

Veröffentlichungen des Preußischen Meteorologischen Instituts

Herausgegeben durch dessen Direktor

H. von Ficker

Nr. 403

Abhandlungen Bd. X, Nr. 4

Ergebnisse der Sonnenfinsternisexpedition des Meteorologischen Observatoriums Potsdam nach Lappland

im Juni und Juli 1927

ausgeführt

mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft

von

R. Süring, W. Kühl und F. Albrecht

Springer-Verlag Berlin
Heidelberg GmbH
1934

Preis 5 RM.

Veröffentlichungen des Preußischen Meteorologischen Instituts

Herausgegeben durch dessen Direktor

H. v o n F i c k e r

Nr. 403

Abhandlungen Bd. X, Nr. 4

**Ergebnisse der Sonnenfinsternisexpedition
des Meteorologischen Observatoriums Potsdam
nach Lappland**

im Juni und Juli 1927

ausgeführt

mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft

von

R. Süring, W. Kühl und F. Albrecht

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1934

Preis 5 RM.

Inhaltsübersicht

I. R. Süring, Zweck, Vorbereitung und Verlauf der Reise	3
II. F. Albrecht, Die kalorimetrischen Strahlungsuntersuchungen und die meteorologischen Beobachtungen in Lappland im Juni und Juli 1927	5
a) Die Meßgeräte	5
1. Die Strahlungsgeräte für Augenbeobachtungen	5
2. Die Registriergeräte	6
3. Die meteorologischen Instrumente	8
b) Die Messungsergebnisse	9
1. Die Augenbeobachtungen der direkten Sonnenstrahlung	9
2. Die Augenbeobachtungen der Himmels- und Effektivstrahlung	12
3. Die meteorologischen Augenbeobachtungen	13
4. Die Registrierbeobachtungen der Strahlungsinstrumente	13
5. Die Registrierungen der meteorologischen Elemente	17
c) Der Zusammenhang zwischen Strahlungshaushalt und den meteorologischen Elementen	18
1. Der tägliche Temperaturgang	18
2. Die unperiodischen Temperaturänderungen	20
3. Der Dampfdruck und die Windgeschwindigkeit	22
4. Der Trübungsfaktor	23
d) Zusammenfassung	23
III. F. Albrecht, Die kalorimetrischen Strahlungsuntersuchungen und die meteorologischen Beobachtungen in Vittangi während der totalen Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927	23
a) Die Meßgeräte und Beobachtungsmethoden	23
b) Die astronomischen Daten und die Wetterlage zur Zeit der Finsternis	24
c) Die Ergebnisse der Beobachtungen und Registrierungen	25
1. Die direkte Sonnenstrahlung	26
2. Die Himmelsstrahlung	29
3. Die Effektivstrahlung, Ausstrahlung und Gegenstrahlung der Atmosphäre	30
4. Die Ergebnisse der Strahlungsuntersuchungen	30
5. Die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck und der Wind	31
d) Zusammenfassung	33
IV. R. Süring, Messungen der Himmelspolarisation und der Ultraviolett-Strahlung	33
a) Die Himmelspolarisation	33
b) Die Polarisationsgröße während der Sonnenfinsternis	36
c) Die ultraviolette Sonnen- und Himmelsstrahlung an normalen Tagen	37
d) Die ultraviolette Sonnenstrahlung während der Sonnenfinsternis	39
V. W. Kühl, Messungen und Registrierungen mit Kaliumzellen	40



ISBN 978-3-662-31391-6 ISBN 978-3-662-31598-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-31598-9

I. Zweck, Vorbereitung und Verlauf der Reise.

Von R. Süring.

Zur Beobachtung einer totalen Sonnenfinsternis sind noch niemals so viele Meteorologen zusammengeströmt, wie zu der Finsternis, welche in den frühen Morgenstunden des 29. Juni 1927 von Großbritannien über das mittlere Norwegen nach Schwedisch-Lappland und Finnmarken verlief. Der Grund für die starke Beteiligung an meteorologischen Messungen lag einerseits in der für mittel- und nordeuropäische Forscher leichten und billigen Erreichbarkeit der Totalitätszone, andererseits in dem während der letzten Jahre stark zugenommenen Interesse für Strahlungsforschungen. So hatten allein in Deutschland unabhängig voneinander Prof. Linke-Frankfurt a. M., Dr. F. Albrecht-Potsdam und ich selbst Beobachtungspläne entworfen. Dank der großzügigen Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft wurde es ermöglicht, daß die deutsche meteorologische Expedition sich in zwei Gruppen teilen konnte (Linke, Milch †, Dubois und Süring, Kühl, Albrecht), welche zwei verschiedene Standorte wählten (Nyborgmoen in Finnmarken, Nordnorwegen und Vittangi in Schwedisch-Lappland). Es hat sich dieses Verfahren außerordentlich bewährt.

Zur Kennzeichnung des Arbeitsprogramms seien einige geschichtliche Bemerkungen vorausgeschickt. Bis zum Jahre 1883, wo die Amerikaner eine meteorologische Sonnenfinsternis-Reise nach den Karolinen unternahmen, ist die Meteorologie bei solchen Expeditionen fast immer nur als Appendix der Astronomie behandelt worden. Es ist meist sehr eifrig am Finsternistage Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, Wind u. dgl. beobachtet, vielfach auch sehr ausführlich veröffentlicht worden, aber man hat damit nichts weiter angefangen und auch wohl nicht anfangen können, denn die physikalische Zustandsänderung in der Atmosphäre wird dadurch nicht eindeutig beschrieben. Eine Ausnahme bildeten die Beobachtungen von James Glaisher gelegentlich der in England sichtbaren ringförmigen Sonnenfinsternis vom 15. März 1858. Um diese Zeit — vielleicht noch früher — tauchte eine Frage auf, die erst bei den letzten Sonnenfinsternissen ernstlich wieder aufgenommen worden ist. Sie lautete damals: Wird durch die Sonnenfinsternis das Wetter schlechter? Hängt die bei Sonnenfinsternissen häufig beobachtete Eintrübung damit zusammen, daß etwa durch Abkühlung bei der Verfinsterung Kondensation eintritt? Heutzutage muß die Frage so formuliert werden: Ist auch bei gut verlaufenden Finsternissen der optische Zustand der Atmosphäre bei zunehmender Verfinsterung ein anderer als bei abnehmender? Zur Beantwortung sind vor allem Strahlungsmessungen nötig. Diese wurden — abgesehen von vereinzelt Spektraluntersuchungen für andere Zwecke — in exakter Weise anscheinend zuerst bei der die Mittelmeerländer durchziehenden totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905 von Elster und Geitel angestellt. Weitere Beiträge lieferten die in Deutschland sichtbare, bis auf 6 % totale Finsternis vom 17. April 1912 (Elster und Geitel-Wolfenbüttel, Süring-Potsdam, B. Walter und F. Goos-Hamburg), ferner die in Schweden sichtbaren Sonnenfinsternisse vom 21. August 1914 (A. Ångström-Upsala und F. Lindholm-Stockholm) und vom 8. April 1921 (F. Lindholm und F. Bergsten-Stockholm). Insbesondere die Messungen von A. Ångström haben gezeigt, wie vielversprechende Ergebnisse über den Verlauf der Strahlung und des Strahlungsaustausches zu erwarten sind. So ist es nicht verwunderlich, daß im Jahre 1927 nicht weniger als sechs Nationen Strahlungs-Expeditionen aussandten.

Das Potsdamer Beobachtungsprogramm setzte sich aus zwei voneinander ziemlich unabhängigen Teilen zusammen. Der erste betraf die Sonnenfinsternis selbst. Es sollten vor, während und nach der Finsternis möglichst ununterbrochen neben den üblichen meteorologischen Beobachtungen Sonnen- und Himmelsstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen, Ausstrahlung und Gegenstrahlung der Atmosphäre, Effektivstrahlung mit und ohne Sonne, sowie Himmelspolarisation gemessen werden. Der zweite Teil des Programms bestand in einer etwa vierwöchentlichen Reihe von Beobachtungen der meteorologischen Elemente, der Strahlungs- und Helligkeitsverhältnisse und des Strahlungsaustausches. Dadurch sollten sowohl klimatologische Basiswerte für den Finsternistag als auch Daten für den Strahlungshaushalt an einer Flachland-

station zur Zeit der Mitternachtssonne erhalten werden. Um dieses Programm mit verhältnismäßig geringen Kosten möglichst lange durchführen zu können, waren alle Teilnehmer gleichzeitig nur an den der Sonnenfinsternis benachbarten Tagen am Beobachtungsort, während in der übrigen Zeit lediglich ein oder zwei Beobachter an der Station waren.

Die Wahl des Beobachtungsortes bot einige Schwierigkeiten. Für unsere Dauermessungen war eine Gegend mit Mitternachtssonne erwünscht, und hierfür war Gällivare der am leichtesten zugängliche Ort. Da aber zu befürchten war, daß sich die meisten Expeditionen hier versammeln würden — tatsächlich waren in Gällivare und auf dem benachbarten Malmbergert fünf meteorologische und eine astronomische Expedition —, war hier die Gefahr von Doppelarbeit besonders groß. Wir entschieden uns daher für das etwa 100 km nordöstlich von Gällivare, nahe der finnischen Grenze gelegene Dorf Vittangi. Es liegt nicht so zentral zur Totalitätszone wie Gällivare, aber doch noch innerhalb davon und ist von dem durch seine Eisenerze berühmten Kiruna auf guter Autostraße in etwa 2 Stunden zu erreichen. Zur Beförderung der Post fährt wöchentlich vier- bis fünfmal ein bequemes Personenauto von Kiruna über Vittangi nach den Grenzorten Karesuando oder Pajala.

In dem Gasthause von Vittangi fanden wir eine vorzügliche Unterkunft, die derjenigen in einem größeren deutschen Dorf ebenbürtig war (Telephon, elektrisches Licht). Unmittelbar neben dem Gasthause ließ sich die Beobachtungsstation einrichten. Eine angenehme Überraschung war die hohe Kulturstufe im Ort: ein hochgebildeter, toleranter Geistlicher, ein weitgereister Arzt und eine Lehrerschaft mit vielseitigen Interessen. Von ihnen war es insbesondere der Lehrer Herr Henrickson, der uns als verständnisvoller Berater bei allen persönlichen und technischen Wünschen (Pachtung des Geländes, Anlage der Leitungen, radiotelegraphische Zeitsignale) und als Dolmetscher bei Verhandlungen mit der vorwiegend finnisch sprechenden Bevölkerung zu großem Dank verpflichtet hat. Es darf bei dieser Gelegenheit nicht unerwähnt bleiben, daß keinerlei mutwillige Beschädigung oder Verlust von Instrumenten vorkam, trotzdem die Station frei zugänglich war. Die Unterweisung der Schuljugend über den Zweck unserer Arbeiten hat sich dabei als sehr zweckmäßig erwiesen. Ferner haben wir der Schweden-Erz-Gesellschaft für manche Freundlichkeit zu danken, namentlich für den nahezu kostenlosen Transport von Instrumenten und Reisegepäck auf dem Seewege von Lübeck nach Luleå, mit der Bahn von Luleå bis Kiruna und zurück bis Kiel. Schließlich danken wir herzlichst den schwedischen Kollegen, den Herren Direktor Wallén, Professor A. Ångström und Professor Bruno Rolf für mannigfache Unterstützung mit Rat und Tat.

Entsprechend der oben erwähnten Arbeitsteilung hielten sich in Vittangi auf: Albrecht vom 8. Juni bis 1. Juli, Süring vom 21. Juni bis 5. Juli, Kühl vom 25. Juni bis 9. Juli. Als willkommener wissenschaftlicher Gast war vom 27. bis 29. Juni der namentlich durch seine Pendel-Untersuchungen bekannte, inzwischen leider verstorbene Professor Robert von Sterneck aus Graz in Vittangi anwesend.

Vittangi ($67^{\circ} 40' N$, $21^{\circ} 39' E$. Gr., 256 m über NN) liegt an der breiten, stark strömenden Torne Älf in einer leicht gewellten moorigen Landschaft an den östlichen Ausläufern des schwedisch-norwegischen Grenzgebirges. Die nächste Umgebung der Station ist ganz flach, innerhalb von 10 km Umkreis gibt es nur Überhöhungen bis zu etwa 200 m, innerhalb von 20 km Umkreis ist die höchste Überhöhung 400 m (im SW). Die Hügel sind meist mit kümmerlichen Kiefern und Birken bestanden. Der Untergrund des Stationsgeländes ist teils sandig, teils moorig und hauptsächlich mit Heidekraut und harten Gräsern bewachsen.

Das Wetter war in seiner Gesamtheit für die Zwecke unserer Expedition sehr günstig, insofern eine ziemlich große Mannigfaltigkeit von Wetterlagen beobachtet werden konnte. In den ersten zwei Wochen stand Vittangi meist unter dem Einfluß polarer Luftmassen, welche auf verschiedenen Wegen einem der Station nahegelegenen Minimum zustrebten. Zur Untersuchung des Wärmeaustausches im Gebiet der Mitternachtssonne war dies ganz willkommen, wenn auch der vorwiegend stark bewölkte Himmel nur wenig Strahlungsmessungen gestattete. Kurz vor der Sonnenfinsternis näherte sich aber eine Antizyklone, die — wie im dritten Abschnitt geschildert ist — eine für Finsternisbeobachtungen besonders interessante Phase der Wetterentwicklung schuf und in den letzten Juni- und den ersten Julitagen viel Sonnenschein und schließlich Wärmegewitter brachte. So konnte gerade der für diese Gegend charakteristische schroffe Übergang von einem kühlen Frühling zu einem heißen Sommer gut erfaßt werden.

II. Die kalorimetrischen Strahlungsuntersuchungen und die meteorologischen Beobachtungen in Lappland im Juni und Juli 1927¹⁾.

Von F. Albrecht.

Einer der hauptsächlichsten Programmteile der meteorologischen Strahlungsexpedition, die in Lappland die Einflüsse der Sonnenfinsternis auf die meteorologischen Erscheinungen untersuchen sollte, war die Sammlung möglichst langer Reihen von Strahlungsbeobachtungen und gleichzeitigen meteorologischen Messungen in einer sommerlichen Flachlandstation jenseits des Polarkreises. Zu diesem Zwecke wurden Registrierungen der direkten Sonnenstrahlung, der Himmelsstrahlung plus Sonnenstrahlung und der Differenz Himmelsstrahlung minus Ausstrahlung möglichst lange Zeit hindurch vor und nach der Sonnenfinsternis unterhalten und durch Augenbeobachtungen mit geeigneten Kontrollapparaten verglichen. Außerdem wurde eine vollständige meteorologische Station erster Ordnung mit Registrierungen der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit und des Luftdruckes in Tätigkeit gehalten.

a) Die Meßgeräte.

1. Die Strahlungsgeräte für Augenbeobachtungen.

Zur Messung der Intensität der Sonnenstrahlung diente das Michelsonaktinometer Nr. 371 nach der Konstruktion Michelson-Marten²⁾ 3. Serie. Dieser Apparat wurde frei und mit Rotfilter Schott 4512 benutzt.

Für die Bestimmung der Intensität der Himmelsstrahlung wurde von dem 22. Juni an das Pyranometer Ångström³⁾ Nr. 20 verwendet. Seine Empfindlichkeit war in Stockholm bestimmt worden. Vergleiche mit dem Michelsonaktinometer unter Berücksichtigung der Sonnenhöhe bestätigten den dort gefundenen Wert. Die Intensität der Ausstrahlung wurde durch ein Meßgerät beobachtet, das in großen Zügen ebenfalls beschrieben ist⁴⁾. Es handelt sich um ein Effektivpyranometer mit Kompensationseinrichtung. Der Apparat sei im folgenden noch einmal genauer besprochen (Abb. 1). Unter zwei der Strahlung exponierten schwarzen Platten befindet sich ein Lamellensystem aus rechteckigen, unten und oben offenen Blechrähmchen $R_1 - R_4$, das die Platten

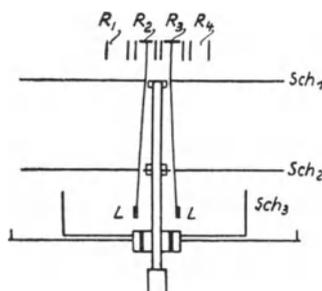


Abb. 1. Das Effektivpyranometer für Augenablesungen (Form 1926).

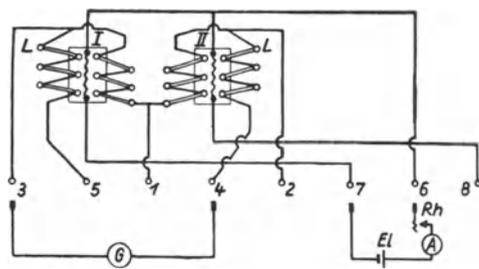


Abb. 2. Schaltung des Effektivpyranometers Abb. 1.

gegen die Strahlung von unten her schützt. Die exponierten Platten und die Rahmen sind so angeordnet, daß der Wind sie unabhängig von seiner Richtung in stets gleicher Weise trifft. Aus diesem Grunde sind auf jeder Seite der die eigentlichen Platten enthaltenden Rahmen R_2 und R_3 noch die Rahmen R_1 und R_4 angebracht, die keine Platten enthalten und lediglich zur gleichartigen Beeinflussung der beiden Platten bei jeder Windrichtung dienen. Von den Platten gehen die Drähte je einer Thermosäule nach unten, die in den gegen Strahlung gut geschützten Gegenlötstellen endigen. Die Temperaturdifferenz gegen die Platte wurde nach der Schaltung der Abb. 2 an der einen Platte I mit 3, an der anderen II mit 6 Thermoelementen bestimmt. Waren dann die Platten einer Strahlung exponiert, so entstand ein Thermostrom, der bei Überwiegen der Einstrahlung durch Heizung der Platte mit der geringeren Anzahl Lötstellen kompensiert wurde.

¹⁾ Die Arbeiten II und III wurden im Sommer 1932 abgeschlossen, die später erschienene Literatur ist nicht mehr berücksichtigt worden.

²⁾ W. Marten, Messungen der Sonnenstrahlung in Potsdam in den Jahren 1909 bis 1912. Ergebnisse der Meteorologischen Beobachtungen in Potsdam im Jahre 1912, S. XI.

³⁾ A. Ångström und C. Dorno, Registrierung der Intensität der Sonnen- und der diffusen Himmelsstrahlung ($< 3 \mu$) in absolutem Maß. Met. Zeitschr. 1921, S. 38.

⁴⁾ F. Albrecht, Versuche zur Messung der effektiven Strahlung. Met. Zeitschr. 1926, S. 493.

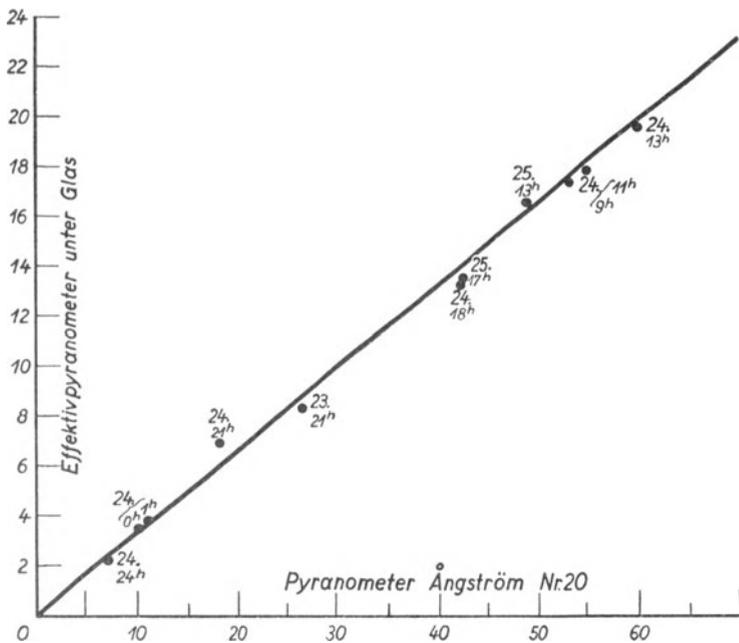


Abb. 3. Beziehung zwischen den Angaben des Effektivpyranometers für Augenablesungen unter Glas und dem Pyranometer Ångström. (Die Zahlenangaben der Abbildung beziehen sich auf die Heizströme in $3 \cdot 10^{-3}$ Amp).

Die Heizung war in diesem Falle gleich der Intensität der Strahlung. Wenn nämlich S die Intensität der Strahlung und H die der Heizung bedeutet, so ist:

$$\begin{aligned} S &= \Theta_1 \cdot f(w) \\ H + S &= \Theta_2 \cdot f(w) \\ H + S &= \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \cdot S. \end{aligned}$$

Ferner ist für die Bedingung des Abgleiches: $\Theta_1 = \frac{1}{2} \Theta_2$. Also ist: $H + S = 2S$ oder $H = S$, entsprechend der vorhin aufgestellten Behauptung. Überwog die Ausstrahlung, so wurde die Galvanometerschaltung nicht verändert und der Ausgleich durch Heizung der nunmehr kälteren Platte mit der größeren Zahl der Thermoelemente hergestellt.

Der Apparat zeigte gute Eigenschaften bei der Prüfung im Windkanal. Im Freien machte sich bei der zur Messung unbedingt erforderlichen hohen Empfindlichkeit des Meßgerätes die Temperaturunruhe der Luft

mitunter recht störend bemerkbar. In diesen Fällen erforderte die Einstellung des Nullausschlages des Galvanometers große Übung. Eine hohe Temperaturunruhe trat immer dann ein, wenn die Einstrahlung auf den Erdboden stark überwog, z. B. bei Bestimmung der Sonnenstrahlung zur Eichung des Gerätes. Ein gutes Arbeiten war besonders bei Nacht möglich, also in den Zeiten, in denen die Bodeninversion ausgebildet war. Die Empfindlichkeit des Meßgerätes wurde sowohl mit Sonneneichungen als auch durch Vergleich seiner Angaben mit denen des Pyranometers Ångström Nr. 20 ermittelt. Im letzteren Falle wurde mit dem neuen Gerät unter einer Glasplatte gemessen. Durch Sonneneichungen wurde auch der Reflexionsverlust der horizontal gestellten Glasplatte zu etwa 20 % bei einem Strahlungseinfall unter 45° festgestellt.

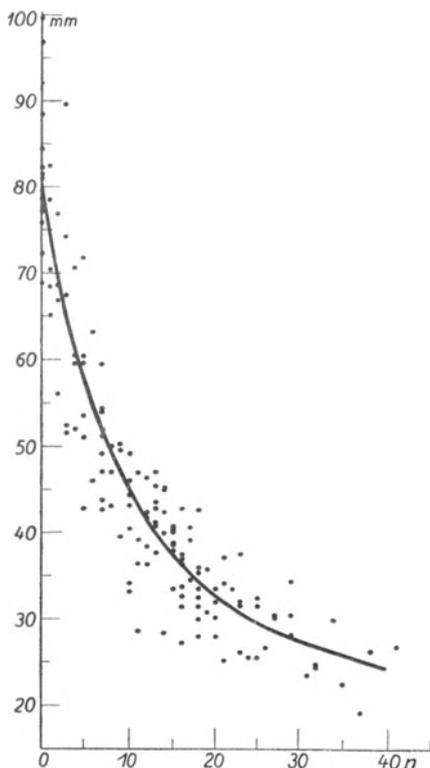


Abb. 4. Abhängigkeit der Angaben des registrierenden Effektivpyranometers von der Windgeschwindigkeit (gemessen in Kontakten des Schalenkreuzanemometers in 5 m Höhe).

Die Messungen mit dem beschriebenen Effektivpyranometer unter Glas wurden bis zum 23. Juni auch zur Bestimmung der Himmelsstrahlung benutzt, da ein Pyranometer zunächst nicht im Besitze des Observatoriums war. Der spätere Vergleich des glasbedeckten Effektivpyranometers für Augenablesungen mit dem Ångström-Pyranometer ergab die Kurve der Abb. 3 an drei bedeckten Tagen (23. bis 25. Juni). An den klaren Tagen zeigten sich unregelmäßige größere Abweichungen gegen die Angaben des Pyranometers, die die mit dem Effektivpyranometer gemessenen Werte zu klein erscheinen ließen. Die nähere Untersuchung ergab als Ursache dieser Erscheinung die Abkühlung der Glasplatte durch die Ausstrahlung gegen den Himmel. Es ist daher nicht ohne weiteres möglich, Meßgeräte, die auf Ausstrahlung ansprechen sollen, durch Vorsetzen von ganz oder teilweise im Langwelligen absorbierenden Filtern für bestimmte Wellenlängegebiete empfindlich zu machen. Glücklicherweise fielen wegen der meist großen Bewölkung in den ersten Wochen der Messungen nur wenige Kontrolltermine der Himmelsstrahlung durch diese Erscheinung aus.

2. Die Registriergeräte.

Das Ziel der hier behandelten meteorologischen Strahlungs-expedition war die meßtechnische Erfassung des Strahlungshaushaltes

und seine spätere Gegenüberstellung mit dem sich wenigstens zu einem wesentlichen Teile im täglichen Temperaturgang ausdrückenden Wärmehaushalt. Aus diesem Grunde mußte eine möglichst lückenlose Registrierung der an dem Beobachtungsort wirksamen Strahlungsströme vorgenommen werden. Nach dem Stande der Apparatechnik im Jahre 1927 kam dafür nur die photographische Registriermethode in Frage. Für die Registrierung der Meßströme wurden zwei Spiegelgalvanometer von S & H mit 2 Sek. und ca. 0.5 Sek. Schwingungsdauer benutzt. Diese Galvanometer wurden mit der Registriertrommel in einem der Expedition seitens der Magnetischen Abteilung des Potsdamer Observatoriums durch Herrn Geheimrat A. Schmidt dankenswerterweise überlassenen Zelt aus rotem Stoff auf einer Kiste aufgestellt. Das Zelt konnte in einer Wagenremise wettergeschützt untergebracht werden. Von jedem der beiden Registriergalvanometer führten zu den Meßgeräten verdrehte Doppelleitungen aus Starkstromlitzen von ca. 0.5 mm² Kupferquerschnitt und 100 m Länge. Das eine dieser Leitungspaare war an die Registriergeräte für die direkte Sonnenstrahlung und die Strahlung Sonne plus Himmel angeschlossen, während das andere die Effektivstrahlung ohne Sonne, also die Differenz Himmelsstrahlung minus Ausstrahlung übertrug.

Als Meßgeräte bei der Registrierung wurden für die direkte Sonnenstrahlung das Heizbandaktinometer, für die Strahlung Sonne plus Himmel das Solarimeter von Moll-Gorczyński¹⁾ und für die Differenz Himmelsstrahlung minus Ausstrahlung das Effektivpyranometer benutzt. Als Heizbandbolometer wurde das bereits im Jahre 1926 angefertigte Instrument verwandt, das in der Meteorologischen Zeitschrift 1926 eingehend beschrieben wurde²⁾. Zur Registrierung der Effektivstrahlung wurde eine Erstkonstruktion verwandt. Dieser Apparat ist in der Meteorologischen Zeitschrift ebenfalls beschrieben worden³⁾. Seine Auffangplatte bestand aus dünnem Kupferblech (Stärke 0.05 mm), die von einem Konstantendraht von 16.7 Ohm Widerstand geheizt wurde. Die unter dieser Platte angebrachte Thermosäule hatte 12 Manganin-Konstantanelemente. Seine Empfindlichkeit ist in ruhiger Zimmerluft am größten und nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit stark ab. Die Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit wurde auch aus den Registrierungen in Lappland bestimmt und ist in Abb. 4 dargestellt. Die Platte des Effektivpyranometers wurde durch das Wechselstromlichtnetz von 25 Perioden und 130 Volt Spannung durch zwei hintereinander geschaltete Klingeltransformatoren für 50 Perioden und 120 Volt Spannung mit zwei verschiedenen Stromstärken abwechselnd geheizt. Die Berechnungsformel der Intensität der Strahlung aus den Übertemperaturen der Platte des Effektivpyranometers bei schwacher und starker Heizung (θ_1 bzw. θ_2) lautet:

$$S = \left(\frac{\theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} - 1 \right) - 1 \right) \cdot H_1.$$

Das Verhältnis der Intensität der Heizungen $\frac{H_2}{H_1}$ wurde sowohl aus den Registrierungen in den Zeiten, in denen das Instrument mit einem mit Ventilationsöffnungen versehenen Deckel aus blankem Messingblech abgedeckt war, also die Strahlung Null herrschte, als auch durch den Vergleich mit dem Effektivpyranometer für Augenbeobachtungen bestimmt. Der Mittelwert aus beiden Bestimmungen ergab für den in die Auswertungsformel des Effektivpyranometers einzusetzenden Faktor den Wert: $\left(\frac{H_2}{H_1} - 1 \right) = 6.16$. Die Intensität der schwächeren Heizung wurde durch Vergleich mit dem Effektivpyranometer für Augenablesungen zu $H_1 = 0.098 \text{ cal/cm}^2\text{min}$ bestimmt. Die Spannung des Netzwechselstromes wurde dauernd kontrolliert und blieb während der ganzen Dauer der Registrierung weitgehend konstant, insbesondere wies sie keine merkbaren Änderungen im Laufe des Tages auf.

Die Änderung der Heizstromstärke geschah durch Kurzschließung von drei Vierteln des Vorschaltwiderstandes der Effektivpyranometer-Heizung. Diese Umschaltung wurde gleichzeitig mit der Umschaltung des Heizbandaktinometers auf das Solarimeter durch eine Wippe ausgeführt, die die Funktionen eines zweipoligen Schalters hatte und elektrisch durch wechselweise Einschaltung eines Magneten umgelegt wurde. Die Umschaltung erfolgte durch eine Kontaktuhr, die auf zwei Schleiffedern alle drei Minuten abwechselnd einen Kontakt gab. Hierdurch wurde der jeweils von der Wippe entfernte Magnet in Tätigkeit gesetzt und durch seine Anziehung die Umschaltung der Wippe bewirkt. Um einen unnötigen Verbrauch des Magnet-

1) L. Gorczyński, Über Solarimeter und einige andere elektrische Instrumente für Sonnenstrahlungsmessungen. Met. Zeitschr. 1927, S. 5.

2) F. Albrecht, Das Heizbandbolometer, ein Meßgerät zur Registrierung der direkten Sonnenstrahlung. Met. Zeitschr. 1926, S. 495.

3) F. Albrecht, Messung und Registrierung der Strahlungsdifferenz Ausstrahlung minus Einstrahlung mit einem Effektivpyranometer. Met. Zeitschr. 1928, S. 465.

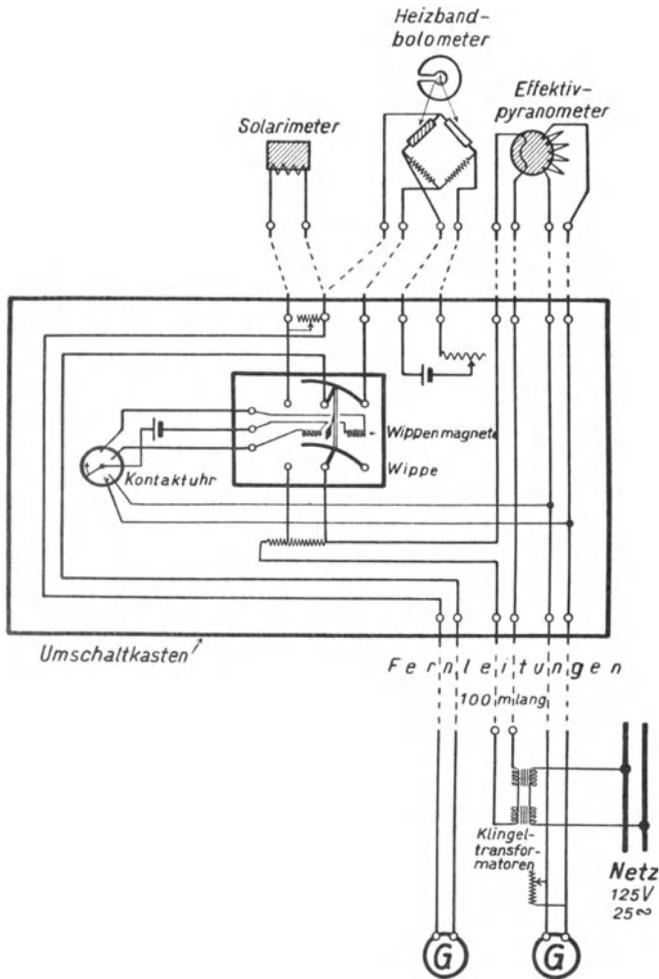


Abb. 5. Schaltung der Strahlungsregistriergeräte.

stromes zu vermeiden, war die Wippe nach einem Vorschlag von Prof. Kühl so eingerichtet, daß durch ihr Umfallen automatisch eine Unterbrechung des bisherigen Magnetstromes eintrat. Hierdurch konnte der Verbrauch an Schaltstrom für die Wippe so gering gehalten werden, daß dafür ohne Schwierigkeiten Trockenelemente benutzt werden konnten und eine Verschmutzung der *Pt*-Kontakte und Federn, die bei längerem Durchgang der verhältnismäßig starken Magnetströme sonst unbedingt eintrat, vermieden wurde. Die Kontaktgabe der Wippe in den geschalteten Stromzweigen erfolgte durch Quecksilbernäpfe, die während der Dauer der Registrierungen in Lappland stets befriedigenden Kontakt gaben. Die Einzelheiten der Schaltung der Registriergeräte sind in Abb. 5 dargestellt. Lediglich die Selbstausschaltung des Wippenstromes wurde der besseren Übersichtlichkeit wegen in die Figur nicht aufgenommen.

Die die Umschaltung bewirkende Kontaktuhr betätigte auch alle Stunden einen Kontakt, der die Thermolemente des registrierenden Effektivpyranometers kurzschloß. Auf diese Weise ließen sich die in der Leitung vorhandenen Thermokräfte feststellen. Da die Leitung oberirdisch verlegt war und über ein von der Sonne wechselnd beschienenes Klemmbrett führte, ließen sich solche unerwünschten Thermostrome nicht ganz vermeiden. Sie traten an allen drei Registrierungen auf und bewirkten einen erheblichen Nullpunktsgang der Aufzeichnungen, dessen Beseitigung während der Registrierperiode, um Störungen zu vermeiden, unterlassen wurde. Mit Hilfe der

Kurzschlußmarken und der alle vier Stunden erfolgten Bedeckung des Effektivpyranometers ließ sich für dieses Instrument der Nullpunktgang leicht feststellen. Zur Ermittlung des Nullpunktganges der beiden anderen Instrumente genügte der Anhalt, den die vierstündigen Bedeckungen gewährten, um ihn aus dem des Effektivpyranometers eindeutig zu bestimmen, da alle Nullpunkte weitgehend parallel liefen.

Die Registrierungen erfolgten auf einer Registriertrommel mit eintägigem Umlauf und einer Breite von 20 cm derart, daß die Hälfte der Breite des photographischen Registrierpapiere von den Registrierungen des Heizbandbolometers und des Solarimeters, die andere Hälfte von denen des Effektivpyranometers eingenommen wurde. Die Länge einer Stunde auf der Registrierung betrug 2 cm. Die Verminderung der für die Spiegelgalvanometer zu hohen Empfindlichkeit der Meßgeräte geschah bei allen Instrumenten durch Einschalten eines Parallelwiderstandes.

3. Die meteorologischen Instrumente.

Die Registrierinstrumente für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden in Ermangelung einer Hütte in 70 cm Höhe über der Erdoberfläche in einer Kiste untergebracht, die nach Norden offen war und gegen die Mitternachtssonne durch ein ininigem Abstand davor gesetztes Brett abgeschirmt wurde. Etwa 1 m von der auf diese Weise improvisierten Hütte wurde ein 5 m hoher Mast aufgerichtet, der an seiner Spitze das Schalenkreuzanemometer trug. Die Registrierung seiner Kontakte erfolgte ebenfalls in der beschriebenen Hütte.

Es war von vornherein zu erwarten, daß diese reichlich improvisierte Aufstellung des Thermographen und Hygrographen nicht unerhebliche Hüttenfehler in die Temperatur- und Feuchtigkeitsregistrierungen hineinragen mußte. Die hier benutzte Art der Aufstellung dieser wichtigsten meteorologischen Geräte rechtefertigte sich nur bei der großen Zahl der täglichen Vergleichstermine, die alle vier Stunden außer vier Uhr morgens mit einem Åbmannschen Aspirationspsychrometer vorgenommen wurden. Bei diesen Terminen

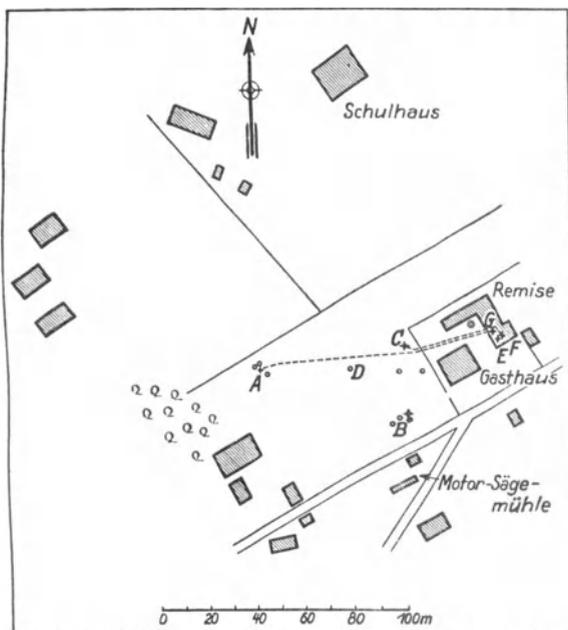


Abb. 6. Lageplan des Beobachtungsplatzes.

wurde auch, wenn möglich, die Windrichtung mit einem Stoffwimpel abgelesen, der an der Anemometerstange befestigt war. Weitere Registrierungen wurden mit zwei Sonnenscheinautographen durchgeführt, von denen der eine nach dem Prinzip von Campbell-Stokes in der Stadeschen¹⁾ Ausführung für Polarstationen, also mit drehbarer Viertelkreisschale, gebaut war, während der andere mit lichtempfindlichem Papier arbeitete. Insbesondere der erstere leistete zur Ergänzung der Registrierungen des Heizbandbolometers gute Dienste.

An den Tagen mit anhaltendem Niederschlag (21. und 22. Juni) wurde für einige Stunden an jedem Tage eine Zeltbahn über die improvisierte Hütte gedeckt, da der durch die Kiste dringende Regen erhebliche Beschädigungen an allen in der Kiste aufgestellten Gegenständen verursachte.

Die Aufstellung aller Instrumente erfolgte auf einer Freifläche von ungefähr 60 m Länge und etwa der gleichen Breite, die mit niedrigem Pflanzenwuchs (teils mit Heidekraut bis zu 30 cm Höhe, teils mit Gras) bedeckt und dem Hauptgebäude nach SW vorgelagert war. Eine Skizze des Beobachtungsplatzes und seiner Umgebung zeigt Abb. 6.

Die Auswahl der Standorte für die registrierenden Strahlungsinstrumente erfolgte nach Maßgabe der Sichtbarkeit der Mitternachtssonne, die auch an dem günstigsten Standort durch einige Gebäude zeitweilig verdeckt wurde. Abb. 7 zeigt den Nordhorizont für die registrierenden Strahlungsinstrumente. Auch die weitere Umgebung des Beobachtungsplatzes bildeten zunächst feuchte Wiesen, auf die erst in einigem Abstand

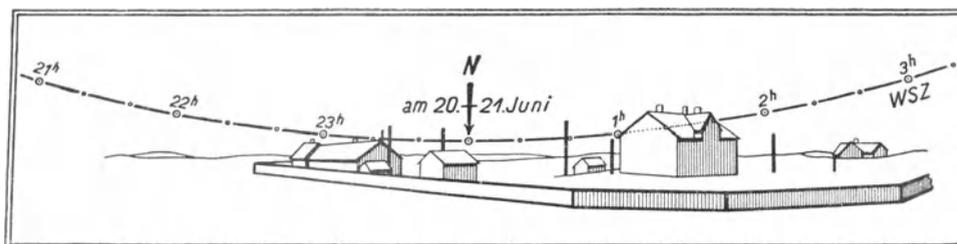


Abb. 7. Der Nordhorizont für das Heizbandbolometer und das Solarimeter.

sumpfiger Wald von der in Lappland üblichen Beschaffenheit (Kiefern und Birken) folgte. Die in diese Landschaft eingestreuten Gebäude besaßen geringe Höhe (1 bis 2 Stockwerke) und nur geringe Ausdehnung gegenüber den zwischen ihnen liegenden Flächen offenen Landes (vgl. Abb. 7).

b) Die Messungsergebnisse.

1. Die Augenbeobachtungen der direkten Sonnenstrahlung.

Die direkte Sonnenstrahlung wurde, wie schon erwähnt, mit dem Michelsonaktinometer gemessen. Alle mit diesem Apparat ausgeführten Messungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Ihre einzelnen Spalten enthalten: Beobachtungszeit, wahre Sonnenhöhe, Luftmasse, Gesamtstrahlung, unkorrigierte Rotstrahlung (in $\text{millical/cm}^2 \text{ min}$) und die Trübungsfaktoren für Gesamt- und Kurzstrahlung nach Linke, berechnet nach den Zahlen von Feußner und Dubois. Die Bestimmung der Luftmasse geschah nach den Bemporadschen Tabellen²⁾. Bei den sehr großen Luftmassen ist neben der ursprünglichen Bemporadschen Luftmasse noch eine zweite größere Luftmasse angegeben. Diese ist unter Berücksichtigung der raschen Abnahme des Absorptionskoeffizienten der Luft mit der Höhe von Bemporad nachträglich abgeleitet worden.

¹⁾ H. Stade, Über eine zum Gebrauch an Polarstationen abgeänderte Form des Sonnenscheinautographen nach Campbell-Stokes. Met. Zeitschr. 1926, S. 492.

²⁾ Azeglio Bemporad, Extinktion des Lichtes in der Erdatmosphäre. Gehrke, Handbuch der physikalischen Optik. Leipzig 1926, S. 305.

Tabelle 1. Die Messungen der direkten Sonnenstrahlung in millical/cm²min mit dem Michelson-Aktinometer 371 in Vittangi 1927.

Tag	M.O. Z.	h _☉	m	G	R	T _G	T _K	Tag	M.O. Z.	h _☉	m	G	R	T _G	T _K	Tag	M.O. Z.	h _☉	m	G	R	T _G	T _K	
Juni								Juni								Juli								
11.	18 01	21.07	2.64	1050	619	2.70	1.36	27.	20 18	9.85	5.50	688	448	2.64	1.35	2.	12 41	44.98	1.37	1294	703	2.81	1.30	
	22 50	1.66	19.92	298	235	2.41	1.08		22 11	3.23	13.60	341	253	2.51	1.17	3.	0 55	1.28	21.20	133	114	3.23	1.50	
			(42.20)			(2.13)					(15.40)			(2.48)					(28.11)			(2.78)		
12.	10 02	41.92	1.43	1236	—	3.09	—	28.	7 45	31.11	1.84	1069	625	3.35	1.79		8 45	36.04	1.64	1246	694	2.51	1.32	
	36	43.62	1.39	1240	670	3.15	1.39		8 17	34.02	1.74	1136	641	3.00	1.53		12 05	45.42	1.36	1287	706	2.89	1.36	
14.	0 46	1.31	21.10	262	220	2.45	1.31		11 41	45.06	1.37	1263	699	3.05	1.45		16 34	29.70	1.94	1176	663	2.66	1.32	
			(25.91)			(2.24)			12 20	45.58	1.36	1262	699	3.07	1.46		19 09	15.35	3.61	932	526	2.48	1.13	
	9 17	39.02	1.54	1335	748	2.37	1.24		16 46	28.85	2.00	1094	630	3.03	1.54		26	14.87	3.72	897	—	2.54	—	
	13 56	42.10	1.45	1340	722	2.48	1.07		19 01	16.20	3.45	838	—	2.93	—	4.	20 43	7.96	6.69	663	469	2.41	1.44	
	17 36	23.70	2.41	1176	681	2.22	1.17		07	15.69	3.55	841	537	2.86	1.59		0 10	0.70	24.74	151	124	2.91	1.18	
	19 56	11.30	4.85	864	592	2.21	1.43		25	14.13	3.93	794	521	2.85	1.64				(36.0)			(2.50)		
15.	0 39	1.25	21.40	258	220	2.43	1.29		35	13.31	4.16	790	505	2.74	1.49		0 39	1.00	22.70	166	—	2.89	—	
			(28.42)			(2.13)			20 01	11.19	4.91	705	475	2.77	1.65				(31.5)			(2.51)		
17.	15 47	33.95	1.72	1288	—	2.39	—		17	9.99	5.44	645	449	2.83	1.65		4 40	13.68	4.05	878	498	2.46	1.07	
	17 17	25.60	1.92	1215	689	2.51	1.27		35	8.70	6.19	586	423	2.83	1.49		8 54	36.71	1.62	1258	696	2.52	1.27	
18.	0 36	1.32	20.08	304	237	2.28	1.00	29.	5 56	20.79	2.72	884	564	3.30	1.92		12 44	44.87	1.37	1305	708	2.79	1.25	
			(25.80)			(2.02)			8 16	34.15	1.73	1069	622	3.35	1.84		16 43	28.42	2.03	1176	669	2.58	1.32	
20.	11 57	45.76	1.34	1310	—	2.82	—		10 13	42.50	1.44	1108	641	3.68	2.05		20 32	8.70	6.17	680	465	2.48	1.36	
	12 11	45.73	1.34	1301	700	2.87	1.23		11 22	45.15	1.37	1092	628	4.13	2.19	5.	0 06	0.61	25.56	1143	121	3.06	1.35	
24.	8 54	37.29	1.58	1269	—	2.69	—		17 20	25.53	2.24	901	556	3.71	2.07				(37.3)			(2.64)		
	9 24	39.19	1.51	1295	710	2.60	1.23		20 31	8.95	6.00	678	464	2.50	1.40		8 45	35.94	1.66	1201	661	2.75	1.34	
	11 54	45.76	1.33	1335	757	2.73	1.45	30.	8 39	35.80	1.66	1205	670	2.89	1.40		16 40	28.98	2.00	1108	634	2.94	1.53	
	13 45	42.90	1.41	1339	752	2.50	1.34		12 21	45.50	1.36	1324	722	2.69	1.24		20 28	8.56	6.27	631	445	2.65	1.52	
	20 58	7.19	7.32	600	425	2.48	1.39		16 33	29.88	1.94	1178	664	2.67	1.31	6.	20 01	10.79	5.06	698	478	2.74	1.62	
	23 58	1.09	22.20	267	217	2.39	1.09		20 53	7.39	7.17	560	405	2.66	1.56	7.	8 45	35.63	1.67	1270	679	2.53	1.07	
			(30.50)			(2.01)		Juli									12 49	44.51	1.39	1280	677	2.90	1.29	
25.	9 21	39.35	1.52	1232	676	3.10	1.41	1.	8 59	37.38	1.60	1330	730	2.23	1.10		16 48	28.16	2.06	1144	638	2.74	1.60	
	12 27	45.58	1.35	1284	723	2.96	1.54		12 42	45.13	1.36	1369	738	2.43	1.08		20 06	10.44	5.24	724	480	2.58	1.42	
	16 29	30.33	1.91	1188	666	2.67	1.27		16 37	29.18	1.98	1251	703	2.31	1.16	8.	8 43	36.24	1.64	1218	661	2.86	1.25	
	20 48	7.83	6.79	681	476	2.34	1.36		20 41	8.07	6.61	750	508	2.15	1.21		12 39	44.66	1.39	1280	686	2.90	1.24	
26.	1 03	1.80	19.08	233	197	2.72	1.70	2.	0 29	1.01	22.81	213	174	2.62	1.15		20 20	9.15	5.92	652	495	2.64	1.93	
			(23.31)			(2.46)					(31.72)			(2.23)			9.	8 35	34.62	1.72	1125	620	3.20	1.46
27.	18 12	20.67	2.72	964	566	2.92	1.44	2.	8 53	36.81	1.62	1190	673	3.05	1.53									

Die Strahlungsintensität im Rot wurde durch Vorschaltung des Rotglases Schott 4512 von 3 mm Dicke gemessen. Für die Berechnung der Kurzstrahlung aus der gemessenen Gesamt- und Rotstrahlung mußte auf die besonderen Verhältnisse dieser unmittelbar an dem Polarkreis gelegenen Station Rücksicht genommen werden. Hier gingen die Messungen der direkten Sonnenstrahlung bis zu sehr geringen Sonnenhöhen herab und konnten bis unmittelbar an den Horizont mit guter Genauigkeit durchgeführt werden. Wie zu erwarten war, ergaben die Messungen des Rotverhältnisses eine Zunahme dieser Größe mit abnehmender Luftmasse. Der höchste für das Rotverhältnis gemessene Wert betrug 85%. Der Zuschlag, der an den Messungen mit dem Rotglas angebracht werden mußte, um den Glaseinfluß zu kompensieren, kann also bei sehr tiefstehender Sonne und dem verwandten Rotglas nicht mehr als 17% betragen. Dies ist der Wert, den verschiedene Autoren überhaupt als Korrektionswert für die Glasreduktion des Rotglases 4512 ermittelt hatten. Nun besteht die Tatsache, daß wenigstens in Lappland die Sonne auch noch in sehr geringen Höhen über den Horizont dem Auge gelb-weiß erscheint. Es befindet sich also auch dann noch ein nicht unerheblicher kurzwelliger Strahlungsanteil im Sonnenlicht. Um auch diesen zur Geltung zu bringen, erscheint es richtiger, einen geringeren Reduktionsfaktor zu benutzen. Die Darstellung des Rotverhältnisses in Abhängigkeit von der Intensität der Gesamtstrahlung führt bei Extrapolation dieser Kurve auf die Gesamtstrahlung Null, die bei unendlich großer Luftmasse erreicht würde, zu dem Wert des Rotverhältnisses 88%, was einem Reduktionsfaktor 1,14 entspricht (Abb. 8). Genau den gleichen Wert haben durch andersartige Überlegungen auch Feußner und Dubois erhalten. Es erscheint daher zweckmäßig, ihn auch zu der Reduktion des vorliegenden Materiales zu benutzen. Zur Begründung dieses Vorgehens sei eine vergleichende Gegenüberstellung der bisher benutzten verschiedenen Reduktionsmethoden hier durchgeführt.

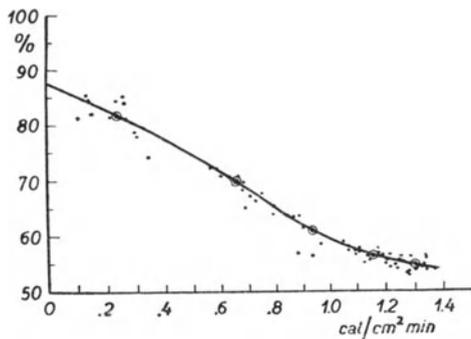


Abb. 8. Das Rotverhältnis des Michelson-aktinometers in Abhängigkeit von der Intensität der Sonnenstrahlung.

Durch die Rotglasmessung soll die Strahlung bestimmt werden, die jenseits einer bestimmten Wellenlänge im Sonnenspektrum vorhanden ist. Ein Rotglas 4512 von 3 mm Dicke absorbiert¹⁾ in dem Wellenlängengebiet von 650 bis 2500 $m\mu$ etwa 1 bis 3%. Von 650 $m\mu$ steigt die Absorption mit zunehmender Wellenlänge schnell an. Bei 625 $m\mu$ beträgt sie 49% und bei 600 $m\mu$ bereits 96%. Auch jenseits von 2500 $m\mu$ nimmt die Absorption wieder zu. Zu diesen Absorptionsszahlen muß noch der Reflexionsverlust des Glases gerechnet werden, der ziemlich unabhängig von der Wellenlänge 9,5% beträgt. Die Feststellung der Reduktionswerte, die zu den Ablesungen unter dem Rotglas hinzugeschlagen werden müssen, kann nun auf verschiedene Weise erfolgen.

Marten und Mörikofer²⁾ vergleichen die Absorption verschieden starker Gläser miteinander und reduzierten formal linear auf ein unendlich dünnes Rotglas. Ihre Bezugswellenlängen werden damit angenähert die Wellenlängen der Fußpunkte der Durchlässigkeitskurve eines Rotglases von ca. 3 mm Dicke, nämlich ungefähr 600 $m\mu$ nach der kurzwelligen und 4000 $m\mu$ nach der langwelligen Seite. Nach den Messungen ergab sich dieser Reduktionsfaktor bis zu ungefähr 10 Grad Sonnenhöhe ziemlich konstant zu 17,5%. Bei kleineren Sonnenhöhen liegen keine Messungen vor.

Büttner³⁾ bestimmte den Reduktionsfaktor für die Strahlung oberhalb 650 $m\mu$ zu 11%. Die Absorption in dem schrägen Abfall von 650 bis 600 $m\mu$ berechnet er zu 6%, so daß er im ganzen ebenfalls 17% für den Zuschlag erhält.

Feußner und Dubois⁴⁾ beschränken sich bei ihrer Berechnung der Kurzstrahlung auf die Beseitigung des sicher nicht kurzwelligen Anteiles oberhalb 650 $m\mu$ und finden, daß für alle Luftmassen unterhalb 15 ein Zuschlag von annähernd konstant 14% zu der gemessenen Rotstrahlung hinzugefügt werden muß, damit die Differenz eine reine Kurzstrahlung ergibt, die keine Wellenlänge oberhalb 650 $m\mu$ enthält. Die Grenze des Wellenlängenbereiches dieser Kurzstrahlung ist dann nach der Abb. 5 in ihrer zitierten Arbeit nicht scharf definiert, sondern fällt gemäß der tatsächlichen Absorptionskante ab.

Die eben angeführte Abb. 8 der vorliegenden Arbeit zeigt, daß der Reduktionsfaktor 14% bis zu den größten Luftmassen angewandt werden kann. Als Bezugswellenlänge muß man hierbei eine Wellenlänge in der Mitte der Absorptionskante annehmen, also ca. 625 $m\mu$. Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Feußner schwankt der genaue Wert dieser Grenzwellenlänge zwischen 622 und 624 $m\mu$ je nach dem Trübungsgrad und der Luftmasse.

In die Spalte der Trübungsfaktoren für Gesamtstrahlung sind bei den sehr großen Luftmassen entsprechend den beiden verschiedenen Bemporadschen Luftmassenwerten auch zwei Werte für den Trübungsfaktor eingetragen. Es zeigt sich, daß für die Gesamtstrahlung die eingeklammerten Trübungsfaktoren, die mit den größeren Luftmassen, also unter Berücksichtigung der Absorptionsabnahme mit der Höhe, berechnet sind, wesentlich glatter in die Kurve der zeitlichen Änderungen der Trübungsfaktoren hineinpassen, als die mit geringeren Luftmassen berechneten. Für die Trübungsfaktoren der Kurzstrahlung gilt das Umgekehrte. Die mit den großen Luftmassen berechneten Trübungsfaktoren werden sogar kleiner als 1. Die Erklärung dieser Erscheinung ist wohl einfach darin zu suchen, daß die Bemporadsche Reduktion ebenfalls lediglich aus den K. Ångströmschen Messungen der Höhenabhängigkeit der Gesamtstrahlung gewonnen wurde und nur für diese eine (formale) Bedeutung hat.

Außer dieser Erscheinung bei großen Luftmassen zeigen die Trübungsfaktoren deutlich und in dem zu erwartenden Maße den täglichen Gang, den Feußner und Dubois für den Gesamttrübungsfaktor in Luftmassen mit geringem Staubgehalt vorausgesagt haben⁵⁾. Der Gang der Kurzstrahlung, der nach Feußner und Dubois invers mit wesentlich kleinerer Amplitude verlaufen sollte, ist unregelmäßig und tatsächlich wesentlich geringer.

¹⁾ W. Kaempfert, Über die Durchlässigkeit von Strahlungsfiltren. Gerlands Beitr. Bd. 23, 1929, S. 167.

²⁾ W. Mörikofer, Die Intensität der Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen. Festschrift für die 110. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Davos, 1929, S. 33.

³⁾ K. Büttner, Meteorologisch-medizinische Strahlungsmessungen in definierten Spektralbereichen. Strahlentherapie, Bd. 39, 1931, S. 363.

⁴⁾ K. Feußner und P. Dubois, Trübungsfaktor, precipitable water und Staub. Gerlands Beitr. Bd. 27, 1930, S. 147.

⁵⁾ A. a. O. S. 160.

Tabelle 2. Die Augenbeobachtungen mit dem Effektivpyranometer und dem Pyranometer Ångström Nr.20 (beide bei abgeschirmter Sonne) in millical/cm²min im Juni und Juli 1927 in Vittangi.

Tag	M. O. Z.	Effektivpyranometer	Pyranometer	Ausstrahlung	Be-wölkung	Himmelsblau	Tag	M. O. Z.	Effektivpyranometer	Pyranometer	Ausstrahlung	Be-wölkung	Himmelsblau	Tag	M. O. Z.	Effektivpyranometer	Pyranometer	Ausstrahlung	Be-wölkung	Himmelsblau						
Juni	14.	h m 0 25	—134	000*	134	3 ¹⁻⁰	Juni	24.	h m 9 11	131	—	6 ^{1 3)} 4)	Juli	1.	h m 12 46	—051	130	181	2 ^{1 2)}							
		12 43	088		8 ¹				21	289		7 ^{1 3)} 4)				16 56	—	084	—				0			
		46		340*					11 24	341						20 53	—140	046	186				0	9		
		17 47	—124	051*	175	2 ¹			26	314						2.	0 54	—	005				—	0		
		19 42	—129	026*	155	1 ⁰			12 48	236	398	132		7 ¹			9 04	—	148				—	2 ¹	11	
		15.	0 49	—042	005*	047		9 ¹	18 04	055	194	149		6 ⁰			21 05	—132	030				162	0	9	
		13 26	342	362*	020	10 ^{1-0 1)}			20 44	—129	036	165		4 ⁰			3.	0 24	—107				010	117	4 ⁰	7
		20 56	003			10 ¹⁻⁰			23 54	—113	005	118		6 ¹			8 56	—	090				—	2 ⁰	10	
		16.	0 58	000	003*	003		10 ¹⁻⁰ ●	25.	9 47	—105	—		4 ¹			12 16	—	167				—	1 ^{1 4)}	11	
		17.	14 13	272	342*	066		7 ¹	8	12 59	141	262		121	7 ¹⁻⁰		16 58	—090	107				197	2 ¹	11	
	16 56	296		—	5 ^{1 1)}	10	16 48	—	178	—	6 ¹			20 55	—	059	—	0	9							
	59		307*				17 16	—	201	—	6 ¹			4.	0 26	—	015	—	1 ¹							
	20 19	—139	026*	165	5 ⁰		20 45	—152	—	—	2 ¹			13 18	—	156	—	2 ¹	12							
	18.	1 03	—017	022*	039	8 ⁰⁻¹	26.	0 32	—156	009*	165	1 ⁰		16 54	—025	—	—	2 ^{1 3)}								
	11 52	108	142*	034	10 ¹⁻⁰		27.	12 23	271	322	051	6 ^{2 1)}	9	17 02	—	178	—	3 ^{1 4)}								
	16 54	205	255*	050	9 ¹		18 24	—048	074	122	1 ⁰			20 51	—	069	—	1 ¹	10							
	20 47	017	064*	047	8 ¹⁻⁰		22 07	—129	—	—	1 ⁰			5.	0 18	—	010	—	1 ¹							
	19.	0 03	—046	038*	084	6 ^{1 2)}	28.	0 16	—088	—	—	3 ⁰⁻¹	5	9 09	—	138	—	2 ¹	10							
	12 57	236	320*	084	9 ¹		8 09	—096	—	—	1 ⁰			6.	12 57	084	225	141	4 ¹							
	18 00	029	102*	073	10 ¹		12 56	—103	108	211	2 ¹			16 47	—	108	—	2 ¹	11							
	22 07	—047	051*	098	7 ⁰⁻²		17 12	—082	100	182	3 ^{0 5)}			21 12	—	043	—	2 ¹	9							
	23 08	—083	005*	088	5 ⁰⁻¹	6	20 51	—159	052	211	1 ⁰			6.	0 36	—	015	—								
	20.	10 23	328	416*	088	6 ¹⁻⁰	29.	6 03	—066	121	187	0		12 48	—	409	—	8 ⁰								
	13 04	308	427*	119	7 ¹	8	8 44	015	110	095	0 6)			20 50	—043	060	103	3 ⁰	10							
	16 57	166	183*	017	9 ¹		13 39	018	188	160	0 7)			23 58	—	002	—	1 ⁰	6							
	22.	12 56	361	392*	031	9 ²	15 57	—019	121	140	0			7.	9 04	—079	096	175	2 ⁰	11						
	17 10	137	200	063	8 ²		17 17	—012	162	174	3 ⁰			8.	12 58	—	112	—	4 ⁰	11						
	23 18	000	018*	018	10 ¹ ●		30.	9 05	—	057	—	1 ⁰	10	20 21	—114	068	182	0	9							
	23.	9 58	308	377*	069	10 ¹	12 46	—018	082	100	0 7)			8.	0 01	—122	000	122	1 ⁰	6						
	15 42	372	410*	038	10 ^{1 1)}		16 51	—105	061	166	2 ¹			8 53	—	108	—	2 ⁰	10							
	17 32	—	229	—	10 ¹		21 07	—112	051	163	1 ¹			12 55	002	135	133	2 ¹	11							
	19 43	—	156	—	9 ¹		Juli							20 52	—066	084	150	1 ⁰	11							
	20 43	021	077	056	9 ¹		1.	0 51	—068	—	—	1 ⁰		9.	0 10	—101	009	110	3 ⁰	6						
	24.	0 16	—048	009	057	9 ¹	5	9 31	—	069	—	1 ¹		8 46	—045	169	214	0	11							

1) Bewölkungsdichte während der Messung wechselnd. 2) Acu im Zenit. 3) Zenit frei. 4) Zenit bedeckt. 5) Ci im Zenit. 6) Himmel weißlich. 7) Wasserdunst. Die mit * bezeichneten Himmelsstrahlungsdaten sind mit dem Effektivpyranometer unter Glas gemessen.

2. Die Augenbeobachtungen der Himmels- und Effektivstrahlung.

In die Tabelle 2 sind die Werte der Effektiv- und der Himmelsstrahlung ohne Sonne eingetragen, die durch Augenbeobachtungen an der Station erhalten wurden. Die Himmelsstrahlung wurde, wenn möglich, mit dem Pyranometer Ångström gemessen. Das glasbedeckte Effektivpyranometer für Augenbeobachtungen wurde zur Bestimmung der Himmelsstrahlung nur solange benutzt, als das Pyranometer Ångström noch nicht zur Hand war. Die mit dem glasbedeckten Effektivpyranometer gemessenen Werte sind mit einem Stern bezeichnet. Sie sind, wie bei der Apparatbeschreibung ausführlicher dargelegt wurde, bei starker Ausstrahlung wegen der dann häufig erheblichen Untertemperatur der bedeckenden Glasplatte nicht als unbedingt zuverlässig zu betrachten. Glücklicherweise herrschten in der Zeit vom 14. Juni bis zur Ankunft des Pyranometers am 23. Juni nur selten starke Ausstrahlungen. In der fünften Spalte dieser Tabelle ist die Ausstrahlung angegeben, die aus der Differenz der Messung des Effektivpyranometers und des Pyranometers errechnet wurde. Die unter Zuhilfenahme von Temperatur und Dampfdruck aus der Ångströmschen Ausstrahlungsformel zu berechnenden Ausstrahlungswerte stimmen im Mittel von 21 Messungen mit den hier gemessenen Werten nahezu überein, wenn man zur Berechnung der Ausstrahlung die graphische Darstellung von Geiger benutzt¹⁾.

¹⁾ R. Geiger, Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1927, S. 41.

Das Mittel aus den Messungen ist nur etwa 3% geringer als das aus der Rechnung. — Im einzelnen kommen Abweichungen bis zu 30% zwischen gemessenen und berechneten Werten vor. In einer weiteren Spalte ist die Bewölkung und das Himmelsblau während der Messung angegeben. Das Himmelsblau wurde hierbei nach der Linke-Ostwaldschen Skala¹⁾ bestimmt. In Beobachtungszeiten mit oft wechselnder Bewölkung ist es natürlich nicht zu erwarten, daß die Himmels- und Effektivstrahlung zwischen den Effektivpyranometer- und Pyranometerablesungen ungeändert blieb. Hier half auch das natürlich meist durchgeführte Schachteln der Messungen wenig, da auch die den Wechsel der Himmelsstrahlung verursachenden cu-Felder etwa in der Zeitdauer der einzelnen Messungen, also in einigen Minuten, über den Himmel zogen. In solchen Fällen wurde auf die Ausrechnung der Ausstrahlung verzichtet und zwei zu verschiedenen Zeiten gefundene Meßwerte für Effektiv- und Himmelsstrahlung angegeben.

3. Die meteorologischen Augenbeobachtungen.

Möglichst alle vier Stunden, also um 8, 12, 16, 20 und 24 Uhr, wurden Wolken, Windrichtung, Lufttemperatur und Feuchtigkeit beobachtet. Ein großer Teil dieser Beobachtungen wurde vom 14. Juni bis zum 1. Juli von meiner Frau durchgeführt, die mir auch beim Aufbau der Station wertvolle Hilfe leistete. Die Wolken- und Winddaten sind in der Tabelle 3 zusammengefaßt. Sie gibt ein Bild des Witterungsverlaufes während der Beobachtungszeit. An einigen Tagen fielen die Windrichtungsbeobachtungen, zu denen nur ein Stockwimpel zur Verfügung stand, aus. Sie wurden dann aus der Wetterkarte ergänzt, da die Station Gällivare mit gewöhnlich ähnlicher Windrichtung nur 100 km von der Station entfernt lag. Diese Daten sind durch den Druck bezeichnet.

4. Die Registrierbeobachtungen der Strahlungsinstrumente.

Die Stundenmittel der mit den Registrierapparaten erhaltenen Messungen der Strahlungsintensitäten sind in den Tabellen 4 bis 6 wiedergegeben. Von diesen gibt 4 die direkte auf die horizontale Fläche fallende Sonnenstrahlung an, also das Produkt des mit dem Heizbandaktinometer gemessenen Wertes mit dem Sinus der Sonnenhöhe. In Tabelle 5 ist die Differenz der Ausstrahlung minus Einstrahlung vom Himmel, also die Effektivstrahlung ohne Sonne (in millical/cm²min) angegeben. Wegen einiger bei photographischer Registrierung stets möglicher Störungen, die erst beim Entwickeln entdeckt werden können, und wegen mehrerer

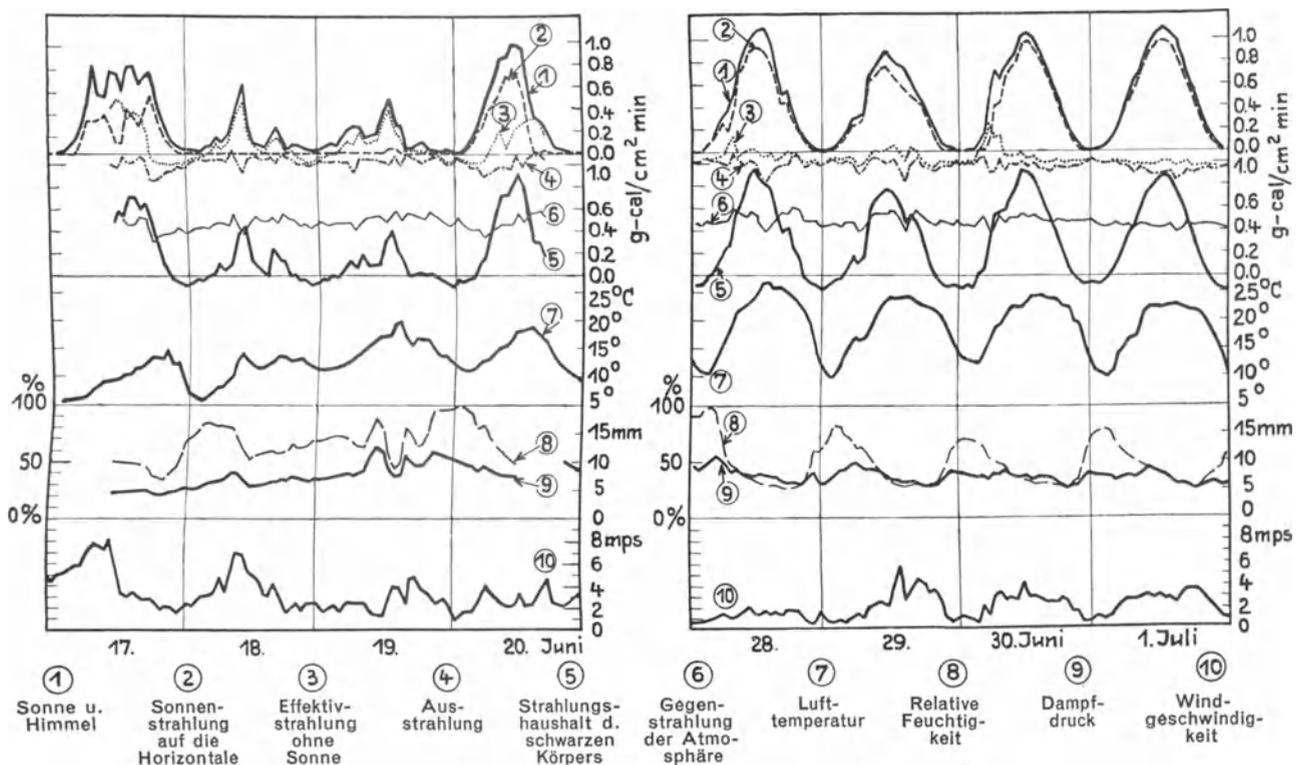


Abb. 9. Ergebnisse der Registrierungen vom 17. bis 20. Juni und vom 28. Juni bis 1. Juli 1927.

¹⁾ F. Linke und W. Ostwald, Blaustufen zur Messung der Himmelsfarben. *Met. Zeitschr.* 1928, S. 367.

Tabelle 3. Übersicht über den Witterungsverlauf in Vittangi im Juni und Juli 1927 zu den Terminen 8^h, 12^h, 16^h, 20^h, 24^h (I—V).

Tag u. Termin	Bewölkung	Wolkenform	Bodenwind	Tag u. Termin	Bewölkung	Wolkenform	Bodenwind	Tag u. Termin	Bewölkung	Wolkenform	Bodenwind
Juni				Juni				Juni			
10. I	5 ¹⁻⁰	Cu, Frcu, Ci	ESE 3	20. I	4 ⁰⁻¹	Cu, Frcu, Ci	N 2	30. I	1 ⁰	Acu	E 2
II	8 ¹	Cu, Cunb, Ci	ESE 3	II	6 ¹⁻⁰	Cu, Frcu, Ci	NW 2	II	1 ⁰	Acu, Ci	SE 3
III	9 ¹ ⊙	Nb (St), Acu	ESE 2	III	10 ¹	Stcu, St	NNE 1	III	2 ¹	Cu, Acu (lent)	E 2
IV	10 ¹ ⊙	Stnb	ENE 2	IV	10 ¹ ⊙	St	E 1	IV	1 ¹		SE 2
V	9 ¹ ⊙	Stnb	ENE 2	V	10 ¹ ⊙	St	E 2	V	1 ⁰	Acu	S 1
11. I	5 ⁰⁻¹	Cu, Ci	ENE 1	21. I	10 ¹ ⊙	St	NNW 2	Juli			
II	4 ⁰⁻¹	Cu, Ci	NE 2	II	10 ¹ ⊙	St	NNW 2	1. I	1 ¹	Cu	ESE 3
III	3 ⁰⁻¹	Cu, Ci	NE 2	III	10 ¹ ⊙	St	N 2	II	0	Acu (W-Hor)	E 2
IV	4 ⁰⁻¹	Stcu, Ci	ESE 1	IV	10 ¹ ⊙	St	N 1	III	0	Acu (SW-Hor)	E 2
V	1 ¹	Stcu (Hor), Ci	C	V	10 ¹	St	E 1	IV	0	Ci (SW-Hor)	E 2
12. I	7 ¹	Cu, Cist	NE 1	22. I	10 ¹ ⊙	St, Frst	SE 1	V	0	Acu (SW-Hor)	SE 1
II	7 ¹⁻⁰	Cu, Frcu, Cist	ENE 2	II	9 ¹	Cu, Stcu, Cunb	ESE 2	2. I	2 ¹	Cu	SE 1
III	7 ⁰⁻¹	Cu (Hor), Cist	ENE 1	III	9 ¹ ⊙	Cu, Cunb	SE 2	II	3 ¹	Cu, Ci	S 3
IV	9 ¹	St, Stcu, Ast	E 1	IV	10 ¹ ⊙	St	S 2	III	—		
V	8 ¹	Stcu, Ast	ENE 1	V	10 ¹ ⊙	St		IV	1 ⁰	Cu	SE 1
13. I	10 ⁰⁻¹ ⊙		NNW 1	23. I	10 ¹	St, Frst	NW 2	V	4 ⁰	Cu, Acu, Ast	C
II	10 ⁰⁻¹ ⊙	St, Cist	N 2	II	10 ¹ ⊙	St, Frnb	SW 2	3. I	2 ⁰	Ci	SE 1
III	10 ¹⁻⁰ ⊙		NW 2	III	10 ¹	Stcu	WNW 2	II	1 ¹	Cu	ESE 2
IV	3 ⁰⁻¹	Cu, Ci	WNW 3	IV	9 ¹	Acu	C	III	2 ¹	Cu	E 3
V	3 ¹⁻⁰	Stcu, Ci	NW 3	V	9 ¹	Acu	W 1	IV	0		C
14. I	3 ¹	Cu, Frcu	W 4	24. I	4 ¹⁻⁰	Cu, Ci	W 1	V	1 ¹	St	C
II	8 ¹	Cu, Frcu	W 4	II	7 ¹	Cu, Frcu	SW 1	4. I	0		
III	3 ¹	Cu, Frcu	WNW 2	III	7 ⁰⁻¹	Cu, Ci	S 2	II	2 ¹	Cu	SE 3
IV	1 ¹	Stcu, Ci	N 1	IV	4 ⁰	Ci	C	III	2 ¹	Cu	ESE 3
V	9 ¹	Stcu, Acu	E 1	V	7 ¹	Stcu, Acu	ESE 1	IV	1 ¹	Cu, Ci	SE 1
15. I	10 ¹	St, Stcu	E 3	25. I	4 ¹⁻⁰	Cu, Ci	ESE 2	V	1 ¹	Stcu	S 1
II	10 ¹ ⊙	St, Stcu	ESE 2	II	7 ¹⁻⁰ ⊕	Stcu, Cist	ESE 2	5. I	1 ¹	Cu, Ci	C
III	10 ¹ ⊙	St, Frnb ¹⁾	SSE 3	III	7 ¹⁻⁰	Cu, Ast, Cist	SE 2	II	4 ¹	Cu	NE 1
IV	10 ¹	St, Frnb	SE 3	IV	2 ¹	Cu, Frcu, Ci	S 1	III	2 ¹	Cu, Acu	SW 1
V	10 ¹	St	SE 1	V	1 ⁰	Acu, Ci	ESE 1	IV	2 ¹	Cu, Ci	C
16. I	10 ¹ ⊙	St, Stcu, Ast	E 1	26. I	10 ¹ ⊙	St	ENE 2	V	4 ⁰	Stcu, Acu, Ci	
II	10 ¹ ⊙	St, Stcu, Ast	NE 1	II	10 ¹ ⊙	St	ENE 2	6. I	8 ⁰	Ci	NW 2
III	10 ¹	St, Stcu, Ast	NNW 3	III	10 ¹ ⊙	St	ENE 1	II	8 ⁰ ⊕	Cu, Ci	NW 2
IV	10 ¹	Stcu, Ast	W 3	IV	10 ¹ ⊙	St	C	III	7 ¹	Cu, Ci	NNW 3
V	10 ¹ ⊙	St	NNW 3	V	10 ¹	St	NE 2	IV	3 ⁰	Acu, Ci	N 2
17. I	7 ¹	Stcu, Acu	NNW 4	27. I	8 ¹	Cu, Stcu, Ci	C	V	1 ⁰ ⊖	Cu	C
II	8 ¹	Cu, Frcu	NNW 3	II	7 ¹	Cunb, Ci		7. I	1 ⁰	Cist	N 2
III	7 ¹	Cu, Frcu, Ci	NNW 3	III	9 ¹ ⊙	Cunb, Ci	E 1	II	4 ⁰	Cu, Ci	NE 2
IV	5 ⁰	Acu, Ci	NE 3	IV	1 ⁰	Acu	ENE 1	III	1 ⁰	Cist, Cicu	N 2
V	8 ⁰	Acu(lent)	NE	V	3 ⁰⁻¹	Cu, Ast ²⁾	NE 1	IV	0		C
18. I	10 ⁰⁻¹	Acu, Cist	SSE 2	28. I	1 ⁰	Acu	NE 1	V	1 ⁰ ≡⊖	Ci (i. N)	C
II	10 ¹⁻⁰	Ast	SSE 3	II	2 ¹	Cu	C	8. Ia	2 ⁰	Ci, Cist ⁵⁾	
III	10 ¹⁻⁰	Stcu, Ast	SE 3	III	3 ¹	Cu, Frcu, Acu, Ci	N 1	I	2 ⁰	Ci	C
IV	8 ²⁻⁰	Stcu, Acu	SE 3	IV	1 ⁰	Ci	ENE 1	II	1 ¹	Cu, Ci (Hor)	E 3
V	8 ¹⁻⁰	Stcu, Acu	E 3	V	—			III	3 ¹	CuN	S 2
19. I	10 ⁰⁻¹ ⊙	St, Acu	SSE 2	29. Ia	0		NE 1	IV	1 ⁰	Stcu, Ci	S 1
II	9 ¹⁻⁰	Stcu, Acu	SSE 2	I	0	Ci i. S ⁴⁾	NE 1	V	3 ⁰	Acu, Ast ⁶⁾	
III	10 ¹⁻⁰	St, Ast ²⁾	SE 2	II	0		ENE 3	9. I	0		N 1
IV	10 ¹⁻⁰ ⊙	St, Ast	SSE 2	III	1 ⁰	Acu, Ast	E 4				
V	5 ¹⁻⁰	Stcu, Ci	S 2	IV	7 ⁰	Ast, Ci, Cicu	E 2				
				V	7 ⁰	Acu, Ci	SE 1				

¹⁾ ⊙ bö a. S 15^h00. ²⁾ ⊙ bö a. S 14^h25. ³⁾ Wogen i. Ast. ⁴⁾ Himmel weißl. ⁵⁾ ≡ Reste ü. d. Wald. ⁶⁾ N-Hor. klar. Mtn. ⊙ noch etwa 1/2 Durchm. ü. d. nat. Hor. ⁷⁾ Am 9. a. m. Zunahme d. Cu-Bew., ebenso am 10. p. m., nach 14^h Cunb-Bildg. 17^h 9¹⊙ NW-zentr.-SE, ⊙¹⁻¹, am 11. 16–18^h ⊙¹ a. SW, ⊙¹ 17^h–19^h. Die Termine wurden nach mitteleuropäischer Zeit durchgeführt. Es ist z. B.: 8^h MEZ = 8^h26 MOZ. Termin Ia am 29. Juni und 8. Juli um 4^h.

Tabelle 4. Stundenwerte der Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche in millical/cm²min in Vittangi im Juni/Juli 1927.

Datum	24-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
14																				210	117	53	20	6
15	5	3								53	36	41	67	15				101	109	39				
16														48				92	38	31	13			
17					36	128	316	394	310	290	229	103	90	398	343	250	386	506	360	197	111	48	19	7
18	6	9																						7
19	2					10							29	30										1
20		3	37	81	191	249	377	425	521	683	668	638	533	206	6	5	13							1
21																								
22													13			26	21	60	36	74	12	3		
23															520			16	3	6	5			
24	1						11	501	646	373	372	267	382	443	501	484	464	388	265	121	100	40	11	6
25	4	3	13	57	128	226	372	415	564	812	707	624	755	268	126	62	337	280	246	200	104	50	1	1
26	2		12		128	90	45																	
27											2	142	11	43	29	12	35	210	281	193	120	45	2	
28	1	1	33	92	163	246	232	359	690	839	880	927	925	888	782	678	471	437	274	187	98	39	7	
29		4	27	62	122	228	237	281	607	663	743	754	674	618	556	494	457	375	236	137	71	2	4	
30	1	2	1		11	132	400	430	610	722	790	950	973	919	830	712	576	452	316	198	101	38	10	
1	3	11	40	94	179	291	437	556	673	825	904	964	977	952	861	773	632	502	330	210	108	52	17	
2	2	11	37	84	164	270	409	532	641	497	495	870	880	645	418	430	469	299	220	94	94	38	11	
3	2	10	34	77	148	249	376	505	610	769	789	853	874	840	779	671	534	413	295	185	105	42	14	
4	3	9	37	89	180	294	434	551	671	812	883	910	893	856	791	674	485	288	296	184	105	42	13	
5	2	11	39	60	58	5	250	560	675	824	832	355	536	473	824	696	547	413	308	46	100	20		
6	0		9	92	174	284	351	458	548	627	594	422	440	225	104	173	292	83	123	127	82	34		
7	0	6	33	92	181	302	429	564	715	846	909	969	951	883	790	690	555	431	296	184	88	27		
8	0	1	9	24	121	248	392	536	675	800	860	921	907	842	752	624								

Tabelle 5. Stundenwerte des Effektivpyranometers ohne Sonne in millical/cm²min in Vittangi im Juni/Juli 1927.

Datum	24-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
14	-134												88					-124		-100	-136	-128	-56	-62
15	-46	-34	-20	29	95	66	92	217	290	352	323	420	550	316	375	227	150				3			
16	2																		112	92	27	42	50	40
17	30												382	200	229	227	165	-70	-90	-85	-96	-97	-80	-97
18	-68	-47	-37	-10	15	98	51	87	206	394	496	146	69	26	4	103	144	58	10	19	-29	-46	-82	-79
19	-27	-35	2	6	53	112	82	188	90	105	120	312	369	193	134	60	60	32	17	-21	15	9	-70	-99
20	-32	-59	-69	-94	-90	-85	-19	89	192	47	159	238	309	306	307	315	154							
21																								
22													198	83	56	27	27	148	7	19	-11	-29	-27	
23												287				386	358	216	188	129	-17	-16	-16	-27
24	-40	-29	7	31	110	167	212	6	22	256	295	252	241	171	158	61	89	37	82	-54	-116	-108	-87	-66
25	-31	-61	-81	-77	-71	-34	-14	77	76	-51	-70	126	75	387	429	275	114	71	-49	-66	-100	-136		
26	-156																				12	9		
27										425	349	415	335	292	281	298		75	-53	-59	-75	-91	-69	-63
28	-86	-83	-51	-68	-46	-34	77	131	-40	4	18	18	-46	-47	-25	-77	-46	-14	-27	-33	-101	-101	-82	-119
29	-109	-67	-62	-80	-56	-61	-135	-120	-36	8	-17	12	53	7	-46	32	-4	-94	-129	-144	-98	-94	-102	-95
30	-116	-92	-107	4	53	228	128	128	-39	-37	-43	-24	-62	-44	-97	-104	-98	-81	-97	-104	-86	-83	-83	-80
1	-72	-91	-104	-99	-83	-97	-93	-123	-111	-122	-124	-114	-90	-96	-107	-111	-91	-140	-134	-125	-125	-140	-147	-138
2										124	250	22	27	131	171	95	-44	-60	-32	-51	-102	-122	-84	-86
3	-60	-60	-65	-56	-42	-66	-82	-127	-122	-116	-36	-67	-61	-76	-27	-1	-94	-56	-91	-127	-120	-138	-176	-181
4																								
5	-85	-85	-22	-10	13	49	99	-81	-106	-56	-27	80	25	100	-28	-39	-56	-47	-49	-86	-102	-140	-119	-125
6	-89	-100	-66	-100	-91	-60	-26	6	31	98	132	239	278	290	270	159	-17	-15	17	17	-26	-152	-120	-152
7	-136	-132	-111	-99	-75	-69	-77	-98	-102	-111	-98	-98	-58	-66	-75	-107	-88	-113	-102	-123	-121	-135	-97	-81
8	-76	-55	-50	-53	-65	-61	-37	-41	-93	-99	-77	-71	-53	-52	-56	-48	-32	-66			-66			

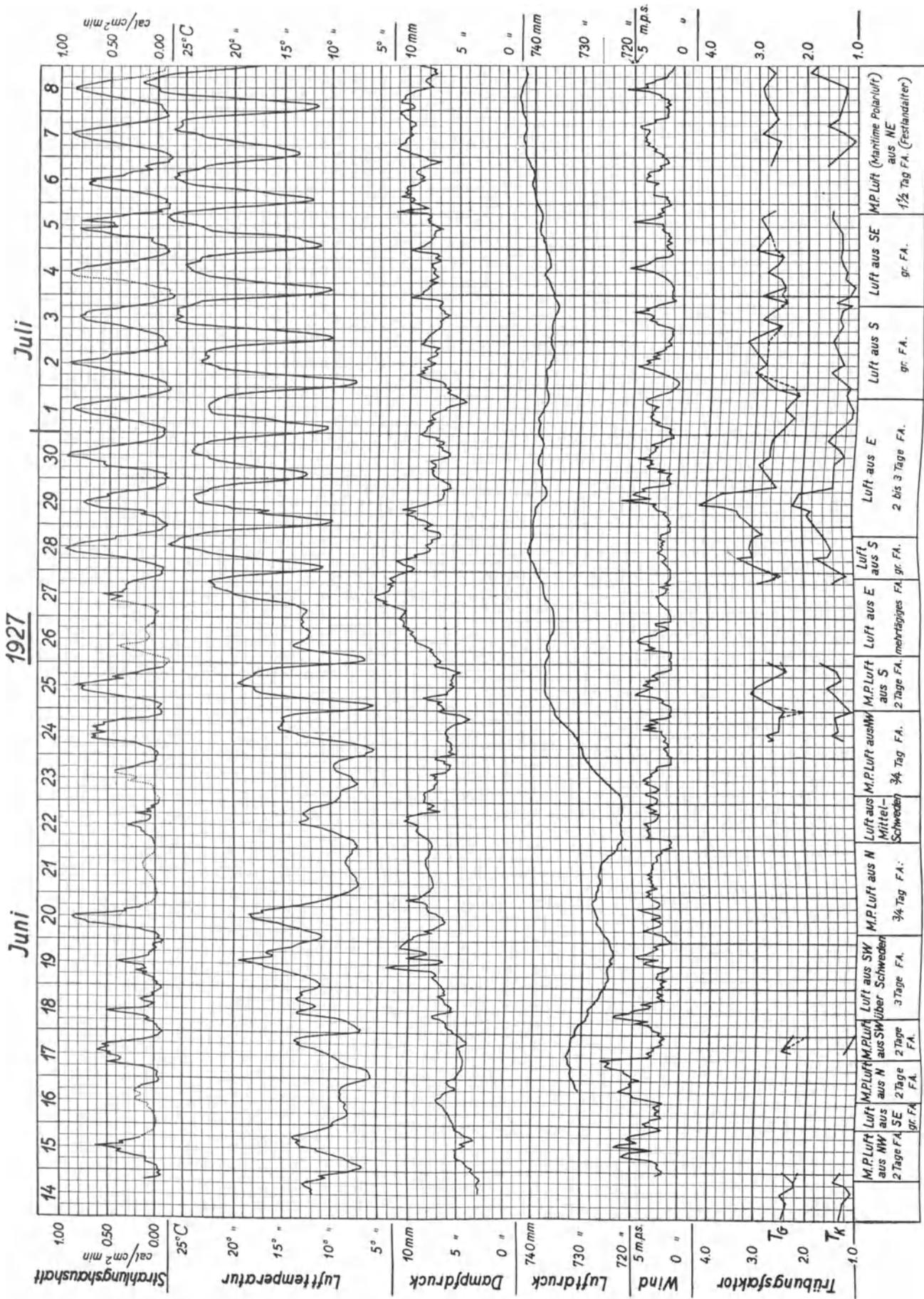


Abb. 10. Strahlungshaushalt und meteorologische Daten während der gesamten Dauer der Registrierungen

Tabelle 6. Stundenwerte des Solarimeters in millical/cm²min in Vittangi im Juni/Juli 1927.

Datum	24-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
14																				263	148	78	45	20	
15	22	15	39	96	150	135	140	274	363	476	421	518	744	442	492										
16																			237	182	71	18	2	0	
17	0	2	15	58	103	199	402	617	429	412	451	569	536	712	690	546	629	578	408	246	147	89	47	31	
18	28	21	18	44	61	140	98	153	226	487	610	189	86	76	50	134	232	128	49	74	71	46	31	24	
19	34	50	86	68	129	206	237	237	140	158	176	380	485	260	147	80	80	90	102	29	27	27	34	7	
20	0	23	50	120	228	371	349	539	659	795	971	932	932	558	333	297	231	116	41	39	19	13	9	0	
21																					4	0	0	0	
22	0	6	15	26	37	58	112	112	198	172	234	468													
23											296	370	329	260	690	415	376	232	205	176	138	45	13	4	
24	4	6	26	60	120	161	262	561	735	747	714	621	786	787	801	701	668	522	421	211	136	58	26	19	
25	22	15	32	75	153	290	447	565	726	935	949	891	987	809	612	488	559	544	351	320	140	87			
26													198	157	146	125	103	118	41	43	45	14	4	2	
27										538	456	650	370	350	372	380	380	423	392	258	155	78	45	18	
28	5	8	52	120	216	310	373	542	780	872	981	1055	1091	1047	941	766	562	540	390	225	140	68	23	8	
29	3	12	48	95	155	275	304	325	675	741	838	877	813	763	720	642	521	438	285	179	102	37	38	3	
30	5	20	22	63	115	472	635	642	729	800	870	1020	1042	990	892	771	658	515	367	248	144	72	36	6	
1	8	22	54	112	198	325	494	630	748	908	990	1062	1095	1046	966	848	704	559	384	255	142	73	22	8	
2											716	868	1052	1080	908	629	582	582	385	283	149	124	59	45	20
3	15	26	53	95	169	297	456	589	694	860	910	981	1008	972	930	850									
4													1036	993							166	89	50	20	
5	20	30	74	104	204	204	396	622	751	913	961	561	677	735	942	776	669	521	378	115	144	42	14	9	
6	10	19	69	134	272	392	426	523	623	738	784	732	775	593	422	433	418					73	18	3	
7	0	15	40	105	245	390	507	653	810	937	1020	1082	1061	1000	910	805	658	492	360	240	152	49	18	4	
8	1	6	15	39	149	341	502	618	761	884	972	1023	1013	966	850			319							

meist durch Regen oder Regengefahr erzwungener Bedeckungen des Effektivpyranometers fiel ein Teil der Registrierungen aus. Es wurde beim Heizbandbolometer, also bei der Registrierung der direkten Sonnenstrahlung, versucht, die entstandenen Lücken auszufüllen. Hierzu wurden die Registrierungen der Sonnenscheinautographen und, wenn möglich, auch die Augenbeobachtungen der Sonnenstrahlung herangezogen. Die auf diese Weise ergänzten Werte sind durch *ihre Schrift* hervorgehoben. Sie fügen sich auch nach der etwa gleichzeitig beobachteten Himmelsstrahlung gut in das Gesamtbild der Registrierungen ein. Die Registrierung der kurzwelligen Himmelsstrahlung (Tabelle 6), die gleichfalls erfolgte, und daraus zu ermittelnde Ausstrahlungswerte bringen wenig Neues gegenüber den auch bei den Augenbeobachtungen ermittelten Werten dieser Größen und sind hier schon aus diesem Grunde nicht weiter behandelt. Eine Probe der täglichen Gänge aller Strahlungsgrößen geben die in Abb. 9 wiedergegebenen Registrierungen an den beiden Gruppen von je vier Tagen vom 17. bis 20. Juni bei schlechtem und vom 28. Juni bis 1. Juli bei gutem Wetter. Von größerem Werte und erheblichem Interesse sind die Werte des Strahlungshaushaltes des schwarzen Körpers, die durch Addition der Effektivstrahlung ohne Sonne (Tabelle 5) und der Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche (Tabelle 4) gewonnen wurden. Diese Werte gibt die Abb. 10. Auch bei ihnen ist im wesentlichen in Anlehnung an den Gang der Lufttemperatur, auf den im nächsten Abschnitt noch näher einzugehen ist, eine Vervollständigung für die Lücken versucht worden.

5. Die Registrierungen der meteorologischen Elemente.

In der Abb. 10 sind auch die Registrierungen der Lufttemperatur in 70 cm Höhe, des Wasserdampfdruckes in der gleichen Höhe, des Luftdruckes und der Windgeschwindigkeit wiedergegeben. Von diesen war die Registrierung des Hygrographen und des Anemographen häufig Störungen ausgesetzt. Ausfälle bei dem letzteren Apparat konnten jedoch dadurch vermieden werden, daß der Zusammenhang zwischen der Differenz der Angaben des registrierenden Effektivpyranometers bei starker und schwacher Heizung und der Windgeschwindigkeit zur Ergänzung der Angaben des Anemometers ausgenutzt wurde. Der Zusammenhang zwischen beiden Meßgrößen ist bereits vorher besprochen und in Abb. 4 dargestellt. Die Registrierung der Sonnenscheindauer auf den Registrierstreifen Campbell-Stokes ist nicht in den Tabellen oder der Abb. 10 wiedergegeben, sie stimmt gut mit der genaueren Feststellung der Sonnenscheindauer überein, die aus den Registrierstreifen der direkten Sonnenstrahlung möglich ist. Die Registrierungen des Campbell-Stokes waren

auch während der Mitternachtssonne noch gut wahrnehmbar. Sie machten sich dann allerdings nur in einer schwachen Verfärbung des Blaupapieres bemerkbar. Es kann daraus geschlossen werden, daß eine Strahlungsintensität der Sonne von $0,10 \text{ cal/cm}^2\text{min}$ dazu ausreicht, um bei einem Sonnenscheinautographen mit umklappbarer Hülse, bei dem also die gesamte Kugel stets frei der Strahlung ausgesetzt bleibt, noch merkbare Spuren einer Registrierung zu erzeugen.

c) Der Zusammenhang zwischen Strahlungshaushalt und den meteorologischen Elementen.

1. Der tägliche Temperaturgang.

Die Gegenüberstellung der gleichzeitigen Registrierungen von Strahlungshaushalt und den übrigen meteorologischen Elementen, nämlich Lufttemperatur, Wasserdampfdruck, Wind und auch dem Trübungs-factor ist in Abb. 10 durchgeführt. Deutlich erkennbar ist in dieser Abbildung zunächst der Zusammenhang des Strahlungshaushaltes mit dem täglichen Gang der Lufttemperatur, der hier zuerst behandelt werden soll. Unter Zuhilfenahme auch des vorliegenden Materiales wurde bereits vor einigen Jahren der tägliche Temperaturgang von mir in drei Hauptabschnitte geteilt¹⁾. Nämlich:

- I. Die Ausbildung einer Bodeninversion, verbunden mit einem Temperaturfall in Form einer e -Funktion während des Überwiegens der Ausstrahlung über die Einstrahlung.
- II. Die Beseitigung dieser Bodeninversion in den ersten Morgenstunden mit überwiegender Wärmeaufnahme.
- III. Die Zeit der Wärmeabführung in die Luft nach Beseitigung der Bodeninversion durch aufsteigende Luftmassen.

Zwischen II und III kann noch als ein Vorstadium von III die Zeit eingeführt werden, in der in der untersten Luftschicht die Ausbildung eines stark überadiabatischen Temperaturgefälles stattfindet. In diesem Zeitabschnitt steigt also die Lufttemperatur in der untersten Luftschicht noch an, während schon ein großer Teil der einkommenden Wärme durch die Konvektion nach oben befördert wird, die bald nach der Beseitigung der Bodeninversion stark einsetzt.

In Abb. 10 sind diese drei Zeitabschnitte des täglichen Ganges fast bei jedem einzelnen Tage zu erkennen. Besonders klar ausgebildet sind sie naturgemäß an den Tagen mit wenig wechselnder Bewölkung, vor allem an den wolkenlosen Tagen. Um noch ein besonders deutliches Beispiel zu geben, sind in Abb. 15, die die mittleren Verhältnisse an acht schönen Tagen darstellt, die Grenzen der Abschnitte eingezeichnet.

An den Tagen mit wechselnder Bewölkung, z. B. dem 15. oder dem 18. Juni, kann die Einteilung in diese drei Abschnitte nicht mit derselben Sicherheit durchgeführt werden, weil sowohl die Ausbildung der Bodeninversion als auch die Beseitigung derselben natürlich durch Störungen des Ganges des Bestrahlungszustandes stets mehr oder weniger verzögert wird. Um eine einfache Zusammenstellung der Zusammenhänge auch in diesem Falle zu erhalten, wurde der morgendliche Temperaturanstieg (also die Temperaturdifferenz Θ gegen die Temperatur an der Grenzlinie von I/II in Abb. 15) dargestellt in Abhängigkeit von der seit Beginn des Temperaturanstieges zugeführten Wärmemenge (Q). Zeichnet man diese Θ/Q -Diagramme (Abb. 11), so erkennt man, daß an den verschiedenen Tagen der Temperaturanstieg in Abhängigkeit von der zugeführten Wärmemenge keineswegs gleichartig vor sich ging, sondern daß nach gleicher zugeführter Wärmemenge bald eine größere, bald eine geringere Temperaturzunahme eintrat. Ein ähnliches Verhalten ist auch ohne weiteres zu erwarten, denn das Θ/Q -Diagramm muß in engster Beziehung zum Massenaustausch in der Atmosphäre stehen. Je größer der Austausch ist, um so größer ist ja die Luftmasse, die an der Erwärmung im täglichen Gang teilnimmt, um so geringer ist also auch die Temperaturzunahme bei Zufuhr einer bestimmten Wärmemenge unter sonst gleichen Verhältnissen.

Genau die gleichen Verhältnisse wie für den morgendlichen Temperaturanstieg sind natürlich auch für den abendlichen Temperaturfall nach Überwiegen der Ausstrahlung, also von der Grenze III/I (Abb. 15) an zu erwarten. Auch hier findet man, wie in Abb. 11, einen zuerst schnellen, dann immer langsameren Abfall bei gleichförmiger Zunahme des Wärmeentzuges. In Abb. 12 sind die Daten des morgendlichen Temperaturanstieges bei Zufuhr einer bestimmten Wärmemenge (6 cal/cm^2) mit denen des Abfalles in der vorangegangenen Nacht nach Verlust der gleichen Wärmemenge verglichen. Es stellt sich dabei heraus, daß der Abfall der Lufttemperatur am Abend nach Entzug einer bestimmten Wärmemenge stets etwas größer ist als der Temperaturanstieg am darauffolgenden Morgen bei Zufuhr derselben Wärmemenge. Diese Tatsache steht im Zusammenhang mit der bekannten Erscheinung, daß die Ausbildung einer Bodeninversion den

¹⁾ F. Albrecht, Über den Zusammenhang zwischen täglichem Temperaturgang und Strahlungshaushalt. Gerlands Beitr. Bd. 25, 1930, S. 9.

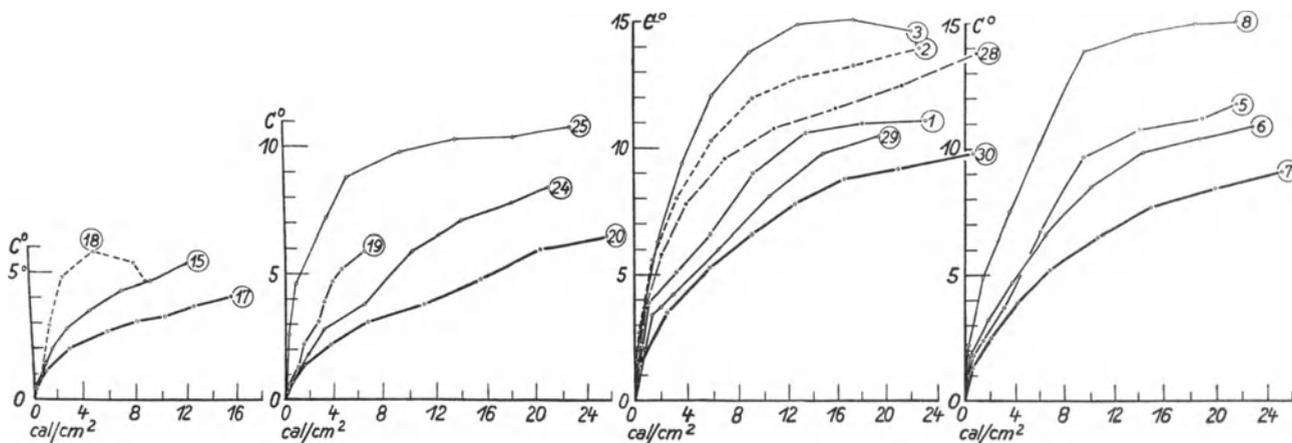


Abb. 11. Die vom 15. Juni bis zum 8. Juli gewonnenen Θ/Q -Diagramme.

vertikalen Massenaustausch vermindert, während ihre Beseitigung denselben vergrößert. Die beiden einzigen Abweichungen in Abb. 12 fallen auf den 25. Juni und auf den 2. Juli. In ersterem Falle war gerade morgens eine andere Luftmasse an die Stelle der abendlichen Luft getreten, während im zweiten Falle eine starke Verminderung der Luftbewegung in den Morgenstunden eintrat.

Wie wichtig der Austausch für die Amplitude des täglichen Temperaturganges ist, zeigt auch die Abb. 13. In ihr ist der Temperaturanstieg nach Zufuhr von 50 cal/cm^2 in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dargestellt. Die Windgeschwindigkeit hängt ihrerseits natürlich eng mit dem Austausch zusammen. Man erkennt unmittelbar die starke Verminderung der morgendlichen Temperaturzunahme mit zunehmender Windgeschwindigkeit. Natürlich ist die Streuung dieser Kurve nicht unbeträchtlich. Es fällt aber eigentlich lediglich der 24. Juni mit einer vergleichsweise sehr geringen Temperaturzunahme bei einem sehr schwachen Winde heraus. Für diesen Tag lag es nahe, an eine starke Wirkung der Verdunstung zu denken, denn er folgt auf eine Reihe von Niederschlagstagen. Diese Vermutung wird auch durch die Dampfdruckkurve dieses Tages gestützt, denn der Dampfdruck stieg in den Vormittagsstunden, während er sonst in dieser Tageszeit bereits in der untersten Luftschicht fiel (vgl. die Dampfdruckkurve in Abb. 15). Eine weitere Erklärung für die verhältnismäßig geringe Temperaturzunahme an diesem Tage gibt noch die Analyse der Herkunft der Luftmasse, die sich an diesem Tage über der Station befand. Es handelte sich nämlich um frische, unmittelbar von den Lofoten her einströmende Polarluft, die erst während der Nacht ihre Strömungsgeschwin-

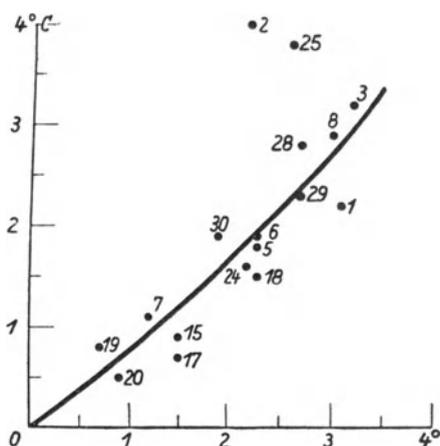


Abb. 12. Die abendliche Temperaturverminderung nach Wärmeentzug von 6 cal/cm^2 in Abhängigkeit von der darauffolgenden Temperaturerhöhung (Abszisse) nach Zufuhr der gleichen Wärmemenge. (Die Zahlen an den Punkten bedeuten die Daten am Morgen.)

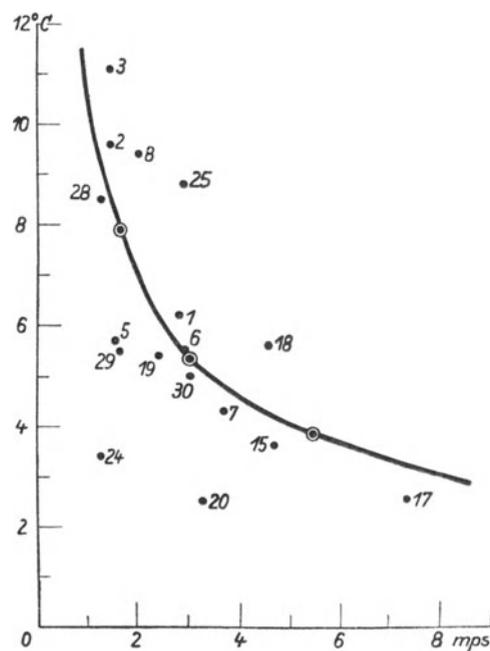


Abb. 13. Morgendliche Temperaturerhöhung nach Zufuhr von 50 cal/cm^2 in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. (Die Zahlen an den Punkten bedeuten die Daten.)

digkeit erheblich verringert hatte. Es ist also anzunehmen, daß die innere Durchmischung der Luftmasse erheblich größer war, als es der gemessenen Windgeschwindigkeit entsprach. Derselbe Grund wird wohl in vielen Fällen die Streuung der Punkte der Abb. 13 erklären. Jedenfalls war auch am 20. Juni, dessen Meßpunkt noch eine erheblichere Abweichung von dem Mittelverhältnissen aufweist, ursprünglich eine wesentlich höhere Windgeschwindigkeit der Luftmasse vorhanden, so daß auch in diesem letzteren Falle vermutlich ein größerer Austausch wirksam war, als es der Windgeschwindigkeit im Mittel entspricht.

Mit Hilfe des in Abb. 13 dargestellten Zusammenhanges zwischen dem morgendlichen Temperaturanstieg und der Windgeschwindigkeit und der in Abb. 12 gegebenen Beziehung zwischen morgendlichem Temperaturanstieg und nächtlichem Temperaturfall erscheint es nunmehr möglich, wenigstens die zwei die Amplitude des täglichen Ganges der Lufttemperatur regelnden Hauptabschnitte des Tages lediglich durch Strahlungshaushalt und Windgeschwindigkeit zu erklären und zahlenmäßig zu ermitteln.

2. Die unperiodischen Temperaturänderungen.

Für die Tagesmitteltemperatur, um die der hier zunächst betrachtete tägliche Temperaturgang erfolgte, ist natürlich die Herkunft der Luftmassen von entscheidender Bedeutung. Um diese Verhältnisse eingehender zu betrachten, mußten die Trajektorien der Luftmassen gezeichnet werden, die über die Station

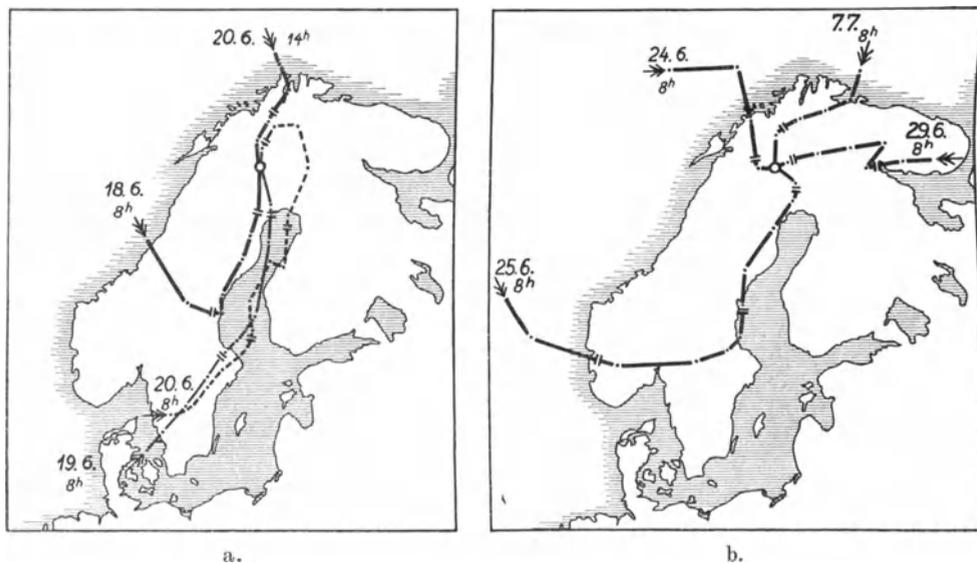


Abb. 14. Herkunftswege für einige die Station überquerende Luftmassen.

zogen. Die Möglichkeit, derartige Luftbahnen zu zeichnen, ist gegen früher dadurch erheblich verbessert worden, daß heute Wetterkarten an vier annähernd gleichmäßig über den Tag verteilten Terminen gezeichnet werden (um 2, 8, 14 und 19 Uhr). — Die Grundlage der hier beschriebenen Untersuchungen bildeten die Karten der Berliner Wetterdienststelle, für deren freundliche Überlassung ich ihrem Leiter, Herrn Professor König, zu Dank verpflichtet bin. — Bei dem ohnehin nicht sehr dichten Stationsnetz im Norden Europas bereitete das Zeichnen der Luftbahnen bei Ausfall der finnischen oder russischen Stationen mehrfach erhebliche Schwierigkeiten, doch gelang es stets, die Herkunft der Luftmasse mit einiger Sicherheit festzulegen. Bei der Zeichnung der Trajektorien wurde meist angenommen, daß die Luftverschiebung mit der 2,3fachen Geschwindigkeit der am Boden gemessenen Windgeschwindigkeit vor sich ging¹⁾ und parallel zu den Isobaren verlief. Bei der Bestimmung der Luftversetzung während der Nacht mit Hilfe der 2-Uhr-Karte wurde an Stelle der beobachteten, durch die Ausbildung der Bodeninversion meist verfälschten Windgeschwindigkeit der Isobarenabstand benutzt. Auf diese Weise wurden die Luftmassen, die an jedem der Beobachtungstage um 8 Uhr morgens über der Station lagen, meist 48 Stunden zurückverfolgt. Ihre Herkunft änderte sich fast von Tag zu Tag. So hatte die Luftmasse des 15. Juni vor zwei Tagen über den Lofoten gelegen, während die des 16. aus Mittelfinnland kam. Die Luftmasse des 17. bestand aus maritimer Polarluft, die erst vor 12 Stunden das Nordkap passiert hatte. Ein gutes Beispiel der Wirkung der Luftmassenherkunft auf die Mitteltemperatur des Tages gibt die Zeit vom 18. bis 20. Juni, deren Luftmassenbahnen in Abb. 14a zusammengestellt sind.

1) Defant, *Wettervorhersage*, 2. Aufl., 1925, S. 35.

Die Luftmasse des 18. morgens war noch kalt. Sie bestand aus maritimer Polarluft, die 48 Stunden vorher über Mittelnorwegen das Festland erreicht und im Laufe des Vortages bei wechselnder Bewölkung Mittelschweden überflossen hatte. Im Laufe des 18. erscheint zunächst über ihr unter Bewölkung und Niederschlag, dann von ungefähr 14 Uhr an auch am Boden eine Luftmasse, die vor 48 Stunden über Südschweden gelegen hatte und auf ihrem Wege an mindestens einem Strahlungstag über Land erheblich vorgewärmt war. Diese Strömung hielt den ganzen 19. über an und wurde erst am 20. mittags von einer Luftmasse abgelöst, die frische Polarluft in etwa $\frac{1}{2}$ Tag vom Nordkap her brachte. Diese nördliche Strömung hielt unter der Nimbusdecke eines unmittelbar südlich der Station gelegenen Tiefs auch den 21. über an. Am 22. floß vorübergehend Luft aus Mittelschweden über die Station, die bei langsamster Bewegung an den vorhergehenden beiden Regentagen auch über Land nicht wesentlich vorgewärmt worden war. Am 23. und 24. kam wieder maritime Polarluft aus Nordwesten (Abb. 14b), die in der Nacht zum 25. von Warmluft aus Mittelschweden abgelöst wurde. (Vgl. das starke Herausfallen des Punktes des 25. Juni in der Gegenüberstellung des abendlichen Temperaturfalles mit dem morgendlichen Temperaturanstieg in Abb. 12.) Auf diese Südströmung folgte am Morgen des 26. eine Luftzufuhr aus dem Osten, die aus Nordfinland erheblich erwärmte Luftmassen brachte, da die vorangehenden Tage dort ziemlich klar waren. Diese Strömung hielt auch den 27. über an. Am 28. wurde sie vorübergehend durch ebenfalls warme Luftmassen aus dem Süden ersetzt. Die Luftmassen des 29. Juni (Abb. 14b) bis 1. Juli kamen wieder aus dem Osten und entstammten vermutlich letzten Endes einem nordöstlich des Nordkaps gelegenen Hochdruckgebiet. Sie sind also wahrscheinlich maritime Polarluft nach zweitägigem Aufenthalt über stark bestrahltem Lande. Am Morgen des 2. Juli befand sich über der Station eine Luftmasse, die aus dem Süden gekommen war und sich bei der Hochdruckwetterlage während des Vortages bereits in der Nähe der Station aufgehalten hatte. Die außerordentlich geringe Luftbewegung brachte in der Nacht einen erheblichen Temperaturfall zustande (Abb. 12). Da die Beruhigung der unteren Luftschichten aber erst nach 22 Uhr einsetzte, beeinflusste sie bei dem Vergleich der morgendlichen und abendlichen Temperaturänderung nur den Temperaturanstieg, so daß der Punkt des 2. Juli in Abb. 12 aus der Kurve herausfallen mußte. Die Luftmassen des 4. und 5. Juli entstammten dem Südosten, also Mittelfinnland, während die des 6. bis 8. wieder aus dem Nordosten aus dem immer noch dort über dem Nordmeer liegenden Hochdruckgebiet kamen.

Gerade die Luftmassen der letzten drei Tage sind wegen ihrer Temperaturbildung außerordentlich interessant. Es handelt sich hier nämlich um Luftmassen, die als maritime Polarluft über der Küste erschienen und nach einem verhältnismäßig kurzen Landaufenthalt von ca. $1\frac{1}{2}$ Tagen die Station erreichten. Da bei dem völlig klaren Wetter auch der Bestrahlungszustand des Untergrundes bekannt ist, liegt hier die Möglichkeit vor, die Veränderung einer Luftmasse über dem Festland im Sommer bei gegebenen Strahlungsverhältnissen zu verfolgen. Die hierzu nötigen Daten sind in der Tabelle 7 zusammengestellt. Die

Tabelle 7.

	6. Juli 1927	7. Juli 1927	8. Juli 1927
Tagesmitteltemperatur in Vittangi	20,6° C	21,1° C	22,4° C
Alter über sonnenbestrahltem Festland	31 st	23 st	36 st
Ausgangstemperatur der Luftmasse an der Küste	7° C	10° C	9° C
Temperatursteigerung durch den Landaufenthalt.	14° C	11° C	13° C

Temperaturerhöhung am Grunde einer Luftmasse, die über sonnenbestrahltes Festland im Sommer geht, beträgt also nach wenig über einem Tag Landaufenthalt schon mehr als 10 Grad Celsius. Die ungefähr gleich hohen Mitteltemperaturen der Vortage, an denen die Luftmassen aus südlichen Gebieten kamen, also mehrere Tage hindurch den Weg über sonnenbestrahltes Festland zurückgelegt hatten, zeigen, daß eine nennenswerte Zunahme der Temperatur am Erdboden nach dem Ablauf der ersten beiden Tage nicht mehr erfolgt. Andererseits zeigen die cu-nb-Wolken, die sich am Nachmittag des 8. bildeten, daß bei einer in dieser schnellen Weise von unten erwärmten Luftmasse bereits nach ungefähr 48 Stunden Landaufenthalt der feuchtlabile Zustand erreicht wird. Interessant wäre hierfür natürlich auch die Feststellung der Feuchtigkeitszunahme dieser Luftmasse während ihres Festlandaufenthaltes. Rechnet man mit einer Anfangslufttemperatur von 9 Grad im Durchschnitt der drei Tage und mit etwa 70 % relativer Luftfeuchtigkeit über dem Meer, so würde der Ausgangsdampfdruck der Luft 6 mm betragen. Gemessen wurde an der Station ein Dampfdruck von 9 mm im Mittel der drei Tage. Durch den Festlandaufenthalt von noch nicht $1\frac{1}{2}$ Tag wurde also der Dampfdruck in den untersten Schichten um 3 mm erhöht.

Für diese letzten drei Tage ergibt sich unter Benutzung anderweitig gemachter Erfahrungen die Möglichkeit, auch über die Art des Wärmeumsatzes nähere Angaben zu erhalten. Im Mittel wurden an einem der drei Tage dem schwarzen Körper nach der Registrierung 390 cal/cm^2 zugestrahlt, während der schwarze Körper von Lufttemperatur 40 cal/cm^2 ausstrahlte. Rechnet man mit einer Albedo von 10 % für die kurzwellige Strahlung und nimmt die Ausstrahlung des Erdbodens, die ja bei Tage bei einer wesentlich höheren Temperatur, bei Nacht bei einer wesentlich niedrigeren Temperatur vor sich geht, ungeändert an, so ergeben sich für den gesamten Strahlungshaushalt des Erdbodens die Zahlen: Einstrahlung 350 cal/cm^2 , Ausstrahlung 40 cal/cm^2 . Nimmt man nun an, daß, wie auch im Sommer in Potsdam etwa der vierte Teil der vom Erdboden aufgenommenen Wärmemenge an die Luft abgeführt wird¹⁾, so würde die Luft durch ungefähr 80 cal/cm^2 an der Erdoberfläche in 24 Stunden um etwa 10 Grad erwärmt. Mit Berücksichtigung der Abnahme der Luftdichte mit der Höhe würde also eine rund 1500 m starke Luftschicht im Mittel um 5 Grad erwärmt. In dieser Luftschicht betrug die Dampfdruckvermehrung am Grunde 3 mm. Rechnet man also mit einer mittleren Vermehrung des Wassergehaltes der 1500 m starken Luftschicht um $1,5 \text{ g/m}^3$, so ergibt das eine Verdampfung von rund 2,2 mm im Laufe des Tages. Ein Wert, der für das Tundrengebiet plausibel erscheint. Hierzu wurden rund 130 cal/cm^2 verbraucht, so daß im Erdboden noch 140 cal/cm^2 umgesetzt wurden. Diese Zahlen dürften den für diese Breite bei Tundrenbedeckung und völlig klarem Wetter typischen Werten nahekommen.

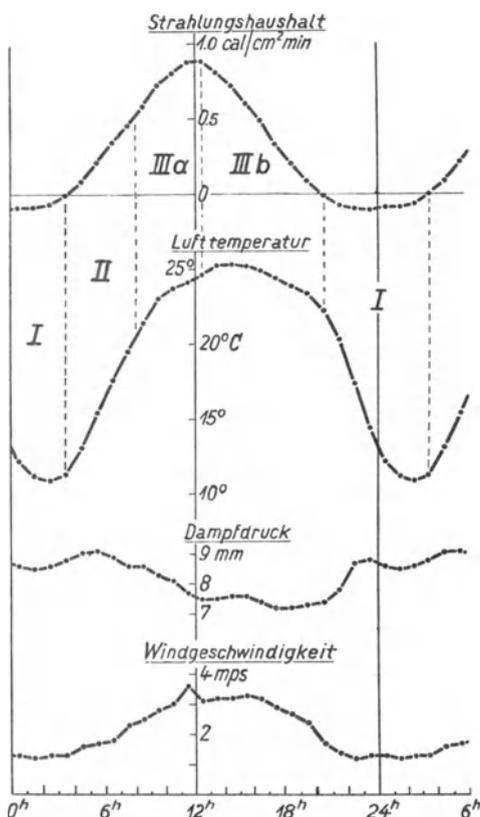


Abb. 15. Täglicher Gang der Mittelwerte von Strahlungshaushalt und meteorologischen Daten für die schönen Tage.

3. Der Dampfdruck und die Windgeschwindigkeit.

Untersucht man nach der Lufttemperatur auch den Gang des Dampfdruckes genauer in seiner Beziehung zum Strahlungshaushalt, so findet man hier zunächst das Verhältnis periodische tägliche zu unperiodischer interdiurner Schwankung erheblich geringer als bei der Temperatur. Auch an den schönen Tagen Ende Juni und Anfang Juli ist die Regelmäßigkeit des täglichen Dampfdruckganges bei weitem geringer als die des Ganges der Lufttemperatur. Will man also den täglichen Gang des Dampfdruckes genauer verfolgen, so bleibt nur übrig, zur Mittelbildung die Zuflucht zu nehmen. In diesem Falle darf man natürlich nur physikalisch wirklich hinreichend ähnliche Tage zusammenfassen. Nach den vorstehenden Untersuchungen kann man die Luftmassen an den schönen Tagen des 28. und 30. Juni und des 1. bis 4. und 7. und 8. Juli, an denen die cu-Bewölkung nicht über $2/10$ und die ci-Bewölkung nicht über $7/10$ anstieg, als untereinander für eine Mittelbildung hinreichend gleichartig betrachten. In Abb. 15 ist für diese schönen Tage außer dem Strahlungsumsatz des schwarzen Körpers von Lufttemperatur, dem täglichen Temperaturgang und dem Gang der Windgeschwindigkeit auch der tägliche Gang des Dampfdruckes dargestellt. Der Dampfdruck weist bei der Ausbildung der nächtlichen Bodeninversion, also bei Beginn des Stadiums I, zunächst einen steilen Anstieg auf. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß die Wasserverdunstung der Bodenoberfläche zunächst bei Anfang der Nacht noch weiter fortbesteht, wobei die verdunsteten Wassermengen durch die Entstehung der Bodeninversion an die unteren Luftschichten gebunden bleiben. Kurz vor Mitternacht beginnt der Dampfdruck wieder langsam zu fallen. In dieser Zeit hört die Bodenverdunstung auf, und der natürlich auch nachts vorhandene, wenn auch sehr viel schwächere Austausch verteilt den Wasserdampf auf eine größere Luftmasse. Ein wesentlicher Anstieg des Wasserdampfes beginnt erst wieder, nachdem für die Bodenoberfläche die Einstrahlung die Ausstrahlung übertrifft. Dann werden zunächst wieder die unteren Luftschichten mit Wasserdampf angereichert. Sobald allerdings der Austausch einen nennenswerten Betrag erreicht hat, beginnt der Dampfdruck wieder zu sinken und erreicht erst kurz vor der Wiederausbildung der Bodeninversion am Abend sein Minimum. Denn tagsüber wird durch den großen Austausch der durch die Verdunstung erzeugte Wasserdampf in kürzester Zeit auf eine große Schichtdicke verteilt²⁾.

¹⁾ F. Albrecht, Gerlands Beitr. Bd. 25, 1930, S. 35.

²⁾ Vgl. auch: Hann-Süring, Lehrbuch der Meteorologie, 4. Auflage, 1926, S. 250.

Der unperiodische Gang des Dampfdruckes zeigt, wie zu erwarten war, die kleinsten Werte bei maritimer Polarluft mit geringem Festlandalter. Es genügt aber auch hier schon, wie das vorher erörterte Beispiel der letzten Tage zeigt, ein Festlandaufenthalt von nur einem Tag bei hinreichender Sonnenbestrahlung, um den Dampfdruck erheblich zu steigern. Die Höchstwerte des Dampfdruckes fallen auf die Tage mit kontinentaler Warmluft, die unmittelbar auf Tage mit stärkeren Niederschlägen folgen.

Auch der tägliche Gang der Windgeschwindigkeit an den heiteren Tagen ist in Abb. 15 dargestellt. Deutlich erkennt man den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur, dessen Erklärung als Folge des täglichen Ganges des Austausches seit langem bekannt ist¹⁾.

4. Der Trübungsfaktor.

In Abb. 10 ist auch der Linkesche Trübungsfaktor, nach Feußner und Dubois berechnet, zeitlich dargestellt. Der Trübungsfaktor zeigt für die Gesamtstrahlung klar den scheinbaren täglichen Gang, der nach den genannten Autoren für einen geringen Staubgehalt der Atmosphäre zu erwarten ist. Nämlich eine Doppelwelle. Dies bestätigt die auch aus den meist zu beobachtenden großen Sichtweiten zu folgernde große Reinheit der Atmosphäre über Lappland. Der interdiurne Gang tritt nicht sehr klar hervor, doch scheint sich ein größerer Trübungsfaktor bei kontinentalen Luftmassen wenigstens anzudeuten. Für den Kurzstrahlungstrübungsfaktor ist eine derartige Beziehung zu der Herkunft der Luftmasse aus dem vorliegenden Material nicht nachzuweisen.

d) Zusammenfassung.

Die kalorimetrischen Strahlungsuntersuchungen in Lappland dienten zur fortlaufenden Bestimmung und Registrierung der direkten Sonnenstrahlung, der Himmelsstrahlung und der Ausstrahlung der Erdoberfläche. Außerdem wurden die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, der Wind und der Sonnenschein fortlaufend registriert.

In der vorliegenden Arbeit werden die benutzten Meßgeräte ausführlich beschrieben und die Messungsergebnisse besprochen und in Tabellen mitgeteilt. Der Strahlungshaushalt wird in seiner Eigenschaft als Ursache des täglichen Ganges der meteorologischen Elemente besonders eingehend betrachtet. Auch die Ursachen der unperiodischen Änderungen der Lufttemperatur werden durch Untersuchung der Herkunft der Luftmassen klargestellt. Unter Benutzung aller dieser Untersuchungsmethoden konnte schließlich das Altern maritimer Polarluft in einigen Fällen verfolgt werden.

Die Untersuchung der direkten Sonnenstrahlung konnte an diesem unter dem Polarkreis gelegenen Orte bis zu sehr geringen Höhen hinab durchgeführt werden. Über den Trübungsfaktor bei großen Luftmassen wurden dabei interessante Beobachtungen angestellt.

III. Die kalorimetrischen Strahlungsuntersuchungen und die meteorologischen Beobachtungen in Vittangi während der totalen Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927.

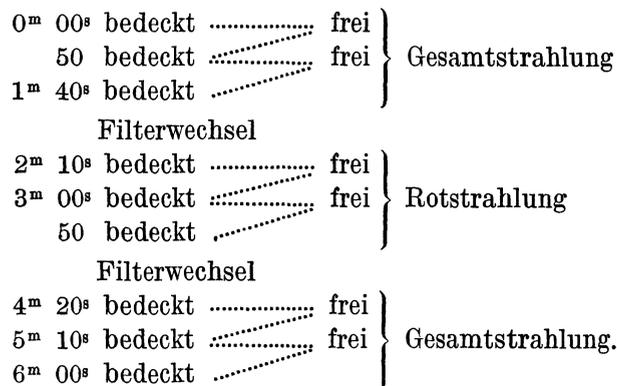
Von F. Albrecht.

a) Die Meßgeräte und Beobachtungsmethoden.

Die Expedition des Meteorologischen Observatoriums Potsdam nach Vittangi zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927 erstrebte die möglichst vollständige Verfolgung aller Strahlungskomponenten und der meteorologischen Elemente während des ganzen Verlaufs der Finsternis. Im Rahmen des Gesamtprogramms entfiel auf mich die Beobachtung und Bearbeitung der kalorimetrischen Strahlungsmeßgeräte und der meteorologischen Instrumente. Es waren zu verfolgen: die direkte Sonnenstrahlung, die Himmelsstrahlung ohne Sonne und die Effektivstrahlung ohne Sonne, die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck und die Windgeschwindigkeit. Um auch in der Zeit kurz vor und nach der Totalität zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, mußte hierbei für die Strahlungsinstru-

¹⁾ Hann-Süring, Lehrbuch der Meteorologie, 4. Auflage, 1926, S. 408.

mente von dem während der Dauerregistrierung geübten Verfahren abgesehen werden. Wie in der vorstehenden, die Dauerregistrierungen behandelnden Arbeit näher ausgeführt wurde, bestand dieses in einer alle drei Minuten erfolgenden Umschaltung von der schwachen auf die starke Heizung bei dem Effektivpyranometer und von dem Heizbandbolometer auf das Solarimeter. Für die Beobachtung der Sonnenfinsternis wurde auf die Registrierung der Himmelstrahlung mit dem Solarimeter verzichtet und dafür Augenblicksablesungen mit dem Pyranometer Ångström durchgeführt. Die Registrierung wurde festgelegt auf die schwache Heizung des Effektivpyranometers und auf das Heizbandbolometer. Um einige der für die Auswertung des Effektivpyranometers wichtigen Werte dieses Apparates in geheiztem Zustande zu erhalten, wurde eine Umschaltung von Hand vorgesehen. Die vollständige Kurve des geheizten Effektivpyranometers, die zur Ermittlung der Effektivstrahlung ohne Sonne notwendig ist, konnte dann unter Benutzung der wenigen Umschaltwerte und Berücksichtigung der Registrierung des Kontaktanemometers ergänzt werden. Zur Bestimmung des Nullpunktes des Effektivpyranometers wurde der Apparat von Zeit zu Zeit mit einer mit Ventilationslöchern versehenen Kappe aus blankem Messingblech bedeckt, die auch während der Dauerregistrierung neben dem Kurzschluß ständig benutzt wurde, da der Kurzschluß der Thermosäule an dem Tage vor der Finsternis schadhaft geworden war und nur unsichere Kontakte lieferte. Da die durch die Bedeckung bestimmten Nullpunkte gut mit den durch die Kurzschlüsse erhaltenen übereinstimmten, war dieses Verfahren unbedenklich. Der Umlauf der Registriertrommel sollte programmgemäß während der Finsternis auf eine Umdrehung der Trommel in zwei Stunden umgeschaltet werden. Hierdurch wäre eine Stundenlänge von 12 cm/st erzielt worden. Leider wurde im entscheidenden Augenblick bei Beginn der Finsternis das Einrücken der großen Umlaufgeschwindigkeit nicht vollständig durchgeführt, so daß die Registrierung mit der bisherigen Geschwindigkeit von 2 cm/st auch während der Finsternis weiterlief. An Augenablesegeräten standen außer dem erwähnten Pyranometer Ångström noch das Michelsonaktinometer und das Åßmannsche Psychrometer zur Verfügung. Von diesen beiden Instrumenten übernahm meine Frau den Michelson. Wegen des Nullpunktsganges dieses Instrumentes wurde auch während der Finsternis die bei ihm sonst bewährte Beobachtungsmethode benutzt. Es wurde also nach dem folgenden Schema beobachtet:



Da die Lamelle 25 Sekunden zur Einstellung brauchte, nahm die Beobachtung mit dem Umschalten des Filters 6 Minuten in Anspruch.

Das Pyranometer wurde mit dem Schleifengalvanometer zusammenschaltet und von mir durchschnittlich alle Minuten abgelesen. Um die Ablesungen derart häufen zu können, wurde auf die Kompensation bei den Messungen verzichtet und der Ausschlag des Instrumentes direkt beobachtet. Der Nullpunkt des Galvanometers wurde ebenfalls in kurzen Zeitabständen durch Abschalten gemessen, da er infolge von Temperatureinwirkungen auf das Galvanometer langsam wanderte. Die Temperaturmessungen in der Luft geschahen etwa alle 5 Minuten mit dem Åßmann in 1,0 m Höhe. Sie dienten nur zur Sicherung der Temperaturregistrierung des Thermographen, der während der Finsternis ungeändert weiterschrieb. Die Luftfeuchtigkeit wurde mit dem Haarhygrometer bestimmt, der während der Dauerregistrierung ohnehin ständig mit dem Åßmann kontrolliert wurde. Ebenso wurde die Registrierung des Barographen und des Kontaktanemometers mit Kontakten für alle 500 m Windweg während der Finsternis ungeändert belassen.

b) Die astronomischen Daten und die Wetterlage zur Zeit der Finsternis.

Die von der Sonnenfinsternis berührten Teile der Skandinavischen Halbinsel sind in der Abb. 16 dargestellt. Diese zeigt außerdem die Wetterkarte des Finsternistages um 8 Uhr morgens. Für die Beobachtungsstation Vittangi fielen der erste Kontakt auf 5^h 46,8^m (6^h 13,3^m), der zweite auf 6^h 47,4^m (7^h 13,9^m), der dritte auf 6^h 48,0^m (7^h 14,5^m) und der vierte auf 7^h 51,7^m (8^h 16,5^m) MEZ (MOZ Vittangi). Während

dieser Sonnenfinsternis wurden an noch vier weiteren räumlich voneinander liegenden Punkten Strahlungsbeobachtungen angestellt. Die Beobachtungsstellen sind auf der Karte mit den entsprechenden Ziffern bezeichnet. Im ganzen beobachteten also die Finsternis:

- I. in Nyborgmoen, Finnmarken: Universitätsinstitut für Meteorologie und Geophysik Frankfurt a. M. (Veröffentlichung F. Linke)¹).
- II. in Vittangi: Meteorologisches Observatorium Potsdam (vorläufige Veröffentlichung R. Süring)²).
- III. in Malmberget, Lappland: Geophysikalisches Zentralobservatorium Leningrad (Veröffentlichungen von N. N. Kalitin)³).
- IV. in Gällivare, Lappland: Sternwarte Kiel (Veröffentlichung C. Wirtz)⁴).
- Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos (Veröffentlichung von W. Mörikofer und F. Lindholm)⁵).
- Meteorologisch-Hydrographische Anstalt in Stockholm.
- V. in Jokkmok, Lappland: Polnische Astronomische Gesellschaft (Veröffentlichung E. Stenz, Lwów)⁶).

Die Wetterlage war an diesem Tage von einem Hochdruckgebiet über dem Nordmeer und einem Tiefdruckgebiet über Süd- und Mittelschweden beherrscht. Die Folge war für alle in Lappland befindlichen Stationen östliche Winde. An den beiden nördlichen Stationen also in Nyborgmoen und Vittangi herrschte während der ganzen Finsternis wolkenloser Himmel. Während an den drei südlicher gelegenen Stationen die Neigung zur a-cu-Bildung an einer etwa in 3000 m Höhe liegenden Schichtgrenze bestand. Erst nach der Finsternis trübte sich auch in Vittangi der Himmel ein, doch kam es auch dann an dieser Station nicht zu einer Wolkenbildung.

c) Die Ergebnisse der Beobachtungen und Registrierungen.

Die Beobachtungsergebnisse der Finsternis sind in der Tabelle 8 zusammengestellt. In den Abb. 17, 20 und 21 sind sie auch zeichnerisch dargestellt. Als Zeit wurde die mittlere Ortszeit für Vittangi gewählt (Spalte 1). Die Daten der einzelnen Elemente sind von 5 zu 5 Minuten angegeben, die sich aus den Registrierungen bzw. den in kurzen Zeitabständen folgenden Ablesungen bei allen Elementen leicht entnehmen ließen. Lediglich für die Rotstrahlung lag das Beobachtungsmaterial nicht hinreichend geschlossen vor, da die einzelnen Ablesungen in Abständen von ungefähr 6 Minuten aufeinander folgten. Hier wurden die einzelnen Punkte der Ablesung miteinander graphisch verbunden und

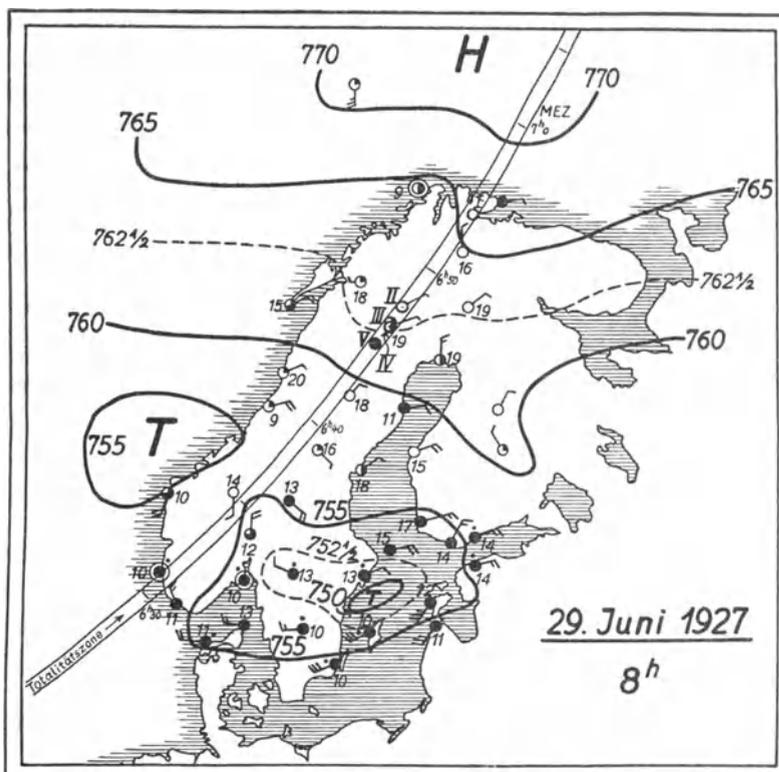


Abb. 16. Die Wetterlage über Skandinavien am 29. Juni 1927, 8 Uhr morgens, die Totalitätszone und die Beobachtungsstellen der Finsternis.

¹) F. Linke, Kurzer Bericht über die Strahlungs- und Sonnenfinsternisexpedition des Universitätsinstituts für Meteorologie und Geophysik in Frankfurt (Main) nach Finnmarken (Norwegen) im Juni 1927. Deutsche Forschung (Aus der Arbeit der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft), Heft 4, 1928, S. 76.

²) R. Süring, Die Sonnenfinsternisexpedition 1927 des Potsdamer Meteorologischen Instituts. Ebenda, S. 74.

³) N. N. Kalitin, Solar radiation during solar eclipse of June 29th 1927 according to observations made at Malmberget (Sweden) (russisch) und: Note regarding the illumination by diffused light during the solar eclipse on June 29th 1927, with some data relating to the illumination at Malmberget. Geografiska Annaler 1928, S. 264.

⁴) C. Wirtz, Sonnenstrahlung und Extinktion nach Beob. aus Sommer 1927 in Gällivare (Lappl.), Publikation der Sternwarte in Kiel XVII, S. 178.

⁵) W. Mörikofer und F. Lindholm (Davos-Platz), Strahlungsmessungen in Gällivare bei der Sonnenfinsternis vom 29. Juni 1927. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Davos 1929, II. Teil, S. 131—133.

⁶) E. Stenz, Radiation solaire et l'opacité atmosphérique pendant l'éclipse du soleil du 29. VI. 1927 à Jokkmokk. Gerlands Beitr. Bd. 21, 1929, S. 270.

Tabelle 8. Die totale Sonnenfinsternis in Vittangi (Lapland) am 29. Juni 1927.
(Strahlungsmessungen in millical/cm²min.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
M. O. Z.	h_{\odot}	m	% der unbed. Sonnenfläche	Redukt.-Faktor d. Randverdunklung		G_0	G	$\frac{G'}{G}$	$\frac{G_0}{G}$	T_G	R	R/G	K	T_K	$G_{hor.}$	H	$\frac{G_{hor.}}{H}$	E	A	Ge	S	ϑ_L	e	v
			beob. n.St.-A.																					
6 00	21.2	2.67	100.0	1.00	1.00	1870	890	2.10	2.10	3.28	561	63.1	250	1.91	322	120	2.68	-66	-186	406	256	17.8	10.4	0.7
05	21.7	2.61	100.0	1.00	1.00	1870	899	2.08	2.08	3.30	561	62.3	259	1.87	332	122	2.72	-68	-190	403	264	17.9	10.3	0.5
10	22.2	2.55	100.0	1.00	1.00	1870	907	2.06	2.06	3.32	560	61.7	268	1.85	343	122	2.81	-70	-192	401	273	17.9	10.3	0.6
15	22.7	2.49	98.9	1.00	1.00	1860	901	2.06	2.06	3.39	559	62.1	263	1.91	352	122	2.88	-75	-197	396	277	17.9	10.0	1.0
20	23.1	2.45	94.6	1.01	1.01	1788	878	2.01	2.03	3.39	552	62.9	248	1.98	345	123	2.80	-82	-205	388	263	17.9	9.8	1.0
25	23.6	2.40	89.7	1.02	1.01	1689	839	2.00	2.02	3.39	519	61.9	248	1.96	336	123	2.74	-91	-214	378	245	17.8	9.7	0.6
30	24.1	2.35	83.1	1.03	1.01	1570	787	1.97	1.99	3.38	478	60.7	242	1.90	322	105	3.07	-101	-206	386	221	17.8	9.6	0.5
35	24.5	2.31	74.2	1.03	1.01	1400	726	1.91	1.93	3.29	432	59.6	233	1.89	301	88	3.42	-112	-200	391	189	17.7	9.5	0.6
40	25.0	2.27	66.2	1.01	1.00	1233	629	1.96	1.96	3.38	387	61.5	188	1.93	266	83	3.21	-122	-205	386	144	17.7	9.5	0.6
45	25.5	2.23	58.0	1.00	1.00	1084	539	2.01	2.01	3.58	331	61.5	161	2.11	232	74	3.14	-133	-207	383	99	17.6	9.4	0.8
50	26.0	2.20	47.2	0.99	0.98	865	447	1.97	1.93	3.40	276	61.7	133	1.98	196	60	3.27	-140	-200	389	56	17.5	9.3	1.0
55	26.5	2.16	36.9	0.96	0.94	649	346	2.00	1.88	3.32	218	63.1	98	2.02	154	51	3.02	-147	-196	402	7	17.3	9.2	1.1
7 00	26.9	2.13	26.6	0.90	0.90	447	248	2.00	1.88	3.14	154	62.1	72	1.86	112	32	3.50	-144	-176	410	32	17.0	9.1	1.1
05	27.3	2.10	16.9	0.81	0.84	265	133	2.37	1.99	3.70	78	58.7	44	1.73	61	20	3.04	-136	-153	431	75	16.8	9.0	0.6
10	27.8	2.07	7.9	0.68	0.72	106	52	2.84	2.04	3.90	29	55.8	19	1.49	24	12	2.00	-127	-138	444	103	16.6	8.9	0.3
14	28.1	2.05	0.0	—	—	0	0	—	—	—	0	—	0	—	0	0	—	-121	-122	458	121	16.4	8.9	0.2
15	28.3	2.04	2.2	0.55	0.57	23	12	3.37	1.92	3.62	7	58.2	4	1.57	6	3	2.00	-113	-120	460	107	16.3	8.9	0.1
20	28.7	2.01	10.9	0.73	0.77	157	80	2.55	1.96	3.76	51	63.8	22	2.16	38	16	2.37	-103	-119	460	75	16.2	9.0	0.1
25	29.2	1.98	20.8	0.86	0.86	334	169	2.30	1.98	3.89	114	67.3	39	2.69	83	31	2.68	-105	-136	442	22	16.1	9.1	0.1
30	29.7	1.95	30.2	0.93	0.91	515	271	2.09	1.90	3.80	165	60.9	83	2.03	134	38	3.52	-105	-143	435	29	16.1	9.2	0.2
35	30.2	1.92	40.2	0.97	0.96	722	378	1.99	1.91	3.76	236	62.4	109	2.24	190	45	4.23	-107	-152	428	83	16.3	9.4	0.4
40	30.7	1.89	49.0	0.99	0.99	907	489	1.87	1.85	3.60	302	61.9	145	2.23	249	58	4.30	-106	-163	419	143	16.6	9.6	0.7
45	31.1	1.87	59.0	1.00	1.00	1102	601	1.84	1.84	3.64	366	61.0	184	2.08	311	62	5.02	-105	-167	419	206	17.0	9.7	1.0
50	31.6	1.84	68.1	1.01	1.00	1272	694	1.83	1.83	3.62	426	61.4	209	2.14	363	72	5.05	-105	-177	411	258	17.4	9.8	0.8
55	32.1	1.82	76.3	1.03	1.01	1441	808	1.75	1.77	3.47	476	59.0	265	2.12	428	81	5.27	-105	-186	408	323	18.1	10.3	0.5
8 00	32.5	1.79	82.2	1.03	1.01	1552	886	1.73	1.75	3.45	521	58.8	292	2.05	476	90	5.29	-105	-195	405	371	18.8	10.6	0.5
05	32.9	1.77	88.5	1.02	1.01	1671	961	1.72	1.74	3.45	570	59.3	311	2.03	522	97	5.39	-100	-195	411	422	19.4	10.9	1.7
10	33.3	1.75	94.4	1.02	1.01	1786	1021	1.73	1.75	3.50	609	59.7	326	2.03	560	105	5.33	-91	-192	418	469	20.0	11.1	1.6
15	33.8	1.74	98.8	1.01	1.01	1864	1055	1.75	1.77	3.60	623	59.1	344	1.97	587	108	5.42	-87	-191	422	500	20.3	11.1	1.0
20	34.3	1.73	99.7	1.00	1.00	1867	1068	1.75	1.75	3.55	628	58.8	351	1.92	606	108	5.61	-74	-180	431	532	20.1	11.0	1.1
25	34.7	1.72	100.0	1.00	1.00	1870	1058	1.77	1.77	3.64	622	58.7	348	1.97	602	106	5.68	-72	-178	432	530	19.9	10.7	1.0
30	35.1	1.70	100.0	1.00	1.00	1870	1050	1.78	1.78	3.70	615	58.6	352	1.95	603	104	5.80	-54	-161	448	549	19.8	10.4	0.5
35	35.5	1.69	100.0	1.00	1.00	1870	1056	1.77	1.77	3.70	617	58.5	352	1.96	613	102	6.01	-34	-142	469	579	20.1	10.6	0.6

die aus dieser Kurve in Abständen von 5 zu 5 Minuten gefundenen Werte in die Tabelle eingesetzt. Dieses Verfahren ist aus dem Grunde berechtigt, weil die Intensität der Sonnenstrahlung, wie sich aus der Registrierung zeigte, keine wesentliche kurzzeitige Unruhe aufwies.

1. Die direkte Sonnenstrahlung.

Für die Untersuchung der direkten Sonnenstrahlung standen außer der Registrierung auch noch die Michelson-Ablesungen zur Verfügung. Beide Meßgeräte stimmten praktisch überein. In der Tabelle sind in Spalte 2 die Sonnenhöhen, in Spalte 8 (G Abb. 17) die gemessenen Sonnenstrahlungen und in Spalte 12 die unkorrigierten Rotstrahlungswerte (R Abb. 17) wiedergegeben. Die Auswertung einer Beobachtungsreihe der direkten Sonnenstrahlung während einer Sonnenfinsternis kann nun sowohl zur Ermittlung der Randverdunkelung als auch zur Untersuchung der Änderung des Trübungszustandes während der Sonnenfinsternis benutzt werden. Vor einer jeden Untersuchung des meteorologisch beeinflussten Ganges der Trübungsverhältnisse ist die Eliminierung der Randverdunkelung Voraussetzung. In der Spalte 9 der Tabelle und in Abb. 18 ist das Verhältnis der ohne Berücksichtigung der Randverdunkelung berechneten extraterrestrischen Gesamtsonnenstrahlung G'_0 zu der tatsächlich gemessenen Intensität der Gesamtstrahlung G in seinem zeitlichen Verlaufe während der Finsternis dargestellt. Dieses Verhältnis zeigt um die Totalität ein scharfes Maximum. Das Maximum ist durch die bei der Berechnung nicht berücksichtigte Randverdunkelung der Sonne verursacht. Um die Wirkung der Randverdunkelung aus dem Gang der Sonnenstrahlung während der

Finsternis zu bestimmen, wurde das Verhältnis $\frac{G'_0}{G}$ (Spalte 9) in Abhängigkeit von dem Bedeckungsverhältnis (Spalte 4) aufgetragen (Abb. 19). In dieser läßt sich die Mittelkurve der so erhaltenen Punkte gut zeichnen. Sie entspricht in allen Einzelheiten der Kurve der Wirkung der Randverdunkelung, die sich aus den Zahlen von Stenz ergibt und die in die Abbildung punktiert eingetragen ist. Von den Bearbeitern der Sonnenfinsternis in Lappland haben sowohl Kalitin als auch Stenz für ihr Material Rechnungen über den Einfluß der Randverdunkelung durchgeführt. Beide benutzen dabei die Zahlen, die Abbot¹⁾ durch Untersuchung der Verteilung der Intensität der Sonnenstrahlung über die Sonnenscheibe erhalten hatte. In Spalte 5 und 6 der Tabelle und in der rechten Randleiste der Abb. 19 sind die Reduktionsfaktoren angegeben, mit denen die Zahlen für den unbedeckten Teil der Sonnenoberfläche zur Berücksichtigung der Randverdunkelung

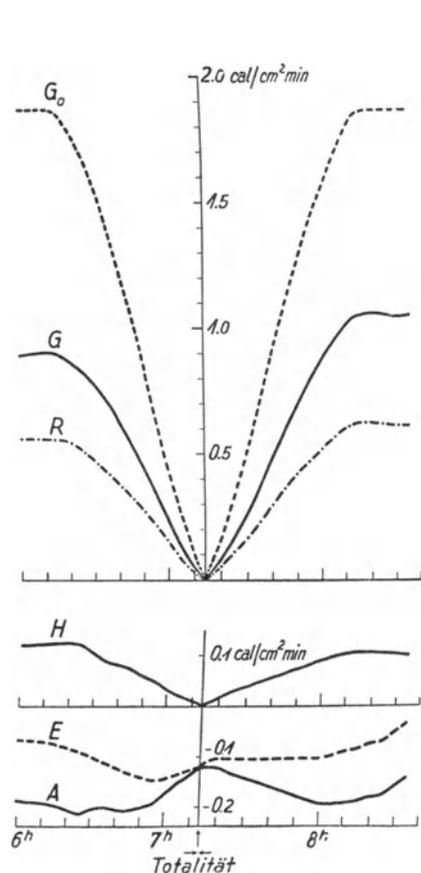


Abb. 17. Die extraterrestrische Sonnenstrahlung (G_0), die beobachtete Gesamtstrahlung (G), die unkorrigierte Rotstrahlung (R), die Himmelsstrahlung ohne Sonne (H), die Effektivstrahlung ohne Sonne (E) und die Ausstrahlung (A) des schwarzen Körpers von Lufttemperatur während der totalen Sonnenfinsternis.

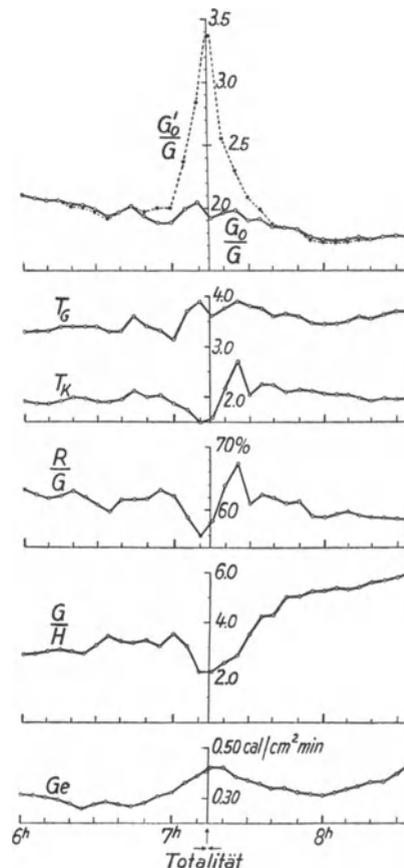


Abb. 18. Das Verhältnis korrigierte bzw. unkorrigierte extraterrestrische Gesamtstrahlung zur beobachteten Gesamtstrahlung ($\frac{G_0}{G}$ bzw. $\frac{G'_0}{G}$), die Trübungs-faktoren für Gesamtstrahlung und für Kurzstrahlung (T_G und T_K), das Verhältnis Gesamtsonnenstrahlung auf die Horizontale zur Himmelsstrahlung ohne Sonne ($\frac{G}{H}$) und die Gegenstrahlung der Atmosphäre (Ge) während der totalen Sonnenfinsternis.

multipliziert werden müssen, wenn man einmal die Reduktion aus dem hier gewonnenen Beobachtungsmaterial, andererseits aus den Zahlen von Stenz-Abbot ermittelt. Für die Berechnung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung (Spalte 7) wurden schließlich die aus dem zweifellos gesicherten Abbotschen Beobachtungsmaterial folgenden Zahlen der Spalte 6 benutzt.

Zu der Untersuchung der Trübungsverhältnisse in der Atmosphäre während der Finsternis wird an Stelle des Verhältnisses extraterrestrische Sonnenstrahlung : gemessene Sonnenstrahlung (Spalte 10) zweckmäßig der Trübungs-faktor verwandt, bei dessen Berechnung der Einfluß der Sonnenhöhe eliminiert wird. Mit den bisherigen für die Berechnung dieser Größe gegebenen Daten lassen sich allerdings die Trübungs-faktoren während einer Sonnenfinsternis nicht streng bestimmen, denn der Trübungs-faktor wird stets unter

¹⁾ C. G. Abbot, Annals Astrophys. Obs. Smiths. Inst. vol. III, chapt. VII, 1913.

der Voraussetzung der genau bekannten und unveränderlichen Spektralverteilung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung ermittelt. Da nach allen bisherigen Untersuchungen die Randverdunkelung der Sonne aber spektralabhängig ist, ändert sich bei einer Finsternis auch die Spektralverteilung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung. Bei einer strengen Berechnung des Trübungs-faktors müßte diese Erscheinung berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Berechnung des Trübungs-faktors aus den Feußner-Dubois-schen Zahlen ohne Berücksichtigung der Änderung der Spektralverteilung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung durchgeführt. Die auf diese Weise erhaltenen, in Spalte 11 der Tabelle und in Abb. 18 unter T dargestellten Werte des Trübungs-faktors der Gesamtstrahlung sind also noch mit einer Reduktion zu versehen, die symmetrisch zu der Totalität liegt und lediglich in der Nähe der Totalität eine merkbare Größe erhalten kann. Es ist anzunehmen, daß die genau zur Zeit der Totalität in dem Gang des Trübungs-faktors zu beobachtende Einsenkung ihrer Größe und Form nach dieser Reduktion entspricht. Auch der Sinn der Abweichung ist richtig, denn die Sonnenstrahlung der randnahen Gebiete der Sonnenscheibe ist reicher an

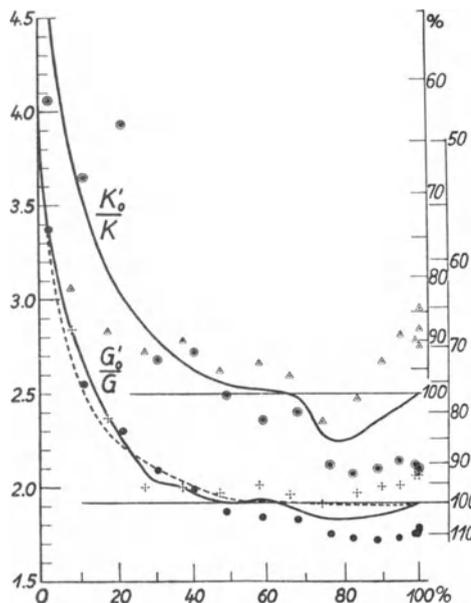


Abb. 19. Die Verhältnisse unkorrigierte extraterrestrische Gesamtstrahlung bzw. Kurzstrahlung zu der beobachteten Gesamtstrahlung bzw. Kurzstrahlung ($\frac{G'_0}{G}$ bzw. $\frac{K'_0}{K}$) in Abhängigkeit von dem unverdunkelten Flächenanteil der Sonne.

der Totalität ein, um sich dann wieder zu verringern und 15 Minuten vor der Totalität für eine halbe bis dreiviertel Stunde den Himmel vollständig zu bedecken. Auf die Tatsache dieser anscheinenden Gleichartigkeit der Eintrübungs-vorgänge an einer höheren Schicht über verschiedenen Orten der Erdoberfläche unter den gleichen Vorbedingungen der Bestrahlungsänderung muß an dieser Stelle hingewiesen werden. Es wäre aber verfrüht, schon jetzt hieran weitere Betrachtungen zu knüpfen, da unsere Kenntnisse über die Kondensationsvorgänge in Abhängigkeit von den Strahlungsverhältnissen zu mangelhaft sind, um eine eindeutige Erklärung zu liefern.

Das Rotverhältnis wurde unter Benutzung des unkorrigierten Meßwertes der Rotstrahlung (R) berechnet (Spalte 13, R/G in Abb. 18). Außer dem Rotverhältnis wurde die Kurzstrahlung (K) nach der Formel $K = G - 1,14 R$ ermittelt (Spalte 14). Auch für die Kurzstrahlung wurde versucht, die Randverdunkelung der Sonnenscheibe aus den Messungen während der Verfinsternung zu bestimmen. Ganz entsprechend dem Vorgehen bei der Gesamtstrahlung wurde hier das Verhältnis der nicht auf Randverdunkelung korrigierten Werte der extraterrestrischen Sonnenstrahlung zu der gemessenen Kurzstrahlung also, $\frac{K'_0}{K}$ gebildet und in Abhängigkeit von dem unbedeckten Teil der Sonnenscheibe dargestellt (Abb. 19). Offenbar infolge der Änderung des Atmosphärenzustandes durch die Sonnenfinsternis zeigen nun die Werte der Kurzstrahlung bei der größten Phase der Verfinsternung eine so starke Streuung, daß irgendwelche sicheren Schlüsse auf die Randverdunkelung für die Kurzstrahlung aus dem Beobachtungsmaterial nicht gezogen werden können.

roten Strahlen, der Trübungs-faktor wird also scheinbar zu gering ausfallen, wenn er mit den Daten für die normale Verteilung der Sonnenstrahlung berechnet wird.

Die auf diese Weise berechnete Trübung der Atmosphäre verlief zunächst gleichmäßig, hatte dann von etwa 40 Minuten vor der Totalität an einige größere Schwankungen und hielt sich bis zum endgültigen Ausgleich auf einem deutlich höheren Wert als bei Beginn der Finsternis. Dieses Verhalten des Trübungs-faktors ließe sich durch Wasserdunstwolken im Vorkondensations-stadium erklären, die im Verlauf der durch die Finsternis verursachten Abkühlung auch der höheren Schichten durch Ausstrahlung entstanden. Danach hätte die Bildung der ersten Kondensations-produkte etwa 30 Minuten vor der Totalität ein erstes Maximum erreicht, um dann wieder zurückzugehen und ungefähr 15 Minuten vor der Totalität von neuem wesentlich stärker einzusetzen. Die dann entstandene Trübung hielt längere Zeit an und ging erst nach über einer halben Stunde zurück. Es ist nun von Interesse, daß an den weiter südlich gelegenen Stationen Malmberget, Gällivare und Jokkmok für die dort die Beobachtung der Sonnenfinsternis störende a-cu-Bewölkung genau der gleiche Gang erhalten wird, wie er sich in Vittangi in der Trübung der Atmosphäre ausdrückte. An allen Stationen war die Zeit vor der Totalität erheblich weniger gestört als die um und nach der Totalität. In den drei bisher veröffentlichten Meßreihen von Malmberget, Gällivare und Jokkmok setzte auch die stärkere Bewölkung anscheinend 30 Minuten vor

Für die Eliminierung der Randverdunkelung zur Berechnung des Trübungsfaktors für die Kurzstrahlung wurde die in die Abb. 19 eingezeichnete Mittelkurve benutzt, die den tatsächlichen Verhältnissen wohl ziemlich nahe kommen dürfte. Berechnet man aus den mit Hilfe dieser Kurve zu ermittelnden Werten der extraterrestrischen Sonnenstrahlung den Trübungsfaktor für die Kurzstrahlung, so ergibt sich der in Spalte 15 der Tabelle und in Abb. 18 unter T_K dargestellte Gang. Hierbei ist wieder, wie bei der Berechnung des Trübungsfaktors für die Gesamtstrahlung, die Voraussetzung gemacht, daß die spektrale Verteilung der Intensität der Kurzstrahlung sich während der ganzen Verfinsterung nicht ändert.

Es ist zunächst bemerkenswert, daß der Gang des Kurzstrahlungstrübungsfaktors dem des Rotverhältnisses nahezu parallel läuft. Das entspricht nur der Tatsache, daß die Änderungen der Kurzstrahlung während der Sonnenfinsternis wesentlich größer sind als die der Gesamtstrahlung. Besonders interessant ist, daß 15 Minuten vor der Totalität der Trübungsfaktor der Kurzstrahlung weiter sinkt, während der der Gesamtstrahlung ansteigt. Es wäre möglich, daß dieses entgegengesetzte Verhalten beider Trübungsgänge mit dem Eintritt der allgemeinen Kondensation zusammenhängt, die um die gleiche Zeit auch durch das Verhältnis der Sonnen- zur Himmelsstrahlung $\frac{G}{H}$ und durch die Gegenstrahlung sehr wahrscheinlich gemacht

wird. Es ist nun an sich wahrscheinlich, daß die Absorption im Langwelligen bei Einsetzen einer Kondensation stark erhöht wird, denn flüssiges Wasser absorbiert im Langwelligen um ein Vielfaches stärker als Wasserdampf. Nicht ohne weiteres verständlich ist aber die verhältnismäßig starke Zunahme der Kurzstrahlung bei Eintritt der Kondensation. Diese Zunahme läßt auf eine Verminderung der Streuung der Atmosphäre schließen. Da bei der Kondensation die Anzahl der Luftmoleküle ungeändert bleibt, könnte die Änderung der Kurzstrahlungstrübung lediglich durch die Änderung der Anzahl der freien Wassermoleküle hervorgerufen werden. Diesen hat bereits Fowle¹⁾ einen merkbaren Anteil an den Zerstreuungsvorgängen des Sonnenlichtes zugeschrieben. Dem starken Anwachsen des Kurzstrahlungstrübungsfaktors nach der Totalität entspricht ein allerdings viel schwächeres Anwachsen im Gesamttrübungsfaktor. Es scheint sich hier, wie auch in dem Anwachsen beider Elemente 30 Minuten vor der Totalität und noch öfter nach ihr um das Vorüberziehen von Wasserdampfschwaden vor der Sonne zu handeln. Daß hierbei die Kurven des Gesamt- und Kurzstrahlungstrübungsfaktors nicht etwa parallel laufen, hängt zunächst wahrscheinlich damit zusammen, daß für das Verhältnis der beiden Trübungsfaktoren zueinander nicht nur die Zahl, sondern auch die Größe der Trübungspartikel eine Rolle spielt.

2. Die Himmelsstrahlung.

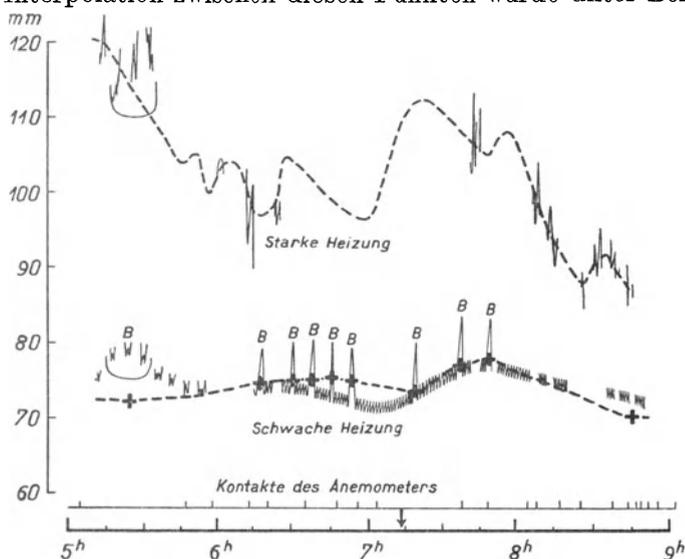
Im Gegensatz zu der Sonnenstrahlung verlief die Himmelsstrahlung während der Finsternis ziemlich unruhig und wies zahlreiche kleine Schwankungen auf. In die Abb. 17 und die Tabelle (Spalte 17) sind nur die von 5 zu 5 Minuten erhaltenen Werte eingetragen. Von den übrigen Stationen haben Linke und Kalitin in Nyborgmoen bzw. in Gällivare ein der Himmelsstrahlung ähnliches Element, nämlich die Himmelshelligkeit mit der Kaliumzelle beobachtet. Die Schwankungen dieses Elementes zeigen in der Zeit vor der Totalität einen ähnlichen Gang wie die der Himmelsstrahlung in Vittangi. Natürlich sind in Gällivare die Unregelmäßigkeiten wegen des Auftretens der Bewölkung noch wesentlich größer als an unserer Station. Es ist nun nicht ohne weiteres möglich, aus der Himmelsstrahlung und der extraterrestrischen Sonnenstrahlung eine Größe abzuleiten, deren Gang eine etwaige Änderung der Zerstreuung in der Atmosphäre mit der Phase der Finsternis anzeigt. Aus diesem Grunde führte ich das Verhältnis Sonnenstrahlung auf die Horizontale: Himmelsstrahlung ein. Dieses ist, wenn sich der Zustand der Atmosphäre nicht ändert, unabhängig von der Intensität der Sonnenstrahlung während der Verfinsterung und weist bei klarem Himmel lediglich einen glatten täglichen Gang auf. Die Werte dieses Verhältnisses gibt die Spalte 18 der Tabelle und die vorletzte Kurve der Abb. 18. Der Gang dieses Elementes zeigt noch besser als der Gang des Trübungsfaktors, der ja nur die Verhältnisse in der unmittelbaren Sonnenumgebung erfassen konnte, daß während der Verfinsterung, besonders aber um die Totalität ganz erhebliche Veränderungen in der Atmosphäre auftraten, die nach der dabei stattfindenden starken Zunahme der Intensität der Himmelsstrahlung kaum anders als als Kondensationserscheinungen gedeutet werden können. Ganz gleiche Verhältnisse zeigt auch die Kurve für das Verhältnis der extraterrestrischen Sonnenstrahlung reduziert auf die Horizontale zu der Himmelsstrahlung. Diese Größe ist vielleicht der ursprünglich benutzten noch vorzuziehen, weil sie die an sich schwächeren Änderungen der direkten Sonnenstrahlung nicht mit enthält. Die in dem Gang des Trübungsfaktors erkennbare Vortrübung, ca. 30 Minuten vor der Totalität, ist in dem Gang des Verhältnisses der Sonnenstrahlung

¹⁾ F. E. Fowle, Transparency of aqueous vapor. *Astrophysical Journal* 1913, S. 392.

zu der Himmelsstrahlung nur andeutungsweise erkennbar. Diese Trübung erstreckte sich also nur über kleinere Teile des Himmels, die für die Station Vittangi zufällig auch die Sonne bedeckten. Nach der Verfinsternung erschien der Himmel in Vittangi lange Zeit weißlich getrübt. Die Himmelsstrahlung war nach Beendigung der Sonnenfinsternis sogar geringer als vor Beginn derselben, trotz des am Ende der Verfinsternung höheren Sonnenstandes. Der Trübungsfaktor zeigte aber zunächst noch nicht einen einer solchen Trübung entsprechenden sehr hohen Wert. Auch hier kann nur eine Inhomogenität der Bewölkung vorgelegen haben, die den Himmelsteil in der Sonnenumgebung zunächst zufällig nicht bedeckte.

3. Die Effektivstrahlung, Ausstrahlung und Gegenstrahlung der Atmosphäre.

Die Werte der effektiven Strahlung ohne Sonne wurden durch die Registrierung ermittelt. Diese Registrierkurve ist in Abb. 20 dargestellt. In ihr sind die von dem Registriergerät aufgezeichneten Kurven ausgezogen, während die Ergänzungen gestrichelt gegeben wurden. Die untere Kurve der Abbildung gibt die Registrierung bei schwacher Heizung wieder, die obere die bei starker Heizung. Einige Meßpunkte dieser letzteren wurden durch mehrere Umschaltungen von der schwachen auf die starke Heizung ermittelt. Die Interpolation zwischen diesen Punkten wurde unter Benutzung des Anemometers erhalten, dessen Kontaktfolge im unteren Randstreifen der Abbildung dargestellt ist. Der Nullpunktbestimmung dienten die vielfachen Bedeckungen des Effektivpyranometers, deren Stellen mit „B“ bezeichnet sind. Aus diesen Bedeckungen ergeben sich für den Nullpunkt die mit Kreuzen bezeichneten Werte. Der Wert des letzten Nullpunktes nach Beendigung der Finsternis um 8 Uhr 45 wurde durch einen Vergleich mit dem Effektivpyranometer für Augenablesungen erhalten. Er stimmt nahezu mit einem noch ein wenig später mit Kurzschluß erhaltenen Nullpunkt überein. Die Auswertung dieser Registrierung ist dann nach der Formel:



$$E = \left(\frac{\Theta_1}{\Theta_2 - \Theta_1} \cdot 6,16 - 1 \right) \cdot 0,098 \text{ cal/cm}^2\text{min}$$

Abb. 20. Die Aufzeichnung und Auswertung des registrierenden Effektivpyranometers während der Sonnenfinsternis.

durchgeführt. Das Ergebnis ist von 5 zu 5 Minuten in die Tabelle eingetragen (Spalte 19, Kurve E Abb. 17). Durch Differenzbildung dieser Werte und der Himmelsstrahlung wurde die Ausstrahlung

(Spalte 20, Kurve A Abb. 17) ermittelt. In Spalte 21 und Abb. 18 unter *Ge* ist die Gegenstrahlung eingetragen, die durch Abziehen der Werte für die Ausstrahlung von den Werten der Strahlung des schwarzen Körpers von Lufttemperatur erhalten wurde. Die für den Verlauf der meteorologischen Registrierungen wichtige Effektivstrahlung mit Sonne, also der „Strahlungshaushalt eines schwarzen Körpers von Lufttemperatur“ ist in Spalte 22 wiedergegeben. (Es ist Spalte 22 = Spalte 16 - Spalte 19).

Für die Betrachtung der bei der Sonnenfinsternis auftretenden Vorgänge ist unter diesen Strahlungen besonders die Gegenstrahlung der Atmosphäre wichtig. Es zeigt sich, daß die Gegenstrahlung um die Zeit der Totalität stark erhöht ist. Ihr Verlauf entspricht hierbei ganz dem des Verhältnisses Sonnenstrahlung zu Himmelsstrahlung, über das im vorigen Abschnitt gesprochen wurde. Dieser Gang der Gegenstrahlung bestätigt wiederum die Annahme einer erhöhten Kondensation durch die Verfinsternung. Denn das bei der Kondensation entstehende flüssige Wasser hat eine wesentlich höhere Absorptions- und Emissionsfähigkeit für die dunkle Strahlung als die gleiche Menge Wasserdampf, die vorher seine Stelle erfüllte. Entsprechend den bei der kurzwelligigen Himmelsstrahlung gefundenen Verhältnissen ist die Vorkondensation etwa eine halbe Stunde vor der Totalität nur ganz schwach angedeutet. Nach der Totalität sank die Kurve der Gegenstrahlung in ganz entsprechender Weise wie die des Verhältnisses Himmelsstrahlung zu Sonnenstrahlung erheblich. Die bei Besprechung des Ganges der Himmelsstrahlung erwähnte Eintrübung des Himmels nach der Beendigung der Verfinsternung führte bei der Gegenstrahlung zu einer starken Erhöhung.

4. Die Ergebnisse der Strahlungsuntersuchungen.

Durch die vorbesprochenen Strahlungsuntersuchungen wurde es sehr wahrscheinlich gemacht, daß an einer im a-cu-Niveau gelegenen Schichtgrenze über Vittangi durch die Verminderung der direkten Sonnen-

strahlung bei der Finsternis eine Abkühlung eintrat, die zum Entstehen einer Kondensation hinreichte. Hierbei blieb über dem Beobachtungsort die Größe der Kondensationspartikel hinreichend gering, so daß während der Finsternis eine dem Auge sichtbare Trübung nicht zustande kam. Die Beobachtung des Trübungszustandes der Atmosphäre durch die direkte Sonnenstrahlung läßt erkennen, daß bereits etwa 30 Minuten vor der Totalität eine Kondensation einsetzte, der nach einem kurzen Aufklaren schließlich die Hauptkondensation, die nur sehr allmählich wieder verschwand, folgte. Ein ganz ähnliches Verhalten des atmosphärischen Zustandes, nämlich Einsetzen einer Bewölkung ungefähr eine halbe Stunde vor der Totalität und nahezu vollständiges Schließen der Wolkendecke kurz vor der Totalität, das dann für längere Zeit bestehen blieb, zeigen auch die Stationen Malmberget, Gällivare und Jokkmok. Der Unterschied zwischen Vittangi und den drei anderen südlicher gelegenen Stationen besteht nur darin, daß in Vittangi, als der von dem südlichen Tiefdruckgebiet am weitesten entfernten Station, die Kondensationsneigung erheblich weniger ausgeprägt war als an den drei anderen Stellen, an denen sich durch die Finsternis Wolken bildeten, die die weiteren Untersuchungen behinderten. Im Gegensatz hierzu fand Linke auf dem am nördlichen Eismeer gelegenen Beobachtungspunkt, also fast 400 km nordöstlich von Vittangi, unter dem Einfluß des nördlichen Hochdruckgebietes keine Auslösung einer Kondensation durch die Finsternis. Das auch von ihm gebildete Verhältnis Sonnenstrahlung zu Himmelsstrahlung zeigt vielmehr gerade umgekehrt eine Zunahme durch die Verfinsterung der Sonne. Die Himmelsstrahlung nahm also gegenüber der Sonnenstrahlung ab. Dies ist offenbar nur durch ein Reinerwerden der Atmosphäre während der Finsternis zu erklären und kann mit Linke nur als ein Absinken von Luft in der Verfinsterungszone gedeutet werden.

Nach diesen Ergebnissen kann es wohl als erwiesen betrachtet werden, daß eine in mittleren Schichten der Atmosphäre bestehende Kondensationsneigung durch eine Sonnenfinsternis ausgelöst wird, während bei Abwesenheit solcher Schichten eine allgemeine Abkühlung der Luft eintritt, deren Betrag zwar nicht groß sein kann, wie die neuen Rechnungen auf diesem Gebiete erweisen¹⁾, die aber doch hinreicht, um eine allgemeine Abwärtsbewegung der Luft in einer Verfinsterungszone einzuleiten. Die strahlungsmäßige Untersuchung von Sonnenfinsternissen gewinnt daher eine besondere Bedeutung im Hinblick auf die kolloidalen Vorgänge in der Atmosphäre.

5. Die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck und der Wind.

Der Gang der Lufttemperatur während der Finsternis ist in Spalte 23 der Tabelle wiedergegeben; der des Wasserdampfdruckes in Spalte 24. Beide Elemente sind in Abb. 21 als zweite bzw. dritte Kurve gezeichnet. Die Lufttemperatur wurde durch die Finsternis um maximal $3,5^{\circ}\text{C}$ vermindert. Dieser Gang der Lufttemperatur wurde durch die Änderung des Strahlungshaushaltes der Erdoberfläche veranlaßt. Die Werte des Strahlungshaushaltes des schwarzen Körpers von Lufttemperatur sind in der Spalte 22 der Tabelle und in der ersten Kurve der Abb. 21 gegeben. Die „Phasenverschiebung“ des Ganges der Lufttemperatur gegenüber dem der Strahlungswerte ist ohne weiteres aus dem Verlauf des Strahlungshaushaltes des Körpers von Lufttemperatur abzulesen. Wie auch bereits in der Untersuchung der täglichen Gänge beider Elemente gezeigt worden war (vgl. S. 18), beginnt der starke Fall der Lufttemperatur mit dem Überwiegen der Ausstrahlung über die Einstrahlung und dauert solange, bis wieder die Einstrahlung größer als die Ausstrahlung wird. Sowohl für den Temperaturfall als auch für den Anstieg läßt sich nun im Sinne der vorangegangenen Arbeit das Θ/Q -Diagramm zeichnen. Auch hier trifft die schon bei den täglichen Gängen gefundene Tatsache zu, daß bei gleichem Wärmeentzug der Temperaturfall schneller vor sich geht als der Temperaturanstieg. Im übrigen ergibt das Θ/Q -Diagramm für den Temperaturanstieg in Abhängigkeit von der Wärmezufuhr durch Strahlung den gleichen Wert, wie er schon für den morgendlichen Temperaturanstieg dieses Tages ermittelt wurde (vgl. S. 19).

¹⁾ F. Albrecht, Das quantentheoretisch gegebene Wasserdampfspektrum und seine Bedeutung für den Wärmeumsatz strahlender Luftschichten. Met. Zeitschr. 1931, S. 480.

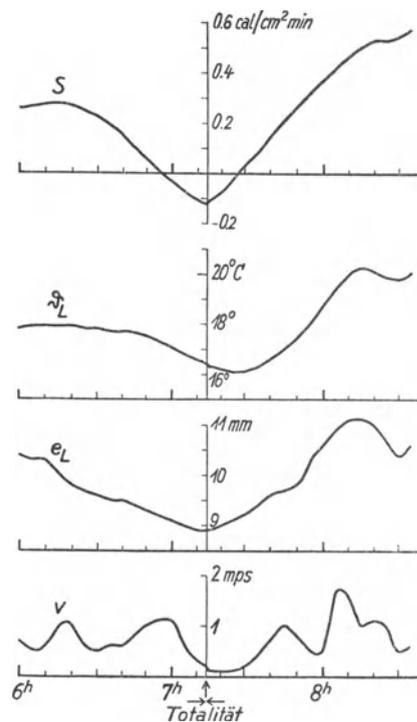


Abb. 21. Der Strahlungshaushalt des schwarzen Körpers von Lufttemperatur (S), die Lufttemperatur (θ_L), der Dampfdruck (e_L) und die Windgeschwindigkeit (v) während der Sonnenfinsternis.

Einen völlig anderen Verlauf als die Temperatur zeigt der Dampfdruck. Er geht deutlich symmetrisch zu dem Zeitpunkt der Totalität. Die Erklärung dieses Verlaufes ist dadurch gegeben, daß die absolute Luftfeuchtigkeit, also auch der Dampfdruck, wesentlich von der Verdunstung an der Erdoberfläche abhängt. Die Verdunstung ist nun proportional einer Größe $(E\alpha - e)$, wo E den Dampfsättigungsdruck an der verdunstenden Oberfläche, e den Dampfdruck in der Luft und α einen Faktor bedeutet, der ein Maß für die Wasserbedeckung ist¹⁾. Dieser Faktor nimmt für Wasser die Größe 1 an, ist aber für alle anderen Körper, besonders auch für die Teile der Vegetationsbedeckung mehr oder weniger kleiner als 1. Es ist gegenwärtig noch nicht möglich, die Größe dieses Wasserbedeckungsfaktors gerade für Vittangi abzuschätzen. Jedenfalls ist er in dieser frühen Morgenstunde noch ziemlich nahe an 1 anzunehmen. Die Größe der Bodenverdunstung hängt dann aber wesentlich ab von der Größe des Maximaldampfdruckes an der Erdoberfläche und damit von der Temperatur der für die Verdunstung wirksamen Oberfläche selbst. Es muß nun angenommen werden, daß die Temperatur der Vegetationsoberfläche sich nahezu trägheitslos auf die Temperatur der Strahlungsbilanz einstellt. Diese Temperatur der Strahlungsbilanz (ϑ_0) ist, wenn man die Wärmeabfuhr durch die Verdunstung nicht berücksichtigt, durch die Gleichung gegeben:

$$S = (\vartheta_0 - \vartheta_L) f(w) \text{ oder } \vartheta_0 = \frac{S}{f(w)} + \vartheta_L.$$

Hierin bedeutet S die Strahlungsbilanz der Vegetationsoberfläche und $f(w)$ eine Funktion der Windgeschwindigkeit, die mit zunehmender Windgeschwindigkeit wächst. Die nähere Betrachtung dieser Größe unter Berücksichtigung der später noch zu besprechenden Windgeschwindigkeit zeigt nun, daß die Temperatur der Vegetationsoberfläche und damit auch der an ihr herrschende Dampfdruck nahezu parallel dem Gang des Strahlungshaushaltes verläuft. Der Gang des Dampfdruckes in der Luft während der Finsternis ist dann so zu erklären, daß mit abnehmender Strahlungsintensität die Oberflächentemperatur und damit die Verdunstung dauernd verringert wurde, also der Nachschub von Wasserdampf für den durch den Austausch ständig nach oben geführten immer mehr sich verminderte. Erst als die Verdunstung nach der Totalität infolge der wieder zunehmenden Temperatur der Vegetationsoberfläche wieder stieg, wurde auch wieder der Wasserdampfdruck der Luft größer.

Zur Luftdruckbestimmung wurde ein gewöhnlicher Richard-Barograph benutzt, der während der ganzen Dauer der Verfinsternis unverändert 739,1 mm Luftdruck anzeigte. Da nach den hier angeführten Untersuchungen die größeren Temperaturänderungen in der Atmosphäre durch die Sonnenfinsternis sich lediglich auf die untersten Dekameter der Atmosphäre erstrecken, während in der Höhe auch bei der Kondensation an der labilen Schichtgrenze wohl kaum größere Temperaturänderungen angenommen werden können, ist dieses Ergebnis auch überlegungsmäßig zu erwarten.

Ein durchaus merkbarer Einfluß der Sonnenfinsternis zeigte sich dagegen bei der Windgeschwindigkeit. Ihr Gang ist in der Tabelle Spalte 25 und in der vierten Kurve der Abb. 21 dargestellt. In der Abbildung ist dabei der Gang der Windgeschwindigkeit gezeichnet, der sich als der mutmaßlich richtige aus der Treppenkurve ergibt, die aus den Aufzeichnungen des Kontaktanemographen abzuleiten ist. Diese letztere Kurve wurde den Zahlen der Tabelle zugrunde gelegt. Die Kurve der Windgeschwindigkeit zeigt ein Minimum unmittelbar nach der Totalität, aber etwas früher als die Lufttemperatur. Einen ganz ähnlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit gibt Kalitin an. Wenn überhaupt, so läßt sich dieses Minimum der Windgeschwindigkeit nur durch den Gang der Lufttemperatur erklären. Man muß ja annehmen, daß infolge der Abkühlung der Erdoberfläche durch die Ausstrahlung bei der Verfinsternis eine Bodeninversion entsteht, die sich jedenfalls über die untersten Dekameter ausdehnen wird. Diese Inversion zwischen 1 und 2 m Höhe hat Süring schon 1912 bei einer Sonnenfinsternis festgestellt²⁾. Lindholm und Mörikofer beobachteten diese Inversion in Gällivare trotz der dort zur Zeit der Totalität herrschenden Bewölkung zwischen Thermometern in 17 m Höhe und dem Boden. Diese Ausbildung einer Bodeninversion hemmt den Austausch und damit auch allgemein die Luftbewegung über der Erdoberfläche. Dieser Zusammenhang zwischen Austausch und Wind wird auch durch die neuesten Feinwindmessungen in Potsdam bestätigt³⁾.

¹⁾ F. Albrecht, Über den Zusammenhang zwischen täglichem Temperaturgang und Strahlungshaushalt. Gerlands Beitr. Bd. 25, 1930, S. 9.

²⁾ R. Süring, Messungen von Sonnenstrahlung und Temperaturunruhe zu Potsdam gelegentlich der Sonnenfinsternis am 12. April 1912. Met. Zeitschr. 1912, S. 441.

³⁾ F. Albrecht, Ein Meßgerät zur Messung und Registrierung kleiner Windgeschwindigkeiten und seine Anwendung auf die Untersuchung des Wärmeumsatzes an der Erdoberfläche. Met. Zeitschr. 1930, S. 469.

Auch bei der Beeinflussung der meteorologischen Elemente an der Erdoberfläche durch die Sonnenfinsternis kann an eine quantitative Ausdeutung der Beobachtungsergebnisse erst herangegangen werden, wenn die Forschungen über den Wärmeumsatz der Erdoberfläche noch weiter gediehen sind. Eine wie große Bedeutung bei der Erkenntnis dieser Erscheinungen aber gerade die Vorgänge während einer Sonnenfinsternis, also während der unbeeinflusst von meteorologischen Erscheinungen in genau zu berücksichtigender Weise vor sich gehenden extraterrestrischen Abschirmung der einzigen Wärmequelle von Erdoberfläche und Luft haben, dürfte aus den Erklärungsversuchen der hier besprochenen Erscheinungen hervorgehen. Denn diese konnten nur unter Heranziehung aller zum größten Teil erst in der letzten Zeit gemachten Erkenntnisse wenigstens qualitativ gedeutet werden.

d) Zusammenfassung.

Während der Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927 in Vittangi wurden die Strahlungswerte und die meteorologischen Verhältnisse beobachtet. Aus den Messungen der direkten Sonnenstrahlung konnte die Randverdunkelung der Sonne für die Gesamtstrahlung zu ungefähr der gleichen Größe, die früher Abbot gefunden hatte, bestimmt werden.

Aus der Sonnenstrahlung, der Himmelsstrahlung und der Gegenstrahlung der Atmosphäre während der Verfinsterung ergaben sich Störungen, die durch Kondensationsvorgänge am besten erklärt werden können, die kurz vor der Totalität einsetzten und etwa eine halbe Stunde nach derselben andauerten. Diese in Vittangi unsichtbaren Kondensationsvorgänge bewirkten in drei 100 bis 200 km südwestlich der Station gelegenen Beobachtungspunkten anderer Expeditionen eine höchstwahrscheinlich von der Sonnenfinsternis beeinflusste a-cu-Bildung zu relativ zur Totalität gleichen Zeiten. — Die Lufttemperatur, der Wasserdampfdruck und die Windgeschwindigkeit ergaben ebenfalls einen deutlichen Gang mit der Verfinsterung. Hierbei folgte der Wasserdampfdruck der Kurve des Strahlungshaushaltes unmittelbar, während die Lufttemperatur und die Windgeschwindigkeit eine Phasenverschiebung aufwiesen. Diese Verhältnisse konnten durch die bisher erforschten Zusammenhänge des Wärmeumsatzes an der Erdoberfläche qualitativ erklärt werden.

IV. Messungen der Himmelpolarisation und der Ultraviolett-Strahlung.

Von R. Süring.

a) Die Himmelpolarisation.

In Hinblick darauf, daß die Größe des polarisierten Anteiles des Himmelslichtes eines der empfindlichsten Anzeichen für die Trübung der Atmosphäre ist, wurde seine Messung in das Programm unserer Sonnenfinsternis-Expedition aufgenommen. Es wurde dazu ein von mir schon seit 1910 vielfach in Potsdam und auf Reisen gebrauchtes Photopolarimeter nach Martens (beschrieben in Physik. Zeitschr. 1, S. 288, 1899) benutzt und das Verhältnis vom polarisierten Anteil des Himmelslichtes zum gesamten einfallenden Licht bestimmt. Als Maß für die Polarisationsgröße diente der Aragosche Ausdruck

$$\mathfrak{P} = \frac{P}{N + P},$$

wo P das polarisierte und N das neutrale Licht bedeutet. Diese Größe wurde im Sonnenvertikal an 2 Stellen gemessen, nämlich in 90° Abstand von der Sonne, also im Punkt maximaler Polarisation, und im Zenit. Diese beiden Messungen ergänzen sich gut.

Das Sonnenlicht selbst ist bekanntlich unpolarisiert. Auch von dem Himmelslicht ist nur der Anteil polarisiert, welcher von Teilchen herrührt, deren Größe mit der Lichtwellenlänge vergleichbar ist und die das Licht diffus zerstreuen. Im Sonnenvertikal bei 90° Abstand von der Sonne ist die Polarisationsgröße abhängig:

1. von der Zahl der das Licht diffus zerstreuen Luftmoleküle,
2. von der Beimengung der Luft mit flüssigen und festen Teilchen,
3. von diffuser Reflexion des Erdbodens.

Die Wirkung der Luftmoleküle ist abhängig von der Dicke der Luftmasse, durch welche die den anvisierten Punkt treffenden Lichtstrahlen gehen. Die Winkelhöhe dieses Punktes ist um so kleiner, je höher die Sonne steht; desto mehr wird also die Polarisationsgröße durch die dickere Luftmasse mit ihren groben

Beimengungen erniedrigt. Dadurch entsteht im täglichen Gang der Polarisation ein Minimum in den Mittagsstunden, das jedoch durch etwaige unregelmäßige Beimengungen flüssiger und fester Teilchen verschoben werden kann. Es hat sich ergeben, daß die flüssigen Teilchen schon in statu nascendi depolarisiertes Licht aussenden, so daß schon der allererste, auf keine andere Weise von unten erkennbare Beschlag sich als Verkleinerung der Polarisationsgröße äußert, während die festen Teilchen je nach ihrer Zusammensetzung verschieden stark polarisierend wirken. Der Trübungsfaktor, wie er aus der Sonnenstrahlung — besonders im langwelligen Teil — gemessen wird, ist verschieden von dem durch Polarisationsmessungen angezeigten, da sie verschiedene Wellenbereiche betreffen. Insbesondere gibt die Polarisationsgröße die in den pyrheliometrischen Messungen enthaltene Absorption des Wasserdampfes gar nicht oder nur indirekt, dagegen bleibt bei der pyrheliometrischen Messung der Übergang zum ersten Kondensationsstadium so gut wie unbemerkt. In diesem Unterschied liegt hauptsächlich die Bedeutung von Polarisationsmessungen. Erhöhung der Polarisation ist ein Anzeichen des Abgleitens von Luftmassen (Niederschlagen der festen und flüssigen Beimengungen, relative Vergrößerung der diffusen Strahlung gegenüber der direkten), während eine Erniedrigung der Polarisationsgröße ein Aufgleiten der Luftmassen (erstes Stadium der Wolkenbildung) ankündet. Allerdings ist sowohl bei polarimetrischen wie bei aktinometrischen Messungen vor Beobachtungen in großer Wolkennähe zu warnen, da hier durch Reflexe (Eiskristalle, bestrahlte Cumulusköpfe) falsche Werte erhalten werden können.

Wegen etwaiger störender Reflexe sind auch Polarisationsmessungen in geringer Winkelhöhe vom Boden mit Vorsicht zu benutzen, und es empfiehlt sich dann, Messungen nicht nur im Zenit und in 90° Abstand, sondern auch in einem geringeren — etwa 60° — Abstand von der Sonne vorzunehmen. In Vittangi war dies aber nicht nötig, da dieser Ort ungefähr unter dem Polarkreis liegt, der 90° -Abstandspunkt also nicht viel unter 45° , wo kaum noch eine Störung durch Bodenreflexe zu erwarten ist, sinkt. Über die Größe des Einflusses der Bodenreflexe und der unteren Luftschichten sind die Ansichten noch geteilt. Während man früher annahm, daß ein in den tieferen Schichten gelegenes Teilchen des Sonnenvertikals hauptsächlich infolge sekundärer (mehrfacher) Diffusion negativ partiell polarisiertes Licht empfängt und ausstrahlt, wird neuerdings z. B. von M. A. Schirmann (Met. Z. 37, S. 12, 1920) und W. Milch (Z. für Geophys. 1, S. 109, 159, 1925 und Met. Z. 42, S. 422, 1925) die Bedeutung der sekundären Polarisation bei visuellen Beobachtungen manchmal überhaupt geleugnet. W. Milch erhebt den Einwand, daß schon bei primärer diffuser Reflexion das Intensitätsmaximum vom Gelb zum Blau und bei sekundärer diffuser Reflexion noch weiter nach kurzen Wellen verschoben wird, also außerhalb der Augenempfindlichkeit zu liegen kommt; er hat daher auf Grund der Mie-Debyeschen Beugungstheorie eine Depolarisationsgröße abgeleitet, in die auch die zunächst unbekannte Natur und Größe der trübenden Teilchen als Funktion des Linkeschen Trübungsfaktors eingeht. Für den vorliegenden Zweck dürfte eine Vereinigung von Polarisationsgröße und Trübungsfaktor nicht angebracht sein, und es ist daher auf die Berechnung des Milchschens Depolarisationsfaktors verzichtet worden.

Von vornherein war zu erwarten, daß zu einem Einblick in die für Vittangi normalen Polarisationsverhältnisse nur wenige Tage geeignet sein würden. Es traf sich aber sehr günstig, daß die hierfür brauchbaren Tage sehr gleichmäßig verliefen und daher als gute Repräsentanten normaler Tage gelten können. Um das Beobachtungsmaterial schnell überblicken zu können, ist es nach Sonnenhöhen von 5° zu 5° geordnet. (Tab. 9 u. 10).

In Vittangi waren die ersten Messungen am 27. Juni nachmittags möglich, am vorausgegangenen Tage hatte es fast ununterbrochen geregnet. Als sich am 27. Juni die Acu-Decke zum großen Teil aufgelöst hatte, wurden zwischen 18 und 24 Uhr stark und unregelmäßig schwankende Werte (0.55 bis 0.74) gemessen. Gegen 22 Uhr verschleierte sich der Himmel von neuem. Am 28. Juni drangen warme, anscheinend ziemlich feuchte Luftmassen aus Mittelschweden vor, die Polarisationswerte sind demgemäß noch ziemlich niedrig.

Tabelle 9. Polarisationsgröße in 90° Sonnenabstand. Vittangi, 28. 6.— 3. 7. 1927.

Sonnenhöhe	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Zeit	ca. $2\frac{1}{2}^h$	$3\frac{3}{4}^h$	$4\frac{3}{4}^h$	$5\frac{3}{4}^h$	$6\frac{3}{4}^h$	$7\frac{1}{2}^h$	$8\frac{1}{2}^h$	$9\frac{1}{2}^h$	$11\frac{1}{4}^h$
28. 6. 1927	—	0.602	0.590	0.584	0.578	0.578	0.575*	0.590	0.593
29. 6.	—	—	650	584	520	482	443	400*	400
30. 6.	0.675	658	656*	665	675	684	694	704	726
1. 7.	781	774	763	753	748	744	740*	742	742
3. 7.	761	746	724	709	694	679	664*	668	671
Gesamtmittel	0.702	0.689	0.677	0.659	0.643	0.633	0.623	0.621*	0.627
Mittel ohne 29. 6.	708	695	683	678	674	671	668*	676	683
Potsdam (warme Jahreszeit) . .	669	656	644	636	628	622	617	613	609

Tabelle 10. **Polarisationsgröße im Zenit. Vittangi, 28. 6.— 3. 7. 1927.**

Sonnenhöhe	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
28. 6. 1927	—	0.548	0.515	0.460	0.408	0.350	0.283	0.203	0.152
29. 6.	—	690	580	428	352	300	214	158	132
30. 6.	0.650	614	578	530	488	444	378	275	220
1. 7.	775	748	700	650	568	486	414	304	251
3. 7.	—	695	638	565	490	416	293	230	175
Gesamtmittel	0.690	0.659	0.602	0.527	0.461	0.399	0.316	0.234	0.186
Mittel ohne 29.6.	682	651	608	551	488	424	342	253	200

Im Gegensatz zu dem normalen täglichen Gang trat das Maximum gegen Mittag auf, ihm folgte ein sekundäres Maximum um 19 Uhr. Solche Doppelperioden sind auch in Potsdam ziemlich häufig, sie deuten an, daß die oberen Luftströmungen nicht einheitlich sind. Sehr charakteristisch ist der folgende Tag (Sonnenfinsternistag). Trotz völliger Wolkenlosigkeit liegen die Polarisationswerte morgens früh weit unter den Normalwerten, steigen dann aber etwas und sinken vor der Totalität von neuem mehrmals. Auf die Einzelheiten dieses Vorganges wird bei der Besprechung des Sonnenfinsternisverlaufes näher eingegangen werden. Nach der Sonnenfinsternis liegen die Werte bis etwa 15 Uhr noch unter den Vormittagswerten, erst abends beginnt ein starkes Ansteigen, anscheinend veranlaßt durch Einbruch kernarmer maritimer Polarluft aus NE. Es folgen zwei gute Beobachtungstage bei fast wolkenlosem Himmel. Das Polarisationsmaximum fällt auf den tiefsten Sonnenstand (die Mitternachtssonne blieb mehr als 1° über dem Horizont) und ein sekundäres, ganz schwaches Maximum auf den Mittag. Die Werte ändern sich aber zwischen 8 und 16 Uhr nur sehr wenig. Auch in Potsdam tritt zuweilen eine kleine Senkung der Tageskurve bald vormittags, bald nachmittags ein. Die Verschiebung des Minimums am 30. Juni auf 15° Sonnenhöhe hängt damit zusammen, daß Frühbeobachtungen fehlen, und gegen Abend *Acu* mit Fallstreifen auftraten. Der 2. Juli ist in der Tabelle nicht aufgeführt, da sich schon seit 8 Uhr *Cu* in größerer Menge bildeten, die sich erst gegen 20 Uhr auflösten, so daß während des größten Teiles des Tages Messungen nicht möglich waren. Die beobachteten Werte (vorm. bei 25°3 : 0.666, bei 31°5 : 0.648, abends bei 6°7 : 0.707) liegen zwischen den Zahlen vom 30. Juni und 1. Juli. Am 3. Juli war die *Cu*-Bewölkung wesentlich schwächer, so daß eine ziemlich gute Tagesreihe gewonnen werden konnte. Bemerkenswert für diesen Tag ist die große tägliche Periode, offenbar hängt sie mit der wechselnden *Cu*-Bildung zusammen.

Die Zenitwerte der Polarisationsgröße lassen eine einfache Periode mit einem Minimum um 12 Uhr und einem Maximum um 24 Uhr erkennen. Es spricht sich darin ganz vorwiegend der wechselnde Sonnenabstand (Einfluß der direkten unpolarisierten Sonnenstrahlung) aus, so daß die Werte zur Erkennung der Trübungsstörung weniger geeignet sind. Die Unterschiede zwischen 90°-Abstandswerten und Zenitwerten sind mit Ausnahme der ganz niedrigen Sonnenhöhen eine nahezu lineare Funktion der Sonnenhöhe.

Das wichtigste Ergebnis der Polarisationsmessungen dürften die Feststellungen über den täglichen Gang sein, da es hierüber aus hochnordischen Gegenden noch kein Beobachtungsmaterial gibt. Zur Vergleichung mit anderen Orten sind in Tabelle 9 die Werte einer längeren Messungsreihe aus Potsdam mitgeteilt. Schließt man die gestörten Werte vom Sonnenfinsternistage aus und verringert die Vittangi-Werte um 0.04 Einheiten, so scheint die Übereinstimmung mit Potsdam recht gut zu sein, aber der Abfall der Polarisationsgröße mit steigender Sonnenhöhe ist in Potsdam steiler als in Vittangi. Daß hier ein charakteristischer Unterschied vorliegt, sieht man am besten, wenn man $\log \mathfrak{P}$ nach der Luftmasse (m) ordnet. Für Vittangi ergibt sich dann bis zu 35° Sonnenhöhe (Luftmasse 1.75) eine annähernd lineare Beziehung, welche in der Form:

$$\log \mathfrak{P} = 0.0824 + 0.003 m$$

nur eine Maximalabweichung von 4 Einheiten in der vierten Dezimalen aufweist. Bei der Luftmasse 1.75 liegt aber — wie schon erwähnt — das Minimum von \mathfrak{P} . Die Vittangi-Werte sind anscheinend vom Mittagsdunst so gut wie unbeeinflusst, das Polarisationsminimum vormittags entsteht also wahrscheinlich durch vertikale Konvektionsströme (sogenannte Wasserdunstwolken), die sich bei weiter steigender Temperatur bald wieder auflösen. Ob sich nachmittags bei wolkenlosem Himmel überhaupt ein zweites Minimum entwickelt, ist fraglich, jedenfalls beweist aber die relativ hohe Polarisationsgröße um Mittag, daß sie durch diffuse Reflexion nicht gestört wird. In Tabelle 11 ist für mehrere Orte die Abhängigkeit der Polarisationsgröße von der Luftmasse aufgeführt. In der letzten Zeile sind die theoretischen Werte mitgeteilt, welche

Ahlgrimm¹⁾ auf Grund der Rayleighschen Diffusionstheorie unter Berücksichtigung ein- und zweimaliger Diffusion berechnet hat.

Tabelle 11. Beziehung zwischen Polarisationsgröße und Luftmasse.

Ort	m =	10	8	6	5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.75	1.5
	h =	5°2	6°8	9°3	11°2	12°6	14°3	16°4	19°4	23°5	30°0	34°8	41°7
Vittangi		708	703	697	692	688	684	681	678	674	671	668	678 × 10 ⁻⁸
Slutzk ²⁾		745	740	733	726	722	716	711	701	693	685	680	669
Potsdam		677	673	668	663	659	655	651	645	636	625	619	612
Freiburg-Schweiz ³⁾		705	697	685	675	663	651	643	632	617	605	600	600
Taschkent ³⁾		743	737	727	720	714	709	702	692	679	658	644	627
Theorie ¹⁾		882	882	881	881	879	878	877	875	873	871	872	874

Das von Ahlgrimm berechnete Minimum bei Luftmasse 2—1.75 findet sich in dieser Tabelle nur bei Vittangi wieder. An den anderen Orten sinkt — abgesehen von kleinen Unregelmäßigkeiten — \mathfrak{P} um so rascher, je höher die Sonne steigt. Trotz des in sich wenig einheitlichen Materials (Verschiedenheiten in der Zusammenfassung der Jahreszeiten, Zunahme mehr oder weniger gestörter Tage usw.) ist ferner angedeutet, daß die Polarisationsgröße um so steiler vom Morgen oder Abend zum Mittag abfällt, je niedriger die geographische Breite der Station ist. Der Tagesgang der Kurve von Vittangi steht aber doch nicht einzeln da. An besonders klaren Tagen ist sowohl in Potsdam als auch in Freiburg und auf dem Berge Ai-Petri in der Krim (1180 m) ein Minimum von \mathfrak{P} in den Vormittagsstunden gefunden worden. Wenn es auch zweifelhaft ist, ob die hieraus von Tichanowsky⁴⁾ gezogene Schlußfolgerung richtig ist, daß sekundäre Diffusion in der Atmosphäre doch eine Rolle spielt, so beweisen diese Zahlen wenigstens, daß ein Vormittagsminimum von \mathfrak{P} charakteristisch für einen staub- und wasserdampfaren Tag ist, und nach dieser Richtung hin dürften die Vittangi-Beobachtungen wertvoll sein.

b) Die Polarisationsgröße während der Sonnenfinsternis.

Messungen über den Verlauf der Polarisationsgröße während einer totalen Sonnenfinsternis waren bisher anscheinend noch nicht vorhanden. Lediglich bei der partiellen Sonnenfinsternis am 8. April 1921 (bis zu 75% in Mitteleuropa) sind Beobachtungen in Davos, Lausanne und Wien angestellt worden. Wechselnde Bewölkung hat jedoch verhindert, daß eindeutige Ergebnisse erzielt wurden. In einem nur in kleinem Kreise verteilten Bericht über die gemeinsamen Beobachtungen faßt Dorno die Ergebnisse in folgenden Worten zusammen: „Obwohl die Bewölkungsverhältnisse an allen drei Orten für die Beobachtung dieser subtilen Größe nicht ganz genügend waren, dürfte der Schluß berechtigt sein, daß sich die Polarisationsgröße mit Zunahme der Finsternis allgemein steigerte“. N. Piltschikoff stellte bei der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905 anscheinend nur fest, daß zur Zeit der Totalität keine Polarisation des Himmelslichtes nachweisbar war.

Meine Messungen von \mathfrak{P} am Sonnenfinsternistage sind in Tab. 12 für 90° Sonnenabstand und für den Zenit zusammengestellt. Außerdem ist versuchsweise in den Spalten 5 und 8 der zu erwartende normale Verlauf bei wolkenlosem Wetter mitgeteilt. Die Spalten 6 und 9 enthalten die Abweichungen der beobachteten Werte von dem normalen Verlauf. Leider fehlen Werte bei mehr als 87% Verfinsternung, da ich dann für meinen Kollegen Kühl die Messungen der UV.-Strahlung übernehmen mußte.

Schon etwa $\frac{3}{4}$ Stunden vor der Verfinsternung hat \mathfrak{P} nur ungefähr $\frac{2}{3}$ des normalen Wertes, trotzdem nichts von einer Trübung oder Wolken zu sehen ist, es bestand also schon eine Depression unabhängig von der Verfinsternung. Mit Beginn der Verfinsternung sinkt der Wert von \mathfrak{P} etwas ab, steigt aber bald darauf wieder um eine Kleinigkeit in 90° Sonnenabstand, während der Abfall im Zenit ziemlich normal ist. Ein erneutes kurz dauerndes Sinken tritt von 6^h 18 bis 6^h 24 M. E. Z. ein. Der Grund hierfür ist vielleicht darin zu suchen, daß durch die Abkühlung vorübergehend Kondensation an den trübenden Teilchen eingetreten ist, während die rasche Abnahme nach 6^h 34 wohl in erster Linie der Abnahme der diffusen Himmelsstrahlung durch die Verfinsternung zuzuschreiben ist. Es ist sicherlich kein Zufall, daß nicht nur das \mathfrak{P} in 90° Abstand

¹⁾ F. Ahlgrimm, Jahrb. Hamburger Wiss. Anstalten 32, Heft 3, 1915.

²⁾ J. J. Tichanowsky, Met. Zeitschr. 1924, S. 352.

³⁾ A. Gockel, Ann. Phys. (4) 56, 617, 1918.

⁴⁾ J. J. Tichanowsky, Met. Zeitschr. 1926, S. 361.

Tabelle 12. Polarisationsgröße während der Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927.

1 M. E. Z.	2 Sonnenhöhe	3 Grad der Verfinsterung	4 ⊘ in 90° Abstand			7 ⊘ im Zenit		
			5 Beob.	6 Normal	B—N	8 Beob.	9 Normal	B—N
^h ^m 5 05	16.4	—	0.470	0.682	—0.212	0.369	0.590	—0.221
40	19.6	—	509	678	—0.169	391	556	—0.165
45	20.1	—	530	678	—0.148	358*	550	—0.192
51	20.6	2.6	500*	678	—0.178	365	544	—0.179
55	21.0	6.1	508	677	—0.169	358	538	—0.180
6 01	21.5	13.4	512	677	—0.165	345	532	—0.187
10	22.4	27.1	527	676	—0.149	326	520	—0.194
18	23.2	40.4	491*	675	—0.184	322	510	—0.188
24	23.8	52.1	494	675	—0.181	306*	503	—0.197
34	24.7	72.7	503	674	—0.171	322	492	—0.170
41	25.4	87.0	397	674	—0.277	231*	483	—0.252
55	26.6	86.9	0.506	0.673	—0.167	0.276	0.468	—0.192
7 02	27.3	73.3	485	673	—0.188	280	459	—0.179
07	27.8	63.5	512	672	—0.160	289	453	—0.164
13	28.4	51.6	494	672	—0.178	282	447	—0.165
21	29.2	37.2	527	671	—0.144	286	435	—0.149
30	30.0	22.9	503	671	—0.168	280	424	—0.144
38	30.7	12.1	503	670	—0.167	259	413	—0.154
45	31.4	4.4	512	669	—0.157	252	402	—0.150
8 03	33.0	—	518	669	—0.151	246	376	—0.130
9 28	39.8	—	444	676	—0.232	149	257	—0.108
10 49	44.2	—	441	681	—0.240	143	205	—0.062
11 37	45.5	—	385	683	—0.298	094	201	—0.107
12 19	45.5	—	358	683	—0.325	112	201	—0.089
15 10	37.0	—	361	671	—0.310	170	307	—0.137
19 39	12.7	—	685	689	—0.004	631	628	+0.003

und im Zenit, sondern daß auch das von Dr. Albrecht gemessene Verhältnis von Sonnenstrahlung zu diffuser Himmelsstrahlung die gleichen Schwankungen aufweisen. Nach der Totalität bleibt \mathfrak{P} — von kleinen Schwankungen abgesehen — wiederum bis zum Ende der Verfinsterung nahezu konstant. Auch nachher bleibt \mathfrak{P} weit unter Normal, und es steigert sich die negative Abweichung vom Durchschnitt sogar bis zum Mittag. Erst um 19 Uhr werden sowohl in 90° Sonnenabstand wie im Zenit normale Werte erreicht. Der folgende Tag war ebenfalls wolkenlos, hatte aber normale Polarisationswerte.

Der Verlauf der Polarisation am 29. Juni zeigt also, daß schon vor Beginn der Verfinsterung eine Störungsschicht vorhanden war, was nicht verwunderlich ist, da in 100 km Entfernung (in Gällivare) eine fast geschlossene Wolkendecke lag. Durch die Abkühlung der oberen Luftschichten infolge der Verfinsterung haben sich die Kondensationsprodukte in der Störungsschicht verstärkt und bei normalen Werten der direkten Sonnenstrahlung eine Anomalie des Verlaufes der diffusen Himmelsstrahlung veranlaßt.

c) Die ultraviolette Sonnen- und Himmelsstrahlung an normalen Tagen.

Zur Messung der UV.-Strahlung war im Frühjahr 1927 eine photo-elektrische Zellenapparatur von Günther & Tegetmeyer-Braunschweig beschafft worden. Die mit Argon gefüllte Cadmiumzelle aus Uviolglas hat die Nummer 5272, die Apparatur selbst wurde später zum Unterschied von anderen gleichen Geräten mit „N“ (Normal) bezeichnet. An der Station der schweizerischen Sonnenfinsternis-Expedition in Gällivare (100 km SSW von Vittangi) waren ebensolche Messungen geplant, sie wurden aber am Finsternistage durch Wetterungunst vereitelt. Die dort stationierten Herren Prof. F. Lindholm-Stockholm (damals Leiter des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos) und Dr. W. Mörikofer-Davos hatten aber die Freundlichkeit, einen Tag nach der Finsternis mit ihren Apparaten — einer sogenannten Cadmium-Dauerzelle und einer Cd-Quarzzelle Nr. 5159 — nach Vittangi zu fahren und sie mit unserer Zelle zu vergleichen. Hierfür müssen wir um so dankbarer sein, weil damals noch nicht bekannt war, wie schnell manchmal die Zellen in den ersten Monaten nach ihrer Herstellung ihre Empfindlichkeit verändern. Ein direkter Anschluß in Davos mußte 1928 infolge schlechten Wetters unterbleiben und gelang erst im Sep-

tember 1929. Zur Reduktion der Vittangi-Zelle auf die Davoser Galvanometer-Skala (ein Skalenteil des Davoser Galvanometers gleich 3.5×10^{-11} Amp.) wurden unter Berücksichtigung der Messungen mit Minosfilter die folgenden Faktoren benutzt:

bei Sonnenhöhe:	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Faktor:	2.0	1.8	1.6	1.5	1.45	1.4	1.35	1.3

Die Empfindlichkeit der Vittangi-Zelle ist nach spektroskopischen Messungen oberhalb von $330 \text{ m}\mu$ sehr gering; man kann also die obere Empfindlichkeitsgrenze, soweit meteorologische Zwecke in Frage kommen, als konstant betrachten.

Zur Absonderung des mit der Cd-Zelle zu erfassenden kurzwelligen Strahlungsbereiches wurden Messungen bei Vorschaltung eines Glasfilters (Minos-Filter), das nur Wellenlängen von mehr als $315 \text{ m}\mu$ durchläßt, vorgenommen. Die Differenz der Messungen ohne und mit Glasfilter gibt dann die Intensität der „kurzwelligen“ UV.-Strahlung $< 315 \text{ m}\mu$. Schließlich wurden noch einige Versuche angestellt, um die diffuse UV.-Strahlung zu bestimmen. Hierfür wurde der Tubus des Photometers abgeschraubt und an seine Stelle eine horizontale Uviol-Mattglasscheibe vorgeschaltet.

Die Messungen der UV.-Intensität I wurden berechnet nach der Formel:

$$I = C b \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right),$$

worin C die Apparatkonstante (4.95) ist, b das wegen Fehler der Blendendurchmesser korrigierte Blendenverhältnis (die Blende $\frac{1}{10}$ wurde als Einheit genommen und gleich 10 gesetzt), t_1 die Zeit des Spannungsabfalles des Elektrometers von Skalenteil 35 bis 25 (~ 10 Volt), t_2 die entsprechende Abfallszeit bei geschlossenem Tubus infolge von Isolationsmängeln. Im allgemeinen war die Isolation sehr gut, d. h. der Abfall um einen Skalenteil dauerte länger als eine Minute.

Unter Nichtberücksichtigung vereinzelter Messungen am 24., 25., 27. Juni und am 2. und 6. Juli ergaben sich als Mittelwerte für die sieben Tage des 28., 30. Juni, 1., 3., 4., 5. und 8. Juli die in Tab. 13 gegebenen Werte.

Tabelle 13. Mittlere UV.-Intensitäten in Vittangi. 28. Juni — 8. Juli 1927.

Sonnenhöhe	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	absol. Maxim.	mittl. Maxim.
Luftmasse	5.6	3.8	2.9	2.4	2.0	1.74	1.55	1.41	—	—
a) Intensitäten in Davoser Einheiten										
Gesamt-UV. ($< 330 \text{ m}\mu$)	0.5	6.0	17.2	36.9	62.2	88.2	115.0	143.6	153.7	146.2
langwell. UV. ($315\text{--}330 \text{ m}\mu$)	0.3	1.5	3.1	5.2	7.7	10.1	12.6	14.9	16.6	15.6
kurzwell. UV. ($< 315 \text{ m}\mu$)	0.2	4.5	14.1	31.7	54.5	78.1	102.4	128.7	137.1	130.6
b) Intensitäten in % des mittleren Maximums										
Gesamt-UV.	0.4	4.1	12.5	25.2	42.6	60.3	78.7	98.2	—	100 %
langwell. UV.	1.9	9.6	19.9	33.3	49.4	66.2	80.8	95.5	—	100
kurzwell. UV.	0.2	3.4	10.8	24.3	41.7	59.8	76.8	98.5	—	100

Die Besprechung der Zahlen kann sehr kurz gefaßt werden, da Messungen der UV.-Strahlung seit 1926 — zum Teil veranlaßt durch die Sonnenfinsternis — an verschiedenen Orten in Mittel- und Nordschweden angestellt und auszugsweise auch durch T. E. Aurén¹⁾ und F. Lindholm²⁾ veröffentlicht worden sind. Die Werte von Vittangi sind etwas kleiner als die Mittel von Abisko (375 m) und Malmberget bei Gällivare (618 m) und etwas größer als die Mittel von Stocksund bei Stockholm (55 m) und Luleå (5 m). Es entspricht dies den Höhenunterschieden der verschiedenen Orte, es zeigt dies ferner, wie gut schon durch wenige Messungen die durchschnittlichen UV.-Strahlungswerte eines Ortes wiedergegeben werden.

Auch die Transmissionskoeffizienten der UV.-Sonnenstrahlung, berechnet aus den Intensitäten bei Luftmasse 2 (30°) und Luftmasse 3 ($19^\circ 3'$) stimmen gut überein. Sie betragen für:

Vittangi	Abisko-Malmberget	Stocksund-Luleå	Rovaniemi (Finnland)
0.236	0.258	0.250	0.244

¹⁾ T. E. Aurén, Geografiska Annaler 11, 257—267, 1929.

²⁾ F. Lindholm, I. Conférence Internat. de la Lumière-Lausanne et Leysin, Paris 1929, S. 124—135; „La Météorologie“ 1930, S. 434—448.

Reiht man die Zahlen von Vittangi in die Tabelle ein, welche Aurén auf S. 267 für die schwedischen Stationen und für Rovaniemi, Gießen, Agra, Davos, Arosa, Muottas-Muraigl, geordnet nach Sonnenhöhen von 5° zu 5° gibt, so tritt — unter Berücksichtigung der verschiedenen Seehöhe — die Übereinstimmung der Intensitäten an den Flachland- und Hügellandstationen von Mitteleuropa und Nordskandinavien gut hervor, so daß die Schlußfolgerung berechtigt erscheint, daß die UV.-Sonnenstrahlung unter orographisch ähnlichen Verhältnissen in nordischen Ländern nicht größer ist als in Deutschland. Die hiervon etwas abweichende Anschauung von Lindholm gilt anscheinend nur für die Wärmestrahlung.

Über die gefilterte UV.-Sonnenstrahlung in Nordskandinavien ist noch nichts veröffentlicht worden. Die Zunahme der UV.-Strahlung mit der Sonnenhöhe ist für die Gesamtstrahlung und für die kurzwellige UV.-Strahlung ungefähr die gleiche, dagegen nimmt der langwellige Anteil an der Gesamtstrahlung vom Morgen zum Mittag rasch ab. Bei 15° Sonnenhöhe beträgt er $\frac{1}{4}$ der gesamten UV.-Strahlung, bei 30° $\frac{1}{8}$ und bei 45° nur ungefähr $\frac{1}{10}$. Die langwellige UV.-Strahlung nimmt also im Laufe des Vormittags langsamer zu als die kurzwellige. Der Grund liegt darin, daß der kurzwellige Anteil mit zunehmender Sonnenhöhe immer weiter auf kürzere Wellen übergreift (Ozonwirkung), während der langwellige Anteil den ganzen Tag über annähernd denselben Spektralbereich umfaßt.

Während der Messungsperiode wurden die höchsten UV.-Werte an den beiden Tagen, welche der Sonnenfinsternis folgten, beobachtet. Unter dem Einfluß des sich weiter ausbreitenden Hochdruckgebietes verminderte sich die UV.-Strahlung in den nächsten Tagen etwas. Die Transmissionskoeffizienten (Mittel der Berechnungen aus den Differenzen für die Luftmassen 2 und 3, sowie 1.4 und 2) schwankten ziemlich stark und erreichten namentlich an den Tagen mit vielen Cumulus-Wolken (5. und 8. Juli) hohe Werte.

Datum:	28. VI.	30. VI.	1. VII.	3. VII.	4. VII.	5. VII.	8. VII.
Transmissionskoeff.:	0.206	0.206	0.247	0.230	0.210	0.288	0.305

Über die Werte der UV.-Himmelsstrahlung bei abgeblendeter Sonne können nur einige relative Zahlen gegeben werden, da die Zahl der Messungen zur Bestimmung des in der Apparatkonstante enthaltenen Faktors für die Himmels-Mattscheibe zu gering ist. Setzt man wiederum die Himmelsstrahlung für das mittlere Maximum gleich 100, so erhält man als Mittel von fünf Tagen die Werte der Tab. 14.

Tabelle 14. **Prozentische Intensitäten der UV.-Himmelsstrahlung bei abgeblendeter Sonne.**

Sonnenhöhe	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	Maxim.
Gesamt-UV.	$\sim 1^{\circ}/\%$	2.0	5.4	11.6	20.6	32.4	46.0	62.3	80.4	98.8	100 $^{\circ}/\%$
langwell. UV.	$\sim 1^{\circ}/\%$	2.8	9.2	19.2	32.6	46.1	58.8	71.6	84.4	98.6	100
kurzwell. UV.		1.9	5.0	11.0	19.6	31.3	44.9	61.4	80.0	98.8	100
Verhältnis der Gesamt-UV. zum langwell. UV.		9.0	7.5	7.8	8.1	9.0	10.0	11.2	12.2	12.9	12.8

d) Die ultraviolette Sonnenstrahlung während der Sonnenfinsternis.

Die UV.-Sonnenstrahlung betrug schon vor der Verfinsternung nur etwa 70% des Normalwertes, nachher etwa 60% und erreichte erst spät nachmittags ungefähr normale Werte. Um den Einfluß der Verfinsternung auf die Strahlung zu erkennen, wurde für die Zeit von $5\frac{3}{4}$ bis 8 Uhr M. E. Z. der voraussichtliche Strahlungsverlauf ohne Verfinsternung aus den Nachbarwerten interpoliert, und die wirklich beobachteten Werte wurden in Prozenten der interpolierten Werte ausgedrückt. Aus der so erhaltenen Strahlungskurve wurden die Strahlungswerte bei von 10 zu 10% fortschreitender, bzw. abnehmender Verfinsternung entnommen. In Tabelle 15 ist der Strahlungsverlauf sowohl in Davoser Einheiten als in Prozenten zusammengestellt. Um die prozentischen Werte besser mit dem Finsternisverlauf vergleichen zu können, ist der Grad der Verfinsternung in Prozenten der sichtbaren Sonnenscheibe ausgedrückt.

Bei beginnender Verfinsternung verringert sich die UV.-Strahlung langsamer, als es dem Prozentsatz des Verfinsterungsgrades entspricht. Das ändert sich aber, sobald weniger als 90% von der Sonnenscheibe frei sind. Bei 50% Verfinsternung beträgt die UV.-Gesamtintensität nur noch etwa 40% des Normalwertes. Auffallend schnell fällt die langwellige UV.-Strahlung ab; es ist fraglich, ob dies reell ist. In der zweiten Hälfte der Verfinsternung ist der Gang ein etwas anderer. Bis 30% sichtbarer Sonnenscheibe sind die prozentischen Anstiegswerte noch ungefähr die gleichen wie die Abfallswerte; dann aber nimmt die Strahlung relativ rasch zu. Bei 80% Sichtbarkeit der Sonnenscheibe ist die UV.-Strahlung schon auf fast 90% gestiegen. Die langwellige UV.-Strahlung stimmt in ihrem ansteigenden Ast besser mit der Gesamt-UV.-Kurve über-

ein als bei dem Abstieg. Am Schluß der Verfinsterung sind die langwelligen UV.-Werte relativ wesentlich kleiner als die kurzwelligen. In welchem Maße an diesen Unterschieden der Verfinsterungsprozeß und die Verschlechterung des Wetters beteiligt sind, läßt sich wohl nicht entscheiden. Es ist deshalb das Tatsachenmaterial möglichst ausführlich mitgeteilt.

Tabelle 15. UV.-Sonnenstrahlung während der Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927.

M. E. Z.	Größe der sichtbaren Sonne in %	Intensität in Davoser Einheiten			Intensität in %		
		Gesamt-UV.	langwellig	kurzwellig	Gesamt-UV.	langwellig	kurzwellig
h m							
5 47	100	16.5	2.5	14.0	100.0	100.0	100.0
58	90	16.5	2.5	14.0	87.1	88.6	89.1
6 06	80	15.3	2.1	13.2	75.7	67.9	76.7
12	70	13.3	1.8	11.5	62.9	54.2	63.5
18	60	11.5	1.4	10.1	51.1	40.1	52.7
23	50	9.5	1.1	8.4	40.3	30.0	42.0
28	40	7.8	0.8	7.0	31.5	22.2	33.2
33	30	5.1	0.5	4.6	19.6	13.9	20.7
38	20	3.3	0.3	3.0	12.1	6.6	13.0
43	10	1.5	0.1	1.4	5.3	2.4	5.8
47	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
52	10	1.7	0.2	1.5	5.0	4.1	5.1
57	20	4.0	0.5	3.5	11.5	10.0	12.4
7 03	30	7.6	1.1	6.5	21.5	21.3	21.5
08	40	11.6	1.7	9.9	31.6	32.0	31.7
13	50	16.8	2.3	14.5	44.3	42.8	43.2
19	60	22.8	3.1	19.7	57.6	57.0	59.6
25	70	30.0	4.0	26.0	73.1	72.2	73.4
32	80	37.4	4.8	32.6	88.0	83.9	89.0
40	90	43.0	5.6	37.4	97.5	91.2	98.6
8 00	100	45.7	6.3	39.4	100.0	100.0	100.0

V. Messungen und Registrierungen mit Kaliumzellen.

Von W. Kühl.

Zur Erforschung des kurzwelligen Anteils der Sonnen- und Himmelsstrahlung waren von vornherein auch für Vittangi Messungen mit der Kaliumzelle geplant. Neben dem Verhalten dieser Strahlung bei der Sonnenfinsternis war auch hier besonders ein Vergleich mit den Verhältnissen in Potsdam sowohl bezüglich der Durchlässigkeit der Atmosphäre für direkte Sonnenstrahlung als auch bezüglich des diffus reflektierten Teils (Himmelshelligkeit) anzustreben.

Obwohl zu möglichst engem Anschluss an die langjährige Potsdamer Messungsreihe galvanometrische Messungen erwünscht gewesen wären, mußte aus Ersparnisgründen, besonders auch hinsichtlich des Umfangs und Gewichts des Gepäcks, darauf verzichtet und die Hauptmessungen elektrometrisch vorgesehen werden. Es wurde daher im Sommer 1926 bei der Firma Günther & Tegetmeyer zu dem Photometer für die Cadmiumzelle auch eine Kaliumzelle bestellt, die also nur abwechselnd mit ersterer an dieser Apparatur benutzt werden konnte. Leider verzögerte sich die Lieferung bis zum Februar 1927, und nun erst konnte an die Anpassung an die Potsdamer Messungen und die Anschlußvergleiche herangegangen werden. Um, wie in Potsdam, einerseits die Zelle ungefiltert, andererseits für das ganze sichtbare Empfindlichkeitsgebiet benutzen zu können, mußte zunächst eine starke Herabsetzung der hohen Empfindlichkeit der elektrometrischen Meßmethode erreicht werden. Die Anwendung sehr kleiner Blenden, die ohnehin wegen des Verschmutzungseinflusses mißlich ist, genügte allein nicht. Zu diesem Zweck wurde eine Lichtdrossel durch Einfügung einer stark diffus machenden milchig trüben Quarzplatte in Verbindung mit einer zweiten festen Lochblende zwischen der üblichen veränderlichen Blende und der Uviolmattglasplatte eingerichtet. Die Anordnung ist in Abb. 22 dargestellt. Sie ist als Notbehelf zu betrachten, der keine besondere technische Um-

änderung der gegebenen Apparatur erforderte; später ist von Herrn Dr. Büttner eine wesentlich verbesserte Drosseleinrichtung durchkonstruiert worden.

Die ersten Messungen mit dieser Anordnung in Potsdam gaben in sich leidlich übereinstimmende Vergleichswerte mit der Potsdamer Zelle; es zeigte sich insbesondere, daß bei Anwendung eines Flint- oder Gelbglases als Filter sich bei beiden Zellen ungefähr gleiche Verhältnisse ergaben, so daß die spektrale Empfindlichkeit beider einigermaßen gleich zu sein schien. An Stelle des in Potsdam bis dahin ausschließlich benutzten dicken Flintfilters mußte aus technischen Gründen ein helles Gelbglas benutzt werden, das später auch in Potsdam Verwendung fand.

Leider stellte sich im späteren Verlauf der Messungen in Vittangi, besonders aber bei den Rückvergleichen in Potsdam im August und September heraus, daß die neue Zelle sehr wenig konstant war. Der Vergleich mit der später zu beschreibenden Registrierzelle in Vittangi führt auf eine mittlere Abnahme der Empfindlichkeit von etwa 2½% je Tag, während die Anschlüsse in Potsdam vor und nach der Expedition eine Abnahme von 0.9% ergeben. In Tab. 16 sind die Ergebnisse der einzelnen Anschlußmessungen in Potsdam zusammengestellt; die relativen, in der Überschrift mit J_N bezeichneten Werte entsprechen den für Vittangi mitgeteilten, die unten erläutert sind.

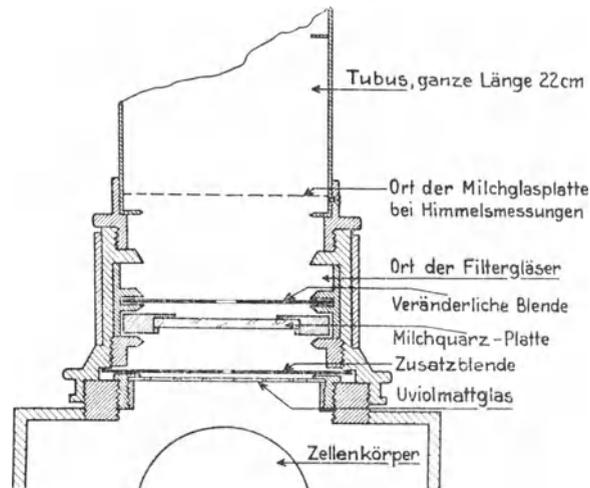


Abb. 22.

Die Ergebnisse der einzelnen Anschlußmessungen in Potsdam zusammengestellt; die relativen, in der Überschrift mit J_N bezeichneten Werte entsprechen den für Vittangi mitgeteilten, die unten erläutert sind.

Tabelle 16. Anschlüsse der Kaliumzelle KaN an KaPd, Bl. 1,4 mm.

Tag	Zeit	h_0	Blende an KaN	Zahl der Messung.	J_N	J_{Pd} Amp. $\times 10^{-9}$	J_N/J_{Pd} $h_0 > 30^\circ$ $< 30^\circ$	Tag	Zeit	h_0	Blende an KaN	Zahl der Messung.	J_N	J_{Pd} Amp. $\times 10^{-9}$	J_N/J_{Pd} $h_0 > 30^\circ$ $< 30^\circ$
A. vor Sonne.								B. unter Milchglashorizont. Zelle Pd unter Milchglas A, Bl. 10 mm.							
28. 5.	9 04	44.6	1/2400 K	2	292	152	1.92	19. 5.	9 02	43.2	1/1200	1	290	160	1.81
4. 8.	9 40	44.8	1/2400 K	3	151	108	1.40		10 05	50.8	1/1200	2	328	190	1.72
29. 8.	9 59	40.5	1/1200 K	2	132	105	1.26	21. 5.	8 50	41.7	1/1200	2	301	165	1.82
	18 29	3.3	1/100 K	2	0.222	0.13	1.72		16 36	27.9	1/600	2	164	94	— 1.74
31. 8.	9 30	37.0	1/1200 K	2	127	80	1.58	10. 8.	13		1/1200		indirekt		1.02
			1/2400 K	2	133	81	1.64	29. 8.	11 31	46.7	1/1200	3	198	173	1.14
	10 04	40.5	1/2400 K	1	120	84	1.43	31. 8.	10 10	40.9	1/1200	1	127	144	0.88
2. 9.	9 10	33.9	1/2400 K	5	192	118	1.63	2. 9.	16 30	19.9	1/600	2	64.5	67	— 0.96
	12 50	44.6	1/2400 K	2	135 ?	151	0.89!								
	17 18	12.8	1/600 K	1	63	49.5	1.27								
	17 21	12.6	1/1200 K	3	60	48.8	1.21								
	17 50	7.8	1/1200 K	2	26.7	20.7	1.29								
	17 52	7.6	1/600 K	1	24.1	18.0	1.34								
6. 8.	10 33	40.8	1/2400 K	2	165	134	1.23								

Die Messungen der Sonnenstrahlung erfolgten in ähnlicher Weise, wie oben für die Cadmiumzelle beschrieben, insbesondere wurde derselbe Spannungsabfall von in der Regel 10 Pars des Elektrometers, von 75—65 p bei einer Mittelspannung von 76.3 Volt, benutzt. Die Reduktion erfolgte zur Erreichung bequemer Zahlenwerte etwas anders, indem die Blende 1/100 ohne Kondensator als Normalzustand angenommen wurde. Es wurde zunächst die Abfallgeschwindigkeit in Pars pro Sekunden = $n : t_n$, meist also $10 : t_{10}$ gebildet, und dieser Wert dann um die entsprechende Größe für die abgedeckte Zelle, den Isolationsfehler, verringert. Für etwaige Abweichung (Δ in Pars) von der Mittelspannung, die in seltenen Fällen eines zum Skalenteil 70 unsymmetrischen Abfallbereichs oder bei nachträglich festgestellt falscher Ruhelage des Elektrometers in Frage kam, wurde der Wert mit dem Reduktionsfaktor $(1 + 0.025 \Delta)$ multipliziert. Die so gefundenen Abfallgeschwindigkeiten sind dann mit den in Tab. 17 gegebenen Reduktionsfaktoren auf die Blende 1/100 reduziert. Die Faktoren sind größtenteils durch nachträgliche Messungen von Herrn Dr. Büttner in Potsdam erhalten, sie sind infolge der Anordnung von Blenden und Trübgläsern etwas verschieden für die Messungen mit Tubus

Tabelle 17. Reduktionsfaktoren für Blende und Zusatzkondensator auf Blende $1/100$.

Blende:	$1/2$	$1/5$	$1/10$	$1/50$	$1/100$	$1/300$	$1/600$	$1/1200$	$1/2400$	$1/4800$
A. für Sonnenmessungen.										
ohne Kondensator . .	0,081	0,085	0,123	0,502	1	3,00	5,48	12,50	26,0	50,2
mit Kondensator . . .		0,98	1,29	5,26	10,46	31,5	57,4	131,0	274	525
B. für Himmelmessungen.										
auf Bl. $1/100$	0,020	0,051	0,120	0,500	1	3,01	5,48	12,50	26,0	—
auf Sonnenmessung .	0,51	1,275	3,00	12,5	25,0	75,2	137	312	625	—

vor Sonne einerseits und unter horizontalem Milchglas andererseits. Da sich aus einer Anzahl zusammengehöriger Messungen ergab, daß man recht gute Übereinstimmung in der vertikalen Komponente der Sonnenstrahlung, einmal aus der direkten Messung multipliziert mit dem Sinus der Sonnenhöhe, das andere Mal als Differenz zwischen unbeschatteter und beschatteter Milchglasplatte erhält, wenn man die letzteren Werte mit 25,0 multipliziert (siehe die unter Bemerkung in Tab. 19 mitgeteilten Vergleiche, die letzte Zahl gibt die Differenz $G-H$), so wurden die Reduktionsfaktoren für die Milchglasmessungen gleich mit diesen Faktoren multipliziert, und es erscheinen so in Tab. 19 unter der Bezeichnung G die Gesamtstrahlung auf die Milchglasplatte, H die Himmelsstrahlung (beschattete Platte). J in Tab. 18 bezeichnet entsprechend die direkt gemessene Sonnenstrahlung senkrecht zur Strahlungsrichtung.

Bei der Zusammenstellung der Sonnenmessungen und besonders bei der Berechnung der Trübungs-faktoren zeigte sich leider, daß ein Teil der Messungen systematisch zu kleine Werte gibt. Es handelt sich stets um zeitlich zusammenliegende Gruppen, meist ganze Tage, und der Sprung tritt nur ein, wenn inzwischen die Apparatur für Cadmiummessungen benutzt wurde. Die Vermutung, daß ein Fehler in der Drossleinrichtung, vielleicht veranlaßt durch falsches Einsetzen der Quarzplatte oder der Zusatzblende, vorliegt, liegt nahe; es gelang aber nachträglich nicht, ihn eindeutig aufzuklären. Das Verhältnis der gedrückten Werte zu den Normalen beträgt nahezu 3 : 4, es wurden daher die betreffenden Messungen durch Multiplikation mit dem Faktor 4 : 3 erhöht und in der Tabelle 18 unter J eine mit II bezeichnete Spalte hinzugefügt, die diese Werte enthält, wo sie in Frage kommen. Der Trübungs-faktor in den Spalten T und T_G ist mit diesen verbesserten Zahlen gerechnet. Als extraterrestrische Werte sind für J_2 354 und für J_0 14,14 angenommen. Zum Vergleich sind unter T_K die aus Tab. 1 des zweiten Abschnitts entnommenen Werte des Trübungs-faktors für die Kurzstrahlung nach Michelson Messungen hinzugefügt. Zu den ersten Spalten der Tabelle 18 ist noch zu bemerken, daß die Angaben der Zeit in mittlerer Ortszeit für die Messungen ohne Filter angegeben sind; die Messung mit Gelbglas ist um soviel Minuten später (+) oder früher (−) gemacht, wie die hinter der Zeit folgende mit Δ überschriebene Spalte angibt. Unter h_\odot sind die wahren (berechneten) Sonnenhöhen, unter m die dazugehörigen Luftmassen für die Zeit der Hauptmessung angegeben.

Zur Überbrückung der Zwischenräume zwischen den Messungen der Gesamthelligkeit (Sonne + Himmel) konnte ohne besondere Anschaffungen eine Registrierapparatur zusammengestellt werden, an deren Ergebnisse große Ansprüche an Genauigkeit und Konstanz nicht gemacht werden sollten, da sie stets auf die direkten Messungen bezogen werden konnten. Zur Verfügung stand eine ältere Kaliumzelle, eine Schwesterzelle der in Potsdam laufend zu galvanometrischen Messungen benutzten, die sich allerdings früher als nicht sehr konstant gezeigt hatte, bei gelegentlichen Anschlußmessungen in den letzten Jahren aber recht gut übereinstimmende Werte ergeben hatte. Zur Registrierung ohne Dunkelraum konnte das Registrierwerk und der Kasten eines Undographen (Aufnahmeapparat für Schallversuche) Verwendung finden, in dem an Stelle des Schallempfangssystems ein verfügbares hochempfindliches Galvanometer von Hartmann und Braun gesetzt wurde. Schwierigkeiten machte nur die Abänderung der Laufgeschwindigkeit des Registrierpapierbandes, das bei Schallaufnahmen etwa 1 cm je Sekunde fortbewegt wird, während für den jetzigen Zweck eine Geschwindigkeit von höchstens 6 cm je Stunde erforderlich war. Trotzdem der Auftrag zur Umänderung des Uhrwerks einer leistungsfähigen Berliner Firma bereits im Dezember 1926 erteilt war, gelang es dieser nicht, eine Federhemmung zu konstruieren, die die stark schwankende Kraft des Laufwerks mit genügender Sicherheit aufnahm; es mußte in den letzten Wochen zur Umänderung auf eine Pendelhemmung übergegangen werden, die wenig regelmäßig wirkte und, was schlimmer war, häufig ganz versagte. Im übrigen bewährte sich die ganze Einrichtung in Vittangi trotz sehr notdürftiger Aufstellung in einem Schuppen und auf Verpackungskisten recht gut. Es zeigte sich sogar nachträglich, daß die erhaltenen Werte erheblich zuverlässiger waren als die direkten Messungen. Glücklicherweise blieb auch die von einer Anoden-

Tabelle 18. Sonnenstrahlung, gemessen mit der Kaliumzelle.

J in Elektrometereinheiten p/sec reduziert auf Blende 1/100 ohne Kondensator.

Tag	Ortszeit	Δ	h _⊙	m	Blende		Johne Filter		J gelb		100 J _{gb} J	T	T _G	T _K	Be- wöl- kung	Bemerk.
					ohne F.	gelb	I	II	I	II						
28. 6.	7 58	-2	32.3	1.81	1/4800	1/600	114		8.83		7.75	2.56?	1.68	1.7	1 Acu	
	10 48	-6	44.2	1.39	1/1200 K	1/600	236		10.52		4.47	1.15	1.38	1.5		
	12 20	-5	45.6	1.36	1/2400 K	1/600	302!		12.75!		4.28	?	?	1.4	2 Cu	Blau 8
	15 58	+3	33.1	1.77	1/4800	1/1200	243		11.9		4.92				3 Cu, Ci	
	18 03	-2	21.5	2.63	1/4800	1/1200	98.0	130	6.74	8.99?	9.18	1.67	1.15?	1.6	1 Acu	
	19 20	+3	9.8	5.49	1/4800	1/1200	18.2	25.2	2.64	3.68	14.5	2.45?	1.73		1 Ci	
29. 6.	8 46	-3	36.4	1.62	1/2400 K	1/50 K	123	164	5.68	7.57?	4.60?	1.93	2.55?	1.8	o	
	9 42	+9	40.6	1.49	1/2400 K	1/50 K	114	152	6.88	9.18	6.02	2.26	1.93	1.9	o	Bl. 5
	11 54	-3	45.6	1.36	1/2400 K	1/2400	177	. .	8.33?		4.70	2.00	2.50	2.2	o	
	13 12	+2	44.4	1.38	1/2400 K	1/2400	168	. .	9.12	. .	5.40	2.10	2.09	2.2	o	
	15 11	+3	37.2	1.60	1/1200 K	1/100 K									o	
	17 01	+4	27.3	2.10	1/2400 K	1/300 K	99.5	. .	7.23	. .	7.27	2.44	2.04	2.1	1 Acu	
	20 25	-	9.4	5.69	1/1200 K	-	52.6	. .		-		1.70	-	-		
30. 6.	9 08	+2	38.1	1.57	1/2400 K	1/600 K	23.5	. .	10.9	. .	4.65	1.04	1.08	1.4	1. Acu	Bl. 10
	13 30	-	43.5	1.40	1/2400 K	-	239					1.10		1.4		
	21 16	+3	5.8	8.70	1/2400	1/600	51.0		3.02		5.92	1.23	1.25		2 Cu, Acu	
	24 24	-5	1.0	23.0	1/50	1/2	0.70		0.15		21.5	1.83	1.44	1.6	1 Acu	
1. 7.	9 11	+4	38.4	1.56	1/2400 K	1/300 K	224		9.80		4.35	1.15	1.56	1.1	1 Cu	
	11 59	-3	45.5	1.36	1/2400 K	1/300 K	248		11.15		4.50	1.03	1.13	1.05	o	Bl. 10
	16 53	-2	28.0	2.05	1/2400 K	1/300 K	220?		9.77		4.44	0.97!	1.22	1.1	o	
	20 45	-2	7.9	6.83	1/2400	1/300	72.5		4.49		6.19	1.21	1.22	1.2	o	
	24 10	-	0.8	24.5	1/50	-	0.342					1.94				
	16	-2	0.9	23.6	1/50	1/5	0.423		0.042		9.88	1.93	1.43		1.2	o
2. 7.	8 55	+4	36.9	1.61	1/2400 K	1/300 K	276		8.95		3.38	0.62!	1.88	1.5	2 Cu	Bl. 11
	12 25	-	45.4	1.36	1/1200 K	-	263					0.86!				
	12 50	+2	44.9	1.37	1/1200 K	1/100 K	261		9.50		3.47	0.88!	1.90	1.3	3 Cu, Ci	
	20 24	+2	9.4	5.68	1/600 K	1/50 K	31.1	41.5	2.14	2.85	6.90	1.92	1.94	1.4	1 Cu	
	24 10	-	0.8	24.5	1/50	-	0.037	0.049				2.49!		1.5		
3. 7.	8 51	-4	36.6	1.62	1/2400 K	1/300 K	147	193	7.44	9.92	5.14	1.48	1.48	1.3	2 Cu	
	12 38	+4	45.1	1.36	1/2400 K	1/300 K	167	222	7.88	10.05	4.72	1.42	1.35	1.3	1 Cu	Bl. 11
	16 51	+2	28.0	2.05	1/2400 K	1/300 K	137	183	7.35	9.80	5.36	1.36	1.25	1.3	2 Cu	
	20 01		10.9	5.17	1/2400	-	65.4	87.2				1.37			o	
	10		10.3	5.42	1/2400	-	59.3	79.0				1.42			1.2	
24 23		0.8	24.5	1/50	-	0.17	0.227				2.06		1.2	1 St.		
4. 7.	7 10	+3	27.5	2.09	1/2400 K	1/300 K	162		9.16		5.64	1.41	1.41	1.1		
	8 48	+4	36.3	1.63	1/2400	1/300 K	205		9.95		4.86	1.34	1.42	1.3	o	Bl. 12
	12 57	+3	44.5	1.38	1/2400 K	1/100 K	221		10.60		4.80	1.33	1.38	1.2	2 Cu	
	17 05	-6	26.7	2.15	1/2400	1/100 K	170		9.98		5.85	1.44	1.10	1.3	2 Cu	
	20 41	+2	7.9	6.60	1/2400	1/300	38.0		3.70		9.73	1.76	1.67	1.35	1 Cu, Ci	Bl. 10
5. 7.	8 32	+3	34.8	1.70	1/2400 K	1/300 K	207		10.10		4.88	1.27	1.33	1.35	1 Cu	Bl. 10
	20 37	+3	8.1	6.45	1/2400	1/300	21.9	29.3	1.77	2.36	8.80	1.91	1.92	1.5	2 Cu	Bl. 9 tags bewölkt
6. 7.	20 20	+3	9.3	5.73	1/600 K	1/50 K	58.7		3.68		6.26	1.57	1.60	1.6	3 Acu,	Bl. 10
	7. 7.	9 29	+3	39.2	1.54	1/1200 K	1/300 K	239		10.55		4.42	1.01	1.27	1.1	1 Ci
7. 7.	12 15	-	45.1	1.36	1/1200 K	-	153	204?				1.58?		1.3	4 Ci	
	18 04	+3	20.8	2.72	1/1200 K	1/300 K	144		6.83		4.74	1.47	1.78	1.6	1 Cist	Bl. 9
	20 38	+2	7.9	6.60	1/600 K	1/50 K	43.5	58.0	2.90	3.87	6.67	1.43	1.36	1.4	o	

Tag	Ortszeit	Δ	h_{\odot}	m	Blende		Johne Filter		J gelb		$\frac{100 J_{gb}}{J}$	T	T_G	T_K	Be-wöl-kung	Bemerk.
					ohne F.	gelb	I	II	I	II						
8. 7.	9 09	+3	37.6	1.58	$\frac{1}{1200}$ K	$\frac{1}{300}$ K	217		10.84		5.00	1.23	1.11	1.25	2 Ci	Bl. 10
	12 21	—	44.9	1.37	$\frac{1}{1200}$ K	—	220		—		—	1.34	—	—		
	13 15	+2	43.6	1.40	$\frac{1}{1200}$ K	$\frac{1}{1200}$ K	214		9.80		4.58	1.40	1.70	1.25	3 Cu	
	22		43.2	1.41	—	$\frac{1}{1200}$	—		9.65		—	—	1.76	1.25		
	24		43.0	1.42	—	$\frac{1}{100}$ K	—		10.50		—	—	1.36	1.25	3 Cu	
	28		42.9	1.42	$\frac{1}{1200}$ K	—	198		—		—	1.60	—	1.25		
	16 56	+2	27.1	2.12	$\frac{1}{1200}$ K	$\frac{1}{100}$ K	151		8.28		5.48	1.69	1.68	1.6	Bl. 11	
	18 45	+2	17.0	3.35	$\frac{1}{1200}$ K	$\frac{1}{100}$ K	104		5.20		5.00	1.69	2.01	1.7		
	58		15.8	3.60	$\frac{1}{1200}$ K	—	95.0		—		—	1.67	—	1.7	Bl. 11	
	20 09	{	9.8	5.63	$\frac{1}{1200}$ K	—	65.2		—		1.52	—	—	1.9		
	20 12				+3	9.5	5.74	$\frac{1}{300}$ K	—	63.2						
	19	—2	9.1	6.04	$\frac{1}{300}$ K	$\frac{1}{300}$	65.0		3.77		5.80	1.50	1.61	1.9	Bl. 11	
21		9.0	6.10	$\frac{1}{300}$ K	$\frac{1}{300}$	59.6		3.71		6.22	1.50	1.55	1.9			
9. 7.	9 04	+3	37.1	1.64	$\frac{1}{1200}$ K	$\frac{1}{600}$ K	228		9.93		4.36	1.07	1.40	1.45	2 Cu schnell zunehmend	Bl. 11

Tabelle 19. Gesamt- und Himmelsstrahlung mit Kaliumzelle unter Milchglashorizont.

Einheit $\frac{1}{25}$ Elektrometereinheit p/sec für Blende $\frac{1}{100}$, entsprechend der Einheit für Sonnenstrahlung in Tabelle 18.

Tag	Ortszeit	h_{\odot}	Blende für				G	G_{gb}	$\frac{100 G_{gb}}{G}$	H	H_{gb}	$\frac{100 H_{gb}}{H}$	G_R	G/G_R	Be-wöl-kung	Blau-skala	Bemerkungen
			G	G_{gb}	H	H_{gb}											
27. 6.	19 01	16.0	$\frac{1}{300}$	—	—	71.0	—	—	—	—	—	83.2	0.854	2 nb Acu	7		
	09	15.3	$\frac{1}{300}$	—	$\frac{1}{300}$	69.2	—	—	37.6	—	—	80.0	0.865				
	36	13.0	$\frac{1}{300}$	—	$\frac{1}{300}$	57.6	—	—	32.8	—	—	67.8	0.850	1 Acu			
	43	12.4	$\frac{1}{300}$	—	$\frac{1}{300}$	52.2	—	—	29.5	—	—	64.2	0.813				
	20 55	1.8	$\frac{1}{100}$	—	$\frac{1}{100}$	7.70	—	—	7.20	—	—	10.7	0.720	6—7			
	24 16	1.1	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1}$	—	4.88	0.077	1.58	—	—	—	8.1	0.602				
28. 6.	7 48	31.6	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	—	—	70.5	2.40	3.50	.	.	1 Acu	6—7		
	10 36	43.8	$\frac{1}{1200}$	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	272	—	59.7	2.34	4.40	305	0.892	2 ¹ Cu	8		
	12 08	45.7	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	—	—	75.1	2.62	3.48	—	—				3 ¹ Cu, Ci
	16 08	32.0	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	—	—	66.0	2.19	3.32	—	—	1 Ci			
	17 51	22.3	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{10}$	—	—	52.6	1.49	2.83	—	—				
	20 26	9.1	—	—	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{5}$	—	—	33.2	1.22	3.67	—	—				
	22 11	3.2	—	—	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{5}$	—	—	9.25	0.314	3.38	—	—				
29. 6.	7 59	32.7	$\frac{1}{600}$	—	$\frac{1}{600}$	—	138	—	92.6	—	—	—	—	5	J _⊙ sinh = 125:124		
	8 30	35.3	$\frac{1}{300}$	—	—	188	—	—	—	—	—	—	—				
	33	35.6	$\frac{1}{1200}$	—	—	205	—	—	—	—	—	—	—				
	10 12	42.6	$\frac{1}{1200}$	—	$\frac{1}{1200}$	—	223	—	79.2	—	—	—	—				
	11 38	45.5	$\frac{1}{600}$	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	234	—	110	3.54	3.22	—	—				
	13 19	44.0	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	—	—	86.8	—	—	—	—				
	15 14	36.7	$\frac{1}{600}$	—	—	167	—	—	—	—	—	—	—				
16 48	28.2	$\frac{1}{600}$	—	—	150	—	—	—	—	—	189	0.794	1 ⁰ Acu	7			
30. 6.	8 58	37.6	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	—	—	56.6	1.71	3.01	—	—	1 ⁰ Acu	10		
	21 04	6.5	—	—	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{5}$	—	—	17.8	0.504	2.83	—	—	2 ¹ Cu, Acu	8		
1. 7.	0 24	1.2	—	—	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{2}$?	—	—	3.47	0.050	1.44 ?	—	—	1 ⁰ Acu	5—8 ?	J _⊙ sinh = 151:155	
	9 04	38.0	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{50}$	195	8.92	4.57	40.0	1.21	3.02	—	1 Cu	9		
	12 02	45.5	—	—	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{10}$?	—	—	40.8	1.49	3.65	—	—	o	10		
	16 42	28.7	1	—	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{5}$	—	—	44.0	—	—	—	—	o	10		

G_R sind die den Zahlen der Tabelle 20 entsprechenden Registrier-Werte.

Tag	Ortszeit	h ₀	Blende für				G	G _{gb}	100 G _{gb} G	H	H _{gb}	100 H _{gb} H	G _R	G/G _R	Be- wölkung	Blau- skala	Bemerkungen
			G	G _{gb}	H	H _{gb}											
1. 7.	18 29†	18.7	1/300	—	1/300	—	92.2†	—	—	40.6	—	121	0.761	—	—	—	
	18 47†	17.0	1/300	—	1/300	—	83.4†	—	—	38.2	—	106	0.789	—	—	—	
	20 09†	10.2	1/300	—	1/300	—	46.6†	—	—	28.3	—	54.0	0.863	0	9	—	
	20 31	8.6	—	—	1/300	1/5	—	—	—	24.8	0.514	2.07	—	0	—	—	
2. 7.	0 18†	0.9	1/50	—	= G	—	4.20	—	—	—	—	7.25	0.580!	0	7?	N-Horiz. sehr klar	
	8 39	35.9	—	—	1/600	1/50	—	—	—	63.2	2.57	4.07	—	2 ¹ Cu	11	—	
	12 52	44.7	1/1200	—	—	—	277	—	—	—	—	—	—	3 ¹ Cu, Ci	11	—	
	16 37	29.1	1/600	1/5	1/600	1/5	102	—	—	42.3	0.980	2.32	—	2 ¹ Cu	10	—	
3. 7.	8 54	37.0	1/600	—	1/600	1/50	143	—	—	38.0	1.31	3.45	—	2 ⁰ Ci	10	J ₀ sin h=115:105	
	12 50	44.7	1/300, 1/1200	1/50	1/300	1/5	210	8.20	3.91	52.5	0.890	1.69?	—	1 ¹ Cu	11	J ₀ sin h=158:158	
	16 47	28.1	1/1200	—	1/300	1/5	134	—	—	38.0	0.840	2.22	—	2 ¹ Cu	11	—	
	19 37	12.6	1/600	—	—	—	55.0	—	—	—	—	—	—	0	9	—	
4. 7.	0 27	0.9	1/50	—	—	—	4.70	—	—	—	—	7.38	0.635	1 Str	—	—	
	6 59	26.8	1/300	—	1/300	1/5	90.5	—	—	30.4	0.691	2.27	181	0.500	0	—	
	9 02	37.7	1/1200	—	1/600	1/5	164	—	—	41.5	0.723	1.74	284	0.577	0	11	—
	13 11	44.0	1/1200	—	1/300	1/5	196	—	—	41.6	0.826	1.99	348	0.563	2 ¹	12	J ₀ sin h=155:154
	16 45	28.2	1/1200	—	1/300	1/5	130	—	—	40.9	0.847	2.07	208	0.625	1	12	—
20 45	7.5	1/300?	—	1/300?	1/5	29.6	—	—	17.7	0.384	2.17	34.5	0.857	1 Ci	10	J ₀ sin h=5.2:11.91	
5. 7.	0 27	0.8	1/50	—	—	—	4.03	—	—	—	—	7.21	0.557	1 Stcu	—	—	
	8 44	36.2	1/2400!	—	1/600	1/50	140	—	—	45.6	1.74	3.81	260	0.540	1 Cu, Ci	10	—
	12 48	44.6	1/1200	1/50	1/300	1/5	257	12.9	5.04	59.6	1.43	2.50	—	4 Cu	11	—	
	18 58	15.8	1/300	—	—	—	—	—	—	52.0	—	—	—	2 Cu, Ci	10	—	
6. 7.	0 06	0.6	1/50	—	—	—	4.30	—	—	—	—	6.52	0.660	4 Ci, Acu	—	—	
	23 38	0.5	1/50	1/5	—	—	4.69	0.098	2.18	—	—	5.74	0.817	1 Cu	—	—	
7. 7.	12 00	45.0	1/1200	—	—	—	273	—	—	—	—	—	—	4 ⁰ Cu, Ci	11	—	
	17 52	21.6	1/600	—	1/600	—	104	—	—	41.5	—	—	—	1 ⁰ Ci, Cicu	10	J ₀ sin h=52:62	
8. 7.	0 21	0.4	1/50	—	—	—	3.12	—	—	—	—	5.66	0.550	1 ⁰ Ci	6	—	
	8 55	36.8	1/600	—	1/600	—	190	—	—	50.8	—	275	0.690	2 ⁰ Ci	10	—	
	13 29	42.9	1/1200, 1/600	1/50	1/600	1/50	221	9.52	4.30	69.5	1.46	2.10	326	0.677	0	11	J ₀ sin h=135:151
	19 53	10.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 ⁰ Ci	10	—	
9. 7.	0 15	0.3	1/50	1/5	.	.	4.09	0.107	2.62	3 ⁰ Acu	6	—	

batterie gelieferte Spannung von rund 70 Volt während der ganzen Betriebszeit recht konstant, wie durch gelegentliche Messungen mit einem Präzisionsvoltmeter festgestellt werden konnte. Eine Bestimmung der Empfindlichkeit des Galvanometers war leider in Vittangi nicht möglich; sie ist dort augenscheinlich gut konstant geblieben, hat sich aber vielleicht auf dem Rücktransport nach Potsdam geändert, so daß ein unmittelbarer Anschluß der Werte an Potsdam auf diesem Wege nicht tunlich ist, sondern über die recht unsicheren elektrometrischen Messungen erfolgen muß.

Da der Registrierstreifen nur 6 cm Breite hatte, und der Zellen- und Galvanometerempfindlichkeit entsprechend ein Gesamtumfang der Registrierung von etwa 30 cm zu erwarten war, so wurde der Registrierbereich zunächst dadurch erweitert, daß an Stelle von einer gradfadigen Lampe als Lichtquelle deren 2 benutzt wurden, die etwa 6 cm voneinander entfernt im Registrierkasten angebracht waren. Es zeigte sich, daß man außer den vom Leuchtfaden direkt erzeugten und reichlich starken Punkten auch noch gut solche verwenden konnte, die von Reflexen an der zylindrischen Glaswand der Lampen erzeugt wurden, z. T. sehr gut und scharf waren und deren äußerste fast 10 cm auseinander lagen. Da außerdem eine Empfindlichkeitsänderung des Galvanometers im Verhältnis 1 : 2 und 1 : 5 durch einen Nebenschluß vorgesehen war, so konnte der erforderliche Registrierbereich erreicht werden. Die Zelle selbst bewährte sich unerwartet gut und war sehr konstant, wie auch spätere eingehende Untersuchungen in Potsdam bestätigten.

Durch das unvollkommene Arbeiten der Laufwerkuhr sind allerdings zahlreiche Unterbrechungen der Registrierung entstanden; insbesondere versagte leider der Apparat auch gerade während der Sonnenfinsternis. Die Ergebnisse der laufenden Registrierungen sind in Tab. 20 für jede Stunde nach wahrer Sonnenzeit mitgeteilt, sie sind in Amp. $\times 10^{-9}$ angegeben und für die kleine Abweichung des Zellenstromes von der

Tabelle 20. Kurzstrahlung nach Kaliumzelle unter Milchglashorizont (Sonne + Himmel).
Stromstärke in Amp. $\times 10^{-9}$, verbessert für die Strom-Lichtfunktion der Zelle.

Wahre Sonnenzeit	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h	19 ^h	20 ^h	21 ^h	22 ^h	23 ^h	24 ^h	
Sonnenhöhe																									
am 22. 6.	1.8	3.8	6.9	11.1	16.1	21.6	27.3	32.8	37.9	42.0	44.8	45.8	44.8	42.0	37.9	32.8	27.3	21.6	16.1	11.1	6.9	3.8	1.8	1.1	
am 7. 7.	1.1	3.1	6.2	10.5	15.5	21.0	26.7	32.1	37.2	41.3	44.1	45.1	44.1	41.3	37.2	32.1	26.6	20.9	15.4	10.4	6.2	3.0	1.0	0.3	
16. 6.																					27.1	12.8	3.8	3.8	6.3
17.	6.3	10.3	22.0	50.9	50.9	160	224	199	171	224	142	145	153	115	113	118	224	116	90.4	25.9	26.1	16.3	6.9	6.9	
18.	6.3	5.0	9.0	9.5	37.6	32	35	44	84	201	105	44	28	19	17	59	70	25	31.1		12.8	11.6	11.0	11.0	
19.	6.3	11.6	15.6	18.1	44.2	81	69	47	64	74	105	126	108	67	52	31	55	14		9.0	2.6	11.6	9.1	6.4	
20.	3.9	18.1	32.4	60.1	94.0	134	185	307	265	309	345	394	206	233	178	134	78	54	20.7	54.8	7.7	7.2	7.7	9.0	
21.	10.3	10.3	11.6	12.8	20.7	31	36	55	62	47	51	55	56	57	73	92	60	30	27.2	9.0	12.8	10.3			
22.																									
23.																									
24.												335	345	117	377	78	121	92	107.7	56.1	25.8	16.8	11.6	6.5	
25.	9.0	14.1	33.7	70.6	111.7	156	222			300	132	265	243	168	118	175	58	81.2	48.1	25.8	14.1	9.0	7.7		
26.	7.7																								
27.														111	70	168	133	76	85.5	55.5	30.4	18.3	9.2	7.6	
28.	8.8	15.3	28.8	49.2	83.0	122	107			250	342	371	359	210	289	157	137	118		53.8	31.2				
29.																213	173		57.1						
30.																									
1. 7.	9.2	17.5	31.6	57.1	94.2	145				300	334	355	365	357	332	293	249	198	146	96.8	57.0	32.4	17.2	9.6	7.2
2.	9.2	16.1	29.5	57.1	88.1	136	168			290	115	380	370												
3.																						32.8	17.7	9.6	7.2
4.	8.3	15.3	29.1	53.8	96.8	151	186	238	285	324	344	355	354	330				197	146	96.8	56.3	30.0	14.5	10.5	7.4
5.	7.7	13.5	17.7	37.3	54.2	69			272	307	94	357	390	338	269						39.0	28.0	13.3	7.8	6.2
6.	7.6	14.1	27.2	51.3	84.3	134	151		292	332		311	177	140	290	169	123	132	81.8	56.3	42.2	14.5	6.9	5.3	
7.	6.0	11.3	21.0																						
8.	5.7	10.5	23.7	48.8	87.6	133	184	237	282	315	344	354	338	314	275	238	98	68					13.3	6.4	5.5
Mittel d. Klar-Werte	8.8	16.4	30.4	54.4	95.5	140	193	246	293	329	350	360	356	331	296	250	198	146	96.8	57.1	31.2	15.8	10.0	7.1	
Ergänzt. Mittel	8.1	14.8	28.5	53.7	91.6	138	184	240	289	326	350	361	355	331	296	248	198	144	95.1	55.5	30.8	15.6	9.0	6.8	

Die fett gedruckten Werte sind bei wolkenlosem Himmel registriert.
Die mit ; bezeichneten Werte sind aus stark bewegten Kurven entnommen.

Proportionalität zur Lichtmenge reduziert. Tab. 21 gibt eine hieraus und aus den direkten Messungen mit beschatteter und unbeschatteter Milchglasplatte abgeleitete Zusammenstellung der Beleuchtungsverhältnisse für ganz klare Tage im Hochsommer in dem klimatisch sehr bevorzugten Gebiet von Vittangi. Die Werte erscheinen trotz des lückenhaften Materials infolge der guten Übereinstimmung der einzelnen Registriertage recht gesichert und haben als Relativwerte für Tage mit Mitternachtssonne einen gewissen Wert. Der Anschluß an die bei gleichen Sonnenhöhen in unserem Klima auftretenden Werte ist wegen der oben geschilderten Schwierigkeiten des Anschlusses an die Potsdamer Beobachtungen wenig sicher. Mit einem aus Tab. 16 hergeleiteten Mittelwert ergibt sich, daß die in sich ebenfalls recht konstanten Potsdamer Werte für ganz klare Tage für Sonnenhöhen über 30° etwa 8% niedriger liegen. Für kleine Sonnenhöhen scheint der Unterschied etwas geringer zu werden, trotzdem die Sonnenstrahlung selbst bei großen Luftmassen in Vittangi zweifellos größer war, als sie in Potsdam selbst an günstigen Tagen beobachtet wurde. Auch das Verhältnis des Gelbanteils der Himmelsstrahlung entspricht einer Himmelsbläue, wie sie in Potsdam selten oder kaum vorkommt; doch ist leider auch gerade dieser Wert wegen der Mängel der elektrometrischen Meßapparatur, insbesondere der Unsicherheit in der Blendenreduktion nicht als sehr sicher anzunehmen.

Tabelle 21. **Sonnen- und Himmels-Kurzstrahlung auf die horizontale Milchglasplatte.**
Ausgeglichene Mittelwerte für klare Tage.

	G	H	G—H	$\frac{100 \text{ G—H}}{\text{G}}$
0°	5.4	5.4	0.0	0.0
1	7.4	7.2	0.2	2.7
2	10.5	10.0	0.5	4.8
3	14.1	13.0	1.1	7.8
4	18.5	16.0	2.5	13.5
5	23.0	19.3	3.7	16.1
10	50.0	32.5	17.5	35
15	87.0	46.0	41.0	47
20	129.0	58.3	70.7	55
25	174.5	62.5	112.0	64
30	220.5	62.8	157.7	71.5
35	267.0	63.0	204.0	76.5
40	313.5	63.0	250.5	80
45	360.0	63.0	297.0	82.5

G=Gesamtstrahlung (Sonne+Himmel), H=Himmelsstrahlung.