

Messungen der atmosphärischen Trübung am Grönländischen Inlandeis während der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition 1959 und 1967

Von W. Ambach und G. Markl*

Zusammenfassung: Während der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition wurden 1959 und 1967 Messungen der direkten Sonnenstrahlung mit einem Panzer-Aktinometer nach Linke-Feußner mit Verwendung der Filter OG1 und RG2 durchgeführt. Der druckkorrigierte Ångströmsche Trübungskoeffizient β_p und der projizierte Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung T_p nach Linke wurden nach den Richtlinien des IGY-Instruction Manuals (1958) ermittelt. Für die Station Camp IV (EGIG I, 1959) ergibt sich ein repräsentativer Wert von $\beta_p = 15 \cdot 10^{-3}$, für die Station Carrefour (EGIG II, 1967) ein Wert von $\beta_p = 20 \cdot 10^{-3}$. Der projizierte Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung T_p nach Linke zeigt einen virtuellen Tagesgang und ist daher als Trübungsmaß weniger geeignet als der druckkorrigierte Ångströmsche Trübungskoeffizient β_p . Der geringe Unterschied der atmosphärischen Trübung aus beiden Meßserien könnte durch eine weltweit erhöhte vulkanische Tätigkeit in der Periode 1963 bis 1967 bedingt sein.

Summary: During the International Glaciological Greenland Expedition in 1959 and 1967 measurements of the direct solar radiation were carried out using a Panzer-actinometer Linke Feußner equipped with OG1 and RG2 filters. The extrapolated Ångström turbidity coefficient β_p and the extrapolated Linke turbidity factor T_p have been determined according to the IGY-Instruction Manual (1958). For Camp IV (EGIG I, 1959), the result is $\beta_p = 15 \cdot 10^{-3}$, for Carrefour (EGIG II, 1967) $\beta_p = 20 \cdot 10^{-3}$ as characteristic values of the extrapolated Ångström turbidity coefficient. Values of T_p show virtual diurnal variations. Therefore T_p is less suitable as a parameter of the atmospheric turbidity compared with β_p . The small difference of the atmospheric turbidity of both sets of measurements may be caused by an increased global volcanic activity in the period from 1963 to 1967.

1. EINLEITUNG

Während der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition wurden in den Jahren 1959 im Ablationsgebiet (Camp IV-EGIG I, 1013 m NN, 69°40'05"N 49°37'58"W) und 1967 im Akkumulationsgebiet (Station Carrefour - EGIG II, 1850 m NN, 69°49'25"N 47°25'57"W) zahlreiche Messungen der direkten Sonnenstrahlung durchgeführt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Darstellung der atmosphärischen Trübung unter einem einheitlichen Gesichtspunkt für die beiden Meßperioden. In beiden Meßperioden konnten jeweils dieselben Instrumente und Filter verwendet werden, wodurch eine gute Vergleichbarkeit der beiden Serien gegeben ist. Die direkte Sonnenstrahlung wurde mittels eines Panzeraktinometers Linke-Feußner (Kipp u. Zonen, Nr. G 10-109) in Verbindung mit einem Zeigermillivoltmeter gemessen. Die Eichung des Panzeraktinometers G 10-109 erfolgte jeweils vor und nach den 2 Meßperioden am Institut für Meteorologie und Geophysik in Innsbruck mit dem Michelson-Marten-Bimetallaktinometer Nr. 346, das wiederum im Jahre 1956 an das Original Michelson-Marten-Bimetallaktinometer Nr. 5100 am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium in Davos angeschlossen worden war.

Am dortigen Observatorium wurden auch die Filterfaktoren für die verwendeten Schottfilter RG2 Nr. 5712 und OG1 Nr. 5806 bestimmt. Alle Angaben beziehen sich auf die IPS-Skala 1956 (IGY-Instruction Manual 1958).

Die Auswertung des projizierten Trübungsfaktors der Gesamtstrahlung nach Linke T_p und des druckkorrigierten Trübungskoeffizienten nach Ångström β_p erfolgte nach den Richtlinien des IGY-Instruction Manuals (1958: 402ff). Diese Vorgangsweise wurde gewählt, weil einerseits ein Teil der Daten bereits in

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

dieser Weise ausgewertet in Tabellenform vorliegt (EGIG I: AMBACH 1963; EGIG II: AMBACH & MARKL 1982). Andererseits ist durch die einheitliche Auswertung der beiden Meßserien nach den Richtlinien des IGY-Instruction Manuals (1958) ein Vergleich der beiden Meßreihen untereinander und ein Vergleich mit Werten anderer Autoren besser gegeben. Die Meßserie EGIG I wurde an 9 Tagen mit 146 Aktinometermessungen durchgeführt, die Meßserie EGIG II an 10 Tagen mit 500 Messungen.

2. INTENSITÄT DER DIREKTEN SONNENSTRAHLUNG IN VERSCHIEDENEN FILTERBEREICHEN

Die Messung der direkten Sonnenstrahlung in verschiedenen Filterbereichen bietet während eines polaren Sommers die besonders gute Gelegenheit, die Abhängigkeit der direkten Sonnenstrahlung von der optischen Luftmasse zu erfassen, weil in hohen Breiten sich die Sonnenhöhe und die optische Luftmasse auch bei tiefen Sonnenständen nur langsam mit der Zeit ändern. Außerdem haben derartige Messungen am Grönländischen Inlandeis den Vorteil einer relativ einheitlichen geringen Horizontabschirmung. Die große Distanz der beiden Meßorte zu Orten mit starken industriellen Emissionen läßt zudem noch erwarten, daß die atmosphärische Trübung nur in geringem Maße von lokalen Schwankungen dieser Emissionen beeinflusst ist.

Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit der Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung in verschiedenen Filterbereichen [J , $J(\text{OG1})$, $J(\text{RG2})$] von der optischen Luftmasse in einer halblogarithmischen Darstellung. Die Intensitäten sind auf mittleren Sonnenabstand reduziert. Bei einem konstanten Extinktionskoeffizienten

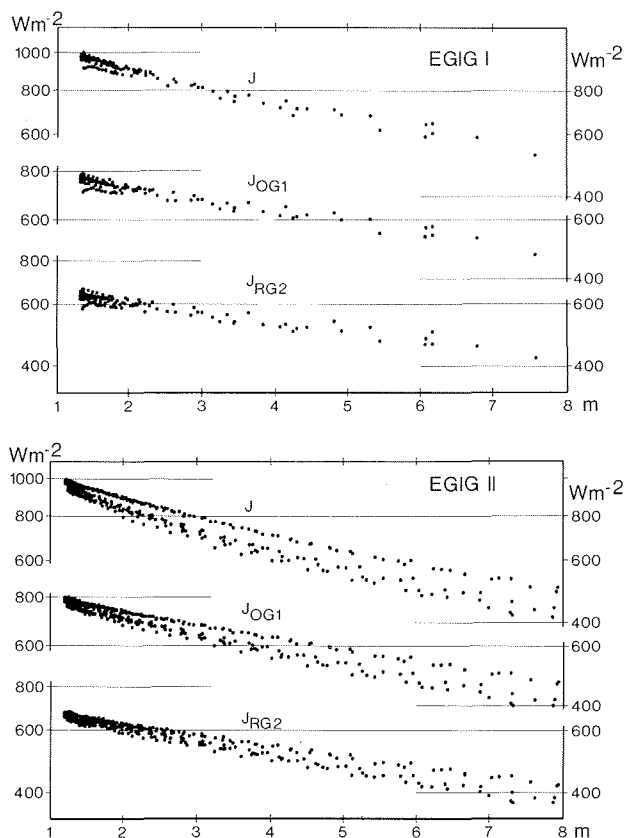


Abb. 1: Abhängigkeit der Strahlungsströme J , $J(\text{OG1})$ und $J(\text{RG2})$ von der optischen Luftmasse.

Fig. 1: Radiation fluxes J , $J(\text{OG1})$, and $J(\text{RG2})$ versus optical air mass.

der atmosphärischen Trübung sollte diese Darstellung einen linearen Zusammenhang ergeben. Die in Abb. 1 ersichtliche Krümmung der Kurven ist auf den zunehmenden Rotanteil im solaren Spektrum bei zunehmender optischer Luftmasse zurückzuführen und durch die Verschiebung der maximalen Intensität zu größeren Wellenlängen bedingt. Bei der Serie EGIG II erkennt man deutlich zwei Gruppen von Meßwerten, die auf zwei verschiedene Meßbedingungen zurückzuführen sind.

Ein genauer Vergleich der Intensitäten von EGIG I und EGIG II (Abb. 1) läßt erkennen, daß die Messungen von EGIG II eine größere Streuung aufweisen, als jene von EGIG I und im Mittel die Intensitäten von EGIG II etwas geringer sind als bei EGIG I. Die größere Streuung der Meßwerte bei EGIG II ist auf unterschiedliche Meßbedingungen zurückzuführen. Die Werte der Meßserie vom 24. 5. bis 28. 5. 1967 liegen deutlich unter den Werten, die an den anderen Meßtagen gewonnen wurden. Der Grund für diesen Unterschied liegt darin, daß zwischen 24. 5. und 28. 5. 1967 die bodennahe Luftschicht durch Schneedrift leicht gestört war. Während der Feldmessungen konnte mit freiem Auge jedoch keine Beeinflussung der Strahlungsverhältnisse durch Eiskristalle oberhalb des Meßniveaus, ca. 2,5 m über Grund, festgestellt werden. Die Auswertung der Trübungsparameter hat jedoch eindeutig ergeben, daß eine erhöhte Trübung, vermutlich durch Eiskristalle der Schneedrift, aufgetreten ist.

Die während der Meßperiode von EGIG I gewonnenen Daten der Strahlungsströme sind durch einen solchen Einfluß nicht gestört, da die Messungen über einer schmelzenden Oberfläche, meistens über Eis, durchgeführt worden sind. Bei einem Vergleich der Intensitäten von EGIG I und EGIG II sind daher im Falle von EGIG II Daten im oberen Wertebereich des Kurvenverlaufs zu nehmen, weil diese durch Schneedrift nicht beeinflusst sind.

Tab. 1 gibt zum Vergleich Werte der direkten Sonnenstrahlung bei einer optischen Luftmasse $m = 2$ für Meßstationen in der Arktis und Antarktis an. In der Antarktis werden sowohl an der Küste wie im Inland eindeutig höhere Werte der direkten Sonnenstrahlung gemessen als in der Arktis.

In Abb. 2 ist die Zunahme des Rotanteils im solaren Spektrum mit zunehmender optischer Luftmasse dargestellt. Für das Filter OG1 variiert das Verhältnis der Strahlungsintensität mit Filter zur Gesamtstrahlungsintensität zwischen 0,79 und 0,91 bei EGIG I und zwischen 0,81 und 0,94 bei EGIG II im Bereich der optischen Luftmasse von 1,4 bis 8,0. Für das Filter RG2 variieren die Werte zwischen 0,65 und 0,80 für EGIG I und zwischen 0,67 und 0,87 für EGIG II für den gleichen Bereich der optischen Luftmasse.

In Abb. 3 ist der Tagesgang der Intensitäten J , J (OG1) und J (RG2), sowie der Verhältnisse J (OG1)/ J und J (RG2)/ J an den einzelnen Meßtagen dargestellt. Diese Abbildung zeigt die Homogenität der täglichen Meßserien und ist ein Hinweis, daß die Streuung in Abb. 1 und Abb. 2 hauptsächlich durch verschiedene Meßbedingungen an den einzelnen Meßtagen zustande kommt. Ein Vergleich von Werten dieser Abbildung mit anderen Daten ist unmittelbar nicht möglich, weil die tägliche Änderung der Sonnen-deklination zu berücksichtigen wäre.

Meßstelle	$W_{m^{-2}}$	Autor
Maudheim, Antarktis	954	LILJEQUIST (1956)
Südpol	1016	FRITZ et al. (1960)
Little Amerika V, Antarktis	960	HOINKES (1961)
Plateau, Antarktis	1065	KUHN (1971)
Camp IV, Grönland	912	AMBACH (1963)
Devon Ice Cap	912	HOLMGREN (1971)
Devon Base Camp	877	DAHLGREN (1974)
Carrefour, Grönland	905	AMBACH & MARKL (vorliegende Arbeit)

Tab. 1: Werte der direkten Sonnenstrahlung für optische Luftmassen $m = 2$ für Stationen in der Arktis und Antarktis.

Tab. 1: Values of the direct solar radiation for the optical air mass $m = 2$ at Arctic and Antarctic stations.

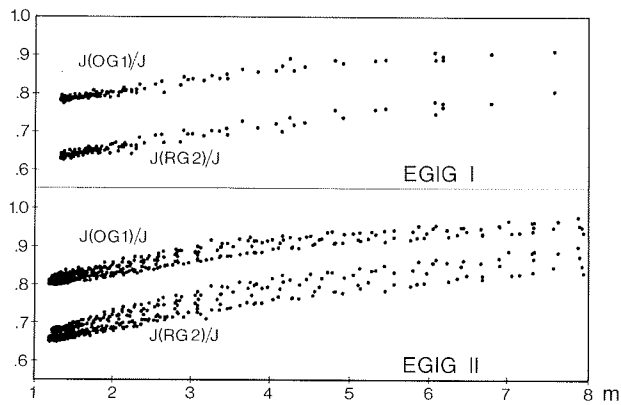


Abb. 2: Abhängigkeit der Quotienten der Strahlungsströme $J(OG1)/J$ und $J(RG2)/J$ von der optischen Luftmasse.

Fig. 2: Ratio of the radiation fluxes $J(OG1)/J$ and $J(RG2)/J$ versus optical air mass.

3. ATMOSPHERISCHE TRÜBUNG

Für beide Meßperioden wurde die Auswertung zur Bestimmung der Trübungsmaße in gleicher Weise nach dem IGY-Instruction Manual (1958) durchgeführt und der auf die Stationshöhe druckkorrigierte Ängströmsche Trübungskoeffizient β_p (IGY-Instruction Manual, 1958, S. 405ff) und der projizierte Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung T_p nach Linke bestimmt (IGY-Instruction Manual, 1958, S. 403 ff).

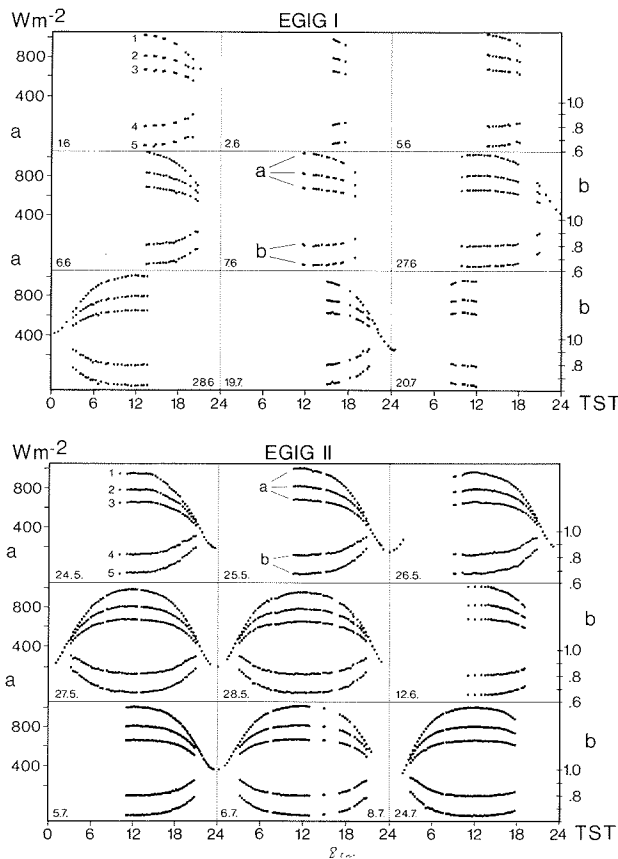


Abb. 3: Tagesgänge der Strahlungsströme (a) und der Quotienten der einzelnen Strahlungsströme (b). 1 = Gesamtstrahlung (J), 2 = $J(OG1)$, 3 = $J(RG2)$, 4 = $J(OG1)/J$, 5 = $J(RG2)/J$. Für (a) gilt die linke Skala, für (b) die rechte Skala.

Fig. 3: Daily course of the radiation fluxes (a) and the ratios of individual radiation fluxes (b). 1 = direct solar radiation (J), 2 = $J(OG1)$, 3 = $J(RG2)$, 4 = $J(OG1)/J$, 5 = $J(RG2)/J$. The left scale is valid for (a), the right scale for (b).

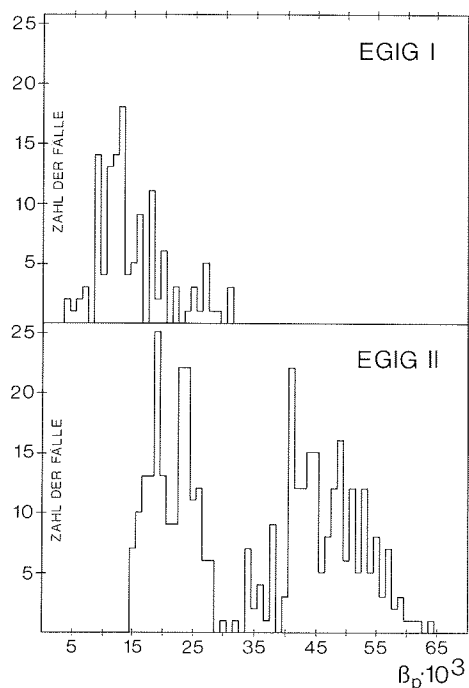


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Werte des druckkorrigierten Ångströmschen Trübungskoeffizienten β_p . Auswertung nach IGY-Instruction Manual (1958).

Fig. 4: Frequency distribution of the extrapolated Ångström turbidity coefficient β_p . Evaluation according to the IGY-Instruction Manual (1958).

Die Werte der Meßperiode von EGIG II werden im weiteren noch nach einem anderen Verfahren ausgewertet (Manuskript in Vorbereitung), dem eine korrigierte Energieverteilung des Sonnenspektrums zugrunde liegt (KUHN 1971).

Abb. 4 gibt die Häufigkeit des druckkorrigierten Trübungskoeffizienten β_p für beide Meßperioden EGIG I und EGIG II wieder. Deutlich ersichtlich sind die zwei Wertegruppen von β_p bei EGIG II, wobei die Gruppe mit den höheren Werten von β_p der Meßperiode 24. 5. bis 28. 5. 1967 zuzuordnen ist, in der durch bodennahe Schneefahrt eine erhöhte atmosphärische Trübung vorgetäuscht wird. In der Meßperiode von EGIG I wurden die kleinsten Werte von β_p festgestellt.

Die Darstellung des druckkorrigierten Trübungskoeffizienten β_p gegen die optische Luftmasse zeigt für EGIG I und EGIG II keine systematische Abhängigkeit für β_p von der optischen Luftmasse (Abb. 5). Es

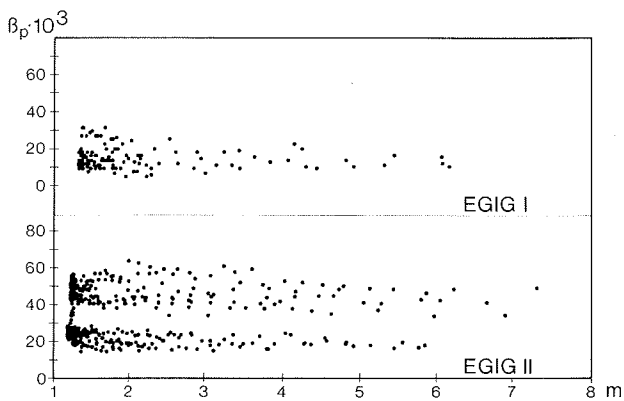


Abb. 5: Abhängigkeit des druckkorrigierten Ångströmschen Trübungskoeffizienten β_p von der optischen Luftmasse. Auswertung nach dem IGY-Instruction Manual (1958).

Fig. 5: Extrapolated Ångström turbidity coefficient β_p versus optical air mass. Evaluation according to the IGY-Instruction Manual (1958).

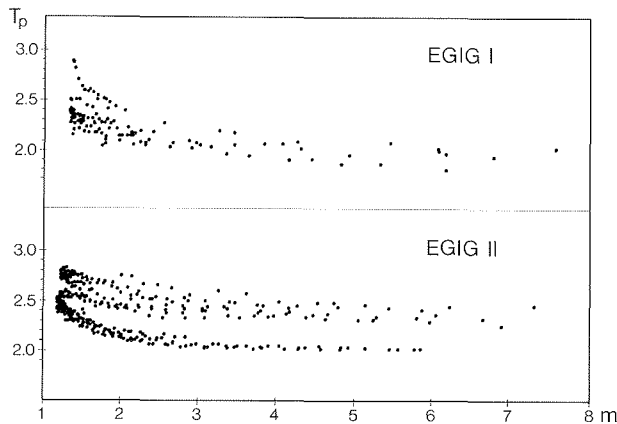


Abb. 6: Abhängigkeit des projizierten Trübungs-faktors der Gesamtstrahlung T_p nach Linke von der optischen Luftmasse. Auswertung nach IGY-Instruction Manual (1958).

Fig. 6: Linke extrapolated turbidity factor T_p versus optical air mass. Evaluation according to the IGY-Instruction Manual (1958).

ist jedoch bei EGIG II deutlich die Trennung von β_p in zwei verschiedene Wertgruppen zu erkennen, die den Wertgruppen in Abb. 4 entsprechen.

Die gemessene Dunsttrübung in Camp IV (EGIG I) kann mit $\beta_p = 15 \cdot 10^{-3}$ charakterisiert werden, in Station Carrefour (EGIG II) mit $\beta_p = 20 \cdot 10^{-3}$. Zuzugle dieser Dunsttrübung wird im Mittel die direkte Sonnenstrahlung bei einer optischen Luftmasse $m = 1$ um ca. 4% und bei $m = 8$ um ca. 15% geschwächt.

Im Gegensatz zum druckkorrigierten Trübungs-koeffizienten β_p zeigt der projizierte Trübungs-faktor für die Gesamtstrahlung T_p eine deutliche Abhängigkeit von der optischen Luftmasse (Abb. 6). Bei kleinen optischen Luftmassen ist T_p systematisch größer als bei großen optischen Luftmassen. Der projizierte Trübungs-faktor T_p ist als Parameter zur Charakterisierung der Lufttrübung daher wesentlich weniger geeignet als der druckkorrigierte Trübungs-koeffizient β_p . Diese Tatsache wird in Abb. 7 verdeutlicht, in der die gegenseitige Abhängigkeit beider Trübungs-größen dargestellt ist. Eine eindeutige Zuordnung der beiden Trübungsgrößen ist nicht gegeben, die zwei Wertebereiche der atmosphärischen Trübung während EGIG II sind wiederum deutlich erkennbar. In Abb. 8 sind die Tagesgänge der beiden Trübungs-maße β_p und T_p explizit dargestellt, wobei der virtuelle Tagesgang von T_p deutlich in Erscheinung tritt, β_p hingegen innerhalb einer gewissen Streuung keinen systematischen Tagesgang aufweist.

Die in Tab. 2 für verschiedene polare Stationen wiedergegebenen Werte des Ångströmschen Trübungs-koeffizienten sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da einerseits von den Autoren verschiedene Be-rechnungsgrundlagen verwendet wurden, andererseits es sich teilweise um Einzelwerte oder Mittelwerte

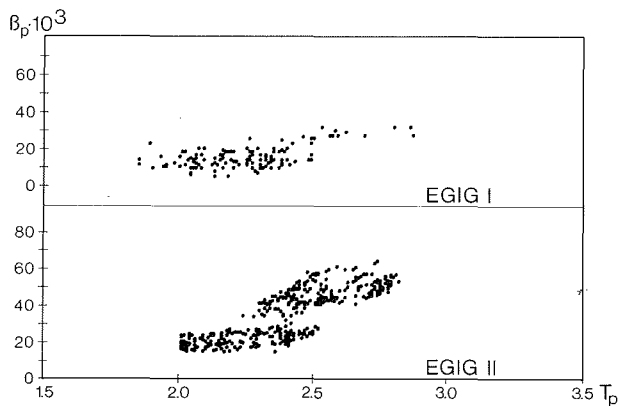


Abb. 7: Zusammenhang zwischen dem druckkorrigierten Ångströmschen Trübungs-koeffizienten β_p und dem projizierten Trübungs-faktor der Gesamtstrahlung T_p nach Linke.

Fig. 7: Extrapolated Ångström turbidity coefficient β_p versus Linke extrapolated turbidity factor T_p .

Autor	Meßstation	Ångströmscher Trübungskoeffizient	Bemerkungen
LILJEQUIST (1956)	Maudheim, Antarktis	0,006—0,026	Monatsmittelwerte, Berechnung nach Tabellen von Hoelper
KUHN (1971)	Plateau, Antarktis	0,016	Mittelwert, Berechnung nach IGY-Instruction-Manual (1958) Luftdruck korrigiert
HOLMGREN (1971)	Devon Ice Cap	0,005—0,033	Periodenmittelwerte, Luftdruck korrigiert, Berechnung nach Tabellen von Hoelper (reduziert auf IPS-Skala 1956)
DAHLGREN (1974)	Devon Base Camp	0,012—0,038	Einzelwerte, Berechnung nach Tabellen von Hoelper (reduziert auf IPS-Skala 1956)
HOLMGREN et al. (1974)	AIDJEX	0,060—0,120 0,030—0,075 —0,110	1972 1974 ohne Eiskristalle mit Eiskristallen Tagesmittelwerte, keine weiteren Angaben
AMBACH (1963)	Camp IV, Grönland	0,005-0,031	Einzelwerte, Luftdruck korrigiert, Berechnung nach IGY-Instruction-Manual (1958)
AMBACH & MARKL (vorliegende Arbeit)	Carrefour, Grönland	0,012—0,056	Einzelwerte, Luftdruck korrigiert, Berechnung nach IGY-Instruction-Manual (1958), mit Eiskristallen

Tab. 2: Werte des Ångströmschen Trübungskoeffizienten für Stationen in der Arktis und Antarktis.

Tab. 2: Values of the Ångström turbidity coefficient at Arctic and Antarctic stations.

handelt. Mit Ausnahme der Messungen von HOLMGREN (1974) liegen alle Werte in derselben Größenordnung.

Abb. 9 zeigt Mittelwerte der einzelnen Strahlungsströme und der Trübungsparameter für optische Luftmassen von 1,5 bis 1,6 an einzelnen Meßtagen während EGIG I und EGIG II. Die Anzahl der Messungen, die zur Bildung der Mittelwerte verwendet wurden, schwankt zwischen 2 und 14 Einzelmessungen. Dieser Bereich der Luftmasse wurde zur Darstellung gewählt, weil in diesem Bereich die größte Anzahl von Messungen vorliegt.

4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Ein Vergleich der atmosphärischen Trübung der Meßserien EGIG I und EGIG II ergibt, daß die β_p -Werte von EGIG I etwas niedriger liegen als jene von EGIG II (siehe Abb. 4), selbst wenn man die Wertegruppe $35 \cdot 10^{-3} < \beta_p < 65 \cdot 10^{-3}$ von EGIG II wegen der Störung durch Schneedrift ausschließt (Meßserie vom 24. 5. bis 28. 5. 1967).

Eine systematische Änderung der atmosphärischen Trübung könnte im Zusammenhang mit vulkanischer Tätigkeit auftreten. CRONIN (1971) gibt eine Zusammenstellung der wesentlichen vulkanischen Eruptionen in der Periode von 1955 bis 1970 wieder. Daraus geht hervor, daß der Ausbruch des Bezymianny (Kamchatka) 1956 eine Kontaminierung der Stratosphäre bewirkt hat und von 1963 bis 1967 die Ausbrüche des Mt. Agung (Bali), Mt. Trident (Alaska), Mt. Taal (Philippinen), Surtey (Island) und Mt. Redoubt (Alaska) ebenfalls die Stratosphäre erreichten. Messungen des Rot-Grünverhältnisses in Mitteleuropa (VOLZ 1970) ergaben im Jahre 1963 eine signifikante Änderung dieses Trübungsmaßes, wobei der erhöhte Wert dieses Trübungsmaßes über mehrere Jahre nachweisbar war. Diese Änderung kann im Zusammenhang mit dem Ausbruch des Mt. Agung interpretiert werden. Ebenso zeigen Messungen der direkten

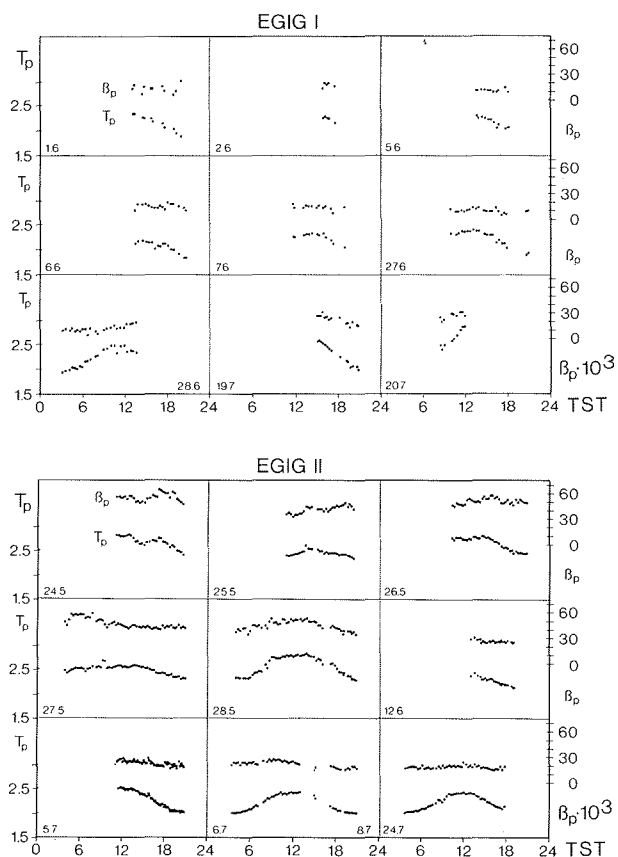


Abb. 8: Tagesgang der Einzelwerte des druckkorrigierten Ångströmschen Trübungskoeffizienten β_p und des projizierten Trübungs-faktors der Gesamtstrahlung T_p nach Linke an den einzelnen Meßtagen. Für T_p gilt die linke Skala, für β_p die rechte Skala.

Fig. 8: Daily course of the extrapolated Ångström turbidity coefficient β_p and the Linke extrapolated turbidity factor T_p . The left scale is valid for T_p , the right scale for β_p .

Sonnenstrahlung am Mauna Loa (Hawaii) unmittelbar nach Ausbruch des Mt. Agung eine Abnahme der atmosphärischen Transparenz um ca. 1,5 bis 2 Prozent (ELLIS & PUESCHEL 1971). Der geringe Unterschied der atmosphärischen Trübung, der aus den Meßserien EGIG I und EGIG II resultiert, könnte daher durch eine weltweit erhöhte vulkanische Tätigkeit in der Periode 1963 bis 1967 bedingt sein.

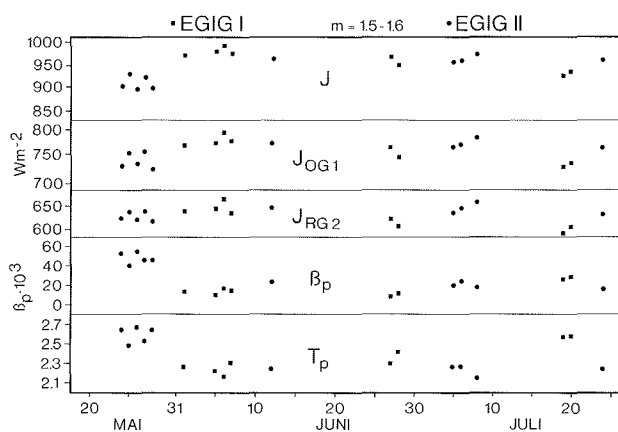


Abb. 9: Mittelwerte der Strahlungsströme J , $J(OG1)$ und $J(RG2)$ sowie des druckkorrigierten Ångströmschen Trübungskoeffizienten β_p und des projizierten Trübungs-faktors der Gesamtstrahlung T_p nach Linke. Mittelbildung für optische Luftmassen von $m = 1,5$ bis $1,6$.

Fig. 9: Mean values of the radiation fluxes J , $J(OG1)$ and $J(RG2)$, as well as the extrapolated Ångström turbidity coefficient β_p and the extrapolated Linke turbidity factor T_p averaged over optical air mass $m = 1,5$ to $1,6$.

Die Beteiligung an der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition wurde durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, finanziell unterstützt, wofür an dieser Stelle gebührend gedankt wird.

L i t e r a t u r

- A m b a c h, W. (1963): Untersuchungen zum Energiehaushalt in der Ablationszone des Grönländischen Inlandeises (Camp IV — EGIG, 69°40'05"N, 49°37'58"W). — *Medd. Grönl.* 174 (4), EGIG 1957—1960
- A m b a c h, W. & G. M a r k l (1982): Untersuchungen zum Strahlungshaushalt in der Akkumulationszone des Grönländischen Inlandeises. — *Medd. Grönl.* (im Druck).
- C r o n i n, J. F. (1971): Recent volcanism and the stratosphere. — *Science* 172: 847—849.
- D a h l g r e n, L. (1974): Solar radiation climate near sea level in the Canadian Arctic Archipelago, Arctic Institute of North America Devon Island Expedition 1961—1962. — *Met. Inst. Uppsala Univ. Medd.* 121, Uppsala
- E l l i s, H. T. & R. F. P u e s c h e l (1971): Solar radiation: Absence of air pollution, trends at Mauna Loa. — *Science* 172: 845—846.
- F r i t z, S. & T. H. M c D o n a l d (1960): Some normal-incidence solar radiation observations during IGY, IAMAP Radiation Symposium Oxford 1959. UGGI Monography, No 4, Institut Geographique National, Paris
- H o l m g r e n, B. (1971): Climate and energy exchange on a sub-polar ice cap in summer, Arctic Institute of North America Devon Island Expedition 1961—1963, Part E, Radiation climate. — *Met. Inst. Uppsala Univ. Med.* 111, Uppsala
- H o l m g r e n, B., S h a w, G. & G. W e l l e r (1974): Turbidity in the Arctic atmosphere. — *Aidjex Bull.* 27: 135—148
- H o i n k e s, H. (1961): Studies of solar radiation and albedo in the Antarctic (Little America V and South Pole, 1957/58). — *Arch. Met. Geoph. Bioklim. Serie B*, 10: 175—181
- IGY Instruction Manual, Part VI (1958): Radiation instruments and measurements. — *Radiation Comm. of the IAMAP*, London
- K u h n, M. (1971): Messung und Analyse der spektralen Transparenz der Ostantarktischen Atmosphäre. — Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck.
- L i l j e q u i s t, G. H. (1956): Energy exchange of an Antarctic snow-field. Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949—1952. — *Scientific Res. II* (1): Short wave radiation, Norsk Polarinstitut, Oslo.
- V o l z, F. E. (1970): On dust in the tropical and midlatitude stratosphere from recent twilight measurements. *J. of Geophys. Res.* 75 (9): 1641—1646.