

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT



Deel III

A.F.V. van Engelen
H.A.M. Geurts

Een rekenmodel dat het verloop van de temperatuur over een etmaal
berekent uit drie termijnmetingen van de temperatuur

De Bilt, 1983

Publikatienummer : K.N.M.I. 165-3

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Postbus 201
3730 AE DE BILT
Nederland

U.D.C. : 551.501.724

Preface

In 1980 the E.C. in Brussels initiated a certain number of research projects, within the framework of the "Climatological Research Programme", under the common heading "Reconstitution of Past Climates".

Within the terms of this E.C.-programme, research on historical instrumental observations of the weather in the Netherlands started at the K.N.M.I. on the first of June 1981.

The chief purpose of this research is to process and analyse as many historical meteorological observations as possible and to store them in a homogeneous and easily retrievable database.

This is the third of a series of reports that will form the basis of the final report on this research-project.

While searching archives and libraries for historical observational data it became obvious that in the Netherlands much work had been done in the field of instrumental meteorological observations.

From the beginning of the eighteenth century observations were recorded in many places in our country day after day for years on end. One of the finest series generated this way is that of the station Zwanenburg, situated near present-day Halfweg. This series runs from 1735 to 1861.

Unfortunately little was done with this wealth of data. Professor W. Wenckebach² was one of the first to draw up a systematic inventory, about 1840, of Dutch observational records.

Next came professor C.H.D. Buys Ballot, the founder of the K.N.M.I.,

who strongly advocated a thorough study of long observational series of meteorological elements, in order to develop a better understanding of climate.

In the April - issue of 1885 of the "Quarterly Journal of the Royal Society" Buys Ballot⁹ stressed the need to go beyond the calculation of mean monthly values of various elements like temperature and precipitation and to aim at the calculation of mean daily values, that would make it possible, for instance, to draw isotherms for every day of the year.

However, bearing in mind that the mere study of temperature on a day to day basis in the 125 - year record of Zwannenburg, with three entries each day, would involve processing little short of 150.000 numbers, it is easy to understand that at a time when the computer had still to be invented, this might well seem a task without end.

Today the computer is at our disposal and now, after nearly a century, it has become possible to store daily mean temperatures from long observational records of several historical weather - stations in a database.

Formally daily mean temperatures should be calculated from 24 hourly values each day.

However no historical stations are known where temperatures were read every hour; usually readings were taken three times, occasionally four or five times a day.

Moreover different stations used different times of observation, so that mutual comparison of temperature readings at different stations does not provide an easy check on their reliability.

In this report a model is proposed, that makes it possible to calculate the temperature for every hour of a given day from a small number (at least two) regular readings on the same day.

In this way not only the mean daily temperature of every day can be calculated, but it is also possible to express a regular temperature reading at any hour in terms of a regular reading at any other hour of the same day.

The model has been tested on temperature - records of the principal station of the K.N.M.I. at De Bilt for the period 1971 - 1980.

For every day in this period the daily mean temperature calculated from 24 recorded hourly values was compared with the daily mean temperature calculated from three regular readings on that day.

The results were found to be very satisfactory, consequently the proposed calculation - method will be used in processing historical readings of temperature.

K.N.M.I., De Bilt, August 1983

Aryan van Engelen,

Harry Geurts

Voorwoord

In 1980 gaf de E.G. te Brussel in het kader van het "Climatology Research Programme" de aanzet tot een aantal onderzoeksprojecten onder de noemer "Reconstitution of Past Climates".

In het licht van dit E.G.-programma startte per 1 juni 1981 op het KNMI een onderzoek naar historische instrumentele weerkundige waarnemingen, die in Nederland zijn verricht.

De voornaamste doelstelling van dit onderzoek is om zoveel mogelijk historische weerkundige waarnemingen te bewerken en analyseren, zodat deze in een goed toegankelijk en homogeen gegevensbestand kunnen worden opgenomen.

Dit is het derde uit een reeks rapporten, die de basis zal vormen van het eindverslag van het onderzoek.

Bij het doorspitten van archieven en bibliotheken op zoek naar historisch waarnemingsmateriaal, komt duidelijk naar voren dat men in Nederland wel zeer actief is geweest op het gebied van instrumentele meteorologische waarnemingen.

Op talloze plaatsen in ons land werden vanaf ongeveer begin 1700 gedurende vele jaren achtereen dag in dag uit de waarnemingen opgetekend.

Eén van de mooiste zo ontstane reeksen is wel die van het station Zwanenburg, gelegen nabij het huidige Halfweg. Deze reeks begint in 1735 en eindigt in 1861.

Helaas werd er weinig met deze schat aan gegevens gedaan. De hoogleraar W. Wenckebach² was een van de eersten die omstreeks 1840 een

systematische inventaris opstelde van het nederlandse waarnemingsmateriaal. Daarna was het professor C.H.D. Buys Ballot, oprichter van het KNMI, die krachtig pleitte voor een grondige bestudering van langjarige reeksen van weerkundige elementen, teneinde tot betere klimatologische inzichten te komen.

In het april-nummer van 1885 van het "Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society" benadrukt Buys Ballot⁹ de noodzaak verder te gaan dan het berekenen van maandgemiddelde waarden van de diverse elementen, zoals temperatuur en neerslag, en te streven naar de berekening van gemiddelde dagwaarden om bijvoorbeeld isothermen te kunnen tekenen van iedere dag van het jaar.

Bedenkt men echter dat alleen al de bestudering van de temperatuur op dagbasis van de 125-jarige temperatuurreeks van het station Zwanenburg, waar ze 3 keer per dag opgetekend werd, de bewerking van een kleine 150-duizend getallen inhoudt, dan is het begrijpelijk dat in een tijd waarin de computer nog uitgevonden moest worden, dit een schierkans onbegonnen taak was.

Heden ten dage staat de computer wel tot onze beschikking en nu, bijna een eeuw later, is het mogelijk een bestand aan te leggen van langjarige reeksen van dagelijkse etmaalgemiddelde temperaturen van meerdere historische meteorologische stations.

De etmaalgemiddelde temperatuur dient formeel berekend te worden uit de temperatuurwaarnemingen van elk (heel) uur van het etmaal. Geen historisch station is echter bekend, waar gedurende langere tijd achtereenvolgend op elk uur de temperatuur afgelezen werd; meestal vond 3 maal daags een temperatuurmeting plaats, een enkele keer vaker: 4 of 5 keer daags.

Alleen onder extreme weersomstandigheden wilde een enkeling nog wel

Hoogte der THERMOMETERS,
op de volgende plaatsen, daagen en uren.

Jahr 1741. 1742. 1743.	Sto- den.	Uu- ren.	Spe- ren- den.	Zwa- nech- op Holl- weg.	Haar- den.	Alk- maar.	Ber- ten.	Hel- det.
6	1. Mor- gens	7	18	19	-	-	-	-
	8	-	-	12	13	10	11	12
	9	11	20	21	22	18	19	20
	10	12	21	22	23	19	20	21
	11	13	22	23	24	20	21	22
7	1. Mor- gens	7	18	19	-	-	-	-
	8	-	-	12	13	10	11	12
	9	11	20	21	22	18	19	20
	10	12	21	22	23	19	20	21
	11	13	22	23	24	20	21	22
8	1. Mor- gens	7	18	19	-	-	-	-
	8	-	-	12	13	10	11	12
	9	11	20	21	22	18	19	20
	10	12	21	22	23	19	20	21
	11	13	22	23	24	20	21	22
9	1. Mor- gens	7	18	19	-	-	-	-
	8	-	-	12	13	10	11	12
	9	11	20	21	22	18	19	20
	10	12	21	22	23	19	20	21
	11	13	22	23	24	20	21	22

eens vaker dan 3 maal op een dag de thermometer aflezen.

Ter illustratie dient nevenstaand temperatuurstaatje van een aantal koude dagen gedurende de zeer strenge winter van 1742 (uit: "Aanmerkingen van drie meer dan gemeene strenge winters", Nicolaas Duin, 1743).

Dit staatje illustreert tevens dat van station tot station de tijdstippen, waarop geobserveerd werd, verschillen, waardoor het moeilijk is de temperatuurmetingen van de stations onderling

te vergelijken, met als doel ze te onderzoeken op betrouwbaarheid.

In dit rapport wordt een rekenmodel gepresenteerd, welke het mogelijk maakt om uit een gering aantal termijnmetingen (minimaal 2) van de temperatuur gedurende een willekeurig etmaal, de temperatuur van elk uur van dat etmaal te berekenen.

Niet alleen kan op deze wijze de etmaalgemiddelde temperatuur van elk etmaal berekend worden, eveneens is het nu mogelijk een termijnmeting van de temperatuur van elk willekeurig uur uit te drukken in de termijnmeting van de temperatuur van elk ander uur binnen hetzelfde etmaal.

Het rekenmodel is getest op registraties van de temperatuur op het Hoofdstation van het KNMI te De Bilt over het tijdvak 1971 - 1980.

Daartoe werd voor elk etmaal gedurende dit tijdvak, de etmaalgemiddelde temperatuur, bepaald uit 24 uurlijkse registraties, vergeleken met de etmaalgemiddelde temperatuur, berekend uit 3 termijnmetingen gedurende dat etmaal.

De resultaten blijken zeer bevredigend te zijn en de beschreven rekenmethode zal dan ook toegepast worden om historische temperatuurmetingen te bewerken.

KNMI, De Bilt, augustus 1983

Aryan van Engelen,

Harry Geurts

INHOUD	pagina
PREFACE.....	1
VOORWOORD.....	4
INHOUDSOPGAVE.....	8
 HOOFDSTUK I : INLEIDING.....	 10
 HOOFDSTUK II : BESCHRIJVING VAN HET OORSPRONKELIJKE MODEL.....	 11
 HOOFDSTUK III : AANPASSING VAN HET MODEL.....	 15
III-1: Berekening van de maximum- en minimum- temperatuur uit termijnmetingen.....	15
III-2: Berekening van de tijdstippen van zons- opgang en zonsondergang en de dag- en nachtlengte.....	18
III-3: Bepaling van de tijdstippen waarop de extrema vallen.....	18
III-4: Keuze van de coëfficiënt van de tempe- ratuurafname 's nachts.....	19
 HOOFDSTUK IV : HET REKENMODEL EN DE KALIBRATIE DAARVAN..	 20
IV-1 : Inleiding.....	20
IV-2 : Keuze van twee termijnmetingen.....	21
IV-3 : Wijziging van de definitie van de variabele M_z	21

INHOUD	pagina
IV-4 : Bepaling van de coëfficiënt van de temperatuurafname 's nachts.....	23
IV-5 : Gevoeligheid van het model voor de keuze van de voorgeschreven tijden van optreden van de extrema.....	23
IV-6 : Korrektie op grond van de termijnme- ting van 22 uur.....	24
HOOFDSTUK V : RESULTATEN VAN HET MODEL.....	26
V-1 : Resultaten over het tijdvak 1971 - 1980 voor het station De Bilt.....	26
V-2 : Resultaten over het jaar 1971 voor het station De Bilt.....	37
HOOFDSTUK VI : KONKLUSIE.....	41
HOOFDSTUK VII : APPENDIX.....	42
LITERATUUROPGAVE.....	44

EEN REKENMODEL DAT HET VERLOOP VAN DE TEMPERATUUR OVER EEN ETMAAL BEREKENT UIT DRIE TERMIJNMETINGEN VAN DE TEMPERATUUR

I Inleiding

In een publikatie van Parton en Logan⁷ wordt een empirisch rekenmodel beschreven, met behulp waarvan het verloop van de bodem- en luchttemperatuur over een etmaal berekend kunnen worden, als de maximum- en minimumtemperatuur over het beschouwde etmaal bekend zijn.

Dit model simuleert de temperaturen tussen zonsopgang en zonsondergang met behulp van een sinusfunctie en de temperaturen 's nachts met behulp van een exponentiële functie.

Een belangrijk gegeven binnen ons onderzoek naar de rekonstruktie van historische meteorologische waarnemingsreeksen wordt gevormd door de temperatuurwaarnemingen.

Op de meeste historische stations werd per etmaal slechts 3 keer de temperatuur opgetekend: in het algemeen om 7 of 8 uur 's morgens, om 12 of 14 uur 's middags en 's avonds om 22 uur (plaatselijke tijd).

Teneinde tot een uitspraak te kunnen komen over het verloop van de temperatuur en de minimum- en maximumtemperatuur van een etmaal op grond van uitsluitend drie (historische) termijnmetingen, is nagegaan of het model van Parton en Logan tot dit doel aangepast kon worden.

II Beschrijving van het oorspronkelijke model

Parton en Logan geven de volgende mathematische beschrijving van hun model:

Indien van een etmaal (0 - 24 uur UT) de tijdstippen van zonsop- en zonsondergang en de minimum- en maximumtemperatuur bekend zijn en tevens de tijdstippen van optreden daarvan, dan kan voor elk willekeurig tijdstip van dat etmaal de temperatuur berekend worden met behulp van de volgende formules:

Voor de dagtemperaturen - gedefinieerd als de temperaturen tussen het tijdstip van optreden van de minimumtemperatuur en zonsondergang - geldt:

$$T_i = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_i) + T_n$$

Voor de nachttemperaturen - gedefinieerd als de temperaturen binnen één etmaal vóór het tijdstip van optreden van de minimumtemperatuur en ná zonsondergang - geldt:

$$T_i = (T_x - T_n) \cdot \exp(N_i) + T_n$$

Waarin:

i = tijdstip i , uitgedrukt in - gehele of gebroken - uren;

$$0 \leq i \leq 24 \text{ uur.}$$

T_i = de te berekenen temperatuur op tijdstip i .

T_x = de maximumtemperatuur van het etmaal.

T_n = de minimumtemperatuur van het etmaal.

T_z = de temperatuur bij zonsondergang; T_z wordt berekend met behulp van de formule voor de dagtemperaturen.

$$D_i = \pi \cdot M_i / (Y + 2 \cdot A)$$

Waarin:

M_i = aantal uren tussen zonsopgang en het tijdstip i binnen hetzelfde etmaal.

Y = daglengte: het aantal uren tussen zonsop- en zonsondergang.

A = aantal uren tussen 12 uur 's middags zonnetijd - d.i. precies halverwege zonsop- en zonsondergang - en het optreden van de maximumtemperatuur binnen hetzelfde etmaal.

$$N_i = -b \cdot L_i / Z$$

Waarin:

b = de coëfficiënt welke de temperatuurafname 's nachts stuurt.

Parton en Logan vonden optimale waarden voor b die liggen tussen 1.8 en 2.3.

L_i = aantal uren tussen zonsondergang en tijdstip i indien i ná zonsondergang valt; indien i vóór het tijdstip van optreden van de minimumtemperatuur valt is L_i gelijk aan de som van het aantal uren tussen zonsondergang en middernacht (24 uur) en het aantal uren tussen middernacht (0 uur) en het tijdstip i .

Z = nachtlengte; de som van het aantal uren tussen middernacht (0 uur) en zonsopgang en het aantal uren tussen zonsondergang en middernacht.

In het model wordt er vanuit gegaan dat de maximumtemperatuur gedurende de uren overdag optreedt en dat de minimumtemperatuur korte tijd (hooguit enkele uren) vóór of ná zonsopgang valt.

Figuur 1 laat zien hoe met behulp van deze formules het gesimuleerde verloop van de temperatuur over een willekeurig etmaal eruit zou kunnen zien.

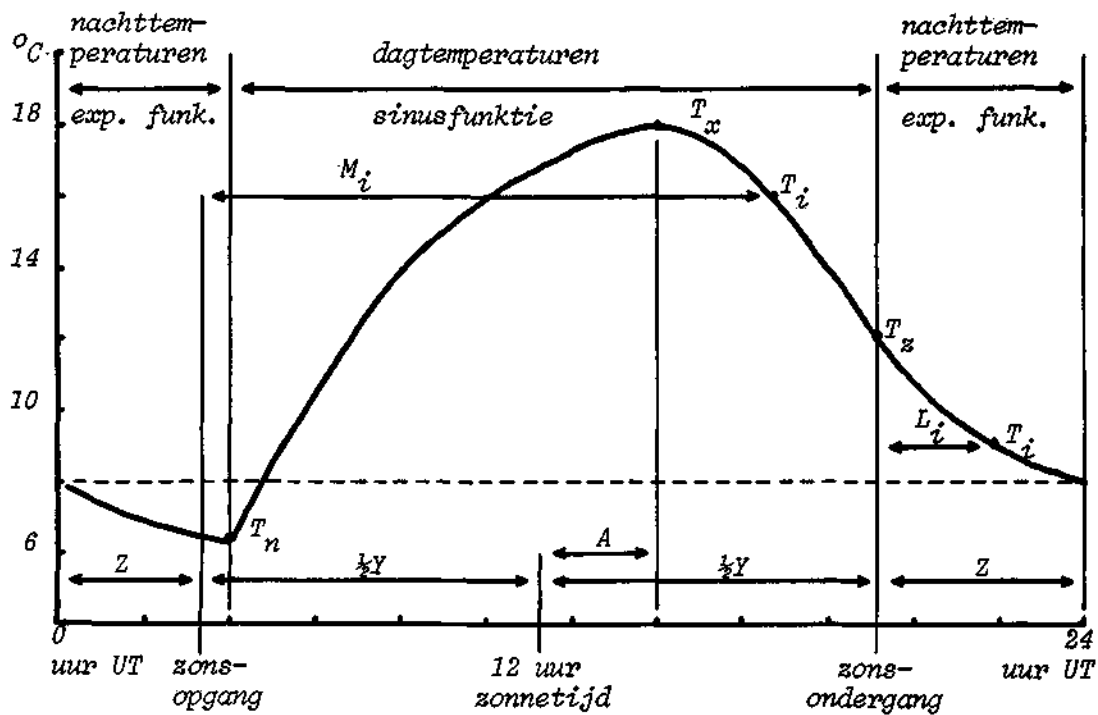


Fig. 1: Gesimuleerd verloop van de temperatuur over een etmaal in de maand juni.

Parton en Logan hebben dit model geparametriseerd voor 150 cm en 10 cm luchttemperaturen en voor 0 cm en -10 cm bodemtemperaturen. Alle metingen werden verricht boven grasland.

Vergelijking van de berekende met de waargenomen geheel uurlijkse waarden van de temperatuur, gaf over een tijdvak van één jaar een gemiddelde absolute fout in de berekende temperaturen, die in de grootte-orde van 2.5 °C ligt.

III Aanpassing van het model

III-1 Berekening van de maximum- en minimumtemperatuur uit termijnmetingen

Uit de formules, gegeven door Parton en Logan, zijn formules afgeleid, met behulp waarvan de maximum- en minimumtemperatuur van een etmaal berekend kunnen worden, indien slechts twee termijnmetingen van de temperatuur gegeven zijn.

Door de waarden van de maximum- en minimumtemperatuur te substitueren in de vergelijkingen van de dagtemperaturen en de nachttemperaturen, zoals deze geformuleerd staan in het voorgaande hoofdstuk, kan voor elk tijdstip van het etmaal de temperatuur berekend worden. De afleidingen worden in beknopte vorm gepresenteerd.

Voor de betekenis van de gebruikte notatie wordt verwezen naar hoofdstuk II.

De vergelijkingen voor de maximumtemperatuur T_x en de minimumtemperatuur T_n kunnen opgelost worden indien bekend worden verondersteld:

- De tijdstippen waarop T_x en T_n zullen optreden binnen het beschouwde etmaal.
- De dag- en nachtlengte van het etmaal.
- De tijdstippen van zonsopgang en zonsondergang.
- Een waarde voor de coëfficiënt van de temperatuurafname gedurende de nacht (b).

- a) Indien twee termijnmetingen van de temperatuur overdag gegeven zijn: T_1 en T_2 :

Zoals vermeld in hoofdstuk II geldt:

$$T_i = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_i) + T_n \quad (1)$$

Dus:

$$T_1 = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_1) + T_n \quad (2)$$

en:

$$T_2 = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_2) + T_n \quad (3)$$

(2) en (3):

$$T_n = (T_2 - T_1 \cdot \sin(D_2) / \sin(D_1)) / (1 - \sin(D_2) / \sin(D_1)) \quad (4)$$

en:

$$T_x = (T_1 - T_n) / \sin(D_1) + T_n \quad (5)$$

Voor de berekening van de nachttemperaturen dient de temperatuur bij zonsondergang: T_z bekend te zijn; deze wordt bepaald uit de vergelijking voor de dagtemperaturen:

$$T_z = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_z) + T_n \quad (6)$$

waarin:

$$D_z = \pi \cdot M_z / (Y + 2 \cdot A)$$

waarin:

M_z = het aantal uren tussen zonsopgang en het tijdstip z : het tijdstip van zonsondergang; met andere woorden M_z is gelijk aan Y .

b) Indien twee termijnmetingen van de temperatuur gedurende de nacht gegeven zijn: T_3 en T_4 :

Zoals vermeld in hoofdstuk II geldt:

$$T_z = (T_z - T_n) \cdot \text{EXP}(N_z) + T_n \quad (7)$$

Dus:

$$T_3 = (T_z - T_n) \cdot \text{EXP}(N_3) + T_n \quad (8)$$

en:

$$T_4 = (T_z - T_n) \cdot \text{EXP}(N_4) + T_n \quad (9)$$

(8) en (9):

$$T_n = (T_4 - (T_3/\text{EXP}(N_3)) \cdot \text{EXP}(N_4)) / (1 - \text{EXP}(N_4)/\text{EXP}(N_3)) \quad (10)$$

en:

$$T_z = (T_3 - T_n) / \text{EXP}(N_3) + T_n \quad (11)$$

Nu T_z en T_n bekend zijn kan uit vergelijking (6) T_x berekend worden.

Deze vergelijking kan immers herschreven worden als:

$$T_x = (T_z - T_n) / \text{SIN}(D_z) + T_n \quad (12)$$

De waarden van de maximumtemperatuur T_x (5,12), de minimumtemperatuur T_n (4,10) en de temperatuur bij zonsondergang T_z (6,11) zijn nu bekend, zodat de vergelijking voor de dagtemperaturen (1) en die voor de nachttemperaturen (7) opgelost kan worden.

III-2 Berekening van de tijdstippen van zonsopgang en zonsondergang en de dag- en nachtlengte

De tijdstippen van zonsop- en zonsondergang en tevens de dag- en nachtlengte zijn voor elke kalenderdag van het jaar berekend met behulp van astronomische vergelijkingen, ontwikkeld door Dogniaux¹ en bewerkt door Slob (KNMI, Nederland).

Een schematische presentatie van deze vergelijkingen wordt gegeven in de appendix.

III-3 Bepaling van de tijdstippen waarop de extrema vallen.

Uit de uurlijkse metingen van de temperatuur te De Bilt over een tijdvak van 10 jaar (1971 - 1980) is per maand het gemiddelde dagelijkse verloop van de temperatuur bepaald, zoals deze weergegeven wordt door het verloop over een etmaal van de maandgemiddelde temperatuur van elk heel uur van het etmaal.

De tijdstippen waarop de (twee) extrema van de temperatuur van een etmaal van een zekere maand vallen, zijn in het model (zie volgend hoofdstuk) gedefinieerd als die tijdstippen, waarop de extrema liggen van het gemiddelde dagelijkse verloop van de temperatuur van die maand.

III-4 Keuze van de coëfficiënt van de temperatuurafname 's nachts

In eerste instantie is voor de coëfficiënt van de temperatuurafname 's nachts een konstante gekozen, waarvan de waarde goede resultaten gaf in het oorspronkelijke model van Parton en Logan, bij

de berekening van de temperatuur op een hoogte van 150 cm.

Later is gekozen voor andere waarden (zie volgend hoofdstuk), waardoor betere resultaten werden verkregen.

IV Het rekenmodel en de kalibratie daarvan

IV-1 Inleiding

Gebaseerd op de in hoofdstuk III vermelde vergelijkingen is een computerprogramma geschreven - in de tekst aangeduid met "het model" - dat uit 3 termijnmetingen van de temperatuur binnen een etmaal, de temperatuur van elk uur van dat etmaal berekent.

Dit model is getest op uurlijkse metingen van de temperatuur te De Bilt over het tijdvak 1971 - 1980, zoals deze geregistreerd staan op computermagneetband (code Klistat).

Het doel van de tests was om na te gaan welke parameters op welke wijze veranderd moesten worden in het model of welke wijzigingen in de toegepaste formules aangebracht dienden te worden, opdat de grootte en het verloop van de (24) berekende (gesimuleerde) temperaturen zo goed mogelijk zou overeenkomen met die van de gemeten temperaturen.

Als invoer voor het model werd gekozen voor de geregistreeerde temperaturen van 8, 12 en 22 uur UT; tijdstippen die overeenkomen met de waarnemingstijden van de meeste historische meteorologische stations.

Een aantal aspecten met betrekking tot de aangebrachte wijzigingen en de kalibratie van het model zullen nu besproken worden.

IV-2 Keuze van twee termijnmetingen

Het model heeft slechts twee termijnmetingen van de temperatuur binnen een etmaal nodig om de maximum- en minimumtemperatuur en daaruit dan voor elk uur van het etmaal de temperatuur te berekenen. Een vooronderstelling was, dat de nauwkeurigheid waarmee de temperaturen voor elk uur berekend worden, sterk zal afhangen van de nauwkeurigheid waarmee de maximum- en minimumtemperatuur berekend worden.

Daarnaast bestond de vooronderstelling, dat de fout in de berekende waarde van een extreem zal toenemen, naarmate het tijdstip van optreden van de extreem verder verwijderd is van het tijdstip van de ingevoerde termijnmeting.

Tests wezen uit dat - volgens de verwachting - de nauwkeurigheid van de berekende extrema en van de uurwaarden van de temperaturen toeneemt, naarmate de tijden van de ingevoerde termijnmetingen dichter bij de - per maand vastgestelde - tijden van optreden van de extrema liggen.

De twee termijnmetingen die in alle maanden het dichtst bij de extrema liggen, zijn die van 8 en 12 uur, en deze zijn derhalve gekozen als invoer voor het model.

IV-3 Wijziging van de definitie van de variabele M_i

In de publikatie van Parton en Logan wordt M_i gedefinieerd als het aantal uren dat ligt tussen het tijdstip i en het tijdstip van optreden van de minimumtemperatuur binnen hetzelfde etmaal.

In de eerste versie van het model werd deze definitie aangehouden. Het model bleek echter op grond van deze definitie een maximumtemperatuur te genereren op een tijdstip, dat ten opzichte van het voorgeschreven tijdstip van de maximumtemperatuur, over een tijd verschoven was, die gelijk was aan het tijdsverschil tussen het - eveneens van tevoren vastgestelde - tijdstip van het optreden van de minimumtemperatuur en zonsopgang.

Dit is eenvoudig af te leiden uit de vergelijking van de dagtemperaturen:

Immers:

$$T_i = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_i) + T_n$$

Voor het tijdstip $i = x$, waarop de maximumtemperatuur T_x valt geldt:

$$T_x = (T_x - T_n) \cdot \sin(D_x) + T_n$$

Hieruit valt af te leiden dat:

$$\sin(D_x) = 1$$

dus:

$$D_x = \frac{1}{2} \cdot \pi$$

ofwel:

$$\pi \cdot M_x / (Y + 2 \cdot A) = \frac{1}{2} \cdot \pi$$

dus:

$$M_x = \frac{1}{2} \cdot Y + A$$

Uit figuur 1 is af te lezen dat M_x derhalve gelijk is aan het aantal uren tussen zonsopgang en het optreden van de maximumtemperatuur.

Door M_i overeenkomstig te definiëren: het aantal uren tussen zonsopgang en het tijdstip i , bleek het model een korrekkt tijdstip voor de maximumtemperatuur te genereren.

IV-4 Bepaling van de coëfficiënt van de temperatuurafname 's nachts

Een geringe verbetering in de berekende etmaaltemperaturen (in de grootte-orde van 0.1°C) kon verkregen worden door per maand een optimale waarde voor de coëfficiënt van de temperatuurafname 's nachts (b , zie hoofdstuk II) te kiezen, in plaats van een waarde die voor alle maanden hetzelfde is.

Deze optimale waarde werd voor elke maand bepaald, door itererende berekeningen uit te voeren, welke gestuurd werden door de eis, dat per maand het gemiddelde over 10 jaar van de absolute verschillen tussen de gemeten en de berekende uurwaarden van de temperaturen zo klein mogelijk moest zijn.

Een relatie tussen de op deze wijze bepaalde waarden van de coëfficiënt en andere termen is niet gevonden.

IV-5 Gevoeligheid van het model voor de keuze van de voorgeschreven tijden van optreden van de extrema

Zoals vermeld in hoofdstuk III-3, zijn in het model de tijdstippen, waarop de extrema optreden, per maand vastgelegd.

Onderzocht is, of het model in zijn uitkomsten gevoelig is voor wijziging van deze tijdstippen.

Tests wezen uit dat, indien de tijdstippen van optreden van de minimumtemperatuur en de maximumtemperatuur niet meer dan $2\frac{1}{2}$ respectievelijk 3 uur later en niet meer dan 1 respectievelijk 2 uur eerder dan de voorgeschreven tijdstippen worden gekozen, de berekende etmaaltemperaturen niet meer dan ongeveer 0.1°C veranderen. Hieruit blijkt een zekere speelruimte in de bepaling van de extrema-tijdstippen.

IV-6 Korrektie op grond van de termijnmeting van 22 uur

De termijnmeting van de temperatuur van 22 uur wordt gebruikt om onderstaande lineair toenemende of afnemende correcties aan te brengen op de berekende temperaturen.

De volgende notatie wordt toegepast:

Ts_i = de gesimuleerde temperatuur op tijdstip i

Tr_i = de geregistreerde temperatuur op tijdstip i

Tc_i = de gekorrigeerde temperatuur op tijdstip i

De correcties gelden voor twee direkt opeenvolgende etmalen; respectievelijk het "huidige" en het "opvolgende" etmaal.

"Huidige etmaal"

Indien $12 < i < 22$ uur:

$$Tc_i = Ts_i - (i - 12) \cdot (Ts_{22} - Tr_{22})/10$$

Indien $22 < i \leq 24$ uur:

$$Tc_i = Ts_i - (Ts_{22} - Tr_{22})$$

"Opvolgende etmaal"

Indien $1 < i < 8$ uur:

$$Tc_i = Ts_i - (8 - i) \cdot (Ts_0 - Tc_{24})/8$$

Waarin Tc_{24} de gekorrigeerde temperatuur is op het tijdstip
24 uur van het "huidige etmaal".

Deze wijze van corrigeren laat de vorm van de kurve, welke het verloop van de gesimuleerde temperaturen over het etmaal weergeeft, intact.

De korrektie roteert de trajekten van de kurve tussen de middag- en avondwaarneming en tussen de avondwaarneming en de ochtendwaarneming van de volgende dag, met als draaipunten de middag- respectievelijk de ochtendwaarneming, waarbij het - gemeenschappelijke - sluitpunt gevormd wordt door de - geregistreeerde - avondwaarneming.

V Resultaten van het model

V-1 Resultaten over het tijdvak 1971 - 1980 voor het station
 De Bilt

Nadat alle in het vorige hoofdstuk genoemde aanpassingen en wijzigingen in het rekenmodel waren aangebracht, is onderzocht in hoeverre de gesimuleerde temperaturen, geproduceerd door het model, overeenkomen met de gemeten temperaturen.

Hiertoe is het model wederom op de computer gedraaid voor de drie termijnmetingen van de temperatuur te De Bilt op 8, 12 en 22 uur, over het tijdvak 1971 - 1980 en is onderzocht, in hoeverre de resultaten (in tabel I geïndiceerd met "S") van berekeningen, gebaseerd op de door het model gesimuleerde temperaturen (elk heel uur van het etmaal), in overeenstemming zijn met de resultaten (in tabel I geïndiceerd met "R") van berekeningen, gebaseerd op geregistreerde temperaturen (eveneens elk heel uur van het etmaal).

In tabel I staan vermeld:

- Per maand de maandgemiddelde etmaaltemperaturen (R en S) en het gemiddelde van de absolute verschillen (V) van elke afzonderlijke gesimuleerde en geregistreerde etmaaltemperatuur.

- Per maand het verschil van de populatiegemiddelden (P) van de etmaaltemperaturen (R en S) bij een 95 % betrouwbaarheidsinterval en de t-waarde per maand (T) volgens de toets van Student voor gepaarde waarnemingen.

MAANDOVERZICHT

	JAN		FEB		MRT		APR		MEI		JUN		JUL		AUG		SEP		OKT		NOV		DEC		
	2.4	3.1	5.1	7.5	12.1	15.1	16.8	16.8	13.8	9.7	5.9	4.0	R												
	2.4	3.1	5.1	7.5	12.1	15.1	16.8	16.8	13.8	9.7	5.9	4.0	S												
	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	V												
	-0.0#0.0	0.0#0.0	0.0#0.0	0.0#0.1	0.0#0.1	-0.0#0.1	-0.0#0.0	0.0#0.1	-0.0#0.0	-0.0#0.0	-0.0#0.0	-0.0#0.0	P												
	-0.73	1.36	1.54	1.68	0.13	-1.24	-1.18	0.22	-0.30	-0.10	0.33	-1.27	T												
	1.00	1.00	0.79	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00	C												
UUR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1-24
1	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7	2.0	2.6	3.1	3.5	3.8	3.9	3.7	3.3	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	R
	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.1	1.7	2.3	2.8	3.2	3.5	3.6	3.7	3.5	3.4	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	S
	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1 0
2	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.9	2.6	3.4	4.3	4.8	5.3	5.5	5.4	5.0	4.3	3.7	3.3	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	R
	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.0	1.9	2.8	3.6	4.3	4.8	5.1	5.3	5.2	4.9	4.5	3.9	3.5	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	S
	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.6	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1 0
3	3.3	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.9	4.0	5.1	6.1	7.0	7.6	7.9	8.1	8.1	7.8	7.1	6.2	5.4	4.9	4.5	4.1	3.9	3.6	R
	3.1	3.0	2.8	2.8	2.7	1.2	2.6	4.0	5.1	6.1	6.9	7.6	7.9	8.1	8.0	7.8	7.3	6.7	5.9	5.2	4.7	4.1	3.7	3.4	S
	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	1.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2 0
4	5.0	4.8	4.5	4.3	4.3	4.3	6.0	7.2	8.3	9.2	9.9	10.5	10.8	10.9	10.9	10.6	10.1	9.2	8.1	7.3	6.4	6.1	5.7	5.3	R
	4.8	4.5	4.4	4.2	3.4	4.3	6.0	7.2	8.2	9.1	9.9	10.5	10.8	10.9	10.9	10.6	10.1	9.5	8.4	7.5	6.7	6.1	5.6	5.1	S
	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	7.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1 0
5	9.1	8.6	8.3	8.0	8.4	7.5	11.0	12.3	13.4	14.2	14.9	15.3	15.6	15.8	15.8	15.5	15.0	14.2	13.2	12.0	11.1	10.5	10.0	9.6	R
	8.9	8.6	8.3	7.4	8.7	12.0	11.2	12.3	13.3	14.1	14.8	15.3	15.6	15.8	15.7	15.4	14.9	14.3	13.4	12.1	11.2	10.5	9.9	9.4	S
	0.2	0.1	0.0	0.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1 0
6	1.9	11.6	11.3	11.2	11.9	13.0	14.2	15.4	16.4	17.1	17.7	18.2	18.5	18.6	18.6	18.3	17.8	17.1	16.1	14.9	13.9	13.2	12.6	12.2	R
	1.8	11.5	11.3	10.9	12.1	13.3	14.4	15.4	16.3	17.1	17.7	18.2	18.4	18.6	18.5	18.2	17.8	17.2	16.4	15.2	13.9	13.2	12.6	12.2	S
	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1 0
7	3.8	13.5	13.3	13.2	13.7	14.3	16.0	17.1	18.0	18.6	19.2	19.7	20.0	20.2	20.2	20.0	19.5	18.8	17.8	16.7	15.8	15.1	14.6	14.2	R
	3.7	13.4	13.3	12.9	14.0	15.1	16.1	17.1	17.9	18.7	19.3	19.7	20.0	20.1	20.0	19.8	19.4	18.9	18.2	17.2	15.9	15.1	14.5	14.1	S
	0.1	0.1	0.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.3	0.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1 0
8	3.9	13.6	13.4	13.1	13.1	14.1	15.5	16.9	18.1	19.0	19.8	20.2	20.5	20.7	20.7	20.4	19.8	18.7	17.4	16.3	15.5	15.0	14.6	14.1	R
	4.0	13.7	13.5	13.3	13.2	14.5	15.3	16.9	18.0	19.0	19.7	20.2	20.5	20.6	20.4	20.0	19.4	18.6	17.5	16.0	15.4	15.0	14.6	14.3	S
	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.4	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1 0
9	1.3	11.2	11.0	10.9	10.9	11.0	12.2	13.7	14.9	15.9	16.6	17.0	17.3	17.5	17.4	16.9	16.1	14.9	13.7	13.0	12.5	12.1	11.7	11.4	R
	1.1	11.0	10.9	10.8	10.9	10.9	12.3	13.7	14.7	15.7	16.5	17.0	17.3	17.3	17.1	16.7	16.1	15.6	14.5	13.6	12.8	12.1	11.6	11.2	S
	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.7	0.8	0.6	0.3	0.0	0.1	0.2	0.2 0
10	8.1	7.9	7.7	7.5	7.4	7.4	7.7	8.8	10.0	11.2	12.1	12.7	13.0	13.1	12.8	12.1	11.0	10.2	9.7	9.2	8.9	8.7	8.4	8.2	R
	7.8	7.6	7.4	7.3	7.3	7.3	8.8	10.1	11.2	12.1	12.7	13.0	13.1	12.8	12.3	11.9	11.2	10.5	9.8	9.2	8.7	8.3	7.9	S	
	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	1.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	1.0	0.8	0.6	0.3	0.0	0.1	0.2	0.3 0
11	5.1	5.0	5.0	5.0	4.9	4.3	4.3	5.1	5.8	6.5	7.1	7.6	7.7	7.7	7.4	6.8	6.4	6.1	5.9	5.7	5.5	5.4	5.2	5.1	R
	5.0	5.0	4.9	4.8	4.3	4.7	4.2	5.1	5.9	6.6	7.2	7.6	7.7	7.6	7.3	7.0	6.7	6.4	6.1	5.8	5.6	5.4	5.2	5.1	S
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.7	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1 0
12	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.5	4.1	4.6	5.0	5.2	5.2	5.0	4.5	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	R
	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2	3.8	4.3	4.8	5.0	5.1	5.1	4.8	4.5	4.3	4.2	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	S
	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1 0

MND

TIJDPAK 1971 - 1980

R=GEREGISTREERDE-, S=GESIMULEERDE TEMPERATUUR, V=GEM. ABS. VERSCHILLEN GEREGL. EN GESIM. ETM. TEMPERATUREN,
D=GEM. ABS. VERSCHILLEN GEREGL. EN GESIM. UURTEMPERATUREN, P=VERSCHIL POPULATIEGEMIDDELDEN, T=t-STUDENT, C=COR.COEFFICIENT.

ALLE TEMPERATUREN IN GRADEN CELSIUS

Tabel 1: Resultaten over 1971 - 1980

- Per maand de correlatiecoëfficiënt (C) van de etmaaltemperaturen R en S.
- Per maand de maandgemiddelde temperaturen van elk (heel) uur van het etmaal (R en S), de absolute verschillen (R en S) per uur en het gemiddelde van de absolute verschillen over 24 uur (D).

Allereerst dient opgemerkt te worden dat tengevolge van mogelijke persistentie, de onafhankelijkheid van de steekproeven niet zeker is.

Dit heeft dan als gevolg dat de nauwkeurigheid, besloten in de statistische uitspraken, kleiner zal zijn.

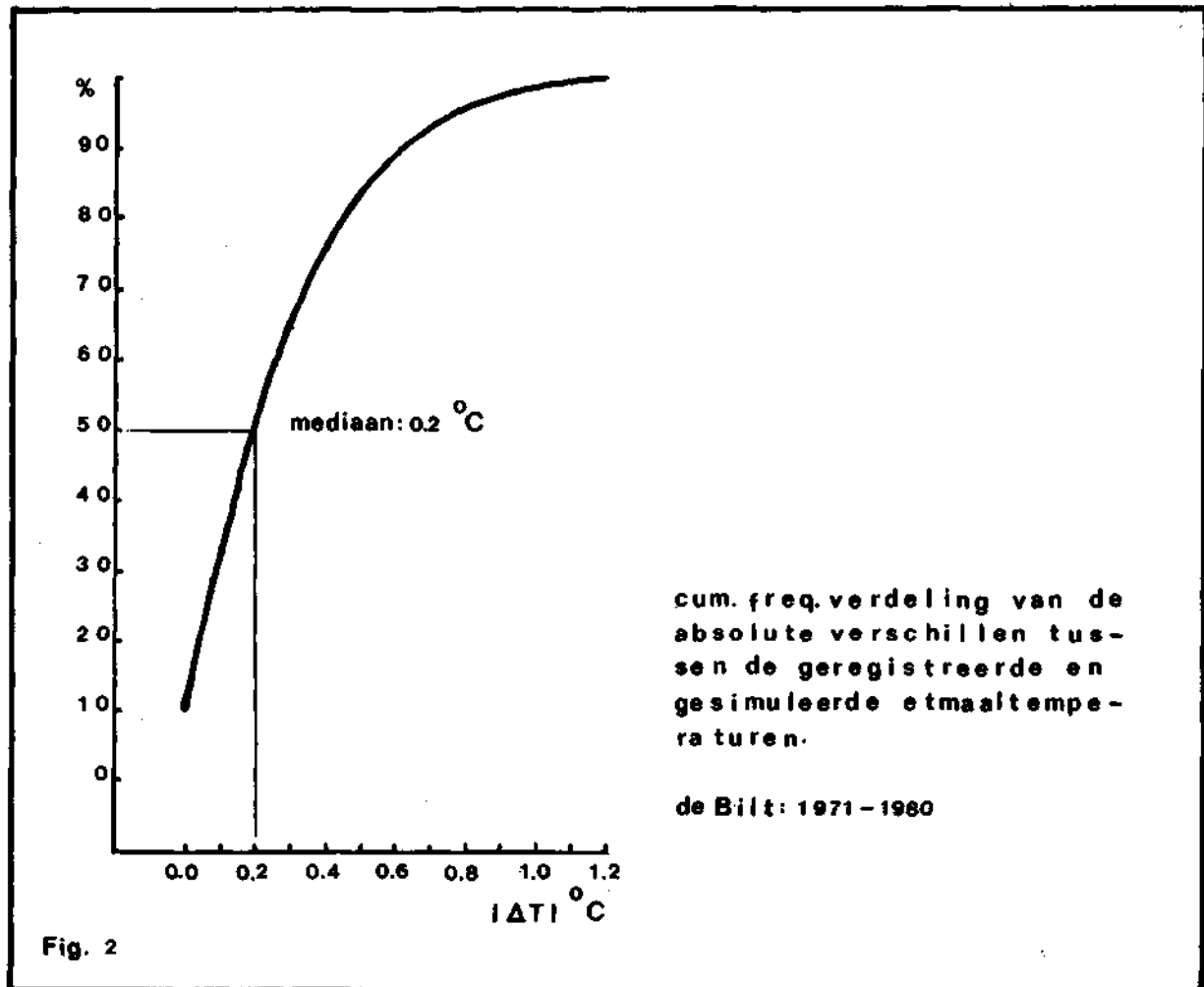
De waarden van de maandgemiddelde etmaaltemperaturen, berekend uit gesimuleerde temperaturen en gemeten temperaturen, verschillen weinig. In 11 van de 12 maanden zijn zij gelijk, alleen in maart bedraagt het verschil 0.1°C .

De correlatiecoëfficiënt, welke het verband aangeeft tussen de gesimuleerde en de gemeten etmaaltemperaturen, neemt voor alle maanden ongeveer de waarde 1.00 aan.

Uit de toets van Student blijkt dat bij de nul-hypothese: "er is geen verschil tussen de gesimuleerde en de gemeten etmaaltemperatuur" bij 5 % tweezijdig toetsen ($t=1.96$) in geen van de maanden verworpen hoeft te worden.

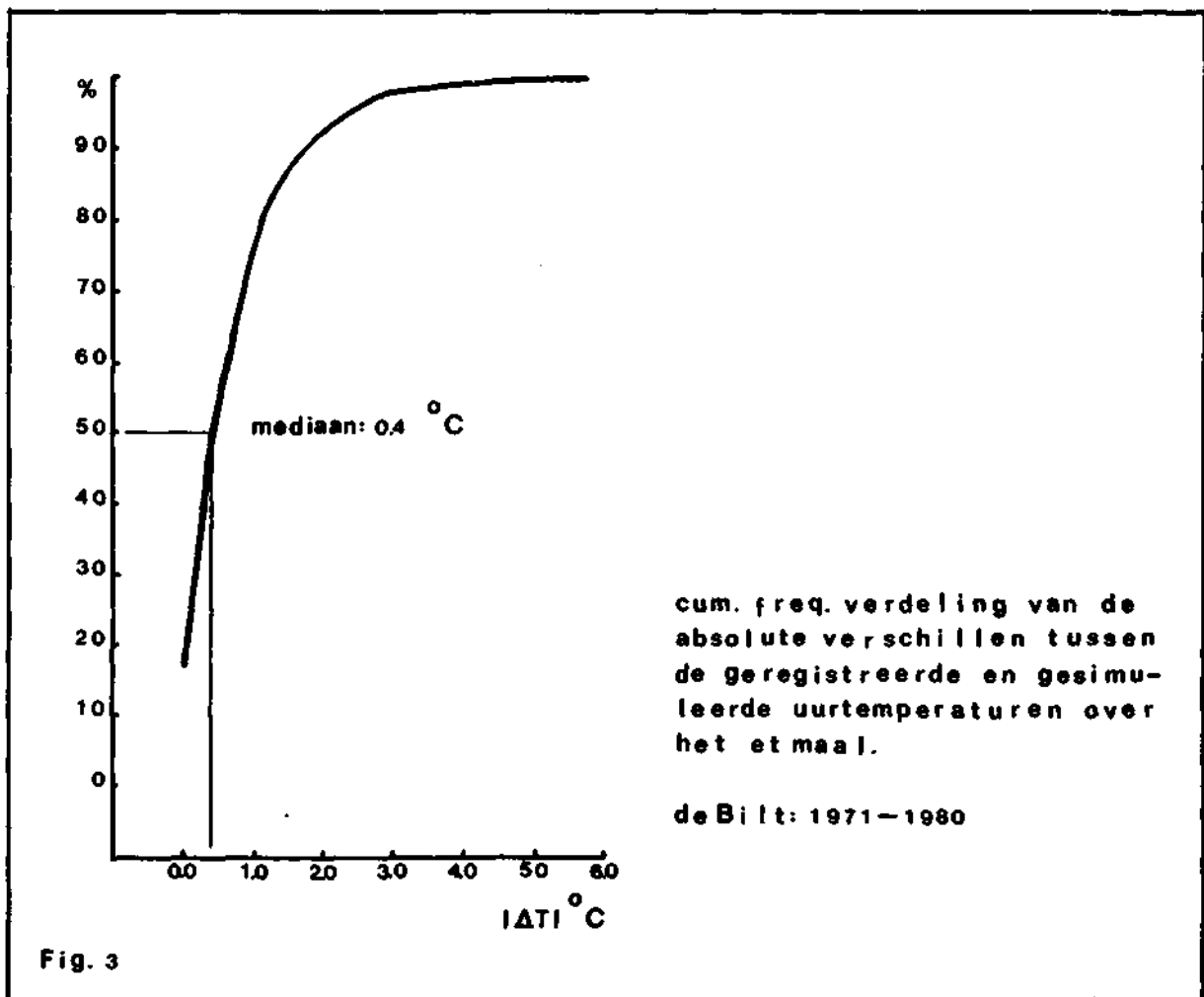
Daarnaast is volgens Student het verschil van de populatie-

gemiddelden van de etmaaltemperaturen (R en S) van alle maanden
zeer gering: zij bedraagt ten hoogste 0.0 ± 0.1 °C.



In figuur 2 wordt de relatieve cumulatieve frequentieverdeling van de absolute verschillen tussen de gesimuleerde en de berekende etmaaltemperaturen weergegeven. De mediaan ligt bij ongeveer 0.2 °C. De waarde 100 % wordt vrijwel bereikt bij een temperatuurverschil

van 1.0°C ; met andere woorden de gesimuleerde etmaaltemperaturen zullen vrijwel nooit meer dan 1.0°C afwijken van de geregistreerde etmaaltemperaturen.



Figuur 3 laat de relatieve cumulatieve frequentieverdeling zien van de absolute verschillen tussen de geregistreerde en gesimuleerde temperaturen per uur. De mediaan ligt bij 0.4°C .

Dit houdt in dat 50 % van alle gesimuleerde temperaturen minder dan 0.4°C afwijken van de geregistreeerde temperaturen.

Tevens is af te lezen dat in 95 % van alle gevallen het absolute verschil kleiner of gelijk is aan 2.0°C .

De in tabel I aangegeven absolute verschillen tussen de maandgemiddelde temperaturen per uur, berekend uit gesimuleerde en geregistreeerde temperaturen, laten eveneens geringe waarden zien.

Deze waarden liggen in het algemeen tussen de 0.0 en 0.2°C .

Het gemiddelde van deze verschillen over de 24 uren van het etmaal (D) bedraagt in slechts 3 maanden een waarde die groter is dan 0.1°C .

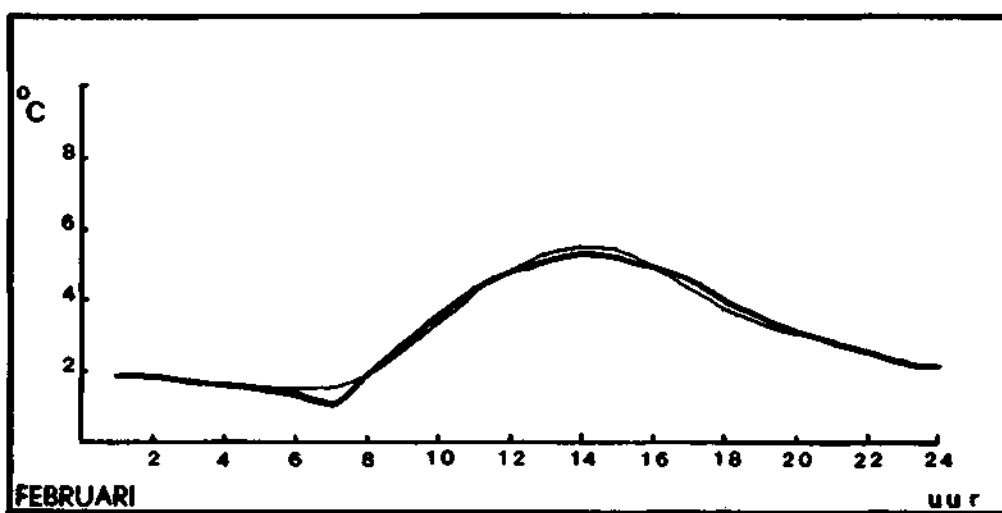
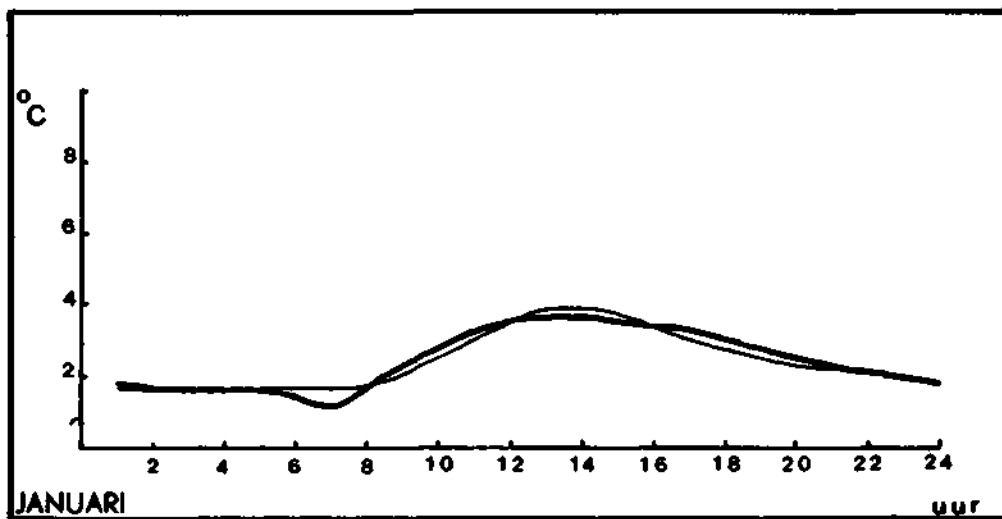
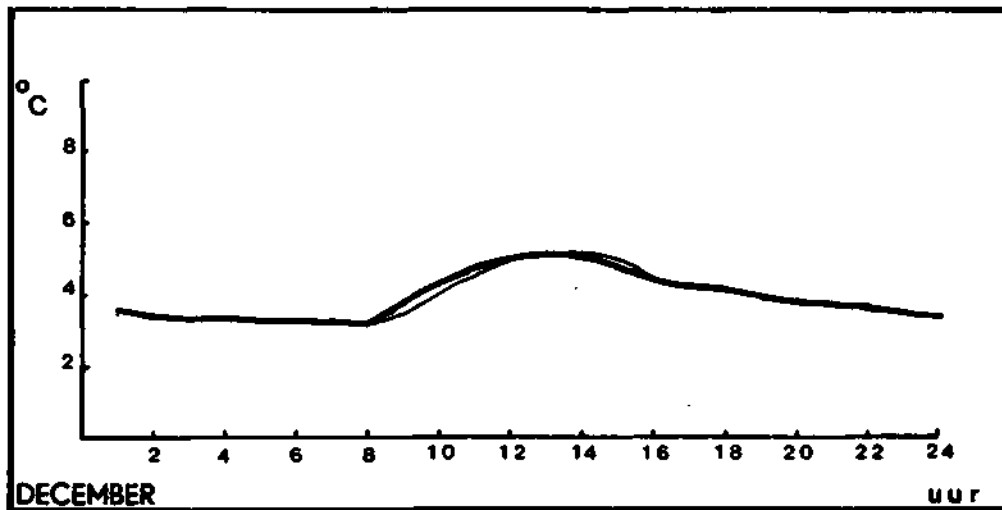
Figuren 4^a , 4^b , 4^c en 4^d geven grafisch het verloop weer over het etmaal van de maandgemiddelde temperatuur per uur (R en S) van alle maanden van het jaar.

Opvallend is de goede dekking van de kurven van de gesimuleerde temperaturen met die van de geregistreeerde temperaturen.

Een uitzondering vormen de gesimuleerde minima. Deze zijn met name in het voor- en najaar te laag.

Een mogelijke verklaring is dat het model voor elk etmaal van een bepaalde maand een minimum genereert op (min of meer) hetzelfde tijdstip. Echter in werkelijkheid zullen de tijdstippen, waarop de werkelijke (geregistreeerde) minima vallen, variëren, waardoor het gemiddelde verloop van de geregistreeerde temperaturen kan afvlakken.

De afwijkingen zullen het grootst zijn in die maanden, waarin de minima het meest geprononceerd zijn en het meest variëren in tijdstippen van optreden.

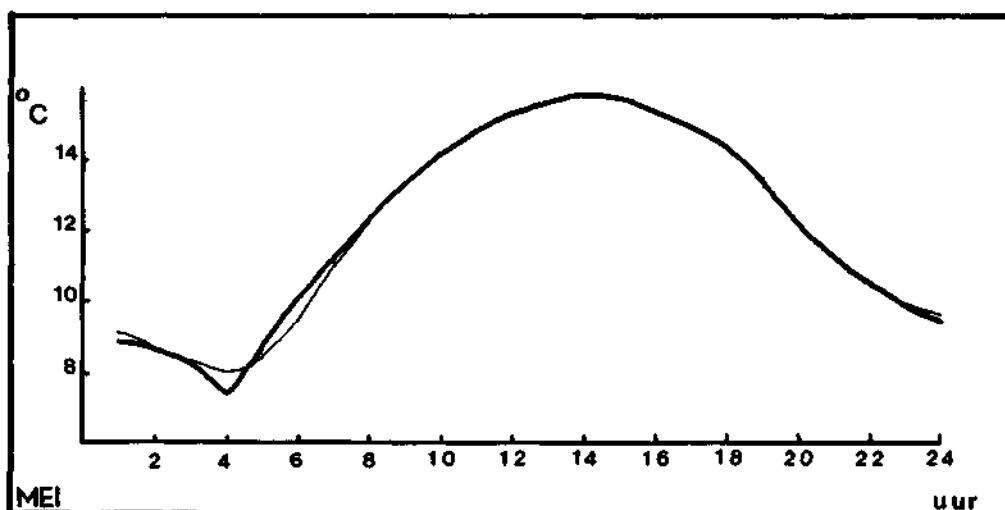
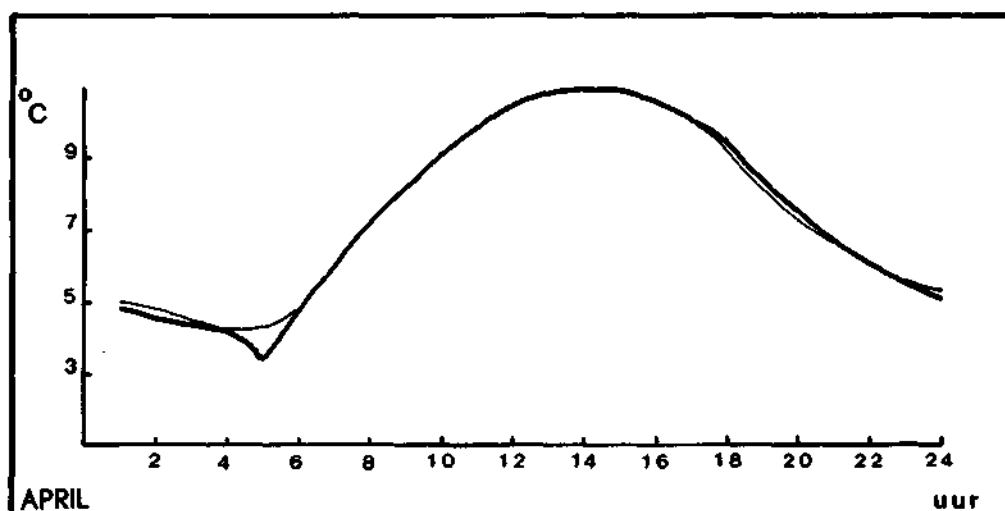
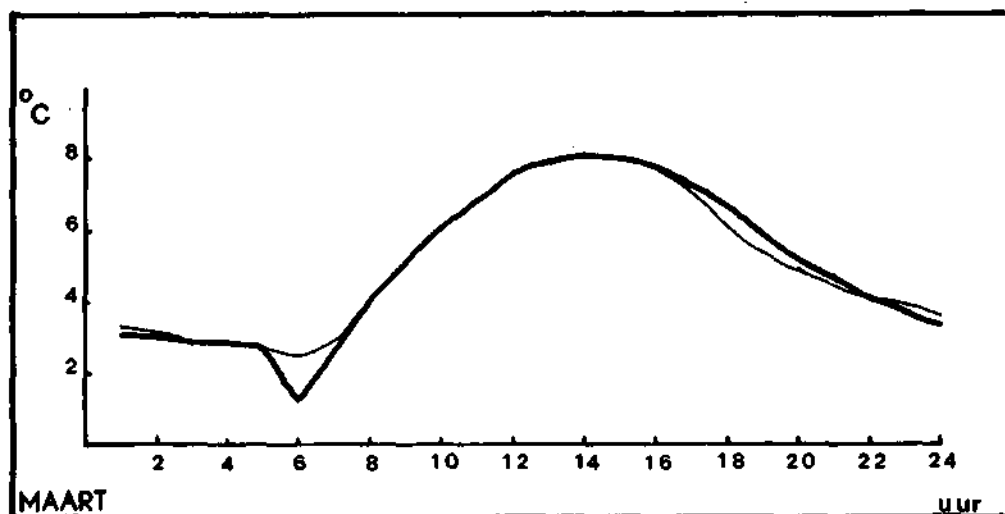


VERLOOP VAN DE MAANDGEMIDDELDE
UURTEMPERATUUR OVER HET ETMAAL

— GEREgistREED
- - - GESIMULEERD

DE BILT: 1971-1980

FIG. 4^o

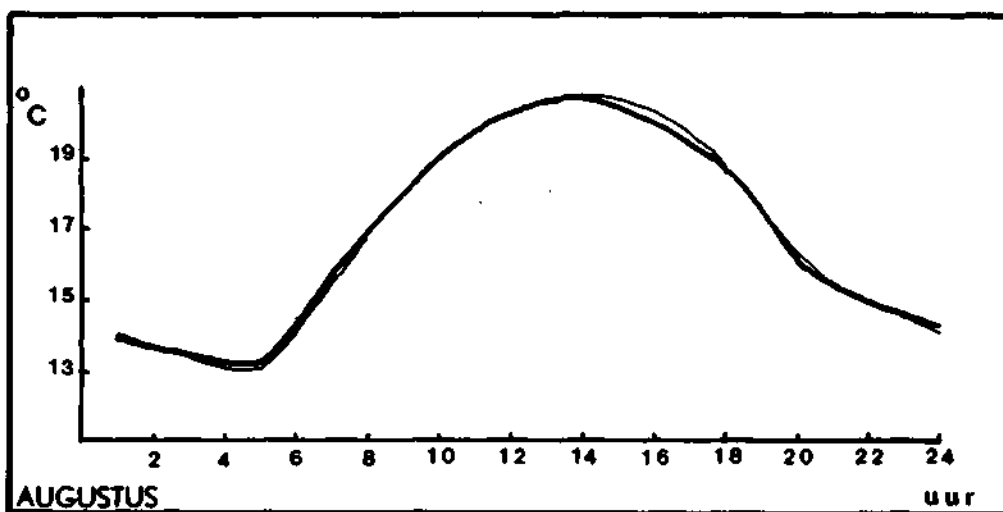
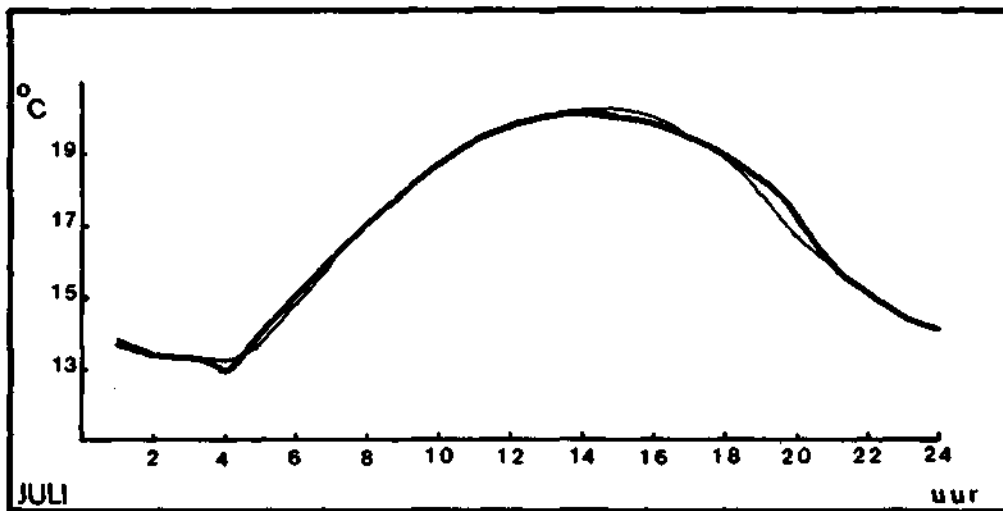
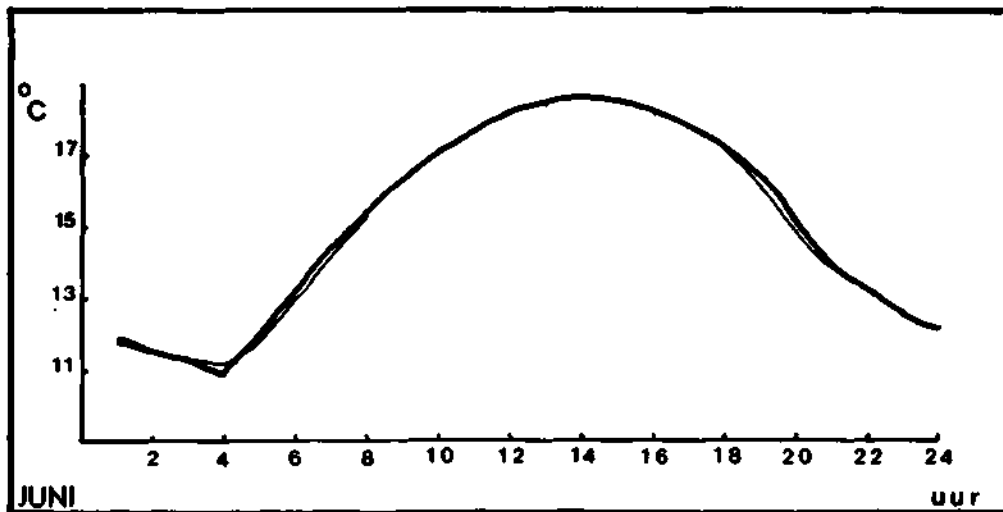


VERLOOP VAN DE MAANDGEMIDDELTE
 UURTEMPERATUUR OVER HET ETMAAL

— GEREGEREERD
 — GESIMULEERD

DE BILT: 1971-1980

FIG. 4^b

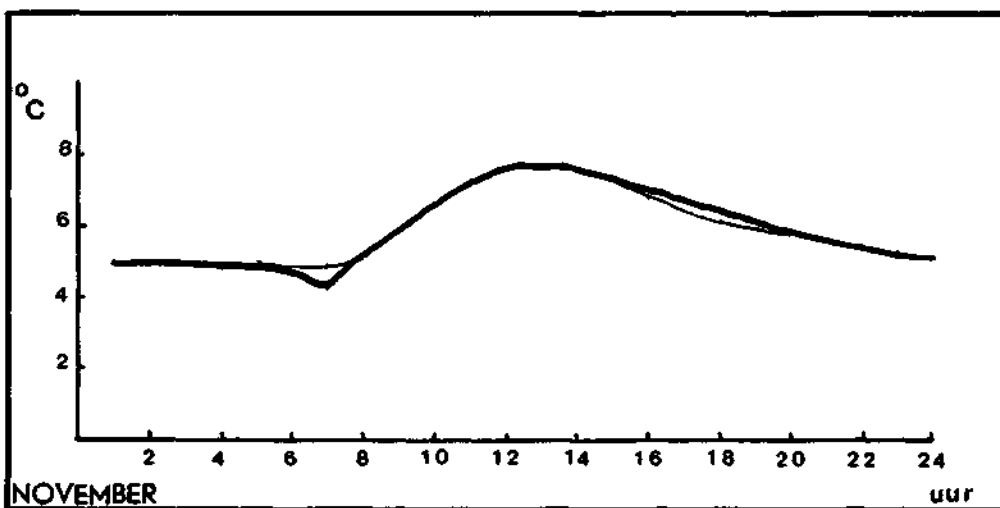
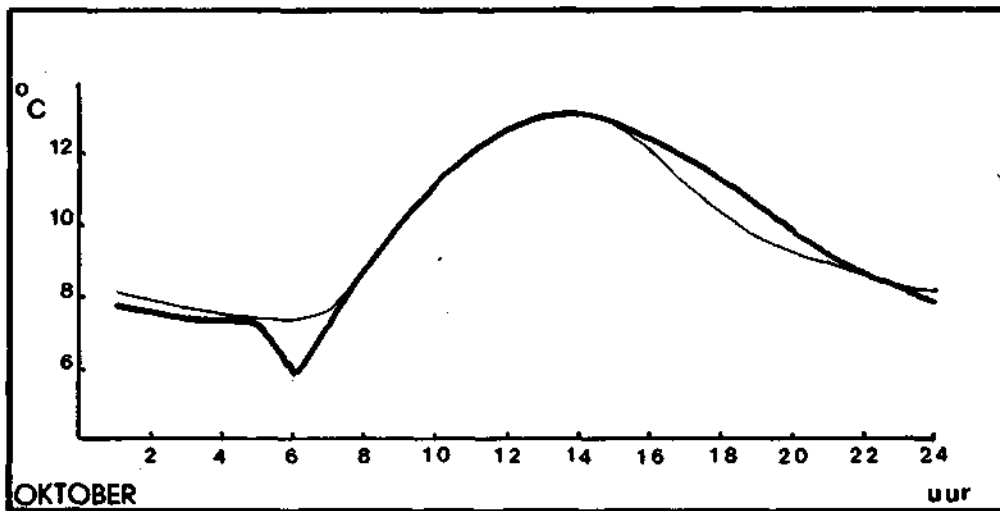
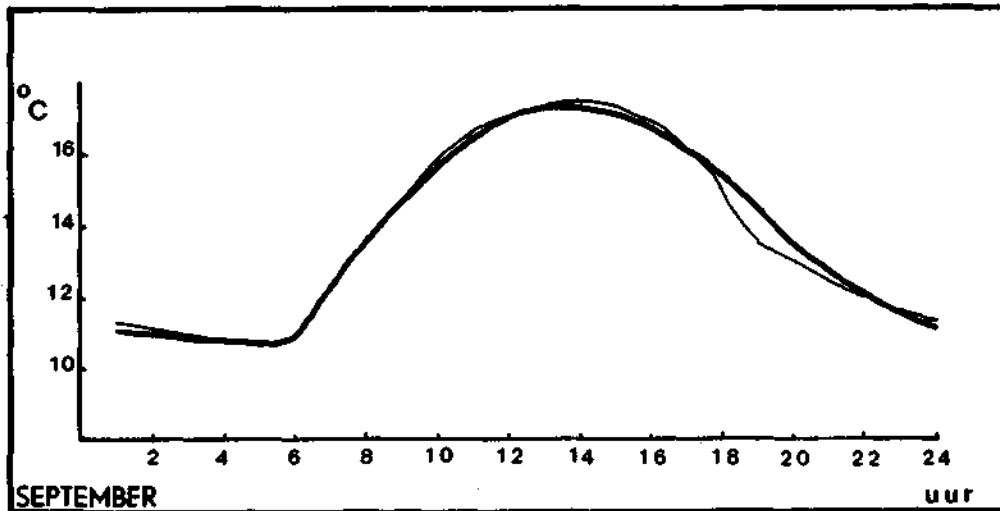


VERLOOP VAN DE MAANDGEMIDDELTE
 UURTEMPERATUUR OVER HET ETMAAL

— GEREGEREERD
 - - - GESIMULEERD

DE BILT: 1971-1980

FIG. 4^c



VERLOOP VAN DE MAANDGEMIDDELTE
UURTEMPERATUUR OVER HET ETMAAL

— GEREgistREERD
- - - GESIMULEERD

DE BILT: 1971-1980

FIG. 4^d

MAANDOVERZICHT

	JAN	FEB	MRT	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC													
	2.3	3.4	2.7	3.1	13.7	13.9	17.2	17.1	13.3	10.5	5.7	5.4	R												
	2.3	3.4	2.8	7.2	13.7	13.8	17.3	17.1	13.4	10.5	5.7	5.5	S												
	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.4	0.3	0.2	V												
	0.0#0.1	-0.0#0.1	-0.1#0.1	1.2#0.2	0.1#0.2	0.0#0.1	-0.1#0.1	-0.0#0.1	-0.1#0.2	-0.0#0.2	0.0#0.1	-0.0#0.1	P												
	0.06	-0.22	-0.73	1.70	0.70	0.60	-1.19	-0.22	-1.28	-0.10	0.63	-0.33	T												
	1.00	0.99	1.00	0.79	0.98	0.99	0.99	0.98	0.97	0.99	1.00	1.00	C												
uur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1-24
1	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.7	2.3	2.7	3.2	3.7	3.9	3.7	3.2	2.9	2.9	2.6	2.4	2.4	2.3	2.2	2.0	R
	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	0.3	1.4	2.0	2.5	2.9	3.2	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	S
	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.3	0.5	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1 D
2	2.0	2.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	3.7	4.4	5.1	5.6	5.8	5.9	5.7	5.3	4.8	4.3	3.9	3.6	3.4	3.1	3.0	2.8	R
	2.0	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	1.7	2.8	3.7	4.4	5.1	5.6	5.8	5.9	5.8	5.5	5.1	4.6	4.1	3.8	3.4	3.1	2.9	2.7	S
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1 D
3	1.3	0.8	0.7	0.4	0.3	0.3	0.5	1.7	2.7	3.6	4.4	5.1	5.3	5.5	5.6	5.2	4.7	3.9	3.3	2.8	2.5	2.1	1.9	1.6	R
	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5	-1.3	0.4	1.7	2.7	3.6	4.4	5.1	5.4	5.6	5.6	5.4	4.9	4.5	3.7	3.1	2.6	2.1	1.7	1.4	S
	0.2	0.1	0.0	0.3	0.5	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2 D
4	5.2	5.1	4.7	4.5	4.6	5.3	6.4	7.4	8.4	9.6	10.5	11.2	11.7	11.9	11.9	11.7	11.1	10.1	8.9	8.0	7.0	6.4	5.9	5.5	R
	4.9	4.4	4.3	4.1	3.1	4.6	6.1	7.4	8.4	9.7	10.6	11.2	11.7	11.8	11.8	11.5	11.0	10.3	9.1	8.1	7.2	6.4	5.8	5.3	S
	0.3	0.5	0.4	0.4	1.4	0.7	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2 D
5	10.0	9.4	9.1	8.8	9.2	10.5	12.4	14.0	15.3	16.2	17.0	17.5	17.9	18.0	18.2	17.9	17.5	16.5	15.1	13.6	12.5	11.7	11.1	10.6	R
	9.8	9.5	9.2	8.1	9.7	11.2	12.6	14.0	15.1	16.1	16.9	17.5	17.8	18.0	17.8	17.5	16.9	16.1	15.1	13.6	12.6	11.7	11.0	10.4	S
	0.2	0.0	0.1	0.7	0.5	0.7	0.7	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.6	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2 D
6	11.1	10.9	10.8	10.7	11.3	12.1	13.2	14.2	15.4	16.0	16.4	16.8	16.9	16.9	17.1	16.6	16.2	15.5	14.6	13.5	12.6	11.9	11.4	11.1	R
	10.9	10.5	10.4	10.0	11.1	12.2	13.3	14.2	15.1	15.9	16.4	16.8	17.0	17.1	17.0	16.7	16.3	15.7	15.0	13.8	12.6	11.9	11.4	11.0	S
	0.3	0.4	0.4	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.0	0.3	0.0	0.1	0.2 D
7	13.3	12.9	12.6	12.4	13.3	14.1	15.3	16.3	17.0	17.6	17.2	17.0	17.1	17.1	17.0	16.7	16.3	15.7	15.0	13.8	12.6	11.9	11.4	11.0	R
	13.6	13.5	13.4	13.2	14.4	15.7	16.9	17.3	17.9	17.4	17.2	17.0	17.1	17.1	17.0	16.7	16.3	15.7	15.0	13.8	12.6	11.9	11.4	11.0	S
	0.3	0.6	0.9	0.7	1.1	0.7	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.7	0.8	0.7	0.5	0.0	0.3	0.1	0.0	0.2	0.2	0.4 D
8	14.5	14.3	14.1	13.7	13.7	14.3	15.1	17.2	18.2	19.5	20.0	20.3	20.6	20.6	20.6	20.3	19.7	18.8	17.6	16.6	16.0	15.5	15.3	14.9	R
	14.7	14.5	14.3	14.1	14.3	15.7	15.2	17.2	18.2	19.0	19.6	20.0	20.3	20.4	20.2	19.9	19.3	18.6	17.7	16.4	15.9	15.5	15.2	15.0	S
	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2 D
9	9.8	9.4	9.0	8.8	8.7	9.9	11.1	13.3	15.1	16.2	17.1	17.8	18.2	18.4	18.3	17.6	16.7	15.1	13.5	12.4	11.4	11.1	10.7	10.1	R
	9.6	9.5	9.4	9.3	9.4	9.5	11.4	13.3	14.7	16.0	17.0	17.8	18.1	18.2	17.9	17.4	16.5	15.8	14.4	13.2	12.0	11.1	10.4	9.8	S
	0.2	0.1	0.4	0.6	0.7	0.6	0.3	0.0	0.4	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.7	0.9	0.8	0.6	0.0	0.3	0.3	0.3 D
10	8.6	8.3	7.9	7.6	7.5	7.5	8.2	9.5	10.9	12.2	13.3	14.0	14.5	14.7	14.5	13.5	11.9	10.7	10.1	9.7	9.3	9.1	8.7	8.6	R
	8.2	7.9	7.8	7.6	7.5	5.9	7.7	9.5	10.9	12.2	13.2	14.0	14.3	14.4	14.0	13.4	12.9	12.0	11.2	10.4	9.8	9.1	8.7	8.2	S
	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	1.6	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.4	0.1	1.0	1.3	1.1	0.7	0.5	0.0	0.0	0.4	0.4 D
11	4.6	4.7	4.3	4.9	4.7	4.3	4.8	5.1	5.9	6.6	7.1	7.5	7.7	7.5	7.2	6.6	6.1	5.9	5.7	5.5	5.1	4.9	4.6	4.6	R
	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	5.1	5.9	6.6	7.1	7.5	7.6	7.4	7.1	6.8	6.4	6.0	5.7	5.4	5.2	4.9	4.7	4.6	S
	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.6	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1 D
12	5.2	5.1	5.1	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.5	5.9	6.3	6.5	6.5	6.2	5.7	5.7	5.6	5.6	5.4	5.3	5.3	5.1	5.1	R
	5.2	5.1	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9	5.3	5.7	6.1	6.3	6.4	6.3	6.1	5.9	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.3	5.2	5.1	S
	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1 D

WVD

JAAR 1971

R=GEREGISTREERDE-, S=GESIMULEERDE TEMPERAATUUR, V=GEM. ABS. VERSCHILLEN GEREG. EN GESIM. ETH. TEMPERATUUREN,
D=GEM. ABS. VERSCHILLEN GEREG. EN GESIM. UURTEMPERATUUREN, P=VERSCHIL POPULATIEGEMIDDELDEN, T=t-STUDENT, C=COEF.FICIENT.

ALLE TEMPERATUUREN IN GRADEN CELSIUS

Tabel II: Resultaten over 1971

Daar de afwijkingen in het algemeen betrekking hebben op slechts één van de 24 uren van het etmaal, is hun invloed op het totale dagelijkse verloop gering.

V-2 Resultaten over het jaar 1971 voor het station De Bilt

Tabel II laat hetzelfde zien als tabel I, echter hier hebben de berekeningen betrekking op een tijdvak van slechts één jaar: 1971.

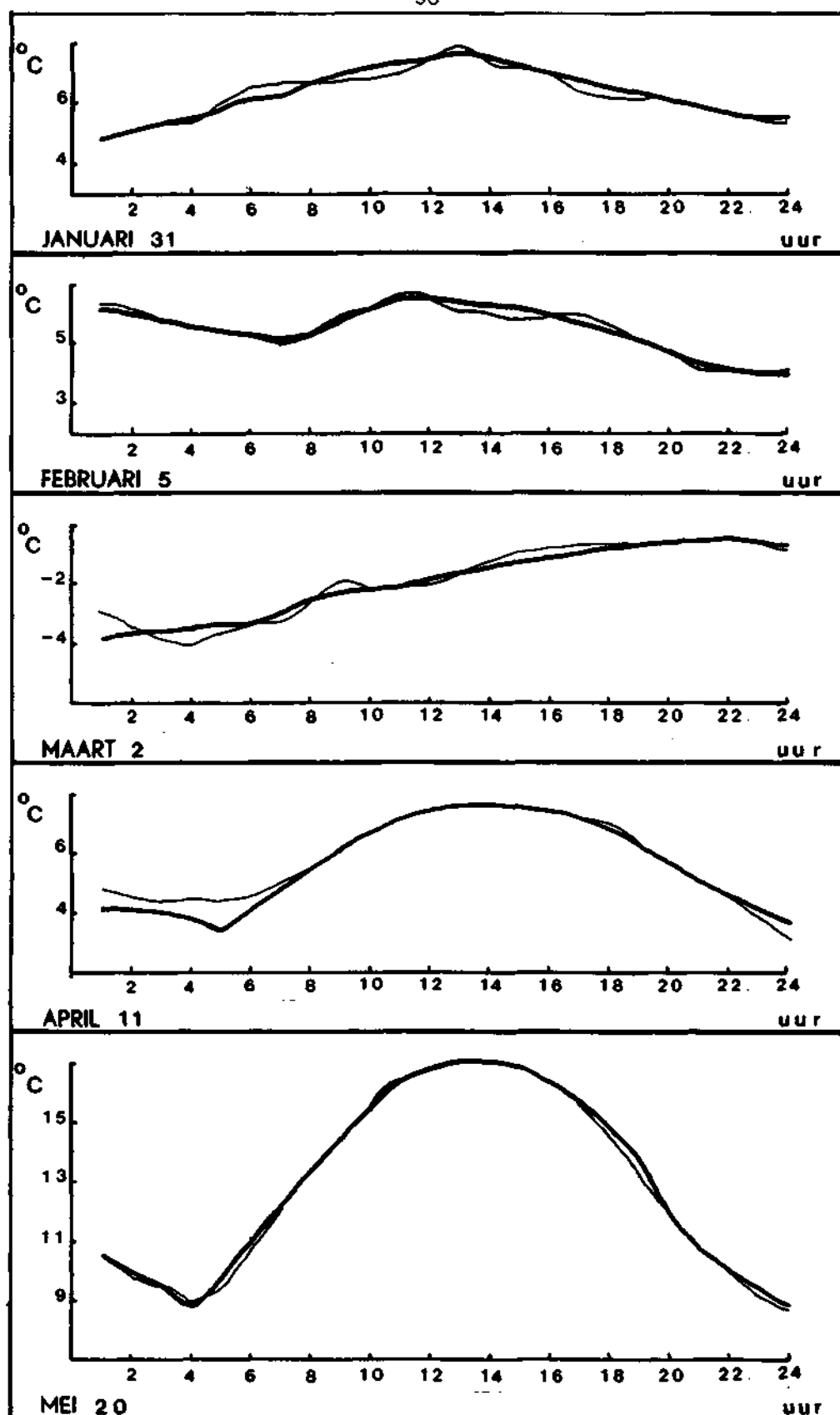
De verschillen tussen de maandgemiddelde etmaaltemperaturen, berekend uit gesimuleerde en geregistreerde temperaturen zijn, zoals te verwachten, groter dan die vermeld in tabel I.

Zij blijven echter gering: in 6 maanden bedragen ze 0.0°C , in 5 maanden 0.1°C en in één maand - maart - bedraagt ze 0.2°C .

Ook de verschillen tussen de maandgemiddelde temperaturen per uur (R en S) zijn in het algemeen niet groot: 0.1 tot 0.2°C ; het grootste verschil bedraagt 1.4°C .

Figuren 5^a, 5^b en 5^c tenslotte laten het verloop zien van de gesimuleerde en de geregistreerde temperatuur te De Bilt over enige willekeurige etmalen van 1971.

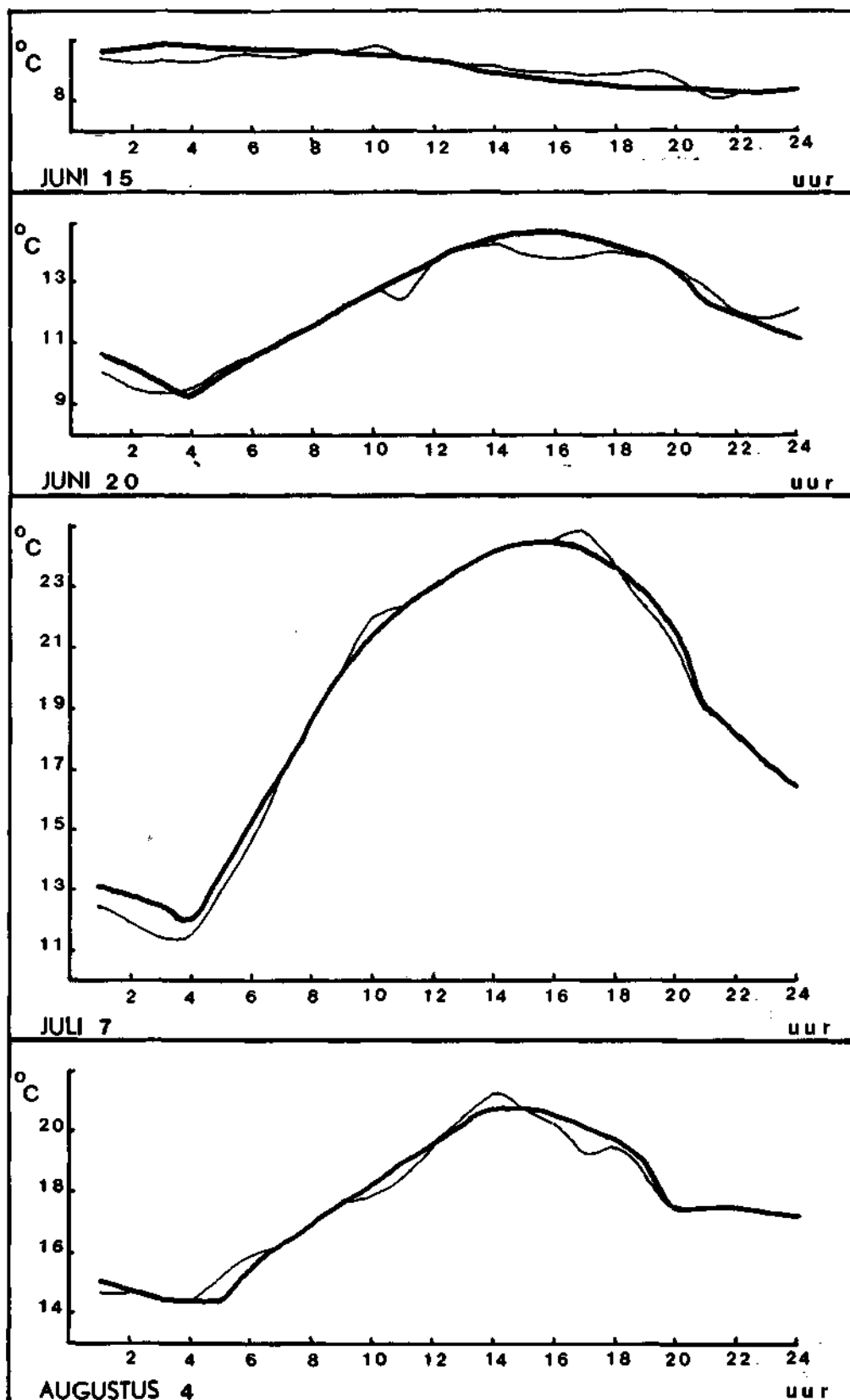
De verschillende kurven illustreren dat het model in staat is niet alleen een geprononceerde dagelijkse gang goed te simuleren, maar ook een vlakker verloop van de temperatuur te kunnen nabootsen. Kortdurende schommelingen van de temperatuur kunnen uiteraard niet opgevangen worden - het model zal een vereffend verloop van de temperatuur geven.



VERLOOP VAN DE TEMPERatuur IN DE BILT
OVER ENIGE WILLEKEURIGE ETMALEN VAN 1971

— GEREgISTREERD
— GESIMULEERD

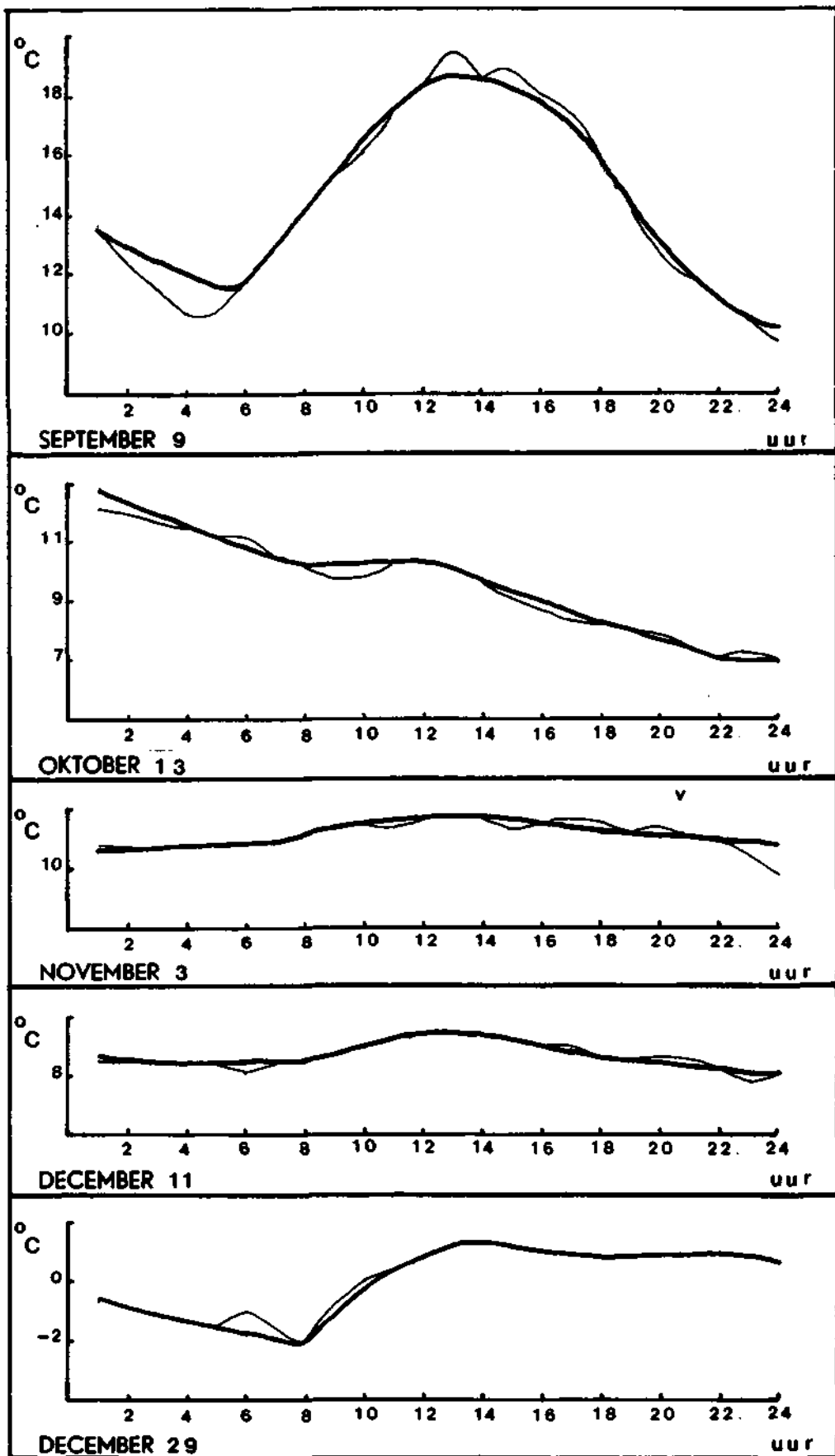
FIG. 5^a



VERLOOP VAN DE TEMPERatuur IN DE BILT
OVER ENIGE WILLEKEURIGE ETMALEN VAN 1971

— GEREgistREERD
— GESIMULEERD

FIG. 5^b



VERLOOP VAN DE TEMPERatuur IN DE BILT
OVER ENIGE WILLEKEURIGE ETMALEN VAN 1971

— GEREgistREERD
- - - GESIMULEERD

FIG. 5°

VI Konklusie

Het rekenmodel geeft goede resultaten in de berekening van de maand-gemiddelde temperaturen uit termijnmetingen.

Er zijn echter andere technieken (bijvoorbeeld statistische reductie-technieken), waarmee eveneens goede resultaten bereikt kunnen worden. Een meer interessante toepassing lijkt, dat met behulp van het model een uitspraak gedaan kan worden over het verloop van de temperatuur over een afzonderlijk etmaal, over de etmaaltemperatuur en over het gemiddelde dagelijkse verloop van de temperatuur over een langere periode (bijvoorbeeld een maand).

Indien het model toegepast moet worden op een reeks temperaturen van een klimatologisch station, waar nooit uurlijkse metingen zijn verricht, maar uitsluitend termijnmetingen (en dit is bij de meeste historische stations het geval) dan doet de moeilijkheid zich voor, dat bepaalde parameters (bijvoorbeeld de tijdstippen van optreden van de extrema) niet uit de reeks zelf te bepalen zijn.

Deze parameters zullen dan geschat moeten worden uit de reeks van een (Hoofd)station, waar wel de temperatuur elk uur gemeten wordt en dat een (mikro)klimatologisch karakter heeft dat zoveel mogelijk overeenkomt met dat van het te onderzoeken station.

Plezierig is, dat het model weinig gevoelig blijkt te zijn voor de in te schatten parameters, zodat een foutieve schatting niet tot grote fouten in de uitkomsten hoeft te leiden.

VII Appendix: Vergelijkingen voor de bepaling van de tijdstippen
van zonsopgang en zonsondergang

De vergelijkingen waarmee de tijdstippen van zonsopgang en zonsondergang bepaald kunnen worden zien er als volgt uit:

$$\text{Tijdstip zonsopgang} = 12 - T_0 - O - R$$

$$\text{Tijdstip zonsondergang} = 12 - T_0 - O + R$$

$$\text{Daglength} = 2.R$$

$$\text{Nachtlength} = 24 - 2.R$$

Waarin:

$$T_0 = T_1 + T_2$$

Tijdsvergelijking

$$T_1 = 0.0072.C_1 - 0.0528.C_2 - 0.0012.C_3$$

$$T_2 = -0.1229.S_1 - 0.1565.S_2 - 0.0041.S_3$$

$$C_1 = \cos(n), C_2 = \cos(2.n), C_3 = \cos(3.n)$$

$$S_1 = \sin(n), S_2 = \sin(2.n), S_3 = \sin(3.n)$$

$$n = 2.\pi.d / 366$$

Daghoek

$$d = \text{Dagnummer}$$

$$O = L/15$$

Uurhoek

$$L = \text{Positie station in graden Oosterlengte}$$

$$R = 180.R_0 / 15.\pi$$

$$R = \text{ABS}[BGCOS(-TG(B) . TG(D_0) - E / (\cos(B) . \cos(D_0)))]$$

$$B = \text{Positie station in radialen Noorderbreedte}$$

$$D_0 = D_1 + D_2$$

Deklinatie

$$D_1 = 0.33281 - 22.984.C_1 - 0.3499.C_2 - 0.1398.C_3$$

$$D_2 = 3.7872.S_1 + 0.03205.S_2 + 0.07187.S_3$$

E = Som van kindaling: 34' en straal van de zon: 16',

uitgedrukt in radialen

Elevatie

Literatuuropgave

- 1 Dogniaux, R.
Computer procedure for accurate calculation of radiation data related to solar energy utilization.
Proc. WMO 477, 1976, p 191 - 197.
- 2 Geurts, H.A.M. en van Engelen, A.F.V.
Geschiedenis van weerkundige waarnemingen in het bijzonder in Nederland vóór de oprichting van het K.N.M.I.
K.N.M.I. - publikatie 165 - I, 1983, p 69 - 74.
- 3 Goudriaan, J. and Waggoner, P.E.
Simulating both aerial microclimate and soil temperature from observations above the foliar canopy.
Neth. Journ. Agric. Sci. 20, 1972, p 104 - 124.
- 4 Johnson, M.E. and Fitzpatrick, E.A.
The monthly mean diurnal temperature curve.
Arch. Met. Geophys. Bioklimatol. Ser. B 25, 1977, p 265 - 274.
- 5 Johnson, M.E. and Fitzpatrick, E.A.
A comparison of two methods of estimating a mean diurnal temperature curve during the daylight hours.
Arch. Met. Geophys. Bioklimatol. Ser. B 25, 1977, p 251 - 263.
- 6 Langbein, W.B.
Computing soiltemperatures.
Trans. Am. Geophys. Union 30, 1949, p 543 - 547.
- 7 Parton, W.J. and Logan, J.A.
A model for diurnal variation in soil and air temperature.
Agric. Meteorol. 23, 1981, p 205 - 216.
- 8 Peterson, C.T. and Parton, W.J.
Diurnal variations of windspeeds at a shortgrass prairie site - a model.
Agric. Meteorol. 28, 1982, p 365 - 374.
- 9 Snelders, H.A.M. en Schuurmans, C.J.E.
Christophorus H.D. Buys Ballot.
In: Van Stevin tot Lorentz - portretten van Nederlandse natuurwetenschappers.
Intermediair Bibliotheek, 1980, p 123 - 134.