gewassen		+	+	+	+	+
	111 Garinchem	klei	zwarte grond		+	+	+	+	+
	112 Geldermalsen	klei	jonge boomg. (zw.gr.)		+	+	+	+	+
	113 Zaitbommel	klei	tuinbouw gew.			+	+		
XI	114 Kesteren	klei	jonge boomg. (zw.gr.)	+	+	+	+	+	+
	115 Nijmegen	zand	tuinb.gew. (laag)			+	+		
	116 Heesch	zand	gras			+	+	+	+
	117 Neerbosch	zand	zwarte grond			+			
	118 Hatert I	zand	boomgaard (zw.gr.)			+	+	+	+
	119 Hatert II	zand	gras			+	+	+	
	120 Malden	klei	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+	+	+
	121 Groesbeek	zand	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+		+
	122 St. Agatha	klei	aardbeien		+	+	+	+	+
									(1954 aardbeien)
XII	123 Brielle	klei	jonge boomg. (gras)				+	+	+
	124 Barendrecht	klei	hakvruchten			+			
	125 Zuid-Beyerland	klei	hakvruchten			+	+		
	126 Noord-Gouwe	zavel	zwarte grond		+	+	+		+
	127 Westmaas	klei	hakvruchten			+	+		
	128 Strijen-Sas	klei	jonge boomg. (zw.gr.)		+		+		+
	129 Fijnaart	zw.zavel	gras			+	+	+	+
	130 Standdaarbuiten	klei	gras			+	+	+	+
	131 West-Souburg	klei	gras		+	+	+	+	+
	132 Kapelle	klei	aardbeien		+	+	+	+	+
	133 Bergen op Zoom	zand	hoogst.boomg. (zw.gr.)		+	+	+		+
	134 Woensdrecht	zand	gras				+	+	+
	135 Oudelande	zw.zavel	siertuin (gras)				+	+	+
136 Schoondijke	klei	zwarte grond					+	+	
137 Philippine I	zavel	jonge boomg. (zw.gr.)			+	+	+	+	
138 Philippine II	klei	oude boomg. (gras)				+	+	+	

Tabel 2.15 Slot

Vak	No.	Station	Grondsoort	Gewas in nabijheid	1949	1950	1951	1952	1953	1954
XIII	139	Teteringen	zand	jonge boomg. (zw.gr.)		+	+	+	+	+
	140	Gilze-Rijen	zand	gras		+	+	+	+	+
	141	Rijsbergen	zand	jonge boomg. (zw.gr.)			+	+	+	+
	142	Goirle	zand	gras			+	+	+	+
	143	Bilvarenbeek	zand	gras			+	+	+	+
XIV	144	Volkel	zand	gras			+	+	+	+
	145	Oirschot	zand	tuinb.gew. (laag)		+	+	+	+	+
	146	Gemert	zand	laag gewas		+	+	+	+	+
	147	Klein-Oirlo	zand	gras					+	+
	148	Wellerlooi	zand	tuinb.gew. (laag)	+	+	+	+	+	+
	149	Eindhoven	zand	gras		+	+	+	+	+
	150	Leende	zand	struikboomg. (zw.gr.)			+	+	+	
	151	Sterksel	zand	struikboomg. (zw.gr.)			+	+	+	+
	152	Horst	zand	tuinb.gew. (laag)			+			
	153	Venlo	klei	tuinb.gew. (laag)			+	+	+	+
	154	Reuver	zand	tuinb.gew. (laag)					+	+
	155	Beesel	li.zavel	jonge boomg. (zw.gr.)		+	+	+	+	+
156	St. Odilienberg	zavel	gras					+	+	
XV	157	Stein	löss	tuinb.gebied			+	+	+	+
	158	Beek (L.)	löss	gras (1951:zw.gr.)		+	+	+	+	+
	159	Limmel	löss	div. gewassen	+		+	+	+	+
	160	Valkenburg	löss	gras			+	+	+	

van de waarnemingen, vooral rond Pasen en Pinksteren die vaak in de betrokken maanden vallen. Bij de bewerking van de gegevens hebben wij ons beperkt tot die stations, die in één of meer decaden van de maanden april en mei in de jaren 1951-1954 over een volledige waarnemingsreeks beschikken.

Tabel 2.16. Aantallen stations met een volledige reeks gegevens in de tijdvakken 1949-1954 en 1951-1954 in elk van de decaden van april en mei.

Tijdvak	Apr I	Apr II	apr III	mei I	mei II	mei III
1949-1954	15	15	16	14	14	12
1951-1954	71	70	72	69	67	62

de aantallen gegevens van de gemiddelde minimumtemperatuur per decade van de maanden april en mei zowel in het tijdvak 1949-1954 als dat van 1951-1954 zijn vermeld in tabel 2.16. Hieruit blijkt, dat in geen enkele decade de gegevens van alle 84 (1951-1954) of 24 (1949-1954) stations ter beschikking staat.

Tabel 2.17 bevat de gemiddelden van de dagelijkse minimumtemperaturen op 10 om hoogte per decade, berekend uit de meetresultaten van de jaren 1951-1954. In de figuren 2.8 t/m 2.13 zijn de decadegemiddelden in kaart gebracht.

Bij een beschouwing van de kaartjes valt het op, dat voor een groot aantal stations de gemiddelde minima slechts weinig verschillen.

In Hoofdstuk I werd reeds uiteengezet, dat de minimumtemperatuur, vooral die vlak boven de grond sterk afhankelijk is van de aard en de bedekking van de grond. De gemeten temperaturen gelden daarom strikt genomen alleen voor de meetplaats. Om deze reden is er van afgezien in de figuren 2.8 t/m 2.13 isothermen te tekenen.

De gebieden, waar de gemiddelde minimumtemperatuur duidelijk lager is dan in de rondom gelegen gebieden, zijn de (zie fig. 2.8 t/m 2.13) volgende:

- a. de naaste omgeving van Witteveen. Het is bekend, dat het termijnstation aldaar zeer beschut is gelegen, terwijl in de wat verder verwijderde omgeving weinig beschutting voorkomt. Ook de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte is te Witteveen gemiddeld lager dan elders in de omgeving. Voor land- en tuinbouw in Drente moeten de uitkomsten van de metingen op dit station als van weinig waarde worden beschouwd.
- b. het gebied rond Giethoorn. Het gebied, waarin de stations rond Giethoorn zijn gelegen, bestaat vrijwel geheel uit grasland. De door het gras vastgehouden luchtlaag tezamen met de viltige zode belemmeren een goede warmteuitwisseling met de grond, zodat de 's nachts uitgestraalde energie minder gecompenseerd wordt dan bij een onbegroeide grond van dezelfde samenstelling. Dientengevolge kunnen in gebieden met overwegend grasland, zoals het onderhevige, lage minimumtemperaturen voorkomen.

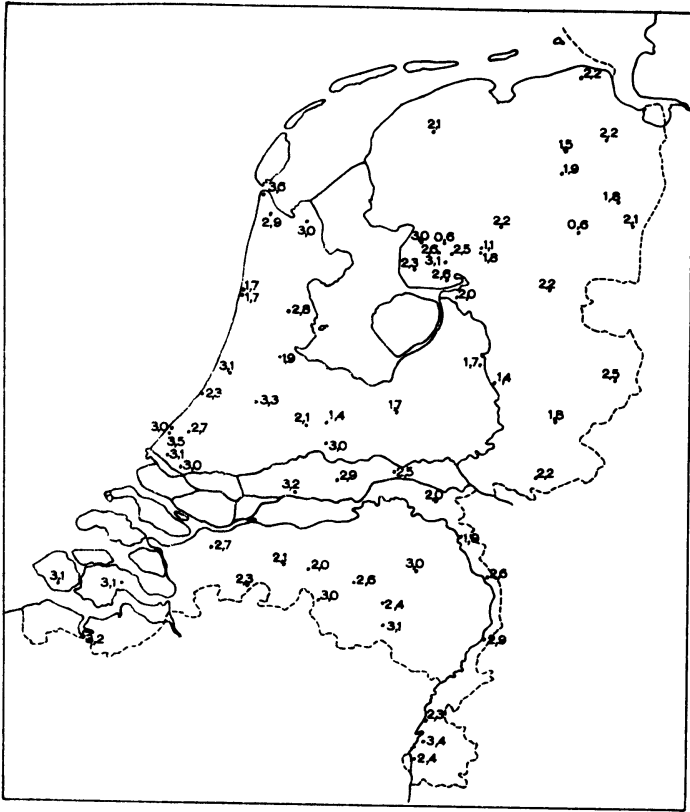


Fig 2.8.

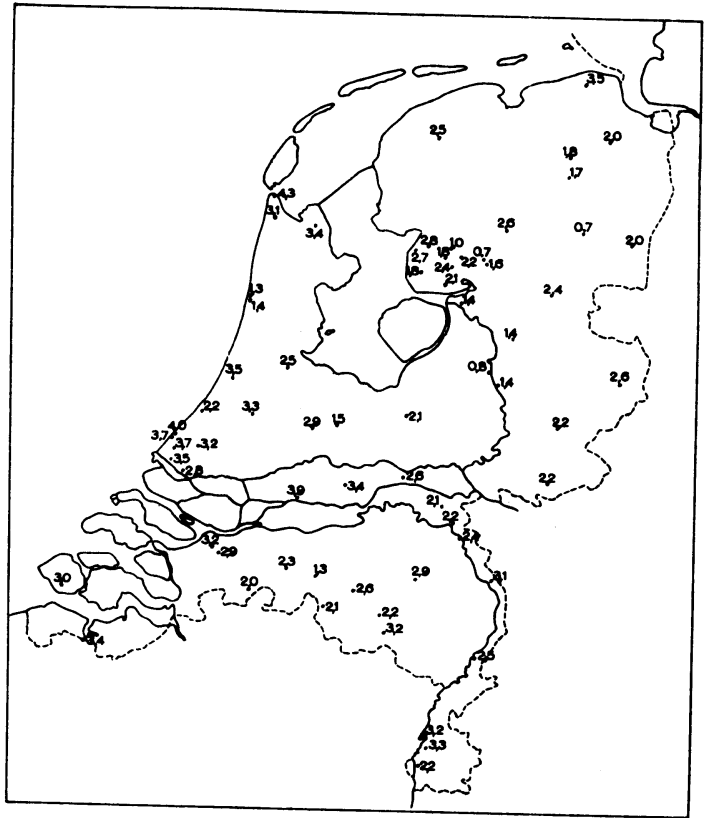


Fig 2.9.

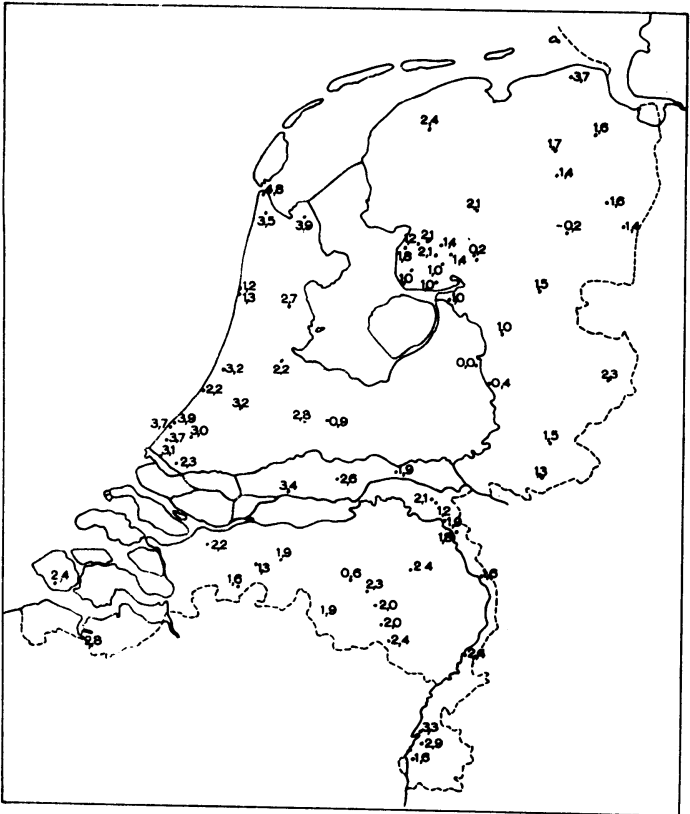


Fig 2.10.

Gemiddelde dagelijkse T_{n10} in april. (1951-1954).
 Fig.2.8. 1e decade.
 Fig.2.9. 2e decade.
 Fig.2.10. 3e decade.

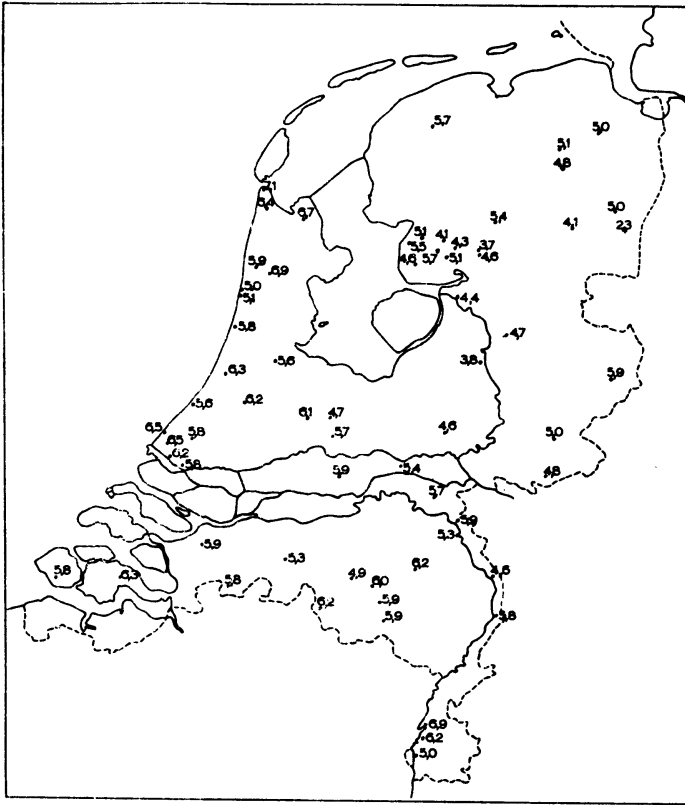


Fig 2.11.

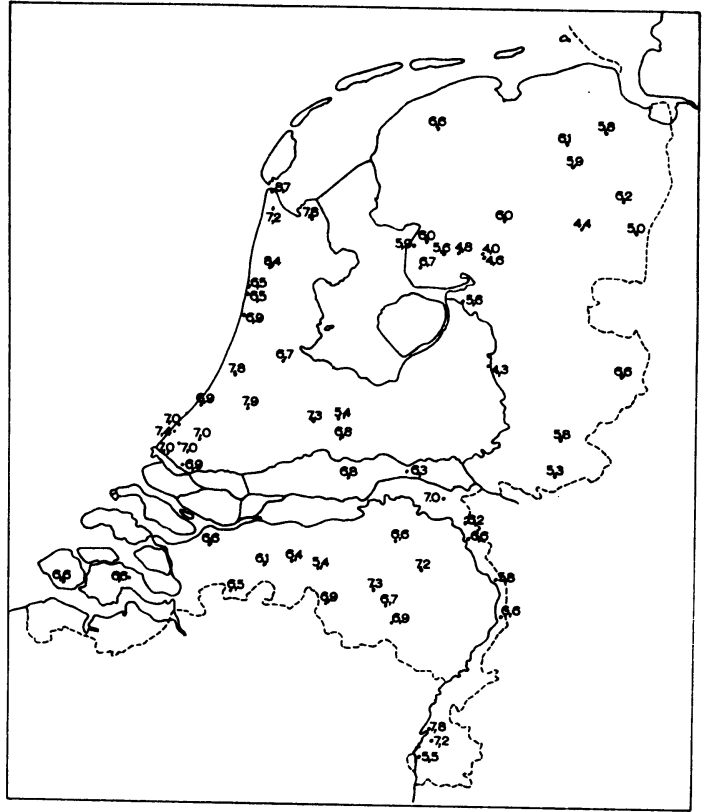


Fig 2.12.

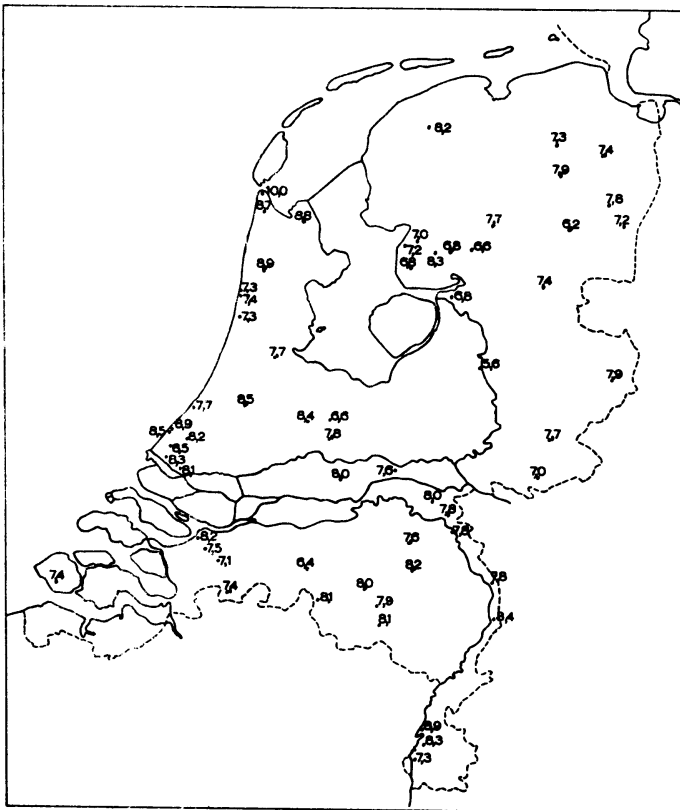


Fig 2.13.

Gemiddelde dagelijkse T_{10} in mei. (1951-1954).
 Fig.2.11. 1e decade.
 Fig.2.12. 2e decade.
 Fig.2.13. 3e decade.

Tabel 2.17. Gemiddelde dagelijkse minimumtemperatuur op 10 cm hoogte per decade van de maanden april en mei 1951-1954.

No.	Station	Apr I	Apr II	Apr III	Mei I	Mei II	Mei III
6	Uithuizen	2,2	3,5	3,7	-	-	-
10	IJsewarden	2,1	2,5	2,4	5,7	6,6	8,2
15A	#14/30 NO-Polder	3,0	2,8	2,2	5,1	6,0	7,0
15C	B58/023 NO-Polder	-	2,7	1,8	5,5	5,9	7,2
16A	#51/52 NO-Polder	2,3	1,8	1,0	4,6	5,4	6,8
16B	R76/79 NO-Polder	1,6	1,0	0,4	4,3	4,8	-
17A	H45/51 NO-Polder	-	-	-	5,6	6,2	7,3
17B	O34/65 NO-Polder	3,1	2,4	2,1	5,7	6,7	8,0
18A	S57 NO-Polder	2,5	2,2	1,4	5,1	5,6	-
19A	P100 NO-Polder	2,6	2,1	1,6	-	-	-
19B	T106/112 NO-Polder	2,6	2,2	1,8	4,3	6,0	7,2
22	Giethoorn I	1,1	0,7	-0,2	3,7	4,0	-
23	Giethoorn II	1,8	1,6	0,8	4,6	4,6	6,6
24	IJsselmuiden	2,0	1,4	1,0	4,4	5,6	6,8
31	Belde	1,5	1,8	1,7	5,1	6,1	7,3
32	Ubbena	1,9	1,7	1,4	4,8	5,9	7,9
34	Frederiksoord	2,2	2,6	2,1	5,4	6,0	7,7
35	Witteveen	0,6	0,7	-0,2	4,1	4,4	6,2
40	Sappemeer	2,2	2,0	1,6	5,0	5,8	7,4
41	Gasselte	1,4	-	1,6	5,0	6,2	7,8
45	Emmen Erfscheidenveen	2,1	2,0	1,4	2,3	5,0	7,2
50	Dedemsvaart	2,2	2,4	1,5	-	-	7,4
52	De Bilt	1,4	1,5	0,9	4,7	5,4	6,6
56	Voorthuizen	1,7	2,1	-	-	-	-
57	Deelen	-	-	-	4,6	-	-
58	Heino	-	1,4	1,0	4,7	-	-
60	Terwolde	1,7	0,8	-0,0	3,8	4,3	5,6
61	Epse	1,4	1,4	0,4	-	-	-
62	Vlv. Twente	2,5	2,6	2,3	5,9	6,6	7,9
64	Borculo I	1,8	2,2	-	-	-	-
66	Beltrum	-	-	1,5	5,0	5,8	7,7

Tabel 2.17 Vervolg

No.	S t a t i o n	Apr I	Apr II	Apr III	Mei I	Mei II	Mei III
70	Breedenbroek	2,1	2,2	1,3	4,8	5,3	7,0
72	Den Helder	3,6	4,3	4,8	7,1	8,7	10,0
73	Breezand	2,9	3,1	3,5	6,4	7,2	8,7
74	Wieringerwerf	3,0	3,4	3,9	6,7	7,8	8,8
75	Koedijk	-	-	-	5,9	-	-
76	Broek op Langendijk	-	-	-	6,9	8,4	8,9
81	Castricum I	1,7	1,3	1,2	5,0	6,5	7,3
82	Castricum II	1,7	1,4	1,3	5,1	6,5	7,4
84	Heemskerk I	-	-	-	5,6	6,8	7,7
86	Heemskerk III	-	-	-	5,6	6,9	7,9
87	Heemskerk IV	-	-	-	5,4	6,8	7,7
88	ZO-Beemster	2,8	-	2,7	-	-	-
89	Schiphol	1,9	2,5	2,2	5,6	6,7	7,7
91	Lisse	3,1	3,5	3,3	6,3	7,8	-
93	Vlv Valkenburg	2,3	2,2	2,2	5,6	6,9	7,7
94	Langeraar I	3,1	3,6	3,9	6,4	7,8	-
95	Langeraar II	3,1	2,6	2,8	-	-	-
96	Langeraar III	3,0	3,6	3,9	6,2	7,5	8,0
97	Langeraar IV	3,3	3,3	3,1	6,2	7,9	9,0
98	Ypenburg	2,7	3,2	3,0	5,8	7,0	8,2
102	Naaldwijk	3,5	3,7	3,7	6,5	7,6	8,5
103	's Gravenzande I	-	4,0	4,0	7,0	7,6	8,9
104	's Gravenzande II	3,0	3,7	3,7	6,5	7,4	8,5
106	Maasdijk	3,1	3,5	3,1	6,2	7,3	8,3
107	Maasland	3,0	2,8	2,3	5,8	6,9	8,1
109	Vleuten	2,1	2,9	2,8	6,1	7,3	8,4
110	Houten	3,0	-	-	5,7	6,8	7,8
111	Gorinchem	3,2	3,9	3,4	-	-	-
112	Geldermalsen	2,9	3,4	2,6	5,9	6,8	8,0
114	Kesteren	2,5	2,6	1,9	5,4	6,3	7,6
116	Heesch	-	-	2,1	5,7	7,0	8,0
118	Hatert I	2,0	2,1	1,2	-	-	-
120	Malden	2,1	2,2	1,9	5,9	6,2	7,8
122	St. Agatha	1,9	2,4	1,8	5,3	6,6	7,8

Tabel 2.17 (vervolg en slot)

No.	S t a t i o n	Apr I	Apr II	Apr III	Mei I	Mei II	Mei III
129	Fijnaart	3,0	3,2	-	-	-	8,2
130	Standdaarbuiten	2,7	2,9	2,2	5,9	6,6	7,5
131	West-Souburg	3,1	3,0	2,4	5,8	6,6	7,4
132	Kapelle	3,1	-	-	6,3	6,6	-
137	Philippine	3,2	3,4	2,8	-	-	-
139	Teteringen	-	-	1,3	-	6,1	-
140	Gilze-Rijen	2,1	2,3	1,9	5,3	6,4	7,1
141	Rijsbergen	2,3	2,0	1,6	5,8	6,5	7,4
142	Goirle	2,0	1,1	0,6	4,9	5,4	6,4
143	Hilvarenbeek	3,0	2,1	1,9	6,2	6,9	8,1
144	Volkel	-	-	-	-	6,6	7,6
145	Oirschot	2,6	2,6	2,3	6,0	7,3	8,0
146	Gemert	3,0	2,9	2,4	6,2	7,2	8,2
148	Wellerlooi	2,6	2,1	1,6	4,6	5,8	7,8
149	Eindhoven	2,4	2,2	2,0	5,9	6,7	7,9
151	Sterksel	3,1	3,2	2,4	5,9	6,9	8,1
153	Venlo	-	-	-	5,8	6,6	8,4
155	Reesel	2,9	2,5	2,4	-	-	-
157	Stein	3,3	3,2	3,3	6,9	7,8	8,9
158	Beek (L)	3,4	3,3	2,9	6,2	7,3	8,3
159	Limmel	2,4	2,2	1,6	5,0	5,5	7,3

Omdat de grond in een weidegebied niet bewerkt wordt en het grasdek niet overal dezelfde dikte en samenstelling heeft kan de warmteuitwisseling tussen luchtlag en grond van plaats tot plaats sterk verschillen, hetgeen dan in de minimumtemperaturen tot uiting komt (Scharringa, 1956). De gemiddelde verschillen in minimumtemperatuur op de twee in grasland gevestigde posten te Giethoorn waren betrekkelijk groot. Bij toetsing met de χ^2 -toets bleken deze verschillen significant te zijn.

Het gebied ten noordwesten van Giethoorn bestaat eveneens voornamelijk uit grasland, zodat hier ongeveer dezelfde omstandigheden heersen. Hierbij sluit aan de strook in het noordoostelijk deel van de Noordoostpolder. De zeer koude lucht, die boven het grasland van het aangrenzende "oude land" ontstaat,

kan ongehinderd afvloeien naar de polder. De in deze streek aangelegde bosbeplantingen hebben dan ook zeer veel van nachtvorst te lijden gehad.

c. de IJsselstreek. De boomgaarden liggen in dit gebied verspreid te midden van grasland. Om de onder b vermelde redenen zijn ook de hier gevonden lage minimumtemperaturen verklaarbaar. De risico's voor de fruitaanplantingen zijn daarom in dit gebied tamelijk groot.

d. de omgeving van De Bilt. De gemiddelde minimumtemperaturen te De Bilt blijken gemiddeld steeds lager te zijn dan die in de naaste omgeving. Toetsing met behulp van de χ^2 -toets liet zien, dat de verschillen tussen de gemiddelde minimumtemperaturen te De Bilt en die op de posten ten westen en zuiden van De Bilt significant zijn. De te De Bilt gemeten minimumtemperaturen kunnen derhalve niet als representatief voor het tuinbouwgebied ten westen van de stad Utrecht en voor het fruitteeltgebied in het zuidoosten van de provincie Utrecht worden beschouwd.

e. het midden van Noord-Brabant. Hier komen minimumtemperaturen voor, die gemiddeld lager zijn dan in de andere delen van deze provincie. De verschillen blijken evenwel niet altijd significant te zijn.

f. de strook achter de hoge duinen in Noord-Holland. In de tuinbouwgebieden op de duinzandgronden in Noord-Holland komen eveneens zeer lage temperaturen voor, zoals uit de te Castricum verkregen gegevens blijkt. De invloed van de zee is tijdens nachten met weinig wind zo klein, dat in enige gevallen hier zelfs lagere minimumtemperaturen werden geregistreerd dan elders in het land.

g. het midden-westen van Nederland. Hier kunnen in diepe polders met overwegend grasland lage minimumtemperaturen ontstaan. Het bodemgebruik hier is nogal gevarieerd. Alhoewel de metingen voornamelijk op aardappel-percelen zijn verricht, kunnen de temperaturen al naar de omstandigheden beïnvloed zijn geweest door nabij gelegen grasland. De verschillen in minimumtemperatuur met nabije hoger gelegen posten zijn niet steeds significant. De samenstelling van de gronden is in deze gebieden eveneens nogal gevarieerd, zodat ook deze omstandigheid bijgedragen zal hebben tot het vaak niet significant zijn van de verschillen tussen lager en hoger gelegen meetposten.

Alleen in de tweede en derde decade van april bleek er een duidelijk significant verschil te bestaan tussen de minimumtemperaturen van Maasland en die op de omliggende stations.

Uitgesproken hoge minimumtemperaturen blijken steeds in Den Helder voor te komen. Deze zijn significant hoger dan die op de nabijgelegen stations. De extreme ligging van het station Den Helder maakt, dat de hier verkregen gegevens van de minimumtemperatuur zelfs niet voor de naaste omgeving als representatief kunnen worden beschouwd.

Voor het overige kunnen geen uitspraken worden gedaan. Voor een nauwkeuriger analyse blijkt het waarnemingsmateriaal te gering van omvang te zijn.

In tabel 2.18 zijn de procentuele aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 0°C per decade opgenomen van die stations waarvan gegevens over de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte in de vier jaren 1951-1954 beschikbaar zijn. Voor de drie decaden van april en voor de eerste en tweede decade van mei zijn deze gegevens bovendien in kaart gebracht (zie figuren 2.14 t/m 2.18).

Hieruit blijkt dat de procentuele aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 10°C van plaats tot plaats sterk uiteen kunnen lopen. De verschillen treden duidelijker aan de dag met het voortschrijden van het seizoen.

Het beeld wijzigt tevens van de ene decade op de volgende. De plaatsen met vrijwel steeds een groot aantal nachten met minimumtemperaturen beneden het vriespunt zijn Witteveen, Giethoorn, De Bilt en die in de IJsselstreek.

In de tweede decade van april kunnen hierbij ook een aantal plaatsen in midden Noord-Brabant worden gerekend.

In de derde decade van april voegen zich hierbij de noordoostelijke strook van de N.O.-Polder nabij Blankenham, Breedenbroek, Goirle, Wellerlooi en Castricum. In deze decade valt ook West-Souburg op met een voor het kustgebied groot aantal nachten met een minimumtemperatuur beneden het vriespunt.

In de eerste decade van mei valt het bijzonder groot aantal nachten met minimumtemperaturen beneden 0°C in Hatert en Wellerlooi op, die van de-

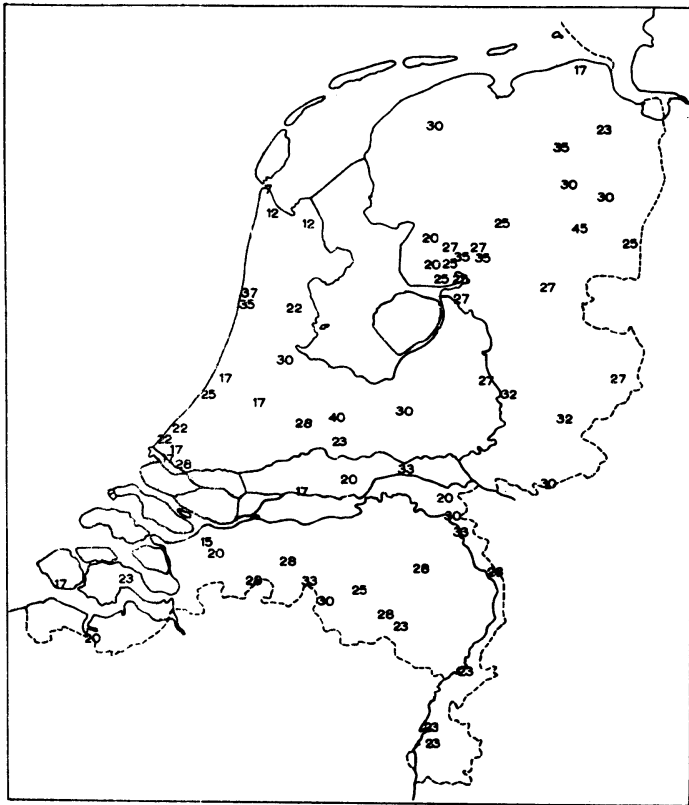


Fig 2.14.

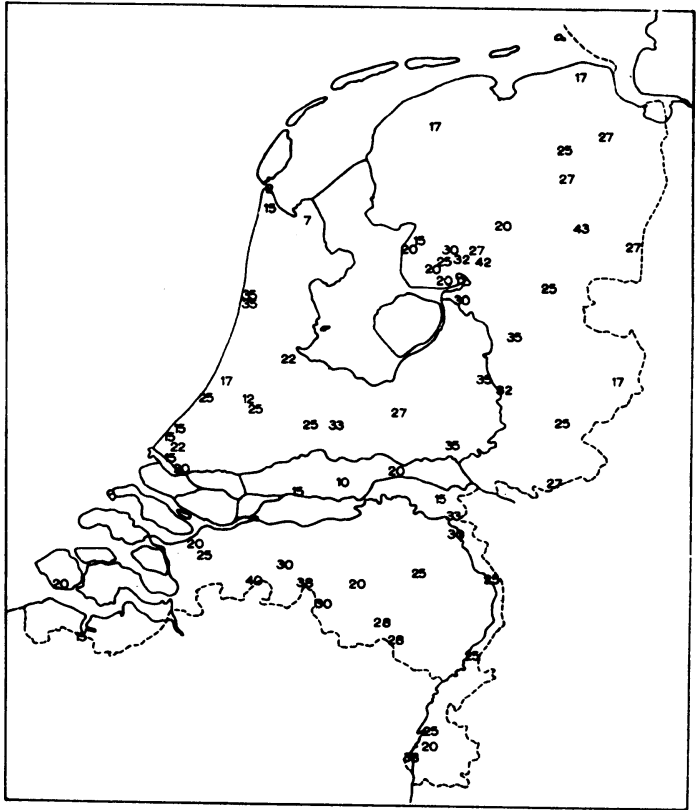


Fig 2.15.

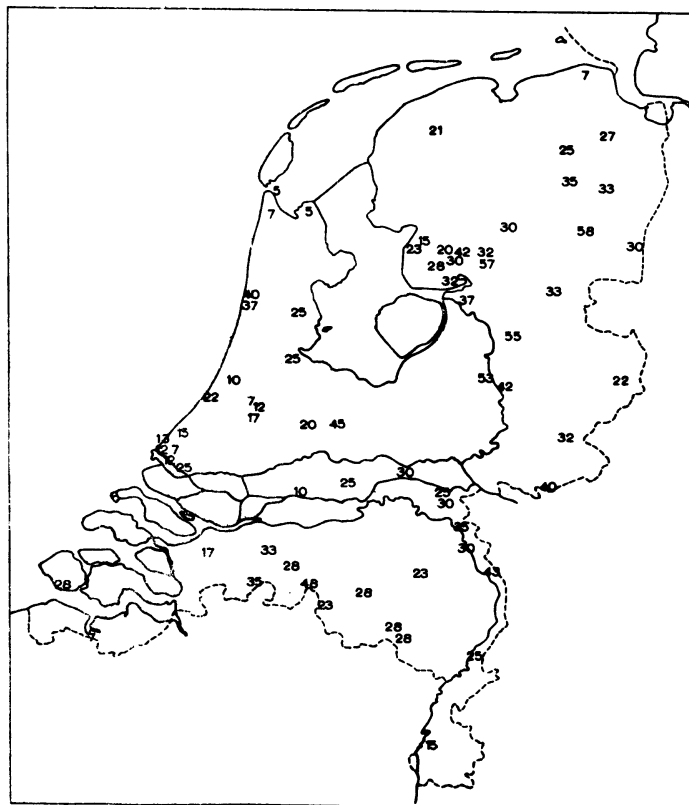


Fig 2.16.

Gemiddeld aantal dagen (in %) met $T_{10} < 0^{\circ}\text{C}$. in april.(1951-1954).
 Fig.2.14. 1e decade.
 Fig.2.15. 2e decade.
 Fig.2.16. 3e decade.

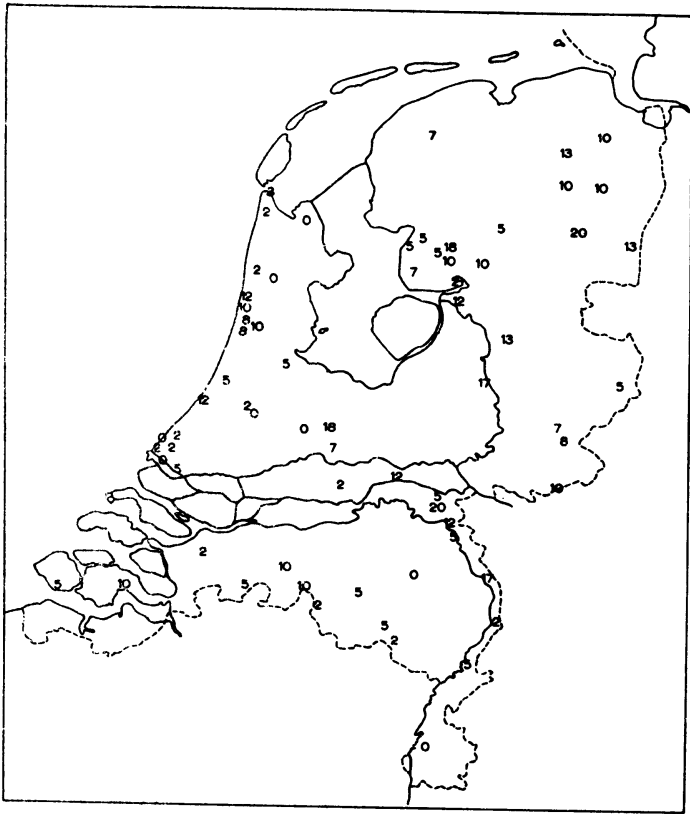


Fig 2.17.

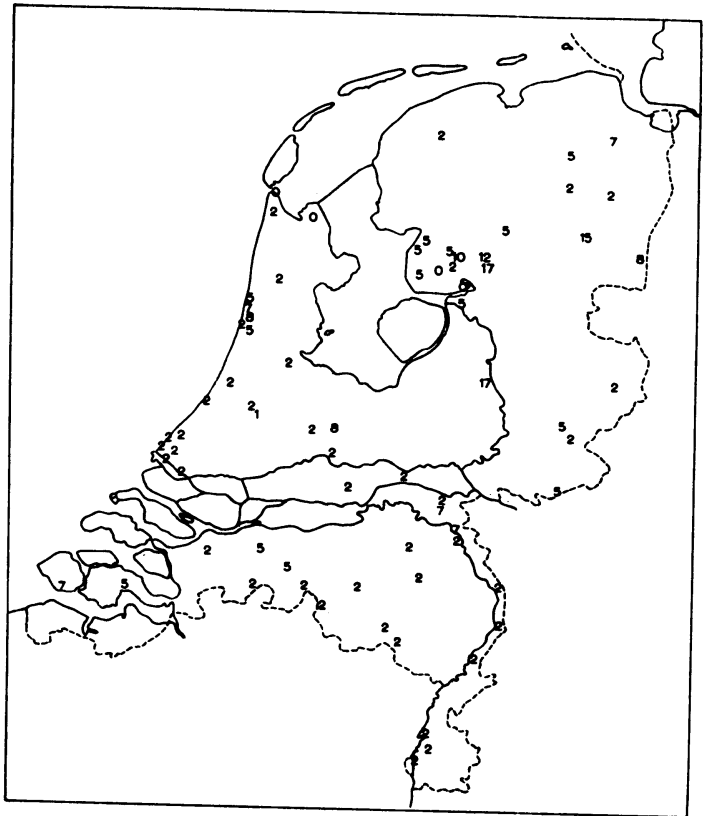


Fig 2.18.

Gemiddeld aantal dagen (in %) met $T_{n10} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$. in mei.(1951-1954).
Fig.2.17. 1e decade.
Fig.2.18. 2e decade.

zelfde orde zijn als die te Witteveen, voorts nabij Blankenham in de N.O.-Polder, in de IJsselstreek en te De Bilt.

In de tweede decade van mei zijn alleen Witteveen, Giethoorn en Terwolde plaatsen met een relatief groot aantal nachten met nachtvorst.

In de derde decade van mei zijn de onderlinge verschillen gering geworden. Witteveen heeft dan het grootst aantal nachten met een $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, gevolgd door Eelde, dat in de eerder genoemde decaden vrijwel niet opviel door een hoge frequentie van nachten met nachtvorst.

Voorts is onderzocht in hoeverre de stations zijn onder te brengen in een aantal groepen, binnen elk waarvan de nachtvorstkansen als "statistisch gelijk" kunnen worden beschouwd. Vooraleer hiertoe werd overgegaan werd onderzocht, of de verdeling van het aantal nachten met nachtvorst over de 5 decaden van april I t/m mei II onafhankelijk is van de plaats van waarneming. Voor een aantal stations (in tabel 2.18 aangegeven met x in de voorlaatste kolom), gelegen in verschillende delen van het land, is deze hypothese getoetst met behulp van de χ^2 -toets. Het resultaat van alle bewerkingen was, dat de hypothese niet behoeft te worden verworpen, d.w.z. er kan niet worden aangetoond, dat de verdeling van het aantal nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ over de vijf decaden april I t/m mei II afhankelijk is van de plaats van waarneming. Hieruit volgt, dat wij de totalen van het aantal nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in het gehele tijdvak april I t/m mei II als basis kunnen nemen voor het onderzoek, dat ten doel had na te gaan in hoeverre het mogelijk is de stations, waar de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte werd gemeten, onder te brengen in groepen, met statistisch gelijke kansen op nachtvorst.

Van de in tabel 2.18 genoemde stations werden alleen diegene in dit onderzoek betrokken, waar in ieder van de vijf decaden april I t/m mei II van de jaren 1951 t/m 1954 metingen zijn verricht. Uitgegaan werd van het werkelijke aantal nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in april I t/m mei II van de jaren 1951 t/m 1954. Het kleinste aantal nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ had Den Helder, nl. 7. Gesocht werd naar een station X met een zo groot mogelijk aantal nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, waarbij de hypothese: "de kans P op een $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ te Den Helder is gelijk aan de kans P op een $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ te X bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% nog juist niet verworpen

Tabel 2.18 Gemiddeld aantal dagen (in %) per decade in het tijdvak 1951-1954 met een minimumtemperatuur T_{n10} beneden 0°C .

No.	Station	Apr I	Apr II	Apr III	Mei I	Mei II	Mei III	Toetsing ^{x)}	Groep ^{x)}
6	Uithuizen	17	17	7	-	-	-		
10	Leeuwarden	30	17	21	7	2	0		B
15A	F14/30 NO-Polder	20	15	15	5	5	2		B
15C	B58/C23 NO-Polder	-	20	23	5	5	2		
16A	N51/52 NO-Polder	27	30	20	5	5	0	X	C
16B	R76/79 NO-Polder	35	32	42	18	10	-		D
17A	H45/51 NO-Polder	-	-	-	7	5	0		
17B	O34/65 NO-Polder	20	20	28	5	0	0		B
18A	S57 NO-Polder	25	25	30	10	2	-		C
19A	P100 NO-Polder	25	20	32	-	-	-		
19B	T106/112 NO-Polder	25	17	23	2	0	0		B
22	Giethoorn I	27	27	32	-	12	5		
23	Giethoorn II	35	42	57	10	17	-		D
24	IJsselmuiden	27	30	37	12	5	2		C
31	Eelde	35	25	25	13	5	7		C
32	Ubbena	30	27	35	10	2	0		C
34	Frederiksoord	25	20	30	5	5	2		C
35	Witteveen	45	43	58	20	15	11		E
40	Sappemeer	23	27	27	10	7	5		C
41	Gasselte	30	-	33	10	2	0		
45	Emmen-Erfscheidenveen	25	27	30	13	8	2		C
50	Dedemsvaart	27	25	33	-	-	0		
52	De Bilt	40	33	45	18	8	5	X	D
56	Voorthuizen	30	27	-	-	-	-		
57	Deelen	-	35	-	-	-	-		
58	Heino	-	35	55	13	-	-		
60	Terwolde	27	35	53	17	17	5		D
61	Epse	32	32	42	-	-	-		
62	Vlv. Twente	27	17	22	5	2	0		B
64	Borculo I	32	25	-	7	5	2		
66	Beltrum	-	-	32	8	2	0		

Tabel 2.18 Vervolg

No.	S t a t i o n	Apr I	Apr II	Apr III	Mei I	Mei II	Mei III	Toetsing ^{x)}	Groep ^{x)}
70	Breedebroek	30	27	40	10	5	2		C
72	Den Helder	7	2	5	2	0	0		A
73	Breezand	12	15	7	2	2	0		A
74	Wieringerwerf	12	7	5	0	0	0		A
75	Koedijk	-	-	-	2	-	-		
76	Broek op Langendijk	-	-	-	0	2	0		
81	Castricum I	37	35	40	12	5	0	X	D
82	Castricum II	35	35	37	10	7	0		C
84	Heemskerk I	-	-	-	8	8	0		
86	Heemskerk III	-	-	-	8	2	2		
87	Heemskerk IV	-	-	-	10	5	0		
88	ZO-Beemster	22	-	25	-	-	-		
89	Schiphol	30	22	25	5	2	0	X	C
91	Lisse	17	17	10	5	2	-		B
93	Vlv. Valkenburg	25	25	22	12	2	0		C
94	Langeraar I	17	12	7	2	2	-		A
95	Langeraar II	-	25	17	-	-	-		
96	Langeraar III	-	-	-	0	1	0		
97	Langeraar IV	17	20	12	-	-	-		
98	Ypenburg	22	15	15	2	2	2		B
102	Naaldwijk	17	22	7	2	2	0		B
103	's Gravensande I	-	15	13	0	2	0		
104	's Gravensande II	22	15	12	2	2	0	X	B
106	Maasdijk	17	15	12	0	2	0		B
107	Maasland	28	28	25	5	2	0		C
109	Vlëuten	28	25	20	0	2	0		B
110	Houten	23	-	-	7	2	0		
111	Gorinchem	17	15	10	-	-	-		
112	Geldermalsen	20	10	25	2	2	0	X	B
114	Kesteren	33	20	30	12	2	0		C
116	Heesch	-	-	25	5	2	0		
118	Hatert I	20	15	30	20	7	0		C

Tabel 2.18 Slot

No. S t a t i o n	Apr I	Apr II	Apr III	Mei I	Mei II	Mei III	Toetsing ^{x)}	Groep ^{x)}
120 Malden	30	33	35	12	7	0		C
122 St. Agatha	33	30	30	5	2	0		C
129 Fijnaart	15	20	-	-	-	0		
130 Standdaarbuiten	20	25	17	2	2	0	X	B
131 West-Scuburg	17	20	28	5	7	0		B
132 Kapelle	23	-	-	10	5	-		
137 Philippine	20	15	7	-	-	-		
139 Teteringen	-	-	33	-	5	-		
140 Gilze-Rijen	28	30	28	10	5	5		C
141 Rijsbergen	28	40	35	5	2	0		C
142 Goirle	33	38	48	10	2	2		D
143 Hilvarenbeek	30	30	23	2	2	0		C
144 Volkel	-	-	-	-	2	0		
145 Oirschot	25	20	28	5	2	0		B
146 Gemert	28	25	23	0	2	0	X	B
148 Wellerlooi	28	25	43	17	2	0		C
149 Eindhoven	28	28	28	5	2	0		C
151 Sterksel	23	28	28	2	2	0		B
153 Venlo	-	-	-	2	2	2		
155 Beesel	23	25	25	5	2	0		B
157 Stein	23	25	7	0	2	0		B
158 Beek (L)	23	20	15	0	2	0	X	B
159 Limmel	-	33	-	7	2	2		

x) verklaring: zie tekst

behoeft te worden. Kort geformuleerd:

$$P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C Den Helder}) = P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C })$$

Na toetsingen blijkt in dit geval het station X Langeráar I te zijn, met 17 nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. In tabel 2.18 zijn de stations, die tot deze groep behoren, met de letter A aangeduid.

Vervolgens werd uitgegaan van het station Maasdijk met 19 nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. Gezocht werd naar een station IJ, waarvoor kan worden aangetoond (behoudens een onbetrouwbaarheid van 5%), dat:

$$P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C Maasdijk}) = P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C IJ}).$$

Dat station IJ blijkt Sterksel te zijn met 33 nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. Alle stations met 19 tot 33 nachten met een minimumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$ kunnen worden geacht een gelijke kans op nachtvorst te hebben. Deze zijn in tabel 2.18 met B aangeduid. Deze groep bestrijkt dus vrijwel het gehele land.

Vervolgens werd uitgegaan van het station Frederiksoord met 34 nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$. Gezocht werd naar het station Z, waarvoor geldt, (behoudens een onbetrouwbaarheid van 5%):

$$P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C} \text{ Frederiksoord}) = P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C} \text{ Z}).$$

Het station Z, waarvoor deze hypothese nog juist niet hoeft te worden verworpen, blijkt Castricum II te zijn. De stations, die tot deze groep behoren zijn in tabel 2.18 met C aangeduid. Deze stations zijn voornamelijk in het noordoosten, oosten en zuidoosten van het land gelegen, doch ook in het westen van het land, vlak achter hoge duinen (Castricum II) of temidden van grasland (Schiphol, Maasland).

Castricum I kon juist niet meer tot groep C worden gerekend. Uitgaande van dit station werd nu gezocht naar een station U, waarvoor geldt, behoudens een onbetrouwbaarheid van 5%:

$$P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C} \text{ Castricum I}) = P(T_{n10} < 0^{\circ}\text{C} \text{ U}).$$

Dit blijkt een station te zijn met 70 nachten met een minimumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$. In tabel 2.18 zijn de stations in deze groep met D aangeduid.

Naast Castricum vlak achter de hoge duinen zijn deze stations voornamelijk gelegen in het centrale deel van ons land en in Noord-Brabant. Tot deze stations behoort ook De Bilt.

Als enige station met meer dan 70 nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ blijft over Witteveen, dat derhalve tot groep E behoort.

Het blijkt dus, dat voor zover dat het tijdvak 1 april t/m 20 mei betreft de stations met betrekking tot de kans op nachtvorst ($T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$), in een vijftal groepen kunnen worden ondergebracht. Deze groepen zijn in tabel 2.19 vermeld.

Tabel 2.19 Groepen van stations met statistisch gelijke kansen op nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$.

g r o e p	aantal nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ in tijdvak 1 IV t/m 20 V
A	7 - 17
B	18 - 33
C	34 - 51
D	52 - 70
E	70

Het blijkt moeilijk gebieden aan te geven met gelijke nachtvorstkansen.
Dit is alleen mogelijk voor de kleine kansen op een nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$.

3. DE DAGELIJKSE MINIMUMTEMPERATUUR OP 2,20 m HOOGTE.

Reeds gedurende een groot aantal jaren worden op enige klimatologische stations metingen van de dagelijkse minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte verricht in de z.g. kooi van Stevenson. Teneinde de invloed van straling (zonne-, hemel- zowel als bodemstraling) op de aanwijzingen van de daarin opgestelde thermometers zo veel mogelijk te elimineren bevatten de wanden van de kooi dubbele jalouzieën en is een dubbel dak aangebracht. Voorts bestaat de bodem uit drie gedeelten, waarvan het midden-deel verhoogd en gescheiden van de andere delen is aangebracht. Op deze wijze kan ventilatie zowel in horizontale als in verticale richting plaats vinden. De dubbele jalouzieën bieden evenwel een zodanige luchtweerstand, dat bij kleine windsnelheden de ventilatie gering is. De ondanks de getroffen voorzieningen door de kooi geabsorbëerde stralingsenergie wordt onder deze omstandigheden onvoldoende afgevoerd. Daarom mag worden verwacht, dat de in de kooi gemeten temperatuur vrij belangrijk kan verschillen van de ware luchttemperatuur.

Ook in nachten met weinig wind en weinig bewolking kan als gevolg van de betrekkelijk grote massa van de kooi en de grote weerstand, die de jalouzieën aan de luchtstroom bieden, de temperatuur van de lucht binnen de kooi afwijken van de temperatuur op dezelfde hoogte boven de grond daarbuiten. Vergelijkende metingen op het proefterrein te De Bilt hebben aangetoond, dat momentaan grote verschillen kunnen bestaan (meer dan 1°C), doch dat de minimum waarden vrijwel gelijk zijn.

In Hoofdstuk I is uiteengezet, dat gegevens over de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte een maatstaf kunnen zijn voor de beoordeling van de kans op nachtvorst in de fruitteelt, voornamelijk echter voor het gebied waar de metingen zijn verricht. Te dien einde heeft ook een bewerking van de gegevens van de minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte plaats gevonden. Het zou de voorkeur hebben verdiend ons daarbij te baseren op de gegevens uit de standaard normaalperiode 1931-1960. In dit geval zouden wij evenwel over de waarnemingsuitkomsten van slechts een twaalfstal stations beschikken. Hiervan hebben enige weinig of geen betekenis voor de fruitteelt, van enkele andere stations zijn de reeksen inhomogeen door wijziging van de waarnemingsplaats.

Na de tweede wereldoorlog is het aantal termijnstations in ons land belangrijk uitgebreid, zodat over een korter tijdvak dan 30 jaren veel meer informatie over de minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte kan worden verkregen. Daarom werd besloten over te gaan tot bewerking van de waarnemingsuitkomsten over een korter tijdvak dan 30 jaren.

Een overzicht van de stations, waarvan de gegevens van de minimumtemperatuur werden bewerkt, geeft fig. 3.1.

3.1 Gemiddelde dagelijkse minimumtemperatuur per decade.

Voor het decennium 1951-1960 werden de gemiddelde dagelijkse minimumtemperaturen berekend voor de zes decaden van de maanden april en mei. De verkregen uitkomsten zijn in de figuren 3.2 t/m 3.7 in kaart gebracht. Het algemene beeld dat de isothermen, die op basis van de gemiddelde waarden van de minimumtemperaturen werden getekend, blijkt in alle zes decaden vrijwel hetzelfde te zijn. Duidelijk valt de invloed van het IJsselmeer en van de Noordzeekust alsmede die van de Zeeuwse wateren waar te nemen.

De laagste gemiddelde waarden van de minimumtemperatuur blijken in Drenthe voor te komen. Hierbij dient evenwel te worden aangetekend, dat door de ten opzichte van de omgeving zeer beschutte ligging van het station Witteveen de aldaar verkregen meetresultaten zeer waarschijnlijk slechts voor de allernaaste omgeving van het station van toepassing zijn.

Het gemiddelde niveau, waarop de minimumtemperatuur zich bevindt, verandert in de loop van de maand april betrekkelijk weinig, maar in de loop van de maand mei gaat het sterk omhoog.

Er dient evenwel de aandacht op te worden gevestigd, dat het beloop van de isothermen, zoals dat in de figuren 3.2 t/m 3.7 is weergegeven, niet altijd aan de realiteit behoeft te beantwoorden. Er is zoveel mogelijk rekening gehouden met de aanwezigheid van wateroppervlakken. Plaatselijke omstandigheden kunnen evenwel een belangrijke invloed hebben op het algemene niveau van de minimumtemperatuur. In een sterk geaccidenteerd terrein, zoals in Zuid-Limburg zal dat in bijzondere mate het geval zijn. Het trekken van isolijnen is daar eigenlijk nauwelijks mogelijk aangezien wij daar slechts over drie stations beschikken welke



Fig. 31. Klimatologische stations, waarvan de gegevens van de minimum-temperatuur op 2,20m zijn bewerkt.

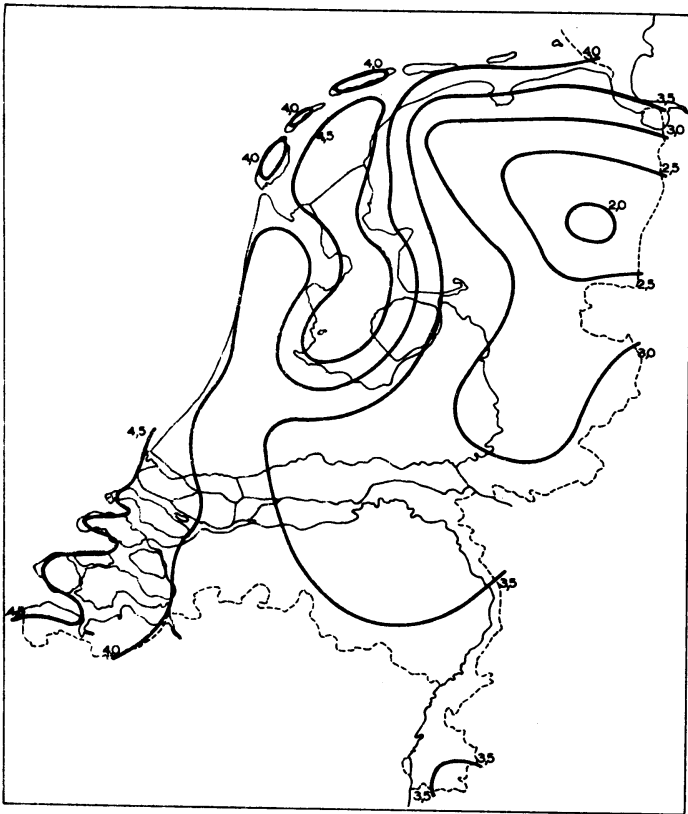


Fig 3.2.

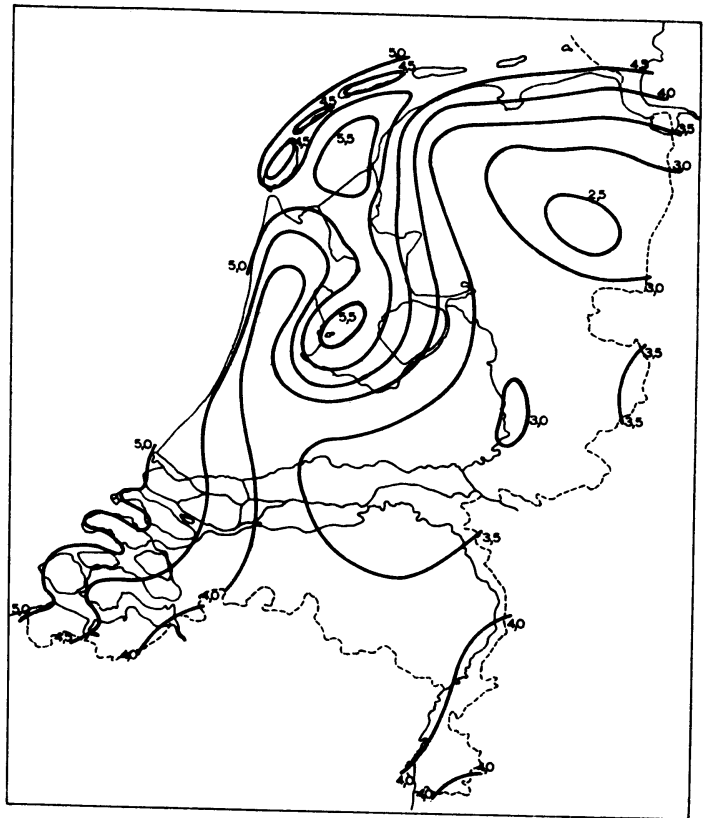


Fig 3.3.

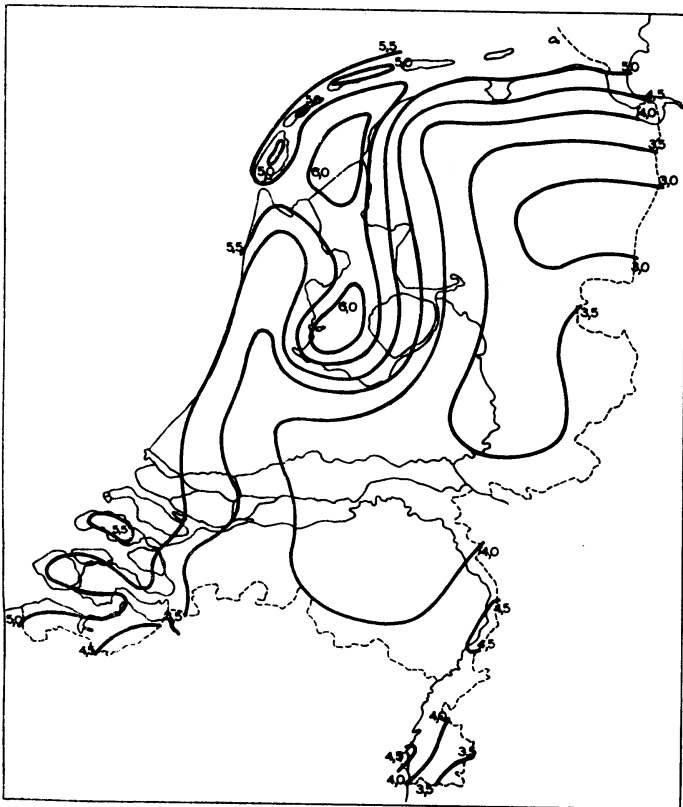


Fig 3.4.

Gemiddelde dagelijkse T_{n220} in april.(1951-1960).

Fig.3.2. 1e decade.

Fig.3.3. 2e decade.

Fig.3.4. 3e decade.

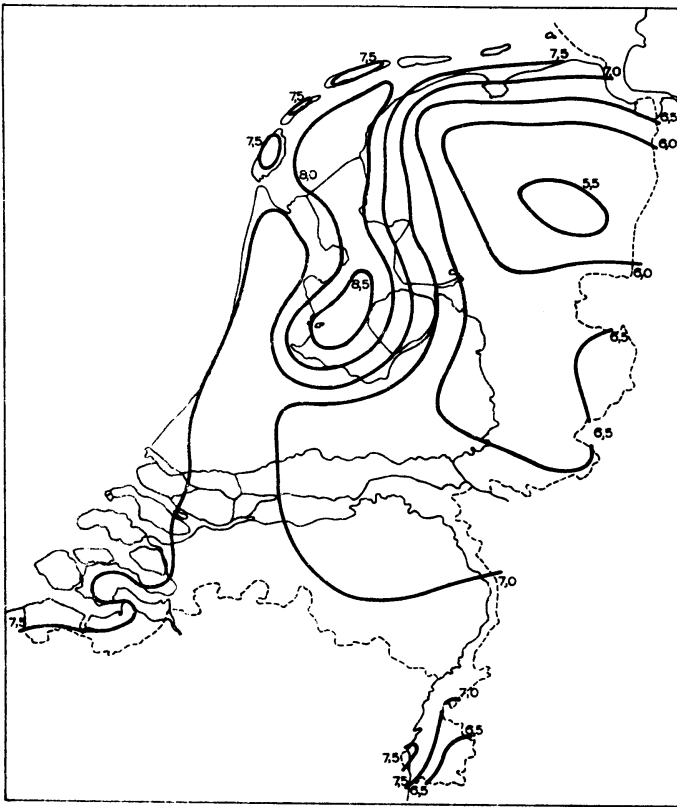


Fig 3.5.

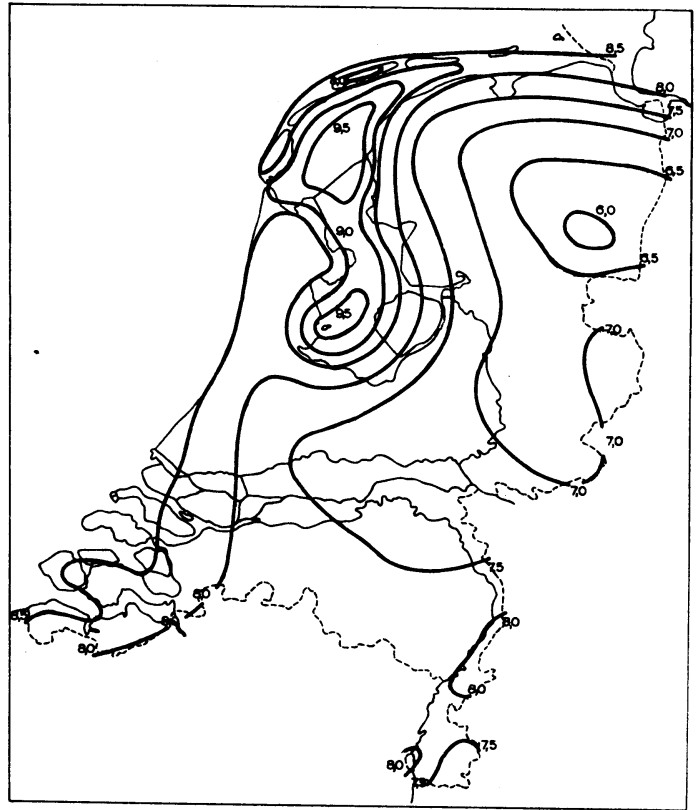


Fig 3.6.

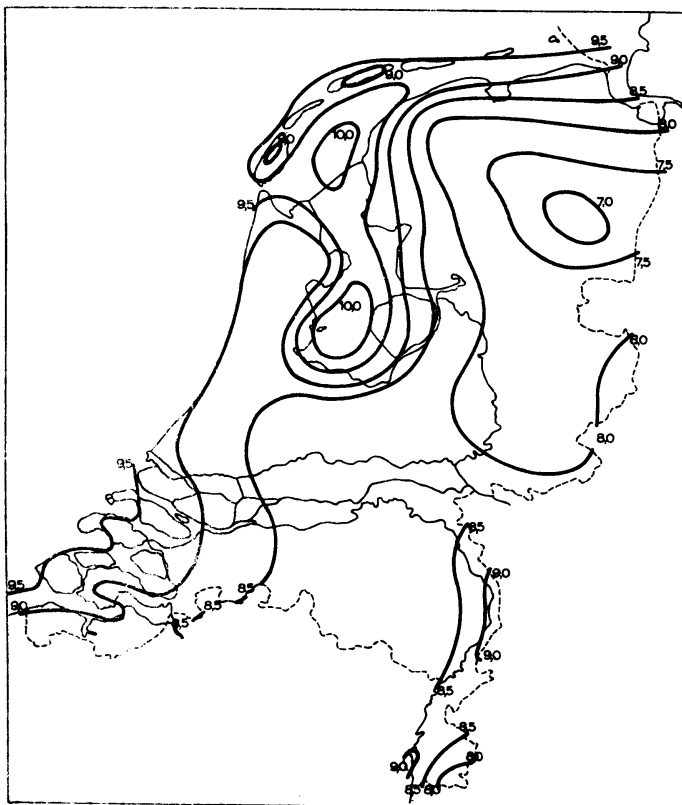


Fig 3.7.

Gemiddelde dagelijkse T_{n220} in mei. (1951-1960).

Fig.3.5. 1e decade.

Fig.3.6. 2e decade.

Fig.3.7. 3e decade.

resp. een hoogvlakte, een stadsgebied en een dal representeren.

3.2 Frequentieverdeling van de minimumtemperatuur per decade.

De verdeling van de gemiddelde minimumtemperaturen over ons land heeft ons een globaal beeld verschaft van de ligging van koude gebieden; dit levert ons echter nog onvoldoende houvast voor het vaststellen van kansen op schadelijke nachtvorst. Daarom zal thans worden ingegaan op de frequentieverdeling van de minimumtemperatuur. Gezien de grote fluctuaties van het aantal nachten met nachtvorst van jaar tot jaar, achtten wij een tijdvak van 10 jaren, zoals bij de berekening van de gemiddelde minimumtemperaturen, te kort. Voor het normaal tijdvak 1931-1960, is zoals vermeld het aantal stations te gering. Wij zullen ons daarom voor de frequentieverdelingen baseren op de gegevens van de 15 jaren 1947-1961. De stations zijn de volgende (voor de ligging zie fig. 3.1):

1. Wierum. Dit station is aan de zeedijk gelegen en derhalve alleen als representatief voor een smalle kuststrook te beschouwen.
2. Eelde. Het station is gevestigd op het vliegveld, dat zeer open is gelegen. Het is daarom alleen representatief voor het vrij open gelegen gebied van Noord-Drènte.
3. Den Helder. Dit station is gelegen vlak achter en iets beneden de kruin van de Noordzeedijk en staat onder direkte invloed van de zee. Het is daarom weinig representatief voor de kop van Noord-Holland.
4. Rottum/Joure. Te Rottum en te Joure (na 1953) was het station in open terrein temidden van tuinbouwbedrijven gelegen. In zijn geheel kan de verkregen reeks wel representatief voor midden-Friesland geacht worden.
5. Stavoren. Het station was vlakbij de zeedijk gelegen. Ook in dit geval is het station maar voor een klein gebied langs de kust representatief.
6. Emmeloord/Marknesse (1948-1952) Beide stations waren in open landschap langs een vaart gevestigd, zodat de waarnemingen uitkomsten voor de Noordoostpolder, wellicht met uitzondering van een strook langs het IJsselmeer, representatief zijn te achten.
7. Hoorn (NH). Het station is gevestigd in de proeftuin, vrij ver van het IJsselmeer af gelegen, zodat deze situatie kenmerkend is voor "De Streek".

8. Dedemsvaart. Een zeer open gelegen station, karakteristiek voor het gebied rondom in Zuid-Drenthe en Noord-Overijssel.
9. Oude Wetering. Het station is temidden van bebouwing en opslagplaatsen gelegen, derhalve niet geheel representatief voor de tuinbouwgebieden in de omgeving.
10. De Bilt. Het station is aan de noordzijde zeer beschut gelegen; het mag representatief worden geacht voor het zuidoostelijk deel van de provincie Utrecht.
11. Vliegveld Twente. Het station is aan een bosrand gelegen en daarom kenmerkend voor het Twentse landschap.
12. Naaldwijk. Door zijn ligging te midden van kassen en warenhuizen is dit station representatief voor het gehele glasdistrict.
13. Wageningen. Door zijn bijzonder beschutte ligging aan de rand van de stad is dit station slechts weinig representatief voor de omgeving.
14. Winterswijk. Dit station lag vóór 1955 tamelijk beschut, na dat jaar was het aan de zuidzijde vrij open gelegen. Algemeen is dit station representatief voor de Gelderse Achterhoek (parklandschap) te achten.
15. Andel. Ten opzichte van de omgeving is dit station vrij beschut gelegen in een moestuin omgeven door bebouwing. Daarom representeert het station alleen de meer beschut gelegen delen van de Tieler- en Bomme-larwaard.
16. West-Souburg. Het station was zeer open gelegen, op het voormalige vliegveld, derhalve kenmerkend voor geheel Walcheren.
17. Oudenbosch. Aan de noordzijde vrij open gelegen, representeert het station het westelijk Noord-Brabantse zandgebied.
18. Genert. Dit station is open gelegen op een tuinbouwbedrijf en representeert zodoende een groot gebied van oostelijk Noord-Brabant en Noord-Limburg ten westen van de Maas.
19. Venlo. Tot 1953 was het station zeer beschut gelegen door hoge bebouwing, na 1953 meer open, na 1957 aan de ooststrand van de stad, temidden van tuinbouwbedrijven. Hoewel de reeks niet homogeen is, kan deze toch wel gebruikt worden voor een beoordeling van de situatie met betrekking tot nachtvorst in de omgeving van Venlo.
20. Sint Jansteen. Het station was zeer beschut gelegen in een tuin met hoge begroeiing. Desondanks is het toch wel representatief te achten voor het oostelijk deel van Zeeuws-Vlaanderen.
21. Buchten. (t/m 1948 Sittard). Hoewel gelegen vlak bij het spoorwegemplacement kan het station representatief geacht worden voor het ge-

bied tussen Sittard en Roermond.

22. Beek(L.) Het station is gevestigd op het vliegveld, vrij hoog gelegen. Het kan geacht worden ten naaste bij representatief te zijn voor de "hoogvlakten" van Zuid-Limburg.

Alhoewel bij het vaststellen van de frequentieverdeling van de dagelijkse minimumtemperaturen het gehele waarnemingsmateriaal is gebruikt, geven wij de resultaten van de bewerking alleen weer voor zover het temperaturen betreft, die schade aan het jonge gewas in het voorjaar kunnen veroorzaken. In hoofdstuk I werd reeds ingegaan op de vraag, beneden welke drempelwaarde van de temperatuur op de normale waarnemingshoogte schade kan worden verwacht. Wij beperken ons daarom met de vermelding, dat als drempelwaarde van de temperatuur op 2,20 m hoogte 2°C is aangenomen.

In tabel 3.1 zijn per decade van de maanden april en mei voor ieder der 22 boven vermelde stations opgenomen de aantallen malen dat in de jaren 1947-1961 de dagelijkse minimumtemperatuur beneden resp. 2, 1, 0, -1, -2, -3 en -4°C was. Uit deze tabel blijkt, dat ook laat in het seizoen op een enkel station zeer lage temperaturen zijn geregistreerd. In Winterswijk zijn in de tweede decade van mei drie nachten voorgekomen met een minimumtemperatuur beneden 0°C , waarvan één zelfs beneden -2°C .

In de derde decade van mei kwam op enige stations éénmaal een minimumtemperatuur van even onder het vriespunt voor.

In figuur 3.8 zijn de cumulatieve frequentieverdelingen van de minimumtemperaturen $T_{n220} < 2^{\circ}\text{C}$ in de drie decaden van april en in de eerste twee decaden van mei in procenten van het totaal aantal waarnemingen, dat voor ieder der decaden 150 bedraagt, voor ieder van de 22 stations grafisch weergegeven. Hieruit blijken duidelijk de grote verschillen, die zich in dit opzicht tussen de gebieden onderling in ons land kunnen voordoen. Toepassing van de χ^2 -toets op het waarnemingsmateriaal van de 22 stations toonde aan, dat de onderlinge verschillen statistisch significant zijn, d.w.z. de frequentieverdeling van de minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte is afhankelijk van de plaats van waarneming, behoudens een onbetrouwbaarheid van 5%. Er zijn echter groepen van plaatsen, waarvan de frequentieverdelingen onderling weinig verschillen.

Fig. 3.8 Cumulatieve frequentieverdelingen van $T_{n220} < 2^{\circ}\text{C}$. per decade van een aantal stations.
Aantal dagen in % van het totale aantal.

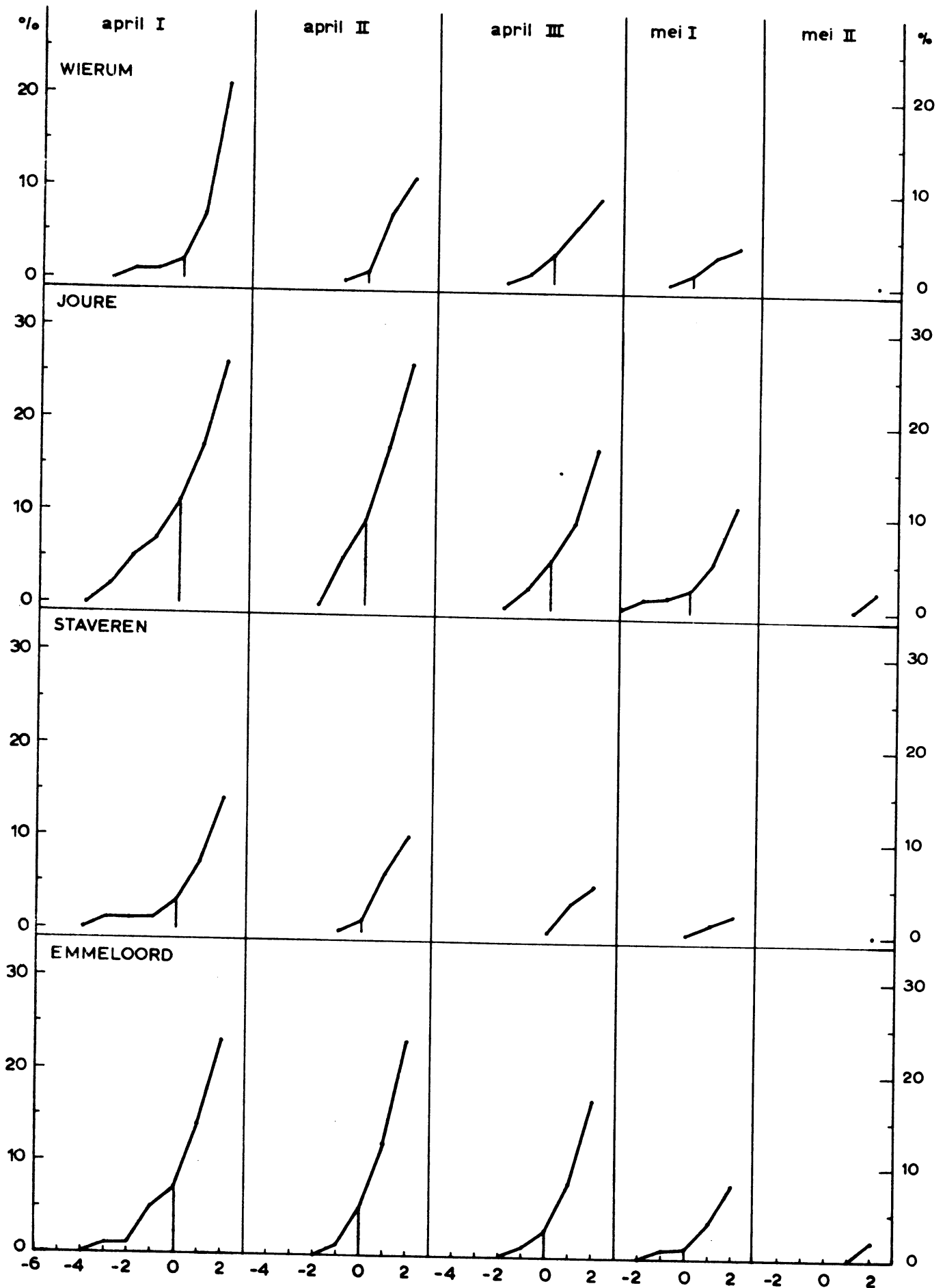


Fig. 3.8 (vervolg)

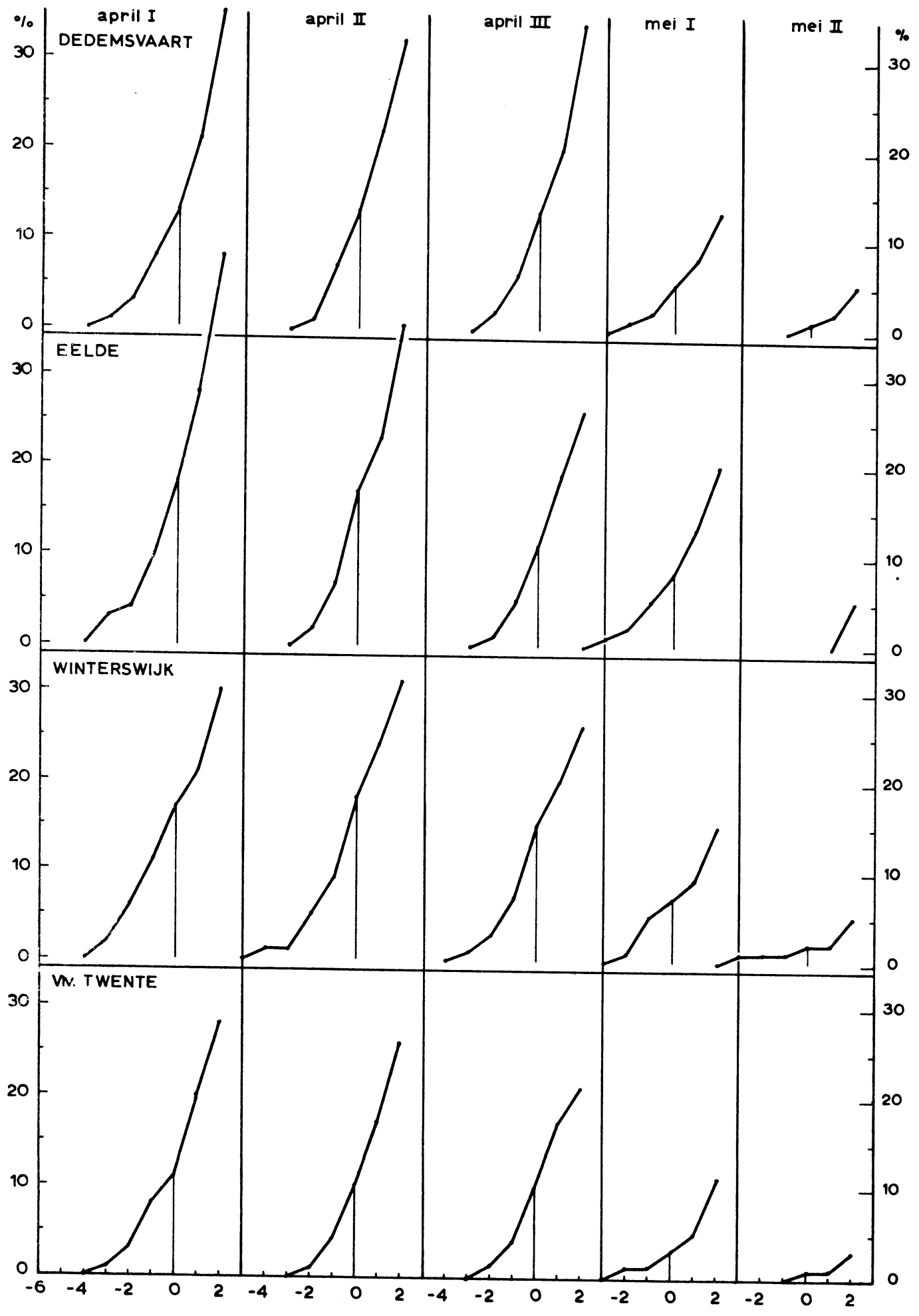


Fig.38(vervolg) april I

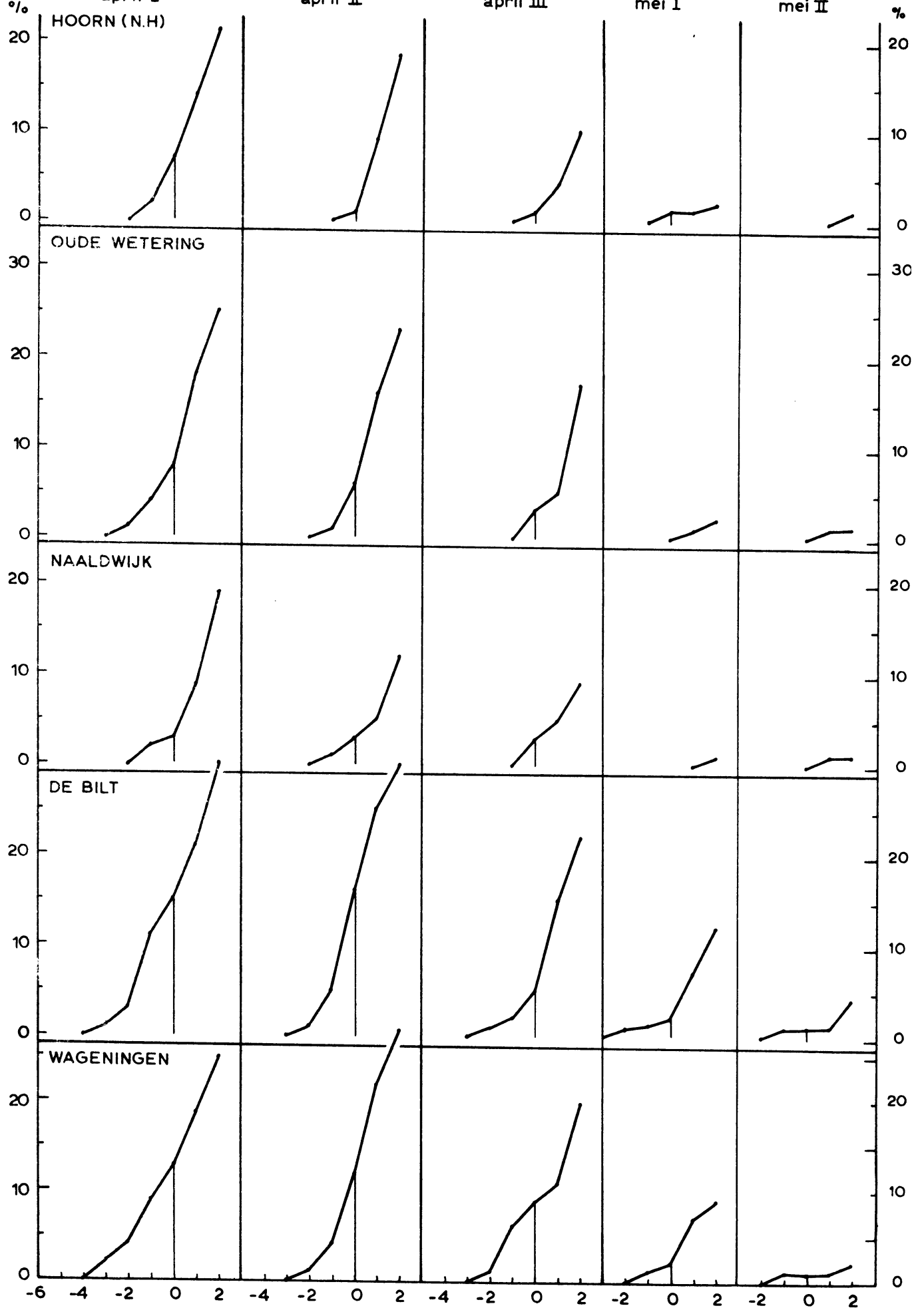


Fig. 3.8.(vervolg)

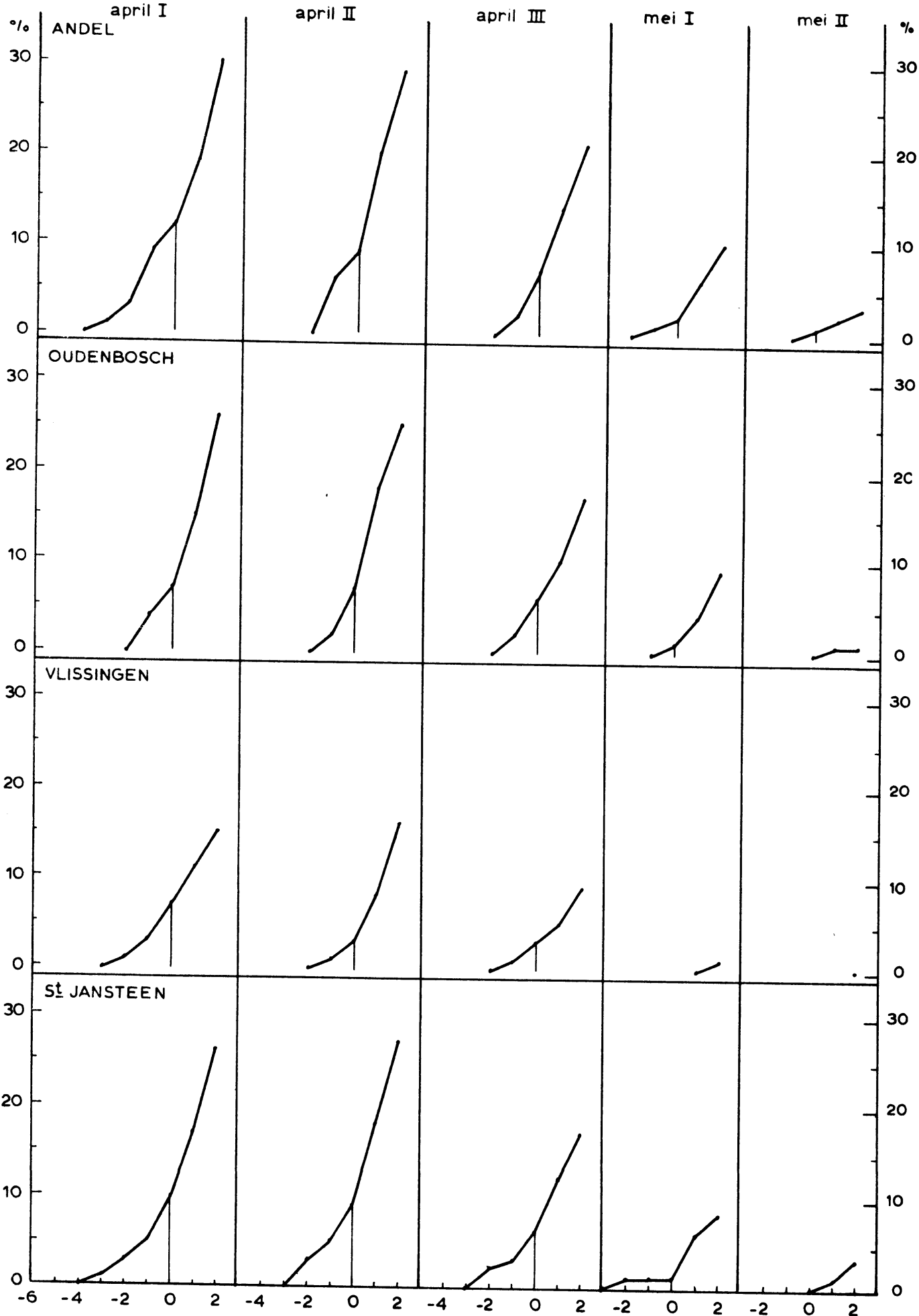
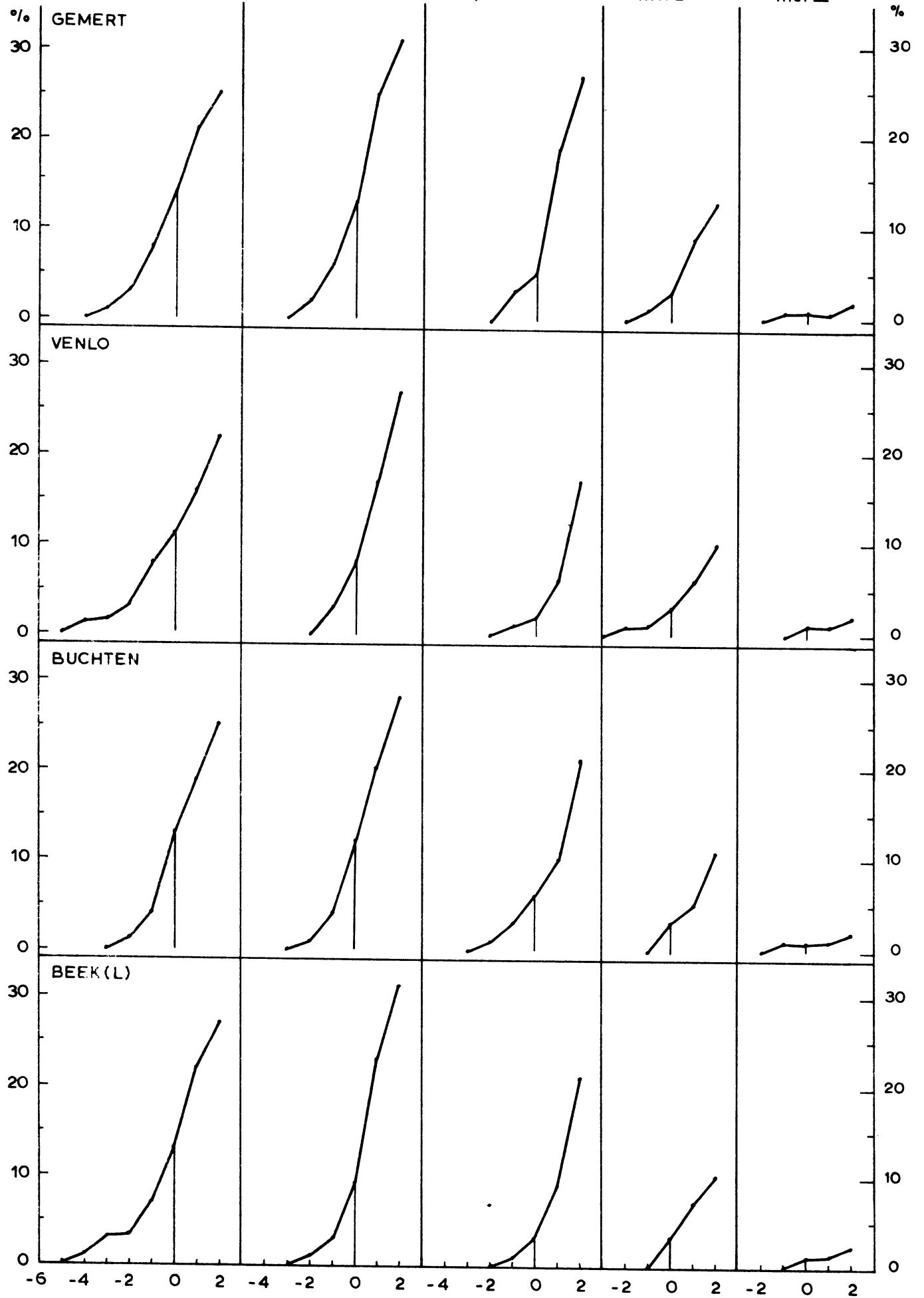


Fig.3.8(slot) april I



Dit kan wellicht met een van de moderne statistische toetsen worden onderzocht. Daarvan is hier echter afgezien. Wij hebben ons beperkt tot het vervaardigen van kaartjes, waarop lijnen zijn getekend, die de plaatsen verbinden met een gelijk gemiddeld aantal dagen per maand met een minimumtemperatuur beneden 0°C en 2°C . Dit is voor de maanden april en mei afzonderlijk geschied. Figuur 3.9 geeft een beeld van het voorkomen van minimumtemperaturen beneden 0°C in april. Hieruit blijkt, dat de kans op schadelijke nachtvorsten in die maand vermoedelijk het grootst is in Drente, Zuidoost-Groningen en in de Achterhoek.

Voor het gemiddeld aantal nachten met een minimumtemperatuur beneden 2°C in april (zie figuur 3.10) wordt vrijwel hetzelfde beeld verkregen als bij gebruikmaking van een grens van 0°C . De verschillen tussen het oosten en het westen van het land komen bij de drempel van 2°C evenwel wat sterker naar voren. In de kustgebieden zijn de kansen op schade door nachtvorst wel belangrijk kleiner dan in de overige delen van het land.

In mei zijn de verschillen in gemiddelde aantallen nachten met minimumtemperaturen beneden 0°C in de kustgebieden en de rest van het land in absolute maat veel kleiner dan in april, doch relatief zijn de verschillen nog groot (zie figuur 3.11). De verschillen in aantallen nachten met minimumtemperatuur beneden 2°C tussen de kustgebieden en de overige delen van het land zijn in mei zelfs relatief groter dan in april (vergelijk de figuren 3.10 en 3.12). In mei zijn vermoedelijk in Zuidoost-Groningen en in Drente de nachtvorstkansen het grootst.

Voorts is nagegaan in hoeverre het mogelijk is de stations in groepen onder te brengen, waarbinnen met vrijwel gelijke nachtvorstkansen rekening kan worden gehouden. Dit is wederom geschied voor de drempelwaarden 2 en 0°C . Bij de drempel van 2°C is een klassebreedte van 30 nachten gekozen, bij die van 0°C een klassebreedte van 10 nachten. Hierbij is gebruik gemaakt van het waarnemingsmateriaal van april en de eerste decade van mei van de jaren 1947 t/m 1964. De frequenties van minimumtemperaturen, voor zover beneden 2°C , zijn gesommeerd en in tabel 3.2 opgenomen.

Wat betreft de aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 2°C in de vier decaden tezamen blijkt het mogelijk te zijn de stations in een zestal groepen in te delen (zie tabel 3.3).

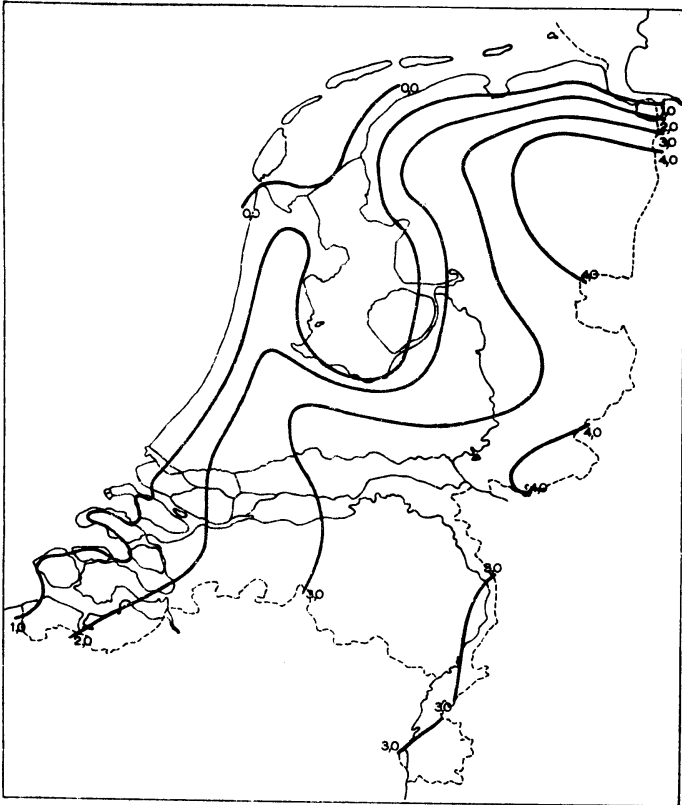


Fig. 3.9. Gemiddeld aantal dagen met $T_{n220} < 0^{\circ}\text{C}$. in april. (1947-1961).

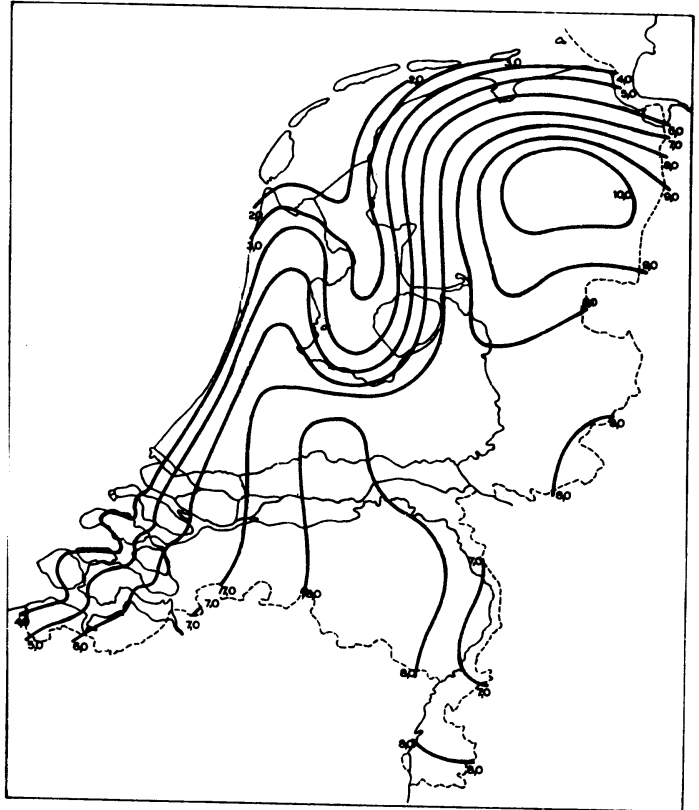


Fig. 3.10. Gemiddeld aantal dagen met $T_{n220} < 2^{\circ}\text{C}$. in april. (1947-1961).

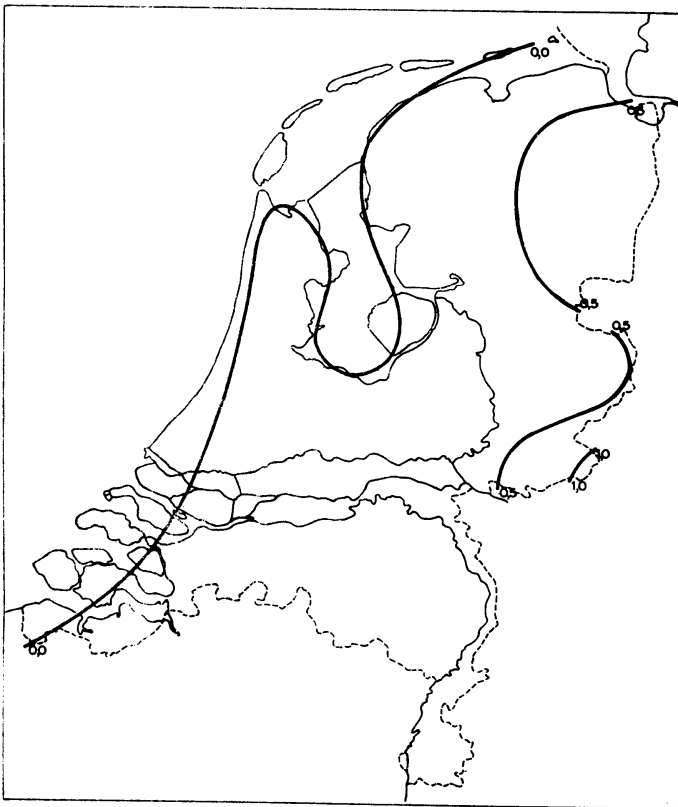


Fig. 3.11. Gemiddeld aantal dagen met $T_{n220} < 0^{\circ}\text{C}$. in mei. (1947-1961).

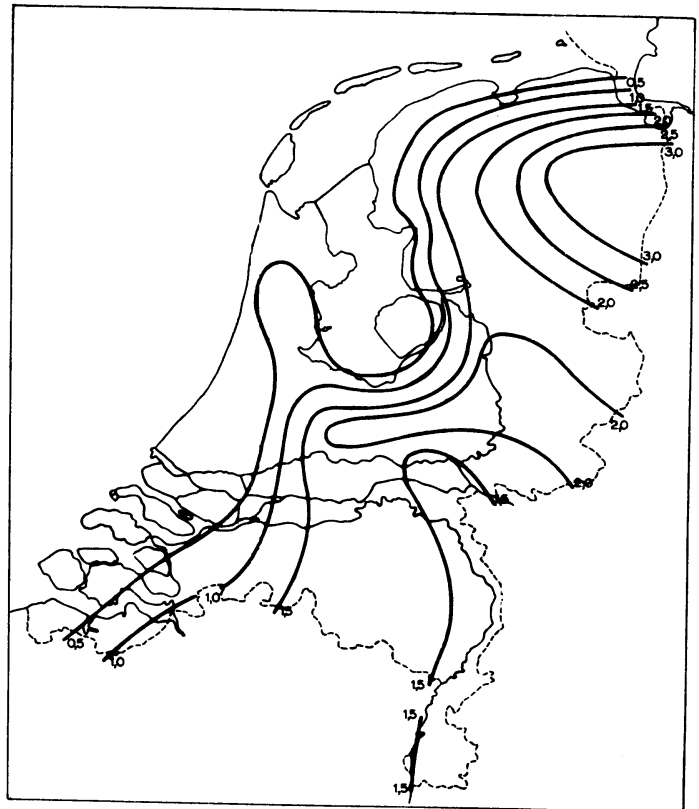


Fig. 3.12. Gemiddeld aantal dagen met $T_{n220} < 2^{\circ}\text{C}$. in mei. (1947-1961).

Tabel 3.2 Aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 2, 1, 0, -1, -2, -3 en -4°C in april en in de eerste decade van mei van de jaren 1947-1961

A P R I L + M E I I

Klasse	Wierum	Eelde	D.Held.	Joure	Stav.	Hoorn	E.oord	Ded.v.	O.Wet.	Twente	De Bilt
2	68	186	29	120	46	72	107	148	101	128	141
1	35	122	16	72	25	37	57	91	61	88	102
0	9	81	-	40	7	15	24	57	25	52	57
-1	3	40	-	22	2	3	12	30	7	26	28
-2	1	14	-	8	2	-	2	8	1	8	8
-3	-	5	-	3	2	-	1	1	-	2	1
-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wagen.	W.wijk	N.wijk	Andel	O.bosch	W.Soub.	Gemert	Venlo	St.Janst.	Buchten	Beek
2	123	153	62	135	115	62	145	114	116	126	134
1	88	111	29	88	70	36	109	67	79	81	90
0	54	85	12	45	33	20	54	36	50	50	43
-1	29	47	4	27	12	6	27	18	19	16	17
-2	9	24	-	4	-	2	8	5	13	5	5
-3	3	7	-	1	-	-	2	4	1	-	4
-4	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1

Tabel 3.3 Indeling van de stations in groepen van aantallen nachten met minimumtemperaturen beneden 2°C in april en mei I van de jaren 1947-1961 (stations in volgorde van aantallen).

Groep	Aantal nachten	Stations
1	16 - 45	Den Helder
2	46 - 75	Stavoren, Naaldwijk, West-Souburg, Wierum, Hoorn
3	76 - 105	Oude Wetering
4	106 - 135	Emmeloord, Venlo, Oudenbosch, St. Jansteen, Jourø, Wageningen, Buchten, Vlv. Twente, Beek(L.), Andel
5	136 - 165	De Bilt, Gemert, Dedemsvaart, Winterswijk
6	166 - 195	Eelde

De eerste groep bevat uitsluitend het station Den Helder; de laatste groep bevat eveneens één station: Eelde, dat het grootste aantal nachten met minimumtemperaturen beneden 2°C heeft. Groep 2 bevat stations, onmiddellijk in de nabijheid van de kust gelegen. Er zijn blijkbaar een groot aantal gebieden in ons land met een vrijwel ge-

lijk aantal nachten met een minimumtemperatuur beneden 2°C die door de stations in groep 4 worden vertegenwoordigd. Wij stellen derhalve, dat de aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 2°C binnen elke groep met meer dan één station gelijk is. Toepassing van de χ^2 -toets toont aan, dat deze hypothese bij een significantie-drempel van 5% voor geen der groepen behoeft te worden verworpen.

De spreiding van het aantal dagen met een minimumtemperatuur beneden 0°C tussen de stations onderling blijkt minder groot te zijn. Toch is er in dit geval een indeling in negen groepen gemaakt (zie tabel 3.4). Ook hier is nagegaan, in hoeverre de aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 0°C binnen elke groep met meer dan één station als gelijk kunnen worden beschouwd. Met behulp van de χ^2 -toets kon dit voor de groepen 2, 3, 5 en 6 worden aangetoond, bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

De groepering blijkt thans zodanig te zijn, dat in hoofdzaak de afstand tot de kust bepalend is. Limburg neemt evenwel een afwijkende positie in. Hier is het aantal nachten met een minimumtemperatuur beneden 0°C kleiner dan in het midden en het noordoosten van het land.

Tabel 3.4 Indeling van de stations in groepen van aantallen nachten met minimumtemperaturen beneden 0°C in april en mei I van de jaren 1947-1961 (Stations in volgorde aantallen).

Groep	Aantal nachten	S t a t i o n s
1	0 - 5	Den Helder
2	5 - 15	Stavoren, Wierum, Naaldwijk, Hoorn
3	16 - 25	West-Souburg, Emmeloord, Oude Wetering
4	26 - 35	Oudenbosch
5	36 - 45	Venlo, Joure, Beek(L.), Andel
6	46 - 55	Buchten, St.Jansteen, Vlv. Twente, Wageningen, Gemert
7	56 - 65	De Bilt, Dedemsvaart
8	66 - 75	-
9	76 - 85	Eelde, Winterswijk

4. VERGELIJKING VAN DE DAGELIJKSE MINIMUMTEMPERATUUR OP 10 CM HOOGTE MET DIE OP 2,20 M HOOGTE.

In de hoofdstukken 2 en 3 zijn de resultaten van de analyses der gegevens van de minimumtemperaturen op resp. 10 cm en 2,20 m hoogte onafhankelijk van elkaar behandeld.

De vraag doet zich thans voor, in hoeverre de op de beide hoogten verkregen resultaten over het voorkomen van nachtvorst landelijk gezien met elkaar in overeenstemming zijn.

Bij de vergelijking van de gemiddelde dagelijkse minimumtemperaturen op de twee hoogten aan de hand van resp. de figuren 2.8 t/m 2.13 en 3.2 t/m 3.7 dienen wij te bedenken, dat de tijdvakken, waarover de gemiddelden zijn berekend, niet gelijk zijn. Voor een goede vergelijkbaarheid zijn daarom de gemiddelde dagelijkse minimumtemperaturen op 2,20 m hoogte berekend op basis van de gegevens van de jaren 1951 t/m 1954, evenals zulks is geschied voor de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte.

De gemiddelden van de dagelijkse minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte voor de zes decaden van april en mei zijn in de figuren 4.1 t/m 4.6 in kaart gebracht. Het valt op, dat de gemiddelden van de overeenkomstige decaden voor de tijdvakken 1951-1954 en 1951-1960 nauwelijks van elkaar verschillen, met uitzondering van die van de derde decade van mei.

Vergelijken wij nu de figuren 2.8 t/m 2.13 met de figuren 4.1 t/m 4.6, dan blijkt wel dat de gegevens van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte niet zonder meer zijn af te leiden uit die op de normale waarnemingshoogte van 2,20 m. De lokale spreiding in de gemiddelde waarden van de dagelijkse minimumtemperatuur op 10 cm is groter, dan wij op grond van de waarden van deze grootte op 2,20 m hoogte zouden verwachten, zoals b.v. in de NO-polder, het Westland en in Noord-Brabant.

Nu is ook de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte in sterkere mate afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden, zoals

grondsoort en begroeiing, dan de temperatuur overdag, als gevolg van de dan in het algemeen grotere windsnelheden en sterkere turbulentie van de lucht. Het isothermenpatroon, zoals dat in de figuren 4.1 t/m 4.6 is getekend, moet dan ook als zeer globaal worden beschouwd. Dit alles neemt echter niet weg, dat er tussen de minimumtemperaturen op 10 cm en 2,20 m hoogte een zeker verband moet bestaan.

In de door het K.N.M.I. uitgegeven algemene weersverwachtingen voor het komende etmaal wordt ook een uitspraak gedaan over de te verwachten minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte (thans 1,50 m). Men kan zich afvragen, of dit niet tevens mogelijk is voor de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte. Dit zal praktisch gesproken alleen het geval kunnen zijn als zou blijken, dat er een zodanig strak verband bestaat tussen de minimumtemperaturen op de beide hoogten, dat uit de kennis van de waarde op één der hoogten die op de andere hoogte voldoende betrouwbaar kan worden afgeleid. Teneinde dit te onderzoeken, zijn de gegevens van die stations, waar gedurende een aantal jaren op de beide hoogten minimumtemperaturen worden gemeten, nader geanalyseerd. Dit is geschied voor de volgende stations: Leeuwarden, Eelde, Witteveen, Dedemsvaart, De Bilt, Vliegveld Twente, Den Helder, Naaldwijk, Vlissingen, Gilze-Rijen, Gemert en Beek(L.).

De reeksen gegevens van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte zijn niet voor alle stations van gelijke lengte. Van De Bilt beschikken wij over een zeer lange reeks van dagelijkse gegevens op de beide hoogten. Deze lenen zich in het bijzonder voor het beoogde onderzoek, zodat deze in een afzonderlijke paragraaf zullen worden besproken. In een daarop volgende paragraaf zullen de gegevens van de overige stations worden behandeld.

4.1 Waarnemingen te De Bilt.

De gegevens van de dagelijkse minimumtemperatuur op 10 cm hoogte in de jaren 1916-1961 (zonder 1945) zijn in paragraaf 2.3 reeds uitvoerig besproken. Een belangrijke conclusie juist met het oog op het in deze paragraaf te bespreken onderzoek was, dat de hypothese dat de deelreeksen 1916 t/m 1929, 1930 t/m 1950 en 1951 t/m 1961 tezamen als een homogene reeks mogen worden beschouwd, niet behoeft te worden verworpen. Voór nadere bijzonderheden hieromtrent kan worden verwezen naar paragraaf 2.3 en Appendix II.

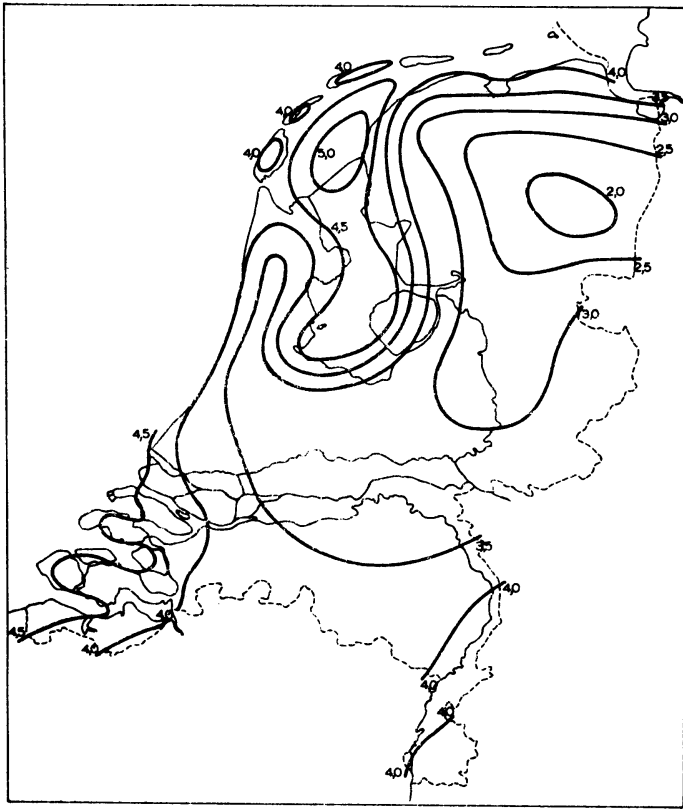


Fig 4.1.

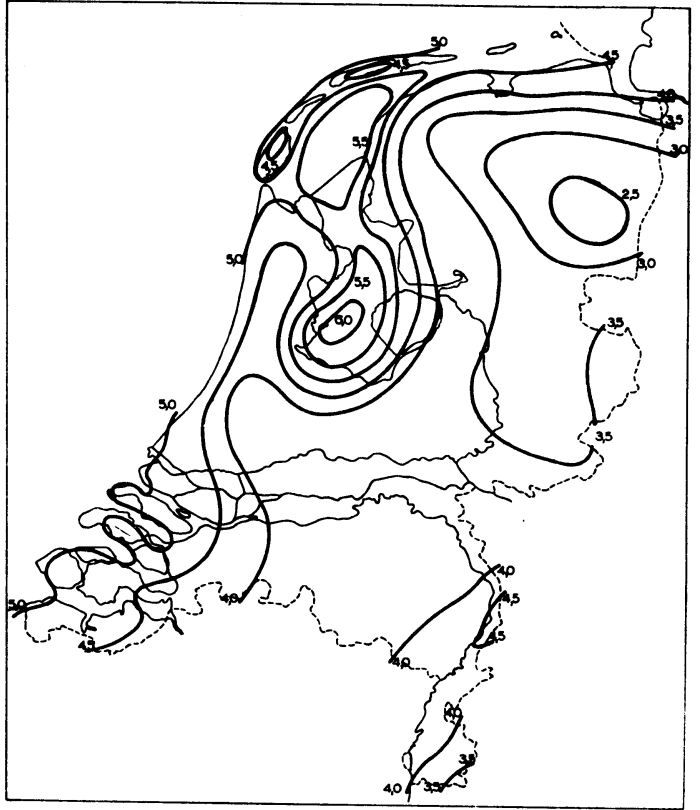


Fig 4.2.

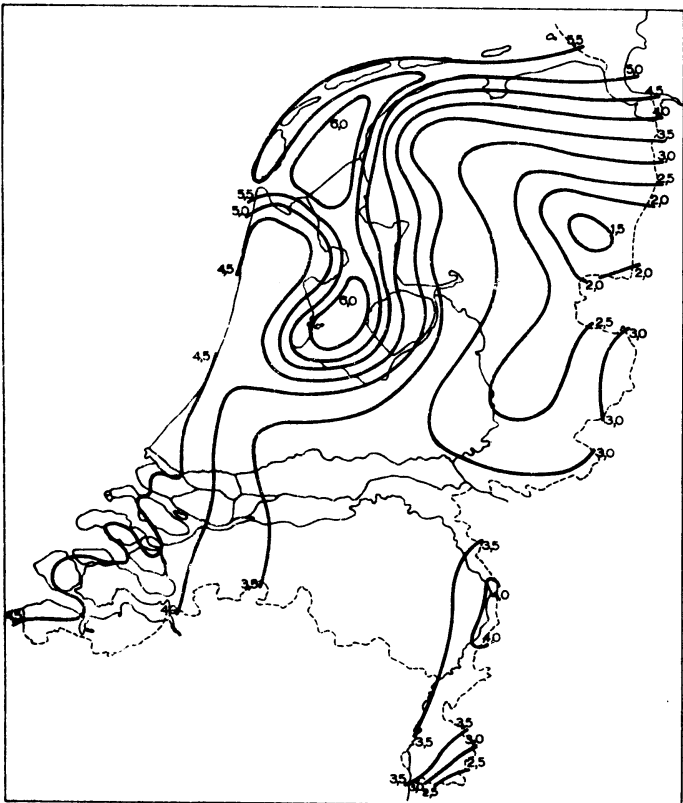


Fig 4.3.

Gemiddelde dagelijkse T_{n220} in april. (1951-1954).
Fig.4.1. 1e decade.
Fig.4.2. 2e decade.
Fig.4.3. 3e decade.

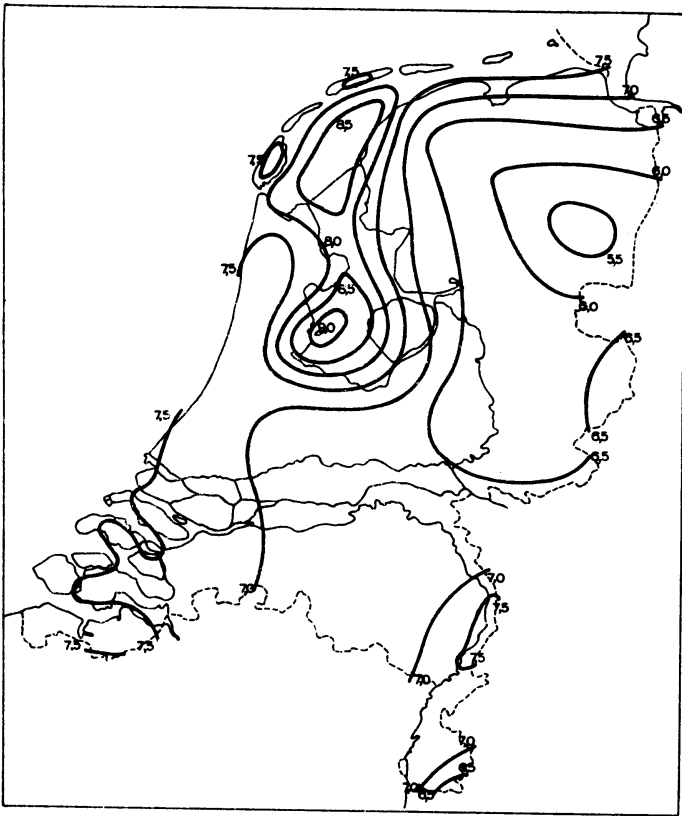


Fig 4.4.

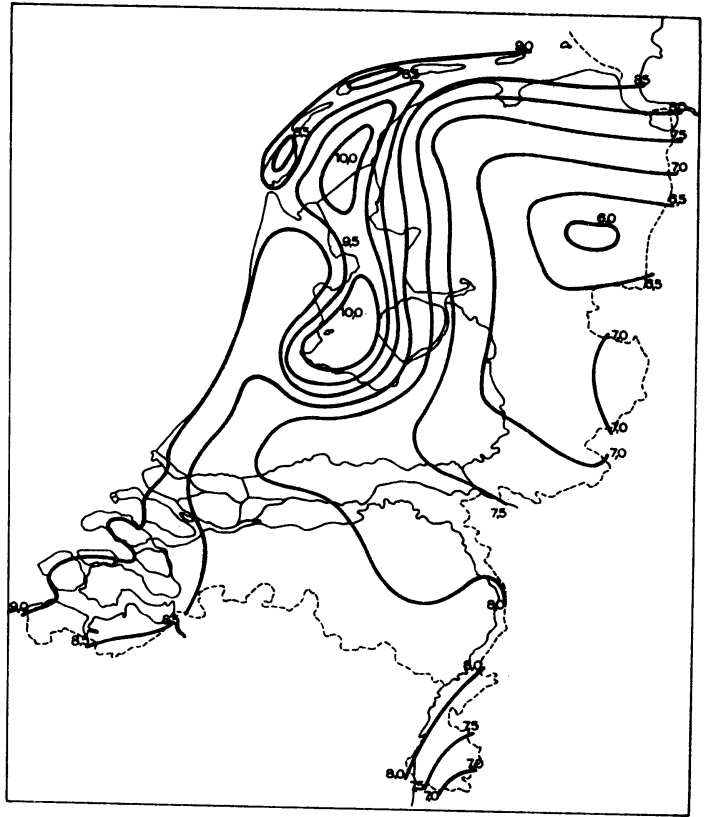


Fig 4.5.

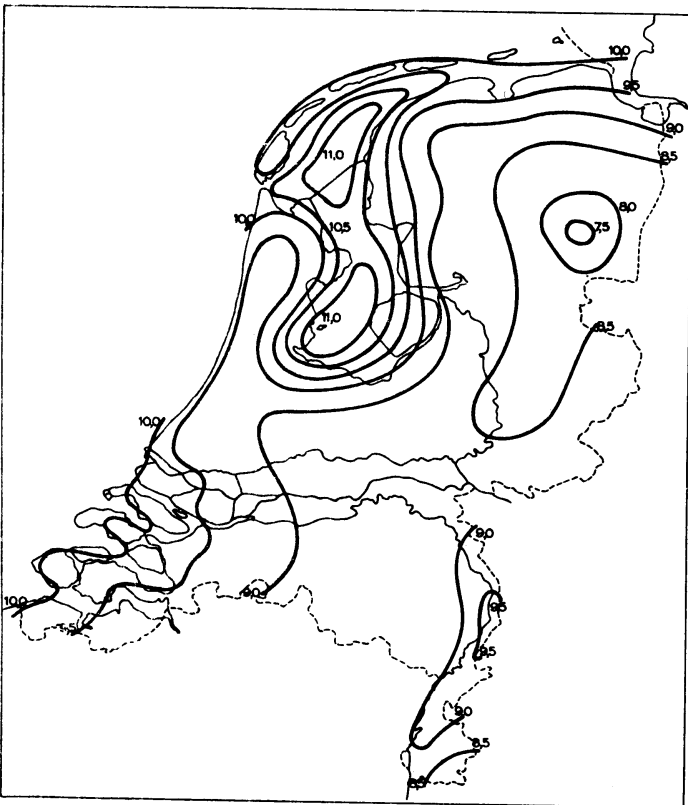


Fig 4.6.

Gemiddelde dagelijkse T_{n220} in mei. (1951-1954).

Fig.4.4. 1e decade.

Fig.4.5. 2e decade.

Fig.4.6. 3e decade.

a. Dagelijkse verschillen in minimumtemperatuur op de beide hoogten.

Allereerst is nagegaan, welke de spreiding is in de verschillen tussen de dagelijkse waarden van de minimumtemperatuur op 2,20 m en 10 cm hoogte. De verschillen $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ zijn dag voor dag berekend van de maanden april en mei van de jaren 1916 t/m 1961 (uitgezonderd 1945). Voor een drietal tijdvakken zijn de frequentieverdelingen van de waarden T_n opgezakt, nl. a) april I+II (20 dagen), b) april III+mei I (20 dagen), c) mei II+III (21 dagen). Daarbij zijn de waarden van ΔT_n in hele graadklassen ondergebracht, nl. van 0,0 t/m 0,9°C, enz. De frequenties zijn uitgedrukt in % van het totaal aantal gevallen, dat dus in de gevallen a) en b) 900 en in geval c) 945 bedraagt.

De frequentieverdelingen van de waarden van ΔT_n in de drie genoemde tijdvakken zijn in figuur 4.7 grafisch weergegeven. Een normaliteitstoets leerde, dat deze verdelingen, behoudens een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%, significant van een normale verdeling afwijken. Deze frequentieverdeling van het tijdvak tweede + derde decade van mei vertoont zelfs twee maxima. Daar stabiele omstandigheden in de onderste luchtlagen des nachts wel vaker optreden dan onstabiele zal de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte meestal lager zijn dan die op 220 cm hoogte. Daarom neemt de frequentie van ΔT_n beneden 0°C zeer snel af (zie fig. 4.7).

Vervolgens zijn voor de genoemde drie tijdvakken de relatieve frequentieverdelingen vastgesteld van die waarden van ΔT_n waarbij $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$ was. Ook deze verdelingen zijn in figuur 4.7 grafisch weergegeven, waarbij de frequenties weer zijn betrokken op het totaal aantal nachten (dus resp. 900, 900 en 945). Deze verdelingen blijken normaal verdeeld te zijn, met in het tijdvak april I+II een maximum in het vak 2,0 - 2,9°C, voor de overige twee tijdvakken in het vak 3,0 - 3,9°C. De gevallen, waarbij $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$ hebben zich ongetwijfeld vrijwel alle voorgedaan onder voor het ontstaan van nachtvorst gunstige omstandigheden, n.l. weinig wind en weinig bewolking.

b. Invloed van windsnelheid en bewolking op de waarde van ΔT_n .

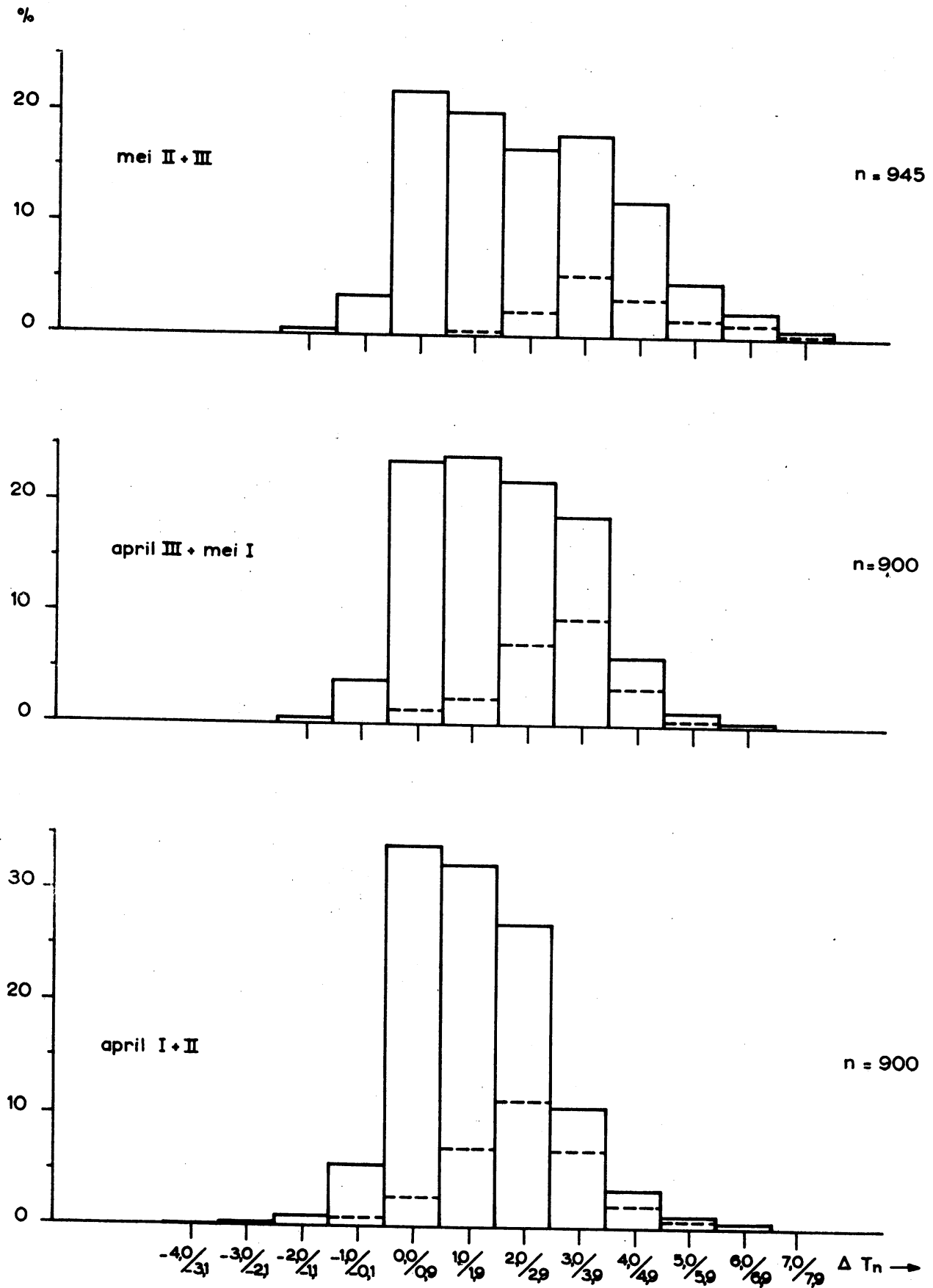
Het verschil ΔT_n in minimumtemperatuur op 2,20 (1,50)m en 10 cm hoogte

Fig. 4.7. Frequentiehistogram van de waarden $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ per tijdvak van 2 decaden. Station: De Bilt. Periode: 1916-1961 (zonder 1945).

— alle gegevens.

--- indien $T_{n10} < 0^\circ\text{C}$.

n totaal aantal gegevens.



is van verschillende factoren afhankelijk. Tot deze factoren kunnen worden gerekend: de bedekkingsgraad van de hemel, de windsnelheid, de vochtigheid van de grond en van de lucht en de omstandigheden van temperatuur en vochtigheid in de hogere luchtlagen.

Tot 1945 zijn van alle genoemde factoren vrijwel geen gegevens gedurende de nacht bekend. Van de vochtigheid van de grond, die toch een belangrijke faktor is in de warmtehuishouding van de bovenste grondlaag en de onderste luchtlaag, zijn in het geheel geen numerieke gegevens beschikbaar.

Na 1945 zijn wij wat uitvoeriger ingelicht omtrent de weersituatie gedurende de nacht. Toen werd nl. een aanvang gemaakt met het verrichten van uurlijkse waarnemingen ook gedurende de nacht. Voorts werden regelmatig gegevens verkregen over de toestand van de atmosfeer in hogere lagen door middel van radiosonde-opstijgingen. Deze laatste gegevens zijn voor de synoptisch meteoroloog onontbeerlijk. Voor ons doel zijn zij evenwel te summier om daaruit conclusies te kunnen trekken over de warmtehuishouding nabij het aardoppervlak. In de eerste plaats vinden de opstijgingen éénmaal 's nachts (00.00 uur G.M.T.) plaats. Verder is uit oriënterende onderzoeken, waarbij ook stralingsmetingen plaats vonden, gebleken, dat kleine veranderingen in de vochtigheid van de hogere luchtlagen, een betrekkelijk grote invloed hebben op de warmtehuishouding van de bovenste grondlaag en onderste luchtlaag. Om deze redenen zijn gegevens van de hogere luchtlaag bij de verdere bewerkingen van de gegevens van de minimumtemperatuur buiten beschouwing gelaten.

Om eerder genoemde redenen hebben wij ons voorts beperkt tot een analyse van de gegevens van de minimumtemperatuur, die na 1945 zijn verkregen. Allereerst is nagegaan, in hoeverre de bedekkingsgraad van de hemel en de windsnelheid op het verschil ΔT_n der minimumtemperaturen op de beide hoogten van invloed zijn.

De waarden van ΔT_n van de maanden april en mei zijn in de volgende klassen ondergebracht:

I: bedekkingsgraad N van de hemel gemiddeld:

a : 0,1 of 2 achtsten

b : 3 of 4 achtsten

c : 5 of 6 achtsten

d : 7 of 8 achtsten

II: windsnelheid \underline{v} gemiddeld:

A : $\leq 2,4$ m/s

B : 2,5 - 4,4 m/s

C : 4,5 - 6,0 m/s

D : $>6,0$ m/s

De gegevens over de windsnelheid en de bedekkingsgraad werden ontleend aan de synoptische waarnemingen te De Bilt van 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. (= resp. 22.00, 1.00 en 4.00 uur M.E.T.). Wij hebben ons beperkt tot de waarnemingen van deze uren, omdat vooral in de maand mei de nachten zo kort zijn, dat de omstandigheden te 18.00 en 06.00 uur G.M.T. in het algemeen weinig of geen invloed zullen hebben op de minimumtemperatuur.

De gegevens van ΔT_n voor elk der groepen zijn in klassen ter breedte van 1°C (0,0 t/m 0,9; 1,0 t/m 1,9 $^\circ\text{C}$; enz.) ondergebracht, en wel voor de volgende tijdvakken: I: april I+II; II: april III+mei I en III: mei II+III. De aantallen gegevens ongeacht N en \underline{v} , in deze drie tijdvakken zijn resp. 300, 300 en 315. De relatieve frequenties zijn in tabel 4.1 opgenomen. De spreiding in de waarden van ΔT_n blijkt voor alle klassen tot een gemiddelde windsnelheid van 4,4 m/s nogal groot te zijn, ook bij een gemiddelde bewolgingsgraad van 7 à 8. Wij hebben ons nu afgevraagd, in hoeverre de frequentieverdelingen naar tijdvak, bewolking en windsnelheid significant van elkaar verschillen.

Dit is nader onderzocht, waarbij wij zijn uitgegaan van de volgende drie hypothesen:

1. De frequentieverdelingen van ΔT_n , bij eenzelfde windsnelheidsgroep en uit hetzelfde tijdvak, maar bij een verschillende bedekkingsgraad van de hemel, zijn afkomstig uit de volgende populatie.
2. De frequentieverdelingen van ΔT_n , bij eenzelfde windsnelheidsklasse en eenzelfde bedekkingsgraad, doch uit verschillende tijdvakken, zijn afkomstig uit eenzelfde populatie.
3. De frequentieverdelingen van ΔT_n bij eenzelfde bedekkingsgraad en uit hetzelfde tijdvak, doch van verschillende windsnelheidsklassen, zijn afkomstig uit eenzelfde populatie.

Zoals blijkt uit tabel 4.1 is in enige gevallen de steekproefomvang erg klein. Bij toetsing van de drie hypothesen is daarom gebruik gemaakt van de toets van Smirnov (zie b.v. de Jonge, 1964). De resultaten van de toetsing van hypothese I zijn samengevat in tabel 4.2.

Voor nadere bijzonderheden zij verwezen naar Appendix III.

Uit tabel 4.2 kan worden geconcludeerd, dat alleen in enige gevallen de frequentieverdeling van ΔT_n bij bewolking 7-8 significant verschilt van die bij de bewolkingsgroepen 0-2, 3-4 en 5-6.

Een verschil tussen de frequentieverdelingen van de laatstgenoemde drie groepen onderling kan niet worden aangetoond. Uit statistisch oogpunt heeft een onderverdeling naar bedekkingsgraad van de hemel weinig zin, voor zover deze ten hoogste $6/8$ is. Bij de toetsing van hypothese 2 zijn daarom de frequentieverdelingen van ΔT_n van de bewolkingsgroepen 0-2, 3-4 en 5-6 voor elk van de drie tijdvakken en voor elk van de vier windgroepen samengebracht.

De resultaten van de toetsing van hypothese 2 zijn samengevat in tabel 4.3. Daaruit kan de conclusie worden getrokken, dat slechts in een enkel geval een significant verschil tussen de frequentieverdelingen van ΔT_n en de tijdvakken onderling aangetoond worden. Deze enkele gevallen komen alleen voor bij windgroep B, dat zijn dus de windsnelheden tussen 2,5 en 4,4 m/s. Voor bijzonderheden inzake de toetsing kan wederom worden verwezen naar Appendix III.

Tenslotte zijn in tabel 4.4 de resultaten van de toetsing van hypothese 3 samengevat. Ook hier kan voor bijzonderheden inzake de toetsing naar Appendix III worden verwezen.

Uit tabel 4.4 blijkt, dat er in de meeste gevallen een significant verschil bestaat tussen de frequentieverdelingen van ΔT_n bij verschillende windsnelheid. Dit is vooral het geval indien de gemiddelde bedekkingsgraad van de hemel $6/8$ of minder bedraagt. Er zijn hierbij twee uitzonderingen: 1) een significant verschil tussen de frequentieverdelingen van ΔT_n bij windsnelheden van 0-2,4 en van 2,5-4,4 m/s kan niet worden aangetoond; 2) dit is eveneens het geval voor de windsnelheidsgroepen 4,5-6,0 en boven 6,0 m/s (behalve in het tijdvak april I+II).

Bij een bewolking 7-8 achtsten zijn de uitkomsten van de toetsing niet in alle drie tijdvakken gelijk. Door het geringe aantal gegevens in enige klassen is het echter moeilijk een significant verschil tussen de frequentieverdelingen van ΔT_n aan te tonen. Wij nemen echter aan, dat er geen significante verschillen bestaan tussen de frequentieverdelingen voor dezelfde groepen in de drie tijdvakken. Voor de maanden april en mei tezamen zijn de verdelingen van ΔT_n in de vier bewolkingsgroepen en de vier windsnelheidsgroepen, zoals in tabel 4.5 weergegeven.

Tabel 4.1a Relatieve frequenties (in % van het totale aantal waarden) van de verschillen $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ voor enige windsnelheidsklassen en bij verschillende bewolgingsgraden (in achtsten) in het tijdvak april I-II van de jaren 1946 t/m 1960.

ΔT_n (in °C)	1 of 2	3 of 4	5 of 6	7 of 8	Totaal
$v \leq 2,4$ m/s					
-2,0 t/m -1,1	0	0	0,3	0	0,3
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	0	0
0,0 t/m 0,9	0	0,3	0,3	0,3	0,9
1,0 t/m 1,9	0,7	0	0,3	1,0	2,0
2,0 t/m 2,9	1,7	0,7	0,3	0,7	3,4
3,0 t/m 3,9	1,3	0,7	0,7	0,7	2,4
4,0 t/m 4,9	1,3	0	0	0	1,3
5,0 t/m 5,9	0	0	0	0	0
Totaal	5,0	1,7	1,9	2,7	11,3
$v = 2,5 - 4,4$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0,7	0	0	2,0	2,7
0,0 t/m 0,9	1,0	1,7	1,0	4,7	8,4
1,0 t/m 1,9	5,7	2,3	2,0	2,0	12,0
2,0 t/m 2,9	6,0	2,7	2,0	0,7	11,4
3,0 t/m 3,9	2,0	1,7	0,3	0	4,0
4,0 t/m 4,9	2,3	0,7	0,3	0,3	3,6
5,0 t/m 5,9	0,3	0,7	0	0	1,0
6,0 t/m 6,9	0,3	0	0	0	0,3
Totaal	18,3	9,8	5,6	9,7	43,4
$v = 4,5 - 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0,3	0	0,7	1,0
0,0 t/m 0,9	2,3	1,0	0,7	3,3	7,3
1,0 t/m 1,9	3,3	2,3	2,0	0,7	8,3
2,0 t/m 2,9	2,0	0,7	1,0	0,7	4,4
3,0 t/m 3,9	0,7	1,0	0	1,0	2,7
4,0 t/m 4,9	0	0	0,3	0	0,3
Totaal	8,3	5,3	4,0	6,4	24,0
$v > 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	1,3	1,3
0,0 t/m 0,9	2,3	2,3	2,0	8,0	14,6
1,0 t/m 1,9	1,3	0,3	1,3	1,7	4,6
2,0 t/m 2,9	0,3	0	0	0	0,3
3,0 t/m 3,9	0	0	0	0	0
4,0 t/m 4,9	0	0	0	0	0
Totaal	3,9	2,6	3,3	11,0	20,8

Tabel 4.1b Relatieve frequenties (in % van het totale aantal waarden, 300) van de verschillen $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ voor enige windsnelheidsklassen en bij verschillende bedekkingsgraden N (in achtsten) in het tijdvak april III + mei I van de jaren 1946 t/m 1960.

ΔT_n (in °C)	N = 0,1 of 2	3 of 4	5 of 6	7 of 8	Totaal
$v \leq 2,4$ m/s					
-2,0 t/m -1,1	0	0	0	0	0
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	0,3	0,3
0,0 t/m 0,9	0,0	0	0	0,7	0,7
1,0 t/m 1,9	1,7	0,7	0,3	0	2,7
2,0 t/m 2,9	1,0	0,7	1,7	1,3	4,7
3,0 t/m 3,9	2,0	2,7	0,3	0,7	5,7
4,0 t/m 4,9	1,0	0,3	0	0	1,3
5,0 t/m 5,9	0,3	0	0	0	0,3
Totaal	6,0	4,4	2,3	3,0	15,7
$v = 2,5 - 4,4$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	0	0
0,0 t/m 0,9	1,3	0	1,0	4,7	7,0
1,0 t/m 1,9	3,0	1,0	1,7	0,3	6,0
2,0 t/m 2,9	3,7	1,7	1,7	2,7	9,8
3,0 t/m 3,9	5,7	2,3	2,0	2,0	12,0
4,0 t/m 4,9	2,7	1,0	1,0	0,3	5,0
5,0 t/m 5,9	0,7	0,3	0	0	1,0
6,0 t/m 6,9	0,3	0	0	0	0,3
Totaal	17,4	6,3	7,4	10,0	41,1
$v = 4,5 - 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0,3	0	1,0	1,3
0,0 t/m 0,9	2,3	2,0	1,3	5,0	10,6
1,0 t/m 1,9	4,0	1,3	2,7	1,3	9,3
2,0 t/m 2,9	1,7	0,7	0,3	0,7	3,4
3,0 t/m 3,9	2,0	0,7	0	0,3	3,0
4,0 t/m 4,9	0,3	0	0,3	0,3	0,9
Totaal	10,3	5,0	4,6	8,6	28,5
$v > 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	1,3	1,3
0,0 t/m 0,9	2,0	1,7	1,0	4,7	9,4
1,0 t/m 1,9	1,7	0,7	0	0,3	2,7
2,0 t/m 2,9	0,3	0	0	0	0,3
3,0 t/m 3,9	0	0	0	0,3	0,3
4,0 t/m 4,9	0,3	0	0	0,3	0,6
Totaal	4,3	2,4	1,0	6,9	14,6

Tabel 4.1c Relatieve frequenties (in % van het totale aantal waarden, 315), van de verschillen $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ voor enige windsnelheidsklassen en bij verschillende bedekkingsgraden N (in achtsten) in het tijdvak mei II+III van de jaren 1946 t/m 1960.

ΔT_n (in $^{\circ}\text{C}$)	$N = 0,1$ of 2	3 of 4	5 of 6	7 of 8	Totaal
$v \leq 2,4$ m/s					
-2,0 t/m -1,1	0	0	0	0	0
-1,0 t/m -0,1	0	0,3	0	1,0	1,3
0,0 t/m 0,9	0	0,3	0	4,4	4,7
1,0 t/m 1,9	0,6	0,6	0,3	1,0	2,5
2,0 t/m 2,9	1,9	1,0	1,3	1,6	5,8
3,0 t/m 3,9	1,6	1,6	1,0	0,3	4,5
4,0 t/m 4,9	0,3	0,6	0,6	0	1,5
5,0 t/m 5,9	0	0,3	0	0	0,3
Totaal	4,4	4,7	3,2	8,3	20,6
$v = 2,5 - 4,4$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0,3	0	2,2	2,5
0,0 t/m 0,9	1,6	1,0	0,6	8,6	11,8
1,0 t/m 1,9	1,6	1,3	3,2	3,2	9,3
2,0 t/m 2,9	3,5	1,9	3,5	1,6	10,5
3,0 t/m 3,9	2,2	1,6	2,2	1,3	7,3
4,0 t/m 4,9	1,9	1,9	0,6	0	4,4
5,0 t/m 5,9	1,3	1,3	0	0,3	2,9
6,0 t/m 6,9	0	0	0	0	0
Totaal	12,1	9,3	10,1	17,2	48,7
$v = 4,5 - 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0,3	0	0,6	0,9
0,0 t/m 0,9	2,5	1,9	1,9	3,8	10,1
1,0 t/m 1,9	3,5	2,9	1,3	2,5	10,2
2,0 t/m 2,9	2,2	0,3	0,6	0,3	3,4
3,0 t/m 3,9	1,0	0,3	0,3	0	1,6
4,0 t/m 4,9	0,3	0	0	0	0,3
Totaal	9,5	5,7	4,1	7,2	26,5
$v > 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	0,6	0,6
0,0 t/m 0,9	0,6	0,3	0,3	0,6	1,8
1,0 t/m 1,9	0,6	0	0,3	0,3	1,2
2,0 t/m 2,9	0	0,3	0	0	0,3
3,0 t/m 3,9	0	0	0	0	0
4,0 t/m 4,9	0	0	0	0	0
Totaal	1,2	0,6	0,6	1,5	3,9

Tabel 4.2 Resultaten toetsing hypothese: de frequentieverdelingen bij eenzelfde windsnelheidsgroep en dezelfde periode, doch bij verschillende bedekingsgraad behoren tot één populatie.

Bewolkings- groepen	april I + II	april III + mei I	mei II + III
Windgroep A $v \leq 2,4$ m/s			
a b	neen	neen	neen
a c	neen	neen	neen
a d	neen	neen	ja
b c	neen	neen	neen
b d	neen	neen	ja
c d	neen	neen	ja
Windgroep B $2,5 \leq v < 4,4$ m/s			
a b	neen	neen	neen
a c	neen	neen	neen
a d	ja	ja	ja
b c	neen	neen	neen
b d	ja	ja	ja
c d	ja	neen	ja
Windgroep C $4,5 \leq v < 6,0$ m/s			
a b	neen	neen	neen
a c	neen	neen	neen
a d	neen	ja	neen
b c	neen	neen	neen
b d	neen	neen	neen
c d	neen	neen	neen
Windgroep D $v > 6,0$ m/s			
a b	neen	neen	-
a c	neen	-	-
a d	neen	neen	neen
b c	neen	-	-
b d	neen	neen	-
c d	neen	-	-

Tabel 4.3 Resultaten van de toetsing van de hypothese: de frequentieverdelingen bij eenzelfde bewolkingsgroep en bij dezelfde windsnelheid doch in verschillende perioden, behoren tot eenzelfde populatie.

Tijdvakken	bewolk. 0 t/m 6	bewolk. 7 - 8	bewolk. 0 t/m 6	bewolk. 7 - 8
	windgroep A	$v < 2,4$ m/s	windgroep B	$2,5 \leq v < 4,4$ m/s
I II	neen	neen	ja	ja
I III	neen	(ja)	neen	neen
II III	neen	neen	neen	ja
	windgroep C	$4,5 < v \leq 6,0$ m/s	windgroep D	$v > 6,0$ m/s
I II	neen	neen	neen	neen
I III	neen	neen	neen	neen
II III	neen	neen	neen	neen

Tabel 4.4 Resultaten toetsing van de hypothese: de frequentieverdelingen bij eenzelfde bewolking en in hetzelfde tijdvak doch bij verschillende windsnelheid behoren tot eenzelfde populatie.

Windsnelheidsgroepen	april I + II	april III + mei I	mei II + III
B e w o l k i n g 0 t/m 6			
A B	neen	neen	neen
A C	ja	ja	ja
A D	ja	ja	ja
B C	ja	ja	ja
B D	ja	ja	ja
C D	ja	neen	neen
B e w o l k i n g 7 - 8			
A B	ja	neen	neen
A C	neen	ja	neen
A D	ja	ja	neen
B C	neen	neen	neen
B D	neen	ja	neen
C D	neen	neen	neen

Tabel 4.5 Relatieve frequenties (in % van het totaal aantal waarden van de waarden $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ voor enige windsnelheidsklassen en bij verschillende bedekkingsgraden (in achtsten) in de maanden april + mei van de jaren 1946 t/m 1960.

ΔT_n (in °C)	N = 0,1 of 2	N = 3 of 4	N = 5 of 6	N = 7 of 8	Totaal
$v < 2,4$ m/s					
-2,0 t/m -1,1	0	0	0,1	0	0,1
-1,0 t/m -0,1	0	0,1	0	0,4	0,5
0,0 t/m 0,9	0	0,2	0,1	1,8	2,1
1,0 t/m 1,9	1,0	0,4	0,3	0,7	2,4
2,0 t/m 2,9	1,5	0,8	1,1	1,2	4,6
3,0 t/m 3,9	1,6	1,7	0,7	0,6	4,6
4,0 t/m 4,9	0,9	0,3	0,2	0	1,4
5,0 t/m 5,9	0,1	0,1	0	0	0,2
totaal	5,1	3,6	2,5	4,7	15,9
$2,5 \leq v < 4,4$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0,2	0,1	0	1,4	1,7
0,0 t/m 0,9	1,3	0,9	0,9	6,0	9,1
1,0 t/m 1,9	3,4	1,5	2,3	1,8	9,0
2,0 t/m 2,9	4,4	2,1	2,4	1,7	10,6
3,0 t/m 3,9	3,3	1,9	1,5	1,1	7,1
4,0 t/m 4,9	2,3	1,2	0,6	0,2	4,3
5,0 t/m 5,9	0,8	0,8	0	0,1	1,7
6,0 t/m 6,9	0,2	0	0	0	0,2
totaal	15,9	8,5	7,7	12,3	44,4
$4,5 \leq v < 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0,3	0	0,8	1,1
0,0 t/m 0,9	2,4	1,6	1,3	4,0	9,3
1,0 t/m 1,9	3,6	2,2	2,0	1,5	9,3
2,0 t/m 2,9	2,0	0,6	0,6	0,6	3,8
3,0 t/m 3,9	1,2	0,7	0,1	0,4	2,4
4,0 t/m 4,9	0,2	0	0,2	0,1	0,5
totaal	9,4	5,4	4,2	7,4	26,4
$v > 6,0$ m/s					
-1,0 t/m -0,1	0	0	0	1,1	1,1
0,0 t/m 0,9	1,6	1,4	1,1	4,4	8,5
1,0 t/m 1,9	1,2	0,3	0,5	0,8	2,8
2,0 t/m 2,9	0,2	0,1	0	0	0,3
3,0 t/m 3,9	0	0	0	0,1	0,1
4,0 t/m 4,9	0	0	0	0,1	0,1
totaal	3,0	1,8	1,6	6,5	12,9

Tabel 4.6 Relatieve frequenties (in % van het totale aantal waarden) van de waarden $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n0.10}$ voor enige windsnelheidsklassen en bij verschillende bedekkingsgraden (in achtsten) in de maanden april + mei van de jaren 1946 t/m 1960.

ΔT_n (in °C)	N = 0 t/m 6	N = 7 of 8	Totaal
$v \leq 2,4$ m/s			
-2,0 t/m -1,1	0,1	0	0,1
-1,0 t/m -0,1	0,1	0,4	0,5
0,0 t/m 0,9	0,3	1,8	2,1
1,0 t/m 1,9	1,7	0,7	2,4
2,0 t/m 2,9	3,4	1,2	4,6
3,0 t/m 3,9	4,0	0,6	4,6
4,0 t/m 4,9	1,4	0	1,4
5,0 t/m 5,9	0,2	0	0,2
Totaal	11,2	4,7	15,9
$2,5 \leq v \leq 4,4$ m/s			
-1,0 t/m -0,1	0,3	1,4	1,7
0,0 t/m 0,9	3,1	6,0	9,1
1,0 t/m 1,9	7,2	1,8	9,0
2,0 t/m 2,9	8,9	1,7	10,6
3,0 t/m 3,9	6,0	1,1	7,1
4,0 t/m 4,9	4,1	0,2	4,3
5,0 t/m 5,9	1,6	0,1	1,7
6,0 t/m 6,9	0,2	0	0,2
Totaal	32,1	12,3	44,4
$4,5 \leq v \leq 6,0$ m/s			
-1,0 t/m -0,1	0,3	0,8	1,1
0,0 t/m 0,9	5,3	4,0	9,3
1,0 t/m 1,9	7,8	1,5	9,3
2,0 t/m 2,9	3,2	0,6	3,8
3,0 t/m 3,9	2,0	0,4	2,4
4,0 t/m 4,9	0,4	0,1	0,5
Totaal	19,0	7,4	26,4
$v > 6,0$ m/s			
-1,0 t/m -0,1	0	1,1	1,1
0,0 t/m 0,9	4,1	4,4	8,5
1,0 t/m 1,9	2,0	0,8	2,8
2,0 t/m 2,9	0,3	0	0,3
3,0 t/m 3,9	0	0,1	0,1
4,0 t/m 4,9	0	0,1	0,1
Totaal	6,4	6,5	12,9

In bijna de helft van het aantal nachten in de maanden april en mei van de jaren 1946 t/m 1960 was de gemiddelde windsnelheid van 2,5 tot 4,4 m/s. De bewolgingsklassen $N = 3-4$ en $N = 5-6$ bevatten bij alle windsnelheids-groepen het minste aantal gegevens.

Toetsing van hypothese 1 gaf als resultaat dat geen significant verschil tussen de frequentieverdelingen van ΔT_n voor de eerste drie bewolkings-groepen kan worden aangetoond. Daarom zijn deze drie groepen voor ieder van de vier windsnelheidsgroepen samengevat. Het resultaat is in tabel 4.6 opgenomen.

Er zij hier nogmaals gewezen op de moeilijkheden met betrekking tot het waarnemingsmateriaal van de windsnelheid en de bedekkingsgraad van de he-mel. De op de toren gemeten waarden van de windanelheid behoeven niet re-presentatief te zijn voor de situatie op het waarnemingsterrein, alwaar de gegevens van de minimumtemperatuur zijn verkregen. Schattingen van de hoe-veelheid bewolking gedurende de nacht zijn vaak moeilijk. Beide factoren kunnen mede de grote spreiding in de waarden van ΔT_n hebben veroorzaakt. Wij zouden verwachten, dat de grote verschillen in minimumtemperatuur op de beide hoogten vrijwel uitsluitend voorkomen bij weinig wind en weinig bewolking gedurende de nacht. Tabel 4.7 laat zien, dat dit geenszins het geval is.

Tabel 4.7 Vergelijking van de totale aantallen gevallen (in %) van waar-den van $\Delta T_n = 2,0 - 3,9^\circ\text{C}$ en $\Delta T_n \geq 4,0^\circ\text{C}$ met die waarbij N en v bepaalde waarden hebben voor de maanden april + mei (1946-1960).

ΔT_n	$v \leq 2,4 \text{ m/s}$		$v \geq 4,5 \text{ m/s}$	
	Totaal	$N \leq 4$	Totaal	$N \geq 7$
$2,0 - 3,9^\circ\text{C}$	9,2	5,6	6,6	1,1
$\geq 4,0^\circ\text{C}$	1,6	1,4	0,6	0,2

Vrijwel alle gevallen van $\Delta T_n \geq 4,0^\circ\text{C}$ bij een windsnelheid van $\leq 2,5 \text{ m/s}$ blijken zich voor te doen bij $N \leq 4$.

Dat er zich nog gevallen hebben voorgedaan van $\Delta T_n \geq 4,0^\circ\text{C}$ bij $v \geq 4,5 \text{ m/s}$ en $N \geq 7$ is niet te verklaren. Hier kan men denken aan een grote aflees-fout of een te lage waarde van ΔT_{n10} als gevolg van een wegtrillen van de index onder invloed van de harde wind.

c. Relatie tussen de minimumtemperatuur op 10 om en 2,20 m hoogte bij verschillende circulatietypen.

In het voorgaande is er reeds op gewezen, dat kwantitatieve gegevens van factoren, die van invloed kunnen zijn op de relatie tussen de minimumtemperaturen op de beide hoogten alleen beschikbaar zijn van de bedekkingsgraad van de hemel en van de windsnelheid gedurende de nacht. Behalve de laatstgenoemde factoren is vooral de hygrothermische opbouw der hogere luchtlagen van belang voor de nachtelijke warmtehuishouding van het aardoppervlak en van de luchtlaag daar vlak boven. De hygrothermische opbouw is min of meer karakteristiek voor de aanwezige luchtsoort. Deze wordt voornamelijk bepaald door de heersende algemene circulatie. Wij zullen nu nagaan, in hoeverre er een relatie bestaat tussen de minimumtemperaturen op de beide hoogten bij verschillende circulatietypen.

Voor de karakterisering van de circulatie zijn wij uitgegaan van de indeling volgens Hess en Brezowsky (1952). Voor Europa en het oostelijk deel van de Atlantische Oceaan kunnen 28 circulatietypen ("Grosswetterlagen") worden onderscheiden. Elk type wordt voornamelijk gekarakteriseerd door de ligging van een goed ontwikkeld quasistationair gebied van hoge luchtdruk dat een aantal dagen achtereen de algemene luchtbeweging en de banen van depressies bepaalt. Door Hess en Brezowsky zijn voor een groot aantal jaren dag voor dag de "Grosswetterlagen" (G.W.L.)-typen vastgesteld, terwijl ook thans regelmatig in de publikatie "Die Grosswetterlagen Europas" een opgave wordt gedaan van het op iedere dag in de afgelopen periode heersende circulatietype. Wij zijn derhalve in beginsel in staat al onze gegevens van de minimumtemperatuur op de beide hoogten te groepeeren naar circulatietypen.

Bij een bepaald circulatietype zullen echter de omstandigheden van bewolking en windsnelheid niet steeds dezelfde zijn. Teneinde ook gegevens over de laatste grootheden in de analyse te kunnen betrekken, moesten wij ons beperken tot het tijdvak van 1 januari 1949 af, omdat eerst sedert deze datum gecontroleerde gegevens hieromtrent ter beschikking staan.

Het waarnemingsmateriaal bleek hierdoor te gering van omvang, om in alle 28 G.W.L.-typen onder te brengen.

Volgens Hess en Brezowsky (1952) kunnen echter de 28 G.W.L.-typen ook samengevoegd worden in een aantal groepen van verwante typen. Naar deze groepering worden een N-, NO-, O-, ZO-, Z-, W- en NW-circulatie onderscheiden, alsmede een situatie met een hogedrukgebied H boven Midden-Europa. Bij onze analyse hebben wij de gegevens van de minimumtemperatuur op de twee hoogten in deze acht groepen van circulatietypen ondergebracht.

Voorts werden deze gegevens voorlopig alleen gegroepeerd naar de gemiddelde windsnelheid gedurende de nacht. Deze is afgeleid uit synoptische waarnemingen te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. te De Bilt, en uitgedrukt in knopen. De gemiddelde waarden zijn omgezet in m/s.

De gegevens van de minimumtemperatuur per G.W.L.-groep zijn ondergebracht in een tweetal windsnelheidsklassen, 0-3,4 m/s en 3,5-6,0 m/s. Hogere windsnelheden zijn buiten beschouwing gelaten, vanwege het geringe aantal bijbehorende temperatuurgegevens.

Voor ieder van de circulatietypen is per windsnelheidsgroep voor de maanden april en mei afzonderlijk de regressievergelijking afgeleid, die het verband aangeeft tussen de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte en die op 2,20 m hoogte. Tabel 4.8 geeft een overzicht van de regressievergelijkingen. In de windsnelheidsgroep 3,5-6,0 m/s voor april was het aantal gegevens bij een NO-, O- en een Z-circulatie zo klein, dat afleiding van een regressievergelijking achterwege is gelaten. Dit was voor de ZO-circulatie voor beide maanden het geval.

De spreiding om de regressielijn blijkt bij alle circulatietypen nogal groot te zijn. Blijkbaar zijn bij elk daarvan de overige omstandigheden dermate verschillend, dat het niet mogelijk is uitsluitend op grond van het circulatietype een relatie af te leiden tussen de minimumtemperaturen op de beide hoogten.

Allereerst is nagegaan, in hoeverre de restvarianties (Eng. variance of estimate) S_{ijx}^2 voor de onderscheiden groepen van circulatietypen significant van elkaar verschillen. Bij toetsing bleek, dat voor de beide windsnelheidsgroepen, $v=0-3,4$ m/s en $v=3,5-6,0$ m/s, de restvarianties afhankelijk zijn van het circulatietype. Voor wat betreft de circulatietypen bij windsnelheden van 0-3,4 m/s is voorts gebleken, dat de groepen N, NW, N, NO en O kunnen worden samengenomen. Deze zullen wij verder als groep AI aanduiden.

Hetzelfde geldt voor de groepen Z en H, deze zullen worden aangeduid als A II.

Voor de groepen A I en A II zijn regressievergelijkingen afgeleid. Deze zijn:

$$A I : \eta = 1,15 x - 2,81 \pm 1,21$$

$$A II : \eta = 1,03 x - 2,54 \pm 1,65$$

Deze regressielijnen zijn, met de punten waaruit zij werden afgeleid, resp. in de figuren 4.8 en 4.9 weergegeven.

Ter vergelijking is tevens de regressie berekend voor alle gevallen, eveneens voor zover de gemiddelde windsnelheid 0-3,4 m/s was. Deze is:

$$\eta = 1,11 x - 2,74 \pm 1,39^{\circ}C \text{ (zie figuur 4.10)}$$

Allereerst is nagegaan in hoeverre de veronderstelling, dat de regressielijnen lineair zijn, juist is.

Voor een lineaire regressie dient twee derde van het aantal paren x, ij binnen de $1 \times s_{ijx}$ -band om de regressierechte te liggen. In tabel 4.9 zijn de resultaten van de toetsing opgenomen.

Tabel 4.9 Toetsing van de lineairiteit van de regressielijnen in de fig. 4.8, 4.9 en 4.10.

groep	regressievergelijking	aantal (n) paren x, ij	$2/3 n$	aantal paren x, ij binnen $1 \times s_{ijx}$ -band
A I	$\eta = 1,15 x - 2,81$	145	97	101
A II	$\eta = 1,03 x - 2,54$	80	53	55
alle	$\eta = 1,11 x - 2,74$	235	157	166

Uit tabel 4.9 blijkt, dat de regressielijnen als lineair kunnen worden beschouwd. Voorts is onderzocht, in hoeverre de regressielijnen voor de groepen A I en A II in statistische zin van elkaar verschillen. Het is daarbij gebleken, dat dit niet het geval is, zodat zij als samenvallend kunnen worden beschouwd. Voor nadere bijzonderheden zij verwezen naar Appendix IV. Het heeft derhalve geen zin om bij windsnelheden beneden 3.5 m/s in april de algemene circulatie te beschouwen bij het afleiden van de minimumtemperatuur op 10 om hoogte uit die op 2,20 m hoogte.

Er is echter nog een belangrijke faktor in de nachtelijke warmtehuishouding, die wij nog niet in deze analyse hebben betrokken, n.l. de bedekkingsgraad van de hemel. Wij beschouwen voor wat betreft de maand april alleen die gevallen in groep A I van circulatietypen, waarbij gedurende de nacht de gemiddelde bedekkingsgraad, afgeleid uit de waarnemingen te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T., kleiner was dan $5/8$.

Fig. 4.8. Regressie-rechte voor de circulatiegroepen AI (W,NW,N,NO en O) bij $\bar{v} < 3,5$ m/s in april.

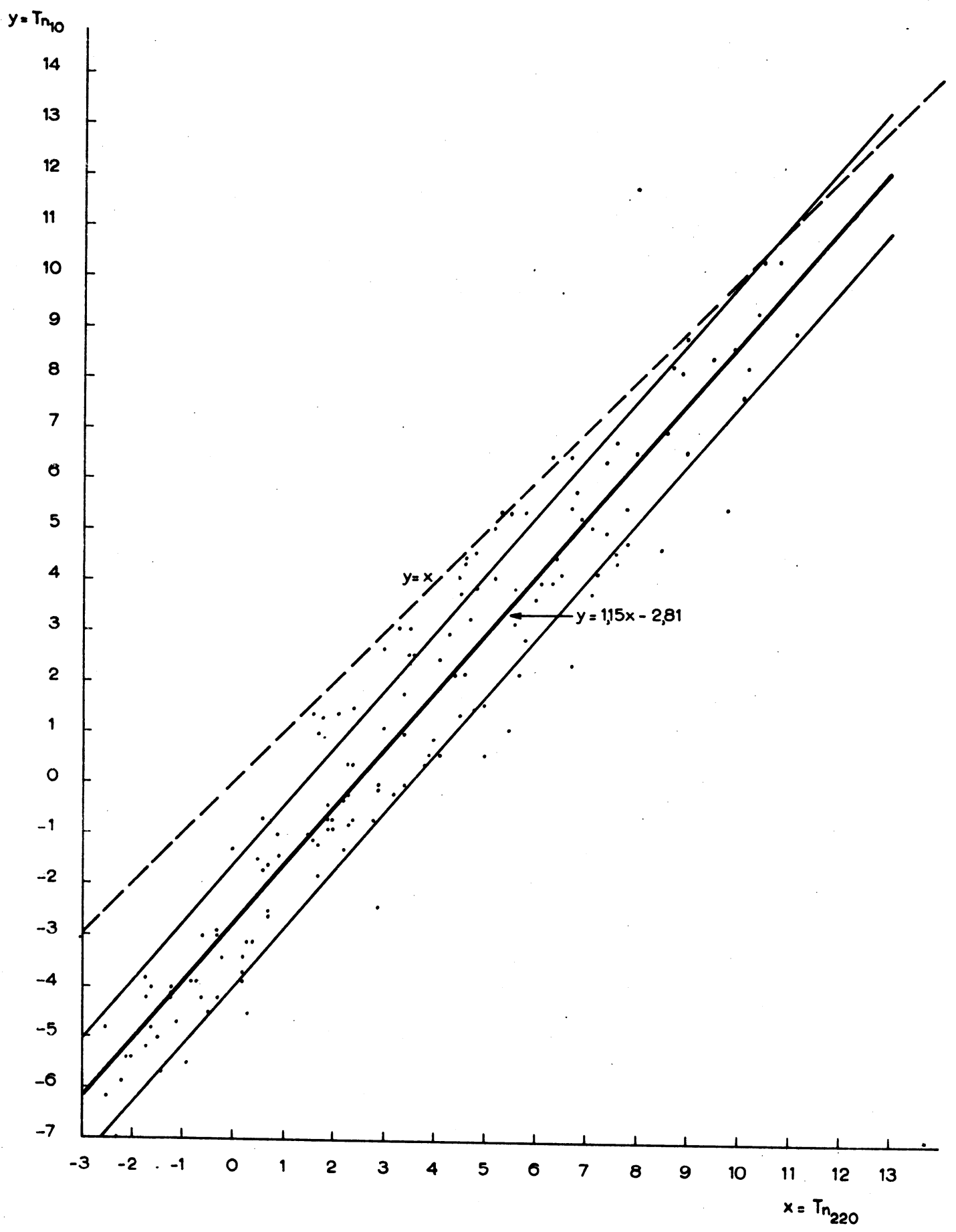


Fig. 4.9. Regressie-rechte voor de circulatiegroepen A II bij $\bar{v} < 3,5 \text{ m/s}$ in april.

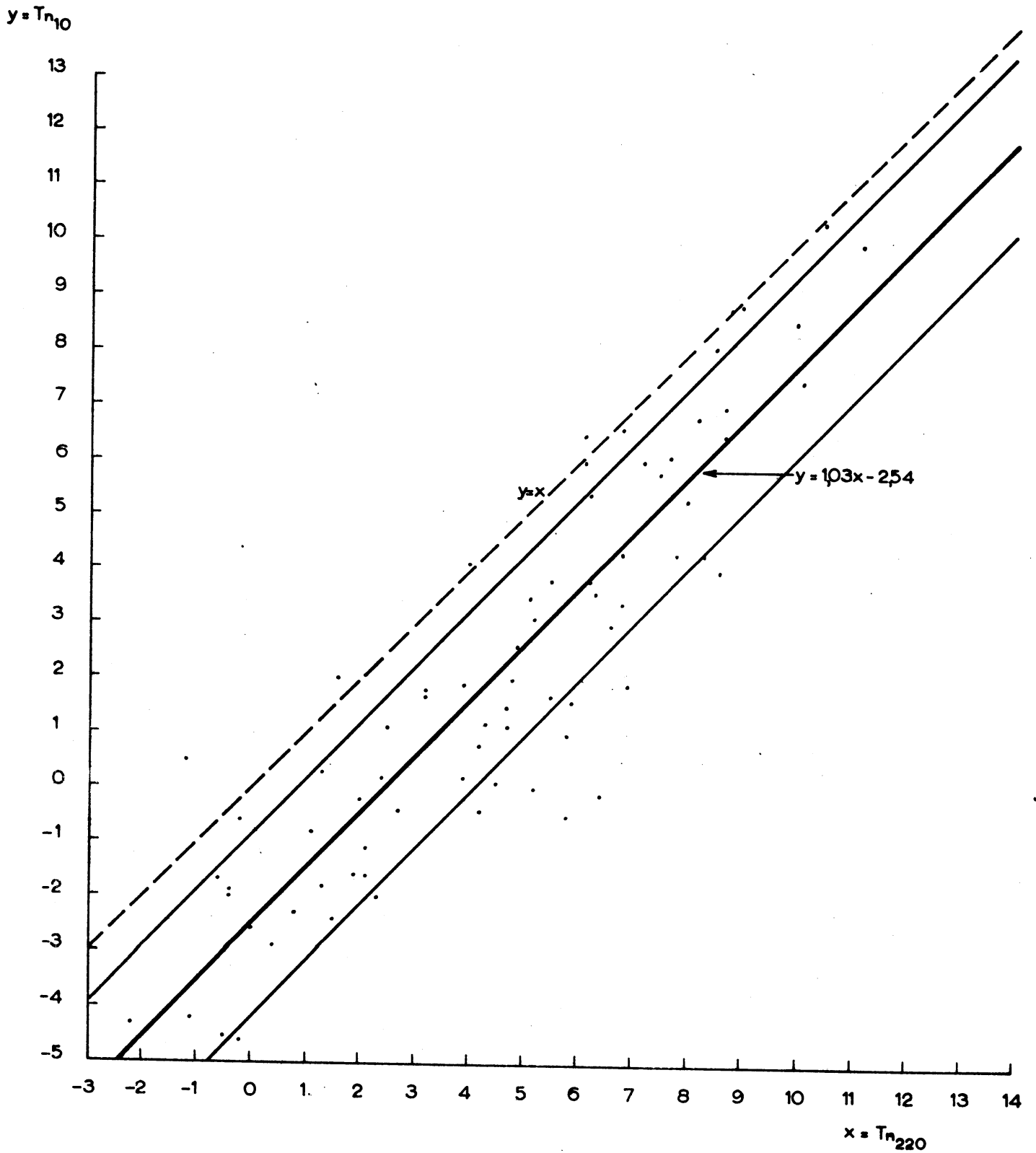


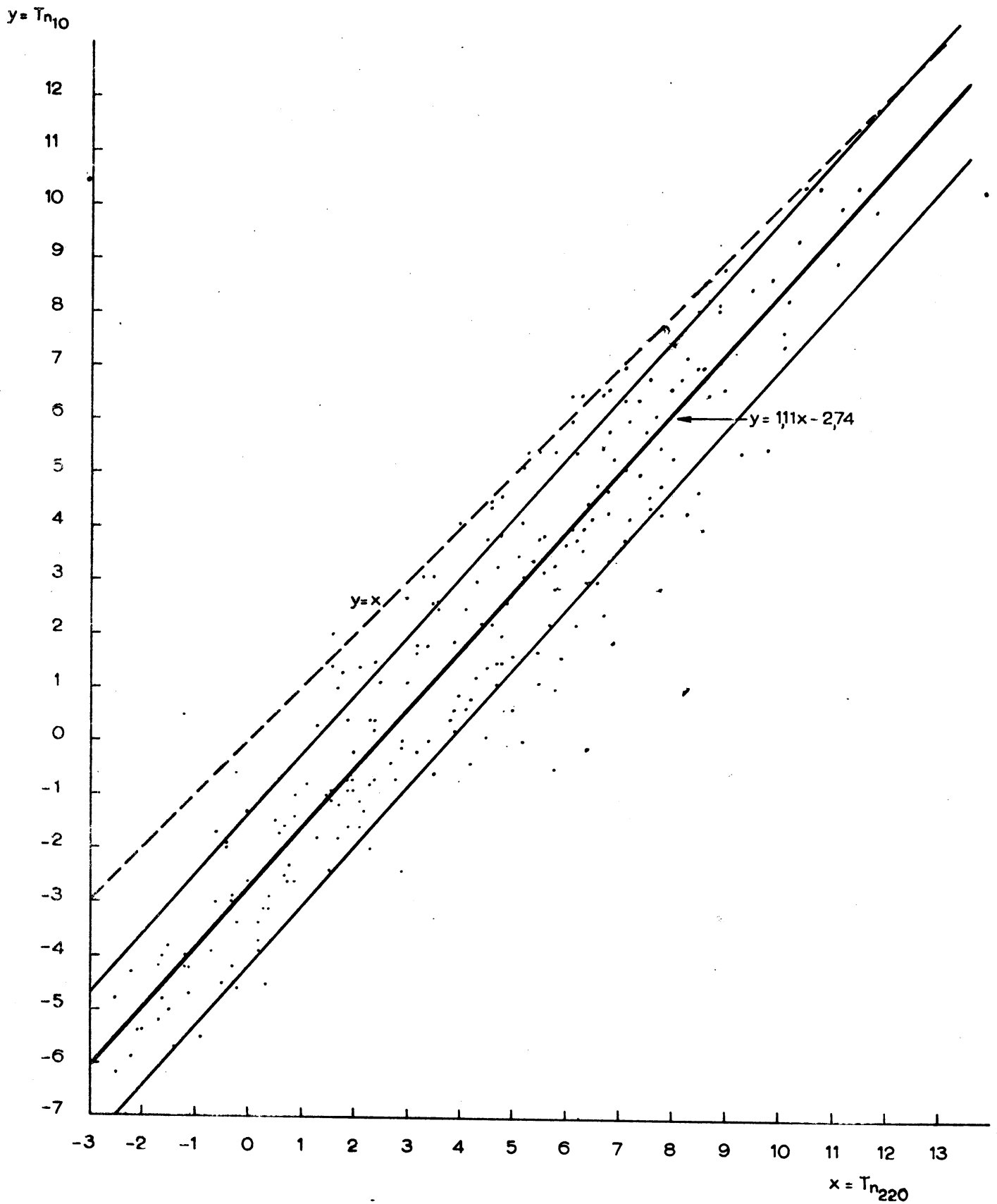
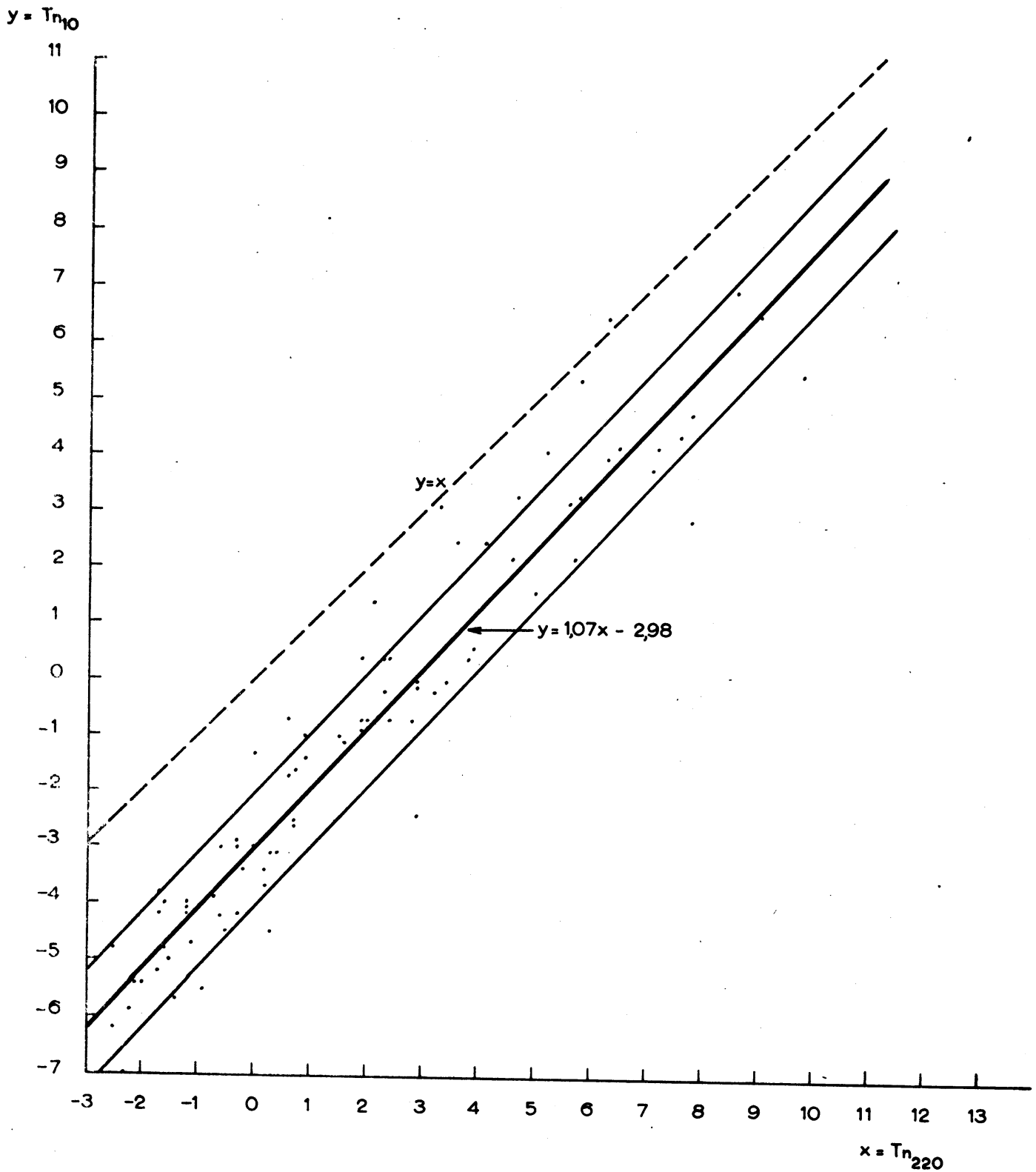
Fig. 4.10. Regressie-rechte onafhankelijk van het circulatietype bij $\bar{v} < 3,5 \text{ m/s}$ in april.

Fig. 4.11. Regressie-rechte voor de circulatiegroepen A I bij $\bar{v} < 3,5 \text{ m/s}$ en $\bar{N} < \frac{5}{8}$ in april.



Deze gevallen, waarvan het aantal 85 bedraagt, zijn in fig. 4.11 weergegeven. De hieruit afgeleide regressievergelijking is:

$$\eta = 1,07 x - 2,98 \pm 0,95^{\circ}\text{C}.$$

Meer dan $2/3$ van het aantal punten, waarop de regressie is gebaseerd, ligt binnen de band $1,07 x - 2,98 - s_{ijx}$ en $1,07 x - 2,98 + s_{ijx}$, zodat de regressiefunctie als lineair kan worden beschouwd.

Het histogram van de verdeling van de x, ij -paren om de regressielijn is weergegeven in fig. 4.12a. Deze verdeling blijkt bij toetsing normaal te zijn. Uit een verdere statistische analyse blijkt evenwel, dat de regressielijn in fig. 4.11 als samenvallend met die in fig. 4.8 kan worden beschouwd.

Wij willen nu de gevallen, waarbij $T_{n220} < 2^{\circ}\text{C}$ nog eens afzonderlijk bezien. Deze gevallen, 49 in aantal, zijn in figuur 4.13 opgenomen. De hieruit afgeleide regressievergelijking is als volgt:

$$\eta = 1,21 x - 2,99 \pm 1,54^{\circ}\text{C}$$

Deze vergelijking blijkt bij toetsing significant van die voor het gehele materiaal ($\eta = 1,07 x - 2,98$) af te wijken.

Voor zover de gemiddelde windsnelheid $< 3,5$ m/s en de gemiddelde bedekkingsgraad van de hemel $< 5/8$ zal bij een bepaalde $x_0 (= T_{n220} < 2^{\circ}\text{C})$ gemiddeld in 95% van de gevallen de feitelijke bij $x_0 = T_{n220}$ gemeten $ij = T_{n10}$ in de intervallen $(1,07 T_{n220} - 2,98) \pm 1,54$ liggen.

Alhoewel de regressie tussen x en ij voor de groep van circulatietypen A II niet significant afwijkt van die voor de groep A I is voor de groep A II de regressie berekend voor die gevallen waarbij de gemiddelde bedekkingsgraad van de hemel gedurende de nacht kleiner is dan $5/8$.

De uit dit materiaal ($n=47$) afgeleide regressievergelijking is:

$$\eta = 0,88 x - 2,45 \quad (\text{zie fig. 4.14})$$

De restvariantie bedraagt $S_{ijx}^2 = 2,19$ dus $S_{ijx} = 1,48^{\circ}\text{C}$.

Deze regressievergelijking blijkt lineair te zijn ($N_h = 35 > 2/3 \times 47$).

Bij een gekozen $x_0 = T_{n220}$ bij een gemiddelde windsnelheid $< 3,5$ m/s en een gemiddelde bedekkingsgraad $< 5/8$ zal gemiddeld in 95% van de gevallen de feitelijke bij $x_0 = T_{n220}$ gemeten $ij = T_{n10}$ in het interval $\{988 T_{n220} - 2,45 \pm 2,96\}$ liggen.

De gegevens van de maanden mei 1949-1966 zijn op gelijke wijze bewerkt. Wij volstaan hier evenwel met de behandeling van de gegevens van de

minimumtemperatuur (onafhankelijk van het circulatietype. Het is nl. bij toetsing gebleken, dat voor de gevallen, waarbij de gemiddelde windsnelheid $\bar{v} < 3,5$ m/s de restvariantie onafhankelijk is van het circulatietype. In figuren 4.15 zijn de puntenparen $(x, ij) = (T_{n220}, T_{n10})$ uitgezet ($n=286$). De regressievergelijking, die uit deze gegevens kan worden afgeleid, is:

$$\bar{ij} = 1,19 x - 3,63^{\circ}\text{C}$$

De standaarddeviatie bedraagt in dit geval $S_{ijx} = 0,70^{\circ}\text{C}$

Bij een bepaalde $x_o = T_{n220}$ bij een windsnelheid $< 3,5$ m/s zal in gemiddeld 95% van de gevallen de feitelijke bij $X_o = T_{n220}$ gemeten $ij = T_{n10}$ zich bevinden in het interval $\{(1,19 T_{n220} - 3,63) \pm 1,40\}$.

4.2 Waarnemingen op andere stations.

Het resultaat dat bij de analyse van de waarnemingsresultaten van De Bilt is verkregen, doet vermoeden, dat een dergelijke studie met behulp van gegevens, die op enige termijnstations zijn verzameld, evenmin een strakke relatie tussen de minimumtemperaturen op de beide hoogten als functie van enige meteorologische grootheden zal opleveren. Immers van deze stations zijn de omstandigheden gedurende de nacht vaak veel minder goed bekend dan die te De Bilt, terwijl de lengte van de reeks gegevens ten hoogste vijf jaren is. Vooral dit laatste maakt een gedetailleerde splitsing van het materiaal niet mogelijk.

Wij zullen daarom volstaan met de vermelding van de resultaten van enige bewerkingen. Hierbij is gebruik gemaakt van de gegevens van de maanden april en mei van de jaren 1950 t/m 1954, voor zover deze van de gekozen stations beschikbaar waren. Niet voor alle stations was het mogelijk gegevens over de windsnelheid en de bedekkingsgraad van de hemel aan waarnemingen op het station zelf te ontleen. In die gevallen werd met gegevens van naburige synoptische stations volstaan.

Nadere bijzonderheden over de gebruikte gegevens zijn in tabel 4.4 gegeven.

Tabel 4.4 Bijzonderheden over de gegevens, gebruikt bij de bewerking van de minimumtemperaturen op 2,20 en 0,10 m hoogte (1950-1954).

Station minimumtemperatuur	Station(s) windsnelheid en bewolking
Eelde	Eelde
Leeuwarden	Leeuwarden
Dedemsvaart	Eelde, Vliegveld Twente
Vliegveld Twente	Vliegveld Twente
Naaldwijk	Ypenburg
Genert	Volkel, Bindhoven
Vlissingen	Vlissingen
Beek (L.)	Beek (L.)

Fig. 4.12. Frequentiehistogram van de verticale afwijkingen van de regressielijn $y=1,07x-2,98$ voor de circulatiegroepen A I (W,NW,N,NO en O) bij $\bar{v} < 3,5$ m/s en $N < \frac{5}{8}$ in april.

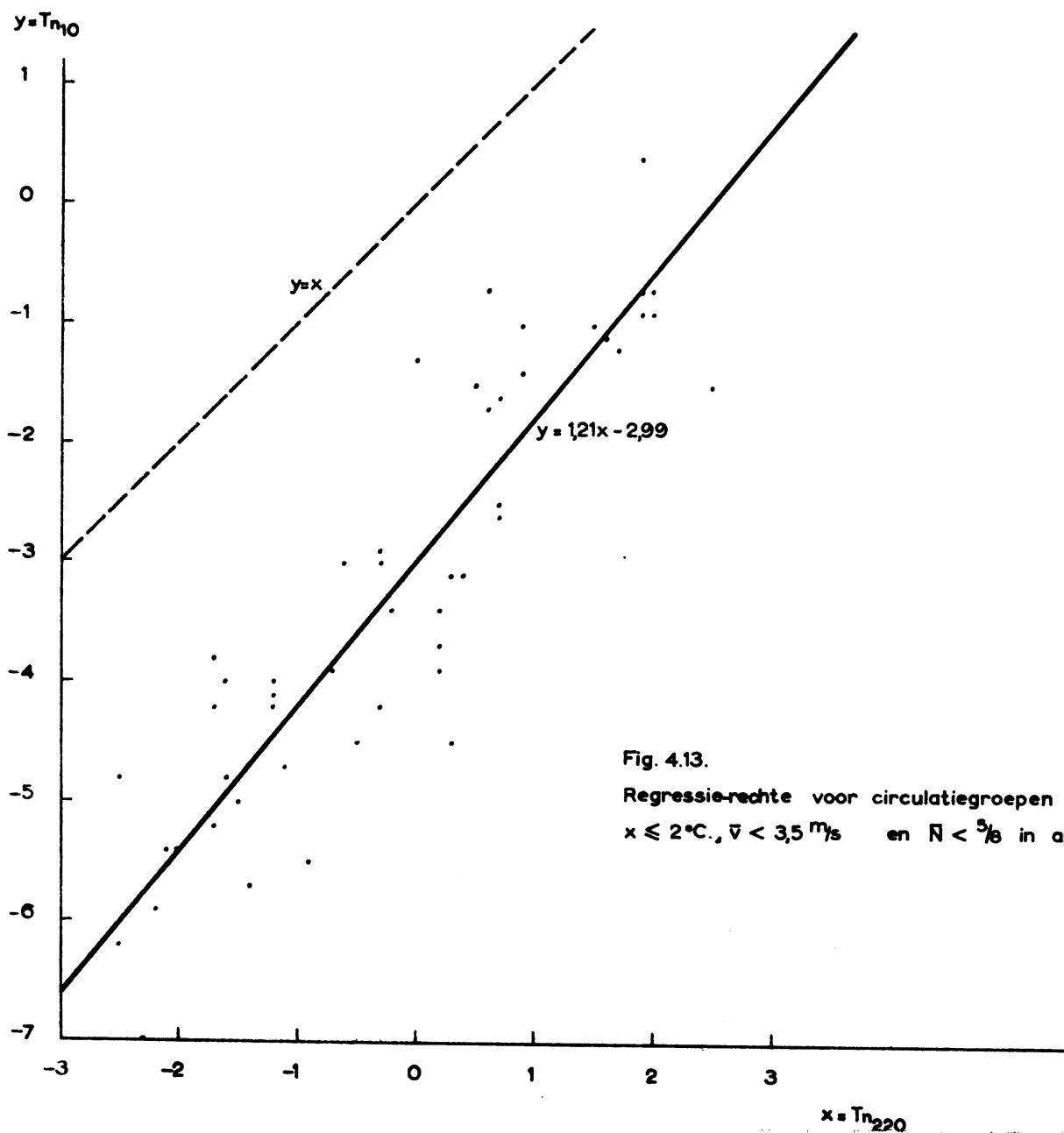
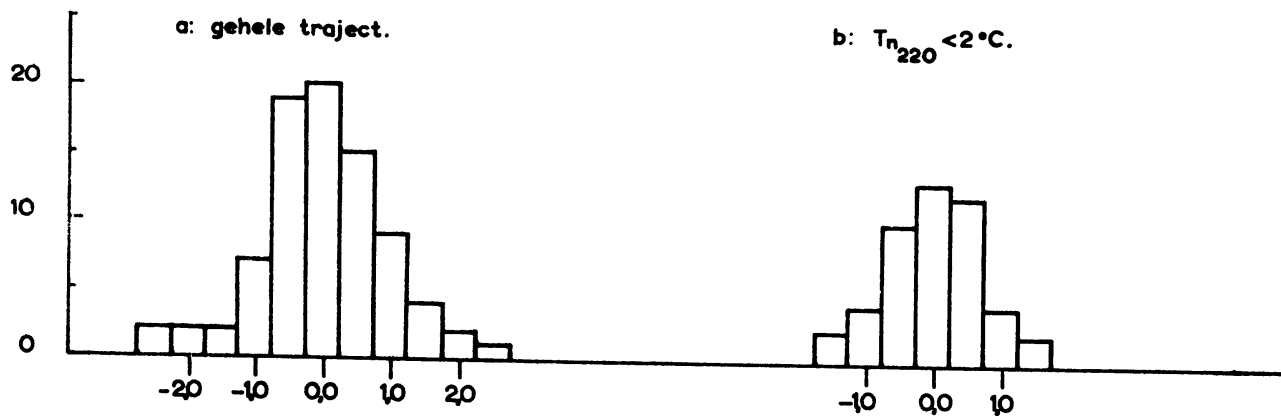


Fig. 4.13. Regressie-rechte voor circulatiegroepen A I bij $x \leq 2^{\circ}\text{C}$, $\bar{v} < 3,5$ m/s en $N < \frac{5}{8}$ in april.

De gegevens van de minimumtemperaturen zijn in de volgende groepen ondergebracht:

I bedekkingsgraad van de hemel

- a. gemiddeld 0,1 of 2 achtsten
- b. gemiddeld 7 of 8 achtsten
- c. overige gevallen

II windsnelheid

- a. gemiddeld 3 m/s
- b. gemiddeld 3 m/s

De gemiddelde waarden zijn afgeleid uit waarnemingen op de synoptische stations te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. De frequentieverdelingen van de aldus gevormde groepen gegevens zijn voor de maanden april en mei afzonderlijk voor de in tabel 29 genoemde stations resp. in de figuren 4.16 t/m 4.23 grafisch weergegeven.

De breedten van de klassen is $0,5^{\circ}\text{C}$, en wel van $-0,2$ tot $+0,2^{\circ}\text{C}$, van $0,3$ tot $0,7^{\circ}\text{C}$, enz. De spreiding blijkt derhalve groot te zijn, vooral in de gevallen met weinig bewolking en/of geringe windsnelheid.

De spreidingen zijn van dezelfde orde als die bij de gegevens van De Bilt.

Fig. 4.14. Regressie-rechte voor de circulatiegroepen A II bij $\bar{v} < 3,5$ m/s en $\bar{N} < 5/8$ in april.

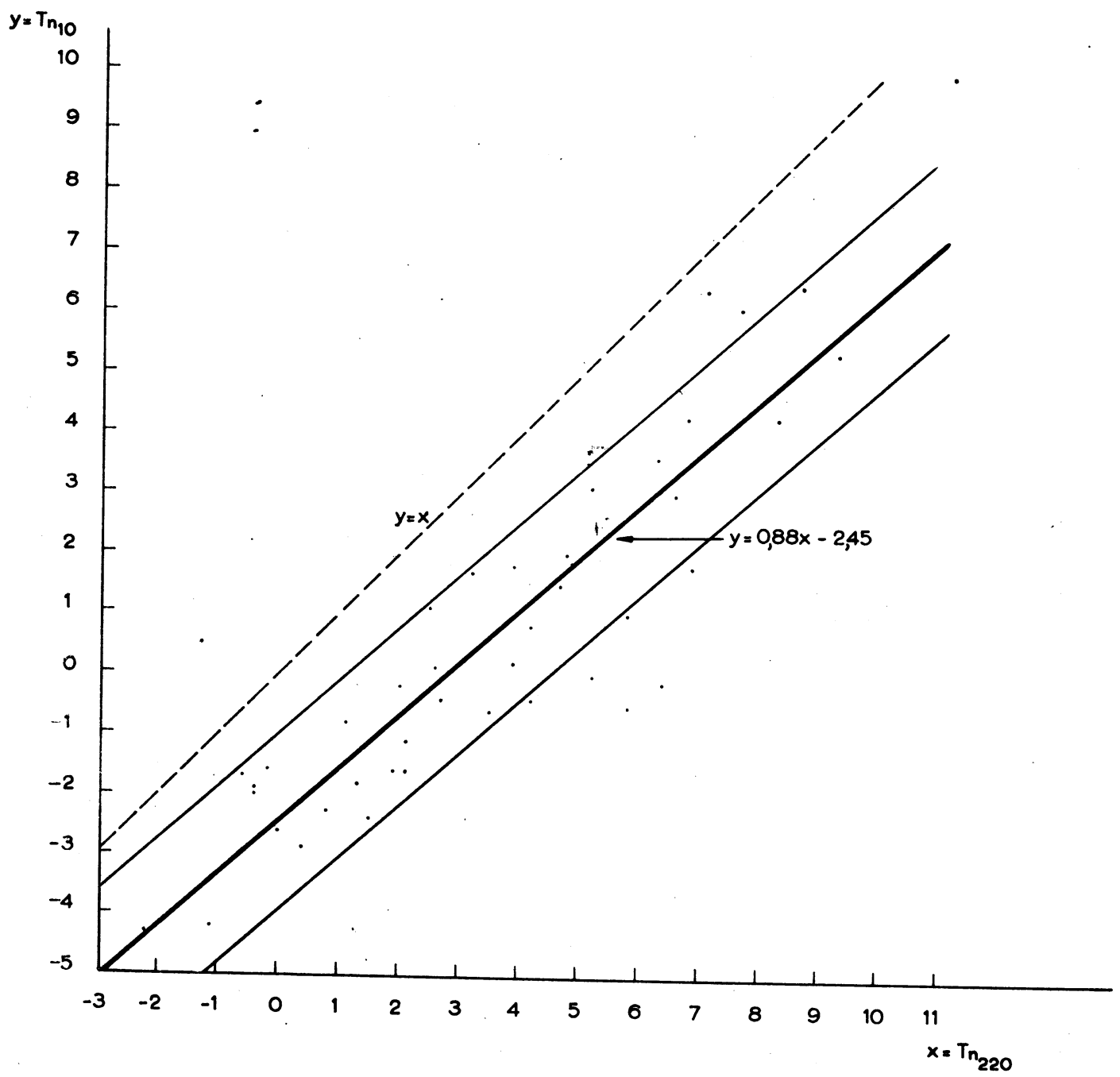


Fig. 4.15. Regressie-rechte onafhankelijk van het circulatietype bij $\bar{v} < 3,5 \text{ m/s}$ in mei.

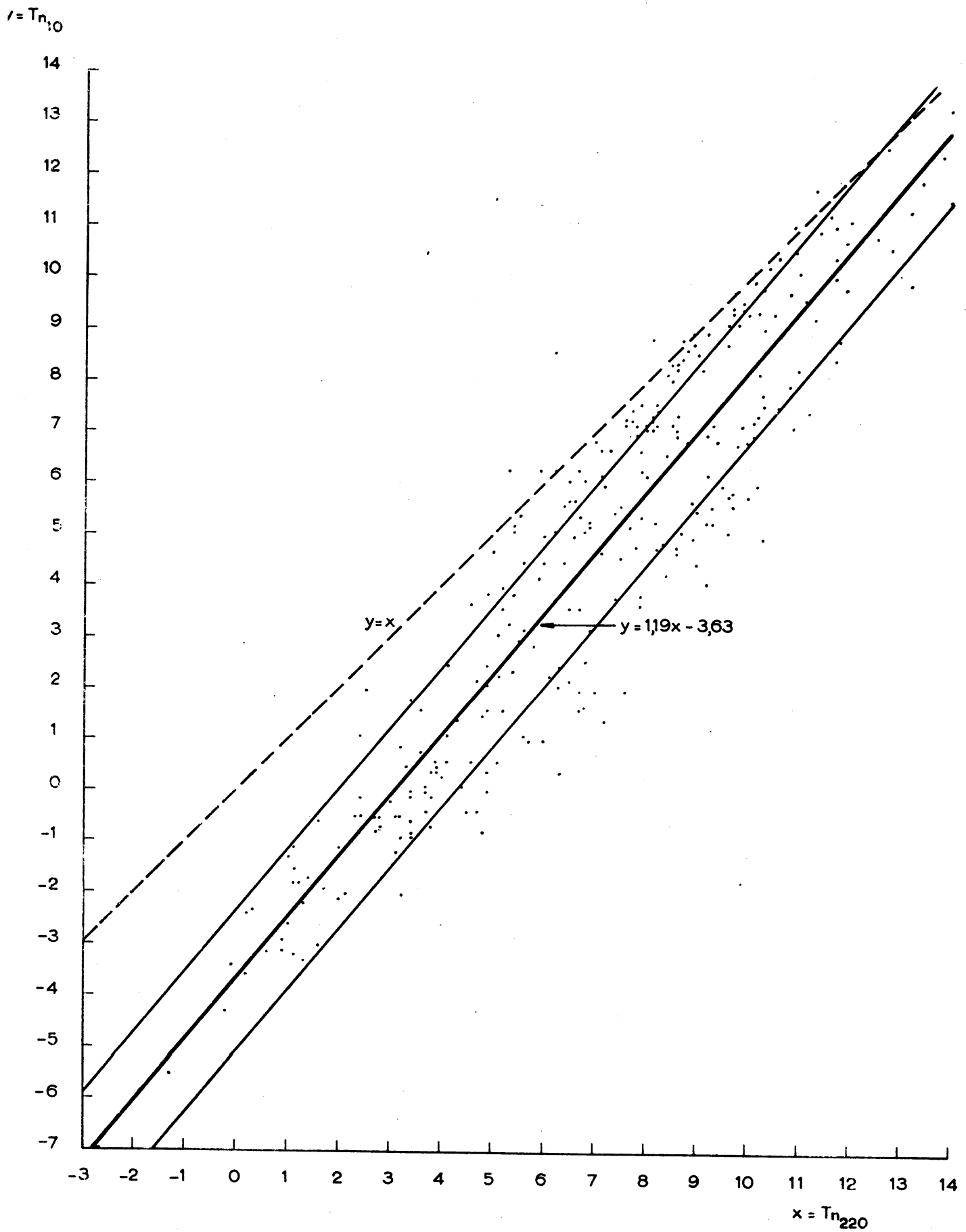


Fig. 4.16. Frequenties van de verschillen $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$ als functie van windsnelheid en bewolking. Tijdvak 1950 t/m 1954. Notatie: Ia: N = 0/8, 1/8, 2/8. IIa: v < 6 kts. Eelde. b: N = 7/8, 8/8. b: v > 6 kts. c: N = overige

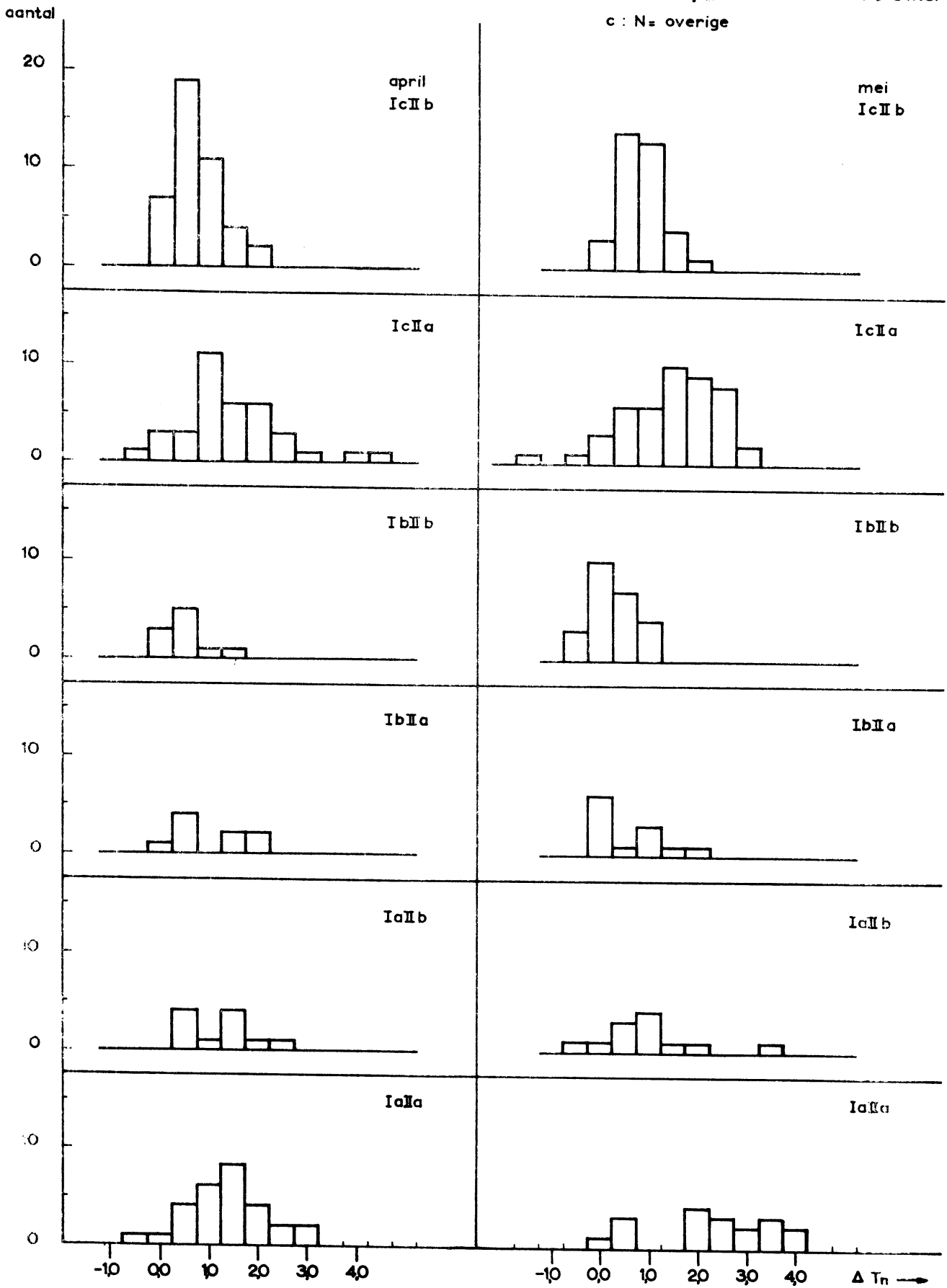


Fig. 4.17. Leeuwarden. Notatie zie fig.4.16.

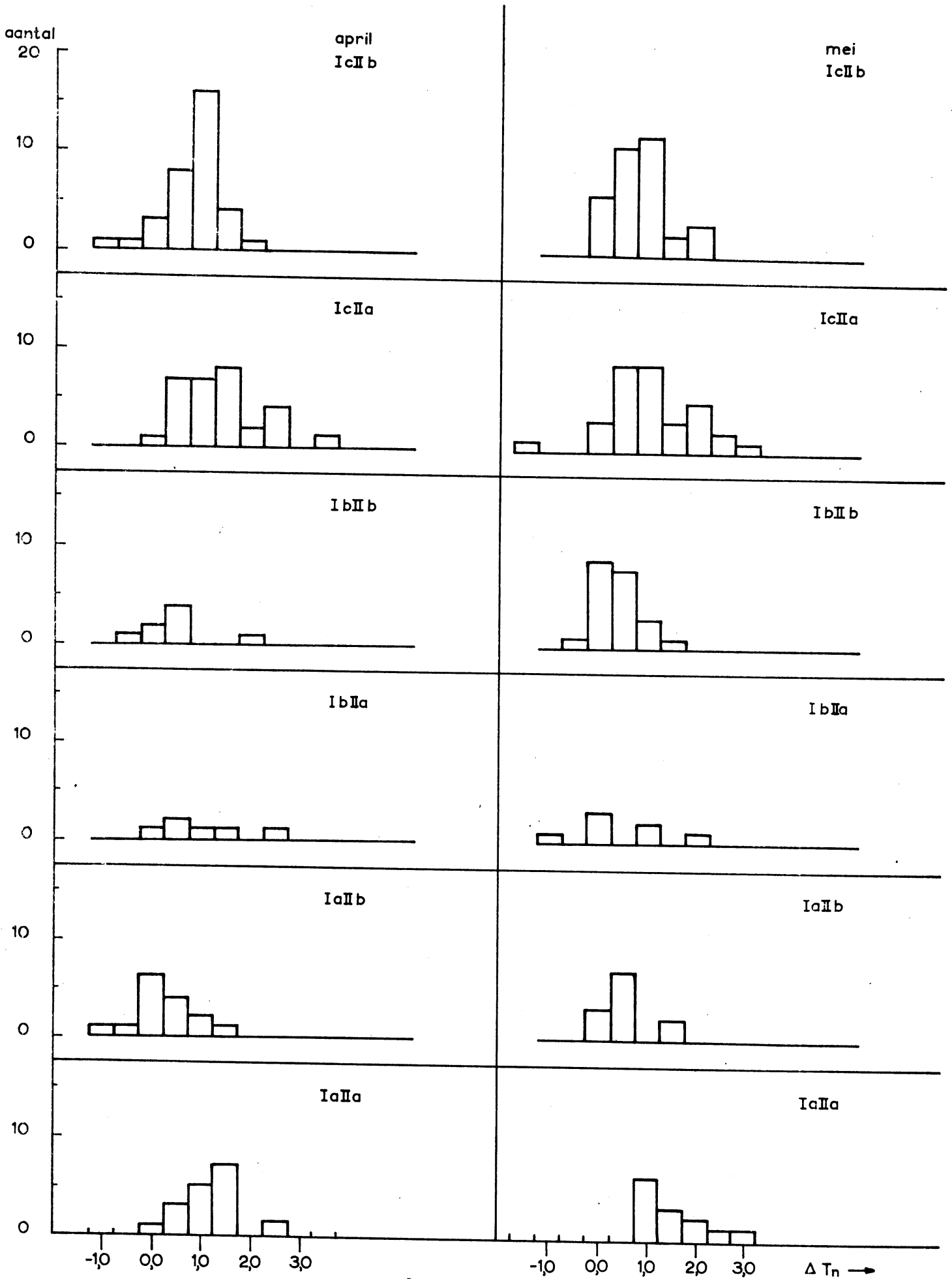


Fig. 4.18. Dedemsvaart. Notatie zie fig. 4.16.

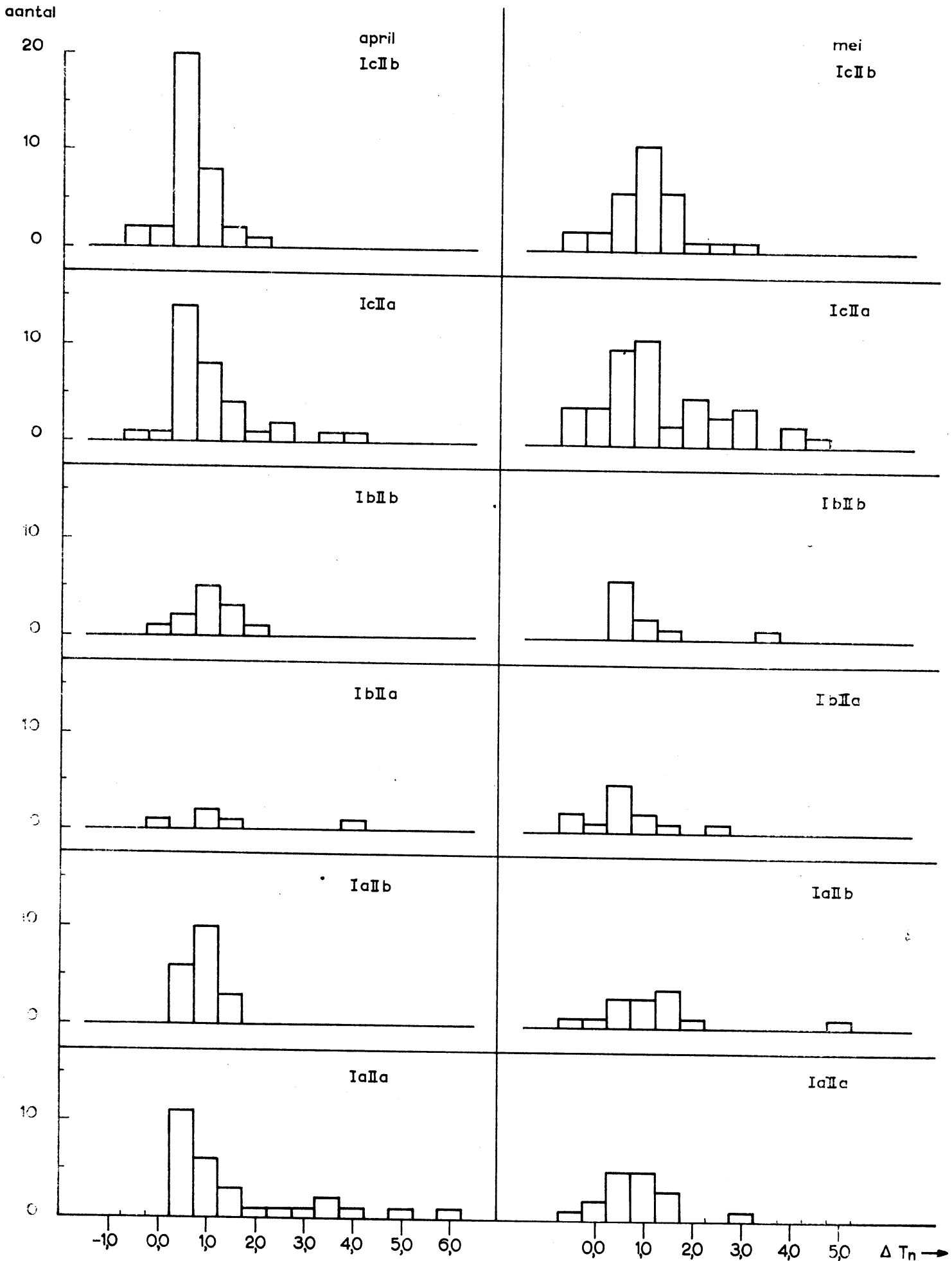


Fig. 4.19. Vlv. Twente. Notatie zie fig. 4.16.

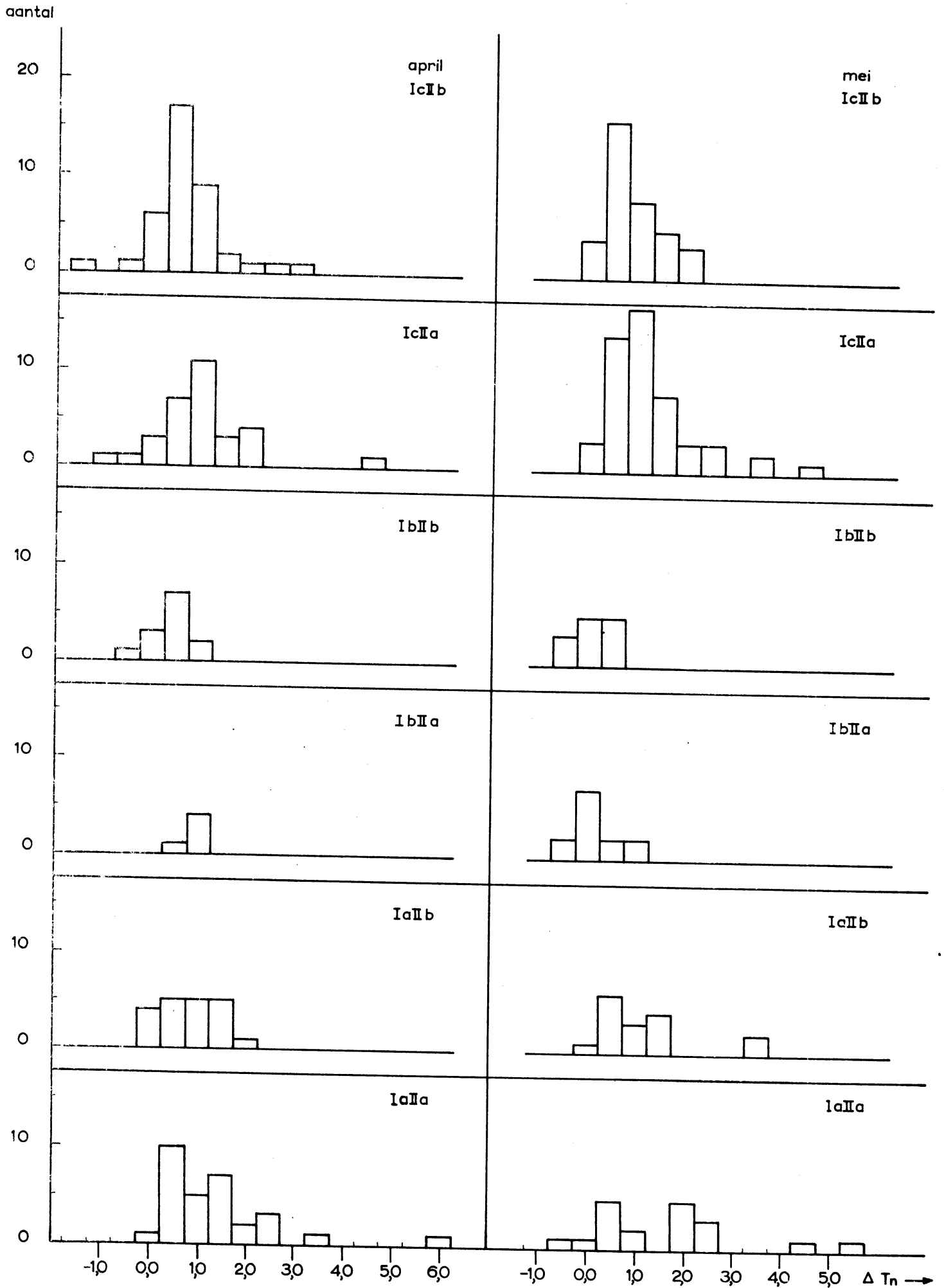
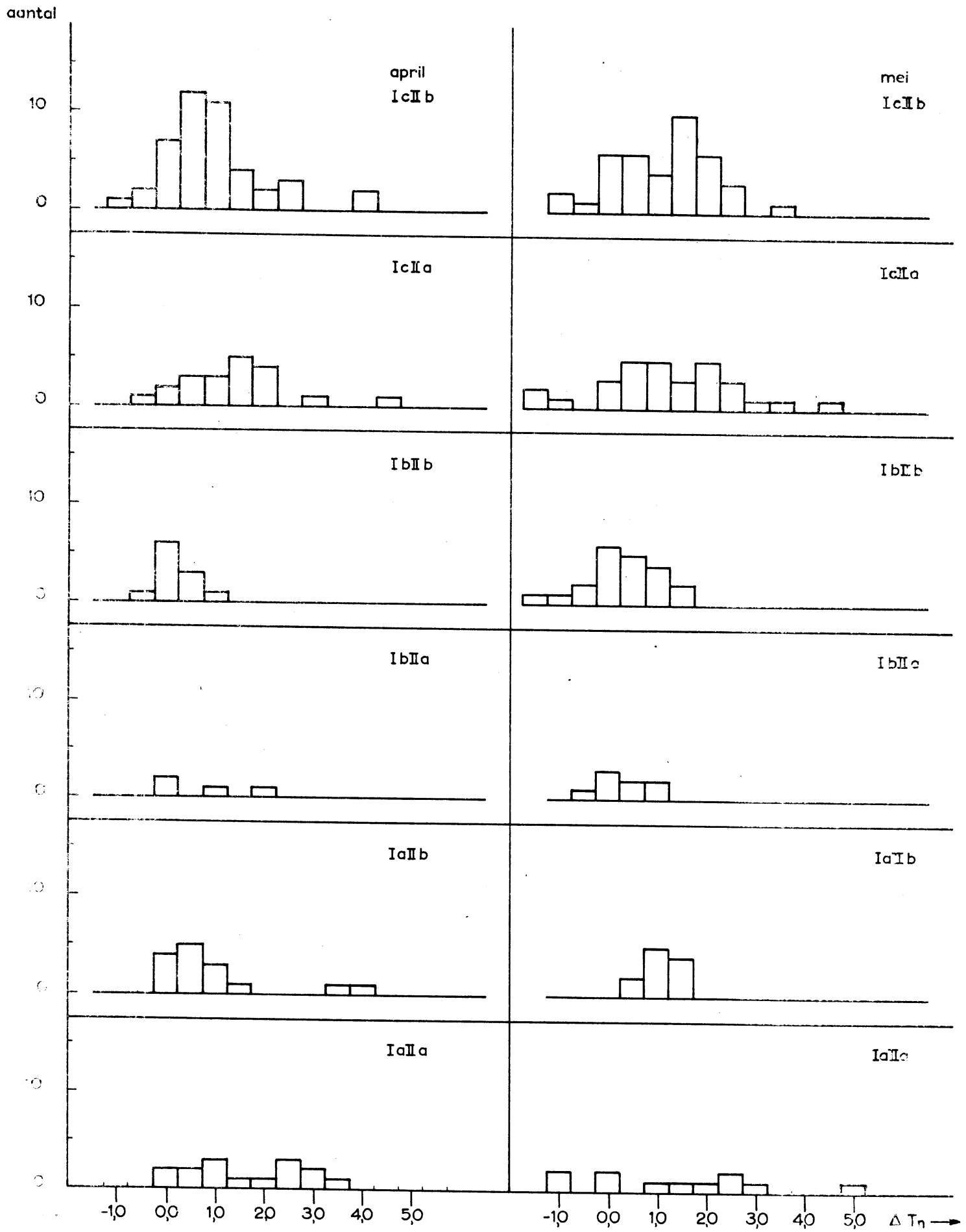


Fig. 4.20. Naaldwijk. Notatie zie fig.4.16.



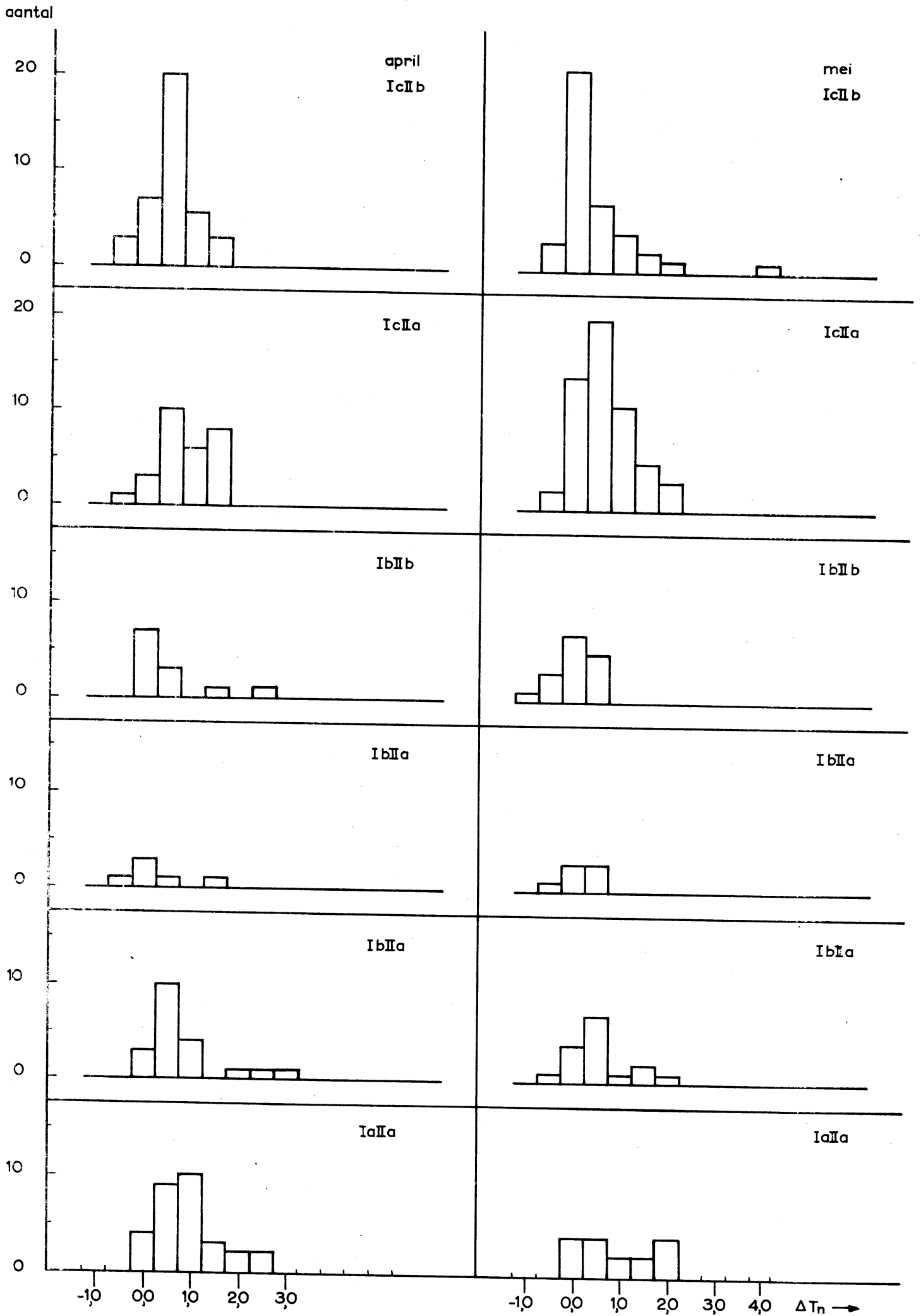


Fig. 4.22. Vlissingen. Notatie zie fig. 4.16.

aantal

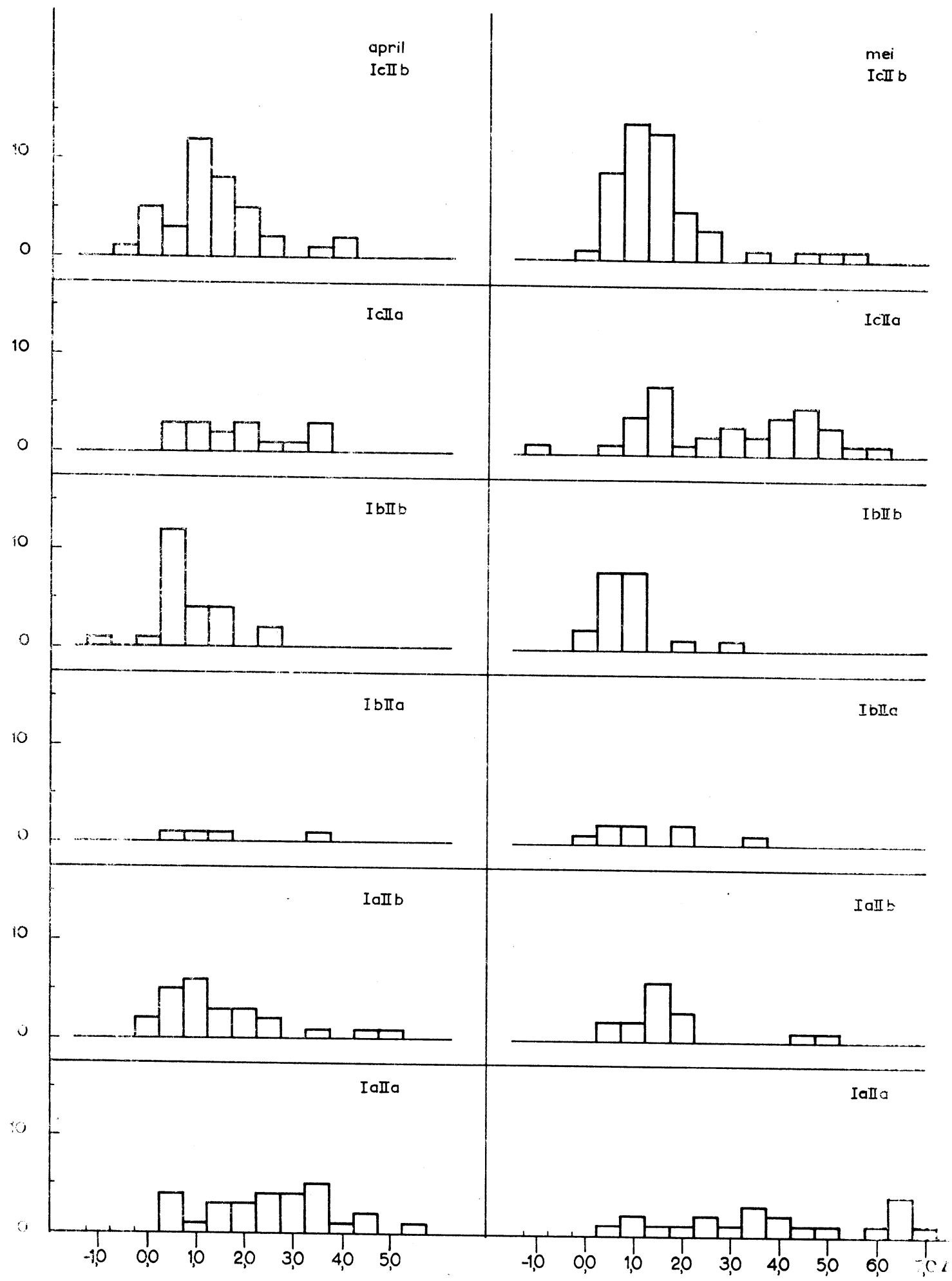
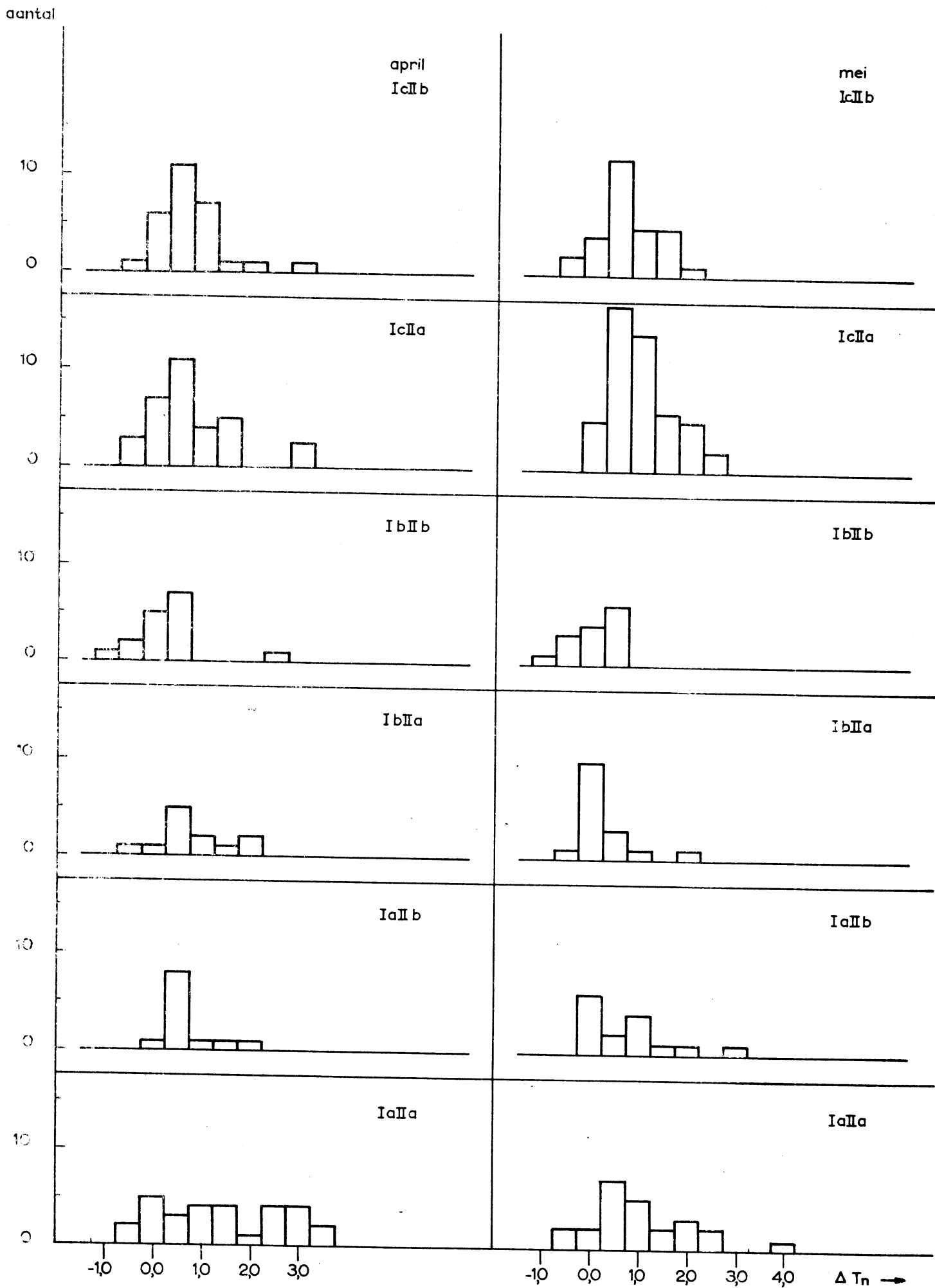


Fig. 4.23. Beek (L) Notatie zie fig.4.16.



5. DE INVLOED VAN DE TOESTAND EN DE BEDEKKING VAN DE GROND OP DE DAGELIJKSE MINIMUMTEMPERATUUR OP 10 CM HOOGTE.

Bij de behandeling van de uitkomsten der minimumtemperatuur-metingen in de vorige hoofdstukken is weinig of geen rekening gehouden met de grondsoort en met de structuur, die deze als gevolg van bewerkingen heeft verkregen. Evenmin is rekening gehouden met een zich daarop bevindend gewas en de mate, waarin het gewas gesloten is. Al deze niet-meteorologische factoren hebben op de warmtehuishouding van de grond en lucht gedurende de nacht stellig een grote invloed.

Teneinde een kwantitatief inzicht te verkrijgen van de verschillen in minimumtemperatuur op 10 cm hoogte, die zich als gevolg van verschillen in de boven omschreven omstandigheden kunnen voordoen, zijn in de jaren 1954-1958 vergelijkende metingen uitgevoerd op het proefterrein van het K.N.M.I. te De Bilt. De keuze viel daarbij op een tweetal veldjes waarvan één met een kortgehouden grasmat en het andere volledig vrij van gewas. Wij dienen nl. te bedenken dat een grasmat veel lucht bevat en dat de afgestorven plantedelen na verloop van jaren een strooiselpakket vormen. Beide omstandigheden hebben tot gevolg, dat de warmtegeleiding van de grond via de luchthoudende grasmat naar de vrije luchtlaag daarboven slecht is. Het warmteverlies dat gedurende de nacht optreedt, als gevolg van uitstraling door de plantedelen wordt maar voor een gedeelte gecompenseerd door warmte uit de bodem.

Bij een grond zonder begroeiing is gedurende de nacht de aanvoer van warmte naar de daarboven gelegen luchtlaag in het algemeen beter dan bij aanwezigheid van een grasmat, mits de grond niet losgemaakt is. In dit laatste wel het geval, dan is tevens meer lucht in de bovenste grondlaag gebracht, hetgeen een minder goede warmtegeleiding daarin tot gevolg heeft.

De omstandigheden, waaronder de metingen van de minimumtemperatuur op de in paragraaf 2.4 beschreven stations plaats vonden, zijn volledig bekend. Door groepering van de stations naar de aard van de begroeiing en de terreinomstandigheden in de naaste omgeving is getracht de invloed daarvan op de minimumtemperatuur vast te stellen.

In de volgende paragrafen zal nader over de resultaten van de metingen en bewerkingen worden bericht.

5.1 Metingen te De Bilt

In de jaren 1954-1958 was in het midden van een rechthoekig veldje, dat steeds vrij gehouden werd van begroeiing, een minimumthermometer op 10 cm hoogte opgesteld. De afmetingen van het veldje waren ca. $5 \times 6 \text{ m}^2$. Ter vergelijking dienden de aflezingen van een minimumthermometer, die voor doorlopende metingen op het aangrenzende klimatologische waarnemingsterrein op 10 cm hoogte boven een kort gehouden grasmat was opgesteld. De aflezing van de beide minimumthermometers vond steeds op de drie termijuren plaats.

Er is alle reden om aan te nemen, dat de temperatuur midden op het kaal gehouden stukje grond beïnvloed is geweest door het grasdek rondom, waar de warmtehuishouding belangrijk verschilt van die in en vlak boven de onberoerd gelaten grond. Vrijwel steeds blijkt er een zodanige luchtstroming te bestaan, dat van stagnatie van de lucht boven het kale veldje geen sprake kan zijn. Bij de geringe afmetingen van dit laatste heeft de van het grasdek afkomstige lucht bij aankomst midden op het veldje zijn oorspronkelijke eigenschappen ten dele behouden.

Voor een nader onderzoek naar de invloed van het grasdek op de minimumtemperatuur is gebruik gemaakt van alle beschikbare gegevens van de maanden maart tot en met september in het tijdvak 1954 t/m 1958. Door defecten aan de thermometers zijn de metingen enige malen onderbroken geweest, voornamelijk in de maanden maart t/m mei 1954. In totaal beschikten wij over 994 dagelijkse waarden van de minimumtemperatuur op de beide veldjes.

Allereerst is nagegaan in hoeverre het geoorloofd is het materiaal van voorjaar en zomer samen te nemen. Voor ieder der zeven maanden maart t/m september afzonderlijk is de frequentieverdeling van de verschillen $\Delta T'_n = T_{nz} - T_{ng}$ van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte boven zwarte grond (T_{nz}) en die boven gras (T_{ng}) bepaald. De waarden $\Delta T'_n$ zijn gegroepeerd in klassen ter breedte van $0,5^\circ\text{C}$ als volgt:

-2,2 t/m -1,8, -1,7 t/m -1,3, -1,2 t/m -0,8, enz. In fig. 5.1 zijn de frequentieverdelingen grafisch weergegeven, evenwel in percenten van het totaal aantal metingen. Bij beschouwing van de frequentieverdelingen valt het op, dat in de maanden maart en april een groot aantal gevallen voorkomt, waarbij boven zwarte grond een wat lagere minimumtemperatuur werd gemeten dan boven met gras begroeide grond. In juli, augustus en september doen deze gevallen zich in zeer geringe aantallen voor.

In de betrekken jaren waren de maanden maart, april en mei, met uitzondering van mei 1955 en maart 1957 te droog, de maanden juni t/m september met uitzondering van die van 1955 en van juni 1958 te nat, vaak veel te nat. Voorts vonden bewerkingen ter bestrijding van onkruid op het onbegroeide veldje vooral in de voorjaarsmaanden plaats. Mogelijk, dat door de genoemde omstandigheden de warmtegeleiding van de bovenste grondlaag van het onbegroeide veldje soms nog geringer is geweest dan die op het waarnemingsterrein met de kortgehouden grasmat.

Toetsing met behulp van de χ^2 -toets toonde aan, dat er, behoudens een onbetrouwbaarheid van 5%, geen significant verschil bestaat tussen de 7 verdelingen der absolute frequenties van de verschillen $\Delta T'_n = T_n - T_{ng}$ voor de afzonderlijke maanden. Deze verschillen van alle maanden tezamen kunnen derhalve beschouwd worden als afkomstig van één universum¹⁾.

De frequentieverdeling van de verschillen van de dagelijkse minimumtemperaturen $\Delta T'$, uitgedrukt in procenten van het totaal aantal beschikbare gegevens van de maanden maart t/m september 1954 t/m 1958, is in fig. 5.2 grafisch weergegeven. In 8,2% van de gevallen was de minimumtemperatuur boven zwarte grond lager dan die boven de grasmat.

Voorts werden de gegevens gerangschikt naar de situatie gedurende de nacht met betrekking tot windsnelheid en bedekkingsgraad van de hemel. Nadere gegevens hierover werden ontleend aan synoptische waarnemingen te De Bilt.

1) Bij de toetsing is geen rekening gehouden met een eventuele persistentie der waarden van $\Delta T'_n$. Persistentie heeft vermindering van het aantal graden van vrijheid ten gevolge. Aangenomen wordt, dat dit geen invloed heeft op de resultaten van de toetsing.

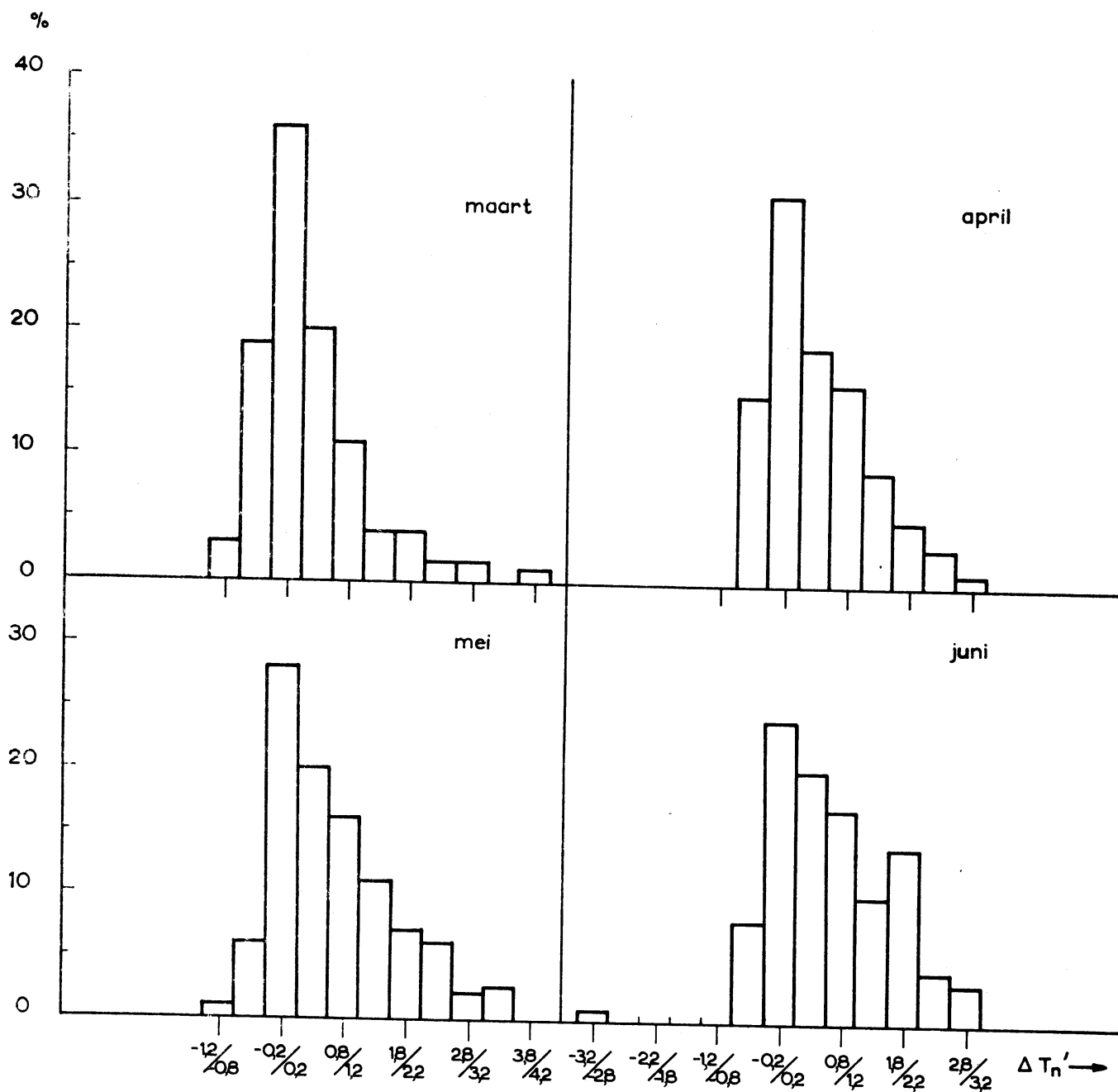


Fig. 5.1. Frequentieverdelingen (%) van de verschillen $\Delta T_n' = T_{nz} - T_{ng}$ per maand te De Bilt. Maanden maart t/m september van 1954 t/m 1958. T_{nz} en T_{ng} zijn de minimum-temperaturen (°C) op 10cm boven zwarte grond, resp. boven gras.

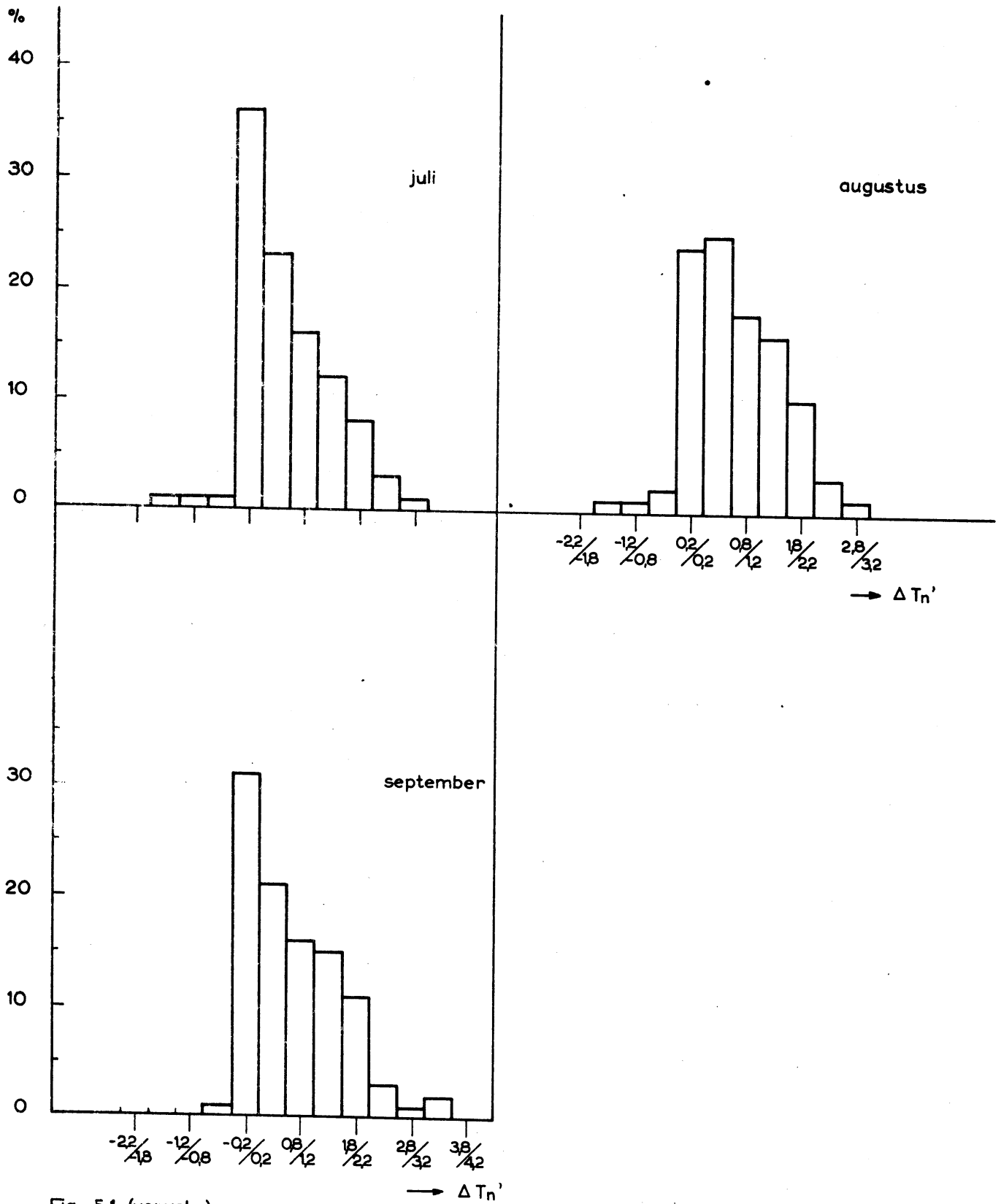


Fig. 5.1. (vervolg)

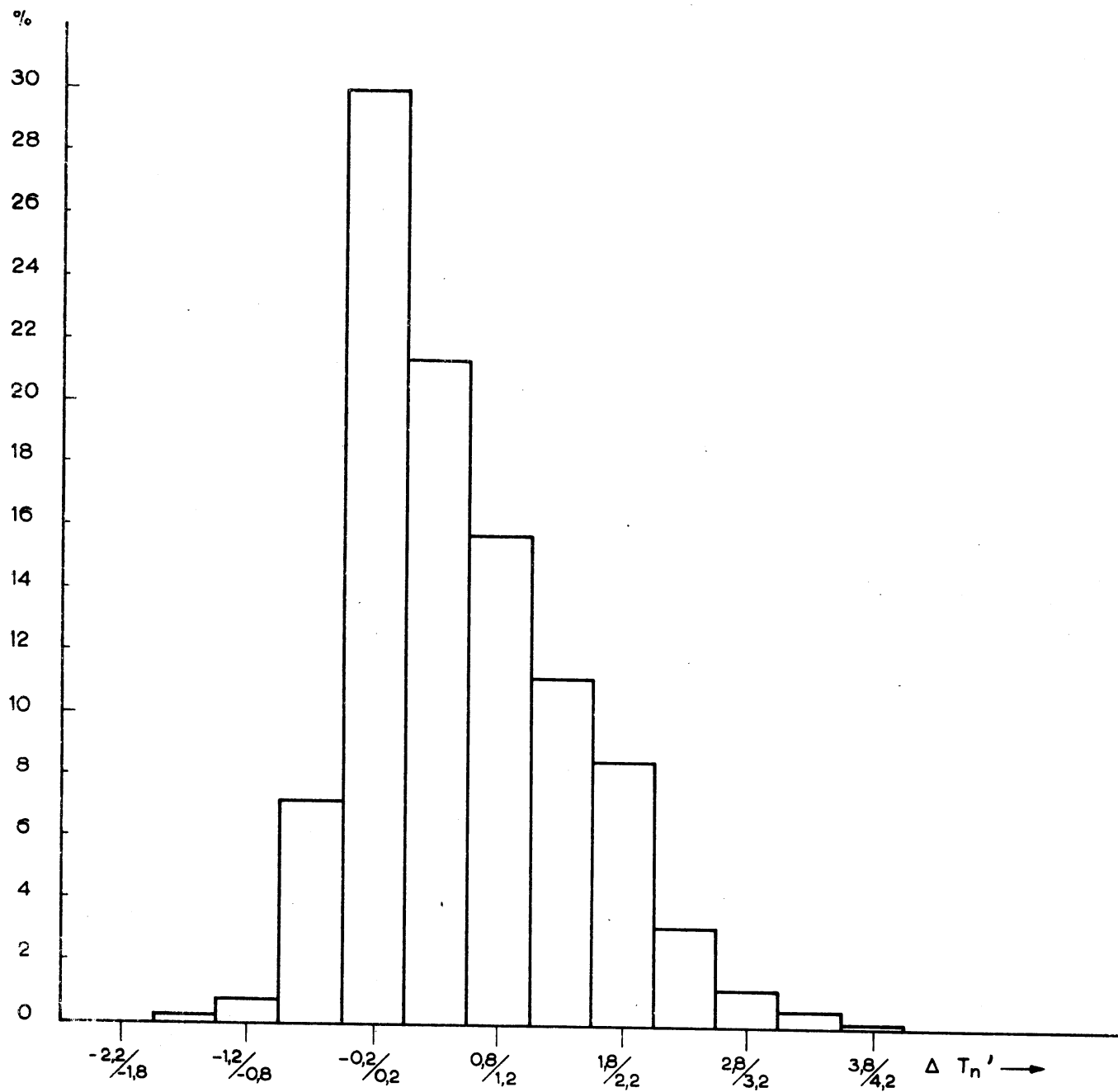
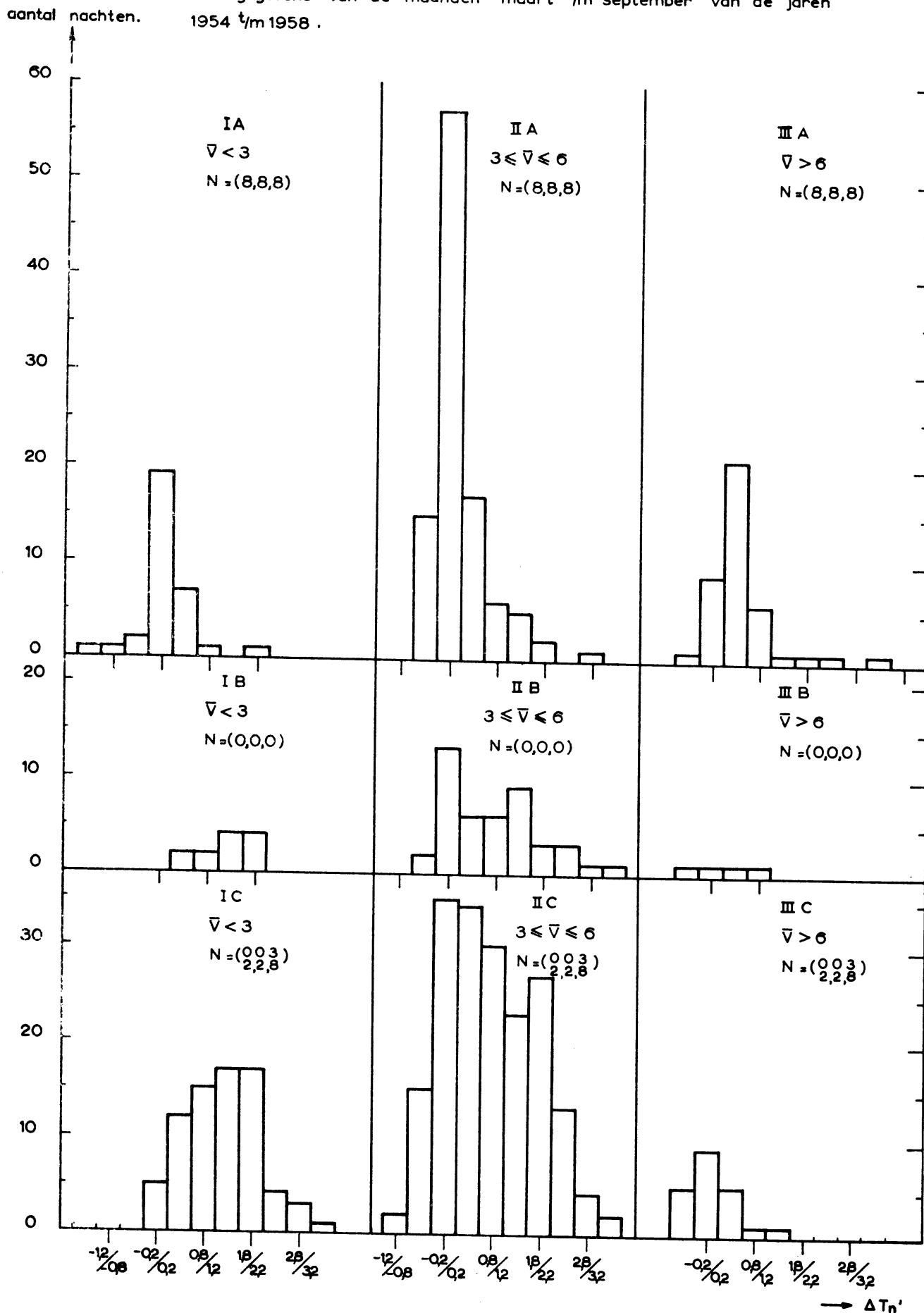


Fig. 5.2. Frequentieverdeling (%) van het totaal aantal waarnemingen van de verschillen $\Delta T_n' = T_{nz} - T_{ng}$ te De Bilt in de maanden maart t/m september van 1954 t/m 1958.

Fig. 5.3. Frequentieverdeling van de verschillen $\Delta T_n' = T_{nz} - T_{ng}$ per groep (zie tabel 4) naar gegevens van de maanden maart t/m september van de jaren 1954 t/m 1958.



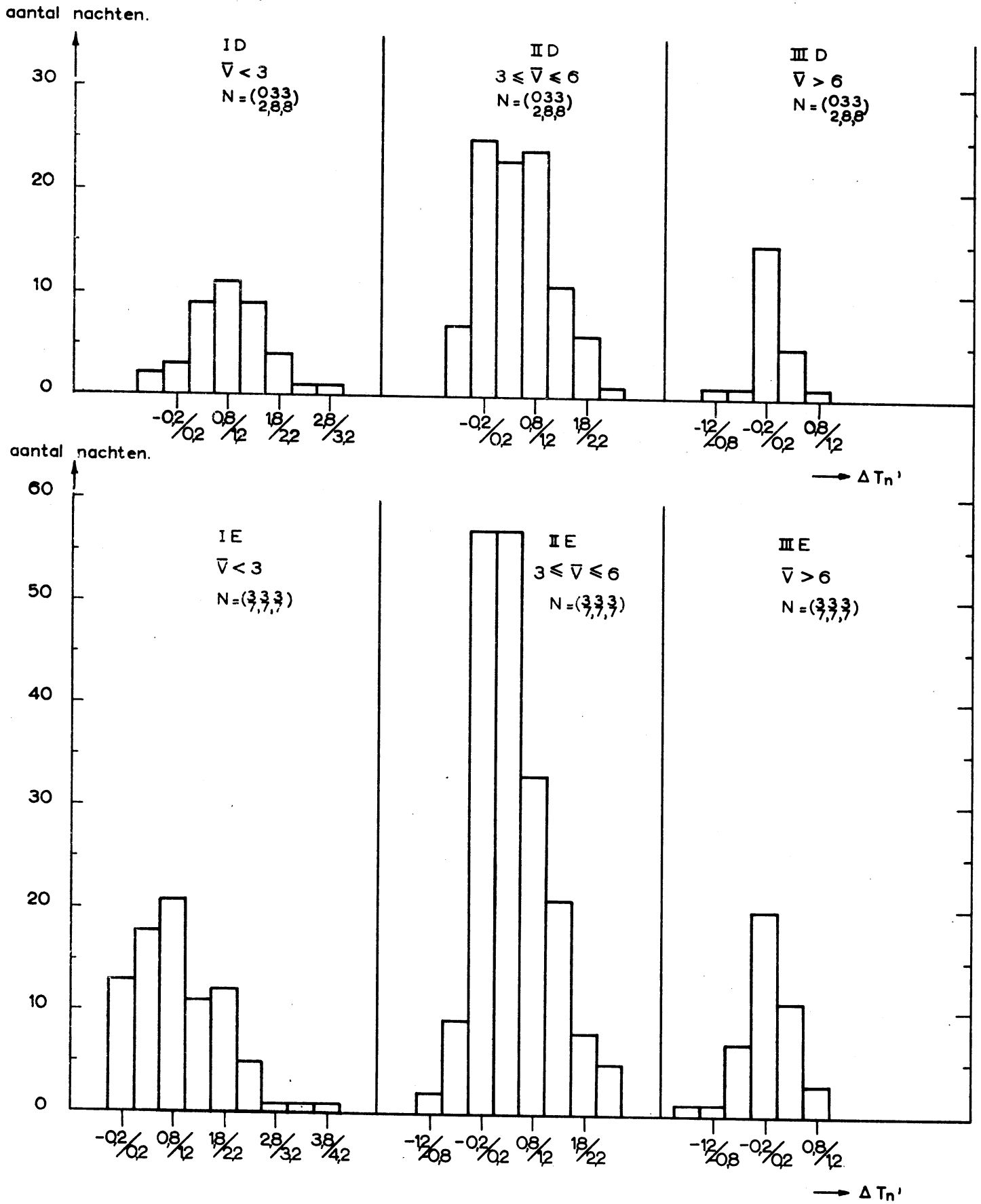


Fig. 5.3. (vervolg)

Omdat gedurende de zomer de nachten betrekkelijk kort zijn hebben wij ons ter karakterisering van de weersituatie gedurende de nacht beperkt tot de waarnemingen van 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T., d.i. 22, 1 en 4 uur M.E.T.

De groepering van de gegevens van de minimumtemperatuur geschiedde als volgt:

a. naar de windsnelheid v :

I : gemiddeld over de 3 uren: < 3 m/s ($\bar{v} < 3$)

II : " " " " : ≥ 3 en ≤ 6 m/s ($3 \leq \bar{v} \leq 6$)

III : " " " " : > 6 m/s ($\bar{v} > 6$)

b: naar de bedekkingsgraad N :

A: op ieder der 3 uren: 8/8 ($N = (8, 8, 8)$)

B: " " " " : 0/8, 1/8 of 2/8 ($N = (2, 2, 2)$)

C: " 2 der 3 uren : 0/8, 1/8 of 2/8 ($N = (2, 2, 3)$)

D: " 1 " " " : 0/8, 1/8 of 2/8 ($N = (2, 3, 3)$)

E: de overige gevallen: ($N = (7, 7, 7)$)

Achter iedere groep is de notatie vermeld, zoals die verder in de tekst en in de figuren wordt gebruikt. Bij de bewolking heeft de notatie $\overset{0}{2}$ de betekenis van 0 t/m 2, enz. Voor verdere bijzonderheden van deze notaties en over de weersfactoren zij verwezen naar paragraaf 2.1.

Op grond van deze indeling kunnen 15 groepen van waarden van T_n^1 worden gevormd. De frequentieverdelingen van deze 15 groepen zijn in figuur 5.3 weergegeven. Hierbij is dezelfde klasseindeling toegepast als bij de figuren 5.1 en 5.2.

Door toetsing met behulp van enige statistische toetsen is nagegaan, in hoeverre de gekozen 15 groepen onderling van elkaar verschillen. Hierbij is steeds van de nul-hypothese uitgegaan, dat een tweetal groepen onderling niet significant van elkaar verschilt. De resultaten van deze toetsingen zijn in tabel 5.1 bijeen gebracht. Voor nadere bijzonderheden over de wijze van toetsen kan worden verwezen naar Appendix V.

Uit tabel 5.1. en figuur 5.3 kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

a. Bij volledig bedekte hemel (groep A, $N = (8, 8, 8)$) heeft de windsnel-

- heid geen aantoonbare invloed op het verschil $T' = T_{nz} - T_{ng}$.
- b. Bij vrijwel of geheel onbewolkte hemel ($N = (2, 2, 2)$) zijn de frequentieverdelingen voor de drie windsnelheidsgroepen significant van elkaar verschillend.

Tabel 5.1 Toetsing van de significantie van de verschillen tussen de onderscheiden groepen van verschillen $\Delta T'_n$ tussen de minimumtemperatuur boven zwarte grond (T_{nz}) en die boven gras (T_{ng}). Onbetrouwbaarheidsdrempel 5%. (Voor betekenis letters en cijfers zie tekst).

groepen		verschil significant?	groepen		verschil significant?	groepen		verschil significant?
IA	IIA	neen	IA	IB	ja	IIB	IID	ja
IA	IIIA	neen	IA	IC	ja	IIB	IIIE	ja
IIA	IIIA	neen	IA	ID	ja	IIC	IID	ja
IB	IIB	ja	IA	IE	ja	IIC	IIIE	ja
IB	IIIB	ja	IB	IC	neen	IID	IIIE	neen
IIB	IIIB	ja	IB	ID	ja	IIIA	IIIB	neen
IC	IIC	ja	IB	IE	neen	IIIA	IIIC	neen
IC	IIIC	ja	IC	ID	ja	IIIA	IIID	neen
IIC	IIIC	ja	IC	IE	ja	IIIA	IIIE	neen
ID	IID	ja	ID	IE	neen	IIIB	IIIC	neen
ID	IIID	ja	IIA	IIB	ja	IIIB	IIID	ja
IID	IIID	ja	IIA	IIC	ja	IIIB	IIIE	ja
IE	IIIE	ja	IIA	IID	ja	IIIC	IIID	neen
IE	IIIE	ja	IIA	IIIE	ja	IIIC	IIIE	neen
IIIE	IIIE	ja	IIB	IIC	neen	IIID	IIIE	neen

- Het gemiddelde verschil $\Delta T'_n$ neemt af met toenemende windsnelheid.
- c. Wanneer slechts op één der drie synoptische waarnemingsuren de bewolking wat zwaarder was ($N = (2, 2, 3)$) zijn de drie frequentieverdelingen (windgroepen I, II en III) onderling significant afwijkend. Ook hier is het gemiddelde verschil $\Delta T'_n$ kleiner naarmate de windsnelheid groter is.
- d. Voor de gevallen, dat op twee van de drie synoptische waarnemings-tijdstoppen de bewolking wat zwaarder ($N = (2, 3, 3)$) is kan hetzelfde opgemerkt worden als onder c.
- e. Hetzelfde geldt ook voor alle gevallen, dat de bewolking gemiddeld zwaar was, ($N = (3, 3, 3)$).

- f. Bij weinig of geen wind zijn de onderlinge verschillen tussen de verschillende bewolkingsgroepen significant van elkaar afwijkend, met uitzondering van die, waarbij de hemel op twee van de drie waarnemingstijdstippen zwaar was (groep ID) en waarbij de hemel geheel of vrijwel geheel bedekt was (groep IE).
- g. Ook bij matige wind blijkt de bedekkingsgraad van de hemel een duidelijke invloed te hebben op het verschil $\Delta T'_n$. Dit bleek evenwel niet het geval te zijn, indien er tijdelijk meer bewolking was. Derhalve was het verschil tussen de groepen IIB en IIC niet significant.
- h. Op grond van het in de aanvang gestelde verwachten wij, dat wind een zodanige vermenging van de lucht veroorzaakt, dat de invloed van het kleine onbegroeide veldje nauwelijks bemerkbaar is in de verschillen $\Delta T'_n$. In overeenstemming hiermede is het feit, dat tussen de waarden $\Delta T'_n$ bij volledig bedekte ($N = 8,8,8$) en bij onbewolkte hemel ($N = \overset{0}{2}, \overset{0}{2}, \overset{0}{2}$) en bij een gemiddelde windsnelheid $v > 6$ m/s geen significante verschillen bestaan. Deze verschillen blijken echter wel significant te zijn tussen de groepen IIIB en IIID (resp. vrijwel onbewolkt ($N = \overset{0}{2}, \overset{0}{2}, \overset{0}{2}$) en tijdelijk onbewolkt ($N = \overset{0}{2}, \overset{3}{8}, \overset{3}{8}$) en tussen de groepen IIIB en IIIE (resp. vrijwel onbewolkt en veranderlijke bewolking ($N = (\overset{3}{7}, \overset{3}{7}, \overset{3}{7})$)). Dit laatste is niet verklaarbaar.
- i. Het valt voorts op, dat eveneens tegen de verwachting in, ook bij meer dan matige wind en vrijwel onbewolkte hemel de verschillen $\Delta T'_n$ vrij groot kunnen zijn. Aan de realiteit hiervan dient echter te worden getwijfeld. Verondersteld wordt, dat bij harde wind de minimumthermometers in trilling kunnen geraken, waardoor de indices verschuiven. Waar dit tot zeer onwaarschijnlijke waarden van de minimumtemperatuur leidde, werden deze buiten beschouwing gelaten. Genoemd euvel kan zich onder alle andere omstandigheden bij harde wind hebben voorgedaan, zodat hierdoor ook de onder h genoemde onwaarschijnlijke verschillen kunnen worden verklaard.

In tabel 5.2 zijn voor elke groep de gemiddelde verschillen $\Delta T'_n = T_{nz} - T_{ng}$ opgenomen, benevens de standaarddeviatie en het aantal gegevens, dat bij de berekening hiervan werd gebruikt.

Tabel 5.2 Gemiddeld verschil $\Delta T'_n = T_{nz} - T_{ng}$ met standaardafwijking s en aantal gegevens n voor ieder der 15 groepen.

	I			II			III		
	$\Delta T'_n$	s	n	$\Delta T'_n$	s	n	$\Delta T'_n$	s	n
A	0,1	0,56	32	0,2	0,59	103	0,1	0,70	41
B	1,3	0,64	26	1,0	0,91	91	0,4	0,51	9
C	1,4	0,81	61	0,9	1,02	138	0,1	0,38	16
D	1,0	0,96	41	0,7	0,68	97	0,1	0,31	23
E	1,1	0,85	83	0,6	0,69	192	0,1	0,23	43

Bij volledig bedekte hemel is het verschil in aanwijzing tussen een thermometer op 10 cm hoogte boven onbegroeide grond en een op dezelfde hoogte boven een grasdek gemiddeld gering. Bij weinig bewolking en weinig wind kan dat verschil gemiddeld op $1,2^{\circ}\text{C}$ gesteld worden.

5.2 Bewerking van elders in Nederland verkregen gegevens

Zoals reeds in hoofdstuk I werd meegedeeld, zijn de metingen op de verschillende stations in het land in de jaren 1949-1954 niet overal onder vergelijkbare omstandigheden uitgevoerd. Op een deel van de stations was de minimum-thermometer op een onbegroeid veldje temidden van open vlak terrein geplaatst, op een ander deel op een open plek in een boomgaard, hetzij boven zwarte grond, hetzij boven een grasmat.

Uit vergelijkende metingen te De Bilt, op een tweetal dicht bij elkaar gelegen veldjes was gebleken, dat de minimumtemperatuur vlak boven een grasmat belangrijk kan afwijken van die boven onbegroeide grond onder overigens gelijke omstandigheden (zie paragraaf 4.1). Dit zal ongetwijfeld ook in andere delen van het land het geval zijn. Er zijn evenwel elders geen simultane waarnemingen gedaan boven gras en boven zwarte grond op percelen, die dicht bij elkaar waren gelegen. Voor deze situatie is het derhalve niet mogelijk een uitspraak te doen over de mogelijke verschillen, die in de dagelijkse minimumtemperatuur boven zulke percelen kunnen voorkomen.

Er zijn evenwel enige gebieden in ons land, waar op niet al te grote afstand van elkaar metingen van de minimumtemperatuur boven gras en boven zwarte grond zijn verricht. Langs statistische weg is nagegaan

of in deze gebieden systematische verschillen in de dagelijkse minimumtemperatuur voorkwamen. De gebieden, waarvoor dit is geschied, zijn de volgende:

I : Noord- en West-Friesland, Noordoostpolder

II : Kop van Drente

III : Midden- en oostelijk Noord-Brabant, noordelijk deel van Limburg

Bij de keuze van de stations in deze gebieden is rekening gehouden met de grondsoort, teneinde de invloed daarvan zoveel mogelijk te elimineren.

De stations in de drie gebieden waren respectievelijk:

I : Op klei- en zavelgrond:

8 Berlicum (a) 17 H 45 (NOP) (b)

9 Marrum (a) 18 S 57 (NOP) (c)

11 Noord-Bergum(a) 19 P 100 (NOP) (b)

12 Buitenpost (a) 22 Giethoorn I (b)

14 Balk (a) 23 Giethoorn II (b)

15 F 14 (NOP) (b) 24 IJsselmuiden (a)

16 N 51 (NOP) (b)

II : op zandgrond:

32 Ubbena (c) 41 Gasselte (d)

III : op zandgrond:

139 Teteringen (c) 146 Gemert (a)

140 Gilze-Rijen(b) 148 Wellerlooi (a)

141 Rijsbergen (c) 149 Eindhoven (b)

142 Goirle (b) 151 Sterksel (c)

143 Hilvarenbeek(b) 153 Venlo (c)

144 Volkel (b) 155 Beesel (c)

145 Oirschot (a)

De stations werden ingedeeld al naar de metingen plaats vonden:

a boven zwarte grond

b boven een grasdek

c boven zwarte grond in een boomgaard

d boven gras in een boomgaard

Hierboven en in figuur 5.4 is aangegeven tot welke categorie ieder van de genoemde stations behoorde.

Het statistisch onderzoek is uitgevoerd met behulp van de gegevens van de jaren 1951-1954 voor de maanden april en mei afzonderlijk. Dit is geschied voor een drietal groepen van nachten waarin aan de volgende omstandigheden was voldaan:

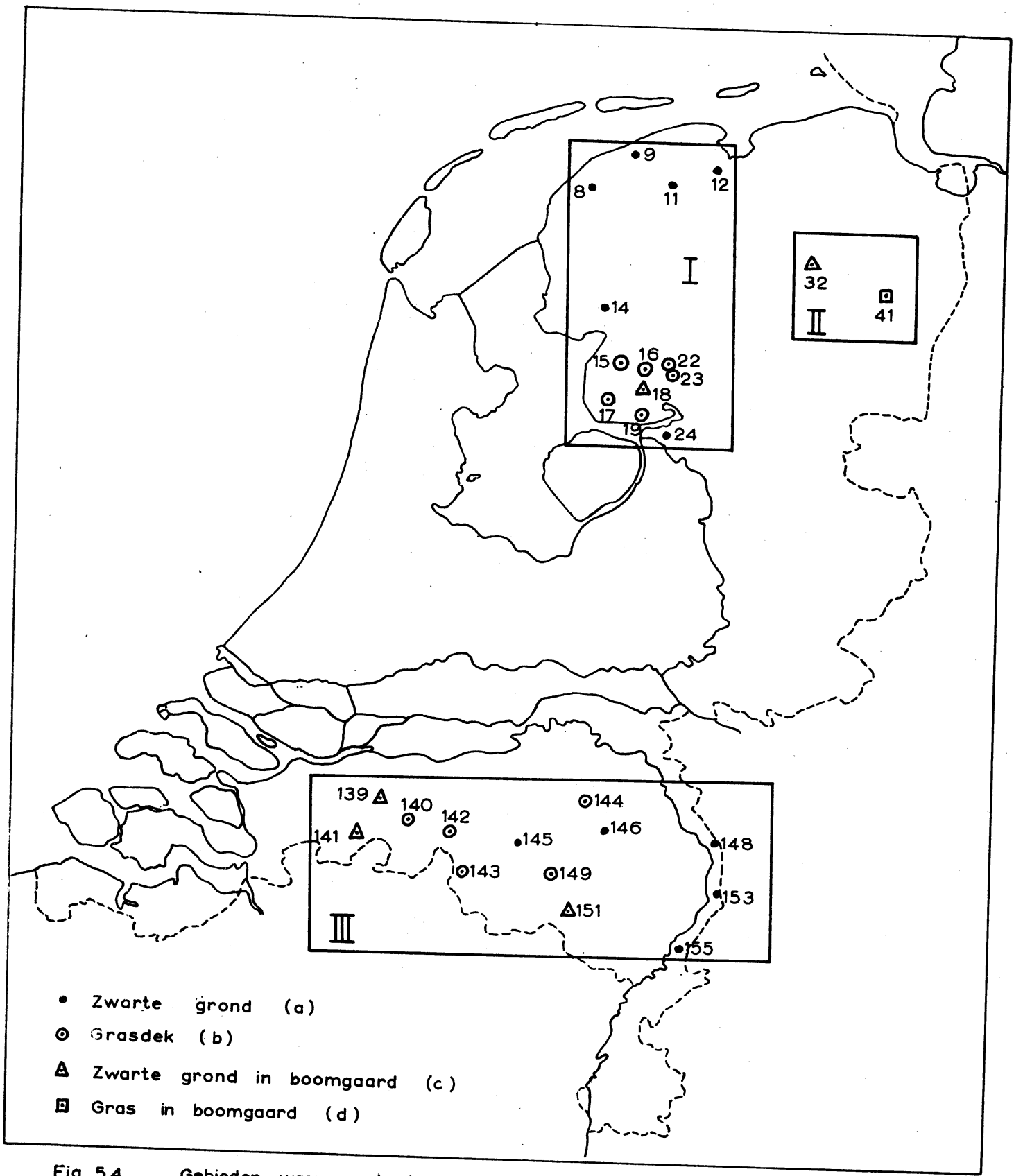


Fig. 5.4. Gebieden waarvan de invloed van de grondbedekking op de minimum-temperatuur werd onderzocht.

Groep A:

1. de windsnelheid gemiddeld uit de waarnemingen te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. kleiner dan 3 m/s,
2. de bedekkingsgraad van de hemel op elk van de uren 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. 0/8, 1/8 of 2/8.

Groep B:

1. de windsnelheid gemiddeld uit de waarnemingen te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. tenminste 3 m/s,
2. de bedekkingsgraad van de hemel op elk van de uren 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. 0/8, 1/8 of 2/8.

Groep C:

1. de windsnelheid gemiddeld te 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. kleiner dan 3 m/s,
2. de bedekkingsgraad van de hemel op elk van de uren 21.00, 00.00 en 03.00 uur G.M.T. 3/8 of meer.

De gegevens omtrent wind en bewolking werden voor gebied I ontleend aan waarnemingen op het vliegveld Leeuwarden, voor gebied II aan die van Eelde en voor gebied III aan waarnemingen op het vliegveld Volkel.

Met behulp van de statistische toets van Friedman en de t-toets van Student is nagegaan in hoeverre een significant verschil bestaat tussen de minimumtemperaturen op de vier typen meetplaatsen. In tabel 5.3 zijn de resultaten van de bewerkingen opgenomen. Aangezien de resultaten voor de maanden april en mei gelijkloidend waren is in tabel 5.3 geen onderscheid tussen de maanden gemaakt.

Het is gebleken, dat zowel in nachten met weinig wind en weinig bewolking als onder andere omstandigheden het al of niet aanwezig zijn van fruitbomen geen aantoonbare invloed heeft op de minimumtemperatuur boven zwarte grond.

Voor zover het de nachten met weinig wind en weinig bewolking betreft waren de gemiddelde verschillen in minimumtemperatuur voor elk van de gebieden, zoals vermeld in tabel 5.4

Tabel 5.3 Toetsing van de verschillen in minimumtemperatuur, gemeten boven zwarte grond (a), boven een grasdek (b), boven zwarte grond in een boomgaard (c) en boven gras in een boomgaard (d) onder verschillende omstandigheden in de maanden april en mei (+=significant verschil, 0=geen significant verschil, - = geen gegevens.

gebied	a - b	a - c	a - d	b - c	b - d	c - d
Groep A : weinig wind, weinig bewolking						
I	+	0	-	+	-	-
II	-	-	-	-	-	+
III	+	0	-	+	-	-
Groep B : veel wind, weinig bewolking						
I	0	0	-	0	-	-
II	-	-	-	-	-	-
III	0	0	-	-	-	-
Groep C : weinig wind, veel bewolking						
I	+	0	-	0	-	-
II	-	-	-	-	-	0
III	0	0	-	0	-	-

Tabel 5.4 Gemiddelde verschillen in minimumtemperatuur gemeten onder verschillende omstandigheden van bodembedekking in de maanden april en mei van de jaren 1951 t/m 1954 in drie gebieden tijdens nachten met weinig bewolking en weinig wind. (voor verklaring der letters: zie tabel 5.3)

gebied	a - b	a - c	a - d	b - c	b - d	c - d
I	0,8	0,1	-	-0,7	-	-
II	-	-	-	-	-	-0,3
III	1,0	0,4	-	-0,4	-	-

Voor wat betreft de verschillen in minimumtemperatuur boven zwarte grond en gras kan uit tabel 5.4 worden afgelezen, dat deze in overeenstemming zijn met die gevonden op het proefterrein te De Bilt. De verschillen in minimumtemperatuur boven een grasdek en in een boomgaard, waar de grond onbegroeid is gelaten, zijn gemiddeld wat minder groot, hetgeen een gevolg is van de geringere effectieve uitstraling van de bodem door de aanwezigheid van de bomen. De minimumtemperatuur in een boomgaard met grasmat bleek evenwel gemiddeld hoger dan die in één, waar de grond vrij van begroeiing was gelaten (gebied II, fig. 5.4).

Hier zijn evenwel slechts de gegevens van een tweetal boomgaarden, nl. in Ubbona en in Gasselte, ter beschikking, die belangrijk in opzet en ouderdom verschillen.

4.3 Conclusies

Uit de gegevens verkregen bij vergelijkende metingen te De Bilt, en die van het landelijk net van minimumtemperatuurstations menen wij voorlopig het volgende te mogen afleiden.

1. De minimumtemperatuur boven een grasdek is in het algemeen lager dan die boven een onbegroeide grond. Zulks is ook het geval in vergelijking tot gronden, die bezet zijn met een jong gewas, dat de grond slechts ten dele bedekt.

2. Tijdens nachten met weinig wind en weinig bewolking bedraagt het verschil tussen de waarden van de minimumtemperatuur boven een zwarte grond, al dan niet bedekt met een jong tuinbouwgewas en die boven een gesloten grasdek gemiddeld 1°C . Onder extreme weersomstandigheden kan dit verschil tot 3°C oplopen.

3. Het verschil in minimumtemperatuur tussen een boomgaard met een grasdek en een, waar de grond onbegroeid wordt gehouden is in het algemeen kleiner. De bomen oefenen uiteraard een belangrijke invloed uit op de warmtehuishouding van de boomgaard, zodat in dit geval de invloed van een grasdek geringer is dan in het geval dat er geen fruitbomen aanwezig zijn.

Het verdient evenwel aanbeveling om, waar wegens de gesteldheid van de grond een grasmat onontbeerlijk is, deze in de voor de bomen kritieke periode, zo kort mogelijk te houden.

4. Bij de beoordeling of een gebied, dat thans grotendeels uit grasland bestaat, in klimatologisch opzicht geschikt is, voor de vestiging van tuinbouw, dient bij de afweging van de kansen op schadelijke nachtvorsten met het bovenstaande rekening te worden gehouden.

5. Het aanplanten van voor nachtvorst gevoelige cultures in de onmiddellijke nabijheid van uitgestrekt grasland is in het algemeen niet aan te bevelen met het oog op het uitvloeiën van koude lucht, die in rustige stralingsnachten boven grasland ontstaat.

6. SCHADE AAN KLEINFRUITGEWASSEN DOOR NACHTVORST

In hoofdstuk I is er reeds op gewezen, dat het beeld van de schade aan gewassen door nachtvorst in een reeks van jaren onvoldoende inzicht geeft in de frequentie van nachtvorsten in een zeker gebied, vooral niet als daarnaast onvoldoende gegevens ter beschikking staan over het stadium van ontwikkeling waarin een bepaald gewas zich ten tijde van het optreden van nachtvorst bevond. Treedt immers een temperatuur beneden het vriespunt op, terwijl het beschouwde gewas te velde zich nog niet in een voor nachtvorst gevoelig stadium bevindt, dan zal daaraan weinig of geen schade worden veroorzaakt. Bovendien zal de kans op schade afhankelijk zijn van de hoogte waarop zich de gevoelige plantendelen bevinden.

Omgekeerd geven de in de hoofdstukken 2 en 3 besproken frequenties van temperaturen beneden het vriespunt evenmin houvast voor het beoordelen van de kans op schade aan bepaalde gewassen door nachtvorst. Bij deze beoordeling dient immers ook het ontwikkelingsstadium van het betrokken gewas in beschouwing te worden genomen, welke ontwikkeling afhangt van het weer in de voorafgaande periode. Fenologische gegevens zijn derhalve in dit verband onontbeerlijk.

Een zwak punt bij deze beschouwingen is het feit, dat niet steeds duidelijk is, wat onder "schade" wordt verstaan. Dit is in bijzonder het geval bij groot fruit. Het bevriezen van een deel van de bloemknoppen van vruchtbomen behoeft geenszins te betekenen, dat een geringere oogst zal worden verkregen. Een kleiner aantal vruchten aan de bomen kan zowel grotere vruchten als een betere kwaliteit van de vruchten tengevolge hebben. Bovendien behoeft maar een betrekkelijk klein aantal bloemen vrucht te zetten om een goede opbrengst te verkrijgen. Bij klein fruit is de situatie wel enigszins anders. Bij bessen kan nachtvorst rui van de trossen veroorzaken, die niet meer kan worden goedgemaakt. Bij aardbeien kan het bevriezen van de eerste bloemen een belangrijke oogstreductie en een lagere geldelijke opbrengst tengevolge hebben. In het algemeen is echter de grootte en de kwaliteit van de oogst tevens afhankelijk van de weersomstandigheden in het overige deel van het groeiseizoen. Daarom kan de geldelijke opbrengst geen criterium zijn voor de mate van schade tengevolge van nachtvorst. Wij stellen daarom in het kader van onze beschouwingen het volgende:

onder schade wordt uitsluitend verstaan de biologische schade, bestaande uit het geheel of gedeeltelijk bevroren zijn van plantedelen.

Voor een gedetailleerde studie van de nachtvorst zouden wij over gegevens van door nachtvorst veroorzaakte schade aan een aantal gewassen in kleine gebieden moeten beschikken. Deze gegevens zijn evenwel slechts sporadisch voorhanden. Bovendien zijn de opgaven niet in alle gebieden volgens dezelfde schaal gedaan. Als regel zijn de gegevens van eenzelfde gebied over een reeks van jaren onderling wel vergelijkbaar, maar die van verschillende gebieden onderling gewoonlijk niet. Zo geeft men in gebieden, waar meestal weinig schade door nachtvorst wordt veroorzaakt deze bij een lager percentage bevroren plantedelen als ernstig aan, als in gebieden waar men geregeld met het verschijnsel nachtvorst geconfronteerd wordt.

In enige Rijkstuinbouwconsulentschappen zijn gedurende een aantal jaren gegevens verzameld over schade aan klein fruit. Deze gegevens werden ons welwillend door de Afdeling Tuinbouw van het Ministerie van Landbouw en Visserij ter beschikking gesteld. Door ons werden de gegevens over schade aan rode en zwarte bes en aardbei van het 20-jarige tijdvak 1939-1958 nader geanalyseerd.

Zoals boven betoogd werd zijn hierbij gegevens over de stadia van ontwikkeling van het gewas onontbeerlijk. Helaas stonden deze ons niet van alle genoemde jaren ter beschikking. Voor zover mogelijk werden de ontbrekende gegevens geschat met behulp van de fenologische gegevens van andere gewassen (zie Fisscher 1964).

Er werd nagegaan, in hoeverre er verband bestaat tussen het schadebeeld en de laagste minimumtemperaturen, die op de normale waarnemingshoogte (in het beschouwde tijdvak 2,20 m), in de voor de verschillende gewassen kritieke fasen van ontwikkeling zijn voorgekomen. In tabel 6.1 is vermeld voor welke gebieden en gewassen het onderzoek is uitgevoerd. Tevens is daarin voor elk gebied vermeld aan welk klimatologisch station de gegevens van de minimumtemperatuur zijn ontleend. Hieruit blijkt, dat niet voor alle gebieden gegevens over de minimumtemperatuur, gemeten in het gebied zelve, ter beschikking stonden. Juist in nachten met weinig wind en weinig bewolking is de minimumtemperatuur sterk afhankelijk van de situatie ter

plaatse. Ook op de normale waarnemingshoogte kan de minimumtemperatuur in dergelijke nachten van plaats tot plaats verschillen. Daarom heeft ook schatting van de minimumtemperatuur voor het betrokken gebied met behulp van isothermenkaartjes weinig zin. Nog moeilijker is uit de minimumtemperatuur op 1,50 m hoogte, die voor 10 cm hoogte af te leiden, zoals wij die voor de lage klein fruitgewassen ter beschikking zouden moeten hebben.

Om deze redenen hebben wij volstaan met de gegevens van de minimumtemperatuur op de normale waarnemingshoogte op het meest nabijgelegen termijnstation van het K.N.M.I.

Voorts is getracht uit de in de loop van de jaren verzamelde fenologische gegevens gemiddelde data van de volle bloei voor de drie in tabel 6.1 genoemde gewassen te berekenen. Dergelijke gegevens stonden echter eerst sinds 1947 ter beschikking. Bovendien bleek voor enige jaren geen gemiddelde datum van de volle bloei van het gewas berekend te kunnen worden wegens het ontbreken van voldoende gegevens.

Tabel 6.1 Gebieden, waarvoor een onderzoek is uitgevoerd naar de relatie tussen schade aan klein fruitgewassen en minimumtemperatuur op 2,20 m hoogte met vermelding van het klimatologisch station, waaraan laatstgenoemde zijn ontleend.

Gebied	Gewas	Klimatologisch station
Bangert	rode bes	Hoorn NH
Kennemerland	aardbei	Hoorn NH
Provincie Utrecht	zwarte bes	De Bilt
Omgeving Geldermalsen	rode bes	De Bilt/Andel
	zwarte bes	
Over-Betuwe (omgeving Kesteren)	rode bes	De Bilt/Wageningen
	zwarte bes	
Zuidholl. Eilanden	aardbei	Naaldwijk
	rode bes	
Westelijk Noord-Brabant	aardbei	Oudenbosch
	rode bes	
	zwarte bes	

Behalve over de gemiddelde datum van de volle bloei zouden wij gaarne over meer informatie omtrent de bloei dienen te beschikken. Dit

geldt met name over de duur van de bloei. Indien de bloei snel verloopt, zodat ten tijde van een nacht met nachtvorst vele bloemknoppen in een gevoelig stadium verkeren, dan zal de biologische schade groot zijn. Verloopt de bloei traag, dan zal dit in mindere mate het geval zijn; het aantal bevroren bloemen in een nachtvorstnacht zal in het algemeen geringer zijn. Bij een langzaam verloop van de bloei is de kans, dat het gewas door nachtvorst schade oploopt, evenwel groter. In dit laatste geval groeien ook de jonge vruchten slechts langzaam uit en blijven daardoor ook langer gevoelig voor schade door nachtvorst.

Al de genoemde gegevens zijn evenwel niet verzameld. In enkele gevallen is wel een grove schatting te maken op grond van de weersomstandigheden in de voorafgaande periode.

In de fig. 6.1, 6.2 en 6.3 zijn achtereenvolgens de mate van schade, de tijdens de bloei laagst gemeten minimumtemperatuur, met datum, alsmede de datum van volle bloei van de drie gewassen, aardbei, rode bes en zwarte bes bijeengebracht.

Het valt op, dat vooral in het tijdvak 1949-1958 schade is veroorzaakt. Dit is in overeenstemming met het feit, dat in deze jaren veelal een lage waarde van de minimumtemperatuur in de kritieke fenologische fasen van de gewassen werd gemeten, vooral in het binnenland. In de kustgebieden was zulks in veel mindere mate het geval. Voor het Deltagebied is dit door Fisscher (1963) nagegaan.

Voorts kan voor de gewassen het volgende worden opgemerkt.

Aardbei

In westelijk Noord-Brabant is in alle gevallen, waarin op het station Oudenbosch een minimumtemperatuur beneden het vriespunt voorkwam, in de fenologische kritieke periode schade aan het gewas gerapporteerd. Er werd evenwel in enige gevallen schade geconstateerd indien tijdens de bloei van het gewas te Oudenbosch geen temperatuur beneden 0°C was voorgekomen. In alle gevallen, dat de laagste minimumtemperatuur in het kritieke tijdvak te Oudenbosch boven 1°C bleef, was geen schade gemeld.

Fig. 6.1. Schade aan aardbeien, vergeleken met de minimum-temperatuur.

Legenda: zie fig. 6.2.

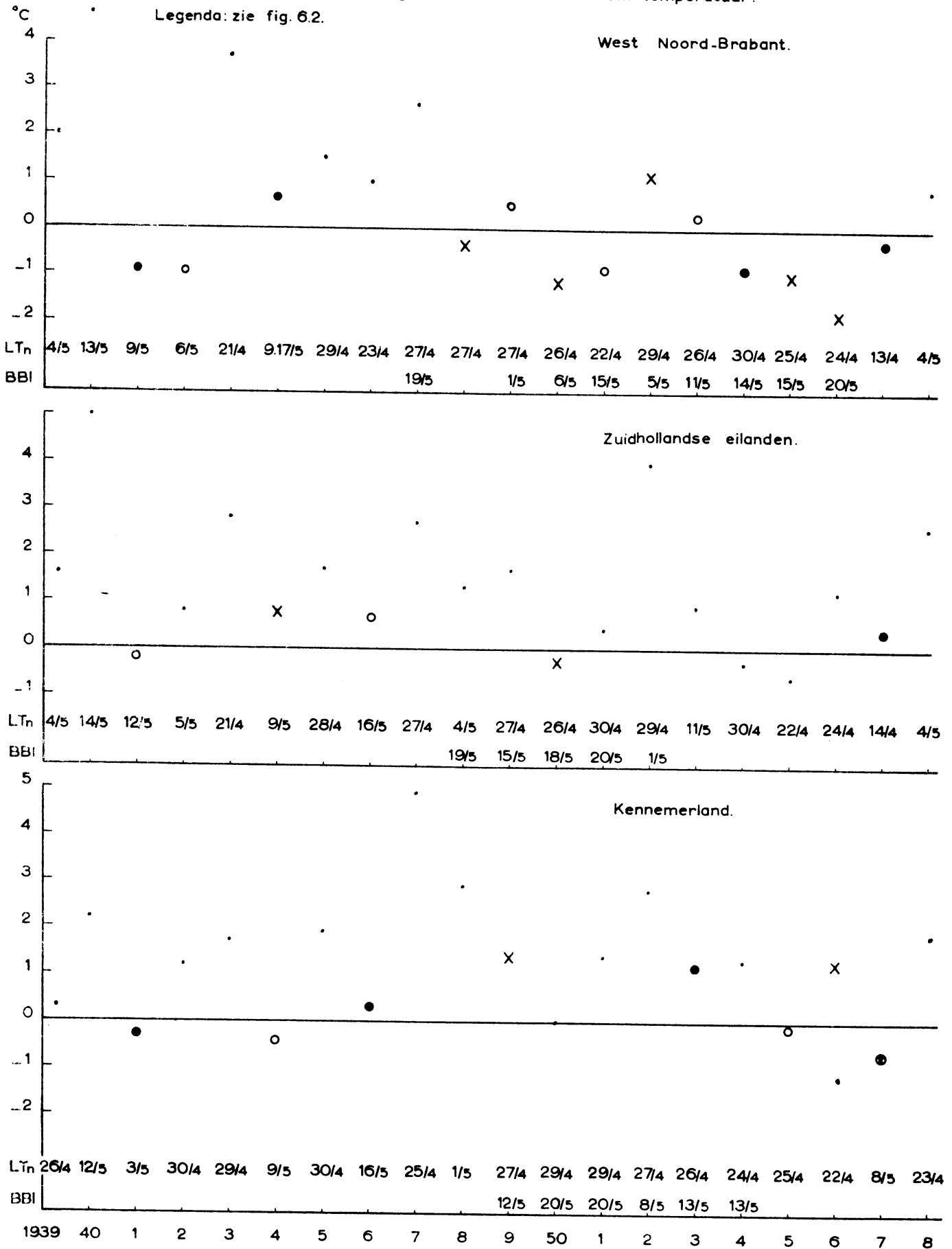


Fig. 6.2. Schade aan de Rode Bes, vergeleken met de minimum-temperatuur.

Legenda: zie volgende blz.

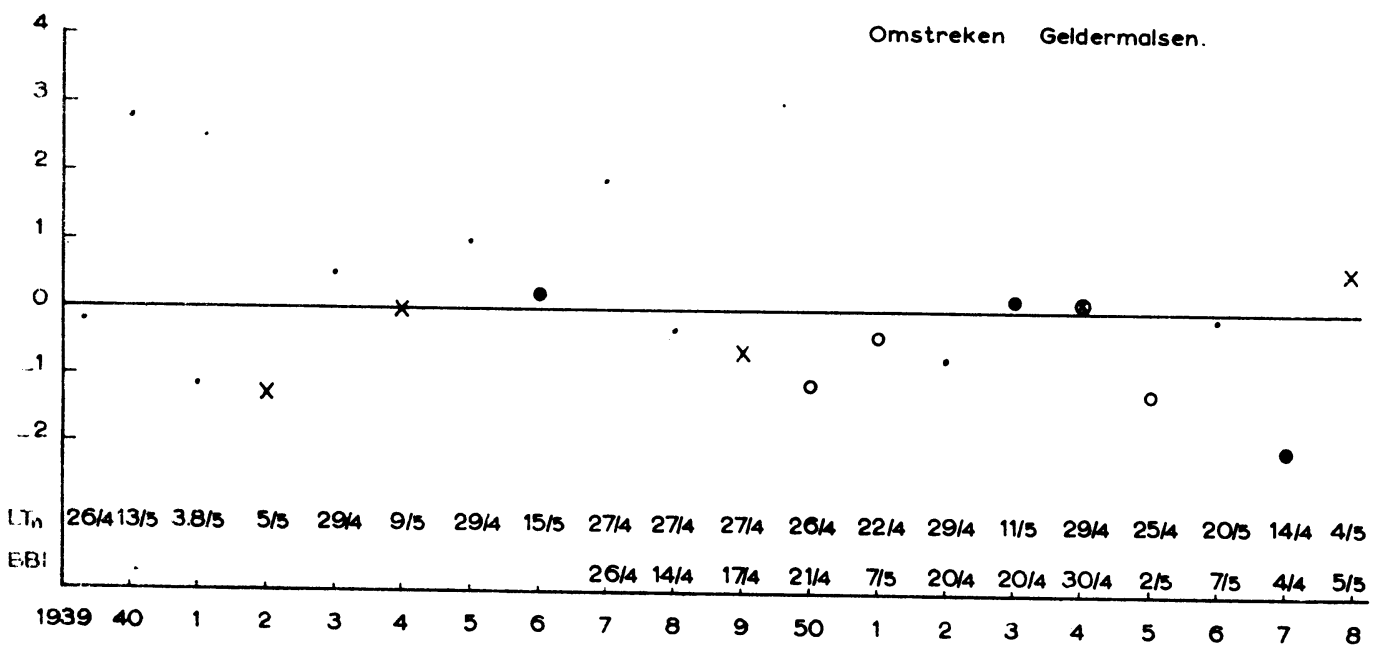
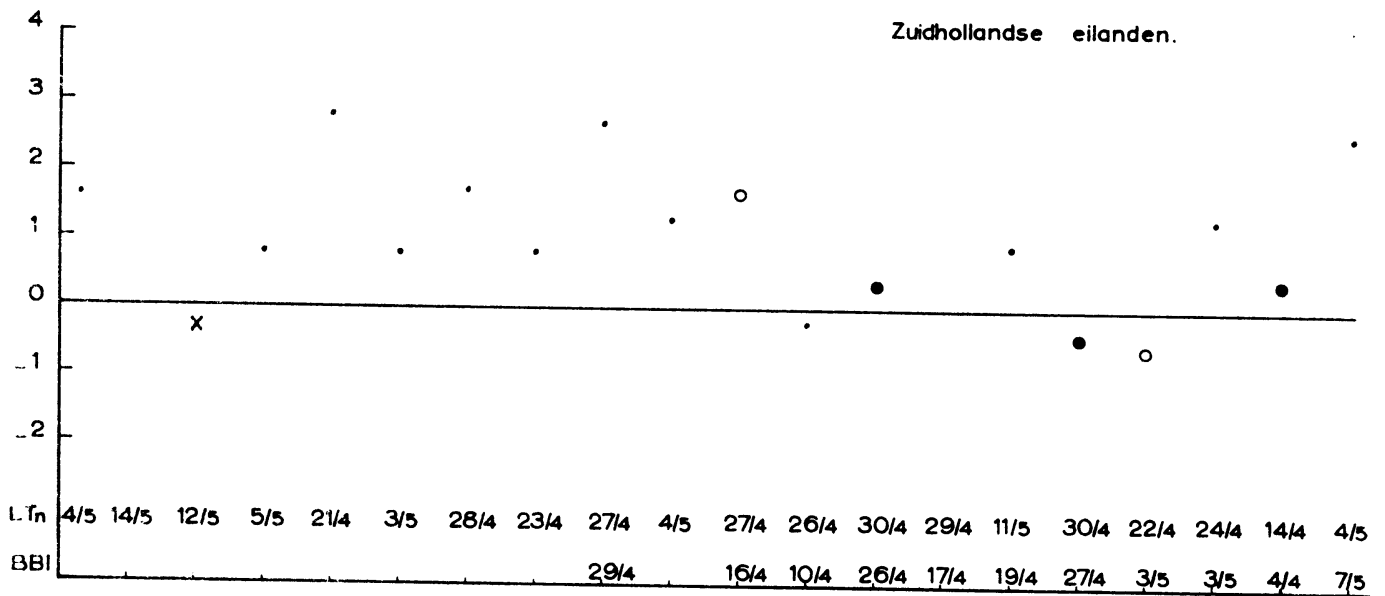
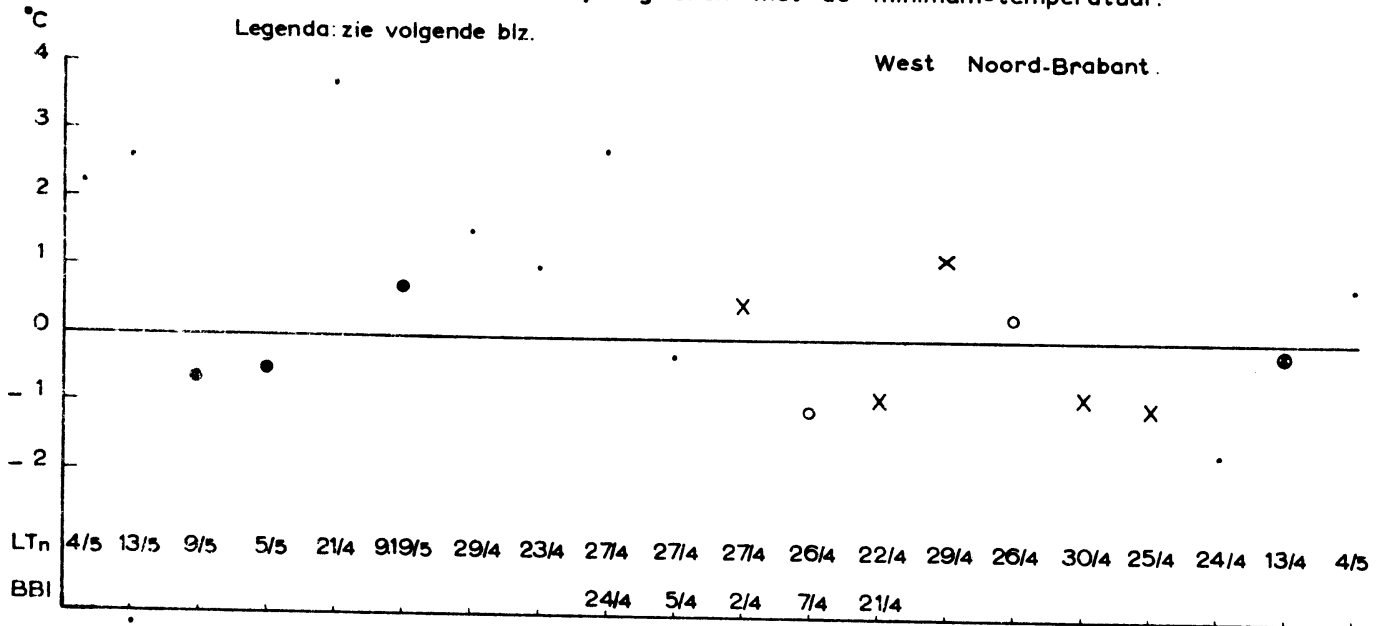
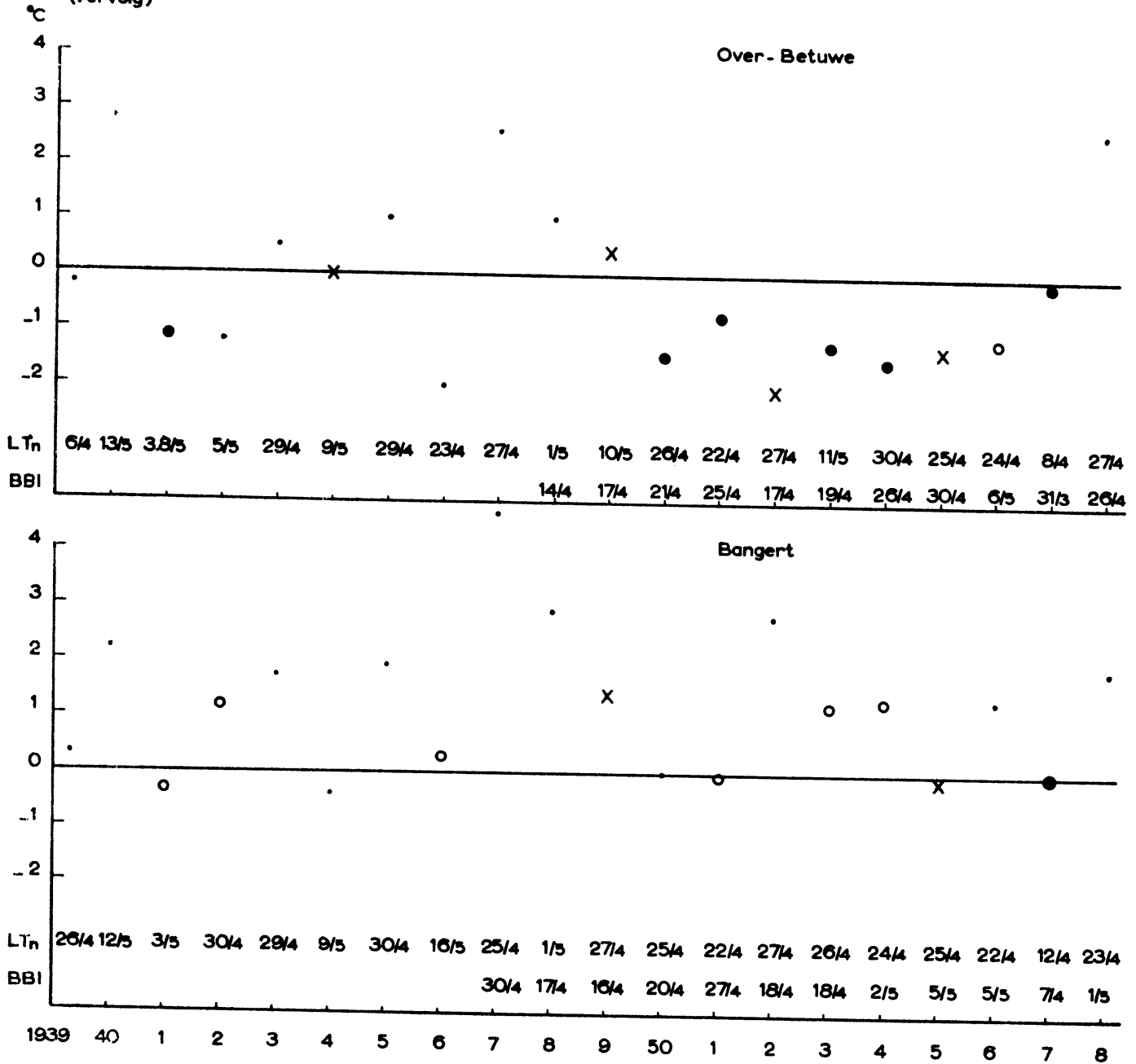


Fig. 6.2. Schade aan de Rode Bes, vergeleken met de minimum-temperatuur.
(vervolg)



- Legenda.
- LTn, datum (data) waarop de laagste minimum-temperatuur werd gemeten.
 - BBI, datum van het begin van de bloei.
 - geen schade
 - lichte schade
 - X plaatselijke schade
 - ernstige schade
 - zware schade

Fig. 6.3. Schade aan de Zwarte Bes, vergeleken met de minimum-temperatuur.
Legenda: zie fig. 6.2.

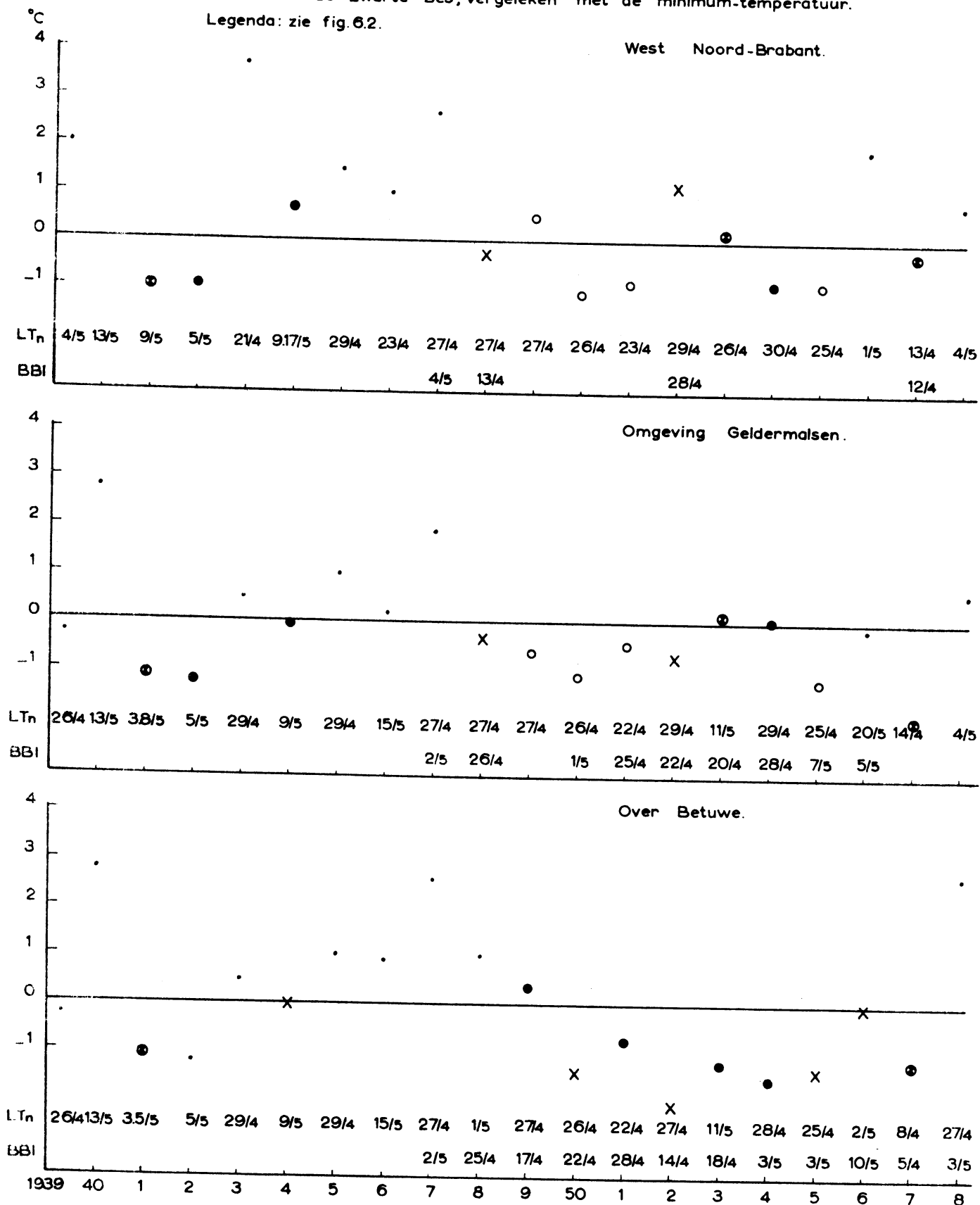
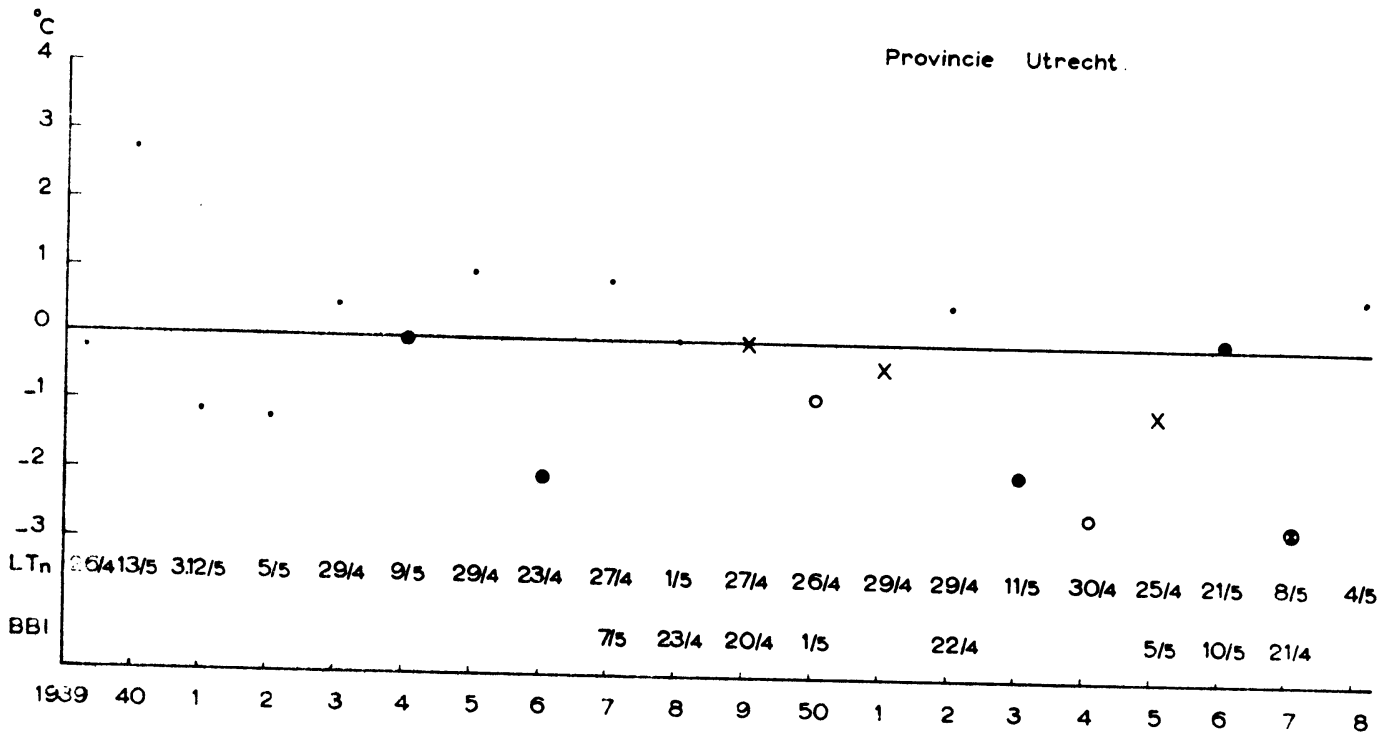


Fig 63. Schade aan de Zwarte Bes, vergeleken met de minimum-temperatuur.
 (vervolg) Legenda: zie fig 6.2.



Op de Zuidhollandse Eilanden is alleen in 1957 ernstige schade gerapporteerd. In een viertal andere jaren was slechts lichte of plaatselijke schade gemeld. In drie gevallen van schade was de minimumtemperatuur te Naaldwijk in het kritieke fenologische tijdvak boven het vriespunt gebleven, in de twee andere gevallen was de temperatuur even beneden 0°C geweest. In twee andere jaren was ondanks een minimumtemperatuur beneden het vriespunt te Naaldwijk geen schade gemeld. Zulks wijst er op, dat de situatie te Naaldwijk vaak afwijkt van die op de Zuidhollandse Eilanden.

Ook in het Kennemerland blijkt de situatie soms af te wijken van die in de omgeving van Hoorn, aan welk station de gegevens over de minimumtemperatuur zijn ontleend. In een drietal gevallen was plaatselijke of ernstige schade gemeld, terwijl de laagst voorgekomen minimumtemperatuur meer dan 1°C was.

De hoogste minimumtemperatuur op het nabijgelegen termijnstation waarbij in enig gebied schade werd gemeld, was $1,3^{\circ}\text{C}$.

Rode bes

Niet in alle gevallen, waarin tijdens de kritieke fenologische periode van dit gewas te Oudenbosch minimumtemperaturen beneden het vriespunt werden genoteerd, werd schade aan het gewas uit westelijk Noord-Brabant gemeld. In een viertal jaren, waarin schade voorkwam, was in de fenologische kritieke fasen van het gewas de minimumtemperatuur tussen $0,3$ en $1,2^{\circ}\text{C}$. Daarentegen werd in een tweetal andere jaren met minima in de kritieke fasen tussen $-0,3$ en $-1,7^{\circ}\text{C}$ te Oudenbosch geen schade uit dit gebied gemeld. In zeven jaren met minima beneden het vriespunt werd wel schade door nachtvorst veroorzaakt. De hoogste minimumtemperatuur op $1,50$ m hoogte, waarbij nog schade werd veroorzaakt, was $1,7^{\circ}\text{C}$.

Op de Zuidhollandse Eilanden werd enige malen ernstige schade gemeld, terwijl de temperatuur op de normale waarnemingshoogte te Naaldwijk in de kritieke fasen van het gewas niet beneden het vriespunt is geweest. In een drietal andere gevallen van plaatselijke of ernstige schade was de temperatuur te Naaldwijk even beneden het vriespunt geweest. In één geval werd lichte schade gemeld bij een laagste temperatuur te Naaldwijk van $1,7^{\circ}\text{C}$. Het is éénmaal voorgekomen, dat bij een temperatuur van $-0,2^{\circ}\text{C}$ te Naaldwijk geen schade werd gerapporteerd.

Hieruit blijkt wel, dat het termijnstation Naaldwijk een voor het gebied van de Zuidhollandse Eilanden weinig representatief station is.

In de omgeving van Geldermalsen was de situatie wat overzichtelijker, alhoewel tot 1949 de temperatuurgegevens van De Bilt in plaats van die van Andel ter vergelijking zijn gebezigd. In een viertal jaren werd evenwel zelfs bij een minimumtemperatuur beneden het vriespunt (waarvan een drietal te Andel) geen schade gemeld.

In de Over-Betuwe was zulks in een drietal jaren het geval, doch dit waren de jaren, waarin slechts de temperatuurgegevens van De Bilt ter beschikking stonden. In dit gebied blijken de jaren 1949 t/m 1957 wel bijzonder slecht voor de rode bes te zijn geweest. Wageningen kan voor de Over-Betuwe wel als representatief worden beschouwd.

In de Bangert wordt in het algemeen slechts lichte schade veroorzaakt door nachtvorst. De zware schade in 1957 is niet in overeenstemming met de geregistreeerde temperatuur. Het is mogelijk, dat het hier in vergelijking tot andere gebieden slechts matige schade betrof. In verband hiermede verwijzen wij naar de opmerkingen aan het begin van dit hoofdstuk.

De hoogste minimumtemperatuur, gemeten op een nabijgelegen termijnstation, waarbij in enig gebied schade aan rode bes werd geconstateerd, was 1,7 °C.

Zwarte bes

Voor westelijk Noord-Brabant is de situatie ongeveer gelijk aan die beschreven voor de rode bes. Hetzelfde kan worden opgemerkt van de omgeving van Geldermalsen. Er dient echter op één verschil te worden gewezen en dat is de schade in 1941, die aan de zwarte bes geheel in overeenstemming is met de toen in de bloeitijd gemeten temperaturen. Van de rode bes werd toen echter geen schade gemeld. Mogelijk is dit een gevolg van een belangrijk verschil in bloeitijd. Gegevens over de bloei van de zwarte bes evenals die van de rode bes uit het jaar 1941 zijn echter niet beschikbaar.

Schade:

Aardbei

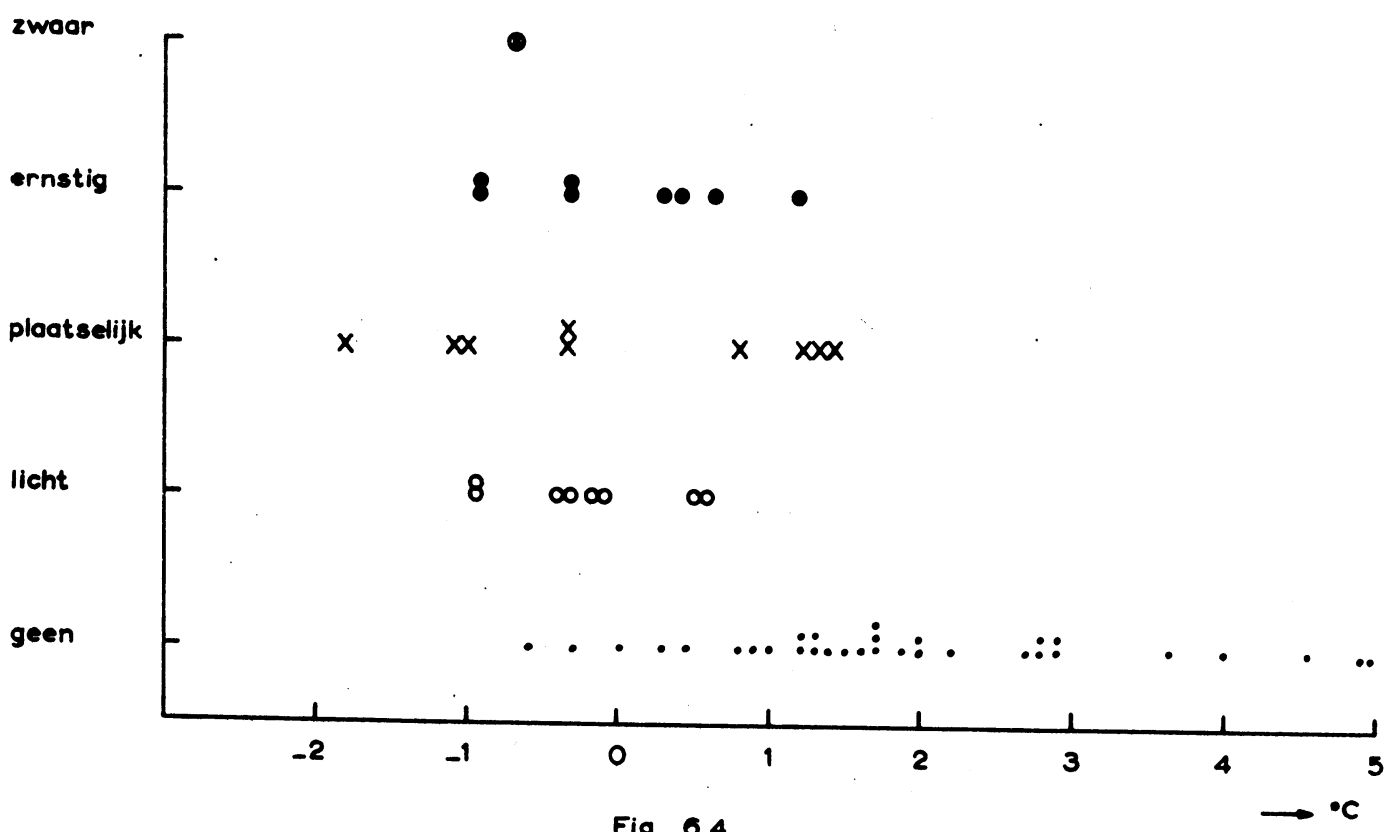


Fig. 6.4.

Schade:

Rode Bes

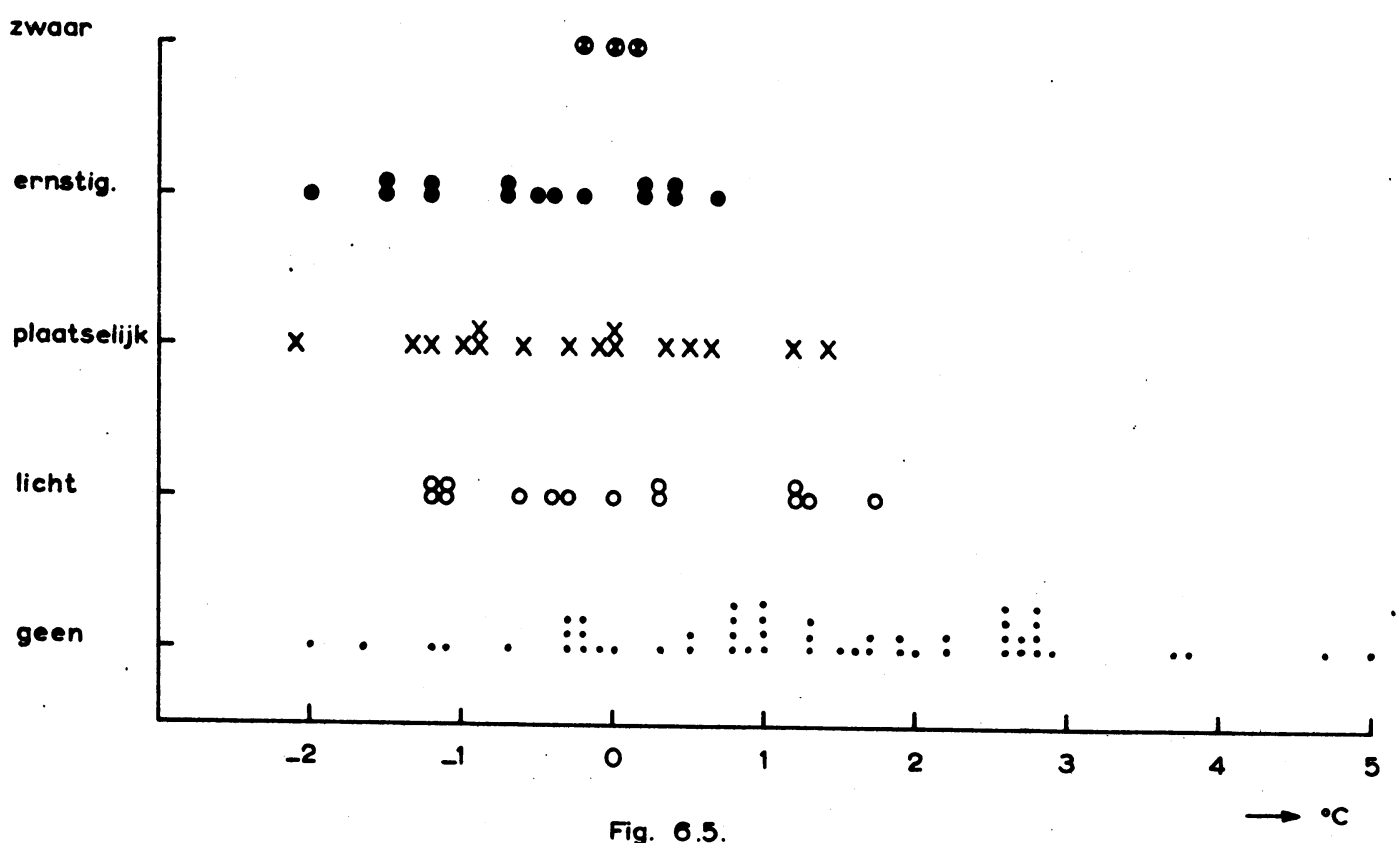


Fig. 6.5.

Relatie tussen schade aan aardbei (fig.6.4.) en rode bes (fig.6.5.) en de laagste minimum-temperatuur tijdens de bloei.

Zwarte Bes

Schade:

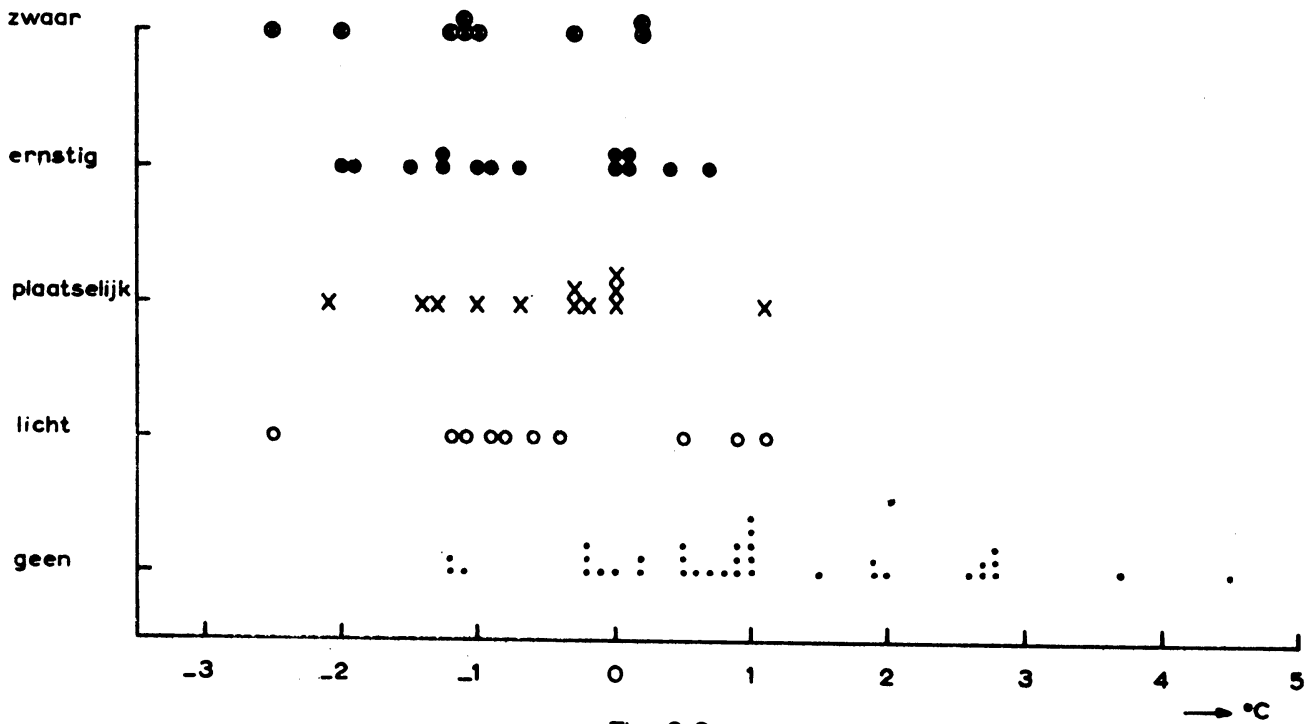


Fig. 6.6.

Relatie tussen schade aan de zwarte bes en de laagste minimum-temperatuur tijdens de bloei.

Voor de Over-Betuwe blijkt ook voor de zwarte bes een vrij goede overeenstemming te bestaan tussen de schade en de in de bloeitijd gemeten laagste minimumtemperaturen, zeker voor de periode na 1946, toen de gegevens van het klimatologisch station Wageningen ter beschikking stonden.

Voor het fruitteeltgebied van de provincie Utrecht blijkt het station De Bilt niet representatief te zijn, gezien het groot aantal jaren met zeer lage minimumtemperaturen tijdens de bloei, waarin geen zware schade en soms zelfs in het geheel geen schade werd gerapporteerd.

De hoogste minimumtemperaturen op 1,50 m hoogte, waarbij nog schade aan zwarte bes in enig gebied werd geconstateerd was $1,2^{\circ}\text{C}$.

Uit de ons bekende gegevens blijkt derhalve, dat bij rode bes bij wat hogere minimumtemperaturen schade gemeld werd dan bij zwarte bes, terwijl dit laatste gewas als gevoeliger voor nachtvorst bekend staat als rode bes.

Vergelijking is evenwel niet goed mogelijk, omdat niet uit alle gebieden van de beide gewassen gegevens over schade bekend zijn. Dit laatste geldt ook voor de aardbei.

Een tweede moeilijkheid vormt het feit, dat niet voor alle gebieden een voor het betrokken gebied "representatief" termijnstation aanwezig was. Wel kan worden geconcludeerd, dat bij minimumtemperaturen $> 2^{\circ}\text{C}$ gemeten op de normale waarnemingshoogte in de meteorologische kooi, mer schade van betekenis aan klein fruitgewassen is geconstateerd. Dit behoeft niet in strijd te zijn met het in hoofdstuk 1 gestelde: dat beneden een luchttemperatuur van 0°C schade aan een gewas kan worden veroorzaakt. Het betreft immers de temperatuur van de omgevende lucht, die in daarvoor gunstige nachten (weinig wind, weinig bewolking) nabij de grond lager is dan op de normale waarnemingshoogte. Uit fig. 4.7 (Hoofdstuk 4) valt af te lezen dat het verschil tussen de minimumtemperatuur op 2,20/1,50 m hoogte en die op 10 cm hoogte kan variëren van 0 tot $6,9^{\circ}\text{C}$ (april I t/m mei I). Dat betekent dus, dat bij temperaturen van 1 à 2°C in de meteorologische kooi schade van betekenis aan gewassen als rode bes en aardbei kan zijn veroorzaakt.

Alhoewel de gegevens over schade aan de drie gewassen niet in een getal-

waarde zijn uitgedrukt, hebben wij deze gegevens toch gebruikt voor het zoeken naar een relatie tussen de mate van schade en de op een nabijgelegen termijnstation gemeten hoogste minimumtemperatuur in de kritieke fase van het gewas. Wij nemen daarbij aan, dat de met licht, matig, enz. aangeduide schade trappen zijn in een schaal.

De beschikbare gegevens zijn aldus samengebracht in de figuren 6.4, 6.5 en 6.6, resp. voor aardbei, rode bes en zwarte bes. Wij zouden verwachten, dat naarmate de laagst gemeten temperatuur lager de schade zwaarder zou zijn. Dit wordt door de figuren allerminst bevestigd. Dit is niet verwonderlijk als wij ons realiseren, dat ook de weersomstandigheden voor en na de nachtvorst mede van invloed zijn op de mate van schade aan het gewas. Bovendien zal de schade van ras tot ras uiteenlopen.

Samenvatting en conclusie

1. Indien in de kritieke periode van ontwikkeling van aardbei, rode bes en zwarte bes de temperatuur niet beneden $1,7^{\circ}\text{C}$ (gemeten in de meteorologische kool) was, is nimmer schade geconstateerd.
2. Wij kunnen derhalve stellen, dat als de temperatuur op de normale waarnemingshoogte niet beneden 2°C daalt, er geen vrees behoeft te bestaan voor schade van betekenis aan aardbei, rode bes en zwarte bes.
3. Voor een dieper gaande studie zal de schade per ras moeten worden beoordeeld.
4. Daarbij zal tevens de temperatuur in het betrokken teeltgebied moeten worden gemeten. Registratie van de temperatuur geniet daarbij de voorkeur, omdat dan tevens kan worden nagegaan, welke de invloed is van de duur van tijdvakken met temperaturen beneden zekere drempelwaarden.

Naschrift

Bij het statistisch onderzoek heb ik medewerking gehad van de heer A. Denkema, die ik hiervoor mijn dank wil betuigen. Voorts ben ik zeer erkentelijk voor de vele waardevolle opmerkingen van de heren Dr. L.J.L. Deij en Dr. C. Levert.

7. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit rapport worden de resultaten behandeld van onderzoeken over de kansen op schade aan gewassen door nachtvorst in het voorjaar.

- 1a. Uit studies van diverse onderzoekers is gebleken, dat schade aan fruitgewassen door nachtvorst kan worden toegebracht, indien de temperatuur van geopende bloemen of jonge vruchtjes gedurende tenminste 30 minuten 1 à 2°C beneden het vriespunt is geweest.
- b. Uit eigen metingen van de temperatuur op 10 cm hoogte is gebleken, dat het verschil in temperatuur tussen een tegen straling afgeschermd thermometer en een onbedekte thermometer in een heldere, windstille nacht tenminste 0,8°C bedraagt.
- c. Voorts is gebleken, dat de temperatuur van een plantedeel gedurende de nacht ten hoogste 2°C lager is dan die van de omringende lucht, zoals die wordt aangewezen door een tegen straling beschermde thermometer.

Uit a en b kan worden afgeleid, dat beneden een luchttemperatuur van 0°C schade aan een gewas kan worden veroorzaakt.

2. Nachtvorst kan als volgt worden omschreven:

Nachtvorst wordt geacht te zijn opgetreden, indien een tegen hemel- en bodemstraling beschermde thermometer op 10 cm boven de grond een minimumtemperatuur T_n beneden het vriespunt heeft aangewezen.

Daarbij is sprake van

lichte nachtvorst bij $0 > T_n > -2^\circ\text{C}$

matige nachtvorst bij $-2 > T_n \geq -4^\circ\text{C}$

zware nachtvorst bij $T_n < -4^\circ\text{C}$

3. Uit de te De Bilt sinds 1916 ononderbroken (behalve in het voorjaar van 1945) metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte kan het volgende worden afgeleid:
 - a. De frequentie van nachtvorsten neemt in de loop van de maanden april en mei niet regelmatig af.
 - b. De frequentie van zware nachtvorsten is in de eerste vijf pentaden van april vrijwel gelijk.
 - c. Met de zesde pentade van april wordt de frequentie van nachtvorsten significant kleiner, vooral die van de zware nachtvorsten.
 - d. In de eerste drie pentaden van mei zijn de aantallen nachten met minimumtemperaturen beneden het vriespunt gemiddeld vrijwel gelijk. Er is geen aanwijzing van een zogenaamde "IJsheiligen".

periode van 11 t/m 13 mei, waarin de kans op nachtvorst groter zou zijn dan direct ervoor of daarna.

e. De frequentieverdelingen van de aantallen nachten per maand met een minimumtemperatuur beneden resp. 0° en -2°C zijn voor april tamelijk vlak (zie resp. de figuren 2.3 en 2.4).

f. Voor de maand mei blijken de frequentieverdelingen van het aantal nachten per maand met een minimumtemperatuur van resp. 0 en 2°C een duidelijke top te hebben. Zij kunnen mathematisch door een binominale verdeling worden voorgesteld (zie resp. de figuren 2.5 en 2.6).

g. De "overall"-kans op het voorkomen van dagen met een minimumtemperatuur T_{n10} beneden 0°C , ongeacht het al dan niet aanwezig zijn van persistentie, bedraagt voor april: 0,29, voor mei: 0,12; de "overall"-kans op een dag met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is voor april: 0,13, voor mei: 0,04.

h. Nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ plegen vaak in reeksen voor te komen (zie tabellen 2.10 t/m 2.13). De kans op tenminste één nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, nadat direct daaraan voorafgaand reeds tenminste één nacht met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ is voorgekomen, bedraagt

voor april: 0,49, voor mei: 0,44

De kans op tenminste één nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$, nadat direct daaraan voorafgaand reeds tenminste één nacht met $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is voorgekomen, bedraagt voor april: 0,42, voor mei: 0,29

i. De kans op nog meer nachten met $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ of $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ neemt toe, naarmate reeds meer achtereenvolgende nachten met tenminste deze minimumtemperaturen zijn vooraf gegaan.

4. Van 1951 t/m 1954 zijn op een groot aantal plaatsen in het land metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte verricht (zie fig. 2.7). Hieruit kon het volgende worden afgeleid.

a. De gebieden, waar de gemiddelde minimumtemperatuur significant lager is dan daar rondom, blijken de volgende te zijn:

het gebied rond Giethoorn met voornamelijk grasland;

de IJsselstreek met veel boomgaarden en grasland;

de omgeving van De Bilt, voornamelijk ten oosten daarvan;

het midden van Noord-Brabant;

een smalle strook achter de hoge duinen in Noord-Holland

(zie fig. 2.8 t/m 2.13).

b. Voorts blijken de procentuele aantallen nachten per decade met een minimumtemperatuur beneden 0°C van plaats tot plaats sterk uiteen te kunnen lopen. De verschillen treden duidelijker aan de dag met het voortschrijden van het seizoen.

De plaatsen met gemiddeld een groot aantal nachten met minimumtemperaturen beneden 0°C zijn Witteveen, Giethoorn, De Bilt en die in de IJsselstreek. In de tweede decade van april kunnen hiertoe ook een aantal plaatsen in het midden van Noord-Brabant worden gerekend.

In de derde decade van april voegen zich hierbij de noordoostelijke strook van de N.O.-Polder, Breedenbroek, Goirle, Wellerlooi en Castricum. In de eerste decade van mei hebben Hatert, Wellerlooi, Witteveen, De Bilt, plaatsen nabij Blankenham in de N-O.-Polder en in de IJsselstreek een bijzonder groot aantal nachten met minima beneden 0°C . In de tweede decade van mei is dat alleen nog in Witteveen, Giethoorn en Terwolde het geval. In de derde decade van mei zijn de onderlinge verschillen gering geworden (zie figuren 2.14 t/m 2.18).

a. De lengte van de reeksen van gegevens van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte bleek echter onvoldoende om de nachtvorstkansen in de onderscheiden gebieden tegen elkaar te kunnen afwegen. Dit is alleen mogelijk, indien de metingen op een vrij groot aantal plaatsen gedurende een langere reeks van jaren worden voortgezet.

5. Op de normale waarnemingshoogte (2,20 m) beschikken wij over langere reeksen van minimumtemperaturen. Aangezien deze gegevens o.i. waardevol zijn bij de planning van nieuwe gebieden voor de teelt van groot fruit, zijn ook deze bewerkt. Hiervoor zijn gebezigd de waarnemingsresultaten van een 22-tal termijnstations van de jaren 1947-1961 (zie figuur 3.1).

a. Voor ieder van de stations werden de cumulatieve frequentieverdelingen van de minimumtemperaturen beneden 2°C bepaald voor ieder van de drie decaden van de maanden april en mei afzonderlijk (zie tabel 3.1 figuur 3.8). Hieruit valt duidelijk de invloed van het water van de Noordzee en van het IJsselmeer af te leiden. De kans op nachtvorsten is het grootst in Drente, in het zuid-oosten van Groningen en in de Achterhoek. Een duidelijk beeld van het gemiddeld aantal dagen met een minimumtemperatuur beneden 0° , resp. 2°C geven de figuren 3.9 en 3.10 voor april en de figuren 3.11 en 3.12 voor mei.

b. De aantallen nachten met een minimumtemperatuur beneden 2°C zijn per station gesommeerd over de drie decaden van april en de eerste van mei. Het was mogelijk de stations in een zestal homogene groepen in te delen. Bijna de helft van de stations blijkt dan een tussen positie in te nemen (zie tabel 3.3.).

- c. Voor de grens van 0°C zijn een negental groepen van stations gevormd. Voor deze grens variëren de aantallen nachten met $T_{n220} < 0^{\circ}\text{C}$ sterker (zie tabel 3.4).
6. Bij de beoordeling van een gebied met betrekking tot het voorkomen van nachtvorst, dient bij beschouwing van de frequenties van minimumtemperaturen op de normale waarnemingshoogte, tevens rekening te worden gehouden met de algemene situatie in dat gebied, zoals de algemeen voorkomende grondbedekking, de aanwezigheid van wateroppervlakken, de orografische gesteldheid, enz. In gebieden met overwegend grasland b.v. moet in het algemeen op wat lagere temperaturen 's nachts worden gerekend dan blijkt uit het op grond van de metingen op de termijnstations verkregen isothermenpatroon.
 7. Uit vergelijkende metingen te De Bilt is gebleken, dat bij volledig bedekte hemel het verschil in aanwijzing tussen een thermometer op 10 cm hoogte boven onbegroeide grond en een op dezelfde hoogte boven een grasdek gering is. Bij weinig bewolking en weinig wind is de minimumtemperatuur boven onbegroeide grond gemiddeld $1,2^{\circ}\text{C}$ hoger dan die boven een grasdek; onder extreme omstandigheden kan dit verschil tot 3°C oplopen.
 8. Uit de landelijke metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte kan het volgende met betrekking tot de invloed van de bodembedekking worden afgeleid:
 - a. Tijdens nachten met weinig wind en weinig bewolking is de gemiddelde waarde van de minimumtemperatuur boven onbegroeide grond of een grond met een zeer jong tuinbouwgewas 1°C hoger dan die boven een gesloten grasdek; onder extreme omstandigheden kan het verschil 4°C bedragen.
 - b. Het verschil in minimumtemperatuur in een boomgaard met een grasdek, en in een boomgaard, waar de grond onbegroeid wordt gehouden, is in het algemeen kleiner dan 1°C . In een oudere halfstamboomgaard, waarin derhalve de effectieve uitstraling van de bodem gering is, speelt het al of niet aanwezig zijn van een grasmat slechts een ondergeschikte rol.
 - c. Het aanplanten van voor nachtvorst gevoelige cultures in de onmiddellijke nabijheid van uitgestrekte percelen grasland is in het algemeen niet aan te bevelen met het oog op het uitvloeien van koude lucht, die in heldere windstille nachten boven grasland ontstaat.

9. In de maanden april en mei (1946 t/m 1960) deden zich bij een windsnelheid $\bar{v} \leq 2,5$ m/s vrijwel alle gevallen van een waarde $\Delta T_n (= T_{n220} - T_{n10}) \geq 4,0^\circ\text{C}$ voor indien tevens de bedekkingsgraad van de hemel $\bar{N} \leq 4$ was. (zie tabel 4.7)
10. Voor een achttal hoofdcirculatietypen volgens Hess en Brezowsky werden regressievergelijkingen afgeleid tussen de minimumtemperatuur op 2,20 m en 10 cm hoogte. Hierbij werd het waarnemingsmateriaal tevens gesplitst naar de gemiddelde windsnelheid gedurende de nacht. Het is daarbij gebleken, dat, voor zover $\bar{v} < 3,5$ m/s de regressievergelijkingen voor de acht circulatietypen niet significant van elkaar verschillen.
11. Voor alle gevallen in april, waarbij $\bar{v} < 3,5$ m/s, dus onafhankelijk van het circulatietype, is de regressievergelijking:
$$\hat{y} = 1,11 x - 2,74 \pm 1,39^\circ\text{C} \text{ (zie fig. 4.10)}$$
Deze regressiefunctie kan als lineair worden beschouwd.
12. Indien wij alleen die gegevens beschouwen, waarbij gedurende de nacht de gemiddelde windsnelheid $\bar{v} < 3,5$ m/s, en bovendien de gemiddelde bedekkingsgraad van de hemel $\bar{N} < 5$ is, dan blijkt bij een algemene luchtcirculatie uit W, NW, N, NO en O de regressievergelijking te zijn:
$$\hat{y} = 1,07 x - 2,98 \pm 0,95^\circ\text{C}.$$
Ook deze regressiefunctie bleek lineair te zijn. Het bleek echter tevens, dat deze vergelijking niet significant afwijkt van die voor het gehele materiaal voor zover de windsnelheid $\bar{v} < 3,5$ m/s was.
13. Omdat in het kader van deze verhandeling de temperaturen beneden 2°C van het meeste belang zijn, is afzonderlijk nagegaan, welke regressie er bestaat tussen de minima op de beide hoogten, indien dus $\bar{v} < 3,5$ m/s, $\bar{N} < 5$ bij de circulatietypen W, NW, N, NO en O, eveneens alleen voor april. In dit geval luidt de regressievergelijking:
$$\hat{y} = 1,21 x - 2,99 \pm 1,54^\circ\text{C}.$$
Deze regressiefunctie blijkt wel significant van die voor het gehele waarnemingsmateriaal af te wijken. Voor zover bij de circulatietypen W, NW, N, NO en O de gemiddelde windsnelheid $\bar{v} < 3,5$ m/s en de gemiddelde bedekkingsgraad van de hemel $\bar{N} < 5$ is, zal bij een bepaalde $x_0 (= T_{n220}) \leq 2^\circ\text{C}$ gemiddeld in 95% van de gevallen de feitelijke bij x_0 gemeten $y (= T_{n10})$ in het interval $(1,07 T_{n220} - 2,98) \pm 1,54$ liggen.

14. Voor de maand mei bleken de regressievergelijkingen voor alle circulatietypen waarbij tevens $\bar{v} < 3,5$ m/s was niet significant van elkaar te verschillen.

De regressievergelijking voor alle gegevens, waarbij $\bar{v} < 3,5$ m/s luidt

$$\bar{y} = 1,19 x - 3,63 \pm 0,70^{\circ}\text{C}.$$

Voor zover in mei de gemiddelde windsnelheid $\bar{v} < 3,5$ m/s gedurende de nacht zal bij een bepaalde $x_0 (= T_{n220})$ in gemiddeld 95% van de gevallen de feitelijke bij x_0 gemeten $y (= T_{n10})$ zich bevinden in het interval $(1,19 T_{n220} - 3,63) \pm 1,40$.

15. De resultaten van metingen van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte met een verdicht waarnemingsnet in een gebied, waar herverkaveling zal plaats vinden gepaard gaande met cultuurtechnische werkzaamheden, zullen in het algemeen niet gelden voor de situatie na de ingreep.
16. Op korte termijn kunnen meer inlichtingen worden verkregen over de situatie met betrekking tot het voorkomen van nachtvorst in bepaalde gebieden door in daarvoor geschikte nachten tochten te maken tijdens welke de temperatuur naast die op een vast punt wordt geregistreerd.
17. Mede gelet op de in vele gebieden van ons land vrij geringe frequentie van nachtvorst in het voorjaar, is nachtvorstbestrijding zeker bij groot fruit, een kostbare zaak. Het is dus alleszins verantwoord te zoeken naar rassen van fruitgewassen e.a., die of meer resistent zijn tegen nachtvorst of een wat latere ontwikkeling hebben in het voorjaar. Ook het zoeken naar middelen, die de resistentie kunnen vergroten, verdient sterk de aandacht.
18. Het onderzoek naar de relatie tussen de minimumtemperatuur en de biologische schade tengevolge van nachtvorst zou met meer vrucht verricht zijn, indien voldoende objectieve informatie ter beschikking zou zijn geweest. Het verdient daarom aanbeveling naast fenologische gegevens ook die over biologische schade door nachtvorst op een aantal plaatsen in ons land systematisch vast te leggen.

SUMMARY, CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This paper gives the results of investigations into the risk of damage to crops caused by ground frost in spring.

- 1a. Studies by various investigators show that ground frost may damage fruit crops if the temperature of the open flowers and young fruits falls to 1°C or 2°C below freezing point and remains there for at least 30 minutes.
- b. The author's records of temperatures 10 cm above the ground show that the difference between simultaneous readings from a shielded and an unshielded thermometer on a clear calm night was at least 0.8°C .
- c. The temperature of part of a plant during the night was not more than 2°C lower than that of the surrounding air read from a shielded thermometer.

It is evident from a and b that crops may be damaged by ground frost if the temperature of the air falls below freezing point.

2. Ground frost is deemed to have occurred when the minimum temperature 10 cm above the ground and read from a thermometer protected against sky and ground radiation was $T_n < 0^{\circ}\text{C}$.

We speak of

slight ground frost if $0 > T_n > -2^{\circ}\text{C}$;

moderate ground frost if $-2 > T_n > -4^{\circ}\text{C}$;

severe ground frost if $T_n < -4^{\circ}\text{C}$.

3. Minimum temperatures 10 cm above the ground have been recorded at De Bilt since 1916 without a break. (except in the spring of 1945) The data were analyzed statistically. Several conclusions can be drawn. It is shown:

- a. that the frequency with which ground frost occurs does not decrease uniformly as the months of April and May pass;

- b. that the frequency with which severe ground frost occurs is practically constant in the first five pentads of April;

- c. that from the sixth pentad of April, the frequency with which ground frost, especially severe ground frost, occurs decreases markedly;

- d. that in the first three pentads of May the frequency with which nights with minimum temperatures below freezing point occur is virtually constant;

- e. that the frequency distributions of nights in April with minimum temperatures below 0°C and -2°C respectively, are fairly flat (vide figures 2.3 and 2.4);
- f. that the frequency distributions of nights in May with minimum temperatures below 0°C and -2°C , respectively, reach a definite peak. They can be expressed mathematically as a binominal distribution (vide figures 2.5 and 2.6);

g. that the "overall" probability of the occurrence of nights with a minimum temperature $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$, whether there is persistence or not, is

0.29 for April	0.12 for May
----------------	--------------

The "overall" probability of the occurrence of nights with a minimum temperature $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is

0.13 for April	0.04 for May
----------------	--------------

h. that nights with temperature $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ usually occur in series (vide tables 2.10 to 2.13).

The probability of the occurrence of at least one night with temperature $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ immediately following a night with minimum temperature $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ is

0.49 for April	0.44 for May
----------------	--------------

The probability of the occurrence of at least one night with minimum temperature $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ immediately following a night with minimum temperature $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ is

0.42 for April	0.29 for May
----------------	--------------

i. that the probability of the occurrence of a number of nights with minimum temperature $T_{n10} < 0^{\circ}\text{C}$ or $T_{n10} < -2^{\circ}\text{C}$ increases as the number of successive nights with at least these minimum temperatures preceding them becomes greater.

4. Minimum temperatures at 10 cm were recorded at a great number of places in the years 1951 to 1954 (vide figure 2.7. The mean data per decade are plotted in the figures 2.8 up to 2.13. It is evident from these figures:

- a. that the regions having mean minimum temperatures significantly lower than those in the neighbourhood are:
- the surroundings of Giethoorn, consisting mainly of pasture;
 - the IJssel area, with its many orchards and pastures;
 - the surroundings of De Bilt, chiefly the eastern part;

the centre of the province of Noord-Brabant;
a narrow strip behind the high dunes in the province of Noord-Holland.
b. that the percentage of nights per decade with minimum temperatures below 0°C may vary greatly from place to place. The differences become more marked as the season progresses. The places with high average numbers of nights with minimum temperatures below 0°C are Witteveen, Giethoorn, De Bilt, and those in the IJssel area. In the second decade of April a number of places in the centre of the province of Noord-Brabant may also be regarded as belonging to this group. In the third decade of April the north easterly strip of the Noord-oostpolder, Breedenbroek, Goirle, Wellerlooi and Castricum join this group.

In the first decade of May, Hatert, Wellerlooi, Witteveen, De Bilt, places in the Noordoostpolder near Blankenham and those in the IJssel area have an exceedingly great number of nights with minimum temperatures below 0°C . In the second decade this is only the case in Witteveen, Giethoorn en Terwolde. In the third decade of May there are no significant differences (vide figures 2.14 to 2.18).

c. that the runs of minimum temperatures at 10 cm are too short to enable the probabilities of occurrence in the different areas to be weighed against each other. This can only be done if recordings at a great number of places over a great number of years are available.

5. We have long series of minimum temperature readings taken in the Stevenson screen at a height of 2.20 m/1.50 m. Since we believe they are of great value in planning new areas for fruit growing, they have also been analysed. The recordings at 22 second-order stations between 1947 and 1961 have been used for the purpose (vide figure 3.1).

a. The cumulative frequency distributions of minimum temperatures below 2°C for each place have been worked out for each of the three decades in April and May separately (vide tables 3.1 and figure 3.8). The influence of the North Sea and Lake IJssel is abundantly clear. The probability of the occurrence of ground frosts is greatest in the province of Drente, in the south eastern part of the province of Groningen and in the Achterhoek.

A clear picture of the average numbers of days with minimum temperatures below 0° and 2°C , respectively, is shown in figures 3.9 and 3.10 for April and in figures 3.11 and 3.12 for May.

- b. The numbers of nights with minimum temperatures below 2°C in the three decades in April and the first decade in May have been totalled for each of the stations.
- The stations are seen to fall into six homogeneous groups (vide table 3.3). Nearly half of them are in the central groups.
- c. There are nine groups of stations if 0°C is taken as the limit; the number of nights with minimum temperature $T_{n220} < 0^{\circ}\text{C}$ varies more widely (vide table 3.4).
6. The general situation in an area, such as the general soil cover, the presence of water surfaces, its orographical condition, must be taken into account when assessing it for the occurrence of ground frost by means of minimum temperatures at the usual measuring height. Temperatures during the night in areas covered mainly with pastures will be somewhat lower than those deduced from measurements at adjacent second order stations.
7. Comparative recordings at De Bilt show that the difference between thermometer readings 10 cm above bare soil and at that height above grass is very small during nights when the sky is overcast. During clear calm nights the minimum temperature above bare soil is 1.2°C higher on average than that above grass; in extreme circumstances the difference in temperature may be as much as 3°C .
8. The following information on the influence of soil cover on minimum temperatures can be culled from minimum temperature recordings at 10 cm at other places in The Netherlands.
- a. On calm, clear nights the average minimum temperature above bare soil or soil covered with a very young horticultural crop is 1°C higher than that above soil with a dense grass cover; in extreme circumstances the difference in temperature may be as much as 4°C .
- b. As a rule, the difference between the minimum temperature in an orchard with grass-covered soil and that in an orchard with bare soil is less than 1°C . In an old, half-standard orchard with only slight effective ground radiation the presence or not of a grass cover has only a slight effect on minimum temperatures.
- c. Broadly speaking, growing crops sensitive to ground frost close to extensive pasture is not recommended, because the cold air hanging over pastures on calm, clear nights might flow over them.

9. In April and May nearly all the values of $\Delta T_n (= T_{n220} - N_{n10}) \gg 4.0^\circ\text{C}$ at wind speeds of $\bar{v} < 2.5$ m/s were recorded when the mean cloud cover $\bar{N} < 4$ (vide table 4.7).
10. Regression equations for eight main air circulation types according to Hess and Brezowsky were drawn up between minimum temperatures at 2.20 m and those at 10 cm. The minimum temperature data were also grouped according to the main wind speed during the night. There is no significant difference between the regression equations when $\bar{v} < 3.5$ m/s.
11. For all the cases in April in which $\bar{v} < 3.5$ m/s i.e. ignoring the type of air circulation, the regression equation between minimum temperatures (x) at 2.20 m and that at 10 cm (y) is
- $$\hat{y} = 1.11 x - 2.74 \pm 1.39^\circ\text{C} \text{ (vide figure 4.10)}$$
- This regression function may be regarded as linear.
12. If we consider only the minimum night temperature data for which $\bar{v} < 3.5$ m/s and $\bar{N} < 5$, the regression equation for air circulation from W, NW, N, NE and E is found to be
- $$\hat{y} = 1.07 x - 2.98 \pm 0.95^\circ\text{C}$$
- This regression function too, may be regarded as linear. Again, there is no significant difference between the equations when $\bar{v} < 3.5$ m/s.
13. Minimum temperatures below 2°C are what we are chiefly concerned with in this paper. Therefore the regression equation was drawn up for air circulation types W, NW, N, NE and E (again only for the month of April) using the minimum temperature data for nights in which $\bar{v} < 3.5$ m/s and $\bar{N} < 5$, it is
- $$\hat{y} = 1.21 x - 2.99 \pm 1.54^\circ\text{C}$$
- This equation is seen to differ significantly from that for the minimum temperature data for all nights in April in which $\bar{v} < 3.5$ m/s and $\bar{N} < 5$.
- When the air circulation is from W, NW, N, NE and E, mean wind speeds $\bar{v} < 3.5$ m/s and $\bar{N} < 5$, the actual value of $y (= T_{n10})$ at a fixed $x_0 (= T_{n220}) < 2^\circ\text{C}$ will lie in the interval $(1.07 T_{n220} - 2.98) \pm 1.54$ in 95% of the cases.

14. The regression equation for May for all circulation types and mean wind speeds during the night $\bar{v} < 3.5$ m/s is

$$\hat{y} = 1.49 x - 3.63 \pm 0.70^{\circ}\text{C}$$

There were no significant differences between the regression equations for the main air circulation types.

When the mean wind speed in May is $\bar{v} < 3.5$ m/s during night the actual value of y ($=T_{n10}$) at x_0 ($=T_{n220}$) will lie in the interval $(1.49 T_{n220} - 3.63) \pm 1.40$ in 95% of the cases.

15. The results of minimum temperature recordings at 10 cm in a dense network of stations in areas in which land is to be reparaelled or reclaimed will be invalid in general after these operations have been carried out.
16. Additional information on the likelihood of ground frost occurring in a certain area can be obtained on calm clear nights by touring the area and taking temperature readings additional to those at fixed spots.
17. The frequency with which ground frost occurs in spring is quite low in many parts of the country, so taking measures to combat ground frost is fairly expensive, especially in orchards.
So it is far better to seek fruit crop varieties that are more resistant to ground frost or that begin to develop somewhat later in the season.
Endeavors should also be made to find ways of increasing the frost resistance of fruit crops.
18. The outcome of research into the relationship between minimum temperature and biological damage caused by ground frost would have been more satisfactory if more copious and more objective information had been available. Hence it is recommended that information on the biological damage caused by ground frost and on the phenological state of crops be recorded systematically at a number of places in the Netherlands.

LITERATUUR

- Anonymus 1938 Die Widerstandsfähigkeit der Obstblüten gegen tiefe Temperaturen
Schweiz.Zs f. Obst-u.Weinb. 47, 224
- Anonymus 1960 Definition of "groundfrost"
Meteor.Mag. 89, 339-340
- Boikoff, D. 1942 Beitrag zum Blühverlauf und Fruchtansatz beim Kernobst unter besonderer Berücksichtigung der Blütenempfindlichkeit gegen Kälte und Nässe
Der Gartenb.w.sch. 16, heft 4 & 5
- Braak, C. 1943 Het klimaat van Nederland B (vervolg)
Grondtemperatuur, minimumtemperatuur nabij de grond en nachtvorst
Meded. en Verh. KNMI, 102, deel 47, 40 blz.
- Champion, D.L. 1936 Spring frost and fruit crops
Meteor. Mag. 7, 129-133
- Champion, D.L. 1946 What is a groundfrost?
Weather, 1, 186-188
- Dixon and Massey 1957 Introduction to statistical Analysis, 2e druk.
- Durand, R. 1962 in: Mitteilungen der Informationsstelle für Frostschutz, no. 8, 33-37
- Durand, R. 1963 Seuils de résistance des poiriers
Phytoma, défense des cultures, Janvier, 15-16
- Fisscher, R.F. 1963 De nachtvorstgevoeligheid van het Deltagebied in verband met de fruitteelt
Verslagen KNMI, V 139, 27 pp
- Fisscher, R.F. 1964 Statistisch onderzoek van veeljarige reeksen fenologische gegevens
Landb.kund. T. 76, 289-299
- de Jonge 1964 Medische Statistiek, 2e druk
- Kemmer, E. & Schulz, F. 1955 Das Frostproblem im Obstbau
Bay. Landw. Verlag, München, 96 pp
- Kramer, C. 1950 Voorlopig verslag over de minimumtemperatuurmetingen in de gemeenten Heemskerk en Beverwijk in verband met de nachtvorstwaarschuwingsdienst, voorjaar 1950
Rapporten KNMI, R IIIA 45, 7 pp

- Lever, C. & de Boer H.J. 1965 Frequentie van k-daagse neerslagsommen op Nederlandse stations Deel 25A
KNMI 140-25A
- Lütze, R. 1960 Unter welchen Bedingungen hebt sich das nächtliche Temperaturminimum von der Bodenoberfläche ab?
Angew. Meteor. 4, 1-10
- Möller, F. 1964 Einige Überlegungen zur Frage des abgehobenen Temperaturminimums bei Nacht
Meteor. Rndsch. 17, 86-89
- Perraudin, G. 1963 Die Frostresistenz verschiedener Obstsorten und Sorten
Schweiz. Zs. f. Obst- und Weinb. 72, 430-432
- Perraudin, G. 1965 Résistance au gel printanier de quelques espèces et variétés fruitières
Réunion des trois pays, Versailles
- Pisek, A. & Schiessl, R. 1946 Die Temperaturbeeinflussbarkeit der Frosthärte von Nadelhölzern an der alpinen Waldgrenze
Ber.Naturw.-med.Ver.Innsbruck, 47, 33
- Primault, B. 1962 Unifions les méthodes de mesures
XVIth Int.Hort.Congress, Brussels, 151-155
- Scharringa, M. 1956 Een onderzoek naar het gedrag van de minimumtemperatuur op 10 cm hoogte boven een kort gehouden grasmat in stralingsnachten op het proefterrein te De Bilt
Verslagen KNMI, V 1
- Scharringa, M. 1958a Een vergelijkend onderzoek naar het optreden van lucht- en grondtemperaturen in Zuidoost Drente in 1957
Verslagen KNMI, V 33, 52 pp
- Scharringa, M. 1958b Een onderzoek naar de minimumtemperaturen op 10 cm hoogte in enkele als nachtvorst gevoelig bekend staande gebieden in Nederland (april, mei en juni 1958)
Verslagen KNMI, V 41, 9 pp
- Scharringa, M. 1964 Temperatuurmetingen aan een jonge vrucht
Verslagen KNMI, V 158, 16 pp

- Schultz, H. 1934 Feststellung der Erntegüte im deutschen Obstbau seit 1880 unter Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse
Landw.sch. Jhrb. 79, H 2
- Sprenger, A.M. 1948 Leerboek der Fruitteelt, Deel I, p 282e.v.
- Till, O. 1956 Über die Frosthärte sommergrüner Laubwälder
Flora, 143, 493
- West, F.L. & 1917 Freezing of fruit buds
Edlefson, N.E. Utah Agr. Exp. Stat.Bull. 151
- Witte, K. 1963 Der Einfluss der Blütenfröste auf den Kernobst-
ertrag
Der Erwerobstb.
- Witterstein, F. 1949 Die Differenz zwischen Hütten- und Erdboden-
minimum
Meteor. Rndsch. 2, 172-174
- Woudenberg, J.P.M. 1946 Nachtvorst en haar bestrijding benevens een ver-
slag van de temperatuurmetingen in 1946
Meded.Dir.Tuinb. 9, 238-251
- Woudenberg, J.P.M. 1947 Verslag van de temperatuurmetingen ten behoeve
van het nachtvorstonderzoek
Rapport KNMI. RIII A11, 5 pp
- Woudenberg, J.P.M. 1949 Verslag van de waarnemingen van de minimumtempe-
ratuur op 10 cm hoogte in 1948
Rapport KNMI, RIII A38, 6 pp
- Woudenberg, J.P.M. 1951a Verslag van de resultaten van de nachtvorstwaar-
schuwingsdienst en de nachtvorstbestrijdings-
proef te Heemskerk in het voorjaar van 1951
Rapport KNMI, RIII A76, 7 pp
- Woudenberg, J.P.M. 1951b Nachtvorst en nachtvorstbestrijding in Kennemer-
land
Meded.Dir.Tuinb. 14, 950-956
- Young, F.D. 1935 Frost and the prevention of frost damage
U.S. Dep.Agr.Farmers'Bull. no 1588, 62 pp
- Zercke, M. & 1961 Über Messungen der nächtlichen Tiefsttemperatur
Rosteck, W. in verschiedenen Höhen der bodennahen Luftschicht
Zs.f. Meteor. 15, 349-350

Appendix I

Onderzoek naar de significantie van de verschillen ΔT_n tussen de dagelijkse minimumtemperatuur, aangewezen door een bedekte (T_{nb}) en een onbedekte thermometer (T_{no}) boven zwarte grond.

In het hiernavolgende zijn in tabelvorm de nulhypotheseën, de toetsingsmethoden en de getrokken conclusies bijeengebracht.

Vraagstelling	Nulhypothese H_0	Basisthesen	Toegepaste toets
Is de wind van invloed indien de bewolking is (8,8,8) (groep A)	$\mu_{IA} = \mu_{IIA} = \mu_{IIIA}$	H^1 : waarden van T_n normaal verdeeld H^{11} : $\sigma^2_{IA} = \sigma^2_{IIA} = \sigma^2_{IIIA}$	variantie-analyse
Is de wind van invloed bij weinig of geen bewolking (groep B)?	$\mu_{IB} = \mu_{IIB}$ $\mu_{IB} = \mu_{IIIB}$ $\mu_{IIB} = \mu_{IIIB}$	H^{11} : waarden van T_n zijn continu verdeeld	Wilcoxon Wilcoxon Wilcoxon
Is de wind van invloed bij bewolkingsgroep C (003) (228)?	$\mu_{IC} = \mu_{IIC} = \mu_{IIIC}$	H^1 : waarden van T_n normaal verdeeld H^{11} : $\sigma^2_{IC} = \sigma^2_{IIC} = \sigma^2_{IIIC}$	variantie-analyse
Is de wind van invloed bij bewolkingsgroep D (033) (288)?	$\mu_{ID} = \mu_{IID}$ $\mu_{ID} = \mu_{IIID}$ $\mu_{IID} = \mu_{IIID}$	H^1 : waarden norm.verd. H^{11} : $\sigma^2_{ID} = \sigma^2_{IID}$ H^{111} : waarden cont.verd. H^1 : waarden norm.verd. H^{111} : $\sigma^2_{IID} = \sigma^2_{IIID}$	Student Wilcoxon Student
Is de wind van invloed bij bewolkingsgroep E (333) (777)?	$\mu_{IE} = \mu_{IIE}$ $\mu_{IE} = \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIE} = \mu_{IIIE}$	H^1 : waarden norm.verd. $\sigma^2_{IE} = \sigma^2_{IIE}$ H^1 : id. $\sigma^2_{IE} = \sigma^2_{IIIE}$ H^1 : id. $\sigma^2_{IIE} = \sigma^2_{IIIE}$	Student Student Student
Is de bewolking van invloed bij zwakke wind ($\bar{v} \leq 3$ m/s)?	$\mu_{IA} = \mu_{IB}$ $\mu_{IA} = \mu_{IC}$ $\mu_{IA} = \mu_{ID}$ $\mu_{IA} = \mu_{IE}$	H^1 : waarden norm.v. H^{11} : $\sigma^2_{IA} = \sigma^2_{IB}$ H^1 : id. H^{11} : $\sigma^2_{IA} = \sigma^2_{IC}$ H^1 : id. H^{11} : $\sigma^2_{IA} = \sigma^2_{ID}$ H^1 : id. H^{11} : $\sigma^2_{IA} = \sigma^2_{IE}$	Student Student Student Student

grootte v.d. steekproef	Toetsingsgroottheid	P_D	H_0 verwerpen? (s.v.p.r. 0,05)	Conclusie
$n_1=32$ $n_2=103$ $n_3=41$	$F = \frac{s_{tuk}^2}{s_{bik}^2} = 1,5$	0,23	neen	Een invloed v.d. wind op de waarde ΔT_n kan bij zware bewolking niet aangetoond worden.
$n_1=26$ $n_2=91$ $n_3=9$	$\tilde{u} = 1,10$ $\tilde{u} = 1,14$ $\tilde{u} = 2,30$	0,27 0,25 0,02	neen neen ja	geen aantoonbare invloed van de wind idem $\mu_{IIB} > \mu_{IIIB}$
$n_1=60$ $n_2=138$ $n_3=16$	$F = \frac{s_{tuk}^2}{s_{bik}^2} = 2,3$	0,10	neen	Een invloed van de wind op de waarde van ΔT_n kan niet aangetoond worden.
$n_1=41$ $n_2=97$ $n_3=23$	$t = -0,40$ $\tilde{u} = 1,27$ $t = 1,63$	0,69 0,20 0,10	neen neen neen	Een invloed van de wind kan niet worden aangetoond.
$n_1=83$ $n_2=192$ $n_3=43$	$t = 0,15$ $t = 2,01$ $t = 2,02$	0,88 0,04 0,04	neen ja ja	Een windinvl. is niet aantoonb. $\mu_{IE} > \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIE} > \mu_{IIIE}$
$n_1=32$ $n_2=26$ $n_1=32$ $n_3=60$ $n_1=32$ $n_4=41$ $n_1=32$ $n_5=83$	$t = -3,79$ $t = -3,70$ $t = -4,35$ $t = -4,39$	0,001 0,001 0,001 0,001	ja ja ja ja	$\mu_{IA} < \mu_{IB}$ $\mu_{IA} < \mu_{IC}$ $\mu_{IA} < \mu_{ID}$ $\mu_{IA} < \mu_{IE}$

Vraagstelling	Nulhypothese H_0	Basisthesen	Toegepaste toets
(vervolg)	$\mu_{IB} = \mu_{IC}$	H''' : waarden continu verdeeld	Wilcoxon
	$\mu_{IB} = \mu_{ID}$	H''' : id.	Wilcoxon
	$\mu_{IB} = \mu_{IE}$	H' : waarden norm.verd. H'' : $\sigma^2_{IB} = \sigma^2_{IE}$	Student
	$\mu_{IC} = \mu_{ID}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IC} = \sigma^2_{ID}$	Student
	$\mu_{IC} = \mu_{IE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IC} = \sigma^2_{IE}$	Student
	$\mu_{ID} = \mu_{IE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{ID} = \sigma^2_{IE}$	Student
Is de bewolking van invloed bij matige wind ($3 < \bar{v} < 6$ m/s)?	$\mu_{IIA} = \mu_{IIB}$	H' : waarden norm.verd.	Student
	$\mu_{IIA} = \mu_{IIB}$	H'' : $\sigma^2_{IIA} = \sigma^2_{IIB}$	Student
	$\mu_{IIA} = \mu_{IIC}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIA} = \sigma^2_{IIC}$	Student
	$\mu_{IIA} = \mu_{IID}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIA} = \sigma^2_{IID}$	Student
	$\mu_{IIA} = \mu_{IIE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIA} = \sigma^2_{IIE}$	Student
	$\mu_{IIB} = \mu_{IIC}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIB} = \sigma^2_{IIC}$	Student
	$\mu_{IIB} = \mu_{IID}$	H''' : waarden cont.verd.	Wilcoxon
	$\mu_{IIB} = \mu_{IIE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIB} = \sigma^2_{IIE}$	Student
	$\mu_{IIC} = \mu_{IID}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIC} = \sigma^2_{IID}$	Student
	$\mu_{IIC} = \mu_{IIE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIC} = \sigma^2_{IIE}$	Student
	$\mu_{IID} = \mu_{IIE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IID} = \sigma^2_{IIE}$	Student

Grootte v.d. Steekproef	Toetsingsgrootte	P_D	H_0 verwerpen? (s.v.pr.0,05)	Conclusie
$n_2=26; n_2=60$	$\tilde{u} = 0,01$	0,99	neen	Invloed v.d. bewolk. op ΔT_n
$n_2=26; n_4=41$	$\tilde{u} = 0,07$	0,57	neen	kan niet worden aangetoond. idem
$n_2=26; n_5=83$	$t = 0,90$	0,37	neen	idem
$n_3=60; n_4=41$	$t = 0,49$	0,62	neen	idem
$n_3=60; n_5=83$	$t = 0,63$	0,53	neen	idem
$n_4=41; n_5=83$	$t = 0,11$	0,91	neen	idem
$n_1=103; n_2=91$	$t = -8,30$	0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IIB}$
$n_1=103; n_3=138$	$t = -8,05$	0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IIC}$
$n_1=103; n_4=97$	$t = -5,78$	0,01	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IID}$
$n_1=103; n_5=192$	$t = -6,20$	0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IIE}$
$n_2=91; n_3=138$	$t = 0,53$	0,60	neen	invloed van de bewolking kan niet worden aangetoond.
$n_2=91; n_4=97$	$\tilde{u} = 2,1$	0,04	ja	$\mu_{IIB} > \mu_{IID}$
$n_2=91; n_5=192$	$t = 3,30$	0,001	ja	$\mu_{IIB} > \mu_{IIE}$
$n_3=138; n_4=97$	$t = 1,31$	0,19	neen	invloed van de bewolking kan niet worden aangetoond.
$n_3=138; n_5=192$	$t = 2,96$	0,004	ja	$\mu_{IIC} > \mu_{IIE}$
$n_4=97; n_5=192$	$t = 1,01$	0,31	neen	invloed van de bewolking kan niet worden aangetoond.

Vraagstelling	Nulhypothese H_0	Basisthesen	Toegepaste toets
Is de bewolking van invloed bij harde wind ($v \geq 6$ m/s)?	$\mu_{IIIA} = \mu_{IIIB}$	H' : waarden norm. verd. H'' : $\sigma^2_{IIIA} = \sigma^2_{IIIB}$	Student
	$\mu_{IIIA} = \mu_{IIIC}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIIA} = \sigma^2_{IIIC}$	Student
	$\mu_{IIIA} = \mu_{IIID}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIIA} = \sigma^2_{IIID}$	Student
	$\mu_{IIIA} = \mu_{IIIE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIIA} = \sigma^2_{IIIE}$	Student
	$\mu_{IIIB} = \mu_{IIIC}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIIB} = \sigma^2_{IIIC}$	Student
	$\mu_{IIIB} = \mu_{IIID}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIIB} = \sigma^2_{IIID}$	Student
	$\mu_{IIIB} = \mu_{IIIE}$	H' : id. H'' : $\sigma^2_{IIIB} = \sigma^2_{IIIE}$	Student
	$\mu_{IIIC} = \mu_{IIID}$	H'' : waarden cont. verdeeld	Wilcoxon
	$\mu_{IIIC} = \mu_{IIIE}$	H'' : id.	Wilcoxon
	$\mu_{IIID} = \mu_{IIIE}$	H' : waarden norm. verd. H'' : $\sigma^2_{IIID} = \sigma^2_{IIIE}$	Student

Grootte van de Steekproef	Toetsingsgroottheid	P_D	H_0 verwerpen? (s.v.pr.0,05)	Conclusie
$n_1=41; n_2=9$	$t = -1,51$	0,14	neen	Invloed van bewolking kon niet worden aangetoond
$n_1=41; n_3=16$	$t = -2,23$	0,03	ja	$\mu_{IIIA} < \mu_{IIIC}$
$n_1=41; n_4=23$	$t = -1,99$	0,05	ja	$\mu_{IIIA} < \mu_{IIID}$ (zwak)
$n_1=41; n_5=43$	$t = -1,88$	0,07	neen	Invloed van bewolking kan niet worden aangetoond
$n_2=9; n_3=16$	$t = -0,23$	0,82	neen	id.
$n_2=9; n_4=23$	$t = -0,04$	0,97	neen	id.
$n_2=9; n_5=43$	$t = 0,23$	0,82	neen	id.
$n_3=16; n_4=41$	$\tilde{u} = 1,56$	0,12	neen	id.
$n_3=16; n_5=43$	$\tilde{u} = 8,00$	0,001	ja	$\mu_{IIIC} > \mu_{IIIE}$
$n_4=41; n_5=43$	$t = 0,38$	0,70	neen	Invloed van bewolking kan niet worden aangetoond.

De nulhypothese H_0 , die de negatie van de vraagstelling zijn, zijn veronderstellingen van de gemiddelden van de kansverdelingen, waartoe de steekproeven behoren.

De bewolkingsgroepen zijn aangeduid met de letters A, B, C, D en E, de windsnelheidsgroepen met I, II en III. Voor bijzonderheden zie hoofdstuk 2.

De veronderstellingen, die gemaakt moeten worden, om H_0 te kunnen toetsen met de nader aangeduide methoden, zijn in de derde kolom vermeld. Hiervan hebben de basisthesen H' betrekking op gelijkheid van varianties. Nadat gebleken was, dat deze niet verworpen behoefde te worden, is H_0 getoetst met de toets van Student. In het andere geval is H_0 getoetst met de toets van Wilcoxon.

De gebruikte symbolen hebben de volgende betekenis:

$F = \frac{s_{tuk}^2}{s_{bik}^2}$ is de verhouding van de varianties van de temperaturen "tussen de kolommen" tot die "binnen de kolommen".

$$\tilde{u} = \frac{|u - E(u)| - \frac{1}{2}}{\sigma\{u\}}$$

u = ongeveer normaal verdeelde toetsingsgrootte van Wilcoxon.

$$E(u) = E(u|H_0)$$

$$\sigma^2\{u\} = \sigma^2\left\{\frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \sqrt{\frac{mn(m+n-2)}{m+n}}\right\}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{m} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_j}{n}$$

$$S_1^2 = \frac{1}{m} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad S_2^2 = \frac{1}{n} \sum (y_j - \bar{y})^2$$

waarbij m en n de grootten van de steekproef.

De waarden van P_D zijn de tweezijdige overschrijdingskansen van de berekende toetsingsgrootheden F , \tilde{u} en t .

H_0 is steeds tweezijdig getoetst, omdat geen der beide alternatieven $\mu_{IB} > \mu_{IIB}$ en $\mu_{IB} < \mu_{IIB}$ enz. uitgesloten wordt geacht.

Indien $P_D < 0,05$, wordt H_0 verworpen, behoudens een onbetrouwbaarheid van ten hoogste 5% (afgekort s.v.pr. 0,05) (fout van de eerste soort).

Appendix II

Toetsing van de homogeniteit van de reeks minimumtemperaturen op 10 cm hoogte, gemeten te De Bilt in de jaren 1916 t/m 1961.

De gemiddelde dagelijkse minimumtemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) was in de maanden april en mei:

jaar	a p r i l		m e i		jaar	a p r i l		m e i	
	T_n	rangnr.	T_n	rangnr.		T_n	rangnr.	T_n	rangnr.
1916	2,5	24	6,0	35½	1939	3,9	36½	4,6	14
17	-0,5	1	6,1	38	40	3,7	33	5,3	23
18	4,1	38½	5,6	27½	41	1,0	11	3,3	1
19	0,4	6½	3,9	7	42	3,2	29½	5,6	27½
20	4,7	43	6,0	35½	43	4,1	38½	5,3	23
21	1,3	12½	4,9	17½	44	3,3	31½	4,0	8
22	0,2	5	3,7	5	46	2,2	20	5,9	33
23	0,4	6½	4,5	12½	47	3,9	36½	8,1	45
24	0,9	10	5,9	33	48	4,7	43	5,4	25
25	0,5	8	5,6	27½	49	4,6	41	5,3	23
26	3,2	29½	3,6	3½	50	2,0	17½	6,1	38
27	2,3	22	3,6	3½	51	0,8	9	5,0	19
28	2,6	26	3,5	2	52	2,2	20	5,6	27½
29	-0,1	3½	4,7	15½	53	2,5	24	5,9	33
30	3,8	34½	5,1	20	54	-0,4	2	5,7	30
31	1,8	16	7,0	43	55	2,2	20	4,3	10
32	2,8	27	6,1	38	56	-0,1	3½	3,8	6
33	2,0	17½	5,2	21	57	2,9	28	4,2	9
34	4,3	40	4,9	17½	58	1,5	14	6,8	42
35	2,5	24	4,4	11	59	3,8	34½	6,5	41
36	1,3	12½	6,2	40	60	3,3	31½	5,8	31
37	5,0	45	7,5	44	61	4,7	43	4,7	15½
38	1,6	15	4,5	12½					

In de tweede kolom staat het rangnummer van de gemiddelde waarde in de reeks van 45 waarden genoteerd.

Wij stellen nu de hypothese H_0 :

De gemiddelde dagelijkse minimumtemperaturen op 10 cm hoogte in de maanden april in de tijdvakken 1916-1930, 1931-1950 en 1951-1961 vormen tezamen een homogene reeks.

Dezelfde hypothese stellen wij voor de maand mei.

Hiertoe gebruiken wij de toets van Kruskal en Wallis:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

waarbij in ons geval $N = 45$

n_i voor de drie tijdvakken resp. 15, 19 en 11

R_i de som van de rangnummers, voor de drie tijdvakken resp.: $270\frac{1}{2}$, 535 en $229\frac{1}{2}$.

Voor april zijn de uitkomsten

$$H = 5,37 \quad \chi^2_{0,95} = 5,99 \quad (v = 2)$$
$$P = 0,07$$

De conclusie is: H_0 niet verwerpen.

Voor mei:

$$H = 2,30 \quad \chi^2_{0,95} = 5,99 \quad (v = 2)$$
$$P = 0,32$$

De conclusie is: H_0 niet verwerpen.

Appendix III

Statistische analyse van frequentieverdelingen van $\Delta T_n = T_{n220} - T_{n10}$, gesplitst in 4 groepen naar de windsnelheid, in 4 groepen naar de bedekkingsgraad van de hemel en in 3 tijdvakken.

Deze groepen zijn als volgt:

A: $\bar{v} \leq 2,4$ m/s

B: $2,5 \leq \bar{v} \leq 4,4$ m/s

C: $4,5 \leq \bar{v} \leq 6,0$ m/s

D: $\bar{v} > 6,0$ m/s

a : N : 0-2

b : N : 3-4

c : N : 5-6

d : N : 7-8

De tijdvakken zijn:

I: april I + april II

II: april III + mei I

III: mei II + mei III

Het materiaal is ontleend aan metingen in de jaren 1946 t/m 1960.

Aangezien enige van de groepen slechts weinig gegevens bevatten, kan de χ^2 -toets niet worden gebruikt. De toets van Smirnov is voor dit doel beter geschikt, en is daarom hier toegepast. De werkwijze is als volgt:

a. Bereken uit de frequenties F_1 en G_1 en de relatieve cumulatieve frequenties F_1/m en G_1/n , waarin m en n de grootten van de steekproeven zijn. (Beter zou zijn te berekenen resp. $(F_1 - 0,3)/(m+0,4)$ en $(G_1 - 0,3)/(n+0,4)$.)

b. Bepaal het maximale verschil $|F_1/m - G_1/n| = D_0$.

c. Toets H_0 : de twee frequentieverdelingen zijn steekproeven uit éénzelfde populatie. H_0 verwerpen, indien $D_0 > 13,6 \sqrt{1/m+1/n} = D_{0,5}$, bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

1. Wij toetsen allereerst de volgende hypothese:

De frequentieverdelingen van ΔT_n bij een bepaalde windsnelheid en in hetzelfde tijdvak, maar bij verschillende bewolkingsgroepen, zijn afkomstig uit dezelfde populatie.

Windgroep A

tijdvak	bewolkings- groepen	m	n	D_0	D_α	H_0 verwerpen?
april I + II	a b	15	5	0,176	0,702	neen
	a c	15	6	0,312	0,657	neen
	a d	15	8	0,330	0,596	neen
	b c	5	6	0,292	0,824	neen
	b d	5	8	0,310	0,775	neen
	c d	6	8	0,183	0,734	neen
april III+mei I	a b	18	13	0,142	0,495	neen
	a c	18	7	0,352	0,605	neen
	a d	18	9	0,295	0,555	neen
	b c	13	7	0,194	0,638	neen
	b d	13	9	0,137	0,590	neen
	c d	7	9	0,287	0,685	neen
mei II+III	a b	14	15	0,123	0,506	neen
	a c	14	10	0,142	0,563	neen
	a d	14	26	0,633	0,452	ja
	b c	15	10	0,173	0,555	neen
	b d	15	26	0,529	0,441	ja
	c d	10	26	0,679	0,506	ja

Windgroep B

bijdvak	bewolkings- groepen	m	n	D_o	D_α	H_o verwerpen?
april I+II	a b	55	29	0,075	0,311	neen
	a c	55	17	0,128	0,377	neen
	a d	55	29	0,585	0,311	ja
	b c	29	17	0,175	0,415	neen
	b d	29	29	0,510	0,358	ja
	c d	17	29	0,515	0,415	ja
april III+mei I	a b	52	19	0,103	0,364	neen
	a c	52	22	0,115	0,345	neen
	a d	52	30	0,380	0,311	ja
	b c	19	22	0,205	0,426	neen
	b d	19	30	0,451	0,398	ja
	c d	22	30	0,330	0,382	neen
mei I + II	a b	38	29	0,085	0,336	neen
	a c	38	32	0,196	0,326	neen
	a d	38	54	0,497	0,288	ja
	b c	29	32	0,281	0,348	neen
	b d	29	54	0,493	0,313	ja
	c d	32	54	0,567	0,303	ja

Windgroep C

april I + II	a b	25	16	0,120	0,435	neen
	a c	25	12	0,127	0,477	neen
	a d	25	19	0,339	0,413	neen
	b c	16	12	0,115	0,520	neen
	b d	16	19	0,377	0,461	neen
	c d	12	19	0,466	0,502	neen
april III+mei I	a b	31	15	0,222	0,428	neen
	a c	31	14	0,216	0,438	neen
	a d	31	26	0,457	0,362	ja
	b c	15	14	0,178	0,506	neen
	b d	15	26	0,235	0,441	neen
	c d	14	26	0,413	0,450	neen
mei I + II	a b	30	18	0,238	0,405	neen
	a c	30	13	0,172	0,452	neen
	a d	30	23	0,333	0,377	neen
	b c	18	13	0,129	0,495	neen
	b d	18	23	0,222	0,428	neen
	c d	13	23	0,203	0,472	neen

Windgroep D

tijdvak	bewolkings- groepen	m	n	D_0	D_{α}	H_0 verwerpen?
april I + II	a b	12	8	0,258	0,620	neen
	a c	12	10	0,070	0,582	neen
	a d	12	33	0,289	0,458	neen
	b c	8	10	0,250	0,645	neen
	b d	8	33	0,111	0,536	neen
	c d	10	33	0,281	0,491	neen
april III+mei I	a b	13	7	0,210	0,638	neen
	a c	13	3			niet getoetst
	c d	13	21	0,402	0,480	neen
	b c	7	3			niet getoetst
	b d	7	21	0,192	0,593	neen
	c d	3	21			niet getoetst
mei II + III	a b	4	2			niet getoetst
	a c	4	2			niet getoetst
	a d	4	5	0,315	0,911	neen
	b c	2	2			niet getoetst
	b d	2	5			niet getoetst
	c d	2	5			niet getoetst

Hieruit kan de algemene conclusie worden getrokken, dat de frequentieverdelingen van ΔT_n bij de bewolkingsgroepen d ($N=7-8$) in ongeveer de helft van de gevallen significant afwijken van die bij de bewolkingsgroepen a ($N=0-2$), b ($N=3-4$) en c ($N=5-6$).

Onderlinge verschillen tussen de frequentieverdelingen van de laatste drie groepen kunnen niet worden aangetoond.

2. Vervolgens toetsen wij de hypothese:

De frequentieverdelingen uit eenzelfde windsnelheidsgroep en uit eenzelfde bewolkingsgroep, doch uit verschillende tijdvakken, zijn afkomstig uit eenzelfde populatie.

Gezien de resultaten van de vorige toetsing nemen wij de bewolkingsgroepen a, b en c tezamen.

De resultaten van de toetsing m.b.v. de toets van Smirnov zijn als volgt:

bewolkingsgroep	tijdvak		m	n	D_o	D_α	H_o verwerpen?
Windgroep A							
a + b + c	I	II	26	38	0,102	0,347	neen
	I	III	26	39	0,089	0,344	neen
	II	III	38	39	0,043	0,310	neen
d	I	II	8	9	0,204	0,660	neen
	I	III	8	26	0,550	0,550	(ja)
	II	III	9	26	0,459	0,525	neen
Windgroep B							
a + b + c	I	II	101	93	0,258	0,196	ja
	I	III	101	99	0,157	0,192	neen
	II	III	93	99	0,101	0,196	neen
d	I	II	29	30	0,391	0,354	ja
	I	III	29	54	0,071	0,313	neen
	II	III	30	54	0,320	0,310	ja
Windgroep C							
a + b + c	I	II	53	60	0,055	0,257	neen
	I	III	53	61	0,099	0,256	neen
	II	III	60	61	0,068	0,248	neen
d	I	II	19	26	0,116	0,411	neen
	I	III	19	23	0,221	0,422	neen
	II	III	26	23	0,105	0,389	neen
Windgroep D							
a + b + c	I	II	30	23	0,062	0,377	neen
	I	III	30	8	0,208	0,541	neen
	II	III	23	8	0,146	0,558	neen
d	I	II	33	21	0,105	0,379	neen
	I	III	33	5	0,204	0,653	neen
	II	III	21	5	0,142	0,677	neen

Hieruit kan worden geconcludeerd, dat, op een enkele uitzondering bij windgroep B, geen verschillen tussen de frequentieverdelingen van ΔT_n uit de drie tijdvakken kunnen worden aangetoond. De frequentieverdelingen zouden dus zonder bezwaar kunnen worden samengevoegd tot die voor de maanden april en mei tezamen.

3. Tenslotte toetsen wij de hypothese:

De frequentieverdelingen van ΔT_n voor eenzelfde bewolkingsgroep en voor eenzelfde tijdvak doch voor verschillende windsnelheidsgroepen zijn afkomstig uit eenzelfde populatie. Eenvoudigheidshalve houden wij rekening met slechts twee bewolkingsgroepen N=0-6 en N=7-8.

Bewolking	windsnelheids groepen	m	n	D_0	D_K	H_0 verwerpen?
April I + II						
0-6	A B	26	101	0,218	0,299	neen
	A C	26	53	0,453	0,325	ja
	A D	26	30	0,728	0,364	ja
	B C	101	53	0,248	0,231	ja
	B D	101	30	0,523	0,283	ja
	C D	53	30	0,410	0,310	ja
7-8	A B	8	29	0,587	0,543	ja
	A C	8	19	0,520	0,573	neen
	A D	8	33	0,746	0,536	ja
	B C	29	19	0,168	0,401	neen
	B D	29	33	0,159	0,347	neen
	C D	19	33	0,273	0,392	neen
April III + mei I						
0-6	A B	38	93	0,072	0,262	neen
	A C	38	60	0,490	0,282	ja
	A D	38	23	0,684	0,359	ja
	B C	93	60	0,437	0,226	ja
	B D	93	23	0,631	0,317	ja
	C D	60	23	0,293	0,383	neen
7-8	A B	9	30	0,196	0,517	neen
	A C	9	26	0,535	0,526	ja
	A D	9	21	0,597	0,541	ja
	B C	30	26	0,339	0,364	neen
	B D	30	21	0,391	0,388	ja
	C D	26	21	0,157	0,398	neen
Mei II + III						
0-6	A B	39	39	0,129	0,257	neen
	A C	39	61	0,558	0,279	ja
	A D	39	8	0,627	0,528	ja
	B C	99	61	0,429	0,222	ja
	B D	99	8	0,498	0,500	neen
	C D	61	8	0,103	0,511	neen

vervolg

Bewolking	windsnelheids- groepen	m	n	D _o	D _α	H _o verwerpen?
Mei II + III						
7-8	A B	26	54	0,057	0,325	neen
	A C	26	23	0,181	0,389	neen
	A D	26	5	0,213	0,664	neen
	B C	54	23	0,124	0,339	neen
	B D	54	5	0,192	0,635	neen
	C D	23	5	0,242	0,670	neen

Vooral bij bewolking 0-6 blijkt er een duidelijk verschil te bestaan tussen de frequentieverdelingen bij verschillende windsnelheidsgroepen.

5-3

Appendix IV

Onderzoek naar het al of niet in statistische zin samenvallen van de regressielijnen, die het verband aangeven tussen T_{n220} en T_{n10} , voor de twee groepen van circulatietypen in april bij windsnelheid $< 3,5$ m/s.

Gegeven de twee steekproeven $(x, y)_1$ en $(x, y)_2$ regressievergelijkingen:

1: $\hat{y} = 1,15 x - 2,81$ ($\hat{y} = b_1 x - a_1$)

2: $\hat{y} = 1,03 x - 2,54$ ($\hat{y} = b_2 x - a_2$)

Wij stellen nu:

$H_0 : b_1 = b_2$ en

indien H_0 niet verworpen : $H_0^1 : a_1 = a_2$

Wij gaan na, of de varianties gelijk zijn $(\sigma^2_{yx})_1 = (\sigma^2_{yx})_2$

$F = \frac{(s^2_{yx})_1}{(s^2_{yx})_2}$ indien $(s^2_{yx})_1 > (s^2_{yx})_2$

$(s^2_{yx})_1 = 1,4611$ met $n_1 = 145, \nu_1 = 144$
 $\bar{x}_1 = 3,684, \bar{y}_1 = 1,430$

$(s^2_{yx})_2 = 2,77129$ met $n_2 = 80, \nu_2 = 79$
 $\bar{x}_2 = 4,641, \bar{y}_2 = 2,250$

Dus

$F = \frac{2,77129}{1,4611} = 1,86$

De significantiedrempel bij $\alpha = 0,05, \nu_2 = 79, \nu_1 = 144$ bedraagt 1,47

Derhalve is

$(s^2_{yx})_1 \neq (s^2_{yx})_2$

H_0 wordt daarom als volgt getoetst: (zie b.v. Documenten Geigy 4, 1960):

$s^2_{D_b} = \frac{(s^2_{yx})_1}{\sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1}} + \frac{(s^2_{yx})_2}{\sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2}}$ en $t_0 = \frac{b_1 - b_2}{s_{D_b}}$

In ons geval is:

$s^2_{D_b} = \frac{1,4611}{1732,77} + \frac{2,77129}{805,27} = 0,004212$

$s_{D_b} = 0,065$

$t_0 = \frac{1,15 - 1,03}{0,065} = 1,86$

t_0 bezit een Student verdeling met

$$v_t = \frac{1}{\frac{k^2}{n_1-1} + \frac{(1-k)^2}{n_2-1}} \quad \text{vrijheidsgraden}$$

$$\text{met } k = \frac{(s^2_{yx})_1 \left\{ \bar{x}_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2} \right\}}{(s^2_{yx})_1 \left\{ \bar{x}_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2} \right\} + (s^2_{yx})_2 \left\{ \bar{x}_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1} \right\}}$$

H_0 wordt verworpen, indien $(t_0) > t_{v_t}$ bij v_t vrijheidsgraden en onbetrouwbaarheidsdrempel $1/2\alpha$.

In ons geval is:

$$s_{D_b} = 0,065, k = 0,200, v_t = 119,3,$$

$$t_0 = 1,86$$

$$t_{v_t} = 1,98$$

Dus $t_0 < t_{v_t}$

H_0 wordt niet verworpen. (s.v.pr. 0,05).

Voor de toetsing van H_0^1 berekenen wij

$$t_1 = \frac{\hat{b} - \bar{b}}{s_{\hat{b}} - \bar{b}}$$

$$\text{waarin } \hat{b} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$$

$$\bar{b} = \frac{\frac{\sum x_1 y_1 - \frac{\sum x_1 \sum y_1}{n_1}}{(s^2_{yx})_1} + \frac{\sum x_2 y_2 - \frac{\sum x_2 \sum y_2}{n_2}}{(s^2_{yx})_2}}{\frac{\sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1}}{(s^2_{yx})_1} + \frac{\sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2}}{(s^2_{yx})_2}}$$

$$s_{\hat{b}-\bar{b}}^2 = \frac{1}{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2} \left\{ \frac{(s^2_{yx})_1}{n_1} + \frac{(s^2_{yx})_2}{n_2} + \frac{1}{\frac{\sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1}}{(s^2_{yx})_1} + \frac{\sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2}}{(s^2_{yx})_2}} \right\}$$

In ons geval vinden wij:

$$\hat{b} = 0,857, \bar{b} = 1,127$$

$$s_{\hat{b}-\bar{b}} = 0,221$$

zodat

$$t_1 = \frac{0,857 - 1,127}{0,221} = -1,22, \text{ dus}$$

$$(t_1) < 1,98$$

Dus H_0 niet verwerpen.

Appendix V

Onderzoek naar de significantie van de verschillen ΔT_n tussen de dagelijkse minimumtemperaturen op 10 cm hoogte boven gras (T_{ng}) en die boven zwarte grond (T_{nz}).

In het hiernavolgende zijn in tabelvorm de nulhypothesen, de toetsingsmethoden en de getrokken conclusies bijeengebracht.

Vraagstelling	Nulhypothese H_0	Basisthesen	Toegepaste toets
Is er een invloed van de wind bij zware bewolking? (groep A (8, 8, 8))	$\mu_{IA} = \mu_{IIA} = \mu_{IIIA}$	H^I : temp. zijn normaal verdeeld H^{II} : $\sigma_{IA}^2 = \sigma_{IIA}^2 = \sigma_{IIIA}^2$	variantie-analyse
Is er een invloed van de wind bij weinig of geen bewolking? (groep B(0,0,0))	$\mu_{IB} = \mu_{IIB}$ $\mu_{IB} = \mu_{IIIB}$ $\mu_{IIB} = \mu_{IIIB}$	H^{II} : temp. zijn continu verdeeld	Wilcoxon Wilcoxon Wilcoxon
Is er een invloed van de wind bij bewolkingsgroep C(003/228)?	$\mu_{IC} = \mu_{IIC}$ $\mu_{IC} = \mu_{IIIC}$ $\mu_{IIC} = \mu_{IIIC}$	H^{III} : temp. zijn continu verdeeld	Wilcoxon Wilcoxon Wilcoxon
Is er een invloed van de wind bij bewolkingsgroep D(033/288)?	$\mu_{ID} = \mu_{IID}$ $\mu_{ID} = \mu_{IIID}$ $\mu_{IID} = \mu_{IIID}$	H^{III} : temp. zijn continu verdeeld	Wilcoxon Wilcoxon Wilcoxon
Is er een invloed van de wind bij bewolkingsgroep E(333/77)?	$\mu_{IE} = \mu_{IIE}$ $\mu_{IE} = \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIE} = \mu_{IIIE}$	H^I : temp. zijn normaal verdeeld	Student Student Student
Is er een invloed van de bewolking bij zwakke wind ($\bar{v} < 3$ m/s)?	$\mu_{IA} = \mu_{IB}$ $\mu_{IA} = \mu_{IC}$ $\mu_{IA} = \mu_{ID}$ $\mu_{IA} = \mu_{IE}$ $\mu_{IB} = \mu_{IC}$ $\mu_{IB} = \mu_{ID}$ $\mu_{IB} = \mu_{IE}$	H^I : temp. zijn normaal verdeeld H^{II} : $\sigma_{IA}^2 = \sigma_{IB}^2$ H^{III} : temp. zijn continu verdeeld H^I : temp. normaal verdeeld H^{II} : $\sigma_{IB}^2 = \sigma_{IC}^2$ H^{III} : temp. zijn continu verdeeld H^I : temp. zijn normaal verdeeld H^{II} : $\sigma_{IB}^2 = \sigma_{IE}^2$	Student Wilcoxon Wilcoxon Wilcoxon Student Wilcoxon Student

Grootte van de steekproef	Toetsingsgroottheid	P_D	H_0 verwerpen? (s.v.pr.0,05)	Conclusie (s.v.pr. 0,05)
$n_1 = 32$ $n_2 = 102$ $n_3 = 41$	$F = \frac{s_{tuk}^2}{s_{bik}^2} = 0,59$	0,54	neen	Een windeffect kan niet aangetoond worden
$n_1 = 26; n_2 = 91$ $n_1 = 26; n_3 = 9$ $n_2 = 91; n_3 = 9$	$\bar{u} = 1,71$ $\bar{u} = 3,11$ $\bar{u} = 1,86$	0,09 0,002 0,06	neen ja neen	Invloed van de wind niet aantoonbaar $\mu_{IB} > \mu_{IIIB}$ Invloed van de wind is niet aantoonbaar
$n_1 = 60; n_2 = 138$ $n_1 = 60; n_3 = 16$ $n_2 = 138; n_3 = 16$	$\bar{u} = 3,45$ $\bar{u} = 5,4$ $\bar{u} = 3,1$	0,001 <0,001 0,002	ja ja ja	$\mu_{IC} > \mu_{IIC}$ $\mu_{IC} > \mu_{IIIC}$ $\mu_{IIC} > \mu_{IIIC}$
$n_1 = 41; n_2 = 97$ $n_1 = 41; n_3 = 23$ $n_2 = 97; n_3 = 23$	$\bar{u} = 2,80$ $\bar{u} = 4,99$ $\bar{u} = 3,75$	0,005 <0,001 <0,001	ja ja ja	$\mu_{ID} > \mu_{IID}$ $\mu_{ID} > \mu_{IIID}$ $\mu_{IID} > \mu_{IIID}$
$n_1 = 83; n_2 = 192$ $n_1 = 83; n_3 = 43$ $n_2 = 192; n_3 = 43$	$t = 4,82$ $t = 9$ $t = 6$	<0,001 <0,001 <0,001	ja ja ja	$\mu_{IE} > \mu_{IIE}$ $\mu_{IE} > \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIE} > \mu_{IIIE}$
$n_1 = 32; n_2 = 26$ $n_1 = 32; n_3 = 60$ $n_1 = 32; n_4 = 41$ $n_1 = 32; n_5 = 83$ $n_2 = 26; n_3 = 60$	$t = -7,6$ $\bar{u} = 6,80$ $\bar{u} = 4,82$ $\bar{u} = 6,14$ $t = -0,78$	<0,001 <0,001 <0,001 <0,001 <0,43	ja ja ja ja neen	$\mu_{IA} < \mu_{IB}$ $\mu_{IA} < \mu_{IC}$ $\mu_{IA} < \mu_{ID}$ $\mu_{IA} < \mu_{IE}$ Invloed van de bewolking is niet aantoonbaar
$n_2 = 26; n_4 = 41$	$\bar{u} = 1,73$	0,08	neen	Invloed van de bewolking is niet aantoonbaar
$n_2 = 26; n_5 = 83$	$t = 0,88$	0,38	neen	Invloed van de bewolking is niet aantoonbaar

Vraagstelling	Nulhypothese H_0	Basisthesen	Toegepaste toets
(vervolg)	$\mu_{IC} = \mu_{ID}$ $\mu_{IC} = \mu_{IE}$ $\mu_{ID} = \mu_{IE}$	H' : temp. zijn normaal verdeeld H'' : $\sigma_{IC}^2 = \sigma_{ID}^2$ H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IC}^2 = \sigma_{IE}^2$ H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{ID}^2 = \sigma_{IE}^2$	Student Student Student
Is er een invloed van de bewolking bij matige wind ($3 < \bar{v} < 6$ m/s)?	$\mu_{IIA} = \mu_{IIB}$ $\mu_{IIA} = \mu_{IIC}$ $\mu_{IIA} = \mu_{IID}$ $\mu_{IIA} = \mu_{IIE}$ $\mu_{IIB} = \mu_{IIC}$ $\mu_{IIB} = \mu_{IID}$ $\mu_{IIB} = \mu_{IIE}$ $\mu_{IIC} = \mu_{IID}$ $\mu_{IIC} = \mu_{IIE}$ $\mu_{IID} = \mu_{IIE}$	H'' : temp. norm. verd. H'' : σ_{IIA}^2 H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIA}^2 = \sigma_{IID}^2$ H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIA}^2 = \sigma_{IIE}^2$ H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIB}^2 = \sigma_{IIC}^2$ H'' : temp. norm. verd. H' : id. H' : id. H' : id. H' : id. H' : id. H'' : $\sigma_{IID}^2 = \sigma_{IIE}^2$	Wilcoxon Wilcoxon Student Student Student Student Student Student Student Student Student Student
Is er een invloed van de bewolking bij harde wind ($\bar{v} \geq 6$ m/s)?	$\mu_{IIIA} = \mu_{IIIB}$ $\mu_{IIIA} = \mu_{IIIC}$ $\mu_{IIIA} = \mu_{IIID}$ $\mu_{IIIA} = \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIIB} = \mu_{IIIC}$ $\mu_{IIIB} = \mu_{IIID}$ $\mu_{IIIB} = \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIIC} = \mu_{IIID}$ $\mu_{IIIC} = \mu_{IIIE}$ $\mu_{IIID} = \mu_{IIIE}$	H'' : $\sigma_{IIIA}^2 = \sigma_{IIIB}^2$ H'' : temp. cont. verd. H'' : id. H'' : id. H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIIB}^2 = \sigma_{IIIC}^2$ H'' : temp. cont. verd. H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIIB}^2 = \sigma_{IIIE}^2$ H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIIC}^2 = \sigma_{IIID}^2$ H' : temp. norm. verd. H'' : $\sigma_{IIIC}^2 = \sigma_{IIIE}^2$	Student Wilcoxon Wilcoxon Wilcoxon Student Wilcoxon Student Student Student Student niet getoetst; steekpr. gemidd. zij gelijk

Grootte v.d. steekproef	Toetsingsgroottheid	P_D	H ₀ verwerpen? (s.v.pr.0,05)	Conclusie
$n_3 = 60; n_4 = 41$	$t = 2,82$	0,006	ja	$\mu_{IC} > \mu_{ID}$
$n_3 = 60; n_5 = 83$	$t = 2,13$	0,04	ja	$\mu_{IC} > \mu_{IE}$
$n_4 = 41; n_5 = 83$	$t = -1,12$	0,28	neen	Invloed van de bewolking kan niet aangetoond worden
$n_1 = 103; n_2 = 91$	$\tilde{u} = 3,42$	0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IIB}$
$n_1 = 103; n_3 = 138$	$\tilde{u} = 6,68$	<0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IIC}$
$n_1 = 103; n_4 = 97$	$t = -4,9$	<0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IID}$
$n_1 = 103; n_5 = 192$	$t = -4,9$	<0,001	ja	$\mu_{IIA} < \mu_{IIE}$
$n_2 = 91; n_3 = 138$	$t = 0,91$	0,36	neen	Invloed van de bewolking kan niet aangetoond worden
$n_2 = 91; n_4 = 97$	$\tilde{u} = 2,18$	0,03	ja	$\mu_{IIB} > \mu_{IID}$
$n_2 = 91; n_5 = 192$	$t = 3,81$	<0,001	ja	$\mu_{IIB} > \mu_{IIE}$
$n_3 = 138; n_4 = 97$	$t = 2,18$	0,03	ja	$\mu_{IIC} > \mu_{IID}$
$n_3 = 138; n_5 = 192$	$t = 2,9$	0,005	ja	$\mu_{IIC} > \mu_{IIE}$
$n_4 = 97; n_5 = 192$	$t = 0,61$	0,54	neen	Invloed van de bewolking kan niet aangetoond worden
$n_1 = 41; n_2 = 9$	$t = -1,29$	0,21	neen	een bewolking is niet aantoonbaar
$n_1 = 41; n_3 = 16$	$\tilde{u} = 0,60$	0,55	neen	idem
$n_1 = 41; n_4 = 23$	$\tilde{u} = 0,96$	0,34	neen	idem
$n_1 = 41; n_5 = 43$	$\tilde{u} = 1,37$	0,17	neen	idem
$n_2 = 9; n_3 = 16$	$t = 1,88$	0,07	neen	idem
$n_2 = 9; n_4 = 23$	$\tilde{u} = 1,94$	0,05	ja	$\mu_{IIIB} > \mu_{IIID}$
$n_2 = 9; n_5 = 43$	$t = 2,14$	0,04	ja	$\mu_{IIIB} > \mu_{IIIE}$
$n_3 = 16; n_4 = 23$	$t = 0,36$	0,72	neen	Invloed van de bewolking is niet aantoonbaar
$n_3 = 16; n_5 = 43$	$t = 0,31$	0,75	neen	idem
$n_4 = 23; n_5 = 43$	-	-	-	geen

Voor bijzonderheden omtrent de toegepaste methoden en voor de betekenis van de symbolen zij verwezen naar de toelichting bij Appendix I.