

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

**WETENSCHAPPELIJK RAPPORT
SCIENTIFIC REPORT**

W. R. 74 - 2

F. IJnsen

**Onderzoek naar het optreden van
winterweer in Nederland**

2e gewijzigde druk



De Bilt 1981

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 74-2 (K.D.), 2e gewijzigde druk 1981

U.D.C.: 551.506.3 :
551.524.36 :
551.583.1/2 :
519.2
551.582(492)

INHOUD

Voorwoord

Samenvatting

Summary

	pag.
1. Inleiding	1
2. Het begrip "winterweer"	1
3. Bestaande classificatiemethoden	2
3.1. Methode Hellmann	3
3.2. Methode Ten Kate	3
3.3. Methode Van Everdingen	4
3.4. Methode Easton	4
3.5. De rangschikkingsmethode volgens gemiddelde temperaturen	6
4. Het vorstgetal	9
4.1. De frequentieverdelingen van de elementen	10
4.1.1. De homogeniteit van de reeksen	11
4.1.2. De frequentieverdeling van de vorstdagen	11
4.1.3. De frequentieverdeling van de ijsdagen	11
4.1.4. De frequentieverdeling van de zeer koude dagen	12
4.1.5. De frequentieverdeling van de absolute minima	12
4.2. Vaststelling van het vorstgetal	13
5. Vorstgetallen, geschat uit andere thermische karaktergetallen	16
5.1. Verband tussen V en E_B in het tijdvak 1852-1916	17
5.2. Verband tussen E_B en E_{WE} in het tijdvak 1852-1916	18
5.3. Vorstgetallen in het tijdvak 1200-1916	18
5.4. Verband tussen vorstgetallen, wintercijfers en wintertemperaturen	25
5.5. Vorstgetallen voor De Bilt, 1634-1849	26

	pag.
6. De frequentieverdeling van de vorstgetallen	27
6.1. Indeling van de winters in categorieën	29
6.2. Tijdreeks van vorstcategorieën	32
7. Het statistische karakter van de tijdreeks 1634-1980	34
7.1. Toepassing van de run-toets	34
7.2. Fluctuaties in het optreden van strenge winters ?	36
 APPENDIX	 39
1. Benadering van de negatieve temperaturen uit de dagelijkse maxima en minima van de temperatuur	
2. De geschatte negatieve temperatuursom van de winters 1961 t/m 1980 en het verband daarvan met K en V	
 LITERATUUR	 42
SYMBOLEN	43
TABELLEN	45
TABLES	46
FIGUREN	63
FIGURES	65

Uit het voorwoord bij de eerste druk.

In het onderhavige rapport geeft de heer F. IJnsen een volledige beschrijving van methoden en resultaten van een onderzoek naar het karakter van de winters in Nederland. Dit onderzoek werd door hem verricht als amateur-meteoroloog. Eerder verscheen hierover een beknopte publikatie in het tijdschrift Hemel en Dampkring van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde. Door deze vereniging werd aan de heer IJnsen voor zijn werk de Dr. J. van der Bilt prijs 1972 toegekend.

Het voorlopige rapport werd kritisch doorgelezen door enkele medewerkers van de afdeling Meteorologisch Onderzoek van het KNMI. Door het Statistisch Bureau van het KNMI werden waardevolle adviezen gegeven over de statistische aspecten van de studie.

De Hoofddirecteur van het KNMI gaf welwillend toestemming voor publikatie in de reeks Wetenschappelijke Rapporten van het KNMI

maart 1974.

Prof.Dr. F.H. Schmidt,
Direkteur van de Afdeling
Meteorologisch Onderzoek.

Bij de tweede, herziene druk.

De grote belangstelling voor het Nederlandse winterweer maakte een herdruk noodzakelijk. De heer F. IJnsen verzorgde een herziene versie van het Wetenschappelijk Rapport.

De belangrijkste veranderingen hierin betreffen de vorstgetalschattingen van het tijdvak 1706-1849, die nu zijn afgeleid van wintercijfers, en een nieuwe reeks vorstgetalschattingen voor de jaren 1634-1705, die konden worden afgeleid uit wintertemperaturen, welke op hun beurt waren ontleend aan de "De Vries-trekschuitreeks". Het begrip "vorstexcentriciteit" werd verlaten; in plaats

hiervan zijn de winters gekarakteriseerd door één van de categorie-
nummers 1 t/m 9. Aan de winters, waarover geen informatie aan-
wezig was, werd na hernieuwd onderzoek het vorstgetal 22 in plaats
van 16 toegekend.

Deze herziene uitgave is tot stand gekomen met medewerking
van dr.ir. Tj.A. Buishand en de heer A. Denkema, die het voorlopige
rapport kritisch doorlazen.

maart 1981.

drs. C.W. van Scherpenzeel,
Hoofd van de Afdeling
Klimatologische Dienst.

SAMENVATTING

Na een beschouwing van diverse methoden om winters te classificeren, wordt een aantal eisen opgesteld, waaraan het vorstgetal V , dat tussen de grenzen 0 en 100 de hoeveelheid winterweer karakteriseert, moet voldoen. De frequentieverdelingen van aantallen vorstdagen (v), ijsdagen (y) en zeer koude dagen (z) te De Bilt in de maanden november t/m maart van elk winterseizoen gedurende het tijdvak 1850-1980 worden behandeld en hieruit wordt een formule afgeleid met behulp waarvan V uit v , y en z kan worden berekend:

$$V = 0,00275 v^2 + 0,667 y + 1,111 z .$$

De aldus berekende waarden van V zijn in tabel IV opgenomen.

De vorstgetalschattingen 1706-1849 voor De Bilt zijn in tabel VII vermeld; ze zijn berekend uit een relatie tussen vorstgetallen (V), wintercijfers (H) en wintertemperaturen (T_h). Deze relatie is eveneens gebruikt om de wintertemperaturen van de "De Vries-reeks" (1634-1705) te transformeren naar een reeks vorstgetallen voor De Bilt (tabel VI).

In hoofdstuk 5 wordt voor het tijdvak 1852-1916 het verband gelegd tussen vorstgetal, de voor De Bilt berekende temperatuurcoëfficiënt volgens Easton (E_B) en de temperatuurcoëfficiënt van de Westeuropese klimaatprovincie (E_{WE}). Bovendien blijkt, dat de deelreeksen $\{E_{WE}, 1757-1916\}$ en die van de geschatte temperatuurcoëfficiënten $\{\hat{E}_{WE}, 1201-1756\}$ als één homogene reeks kunnen worden beschouwd. Met deze relaties kunnen alle temperatuurcoëfficiënten van de Westeuropese klimaatprovincie (1201-1916) worden omgerekend in vorstgetallen (tabel V). Voor het tijdvak 1201-1633 mogen deze vorstgetallen ook worden opgevat als verwachtingswaarden, geldend voor De Bilt.

Vervolgens wordt uit deze reeksen vorstgetallen een reeks categorienummers C_v van 1 t/m 9 afgeleid, zodanig, dat C_v een van de normale verdeling afgeleide symmetrische verdeling heeft met centrum 5 en dat tevens zo goed mogelijk is voldaan aan het

aantal benamingen, dat voor de diverse typen winters in zwang is (tabel VIII).

Ten slotte worden fluctuaties in het optreden van strenge winters ($C_v \geq 7$) onderzocht. De aantallen hiervan in tijdvakken van 30 jaar blijken in de periode 1351-1620 meer aan schommeling onderhevig dan in de periode 1621-1980.

SUMMARY

There are already several methods to classify winters. In this report a new one is proposed for all winters since the year 1200 in the Netherlands. For that purpose a "frost number" (V) is defined with the aid of which the frost that occurred in a certain winter can be fixed on a scale of 100 units; for a winter season without frost: $V = 0$ and for the most severe winter: $V = 100$ with a probability level $P(V) \ll 0,005$.

For the period 1850-1980 the frost numbers have been calculated from the numbers of days with: minimum temperature < 0 °C (v), maximum temperature < 0 °C (y) and minimum temperature ≤ -10 °C (z) according to the formula:

$$V = 0,00275 v^2 + 0,667 y + 1,111 z .$$

The elements v , y and z are derived from observations made at the Royal Netherlands Meteorological Institute at De Bilt (The Netherlands) and refer to the months of November, December, January, February and March of every winter season. In tabel IV all calculated values are listed.

For the period 1706-1849 frost numbers are estimated from an established relation with winter coefficients (H) and winter temperatures (T_h). They all refer to De Bilt and are listed in table VII. The correlation mentioned is also used to transform winter temperatures of the "De Vries-series" (1634-1705) into frost numbers for De Bilt (table VI).

In chapter 5 it is explained how in the period 1852-1916 frost numbers for De Bilt, calculated temperature coefficients according to Easton (E_B) and temperature coefficients of the Western European climate region (E_{WE}) are correlated. Moreover, it appears that the series $\{E_{WE}, 1757-1916\}$ and the series of estimated temperature coefficients $\{\hat{E}_{WE}, 1201-1756\}$ can be regarded as one homogeneous series. With the aid of these relations all temperature coefficients of the Western European climate region (1201-1916) can be transformed into frost numbers (table V). For the period 1201-1633 these frost numbers may be interpreted as being valid for De Bilt.

Next, from these series of frost numbers a series of frost index numbers (C_v) from 1 through 9 has been deduced, in such a way that C_v -values are symmetrically distributed (deduced from a normal distribution with $\mu(C_v) = 5$) and that they are in agreement with current expressions (table VIII).

Finally, oscillations in the occurrence of severe winters ($C_v \geq 7$) are investigated. It appears that numbers of severe winters in periods of 30 years during 1351-1620 show more fluctuations than during 1621-1980.

ONDERZOEK NAAR HET OPTREDEN VAN WINTERWEER IN NEDERLAND

1. Inleiding

Er bestaan verschillende methoden om winters te classificeren naar toe- of afnemende "strengheid". Bij alle methoden, die op onderling verschillende criteria berusten, tracht men het per seizoen opgetreden winterweer vast te leggen in karaktergetallen waarin meestal zowel de duur als het thermische karakter is verwerkt. Hierdoor is het mogelijk de ene winter met de andere te vergelijken. In [7] worden de meeste methoden besproken. Enkele bekende manieren van karakteriseren zijn die volgens Braak, Easton, Van Everdingen, Hellmann en Ten Kate.

Als de winters op volgorde van afnemende strengheid worden gerangschikt, blijkt dat die volgorden bij de verschillende methoden niet gelijk zijn; alle methoden zijn dan ook discutabel.

In het onderhavige onderzoek zijn de zogenaamde temperatuurcoëfficiënten van Easton alsmede beschikbare relevante temperatuurreeksen en de koudegetallen volgens Hellmann gebruikt om een uniforme reeks karaktergetallen op te bouwen vanaf het jaar 1200 tot heden. Deze karaktergetallen, die in het navolgende worden aangeduid met "vorstgetallen", zijn een schatting van de "hoeveelheid" winterweer per seizoen van 1 november t/m 31 maart, uitgedrukt op een 100-delige schaal. Getracht zal worden via diverse statistische bewerkingen te komen tot een frequentie-uitspraak inzake het optreden van winterweer en eventueel voorkomende periodiciteiten in de aldus verkregen tijdreeks te onderzoeken.

2. Het begrip "winterweer"

In het kader van dit onderzoek is het nodig een omschrijving te geven van het gebruikte begrip "winterweer". Onder winterweer worden hier de meteorologische verschijnselen verstaan waarbij de luchttemperatuur op normale waarnemingshoogte

beneden het vriespunt is. Als winterseizoen worden de maanden november t/m maart genomen. Een maat voor de hoeveelheid winterweer in een seizoen is de negatieve temperatuursom K_0 . Daarmee wordt bedoeld de totale oppervlakte van alle vlakken in een doorgaand thermogram die worden begrensd door het temperatuurverloop beneden 0°C enerzijds en door het 0°C -niveau zelf anderzijds. Deze negatieve temperatuursom van 1 november t/m 31 maart wordt voorgesteld door:

$$K_0 = \sum_{i=1}^k \int_{t_i}^{t_i + \tau_i} T dt \quad \text{voor } T < 0^\circ\text{C}, \quad (1)$$

waarin:

$T = f(t)$ = temperatuur in $^\circ\text{C}$ als functie van de tijd t ,
 t_i = tijdstip waarop de temperatuur negatief wordt,
 τ_i = tijdsduur waarin de temperatuur negatief is,
 $t_i + \tau_i$ = tijdstip waarop de temperatuur positief wordt,
 k = aantal tijdvakken in de maanden november t/m maart waarin de temperatuur negatief is.

Het is gebruikelijk de tijd t uit te drukken in etmalen; de waarde van τ_i bedraagt meestal niet een geheel aantal etmalen.

Als evenredigheidsvoorwaarde wordt gesteld, dat de hoeveelheid winterweer recht evenredig moet zijn met de waarde K_0 . Van winter A is de hoeveelheid winterweer n maal zo groot als van winter B, indien geldt:

$$\frac{K_0(A)}{K_0(B)} = n \quad (2)$$

3. Bestaande classificatiemethoden

In [7] wordt een overzicht met detailkritiek gegeven van een aantal methoden van winterclassificatie. In verband met het onderhavige onderzoek worden hier in beknopte zin de methoden

Hellmann, Ten Kate, Van Everdingen en Easton nader beschouwd. Iets uitgebreider wordt ingegaan op een rangschikkingsmethode volgens maandtemperaturen in het koude seizoen: november t/m maart.

3.1. Methode Hellmann

Volgens deze methode wordt voor een winter een "koudegetal" K berekend door alle negatieve etmaalgemiddelden van de temperatuur in de maanden november t/m maart te sommeren. Het koudegetal K zal echter steeds een kleinere absolute waarde hebben dan de negatieve temperatuursom K_0 , omdat bij de berekening van K de vorst, welke voorkomt tijdens vorstdagen met positief etmaalgemiddelde, niet wordt meegerekend. Bovendien wordt bij vorstdagen met een positieve maximumtemperatuur en met negatief etmaalgemiddelde de laatstgenoemde waarde verkleind door de positieve temperatuursom van dergelijke dagen. Er geldt dus:

$$|K_0| > |K| \quad (3)$$

Uit deze eigenschappen blijkt, dat men K niet zonder meer kan beschouwen als een zuivere schatting van K_0 .

Een betere benadering van K_0 kan worden verkregen uit b.v. de som van alle negatieve uurwaarden van de temperatuur in de maanden november t/m maart. Deze methode is in het onderhavige onderzoek echter niet verder uitgewerkt. In de appendix wordt wel een andere benaderingsmethode van K_0 aangegeven; deze kan worden beschouwd als een verfijning van de methode van Van Everdingen, zie par. 3.3.

3.2. Methode Ten Kate

Bij deze methode bestaat het karaktergetal uit de som van de negatieve afwijkingen der gemiddelde etmaaltemperatuur ten opzichte van de normaal-gemiddelde. Afgezien van bepaalde criteria, waaraan de vorstperiode moet voldoen, moet als nadeel van deze methode worden genoemd dat de tijd van het seizoen waarin de vorst voorkomt de temperatuurafwijking beïnvloedt. In de maanden november en maart wordt door dat effect het karaktergetal onnodig

verzwaard. Overigens bevat ook de normaal-gemiddelde van de temperatuur over tijdvakken van 30 jaar schommelingen. Een voor hetzelfde temperatuurverloop in een winter 100 jaar geleden berekend karaktergetal zal een andere waarde opleveren dan van een winter in de tegenwoordige tijd.

3.3. Methode Van Everdingen

Het karaktergetal wordt bepaald uit de halve som van de dagelijkse maxima en minima van de temperatuur welke voorgekomen zijn in vorstperioden, die minstens 14 etmalen hebben geduurd. Onderbrekingen door dooi moeten daarbij - wat de duur en de hoogste temperatuur betreft - binnen bepaalde grenzen blijven, als men meerdere vorstperioden op elkaar wil laten aansluiten. Het is een bezwaar van deze methode dat de criteria met betrekking tot de duur willekeurig zijn. Als voorbeeld moge dienen dat in de zeer strenge winter 1946-'47 de eerste en de tweede vorstperiode bij de berekening van het karaktergetal niet konden meetellen, omdat de duur ervan niet aan de gestelde eisen voldeed. Het is duidelijk dat hierdoor een vertekend beeld wordt verkregen van de hoeveelheid winterweer die is opgetreden. Voor een snelle berekening van een karaktergetal uit de maxima en minima van de temperatuur lijkt deze methode overigens bijzonder zinvol wanneer de criteria, die het eindresultaat vertroebelen, worden veranderd. In de appendix van deze verhandeling wordt een alternatieve procedure voorgesteld om met behulp van de dagelijkse maxima en minima van de temperatuur tot een schatting van de negatieve temperatuursom K_0 te geraken. In tegenstelling tot het koudegetal van Hellmann komen daarbij wèl alle vorstdagen aan bod, zie ook par. 3.1.

3.4. Methode Easton

De door Easton gepresenteerde karaktergetallen worden door hem "temperatuurcoëfficiënten" genoemd. In dit onderzoek zullen de temperatuurcoëfficiënten een zeer grote rol spelen; ze worden voortaan aangeduid met het symbool E. Als standaardwerk op dit gebied geldt lit. [4]. Ook in [3] worden vele pagina's gewijd aan het werk van Easton.

Als criteria voor de classificering zijn de volgende elementen gekozen:

- maandgemiddelden van de temperatuur in de maanden december t/m februari (overdaggemiddelden),
- aantal vorstdagen (dit zijn dagen met een minimumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$), ook buiten de maanden december t/m februari,
- aantal ijsdagen (dit zijn dagen met een maximumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$), idem,
- aantal dagen met etmaalgemiddelde beneden -10°C en
- het gemiddelde der uiterste minima in drie maanden van de periode november t/m maart.

Voor het tijdvak 1852-1921 zijn van die elementen frequentieverdelingen samengesteld. Per winter worden de procentuele rangcijfers (cumulatieve percentages) van de onderscheidene elementen - verzwaard met respectievelijk de gewichten 10, 5, 10, 3 en 2 - samengevoegd tot een karaktergetal (E). De allerstrengst denkbare winter krijgt $E = 0$ en de allerwarmste $E = 100$.

Overigens is het karaktergetal van Easton voor drie tijdvakken als volgt verschillend vastgesteld:

a. historisch tijdvak (396 jaar v. C. - 1756)

Voor de zogenaamde Westeuropese klimaatprovincie volgens Angot [3, 4] is de temperatuurcoëfficiënt \hat{E}_{WE} geschat uit historische gegevens (kronieken e.d.); vóór het jaar 1200 voor incidentele winters, na 1200 voor alle winters behalve 1202 en 1204.

b. tijdvak 1757 - 1851

Uit de gemiddelde temperatuur van Zwanenburg en de negatieve afwijking daarvan in de maanden november t/m maart is de temperatuurcoëfficiënt E_Z vastgesteld. In dit tijdvak is ook de gezamenlijke temperatuurcoëfficiënt E_{WE} voor de Westeuropese klimaatprovincie per winter berekend uit de partiële temperatuurcoëfficiënten van een vijftal plaatsen, waaronder Zwanenburg.

c. tijdvak 1852 - 1916

Voor De Bilt zijn de temperatuurcoëfficiënten E_B met de in het begin van deze paragraaf aangegeven methode berekend. In dit

* De reeks van De Bilt is een combinatie van de reeksen van Utrecht (1849-1897) en De Bilt (vanaf 1898).

tijdvak zijn voor de Westeuropese klimaatprovincie de waarden E_{WE} berekend uit negen stations, waaronder De Bilt.

Het is duidelijk dat de geschatte waarden E_{WE}^A in het tijdvak vóór 1757 een bepaalde onnauwkeurigheid hebben; een subjectief element zal in die waarden resteren. Hoe verder men in de historie teruggaat hoe onbetrouwbaarder de reeks zal worden, doch dat neemt niet weg dat van het historische tijdvak toch vrij veel kan worden gezegd omtrent het voorkomen van diverse typen winters, en dat heeft wel een zekere statistische betekenis.

De temperatuurcoëfficiënten bezitten in de zin van het begrip winterweer (2) een niet-lineair karakter, omdat ze van frequenties zijn afgeleid. In de regel bestaat tussen een variabele en zijn frequentie nu eenmaal niet een lineair verband, zeker niet, wanneer zo'n variabele een fysische grootte is.

3.5. De rangschikkingmethode volgens gemiddelde temperaturen

De winters kan men ook rangschikken volgens hun gemiddelde temperatuur. Een gebruikelijke methode is die waarbij de gemiddelde wintertemperatuur T_h (maanden december t/m februari) wordt genomen. Aangezien er veelal ook vorst voorkomt in de maanden november en maart, zou men ook tot een rangschikking kunnen komen, wanneer men de gemiddelde temperatuur T_f van het "koude seizoen" neemt, omvattend de maanden november t/m maart. In een aantal gevallen wordt de strengheid van een winter echter weer benadrukt door de maandtemperatuur T_n van de koudste maand. Eén van de meest sprekende voorbeelden daarvan is wel de winter van 1955-'56, waarin alleen de maand februari uitzonderlijk koud was. Over het algemeen zal de meeste vorst voorkomen in de drie eigenlijke wintermaanden: december, januari en februari. Zou men een karaktergetal op basis van de genoemde maand- en seizoen-temperaturen willen afleiden en daarbij rekening houden met alle drie effecten (vorst in november en maart, meeste vorst in december t/m februari en koudste maand = strengheidsmodulus), dan kan men de hiervoor met T_h , T_f en T_n aangeduide elementen samensmelten tot één getal.

In [12] is deze methode gevolgd voor de zomers te De Bilt vanaf het jaar 1706. Daarbij werd gebruik gemaakt van de volgende drie elementen:

- gemiddelde temperatuur mei t/m september
- gemiddelde temperatuur juni t/m augustus
- gemiddelde temperatuur van de warmste maand.

Via de frequentieverdelingen van deze drie elementen over het 250-jarige tijdvak 1721-1970 is een zomercijfer (S) afgeleid dat op een speciale wijze op een 100-delige schaal tot uitdrukking is gebracht: (0 voor de koudst denkbare zomer, 100 voor de warmst denkbare). Als basismateriaal voor dat onderzoek diende de LABRIJNREEKS [5] en de sindsdien waargenomen reeks maandtemperaturen van De Bilt.

Uitgaande van hetzelfde basismateriaal, kan voor de winters op analoge wijze een wintercijfer (H) worden afgeleid: H = 0 voor de warmst denkbare winter, H = 100 voor de koudst denkbare. H kan derhalve worden opgevat als het pendant van S. De drie gebruikte elementen hebben over het tijdvak 1721-1970 de volgende parameters (in °C):

element	gemiddelde μ	standaard-deviatië σ	$\mu + 3\sigma$	$\mu - 3\sigma$	traject 6σ
T_f	3,16	1,32	7,12	-0,80	7,92
T_h	2,00	1,80	7,40	-3,40	10,80
T_n	0,11	2,42	7,38	-7,16	14,53

Verdeling van $\frac{100}{3} = 33\frac{1}{3}$ punten per element tussen $\mu - 3\sigma$ en $\mu + 3\sigma$ levert voor H de formule op:

$$H = \frac{33\frac{1}{3}}{6} \left[\left\{ 3 - \frac{T_f - \mu(T_f)}{\sigma(T_f)} \right\} + \left\{ 3 - \frac{T_h - \mu(T_h)}{\sigma(T_h)} \right\} + \left\{ 3 - \frac{T_n - \mu(T_n)}{\sigma(T_n)} \right\} \right] \quad (4)$$

Worden hierin de bovenvermelde parameters ingevuld, dan wordt gevonden:

$$H = 69,73 - 4,21 T_f - 3,09 T_h - 2,29 T_n \quad (4a)$$

De bijdragen, welke elk der drie elementen tot het wintercijfer leveren, volgen uit de betrekkingen:

$$\left. \begin{aligned} x(T_f) &= 29,97 - 4,21 T_f \\ x(T_h) &= 22,84 - 3,09 T_h \\ x(T_n) &= 16,92 - 2,29 T_n \end{aligned} \right\} H = x(T_f) + x(T_h) + x(T_n)$$

Aangezien de elementen T_f , T_h en T_n linkszijdig scheef zijn verdeeld, kan een normale verdeling van de daarvan afgeleide wintercijfers niet worden nagestreefd. In de H-waarden zijn dus de karakteristieke verdelingseigenschappen van de maandtemperaturen in het koude seizoen gehandhaafd gebleven.

Het quotiënt $q = \frac{x(T_f)}{x(T_h)}$ geeft voorts een indicatie van de verdeling van de winterkoude binnen het koude seizoen. Voor $q < 1$ geldt, dat de winterkoude in hoofdzaak is voorgekomen in de maanden december t/m februari en $q > 1$ betekent, dat de winterkoude meer over het gehele koude seizoen is verdeeld (november t/m maart). De betekenis van het quotiënt q is uit de aard der zaak relatief.

Tabel I vermeldt alle wintercijfers in het tijdvak 1706-1980, met bijbehorende koude-verdelingsquotiënten q . Het rekenkundig gemiddelde van de wintercijfers bedraagt $\mu(H) = 49,82$ met standaarddeviatie $\sigma(H) = 15,94$ over het tijdvak 1721-1970. Voor $\{q\}$ zijn berekend: $\mu(q) = 1,0122$ en $\sigma(q) = 0,1445$.

Figuur 1 geeft de relatieve cumulatieve frequentieverdeling van $\{H\}$.

In het verdere verloop van dit onderzoek zullen de wintercijfers een belangrijke rol vervullen.

4. Het vorstgetal

Zoals uit het voorgaande blijkt, bestaan er vele methoden om winters te karakteriseren. Elke methode heeft voor- en nadelen. Ofschoon het koudegetal K van Hellmann als een vrij goede benadering van de hoeveelheid winterweer dient te worden aangemerkt, moet wel worden bedacht dat in veel winters soms een vrij aanzienlijk aantal vorstdagen met positief etmaalgemiddelde buiten beschouwing blijft. Voor bepaalde onderzoeken kan het totale aantal vorstdagen echter van belang zijn, zoals bijvoorbeeld bij onderzoeken die betrekking hebben op ijsgang in rivieren, de Waddenzee en in de overige binnenwateren [11, 14]. Onder bepaalde omstandigheden kunnen nachtelijke minima beneden 0°C juist voldoende zijn om een toestand van ijsbedekking langer te handhaven. De positieve temperatuurmaxima van die vorstdagen, waargenomen boven een grasveld (voor zover niet met sneeuw bedekt) op normale waarnemingshoogte zijn vaak met betrekking tot de instandhouding van een ijsbedekking weinig relevant, omdat direct boven het ijsdek de betrokken maximumtemperatuur toch vaak een aantal graden lager zal zijn dan de evengenoemde waarde op waarnemingshoogte. Het moet derhalve waarschijnlijk worden geacht, dat een aantal van de onderhavige vorstdagen direct boven het ijs een negatief etmaalgemiddelde zal opleveren.

Gelet op het bovenstaande en uitgaande van een beperkt aantal kenmerkende grootheden in het winterseizoen, wordt een "vorstgetal" afgeleid uit de aantallen vorstdagen, ijsdagen en zeer koude dagen (dit zijn dagen waarop de temperatuur het niveau van -10°C bereikt of onderschrijdt). Behalve op thermische grondslag, moet het ook mogelijk zijn tot een rangschikking van winters te komen op grond van de evengenoemde elementen, die respectievelijk worden aangeduid met de symbolen v, y en z. Deze elementen moeten worden samengesmolten tot één getal, dat zo goed mogelijk weergeeft hoeveel winterweer een bepaald seizoen heeft "geproduceerd". Als seizoen wordt gekozen het tijdvak omvattende de maanden november t/m maart, omdat in die maanden elk der elementen een reële kans van optreden heeft [6].

Overigens moet het vorstgetal aan de volgende eisen voldoen:

- a. Het vorstgetal (schatting van de hoeveelheid winterweer) moet op een 100-delige schaal tot uitdrukking worden gebracht; m.a.w.: de plaats van een winter moet op een 100-delige schaal kunnen worden vastgelegd.
- b. Voor een winter zonder vorst moet het vorstgetal V een waarde $V = 0$ bezitten.
- c. Voor de strengst denkbare winter moet $V = 100$ zijn, met een zeer kleine overschrijdingskans, die in dit onderzoek kleiner dan 0,005 ($\frac{1}{2}$ %) wordt genomen.
- d. Het verband tussen V en K_0 moet evenredig zijn. Een winter A met vorstgetal $V(A)$ moet n maal zoveel winterweer geproduceerd hebben als winter B met vorstgetal $V(B)$, als geldt:

$$\frac{V(A)}{V(B)} = n \quad (\text{evenredigheidsvoorwaarde}) \quad (5)$$

- e. Het vorstgetal, dat uit de gegevens van een bepaalde plaats (in dit onderzoek De Bilt) wordt berekend, moet tevens als verwachtingswaarde gelden voor het gebied waarin die plaats is gelegen. Het bedoelde gebied beslaat ten minste geheel Nederland.

In de volgende hoofdstukken en paragrafen wordt stap voor stap nagegaan hoe aan de eisen a t/m e kan worden voldaan.

4.1. De frequentieverdelingen van de elementen

In tabel II wordt een overzicht gegeven van alle winters in het tijdvak 1850-1980, met vermelding van de aantallen vorstdagen, ijsdagen en zeer koude dagen v , y en z , alsmede van de absolute minima van de temperatuur (T_a). De tabel is zodanig ingericht, dat van de komende winters de gegevens ook ingevuld kunnen worden ter vaststelling van het vorstgetal. Van alle in de tabel ondergebrachte elementen zijn over de 120-jarige periode 1851-1970 frequentieverdelingen samengesteld.

Tot en met 1939 zijn de gegevens ontleend aan [5] en vanaf 1940 aan [13]. De gegevens tot en met 1939 hebben betrekking op het etmaal 19h-19h MPT, vanaf 1940 op het etmaal 0h-24h UT*. Het ligt voor de hand dat die reeks niet homogeen is.

4.1.1. Homogeniteit van de reeksen

In figuur 2 zijn voor de winterseizoenen in het achtjarige tijdvak 1940-1947 de aantallen vorstdagen, ijsdagen en zeer koude dagen voor etmalen van 19h-19h MPT gecorreleerd met die aantallen voor etmalen van 0h-24h UT. Ter verkrijging van een homogene reeks, gebaseerd op het etmaal 0h-24h UT, moeten de aantallen vorstdagen, ijsdagen en zeer koude dagen in het tijdvak 1850-1939 (19h-19h mpt.) respectievelijk worden vermenigvuldigd met de factoren 1,04, 1,06 en 1,14. In tabel II zijn de aldus herleide aantallen tussen haakjes geplaatst, zodat - althans statistisch gezien - van een homogene reeks vanaf 1850 tot heden kan worden gesproken.

4.1.2. De frequentieverdeling van de vorstdagen (v)

Met behulp van de in tabel II vermelde waarden van v (0h-24h UT) is voor het tijdvak 1851-1970 in figuur 3 de frequentieverdeling van de vorstdagen weergegeven op normaal waarschijnlijkheidspapier. Het blijkt dat de aantallen vorstdagen bij goede benadering normaal zijn verdeeld. De aangepaste verdelingsfunctie volgens Gauss heeft als parameters een gemiddelde $\mu(v) = 64$ en een standaarddeviatie $\sigma(v) = 17,3$.

4.1.3. De frequentieverdeling van de ijsdagen (y)

Niet elke winter levert in De Bilt ijsdagen op. In de afgelopen 131 jaar (1980) kwamen vier winters voor zonder ijsdagen, namelijk de winters van 1851, 1910, 1952 en 1975. Dit betekent in feite, dat de verdeling van het element y , zoals cumulatief weergegeven in figuur 4, afgeknot is. Voorts blijkt de verdeling rechtszijdig scheef te zijn, terwijl er ook sprake is van tweetoppigheid, welke waarschijnlijk wordt verwekt door een persistentie-

* UT = Universal Time, vervangt de vroeger gangbare GMT (Greenwich Mean Time).

effect in strenge winters, omdat dan een van normaal afwijkende verhouding tussen de elementen v , y en z optreedt; het quotiënt $\frac{y}{v}$ is in strenge winters doorgaans groter dan normaal.

In verband met deze eigenschappen is er van afgezien een theoretische verdelingsfunctie aan het waarnemingsmateriaal aan te passen. Het rekenkundig gemiddelde van de aantallen ijsdagen bedraagt over het 120-jarige tijdvak 1851-1970: $\bar{y} = 11,4$, met standaarddeviatie $s(y) = 10,1$. Blijkens de frequentieverdeling (figuur 4) kan de mediaanwaarde worden geschat op een afgerond aantal van tien ijsdagen.

4.1.4. De frequentieverdeling van de zeer koude dagen (z)

Van de 131 winters sedert 1850 ontbreekt bij een 39-tal het element z . In ca. 70% van de winters kwam dus op één of meer dagen strenge vorst voor. De afknotting van de frequentieverdeling (zie figuur 5) is in dit geval derhalve veel sterker dan bij de ijsdagen. De verdeling is, evenals bij de ijsdagen, rechtszijdig scheef, terwijl ook hier sprake is van tweetoppigheid, waarschijnlijk ook ten gevolge van de in 4.1.3 genoemde oorzaak. Er is daarom niet getracht een theoretische verdelingsfunctie aan te passen; de statistische bezwaren zijn te groot.

Het rekenkundig gemiddelde van de aantallen zeer koude dagen bedraagt $\bar{z} = 4,3$, met standaarddeviatie $s(z) = 5,7$. De schatting van de mediaanwaarde levert drie zeer koude dagen op (alles 1851-1970).

4.1.5. De frequentieverdeling van de absolute minima

Ofschoon de absolute minima bij het vaststellen van de vorstgetallen niet worden betrokken, is het toch interessant te weten hoe het met de frequentieverdeling is gesteld, te meer nog daar dit onderzoek betrekking heeft op het winterweer in Nederland. Uit figuur 6 blijkt dat de frequentieverdeling van de absolute minima vrij goed door een Gauss-functie kan worden benaderd. Buiten het 90%-frequentiegebied treden echter toenemende afwijkingen op. Het rekenkundig gemiddelde is $-12,1$ °C, de standaarddeviatie bedraagt $3,8$ °C.

4.2. Vaststelling van het vorstgetal

Het vorstgetal V moet worden berekend uit de elementen v , y en z , die per winter in de maanden november t/m maart zijn voorgekomen. A priori kan worden gesteld dat het sommeren van de elementen aan de vorstdagen een veel te zwaar gewicht zou geven. Kwakkelwinters met veel vorstdagen en weinig ijsdagen en zeer koude dagen zouden daardoor veel te hoge karaktergetallen verkrijgen. Het is duidelijk, dat per element een gewicht moet worden toegekend. Het is mogelijk op subjectieve gronden die gewichten te schatten of eventueel empirisch vast te stellen, doch in dit onderzoek wordt er de voorkeur aan gegeven die gewichten automatisch uit de gevolgde statistische bewerking te laten ontstaan. In dit hoofdstuk is onder a t/m e (blz. 10) reeds vermeld aan welke eisen het vorstgetal moet voldoen. Om aan eis c te kunnen beantwoorden, moet een bovengrens worden aangenomen, die bij de drie elementen buiten het frequentiegebied (1851-1970) moet zijn gelegen. Aangezien bij de elementen y en z een aanpassing van een theoretische verdelingsfunctie op diverse bezwaren stuit, is het niet goed mogelijk de bovengrenzen te leggen bij een a priori te kiezen overschrijdingsfrequentie. In verband daarmee worden de bovengrenzen min of meer subjectief bij de eerstvolgende 10-tallen van y en z buiten het frequentiegebied ervan gelegd. Bij de ijsdagen bedraagt dit aantal 50 en bij de zeer koude dagen 30. Extrapoleren we ("op het oog") de staartfrequenties in de desbetreffende frequentieverdelingen, welke in de figuren 4 en 5 op normaal waarschijnlijkheidspapier zijn getekend, naar deze aantallen van respectievelijk 50 en 30, dan vindt men in beide gevallen een overschrijdingsfrequentie van (zeer globaal) $\frac{1}{2}$ %. Deze extrapolaties zijn in de genoemde figuren weergegeven. Helemaal bevredigend is deze aanpak uiteraard niet, doch voor de verdere gang van zaken zijn er geen consequenties.

Aan de frequentieverdeling van de vorstdagen in figuur 3 is een verdelingsfunctie volgens de normale verdeling aangepast. Uitgaande van de parameters daarvan (zie 4.1.2) vinden we voor het aantal vorstdagen, dat de waarde $v = 108$ slechts met een kans van een $\frac{1}{2}$ % overschreden wordt. Als "bovengrens" voor v

wordt genomen $v = 110$. Bereikt in een winter elk element zijn "bovengrens" (resumerend: $v = 110$, $y = 50$, $z = 30$), dan bedraagt het vorstgetal $V = 100$. De kans, dat in een winter die waarde van V wordt bereikt of overschreden, is zeer gering: $P \ll \frac{1}{2} \%$. De ondergrenzen zijn voor alle drie elementen gelijk aan nul.

Elk der drie elementen moet een bijdrage leveren tot V ; deze bijdragen van v , y en z worden respectievelijk $x(v)$, $x(y)$ en $x(z)$ genoemd. Aan de bovengrenzen van de elementen worden in verband met de eis: $V = 100$ voor $v = 110$, $y = 50$ en $z = 30$ elk 33,3 punten toegekend. De ondergrenzen, waarvoor geldt: $v = y = z = 0$, krijgen elk 0 punten, waarmee tevens aan eis b (zie blz. 10) wordt voldaan. Om aan eis d tegemoet te komen, moet het verband tussen de elementen en K lineair zijn. Het verband tussen K en y en tussen K en z is nagenoeg lineair, echter niet tussen K en v . Dit was te verwachten, daar K , y en z een scheve frequentieverdeling bezitten, terwijl v bij benadering normaal is verdeeld. Door v te kwadrateren, wordt bereikt dat de aldus getransformeerden ook een scheve verdeling volgen. Bij benadering is er tussen v^2 en K een lineair verband, zodat een globale gelijkheid tussen de elementen en K tot stand is gekomen. De duur van een winter kan men zich bij dit onderzoek vervangen denken door het aantal vorstdagen, terwijl die vorstdagen tevens een thermisch element vertegenwoordigen. Omdat in de meeste karaktergetallen zowel de duur als de temperatuur is verwerkt, lijkt een kwadratische deelname van v aan het vorstgetal niet onlogisch, temeer nog daar bij de benadering van K_0 in de daarvoor afgeleide formule juist de minimumtemperaturen van de vorstdagen in het kwadraat voorkomen (Appendix). Voorts blijkt ook, dat een kwadratische deelname van v aan het vorstgetal V een betere lineaire betrekking tussen V en K bewerkstelligt dan wanneer v in een lineaire functie een bijdrage tot het vorstgetal levert.

Tussen de grenzen $v = 0$ en $v = 110$ worden 33,3 punten opgedeeld volgens:

$$x(v) = 0,00275 v^2 \quad (6)$$

Voor de ijsdagen en zeer koude dagen wordt op overeenkomstige wijze bepaald:

$$x(y) = 0,667 y \quad (7)$$

$$x(z) = 1,111 z \quad (8)$$

Uit de betrekkingen (6), (7) en (8) wordt als volgt het vorstgetal afgeleid:

$$V = 0,00275 v^2 + 0,667 y + 1,111 z \quad (9)$$

Het ligt voor de hand dat deze formule uitsluitend voor De Bilt geldt, omdat voor dat station de frequentieverdelingen van de elementen zijn opgesteld en de formule voor V is daar rechtstreeks van afgeleid. Ook is hierbij aan eis a (zie blz. 10) beantwoord; de hoeveelheid winterweer per seizoen kan worden uitgedrukt in een dimensieloos verhoudingsgetal tussen 0 en 100. De zeer kleine kans, dat de waarde 100 kan worden overschreden, wordt hierbij op de koop toe genomen; vanaf het jaar 1200 tot heden is op geen enkele grond aantoonbaar dat het vorstgetal 100 ook maar éénmaal is overschreden. In het raam van dit onderzoek is dat bezwaar dan ook van geen enkele betekenis.

Ook voor andere plaatsen kan een formule voor het vorstgetal worden afgeleid, wanneer voor die plaatsen de frequentieverdelingen van de elementen zijn opgesteld. Van plaats tot plaats zullen die verdelingen van elkaar verschillen, dus ook de grenzen van de elementen waartussen in totaal 100 punten moeten worden verdeeld. Zo zal het station Eelde een grotere range bestrijken met de beschikbare 100 punten dan het station Vlissingen, omdat te Eelde de bovengrenzen hoger liggen dan te Vlissingen. De verwachtingswaarden van het vorstgetal voor de beide stations zullen echter aan elkaar gelijk zijn. In hoofdstuk 5 zal worden aangetoond, dat deze regel zelfs opgaat voor de gehele Westeuropese klimaatprovincie volgens Angot, zodat ten slotte ook aan eis e (zie blz. 10) kan worden voldaan.

Aan de hand van de gegevens in tabel II zijn met behulp van formule (9) de vorstgetallen voor De Bilt berekend. Op volgorde van afnemende grootte zijn de vorstgetallen vanaf 1850 in tabel III gerangschikt, in tabel IV zijn ze chronologisch vermeld en in figuur 7 grafisch weergegeven.

In de Appendix wordt aangetoond, dat V nagenoeg evenredig is met de hoeveelheid winterweer (evenredigheidsvoorwaarde d, blz. 10). In figuur 8 wordt nog het verband tussen V en K gegeven. Het verband tussen de waarden V en K blijkt bij benadering lineair te zijn voor het tijdvak 1851-1970. De regressievergelijking luidt:

$$V = 0,232 K + 4,3 \quad (10)$$

De indexfout 4,3 zal het gevolg zijn van het weglaten van vorstdagen met positieve etmaalgemiddelden bij de berekening van K, terwijl ook de beïnvloeding van het koudegetal door de positieve maxima van vorstdagen met negatief etmaalgemiddelde hier een rol in zal spelen (zie ook 3.1 en Appendix).

De middelbare schattingsfout van de vorstgetallen ten opzichte van de koudegetallen is op 4,1 berekend. Deze middelbare fout is de standaarddeviatie van de afwijkingen ΔV_i tot de regressierechte (10).

5. Vorstgetallen geschat uit andere thermische karaktergetallen

In par. 4.2 is aangegeven op welke wijze de vorstgetallen in het tijdvak 1850 t/m 1980 zijn berekend. Voor het verdere onderzoek is het van belang deze reeks tot zo ver mogelijk in het verleden uit te breiden teneinde te komen tot één homogene tijdreeks van gelijksoortige grootheden. Dit kan worden bereikt, wanneer door middel van correlatie- en regressieberekeningen de beschikbare tijdreeksen kunnen worden getransformeerd naar vorstgetalreeksen en op elkaar worden aangesloten. De reeksen, welke hiervoor worden gebruikt, zijn de volgende:

- a. Geschatte temperatuurcoëfficiënten voor de Westeuropese klimaatprovincie volgens Easton $\{\hat{E}_{WE}\}$, tijdvak 1200-1916; [3, 4]
- b. Voor De Bilt berekende temperatuurcoëfficiënten volgens Easton $\{E_B\}$, tijdvak 1852-1916; [3, 4]

- c. "De Vries"-reeks van wintertemperaturen $\{T_h\}$, tijdvak 1634-1705; [2] en [9]
- d. Wintercijfers $\{H\}$, tijdvak 1706-1980 (tabel I)
- e. Vorstgetallen $\{V\}$, tijdvak 1850-1980 (tabel IV).

We zien aan de bovenvermelde tijdvakken, dat verschillende reeksen elkaar overlappen. Hiervan wordt gebruik gemaakt om de verschillende reeksen door middel van correlatie en regressie aan elkaar te koppelen na transformatie naar vorstgetalschattingen.

In de volgende paragrafen wordt aangegeven op welke wijze het beoogde doel kan worden bereikt.

5.1. Verband tussen V en E_B in het tijdvak 1852-1916

Voor het tijdvak 1850-1980 (heden) zijn vorstgetallen berekend uit gegevens van De Bilt (formule 9). Het tijdvak 1852-1916 valt hier deels mee samen, zodat de 65 waarden V met E_B kunnen worden gecorreleerd. In figuur 9 is het verband tussen V en $(10 - 0,1 E_B)$ in een correlatiediagram weergegeven. De complicatie $(10 - 0,1 E_B)$ is nodig, omdat bij de methode Easton de toekenning van getalswaarden aan winters juist tegenovergesteld verloopt aan de methode van het vorstgetal; Easton: strengste winter $E = 0$, warmste $E = 100$, bij het vorstgetal: strengste winter $V = 100$, warmste $V = 0$. De factor $0,1 E_B$ houdt weer verband met de tabellen van Easton, waarin de algemene (partiële) temperatuurcoëfficiënt van De Bilt van 0 tot 10 verloopt, in plaats van 0 tot 100. Zoals was te verwachten (3.4) is het verband tussen de beide grootheden niet lineair. De beste benadering voor het verband is de regressievergelijking:

$$V(E_B) = 0,478 (10 - 0,1 E_B)^{2,32} \quad (11)$$

Als correlatiecoëfficiënt wordt gevonden:

$$r \{ \log V(E_B), \log (10 - 0,1 E_B) \} = 0,96$$

5.2. Verband tussen E_B en E_{WE} in het tijdvak 1852-1916

Hierbij wordt nagegaan in hoeverre E_B representatief is voor de gehele Westeuropese klimaatprovincie. In figuur 10 zijn de waarden E_B en E_{WE} voor het tijdvak 1852-1916 tegen elkaar uitgezet. Als regressierechte wordt gevonden: $E_B = E_{WE}$. De middelbare schattingsfout, gedefinieerd in 4.2, bedraagt 5,5 eenheden op de schaal van E_B en E_{WE} .

De verwachtingswaarden van de temperatuurcoëfficiënt te De Bilt en van de Westeuropese klimaatprovincie zijn dus aan elkaar gelijk, zodat de betrekking geldt:

$$c(E_{WE}) = c(E_B) \quad (12)$$

5.3. Vorstgetallen in het tijdvak 1200-1916

De temperatuurcoëfficiënten vóór 1757 zijn door Easton benaderd uit historische gegevens; ze worden aangeduid met het symbool \hat{E}_{WE} en hebben betrekking op de Westeuropese klimaatprovincie, dus niet op een enkel station. Aan winters, waarvan geen historische gegevens beschikbaar waren, zijn door Easton temperatuurcoëfficiënten $\hat{E}_{WE} = 54$ toegekend. Voorts heeft hij een 22-tal discrete waarden voor \hat{E}_{WE} uitgekozen, waarmee hij de winters in dit historische tijdvak van temperatuurcoëfficiënten heeft voorzien. In het volgende overzicht worden die discrete waarden met het aantal malen, dat ze van 1201 t/m 1756 zijn voorgekomen, vermeld.

1201-1756

\hat{E}_{WE}	aantal
4	4
5	1
8	1
10	11
17	13
21	17
25	16
28	14
31	15
34	16
36	17
38	17
42	41
54	252
60	23
63	18
66	18
70	20
74	15
79	11
82	10
84	4
$n = 554$	+

We komen tot een totaal van 554 winters in plaats van een aantal van 556; dit komt omdat in de tabel van Easton de winters van 1202 en 1204 niet van geschatte temperatuurcoëfficiënten zijn voorzien. Opvallend is de hoge frequentie van 252 bij $\hat{E}_{WE} = 54$. Dit houdt verband met de toekenning van het getal 54 aan de onbekende winters waarover kennelijk geen historische gegevens konden worden gevonden. Het rekenkundig gemiddelde van deze reeks bedraagt $m(\hat{E}_{WE}) = 49,4$, terwijl de werkelijke standaardafwijking niet juist kan worden geschat, omdat te veel winters bij de waarde $\hat{E}_{WE} = 54$ zijn geconcentreerd. In verband met de toekenning van het getal 54 aan de "onbekende" winters kan men zich bovendien afvragen in hoeverre het gemiddelde ad 49,4 correct moet worden geacht; het veel te hoge aantal van 252 bij $\hat{E}_{WE} = 54$ drukt misschien een sterk stempel op het gemiddelde. Waarom juist het getal 54 is genomen, kan hier evenmin worden verklaard, temeer daar het gemiddelde van de reeks in deze vorm veel dichter in de buurt van 50 is gelegen. Een getal van 50 had daarom als verwachtingswaarde voor de temperatuurcoëfficiënt van de onbekende winters wellicht meer voor de hand gelegen, ofschoon daaromtrent zonder verder onderzoek ook nog weinig zekerheid bestaat.

Meer zekerheid kan worden ontleend aan het vervolg op deze reeks van geschatte temperatuurcoëfficiënten, namelijk de 160-jarige reeks berekende temperatuurcoëfficiënten van de Westeuropese klimaatprovincie 1757-1916. Deze coëfficiënten zijn ontleend aan temperatuurmetingen van een aantal plaatsen waaronder Zwanenburg (1757-1849) en De Bilt (1850-1916).*

* Zie noot blz. 5.

In de volgende tabel zijn de bedoelde 160 E_{WE} -waarden verdeeld over 13 intervallen ter breedte van 7 eenheden.

E_{WE} , 1757-1916

E_{WE}	aantal f	theor. aantal	$\frac{(f-\varphi)^2}{\varphi}$
≤ 7	1	1,02	2,10
8-14	5	2,05	
15-21	6	4,85	
22-28	7	9,20	0,53
29-35	9	15,84	2,95
36-42	20	22,24	0,23
43-49	30	25,44	0,82
50-56	31	25,92	1,00
57-63	19	21,76	0,35
64-70	14	15,04	0,07
71-77	13	9,20	1,57
78-84	4	4,58	0,80
≥ 85	1	2,86	

$n = 160$

$m(E_{WE}) = 49,3$

$s(E_{WE}) = 16,8$

$\chi^2 = 10,42$

$\nu = 10 - 1 - 2 = 7$ vrijheidsgraden

$P = 16 \%$

De kolom onder f geeft de waargenomen frequenties en de kolom onder φ de frequenties, welke men volgens de theorie verwacht, wanneer aan het waarnemingsmateriaal een normale verdeling wordt aangepast met parameters $\mu(E_{WE}) = 49,3$ en $\sigma(E_{WE}) = 16,8$. De aanpassingstoets geeft een χ^2 -som van 10,42 bij 7 vrijheidsgraden, hetgeen een eenzijdige overschrijdingskans van 16 % oplevert. Uit deze toets blijkt, dat de temperatuurcoëfficiënten E_{WE} als normaal verdeeld zijn te beschouwen, zie ook figuur 11.

Deze eigenschap geeft aanleiding de \hat{E}_{WE} -reeks (1201-1756) opnieuw in beschouwing te nemen onder de aanname dat de temperatuurcoëfficiënten \hat{E}_{WE} eveneens normaal verdeeld zijn. De eigenschap van symmetrie van een normale verdeling maakt het mogelijk

het werkelijke gemiddelde van de reeks te schatten door uit te gaan van de staartfrequenties, welke vanuit de beide uiteinden (met $\hat{E}_{WE} = 4$ en $\hat{E}_{WE} = 84$) cumulatief zijn uitgezet in een diagram (fig. 12) bij de intervalgrenzen. Deze intervalgrenzen zijn zó gekozen, dat ze de middens zijn tussen de discrete \hat{E}_{WE} -waarden. Aldus ontstaat voor $\hat{E}_{WE} < 35$ en $\hat{E}_{WE} > 58$ een tweetal gebroken krommen, welke bij goede benadering symmetrisch blijken te liggen ter weerszijden van een verticaal. Bij gelijke cumulatieve frequenties ter weerszijden zijn vervolgens de middens tussen de desbetreffende punten van de beide krommen bepaald (door opmeting) en in het diagram weergegeven.

Neemt men aan dat de statistische zekerheid omtrent de waarde van het gemiddelde groter wordt met toenemende cumulatieve frequenties (ter weerszijden), dan kan het gewogen gemiddelde van de opgemeten middens worden beschouwd als een voorlopige schatting van het gezochte reeksgemiddelde. Langs deze weg vinden we een uitkomst: $m(\hat{E}_{WE}) = 46,9$.

Een belangrijke vraag is voorts, hoe de onbekende winters met hun hoge frequentie van 252 in werkelijkheid over de overige intervallen zijn verdeeld. We kunnen de oplossing van dit probleem benaderen door aan de verdeling van de temperatuurcoëfficiënten een frequentiefunctie volgens Gauss aan te passen met parameters $\mu = 46,9$ en $\sigma = 17$ (afgerond). De waarde van σ is aangenomen, doch wijkt niet veel af van die over het tijdvak 1757-1916.

In de volgende tabel zijn de temperatuurcoëfficiënten ondergebracht in de vermelde intervallen.

\hat{E}_{WE}	interval	f	φ	f- φ	(f- φ)cum
4	$\leq 4,5$	4	3	+ 1	+ 1
5	4,6 - 6,5	1	1	0	+ 1
8	6,6 - 9,0	1	2	- 1	0
10	9,1 - 13,5	11	6	+ 5	+ 5
17	13,6 - 19,0	13	14	- 1	+ 4
21	19,1 - 23,0	17	16	+ 1	+ 5
25	23,1 - 26,5	16	20	- 4	+ 1
28	26,6 - 29,5	14	20	- 6	- 5
31	29,6 - 32,5	15	25	-10	-15
34	32,6 - 35,0	16	24	- 8	-23
36	35,1 - 37,0	17	22	- 5	-28
38	37,1 - 40,0	17	35	-18	-46
42	40,1 - 44,0	41	51	-10	-56
ζ	44,1 - 47,5	252	173	+79	+23
	47,6 - 51,0				
	51,1 - 54,5				
	54,6 - 58,0				
60	58,1 - 61,5	23	35	-12	+11
63	61,6 - 64,5	18	25	- 7	+ 4
66	64,6 - 68,0	18	24	- 6	- 2
70	68,1 - 72,0	20	20	0	- 2
74	72,1 - 76,5	15	16	- 1	- 3
79	76,6 - 80,5	11	9	+ 2	- 1
82	80,6 - 83,0	10	4	+ 6	+ 5
84	$\geq 83,1$	4	9	- 5	0
som:		554	554		

In deze tabel zijn de intervallen zó gekozen, dat de discrete \hat{E}_{WE} -waarden zo goed mogelijk de middens ervan vormen. Een uitzondering van deze regel moet noodgedwongen worden gemaakt voor het interval waarin de waarde $\hat{E}_{WE} = \zeta$ van de onbekende winters past. In de kolom onder f zijn de waargenomen frequenties vermeld en

onder φ de afgeronde theoretische frequenties volgens de aangepaste normale verdeling. De kolom onder $f-\varphi$ vermeldt de verschillen en onder $(f-\varphi)\text{cum}$ zijn de verschillen cumulatief weergegeven. Aan deze cumulatieve verschillen kan men globaal constateren tot waar de waargenomen en theoretische frequenties elkaar goed in evenwicht houden. In de tabel zijn de betreffende begrenzungen met haken aangegeven.

Uit dit onderzoek blijkt, dat de onbekende winters in hoofdzaak zijn voorgekomen in het interval $\hat{E}_{WE} = 26,6$ tot $\hat{E}_{WE} = 64,6$. Kennelijk zijn de zachtste en koudste winters niet of in mindere mate aan het historisch onderzoek van Easton ontsnapt. Het kan overigens ook wel als voor de hand liggend worden beschouwd, dat oude kronieken e.d. eerder gewag maken van extreme winters dan van meer normale winters. Op grond daarvan ware aan de staartfrequenties van de temperatuurcoëfficiënten in het historische tijdvak een redelijke mate van betrouwbaarheid toe te kennen. Voor verder onderzoek lijkt het daarom niet bezwaarlijk de intervallen tussen de grenzen 26,6 en 64,6, welke door de onbekende winters qua frequentie zijn "uitgedund", te voorzien van theoretische frequenties.

Ten slotte kunnen we van de hierboven uitgezochte staartfrequenties nog gebruik maken om te komen tot een tweede schatting van het reeksgemiddelde $m(\hat{E}_{WE})$, op een andere wijze dan hiervóór is geschied. Daartoe worden op normaal waarschijnlijkheidspapier de intervalgrenzen g van \hat{E}_{WE} uitgezet tegen hun bijbehorende overschrijdingsfrequenties. Op het oog wordt door deze punten zo goed mogelijk een rechte lijn getrokken. Uit het niveau en de helling hiervan lezen we af: $\bar{g} = m(\hat{E}_{WE}) = 46,3$ en $s(\hat{E}_{WE}) = 16,8$.

Het reeksgemiddelde wijkt weinig af van de uitkomst, welke we vonden bij de voorlopige schattingsmethode: 46,3 tegen 46,9. De standaarddeviaties van de beide reeksen zijn gelijk aan elkaar (16,8). Als de beste schatting van het werkelijke reeksgemiddelde houden we het midden tussen de beide schattingen aan, namelijk $m(\hat{E}_{WE}) = \underline{46,6}$ (1201-1756).

Dit gemiddelde houdt voorts in, dat de som van alle 554 temperatuurcoëfficiënten $554 \cdot 46,6 = 25816,4$ bedraagt. We stellen

de waarde van \hat{E}_{WE} van de onbekende winters op ζ met bijbehorende frequentie $f = 252$. De som van de produkten van de overige temperatuurcoëfficiënten en bijbehorende frequenties geeft een uitkomst van 13735. De gezochte waarde van ζ volgt eenvoudig uit:

$$\zeta = \frac{25816,4 - 13735}{252} = 47,94 \text{ (afgerond: 48)}$$

Bij de omrekening van de temperatuurcoëfficiënten naar vorstgetallen houden we het getal 48 aan in plaats van 54 volgens Easton. $\hat{E}_{WE} = 48$ levert volgens (11) omgerekend een vorstgetal $V = 22$ op.

Op grond van dit onderzoek kan de gehele reeks (1201-1916), bestaande uit de deelreeksen: $\{\hat{E}_{WE}, 1201-1756\}$ en $\{E_{WE}, 1757-1916\}$ als één homogene reeks worden beschouwd, zodat daaraan, met inachtneming van (12), de volgende gelijkheden kunnen worden ontleend:

$$\varepsilon(\hat{E}_{WE}) = \varepsilon(E_{WE}) = \varepsilon(E_B) \quad (13)$$

Deze betrekking houdt in, dat alle temperatuurcoëfficiënten van de Westeuropese klimaatprovincie (1201-1916) via (11) kunnen worden omgerekend in vorstgetallen. Voor het tijdvak 1201-1633 mogen deze vorstgetallen ook worden opgevat als verwachtingswaarden, geldend voor De Bilt.

Aan de onbekende winters met gemodificeerde temperatuurcoëfficiënt 48 wordt een vorstgetal 22 toegekend. Zoals later zal blijken, stemt deze waarde goed overeen met de mediaanwaarde van alle vorstgetallen in het 780-jarige tijdvak 1201-1980.

Nog éénmaal terugkomend op de merites van de keuze door Easton van een temperatuurcoëfficiënt = 54 voor de onbekende winters, zou men kunnen vermoeden dat het getal 54 is genomen teneinde te bewerkstelligen dat de gemiddelden van de beide reeksen (1201-1756) en (1757-1916) vrijwel aan elkaar gelijk worden: respectievelijk 49,4 en 49,3. De waarde 49,4 blijkt volgens bovenstaand onderzoek echter 46,6 te zijn.

Tabel V^A vermeldt de vorstgetallen van de Westeuropese klimaatprovincie; de onbekende winters zijn aangeduid met een punt. In tabel V^B is achter de onbekende winters de verwachtingswaarde 22 ingevuld. In figuur 13 zijn alle vorstgetallen van de Westeuropese klimaatprovincie grafisch weergegeven.

Om een indruk te verkrijgen van de schattingsnauwkeurigheid van het vorstgetal van de Westeuropese klimaatprovincie $V(\hat{E}_{WE})$ ten opzichte van het vorstgetal, dat berekend is uit de elementen v , y en z , zijn in figuur 14 de betrokken grootheden in het tijdvak 1852 t/m 1916 met elkaar gecorreleerd. Uit de puntenspreiding rond de regressierechte is de middelbare schattingsfout berekend op 7,9 eenheden op de schaal van het vorstgetal.

5.4. Verband tussen vorstgetallen, wintercijfers en wintertemperaturen

Teneinde voor De Bilt de vorstgetallen $\{V\}$ te kunnen afleiden voor het tijdvak 1634-1705 uit de wintertemperaturen $\{T_h\}$ van de "De Vries-reeks" [2] en [9] en voor het tijdvak 1706-1849 uit de wintercijfers $\{H\}$ (tabel I), is het noodzakelijk te kunnen beschikken over de onderlinge verbanden tussen de drie genoemde elementen.

a. Het verband tussen V en H (1850-1975)

In 1975 is het verband gelegd tussen vorstgetallen en wintercijfers: vandaar de keuze van het tijdvak. Uit een onderzoek blijkt, dat het verband tussen de beide grootheden niet lineair is. In figuur 15 zijn daarom de logaritmen van de beide variabelen met elkaar gecorreleerd. De correlatiecoëfficiënt bedraagt $r(\ln H, \ln V) = 0,9285$. Met behulp van de kleinste kwadratenmethode is vervolgens de lineaire regressie geschat:

$$\ln V = 2,1524 \ln H - 5,2541 \quad (14)$$

of

$$V = 0,005226 H^{2,1524} \quad (14a)$$

b. Het verband tussen H en T_h

Eén van de elementen waaruit H is opgebouwd is de gemiddelde wintertemperatuur T_h. Zoals uit par. 3.5 blijkt, is het element T_h in zeer sterke mate in het wintercijfer H vertegenwoordigd. Het verband tussen H en T_h volgt daarom eenvoudig uit de betrekking:

$$T_h = 7,62 - 0,113 H \quad (15)$$

Bij de afleiding van bovenstaande betrekking zijn de gemiddelden en standaarddeviaties van de beide grootheden gebruikt, berekend over het tijdvak 1721-1970.

c. Het verband tussen V en T_h

Na omzetting van (14) in:

$$H = 11,49 V^{0,4646} \quad (14b)$$

gaat (15) over in:

$$T_h = 7,62 - 1,293 V^{0,4646} \quad (16)$$

of:

$$V = (5,893 - 0,773 T_h)^{2,1524} \quad (16a)$$

In figuur 16 is het verband tussen V en T_h weergegeven zoals het hierboven is afgeleid. De stippen in het diagram hebben betrekking op het tijdvak 1850-1980. De middelbare schattingsfout van V uit T_h bedraagt ca. 5 eenheden op de schaal van het vorstgetal.

5.5. Vorstgetallen voor De Bilt, 1634-1849

Met behulp van betrekking (16a) is de "De Vries-reeks" (1634-1705) getransformeerd naar een reeks vorstgetallen voor De Bilt; ze zijn vermeld in tabel VI. De winters van 1642, 1643 en 1644, welke in de "De Vries-reeks" ontbreken, zijn voorzien van vorstgetalschattingen, welke zijn ontleend aan de temperatuurcoëfficiënten van de Westeuropese klimaatprovincie.

Tabel VII vermeldt de vorstgetallen, die volgens (14a) zijn bepaald uit de wintercijfers van het tijdvak 1706-1849.

In figuur 7a zijn de vorstgetallen van de reeks 1634-1849, tezamen met die van de reeks 1850-1980 (die ook al voorkwamen in figuur 7) grafisch weergegeven.

Samen met de vorstgetallen, die uit v, y en z zijn berekend over het tijdvak 1850-1980, is voor De Bilt een homogene reeks vanaf 1634 ontstaan. Vanaf het jaar 1200 kan daarop aangesloten worden de reeks vorstgetallen van de Westeuropese klimaatprovincie (1201-1633), zodat één homogene reeks (1201 t/m 1980) tot stand is gekomen.

6. De frequentieverdeling van de vorstgetallen

In figuur 17 is de relatieve cumulatieve frequentieverdeling van de vorstgetallen voor het tijdvak 1201-1980 getekend op normaal waarschijnlijkheidspapier. De kromme is ook uitgezet op waarschijnlijkheidspapier volgens een log-normale verdeling alsmede op Weibull-papier. Daaruit is gebleken, dat zich in de kromme een discontinuïteit voordoet in het gebied van de strengere winters. Dit blijkt ook uit figuur 18, waarin het frequentiehistogram van de vorstgetallen is weergegeven. Statistisch gezien zou men kunnen vermoeden, dat de strenge winters trekkingen zijn uit een andere populatie. Menzelfde effect doet zich voor bij de warme zomers, zie [1] en [12]. Overigens is de frequentieverdeling van de vorstgetallen rechtszijdig scheef, zoals ook duidelijk uit figuur 18 blijkt. Vanwege deze hoedanigheden is hier niet getracht een theoretische verdelingsfunctie aan te passen. In figuur 17 zijn daarom de punten zo goed mogelijk onderling door een vloeiende kromme verbonden. De volgende parameters zijn uit de verdeling geschat: modus = 13,8, mediaan = 23,3, gemiddelde = 27,2. Een secundaire modus komt daarbij nog voor in het interval $V = 66-72$ als gevolg van het effect van de strenge winters.

De frequenties van de vorstgetallen in het tijdvak 1201-1633 zijn bepaald zoals in par. 5.3 is aangegeven voor het tijdvak

1201-1756. Er is uitgegaan van de verdeling van de temperatuurcoëfficiënten (1201-1633) met gemiddelde = 46,39 en standaardafwijking = 16,83. Op basis van deze parameters zijn de theoretische frequenties volgens een Gauss-verdeling berekend in het interval tussen $\hat{E}_{WE} = 26,5$ en $\hat{E}_{WE} = 64,5$, terwijl buiten dit interval de waargenomen frequenties zijn gebruikt. Voor het overige zijn de deel-reeksen (1201-1633), (1634-1705), (1706-1849) en (1850-1980) op elkaar aangesloten en beschouwd als één reeks.

Op de frequentieverdeling van de vorstgetallen in figuur 17 kan worden afgelezen met welke kans een bepaald vorstgetal te De Bilt wordt bereikt of overschreden. De verticale schaalverdeling geeft de overschrijdingsfrequentie aan, uitgedrukt in procenten. Percentages zijn aantallen per 100, in dit geval dus aantallen winters per 100 jaar. Een vorstgetal $V = 40$ heeft een overschrijdingsfrequentie van 20%. Dit betekent dus, dat over de 780-jarige periode 1201-1980 een vorstgetal $V = 40$ gemiddeld twintig maal per 100 jaar, of éénmaal per vijf jaar, is bereikt of overschreden. Men drukt het ook wel zó uit, dat een vorstgetal $V = 40$ een overschrijdingskans heeft van 0,2 (= 20%). Voor een toekomstig tijdvak van vijf jaar is de kans op het één of meermalen bereikt of overschreden worden van $V = 40$ bij een (constant veronderstelde) overschrijdingskans van 0,2 per jaar: $1-(1-0,2)^5 = 0,67$. Daarbij dient men echter wèl te beseffen, dat aan deze kansberekening het verleden (1201-1980) ten grondslag ligt. Voor een toekomstig tijdvak van tien jaar bedraagt deze kans $1-(1-0,2)^{10} = 0,89$. De kans neemt uiteraard toe naarmate men een langer toekomstig tijdvak in beschouwing neemt. Daarbij moet men wèl aannemen dat het gekozen toekomstige tijdvak dezelfde statistische eigenschappen bezit als die van de afgelopen 780 jaar. Uit een oogpunt van klimaatschommelingen is dat vanzelfsprekend allerm minst zeker. In verband daarmee wordt over het algemeen vrijwel uitsluitend gewerkt met de jaarlijkse overschrijdingskans alléén, omdat deze iets zegt omtrent de mate van uitzonderlijkheid van een bepaalde winter. Zo bedraagt de overschrijdingskans van de recentelijk voorgekomen strenge winter van 1979 met $V = 53,2$ 0,1 (of 10%). Gemiddeld éénmaal per tien

jaar werd dit vorstgetal bereikt of overschreden. Relateren we deze winter echter aan het standaardtijdvak 1851-1980, dan bedraagt de overschrijdingskans $7\frac{1}{2}\%$ (éénmaal per $13\frac{1}{3}$ jaar). De gemiddelde wintertemperatuur over laatstgenoemd tijdvak bedroeg echter $2,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ tegen $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ over het tijdvak 1634-1980 (zie [2]) en tegen $2,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ over de afgelopen 780 jaar, zoals uiteindelijk uit het in dit rapport bijeengebrachte materiaal kan worden afgeleid. De 130-jarige periode 1851-1980 was dus qua wintertemperatuur iets warmer dan het gemiddelde van de gehele reeks en van de deelreeks (1634-1980), welke in [2] is onderzocht. Daarmee is tevens het bovenvermelde verschil in overschrijdingsfrequentie van het vorstgetal van de winter 1979 verklaard.

Tussen ca. 1700 en 1750 is blijkens het onderzoek in [2] ook een periode met gemiddeld bovennormale wintertemperaturen voorgekomen. Onder "normaal" wordt dan het niveau van $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ verstaan, ongeveer dezelfde waarde als die over het tijdvak 1201-1980. In verband daarmee lijkt het verdedigbaar de frequentieverdeling over laatstgenoemd tijdvak als representatief te stellen en te gebruiken in het verdere verloop van dit onderzoek. (In de eerste druk van dit rapport is in dier voege uitgegaan van een frequentieverdeling van vorstgetallen met nadruk op de periode 1851-1970).

6.1. Indeling van de winters in categorieën

Wil men de winters in categorieën indelen, dan moet zo goed mogelijk worden voldaan aan een aantal benamingen dat voor de diverse typen winters in zwang is. Easton gebruikt in zijn publikaties een tiental benamingen. Dit is een even aantal en dat is lastig, omdat daarbij in geval van een symmetrische indeling het centrum van de verdeling - in casu de mediaanwaarde - precies samenvalt met de grens tussen twee intervallen. Een andere voorwaarde kan zijn dat men bij de keuze van de intervallen uitgaat van een normale verdeling, bijvoorbeeld met centrum = 0 en standaardafwijking = 1; de zogenaamde standaard-normale verdeling. Deze methode is gevolgd in [12] waarbij de zomercijfers binnen het traject $\mu - 3\sigma$ tot $\mu + 3\sigma$ in negen intervallen zijn ingedeeld. De intervalbreedte bedraagt in dat geval dus $\frac{6\sigma}{9} = \frac{2}{3}\sigma$. Dit betekent dat het interval "normaal"

met categorienummer 5 zich moet uitstrekken tussen: $\mu - \frac{1}{3}\sigma$ en $\mu + \frac{1}{3}\sigma$, categorie 6 tussen: $\mu + \frac{1}{3}\sigma$ en $\mu + \sigma$, categorie 7 tussen: $\mu + \sigma$ en $\mu + 1\frac{2}{3}\sigma$, enz. Aan de andere zijde van normaal vinden we dienovereenkomstig voor de categorieën 4, 3 enz. respectievelijk de intervallen: $\mu - \frac{1}{3}\sigma$ tot $\mu - \sigma$, $\mu - \sigma$ tot $\mu - 1\frac{2}{3}\sigma$ enz.

Bij de vorstgetallen, die niet normaal verdeeld zijn, kan men de intervalgrenzen als volgt bepalen. Voor een standaard-normale variabele zijn de overschrijdingsfrequenties bij $-2\frac{1}{3}$, $-1\frac{2}{3}$, -1 , $-\frac{1}{3}$, $+\frac{1}{3}$, $+1$, $+1\frac{2}{3}$, $+2\frac{1}{3}$ respectievelijk 0,990, 0,952, 0,841, 0,630, 0,369, 0,159, 0,048, 0,010. Als intervalgrenzen neemt men nu de waarden van V die bij deze overschrijdingsfrequenties horen (deze waarden kunnen met behulp van figuur 17 worden bepaald). Op grond daarvan ontstaat de volgende indeling.

categorie	vorstgetal	karakter van de winter	aantal per 100 jaar
1	$\leq 1,5$	extreem zacht	1
2	1,6 - 5,0	zeer zacht	4
3	5,1 - 10,0	zacht	11
4	10,1 - 18,0	vrij zacht	21
5	$\left\{ \begin{array}{l} 18,1 - 23,2 \\ 23,3 \\ 23,4 - 28,5 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{(aan de zachte kant)} \\ \text{----- normaal} \\ \text{(aan de koude kant)} \end{array} \right\}$	26
6	28,6 - 44,0	koud	21
7	44,1 - 68,0	streng	11
8	68,1 - 84,0	zeer streng	4
9	$\geq 84,1$	extreem streng (groot)	1

Deze indeling wijkt niet te veel af van die volgens Easton, zeker niet, daar Easton bij zijn indeling ook nog de nodige ruimte laat in de toekenning van de benamingen. In dit opzicht zijn er eigenlijk geen scherpe grenzen te trekken; dit is wel mogelijk voor zover het uitsluitend cijfermateriaal betreft (de beide eerste kolommen).

De categorie van de normale winters omvat tevens de begrippen: "aan de zachte kant" en "aan de koude kant". Dit is gedaan, omdat onder "normaal" tevens het reeksmidden met $V = 23,3$ wordt verstaan. Zoals we bij de toepassing van de run-theorie zullen zien (par. 7.1), geeft deze splitsing nog voordelen. Een winter met $V = 20$ is dus een normale winter "aan de zachte kant".

In vergelijking met de eerste druk zijn de grenzen, welke verband houden met de verschillende benamingen enigszins verschoven. Zo is bijvoorbeeld op grond van het vorstgetal de winter van 1954 (met geduchte vorstperiode annex elfstedentocht) thans onder te brengen in de categorie van de koude winters. Bij de vorige indeling (eerste druk) werd deze winter ingedeeld bij de winters "aan de koude kant". Enkele strenge winters, die volgens de oude indeling onder de "koude winters" thuis zouden horen (1865, 1880 en 1941), vallen nu inderdaad ook in het desbetreffende interval. De winters van 1865 en 1880 werden door Easton zelf trouwens ook "streng" of "tamelijk streng" genoemd, voor zover het Nederland betreft. Het zwaartepunt van de winter van 1880 lag ten opzichte van Nederland in het zuidoosten, zozeer zelfs, dat binnen ons land de toename van de strengheid in zuidoostelijke richting zeer duidelijk merkbaar was. In Frankrijk was 1880 zelfs de strengste winter van de negentiende eeuw! In 1941 was de toestand juist tegenovergesteld: gelet op de duur en de zwaarte van de ijsgang op de Nederlandse binnenwateren, IJsselmeer en Waddenzee [14, 11], moet 1941 eveneens tot de strenge winters worden gerekend, ofschoon het zwaartepunt van die winter meer naar het noordoosten was gelegen. In Hamburg had 1941 een koudegetal $K = 305$ tegen $K = 240$ in 1979. Ook qua ijsgang langs de Duitse Noordzeekust moet 1941 sinds 1879 samen met de winters van 1924, 1929, 1940, 1942, 1947, 1963 en 1970 tot de top-winters worden gerekend [8]. Overigens zijn er nog veel meer voorbeelden te geven waaruit het subjectieve karakter van de benamingen blijkt.

Het grote voordeel van deze nieuwe indeling in categorieën is, dat de categorienummers een van de normale verdeling afgeleide symmetrische discrete verdeling hebben met centrum 5 en standaarddeviatie 1,5. Ten behoeve van een voortgezet statistisch onderzoek van de gehele reeks vanaf 1201 kan een indeling van winters

in categorieën met de evengenoemde eigenschappen van voordeel zijn, omdat naar verwachting een belangrijk deel van de onzekerheden, welke liggen besloten in het historische materiaal, wordt vereffend door de breedte van de intervallen. In verband daarmee valt de hier gegeven meer wetenschappelijke indeling te verkiezen boven de indeling uit de eerste druk.

6.2. Tijdreeks van vorstcategorieën

In tabel VIII zijn vanaf het jaar 1200 alle winters met bijbehorende categorieën C_v weergegeven. Tot en met 1633 zijn de C_v 's bepaald uit de vorstgetallen van de Westeuropese klimaatprovincie (tabel V^A), tijdvak 1634-1705 uit tabel VI, tijdvak 1706-1849 uit tabel VII en tijdvak 1850-1980 uit tabel IV. De vorstcategorieën over het gehele tijdvak 1201-1980 zijn als één reeks te beschouwen. In tabel VIII zijn tevens de decenniumgemiddelden van C_v vermeld. Wanneer deze worden gebruikt om er het historische tijdvak 1201-1630 mee te onderzoeken, dan mag men verwachten dat in die gemiddelden het effect van de onbekende winters nog verder teruggedrongen is. De onbekende winters zijn voorzien van een waarde 5 voor C_v . Het vorstgetal 28 in het historische tijdvak, ook vallend binnen het interval van categorie 5, is ter onderscheiding van de onbekende winters aangeduid met "5̇". In het tijdvak vanaf 1633 is deze aanduiding aangehouden voor winters in categorie 5, welke aan de koude kant van de normaal zijn gelegen en met "5̇" zijn de winters aangeduid, welke in categorie 5 aan de zachte kant van de normaal voorkomen. Dit is gedaan met het oog op statistische bewerking in geval van toepassing van de run-toets theorie. De tabel heeft verder het voordeel dat men in één oogopslag kan zien met welk type winter men bij een bepaald jaar te maken heeft.

In figuur 19^A is de reeks opeenvolgende decenniumgemiddelden grafisch weergegeven. Het gemiddelde van deze maanden bedraagt over het tijdvak 1201-1980 $m(C_v) = 5,00$ met standaarddeviatie $s(C_v) = 0,407$. De 95%-marge tussen de waarden $C_v = 4,2$ en $C_v = 5,8$ is in de figuur aangegeven. Het koudste decennium was 1791-1800

en het zachtste 1911-1920. Uitzonderlijk zacht waren ook de decennia 1471-1480, 1521-1530, 1731-1740 en 1971-1980. De theorie verwacht 5% van 78 = 4 decenniumgemiddelden buiten de 95%-marge; in werkelijkheid blijker er zes te zijn. Conclusies omtrent opzienbarende klimaatveranderingen behoeven op grond van die resultaten niet te worden getrokken.

Figuur 19^B geeft het cumulatieve verloop van de decenniumafwijkingen ten opzichte van het reeksgemiddelde $m(C_v) = 5$. Van dergelijke krommen is niet zozeer de ligging of het niveau van belang als wel de trendmatige hellingen welke erin voorkomen. Daalt in gemiddelde zin het verloop van de kromme, dan domineren de zachtere winters; stijgt het verloop, dan is er sprake van dat de koudere winters overheersen. Dit laatste was in sterke mate het geval tussen ongeveer 1750 en 1860. Daarna neemt de winterkou weer af, een trend, welke tot op heden voortduurt. We mogen echter niet verwachten dat dit beeld zich in de toekomst zal voortzetten. Deze hypothese kan worden ontleend aan figuur 19^A, waaruit blijkt dat na elk minimum een snelle stijging volgt naar het niveau van normale of te koude winters. Zet deze trend zich wèl voort, dan zou men over een aantal decennia kunnen spreken van een klimaatverandering.

Het verloop van met tien jaar verspringende 30-jaar gemiddelden van C_v is weergegeven in figuur 19^C. Het resultaat van deze bewerking van lopend middelen over de reeks van figuur 19^A vertoont nog vrij sterke schommelingen waaruit vrijwel dezelfde conclusies kunnen worden getrokken als hiervóór gedaan zijn. Aan deze conclusies kan men nog toevoegen dat met twee onderbrekingen het globale tijdvak 1550-1850 de meeste winterkoude heeft opgeleverd. Het tijdvak 1860-1980 vertoont visueel enige gelijkenis met de periode 1450-1550, dus circa 420 jaar geleden. Harde conclusies en daarvan afgeleide toekomstverwachtingen kunnen en mogen ook hieraan niet worden ontleend.

7. Het statistische karakter van de tijdreeks 1634-1980

Daar de reeks 1201-1633 als gevolg van een groot aantal onbekende winters, waarvoor het vorstgetal $V = 22$ is ingevuld, nog veel onzekerheden bevat, wordt de meer betrouwbare reeks van De Bilt over het tijdvak 1634-1980 genomen en aan een nader onderzoek onderworpen. Daarvoor worden niet de vorstgetallen zelf genomen, doch de vorstcategorien van tabel VIII, welke bovendien het voordeel hebben dat ze bij benadering symmetrisch verdeeld zijn.

7.1. Toepassing van de run-toets

Wanneer in L_1 opeenvolgende winters de vorstcategorie C_v groter is dan 5, spreken we van een positieve run met runlengte van L_1 jaren. Bij L_2 opeenvolgende winters met kleinere C_v -waarden dan 5, hebben we te maken met een negatieve run ter lengte van L_2 jaren (winters). De C_v -reeks 1634-1980 kunnen we onderzoeken door het aantal positieve en negatieve runs van diverse lengten uit te tellen en op de resultaten daarvan statistische toetsen toe te passen.

Zoals uit tabel VIII blijkt, begint in het jaar 1634 een positieve run met lengte $L_1 = 2$ (jaren, winters). In het jaar 1979 wordt de reeks opeenvolgende runs afgesloten met ook weer een positieve run van één jaar lang (de winter van 1979). Uit 346 waarnemingen vinden we $N_1 = 172$ positieve en $N_2 = 174$ negatieve waarden ($C_v - 5$), welke respectievelijk $x_1 = 87$ positieve en $x_2 = 86$ negatieve runs vormen; in totaal dus $x = 173$ runs.

Voor een toevalsreeks volgt de verwachting van het aantal runs uit

$$E(x) = \frac{2 \cdot N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2} + 1 = 174,0 \quad ,$$

en de variantie uit:

$$\sigma^2(x) = \frac{2 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot (2 \cdot N_1 \cdot N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2 \cdot (N_1 + N_2 - 1)} = 86,24 \quad ,$$

zodat: $\sigma(x) = 9,287$.

Op grond van het aantal van 346 waarnemingen kan de verdeling van het aantal runs bij benadering als normaal (Gaussisch) worden beschouwd.

Bij de excentriciteit $\frac{x - \mathcal{E}(x)}{\sigma(x)} = \frac{173 - 174}{9,287} = -0,11$

vinden we in een tabel van de normale verdeling een dubbelzijdige overschrijdingskans van 91%, waaruit blijkt dat het gevonden aantal runs vrijwel niet afwijkt van het theoretische aantal, behorend bij een toevalsreeks. De reeks bevat dus geen persistentie.*

runlengte L_1, L_2	aantal positieve runs x_1	aantal negatieve runs x_2	totaal aantal runs x	theoretisch totaal aantal runs X	$\frac{(x-X)^2}{X}$
1	38	47	85	87,0	0,05
2	26	20	46	43,5	0,14
3	13	6	19	21,75	0,35
4	7	7	14	10,88	0,89
5	3	2	5	5,44	0,04
6	.	0	0	2,72	0,38
7	.	3	3	1,36	
8	.	0	0	0,68	
9	.	0	0	0,34	
10	.	1	1	0,17	
≥ 11	.	.	.	0,16	
som:	87	86	173	174	$\chi^2 = 1,85$

$\nu = 5$ vrijheidsgraden, $P = 88\%$

De gevonden frequenties x zijn in deze tabel getoetst aan de frequenties X , welke de theorie verwacht voor een reeks waarin de waarnemingen onderling onafhankelijk van elkaar zijn. Uit de terzake toegepaste χ^2 -toets volgt een eenzijdige overschrijdingskans $P = 88\%$. Deze uitkomst ligt zó ver boven de gebruikelijke

* De lezer zal deze conclusie, gelet op het minimale verschil tussen de aantallen positieve en negatieve runs, wellicht al zonder toetsing getrokken hebben.

significantiedrempel van 5%, dat dit de conclusie rechtvaardigt dat de waarnemingen als onafhankelijk kunnen worden beschouwd. Toetsen we de waargenomen frequenties van de positieve en de negatieve runs apart, dan vinden we overschrijdingskansen van respectievelijk 58% en 54%. Ook hieruit blijkt, dat de vorstgetallen van de winters onderling onafhankelijk zijn. Dit resultaat is heel anders dan bij de zomers; in de reeks zomercijfers is wel persistentie aangetoond, zie [12].

7.2. Fluctuaties in het optreden van strenge winters?

Strenge winters met vorstgetal $\geq 44,1$, c.q. $C_v \geq 7$ komen gemiddeld ongeveer vijftien maal per 100 jaar voor. Bekijken we het aantal strenge winters $N(C_v \geq 7)$ in opeenvolgende tijdvakken van dertig jaar, dan vinden we het volgende overzicht:

tijdvak	$N(C_v \geq 7)$	tijdvak	$N(C_v \geq 7)$	tijdvak	$N(C_v \geq 7)$
1201-1230	7	1471-1500	2	1741-1770	3
1231-1260	1	1501-1530	5	1771-1800	7
1261-1290	4	1531-1560	3	1801-1830	7
1291-1320	3	1561-1590	5	1831-1860	5
1321-1350	0	1591-1620	3	1861-1890	3
1351-1380	6	1621-1650	7	1891-1920	3
1381-1410	5	1651-1680	7	1921-1950	5
1411-1440	4	1681-1710	8	1951-1980	3
1441-1470	6	1711-1740	4	gemiddelde:	4,46
				stand.afw.:	2,04

Het grootste aantal bedroeg acht (1681-1710), het kleinste nul (1321-1350). De afgelopen dertig jaar leverden drie strenge winters op (1956, 1963 en 1979). Dit aantal is weliswaar beneden het gemiddelde, doch niet uitzonderlijk, want tien van de 26 tijdvakken leverden een aantal van drie of minder strenge winters op. Dit komt neer op een overschrijdingsfrequentie van 62% tegen

een theoretisch percentage volgens de kansverdeling van Bernoulli van 68%. We mogen daarom niet beweren, dat het aantal strenge winters van de laatste drie decennia uitzonderlijk laag is geweest. Aangezien de aantallen strenge winters in de opeenvolgende 30-jarige tijdvakken als onafhankelijk van elkaar beschouwd mogen worden, kunnen er voor de toekomst geen prognoses worden gedaan. Dit blijkt uit de autocorrelatiecoëfficiënt van de eerste orde in de genoemde reeks; deze bedraagt 0,003 over het tijdvak 1201-1980 (26 tijdvakken, 25 paren). Bezien we deze zaak vanaf 1621, het tijdvak van de meer betrouwbare gegevens, dan bedraagt de autocorrelatiecoëfficiënt van de eerste orde: 0,349 (12 tijdvakken, 11 paren). Deze uitkomst duidt wel op enige persistentie, doch bij een betrouwbaarheidsdrempel met P (eenzijdig) = 5% is de uitkomst toch niet significant.

Nu zijn de onderzochte 30-jarige tijdvakken zó gekozen, dat de hele 780-jarige periode 1201-1980 in 26 gelijke stukken is verdeeld. Deze verdeling in 30-jarige deelperioden is natuurlijk even willekeurig als elke andere. Zouden we alle mogelijke 30-jarige deelperioden binnen de genoemde 780 jaar willen bezien, dan moeten we ze voortschrijdend met een tijdstap van één jaar beschouwen: 1201-1230, 1202-1231, 1203-1232 enz. Deze gang van zaken levert uit de aard der zaak een veel groter aantal deelperioden op met de aantallen daarin voorkomende strenge winters. Figuur 20 is het resultaat van de aldus uitgevoerde bewerking: het verloop van de dichtheid van strenge winters in voortschrijdende 30-jarige tijdvakken. Nu vinden we een tweetal minima met nul strenge winters, terwijl het maximum tien bedraagt in de deelperiode 1670-1699.

Voorts komen twee tijdvakken tot uiting met bovennormale aantallen strenge winters. Uit het dichtheidsverloop blijkt, dat dit globaal de perioden 1630-1710 en 1760-1860 zijn. Hierbij zij aangetekend dat de genoemde jaartallen de middens zijn van de beschouwde 30-jarige tijdvakken. De daling in het aantal strenge winters, welke omstreeks 1835 begint, zet zich in deze eeuw voort tot het minimum van omstreeks 1915. Daarna treedt weer een herstel op met een maximum ongeveer in 1945, waarna weer

een snelle daling valt te constateren met een minimum over het 30-jarige tijdvak 1948-1977. Het tijdperk 1230-1350 wordt gekenmerkt door een "tekort" aan strenge winters, terwijl het beeld normaal lijkt tussen 1350 en 1630.

Tussen 1630 en 1930 beschrijft het verloop een tweetal volledige oscillaties met een periode van gemiddeld 150 jaar. Het grote statistische bezwaar tegen het werken met voortschrijdende gemiddelden c.q. aantallen (zoals hier is gedaan) is, dat er niet-reële periodiciteiten geïntroduceerd kunnen worden. In dit opzicht is het trouwens opvallend, dat de reeks zich tussen 1350 en 1630 anders gedraagt dan na 1630. Dit blijkt onder meer uit het aantal doorgangen, dat het verloop door het gemiddelde (= ca. 4,5) beschrijft: 31 in het 280-jarige tijdvak 1351-1630 en 11 in de 350 jaren daarna. Dit komt neer op respectievelijk ongeveer 11 en 3 doorgangen in 100 jaar. Omdat het verschil in aantal doorgangen aanzienlijk lijkt, is voor verder onderzoek ook nog de autocorrelatiecoëfficiënt van de eerste orde berekend in de opeenvolgende aantallen strenge winters per 30 jaar in het tijdvak 1351-1620. We vinden een uitkomst $r_2 = -0,559$ tegen $r_2 = 0,349$ over het tijdvak 1621-1980, zoals hiervóór werd berekend. Uitgaande van de gebruikelijke significantiedrempel van 5%, is bij 11 paren de gevonden waarde van $-0,559$ evenmin significant. Ten slotte kan men nog de significantie van het verschil tussen r_1 en r_2 toetsen [1]. De bij deze toets berekende toetsingsgrootte ($u = 3,5$) heeft een dubbelzijdige overschrijdingskans van 0,046%. Deze kans is zo klein, dat men mag spreken van verandering van persistentie in de reeks, ondanks het feit dat de keuze van de tijdvakken (en daarmee dus de jaren 1350 en 1620) niet willekeurig is geschied, doch op grond van het verloop zoals weergegeven in figuur 20.

Blijkens figuur 20 valt de zogenaamde "kleine ijstijd" eigenlijk in twee tijdvakken uiteen, ongeveer: 1630-1710 en 1770-1860.

APPENDIX

1. Benadering van de negatieve temperatuursom uit de dagelijkse maxima en minima van de temperatuur

De negatieve temperatuursom K_0 volgens de in hoofdstuk 1 gegeven vorm kan als volgt uit de dagelijkse maxima en minima van de vorstdagen en de ijsdagen worden benaderd:

- ijsdagen

Het aantal ijsdagen in een winterperiode bedraagt y .

a = maximumtemperatuur op een ijsdag.

b = minimumtemperatuur op een ijsdag.

De bijdrage van één ijsdag tot de geschatte negatieve temperatuursom is:

$$\frac{a + b}{2} \text{ in } ^\circ\text{C, uitkomst negatief.} \quad (1A)$$

- vorstdagen

v = aantal vorstdagen.

$v' = v - y$ = aantal vorstdagen verminderd met het aantal ijsdagen.

Per vorstdag moet het gedeelte van het etmaal, waarin de temperatuur negatief is, worden benaderd. Uitgaande van een lineaire benadering voor het verloop van de temperatuur met de tijd, kan voor het betreffende gedeelte van het etmaal de verhouding worden genomen van de absolute waarde van de minimumtemperatuur en de temperatuuramplitudo van de vorstdag, zodat wordt gevonden:

$$\frac{|d|}{c + |d|}, \text{ waarin: } c = \text{maximumtemperatuur op een vorstdag.}$$
$$d = \text{minimumtemperatuur op een vorstdag.}$$

De bijdrage van één vorstdag tot de geschatte negatieve temperatuursom volgt uit:

$$\frac{|d|}{c + |d|} \cdot \frac{d}{2} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{c + |d|}, \text{ uitkomst negatief.} \quad (2A)$$

Gedurende het gedeelte van de dag, waarin de temperatuur negatief is, bedraagt de maximumtemperatuur namelijk 0°C en de minimum-

temperatuur d °C, "gemiddeld" dus $\frac{d}{2}$ °C. Uit (1A) en (2A) volgt dan voor de geschatte negatieve temperatuursom:

$$\hat{K}_o = K_Y = \frac{1}{2} \sum_{y=1}^y (a + b) - \frac{1}{2} \sum_{v'=1}^{v'} \left(\frac{d^2}{c + |d|} \right) \quad (3A)$$

2. De geschatte negatieve temperatuursom van de winters 1961 t/m 1980 en het verband met K en V

Voor de winters 1961 t/m 1980 zijn de waarden K_Y berekend. In de volgende tabel zijn die waarden ondergebracht, samen met V en K.

winter	K_Y	K	V
1961	29,7	26,5	5,4
1962	114,5	89,4	26,0
1963	362,9	337,3	83,2
1964	136,8	112,0	31,9
1965	83,4	57,9	21,9
1966	113,0	103,0	27,7
1967	42,5	31,1	8,4
1968	69,4	45,9	17,9
1969	119,4	96,1	36,1
1970	170,9	141,6	41,0
1971	122,1	99,5	30,0
1972	54,9	39,9	11,6
1973	38,0	23,9	11,2
1974	32,3	24,3	10,5
1975	9,2	3,2	4,6
1976	86,6	72,7	14,2
1977	35,9	19,2	8,2
1978	54,4	44,4	9,5
1979	221,6	205,7	52,8
1980	54,6	46,7	15,6

De waarden K_Y , K en V zijn onderling sterk gecorreleerd. De correlatiecoëfficiënten tussen deze grootheden bedragen ongeveer 0,99.

Tussen K en K_Y wordt het volgende lineaire verband gevonden:

$$K = 0,94 K_Y - 11,1 \quad (4A)$$

Toepassing van Student's t-toets heeft tot resultaat dat het intercept $-11,1$ significant van nul verschilt ($t = -4,85$). Bij het koudegetal van Hellmann is dus niet aan de evenredigheidsvoorwaarde voldaan.

Tussen V en K_Y wordt gevonden

$$V = 0,231 K_Y + 0,8 \quad (5A)$$

Het intercept $0,8$ verschilt niet significant van nul ($t = 0,77$). Laat men het intercept buiten beschouwing, dan krijgt men met behulp van de kleinste kwadraten methode de relatie

$$V = 0,236 K_Y \quad (6A)$$

Daar V nagenoeg evenredig is met de benadering K_Y van K_0 , mag men aannemen dat ook V en K_0 vrijwel evenredig zijn (evenredigheidsvoorwaarde).

LITERATUUR

- 1 BIJL, W. VAN DER. Toepassing van statistische methoden in de klimatologie.
KNMI, Mededelingen en Verhandelingen No. 58, 1952.
- 2 DOOL, H.M. VAN DEN. Gaan we naar een ander klimaat?
Zenit 6, 1979, p. 468-471.
- 3 EASTON, C. Rangschikking der winters.
Hemel en Dampkring XX, 1922, p. 12-21.
- 4 EASTON, C. Les Hivers dans l'Europe Occidentale, 1928.
- 5 LABRIJN, A. Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en een halve eeuw.
KNMI, Mededelingen en Verhandelingen No. 49. 1945.
- 6 LABRIJN, A. Het klimaat van Nederland, temperatuur, neerslag en wind.
KNMI, Mededelingen en Verhandelingen No. 53, 1946.
- 7 LABRIJN, A. Wintercriteria.
Hemel en Dampkring 45, 1947, p. 191-193.
- 8 SINDERN, Josef. Rückblick auf den Eiswinter 1978/79. Eis- und Schifffahrtverhältnisse auf den Bundeswasserstrassen im Küstengebiet.
Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 24, 1980. H. 1, S. 15-22.
- 9 VRIES, J. DE. Histoire du climat et économie des faits nouveaux, une interprétation différente.
Annales Economies Sociétés Civilisation 32, 1977, 198-227.
- 10 WIJVEKATE, M.L. Verklarende statistiek.
Aula-reeks No. 39, Utrecht, 1963.
- 11 IJNSEN, F. Statistisch onderzoek naar de ijsgang in de Waddenzee.
Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, nota 72.5a, 1974.
- 12 IJNSEN, F. De zomers in Nederland vanaf 1706 thermisch bekeken.
KNMI, Wetenschappelijk Rapport, WR 76-15, 1976.
- 13 KNMI, Maandelijks overzicht der weersgesteldheid, publikatie 94a.
- 14 RIJKSWATERSTAAT, IJsverslagen.
Directie Waterhuishouding en Waterbeweging (voorheen: Directie Algemene Dienst).

SYMBOLLEN

A,B	= willekeurige aanduiding van winters
C_v	= vorstcategorie (dimensieloos)
E	= temperatuurcoëfficiënt van Easton (dimensieloos)
E_B	= voor De Bilt berekende E
E_Z	= voor Zwanenburg berekende E
E_{WE}	= voor de Westeuropese klimaatprovincie berekende E
\hat{E}_{WE}	= voor de Westeuropese klimaatprovincie benaderde E
$\mathcal{E}(\dots)$	= verwachtingswaarde van (...)
F	= overschrijdingsfrequentie (in aantal)
H	= wintercijfer (dimensieloos)
K	= koudegetal volgens Hellmann ($^{\circ}\text{C}$)
K_o	= negatieve temperatuursom ($^{\circ}\text{C}$)
K_Y	= uit a, b, c en d geschatte negatieve temperatuursom ($^{\circ}\text{C}$)
N	= aantal gevallen
P	= overschrijdingskans
S	= zomercijfer (dimensieloos)
T	= temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	= absolute minimumtemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
T_f	= gemiddelde temperatuur november t/m maart ($^{\circ}\text{C}$, één seizoen)
T_h	= wintertemperatuur (december t/m februari) in $^{\circ}\text{C}$, één seizoen
T_n	= maandtemperatuur van koudste maand ($^{\circ}\text{C}$, één seizoen)
V	= vorstgetal (dimensieloos)
X	= theoretisch aantal runs
a	= positieve maximumtemperatuur van een vorstdag ($^{\circ}\text{C}$)
b	= minimumtemperatuur van een vorstdag ($^{\circ}\text{C}$)
c	= maximumtemperatuur van een ijsdag ($^{\circ}\text{C}$)
d	= minimumtemperatuur van een ijsdag ($^{\circ}\text{C}$)
e	= grondtal van het natuurlijke logaritmenstelsel
f	= waargenomen frequentie (aantal)
$f(\dots)$	= functie van (...)
g	= intervalgrens
k	= aantal tijdvakken (november...maart) waarin de temperatuur negatief is
$m(\dots)$	= rekenkundig gemiddelde van elementen (...)
n	= aantal

- q = koude-verdelingsquotiënt (dimensieloos)
- r = steekproefschatting van correlatiecoëfficiënt
- s(...) = schatting standaardafwijking van elementen (...)
- t = tijd
- u(...) = excentriciteit van (...)
- v = aantal vorstdagen (november...maart) (min. temp $< 0^{\circ}$ C)
- x = waargenomen aantal runs
- y = aantal ijsdagen (november...maart) (max. temp. $< 0^{\circ}$ C)
- z = aantal zeer koude dagen (november...maart) (min. temp. $\leq -10^{\circ}$ C)
- | | | |
|----------|----------------------------|----------------|
| $x(T_f)$ | = bijdrage van T_f tot H | } dimensieloos |
| $x(T_h)$ | = bijdrage van T_h tot H | |
| $x(T_n)$ | = bijdrage van T_n tot H | |
| $x(v)$ | = bijdrage van v tot V | |
| $x(y)$ | = bijdrage van y tot V | |
| $x(z)$ | = bijdrage van z tot V | |
- Φ = overschrijdingsfrequentie in %
- $\mu(\dots)$ = universumgemiddelde van (...), centrum van een verdelingsfunctie
- ν = aantal vrijheidsgraden
- $\sigma(\dots)$ = universum-standaardafwijking van (...) of van een verdelingsfunctie
- τ = tijdsduur, waarin het temperatuurverloop negatief is
- φ = theoretische frequentie (aantal)
- {.....} = verzameling van elementen

TABELLEN

- I Wintercijfers (H) en koude-verdelingsquotiënten (q) te De Bilt; tijdvak 1706-1980.
- II Aantallen vorstdagen (v), ijsdagen (y) en zeer koude dagen (z) en waarden van de laagste minimumtemperaturen (T_a) in de periode november t/m maart, te De Bilt; tijdvak 1850-1980.
- III Vorstgetallen voor De Bilt, op volgorde van afnemende grootte; vanaf 1849-'50.
- IV Vorstgetallen voor De Bilt, in chronologische volgorde, vanaf 1849-'50.
- v^{A,B} Vorstgetallen voor de Westeuropese klimaatprovincie; tijdvak 1201-1916.
- VI Vorstgetalschattingen voor De Bilt; tijdvak 1634-1705.
- VII Vorstgetalschattingen voor De Bilt; tijdvak 1706-1849.
- VIII Winters met vorstcategorïën; vanaf 1201.

TABLES

- I Winter coefficients H and values of $q = \frac{x(T_f)}{x(T_h)}$ at De Bilt, since 1706.
- II Numbers of frost days v (minimum temperature < 0 °C), ice days y (maximum temperature < 0 °C) and very cold days z (minimum temperature ≤ -10 °C) and values of the lowest minimum temperature T_a in the period November-March at De Bilt, since 1849-'50.
- III Frost numbers V for De Bilt, since 1849-'50, in decreasing order (with ranks).
- IV Frost numbers V for De Bilt, since 1849-'50, in chronological order.
- V^{A,B} Frostnumbers for the Westeuropean climate region, period 1201-1916.
- VI Estimated frost numbers V for De Bilt, period 1634-1705.
- VII Estimated frost numbers V for De Bilt, period 1706-1849.
- VIII Winters and their frost index numbers C_v , since 1200; with decennial averages.

TABEL I Wintercijfers (H) en koude-verdelingsquotiënten (q) te De Bilt, tijdvak 1706-1980.

winter	H	q	winter	H	q	winter	H	q	winter	H	q
1706	50	0,95	1741	49	1,17	1776	69	0,99	1811	57	0,88
07	50	0,99	42	51	0,94	77	57	0,93	12	38	0,98
08	35	0,94	43	60	1,15	78	60	0,90	13	64	1,07
09	82	0,98	44	57	0,90	79	33	0,75	14	82	1,06
1710	46	0,81	45	52	0,97	1780	56	0,81	15	57	0,85
11	42	0,97	46	63	1,06	81	57	0,94	16	58	1,05
12	52	0,94	47	47	1,47	82	54	1,03	17	37	1,24
13	49	1,28	48	56	1,12	83	47	1,34	18	41	0,85
14	43	1,10	49	28	1,06	84	85	0,99	19	41	0,91
15	47	0,98	1750	36	0,84	85	68	1,08	1820	74	1,03
16	82	0,93	51	55	0,98	86	60	1,12	21	60	1,06
17	57	1,07	52	42	1,07	87	54	1,11	22	20	0,65
18	64	1,03	53	51	0,84	88	46	1,16	23	87	0,84
19	50	1,05	54	49	1,20	89	90	1,10	24	33	1,02
1720	46	1,11	55	66	0,99	1790	32	1,11	25	30	1,11
21	51	1,20	56	26	1,09	91	36	1,15	26	53	0,87
22	46	0,93	57	67	0,99	92	51	1,05	27	60	0,92
23	46	0,82	58	50	0,87	93	45	1,05	28	39	1,02
24	35	1,51	59	27	0,95	94	43	0,88	29	68	1,03
25	53	1,04	1760	70	1,02	95	86	0,95	1830	90	0,94
26	68	1,10	61	30	0,86	96	26	1,45	31	55	0,84
27	50	1,04	62	54	1,10	97	57	1,03	32	51	0,98
28	46	0,94	63	84	1,04	98	38	1,03	33	57	1,17
29	70	1,03	64	28	1,18	99	83	1,00	34	23	0,97
1730	32	1,05	65	57	0,92	1800	74	1,01	35	34	1,06
31	47	0,85	66	58	0,99	01	47	0,86	36	44	0,96
32	37	0,75	67	66	0,93	02	58	1,00	37	33	1,18
33	34	0,95	68	63	0,89	03	81	0,99	38	86	0,93
34	24	0,74	69	44	0,96	04	49	1,16	39	44	1,16
35	37	1,06	1770	41	1,15	05	80	1,04	1840	38	0,93
36	39	1,08	71	57	1,17	06	45	1,27	41	68	0,83
37	18	0,83	72	47	0,97	07	38	1,17	42	53	0,86
38	45	0,94	73	39	0,83	08	55	1,21	43	45	1,11
39	28	1,38	74	39	0,83	09	62	1,00	44	40	1,01
1740	84	1,16	75	40	1,09	1810	61	1,04	45	85	1,12

TABEL I, vervolg

winter	H	q	winter	H	q	winter	H	q	winter	H	q
1846	19	0,81	1881	57	0,99	1916	31	1,43	1951	52	1,01
47	64	0,99	82	34	0,70	17	66	1,02	52	36	0,83
48	67	0,81	83	43	1,29	18	47	0,90	53	50	1,07
49	40	0,98	84	26	0,93	19	47	1,11	54	49	0,83
1850	67	1,07	85	45	1,12	1920	33	1,20	55	52	1,05
51	34	0,89	86	62	1,07	21	35	1,08	56	75	0,86
52	38	1,33	87	54	0,98	22	54	1,20	57	23	0,79
53	45	1,15	88	64	1,05	23	31	0,98	58	41	1,10
54	68	0,99	89	50	1,03	24	63	1,10	59	44	0,90
55	82	1,10	1890	54	0,93	25	31	1,21	1960	35	0,99
56	53	1,13	91	81	0,95	26	41	1,14	61	31	0,72
57	47	1,10	92	50	1,16	27	34	0,83	62	46	1,19
58	58	1,25	93	58	0,83	28	52	1,08	63	91	0,94
59	32	0,96	94	42	0,94	29	81	0,88	64	57	0,91
1860	55	1,09	95	69	0,93	1930	35	0,99	65	42	0,97
61	63	1,01	96	41	0,81	31	48	1,01	66	45	1,17
62	41	0,86	97	55	1,01	32	42	1,03	67	30	1,00
63	24	1,04	98	35	1,21	33	47	0,87	68	44	0,93
64	55	0,93	99	28	1,16	34	61	1,02	69	57	1,10
65	66	1,13	1900	52	0,90	35	27	1,14	1970	66	0,96
66	30	1,03	01	56	1,01	36	35	0,81	71	40	1,01
67	39	1,17	02	47	0,98	37	37	1,15	72	41	0,92
68	46	0,97	03	41	0,98	38	39	0,89	73	36	0,93
69	32	1,48	04	53	1,05	39	42	0,83	74	31	1,05
1870	57	1,02	05	40	0,94	1940	82	0,85	75	22	1,10
71	68	0,85	06	42	1,15	41	66	0,89	76	36	1,18
72	47	1,08	07	54	0,86	42	84	1,02	77	36	0,76
73	36	0,82	08	54	1,01	43	32	0,94	78	39	0,81
74	34	0,93	09	58	1,05	44	44	1,28	79	72	0,89
75	58	1,08	1910	34	1,08	45	49	0,80	1980	45	1,37
76	53	1,00	11	41	1,25	46	46	1,07	81	41	0,83
77	26	1,32	12	33	0,81	47	87	0,92	82		
78	33	0,92	13	33	0,88	48	28	0,75	83		
79	65	1,02	14	40	0,74	49	32	1,11	84		
1880	68	0,95	15	34	1,14	50	37	0,92	85		

TABEL II

Aantallen vorstdagen (v), ijsdagen (y) en zeer koude dagen (z) en de absolute minima van de temperatuur (T_a) per winter vanaf 1849-'50 in de maanden november t/m maart te De Bilt.

Tot en met 1938-'39 hebben de aantallen betrekking op het etmaal van 19h-19h MPT. De tussen haakjes geplaatste waarden zijn herleid tot het etmaal van 0h-24h UT.

Vanaf 1939-'40 gelden de aantallen uitsluitend voor het etmaal van 0h-24h UT.

De winter is aangeduid met het jaartal waarin de maand januari valt, bijv. winter 1871 = winter 1870-'71.

winter	v	y	z	T_a °C
1850	77 (80)	23 (24)	6 (7)	-22,0
51	50 (51)	0	0	- 6,5
52	61 (63)	1 (1)	0	- 5,1
53	61 (63)	12 (13)	2 (2)	-11,5
54	85 (88)	17 (18)	6 (7)	-14,9
55	89 (93)	32 (34)	22 (25)	-19,1
56	73 (76)	8 (8)	4 (5)	-15,4
57	60 (62)	16 (17)	5 (6)	-12,3
58	70 (73)	5 (5)	4 (5)	-12,9
59	49 (51)	3 (3)	2 (2)	-12,4
1860	83 (86)	8 (8)	3 (3)	-15,1
61	58 (60)	21 (22)	7 (8)	-16,5
62	50 (52)	9 (10)	3 (3)	-12,7
63	30 (31)	1 (1)	0	- 9,6
64	63 (66)	12 (13)	6 (7)	-17,5
65	95 (99)	17 (18)	8 (9)	-15,0
66	43 (45)	2 (2)	0	- 6,1
67	51 (53)	9 (10)	2 (2)	-11,9
68	54 (56)	14 (15)	2 (2)	-11,4
69	51 (53)	6 (6)	1 (1)	-10,4
1870	69 (72)	13 (14)	4 (5)	-14,6
71	71 (74)	30 (32)	13 (15)	-15,0
72	70 (73)	3 (3)	2 (2)	-20,8
73	45 (47)	4 (4)	0	- 9,7
74	50 (52)	3 (3)	1 (1)	-10,1
75	78 (81)	12 (13)	2 (2)	-14,4
76	66 (69)	20 (21)	4 (5)	-14,2
77	36 (37)	4 (4)	1 (1)	-14,7
78	44 (46)	1 (1)	0	- 5,9
79	86 (89)	18 (19)	1 (1)	-10,7
1880	81 (84)	23 (24)	9 (10)	-18,2
81	68 (71)	12 (13)	7 (8)	-19,9
82	37 (39)	3 (3)	0	- 6,1
83	70 (73)	2 (2)	0	- 9,1
84	29 (30)	2 (2)	0	- 5,4
85	68 (71)	6 (6)	2 (2)	-10,3

TABEL II, vervolg

winter	v	y	z	T _a °C
1886	101 (105)	9 (10)	3 (3)	-13,4
87	80 (83)	10 (11)	4 (5)	-12,2
88	74 (77)	24 (25)	7 (8)	-13,0
89	66 (69)	5 (5)	1 (1)	-10,4
1890	64 (67)	12 (13)	0	-9,0
91	91 (95)	34 (36)	18 (20)	-16,5
92	68 (71)	10 (11)	1 (1)	-10,9
93	58 (60)	17 (18)	6 (7)	-14,9
94	51 (53)	6 (6)	2 (2)	-15,6
95	77 (80)	21 (22)	14 (16)	-14,8
96	51 (53)	4 (4)	0	-9,4
97	71 (74)	12 (13)	0	-9,0
98	39 (41)	1 (1)	0	-8,2
99	54 (56)	3 (3)	3 (3)	-11,9
1900	63 (66)	15 (16)	4 (5)	-12,8
01	66 (69)	19 (20)	7 (8)	-13,1
02	70 (73)	2 (2)	4 (5)	-14,5
03	48 (50)	19 (20)	4 (5)	-11,6
04	68 (71)	17 (18)	0	-7,5
05	48 (50)	6 (6)	1 (1)	-12,4
06	64 (67)	3 (3)	0	-7,3
07	65 (68)	14 (15)	7 (8)	-13,6
08	51 (53)	15 (16)	5 (6)	-13,7
09	79 (82)	10 (11)	5 (6)	-15,7
1910	59 (61)	0	0	-8,0
11	50 (52)	3 (3)	0	-9,2
12	33 (34)	6 (6)	3 (3)	-20,1
13	42 (44)	1 (1)	0	-8,2
14	45 (47)	7 (7)	1 (1)	-11,7
15	47 (49)	1 (1)	0	-6,1
16	50 (52)	3 (3)	0	-8,8
17	80 (83)	19 (20)	11 (13)	-16,5
18	72 (75)	7 (7)	1 (1)	-10,2
19	65 (68)	9 (10)	2 (2)	-12,9
1920	46 (48)	3 (3)	0	-8,5
21	60 (62)	8 (8)	1 (1)	-11,0
22	78 (81)	14 (15)	9 (10)	-15,6
23	36 (37)	3 (3)	0 (1)	-10,0
24	101 (105)	15 (16)	2 (2)	-16,6
25	51 (53)	4 (4)	0	-7,5
26	59 (61)	14 (15)	7 (8)	-15,0
27	43 (45)	2 (2)	0	-5,8
28	65 (68)	13 (14)	6 (7)	-14,3
29	94 (98)	24 (25)	14 (16)	-18,9
1930	48 (50)	3 (3)	0	-6,4
31	72 (75)	3 (3)	1 (1)	-11,3
32	77 (80)	4 (4)	2 (2)	-11,1
33	61 (63)	12 (13)	5 (6)	-12,8
34	61 (63)	14 (15)	6 (7)	-13,1
35	37 (39)	2 (2)	0	-5,8
36	53 (55)	1 (1)	1 (1)	-10,3
37	55 (57)	8 (8)	0	-8,2
38	47 (49)	3 (3)	1 (1)	-12,5
39	50 (52)	12 (13)	8 (9)	-15,3

TABEL II, vervolg

winter	v	y	z	T _a °C
1940	89	42	20	-16,7
41	79	31	6	-11,5
42	93	45	21	-24,8
43	45	9	0	-7,9
44	63	5	0	-7,3
45	44	10	3	-13,4
46	62	13	1	-10,4
47	84	49	24	-15,3
48	45	3	2	-10,5
49	65	6	0	-9,6
1950	48	7	2	-11,9
51	55	9	4	-13,3
52	50	0	0	-7,4
53	88	14	0	-7,3
54	58	17	10	-13,0
55	80	13	1	-10,5
56	69	25	19	-21,6
57	44	4	0	-6,4
58	62	5	3	-11,2
59	57	12	0	-7,6
1960	54	7	0	-9,4
61	35	3	0	-9,2
62	72	11	4	-11,7
63	98	44	25	-18,2
64	75	18	4	-12,0
65	68	7	4	-12,7
66	65	19	3	-11,2
67	31	2	4	-12,4
68	64	5	3	-16,8
69	82	18	5	-16,4
1970	88	18	7	-12,0
71	58	16	9	-14,0
72	52	5	1	-11,9
73	58	3	0	-9,2
74	45	4	2	-13,4
75	41	0	0	-5,1
76	54	6	2	-10,6
77	45	4	0	-9,7
78	42	7	0	-8,8
79	87	33	9	-17,7
1980	54	8	2	-11,0
81	68	4	1	-11,0
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
1990				
91				
92				
93				
94				
95				

TABEL III Vorstgetallen te De Bilt, op volgorde van afnemende grootte, vanaf 1849-'50.

winter	vorstgetal	rangnummer	winter	vorstgetal	rangnummer
1963	83,2	1	1966	27,7	46
1947	78,7	2	1955	27,4	47
1942	76,9	3	1856	26,8	48
1855	74,1	4	1933	26,4	49
1940	71,9	5	1939	26,2	50
1891	70,8	6	1962	26,0	51
1929	60,6	7	1904	25,9	52
1871	53,1	8	1903	25,8	53
1979	52,8	9	1908	25,2	54
1956	50,9	10	1897	23,8	55
1895	50,1	11	1858	23,6	56
1865	48,6	12	1932	22,5	57
1917	46,6	13	1892	22,3	58
1880	46,5	14	1965	21,9	59
1941	44,6	15	1853	21,9	60
1924	42,9	16	1919	21,7	61
1888	41,9	17	1902	21,6	62
1850	41,4	18	1918	21,3	63
1854	41,0	19	1890	21,1	64
1970	41,0	20	1868	20,9	65
1886	40,0	21	1946	20,4	66
1922	39,1	22	1885	20,1	67
1969	36,1	23	1872	18,9	68
1879	35,5	24	1951	18,8	69
1901	35,3	25	1931	18,6	70
1861	33,5	26	1968	17,9	71
1876	32,7	27	1862	17,5	72
1909	32,5	28	1889	17,5	73
1964	31,9	29	1958	17,2	74
1887	31,8	30	1921	17,0	75
1907	31,7	31	1959	17,0	76
1954	31,7	32	1867	16,7	77
1881	31,5	33	1883	16,0	78
1953	30,5	34	1949	15,7	79
1971	30,0	35	1980	15,6	80
1928	29,9	36	1945	15,4	81
1893	29,7	37	1906	14,4	82
1870	29,2	38	1937	14,3	83
1926	29,1	39	1944	14,3	84
1860	28,9	40	1976	14,2	85
1875	28,9	41	1894	14,0	86
1934	28,8	42	1899	14,0	87
1857	28,6	43	1950	13,3	88
1864	28,5	44	1869	12,9	89
1900	28,3	45	1960	12,8	90

TABEL III, vervolg

winter	vorstgetal	rangnummer	winter	vorstgetal	rangnummer
1905	12,0	91	1873	8,8	111
1914	11,9	92	1920	8,4	112
1852	11,7	93	1967	8,4	113
1972	11,6	94	1977	8,2	114
1943	11,6	95	1957	8,1	115
1859	11,4	96	1877	7,6	116
1973	11,2	97	1851	7,5	117
1874	10,6	98	1915	7,3	118
1896	10,5	99	1866	6,9	119
1912	10,5	100	1927	6,9	120
1925	10,5	101	1952	6,9	121
1974	10,5	102	1878	6,6	122
1910	10,2	103	1882	6,2	123
1936	10,2	104	1913	6,1	124
1948	9,8	105	1923	5,8	125
1938	9,7	106	1935	5,5	126
1916	9,5	107	1961	5,4	127
1978	9,5	108	1898	5,3	128
1911	9,4	109	1975	4,6	129
1930	8,9	110	1884	3,8	130
			1863	3,4	131

N.B.: Het winterseizoen van 1 november t/m 31 maart wordt aangeduid met het jaartal waarin de maand januari valt. Voorbeeld: "1940" wil zeggen: winter 1939-'40. In die gevallen waarbij meerdere winters hetzelfde vorstgetal hebben, is de chronologische volgorde aangehouden.

TABEL IV Vorstgetallen van De Bilt, in chronologische volgorde, vanaf 1849-'50.

winter	V	winter	V	winter	V
1850	41,4	1900	28,3	1950	13,3
51	7,5	01	35,3	51	18,8
52	11,7	02	21,6	52	6,9
53	21,9	03	25,8	53	30,5
54	41,0	04	25,9	54	31,7
55	74,1	05	12,0	55	27,4
56	26,8	06	14,4	56	50,9
57	28,6	07	31,7	57	8,1
58	23,6	08	25,2	58	17,2
59	11,4	09	32,5	59	17,0
1860	28,9	1910	10,2	1960	12,8
61	33,5	11	9,5	61	5,4
62	17,5	12	10,5	62	26,0
63	3,4	13	6,1	63	83,2
64	28,5	14	11,9	64	31,9
65	48,6	15	7,3	65	21,9
66	6,9	16	9,5	66	27,7
67	16,7	17	46,6	67	8,4
68	20,9	18	21,3	68	17,9
69	12,9	19	21,7	69	36,1
1870	29,2	20	8,4	1970	41,0
71	53,1	21	17,0	71	30,0
72	18,9	22	39,1	72	11,6
73	8,8	23	5,8	73	11,2
74	10,6	24	42,9	74	10,5
75	28,9	25	10,5	75	4,6
76	32,7	26	29,1	76	14,2
77	7,6	27	6,9	77	8,2
78	6,6	28	29,9	78	9,5
79	35,5	29	60,6	79	52,8
1880	46,5	1930	8,9	1980	15,6
81	31,5	31	18,6	81	16,5
82	6,2	32	22,5	82	
83	16,0	33	26,4	83	
84	3,8	34	28,8	84	
85	20,1	35	5,5	85	
86	40,0	36	10,2	86	
87	31,8	37	14,3	87	
88	41,9	38	9,7	88	
89	17,5	39	26,2	89	
1890	21,1	1940	71,9	1990	
91	70,8	41	44,6	91	
92	22,3	42	76,9	92	
93	29,7	43	11,6	93	
94	14,0	44	14,3	94	
95	50,1	45	15,4	95	
96	10,5	46	20,4	96	
97	23,8	47	78,7	97	
98	5,3	48	9,8	98	
99	14,0	49	15,7	99	
				2000	

TABEL V^A

Winters met vorstgetallen voor de West-Europese klimaat-
provincie in het tijdvak 1201 t.m. 1916.

1201 35	1261 .	1321 .	1381 38	1441 .	1501 .	1561 35	1621 78	1681 28	1741 .	1801 11	1861 32
02 .	02 8	22 .	82 .	42 .	02 .	62 .	22 51	82 10	42 51	02 24	62 21
03 35	63 .	23 28	83 6	43 64	03 46	63 .	23 .	83 .	43 .	03 38	63 5
04 .	64 .	24 .	84 .	44 .	04 12	64 .	24 46	84 64	44 42	04 8	64 25
05 78	65 6	25 35	85 35	45 8	05 12	65 91	25 8	85 46	45 28	05 32	65 40
06 12	66 .	26 .	86 .	46 .	06 42	66 .	26 .	86 .	46 33	06 7	66 5
07 6	67 42	27 .	87 .	47 .	07 2	67 .	27 .	87 .	47 35	07 4	67 9
08 .	68 4	28 6	88 .	48 .	08 51	68 .	28 .	88 28	48 28	08 24	68 26
09 .	69 .	29 38	89 46	49 28	09 .	69 64	29 .	89 8	49 6	09 18	69 3
1210 64	1270 64	1330 .	1390 .	1450 10	1510 .	1570 .	1630 .	1690 8	1750 28	1810 34	1870 29
11 51	71 .	31 4	91 .	51 .	11 58	71 78	31 33	91 28	51 .	11 18	71 61
12 28	72 .	32 .	92 .	52 .	12 .	72 .	32 .	92 35	52 33	12 15	72 23
13 .	73 51	33 .	93 .	53 .	13 4	73 64	33 6	93 12	53 .	13 35	73 6
14 46	74 12	34 33	94 58	54 .	14 78	74 .	34 .	94 28	54 28	14 60	74 15
15 38	75 .	35 .	95 .	55 .	15 3	75 28	35 42	95 58	55 35	15 16	75 29
16 28	76 51	36 .	96 .	56 4	16 .	76 3	36 35	96 28	56 .	16 29	76 36
17 58	77 .	37 10	97 8	57 .	17 28	77 .	37 .	97 42	57 52	17 7	77 4
18 2	78 12	38 .	98 .	58 64	18 .	78 .	38 28	98 35	58 22	18 17	78 13
19 64	79 .	39 33	99 58	59 .	19 33	79 10	39 .	99 33	59 10	19 16	79 33
1220 6	1280 .	1340 42	1400 .	1460 46	1520 .	1580 28	1640 10	1700 6	1760 34	1820 34	1880 74
21 12	81 .	41 4	01 .	61 6	21 6	81 .	41 .	01 4	61 6	21 26	81 21
22 .	82 51	42 28	02 .	62 46	22 42	82 .	42 .	02 3	62 19	22 3	82 15
23 .	83 12	43 12	03 46	63 .	23 .	83 .	43 8	03 2	63 52	23 51	83 9
24 .	84 .	44 38	04 28	64 .	24 46	84 33	44 46	04 4	64 4	24 12	84 4
25 78	85 4	45 .	05 3	65 58	25 12	85 10	45 .	05 .	65 18	25 5	85 16
26 .	86 42	46 .	06 .	66 .	26 .	86 10	46 12	06 10	66 48	26 19	86 29
27 6	87 4	47 .	07 .	67 8	27 .	87 58	47 .	07 3	67 26	27 35	87 33
28 .	88 38	48 .	08 91	68 .	28 6	88 .	48 .	08 2	68 27	28 4	88 49
29 .	89 1	49 3	09 1	69 51	29 1	89 28	49 46	09 91	69 15	29 34	89 26
1230 42	1290 .	1350 .	1410 .	1470 .	1530 4	1590 .	1650 .	1710 12	1770 16	1830 91	1890 24
31 .	91 .	51 46	11 .	71 12	31 6	91 58	51 38	11 8	71 17	31 21	91 82
32 28	92 38	52 .	12 .	72 .	32 6	92 .	52 4	12 .	72 14	32 47	92 22
33 .	93 .	53 33	13 .	73 10	33 35	93 .	53 46	13 .	73 13	33 16	93 40
34 38	94 28	54 .	14 .	74 .	34 28	94 .	54 .	14 6	74 10	34 1	94 20
35 .	95 8	55 .	15 .	75 .	35 .	95 78	55 .	15 .	75 11	35 8	95 66
36 78	96 28	56 12	16 33	76 28	36 28	96 8	56 64	16 58	76 29	36 27	96 16
37 4	97 .	57 .	17 .	77 .	37 6	97 .	57 .	17 .	77 27	37 16	97 16
38 28	98 .	58 58	18 .	78 1	38 12	98 28	58 78	18 31	78 33	38 60	98 11
39 12	99 .	59 .	19 .	79 .	39 8	99 .	59 .	19 4	79 12	39 18	99 6
1240 .	1300 12	1360 .	1420 46	1480 6	1540 .	1600 42	1660 51	1720 .	1780 30	1840 11	1900 24
41 28	01 3	61 51	21 3	81 64	41 28	01 .	61 3	21 .	81 21	41 52	01 26
42 33	02 4	62 .	22 .	82 10	42 .	02 8	62 .	22 12	82 16	42 24	02 17
43 .	03 58	63 58	23 78	83 .	43 6	03 35	63 51	23 28	83 13	43 12	03 18
44 .	04 12	64 78	24 .	84 .	44 58	04 6	64 .	24 12	84 76	44 17	04 20
45 .	05 .	65 2	25 .	85 .	45 .	05 .	65 35	25 2	85 43	45 60	05 16
46 .	06 78	66 .	26 .	86 .	46 58	06 38	66 28	26 42	86 24	46 2	06 13
47 .	07 .	67 3	27 2	87 35	47 .	07 8	67 58	27 .	87 21	47 40	07 35
48 .	08 .	68 2	28 28	88 .	48 51	08 91	68 .	28 .	88 8	48 29	08 17
49 2	09 .	69 .	29 .	89 .	49 .	09 3	69 10	29 51	89 78	49 7	09 40
1250 28	1310 38	1370 .	1430 10	1490 .	1550 .	1610 28	1670 64	1730 12	1790 8	1850 24	1910 9
51 12	11 .	71 .	31 33	91 51	51 8	11 10	71 .	31 42	91 9	51 11	11 14
52 .	12 .	72 51	32 64	92 35	52 .	12 28	72 58	32 38	92 21	52 16	12 4
53 38	13 .	73 .	33 .	93 4	53 28	13 8	73 10	33 .	93 16	53 11	13 3
54 .	14 33	74 .	34 .	94 38	54 .	14 42	74 51	34 .	94 11	54 45	14 16
55 42	15 .	75 .	35 89	95 .	55 42	15 28	75 .	35 .	95 76	55 48	15 9
56 .	16 64	76 .	36 .	96 35	56 .	16 38	76 .	36 .	96 1	56 21	16 4
57 38	17 .	77 .	37 .	97 10	57 .	17 2	77 58	37 .	97 23	57 23	
58 8	18 33	78 35	38 28	98 .	58 33	18 .	78 8	38 28	98 9	58 27	
59 33	19 .	79 .	39 8	99 38	59 .	19 12	79 28	39 6	99 58	59 13	
1260 .	1320 .	1380 .	1440 .	1500 10	1560 .	1620 .	1680 10	1740 82	1800 40	1860 33	

TABEL Y B

Winters met vorstgetallen voor de West-Europese klimaat-
provincie in het tijdvak 1201 t.m. 1916.

1201 35	1261 22	1321 22	1381 38	1441 22	1501 22	1561 35	1621 78	1681 28	1741 22	1801 11	1861 32
02 22	62 8	22 22	82 22	42 22	02 22	62 22	22 51	82 10	42 51	02 24	62 21
03 35	63 22	23 28	83 6	43 64	03 46	63 22	23 22	83 22	43 22	03 38	63 5
04 22	64 22	24 22	84 22	44 22	04 12	64 22	24 46	84 64	44 42	04 8	64 25
05 78	65 6	25 35	85 35	45 8	05 12	65 91	25 8	85 46	45 28	05 32	65 40
06 12	66 22	26 22	86 22	46 22	06 42	66 22	26 22	86 22	46 33	06 7	66 5
07 6	67 42	27 22	87 22	47 22	07 2	67 22	27 22	87 22	47 35	07 4	67 9
08 22	68 4	28 6	88 22	48 22	08 51	68 22	28 22	88 28	48 28	08 24	68 26
09 22	69 22	29 38	89 46	49 28	09 22	69 64	29 22	89 8	49 6	09 18	69 3
1210 64	1270 64	1330 22	1390 22	1450 10	1510 22	1570 22	1630 22	1690 8	1750 28	1810 34	1870 29
11 51	71 22	31 4	91 22	51 22	11 58	71 78	31 33	91 28	51 22	11 18	71 61
12 28	72 22	32 22	92 22	52 22	12 22	72 22	32 22	92 35	52 33	12 15	72 23
13 22	73 51	33 22	93 22	53 22	13 4	73 64	33 6	93 12	53 22	13 35	73 6
14 46	74 12	34 33	94 58	54 22	14 78	74 22	34 22	94 28	54 28	14 60	74 15
15 38	75 22	35 21	95 22	55 22	15 3	75 28	35 42	95 58	55 35	15 16	75 29
16 28	76 51	36 22	96 22	56 4	16 22	76 3	36 35	96 28	56 22	16 29	76 36
17 58	77 22	37 10	97 8	57 22	17 28	77 22	37 22	97 42	57 52	17 7	77 4
18 2	78 12	38 22	98 22	58 64	18 22	78 22	38 28	98 35	58 22	18 17	78 13
19 64	79 22	39 33	99 58	59 22	19 33	79 10	39 22	99 33	59 10	19 16	79 33
1220 6	1280 22	1340 42	1400 22	1460 46	1520 22	1580 28	1640 10	1700 6	1760 34	1820 34	1880 74
21 2	81 22	41 4	01 22	61 6	21 6	81 22	41 22	01 4	61 6	21 26	81 21
22 22	82 51	42 28	02 22	62 46	22 42	82 22	42 22	02 3	62 19	22 3	82 15
23 22	83 12	43 12	03 46	63 22	23 22	83 22	43 8	03 2	63 52	23 51	83 9
24 22	84 22	44 38	04 28	64 22	24 46	84 33	44 46	04 4	64 4	24 12	84 4
25 78	85 4	45 22	05 3	65 58	25 12	85 10	45 22	05 22	65 18	25 5	85 16
26 22	86 42	46 22	06 22	66 22	26 22	86 10	46 12	06 10	66 48	26 19	86 29
27 6	87 4	47 22	07 22	67 8	27 22	87 58	47 22	07 3	67 26	27 35	87 33
28 22	88 38	48 22	08 91	68 22	28 6	88 22	48 22	08 2	68 27	28 4	88 49
29 22	89 1	49 3	09 1	69 51	29 1	89 28	49 46	09 91	69 15	29 34	89 26
1230 42	1290 22	1350 22	1410 22	1470 22	1530 4	1590 22	1650 22	1710 12	1770 16	1830 91	1890 24
31 22	91 22	51 46	11 22	71 12	31 6	91 58	51 38	11 8	71 17	31 21	91 82
32 28	92 38	52 22	12 22	72 22	32 6	92 22	52 4	12 22	72 14	32 47	92 22
33 22	93 22	53 33	13 22	73 10	33 35	93 22	53 46	13 22	73 13	33 16	93 40
34 38	94 28	54 22	14 22	74 22	34 28	94 22	54 22	14 6	74 10	34 1	94 20
35 22	95 8	55 22	15 22	75 22	35 22	95 78	55 22	15 22	75 11	35 8	95 66
36 78	96 28	56 12	16 33	76 28	36 28	96 8	56 64	16 58	76 29	36 27	96 16
37 4	97 22	57 22	17 22	77 22	37 6	97 22	57 22	17 22	77 27	37 16	97 16
38 28	98 22	58 58	18 22	78 1	38 12	98 28	58 78	18 31	78 33	38 60	98 11
39 12	99 22	59 22	19 22	79 22	39 8	99 22	59 22	19 4	79 12	39 18	99 6
1240 22	1300 12	1360 22	1420 46	1480 6	1540 22	1600 42	1660 51	1720 22	1780 30	1840 11	1900 24
41 28	01 3	61 51	21 3	81 64	41 28	01 22	61 3	21 22	81 21	41 52	01 26
42 33	02 4	62 22	22 22	82 10	42 22	02 8	62 22	22 12	82 16	42 24	02 17
43 22	03 58	63 58	23 78	83 22	43 6	03 35	63 51	23 28	83 13	43 12	03 18
44 22	04 12	64 78	24 22	84 22	44 58	04 6	64 22	24 12	84 76	44 17	04 20
45 22	05 22	65 2	25 22	85 22	45 22	05 22	65 35	25 2	85 43	45 60	05 16
46 22	06 78	66 22	26 22	86 22	46 58	06 38	66 28	26 42	86 24	46 2	06 13
47 22	07 22	67 3	27 2	87 35	47 22	07 8	67 58	27 22	87 21	47 40	07 35
48 22	08 22	68 2	28 28	88 22	48 51	08 91	68 22	28 22	88 8	48 29	08 17
49 2	09 22	69 22	29 22	89 22	49 22	09 3	69 10	29 51	89 78	49 7	09 40
1250 28	1310 38	1370 22	1430 10	1490 22	1550 22	1610 28	1670 64	1730 12	1790 8	1850 24	1910 9
51 12	11 22	71 22	31 33	91 51	51 8	11 10	71 22	31 42	91 9	51 11	11 14
52 22	12 22	72 51	32 64	92 35	52 22	12 28	72 58	32 38	92 21	52 16	12 4
53 38	13 22	73 22	33 22	93 4	53 28	13 8	73 10	33 22	93 16	53 11	13 3
54 22	14 33	74 22	34 22	94 38	54 22	14 42	74 51	34 22	94 11	54 45	14 16
55 42	15 22	75 22	35 89	95 22	55 42	15 28	75 22	35 22	95 76	55 48	15 9
56 22	16 64	76 22	36 22	96 35	56 22	16 38	76 22	36 22	96 1	56 21	16 4
57 38	17 22	77 22	37 22	97 10	57 22	17 2	77 58	37 22	97 23	57 23	
58 8	18 33	78 35	38 28	98 22	58 33	18 22	78 8	38 28	98 9	58 27	
59 33	19 22	79 22	39 8	99 38	59 22	19 12	79 28	39 6	99 58	59 13	
1260 22	1320 22	1380 22	1440 22	1500 10	1560 22	1620 22	1680 10	1740 82	1800 40	1860 33	

TABEL VI Vorstgetalschattingen voor De Bilt;
tijdvak 1634-1705.

winter	V	winter	V	winter	V
1634	43	1658	59	1682	16
35	48	59	18	83	12
36	22	1660	52	84	58
37	32	61	8	85	32
38	30	62	8	86	8
39	16	63	86	87	22
1640	26	64	8	88	28
41	24	65	43	89	34
42	21	66	22	1690	20
43	8	67	38	91	64
44	46	68	17	92	64
45	14	69	24	93	14
46	54	1670	50	94	24
47	48	71	8	95	70
48	8	72	77	96	17
49	38	73	30	97	84
1650	18	74	26	98	64
51	28	75	8	99	8
52	26	76	8	1700	8
53	24	77	40	01	12
54	12	78	26	02	10
55	48	79	77	03	15
56	40	1680	8	04	18
57	26	81	70	05	16

TABEL VII Vorstgetalschattingen voor De Bilt;
tijdvak 1706-1849.

winter	V	winter	V	winter	V
1706	24,0	1754	23,1	1802	32,4
07	24,5	55	43,5	03	66,5
08	11,0	56	5,9	04	22,3
09	68,2	1757	44,5	05	65,0
1710	19,7	58	24,0	06	18,8
11	16,0	59	6,3	07	13,2
12	25,6	1760	48,3	08	29,1
13	22,3	61	8,0	09	38,3
14	17,2	62	27,7	1810	36,3
15	20,8	63	71,7	11	31,2
16	69,7	64	6,6	12	12,8
17	31,1	65	31,2	13	39,8
18	40,9	66	32,8	14	68,2
19	23,2	67	42,4	15	31,2
1720	20,2	68	38,5	16	32,6
21	24,3	69	17,8	17	12,4
22	19,5	1770	15,8	18	15,7
23	20,2	71	31,6	19	15,7
24	11,0	72	20,8	1820	55,1
25	26,4	73	13,6	21	35,2
26	46,7	74	13,7	22	3,3
27	23,8	75	15,0	23	78,7
28	19,5	76	48,0	24	9,4
29	49,7	77	31,6	25	7,6
1730	9,1	78	34,6	26	26,9
31	21,0	79	9,8	27	35,1
32	12,7	1780	29,7	28	14,0
33	10,3	81	31,4	29	45,7
34	5,0	82	27,4	1830	84,4
35	12,4	83	20,9	31	28,7
36	13,7	84	74,7	32	24,5
37	2,8	85	45,8	33	31,4
38	19,1	86	35,4	34	4,5
39	6,9	87	28,3	35	10,1
1740	71,9	88	19,4	36	18,0
41	22,4	89	84,4	37	13,2
42	24,7	1790	8,9	38	75,6
43	35,1	91	11,7	39	18,1
44	31,6	92	24,5	1840	13,3
45	25,8	93	18,7	41	46,3
46	39,5	94	17,5	42	27,3
47	20,7	95	76,4	43	19,1
48	30,7	96	5,9	44	14,5
49	6,8	97	31,9	45	73,9
1750	11,8	98	12,8	46	2,9
51	28,8	99	70,8	47	39,8
52	16,3	1800	55,5	48	44,4
53	24,5	01	20,8	49	15,0

TABEL VIII Winters met vorstcategorieën vanaf 1200

C_v	C_v	C_v	C_v	C_v	C_v	C_v	C_v	C_v
1201 6	1231 5	1261 5	1291 5	1321 5	1351 7	1381 6	1411 5	
02 5	32 5	62 3	92 6	22 5	52 5	82 5	12 5	
03 6	33 5	63 5	93 5	23 5	53 6	83 3	13 5	
04 5	34 6	64 5	94 5	24 5	54 5	84 5	14 5	
05 8	35 5	65 3	95 3	25 6	55 5	85 6	15 5	
06 4	36 8	66 5	96 5	26 5	56 4	86 5	16 6	
07 3	37 2	67 6	97 5	27 5	57 5	87 5	17 5	
08 5	38 5	68 2	98 5	28 3	58 7	88 5	18 5	
09 5	39 4	69 5	99 5	29 6	59 5	89 7	19 5	
1210 7	1240 5	1270 7	1300 4	1330 5	1360 5	1390 5	1420 7	
11 7	41 5	71 5	01 2	31 2	61 7	91 5	21 2	
12 5	42 6	72 5	02 2	32 5	62 5	92 5	22 5	
13 5	43 5	73 7	03 7	33 5	63 7	93 5	23 8	
14 7	44 5	74 4	04 4	34 6	64 8	94 7	24 5	
15 6	45 5	75 5	05 5	35 5	65 2	95 5	25 5	
16 5	46 5	76 7	06 8	36 5	66 5	96 5	26 5	
17 7	47 5	77 5	07 5	37 3	67 2	97 3	27 2	
18 2	48 5	78 4	08 5	38 5	68 2	98 5	28 5	
19 7	49 2	79 5	09 5	39 6	69 5	99 7	29 5	
1220 3	1250 5	1280 5	1310 6	1340 6	1370 5	1400 5	1430 3	
21 4	51 4	81 5	11 5	41 2	71 5	01 5	31 6	
22 5	52 5	82 7	12 5	42 5	72 7	02 5	32 7	
23 5	53 6	83 4	13 5	43 4	73 5	03 7	33 5	
24 5	54 5	84 5	14 6	44 6	74 5	04 5	34 5	
25 8	55 6	85 2	15 5	45 5	75 5	05 2	35 9	
26 5	56 5	86 6	16 7	46 5	76 5	06 5	36 5	
27 3	57 6	87 2	17 5	47 5	77 5	07 5	37 5	
28 5	58 3	88 6	18 6	48 5	78 6	08 9	38 5	
29 5	59 6	89 1	19 5	49 2	79 5	09 1	39 3	
1230 6	1260 5	1290 5	1320 5	1350 5	1380 5	1410 5	1440 5	

GEMIDDELDEN PER DECENNIUM :

5.4	5.0	4.6	4.8	5.0	5.4	5.2	5.3
5.4	4.8	5.2	4.9	4.8	4.8	5.2	4.5
5.1	5.1	4.3	5.4	4.4	5.3	4.9	5.5

TABEL VIII Vervolg 1

1441	5	1471	4	1501	5	1531	3	1561	6	1591	7	1621	8	1651	5
42	5	72	5	02	5	32	3	62	5	92	5	22	7	52	5
43	7	73	3	03	7	33	6	63	5	93	5	23	5	53	5
44	5	74	5	04	4	34	5	64	5	94	5	24	7	54	4
45	3	75	5	05	4	35	5	65	9	95	8	25	3	55	7
46	5	76	5	06	6	36	5	66	5	96	3	26	5	56	6
47	5	77	5	07	2	37	3	67	5	97	5	27	5	57	5
48	5	78	1	08	7	38	4	68	5	98	5	28	5	58	7
49	5	79	5	09	5	39	3	69	7	99	5	29	5	59	4
1450	3	1480	3	1510	5	1540	5	1570	5	1600	6	1630	5	1660	7
51	5	81	7	11	7	41	5	71	8	01	5	31	6	61	3
52	5	82	3	12	5	42	5	72	5	02	3	32	5	62	3
53	5	83	5	13	2	43	3	73	7	03	6	33	3	63	9
54	5	84	5	14	8	44	7	74	5	04	3	34	6	64	3
55	5	85	5	15	2	45	5	75	5	05	5	35	7	65	6
56	2	86	5	16	5	46	7	76	2	06	6	36	5	66	5
57	5	87	6	17	5	47	5	77	5	07	3	37	6	67	6
58	7	88	5	18	5	48	7	78	5	08	9	38	6	68	4
59	5	89	5	19	6	49	5	79	3	09	2	39	4	69	5
1460	7	1490	5	1520	5	1550	5	1580	5	1610	5	1640	5	1670	7
61	3	91	7	21	3	51	3	81	5	11	3	41	5	71	3
62	7	92	6	22	6	52	5	82	5	12	5	42	5	72	8
63	5	93	2	23	5	53	5	83	5	13	3	43	3	73	6
64	5	94	6	24	7	54	5	84	6	14	6	44	7	74	5
65	7	95	5	25	4	55	6	85	3	15	5	45	4	75	3
66	5	96	6	26	5	56	5	86	3	16	6	46	7	76	3
67	3	97	3	27	5	57	5	87	7	17	2	47	7	77	6
68	5	98	5	28	3	58	6	88	5	18	5	48	3	78	5
69	7	99	6	29	1	59	5	89	5	19	4	49	6	79	8
1470	5	1500	3	1530	2	1560	5	1590	5	1620	5	1650	4	1680	3

GEMIDDELDEN PER DECENNIUM :

4.8	4.1	5.0	4.2	5.7	5.4	5.5	5.5
5.1	5.1	5.0	5.4	5.0	4.7	5.3	5.1
5.2	4.9	4.1	5.0	4.9	4.4	5.1	5.0

TABEL VIII Vervolg 2

1681	8	1711	4	1741	5	1771	6	1801	5	1831	6	1861	6	1891	8
82	4	12	5	42	5	72	5	02	6	32	5	62	4	92	5
83	4	13	5	43	6	73	4	03	7	33	6	63	2	93	6
84	7	14	4	44	6	74	4	04	5	34	2	64	5	94	4
85	6	15	5	45	5	75	4	05	7	35	4	65	7	95	7
86	3	16	8	46	6	76	7	06	5	36	4	66	3	96	4
87	5	17	6	47	5	77	6	07	4	37	4	67	4	97	5
88	5	18	6	48	6	78	6	08	6	38	8	68	5	98	3
89	6	19	5	49	3	79	3	09	6	39	5	69	4	99	4
1690	5	1720	5	1750	4	1780	6	1810	6	1840	4	1870	6	1900	5
91	7	21	5	51	6	81	6	11	6	41	7	71	7	01	6
92	7	22	5	52	4	82	5	12	4	42	5	72	5	02	5
93	4	23	5	53	5	83	5	13	6	43	5	73	3	03	5
94	5	24	4	54	5	84	8	14	8	44	4	74	4	04	5
95	8	25	5	55	6	85	7	15	6	45	8	75	6	05	4
96	4	26	7	56	3	86	6	16	6	46	2	76	6	06	4
97	8	27	5	57	7	87	5	17	4	47	6	77	3	07	6
98	7	28	5	58	5	88	5	18	4	48	7	78	3	08	5
99	3	29	7	59	3	89	9	19	4	49	4	79	6	09	6
1700	3	1730	3	1760	7	1790	3	1820	7	1850	6	1880	7	1910	4
01	4	31	5	61	3	91	4	21	6	51	3	81	6	11	3
02	3	32	4	62	5	92	5	22	2	52	4	82	3	12	4
03	4	33	4	63	8	93	5	23	8	53	5	83	4	13	3
04	4	34	2	64	3	94	4	24	3	54	6	84	2	14	4
05	4	35	4	65	6	95	8	25	3	55	8	85	5	15	3
06	5	36	4	66	6	96	3	26	5	56	5	86	6	16	3
07	5	37	2	67	6	97	6	27	6	57	6	87	6	17	7
08	4	38	5	68	6	98	4	28	4	58	5	88	6	18	5
09	8	39	3	69	4	99	8	29	7	59	4	89	4	19	5
1710	5	1740	8	1770	4	1800	7	1830	9	1860	6	1890	5	1920	3

GEMIDDELDEN PER DECENNIUM :

5.3	5.3	5.1	5.1	5.7	4.8	4.6	5.1
5.6	5.1	5.1	5.9	5.5	5.4	5.0	5.0
4.6	4.1	5.1	5.4	5.3	5.2	4.7	4.0

TABEL VIII Vervolg 3

	C_v		C_v		C_v
1921	4	1951	5	1981	
22	6	52	3	82	
23	3	53	6	83	
24	6	54	6	84	
25	4	55	5	85	
26	6	56	7	86	
27	3	57	3	87	
28	6	58	4	88	
29	7	59	4	89	
1930	3	1960	4	1990	
31	5	61	3	91	
32	5	62	5	92	
33	5	63	8	93	
34	6	64	6	94	
35	3	65	5	95	
36	4	66	5	96	
37	4	67	3	97	
38	3	68	4	98	
39	5	69	6	99	
1940	8	1970	6	2000	
41	7	71	6	01	
42	8	72	4	02	
43	4	73	4	03	
44	4	74	4	04	
45	4	75	2	05	
46	5	76	4	06	
47	8	77	3	07	
48	3	78	3	08	
49	4	79	7	09	
1950	4	1980	4	2010	

TOELICHTING

C_v	V	karakter winter :
1	$\leq 1,5$	extreem zacht
2	1,6- 5,0	zeer zacht
3	5,1- 10,0	zacht
4	10,1- 18,0	vrij zacht
5	18,1- 23,2	} (aan de zachte kant) <u>normaal</u> (23,3) (aan de koude kant)
5	18,1- 28,5	
5	23,4- 28,5	
6	28,6- 44,0	koud
7	44,1- 68,0	streng
8	68,1- 84,0	zeer streng
9	$\geq 84,1$	extreem streng (groot)

—x—

GEMIDDELD PER DECENNIUM :

4.8	4.7	
4.8	5.1	
5.1	4.1	

FIGUREN

- 1 Cumulatieve frequentieverdeling van wintercijfers (H) te De Bilt; tijdvak 1721-1970.
- 2 Verbanden tussen de aantallen vorstdagen, ijsdagen en zeer koude dagen per koud seizoen voor het etmaal van 19h-19h MPT (resp. v_{19} , y_{19} en z_{19}) en die aantallen voor het etmaal van 00h-24h MPT (resp. v_{24} , y_{24} en z_{24}) te De Bilt; tijdvak 1940-1947.
- 3 Frequentieverdeling van de aantallen vorstdagen (v), met verdelingsfunctie te De Bilt, 1851-1970.
- 4 Frequentieverdeling van de aantallen ijsdagen (y) te De Bilt, 1851-1970.
- 5 Frequentieverdeling van de aantallen zeer koude dagen (minimumtemperatuur ≤ -10 °C; z) te De Bilt, 1851-1970.
- 6 Frequentieverdeling van de absolute minimumtemperaturen (T_a) te De Bilt, 1851-1970.
- 7 Vorstgetallen (V) te De Bilt, 1850-1980.
- 7^a Vorstgetallen (V) te De Bilt, 1634-1980.
- 8 Verband tussen vorstgetallen en koudegetallen (K) te De Bilt, 1851-1970.
- 9 Verband tussen vorstgetallen en Easton's algemene temperatuurcoëfficiënten voor De Bilt ($E_B^!$), 1852-1916.
- 10 Verband tussen de temperatuurcoëfficiënten volgens Easton voor West-Europa (E_{WE}) en De Bilt (E_B), 1852-1916.
- 11 Frequentieverdeling van E_{WE} en aangepaste normale kansdichtheidsfunctie, 1757-1916.
- 12 Diagram ter bepaling van het gemiddelde van de \hat{E}_{WE} -reeks van Easton, 1201-1756.
- 13 Vorstgetallen voor de Westeuropese klimaatprovincie, 1201-1916.

- 14 Verband tussen de vorstgetallen, afgeleid van de berekende temperatuurcoëfficiënten volgens Easton in de Westeuropese klimaatprovincie, $V(E_{WE})$, en de voor De Bilt berekende vorstgetallen, $V(v,y,z)$, in het tijdvak 1852-1916.
- 15 Verband tussen wintercijfers (H) en vorstgetallen (V), met toegevoegde K-schaal, 1850-1975.
- 16 Verband tussen vorstgetallen en wintertemperaturen te De Bilt, 1850-1980.
- 17 Cumulatieve frequentieverdeling van 780 vorstgetallen, tijdvak 1201-1980.
- 18 Frequentie-histogram van de vorstgetallen, tijdvak 1201-1980.
- 19 Tijdreeks decenniumgemiddelden van C_v .
- A Verloop van opeenvolgende decenniumgemiddelden ($\bar{C}_{v_{10}}$).
- B Cumulatieve afwijkingen van het gemiddelde [$m(C_v) = 5$].
- C 30-jaar gemiddelden $\bar{C}_{v_{30}}$ voor 1201-1230, 1211-1240,
- 20 Aantallen strenge winters (met $C_v \geq 7$) in de 30-jaar perioden 1201-1230, 1202-1231,

FIGURES

- 1 Cumulative frequency distribution of winter coefficients (H), for De Bilt, 1721-1970.
- 2 Relations between numbers of frost days (v), ice days (y) and very cold days (z) for the 24-hour period 19h-19h and corresponding numbers for the 24-hour period 0h-24h, De Bilt, 1940-1947.
- 3 Frequency distribution of numbers of frost days (v) and their distribution function, De Bilt, 1851-1970.
- 4 Frequency distribution of numbers of ice days (y), De Bilt, 1851-1970.
- 5 Frequency distribution of numbers of very cold days (minimum temperature ≤ -10 °C; z), De Bilt, 1851-1970.
- 6 Frequency distribution of absolute minimum temperatures, De Bilt, 1851-1970.
- 7 Frost numbers (V), De Bilt, 1850-1980.
- 7^a Frost numbers (V), De Bilt, 1634-1980; severe winters: $V > 44$.
- 8 Relation between frost numbers (V) and Hellmann's cold indices (K), De Bilt, 1851-1970.
- 9 Relation between frost numbers (V) and Easton's temperature coefficients (E_B'), De Bilt, 1852-1916.
- 10 Relation between Easton's temperature coefficients of Western Europe (E_{WE}) and De Bilt (E_B), 1852-1916.
- 11 Frequency distribution of E_{WE} and fitted normal probability density function, 1757-1916.
- 12 Diagram for computing the average of Easton's \hat{E}_{WE} -numbers, 1201-1756.
- 13 Frost numbers for the West-European climate region, 1201-1916.

- 14 Relation between frost numbers deduced from Easton's temperature coefficients in the West-European climate region, $V(E_{WE})$, and frost numbers $V(x,y,z)$, De Bilt, 1852-1916.
- 15 Relation between H and V with added K-scale, 1850-1975.
- 16 Relation between frost numbers (V) and winter temperatures (T_h), De Bilt, 1850-1980.
- 17 Frequency distribution of 780 frost numbers, 1201-1980.
- 18 Frequency diagram of frost numbers, 1201-1980.
- 19 Time series of C_v -decennial means.
 - A Consecutive decennial means (\bar{C}_v)
 - B Cumulative deviations from the mean [$m(C_v) = 5$].
 - C 30-year averages $C_{v(30j)}$ for 1201-1230, 1211-1240,
- 20 Number of winters with $C_v \geq 7$ in the 30-year periods 1201-1230, 1202-1231,

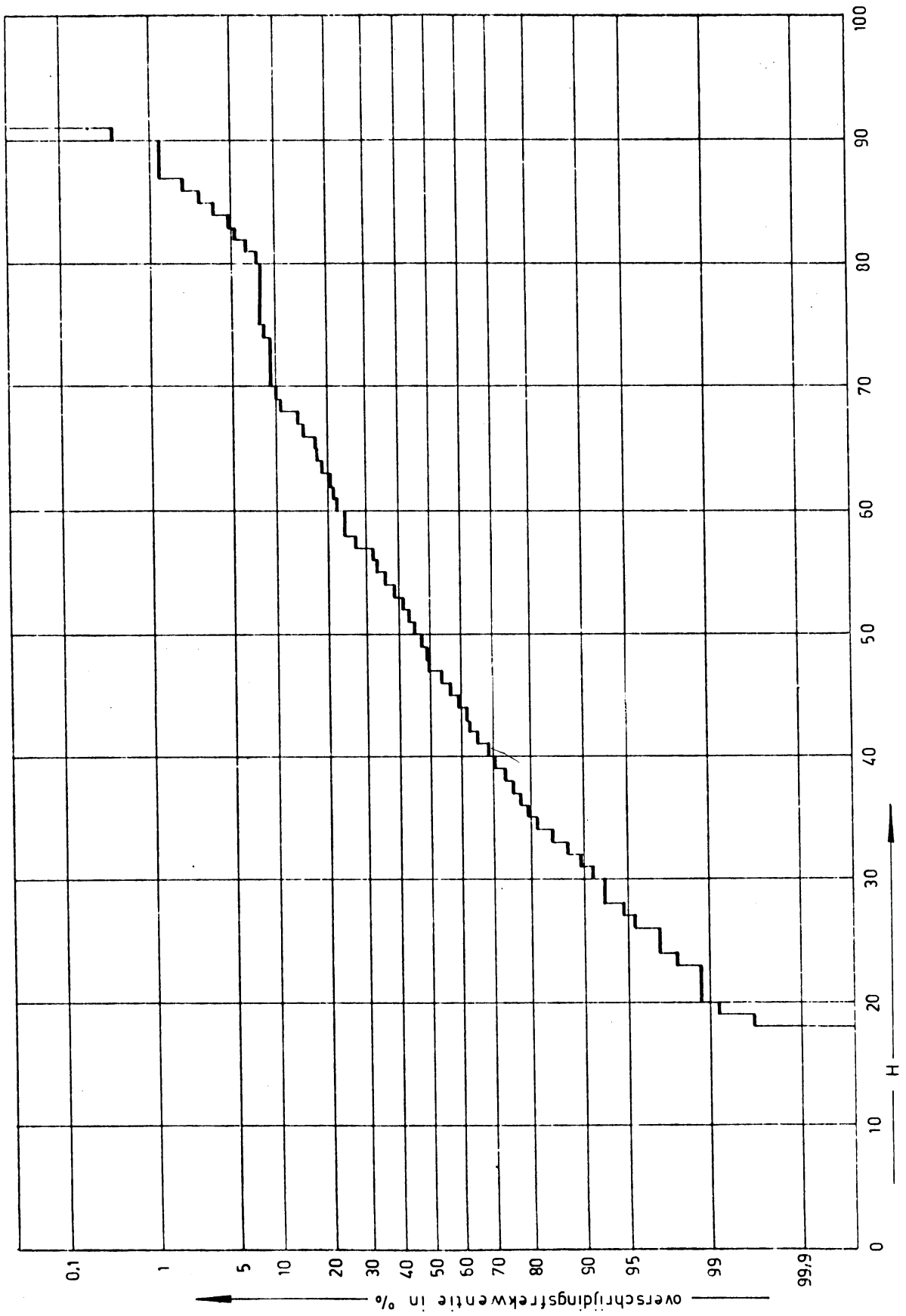


FIG. 1 FREKWENTIEVERDELING VAN DE WINTERCIJFERS TE DE BILT, 1721 - 1970

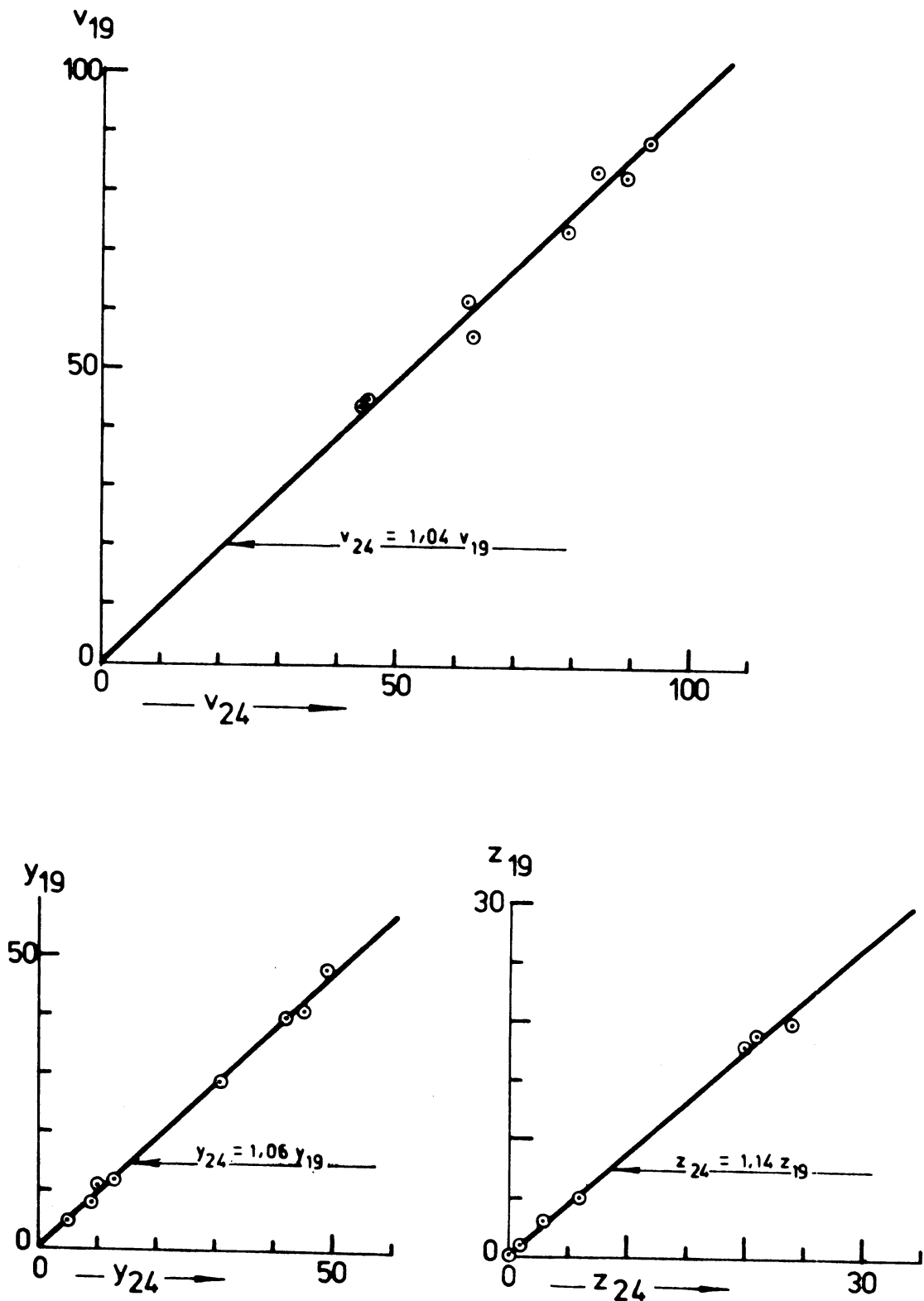


FIG. 2 VERBANDEN TUSSEN DE AANTALLEN VORSTDAGEN, USDAGEN EN ZEER KOUDE DAGEN PER KOUD SEIZOEN VOOR HET ETMAAL VAN 19h-19h MPT (resp. v_{19} , y_{19} en z_{19}) EN DIE AANTALLEN VOOR HET ETMAAL VAN 00h-24h MPT (resp. v_{24} , y_{24} en z_{24}), TE DE BILT IN HET TIJDVAK 1940-1947

periode november t.m. maart

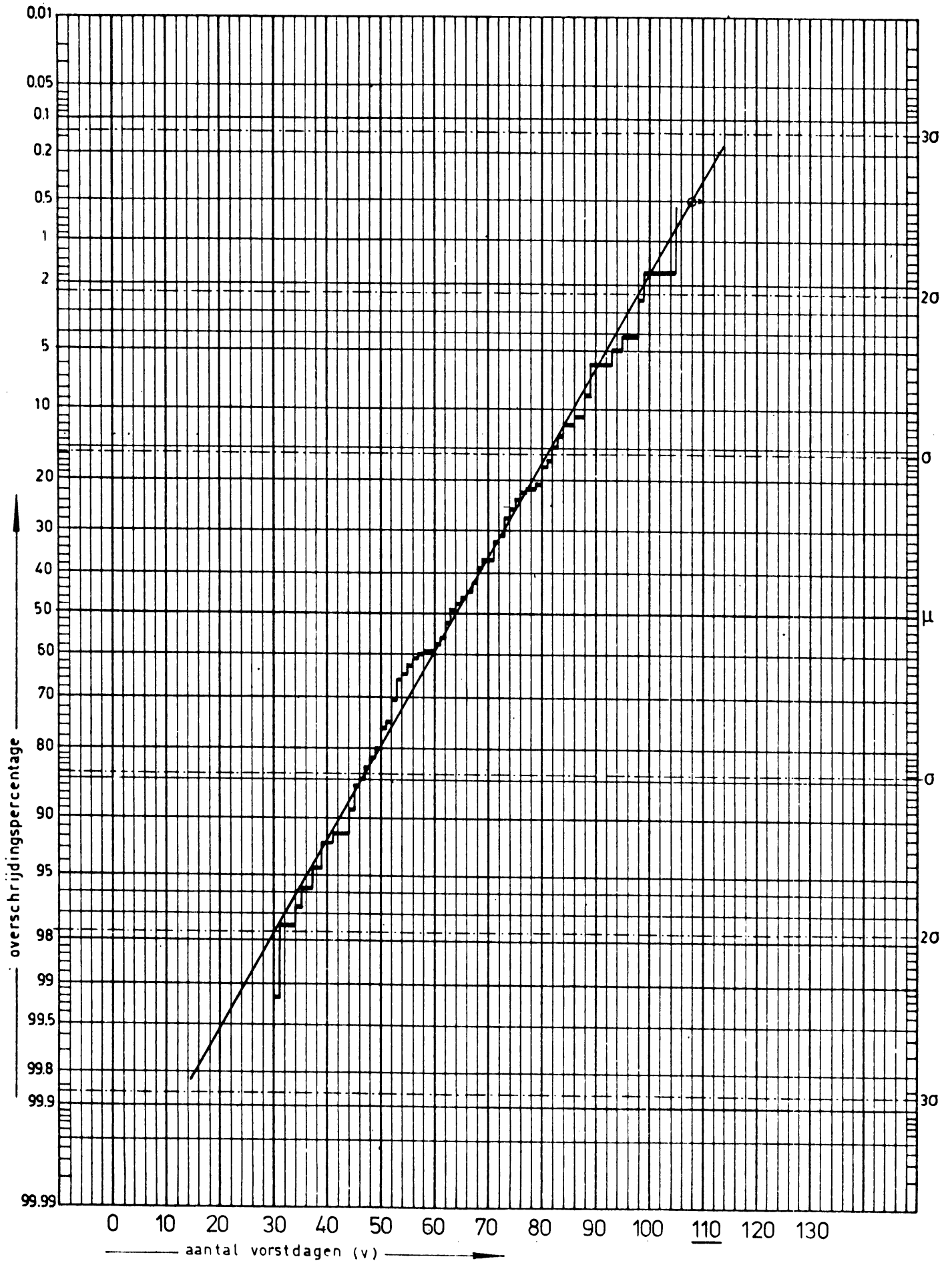


FIG.3 FREKWENTIEVERDELING VAN DE AANTALLEN VORSTDAGEN PER WINTER IN HET TIJDVAK 1851-1970 TE DE BILT (etmaal: 00h-24h GMT) MET VERDELINGSFUNCTIE

periode november t.m. maart

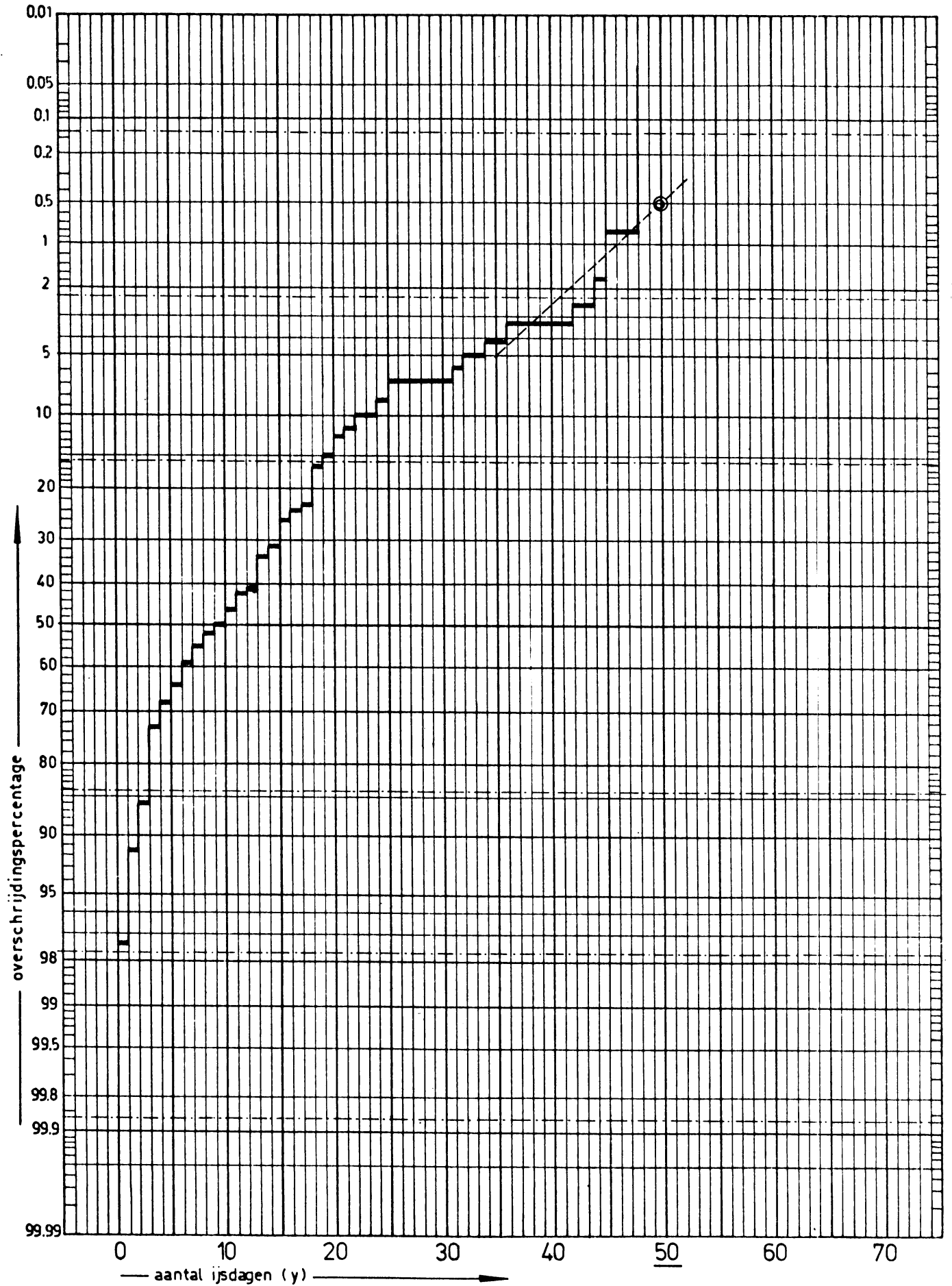


FIG.4 FREKWENTIEVERDELING VAN DE AANTALLEN IJSDAGEN PER WINTER IN HET TIJDVAK 1851-1970 TE DE BILT (etmaal 00h-24h GMT)

periode november t.m. maart

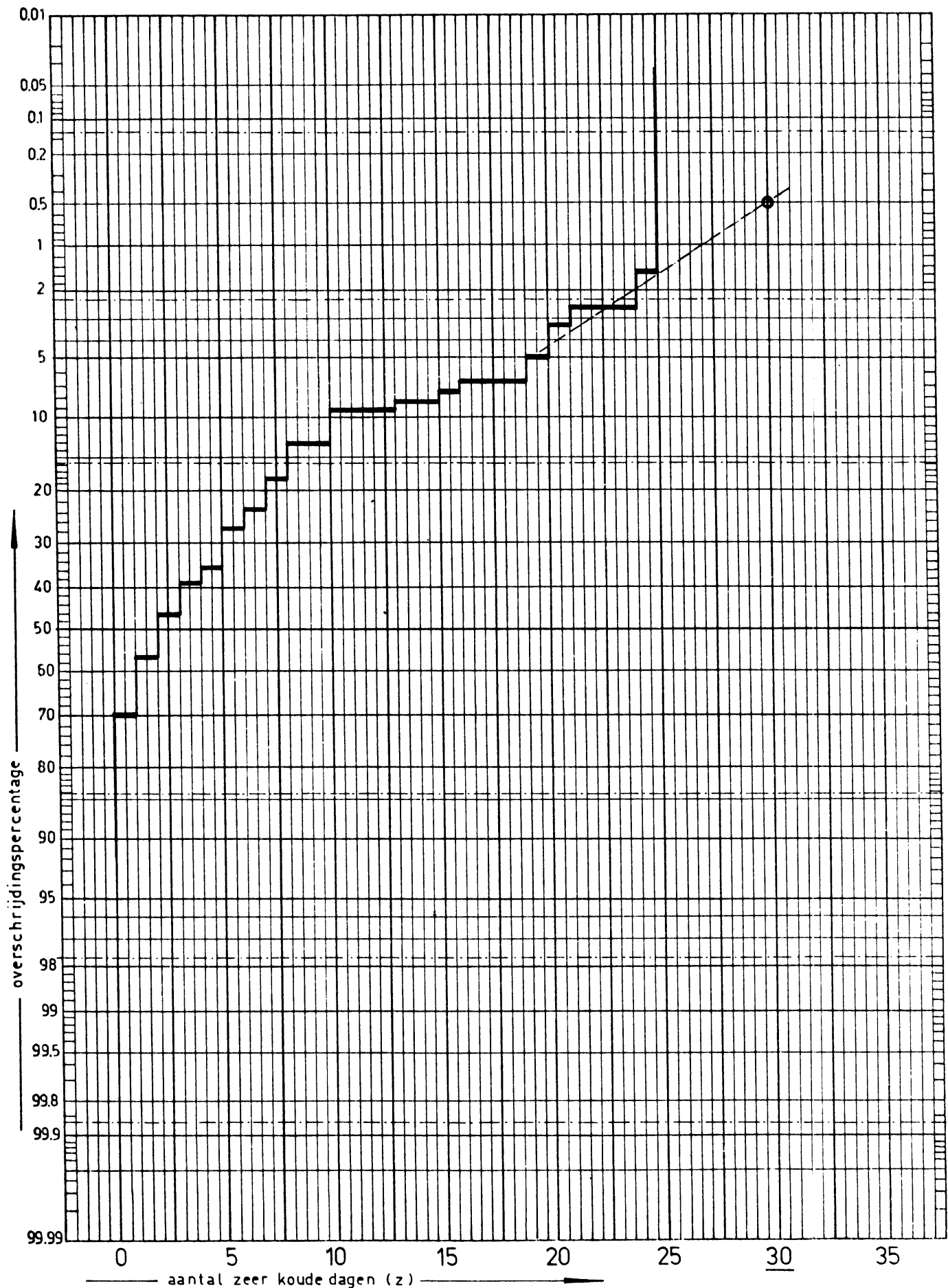


FIG. 5 FREKWENTIEVERDELING VAN DE AANTALLEN ZEER KOUDE DAGEN (met minimumtemperatuur $\leq -10^{\circ}\text{C}$) PER WINTER IN HET TIJDVAK 1851-1970 TE DE BILT (etmaal: 00h-24h GMT)

periode november t.m. maart, De Bilt

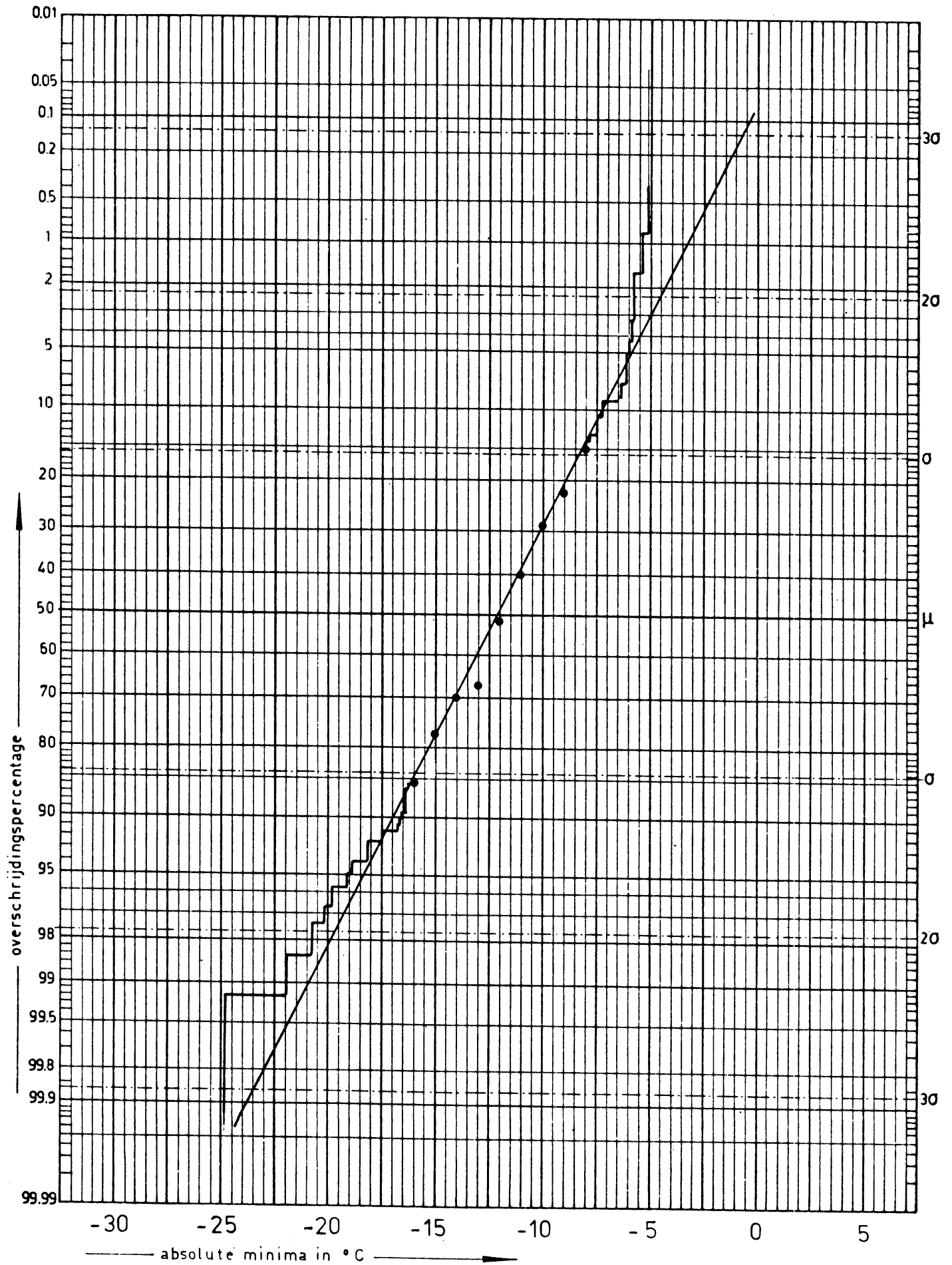


FIG 6. FREKWENTIEVERDELING VAN DE ABSOLUTE MINIMA DER TEMPERATUUR 1851 - 1970

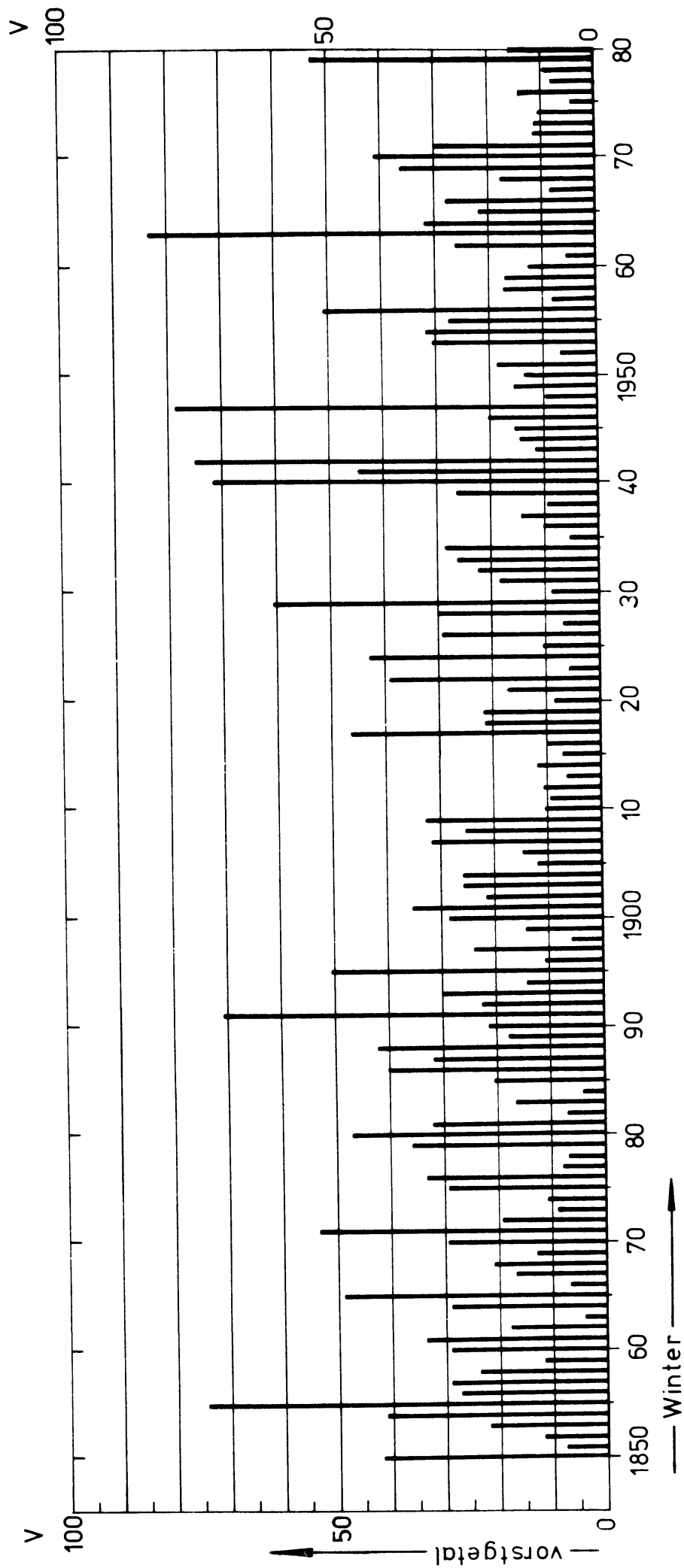
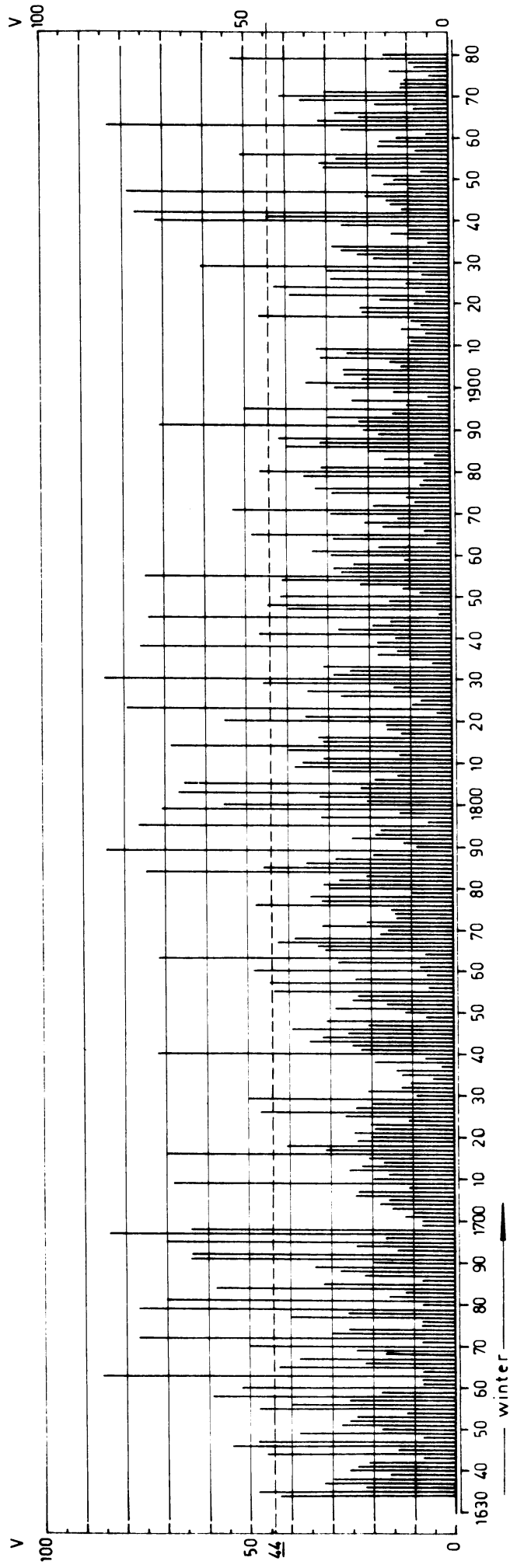


FIG. 7 Grafisch overzicht van de winters 1850-1980 te De Bilt



Strengte winters: $V > 44$

FIG. 7^a VORSTGETALLEN TE DE BILT, 1634 - 1980

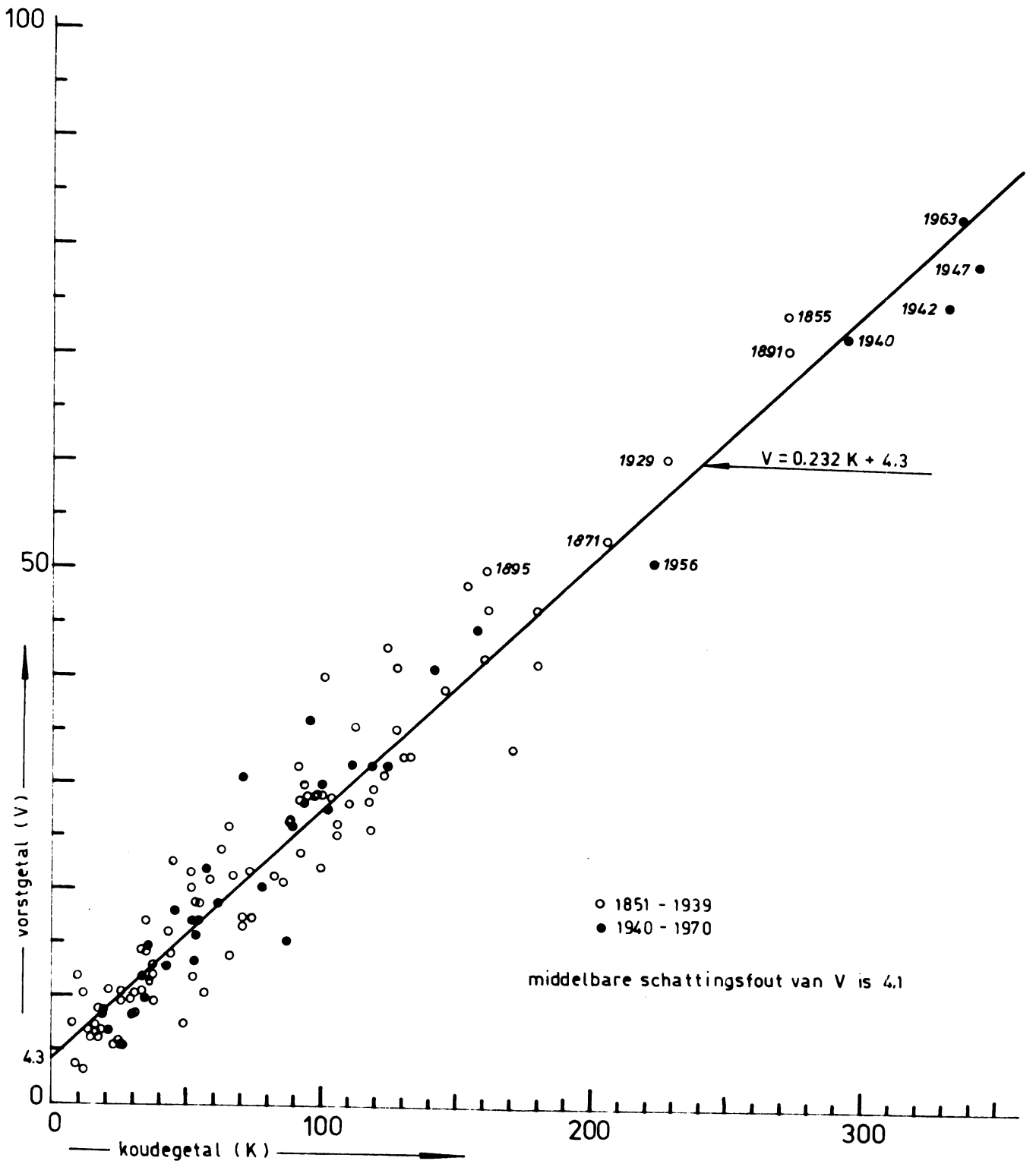
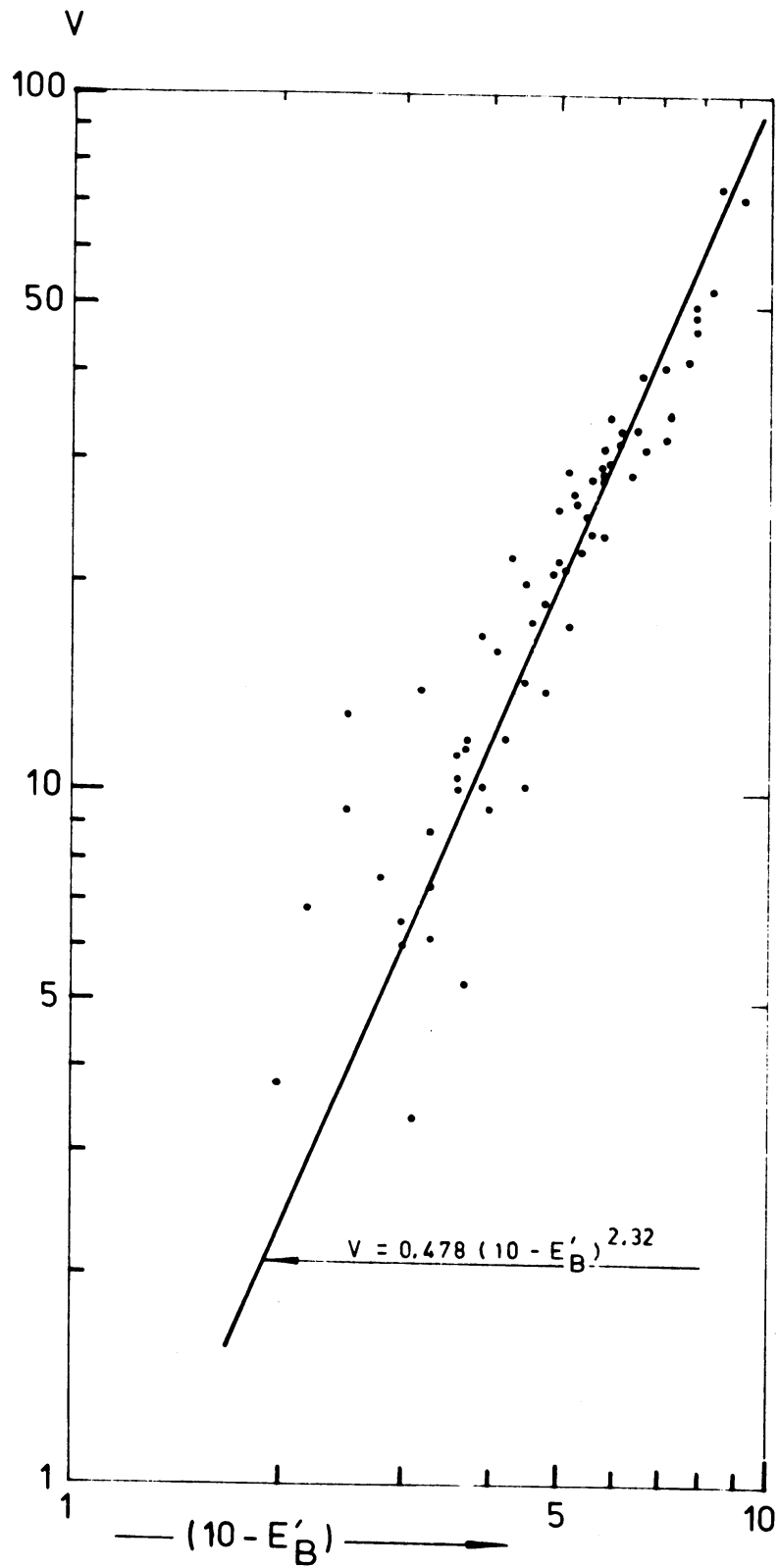


FIG. 8 VERBAND TUSSEN VORSTGETALLEN EN KOUDEGETALLEN TE DE BILT, 1851-1970



E'_B = algemene temperatuurcoëfficiënt voor De Bilt
 volgens Easton $E'_B = 0.1 E_B$

FIG. 9 VERBAND TUSSEN VORSTGETALLEN EN TEM-
 PERATUURCOEFFICIENTEN, 1852 - 1916

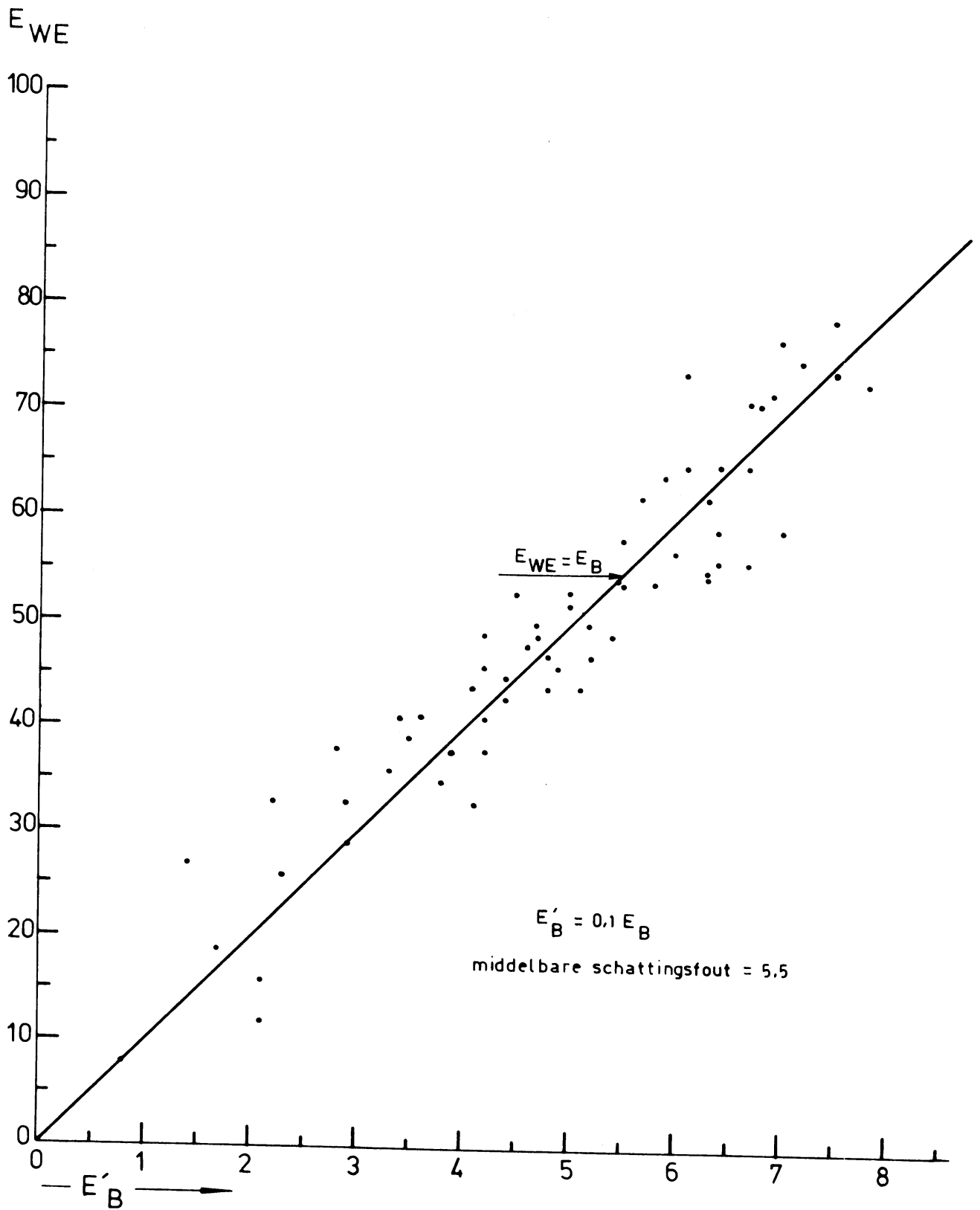


FIG.10 VERBAND TUSSEN DE TEMPERATUURCOËFFICIENTEN VOLGENS EASTON VAN WEST EUROPA (E_{WE}) EN DE BILT (E_B), 1852 - 1916

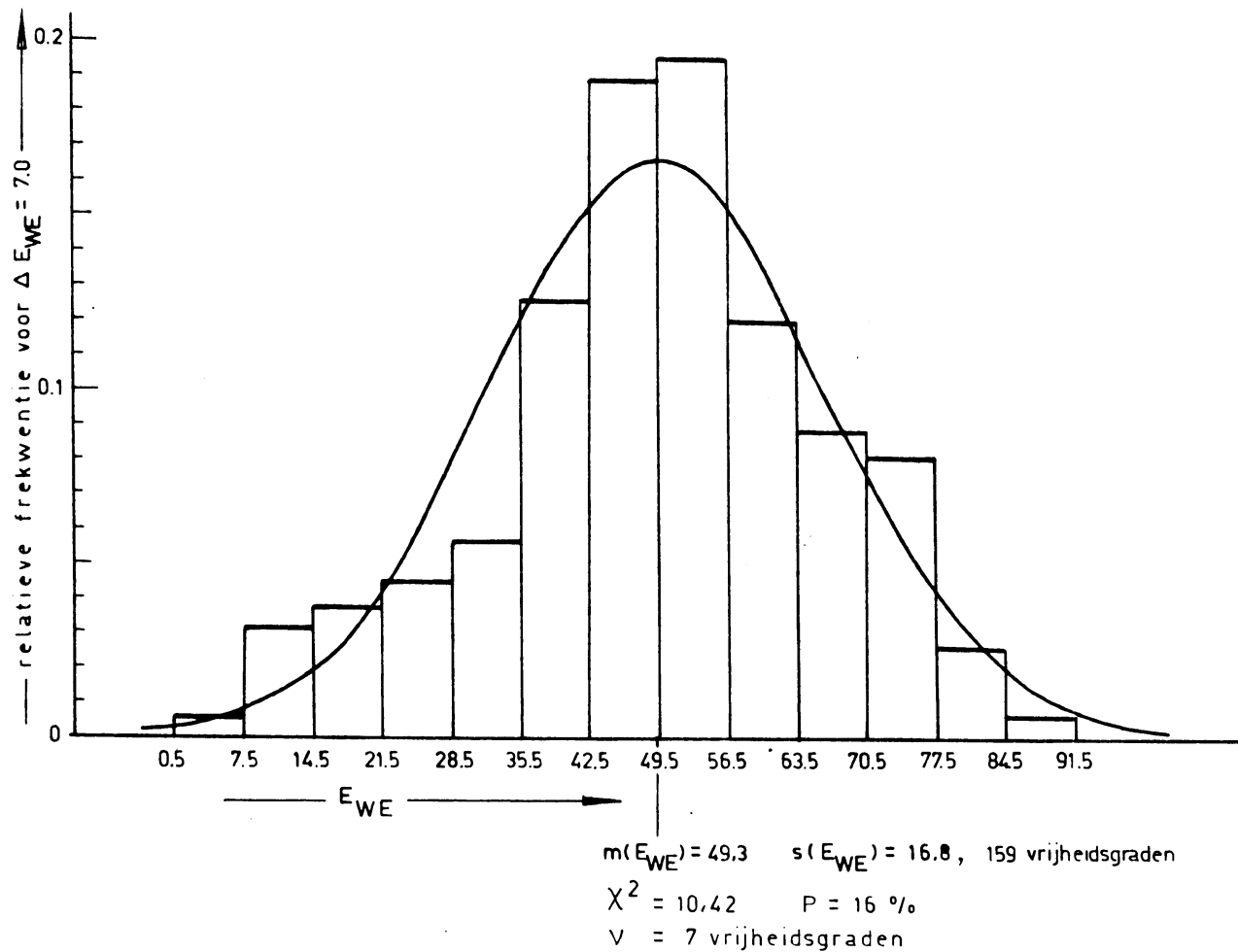


FIG.11

FREKWENTIEVERDELING VAN E_{WE} IN HET TIJDVAK 1757 - 1916 MET AANGEPASTE KANSDICHTHEIDSFUNKTIE VOLGENS GAUSS.

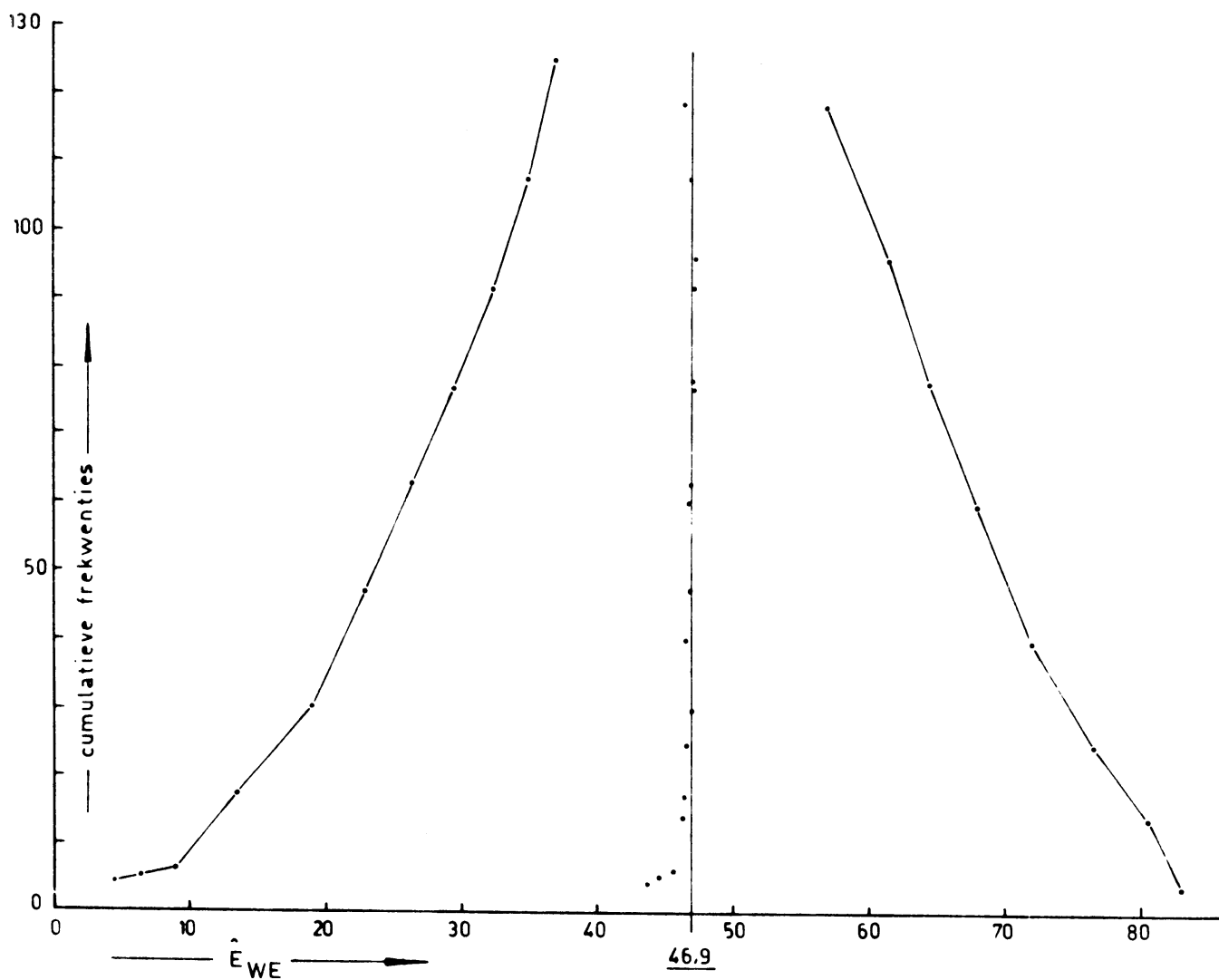
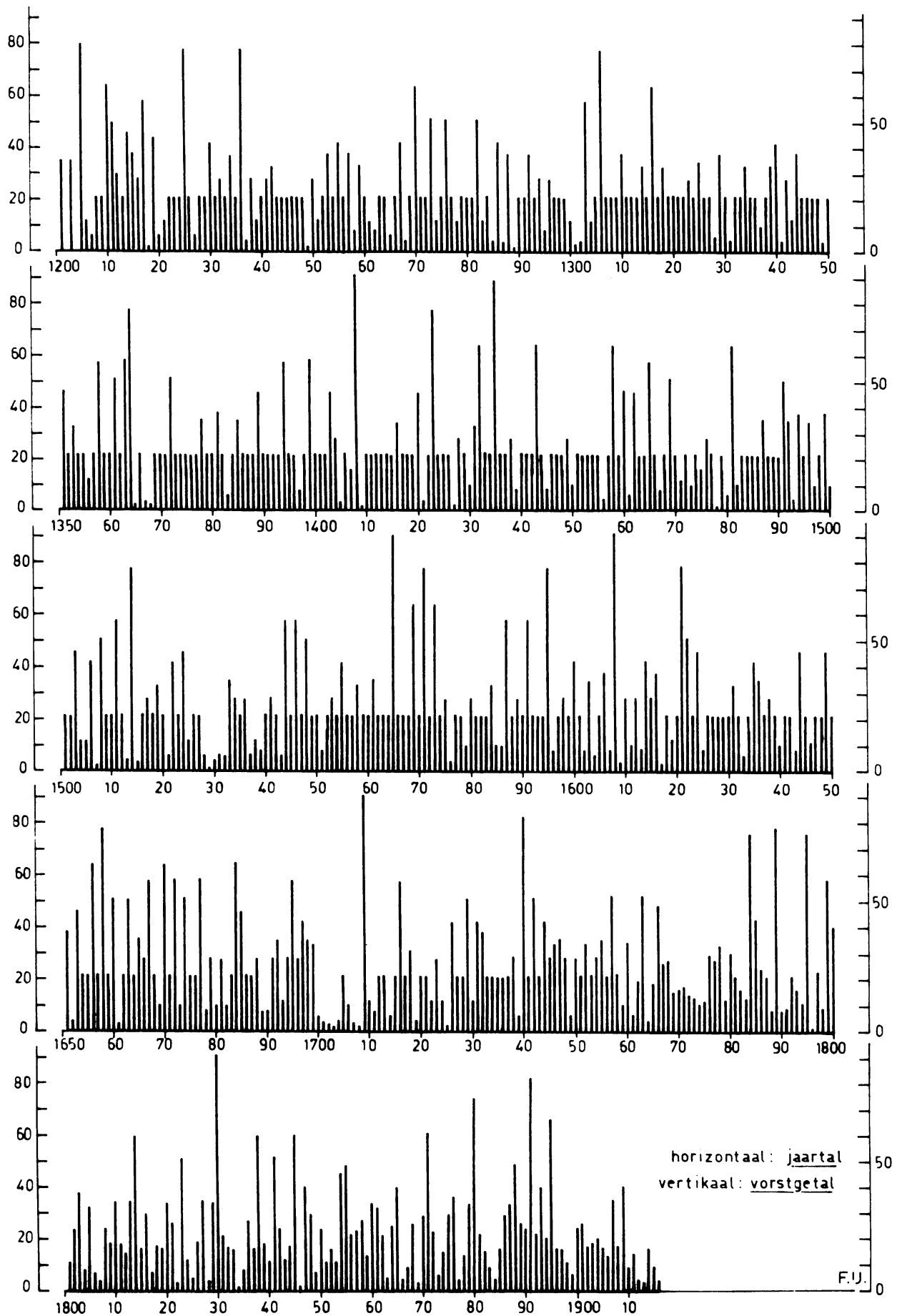


FIG. 12 DIAGRAM TER BEPALING VAN HET GEMIDDELDE VAN DE \hat{E}_{WE} -REEKS VAN EASTON, 1201-1756

FIG. 13 Grafische voorstelling van de winters in het tijdvak 1201-1916 met vorstgetallen voor de West-Europese klimaatprovincie



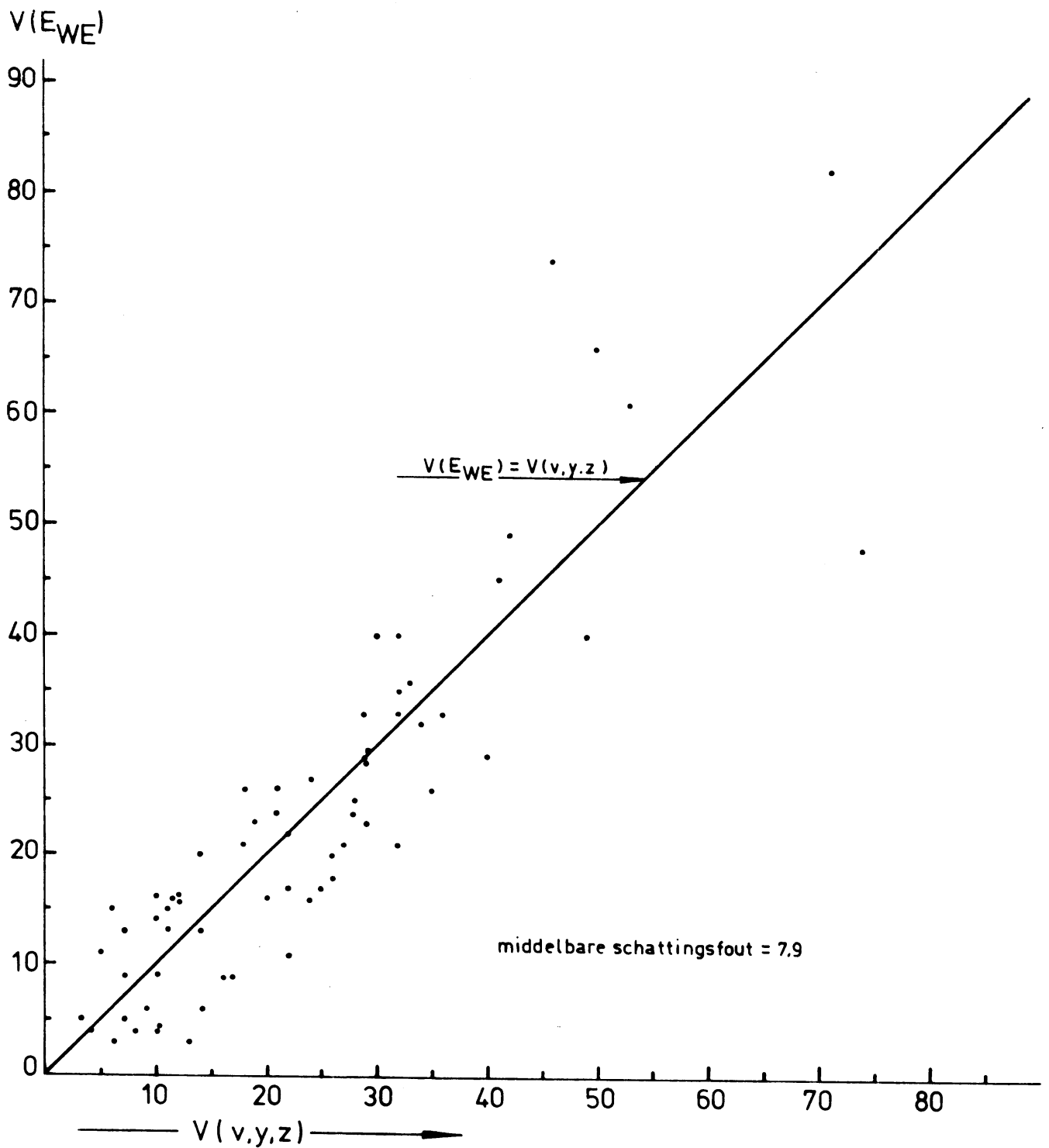


FIG. 14 VERBAND TUSSEN DE VORSTGETALLEN, AFGELEID VAN DE BEREKENDE
TEMPERATUURCOEFFICIËNTEN VOLGENS EASTON IN DE WEST EUROPESE
KLIMAATPROVINCIE, $V(E_{WE})$, EN DE VOOR DE BILT BEREKENDE VORST-
GETALLEN, $V(v,y,z)$, IN HET TIJDVAK 1852 - 1916

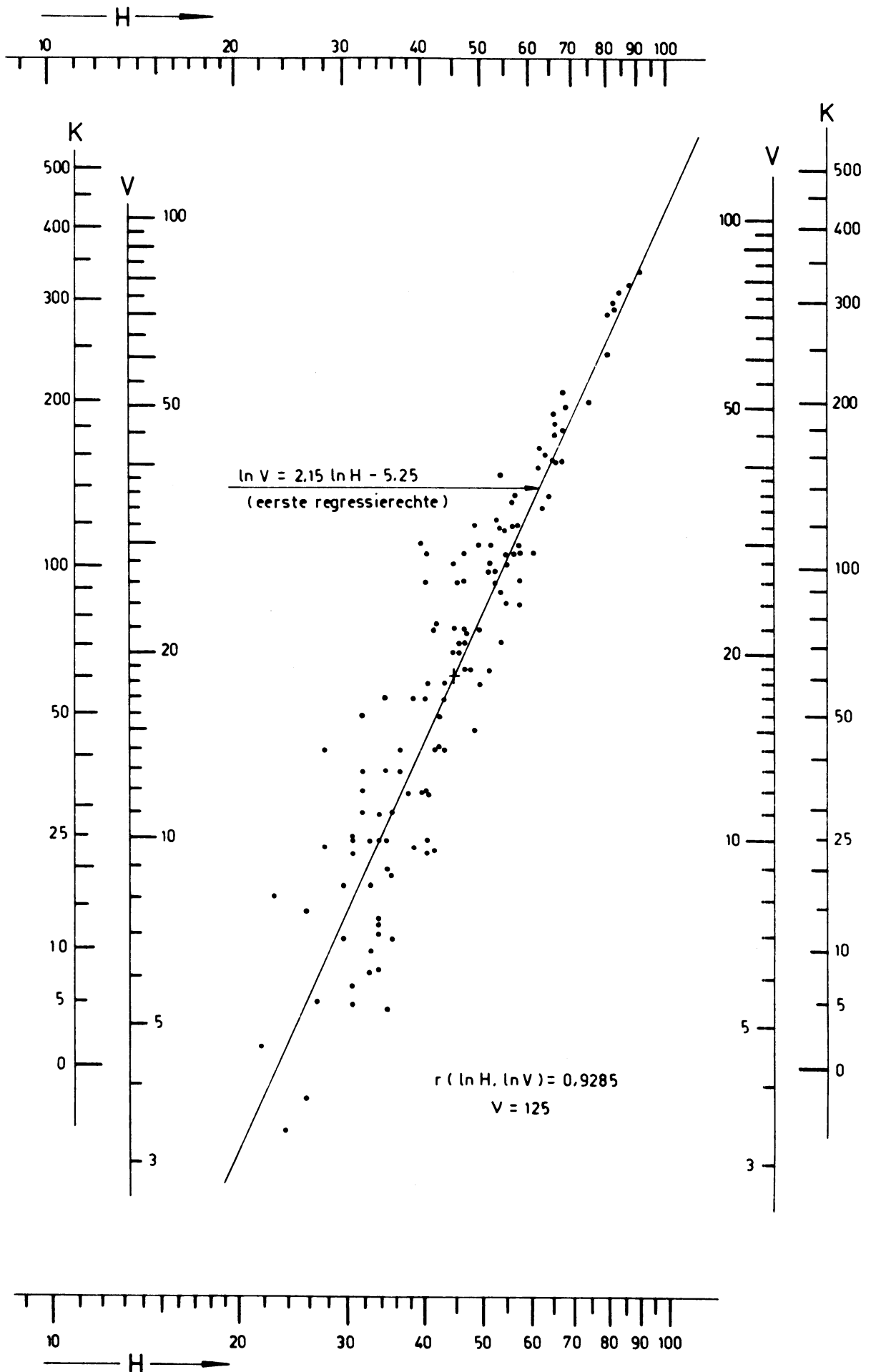


fig.15 correlatie en regressie H,V met toegevoegde K-schaal
1850-1975

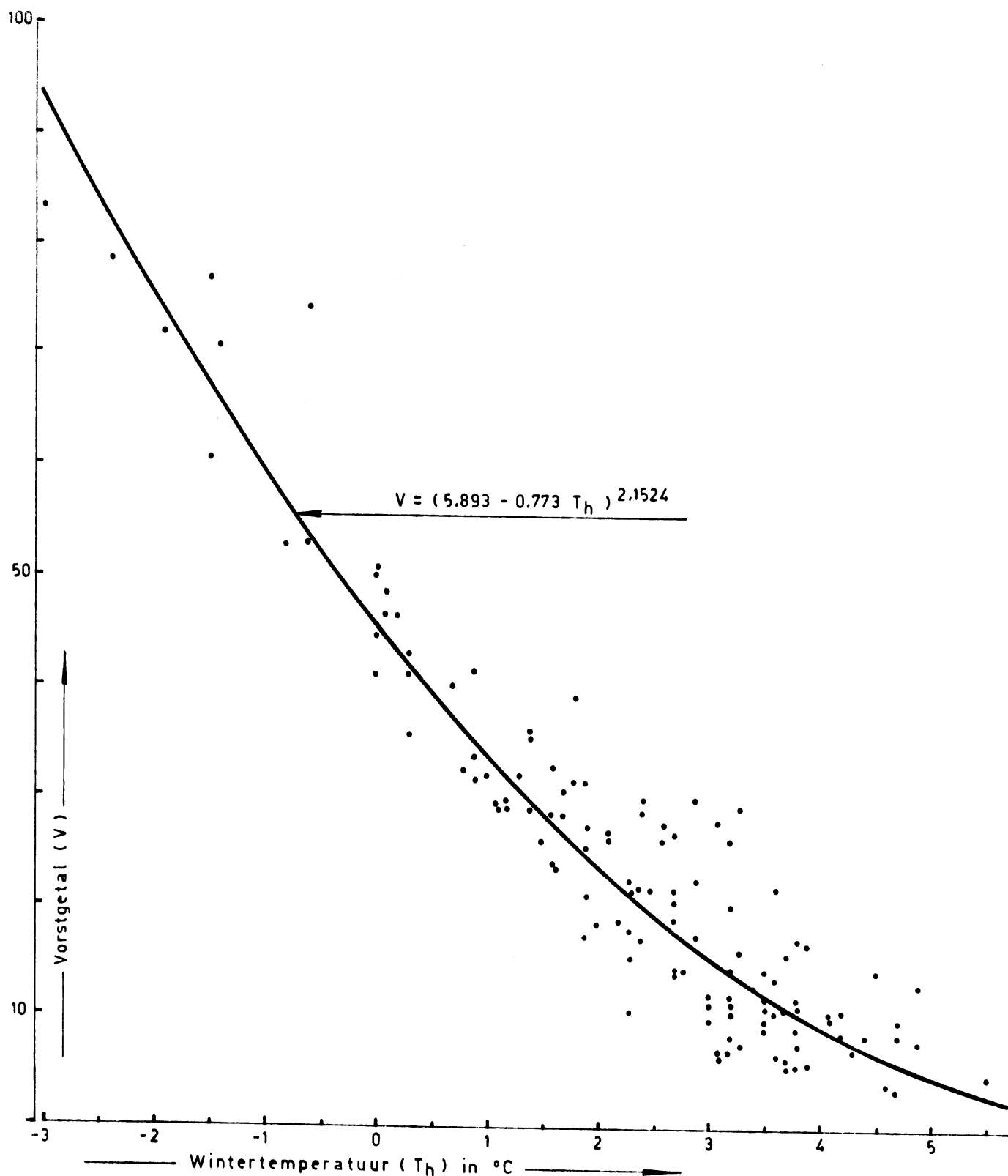


FIG. 16 VERBAND TUSSEN VORSTGETALLEN EN WINTERTEMPERATUREN
TE DE BILT, 1850 - 1980

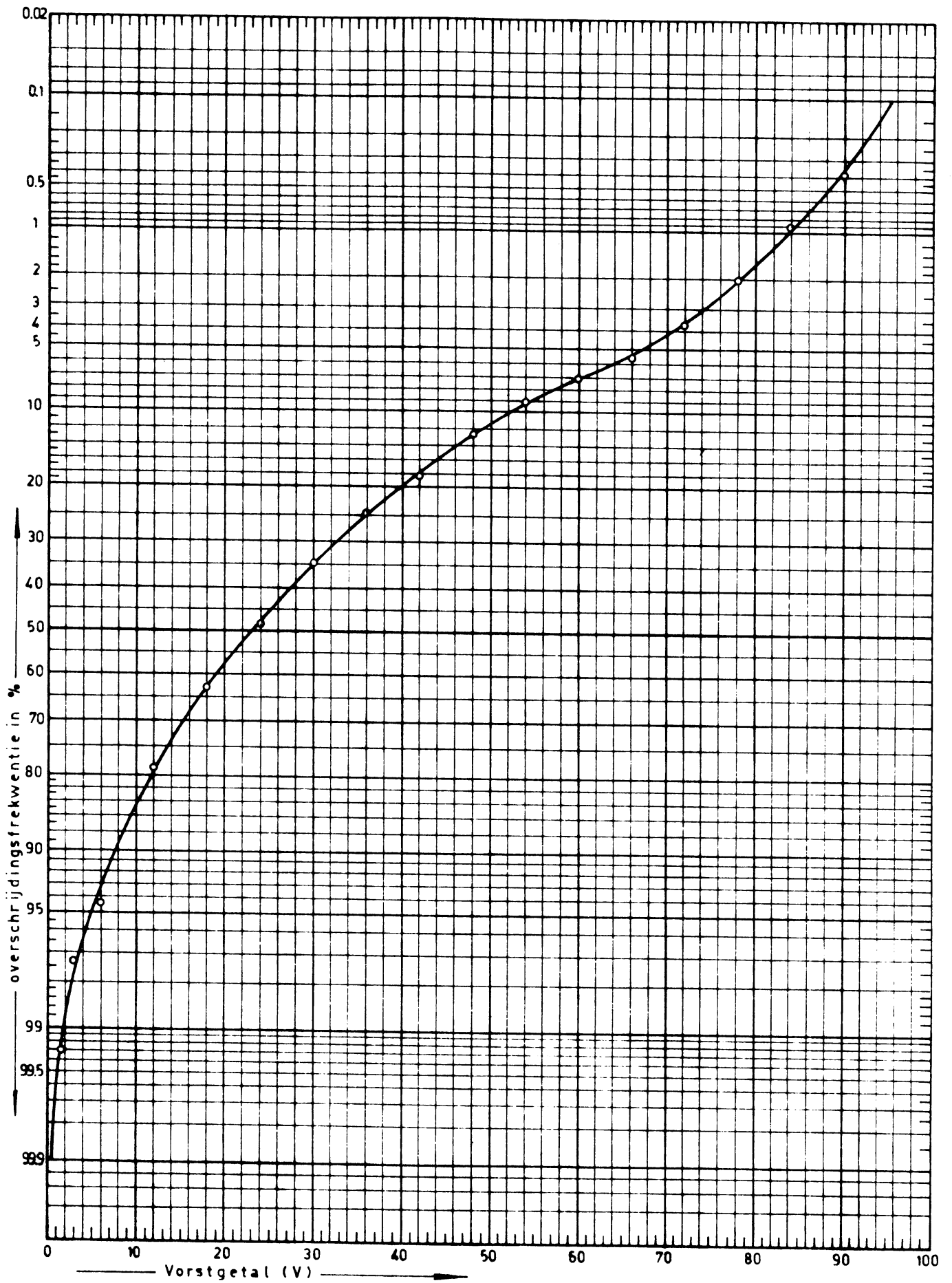


FIG.17 FREKWENTIEVERDELING VAN 780 VORSTGETALLEN, TUDVAK 1201 - 1980

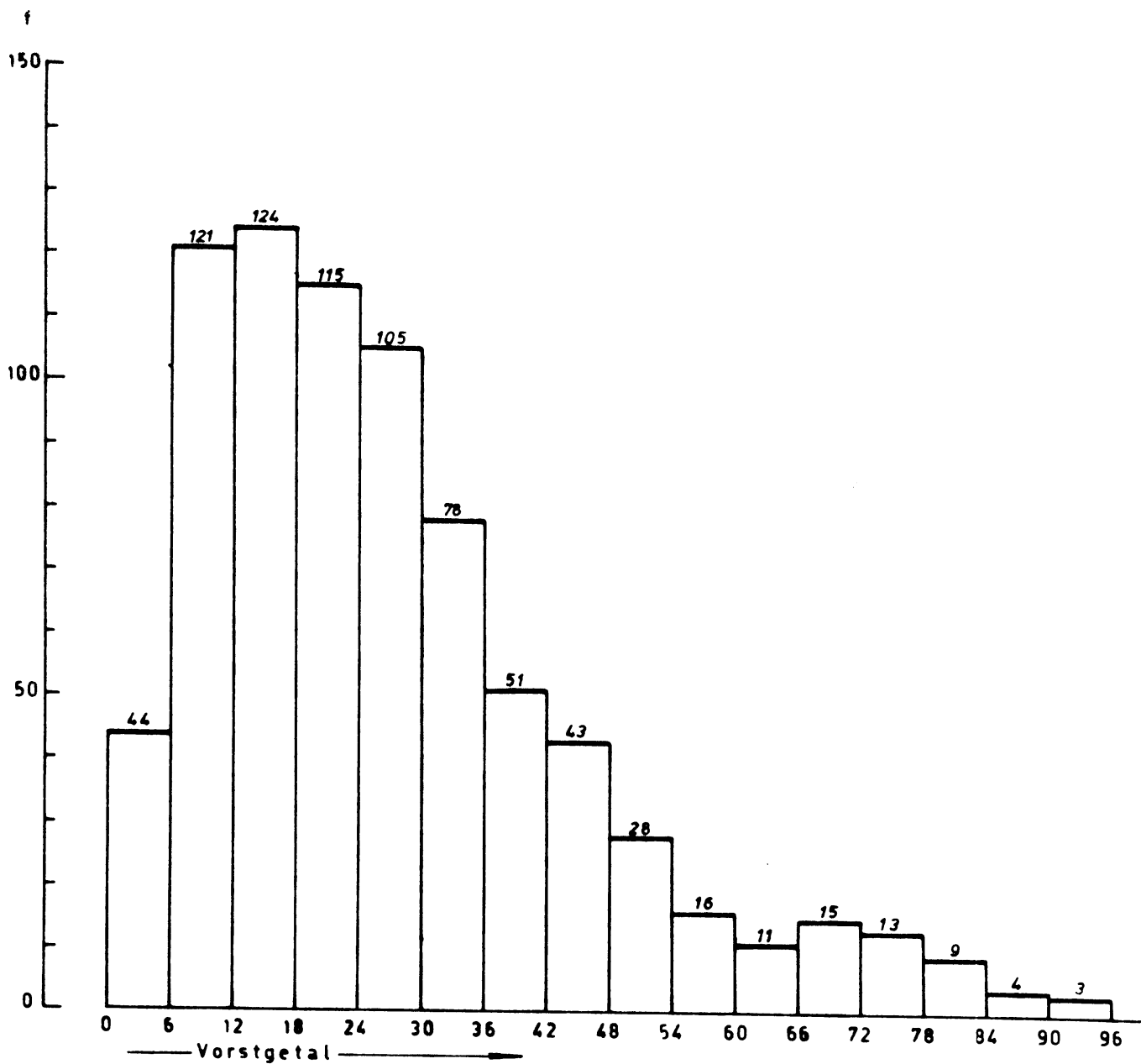
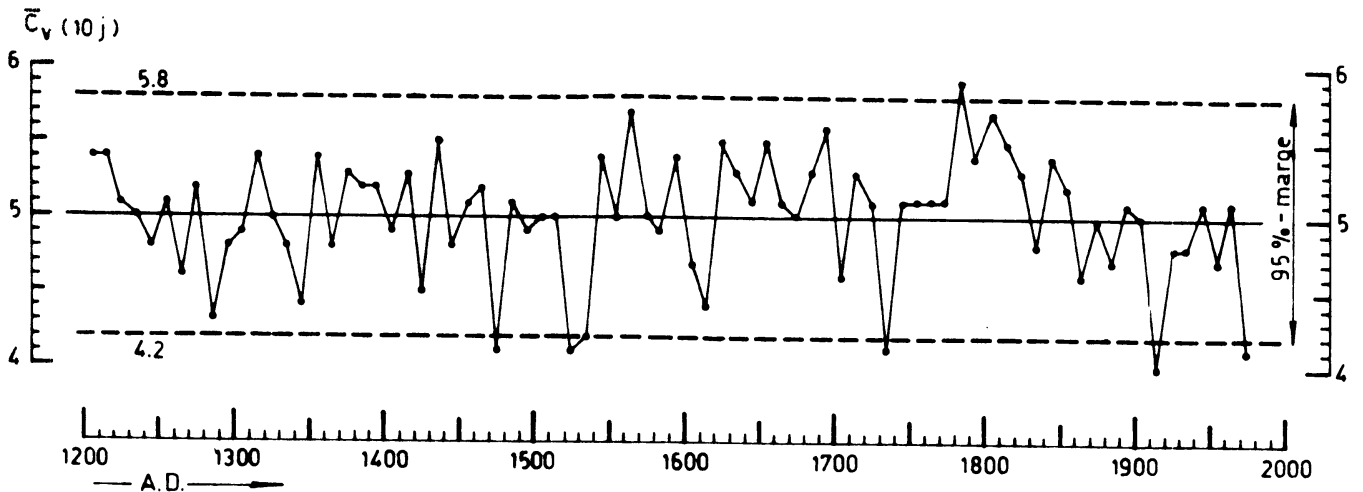
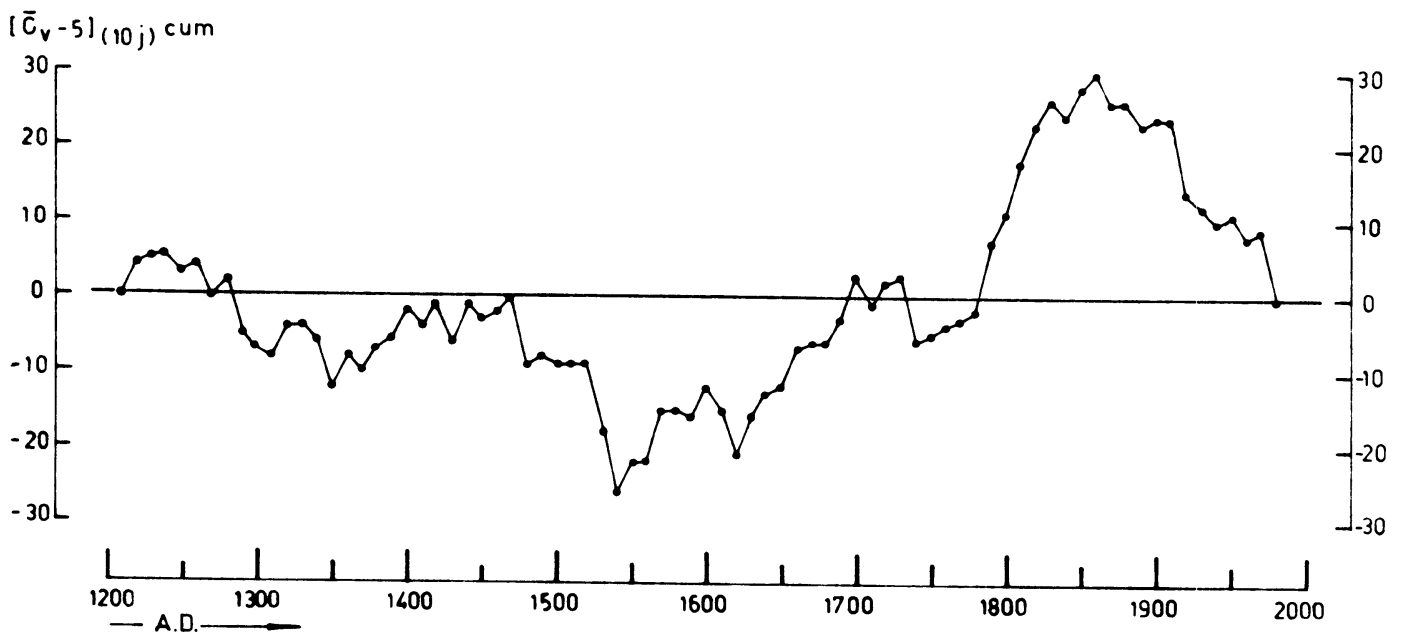


FIG. 18 FREKWENTIE - HISTOGRAM VAN DE VORSTGETALLEN
1201 - 1980

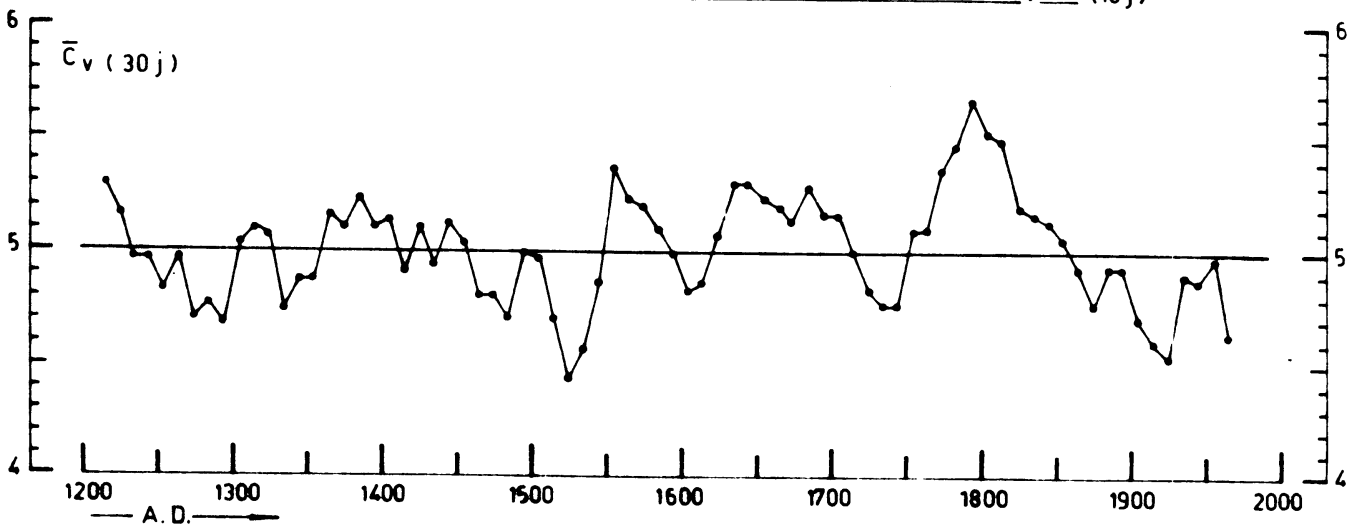
FIG. 19 Tijdsreeks decenniumgemiddelden van C_v



A VERLOOP VAN OPÉÉNVOLGENDE DECENNIUMGEMIDDELDEN $\bar{C}_v(10j)$



B CUMULATIEF VERLOOP VAN DE DECENNIUMAFWIJKINGEN $[\bar{C}_v - 5](10j)$



C VERLOOP VAN DE 10 JAAR VERSPRINGENDE 30-JAAR GEMIDDELDEN $\bar{C}_v(30j)$

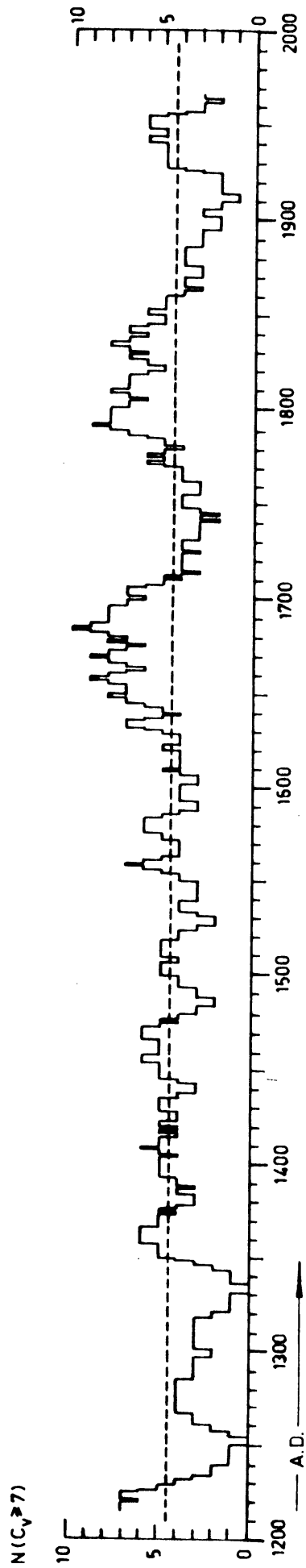


FIG. 20 VERLOOP VAN DE DICHTHEID INZAKE HET OPTREDEN VAN STRENGE WINTERS IN VOORTSCHRUIJLENDE TIJDVAKKEN VAN 30 JAAR MET TIJDSTAP VAN ÉÉN JAAR, 1201 T.M. 1980