

29 NOV. 1972

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 72-12

A.W. Hanssen

Over de invloed van het weer
op de dagelijkse electriciteitsmaxima

De Bilt, 1972

Kon. Ned. Meteor. Inst.
De Bilt

I. 402.

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 72-12 (MO).

U.D.C.: 551.5 :

621.31 :

33

ABSTRACT

(2) This paper contains an analysis of the peak loads of electricity power systems in the Netherlands. An electricity supply system is required to respond instantly and unfailingly to the everchanging demands of its consumers. Weather conditions have a large bearing on this demand, particularly at the peak-hour periods.

For an estimation of the effect of weather ~~first~~ the following non-meteorological parameters are to be considered:

- 1) character of the day, establishing three basic days:
Sunday, Saturday and average working-day;
- 2) long-term trend;
- 3) annual variation.

After elimination of the effects of the trend and annual variation the following meteorological parameters are selected:

- 1) temperature;
- 2) condition of the sky (degree of cloudiness).

A further selection of parameters e.g. wind velocity and precipitation is limited by the number of observations. As a result of the analysis a semi-objective method for estimating maximum loads is derived. It is found that inaccuracies in the daily load forecasts are usually the result of inaccuracies in the daily weather forecasts.

Over de invloed van het weer op de dagelijkse electriciteitsmaxima

A.W. Hanssen

1. Inleiding

Tijdens de krachtsinspanning in het begin van de vijftiger jaren was het voor het zich herstellende Nederland noodzakelijk de beschikbare energie zo efficiënt mogelijk te gebruiken. Een belangrijke faktor bij deze efficiency is een goed inzicht in de samenhang tussen weer en electriciteitsafname. Sinds 1952 geeft het K.N.M.I. dagelijks schattingen van de te verwachten electriciteitsmaxima in de eerstvolgende 12-36 uur en leverde aldus een bijdrage tot de "produktieslag Nederland" in de vijftiger jaren. Gedurende de laatste jaren groeit allerwege het besef dat het opnieuw noodzakelijk wordt om zeer zuinig met de beschikbare energie om te springen. De "industriële meteorologie" verdient daarom grotere belangstelling dan de laatste tijd gebruikelijk was. Na bijna 20 jaar wordt deze tak van meteorologische voorlichting opnieuw aktueel en kan zelfs milieutechnische betekenis krijgen.

2. Probleemstelling

Voor een electriciteitsbedrijf is, behalve de hoeveelheid verkochte energie, de dagelijkse belastingskromme - hieronder verstaat men de netbelasting als functie van de tijd - van essentieel belang. Dit kan als volgt worden toegelicht:

Omdat voorraadvorming bij elektrische energie praktisch niet mogelijk is, wordt de opwekking van electriciteit bepaald door de gebruiker: er moet op elk moment zoveel vermogen beschikbaar zijn, dat aan de vraag van dat moment kan worden voldaan. Een toenemende vraag moet worden opgevangen door hetzij toenemend machinevermogen of aanvulling via het koppelnet; als dit niet kan volgt storing. Daalt de belasting, dan moet de opwekking verminderd worden, hetgeen bij niet al te snelle daling geen moeilijkheden zal opleveren.

Men moet dus de belastingskromme op de voet volgen en er voor zorgen, dat spanning en frekwentie zo goed mogelijk konstant blijven.

Omdat van de belastingskromme de vorm en vooral ook de dagelijkse maxima in belangrijke mate van de weersomstandigheden afhangen, zijn bedrijven met keuzemogelijkheid van machine-eenheden geïnteresseerd bij het toekomstige

stige weer op korte termijn. Het is daarom zinvol een onderzoek in te stellen naar het verband tussen het weer en de invloed hiervan op de belastingskromme. Over dit onderzoek en enkele resultaten hiervan wordt in de volgende paragrafen gerapporteerd.

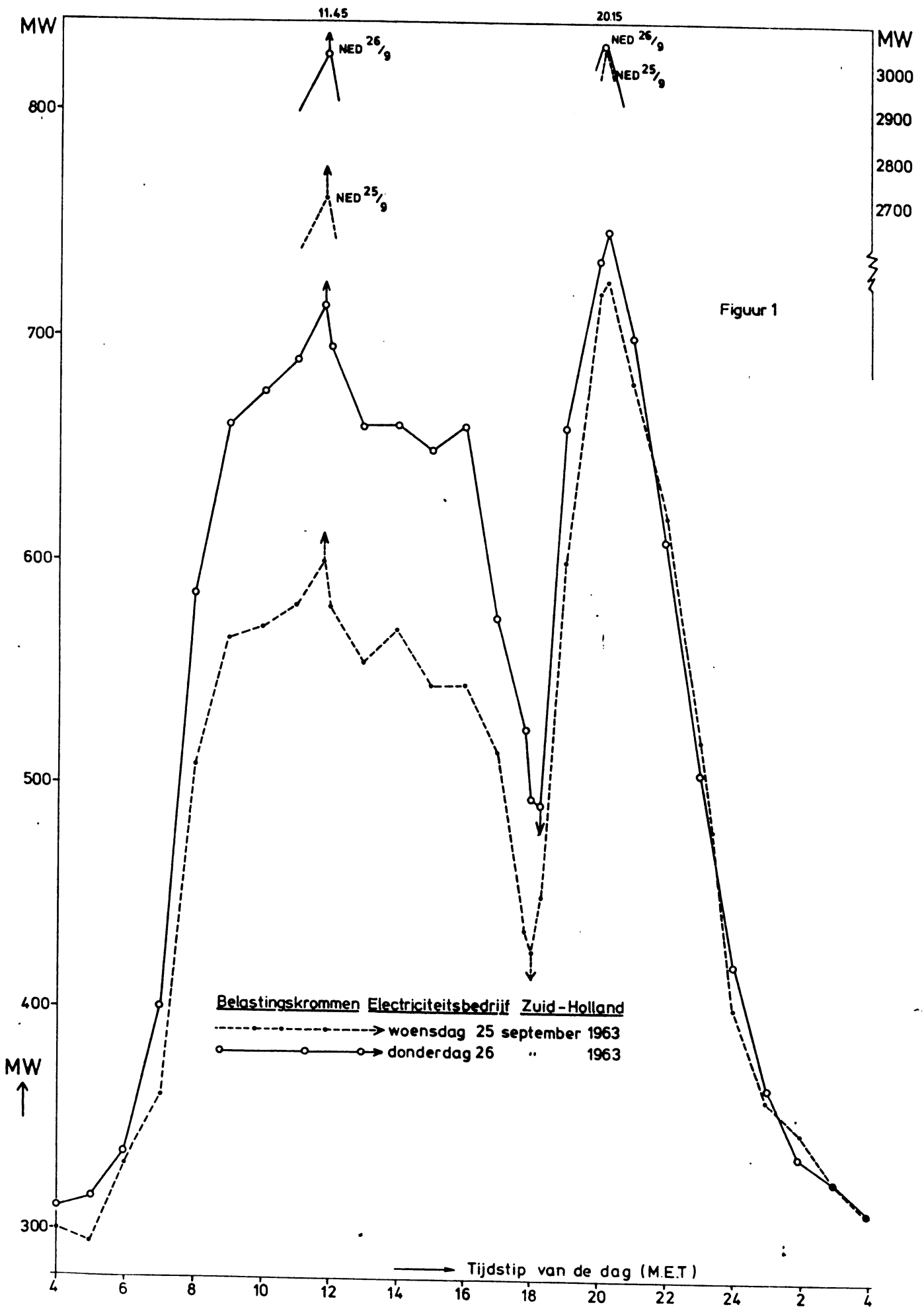
3. Belastingskromme

3.1. Globale belastingskromme

Het opgewekte vermogen als functie van de tijd en dus tevens de netbelasting als functie van de tijd (zie 2.) kan in beeld worden gebracht en wordt de belastingskromme genoemd. Fig. 1 geeft hiervan een voorbeeld dat betrekking heeft op het Electriciteitsbedrijf Zuid-Holland (E.Z.H.) op woensdag 25 en donderdag 26 september 1963. Hieruit is o.m. op te maken dat beide krommen een ochtend- en avondmaximum vertonen op ongeveer hetzelfde tijdstip. Het ochtendmaximum van donderdag 26 september is echter ongeveer 20% hoger dan dat van woensdag 25 september, als gevolg van het verschil in weer op de beide dagen: 25 september was een heldere droge ochtend, terwijl het op 26 september vooral langs de kust slecht weer met harde tot stormachtige wind was. Hierbij is stilzwijgend aangenomen dat gemiddeld genomen het maximum op woensdag gelijk is aan dat op donderdag en aan deze veronderstelling wordt in de praktijk met voldoende nauwkeurigheid voldaan. Opstelling van een machinevermogen even groot als dat van woensdag 25 september + 5% reservevermogen zou op donderdag 26 september voor het ochtendmaximum een tekort van 15% hebben betekend. Eventuele maatregelen tegen dit tekort kunnen bestaan uit het starten van één of meer machine-eenheden of het aanknopen via het koppelnet van een leveringsprogramma uit binnen- of buitenland.

Hoe eerder deze maatregelen worden genomen, des te economischer kan de bedrijfsvoering plaatsvinden.

Deze bedrijfsvoering is voor een buitenstaander ondoorzichtig, omdat er zoveel factoren in meespelen, maar het is wel te begrijpen dat een tijdige en betrouwbare schatting van de vermogenspieken van groot belang is. Aangezien uit de praktijk blijkt, dat er een zeer sterke koppeling tussen weer en vermogenspieken bestaat, wordt de betrouwbaarheid van de schatting in hoge mate bepaald door de betrouwbaarheid van de weersverwachting. De literatuur over weer en "load-dispatching" zoals de Amerikanen en Engelsen dit onderwerp noemen, is schaars. Het oudste ons bekende artikel dateert uit 1944 [1], het meest recente uit 1969, waarin men zelfs zover gaat het elektriciteitsverbruik te willen verlagen via weersbeïnvloeding [10].



Figuur 1

3.2. Belastingskromme in detail

De belastingskromme van een centrale is o.a. afhankelijk van de volgende factoren:

- a. dag van de week: werkdag, zaterdag of zon- of feestdag;
- b. seizoen;
- c. wisselende sociologische omstandigheden.

Rekening houdende met bovenstaande factoren zou de belastingskromme voldoende vastliggen, ware het niet dat de wisselende weersomstandigheden grote afwijkingen kunnen veroorzaken.

De belastingskromme is grillig maar vertoont in het algemeen twee duidelijke hoofdmaxima en twee hoofdminima. Het ochtendmaximum valt overwegend omstreeks 10 uur behalve in de wintermaanden wanneer het tijdstip vroeg in de ochtend valt, afhankelijk van de helderheid. Het tijdstip van het avondmaximum wordt bepaald door het tijdstip van zonsondergang en ligt vrijwel het gehele jaar omstreeks 1 uur na zonsondergang.

Hoewel de samenhang tussen maxima en weersomstandigheden gecompliceerd is, blijkt het toch mogelijk door bewerking van het beschikbare materiaal de invloed van de belangrijkste weerfactoren kwantitatief te bepalen. Deze factoren zijn o.a.:

- a. temperatuurafwijking t.o.v. de normale temperatuur;
- b. helderheid;
- c. neerslag;
- d. windsnelheid in combinatie met de temperatuur.

Genoemde samenhang is, behalve seizoensafhankelijk, ook veranderlijk, als gevolg van wijziging in het levenspatroon. Uiteindelijk komt de invloed van het weer op de belastingskromme voor een groot gedeelte tot stand via reacties van de mensen op het weer. En deze reacties worden weer bepaald door de beschikbare mogelijkheden en het sociale patroon. Zo is de invloed van de aardgasvondsten op de elektrische ruimteverwarming duidelijk terug te vinden in een verminderde temperatuurgevoeligheid tijdens voor- en najaar.

4. Jaarkromme

Om een globale indruk te geven van de invloed van enkele weerfactoren op het elektriciteitsverbruik zijn in fig. 2 naast het verloop van de weekgemiddelden der ochtendmaxima op werkdagen in 1968, in afhankelijkheid van het rangnummer van de week, zowel voor Zuidwest-Nederland (ongeveer 25% van het landsbedrag) als voor het gehele Nederlandse verzorgingsgebied op enkele markante punten gegevens over temperatuur en/of helderheid aangebracht.

Voor een verdere bestudering van de weersinvloed is het nuttig basis-jaarkrommen samen te stellen. Deze krommen hebben betrekking op het maximum vermogen en op de temperatuur. Ze zijn samengesteld uit langjarige weekgemiddelden. Deze gemiddelden kunnen worden uitgedrukt in percentages van het algemeen gemiddelde jaarbedrag. Het blijkt nu dat de afwijkingen in de vermogenskromme van een bepaald jaar t.o.v. de vermogenskromme gemiddeld over een groot aantal jaren duidelijk negatief zijn gekorreleerd met de individuele temperatuurafwijkingen ΔT t.o.v. de gemiddelde temperatuurkromme. Hier wordt dus stilzwijgend verondersteld, dat de langjarige vermogenskromme een regelmatige jaarlijkse gang heeft, maar in detail nog onbekend is in dit stadium, in tegenstelling tot het langjarige temperatuur gemiddelde.

Versluiering van het temperatuureffekt treedt op ten gevolge van de invloed van andere weerfactoren zoals helderheid en windsnelheid. Voor een demonstratie van de grootte-orde van het effect is fig. 2 echter ruim voldoende, zoals in het bijzonder aan weeknummer 12, 13 en 19 te zien is.

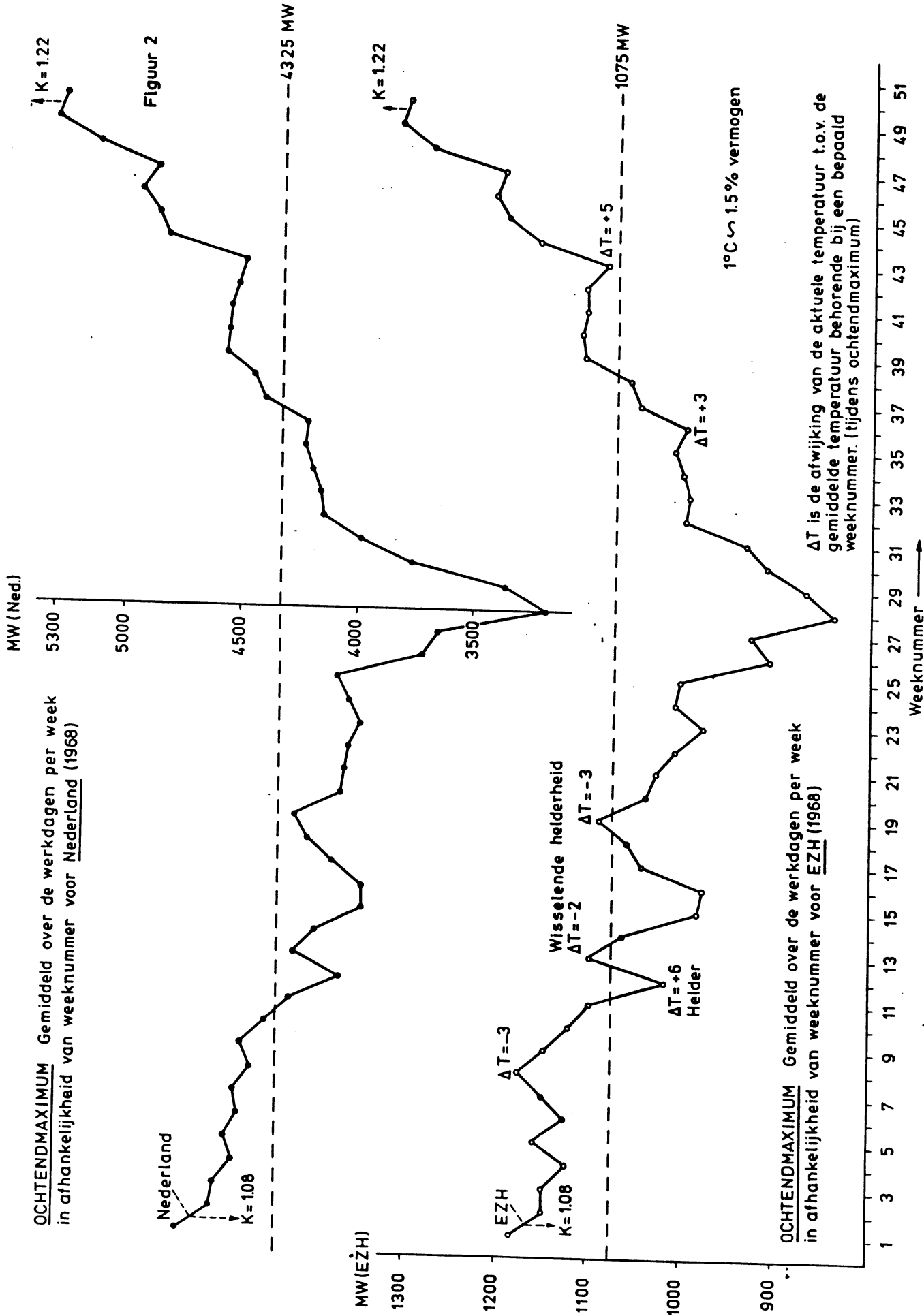
Uit deze figuur zien we bovendien dat er in 1968 duidelijk van een jaarlijkse groei sprake is: bij een begin van 108% van het jaargemiddelde en een daling tot 78% in de vakanties, wordt het jaar beëindigd met 122% van het jaargemiddelde. Deze jaarlijkse groei vinden we in alle onderzochte jaren terug, is in principe weersonafhankelijk en is in zekere zin een maat voor de economische groei. Bij de analyse van het materiaal dienen we met deze groeifactor rekening te houden en hiervoor te corrigeren. We komen hierop in par. 5 terug.

Ter vergelijking is in fig. 2 tevens het gemiddelde vermogensmaximum voor geheel Nederland, in afhankelijkheid van het weeknummer, weergegeven. De fluktuaties in deze totaalkromme zijn sterk gekorreleerd met die van de kromme voor Zuidwest-Nederland. De korrelatie-koëfficiënt bedraagt $r = 0.96$. Deze hoge korrelatie is niet alleen het gevolg van het feit, dat Zuidwest-Nederland 25% van het totale bedrag uitmaakt. Want de korrelatie-koëfficiënt tussen de totaalkromme verminderd met de bijdrage van Zuidwest-Nederland en de kromme van Zuidwest-Nederland is eveneens hoog en bedraagt 0.93.

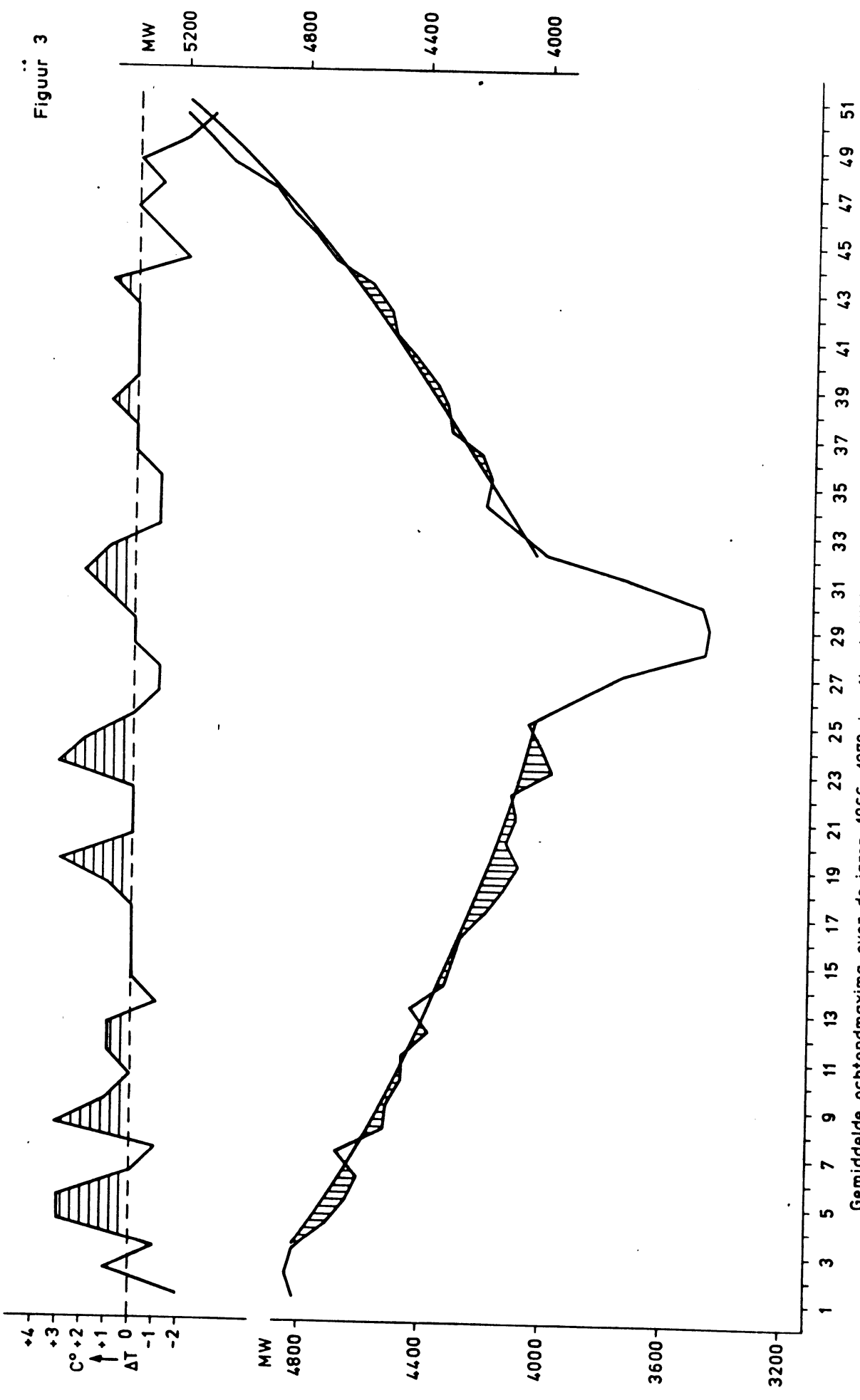
Dit kan als volgt worden aangetoond:

Stellen we E.Z.H. voor door a , Nederland door $a+b$ en stelt s de standaarddeviatie voor, dan geldt:

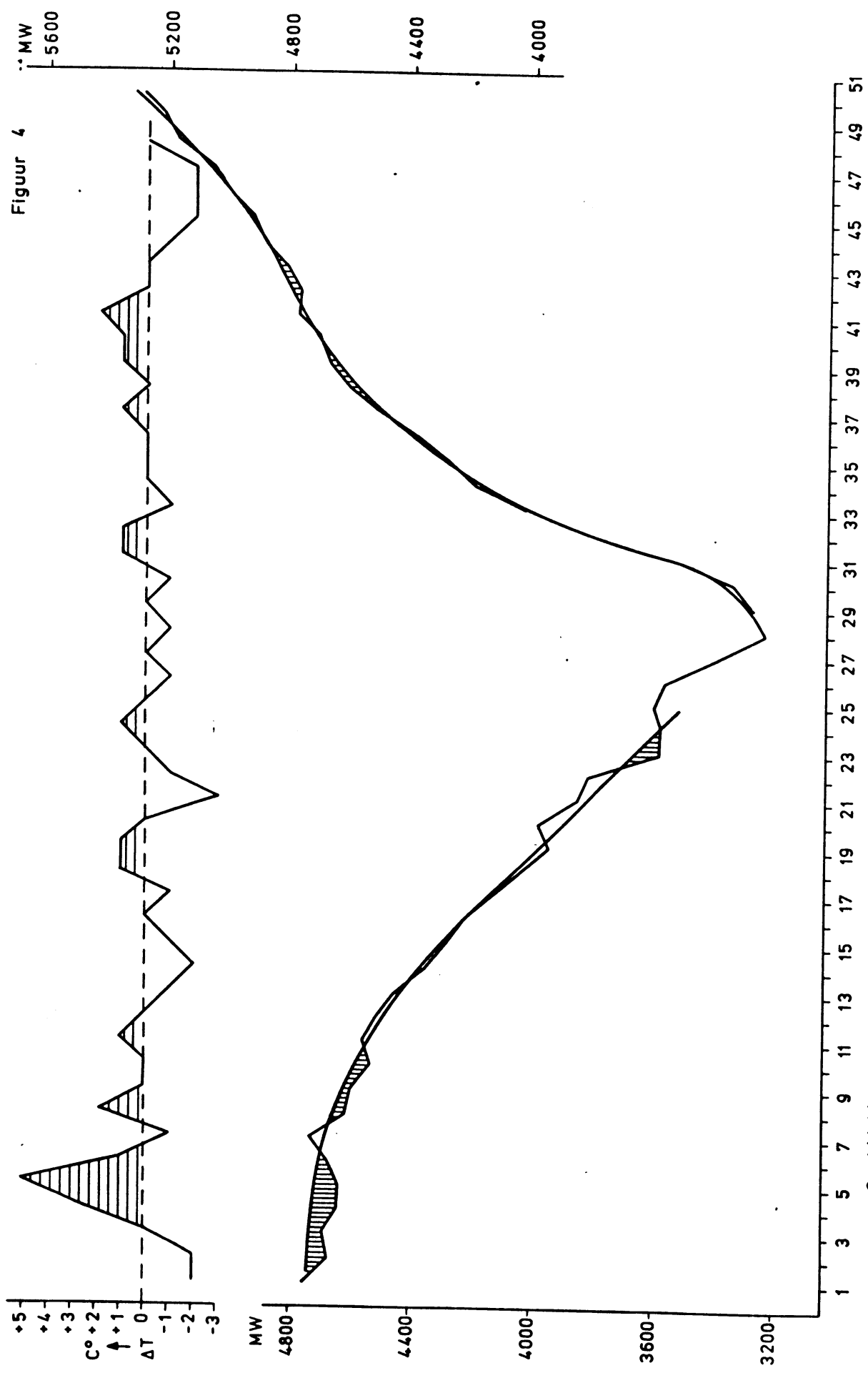
$$r_{a,a+b} = 0.96 \text{ en } \frac{s_a}{s_{a+b}} = 0.25. \quad \text{Hoe groot is nu } r_{a,b} ?$$



Figuur 3



Gemiddelde ochtendmaxima over de jaren 1966-1970 in afhankelijkheid van weeknummer voor Nederland alsmede gemiddelde temperatuurafwijking over de jaren 1966-1970 in afhankelijkheid van weeknummer voor Nederland.



Gemiddelde avondmaxima over de jaren 1966-1970 in afhankelijkheid van weeknummer voor Nederland alsmede gemiddelde temperatuurafwijking over de jaren 1966-1970 in afhankelijkheid van weeknummer voor Nederland.

$$r_{a,a+b} = \frac{s_a}{s_{a+b}} + r_{a,b} \frac{s_b}{s_{a+b}} \quad \text{waaruit volgt: } r_{a,b} = 0.71 \frac{s_{a+b}}{s_b}$$

Vervolgens maken we gebruik van de betrekking:

$$(s_{a+b})^2 = (s_a)^2 + (s_b)^2 + 2r_{a,b} s_a s_b \quad \text{en vullen hier } s_a = 0.25 s_{a+b} \text{ in.}$$

$$\text{Hieruit vinden we } \frac{s_{a+b}}{s_b} = 1.309$$

Tenslotte wordt dan $r_{a,b} = 0.71 \times (1.309) = 0.93$.

Een voorbeeld van basisjaarkrommen samengesteld uit het materiaal van slechts 5 jaar wordt gegeven in de figuren 3 en 4.

Hier worden respectievelijk de gemiddelde dagelijkse ochtend- en avondmaxima over 5 jaar gegeven in afhankelijkheid van het weeknummer voor het totale koppelnet Nederland. Tevens is de temperatuurafwijking gedurende dezelfde periode ten opzichte van het langjarige temperatuurweekgemiddelde tijdens de maxima afgebeeld in de bovenste krommen. Men ziet hoe de temperatuurfluctuaties negatief gekorreleerd zijn met de vermogensfluctuaties, die worden gevonden als afwijkingen van een getekende gemiddelde vermogenskromme. De korrelatie is geringer dan bij de individuele gevallen omdat de versluiering door andere weerfactoren dan temperatuur groter is bij gemiddelden dan bij individuele gevallen. Het is bekend, dat bij middeling over een toenemend aantal jaren de fluctuaties in de temperatuur steeds geringer worden. Dit zal, indien we er vanuit gaan, dat er geen systematische afwijkingen zijn, ook bij de vermogenskromme het geval zijn.

Voor de ochtendmaxima (fig. 3) kan men een korrelatiecoëfficiënt $r = 0.70$ afleiden voor het verband met de temperatuur in het verzorgingsgebied ten tijde van het ochtendmaximum. Voor de avondmaxima (fig. 4) is het verband veel geringer en bedraagt slechts $r = 0.47$.

Door vergelijking van de basisjaarkrommen voor vermogen en temperatuur is het mogelijk om globale schattingen te maken van de invloed van de temperatuur ongeacht andere weerfactoren. Het blijkt dan dat 1°C verschil in temperatuur gemiddeld overeenkomt met 1% vermogensverschil. Voor Engeland bedraagt deze temperatuursinvloed volgens B.J. Mason $\sqrt{8}$ 1.3% van $^{\circ}\text{C}$ in de zomer en 1.8% vermogensverschil per $^{\circ}\text{C}$ in de winter. Bryar $\sqrt{2}$ vond een vermogenstoename van 2% voor elke 5°F minder dan 65°F . Hij vond verder

dat de bewolkingsvariatiën verschillen van 20% kunnen opleveren en schatte de windeffekten op 2% per 5 kts. Fleishman (Electrical West, 1954) vond een vermogensinvloed van 2% per °F. Voor de invloed van het afkoelend vermogen van de wind geeft Davies (7) een evenredigheid met $\sqrt{v(65-T)}$ op, waarin v de windsnelheid en T de temperatuur in °F voorstelt.

De invloed, die de helderheid (sterkte van het daglicht) uitoefent is veel lastiger te bepalen, omdat de helderheid lokaal sterk verschillend is, terwijl verder de helderheidsmeting in de praktijk niet eenvoudig blijkt uit de door EZH uitgevoerde metingen.

Voorts is de helderheid gekorreleerd met de temperatuur zodat veel materiaal nodig is om goede schattingen te maken van de kwantitatieve invloed.

Het verschil tussen donker en helder weer komt gemiddeld met 5% piekvermogen overeen, maar er zijn gevallen, waarbij minstens 10% aan te wijzen is.

De invloed van regen en windsnelheid kan slechts zeer globaal worden geschat opnieuw mede als gevolg van het betrekkelijk schaarse materiaal. Naar onze ervaring in Nederland is de invloed van de regen alleen terug te vinden bij langdurige en tevens intensieve regen en bedraagt dan slechts enkele procenten (ongeveer 3%).

Als gevolg van het zich steeds wijzigende levenspatroon zijn de gewichten van de weersinvloeden bovendien veranderlijk en dienen na verloop van tijd opnieuw te worden geschat. Als uitgangspunt hierbij wordt de eerder genoemde "basiskromme" gebruikt, die aangeeft hoe het jaarlijkse verloop is als functie van het weeknummer. De punten van de basiskromme verkrijgt men door de vermogens van de overeenkomstige weeknummers te middelen. Dit kan men toepassen voor zowel ochtend- als avondpiek voor gelijksoortige werkdagen, zaterdag en zondagen. Deze basiskrommen, die op ongeveer 16 jaar materiaal gebaseerd zijn, vertonen een vloeiend verloop met uitzondering van de zaterdagochtendkromme. Deze is i.v.m. de invoering van de 5-daagse werkweek op slechts 8 jaar gebaseerd.

De afwijkingen t.o.v. deze basiskrommen worden nu vergeleken met de afwijkingen t.o.v. de gemiddelde temperatuurkrommen en gesplitst naar helderheid in 2 klassen: helder en donker. Het blijkt dan, dat het goed mogelijk is om vermogenspieken af te leiden uit basisvermogens, waarop temperatuurs- en helderheidskorrektes worden toegepast. Bij deze werkwijze werd van de volgende veronderstellingen uitgegaan:

- 1) homogenisering van het materiaal, d.w.z. samenvoeging van materiaal, waarbij gecorrigeerd is voor de volgende niet-meteorologische factoren:
 - a) karakter van de dag: werkdag, zaterdag, zon- of feestdag;
 - b) langjarige groei;
 - c) jaarlijkse gang.

2) de invloed van de meteorologische factoren is in eerste benadering konstant.

Hoewel dit enkele jaren geleden nog geldig was is er de laatste tijd reden om met een geleidelijke verandering rekening te houden. Dit o.a. als gevolg van het steeds toenemende aardgasverbruik.

In par. 5. wordt op de praktijk van de invloedsbepaling nader ingegaan. Uit het voorgaande moge duidelijk zijn, dat een goede voorspelling van maximumvermogens slechts dan mogelijk is, indien o.a. de temperatuur en de helderheid korrekt zijn voorspeld. Het blijkt dan ook dat foutieve piekvoorspellingen doorgaans terug te voeren zijn op foutieve weersverwachtingen. Om een indruk te krijgen van de kwaliteit der schattingen is over een periode van 4 jaar zowel de schatting van de ochtendpiek als die van de avondpiek beoordeeld tegen persistentieschattingen. Met de faktor $S = (P-V)/(P)$, waarin P de fout van de persistentievoorspelling en V de fout van de schatting, waarbij gebruik gemaakt is van weersverwachtingen, kan men uitdrukken hoeveel procent methodefout V lager is dan de persistentiefout P.

Het bleek, dat over de bedoelde 4 jaren voor de ochtendschatting werd gevonden $S = 0.19$ (voorspelperiode 24 uur) en voor de avondschatting $S = 0.25$ (voorspelperiode 8 uur).

De gedragslijn bij de voorspelling is bovendien zo, dat getracht wordt om de afwijking tussen opgetreden en voorspelde waarde zo klein mogelijk te maken, hetgeen in de praktijk hierop neerkomt, dat extremen nagenoeg nooit zullen worden voorspeld. Het verband tussen weersomstandigheden en maxima van electriciteitsvermogens is dusdanig groot, dat een kleine verbetering in de kwaliteit van de weersverwachtingen onmiddellijk resulteert in een (zij het eveneens geringe) verbetering van de kwaliteit der vermogensschattingen.

5. Analyse van de dagelijkse maxima

5.1. Niet meteorologische factoren

5.1.1. Langjarige groei

In tabel 1 is voor de gemiddelde ochtendmaxima een gedeelte van de opgetreden waarden in de jaren 1953-1967 weergegeven.

In de onderste rij staan de frakties, die aangeven welk gedeelte een bepaalde jaarsom J_j uitmaakt van de gemiddelde jaarsom. Deze jaarafhankelijkheid (tot dusver jaarlijkse groei), voorgesteld door de functie $g(j)$ wordt uitgebeeld in fig. 5. Hierin stelt j het jaarnummer voor.

5.1.2. Jaarlijkse gang

Bij bestudering der afzonderlijke jaren blijkt een grote overeenkomst in de jaarlijkse gang. Deze overeenkomst is dusdanig groot, dat de jaarlijkse gang kan worden voorgesteld door een funktie $f(i)$, dus onafhankelijk van de veranderlijke j , die het jaarnummer voorstelt. Het weeknummer wordt door i aangeduid. In fig. 6 wordt deze jaarlijkse gang $f(i)$ uitgebeeld.

In de meest rechtse kolom van tabel 1 staan de frakties, die het gedeelte aangeven dat een bepaald weekrijtotaal W_i uitmaakt van het gemiddelde weekrijtotaal.

5.1.3. Wekelijkse gang

Deze faktor komt aan de orde indien na homogenisering door eliminatie van langjarige groei en jaarlijkse gang de individuele dagbedragen gekorreleerd worden met de meteorologische parameters. Het gaat er hierbij om, dat gekorrigeerd wordt voor systematische verschillen tussen werkdagen onderling, zo die verschillen bestaan. Deze verschillen blijken met uitzondering van de maandagmorgen van ondergeschikte betekenis te zijn (minder dan 1%). De maandagmorgen komt sinds enkele jaren in toenemende mate boven de overige werkdagen uit (grootte-orde 5%).

5.1.4. Nadere uitwerking van 5.1.1. en 5.1.2.

In het volgende schema stellen de A_{ij} de opgetreden gelijksoortige maxima voor in de week i van het jaar j .

	jaarno j	→	
week- no. i	A_{11}	A_{12}	A_{13}
			A_{ij}
	A_{21}	A_{22}
			A_{2j}
	A_{31}	A_{3j}
↓	A_{41}		.
	.		.
	.		.
	.		.
	.		.
	A_{i1}	A_{i2}
			A_{ij}

De opgetreden waarde A_{ij} wordt nu verondersteld opgebouwd te zijn uit het produkt van de funkties $f(i)$ en $g(j)$, waarop de meteorologische korrektieterm C_{ij} wordt toegepast, dus:

		jaarnummer → j															
		'53	'54	'55	'56	'57	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	
week- nummer ↓ i	1	371	414	480	494	535	576	609	625	692	746	811	840	927	1001	1073	1.193
	2	366	414	467	519	556	585	511	658	704	756	864	878	926	1074	1106	1.224
	3	378	399	459	509	564	591	631	661	718	761	843	910	948	1072	1094	1.226
	4	376	421	464	512	551	571	614	635	719	746	836	893	949	1006	1064	1.211
	5	365	412	423	524	501	551	611	634	683	745	789	884	915	977	1060	1.175
	6	354	393	416	493	515	527	608	614	638	706	800	844	879	1009	1041	1.145
	7	327	378	409	468	490	484	574	579	611	695	756	824	874	1002	1071	1.102
	8	293	356	400	458	476	498	529	571	608	662	774	841	863	912	1017	1.068
	9	285	348	384	428	439	496	487	551	587	699	736	742	868	904	998	1.030
	10	301	328	377	407	432	468	500	561	574	666	683	822	833	910	988	1.017
	11	288	338	360	416	420	477	519	528	557	637	716	774	804	919	992	1.005
	12	282	321	376	387	418	471	514	526	578	631	702	771	836	894	990	.997
	13	274	330	372	400	423	446	474	552	566	638	682	760	764	925	1000	.987
	14	281	325	352	399	412	453	503	486	566	631	702	790	794	880	992	.981
	15	274	322	360	385	434	458	477	488	537	617	639	722	802	935	980	.966
	16	264	316	354	396	415	447	474	515	547	604	644	690	810	910	966	.957
	17	267	325	339	391	419	436	479	514	546	591	633	708	810	820	907	.944
	18	271	322	335	368	423	405	469	484	542	609	669	700	810	811	980	.939
	19	271	289	350	377	415	413	446	457	562	564	627	700	736	841	899	.914
	20	256	313	370	365	397	424	453	496	538	607	649	670	741	814	930	.924
	21	261	300	334	364	423	419	449	478	545	590	643	664	710	834	944	.914
	22	288	282	332	350	389	406	441	465	550	583	628	659	740	834	917	.903
	23	272	291	318	365	382	404	422	457	512	561	600	665	740	788	884	.881
	24	270	290	330	362	387	401	421	465	522	563	601	618	732	803	894	.884
	25	267	282	315	366	382	411	416	461	503	564	648	654	714	799	887	.881
	26	266	288	329	360	389	403	426	457	497	571	616	658	704	826	872	.881
	27	268	285	333	358	371	393	427	458	505	607	597	645	727	757	830	.873
	28	271	286	316	363	382	377	420	436	502	558	601	659	720	734	815	.860
	29	258	282	326	349	373	365	396	426	487	546	592	625	647	710	782	.832
	30	249	270	282	334	350	346	372	398	440	474	542	579	658	719	777	.783
	31	241	238	292	312	314	358	381	385	423	464	493	552	665	767	827	.766
	32	247	270	309	308	341	385	407	446	446	519	532	595	678	787	864	.817
	33	258	279	318	343	377	397	419	467	484	536	576	654	705	786	900	.860
	34	275	303	325	354	386	406	422	474	529	562	638	670	728	823	897	.895
	35	272	292	332	365	385	403	425	498	503	559	625	659	777	825	922	.899
	36	275	296	323	383	388	405	424	488	532	576	645	672	765	825	952	.910
	37	282	304	346	382	422	415	428	477	532	575	615	673	754	834	956	.920
	38	286	311	342	376	425	423	432	502	508	608	612	685	734	828	975	.927
	39	286	336	341	377	427	434	437	477	522	583	671	691	765	856	930	.938
	40	294	333	366	399	416	435	442	492	546	596	685	683	747	888	1000	.959
	41	300	331	353	426	422	455	452	528	541	588	714	738	815	895	984	.982
	42	309	319	395	407	437	460	469	541	622	600	695	772	808	920	1011	1.008
	43	310	342	383	425	449	465	486	534	592	629	699	745	810	910	1005	1.015
	44	314	350	380	458	460	492	501	582	594	659	755	782	845	981	1068	1.060
	45	317	344	384	431	450	477	523	577	624	639	697	812	874	966	1071	1.054
	46	337	360	409	456	496	518	548	594	655	714	742	817	952	1029	1067	1.116
	47	365	391	425	504	523	547	563	617	677	741	778	813	952	1034	1098	1.164
	48	359	401	466	516	518	568	583	651	724	751	787	841	979	1071	1128	1.200
	49	378	420	484	529	536	590	618	683	721	787	838	894	977	1078	1131	1.241
	50	394	434	510	536	563	617	649	712	731	785	880	872	991	1077	1166	1.276
	51	411	443	517	537	589	615	647	710	760	795	872	904	995	1081	1174	1.294
		.520	.578	.647	.716	.760	.800	.851	.918	.998	1.092	1.194	1.281	1.402	1.550	1.686	

Tabel 1

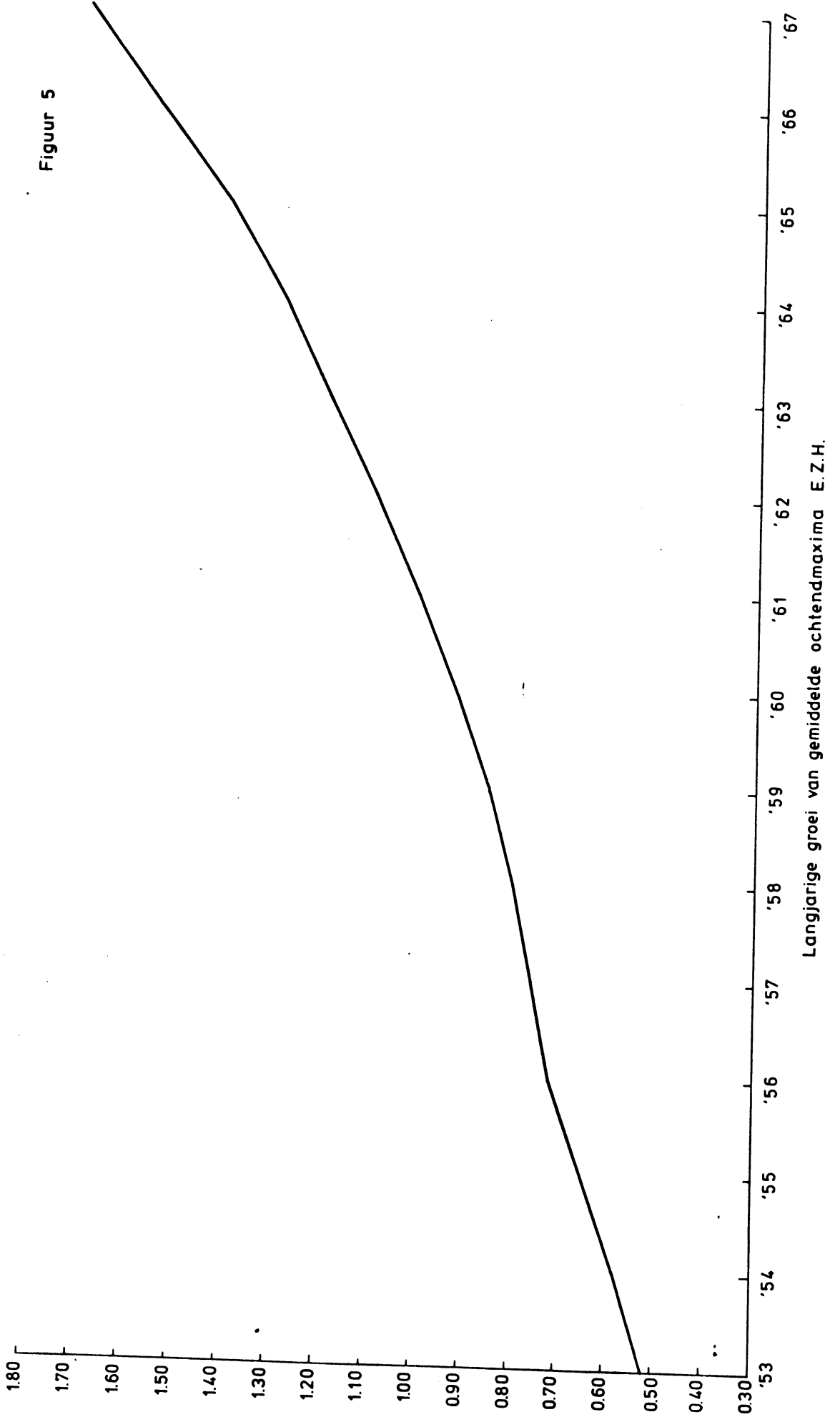
Gemiddeld ochtendmaxima E.Z.H. naar jaar- en weeknummer in MW. In de onderste rij staan de frakties, die aangeven welk gedeelte een bepaalde jaarsom J_j uitmaakt van de gemiddelde jaarsom. In de meest rechtse kolom staan de frakties, die het gedeelte aangeven dat een bepaald weekrijtotaal uitmaakt van het gemiddelde weekrijtotaal.

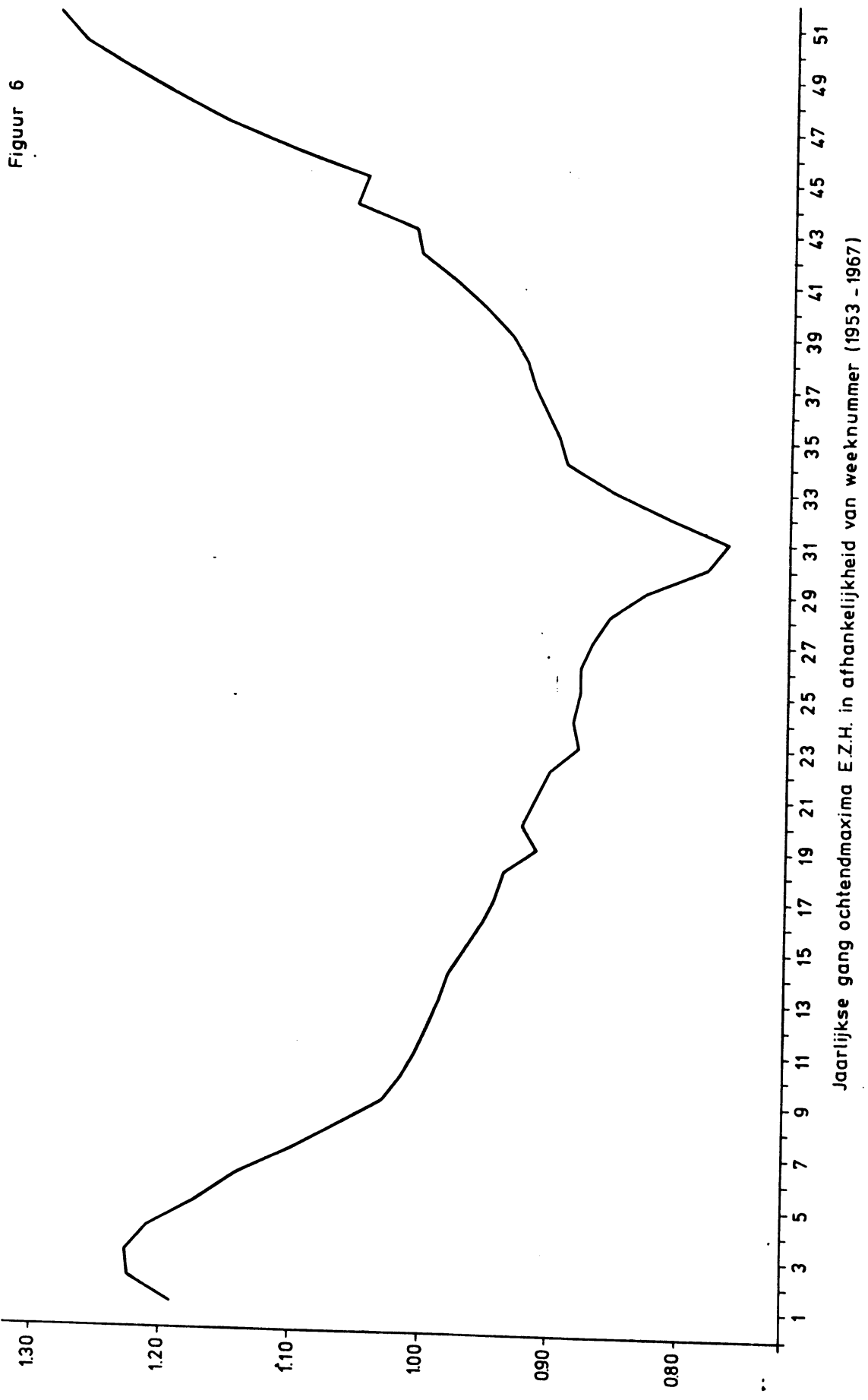
week- nummer ↓ i	jaarnummer → j															
	'53	'54	'55	'56	'57	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	
1	360	399	458	465	506	539	592	605	682	761	824	850	887	994	1092	1.131
2	357	390	430	473	509	531	597	626	656	718	843	857	899	1045	1090	1.127
3	352	377	427	462	514	526	583	641	677	713	827	876	899	1055	1062	1.122
4	350	392	428	469	495	521	565	610	691	701	810	849	902	994	1051	1.107
5	348	397	409	488	477	511	579	597	646	708	775	841	880	968	1058	1.092
6	344	384	415	467	468	511	580	594	624	688	784	824	880	1000	1054	1.082
7	322	375	418	471	480	507	574	602	613	693	773	821	879	1024	1090	1.080
8	319	366	420	481	480	516	557	601	625	683	785	853	882	956	1050	1.075
9	323	367	405	430	474	507	532	586	626	712	775	782	905	938	1045	1.055
10	324	355	392	438	473	507	532	585	621	684	736	840	856	942	1006	1.043
11	323	355	398	437	469	509	542	558	611	687	732	805	846	946	1023	1.038
12	320	352	398	414	469	502	536	554	620	672	742	805	856	935	1012	1.031
13	312	356	395	437	465	487	518	563	614	664	722	787	815	956	1008	1.022
14	305	351	386	421	460	490	526	537	600	669	712	792	835	895	1003	1.008
15	305	353	387	422	457	483	506	540	590	654	677	760	832	921	983	.997
16	293	346	388	422	445	477	512	550	590	624	678	730	804	912	971	.983
17	304	343	362	413	442	468	513	525	588	634	668	758	813	852	935	.970
18	294	342	377	393	450	449	507	512	574	627	697	730	812	842	930	.960
19	292	295	374	399	437	445	473	475	581	602	662	725	746	863	891	.928
20	272	331	377	394	407	444	461	508	574	626	673	695	766	795	910	.926
21	266	299	345	364	433	427	463	463	551	619	665	679	721	854	930	.901
22	285	292	332	358	385	400	444	455	562	604	619	646	743	804	889	.874
23	257	287	305	355	369	405	414	447	500	560	574	647	723	727	846	.830
24	247	273	308	353	349	391	403	425	515	529	577	607	690	728	841	.809
25	253	260	288	349	353	376	389	426	474	527	617	615	664	723	814	.796
26	236	271	295	345	346	371	397	446	466	551	589	632	663	768	795	.799
27	250	270	300	331	331	365	379	434	469	600	569	612	705	718	756	.792
28	256	260	285	337	343	355	381	420	470	533	569	616	689	685	744	.780
29	259	268	303	329	347	353	376	410	470	534	554	602	649	694	715	.773
30	248	277	280	322	340	349	376	402	457	481	528	591	668	700	728	.758
31	253	247	287	325	329	359	388	395	435	477	509	555	635	739	780	.751
32	244	282	306	312	341	377	398	446	449	543	537	577	642	753	817	.786
33	257	295	317	342	377	389	410	474	518	538	588	641	694	771	886	.837
34	283	314	317	351	384	407	420	481	546	576	675	680	755	837	882	.882
35	297	308	348	387	395	394	441	514	531	593	662	681	823	862	929	.911
36	309	326	350	401	421	436	453	535	589	614	731	708	846	860	1003	.957
37	313	343	392	422	479	456	479	528	588	640	694	739	823	901	1019	.990
38	334	363	378	430	470	471	493	561	578	715	692	765	809	913	1051	1.015
39	339	394	401	429	500	497	506	587	595	674	762	799	857	974	989	1.049
40	348	381	430	469	491	512	527	560	623	654	785	812	830	959	1055	1.066
41	352	383	416	493	493	520	541	604	625	690	768	841	897	997	1037	1.089
42	360	379	440	481	500	531	568	608	672	687	774	848	909	999	1076	1.109
43	367	391	437	492	482	522	565	607	656	713	758	841	909	1011	1082	1.109
44	364	388	432	479	502	533	557	609	649	701	774	828	916	1029	1094	1.110
45	370	397	441	487	505	535	582	645	687	695	777	831	927	1030	1112	1.130
46	377	403	454	504	527	554	595	650	699	761	797	876	1009	1064	1112	1.169
47	390	410	462	538	539	565	592	664	713	786	820	860	1001	1077	1131	1.191
48	393	424	478	534	542	557	610	662	768	770	828	877	1029	1116	1158	1.211
49	390	440	486	525	543	602	640	692	764	791	846	934	1023	1109	1170	1.237
50	408	436	503	546	558	612	656	707	752	801	905	907	1009	1117	1187	1.256
51	412	447	492	535	584	600	634	700	762	800	891	915	1026	1089	1190	1.254
	0.533	0.586	0.649	0.717	0.758	0.798	.854	0.923	1.009	1.110	1.201	1.281	1.400	1.535	1.656	

Tabel Ia

Gemiddeld avondmaxima E.Z.H. naar jaar en weeknummer in MW. In de onderste rij staan de frakties, die aangeven welk gedeelte een bepaalde jaarsom J_j uitmaakt van de gemiddelde jaarsom. In de meest rechtse kolom staan de frakties, die het gedeelte aangeven dat een bepaald weekrijtotaal uitmaakt van het gemiddelde weekrijtotaal.

Figuur 5





$$A_{ij} = D f(i) g(j) + C_{ij} = B_{ij} + C_{ij} \text{ met } \sum_i C_{ij} = 0 \text{ en } \sum_j C_{ij} = 0$$

$$\text{alsmede } B_{ij} = D f(i) g(j).$$

$$\sum_j A_{ij} = \sum_j B_{ij} = D f(i) \sum_j g(j) = W_i$$

$$\sum_i A_{ij} = \sum_i B_{ij} = D g(j) \sum_i f(i) = J_j$$

Mede uit dimensie-overwegingen stellen we $\sum_j g(j) = 1 = \sum_i f(i)$

$$\sum_i W_i = S = D \sum_i f(i) \sum_j g(j) = D \text{ waardoor } B_{ij} = S f(i) g(j).$$

Tenslotte wordt $B_{ij} = S \times \frac{W_i}{S} \times \frac{J_j}{S} = W_i \times J_j \times \frac{1}{S}$, dus onafhankelijk van de aard van de functies f en g , die respectievelijk de jaarlijkse gang en de langjarige groei voorstellen.

Voor elke combinatie i, j kan nu de opgetreden A_{ij} vergeleken worden met een basisbedrag B_{ij} , dat aan de hand van de S_i en S_j uit het A-schema afgeleid wordt. De verschillen tussen A_{ij} en de basisbedragen B_{ij} worden volgens het model C_{ij} genoemd en deze C_{ij} worden nu gekorreleerd met de weerfactoren, die voor korrelatie in aanmerking komen.

De methode ter bepaling van de bedragen B_{ij} uit de A_{ij} werd in samenwerking met KUIPERS uitgewerkt.

5.2. Kwantitatieve bepaling van de invloeden der meteorologische factoren

Voor een bepaling van de korrelaties tussen C_{ij} en meteorologische grootheden werd een ponskaart ontworpen, waarin behalve de C_{ij} (uitgedrukt in frakties van B_{ij}) de volgende gegevens zijn opgenomen, geldig tijdens het tijdstip van maximum:

- 1) temperatuur gemiddeld over 3 stations ten tijde van de maxima in het verzorgingsgebied van E.Z.H., t.w. IJpenburg, Valkenburg en Zestienhoven;
- 2) normaaltemperatuur ten tijde van de maxima over het tijdvak 1953 t/m het laatste beschikbare jaar gemiddeld over de 3 genoemde stations;
- 3) grootste bedekkingsgraad van de hemel met bewolking van laag en middelbaar type per 3 stations als helderheidsindicator (meteorologisch gekodeerd met lm), eveneens ten tijde van de maxima;
- 4) gemiddelde windsnelheid;
- 5) hoogste weerkodecijfer der 3 waarnemingsstations volgens meteorologische ww-kode (indien $ww \geq 40$).

In het verleden werd bij de bepaling van de invloeden der meteorologische parameters, i.v.m. rekentechnische beperkingen, slechts onderscheiden naar:

- 1) helderheid in de klassen helder en donker;
- 2) afwijkend van de aktuele temperatuur tot de normaaltemperatuur in klassen van 1°C .

Slechts in extreme gevallen werden globale toeslagen in rekening gebracht nl. bij meer dan krachtige wind bij temperaturen onder het vriespunt en slechts in gevallen van langdurige en intensieve regen konden toeslagen hiervoor geschat worden.

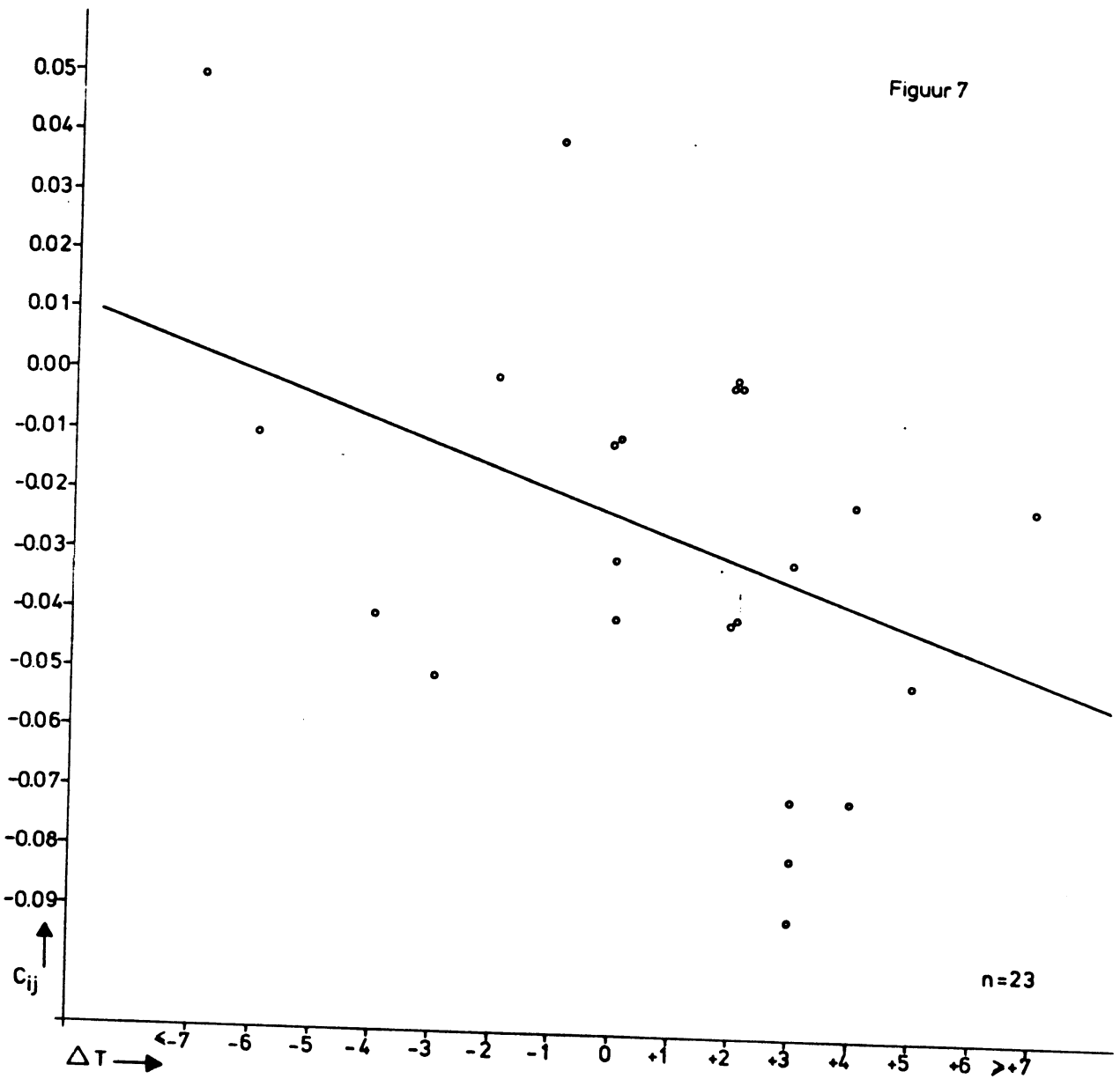
Het laat zich aanzien, dat ook bij machinale verwerking, waardoor meer materiaal kan worden meegenomen de klasse-indeling van helderheid en temperatuur toch niet fijner zal kunnen worden door de invoering van de windparameter en de onderscheiding naar de invloed van neerslag. Immers, het aantal beschikbare gevallen in de parameterdoorsneden neemt zoals bekend snel af met toenemend aantal parameters en toenemend aantal klassen per parameter.

Als voorbeeld voor de gekozen werkwijze (waarbij nog niet van machinale bewerking werd gebruik gemaakt) is in het nu volgende de invloed bepaald van helderheid en temperatuur in C_{ij} tijdens het ochtendmaximum in de maanden februari en maart (materiaal 1965 en 1966). Hierbij is dus geen onderscheid gemaakt naar wind- of neerslaginvloed. Uit fig. 7 en 8, waarin de temperatuurinvloed bij respektievelijk helder en donker weer op C_{ij} weergegeven is, blijkt dat er slechts 23 keer uitgesproken helder weer voorkwam, terwijl het in 35 gevallen uitgesproken donker was.

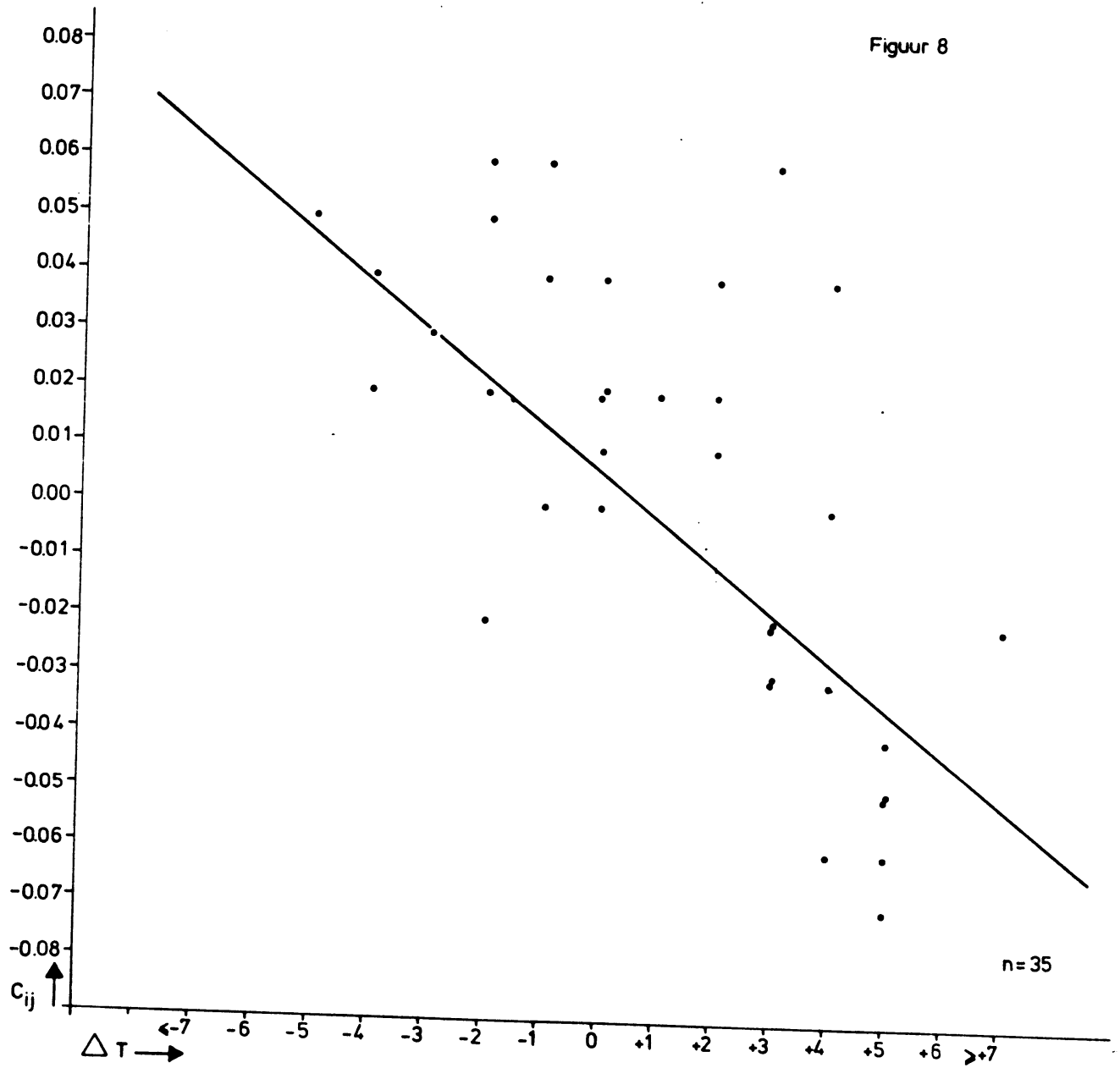
De overige gevallen (iets meer dan 50%) zijn zonder helderheidsmetingen niet te klassificeren en kunnen dus geen bijdrage leveren tot deze kwantitatieve bepaling.

Bij de onderstelling dat de afhankelijkheid lineair is bedraagt de beste schatting voor de temperatuurinvloed op het ochtend maximum bij helder weer (fig. 7) $m = -0.4\%$ per $^{\circ}\text{C}$. De grote spreiding kan gedeeltelijk worden verklaard uit o.a. de windsnelheid, maar zoals opgemerkt komt er snel een einde aan de bruikbaarheid van het beschikbare materiaal bij verder toename van het aantal parameters.

Bovendien dient men bedacht te zijn op een mogelijke verandering van een invloedsfaktor met de tijd t.g.v. veranderde technische mogelijkheden. De nog steeds toenemende invloed van het gebruik van aardgas is tijdens de seizoensovergangen in voor- en najaar sinds 1967 duidelijk merkbaar in de vorm van een geringere temperatuurafhankelijkheid. De spreiding in de temperatuursinvloed bij donker weer (fig. 8) is beduidend minder en de beste schatting bedraagt: $m = -0.8\%$ per $^{\circ}\text{C}$. Ook hier geldt, dat een gedeelte van de spreiding verklaard kan worden door de windsnelheid en de neerslag erbij te betrekken.



Invloed van temperatuur op ochtendmaximum bij helder weer in Februari en Maart (E.Z.H materiaal 1965 en 1966)



Invloed van temperatuur op ochtendmaximum bij donker weer
in Februari en Maart (E.Z.H materiaal 1965 en 1966)

Het ligt in de bedoeling om na het gereedkomen van de ponskaarten een meer gedetailleerd onderzoek te verrichten naar de kwantitatieve invloeden der meteorologische parameters zoals hierboven uiteengezet.

6. Semi-objektieve methode voor schatting der maxima

De schattingen komen tot stand door op geëxtrapoleerde basisbedragen meteorologische korrekties aan te brengen zoals uiteengezet in par. 5. Hieronder volgt een praktijkvoorbeeld met betrekking tot de ochtendmaxima uit begin februari 1972. Hierbij stellen B, V en O respectievelijk basisbedrag, verwachte en opgetreden waarde en S de voorspelde waarde voor (eenheid MW).

S is de uiteindelijk voorspelde waarde (schatting), die aan het elektriciteitsbedrijf wordt opgegeven; V is de verwachte waarde, die resulteert door toepassing van een correctie via opgetreden temperatuur- en helderheidswaarden op een geëxtrapoleerd basisbedrag B.

Verder stelt ΔT de opgetreden temperatuurafwijking, H de opgetreden helderheid in de klassen h, t.h., t.d. en d (t = tamelijk) voor, zodat in voorkomende gevallen tussen de korrekties voor h en d geïnterpoleerd moet worden. k stelt de meteorologische correctie via (T,H)-tabel voor (tabel 2) en Δ de grootte (O - V), terwijl verder meteorologische bijzonderheden die van invloed kunnen zijn in de kolom ww vermeld zijn.

(T,H)-korrektietabel februari-maart

$\Delta T \rightarrow$	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
h \rightarrow	+70	+60	+50	+40	+30	+20	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	
d \rightarrow			+110	+95	+80	+65	+50	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20		

Tabel 2

S	1972	T	H	B	k	V	O	Δ	ww
1100	30 jan	-8	h	1000	+70	1070	1101	+31	NE 15 kts
1750	31 jan	-7	t.d.	1660	+110	1770	1765	-5	E 20 kts
1650	1 feb	-6	t.h.	1560	+50	1610	1665	+55	E 20 kts
1650	2 feb	+1	d	1560	+20	1580	1619	+39	regen
1580	3 feb	+3	t.h.	1560	(-5)	1555	1597	+42	
1580	4 feb	+6	h	1560	-30	1530	1587	+57	
1220	5 feb	+2	t.h.	1230	-10	1220	1214	-6	

Tabel 3

De afwijkingen Δ kunnen met de ons beschikbare middelen niet altijd meteorologisch verklaard worden. Zij kunnen het gevolg zijn van niet-meteorologische factoren, maar ook een gevolg van een onjuiste bepaling der basisbedragen. Uit ervaring blijkt dat soms wind en regenval een belangrijke verhoging veroorzaken (zie 30 jan, 1 en 2 feb).

Bij een opgave van de uiteindelijke schatting S kan door een ervaren meteoroloog echter rekening worden gehouden met een gebleken tijdelijke systematische onder- of overschatting van de basisbedragen.

Een belangrijke meteorologische foutenbron schuilt zoals bekend in de voorspellingen van de helderheid en in mindere mate in die van de temperatuur. Deze kan worden geëlimineerd door de restfouten te beschouwen na correctie voor de opgetreden meteorologische parameters ΔT en H .

Door de variantie van $O - V = \Delta$ te vergelijken met de uitgangsvanantie van de opgetreden $O - B = v$, kunnen we de kwaliteit van de gebruikte (T,H) correctie-tabel beoordelen.

Dit betekent de maximale verbetering, die met het (T,H) schema te bereiken is omdat we van de opgetreden waarden voor T en H zijn uitgegaan. Tenslotte kunnen we zien wat het uiteindelijke resultaat is van subjectieve verdere correcties van de meteoroloog door de variantie te bepalen van de verschillen f tussen de voorspelde waarden S en de opgetreden waarden O .

In tabel 4 zijn de frekwentieverdelingen van $O - \bar{O} = u$, $O - B = v$, $O - V = \Delta$ en $O - S = f$ te vinden alsmede de bijbehorende varianties van u , v , Δ en f (\bar{O} stelt het gemiddelde der opgetreden waarden voor). De resultaten van een onderzoek van de ochtendmaxima uit de afgelopen winter 1971/1972, d.w.z. de maanden december, januari en februari worden hieronder weergegeven (voor werkdagen).

eenheid (MW)	< -110	-110/-91	-90/-71	-70/-51	-50/-31	-30/-11	-10/10	11/30	31/50	51/70	71/90	91/110	variantie	st. dev.	gemidd.
$O - \bar{O} = u$	1	0	1	6	7	8	13	9	4	3	3	2	var $u = 2049$	$s_u = 45$	$\bar{O}_2 = 1572$
$O - B = v$	0	0	0	0	1	0	10	22	8	5	6	5	var $v = 2373$	$s_v = 49$	$O_1 = 1647$
$O - V = \Delta$	0	0	0	1	10	10	20	6	6	2	2	0	var $\Delta = 929$	$s_\Delta = 30$	$\Delta = 0$
$O - S = f$	0	0	0	1	5	9	20	16	4	2	0	0	var $f = 585$	$s_f = 24$	$\bar{f} = +2$

Tabel 4

In de u-frekventieverdeling vinden we de afwijkingen van de 13 voorgekomen maandagen t.o.v. hun gemiddelde $\bar{O}_1 = 1647 \text{ MW}$, alsmede de afwijkingen van de overige 44 werkdagen t.o.v. hun gemiddelde $\bar{O}_2 = 1572 \text{ MW}$.

De kwaliteit van de meteorologische korrekties kunnen we vinden door de variantie van de verschillen tussen opgetreden waarden O en basisbedragen B (dus na niet-meteorologische aanpassing) te vergelijken met de variantie van de verschillen tussen opgetreden waarden en V-waarden (dus meteorologische aanpassing via opgetreden T en H).

We vergelijken dus $\text{var } v = \text{var } (O - B) = 2373 \text{ MW}^2$ met $\text{var } \Delta = \text{var } (O - V) = 929 \text{ MW}^2$.

De variantie-redukctie door meteorologische aanpassing bedraagt dan $\frac{2373 - 929}{2373} = 0.61$.

De kwaliteit van de schattingen S kan worden afgeleid uit de relatieve variantiereduktie $\frac{2373 - 585}{2373} = 0.75$.

Dit betekent dat 25% van de variantie niet "verklaard" kan worden en het gevolg zijn kan van o.a.:

- 1) fout in de schatting van meteorologische parameterwaarden;
- 2) ontoereikendheid van de gebruikte relaties;
- 3) foutieve basisbedragen;
- 4) niet-voorspelbare sociale factoren;
- 5) meetfouten bij de centrales.

Wat punt 4 betreft zij nog vermeld dat in de bovenbeschreven periode de feestdagen en vakanties in de tweede helft van december alsmede de stakingsdagen in de industrie niet opgenomen zijn. Wat punt 5 betreft kan worden opgemerkt dat de s.d. van de meetfout 1 à 2% bedraagt. Tenslotte moet opgemerkt worden, dat de weerdienst met de juiste aankondigingen van zowel de vorstperiodes als de tijdstippen van de invallende dooi een grote bijdrage heeft geleverd tot de hoge kwaliteit van de ochtend-schattingen in de afgelopen winter.

7. Samenvatting

In het voorgaande is de invloed besproken van de weersomstandigheden op de elektrische vermogenspieken die tweemaal per etmaal optreden. Daartoe moet een analyse worden gemaakt, die het materiaal homogeniseert d.m.v. eliminatie van de niet-meteorologische factoren, met name:

- 1) karakter van de dag;
- 2) langjarige groei;
- 3) jaarlijkse en wekelijkse gang.

De verschillen die bestaan tussen de gehomogeniseerde waarden en werkelijk opgetreden waarden werden gekorrigeerd met enkele belangrijke meteorologische parameters t.w.

- 1) temperatuur;
- 2) helderheid via bedekkingsgraad.

Vooruitlopend op een mechanische bewerking, die een betere bepaling van de weersinvloeden mogelijk moet maken, is een semi-objektieve methode ontwikkeld voor schatting der ochtend- en avondmaxima. Het is gebleken dat de kwaliteit der schattingen zeer gevoelig is voor de kwaliteit der meteorologische verwachtingen. Dit is mede een gevolg van het feit dat de interdiurne veranderlijkheid der maxima op vergelijkbare dagen bijna uitsluitend terug te voeren is tot de veranderlijkheid der weersfactoren.

Literatuur

- 1) P. Schiller, An analysis of the load of a modern electricity-supply system (1943).
- 2) H.A. Dryar, Load dispatching and Philadelphia weather, Bull. Am. Meteor. Soc. (1949).
- 3) C.P. Corey, The effects of weather upon the electric power systems, Bull. Am. Meteor. Soc. (1949).
- 4) F. Stephens, A method of analysing weather effects on electric power systems, Bull. Am. Meteor. Soc. (1951).
- 5) M. Kromrey, Einfluss des Wetters auf die elektrische Energieversorgung, Met. Abhandl. Fr. Univ. Berlin (1954).
- 6) W.J.A. Kuipers and A.W. Zuidweg, The influence of atmospheric conditions on the consumption of electric energy in the Netherlands (1955).
- 7) M. Davies, Grid system operation and the weather, Weather (1960).
- 8) B.J. Mason, The role of meteorology in national economy, Weather (1966).
- 9) W.J. Maunder, Weather and electric power, The value of weather (1969).
- 10) S.R. Johnson et al, Temperature modification and costs of electric power generation, Journ. Appl. Meteor. (1969).