

Messungen der direkten Sonnenstrahlung und der atmosphärischen Trübung am Grönländischen Inlandeis, Station Carrefour, 1850 m

Von G. Markl und W. Ambach*

Zusammenfassung: Während der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition 1967 wurden Messungen der direkten Sonnenstrahlung unter Verwendung der Filter OG1 und RG2 durchgeführt. Der Ångströmsche Trübungsbeiwert β_{pIGY} und der projizierte Trübungsbeiwert der Gesamtstrahlung T_p nach Linke, beide bestimmt aus Tabellen des IGY-Instruction Manual (1958), werden einem nach KUHN (1971) berechneten Ångströmschen Trübungsbeiwert gegenübergestellt. Der nach KUHN (1971) berechnete Trübungsbeiwert liegt geringfügig unter den aus den Tabellen interpolierten Werten. Während der projizierte Trübungsbeiwert der Gesamtstrahlung T_p eine deutliche Abhängigkeit von der optischen Luftmasse zeigt, ergibt sich für den Ångströmschen Trübungsbeiwert nach beiden Methoden kein signifikanter Tagesgang.

Summary: During the International Glaciological Greenland Expedition 1967, measurements of the direct solar radiation were carried out using the filters OG1 and RG2. The extrapolated Ångström turbidity coefficient β_{pIGY} and the extrapolated Linke turbidity factor T_p , both determined according to the IGY Instruction Manual (1958), were related to the Ångström turbidity coefficient calculated after KUHN (1971). The values of the Ångström turbidity coefficient after KUHN (1971) are slightly lower than those obtained from the IGY-Instruction Manual. The extrapolated Linke turbidity factor T_p shows a significant dependence upon the optical air mass, whereas no diurnal variation was obtained for the Ångström turbidity coefficient β and β_{pIGY} .

1. EINLEITUNG

Im Rahmen der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition 1967 (EGIG II) wurden an der Station Carrefour umfangreiche Messungen der direkten Sonnenstrahlung und der atmosphärischen Trübung durchgeführt. Die Meßstelle Carrefour liegt in 1850 m Höhe und bei $\varphi = 69^\circ 49' 25''N$ und $\lambda = 47^\circ 25' 57''W$. Die Messungen erstreckten sich vom 24. 05. 1967 bis zum 24. 07. 1967, an zehn Tagen wurden insgesamt über 500 Einzelmessungen der direkten Sonnenstrahlung durchgeführt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Ermittlung der atmosphärischen Trübung aus den durchgeführten Aktinometermessungen unter Verwendung verschiedener Trübungsmaße.

Messungen der atmosphärischen Trübung wurden in den letzten Jahrzehnten mit der Absicht durchgeführt, die Veränderung der atmosphärischen Kontamination und deren Auswirkung auf das Klima genauer zu erfassen. In diesem Zusammenhang bieten Messungen der atmosphärischen Trübung in Polargebieten besonders wertvolle Hinweise, weil anzunehmen ist, daß sie von lokalen industriellen Emissionen wenig beeinflußt ist. Aus diesem Grund liefern die im Jahre 1967 durchgeführten Messungen der direkten Sonnenstrahlung einen Beitrag zu dieser Fragestellung.

Die Messung der einzelnen Komponenten der direkten Sonnenstrahlung erfolgte mittels eines Panzeraktinometers Linke-Feußner G10-109 mit den Filtern OG1 und RG2. Die Meßeinheit, bestehend aus Aktinometer und Registriergerät (Zeigermillivoltmeter), wurde am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck vor und nach der Expedition mit dem Michelson-Marten-Bimetallaktinometer Nr. 346 geeicht. Dieses Gerät wurde wiederum 1956 am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos an das Original Michelson-Marten-Bimetallaktinometer Nr. 5100 angeschlossen. Ebenso wurden dort die Filterfaktoren der verwendeten Filter bestimmt. Die Empfindlichkeit für das Panzeraktinometer G10-

* Gerhard Markl, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität, Schöpfstr. 41, A-6020 Innsbruck
Prof. Dr. Walter Ambach, Institut für Medizinische Physik der Universität, Müllerstr. 44, A-6020 Innsbruck

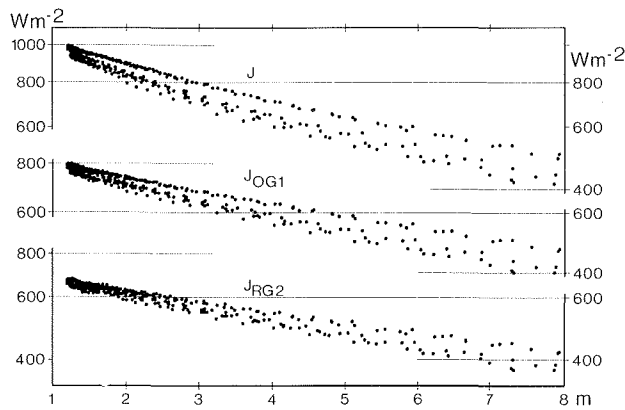


Abb. 1: Abhängigkeit der Strahlungsströme J , $J(\text{OG1})$ und $J(\text{RG2})$ von der optischen Luftmasse.

Fig. 1: Dependence of the radiation fluxes J , $J(\text{OG1})$ and $J(\text{RG2})$ upon the optical air mass.

109 und Anzeigerät beträgt $S_0 = 1,26 \text{ mVJ}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ bei 0°C mit einer Temperaturabhängigkeit von $0,28\%$ pro Grad Celsius, der Filterfaktor für das Filter OG1 beträgt 1.102 und für das Filter RG2 1.093.

2. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

Abb. 1 gibt in halblogarithmischer Darstellung die Abhängigkeit der einzelnen auf mittleren Sonnenabstand reduzierten Strahlungsströme J (gesamt), $J(\text{OG1})$ und $J(\text{RG2})$ von der optischen Luftmasse wieder. Deutlich erkennt man zwei Gruppen von Meßwerten, wobei die kleineren Werte der Strahlungsströme den Messungen im Mai 1967 zuzuordnen sind. Die Messungen im Mai sind durch bodennahe Schneedrift gestört und ergeben deshalb, obwohl mit freiem Auge keine Trübung der Luft durch Schneekristalle feststellbar war, etwas niedrigere Werte. Für Vergleiche der von uns gemessenen Werte mit denen anderer Autoren sind daher die im oberen Bereich liegenden Meßwerte heranzuziehen, die aus ungestörten Messungen im Juni und Juli 1967 stammen.

Durch Differenzbildung der in Abb. 1 wiedergegebenen Werte erhält man die Kurzstrahlung ($\lambda < 0,63 \mu$), die Blaustrahlung ($\lambda < 0,52 \mu$) und die Differenzstrahlung ($0,52 \mu < \lambda < 0,63 \mu$). Die Intensitäten dieser drei Strahlungsströme sind in Abb. 2 gegen die optische Luftmasse dargestellt.

Die Verschiebung des Maximums der spektralen Intensität zu größeren Wellenlängen mit größerer optischer Luftmasse wird durch das Rotverhältnis ausgedrückt, wobei als Maß das Verhältnis der Strahlungs-

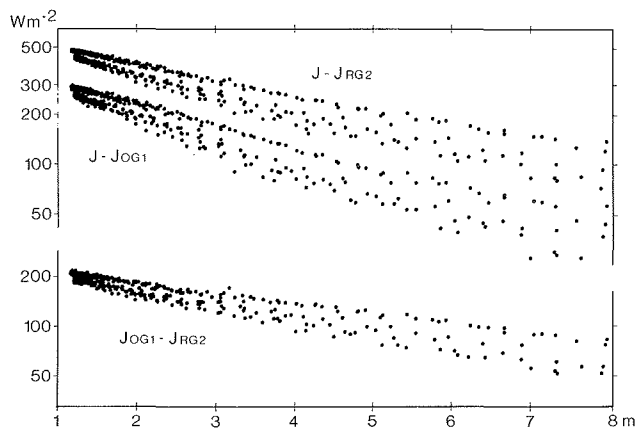


Abb. 2: Abhängigkeit der Kurzstrahlung $J - J(\text{RG2})$, der Blaustrahlung $J - J(\text{OG1})$ und der Differenzstrahlung $J(\text{OG1}) - J(\text{RG2})$ von der optischen Luftmasse.

Fig. 2: Dependence of the radiation fluxes $J - J(\text{RG2})$, $J(\text{OG1})$ and the difference $J(\text{OG1}) - J(\text{RG2})$ upon the optical air mass.

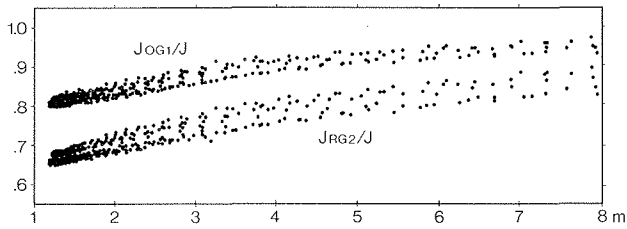


Abb. 3: Abhängigkeit der Quotienten der Strahlungsströme $J(OG1)/J$ und $J(RG2)/J$ von der optischen Luftmasse.

Fig. 3: Dependence of the ratio $J(OG1)/J$ and $J(RG2)/J$ upon the optical air mass.

ströme $J(RG2)/J$ und $J(OG1)/J$ verwendet werden kann. Abb. 3 zeigt die Zunahme des Rotverhältnisses mit zunehmender optischer Luftmasse, berechnet für die oben erwähnten Strahlungsströme.

Zur Darstellung eines Tagesganges der einzelnen Strahlungsströme und der Trübungsgrößen wurde in Abb. 4 die Meßserie vom 24. 07. 1967 herangezogen. Dieser Tag wurde gewählt, weil einerseits über ein großes Zeitintervall eine geschlossene Meßserie vorliegt und andererseits an diesem Tag keine Störung durch Schneefrucht auftrat. Vorwegnehmend wird gezeigt, daß die Trübungsmaße β , β_{pIGY} und B keinen Tagesgang, hingegen das Trübungsmaß T_p einen signifikanten virtuellen Tagesgang aufweisen.

Berechnung der Trübungsmaße

Der druckkorrigierte Ångströmsche Trübungskoeffizient β_{pIGY} und der projizierte Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung nach Linke T_p wurde nach den Formeln und Tabellen des IGY-Instruction Manual (1958) berechnet.

Ferner wurde der Ångströmsche Trübungskoeffizient β (ÅNGSTRÖM 1961) nach einer von KUHN (1971) publizierten Anleitung ermittelt. Dieser Berechnung liegt die von LABS & NECKEL (1968) veröffentlichte extraterrestrische Spektralverteilung zugrunde. Die Werte für die Gesamtozonschicht wurden einer Tabelle von VALKO (1962) entnommen, das niederschlagbare Wasser nach der HANNschen Formel (1915) berechnet, und der aktuelle Stationsdruck wurde verwendet. Für den Wellenlängenexponenten wurde als konstanter Wert $\alpha = 1,3$ eingesetzt. Der so berechnete Trübungskoeffizient β ist mit dem nach dem IGY Instruction Manual (1958) ermittelten Wert des druckkorrigierten Trübungskoeffizienten β_{pIGY} unmittelbar vergleichbar. Ebenso wurde der Schüeppsche Trübungskoeffizient B nach der von KUHN

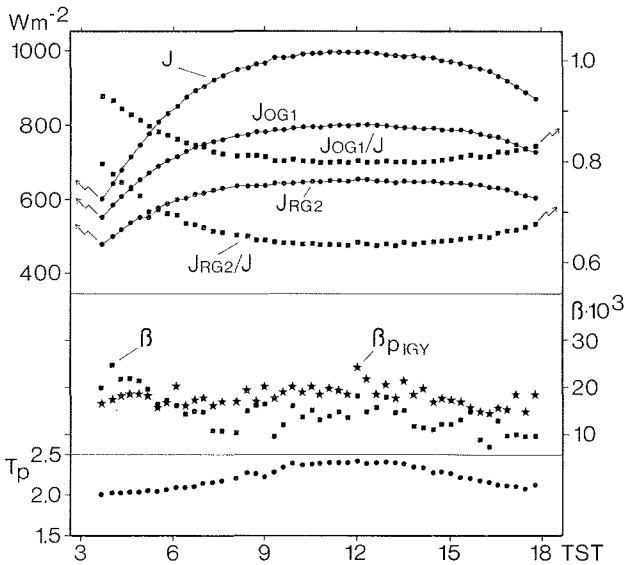


Abb. 4: Tagesgang der Einzelwerte der Strahlungsströme J , $J(OG1)$ und $J(RG2)$, der Quotienten der Strahlungsströme $J(OG1)/J$ und $J(RG2)/J$, des Ångströmschen Trübungskoeffizienten β und des nach Tabellen des IGY-Instruction Manual (1958) druckkorrigierten Ångströmschen Trübungskoeffizienten β_{pIGY} sowie des projizierten Trübungs-faktors der Gesamtstrahlung T_p nach Linke.

Fig. 4: Diurnal variations of the radiation fluxes J , $J(OG1)$ and $J(RG2)$, of the ratios $J(OG1)/J$ and $J(RG2)/J$, and of Ångström turbidity coefficient β and Ångström turbidity coefficient β_{pIGY} corrected according to IGY-Instruction Manual (1958), as well as the extrapolated Linke turbidity factor T_p .

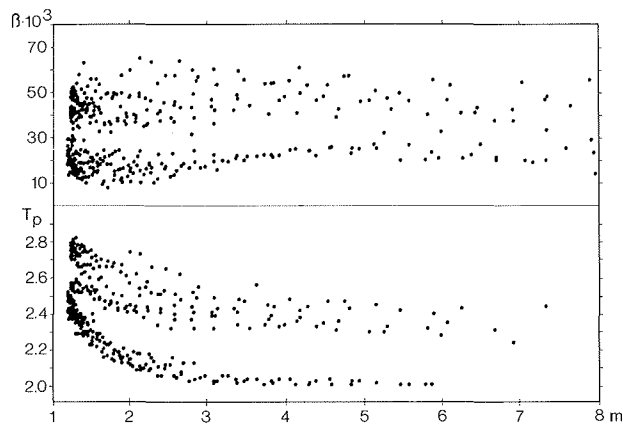


Abb. 5: Abhängigkeit des Ångströmschen Trübungskoeffizienten β und des projizierten Trübungs-faktors der Gesamtstrahlung T_p nach Linke von der optischen Luftmasse.

Fig. 5: Dependence of the Ångström turbidity coefficient β and the extrapolated Linke turbidity factor T_p upon the optical air mass.

(1971) gegebenen Anleitung berechnet, wobei auch hier für den Wellenlängenexponenten α der konstante Wert 1,3 vorgegeben wurde.

Eine Bestimmung des Wellenlängenexponenten α ist bei geringen Trübungswerten, wie sie in polaren Gebieten vorkommen, mit einer großen Streuung verbunden, so daß eine Berechnung des Wellenlängenexponenten α nicht vorgenommen wurde. In Abb. 7 sind die Werte von β gegen die Werte von B dargestellt. Es ergibt sich eine strenge lineare Beziehung mit dem Quotienten $B/\beta = 1,08$. Durch die Berechnung des Schüeppschen Trübungskoeffizienten B (SCHÜEPP 1949) erhält man in diesem Fall keine wesentliche zusätzliche Information gegenüber dem Ångströmschen Trübungskoeffizienten β , weil für beide Trübungsmaße derselbe Wellenlängenexponent verwendet wurde. Der Schüeppsche Trübungskoeffizient B wurde hier nur berechnet, um einen Vergleich mit Ergebnissen anderer Autoren zu ermöglichen. Beispielsweise wurde von KUH N (1971) in der Antarktis (Plateau Station) ein Wellenlängenexponent α festgestellt, der im Tagesgang zwischen den Werten 1 und 3 schwankt. Die Werte von B zeigen im Verlauf des antarktischen Sommers leicht ansteigende Tendenz von $15 \cdot 10^{-3}$ bis $25 \cdot 10^{-3}$ (KUH N 1971, Tab. 33). Die in Station Carrefour gemessenen Werte des Schüeppschen Trübungskoeffizienten B ergeben die gleiche Größenordnung.

Abb. 5 enthält die Abhängigkeit des Ångströmschen Trübungskoeffizienten β und des projizierten Trübungs-faktors nach Linke T_p von der optischen Luftmasse. Bei beiden Trübungsmaßen sind 2 Wertegruppen erkennbar, wobei die Wertegruppe mit höherer Trübung durch bodennahe Schneedrift beeinflusst ist. Außerdem ist deutlich ersichtlich, daß der Trübungskoeffizient β nicht wesentlich von der Luftmasse abhängt, hingegen der projizierte Trübungs-faktor nach Linke T_p eine starke Abhängigkeit von der Luft-

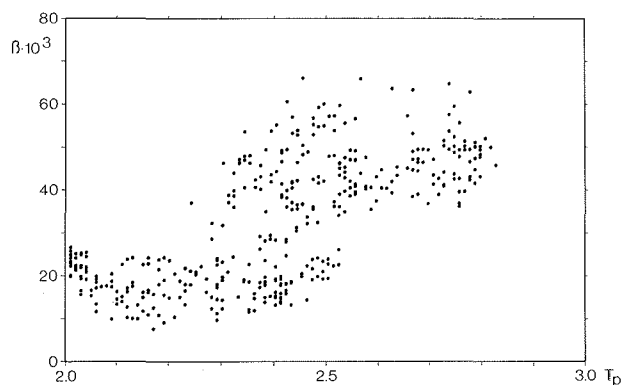


Abb. 6: Zusammenhang zwischen dem Ångströmschen Trübungskoeffizienten β und dem projizierten Trübungs-faktor der Gesamtstrahlung T_p nach Linke.

Fig. 6: Relation between the Ångström turbidity coefficient β and the extrapolated Linke turbidity factor T_p .

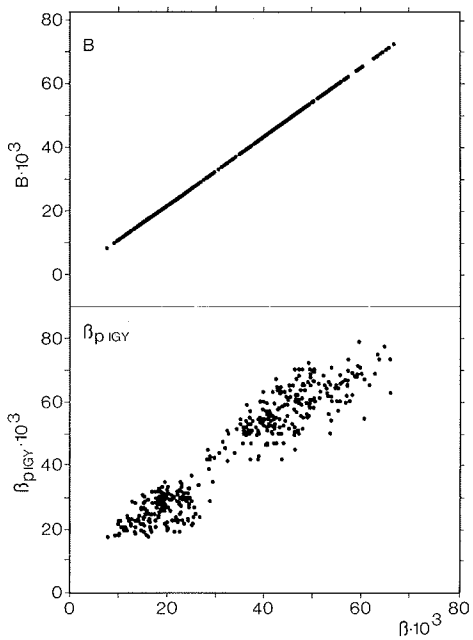


Abb. 7: Zusammenhang zwischen dem Ångströmschen Trübungs-koeffizienten β und dem Schüeppschen Trübungs-koeffizienten B sowie dem nach den Tabellen des IGY-Instruction Manual (1958) bestimmten druckkorrigierten Ångströmschen Trübungs-koeffizienten β_{pIGY} .

Fig. 7: Relation between the Ångström turbidity coefficient β and the Schüepp turbidity coefficient B, both determined after KUHNN (1971), als well as the extrapolated Ångström turbidity coefficient β_{pIGY} after the IGY-Instruction Manual (1958).

masse zeigt. Bei kleinen Luftmassen nimmt T_p einen relativ hohen Wert, bei großen Luftmassen einen relativ niederen Wert an, wodurch ein virtueller Tagesgang vorgetäuscht wird.

Eine Gegenüberstellung der Werte des Ångströmschen Trübungs-koeffizienten β und des projizierten Trübungs-faktors nach Linke T_p in Abb. 6 zeigt, daß wegen der schlechten Korrelation der projizierte Trübungs-faktor T_p als Trübungsmaß weit weniger geeignet ist als der Ångströmsche Trübungs-koeffizient β . In Abb. 7 sind die Werte von β gegen die von β_{pIGY} aufgetragen, wobei die Werte von β_{pIGY} etwas über denen von β liegen. Der Unterschied zwischen beiden Trübungs-maßen wird mit zunehmender Trübung geringer. Eine Gegenüberstellung der Werte von β und β_{pIGY} erfolgt auch in Abb. 8 in Form eines Histo-

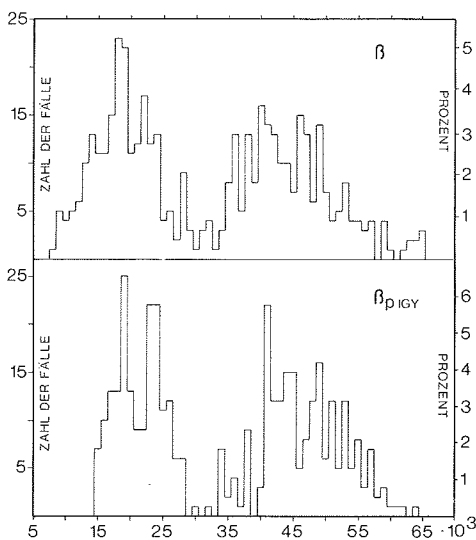


Abb. 8: Histogramm des Ångströmschen Trübungs-koeffizienten β und des nach den Tabellen des IGY-Instruction Manual (1958) bestimmten druckkorrigierten Ångströmschen Trübungs-koeffizienten β_{pIGY} .

Fig. 8: Histogram of the values of the Ångström turbidity coefficient β and the extrapolated Ångström turbidity coefficient β_{pIGY} after the IGY-Instruction Manual (1958).

gramms. Unter Vernachlässigung der durch bodennahe Schneedrift gestörten Werte von $30 \cdot 10^{-3} < \beta < 60 \cdot 10^{-3}$ ergibt sich als Mittelwert für $\bar{\beta} = 0,019$ und für $\bar{\beta}_{\text{pIGY}} = 0,022$. Ein Vergleich des Trübungskoeffizienten β_{pIGY} für die 2 Meßperioden EGIG I (1959) und EGIG II (1967) wurde bereits von AMBACH & MARKL (1981) durchgeführt.

3. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Auftreten eines virtuellen Tagesganges des Trübungsfaktors der Gesamtstrahlung nach Linke zeigt, daß dieser auch bei geringen atmosphärischen Trübungen, wie sie in Polargebieten vorherrschen, kein befriedigendes Trübungsmaß ist. Die Ångströmschen Trübungskoeffizienten, berechnet nach IGY-Instruction Manual (1958) und in verbesserter Form nach KUHN (1972), ergeben mit festem Wellenlängenexponenten $\alpha = 1,3$ keinen virtuellen Tagesgang. Der Unterschied zwischen den so berechneten Ångströmschen Trübungskoeffizienten β_{IGY} und β ist mit $\Delta\beta = 0,003$ im Vergleich mit unberücksichtigten Einflüssen bei der Messung und Auswertung (z. B. Temperaturabhängigkeit des Filterfaktors) unerheblich. Bei Annahme eines festen Wellenlängenexponenten α zur Berechnung der Trübungsgrößen wird jedoch auf eine tiefere Einsicht in die atmosphärische Trübung verzichtet.

Die Teilnahme an der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition wurde durch die finanzielle Unterstützung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, ermöglicht, wofür an dieser Stelle gebührend gedankt wird.

L i t e r a t u r

- A m b a c h, W. & G. M a r k l (1981): Messungen der atmosphärischen Trübung am Grönländischen Inlandeis während der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition 1959 und 1967. — *Polarforschung* 51 (2): 129—137.
- Å n g s t r ö m, A. (1961): Techniques of determining the turbidity of the atmosphere. — *Tellus* 13: 214—223.
- H a n n, J. (1915): Die Abnahme des Wasserdampfes der Atmosphäre mit der Seehöhe. — *Lehrbuch der Meteorologie*, 227—234, Leipzig.
- IGY Instruction Manual, Part VI (1958): Radiation instruments and measurements. — *Radiation Comm. of the IAMAP*, London
- K u h n, M. (1971): Messungen und Analyse der spektralen Transparenz der ostantarktischen Atmosphäre. — Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck.
- K u h n, M. (1972): Die spektrale Transparenz der antarktischen Atmosphäre, Teil II, Meßergebnisse und Analysen. — *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, 20: 299—344.
- L a b s, D. & H. N e c k e l (1968): The radiation of the solar photosphere from 2000 Å to 100µ. — *Z. Astrophys.* 69: 1—73.
- S c h ü e p p, W. (1949): Die Bestimmung der Komponenten der atmosphärischen Trübung aus Aktinometermessungen. — *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, 1: 257—346.
- V a l k o, P. (1962): Vereinfachtes Auswerteverfahren für die Schüeppsche Methode zur Bestimmung der atmosphärischen Trübung. — *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, 11: 75—107.