

DE JAARLIJKSE EN DAGELIJKSE
GANG VAN HET DAGLICHT
IN NEDERLAND

DOOR

J. J. M. REESINCK EN D. A. DE VRIES



Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool
Deel 46 — Verhandeling 1

H. VEENMAN & ZONEN — WAGENINGEN — 1942

~~66742~~ 20418884

DE JAARLIJKSE EN DAGELIJKSE GANG VAN HET DAGLICHT IN NEDERLAND

DOOR

J. J. M. REESINCK EN D. A. DE VRIES

Natuurkundig Laboratorium L.H.S., directeur: Prof. J. A. Prins

§ 1. Een volledig overzicht van het daglicht in Nederland zou op zijn minst vereisen, dat men voor het centrum en de vier hoeken des lands ¹⁾ de intensiteit van de *directe zonnestraling* en die van de *diffuse hemelstraling* afzonderlijk registreert, gesplitst naar de golflengte. Een verdeling in enkele golflengtegebieden, b.v. ultrarood-roodgeel-groenblauw-ultraviolet kan hierbij voorlopig voldoende geacht worden. Door samenwerking van verschillende instanties zou een dergelijk programma heel wel verwezenlijkt kunnen worden.

Met het oog op de publicatieomvang is het gewenst en voor de klimatologie is het ook voldoende, dat de dagelijkse registreerkrommen in portefeuille blijven en slechts de middelwaarden over een lange periode gepubliceerd worden. In deze geest is reeds een eerste stap in de gewenste richting gedaan door een publicatie van Dr C. BRAAK ²⁾ over de gemiddelde *zonneshijnduur* op de hoofdstations van het K.N.M.I. De zonneshijnduur is echter slechts een povere representant ³⁾ voor de intensiteit, daar hij alleen aangeeft, gedurende welke tijd de directe zonnestraling boven een zekere grenswaarde is, nl. die waarbij het papier van de autograaf van Campbell-Stokes inbrandt.

Daarom geven wij in het volgende als tweede stap, naar metingen van het Natuurkundig Laboratorium der L.H.S. te Wageningen, een overzicht over de *energiewaarden* van het daglicht, waaronder wij verstaan de som van directe zonnestraling en hemelstraling („globaal”), voor alle golflengten samen („totaal”) op een horizontaal oppervlak. Deze grootheid wordt wel de *totale globale straling* genoemd.

Er valt hier ook nog een onderzoek te noemen, dat reeds enige tijd geleden verricht is aan het Fysisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit te Utrecht ⁴⁾. Hierbij werd de totale globale straling op een horizontaal oppervlak *visueel fotometrisch* gemeten. Door het ontbreken van een voortdurende registrering en door het gering aantal waarnemingsjaren past dit onderzoek niet geheel in het bovenstaande kader. Daar staat tegenover, dat de straling spectroscopisch uiteengelegd werd, waardoor het de beide bovengenoemde onderzoekingen op welkome wijze aanvult.

Overigens moet men zich over de veranderlijkheid van de spectrale samenstelling van het daglicht geen overdreven voorstellingen vor-

men. De bewolking heeft hierop haast geen invloed, omdat de wolken-druppels wegens hun betrekkelijk grote afmetingen alle golflengten ongeveer even sterk verstrooien. Selectieve extinctie treedt pas op in het violet, ten gevolge van verstrooiing door colloïdale en moleculaire luchtdeeltjes, en in het ultrarood, ten gevolge van absorptie door waterdamp. Fig. 1 laat nu zien, hoe volgens berekening ⁵⁾ het directe zonnespectrum door deze twee invloeden verandert bij het passeren

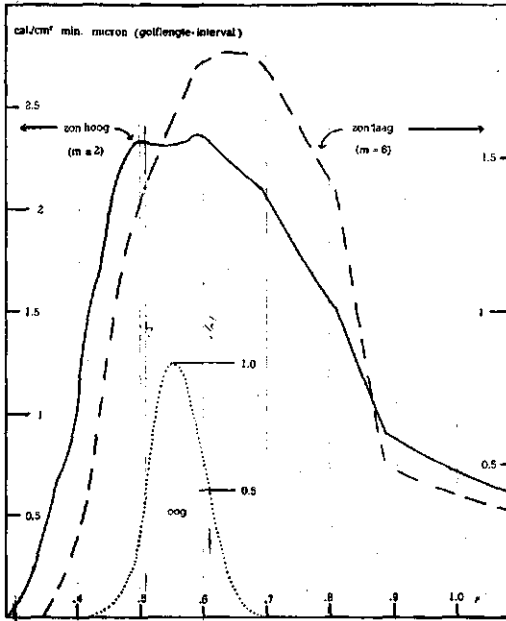


Fig. 1.
Zonnespectrum bij heldere atmosfeer voor zonshoogten van 30° (zomer) en 10° (winter). De waterdampdruk is in beide gevallen 10 mm Hg op zeeniveau. De absorptie in het ultrarood is geschematiseerd. De fijn-gestippelde curve geeft de spectrale gevoeligheid van het oog weer.

van twee, resp. zes heldere atmosferedikten, beide bij een waterdampdruk van 10 mm Hg. We merken bij deze figuur op:

a. De krommen zijn herleid op gelijke totaalenergie (gelijk oppervlak). Hierdoor springt het toenemen van het rood bij dalende zon in het oog. In het aangegeven gevoeligheidsgebied van het oog evenwel bedraagt de relatieve toename in het rood en afname in het blauw slechts ongeveer 15%. In het globale licht is dit effect nog iets zwakker, omdat een deel van het verstrooide blauw in het diffuse hemellicht terugkeert.

b. Om de lichtsterkte in lux van een spectrum te berekenen vermenigvuldigt men de energiestroom van elk golflengtegebiedje in watt per m² met 624 en met de plaatselijke gevoeligheid van het oog en sommeert over alle golflengten. Doet men dit in fig. 1, dan vindt men als lichtequivalent voor een calorie per cm² per uur voor hoge zon 1,22 kilolux en voor lage zon (onderbroken curve) 1,30 kilolux. Dat deze

twee getallen zo weinig verschillen, hangt ermee samen, dat in fig. 1 de ordinaten van beide kurven vrijwel gelijk zijn in het gebied van maximale ooggevoeligheid.

c. Het gemiddelde der bovenstaande waarden voor het „lichtequivalent van 1 calorie per uur per cm^2 in het daglicht” is 1,26 kilolux. Langs experimentele weg werd 1,30 gevonden voor Maarten 1,24 voor Augustus 1941 (uitersten ongeveer 1,40 bij regen en 1,15 bij heldere zon) door de aanwijzingen van de Wageningse energiemeter (thermozuil met zwart oppervlak) met die van een door de K.E.M.A. geijkte luxmeter te vergelijken. Ten slotte zij er op gewezen, dat KIMBALL in Washington ongeveer 1,21 voor het daglichtequivalent gevonden heeft ⁶⁾, zodat men 1,26 als waarde voor de gematigde breedten universeel kan aanhouden, voor zover men niet op enkele procenten ziet. In een vorige verhandeling ⁷⁾ is door een vergissing de waarde 2,27 in plaats van 1,26 aangegeven, wat hiermee herroepen zij.

d. In het voorbijgaan zij opgemerkt, dat volgens fig. 1 het ultraroodpercentage bij lage zonnestand geringer is dan bij hogere. Dit is niet in strijd met de vroeger ⁷⁾ experimenteel gevonden afwezigheid van jaarlijkse gang in het ultraroodpercentage der *dagsommen*. Immers een lagere gemiddelde zonnestand gaat dan gepaard met een verschuiving van zomer naar herfst of voorjaar en dus met een vermindering van de waterdampdruk. Hierdoor wordt blijkbaar het bovengenoemde effect van de lagere zonnestand ongeveer gecompenseerd.

§ 2. Na deze voorbereidingen gaan we over tot een beschouwing van de *jaarlijkse* gang der *dagsommen*. Het materiaal daarvoor wordt gevormd door vroeger gepubliceerde metingen ⁷⁾, over de zomerhalfjaren 1930—1940, aangevuld met metingen over de volle jaren 1938—1940, die hieronder volgen in tabel I. Een waarde tussen haakjes is niet direct gemeten, maar door berekening uit de zonneschijnduur of bewolking afgeleid. ³⁾

§ 3. De *jaarlijkse* gang der *dagsommen* is voorgesteld in fig. 2 en wel geeft:

1. De *trapgrafiek* de maandgemiddelden. Voor de gemiddelden van dag tot dag is een *gestippelde kromme* eraan toegevoegd (zie ook fig. 6).

2. De *bovenste lijn* de zeer heldere dagen, zoals er ongeveer 1 à 2 per jaar zijn.

3. De *tweede lijn* de tamelijk heldere dagen, zoals er ongeveer 10 à 20 per jaar zijn.

4. De *open cirkels* de grootheden Q uit de formule van ÅNGSTRÖM (zie tabel II). Dit zijn de door extrapolatie tot maximale zonneschijnduur gevonden waarden van de *dagsom* ³⁾. Ze kunnen daarom worden opgevat als de ideale maximale waarden van laatstgenoemde.

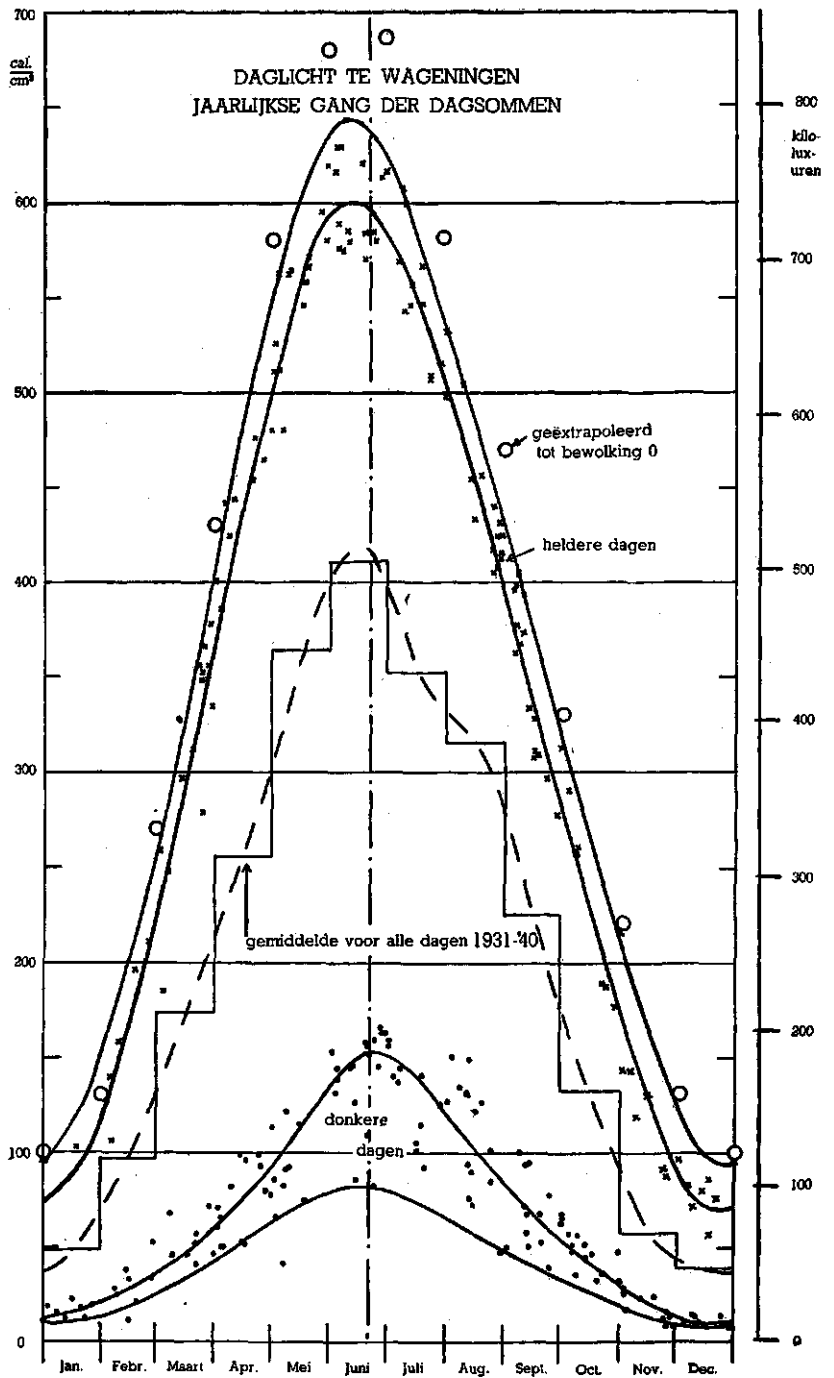


Fig. 2.

Jaarlijkse gang der dagsommen van de totale globale straling.

5. De *onderste lijn* de zeer donkere dagen, zoals er ongeveer 1 à 2 per jaar zijn.

6. De *op-een-na-onderste lijn* de tamelijk donkere dagen, zoals er ongeveer 10 à 20 per jaar zijn.

Bij deze figuur valt op te merken.

a. Eén exceptioneel donkere dag valt nog ver onder laatstgenoemde kromme. Dit is 7 Mei 1931, een dag, die zoo rijk was aan onweten, dat prof. VAN EVERDINGEN er een artikel aan gewijd heeft.⁸⁾ Ook 15 Februari 1939 schijnt zeer donker te zijn geweest. Theoretisch is er natuurlijk geen andere benedengrens voor de dagsom dan de waarde nul.

b. T.o.v. de langste dag vertoont de gehele onderhelft van de figuur geen duidelijke asymmetrie. Wel is deze aanwezig in de bovenste helft. Zowel voor de maximale als voor de gemiddelde dagsom is de kant van Mei duidelijk hoger dan die van Juli en Augustus. Dit is te verwachten in verband met het geringere waterdampgehalte van de atmosfeer in Mei.

c. De cirkels, d.w.z. de door extrapolatie gevonden waarden voor 100% relatieve zonnenschijnduur, liggen nog iets hoger dan de werkelijk waargenomen waarden op de helderste dagen.

d. Een meer volledig overzicht van de verdeling der dagsommen verkrijgt men door niet alleen op het gemiddelde en de uiterste waarden te letten, maar ook op de frequentie der tussenliggende waarden. Dit is geschied in fig. 8 (zie ook § 5).

§ 4. Voor het opmaken van de *dagelijkse gang* zijn de oorspronkelijke registreerkrommen voor iedere dag van uur tot uur uitgemeten met behulp van een erop geplaatste doorzichtige schaal. Als contrôle dient hierbij, dat de som der uurwaarden de vroeger genoemde dagsom moet opleveren.

De aldus gevonden dagelijkse gang is, na middeling over de ten dienste staande perioden, aangegeven in fig. 3, voor elke maand afzonderlijk. Voor iedere kromme is telkens de hele maand gebruikt, nadat de daglengten en intensiteiten door een geringe correctie op het midden van die maand herleid zijn. De verschillende decaden zijn nog door verschillende tekens aangeduid. In het algemeen vertonen deze onderling geen systematisch verschil. Een uitzondering vormt de eerste decade van Maart, waar we echter geneigd zijn dit aan het toeval toe te schrijven.

a. Bij onderlinge vergelijking der krommen van fig. 3 komt goed tot uiting, dat èn de daglengte èn de intensiteit in de winter de dagsom kleiner maken dan in de zomer, terwijl uit fig. 2 en fig. 8 blijkt, dat in de winter de gemiddelde dagsom in verhouding tot de maximale lager uitvalt dan in de zomer, ten gevolge van de zwaardere bewolking in de winter.

DÄGELIJKSE GANG VAN HET DAGLICHT
(ENERGIE PER HORIZONTALE CM) VOOR ELKE MAAND

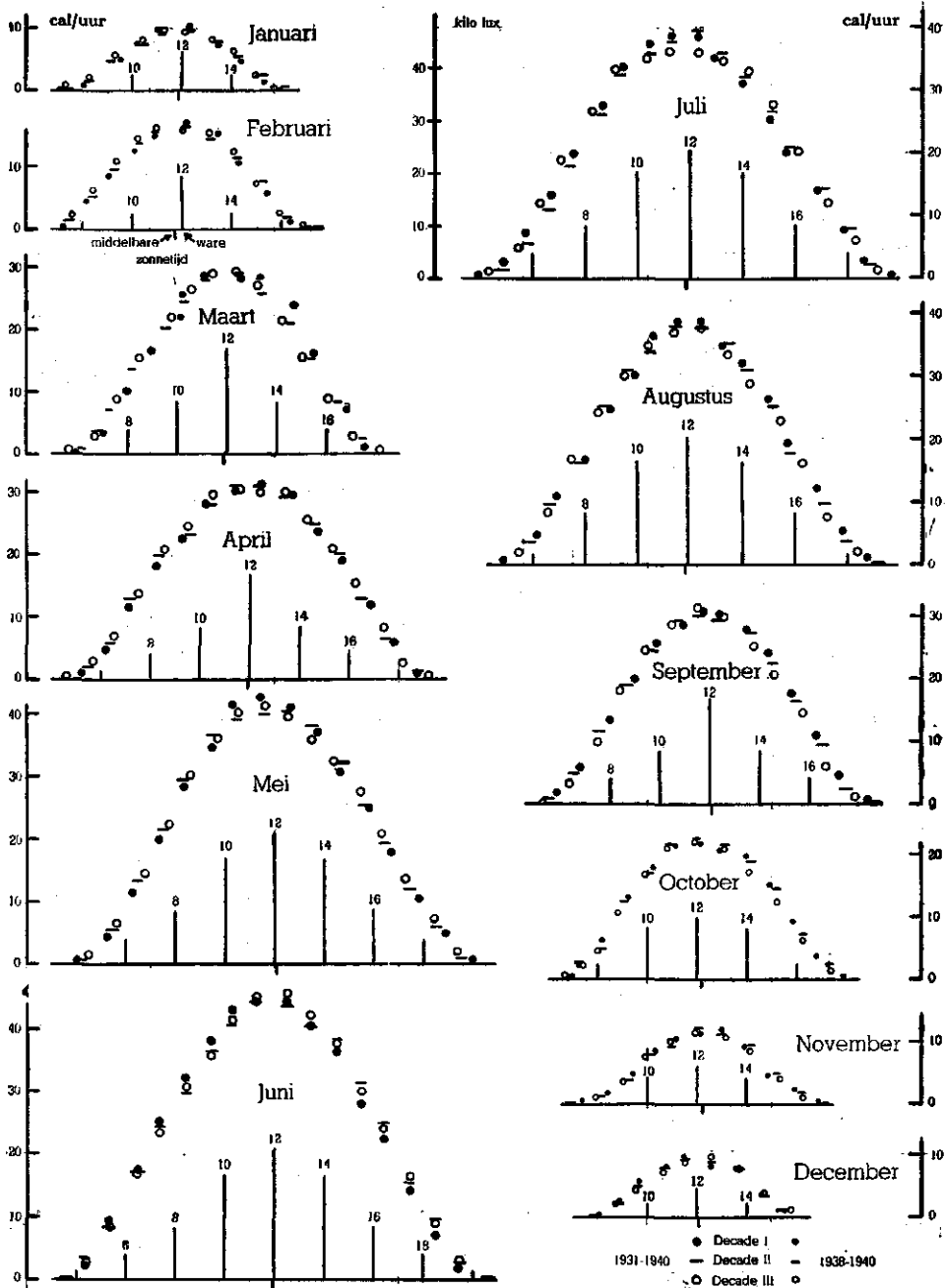


Fig. 3.

Uurwaarden van de totale globale straling voor elke maand afzonderlijk.

b. Een opvallende trek van alle krommen van fig. 3 is de bijna volledige symmetrie t.o.v. de (ware) middaglijn. Een eventuele asymmetrische dagelijkse gang van de bewolking spiegelt zich dus nauwelijks in de intensiteit van het daglicht af. Het grote aantal dagen met sterke en geringe bewolking (verg. fig. 8), die uiteraard niet tot asymmetrie aanleiding geven, vormt een gedeeltelijke verklaring van dit feit. Voor de dagen met gebroken bewolking blijkt bovendien bij beschouwing van de registreerkrommen ⁹⁾, dat het toenemen van de diffuse straling het effect van de verminderde directe straling grotendeels compenseert. Tenslotte is het waarschijnlijk, dat de dagelijkse gang van de bewolking te Wageningen tamelijk symmetrisch is, wegens de overgang van kustgebied met ochtendmaximum naar binnenland met namiddagmaximum. We hebben volledigheidshalve de heldere dagen (gedefinieerd als in § 6) ook afzonderlijk onderzocht, maar vinden geen grotere asymmetrie dan voor het gemiddelde van alle dagen (zie c).

c. Om de gemiddelde dagelijkse gang nog iets scherper te analyseren hebben we de resultaten voor alle maanden samengevoegd in fig. 4, na reductie op gelijke daglengte en gelijke dagsom. Er komt zodoende een universeel verloop voor de dag, dat alleen voor de wintermaanden iets vlakker is dan voor de andere maanden. In fig. 7 is dit nog iets duidelijker te zien. Hierin valt ook gemakkelijk een zeer lichte

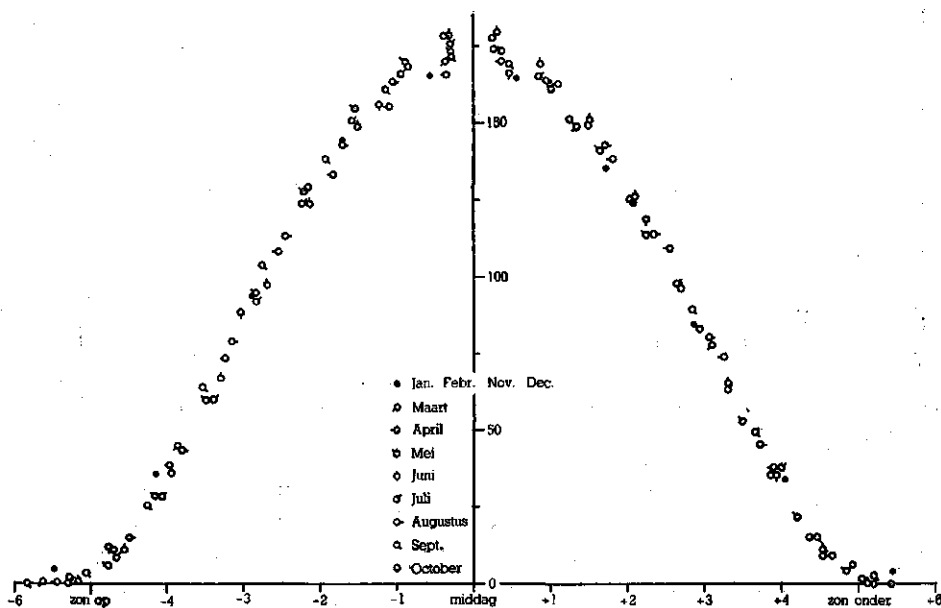


Fig. 4. Daglichtwaarnemingen voor alle maanden, op één schaal gereduceerd.

asymmetrie te constateren: de linkerhelft van de figuur heeft een ongeveer 4% groter oppervlak dan de rechterhelft, naar we veronderstellen in verband met een iets sterkere bewolking of thermische turbulentie-troebeling 's middags.

d. Het flauwere verloop van de dagkromme in de winter is geheel in overeenstemming met de theoretische verwachting en kan zelfs bij verwaarlozing van de atmosferische absorptie gemakkelijk in formule gebracht worden, nl.:

$$i = i_0 s \text{ met } s = \sin h = \sin d \sin b + \cos d \cos b \cos A.$$

Hierin is i de intensiteit op een horizontaal oppervlak, i_0 de zonconstante (1.940 cal./cm² min.). Verder is d de declinatie van de zon, b de breedte van de plaats van waarneming, h de zonshoogte en A de uurhoek van de zon (Tab. III).

e. Ook bij aanwezigheid van een wolkendek met verstrooiingscoëfficiënt v en dikte δ hebben wij een formule kunnen afleiden (zie § 7), nl.:

$$i = i_0 \frac{[(1+s) + (1-s)E]s}{2+\delta} \text{ met } E = e^{-\delta/s} \text{ en } \delta = vd.$$

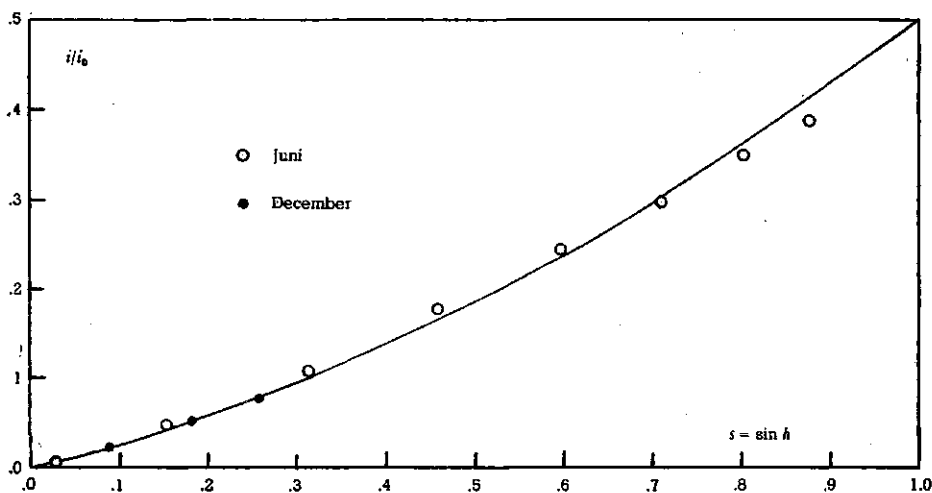


Fig. 4a. Intensiteit als functie van de zonshoogte, bij aanwezigheid van een gemiddeld wolkendek.

In fig. 4a is deze functie door de getrokken lijn voorgesteld voor $\delta = 2$, welke waarde voor de zomermaanden het beste voldoet. Voor het meer bewolkte winterhalfjaar voldoet $\delta = 2,5$ iets beter. Het verschil is echter bij kleine s -waarden nog niet van betekenis, zodat in fig. 4a de meetresultaten van December even goed op de kurve vallen als die voor Juni.

Alleen de schemering wordt door onze vergelijking niet juist weergegeven.

§ 5. In het voorgaande hebben we ons bezig gehouden met de gemiddelde waarden van de intensiteit. We willen nu de *kans* aangeven, dat deze op een zeker tijdstip tussen *twee bepaalde grenzen* ligt. Hier toe is een statistiek opgemaakt, zowel van de dagsommen als van de uurwaarden.

De *dagsommen*, I , werden door deling met de Q -waarden uit de formule van Tab. II tot relatieve dagsommen omgerekend. De uitkomsten werden voor elke maand verzameld en verdeeld over de volgende intervallen: 0,075–0,10, 0,10–0,15, 0,15–0,20, 0,20–0,30, 0,30–0,40..., 0,70–0,80, 0,80–0,85, 0,85–0,90, 0,90–0,95, 0,95–1,00. De aldus verkregen frequentiefuncties zijn voorgesteld in fig. 8.

Voor de *uurwaarden* werd iets dergelijks gedaan. De werkwijze was hier minder eenvoudig dan in het voorgaande geval; uitvoerige gegevens hierover vindt men in § 6. De resultaten zijn in fig. 9 aangegeven. Abscissen zijn de intensiteiten in delen van de gemiddelde; de ordinaten geven de kans in % per interval van 0,1 op de abscissenschaal. *Tussen de frequentiefuncties voor verschillende uren van de dag voor een zelfde maand bestaat geen duidelijk verschil* ¹⁰⁾; voor iedere maand is daarom een gemiddelde frequentie-kromme getekend ¹¹⁾.

De krommen voor de zomermaanden vertonen een top bij 1,5, die voor de wintermaanden een top bij 0,5; de overgangsmaanden hebben beide toppen, doch minder scherp. Een vergelijk van deze krommen met die van de dagsommen toont, dat voor iedere maand het verloop in beide gevallen analoog is. Dat de absciswaarden hierbij niet overeenstemmen, komt doordat deze voor de dagsommen delen van de *maximale*, voor de uurwaarden daarentegen delen van de *gemiddelde* intensiteit aangeven. We merken nog op, dat in de grafiek van de dagwaarden de toppen meer naar het midden liggen. Dit is ook te verwachten, daar b.v. dagen met een heldere ochtend en betrokken namiddag in het uurdiagram twee toppen aan de uiteinden, in het dagdiagram daarentegen één top in het midden zullen veroorzaken.

§ 6. Voor het maken van de statistiek der uurwaarden werden de dagen, waarvoor het verloop der intensiteit is gemeten, verdeeld in drie groepen naar de verhouding van de dagsom I tot de grootheid Q uit de formule van ÅNGSTRÖM ³⁾ (zie tabel II); voor de drie groepen is resp. $I > 0,708 Q$ (heldere dagen), $0,448 Q \leq I < 0,708 Q$ (halfbewolkte dagen) en $I < 0,448 Q$ (betrokken dagen); dit stemt volgens formule (4) van genoemde verhandeling overeen met $W < 0,2$, $0,2 \leq W \leq 0,8$ en $W > 0,8$; de aantallen heldere, half-bewolkte en betrokken dagen vertonen in onze betrekkelijk korte waarnemings-

reeks begrijpelijkerwijze grote systematische verschillen met de overeenkomstige aantallen voor De Bilt ²⁾). We hebben daarom de volgende herleiding toegepast: Voor elke groep, voor iedere decade en voor elk uur van de dag werd het aantal malen geteld, dat een uurwaarde der stralingsintensiteit voorkwam van 0, 1-2, 3-5, 6-10, 11-15, 16-20, ... cal/cm². Verwacht mag worden, dat voor iedere groep de verkregen frequentiefunctie behoorlijk representatief is; de aantallen heldere, half-bewolkte en betrokken dagen vertonen echter grote toevallige schommelingen ¹²⁾). Deze werden nu eerst als volgt vereffend. De aantallen heldere dagen werden tegen de tijd van het jaar uitgezet en door een kromme voorgesteld; uit de kromme werden de vereffende aantallen heldere dagen afgelezen. Voor de betrokken dagen werd hetzelfde gedaan, maar voor deze groep kon ook een lineair verband met de aantallen voor De Bilt worden afgeleid; de volgens beide methoden vereffende aantallen stemmen behoorlijk overeen; zij werden tenslotte gemiddeld en het gemiddelde werd definitief als vereffend aantal betrokken dagen aangenomen. De frequentiefuncties voor de drie groepen werden nu voor iedere decade voor ieder uur samengevoegd; de groepen heldere, halfbewolkte en betrokken dagen kregen daarbij gewichten overeenstemmende met de vereffende aantallen van dergelijke dagen in de betreffende decade. Vervolgens werden de frequenties omgerekend tot frequentiedichtheden per interval van 0,1 van de gemiddelde intensiteit voor dat uur. Zo werd dus voor iedere decade voor ieder uur van de dag een frequentiefunctie afgeleid; deze functies werden voor telkens twee opeenvolgende uren en voor de drie decaden van een maand bij elkaar gevoegd. De verkregen gemiddelden vormen het materiaal, waarop fig. 9 berust. Fig. 5 laat zien voor Juni en December, hoe de frequentiefunctie is opgebouwd uit de afzonderlijke frequentiefuncties voor heldere, half-bewolkte en betrokken dagen.

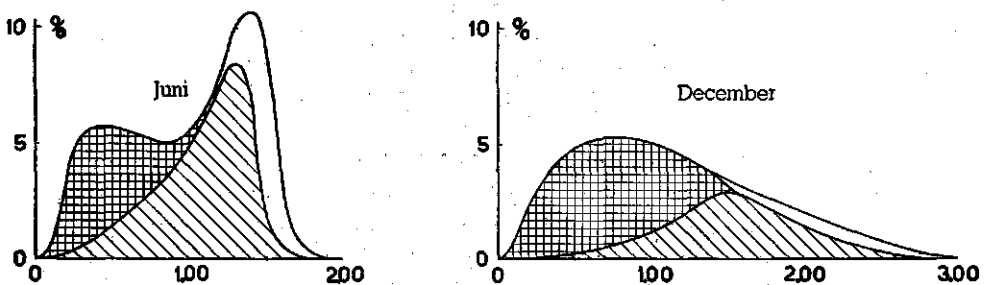


Fig. 5. Samenstelling van de frequentiekromme voor de uurwaarden uit die voor betrokken, half-bewolkte en heldere dagen afzonderlijk.

§ 7. Voor het afleiden van de in § 4e gegeven formule veronderstellen we, dat van de in een zeker volume-element verstrooide straling de

helft verticaal naar boven, de andere helft verticaal naar beneden gaat.¹³⁾ Elk deel bedraagt dus per volume-eenheid een breukdeel $\frac{1}{2}v$ van de ter plaatse heersende straling. Beschouw nu een cilindertje met grondvlak 1 en hoogte dx , gelegen op een diepte x in de wolkenlaag. Er gaan drie stralingen door:

1. directe zonnestraling, met een intensiteit:

$$I(x) = i_0 e^{-vx/s},$$

2. verstrooide straling in benedenwaartse richting, met een intensiteit $A(x)$,

3. dito in bovenwaartse richting $B(x)$.

Totaal verstrooit het cilindertje:

$$v(I + A + B) dx.$$

Van de benedenwaartse straling wordt door het cilindertje een hoeveelheid $v A dx$ weggenomen; anderzijds wordt er een bedrag $\frac{1}{2}v(I + A + B) dx$ aan toegevoegd. Iets dergelijks geldt voor de andere richting. Dus in formule:

$$\frac{dA}{dx} = \frac{1}{2}v(I - A + B) \quad \text{en} \quad \frac{dB}{dx} = \frac{1}{2}v(-I - A + B).$$

Door optellen en aftrekken vindt men vergelijkingen voor $(A + B)$ en $(A - B)$, die geïntegreerd kunnen worden en met de grensvoorwaarden $A(0) = 0$ en $B(d) = 0$ tenslotte geven:

$$A(d) = i_0 \frac{[-E - sE - \delta E + I + s] s}{2 + \delta},$$

waarin δ en E de reeds in § 4e aangegeven afkortingen zijn. Bij de zo berekende benedenwaartse verstrooide straling moet nu nog de verticale component van het directe zonlicht geteld worden:

$$s I(d) = i_0 E s.$$

Dit geeft:

$$i(d) = A(d) + sI(d) = i_0 \frac{[I + s + (I-s)E] s}{2 + \delta}.$$

Bij benadering op enkele procenten kan men, behalve voor zeer kleine waarden van δ , de breuk vervangen door de veel eenvoudigere:

$$i = i_0 \frac{s(1 + s)}{2 + \delta}.$$

Hierin kan men nog voor i_0 bij benadering 2 invullen en voor de gemiddelde waarde van δ te Wageningen ook ongeveer 2.

TABEL I
DAGSOMMEN IN CALORIEËN VAN DE TOTALE GLOBALE ZONNESCHIJN TE WAGENINGEN

1938	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	—	(117)	98	105	113	417	195	396	305	195	49	56 ⁵
2	—	65	109	59 ⁷	160 ⁵	417	306	408	124	195	124	95 ⁵
3	—	42	232	272	326	410	338	486	264	280	(77)	33 ⁵
4	—	45	195	306	563	539	178	434	173	159	17	77 ⁹
5	—	199	118	196	545	353	338	330	200	70	29	09 ⁸
6	—	53	249	125	473	575	275	433	272	136	44	57 ¹
7	—	116	98 ⁵	182	150	570	506	255	282	96	22	78 ⁵
8	—	142	188	325	407	340	252	134	242	224	(48)	39 ⁴
9	19	25	54 ⁸	282	546	206	153	223	313	36	(48)	63 ⁸
10	21	48	45 ⁷	385	495	511	295	296	373	110	(48)	42 ⁷
<i>D</i>	20 ⁶	79 ²	139 ⁸	223 ⁸	377 ⁹	433 ⁸	283 ⁸	339 ⁵	254 ⁸	150 ¹	50 ⁶	55 ⁸
11	26	124	(285)	216	554	473	243	294	202	215	(84)	73 ⁸
12	12	59	282	272	517	590	166	244	103	172	(91)	37 ⁸
13	15	117	90 ⁵	132 ⁵	490	412	307	192	324	52	(65)	49 ⁵
14	52	77	297	97 ⁵	494	356	475	352	155	169	(39)	53 ⁹
15	(45)	33	282	143 ⁷	404	248	340	281	364	194	27	29 ⁴
16	34	165	142	129 ⁴	412	273	330	208	314	185	34	38 ⁴
17	23	142	45 ⁷	339	153	389	281	229	334	47	32	85 ⁸
18	45	196	129	417	75	570	140	238	264	117	28	83 ⁹
19	33	185	(319)	316	315	447	348	400	260	60	32	88 ⁵
20	21	123	312	370	318	478	146 ⁵	211	313	193	83	77 ⁹
<i>D</i>	30 ⁵	122 ¹	218 ⁴	243 ³	372 ²	423 ⁶	277 ⁷	264 ⁹	263 ³	140 ⁴	51 ⁵	61 ⁷
21	18	156	308	296	168	560	167 ⁵	235	183	181	47 ⁷	23 ⁵
22	31	62	285	145	434	525	344	288	266	189	40 ⁸	24 ⁷
23	44	118	277	156	433	286	390	346	275	176	20 ⁸	56 ¹
24	71	207	283	270	354	191	450	405	290	188	40 ⁴	34 ⁹
25	59	211	78 ⁶	200	232	455	328	440	175	174	39 ⁹	64 ⁴
26	38	136	217	465	396	405	208	114	287	98	30 ⁴	58 ⁸
27	93	35	97 ⁹	432	511	166	326	199	137	53	31 ⁸	58 ⁸
28	35	33	256	320	272	301	360	330	192	82	15 ⁵	46 ⁵
29	58		72 ¹	431	346	201	496	148	231	113	25 ¹	42 ⁵
30	70		81 ²	188	426	313	515	52	162	49	54 ⁷	58 ⁴
31	21		311 111.5.9		396		498	211		48		63 ⁹
<i>D</i>	46 ⁹	119 ⁸	206 ⁰	290 ³	360 ⁷	340 ⁸	371 ²	257 ⁸	219 ⁸	122 ⁸	34 ⁵	48 ⁴
<i>M</i>	—	2971	5838	7574	11469	11977	9696	8812	7379	4256	1367	1703

D = Decadengemiddelde

M = Maandsom

Alles gerekend per horizontale cm²

TABEL I

DAGSOMMEN IN CALORIEËN VAN DE TOTALE GLOBALE ZONNESCHIJN TE WAGENINGEN

1939	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	11 ⁰	93	150	322	92	590	156	238	358	125	82	50
2	18 ⁴	32	150	174	169	560	459	338	345	198	119	35
3	(36)	77	240	356	436	616	378	222	245	239	26	68
4	24 ¹	71	234	154	428	602	562	278	166	291	44	68
5	7 ⁶	108	99	285	443	532	457	343	270	141	106	21
6	75 ¹	106	159	70	480	545	429	301	(314)	197	143	45
7	33 ⁴	108	198	354	482	578	278	316	(340)	52	47	69
8	34 ⁷	59	68	398	121	570	246	261	(344)	258	39	32
9	42 ⁶	55	191	413	250	494	479	346	(316)	158	81	15
10	43 ¹	69	248	443	403	587	330	238	(183)	42	107	14
<i>D</i>	32 ⁶	77 ⁶	173 ⁷	296 ⁹	330 ⁴	567 ⁴	377 ⁴	288 ¹	288 ¹	170 ¹	79 ⁴	41 ⁷
11	22 ⁵	38	175	435	421	226	297	131	(256)	114	72	16
12	24 ⁴	133	239	384	129	324	329	368	92	86	23	11
13	63 ⁹	74	175	358	262	523	557	325	166	89	57	13
14	36 ⁷	155	146	209	495	561	420	389	138	37	62	10
15	36 ⁶	10	266	203	192	453	234	303	244	71	35	13
16	29 ³	26	200	52	189	494	431	387	284	123	39	25
17	50 ¹	134	93	224	273	313	302	430	328	179	89	45
18	35 ⁶	172	189	335	376	525	461	388	282	28	56	57
19	21 ⁸	21	96	383	231	355	258	456	289	53	24	15
20	20 ⁰	(170)	141	454	520	349	395	373	178	33	(58)	29
<i>D</i>	34 ⁰	93 ⁸	172 ⁰	303 ⁷	308 ⁸	412 ⁸	368 ⁴	355 ⁰	225 ⁷	81 ⁸	51 ⁶	23 ⁴
21	34 ³	87	210	373	522	505	483	341	173	139	75	51
22	17 ¹	183	57	274	468	456	283	289	130	29	94	31
23	12 ⁴	112	193	307	497	462	227	378	158	163	76	15
24	24 ⁸	92	180	133	523	82	281	331	217	72	13	14
25	61 ³	44	188	271	603	217	187	417	191	71	63	9
26	37 ⁸	170	109	455	595	376	206	296	185	115	9	36
27	19 ²	214	104	408	340	531	361	320	257	121	14	64
28	19 ⁸	212	105	341	490	393	231	308	277	27	77	23
29	95 ⁵		137	80	619	341	515	312	118	143	9	56
30	111 ⁹		335	78	579	498	334	361	260	155	19	26
31	113 ²		330		530		344	255		127		31
<i>D</i>	49 ⁷	139 ³	177 ¹	272 ⁰	524 ²	386 ¹	313 ⁸	328 ⁰	196 ⁶	105 ⁶	44 ⁹	32 ⁴
<i>M</i>	1213	2825	5405	8726	12158	13658	10910	10039	7104	3676	1758	1007

D — Decadengemiddelde*M* — MaandsomAlles gerekend per horizontale cm²

TABEL I

DAGSOMMEN IN CALORIEËN VAN DE TOTALE GLOBALE ZONNESCHIJN TE WAGENINGEN

1940	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	98	41	219	316	511	446	463	254	174	313	145	22
2	79	36	259	111	506	382	475	488	275	287	93	38
3	81	47	242	134	435	498	205	532	396	64	28	50
4	80	59	181	188	206	585	381	522	335	77	32	16
5	82	43	170	171	207	628	257	466	396	196	31	45
6	65	49	214	442	(434)	619	415	443	348	117	30	19
7	26	43	199	430	252	616	231	371	350	188	94	28
8	15	28	137	155	359	644	390	375	100	259	112	62
9	61	64	215	212	372	587	405	307	201	103	119	19
10	84	158	68	196	—	527	438	276	302	189	113	39
<i>D</i>	67 ¹	56 ⁸	190 ⁴	235 ⁵	364 ⁷	553 ²	366 ⁰	403 ⁴	287 ⁷	179 ²	79 ⁷	33 ⁸
11	80	74	178	209	—	314	299	270	333	177	131	34
12	82	135	188	118	—	203	485	405	231	160	63	37
13	75	133	98	433	—	127	303	345	59	178	91	81
14	29	68	38	165	—	83	291	166	249	147	78	54
15	49	70	241	159	—	241	227	341	125	146	132	72
16	15	71	136	425	—	292	201	394	224	153	50	58
17	113	105	71	329	—	544	198	161	136	97	40	12
18	72	101	105	270	—	586	423	407	223	91	107	10
19	103	92	122	250	—	428	270	212	174	183	25	26
20	64	163	145	479	—	563	360	313	256	196	59	57
<i>D</i>	68 ²	101 ²	132 ²	283 ⁷	—	338 ¹	305 ⁷	301 ⁴	201 ⁰	152 ⁸	77 ⁸	44 ¹
21	53	111	121	476	581	481	428	161	116	169	127	79
22	77	176	213	444	438	414	322	363	173	37	63	37
23	88	113	(117)	425	450	243	319	204	230	59	92	37
24	69	139	159	175	427	548	347	210	190	107	30	71
25	106	214	279	93	544	280	512	102	250	168	22	24
26	40	124	124	193	295	394	145	322	255	89	33	29
27	59	90	109	229	445	352	204	219	151	148	13	48
28	108	68	231	210	451	541	512	333	191	176	86	30
29	104	64	324	228	241	616	310	194	160	151	88	29
30	106		52	480	153	474	209	288	206	93	42	9 ⁸
31	54		353		320		204	279		32		35
<i>D</i>	78 ⁸	122 ¹	189 ⁸	295 ⁸	395 ⁰	434 ⁸	319 ⁸	243 ²	192 ²	111 ⁷	59 ⁸	38 ⁰
<i>M</i>	2217	2679	5308	8145	—	13256	10229	9723	6809	4549	2169	1207

D = Decadengemiddelde*M* = MaandsomAlles gerekend per horizontale cm²

TABEL I

DAGSOMMEN IN CALORIEËN VAN DE TOTALE GLOBALE ZONNESCHIJN TE WAGENINGEN

1941	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	49	13	200	300	203	523	513	84	303	160	52	81
2	93	31	50	181	526	551	526	359	372	285	59	87
3	92	49	95	246	431	356	508	387	162	288	20	15
4	29	128	93	265	486	552	334	387	400	213	109	55
5	37	160	93	200	224	550	525	324	296	188	53	13
6	35	69	195	89	302	69	590	332	302	106	43	15
7	51	34	129	437	366	474	600	312	379	128	142	40
8	20	39	52	457	275	415	558	169	240	84	114	31
9	105	36	90	423	463	554	543	362	223	43	113	12
10	64	86	235	454	556	315	581	145	66	41	72	14
<i>D</i>	57 ⁵	64 ⁵	123 ²	305 ²	383 ²	435 ⁹	527 ⁸	286 ¹	274 ⁸	153 ⁶	77 ⁷	36 ⁸
11	65	80	55	157	629	417	556	96	216	98	61	25
12	39	93	305	62	603	418	491	345	184	200	48	13
13	38	21	305	96	559	390	559	161	299	119	51	57
14	25	178	308	91	150	327	640	401	60	108	103	12
15	77	80	293	178	363	153	275	269	367	151	102	29
16	82	37	262	376	525	497	316	349	139	76	71	44
17	60	119	226	347	459	606	314	433	190	84	48	52
18	52	158	342	401	518	569	413	318	121	32	56	45
19	47	33	356	223	206	608	279	269	111	109	69	40
20	16	62	103	337	505	618	397	305	361	200	43	20
<i>D</i>	50 ¹	86 ¹	255 ⁵	226 ⁸	451 ⁷	460 ⁸	424 ⁰	294 ⁸	204 ⁸	117 ⁷	65 ²	33 ⁷
21	27	121	134	346	244	650	296	310	348	146	65	41
22	46	76	227	249	223	556	445	220	331	147	87	12
23	68	144	238	146	123	573	561	217	312	194	73	40
24	27	156	229	313	206	482	545	184	216	172	58	27
25	24	153	69	535	269	471	514	217	238	114	62	57
26	60	143	124	570	279	509	418	302	222	191	40	17
27	43	54	300	226	454	474	94	412	256	142	49	72
28	71	91	80	254	478	264	283	220	252	95	78	80
29	105		65	419	87	266	157	318	226	88	72	22
30	81		266	420	68	435	145	238	183	49	102	40
31	93		391		341		265	303		148		18
<i>D</i>	58 ⁶	117 ⁰	193 ⁰	347 ⁸	252 ⁰	468 ⁰	338 ⁴	267 ⁸	258 ⁴	135 ⁰	68 ⁶	38 ⁷
<i>M</i>	1721	2444	5910	8798	11121	13642	13241	8748	7375	4199	2115	1126

D = Decadengemiddelde*M* = MaandsomAlles gerekend per horizontale cm²

TABEL II

WAARDEN VAN Q UIT DE FORMULE VAN ÅNGSTRÖM VOOR WAGENINGEN (1938-'40):

$$I = Q \{ \alpha + (1-\alpha)R \} = 0,89 Q \{ 1 - (1-\alpha')W \}$$

I = dagsom in calorieën, $\alpha = 0,30$, R = relatieve zonneshijdduur, $\alpha' = 0,38$, W = bewolgingsgraad

Maand	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Datum												
1	98	162	280	452	608	682	678	594	456	323	195	111
2	99	164	285	458	612	683	676	590	452	319	190	110
3	100	167	290	464	616	684	674	585	448	315	185	109
4	101	170	295	470	620	685	672	580	444	311	180	108
5	102	173	300	476	624	686	670	575	440	307	175	107
6	104	177	305	482	628	687	668	570	435	303	171	106
7	106	181	310	488	632	688	666	565	430	299	166	105
8	108	185	315	494	636	689	664	560	425	295	162	104
9	111	190	320	500	639	690	662	555	420	291	157	103
10	113	195	326	505	642	691	660	550	415	287	153	102
11	115	199	332	510	645	692	658	545	410	283	149	101
12	117	203	337	515	648	693	656	541	406	278	145	100
13	119	207	343	520	651	694	653	537	402	274	140	99
14	120	210	348	525	654	694	650	534	397	270	136	98
15	121	213	354	530	657	694	647	530	393	266	133	97
16	123	216	360	535	660	693	645	526	389	263	130	96
17	125	219	366	540	662	693	643	523	385	259	128	95
18	127	223	371	545	665	692	640	519	380	255	125	95
19	129	227	376	550	667	691	637	515	375	250	123	94
20	130	231	382	555	669	690	635	510	370	245	122	94
21	132	235	388	560	671	689	633	505	365	240	121	94
22	135	240	394	565	672	688	630	500	360	236	120	94
23	138	245	400	570	673	687	626	495	355	233	119	94
24	140	250	406	575	674	686	623	490	351	229	118	94
25	143	255	412	580	675	686	620	486	347	225	117	95
26	147	260	418	585	676	685	616	481	343	220	116	95
27	150	265	423	590	677	684	613	476	339	216	115	96
28	153	270	428	595	678	683	610	472	335	213	114	96
29	156	275	434	600	679	682	606	468	331	209	113	97
30	158	—	440	604	680	680	602	464	327	205	112	97
31	160	—	446	—	681	—	598	460	—	200	—	97

Deze tabel en de volgende figuren bevatten in hun bijschriften volledige aanwijzing voor het beantwoorden der meest voor de hand liggende vragen omtrent het totale globale daglicht in Nederland. Men bedenke echter, dat 's zomers aan de kust de gemiddelde intensiteit groter is, in Den Helder ongeveer 20%, 's winters daarentegen iets lager, in Den Helder ongeveer 10%.

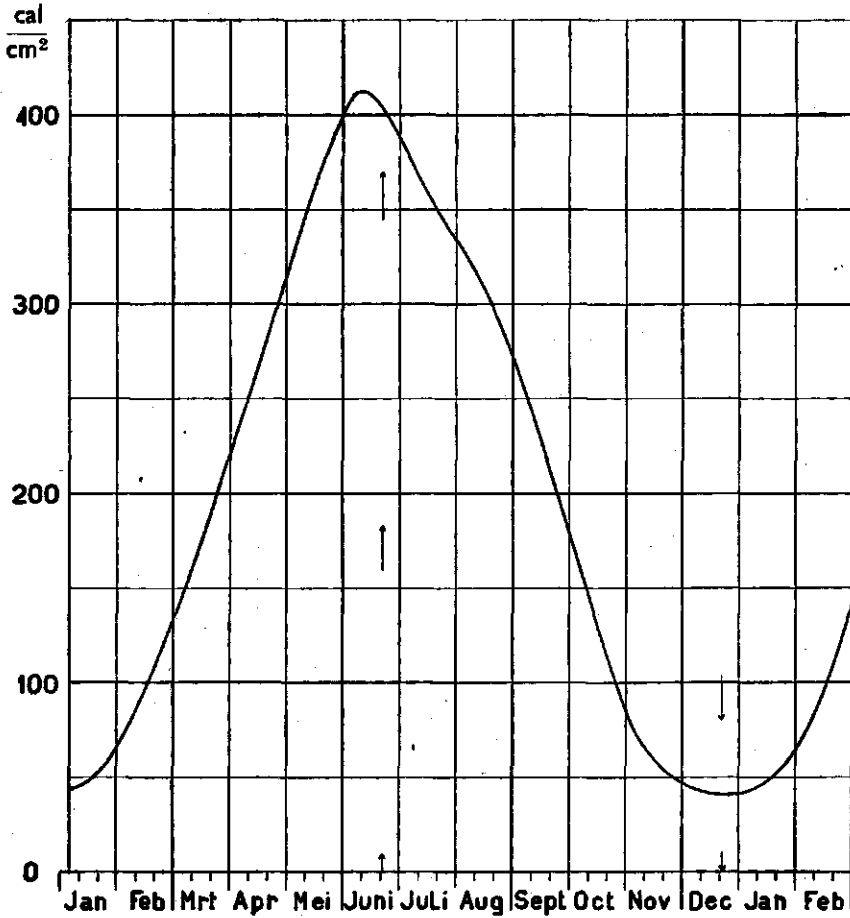


Fig. 6. Gemiddelde jaarlijkse gang van de dagsom van de totale globale zonne-schijn in Nederland (Wageningen 1930—1940). Men leest de gezochte waarde van de dagsom in calorieën per cm^2 horizontaal oppervlak onmiddellijk uit de figuur af. Vermenigvuldiging met 1,26 geeft de lichtsom in kiloluxuren.

Bij Fig. 8 (zie pag. 22). Om de kans te vinden, dat de dagsom in een willekeurig interval in de buurt van I ligt, vorme men eerst met behulp van tabel II de relatieve dagsomwaarden I/Q en zoek men bij dit getal als abscis in fig. 8 de ordinaat; deze geeft het gezochte in % per interval van 0,1 op de abscissenschaal.

TABEL III

GEGEVENS OVER DE ZONNESTAND IN DE LOOP VAN HET JAAR

 d = Declinatie van de zon in graden C = Culminatietijd van de zon in middelbare zonnetijd L = Daglengte L in uren (bovenrand zon met straalbreking)

De daglengte geldt voor 52° breedte (Arnhem-Wageningen-Gouda).

Voor 51° (Sittard-Gent) wordt de langste dag 0,2 korter, de kortste 0,2 langer.

Voor 53° (Assen-Den Helder) is het omgekeerd.

			d	C	L				d	C	L
			°	h m	h				°	h m	h
Jan.	1		-23,1	12.03	7,8	Juli	1		+23,1	12.04	16,6
	11		-22,0	12.07	8,1		11		+22,2	12.05	16,4
	21		-20,2	12.11	8,4		21		+20,6	12.06	16,0
Febr.	1		-17,5	12.13	9,1	Aug.	1		+18,1	12.06	15,5
	11		-14,5	12.14	9,7		11		+15,4	12.05	15,0
	21		-11,0	12.14	10,3		21		+12,3	12.03	14,4
Maart	1		- 7,9	12.13	10,9	Sept.	1		+ 8,5	12.00	13,6
	11		- 4,0	12.10	11,5		11		+ 4,7	11.57	13,0
	21		- 0,2	12.08	12,2		21		+ 0,9	11.53	12,3
April	1		+ 4,2	12.04	13,0	Oct.	1		- 3,0	11.50	11,6
	11		+ 8,0	12.01	13,6		11		- 6,9	11.47	11,0
	21		+11,6	11.59	14,2		21		-10,5	11.45	10,3
Mei	1		+14,8	11.57	14,9	Nov.	1		+14,3	11.44	9,6
	11		+17,7	11.56	15,4		11		+17,3	11.46	9,1
	21		+20,0	11.56	16,0		21		+19,8	11.46	8,6
Juni	1		+22,0	11.58	16,4	Dec.	1		-21,7	11.49	8,1
	11		+23,0	11.59	16,6		11		-23,0	11.53	7,8
	21		+23,4	12.01	16,8		21		-23,4	11.58	7,7

Behalve het bovengenoemde verschil in daglengte brengt de breedte ook een verschil in de middagintensiteit mee. Stelt men deze intensiteit evenredig met de sinus van de zonshoogte (§ 4e), dan vindt men, voortgaande van 52° breedte naar 53° breedte, een afname van de middagintensiteit met 1% op de langste dag en 7% op de kortste dag.

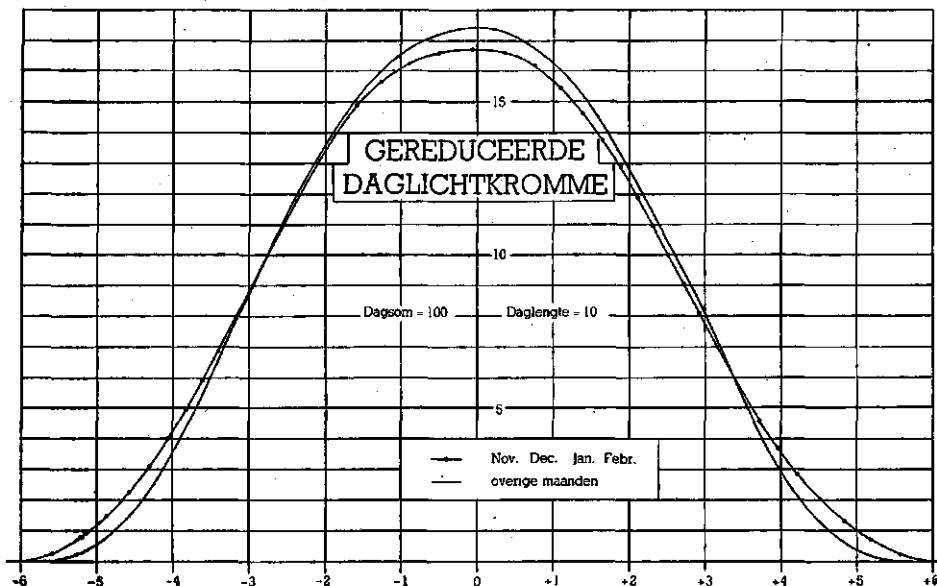


Fig. 7. Gereduceerde dagelijkse gang van de totale globale zonneshijn in Nederland (Wageningen 1930-1940). Om de gemiddelde intensiteit \bar{U} voor een zekere dag en uur te vinden, dele men met behulp van tabel III het verschil (in uren) tussen het uur en de ware middag door de daglengte, L , vermenigvuldige dit met 10 en zoek bij de uitkomst als abscis de ordinaat. Deze vermenigvuldigd met de dagsom/ $10L$ (fig. 6) geeft het gezochte in calorieën per cm^2 per uur. Vermenigvuldigen van de uitkomst met 1,26 geeft de waarde in kilolux.

Bij Fig. 9 (zie pag. 23). Om de kans te vinden, dat de uurwaarde in een willekeurig interval in de buurt van U ligt, vorme men U/\bar{U} en zoek men bij dit getal als abscis in fig. 9 de ordinaat; deze geeft het gezochte in % per interval van 0,1 op de abscissenschaal.

Opmerking: Het klokvormig uitvloeien der krommen in fig. 7 is voor een deel te wijten aan het werken met uurwaarden. Het ware verloop van de momentane intensiteit zal een minder brede voet vertonen.

Ook de statistiek van fig. 9 voor de uurwaarden zou voor de momentane waarden merkbaar anders worden. In dezelfde zin als fig. 9 zich van fig. 8 onderscheidt (§ 5 eind), zouden nl. voor de momentane waarden de frequentiekrommen van fig. 9 in het midden nog iets verlaagd en aan de uiteinden nog iets verhoogd moeten worden.

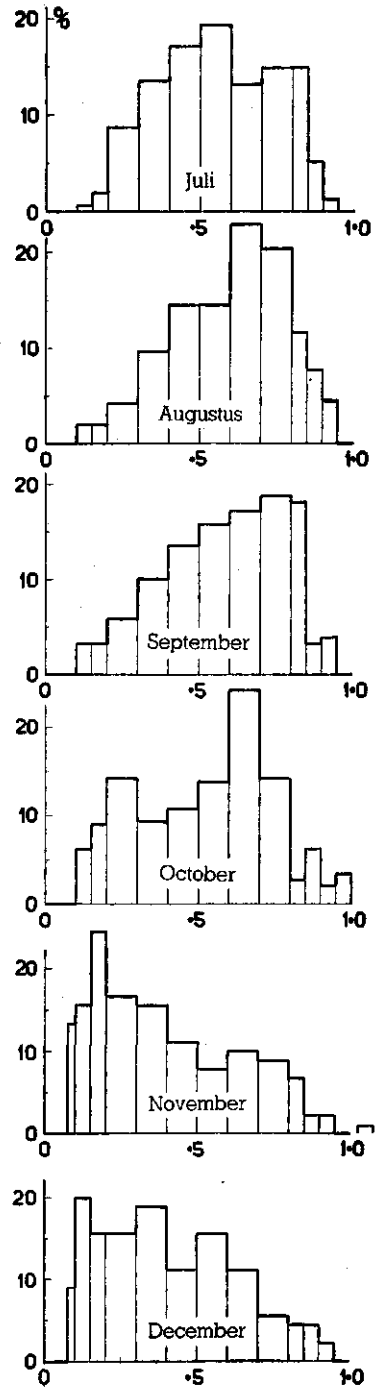
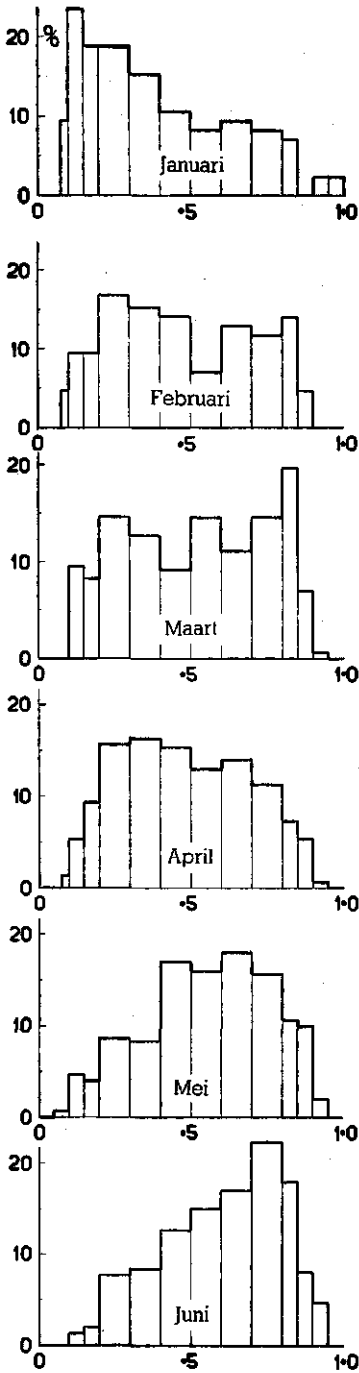


Fig. 8. Frequentiekrommen voor de dagsommen (zie onderschrift fig. 6).

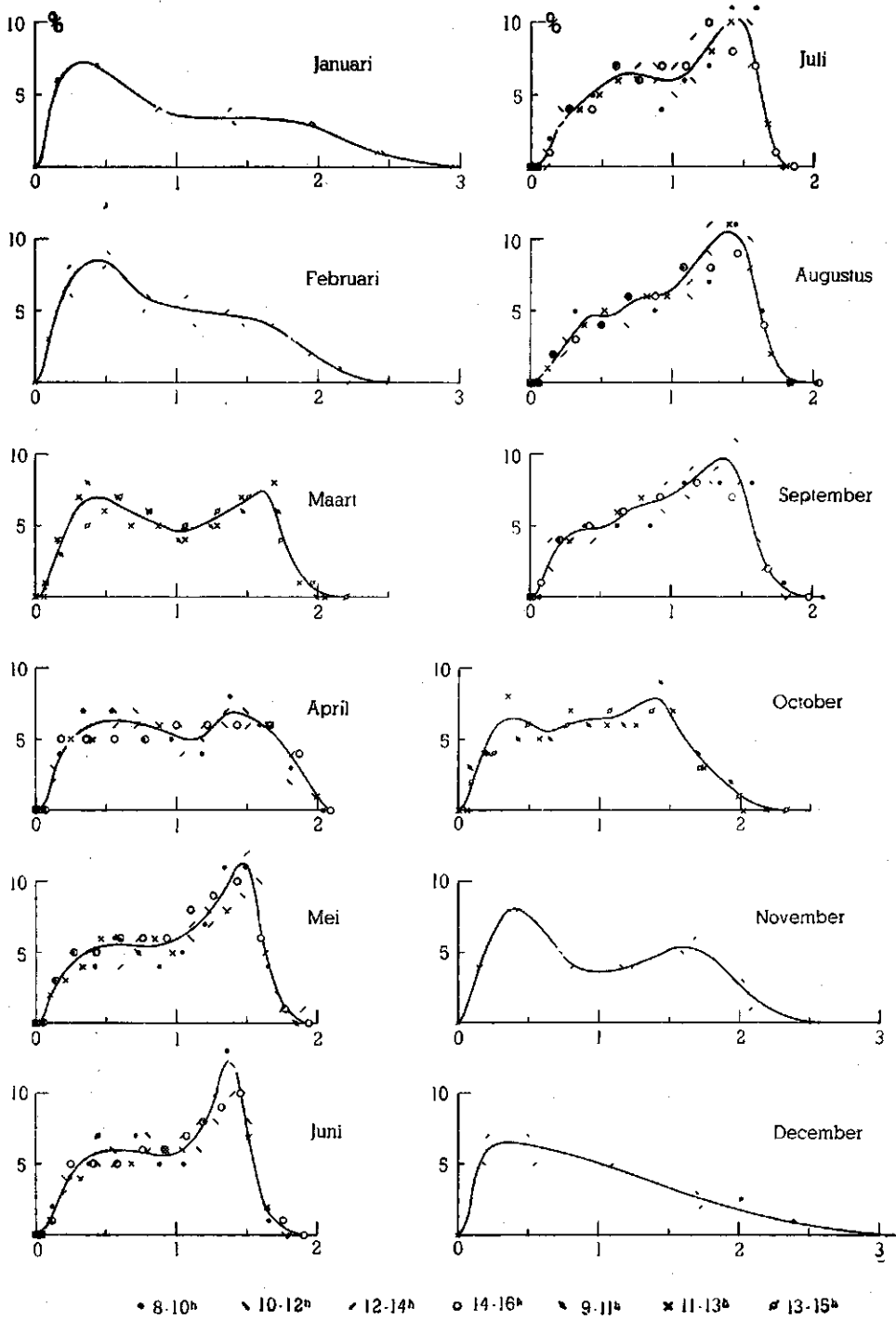


Fig. 9. Frequentiekrommen voor de uurwaarden (zie onderschrift fig. 7).

SUMMARY

Under daylight we understand the sum of direct radiation from the sun and diffuse radiation from the sky on a horizontal plane. Its energy has been measured from 1930 till 1941 at Wageningen. It is shown here that the illumination is closely proportional to the energy of the daylight, one calorie per cm^2 per hour corresponding to 1,26 kilolux.

The mean annual and daily variation of the daylight are given in fig. 6 and 7. The subscripts indicate the way in which these figures and fig. 8 and 9 should be used. Fig. 8 gives for the day sums the frequency of values expressed as parts of the maximum. Fig. 9 gives for the hourly values the frequency of values expressed as parts of the mean value.

It is shown that the results are in good agreement with theoretical expectation. A formula is derived for the mean daily variation. The annual variation shows a lower intensity after the summer solstice than before, due to the larger vapour pressure of water after the solstice and related with the occurrence of thermal thunderstorms at that time.

NOTEN

¹⁾ Voor andere plaatsen kan dan geïnterpoleerd worden met behulp van de bewolgingsgraad. Onze voorlopige resultaten te Den Helder wijzen op een aanmerkelijk grotere intensiteit dan te Wageningen, althans in de middaguren 's zomers. Dit verschil is veel groter dan dat der zonnenschijnuren en is misschien te wijten aan geringere thermische troebeling aan de kust.

²⁾ C. BRAAK, Zonnenschijn en Bewolking, Med. en Verh. K.N.M.I., 40, 1937.

³⁾ J. J. M. REESINCK, Med. L.H.S., 44, Verh. 5, 1940.

⁴⁾ G. W. POSTMA, Daylight measurements at Utrecht, Diss. Utrecht 1936; ook gepubliceerd in Proc. Royal Soc. Amsterdam, 16, 1, 1936.

⁵⁾ Getalwaarden ontleend aan tabellen van F. LINKE, Met. Taschenb., 1933.

⁶⁾ H. H. KIMBALL, Monthly Weather Rev., 52, 473, 1924.

⁷⁾ G. ZUIDHOF en D. A. DE VRIES, Med. L.H.S., 44, Verh. 4, 1940.

⁸⁾ E. v. EVERDINGEN, Hemel en Dampkring, 29, 250, 1931.

⁹⁾ J. A. PRINS en P. K. PEERLKAMP, Hemel en Dampkring, 38, 378, 1940.

¹⁰⁾ Voor enkele maanden hebben we nog de frequentiefunctie bepaald voor de twee ochtenduren voorafgaande aan en de twee namiddaguren volgende op die, welke in de figuur zijn behandeld. Het resultaat is in wezen hetzelfde als voor de andere uren.

¹¹⁾ In ieder grafiekje zijn de frequentiefuncties voor groepen van telkens twee uren door verschillende tekens aangeduid. Bij de wintermaanden zijn lichtere tekens gebruikt, omdat hier minder materiaal aanwezig was.

¹²⁾ Daar ons materiaal voor de wintermaanden slechts over drie jaren loopt, zijn grote toevallige schommelingen in de aantallen heldere en betrokken dagen te verwachten. Deze fluctuaties zijn vooral groot, doordat heldere en betrokken dagen niet toevallig over de tijd verdeeld zijn, doch heldere resp. betrokken tijdvakken van enkele dagen vormen.

¹³⁾ Vergelijk Schwarzschild's theorie van de zonneatmosfeer (Göttinger Nachr. 1906, 41). Wij hebben ook bij enkele andere onderstellingen omtrent de richtingafhankelijkheid van de verstrooide straling de berekening uitgevoerd, maar dit leidt niet tot wezenlijk andere resultaten.