

22 MEI 1959

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslagen V-46
(R III-229-1959)

Enkele metingen van de totale stralingsbalans
en zijn vier componenten op 1,60 m hoogte
boven een grasmat te De Bilt.

door

551.521.32

Dr. H.J. de Boer

INHOUD

	blz.
Samenvatting	2
1. Inleiding	3
2. De totale stralingsbalans van 29-7-1958 tot 18-8-1958	4
3. Ontbinding van de totale stralingsbalans in vier componenten.	6
4. De globale straling, de gereflecteerde straling, de uitstraling en de tegenstraling op 13 tot en met 17 augustus 1958.	9
Literatuur	13

Samenvatting

Met behulp van de stralingsbalansmeter van Suomi-Franssila is op 1,60 m hoogte boven een grasmat nabij het K.N.M.I. de totale stralingsbalans gedurende de 24 uurvakken van een 18 tal dagen in de zomer van 1958 gemeten. Onder de totale stralingsbalans wordt verstaan de hoeveelheid energie aan straling van ultra-korte tot en met ultra-lange golflengte, welke van boven naar beneden onder elke willekeurige hoek door een horizontaal vlak gaat, verminderd met de hoeveelheid energie van dezelfde soort straling, welke door hetzelfde horizontale vlak van beneden naar boven gaat. Gedurende de waarnemingsperiode bleek de balans positief te zijn vanaf een moment kort na zonsopgang tot ongeveer een uur vóór zonsondergang. Dit verschijnsel is eenvoudig te verklaren uit het verloop van de temperatuur van de grasmat.

Met behulp van 2 pyranometers volgens Moll-Gorczyński, welke tegen elkaar geschakeld waren, terwijl de ene naar boven gericht stond en de andere naar beneden, is op dezelfde plaats de kortgolvlige stralingsbalans gemeten op de dagen van 13 tot en met 17 augustus 1958. Die straling wordt kortgolvlig genoemd, waarvan de golflengte kleiner is dan 3 micron (3μ). Daar de globale straling voor die waargenomen uurvakken bekend is door metingen op de toren, is ook de gereflecteerde straling bekend. Het quotient van de gereflecteerde en de globale straling wordt albedo genoemd. De albedo van de grasmat bleek gemiddeld over die 5 dagen 0,15 te bedragen; eveneens bleek, dat gemiddeld over die 5 dagen de albedo in de ochtenduren niet significant groter is dan in de namiddaguren.

Door de kortgolvlige balans af te trekken van de totale stralingsbalans wordt de langgolvlige stralingsbalans verkregen. Onder langgolvlige straling wordt die straling verstaan, waarvan de golflengte groter is dan 3μ . De langgolvlige balans bestaat evenals de kortgolvlige uit twee componenten, namelijk de uitstraling, welke van beneden naar boven is gericht en de tegenstraling, welke van de atmosfeer naar de aarde is gericht. Daar gras zwart is voor langgolvlige straling, kan de uitstraling berekend worden, als de temperatuur van de grasmat bekend is. Een goede schatting van die temperatuur is gemaakt, zodat beide componenten van de langgolvlige straling konden worden berekend. Gemiddeld over die 5 dagen leverde de verhouding tegenstraling gedeeld door uitstraling de redelijke waarde van 0,88 op.

1. Inleiding

Voor het verstaan van het temperatuurverloop aan het aardoppervlak is het van veel belang om te weten hoeveel straling per tijdseenheid van boven naar beneden door een vlak evenwijdig aan het aardoppervlak gaat en hoeveel van beneden naar boven. Het verschil tussen deze twee hoeveelheden straling wordt de stralingsbalans genoemd. Om deze grootte te kunnen meten heeft het K.N.M.I. een stralingsbalansmeter volgens Suomi en Franssila aangeschaft. Dit instrument kwam in juni 1958 aan.

De stralingsbalansmeter volgens Suomi en Franssila ¹⁾ bestaat in principe uit een thermoziuil, welke aan beide kanten van een straling absorberende laag is voorzien. Indien de thermoziuil horizontaal wordt geplaatst doet de straling van boven naar beneden de temperatuur van de bovenkant van de thermoziuil rijzen, terwijl de straling van beneden naar boven de temperatuur van de onderkant doet rijzen. Het temperatuurverschil is dus een directe maat voor de stralingsbalans. Dit temperatuurverschil wordt door de thermoziuil omgezet in een thermospanning, welke wordt geregistreerd. De warmte aan beide zijden van de thermoziuil opgewekt door de straling moet, om een juiste registratie te waarborgen, regelmatig worden afgevoerd. Ten einde fouten hierin, veroorzaakt door windfluctuaties, zoveel mogelijk te elimineren wordt een flinke, kunstmatige luchtstroom langs beide zijden van de thermoziuil gevoerd.

De stralingsbalansmeter werd opgesteld op een grasveld naast het waarnemingsterrein van het K.N.M.I. en wel zo, dat de thermoziuil zich op een hoogte van 1,60 m boven het aardoppervlak bevond. De registratie van de thermospanning geschiedde door een stempeling na elke 5/8 minuut van een 12-puntsschrijver van de firma Honeywell Brown.

De thermoziuil van de stralingsbalansmeter is onbedekt zodat deze straling kan ontvangen zowel van kleine als van lange golflengten. De balans, die aldus gemeten wordt zullen we dan ook de totale stralingsbalans noemen. De totale stralingsbalans kan worden gesplitst in een kortgolvlige en een langgolvlige balans, waarbij kortgolvlige straling wordt gedefiniëerd als solaire straling met een golflengte kleiner dan 3μ en langgolvlige straling als terrestrische straling met een golflengte groter dan 3μ .

Een praktische bijzonderheid, welke niet verwaarloosd mag worden, is dat het instrument zo geplaatst moet worden, dat de kunstmatige ventilatiestroom met de overheersende windrichting meegaat. De snelheid van de ventilatiestroom is zo gekozen, n.l. 20 m sec^{-1} , dat de

warmte snel genoeg van de thermozuil wordt weggevoerd om een regelmatige momentane optekening te verzekeren. Een sterke meewind brengt hierin geen verandering. Bij een tegenwind van 5 m sec^{-1} zal nog juist geen verandering optreden; wordt de tegenwind groter, d.w.z. de ventilatiestroomsnelheid kleiner dan 15 m sec^{-1} , dan zal de warmte niet snel genoeg meer kunnen worden afgevoerd, waardoor de ijkconstante van het instrument verandert.

De ijkconstante, welke door de fabriek Agmet Products Co, Middleton, Wisconsin, U.S.A. werd bepaald, bedroeg $0,53 \text{ langley mv}^{-1}$; d.w.z. een netto straling van $0,53 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ veroorzaakt een open thermospanning van 1 millivolt. Ook leverde de fabriek een aantal instructies erbij hoe het beste met het instrument kan worden omgegaan.

2. De totale stralingsbalans van 29-7-1958 tot 18-8-1958

Het instrument voor het meten van de totale stralingsbalans is opgesteld zoals in de inleiding is aangegeven, terwijl de registratie geschiedde door een z.g. spannings-Brown. Na enkele begin-moeilijkheden kon de optekening met ingang van 29 juli 1958 worden uitgewerkt. De dagen 6 en 7 augustus zijn uitgevallen door een storing in de motor van de ventilator. Ditzelfde geldt ook voor de eerste helft van de 14de augustus. Daar het uitwerken van de registratie zeer veel werk met zich mee bracht zijn deze metingen in de loop van de 18de augustus beëindigd.

De resultaten van de uitwerking zijn in tabel I bijeengebracht. De stralingsbalans is positief gerekend, indien de hoeveelheid stralingsenergie van boven naar beneden groter is dan die van beneden naar boven. De uurvakken, waarvoor de stralingsbalans telkens is opgemaakt, zijn evenals alle klimatologische waarnemingen in Amsterdamse tijd aangegeven. Zo betekent $-0,5$ in het vakje van 29/7 tussen 00,00-01,00, dat in dat uur een hoeveelheid stralingsenergie van $0,5 \text{ cal cm}^{-2}$ meer van beneden naar boven is gegaan dan van boven naar beneden.

Uit tabel I blijkt, dat in deze tijd van het jaar de balans van negatief positief wordt kort na zonsopgang terwijl ongeveer één uur vóór zonsondergang de balans van positief weer negatief wordt. Dit verschil in gedrag van de totale balans is gemakkelijk te verklaren. Als we aannemen, dat de bewolking kort na zonsopgang dezelfde is als kort voor zonsondergang, dan zal de stralingsstroom van boven naar beneden in beide gevallen dezelfde zijn. Echter de temperatuur van de grasmat zal kort voor zonsondergang hoger zijn dan kort na zonsopkomst; hierdoor zal de stralingsstroom van beneden naar boven kort voor zonsondergang groter zijn dan kort na zonsopkomst.

Tabel I

Totale stralingsbalans in cal cm⁻² op enige dagen in 1958 te De Bilt
op een hoogte van 1,60 m boven een grasmat

uren A.T.	datum	29/7	30/7	31/7	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	8/8	9/8	10/8	11/8	12/8	13/8	14/8	15/8	16/8	17/8	18/8
	00.00-01.00	- 0.5	- 6.4	- 6.0	- 4.2	- 7.4	- 4.1	- 2.3	- 3.2	- 4.6	- 0.1	- 3.1	- 2.3	- 0.9	- 2.3		- 1.7	- 0.9	- 4.0	- 3.8
	01.00-02.00	- 1.5	- 6.3	- 5.3	- 4.0	- 5.7	- 6.0	- 2.5	- 0.2	- 2.9	- 0.1	- 3.1	- 0.2	- 1.0	- 1.3		- 2.1	- 3.8	- 5.5	- 4.7
	02.00-03.00	- 0.9	- 6.3	- 5.4	- 4.1	- 5.3	- 5.9	- 1.3	- 0.2	- 3.9	- 0.3	- 3.0	- 2.9	- 2.9	- 1.4		- 2.7	- 3.5	- 4.2	- 5.8
	03.00-04.00	- 1.7	- 5.7	- 5.4	- 4.1	- 3.6	- 2.1	- 4.7	- 0.2	- 3.2	- 0.3	- 3.0	- 1.1	- 2.8	- 2.2		- 1.1	- 3.5	- 4.2	- 5.5
	04.00-05.00	- 3.8	- 1.3	- 3.8	- 3.4	- 5.4	- 0.9	- 1.3	- 0.1	- 2.8	- 0.2	- 2.7	- 0.2	- 2.5	- 2.2		- 0.2	- 6.0	- 0.7	- 4.6
	05.00-06.00	+ 0.5	+ 2.0	0.0	+ 0.4	+ 1.5	+ 0.6	+ 2.2	+ 1.5	+ 0.2	+ 1.0	+ 1.2	- 0.7	- 1.8	- 0.7		+ 0.6	- 2.8	+ 1.2	- 0.9
	06.00-07.00	0.0	+ 6.5	+ 7.8	+ 8.1	+ 8.9	+ 8.3	+ 3.0	+ 2.4	+ 7.4	+ 3.3	+ 8.1	+ 6.5	+ 0.2	+ 3.1		+ 2.0	+ 5.2	+ 4.3	+ 2.4
	07.00-08.00	0.0	+ 7.5	+ 17.4	+ 15.6	+ 19.8	+ 18.4	+ 3.3	+ 6.5	+ 11.2	+ 8.2	+ 18.3	+ 15.8	+ 6.5	+ 9.9		+ 4.2	+ 13.3	+ 6.6	+ 4.2
	08.00-09.00	0.0	+ 20.4	+ 18.8	+ 25.8	+ 25.7	+ 30.3	+ 4.6	+ 7.8	+ 17.6	+ 13.4	+ 27.2	+ 18.7	+ 18.1	+ 12.7		+ 8.0	+ 25.9	+ 11.5	+ 11.5
	09.00-10.00	+ 17.7	+ 25.9	+ 20.3	+ 35.7	+ 26.4	+ 34.4	+ 3.9	+ 11.1	+ 21.8	+ 36.3	+ 33.4	+ 25.8	+ 19.6	+ 19.4		+ 5.2	+ 39.1	+ 20.5	+ 20.5
	10.00-11.00	+ 32.8	+ 26.1	+ 33.2	+ 36.4	+ 24.1	+ 29.6	+ 3.6	+ 11.3	+ 19.8	+ 34.5	+ 41.0	+ 31.5	+ 17.5	+ 23.1		+ 6.4	+ 33.3	+ 30.9	+ 30.9
	11.00-12.00	+ 26.7	+ 29.6	+ 29.7	+ 30.1	+ 26.6	+ 20.2	+ 11.9	+ 10.9	+ 35.7	+ 41.4	+ 49.0	+ 30.4	+ 19.0	+ 33.2	+ 13.4	+ 18.0	+ 32.1	+ 40.9	+ 40.9
	12.00-13.00	+ 0.4	+ 26.5	+ 28.1	+ 26.3	+ 41.7	+ 26.4	+ 12.6	+ 10.2	+ 21.0	+ 24.9	+ 39.6	+ 32.1	+ 33.3	+ 16.3	+ 18.0	+ 8.3	+ 30.9	+ 37.2	+ 37.2
	13.00-14.00	+ 0.2	+ 5.2	+ 30.7	+ 2.5	+ 33.7	+ 40.3	+ 10.2	+ 14.7	+ 23.9	+ 25.7	+ 33.5	+ 31.4	+ 23.7	+ 23.5	+ 21.3	+ 3.4	+ 18.9	+ 27.8	+ 27.8
	14.00-15.00	+ 0.2	+ 19.5	+ 35.2	+ 4.5	+ 34.9	+ 27.3	+ 11.0	+ 10.9	+ 11.1	+ 28.0	+ 29.9	+ 19.5	+ 30.8	+ 29.3	+ 14.3	+ 0.1	+ 24.5	+ 24.7	+ 24.7
	15.00-16.00	+ 18.0	+ 17.6	+ 29.9	0.0	+ 23.4	+ 22.5	+ 6.4	+ 5.6	+ 7.8	+ 31.9	+ 25.0	+ 14.5	+ 14.8	+ 29.3	+ 10.2	+ 0.9	+ 23.5	+ 21.9	+ 21.9
	16.00-17.00	+ 11.8	+ 19.3	+ 17.8	0.0	+ 18.2	+ 15.6	+ 4.5	+ 3.8	+ 5.7	+ 12.2	+ 19.1	+ 2.0	+ 6.5	+ 11.9	+ 10.6	+ 3.2	+ 11.8	+ 8.7	+ 8.7
	17.00-18.00	+ 6.7	+ 6.6	+ 5.0	+ 1.6	+ 5.4	+ 3.6	+ 1.7	+ 2.2	+ 2.3	+ 5.8	+ 5.1	- 0.4	+ 5.1	+ 2.0	+ 3.0	+ 4.1	+ 5.2	+ 3.2	+ 3.2
	18.00-19.00	+ 0.8	- 2.7	- 1.5	- 0.3	- 2.4	- 1.8	+ 2.0	- 0.4	+ 0.2	- 1.2	- 1.1	- 0.4	- 1.1	- 0.8	+ 0.5	+ 1.5	- 1.5	- 2.1	- 2.1
	19.00-20.00	- 1.9	- 6.1	- 4.3	- 0.9	- 6.1	- 3.8	+ 0.1	- 1.7	0.0	- 4.1	- 3.1	- 1.6	- 4.7	- 1.1	- 1.1	- 1.2	- 4.2	- 4.2	- 4.2
	20.00-21.00	- 2.4	- 6.6	- 4.8	- 0.8	- 5.8	- 2.4	- 0.3	- 1.5	0.0	- 4.0	- 2.4	- 0.4	- 4.9	- 1.1	- 1.6	- 4.5	- 3.5	- 4.6	- 4.6
	21.00-22.00	- 3.2	- 6.4	- 4.4	- 2.3	- 6.6	- 1.9	- 0.2	- 1.8	0.0	- 3.6	- 3.0	- 0.4	- 2.4	- 1.0	- 2.0	- 2.1	- 3.2	- 3.8	- 3.8
	22.00-23.00	- 4.8	- 6.3	- 4.2	- 4.8	- 6.3	- 2.4	- 0.2	- 2.6	- 0.3	- 3.4	- 3.1	- 0.9	- 4.2	- 0.8	- 2.4	- 4.5	- 4.4	- 4.3	- 4.3
	23.00-24.00	- 6.4	- 6.1	- 4.2	- 7.0	- 6.2	- 2.8	- 0.2	- 2.7	- 0.1	- 3.4	- 3.5	- 1.5	- 3.0	- 0.8	- 1.9	- 2.5	- 4.2	- 3.5	- 3.5
dag som in cal cm ⁻² dag ⁻¹	88.5	152.4	224.5	151.1	229.4	243.4	67.9	84.5	168.0	246.0	299.4	215.2	163.0	197.9	44.5	222.4	198.5			

De balans zal dus een langere tijd vóór zonsondergang van positief negatief worden dan negatief blijven na zonsopkomst.

In de laatste rij van tabel I zijn de dagsommen van de stralingsbalans in $\text{cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ gegeven. Hieruit blijkt dat de dagsom in deze tijd van het jaar steeds positief is, terwijl het verschil in waarde, welke de dagsom kan aannemen, groot is. In deze enkele metingen is de grootste dagsom 299,4 en de kleinste 44,5: een verschil van meer dan 250 cal cm^{-2} .

De uitwerking van de geregistreeerde totale stralingsbalans onder- vond een moeilijkheid. Wanneer het regende, bleek de registratie grote negatieve waarden van de balans te geven. Dit is eenvoudig te verklaren; de thermozuil wordt door de regen aan de bovenkant nat, terwijl de onderkant grotendeels droog blijft. Door de kunstmatige ventilatie van de beide zijden van de thermozuil zal de bovenkant van de thermozuil, daar deze nat is, als een natte bol werken en dus veel lager van temperatuur worden dan de onderkant. Tijdens de regenbuien, welke dus zeer gemakkelijk te herkennen zijn aan de registratie, zal de stralingsbalans een kleine positieve of negatieve waarde aannemen, daar de lucht dan volkomen bewolkt is. Dit geldt zowel overdag als des nachts. Welke invloed de temperatuur van de neerslag, de reflectie tegen en de refractie in de regendruppels hebben op de stralingsbalans is ons niet bekend. Vermoedelijk wordt de waarde van de stralingsbalans daardoor nog kleiner. We hebben dan ook gemeend de stralingsbalans de waarde nul te moeten toekennen als een goede eerste benadering, indien de registratie duidelijk aangaf dat het regende.

3. Ontbinding van de totale stralingsbalans in vier componenten.

In de inleiding is reeds uiteengezet, dat de totale stralingsbalans in twee delen kan worden verdeeld: een kortgolvlige en een langgolvlige stralingsbalans. De kortgolvlige balans bestaat dus uit de solaire straling, welke van boven naar beneden door een horizontaal vlak gaat, verminderd met de solaire straling, welke van beneden naar boven door dat horizontale vlak gaat. Het positieve deel van de kortgolvlige balans is dus niets anders dan de globale straling, terwijl het negatieve deel de z.g. gereflecteerde straling is. De langgolvlige balans bestaat eveneens uit een positief deel, d.w.z. de langgolvlige straling, welke van de atmosfeer naar de aarde gaat en tegenstraling wordt genoemd en een negatief deel, d.w.z. de langgolvlige straling, welke van de aarde naar boven gaat en uitstraling heet.

In de dagen, dat de stralingsbalansmeter van Suomi-Fransilla stond opgesteld, kwam een student van Prof. Dr. P. Groen, de heer J. Keulen, op het K.N.M.I. om een klein onderzoek te verrichten op het gebied van de straling. Hiertoe werd een provisorische opstelling gemaakt om de kortgolvlige stralingsbalans te meten naast de totale balans. In de buurt van de opstelling met de stralingsbalansmeter van Suomi-Fransilla werd een plank, ondersteund door twee stutten, horizontaal op een hoogte van 1,60 m boven de grond aangebracht. Op die plank werd een pyranometer volgens Moll-Gorczyński gemonteerd, zodat daarmee de globale straling kon worden gemeten. Onder tegen de plank aan werd een tweede dergelijke pyranometer bevestigd, zodat daarmee de gereflecteerde straling kon worden gemeten. Ten einde werk te besparen zijn beide pyranometers tegen elkaar in geschakeld, zodat de kortgolvlige stralingsbalans direct werd geregistreerd op een Brown-recorder en niet beide componenten afzonderlijk.

De opstelling van deze kortgolvlige stralingsbalansmeter is beslist niet ideaal. Het vlak van beide pyranometers was niet steeds horizontaal als gevolg van de wind, hoewel beide stutten nog getuid waren. Deze fout zal vermoedelijk niet groot zijn. Een ernstiger fout was, dat door de montage van één pyranometer op en één onder tegen de plank aan, de huizen van beide pyranometers niet steeds dezelfde temperatuur hadden. Daar beide thermozuilen tegen elkaar ingeschakeld waren ontstond dan een optekening van de balans, welke niet nul was, terwijl toch geen van beide pyranometers kortgolvlige straling ontving.

Vanaf 17.00 uur op 12 augustus 1958 tot aan 08.00 uur op 18 augustus 1958 is de kortgolvlige balans opgetekend. Deze registratie is door de heer Keulen uitgewerkt en de door hem verkregen cijfers zijn weergegeven in de bovenste helft van tabel II. Hierbij moet nog worden vermeld, dat de ijkfactoren van beide instrumenten praktisch dezelfde waarde hebben, n.l. 8,37 en 8,36; dit betekent, dat een hoeveelheid kortgolvlige straling van $1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ een open spanning van 8,37 resp. 8,36 m volt geeft.

Uit de eerste helft van tabel II blijkt, dat de nachtwaarden van de kortgolvlige balans steeds ongelijk nul zijn geweest. Daarom hebben wij deze getallen op de volgende wijze gecorrigeerd. De balans bleek op 13-8-1958 van 00-05 uur gemiddeld 1.8 cal cm^{-2} boven nul te zijn geweest en van 19-24 uur gemiddeld 1.1 cal cm^{-2} boven nul. Nu hebben we de nachtelijke balanswaarden gedurende de tijdvakken 00-05 en 19-24 uur op nul gesteld en van de overdagwaarden in een glijdende schaal van 1.8 tot 1.1 cal cm^{-2} afgetrokken. Dit is voor alle waarnemingen op dezelfde wijze uitgevoerd. Het resultaat is het tweede deel van tabel II, waarin de gecorrigeerde kortgolvlige balanswaarden zijn aangegeven.

4. De globale straling, de gereflecteerde straling, de uitstraling en de tegenstraling op 13 tot en met 17 augustus 1958.

In de vorige paragraaf is de waarde van de kortgolvlige stralingsbalans voor de verschillende uurvakken vanaf 17^h00 op 12 augustus tot aan 08^h00 op 18 augustus in tabel II aangegeven. In tabel I staan voor dezelfde uurvakken de waarde van de totale stralingsbalans genoteerd. Door de waarden uit tabel II van de overeenkomstige waarden in tabel I af te trekken wordt de waarde van de langgolvlige stralingsbalans voor die uurvakken bepaald.

De kortgolvlige balans bestaat uit twee componenten, n.l. de globale straling en de gereflecteerde straling. De globale straling is weliswaar niet ter plaatse gemeten, maar deze grootheid wordt vanaf 6 januari 1954 regelmatig op de observatietoren gemeten. De uurwaarden van de globale straling zijn voor het hierboven genoemde tijdvak in tabel III verzameld. Door deze waarden af te trekken van de overeenkomstige waarden van de kortgolvlige balans, vermeld in de tweede helft van tabel II, vindt men de waarden van de gereflecteerde straling. Deze laatste waarden zijn ook in tabel III verzameld.

De laagste absolute waarde, welke de gereflecteerde straling kan aannemen, is nul. In twee uurvakken op 15 augustus, n.l. 13-14 en 16-17 blijkt de kortgolvlige balans een hogere positieve waarde te hebben dan de globale straling. Dit is natuurlijk niet mogelijk. We hebben in de betrokken uurvakken de gereflecteerde straling de waarde nul gegeven. Deze fout kan veroorzaakt zijn door twee dingen: 1^o het feit, dat de huizen van de beide pyranometers van Moll-Gorczynski niet steeds dezelfde temperatuur hebben door dat deze van elkaar gescheiden zijn door een plank en 2^o het feit, dat de globale straling niet ter plaatse werd gemeten, maar dat de waarden van de globale straling op de waarnemings-toren werden gebruikt. Toch zijn deze fouten niet groot; ze komen tot uiting als de globale straling en de gereflecteerde straling door veel bewolking kleine waarden aannemen.

Als de dagsom van de gereflecteerde straling gedeeld wordt door de dagsom van de globale straling, dat heet het quotient de albedo. Deze grootheid bedroeg op 13, 14, 15, 16 en 17 augustus resp. 21,6%; 12,3%; 8,8%; 15,9% en 14,8%. Over deze 5 dagen bedroeg de albedo dus 14,7%; dit is de gemiddelde albedo van een grasmat. Dit cijfer komt goed overeen met de waarde, welke F.Möller ²⁾ opgeeft als albedo van weiden en velden, n.l. 0,14.

Tabel III

A.T.	12-8-1958				13-8-1958				14-8-1958			
	glo- bale str.	gere- fl. str.	uit- str.	tegen- str.	glo- bale str.	gere- fl. str.	uit- str.	tegen- str.	glo- bale str.	gere- fl. str.	uit- str.	tegen- str.
00-01					0	0	-33.7	31.4	0	0	-33.7	32.8
01-02					0	0	-33.8	32.5	0	0	-33.8	32.9
02-03					0	0	-33.8	32.4	0	0	-34.1	33.2
03-04					0	0	-33.9	31.7	0	0	-34.5	33.6
04-05					0	0	-34.0	31.8	0	0	-34.8	33.9
05-06					1.7	- 0.6	-34.0	32.2	0.2	-0.2	-34.9	34.0
06-07					7.8	- 0.8	-34.1	30.2	3.9	-0.4	-35.0	-
07-08					16.4	- 2.3	-34.7	30.5	10.2	-1.0	-35.2	-
08-09					18.8	- 4.5	-35.3	33.7	11.6	-0.7	-35.4	-
09-10					31.4	- 7.6	-35.6	31.2	30.5	-6.2	-35.7	-
10-11					39.7	-15.4	-35.7	34.5	19.1	-2.6	-35.8	-
11-12					39.7	- 2.9	-35.8	32.2	17.9	-1.7	-35.7	32.9
12-13					22.8	- 5.2	-35.7	34.4	20.9	-1.5	-35.7	34.3
13-14					32.0	- 8.4	-35.7	35.6	27.7	-4.4	-35.9	33.8
14-15					43.6	-10.9	-35.8	32.4	20.2	-2.3	-36.0	32.4
15-16					41.8	- 5.9	-36.2	29.6	13.9	-1.3	-35.8	33.4
16-17					23.3	- 3.9	-35.9	28.4	14.6	-1.6	-35.7	33.2
17-18	14.5	-2.1	-35.6	28.3	5.6	- 0.7	-35.3	32.4	4.7	-0.3	-35.6	34.2
18-19	2.2	-1.2	-34.9	32.8	2.0	- 1.3	-34.9	33.4	1.3	-0.0	-35.3	34.5
19-20	0.2	-0.2	-34.0	29.3	0	0	-34.5	33.4	0	0	-35.1	34.0
20-21	0	0	-33.5	28.6	0	0	-34.1	33.0	0	0	-34.6	33.0
21-22	0	0	-33.3	30.9	0	0	-33.9	32.9	0	0	-34.2	32.2
22-23	0	0	-33.3	29.1	0	0	-33.7	32.9	0	0	-34.1	31.7
23-24	0	0	-33.5	30.5	0	0	-33.6	32.8	0	0	-34.1	32.2
som in cal cm ⁻² dag ⁻¹					326.6	-70.4	-833.7	775.5	196.7	-24.2	-840.7	

De langgolvlige balans bestaat uit twee tegengestelde componenten: de positief gerekende tegenstraling en de negatieve uitstraling. Als de langgolvlige balans bekend is en de uitstraling kan worden berekend, dan is ook de tegenstraling bekend. Nu kan inderdaad de uitstraling van een grasvlakte worden berekend, daar deze als een volkomen zwart lichaam werkt voor straling met een golflengte groter dan $3 \mu^3$). Een zwart lichaam met een absolute temperatuur T in $^{\circ}K$ zendt een hoeveelheid stralingsenergie per uur uit gelijk aan $4,902 \cdot 10^{-9} T^4$ in $\text{cal cm}^{-2} \text{uur}^{-1}$. Als nu de temperatuur van de grasmat bekend was, dan zou de uitstraling berekend kunnen worden. We hebben een goede schatting van die temperatuur kunnen maken als volgt. Bekend zijn de 24 uurlijkse aflezingen van de huttemperatuur op 2.20 m hoogte, bekend zijn de drie aflezingen van de temperatuur op 10 cm hoogte om 8,14 en 19 uur en de minimumtemperatuur op die hoogte. Met behulp van de eerste reeks temperaturen, zijn de 24 temperaturen per dag op 10 cm hoogte volledig gemaakt. Door die uurlijkse temperatuurwaarden is een lopende kromme getrokken, terwijl uit die kromme de gemiddelde temperatuur gedurende de uurvakken in Amsterdamse tijd is bepaald. Deze gemiddelde uurvaktemperaturen op 10 cm hoogte zijn beschouwd als de uurvaktemperaturen van de grasmat. Daarna is de uitstraling voor alle gewenste uurvakken berekend met behulp van de zojuist genoemde wet van Stephan-Boltzmann in $\text{cal cm}^{-2} \text{uur}^{-1}$ en deze berekende getallen zijn in tabel III ingeschreven in telkens de derde kolom van elke dag uit de waarnemingsperiode. Tenslotte is de tegenstraling berekend door de uitstraling van de langgolvlige balans af te trekken. De uurwaarden van de tegenstraling in $\text{cal cm}^{-2} \text{uur}^{-1}$ zijn in tabel III verzameld in de 4de kolom van elke dag van de waarnemingsperiode.

Als men kolom 3 en kolom 4 van de verschillende dagen met elkaar vergelijkt, dan blijkt dat de tegenstraling in grootte vergelijkbaar is met de uitstraling. Uit de dagsommen (er zijn maar 4 dagen volledig) blijkt de verhouding tegenstraling tot uitstraling op 13, 15, 16 en 17 augustus resp. 93%, 92%, 84% en 85% te zijn of gemiddeld 88%. Dit is een zeer redelijk bedrag, hetgeen ook dicht nabij de waarden komt, welke door andere onderzoekers gevonden zijn.

De hoeveelheid uitstraling per dag gemiddeld over de 4 dagen 13, 15, 16 en 17 augustus bedraagt $832,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$, terwijl de tegenstraling $736,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$ bedraagt. Men kan zich verbazen over de grote hoeveelheden energie in de langgolvlige straling en over het feit, dat zich blijkbaar zoveel waterdamp in de atmosfeer bevindt, dat de tegenstraling nog 88% van de uitstraling uitmaakt. Immers daarvoor is het

temperatuurevenwicht aan het aardoppervlak nog zo hoog; in dit geval 16.9°C gemiddeld over die 4 dagen.

Stel, bijvoorbeeld, dat de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer zo gering is, dat de tegenstraling normaal slechts 75% van de uitstraling bedraagt. Als in dat geval de globale straling en de gereflecteerde straling dezelfde blijft, dan komt het temperatuurevenwicht veel lager te liggen. De langgolvige stralingsbalans bedraagt gemiddeld over die 5 dagen $832.6 - 736.1 = 96.5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$. Terwijl in casu dit bedrag 12% van de uitstraling bedraagt, zou in ons hypothetisch geval dit bedrag 25% van de uitstraling uitmaken. Dat betekent, dat de uitstraling dan slechts $386.0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ zou bedragen. Zo wordt $386 = 24 \cdot 4,902 \cdot T^4 \cdot 10^{-9}$ in $\text{cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$, waarbij T de absolute temperatuur van de gasmat is. De gemiddelde temperatuur zou dan -33.7°C bedragen, als afgezien wordt van de warmte die uit het binnenste van de aarde naar het oppervlak wordt afgegeven.

Literatuur

- 1) Suomi, V.E.; M. Fransilla and N.F. Islitzer, 1954. An improved net-radiation instrument. Jour. Met., 11, p.276-282.
- 2) Möller, F; zie Handbuch der Physik, Bd X L VIII, Geophysik II, S.214.
- 3) Dirnhirn, I.; Wetter und Leben, 9, (1957), S. 41-47.

