

MEDDELELSER OM GRØNLAND

UDGIVNE AF

KOMMISSIONEN FOR VIDENSKABELIGE UNDERSØGELSER I GRØNLAND

Bd. 174 · Nr. 4

EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND

E. G. I. G. 1957—1960 Vol. 4 No. 4

UNTERSUCHUNGEN ZUM
ENERGIEUMSATZ IN DER ABLATIONSZONE
DES GRÖNLÄNDISCHEN INLANDEISES

(CAMP IV-EGIG, 69°40'05" N, 49°37'58" W)

VON

WALTER AMBACH

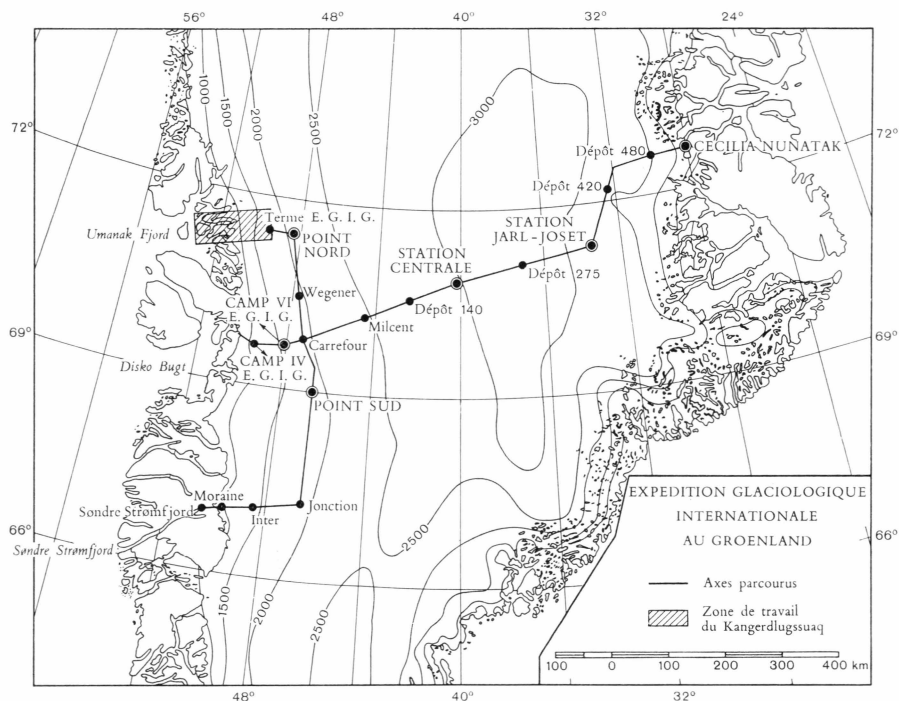
MIT 7 BILDERN, 76 FIGUREN UND 64 TABELLEN

KØBENHAVN

C. A. REITZELS FORLAG

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI A/S

1963



EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND 1957-1960

Réalisation technique:
EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES
(Missions PAUL EMILE VICTOR)

L'EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND est une expédition commune à un certain nombre d'organismes scientifiques des pays suivants: Allemagne, Autriche, Danemark, France et Suisse. Créée en 1956, elle fut autorisée par le Gouvernement de Danemark et patronnée par L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE.

La direction scientifique de l'expédition est assurée par le COMITE DE DIRECTION, et sa réalisation confiée aux EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES. Le chef d'expédition est PAUL EMILE VICTOR. Le support aérien a été assuré par les FORCES ARMEES AIR (France).

Après deux années de préparation et de reconnaissances (1957-1958), le programme de recherches glaciologiques dans la partie centrale du Groenland a été réalisé pendant la campagne d'été 1959 et l'hivernage à la Station JARL-JOSET. (1959-1960). L'expédition proprement dite s'est terminée par une campagne réduite en 1960 ramenant hivernants et matériel.

INHALT

	Seite
1. Einleitung	7
Arbeitsplatz	8
Nomenklatur	8
2. Die verwendeten Strahlungsmeßgeräte	9
a. Registrierung des Strahlungshaushaltes.....	9
b. Weitere Strahlungsmeßgeräte	11
3. Die Eichfaktoren für gerichtete kurzwellige Strahlung.....	12
a. Eichgerät	12
b. Temperaturabhängigkeit des Eichfaktors	12
c. Eichverfahren	14
d. Korrekturen.....	15
e. Ergebnisse	16
4. Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors durch Labor- messungen	23
a. Einleitung	23
b. Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors des Solari- meters	24
c. Überprüfung der Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors des Solari- meters	29
d. Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors des Lu- polengerätes.....	30
e. Überprüfung der Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors des Lupolen- gerätes	32
f. Zusammenfassung.....	33
5. Die Eichfaktoren für diffuse kurzwellige Strahlung.....	34
6. Die Eichungen des Lupolengerätes im langwelligen Spektralbereich.....	38
a. Einleitung	38
b. Temperaturkorrektur	38
c. Versuchsanordnung	39
d. Eichung bei ventilierter Lupolenhaube.....	39
e. Haubenvergleich im langwelligen Spektralbereich	43
f. Zur Ermittlung des Eichfaktors aus spektralen Durchlässigkeitsmes- sungen des Lupolens	44
g. Zusammenfassung.....	47

	Seite
7. Methode und Genauigkeit der Auswertung	48
a. Einleitung	48
b. Solarimeter (Korrekturen, Eichfaktor und Einfluß der Sonnenhöhe) ..	48
c. Genauigkeit der Stundenmittelwerte der Globalstrahlung	50
d. Zur Berechnung der Albedo	51
e. Lupolengerät, Komponentenzerlegung	53
f. Instrumententemperatur	54
g. Genauigkeitsbetrachtungen zur Berechnung der langwelligen Strahlungsenergie	56
Einfluß der Ungenauigkeiten der Eichfaktoren und der Skalenwerte	56
Zur Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors	
bei der Ermittlung der langwelligen Strahlungsenergie	57
8. Die Werte der Strahlungsenergien	62
a. Die Werte des registrierten Strahlungshaushaltes	62
b. Berechnung der Strahlungsenergien bei unvollständiger Registrierung	63
c. Kontrolle der Genauigkeit	64
d. Langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und Bewölkung	68
e. Diffuse Himmelsstrahlung	72
f. Vergleich der gemessenen Globalstrahlung mit der extraterrestrischen Strahlung	73
9. Albedo	76
a. Albedo aus der registrierten einfallenden und reflektierten Globalstrahlung	76
b. Albedomessungen mit dem tragbaren Solarimeter	78
10. Strahlungsextinktion in Eis und Schnee	80
a. Einleitung	80
b. Verwendete Meßgeräte	82
c. Der selektive Strahlungsempfänger mit kleiner Apertur	83
d. Der kugelförmige Strahlungsempfänger	85
e. Messungen mit Hilfe des selektiven Strahlungsempfängers kleiner Apertur	86
Messungen im Eis	87
Messungen im Schnee	93
f. Messungen mit Hilfe des kugelförmigen Strahlungsempfängers	94
g. Berechnung der inneren Ablation	96
h. Berechnung der Dichteverteilung in oberflächennahen Eisschichten ..	99
i. Studie zum Tagesgang der Albedo	102
11. Aktinometrie und Lufttrübung	105
a. Einleitung	105
b. Bestimmung des Ångström'schen Trübungskoeffizienten	106
c. Bestimmung des Trübungsfaktors	107
d. Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung	108
e. Das »Wahre Rotverhältnis«	110
12. Wind und Austausch	111
a. Instrumente	111
b. Windgeschwindigkeiten	111

IV	Energieumsatz in der Ablationszone des Grönländischen Inlandeises.	5
		Seite
	c. Windrichtung	115
	d. Schubspannungsgeschwindigkeit	115
	e. Rauigkeitsparameter	118
	f. Austauschkoefizient	121
13.	Temperatur und Feuchtigkeit	122
	a. Instrumente	122
	b. Auswertung der Registrierung des Thermohygrographen	122
	c. Thermoelektrische Registrierung des Lufttemperaturgradienten	123
	d. Messungen der thermischen Schichtung der eisnahen Luftschicht mit Hilfe eines <i>Assmann</i> -Aspirationspsychrometers	125
	e. Dampfdruck	130
14.	Thermische Unruhe der eisnahen Luftschicht	132
	a. Anordnung	132
	b. Messung der thermischen Unruhe	135
	c. Auswertung der Messungen	135
	d. Berechnung des Verhältnisses der Austauschkoefizienten für Tempe- ratur und Impuls	136
	e. Diskussion des Ergebnisses	138
	f. Vergleichsmessungen auf einem Alpengletscher	139
15.	Fühlbare und latente Wärme	140
	a. Fühlbare Wärme	140
	b. Diskussion von Potenzgesetzen zur Berechnung der fühlbaren Wärme	141
	c. Latente Wärme	143
16.	Eistemperaturen	147
	a. Instrumente	147
	b. Meßprofile	147
	c. Temperaturkorrektur	149
	d. Genauigkeit	152
	e. Meßwerte	152
	f. Energieverbrauch zur Eiserwärmung	155
17.	Schneetemperaturen und Schneedichten	159
18.	Superimposed Ice	163
	a. Die Bedeutung des superimposed ice für den Energiehaushalt	163
	b. Theoretische Überlegungen zur Bildung von superimposed ice	165
	c. Meßwerte	170
	d. Zusammenfassung	172
19.	Messungen des freien Wassergehaltes in der Schneedecke	174
	a. Einleitung	174
	b. Das Gerät	174
	c. Eichung und Genauigkeit	176
	d. Ergebnisse	177
20.	Ablation	181
	a. Messung und Ergebnisse	181
	b. Innere Ablation	185

	Seite
21. Synthese des Energieumsatzes	187
a. Einleitung	187
b. Ergebnisse	188
c. Vergleich des Energieumsatzes in verschiedenen Klimaten.....	196
Zusammenfassung	198
Summary	200
Literaturverzeichnis	202
Übersicht zu den Tabellen	209
Tabellen	215

I. EINLEITUNG

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. H. HOINKES, Vorstand des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck zu danken. Herr Prof. H. HOINKES hat die Beteiligung Österreichs an der Expedition angeregt und den Instrumentensatz freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Durch kritische Diskussionen und wertvolle Ratschläge konnte die Auswertung beschleunigt werden. Herr Prof. H. HOINKES hatte auch die Freundlichkeit, das Manuskript durchzusehen. Ferner gilt mein Dank den *Expéditions Polaires Françaises* (Direktor: P. E. VICTOR) für die vorzügliche technische Ausstattung des Lagers und die durch Herrn Prof. A. BAUER vermittelte finanzielle Unterstützung der Auswertearbeit und der Drucklegung. Der *Österreichischen Akademie der Wissenschaften*, Herrn Prof. F. STEINHAUSER und Herrn Prof. R. STEINMAURER danke ich für die Förderung der Beteiligung an der Expedition. Für die umfangreichen Rechenarbeiten haben sich in dankenswerter Weise mehrere Studenten zur Verfügung gestellt: P. AWECKER, V. ERLACHER, O. GRÖBNER, Z. NÁSZAY, F. PRANTL, H. OBERHAMMER und K. SCHRAM. Ferner haben die Studenten E. BESCHORNER, H. L. HABICHT und F. HOWORKA im Rahmen ihrer Dissertation bei Entwicklungs- und Eicharbeiten mitgeholfen. Für ihre Beteiligung sei an dieser Stelle gebührend gedankt. Mein Dank gilt auch der *Deutschen Forschungsgemeinschaft*, die das meteorologische Besteck zur Verfügung gestellt hat.

Eine Energieumsatzstudie im Ablationsgebiet des Grönländischen Inlandeises ist ein Teilproblem der gesamten Massenbilanzfrage. Durch das Studium des Energieumsatzes im Ablationsgebiet können die Ursachen der Ablation analysiert werden. Es geht um die Frage, durch welche physikalischen Vorgänge die Ablation beeinflusst wird. Erst bei Kenntnis des komplexen Zusammenspiels aller mitwirkenden Prozesse kann später das an einer Meßstelle gewonnene Resultat auf weitere Gebiete übertragen werden.

Zum Verständnis des Massenverlustes im Ablationsgebiet muß die Energieumsatzstudie durch Messungen der Vertikalbewegung des Eises ergänzt werden, da der resultierende Massenverlust durch den Energieumsatz und die ausgleichenden Bewegungsvorgänge bestimmt wird.

Arbeitsplatz: Die Untersuchungen des Energieumsatzes wurden in der Gruppe »Glaciologie Côtière« (Gruppenleiter: A. BAUER) der »Expédition Glaciologique Internationale au Groenland« durchgeführt. Die Meßstelle liegt $69^{\circ}40'05''$ N, $49^{\circ}37'58''$ W, 1004 m (11.8.1959). Mit dem Aufbau des Lagers wurde am 10.5.1959 begonnen. Das wissenschaftliche Arbeitsprogramm wurde am 26.5.1959 in vollem Umfang aufgenommen und am 9.8.1959 beendet.

Die Registrierung des Luftdruckes liefert für die Arbeitsperiode als Minimalwert 874 mb (25.5.1959) und als Maximalwert 915 mb (16.6.1959). Stationszeit war Ortszeit von 45° W.

Nomenklatur: Für die Strahlungsströme werden folgende Bezeichnungen verwendet (englische Bezeichnungen aus: *IGY Instruction Manual IV*, 1958):

- S Direkte Sonnenstrahlung (Empfängerfläche senkrecht zur Anstrahlrichtung)
- D Diffuse Himmelsstrahlung [diffuse sky radiation]
- G Globalstrahlung: $G = S \sin h + D$, h = Sonnenhöhe [total (sun + sky) radiation]
- R Reflektierte Globalstrahlung [reflected short-wave radiation from below]
- G - R Kurzwellige Strahlungsbilanz
- A Langwellige Einstrahlung (Atmosphärische Gegenstrahlung)
- E Langwellige Ausstrahlung (Temperaturstrahlung der Gletscheroberfläche)
- Q_0 Gesamtstrahlung $Q_0 = A + G$ [total (short-wave + long-wave) incoming radiation from the upper hemisphere]
- Q_u Gesamtausstrahlung $Q_u = E + R$ [total (short-wave + long-wave) outgoing radiation from the lower hemisphere]
- SB Gesamtstrahlungsbilanz $SB = Q_0 - Q_u$ [total radiation balance]
- σT_i^4 Temperaturstrahlung der Thermosäule
- E_{LW} Langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule,
 $E_{LW u} = E - \sigma T_i^4$
 $E_{LW o} = A - \sigma T_i^4$
- E_{Lu} Gesamtstrahlungsbilanz der Thermosäule
 $E_{Lu u} = Q_u - \sigma T_i^4$
 $E_{Lu o} = Q_0 - \sigma T_i^4$

Von den verwendeten Thermosäulen werden folgende Strahlungsströme unmittelbar gemessen:

Solarimeter: Thermosäule nach oben gerichtet: G

Thermosäule nach unten gerichtet: R

Lupolengerät: Thermosäule nach oben gerichtet: $E_{Lu o} = Q_0 - \sigma T_i^4$

Thermosäule nach unten gerichtet: $E_{Lu u} = Q_u - \sigma T_i^4$

Alle Strahlungswerte sind auf die *Internationale Pyrheliometer-Skala* 1956 (IPS 1956) bezogen. Nach *IGY Instruction Manual IV*, (1958) ist:

IPS 1956 = original uncorrected Ångström Scale + 1,5 %

IPS 1956 = Smithsonian Scale 1913 - 2,0 %

2. DIE VERWENDETEN STRAHLUNGSMESSGERÄTE

a. Registrierung des Strahlungshaushaltes.

Zur Registrierung der Komponenten des Strahlungshaushaltes wurde ein Instrumentensatz aus zwei Solarimetern *Moll-Gorczynski* (Kipp & Zonen, Delft, G18-1012 und G18-1038) und einem Strahlungsbilanzmesser nach *R. Schulze*, Lupolengerät (B. Lange, Berlin), verwendet. Zur Eichung der Thermosäulen im kurzwelligen Spektralbereich stand ein Panzeraktinometer *Linke-Feussner* (Kipp & Zonen, Delft, Nr. G109) in Verbindung mit einem Zeigermillivoltmeter (Nr. 111962) zur Verfügung. Die Registrierung erfolgte mit Hilfe eines Sechsfarbenschreibers TH 6 CH (Hartmann & Braun, Frankfurt, Nr. 2747546, 500 Ohm Innenwiderstand, 20 μ A Vollausschlag, Handaufzug) und eines Zweifarbenschreibers TH 2 LH (Hartmann & Braun, Frankfurt, Nr. 2740190, 13 Ohm Innenwiderstand, 75 μ A Vollausschlag, Handaufzug). Am 1.6.1959 fiel der Zweifarbenschreiber wegen Schadens aus. Gegen Ende der Meßzeit (vom 19.7. bis 8.8.1959) konnte als Ersatz ein ähnlicher Schreiber (155 Ohm Innenwiderstand, 75 μ A Vollausschlag, Handaufzug) zur Registrierung der Instrumententemperatur des Lupolengerätes benützt werden.

Mit dem Lupolengerät, das ohne Vorwiderstand an den Sechsfarbenschreiber angeschlossen war, wurden die einfallenden und ausgehenden Strahlungsströme getrennt registriert. Die Strahlungsbilanz wird aus den Komponenten errechnet. Die getrennte Registrierung von einfallenden und ausgehenden Strahlungsströmen ist wegen der starken Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe Voraussetzung für eine genaue Ermittlung der Strahlungsbilanz.

Die Thermosäulen des Lupolengerätes unterscheiden sich sehr stark in der Empfindlichkeit. Um eine konsequente Unterscheidung zu machen, wird die eine als »empfindliche Säule« und die andere als »unempfindliche Säule« bezeichnet. Auch die Lupolenhauben müssen wegen ihrer verschiedenen Durchlässigkeit im langwelligen Spektralbereich unterschieden werden (Haube A, B, C). Die »unempfindliche Säule« war bis zum 27.6.1959 mit Haube B, ab 27.6.1959 mit Haube A geschützt. Haube C war während der ganzen Registrierzeit auf der »empfindlichen Säule«.

Die Solarimeter wurden mit je 100 Ohm temperaturunabhängigem Widerstand an den Sechsfarbenschreiber angeschlossen.

Die Anschlüsse der Schreiber waren wie folgt aufgeteilt:

Bis 3.6.1959:

Zweifarbenschreiber (30 Sekunden Punktfolge)

Meßstelle 1: Solarimeter G18-1012, nach oben gerichtete Säule, mit 100 Ohm Vorwiderstand

Meßstelle 2: Solarimeter G18-1038, nach unten gerichtete Säule, mit 100 Ohm Vorwiderstand

Sechsfarbenschreiber (eine Minute Punktfolge)

Meßstelle 1 und 4: Lupolengerät, empfindliche Säule mit Haube C, nach oben gerichtet

Meßstelle 2: Lupolengerät, unempfindliche Säule mit Haube B, nach unten gerichtet

Meßstelle 3: Temperaturgradient in der eisenahen Luftschicht

Meßstelle 5: Nullpunkt durch Kurzschluß

Meßstelle 6: Instrumententemperatur des Lupolengerätes

Vom 3.6. bis 19.7.1959:

Sechsfarbenschreiber (eine Minute Punktfolge)

Meßstelle 1: Lupolengerät nach oben gerichtete Säule, bis 27.6.1959 empfindliche Säule mit Haube C, ab 27.6.1959 unempfindliche Säule mit Haube A

Meßstelle 2: Lupolengerät nach unten gerichtete Säule, bis 27.6.1959 unempfindliche Säule mit Haube B, ab 27.6.1959 empfindliche Säule mit Haube C

Meßstelle 3: Temperaturgradient in der eisenahen Luftschicht

Meßstelle 4: Solarimeter G18-1012 nach oben gerichtete Säule mit 100 Ohm Vorwiderstand

Meßstelle 5: Solarimeter G18-1038 nach unten gerichtete Säule mit 100 Ohm Vorwiderstand, zeitweise kurzgeschlossen

Meßstelle 6: Instrumententemperatur des Lupolengerätes

Ab 19.7.1959:

Zweifarbenschreiber (30 Sekunden Punktfolge)

Meßstelle 1: Temperaturgradient in der eisenahen Luftschicht

Meßstelle 2: Instrumententemperatur des Lupolengerätes

Sechsfarbenschreiber (eine Minute Punktfolge)

Meßstelle 1: Lupolengerät empfindliche Säule mit Haube A, nach oben gerichtet

Meßstelle 2: Lupolengerät empfindliche Säule mit Haube C, nach unten gerichtet

Meßstelle 3: Solarimeter G18-1012 nach oben gerichtet, mit 100 Ohm Vorwiderstand, bis 24.7.1959 zeitweise kurzgeschlossen

Meßstelle 5: wie 1

Meßstelle 6: wie 3

Im Zeitabschnitt vom 3.6. bis 19.7.1959 wurde jeder Meßwert alle sechs Minuten registriert. Ab 19.7.1959 konnte die Anzahl der Meßwerte von den nach oben gerichteten Thermosäulen durch Parallelschalten verdoppelt werden.

Montage: Die Montage der Strahlungsmeßgeräte erfolgte an einer 2,5 Meter langen Aluminiumschiene, die an vier Aluminiumrohren mit 65 mm Durchmesser befestigt war. Die Rohre wurden 2,5 Meter in das Eis eingbohrt und waren bis zum Abschluß der Messungen stabil. Anfangs befanden sich die Strahlungsmeßgeräte etwa 80 cm über der Oberfläche. Im Laufe der Meßzeit wurden sie wegen der Abschmelzung der Eisoberfläche zur bequemeren Wartung zweimal tiefer gesetzt (am 6.7.1959 von 150 cm auf 75 cm und am 3.8.1959 von 135 cm auf 85 cm Höhe über dem Eis).

Die Registriergeräte waren in einem Zelt aufgestellt. Die Vergleichslötstelle des thermoelektrischen Temperaturfühlers für die Instrumententemperatur des Lupolengerätes wurde in einem etwa 2 m langen Aluminiumrohr (2 cm Durchmesser) in das Eis eingesetzt. Das Aluminiumrohr war oben und unten verschlossen. Die Temperatur der Vergleichslötstelle wurde mit einem weiteren Thermoelement und mit Hilfe eines Spiegelgalvanometers gegen ein Null-Grad-Bad zweimal wöchentlich gemessen.

b. Weitere Strahlungsmeßgeräte.

Es wurde ferner ein tragbares Solarimeter *Moll-Gorczynski* (Kipp & Zonen, Delft) in Verbindung mit einem Zeigermillivoltmeter (Nr. 111961) verwendet. Das Gerät diente zur Albedomessung an verschiedenen Stellen.

Zur Extinktionsmessung im Eis wurden selbstgefertigte kugelförmige Strahlungsempfänger (W. AMBACH 1958a) benützt. Mit einer selbstgebauten Anordnung, die eine kleine Apertur besitzt (Photodiode TP 50, SIEMENS-HALSKE 1955), wurde die räumliche Verteilung der Strahlung im Eis und Schnee in zwei Spektralbereichen gemessen. Die letzteren Geräte wurden in Verbindung mit einem Spiegelgalvanometer A 70 (Kipp & Zonen, Delft) benützt.

3. DIE EICHFAKTOREN FÜR GERICHTETE KURZWELLIGE STRAHLUNG

a. Das Eichgerät.

Das Panzeraktinometer *Linke-Feussner* wurde vor der Expedition in Innsbruck mit dem Bimetall-Aktinometer *Michelson-Marten* Nr. 346 von H. HOINKES bei einer mittleren Instrumententemperatur von $+33,3^{\circ}\text{C}$ geeicht. Die Eichfaktoren des Bimetall-Aktinometers *Michelson-Marten* Nr. 346 wurden am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos, Schweiz, bestimmt. Für den Eichfaktor des Panzeraktinometers *Linke-Feussner* Nr. G109 ergibt sich als Mittelwert

$$f_p = 0,02075 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}/\text{Skt}$$

bei $+33,3^{\circ}\text{C}$ Instrumententemperatur.¹⁾

Nach Abschluß der Expedition wurde das Panzeraktinometer Nr. G109 wiederum in Innsbruck mit demselben Bimetall-Aktinometer *Michelson-Marten* Nr. 346 bei einer mittleren Instrumententemperatur $-0,4^{\circ}\text{C}$ verglichen. Aus der Nacheichung ergibt sich für den Eichfaktor des Panzeraktinometers als Mittelwert

$$f_p = 0,01894 \pm 0,00006 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}/\text{Skt}$$

bei $-0,4^{\circ}\text{C}$ Instrumententemperatur.

b. Die Temperaturabhängigkeit des Eichfaktors.

Zum absoluten Vergleich müssen beide Eichfaktoren auf dieselbe Temperatur reduziert werden. Die Temperaturkorrektur des Panzeraktinometers *Linke-Feussner* besteht aus zwei Gliedern: Es muß sowohl die Temperaturabhängigkeit der Strahlungsempfindlichkeit (EMK pro $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$) der *Moll'schen* Thermosäule als auch der Temperaturkoeffizient des Widerstandskreises bekannt sein. Beide Korrekturen haben dasselbe Vorzeichen und müssen addiert werden.

¹⁾ Herrn Prof. H. HOINKES danke ich für die Mitteilung des Eichfaktors.

Temperaturabhängigkeit der EMK: Die Thermosäule des Aktinometers ist eine kompensierte *Moll'sche* Thermosäule, für die laut Firmenprospekt der Temperaturkoeffizient 2 % pro 10° C¹ des Wertes bei 20° C beträgt. Mit zunehmender Temperatur wird die Thermosäule unempfindlicher. Aus Messungen von H. HOINKES (1961) am Solarimeter G18-1012 ergibt sich der Temperaturkoeffizient für die Strahlungsempfindlichkeit (EMK pro cal/cm² min) der *Moll'schen* Thermosäule zu 1,7 % pro 10° C des Wertes bei 0° C. P. BENER (1951) findet für die *Moll'sche* Thermosäule 2 % pro 10° C.

Temperaturkoeffizient des Widerstandes: Der Widerstandskreis besteht aus dem Innenwiderstand des Aktinometers (60 Ohm) und dem Innenwiderstand des Zeigermillivoltmeters Nr. 111961 (50 Ohm). Laut Angabe der Firma (Kipp & Zonen, 1959) besitzt der Widerstand des Zeigermillivoltmeters Nr. 111961 einen Temperaturkoeffizienten von 2,3 % pro 10° C des Wertes bei 0° C. Der Säulenwiderstand (Konstantan und Manganin) kann temperaturunabhängig angenommen werden. Der Temperaturkoeffizient der gesamten Widerstandsanordnung ergibt sich somit zu

$$\frac{50}{110} 2,3 = 1,0 \% \text{ pro } 10^{\circ} \text{ C.}$$

Die gesamte Temperaturkorrektur, Widerstandsänderung und Änderung der Strahlungsempfindlichkeit, kann unter Benützung des von H. HOINKES (1961) gefundenen Wertes für die Temperaturkorrektur der EMK der *Moll'schen* Thermosäule mit

$$1,0 \% + 1,7 \% = 2,7 \% \text{ pro } 10^{\circ} \text{ C}$$

des Wertes bei 0° C angenommen werden.

Mit dieser Temperaturkorrektur ergibt sich der Eichfaktor f_p des Panzeraktinometers in Verbindung mit dem 50 Ohm Zeigermillivoltmeter Nr. 111961

vor der Feldarbeit zu 0,02075 cal cm⁻² min⁻¹/Skt bei 33,3° C Instrumententemperatur

nach der Feldarbeit zu 0,02067 cal cm⁻² min⁻¹/Skt reduziert mit 2,7 % pro 10° C auf 33,3° C Instrumententemperatur.

Eine Temperaturkorrektur von 2,8 % (statt 2,7 %) pro 10° C des Wertes bei 0° C würde zur vollen Übereinstimmung beider Eichwerte führen. Für die weitere Auswertung wird als Temperaturkorrektur 2,8 % pro 10° C verwendet. Der Eichfaktor f_p des Panzeraktinometers ergibt sich damit zu

$$f_p(T) = 0,01895 (1 + 0,0028 T) \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} / \text{Skt}$$

c. Das Eichverfahren.

Das Panzeraktinometer *Linke-Feussner* wurde zur Eichung der Thermosäulen der Solarimeter und des Lupolengerätes im kurzwelligen Bereich des Spektrums verwendet. Aus Messungen von H. HOINKES (1959) in der Antarktis ist bereits bekannt, daß die Eichfaktoren der Thermosäulen der Solarimeter und des Lupolengerätes eine starke Abhängigkeit von der Sonnenhöhe zeigen. Aus diesem Grunde schien es zweckmäßig, die Eichungen in Meßserien bei verschiedenen Sonnenhöhen durchzuführen und die Eichungen auch auf sehr tiefe Sonnenstände auszudehnen.

Mit Hilfe des Aktinometers wurden die zwei Thermosäulen des Lupolengerätes und eine Solarimeterthermosäule (G18-1012) geeicht. Zum Anschluß der zweiten Solarimeterthermosäule (G18-1038) wurden beide Solarimeter bei bedecktem und wolkenlosem Himmel mit zur Eisoberfläche gerichteten Säulen verglichen. Der Vergleich wurde auch mit nach oben gerichteten Säulen bei bedecktem und wolkenlosem Himmel durchgeführt.

Vor jeder Eichserie wurde das Aktinometer mindestens 20 Minuten im Freien zur Temperaturangleichung aufgestellt. Um die Aktinometermessung auch zur Trübungsberechnung verwenden zu können, wurden gleichzeitig Filtermessungen mit RG 2, OG 1 und einem Quarz-Filter durchgeführt. Die Messungen wurden in folgender Reihenfolge ausgeführt:

Nullpunkt – Gesamtstrahlung – RG 2 – OG 1 – Quarz – Gesamtstrahlung – Nullpunkt – Gesamtstrahlung – Quarz – OG 1 – RG 2 – Gesamtstrahlung – Nullpunkt – Gesamtstrahlung.

Nur bei rasch ändernden Intensitäten (tiefstehende Sonne) wurde das Schema sinnvoll gekürzt. Für eine komplette Meßserie wurden etwa 12 Minuten benötigt. Es schien nicht notwendig, auf einen konstanten Zeitrhythmus innerhalb einer Meßserie zu achten. Vielmehr wurde der Ausschlag am Millivoltmeter abgelesen, sobald er stationär blieb. Die am Aktinometer abgelesene Instrumententemperatur und Sonnenhöhe wurden vor und nach der Meßserie notiert. Bei der Auswertung wurden die Mittelwerte von Sonnenhöhe und Zeit angenommen und die Registrierung (Ausschlagdifferenz der zu eichenden Thermosäule) auf diese Werte bezogen. Die Temperaturänderung des Aktinometers während einer Meßserie war in jedem Fall vernachlässigbar. Die Nullpunktsänderungen betrugen bis zu 0,5 % des Wertes der Gesamtstrahlung von etwa 1,4 cal/cm² min. Auch bei größeren Windstärken (10 m/sek) war der Ausschlag des Aktinometers ruhig.

Die Aktinometermessung wurde durchgeführt während mit einer Abdeckscheibe die direkte Sonnenstrahlung von der zu eichenden Thermosäule und der Schutzhaube abgeschattet war. Zur Ermittlung eines stationären, gut ablesbaren Ausschlages für die beschattete Thermosäule wurde die Säule etwa 20 Minuten lang beschattet. Am Solarmeter stellt sich der stationäre Ausschlag wesentlich rascher ein, als am Lupolengerät. Die Ausschlagdifferenz, die sich durch die Abschattung ergibt, wurde registriert.

Wenn die Aktinometermeßserie in kurzen Zeitabständen von etwa 20 Minuten folgt, ist es möglich, bei jeder Aktinometermeßserie den Eichfaktor für zwei Thermosäulen zu gewinnen. Es wird dabei nach folgendem Schema vorgegangen:

Aktinometermessung 1.....	Abschattung der Thermosäule 1
Aktinometermessung 2.....	Abschattung der Thermosäule 2
Aktinometermessung 3.....	Abschattung der Thermosäule 1

Die Ausschlagdifferenz der Thermosäule 1 während der Aktinometermessung 2 wird durch Interpolation gefunden. Die Auswertung zeigt, daß die durch Interpolation gefundenen Eichfaktoren etwa dieselbe Streuung wie die unmittelbar gewonnenen Werte aufweisen.

d. Korrekturen.

Bei der Auswertung der Eichmessungen wurden folgende Korrekturen berücksichtigt:

1. Korrektur des Uhrenganges für den Papiervorschub (Zeitmarken).
2. Korrektur auf nichtlineare Schreibskala des Fallbügelschreibers. Durch Einstellen des Zeigers auf bestimmte Ausschlagwerte wurde eine entsprechende nichtlineare Skala auf das Registrierpapier gedruckt und die gesamte Skala (12 cm) in hundert nichtlineare Teile geteilt. Bei der Auswertung erfolgt die Ablesung auf ein Tausendstel der Gesamtlänge.
3. Korrektur auf gleiche Temperatur. Der Eichfaktor wird auf eine einheitliche Temperatur (+1° C) nach folgender Formel umgerechnet:

$$f (+1^{\circ} \text{ C}) = \frac{s_t [1 + k_A (1 - t)]}{S_t [1 + k_S (1 - t)]} f_{p, +1^{\circ}} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} / \text{Skt.}$$

Darin ist s_t der Ausschlag des Aktinometers und S_t die Ausschlagdifferenz der zu eichenden Thermosäule bei der herrschenden Temperatur t . k_A und k_S sind die Temperaturkoeffizienten der entsprechenden Anordnung. Der Temperaturkoeffizient der Aktinometeranordnung k_A wurde bereits zu 2,8 % pro 10° C des Wertes bei 0° C angegeben. Bei

Angabe der Temperaturkorrekturen der Solarimeter und des Lupolengerätes k_s muß wiederum die Änderung der Strahlungsempfindlichkeit (EMK pro $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$) und des Widerstandes berücksichtigt werden. Nach Messungen von H. HOINKES (1959, 1961) sind die Werte der Temperaturkorrekturen für die Strahlungsempfindlichkeit (EMK pro $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$) für das Solarimeter G18-1012 und für beide Thermosäulen des Lupolengerätes bekannt. Für das zweite Solarimeter G18-1038 wird der gleiche Faktor wie für das geprüfte Solarimeter G18-1012 angenommen. Die Temperaturkorrektur für den Widerstandskreis erhält man, indem der Gesamtwiderstand des Kreises in einen temperaturunabhängigen Widerstand und in einen Kupferwiderstand aufgespaltet wird. Für den Kupferwiderstand wird der Temperaturfaktor 4 % pro 10° C gesetzt. Im Solarimeterkreis ist nur der Widerstand der Drehspule des Registriergerätes als Kupferwiderstand (173 Ohm) einzusetzen. Im Kreis des Lupolengerätes ist der Anteil des Kupferwiderstandes größer (223 Ohm), da die Thermosäule aus Kupfer-Konstantanelementen besteht. Es wird als Näherung angenommen, daß beim Lupolengerät der halbe Säulenwiderstand in Rechnung gesetzt werden muß. **Tab. 1** gibt eine Zusammenstellung der berechneten Temperaturkoeffizienten.

Alle gewonnenen Eichfaktoren wurden auf die Mitteltemperatur $+1^\circ \text{ C}$ reduziert, da die Temperaturwerte sämtlicher Eichungen zwischen -4° und $+6^\circ \text{ C}$ variieren. Als Reduktionsgröße für die Eichfaktoren ergibt sich die Differenz der Temperaturkoeffizienten des Aktinometers (2,8 % pro 10° C) minus dem Temperaturkoeffizienten der Thermosäulen. Diese Reduktionsgrößen sind:

Für das Solarimeter	0 % pro 10° C
Für das Lupolengerät, unempfindliche Säule	-0,9 % pro 10° C
empfindliche Säule	-2,1 % pro 10° C

e. Ergebnisse.

Nach Korrektur der Eichfaktoren auf die einheitliche Temperatur $+1^\circ \text{ C}$ wurden sie in Abhängigkeit von der Zenitdistanz (Aktinometerablesung) aufgetragen. Die Werte für aufsteigende Sonne (»Vormittag«) und für absteigende Sonne (»Nachmittag«) sind getrennt angegeben, da eine Azimutabhängigkeit der Eichfaktoren festgestellt werden kann. In **Abb. 1** sind die Eichfaktoren für das Solarimeter G18-1012 und beide Thermosäulen des Lupolengerätes dargestellt. Die Nachmittagswerte zeigen eine etwas geringere Streuung als die Vormittagswerte. **Tab. 2** gibt eine Zusammenstellung der Anzahl der gemessenen Eichfaktoren und der maximalen Abweichungen vom Mittelwert bei 50° Zenitdistanz. Zur Fehlerbetrachtung wurden auch die in **Abb. 1** als Kreuz gezeichneten Werte benützt.

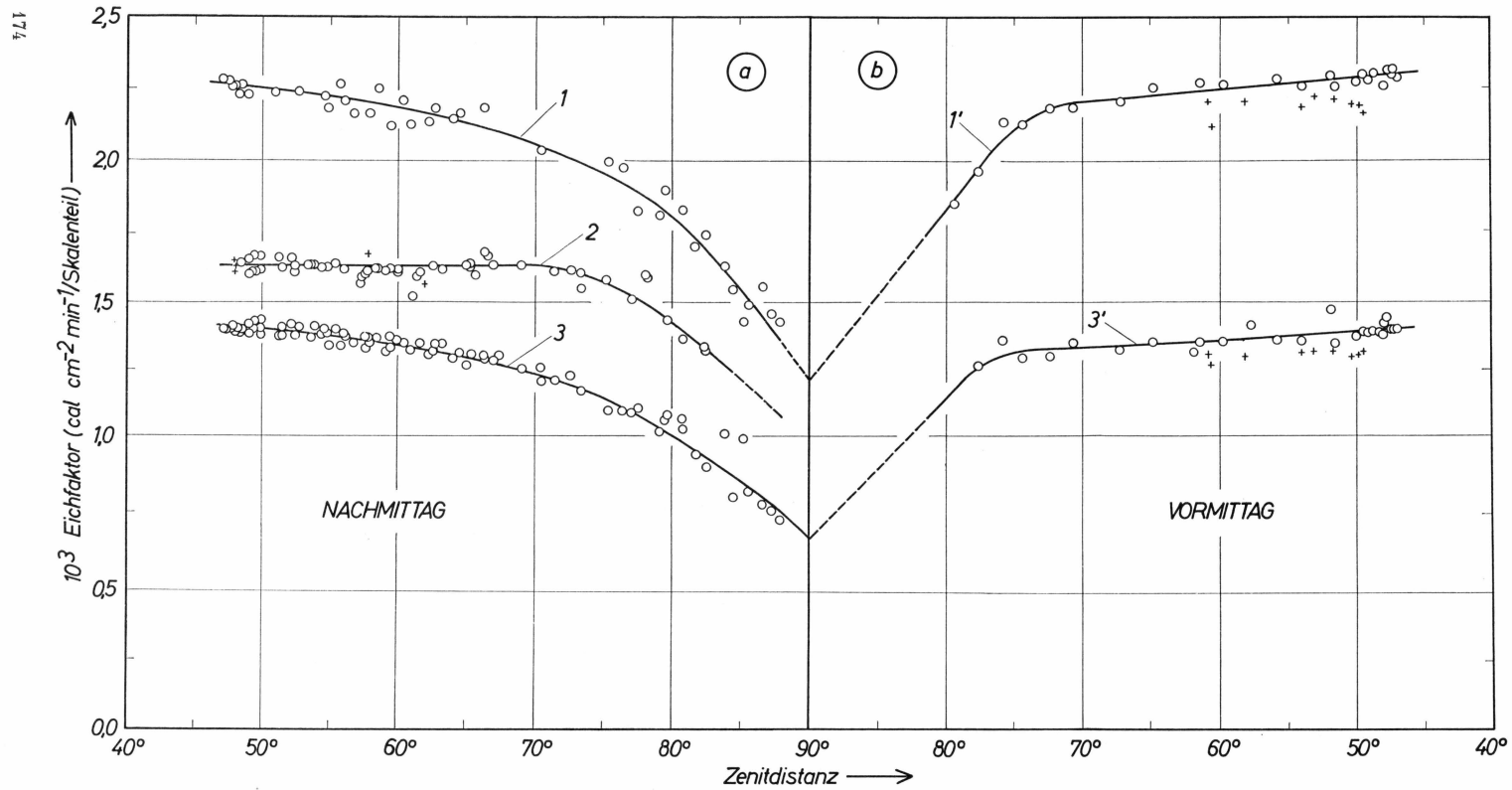


Abb. 1: Die Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}/\text{Skt}$) für kurzwellige Strahlung in Abhängigkeit von der Zenitdistanz der Sonne, reduziert auf $+1^\circ\text{C}$. 1, 1' Lupolengerät, unempfindliche Säule; 2 Lupolengerät, empfindliche Säule; 3, 3' Solarimeter G18-1012. Es bedeuten: Kreuze in 1' und 3': Meßwerte wahrscheinlich mit systematischem Fehler behaftet; Kreuzwerte in 2: Meßwerte am Vormittag gewonnen.

Aus folgenden Gründen kann die Angabe der Eichfaktoren und damit auch der Strahlungsenergien nicht genauer erfolgen:

Erstens ist die Ungenauigkeit des Registriergerätes mit mindestens 1 % des Vollausschlages anzunehmen.

Zweitens tritt bei der Auswertung noch die Unsicherheit des wandernden Nullpunktes hinzu, obwohl mehrmals am Tage der Nullpunkt überprüft wurde.

Drittens ist es wahrscheinlich, daß die Kurven Zenitdistanz gegen Eichfaktor sich zeitlich ändern, weil sich eine bestimmte Zenitdistanz im Laufe der Zeit wegen der veränderlichen Sonnendeklination bei verschiedenen Azimutwerten einstellt. Dieser Effekt tritt bei Messungen von G. H. LILJEQUIST (1956a), die über einen viel längeren Zeitraum ausgeführt wurden, deutlich in Erscheinung.

Die Eichwerte wurden an folgenden neun Tagen gewonnen: 1.6., 2.6., 5.6., 6.6., 7.6., 27.6., 28.6., 19.7., 20.7.1959.

Die Meßreihen während eines Tages ergeben Eichwerte, die nur in einem Fall eine systematische Abweichung vom Kurvenzug zeigen. Die am 20.7.1959 gewonnenen Eichpunkte (Vormittagswerte) liegen systematisch um etwa 3–5 % zu tief (vgl. Abb. 1). Möglicherweise ist für diese systematische Abweichung die veränderte Sonnendeklination verantwortlich, die sich vom 28.6. bis 20.7.1959 etwa um $2,5^\circ$ verringert und dieser Einfluß ist in der Meßreihe vom 19.7.1959 (Nachmittagswerte) bei anderen Azimutwerten wesentlich kleiner. Eine geringfügige systematische Abweichung in gleicher Richtung ist allerdings auch in der Meßreihe vom 19.7.1959 zu erkennen. Hier liegen die Werte noch innerhalb der zu erwartenden Streuung. Die Eichpunkte vom 20.7.1959 (Vormittagswerte) wurden in Abb. 1 als Kreuze gezeichnet und beim Ziehen des Kurvenverlaufes nicht berücksichtigt, da diese systematische Abweichung wahrscheinlich durch einen zu dieser Zeit beobachteten Kondensationsbeschlag im Gehäuseinnern des Millivoltmeters verursacht wurde. Bei den angegebenen maximalen Abweichungen (Tab. 2) sind jedoch die Eichwerte vom 20.7.1959 einbezogen.

Die Anzahl der Eichwerte genügt, um für den absteigenden Ast (Nachmittagswerte) und aufsteigenden Ast (Vormittagswerte) getrennte Eichkurven aufzustellen und damit eine verschiedene Empfindlichkeit der Thermosäulen bei Azimuten symmetrisch zur Kulmination zu berücksichtigen. Nur im aufsteigenden Ast (Vormittagswerte) fehlen Eichpunkte bei sehr tiefen Sonnenständen. Dieser Kurvenverlauf kann jedoch leicht ergänzt werden, da die Eichkurve für Vormittags- und Nachmittagswerte bei der oberen und unteren Kulmination den gleichen Eichfaktor liefern muß. Im Bereich von Zenitdistanzen kleiner 80° wur-

den die Kurven für Vormittags- und Nachmittagswerte unabhängig voneinander ausgezogen. So kann die Verlässlichkeit des Kurvenverlaufes durch Vergleich der Eichfaktoren für die kleinste Zenitdistanz (47°) im auf- und absteigenden Ast geprüft werden. **Tab. 3** gibt die Vergleichswerte.

Ferner kann zur Kontrolle der relative Verlauf der Eichkurve der empfindlichen Säule des Lupolengerätes (Abb. 1) mit den von H. HOINKES (1959) in der Antarktis gefundenen Werten verglichen werden. Beide Eichungen wurden mit demselben Instrumentensatz durchgeführt, nur das Registriergerät war ausgetauscht. H. HOINKES konnte in der Antarktis eine Kompensationsbrücke (Speedomax) verwenden, während in Grönland ein Sechsfarbensreiber (20 Mikroampere) zur Verfügung stand. Die in Grönland ermittelten Eichwerte erstrecken sich über einen größeren Bereich der Sonnenhöhe (Grönland: Zwischen 2° und 43° ; Antarktis: Zwischen 5° und 32° Sonnenhöhe). In beiden Fällen zeigen die Eichkurven des Lupolengerätes (empfindliche Säule) für Sonnenhöhen größer als 16° einen konstanten Wert und ergeben für Sonnenstände tiefer als 16° einen wesentlich kleineren Eichfaktor. Bei tiefstehender Sonne ist die Thermosäule empfindlicher. Für die unempfindliche Säule des Lupolengerätes wurde von H. HOINKES in der Antarktis keine Eichkurve aufgenommen. Ein Vergleich der in Grönland und in der Antarktis gewonnenen Eichkurven des Solarimeters G18-1012 zeigt in beiden Fällen einen ähnlichen Verlauf. Ein geringfügiger Unterschied ist, daß die Abnahme des Eichfaktors bei etwa 16° Sonnenhöhe nach den in Grönland gewonnenen Eichungen (Abb. 1) nicht knickartig ausgeprägt ist. Es ergibt sich vielmehr ein gleichmäßiger Anstieg des Eichfaktors mit zunehmender Sonnenhöhe. Dieser kleine Unterschied ist vielleicht auf verschieden orientierte Thermosäulen zurückzuführen.

Das Ergebnis eines unmittelbaren Vergleichs der zwei Thermosäulen des Lupolengerätes bei direkter Sonne zeigt **Abb. 2a**. Hier wurden aus den Ausschlagdifferenzen zum Nullpunkt bei verschiedenen Sonnenhöhen Quotienten gebildet und in Abhängigkeit von der Zenitdistanz aufgetragen. Der Quotient ist nicht konstant, d. h. die Eichkurven der beiden Thermosäulen sind nicht ähnlich. **Abb. 2b** zeigt das Ergebnis für die zwei Solarimeter G18-1012 und G18-1038. Für dieses Diagramm wurde die Ausschlagdifferenz bei bestrahlter und beschatteter Thermosäule zur Bildung des Quotienten benützt. Die Thermosäulen der beiden Solarimeter besitzen demnach ebenfalls einen leicht unterschiedlichen Verlauf der Eichkurven. Die zwei Registrierkurven zeigen beim Sonnenhöchststand etwa 2,5 % Unterschied im Ausschlag. Die Differenz verringert sich mit abnehmender Sonnenhöhe und wird bei 23° Sonnenhöhe Null. Bei noch tieferstehender Sonne wechselt die Ausschlagdifferenz das Vorzeichen. Aus einem derartigen Vergleich kann die Abhängigkeit des

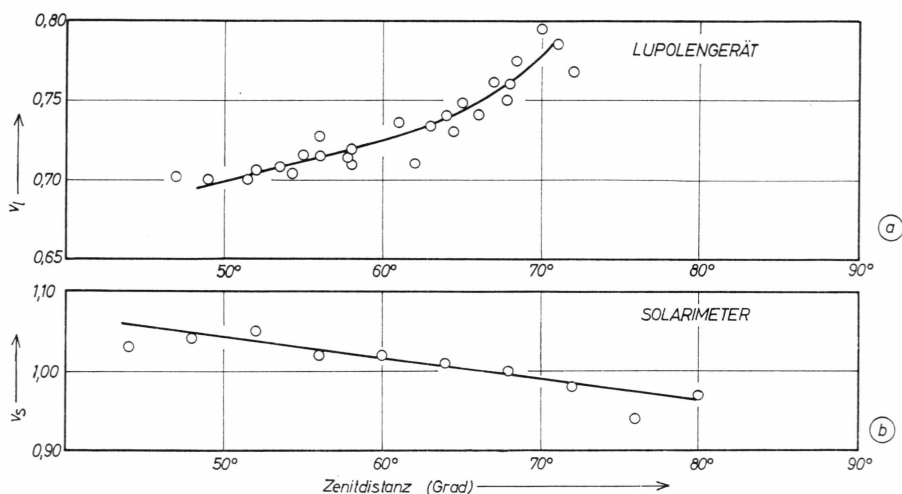


Abb. 2: Das Verhältnis von Ausschlägen bei direkter Sonne in Abhängigkeit von der Zenitdistanz der Sonne. a. Bei den Thermosäulen des Lupolengerätes; b. Bei den Solarimetern. Es bedeuten: v_1 Skalenteile der unempfindlichen Säule/Skalenteile der empfindlichen Säule; v_s Skalenteile am Solarimeter G18-1038/Skalenteile am Solarimeter G18-1012.

Eichfaktors von der Sonnenhöhe konstruiert werden, wenn die Eichkurve für das Vergleichssolarimeter bekannt ist.

Eine numerische Kontrolle für den unterschiedlichen Verlauf der Eichkurven für Vormittags- und Nachmittagswerte erhält man beim Solarimeter, indem die Symmetrie der Globalstrahlung zur oberen Sonnenkulmination an einem wolkenlosen Tag geprüft wird. Dabei werden gleichbleibende Trübungsverhältnisse vorausgesetzt. Als Beispiel wird die Summe der Globalstrahlung vom 27.6.1959, 12–24 Uhr (wahre Sonnenzeit) mit dem Wert vom 28.6.1959, 00–12 Uhr (wahre Sonnenzeit) verglichen. Zur Ermittlung von halbstündigen Mittelwerten der Globalstrahlung wurde der Mittelwert des registrierten Ausschlages bestimmt und der für diesen Zeitabschnitt gültige Eichfaktor aus der Eichkurve (Abb. 1) unter Verwendung einer mittleren Sonnenhöhe abgelesen. Durch Summierung der halbstündigen Mittelwerte ergibt sich für den Zeitraum

27.6.1959, 12–24 Uhr wahre Sonnenzeit	367,8 cal/cm ²
28.6.1959, 00–12 Uhr wahre Sonnenzeit	369,5 cal/cm ²
Differenz	0,5 %

Das Ergebnis zeigt, daß die Symmetrie mit 0,5 % erfüllt ist. Es ist nicht möglich, eine derartige Kontrolle auch beim Lupolengerät durchzuführen, da hier die Symmetrie durch eine Veränderung im langwelligen Spektralbereich gestört werden kann.

Ganz allgemein zeigt sich, daß der quantitative Verlauf der Eichkurven sehr verschieden sein kann und bei einer bestimmten Thermosäule auch von ihrer azimutalen Orientierung abhängt. Für Vormittags- und Nachmittagswerte ergeben sich Unterschiede.

Für die weitere Auswertung wurden die in **Abb. 1** wiedergegebenen Eichkurven als Grundlage verwendet. Es muß angenommen werden, daß darin ebenfalls ein Azimuteffekt enthalten ist. Da jedoch die Änderung der Sonnendeklination für die gesamte Meßperiode nur $7,5^\circ$ beträgt, ist die Veränderung des Azimutwertes für eine bestimmte Sonnenhöhe nur gering und kann keine wesentliche Veränderung des Eichfaktors bewirken.

Es wäre grundsätzlich möglich, daß durch die Eichkurve Zenitdistanz gegen Eichfaktor eine Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors ausgedrückt wird, da tiefe Sonnenstände naturgemäß mit geringen Strahlungsintensitäten gekoppelt sind. Dieser Punkt wurde näher geprüft. Labormessungen zeigen, daß weder beim Solarimeter noch beim Lupolengerät eine Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors festgestellt werden kann (vgl. Abschnitt »Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors durch Labormessungen«).

Labormessungen lassen erkennen, daß die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors insbesondere durch folgenden Effekt verursacht wird:

Beim *Solarimeter* wird durch Reflexion des direkten Lichtes an der Innenseite der inneren Glaskugel eine Katakaustik ausgebildet, die bei tiefen Sonnenständen auf die Thermosäule fallen kann und eine größere Strahlungsenergie vortäuscht. Dieser Effekt wurde im Labor nach Abschluß der Feldmessungen näher untersucht. Die Ergebnisse werden im Abschnitt »Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors durch Labormessung« mitgeteilt.

Beim *Lupolengerät* kann der Kurvenverlauf (Eichfaktor gegen Zenitdistanz) auf Streulicht zurückgeführt werden, das in der Lupolenhaube entsteht und auf die Thermosäule gelangt. Der Prozentsatz des Streulichtes vom direkten, gerichteten Licht wächst mit abnehmender Sonnenhöhe stark an. Im Falle streifenden Einfalles wird der Ausschlag nur vom Streulicht erzeugt. Auch diese Erklärung wurde durch Labormessungen geprüft. Die Ergebnisse werden ebenfalls im oben zitierten Abschnitt mitgeteilt.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit für eine scheinbare Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors wäre durch eine schlecht horizontierte Thermosäule gegeben. In diesem Falle wäre der Effekt vom Azimutalwert der Aufstellung abhängig und alle vier geprüften Thermosäulen müßten denselben Fehler in der Horizontierung zeigen. Außerdem

waren die Thermosäulen bei den Eichungen von H. HOINKES nachweisbar anders orientiert und liefern trotzdem denselben Kurvenverlauf. Damit scheint es nicht möglich zu sein, für die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe Horizontierungsfehler der Thermosäulen verantwortlich zu machen.

Auf keinen Fall kann dieser Verlauf der Eichkurve durch einen Temperatureffekt erklärt werden, da sich während einer Meßreihe die Temperatur nur um wenige Grad verändert hat.

Trotz der qualitativen Bestätigung der Erklärung für die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors wird vermutet, daß die Ermittlung der scheinbaren Sonnenhöhe aus der Aktinometerablesung zur Erstellung einer Eichkurve zu ungenau ist. Berechnungen der scheinbaren Sonnenhöhe zeigen, daß die vom Aktinometer abgelesene Sonnenhöhe systematisch um wenige Zehntelgrad zu klein ist. Bei einem systematischen Fehler in der abgelesenen Sonnenhöhe von $0,5^\circ$ wird der Eichfaktor bei $h = 10^\circ$ um 4 % und bei 5° um 10 % zu klein berechnet. Dieser Fehler pflanzt sich nicht in die Energiewerte des Strahlungshaushaltes fort, da in den Eichkurven (Abb. 1) die Eichfaktoren gegen die am Aktinometer gemessenen Sonnenhöhen aufgetragen wurden und auch die gemessenen Sonnenhöhen in Abhängigkeit von der wahren Sonnenzeit zur Bestimmung des Eichfaktors benützt wurden. Der systematische Fehler kann höchstens den Wert der Eichfaktoren für isotrope kurzwellige Strahlung, berechnet nach G. H. LILJEQUIST (1956a), beeinflussen, numerisch allerdings unbedeutend, da die Funktion $\sin 2h/f$ für kleine Sonnenhöhen nur einen geringen Beitrag zum Integral liefert. Eine numerische Abschätzung zeigt, daß der Einfluß der fehlerhaften Sonnenhöhe nur ein Drittel der Auswirkung der Katakaustik bzw. Streuung in der Lupolenhaube ausmacht.

4. ÜBERPRÜFUNG DER SONNENHÖHEN- ABHÄNGIGKEIT DES EICHFAKTORS DURCH LABORMESSUNGEN

a. Einleitung.

Es ist von grundlegender Bedeutung, durch Labormessungen nachzuweisen, daß die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe nicht durch andere Effekte wie Temperaturabhängigkeit oder Intensitätsabhängigkeit vorgetäuscht wird. Aus diesem Grunde wurden auf Anregung durch H. HOINKES am Solarimeter und am Lupolengerät zusammen mit E. BESCHORNER Laboruntersuchungen durchgeführt, die den experimentellen Beweis für die Sonnenhöhenabhängigkeit liefern.

Wegen der kleinen Temperaturkoeffizienten der Eichfaktoren von höchstens 5 % pro 10° C des Wertes bei 0° C und der kleinen Temperaturdifferenz von etwa 4° C innerhalb einer Meßreihe bei verschiedenen Sonnenhöhen scheidet eine Erklärung durch Temperatureffekte von vornherein aus.

Der experimentelle Beweis für die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors wird in zwei Schritten durchgeführt.

1. Durch eine Versuchsanordnung wird der Eichfaktor des Lupolengerätes und des Solarimeters bei verschiedenen Anstrahlwinkeln (Sonnenhöhen) im relativen Verlauf ermittelt. Gleichzeitig wird auch der Einfluß des Azimuts untersucht.

2. Durch eine andere Versuchsanordnung wird die Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors beim Solarimeter und Lupolengerät untersucht.

Das Ergebnis soll vorweggenommen werden: Es läßt sich durch Labormessungen experimentell beweisen, daß die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe nicht durch eine Intensitätsabhängigkeit vorgetäuscht wird. Dieses Ergebnis ist aus folgendem Grund von Bedeutung: Nur auf Grund dieser Beweisführung ist es gestattet, den Eichfaktor für diffuse kurzwellige Strahlung nach der von G. H. LILJEQUIST (1956a) angegebenen Methode zu berechnen. Wäre eine Intensitätsabhängigkeit festzustellen, dann müßte der Eichfaktor für diffuse Strahlung durch andere Überlegungen ermittelt werden.

b. Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors des Solarimeters.

Versuchsordnung: Als Lichtquelle wurde ein Kleinbildprojektor (500 Watt) benützt. Um einen möglichst konstanten Lichtstrom zu erhalten, wurde der Projektor an einen Akkumulatorensatz angeschlossen. Das Solarimeter war auf einem Schwenktisch montiert und immer an derselben Stelle des Lichtkegels justierbar.

Es muß allerdings angenommen werden, daß die Empfindlichkeit einer Thermosäule durch Neigen zur Horizontalen nicht geändert wird. Obwohl ein Einfluß durch einen konvektiven Wärmestrom im Raum zwischen Thermosäule und Haube physikalisch möglich wäre, wird davon abgesehen, weil die nachzuweisenden Ursachen für den charakteristischen Verlauf der Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) wesentlich wirksamer sein müssen, als der Einfluß des gestörten konvektiven Wärmestromes. D. FUQUAY und K. BUETTNER (1957) geben z. B. für das Eppley-Pyrheliometer eine Änderung der Empfindlichkeit bei Neigung zum Horizont von nur $-2,6\%$ an, wobei diese Änderung durch den konvektiven Wärmestrom verursacht werden soll.

Die Messung selbst wurde der Feldeichung nachgeahmt, indem als Ausschlag die Differenz zwischen der Anzeige der unbeschatteten und beschatteten Thermosäule und Haube genommen wurde.

Das schwierigste Problem ist, ein verlässliches Kriterium für die Horizontierung der Thermosäule zu finden, da bei streifendem Einfall ein kleiner Fehler in der Winkelangabe bereits einen großen Einfluß auf den Eichfaktor ausübt. Nach den gemachten Erfahrungen läßt sich der streifende Einfall am sichersten durch Beobachtung der Schattenwirkung der Unebenheiten der Thermosäule beurteilen. Durch diese Unebenheiten bedingt, kann der Ausschlag bei streifendem Einfall nicht genau Null werden. Zudem entsteht an diesen Unebenheiten Streulicht, das durch das Solarimeter angezeigt wird. Sofort beim ersten Versuch zeigte sich, daß bei flachen Anstrahlwinkeln (ab 15°) durch die Hohlspiegelwirkung der inneren Glaskugel eine Katakaustik entsteht, die auf die Thermosäule fällt. Durch diese Wirkung der Katakaustik wird der angezeigte Ausschlag vergrößert und damit eine Empfindlichkeitsvergrößerung der Anordnung vorgetäuscht.

Der von P. BENER (1951) vorgebrachte Vorschlag, die Libelle des Solarimeters so zu montieren, daß bei streifendem Einfall kein Ausschlag gezeigt wird, kann nicht akzeptiert werden. Die Thermosäule müßte um einen wesentlichen Betrag in die Schattenseiten geneigt werden und damit wäre bei einer um 180° gedrehten Azimutaleinstellung gerade das Gegenteil erreicht. Es würde direktes Licht auf die Thermosäule fallen.

In der ausgezeichneten Arbeit von P. BENER (1951) werden die Ergebnisse von Untersuchungen anderer Autoren über die Gültigkeit des \cos -Gesetzes am Solarimeter angeführt. Während A. PUPPO und D. BIDASIO (1935) im Höhenwinkelbereich von 12 bis $66,5^\circ$ und über einen Azimutalwinkelbereich von 77 bis 275° keine systematischen Abweichungen vom \cos -Gesetz angeben, findet G. REITZ (1939) Abweichungen, welche für einen Höhenwinkel von 15° je nach Azimut $1,6$ bis $8,4\%$ betragen und bei einem Höhenwinkel von 5° sogar 5 bis 10% ausmachen. P. BENER (1951) findet für Einfall der Sonnenstrahlung in Längsrichtung der Lamellen keine systematischen Variationen. Für Ein-

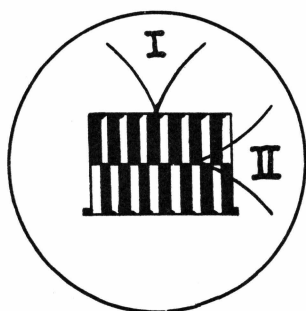


Abb. 3: Schema der Moll'schen Thermosäule mit Katakaustik. Stellung I: Minimaler Effekt, Stellung II: Maximaler Effekt.

fall der Sonnenstrahlung rechtwinklig zur Längsrichtung der Lamellen ergeben sich auch hier Abweichungen wie sie G. REITZ (1939) beobachtet hat. P. BENER (1951) macht jedoch für diese systematischen Abweichungen Justierfehler verantwortlich. Aber schon der Umstand, daß die von G. REITZ (1939) und P. BENER (1951) durchgeführten Messungen dasselbe Vorzeichen des systematischen Fehlers ergeben, läßt die Annahme von Justierfehlern nicht glaubwürdig erscheinen. H. HINZPETER (1952) veröffentlichte ebenfalls Untersuchungen über den Einfluß des Höhen- und Azimutalwinkels für die Anzeige des Solarimeters und führt systematische Abweichungen auf die Wirkung der Katakaustik zurück.

Im folgenden wird der Standpunkt von H. HINZPETER (1952) vertreten, daß die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe und vom Azimutalwinkel in der Hauptsache durch die Ausbildung der Katakaustik an der inneren Glaskugel und durch den Bau der Moll'schen Thermosäule bedingt ist.

In Abb. 3 ist der Bau der Moll'schen Thermosäule nach H. HINZPETER (1952) skizziert. Fällt das Licht senkrecht zu den Lamellen ein, dann kann die Katakaustik direkt auf einige Lötstellen fallen und eine Ausschlagvergrößerung verursachen. Bei Einfall parallel zu den Lamellen wird nur die Umgebung der Lötstelle beleuchtet und erwärmt. Der

Effekt der Ausschlagvergrößerung ist dadurch vermindert. Durch Wärmeleitung und durch entstandene Streustrahlung kann die aktive Lötstelle jedoch auch in diesem Fall etwas erwärmt werden. Abb. 4 zeigt die abgelesenen Skalenteile für verschiedene Azimutaleinstellungen (30° Intervalle) bei einer Sonnenhöhe $h = 0^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ und 20° . Es zeigen sich bei zwei bestimmten Azimutalwerten deutlich ausgeprägte Maxima. Die Azimutalwerte der Maxima entsprechen der Anstrahlung senkrecht zur Lamellenrichtung. Die Minima bei $h = 0^\circ$ erreichen nicht den Ausschlag

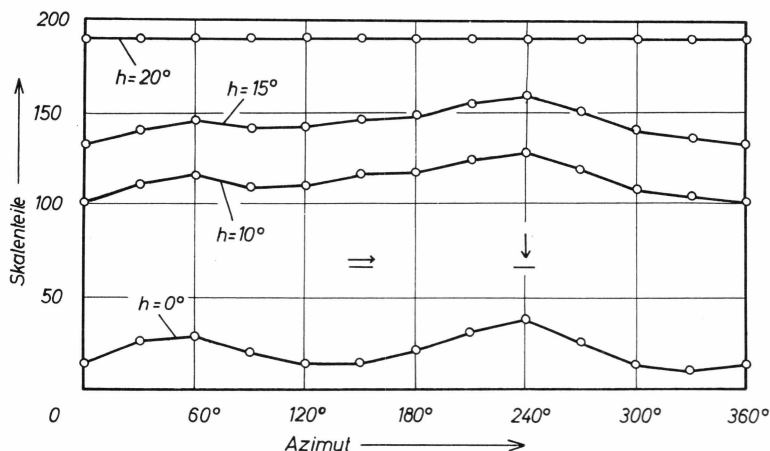


Abb. 4: Der Einfluß der Katakaustik auf die Anzeige des Solarimeters bei verschiedenen Höhen- und Azimutalwinkeln. Horizontaler Pfeil bedeutet Bestrahlung parallel und vertikaler Pfeil senkrecht zur Lamellenrichtung. h entspricht der Sonnenhöhe. Der Nullpunkt der Azimutalwinkel wurde willkürlich festgelegt.

Null, sondern zeigen den bereits diskutierten Störspiegel. Der Umstand, daß die beiden Maxima nicht denselben Wert erreichen, ist hier unwesentlich und kann durch geringfügige Unsymmetrie der Säule, z. B. verschieden dicke Schicht der Schwärzung, erklärt werden. Bei Anstrahlung senkrecht zur Lamellenrichtung ist die scheinbare Empfindlichkeitserhöhung am größten und bei Anstrahlung parallel zur Lamellenrichtung am kleinsten.

Bild 1 sind Aufnahmen der Katakaustik für die Höhenwinkel 5, 10, 15 und 20° .

In **Abb. 5** ist der Eichfaktor ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1} / \text{Skt}$) in relativen Einheiten als Funktion der Sonnenhöhe für diese zwei Extremfälle dargestellt. Man erkennt deutlich, daß im Falle der Anstrahlung senkrecht zur Lamellenrichtung bei kleinen Sonnenhöhen (h kleiner 20°) eine bedeutende Empfindlichkeitserhöhung eintritt, während bei Anstrahlung parallel zur Lamellenrichtung praktisch kein Effekt erscheint. Im Bereich h größer 20° bleibt allerdings gegen die Erwartung der Eichfaktor

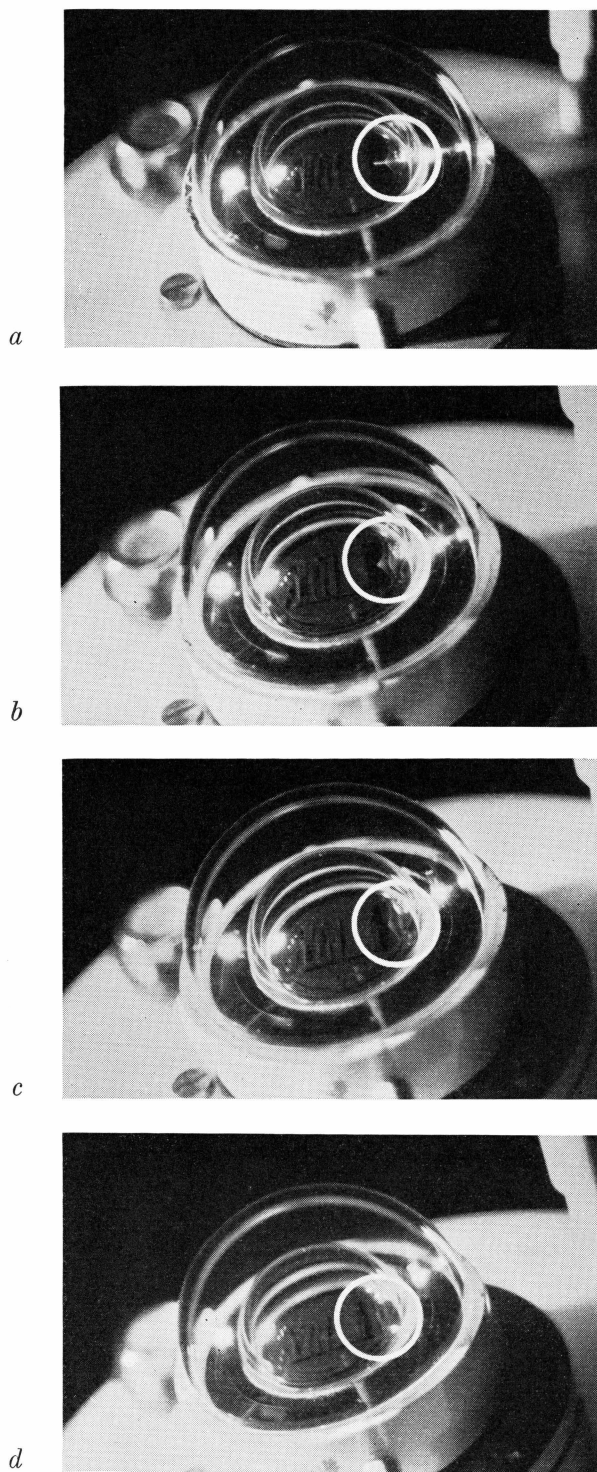


Bild 1: Bildung der Katakaustik auf der Thermosäule des Solarimeters für die Höhenwinkel $h = 5^\circ$ (a) 10° (b), 15° (c) und 20° (d). Bestrahlung senkrecht zur Lamellenrichtung.

nicht konstant. Diesem Effekt wird hier keine Bedeutung beigemessen. Auch G. H. LILJEQUIST (1956a) findet bei seinem Solarimeter, daß der Eichfaktor mit zunehmender Sonnenhöhe leicht ansteigt.

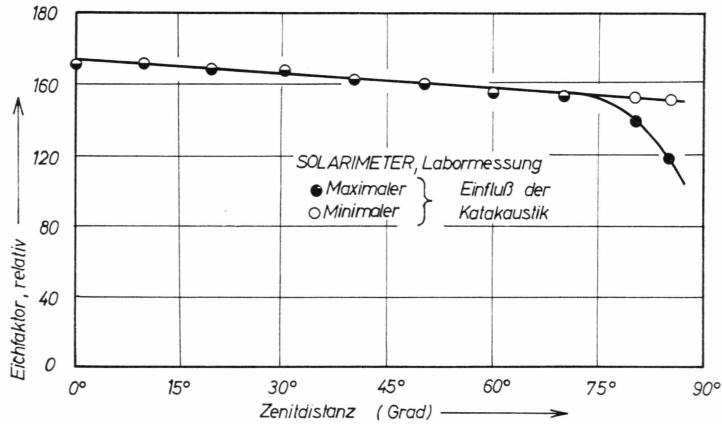


Abb. 5: Die Abhängigkeit des Eichfaktors ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} / \text{Skt}$) des Solarimeters von der Zenitdistanz der Sonne bei maximalem und minimalem Einfluß der Katakaustik.

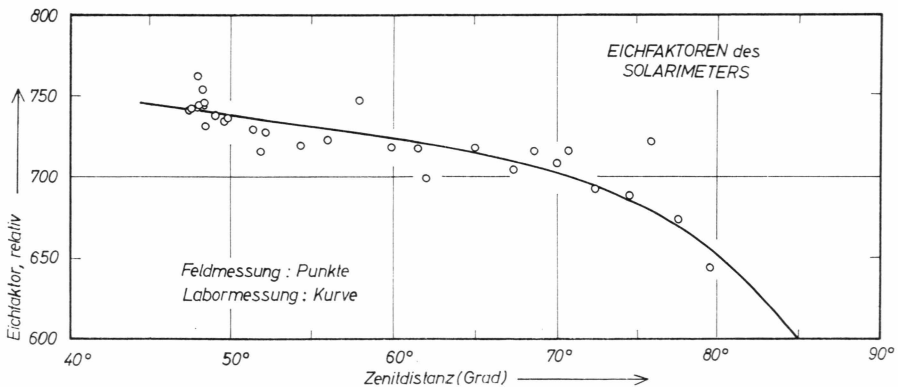


Abb. 6: Vergleich der Eichpunkte des Solarimeters (Feldmessung) mit der Labormessung (Kurve). Die Zunahme der Empfindlichkeit mit wachsender Zenitdistanz wird durch die Katakaustik der inneren Glashaube verursacht.

Durch diese Labormessungen kann die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ belegt werden. In Abb. 6 ist der durch Feldmessungen gefundene Verlauf mit den Ergebnissen der Labormessungen direkt verglichen, indem der noch verfügbare Proportionalitätsfaktor bei den Ergebnissen der Labormessungen geeignet festgelegt wurde. Der Vergleich zeigt, daß der charakteristische Verlauf des Eichfaktors von der Sonnenhöhe befriedigend mit den Labormessungen übereinstimmt.

Da die auf die Thermosäule treffende Katakaustik durch die Hohlspiegelwirkung der inneren Glaskugel entsteht, muß bei älteren Solarimetertypen, die nur eine äußere Glaskugelschale besitzen, dieser Katakaustikeffekt fehlen. Die an der äußeren Glaskugelschale entstandene Katakaustik fällt wegen des größeren Abstandes nicht auf die Thermosäule. L. GORCZYŃSKI (1936) konnte an einem Solarimeter mit nur einer Glaskugelhaube nachweisen, daß bei diesem Gerät der Eichfaktor unabhängig vom Höhenwinkel der Anstrahlung ist.

Aus den Ergebnissen der Labormessung kann auch der Umstand erklärt werden, daß die beiden verwendeten Solarimeter bei Vergleich mit direkter Sonnenbestrahlung einen etwas verschiedenen Verlauf der Registrierkurve ergeben. In **Abb. 2** sind diese Unterschiede durch das Verhältnis von Ausschlagdifferenzen beider Solarimeter in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe ausgedrückt. Dieses verschiedenartige Verhalten kann als Folge der verschiedenen Orientierung der Thermosäulen im Azimut verstanden werden, weil bei verschiedener azimutaler Orientierung auch die Wirkung der Katakaustik auf der Thermosäule beeinflußt wird. Die vielleicht naheliegende Annahme, daß für den verschiedenen Verlauf der Eichkurven Horizontierungsfehler verantwortlich sind, ist hier nicht zutreffend. Bei einem Horizontierungsfehler müßte der Betrag des Fehlers bei einem um 180° veränderten Azimutalwinkel der Anstrahlung (tiefer Sonnenstand) wesentlich größer als der beobachtete Wert sein.

c. Überprüfung der Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors des Solarimeters.

Obwohl durch die Aufnahme der Abhängigkeit des Eichfaktors vom Anstrahlwinkel durch Labormessungen bereits die Richtigkeit der Interpretation der Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) bewiesen ist, wurde trotzdem zur Sicherheit die Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors überprüft. Die Versuchsergebnisse zeigen eindeutig, daß der Eichfaktor des verwendeten Solarimeters unabhängig von der Intensität ist. Die Überprüfung wurde durch folgende Versuchsanordnung durchgeführt: Mit zwei Projektionslampen wurden zwei annähernd gleiche Lichtströme I_1 und I_2 erzeugt. Die Summe beider Lichtströme ergibt einen Ausschlag, der etwa dem Ausschlagwert bei Sonnenstrahlung entspricht. I_1 allein erzeugt den Ausschlag s_1 und I_2 allein den Ausschlag s_2 . Wenn beide Lichtströme ($I_1 + I_2$) eingeschaltet sind, wird nur bei einer intensitätsproportionalen Anzeige der Ausschlag s_3 gleich $s_1 + s_2$ sein. Für verschieden starke Lichtströme I_1 , I_2 wurde der Ausschlag s_3 mit $s_1 + s_2$ verglichen. In **Tab. 4** sind die Meßergebnisse wiedergegeben. Daraus ist

ersichtlich, daß s_3 mit der Summe $s_1 + s_2$ mit befriedigender Genauigkeit übereinstimmt. Damit ist die intensitätsproportionale Anzeige experimentell bestätigt.

d. Überprüfung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors des Lupolengerätes.

Zur experimentellen Überprüfung der Abhängigkeit des Eichfaktors vom Anstrahlwinkel wurde beim Lupolengerät dieselbe Anordnung benutzt wie beim Solarimeter. Die Untersuchung wurde von H. HOINKES angeregt und zusammen mit E. BESCHORNER durchgeführt. Es wird wiederum angenommen, daß die Neigung der Thermosäule im Schwerfeld keinen Einfluß auf die Empfindlichkeit hat.

Das Experiment zeigt folgendes Ergebnis: Wegen der leichten Trübung des Lupolens entsteht ein geringer Betrag von Streulicht, der eine Empfindlichkeitserhöhung bei flachen Einfallswinkeln vortäuscht.

Zur numerischen Erklärung wird als Näherung angenommen, daß der Betrag des Streulichtes aus der Lupolenhaube konstant und unabhängig vom Einfallswinkel ist. Später kann gezeigt werden, daß diese Voraussetzung keine Einschränkung für die Gültigkeit der Erklärung bedeutet. Die Messung dieses Streulichtbetrages erfolgt, indem die direkte Strahlung bei streifendem Einfall durch einen um die Haube gelegten, niederen Ring von der Thermosäule abgeschirmt wird. Die Lupolenhaube wird jedoch vom direkten Licht beleuchtet und damit kommt nur der Streulichtbetrag zur Anzeige. Bei senkrechter Bestrahlung der Thermosäule muß der angezeigte Ausschlag gedanklich in einen vom direkten Licht und einen vom Streulicht verursachten Beitrag zerlegt werden.

Aus den Ausschlägen bei streifendem und senkrechtem Lichteinfall

$$s_0 = c I_{St}$$

$$s_{90} = c (I_0 + I_{St})$$

kann die Differenz

$$s_{90} - s_0 = c I_0$$

gebildet werden. Darin bedeutet I_0 die direkte Strahlungsenergie bei senkrechtem Einfall, I_{St} den Betrag des Streulichtes, c einen Proportionalitätsfaktor und s_0, s_{90} Ausschläge bei den Höhenwinkeln 0 und 90°. Der Eichfaktor f ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) kann in folgender Form dargestellt werden:

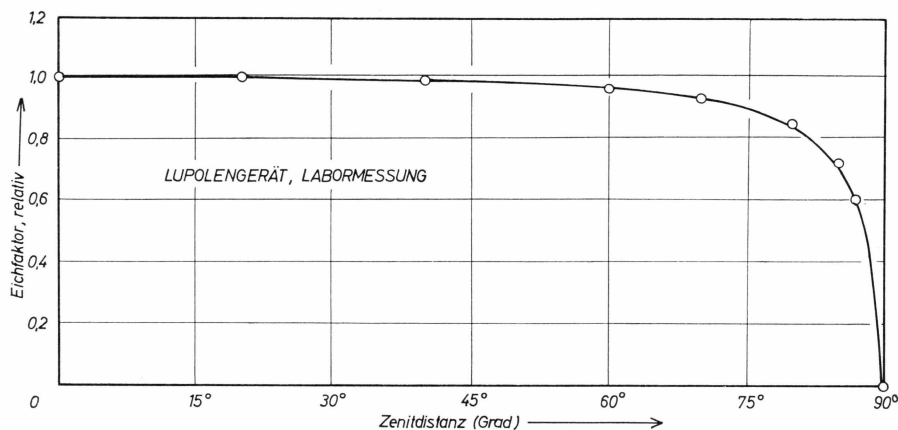


Abb. 7: Die Abnahme des Eichfaktors ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}/\text{Skt}$) des Lupolengerätes mit wachsender Zenitdistanz, bedingt durch die Streustrahlung der Lupolenhaube.

$$f = \frac{I_0 \sin h}{c (I_0 \sin h + I_{\text{St}})}$$

oder

$$f = \frac{(s_{90} - s_0) \sin h}{c [(s_{90} - s_0) \sin h + s_0]}.$$

Da es sich um den relativen Verlauf der Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) handelt, ist die Kenntnis des Proportionalitätsfaktors c belanglos. Der Eichfaktor f kann mit obigem Ausdruck als Funktion der Sonnenhöhe errechnet werden, wenn die Meßgrößen s_{90} und s_0 vorliegen. **Abb. 7** zeigt seinen relativen Verlauf, wie er sich aus den Meßwerten $s_{90} = 131$ und $s_0 = 4$ errechnen läßt.

Bereits sehr kleine Beträge des Streulichtes genügen, um den durch Feldmessungen belegten Verlauf der Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) zu erhalten. Auch aus Labormessungen ergibt sich bis zu Sonnenhöhen von 20° eine wesentliche Empfindlichkeitsänderung der Thermosäule. Es kann gezeigt werden, daß durch einen etwas größeren oder kleineren Betrag des Streulichtes der Kurvenverlauf kaum geändert wird. Ein wesentlicher Einfluß des Streulichtbetrages kann sich nur in jenem Bereich des Höhenwinkels ergeben, in dem der Betrag des auf die Thermosäule fallenden direkten Lichtes die gleiche Größenordnung hat wie der Streulichtbetrag. Dies ist nur bei kleineren Sonnenhöhen (h kleiner 20°) erfüllt. Aber gerade für diesen Bereich wurde der Streulichtbetrag experimentell gemessen. Für den relativen Kurvenverlauf ist es demnach gleichgültig, ob die Beträge des Streulichtes bei streifendem und senkrechtem Einfall gleich groß sind.

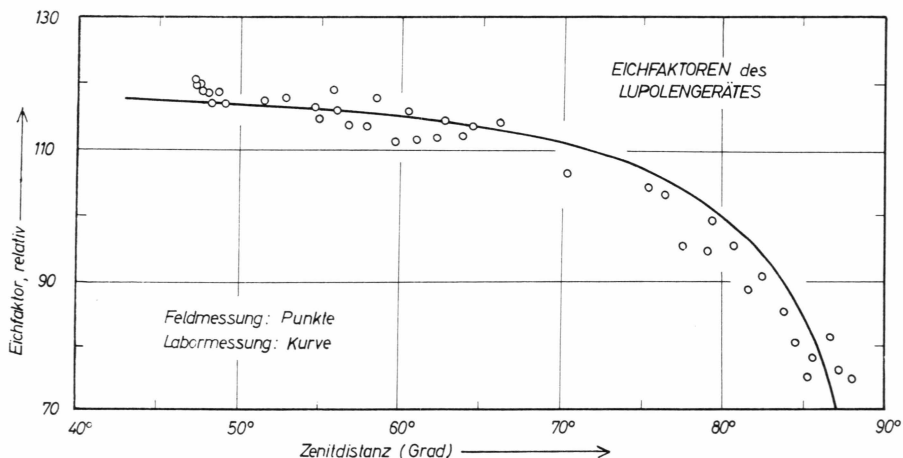


Abb. 8: Vergleich der Eichpunkte des Lupolengerätes (Feldmessung) mit der Labormessung (Kurve). Die Zunahme der Empfindlichkeit mit wachsender Zenitdistanz wird durch die Streustrahlung des Lupolens verursacht.

Da der Verlauf der Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) beim Lupolengerät durch die Lichtstreuung in der Haube verursacht wird, ist keine Abhängigkeit des Eichfaktors vom Azimutalwinkel der Anstrahlung zu erwarten. Durch das Lupolen wird nur eine sehr lichtschwache Katakaustik ausgebildet, die außerdem nicht auf die Thermosäule fällt.

Ein geringfügiger Einfluß vom Azimutalwinkel der Anstrahlung kann höchstens bei Unsymmetrie in den Streueigenschaften des Lupolens oder der Thermosäule erwartet werden. Erfahrungsgemäß liegen diese Unterschiede innerhalb der praktischen Meßgenauigkeit.

Die im Labor aufgenommene Eichkurve bestätigt die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe auch quantitativ. Durch Festlegung des willkürlichen Proportionalitätsfaktors c kann die in Abb. 8 gezeigte Übereinstimmung mit der Feldeichung erreicht werden.

e. Überprüfung der Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors des Lupolengerätes.

Obwohl auch beim Lupolengerät die Aufnahme der Abhängigkeit des Eichfaktors vom Höhenwinkel der Anstrahlung bereits die Richtigkeit des Verlaufes der Eichkurve beweist, wurde trotzdem zur Sicherheit die Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors überprüft. Dazu wurde dieselbe Versuchsanordnung verwendet, wie sie bei der Messung der Intensitätsabhängigkeit des Eichfaktors des Solarimeters benützt wurde. Das Ergebnis zeigt eindeutig, daß die Anzeige des Lupolengerätes pro-

portional der Intensität erfolgt. In **Tab. 4** sind die Ergebnisse einer Meßreihe zusammengestellt. Mit befriedigender Genauigkeit ist die Bedingung $s_1 + s_2 = s_3$ erfüllt.

f. Zusammenfassung.

Durch Labormessungen konnte experimentell nachgewiesen werden, daß die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe beim Solarmeter durch die Ausbildung einer Katakaustik auf der Thermosäule bei flachen Einfallswinkeln verursacht wird. Beim Lupolengerät kann der Verlauf der Eichkurve durch Streustrahlung erklärt werden, die in der Lupolenhaube entsteht. Bei flachen Einfallswinkeln besitzt die Streustrahlung dieselbe Größenordnung wie das direkt auf die Thermosäule treffende Licht.

5. DIE EICHFAKTOREN FÜR DIFFUSE KURZWELLIGE STRAHLUNG

Die Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe, Abb. 1) ist die Grundlage zur Berechnung des Eichfaktors für diffuse Strahlung. Es wird dabei vorausgesetzt, daß in dieser Eichkurve nur eine Sonnenhöhenabhängigkeit und keine Intensitätsabhängigkeit enthalten ist. G. H. LILJEQUIST (1956a) ermittelte mit Hilfe dieser Eichkurve den Eichfaktor für diffuse Strahlung, indem bei Annahme einer bestimmten räumlichen Verteilung des Lichtes die Beiträge aus verschiedenen Richtungen mit der entsprechenden Empfindlichkeit berechnet wurden. Von G. H. LILJEQUIST (1956a) werden über die räumliche Verteilung des Lichtes zwei plausible Annahmen gemacht. Im ersten Modell wird isotrope Strahlungsverteilung angenommen. Das zweite Modell gilt für diffuse Himmelsstrahlung bei klarem Himmel. Aus dem photometrischen Grundgesetz läßt sich zeigen, daß eine nach dem cos-Gesetz diffus strahlende, unendlich ausgedehnte Fläche mit ortsunabhängiger Lichtstärke eine isotrope Intensitätsverteilung erzeugt und damit dem ersten Modell entspricht. Damit kann für eine Schneefläche das erste Modell als Näherung angewendet werden. Die Formel zur Berechnung der Eichfaktoren für isotrope, diffuse Strahlung lautet:

$$\frac{1}{f_i} = \int_0^{\pi/2} \frac{\sin 2h}{f(h)} dh.$$

Darin bedeuten f_i den Eichfaktor für isotrope, diffuse Strahlung, h die Sonnenhöhe und $f(h)$ die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe.

Zur Berechnung des Eichfaktors für diffuse Strahlung bei klarem Himmel wird angenommen, daß der Betrag des diffusen Lichtes der durchstrahlten Luftmasse proportional ist. Damit gilt

$$I = \frac{I_o}{\sin h}$$

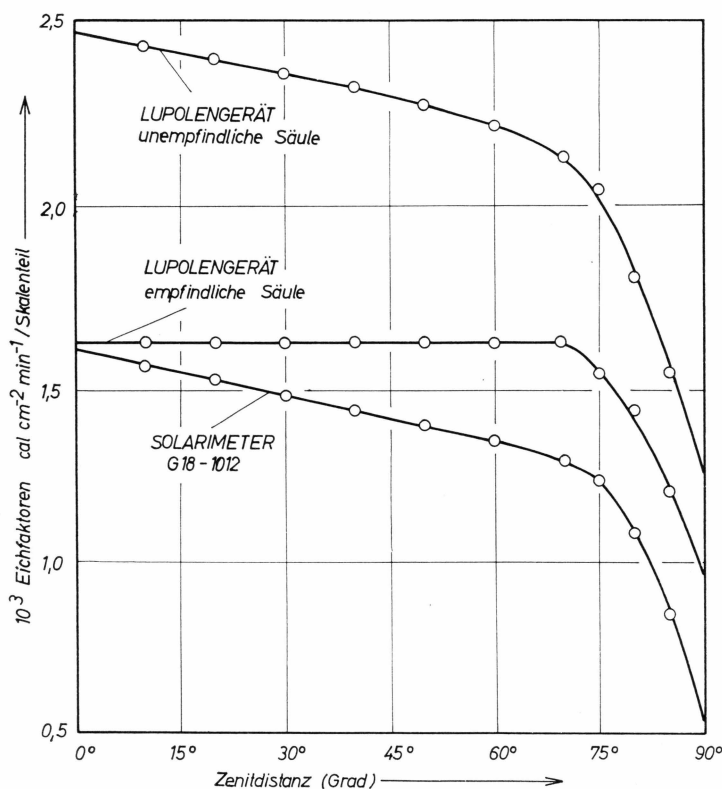


Abb. 9: Die Abhängigkeit der Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} / \text{Skt}$) des Lupolengerätes und Solarimeters von der Zenitdistanz der Sonne zur Berechnung der Eichfaktoren für isotrope Strahlung und diffuse Strahlung bei klarem Himmel.

und für den Eichfaktor für diffuse Strahlung bei klarem Himmel

$$\frac{1}{f_H} = \int_0^{\pi/2} \frac{\cos h}{f(h)} dh.$$

Die beiden Integrale müssen graphisch berechnet werden. Eine Schwierigkeit besteht darin, daß die Eichung im Feld nicht über alle Sonnenhöhen durchgeführt werden kann. Es muß also die Eichkurve gegen $h = 90^\circ$ extrapoliert werden, wenn keine Messungen für senkrechten Einfall vorliegen. An den Stellen $h = 0^\circ$ und $h = 90^\circ$ wird der Integrant Null und damit fällt die durch Extrapolation bedingte Unsicherheit nicht sehr ins Gewicht. Eine zweite Schwierigkeit ist, daß die Funktion $f(h)$ für alle Azimute bekannt sein müßte und sich beträchtliche Azimutaleffekte ergeben können.

Zur Extrapolation der Eichkurve wurde zuerst eine mittlere Eichkurve aus Vormittags- und Nachmittagswerten gezeichnet. Für die em-

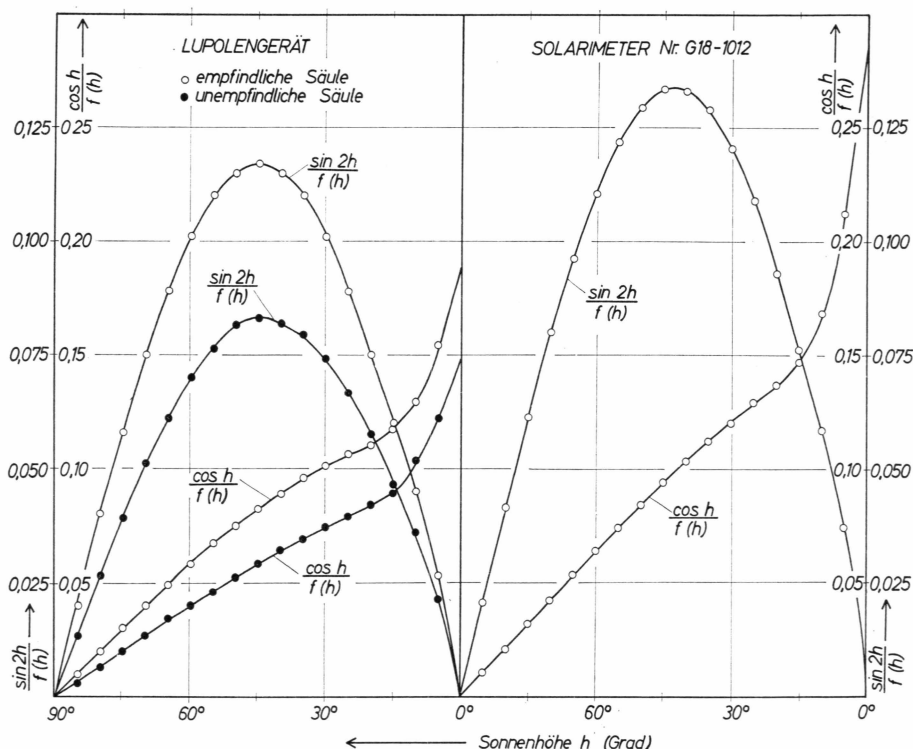


Abb. 10: Die Funktion $\sin 2h/f(h)$ und $\cos h/f(h)$ zur Berechnung der Eichfaktoren für isotrope Strahlung und diffuse Strahlung bei klarem Himmel.

empfindliche Säule des Lupolengerätes liegen nur Nachmittagswerte vor. Diese Säule zeigt jedoch im Bereich h größer 20° einen konstanten Eichfaktor, der auch für h größer 43° beibehalten wurde. Beim Solari-meter G18-1012 konnte der von der Erzeugerfirma angegebene Eichwert für senkrechten Einfall ($7,5 \text{ mV/cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$) benutzt werden. Diese Angabe wurde auf den vorliegenden Widerstandskreis umgerechnet. Bei der unempfindlichen Säule des Lupolengerätes ergibt die Extrapolation der Vormittags- und Nachmittagswerte bei $h = 90^\circ$ denselben Wert. Abb. 9 zeigt für drei Thermosäulen die Eichfaktoren im gesamten Bereich ($0-90^\circ$) und Abb. 10 die Werte des Integranten

$$\frac{\sin 2h}{f(h)}, \frac{\cos h}{f(h)}$$

als Funktion von h , die in Schrittlängen von 5° ermittelt wurden. Die Ergebnisse der graphischen Integration sind in Tab. 5 zusammengestellt.

Eine Kontrolle der berechneten Eichfaktoren für diffuse isotrope Strahlung ist dadurch gegeben, daß das Verhältnis der Eichfaktoren von zwei Thermosäulen für isotrope Strahlung geprüft werden kann, indem

beide Thermosäulen gegen die Eisfläche montiert werden. Das Verhältnis der Ausschläge liefert aus 47 Einzelmessungen für die Thermosäulen des Lupolengerätes den Wert 0,714. Die Störung durch langwellige Strahlungsströme kann hier vernachlässigt werden, da nur kleine Temperaturdifferenzen zwischen Oberfläche und Thermosäule vorkommen. Das Verhältnis der entsprechenden Eichfaktoren (0,0964/0,1350) gibt genau denselben Wert.

Der Eichfaktor für das nach unten gerichtete Solarimeter G18-1038 wurde durch Vergleich mit dem geeichten Solarimeter G18-1012 bestimmt. Zwei Vergleiche bei ganz bedecktem Himmel und mit nach unten gerichteter Säule ergeben in beiden Fällen, daß die zur Messung der reflektierten Globalstrahlung verwendete Thermosäule G18-1038 bei diffuser Strahlung um 1,5 % empfindlicher als das geeichte Solarimeter G18-1012 ist. Der Eichfaktor beträgt daher für das nach unten gerichtete Solarimeter (G18-1038) $0,0830 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1} / \text{Skt}$ bei $+1^\circ\text{C}$.

Der Eichfaktor für diffuse Strahlung entspricht einem Eichwert bei einer bestimmten Sonnenhöhe, die jedoch bei jeder Thermosäule anders ist. **Tab. 6** gibt über diese Beziehung eine Zusammenstellung. Daraus folgt, daß der Eichfaktor für diffuse isotrope Strahlung nicht einheitlich einem Eichfaktor einer bestimmten Sonnenhöhe entspricht, sondern vom individuellen Verlauf der Eichkurve abhängt. Bei Eichkurven, die in sehr weitem Bereich der Sonnenhöhe einen konstanten Wert zeigen (z. B. Lupolengerät, empfindliche Säule, vgl. Abb. 1) liegt der Wert für diffuse isotrope Strahlung sehr nahe bei diesem konstanten Wert. Im Falle der empfindlichen Säule des Lupolengerätes ergibt sich zum konstanten Wert eine Differenz von nur 1,5 %. Zwischen dem Eichfaktor bei direkter senkrechter Bestrahlung und dem Eichfaktor bei diffuser isotroper Strahlung können sich allerdings sehr große Unterschiede ergeben. Bei der unempfindlichen Säule des Lupolengerätes beträgt dieser Unterschied 10 % und beim Solarimeter G18-1012 15 %. Es kann demnach erst bei Kenntnis der Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) entschieden werden, ob für diffuse Strahlung der für senkrechte Bestrahlung gefundene Eichfaktor Gültigkeit hat.

6. EICHUNG DES LUPOLENGERÄTES IM LANGWELLIGEN SPEKTRALBEREICH

a. Einleitung.

Eichungen im langwelligen Spektralbereich wurden mit Hilfe eines Schwarzen Körpers im Feld und im Labor durchgeführt. Bei der Feldeichung wurde der Schwarze Körper mit einer Null-Grad-Mischung gefüllt und über die Lupolenhaube gesetzt. Aus folgenden zwei Gründen lassen sich aus der Feldeichung keine befriedigenden Ergebnisse ableiten:

Erstens war im Feld die Temperaturdifferenz zwischen Instrument und Schwarzem Körper für Eichzwecke zu klein. Für den Schwarzen Körper stand als Temperaturbad nur eine Null-Grad-Mischung zur Verfügung, während die Instrumententemperaturen zwischen $+4^{\circ}$ und -8° C lagen.

Zweitens zeigt sich ein systematischer Unterschied im Eichergebnis, wenn die Außenseite der Lupolenhaube ventiliert wird. Eichmessungen mit ventilerter Lupolenhaube waren im Felde nicht durchführbar.

Als Ursache für diesen systematischen Fehler wird die Eigenstrahlung der Lupolenhaube erkannt, die durch die Ventilierung geändert wird. Bei Ventilierung werden Feldbedingungen hergestellt, da die Haubentemperatur annähernd auf Instrumententemperatur gehalten wird. Durch Ventilierung der Außenseite der Lupolenhaube wird der systematische Fehler vermindert. Die so gewonnenen Eichergebnisse gelten als zuverlässiger.

Aus den erwähnten zwei Gründen schien es notwendig, die Eichungen im langwelligen Spektralbereich im Labor zu wiederholen. Die Untersuchungen wurden von H. HOINKES angeregt und zusammen mit E. BESCHORNER durchgeführt.

b. Temperaturkorrektur.

Da sämtliche Eichfaktoren für den kurzwelligen Spektralbereich auf die mittlere Eichtemperatur $+1^{\circ}$ C bezogen sind, ist es zweckmäßig, auch die Eichfaktoren für den langwelligen Spektralbereich auf die Temperatur $+1^{\circ}$ C zu reduzieren. Als Temperaturkoeffizienten wurden

die im kurzwelligen Spektralbereich gültigen Werte (+3,7 % pro 10° C für die unempfindliche Säule und +4,9 % pro 10° C für die empfindliche Säule) angenommen.

Der Eichfaktor des Temperaturfühlers für die Instrumententemperatur wurde für die Temperaturbedingungen der Laboreichung neu bestimmt.

c. Versuchsanordnung.

Der Eichkörper (Schwarze Körper) besteht aus einem Hohlzylinder mit nur einer Deckfläche (Radius: 86 mm, Zylinderhöhe: 180 mm) und ist aus Weißblech gefertigt. Hohlzylinder und Deckfläche sind innen-seitig matt geschwärzt. Ferner ist der Hohlzylinder von einem Topf umgeben, durch den ein Wasserbad mit konstanter Temperatur gepumpt werden kann. Zur Temperaturregelung dieses Wasserbades steht ein Thermostat (Colora) zur Verfügung. Die Temperatur des Wasserbades wird im Eichtopf mit Hilfe eines Quecksilberthermometers abgelesen und kann besser als 0,1° C konstant gehalten werden. Die Vergleichs-lötstelle des Temperaturfühlers für die Instrumententemperatur wird durch einen zweiten Thermostaten ebenfalls konstant gehalten. Ein starker Ventilator besorgt die Ventilation des Lupolengerätes.

Nach Einschalten der Apparatur bedarf es einer Einspielzeit von etwa zwei Stunden. Erst nach dieser Zeit besteht ein Gleichgewichtszustand zwischen den unterschiedlichen Temperaturen von Eichkörper, Instrument und Zimmerluft. Nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes schreibt das Registriergerät zwei konstante Ausschläge (Instrumententemperatur und Anzeige der Thermosäule). Nach Änderung der Temperatur des Eichtopfes wird erst nach 45 bis 60 Minuten der stationäre Ausschlag der Instrumententemperatur und der Thermosäule abgelesen. Der Eichfaktor ergibt sich aus einem Diagramm als Steigung der Geraden, wenn der Ausschlag der Thermosäule gegen die langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule

$$E_{\text{LW}} = \sigma (T_{\text{K}}^4 - T_{\text{i}}^4)$$

aufgetragen wird. T_{K} ist die Temperatur des Eichkörpers und T_{i} die Instrumententemperatur. σ ist die *Stefan-Boltzmann*-Konstante.

Mit dieser Anordnung wurde die Eichkurve (Ausschlag gegen langwellige Strahlungsbilanz der Säule) für beide Säulen des Lupolengerätes aufgenommen. Die Ergebnisse der Feldeichung wurden damit bestätigt.

d. Eichung bei ventilierter Lupolenhaube.

Wegen der nicht vollkommenen Durchlässigkeit des Lupolens für langwellige Strahlung wird die Haube vom Eichkörper durch Strah-

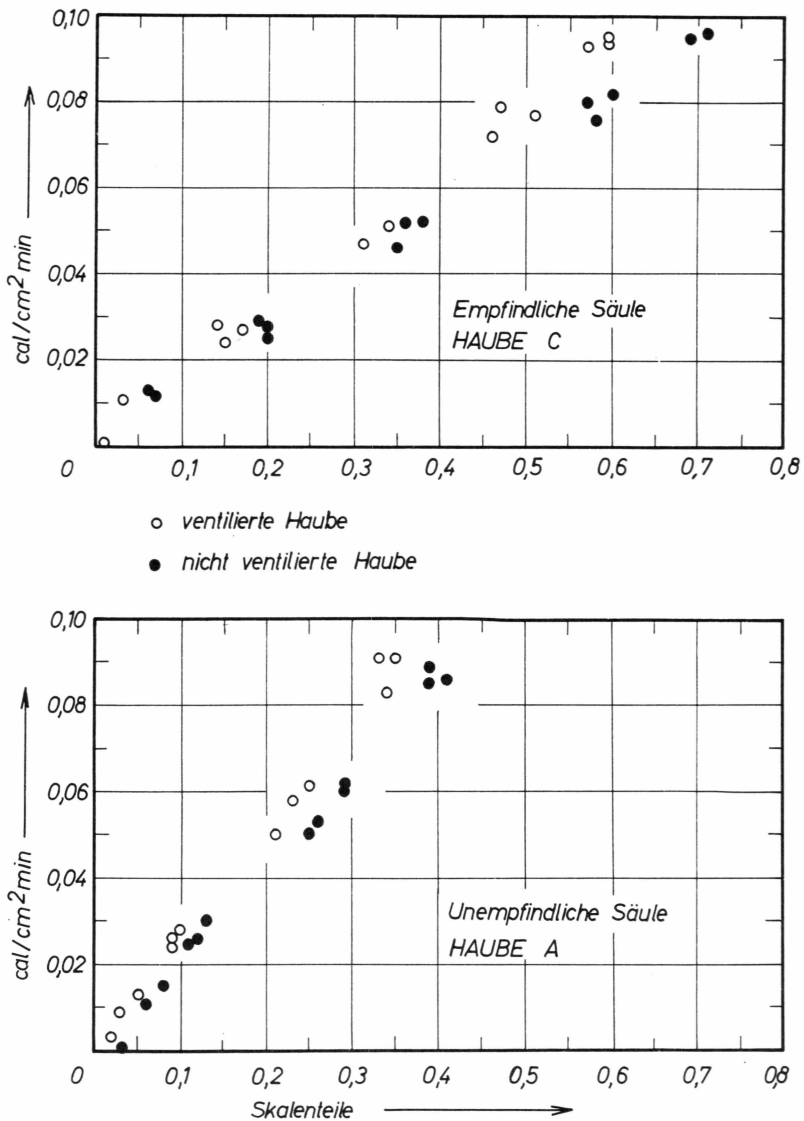


Abb. 11: Eichwerte im langwelligen Spektralbereich bei ventilerter und nicht-ventilerter Lupolenhaube.

lungsaustausch bis zu einer Gleichgewichtstemperatur aufgeheizt, die im Idealfall mit der Temperatur des Eichtopfes identisch ist. Während der Feldmessung wird jedoch die Lupolenhaube durch den natürlichen Wind ständig ventiliert und damit annähernd auf Instrumententemperatur gehalten. Um die Eichbedingungen den natürlichen Gegebenheiten während der Feldmessung nachzuahmen, wurde die Laboreichung bei

ventilierter Lupolenhaube wiederholt. Das Ergebnis ist, daß die Anordnung bei Ventilierung der Lupolenhaube bis zu 18 % unempfindlicher reagiert (vgl. Tab. 7).

Auch E. FRANKENBERGER (1958) hat gezeigt, daß bei ventilierter Lupolenhaube bessere Eichergebnisse erzielt werden. Aus einer Diskussionsbemerkung von W. SCHÜEPP (1960) ist ebenfalls zu entnehmen, daß man bei ventilierter Haube einen anderen Eichfaktor erhält. Allerdings muß angenommen werden, daß es sich bei der Bemerkung »... ventilation inside of the polyethylene...« um ein Mißverständnis handelt und eine Ventilation der Außenseite der Lupolenhaube, jedoch innerhalb des Eichkörpers, gemeint ist. J. P. FUNK (1961) konnte ebenfalls zeigen, daß die Temperatur der Lupolenhaube einen großen Einfluß (30 %) auf das Eichergebnis hat. Durch Benützung eines zusätzlichen Hohlraumes mit konstanter Temperatur, in dem das Strahlungsmeßgerät montiert ist, wird erreicht, daß die Temperatur der Lupolenhaube gleich der Instrumententemperatur ist. Die langwellige Strahlung wird durch eine zu berechnende Aperturblende in den Hohlraum eingestrahlt. Mit dieser Anordnung wird prinzipiell dasselbe Ziel wie durch Ventilierung der Haube erreicht (Haubentemperatur = Instrumententemperatur).

Zur Ventilierung der Lupolenhaube wurde zwischen Teller des Lupolengerätes und Eichkörper ein 5 mm hoher Ring eingesetzt, der mit einem Ansaugstutzen und gegenüberliegend mit Ansaugöffnungen versehen ist. Mit einem Gebläse (Saugleistung bis 50 Liter pro Minute) wurde damit durch Absaugen der Luft im Raume zwischen Lupolenhaube und Eichfläche die Haube ventiliert. Es wird angenommen, daß die Temperatur der Lupolenhaube identisch der Lufttemperatur ist und den natürlich auftretenden Bedingungen entspricht.

Zur genauen numerischen Ermittlung des Einflusses der Ventilation der Lupolenhaube wurde folgender Test durchgeführt: Bei gleichbleibender Temperatur des Eichkörpers wurden drei Messungen gemacht. Die erste und die dritte Messung mit ventilierter Haube und die dazwischenliegende zweite Messung ohne Ventilation bei gleicher Anordnung. Zur Kontrolle wurde bei weiteren Meßserien der Rhythmus ventiliert – nicht ventiliert – ventiliert vertauscht. Alle Messungen mit Ventilierung der Haube geben eine bedeutend geringere Empfindlichkeit der Thermosäule. In Abb. 11 sind derartige Vergleiche wiedergegeben. Leere Kreise bedeuten Meßwerte bei ventilierter Haube und volle Kreise Meßwerte ohne Ventilierung. Der Wert des Eichfaktors ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}/\text{Skt}$), der als Steigung der Geraden aus dem Diagramm entnommen wird, ist bei Ventilierung der Haube bei der unempfindlichen Säule (Haube C) um 15 % und bei der unempfindlichen Säule (Haube A) um 18 % größer als ohne Ventilierung (f nicht vent./ f vent. = 0,85 bzw. 0,82 vgl. Tab. 7).

H. HOINKES (1959) findet aus Eichungen im langwelligen Spektralbereich, daß bei nichtventilierter Haube die Anordnung für langwellige Strahlung um 20 % empfindlicher ist als für kurzwellige isotrope Strahlung.

Der Einwand, daß dieser Effekt der Empfindlichkeitsverminderung durch Haubenventilation auf eine Abkühlung der strahlenden Oberfläche des Eichkörpers zurückgeführt werden kann, wurde näher untersucht.

Ein plattgehämmertes Thermoelement wurde möglichst ohne Überhöhung auf die strahlende Oberfläche gelötet. Damit konnte gezeigt werden, daß die Temperaturänderung des Thermoelementes bei Ventilierung sicher kleiner als $0,1^{\circ}\text{C}$ ist. Während des Versuches betrug die Temperatur des Eichkörpers $+33,4^{\circ}\text{C}$ und die Lufttemperatur $+19,4^{\circ}\text{C}$. Es bleibt allerdings offen, ob die äußere Oberfläche einer sehr dünnen Lackschicht bei Ventilierung gekühlt werden kann, wenn der Träger eine sehr große Wärmekapazität und metallische Wärmeleitfähigkeit besitzt. Bei der Interpretation des Eichergebnisses wird angenommen, daß die Lackoberfläche durch die Ventilierung nicht gekühlt wird.

Durch einen weiteren Versuch konnte die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Größe der Ventilierungsgeschwindigkeit geprüft werden. Die Absaugleistung wurde durch einen Quetschhahn gedrosselt und damit die Ventilierungsgeschwindigkeit verändert. In Abb. 12 sind die Ergebnisse beider Säulen wiedergegeben. In beiden Fällen tritt die Änderung des Eichfaktors bei einer Saugleistung kleiner als 10 lt/min ein. Für Saugleistungen größer als 10 lt/min bleibt der Eichfaktor konstant und unabhängig von der Ventilationsgeschwindigkeit der Haube. Eine Umrechnung der Ventilationsgeschwindigkeit in m/sec ist nicht möglich, weil keine homogene Geschwindigkeitsverteilung im Absaugraum vorliegt. Sicher entspricht der Wert 10 lt/min einem sehr kleinen Wert der Ventilationsgeschwindigkeit, sodaß bei natürlichen Gegebenheiten (Feldmessung) bereits der konstante Bereich des Eichfaktors vorliegt.

Eine Feldbeobachtung scheint einen geringen Einfluß der Ventilationsgeschwindigkeit auf die Anzeige des Lupolengerätes zu bestätigen. An wolkenlosen Tagen ist die Registrierkurve des Lupolengerätes nicht so glatt wie die Registrierkurve des Solarimeters. Möglicherweise ist dieser Effekt auf große Schwankungen der Windgeschwindigkeit zurückzuführen. Die dadurch bedingte Ungenauigkeit ist jedoch bedeutungslos.

Der Eichfaktor für langwellige Strahlung wurde bei ventilierter Haube für die empfindliche Säule in 14 (8 Serien für Einstrahlung und 6 Serien für Ausstrahlung) und für die unempfindliche Säule in 10 Meß-

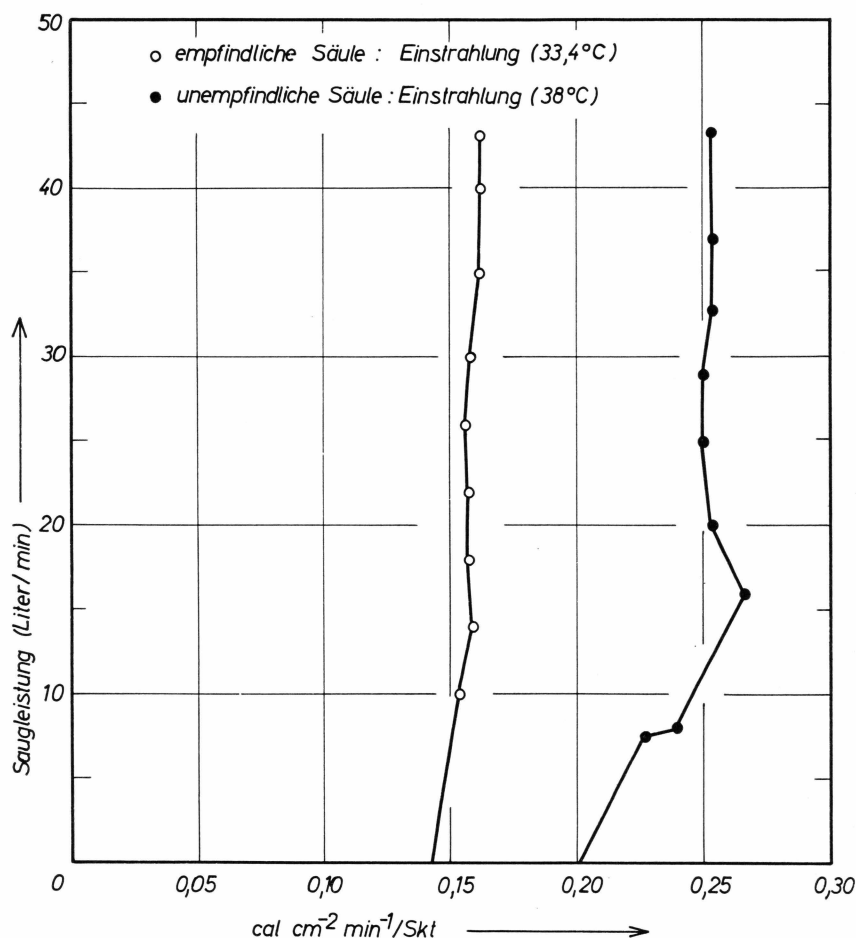


Abb. 12: Abhängigkeit des Eichfaktors für langwellige Strahlung von der Ventilierung der Lupolenhaube.

reihen (6 Serien für Einstrahlung und 4 Serien für Ausstrahlung) bestimmt. Die Temperatur des Eichkörpers wurde zwischen +8° und +50° C variiert. Die mittlere Instrumententemperatur betrug +20° C. Die Werte der Eichfaktoren sind in **Tab. 7** zusammengestellt. Die Unsicherheit der Angabe aus der graphischen Ermittlung der besten Geraden ist für beide Säulen kleiner als +5 %.

e. Haubenvergleich im langwelligen Spektralbereich.

Während der Feldmessung wurde die Lupolenhaube an der nach unten gerichteten Säule bei *kurzwelliger* Strahlung zur Probe ausgewechselt. Es konnte kein Unterschied in der Empfindlichkeit der An-

ordnung festgestellt werden. Labormessungen zeigen, daß sich im *langwelligen* Spektralbereich bei gewissen Hauben gut meßbare Unterschiede ergeben.

Da im Feld am 27.6.1959 an der unempfindlichen Säule Haube A gegen Haube B ausgetauscht werden mußte, wurde im langwelligen Spektralbereich ein Vergleich dieser zwei Hauben durchgeführt. Aus 8 Einzelmessungen im Labor ergibt sich ein mittlerer Unterschied der Empfindlichkeit von 7 %. Für die unempfindliche Säule erhält man mit Haube B damit bei $+1^{\circ}\text{C}$ den Eichfaktor $0,1255\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}/\text{Skt.}$

Die empfindliche Säule des Lupolengerätes mit Haube C ist für langwellige Strahlung um 12 % empfindlicher als für kurzwellige isotrope Strahlung. Bei der unempfindlichen Säule ergibt sich mit Haube A im Eichfaktor kein Unterschied zwischen langwelliger und kurzwelliger isotroper Strahlung. Bei Verwendung von Haube B über der unempfindlichen Säule ist die Anordnung für langwellige Strahlung um 7 % empfindlicher als für kurzwellige isotrope Strahlung.

f. Zur Ermittlung des Eichfaktors aus spektralen Durchlässigkeitsmessungen des Lupolens.

Das Eichergebnis im langwelligen Spektralbereich kann aus den von H. J. BOLLE und R. FLEISCHER (1954) veröffentlichten Kurven über die spektrale Durchlässigkeit des Lupolens nicht verstanden werden. Aus den spektralen Durchlässigkeitskurven müßte folgen, daß die Anordnung für Temperaturstrahlung von $273,2^{\circ}\text{K}$ wesentlich unempfindlicher ist als im kurzwelligen Spektralbereich.

Die Durchlässigkeit der verwendeten Lupolenhauben wurde deshalb im kurzwelligen Bereich (200–1400 m μ) mit Hilfe eines Zeiss-Spektrometers und im langwelligen (2,5–15 μ) mit Hilfe eines Perkin-Elmer-Spektrographen neu aufgenommen¹⁾.

Für den Bereich 1400 bis 1800 m μ wurde eine konstante Durchlässigkeit von 80 % angenommen. Die Art der Extrapolation der Lupolendurchlässigkeit im Bereich $\lambda > 15\mu$ ist für die Betrachtung bedeutungslos, weil die Eichung im Temperaturbereich $+8^{\circ}$ bis $+50^{\circ}\text{C}$ durchgeführt wurde. Die Beträge der Strahlungsenergie für $\lambda > 15\mu$ können in erster Näherung vernachlässigt werden. Es genügt, in diesem Bereich mit einer konstanten Durchlässigkeit (83 %) zu rechnen. Abb. 13 und 14 zeigen die spektrale Durchlässigkeit der Haube A. Für Haube C ergibt sich im kurzwelligen Teil genau dieselbe Durchlässigkeit wie für Haube A.

¹⁾ Herrn DDr. BENDER und Herrn Dr. SCHNELL danke ich für die freundliche Bereitstellung der Apparate.

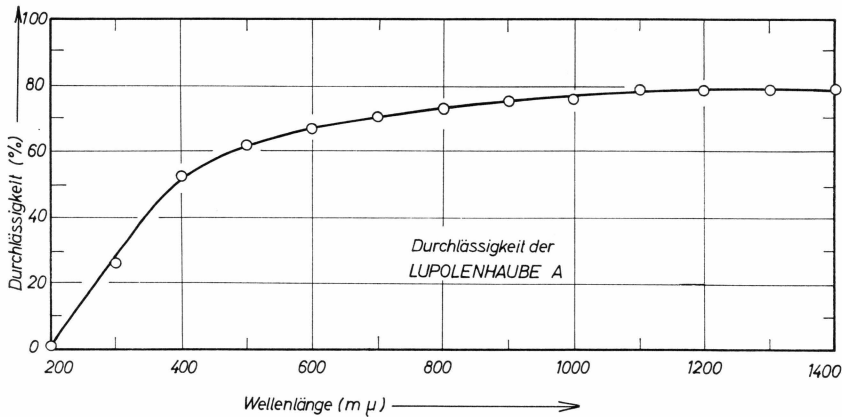


Abb. 13: Die spektralen Durchlässigkeitswerte (%) der Lupolenhaube A im Bereich 200–1400 mμ. Messung mit Hilfe eines Zeiss-Spektrographen. Haube C liefert dieselben Durchlässigkeitswerte.

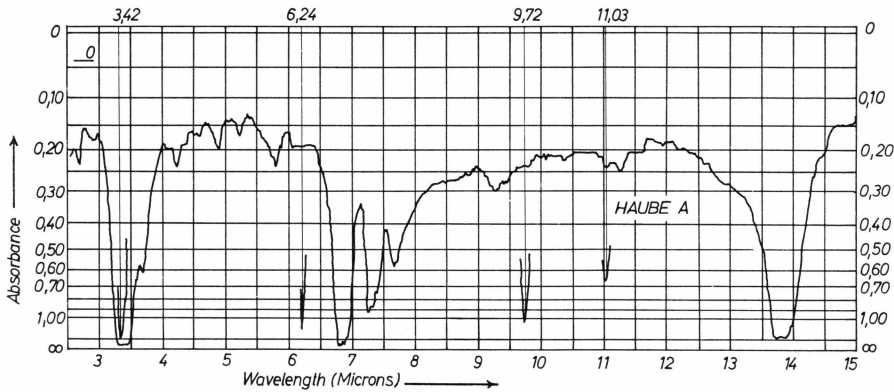


Abb. 14: Registrierung der spektralen Durchlässigkeitswerte der Lupolenhaube A im Bereich 2,5–15 μ mit Hilfe eines Perkin-Elmer-Spektrographen. Für die Ordinate (A) gilt: $A = 2 - \log T$, wobei T der Quotient (%) von durchgehender und einfallender Strahlungsenergie ist.

Das Extinktionsvermögen der Haube ist aus Messungen mit dem Spektrographen im kurzwelligen Bereich wesentlich größer als auf Grund der von H. J. BOLLE und R. FLEISCHER (1954) veröffentlichten Durchlässigkeitskurven angenommen werden kann, stimmt jedoch mit den von H. LOSSNITZER (1959) mitgeteilten Werten sehr gut überein.

Die von der Lupolenhaube durchgelassene Strahlungsenergie wurde als Prozentsatz der einfallenden Energie im kurz- und langwelligen Bereich ermittelt, wobei im kurzwelligen Bereich die Energieverteilung des terrestrischen Sonnenspektrums nach HANN-SÜRING und im langwelligen Bereich einmal die Temperaturstrahlung eines Schwarzen Körpers von 287° K (J. C. JOHNSON, 1954) und ein zweites Mal die Energieverteilung

der atmosphärischen Gegenstrahlung für 1 cm ppt Wasser nach G. S. CALLENDAR (1941) angenommen wurde. **Abb. 15, 16, 17** zeigen die Energieverteilungen vor und nach Durchstrahlen der Lupolenhaube.

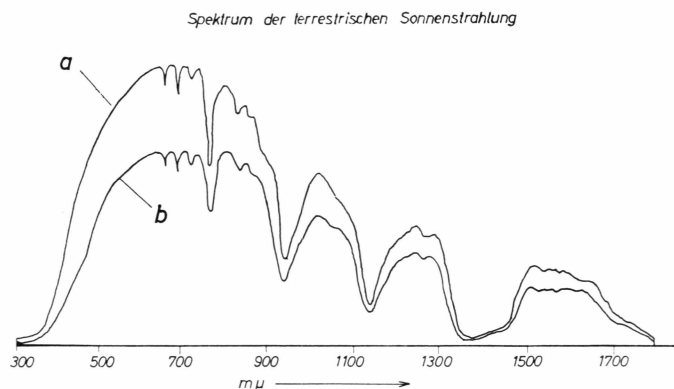


Abb. 15: Die Energieverteilung des Sonnenspektrums (a) vor und (b) nach Durchstrahlung der Lupolenhaube.

Durch Planimetrieren der Kurven a und b findet man die prozentuelle Schwächung des Spektrums im kurz- und langwelligen Bereich. Die Ergebnisse sind in **Tab. 8** zusammengestellt. Es wird bestätigt, daß die

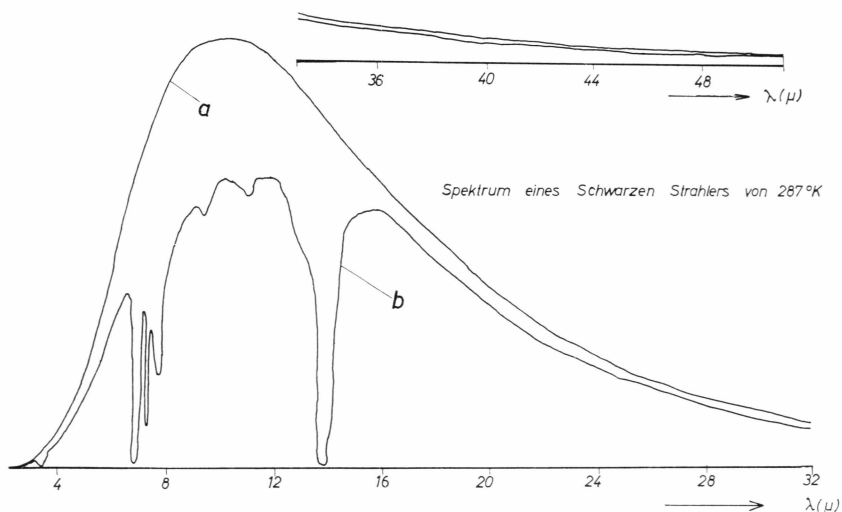


Abb. 16: Die Energieverteilung eines Temperaturstrahlers von 287° K (a) vor und (b) nach Durchstrahlen der Lupolenhaube.

verwendeten Lupolenhauben für die Energieverteilung des terrestrischen Sonnenlichtes und für die Temperaturstrahlung eines Schwarzen Körpers von 287° K etwa gleich durchlässig sind. Das Ergebnis kann jedoch

nur als relative Messung der Extinktion im kurz- und langwelligen Bereich gewertet werden, da der absolute Betrag des gemessenen Extink-

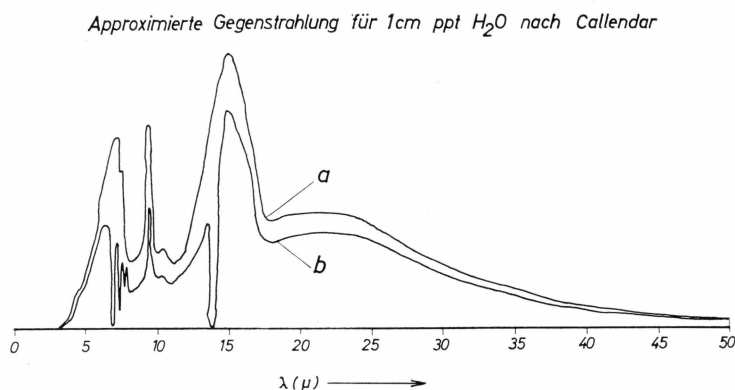


Abb. 17: Die Energieverteilung der atmosphärischen Gegenstrahlung bei 1 cm ppt Wasser (a) vor und (b) nach Durchstrahlen der Lupolenhaube.

tionskoeffizienten wahrscheinlich von der Apertur des Spektrographen abhängt.

Die Berechnung zeigt ferner, daß bei geänderten Annahmen über die spektrale Energieverteilung im langwelligen Bereich (Temperaturstrahlung 287°K und atmosphärische Gegenstrahlung) etwa dieselben Durchlässigkeitswerte resultieren. Daraus ist zu schließen, daß die spektrale Energieverteilung der atmosphärischen Gegenstrahlung praktisch ohne Einfluß auf das Ergebnis bleibt.

g. Zusammenfassung.

Das Ergebnis der Eichungen im langwelligen Spektralbereich kann in zwei Punkten zusammengefaßt werden:

Erstens ist das Lupolengerät bei nicht ventilierter Haube für langwellige Strahlung bis zu 25 % empfindlicher als für kurzwellige isotrope Strahlung. Durch Ventilation der Lupolenhaube wird der Unterschied der Empfindlichkeit stark vermindert. Er beträgt 0–12 % (vgl. Tab. 7).

Zweitens zeigt ein Vergleich der verwendeten Lupolenhauben einen Unterschied in der Durchlässigkeit für langwellige Strahlung bis zu 7 % (vgl. Tab. 7).

7. METHODE UND GENAUIGKEIT DER AUSWERTUNG

a. Einleitung.

Die Berücksichtigung sämtlicher Eichergebnisse führt zu folgenden Konsequenzen:

1. Die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors muß bei direkter Sonne berücksichtigt werden, wenn die Stundensumme genauer als $4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ sein soll.

2. Eine Planimetrierung der Registrierkurve ist für Zeiträume mit direkter Sonne nicht möglich, weil damit die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors nicht berücksichtigt wird. Dasselbe gilt für jede ausschlagsummierende elektronische Auswertung der Galvanometeranzeige.

3. Der Ausschlag des Lupolengerätes muß in einen langwelligen und kurzwelligen Anteil aufgespaltet werden, da im allgemeinen der Eichfaktor für langwellige Strahlung nicht denselben Wert besitzt wie für kurzwellige isotrope Strahlung.

4. Es ist grundsätzlich nicht möglich, mit der benützten Anordnung die kurzwellige Strahlungsbilanz oder Gesamtstrahlungsbilanz zu registrieren, da sich der Eichfaktor für die nach oben gerichtete Säule mit der Sonnenhöhe ändert und der Eichfaktor für die nach unten gerichtete Säule von der Sonnenhöhe unabhängig ist. Bei Registrierungen der Gesamtstrahlungsbilanz ist noch ein Fehler durch unterschiedliche Werte des Eichfaktors für kurz- und langwellige Strahlung zu berücksichtigen.

5. Bei exakten Albedobestimmungen muß bei direkter Sonne berücksichtigt werden, daß für die nach oben und unten gerichtete Stellung der Thermosäule verschiedene Eichfaktoren gelten.

b. Solarimeter.

Korrekturen: Die gemessenen Strahlungsenergien werden in Stundensummen nach wahrer Sonnenzeit angegeben. Es werden folgende Reduktionen angebracht:

1. Korrektur des Uhrenganges (Zeitmarken).
2. Ermittlung der wahren Sonnenzeit (mittlere Ortszeit, Zeitgleichung).

3. Ablesung des Ausschlags und Nullpunktes auf einer dem Thermostrom proportionalen Skala.
4. Multiplikation des so gefundenen Ausschlags mit dem Eichfaktor ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$).

Angabe des Eichfaktors: Der Eichfaktor hängt von der Instrumententemperatur, von der Sonnenhöhe und dem Azimutalwert der Anstrahlung ab. Es ist nur in zwei Fällen möglich, den Eichfaktor mit einer der Aktinometermessung entsprechenden Genauigkeit anzugeben: bei wolkenlosem Himmel und bei diffuser Strahlung. Alle anderen Bewölkungsgrade erzeugen eine undefinierbare, oft rasch wechselnde räumliche Verteilung der Strahlungsintensität, für die der Eichfaktor unbekannt ist.

Bei Bestrahlung der Thermosäule mit direkter Sonne während des ganzen Stundenintervalles wurde der Eichfaktor aus der Eichkurve (Abb. 1) entnommen. Zur Ermittlung der Sonnenhöhe für ein bestimmtes Stundenintervall wurde der gesamte Zeitabschnitt der Registrierung in vier Perioden unterteilt (3.6.–26.6., 27.6.–18.7., 19.7.–30.7., 31.7.–8.8. 1959). Für jeden Abschnitt wurde die Sonnenhöhe und damit auch der Eichfaktor für direkte Strahlung in Abhängigkeit von der wahren Sonnenzeit tabelliert, indem für eine Periode die Sonnendeklination konstant angesetzt wurde. Für Vormittags- und Nachmittagswerte wurden getrennte Eichkurven benützt. Die Sonnenhöhen wurden für diesen Zweck nicht berechnet, sondern aus Aktinometermeßserien entnommen.

In allen anderen Fällen (diffuse gleichmäßige Strahlung, rasch wechselnde Strahlung mit kleinen oder großen Intensitätsamplituden) wurde der nach der Methode von G. H. LILJEQUIST (1956a) ermittelte Eichfaktor für isotrope Strahlung angewendet. Nur in wenigen Fällen, in denen in einem Stundenintervall zur Hälfte direkte Sonne und wechselnde Bestrahlung vorhanden war, wurde der Mittelwert aus dem Eichwert für diffuse isotrope Strahlung und direkter Strahlung verwendet. Als Grundlage zur Beurteilung der Art der Strahlung in einem bestimmten Stundenintervall wurde die registrierte Kurve genommen.

Ferner wurde für den Eichfaktor eine Temperaturkorrektur angebracht. Die Instrumententemperatur des Solarimeters wurde gleich der registrierten Temperatur des Lupolengerätes gesetzt. Die Temperaturkorrektur enthält die Temperaturabhängigkeit der Strahlungsempfindlichkeit ($\text{EMK pro cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$) mit 1,7 % pro 10° C und die Widerstandsänderung des Kreises mit 1,1 % pro 10° C (vgl. Abschnitt »Die Eichfaktoren für gerichtete kurzwellige Strahlung«).

Für das nach unten gerichtete Solarimeter G18–1038 wurde konsequent der für diffuse isotrope Strahlung gültige Wert verwendet.

Durch Ausfall eines Schreibers vom 3.6. bis 25.7.1959 war es notwendig, eine Meßstelle des Sechsfarbenschreibers während des Nachtabschnittes kurzzuschließen, um eine Nullpunktskontrolle der Registrierung des Lupolengerätes zu haben. Für diese Nullpunktskontrolle wurde die für die reflektierte Globalstrahlung vorgesehene Meßstelle benützt. Der Betrag der reflektierten Globalstrahlung kann demnach vom 3.6. bis 25.7.1959 nur während des Tagabschnittes von etwa 7 Uhr bis 21 Uhr angegeben werden.

Einfluß der Sonnenhöhe: Bei Nichtbeachtung der Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe können beachtliche Fehler in der Stundensumme und in der Tagessumme der Strahlungsenergie entstehen. **Tab. 9a** gibt dazu eine Zusammenstellung. Für einen wolkenlosen Tag (6.6.1959) wurden die Stundensummen der Globalstrahlung unter Verwendung des Eichfaktors für isotrope Strahlung errechnet und die Differenz zum exakten Wert ermittelt. Die maximale absolute Differenz erscheint im Stundenintervall 19–20 Uhr und beträgt $4,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Soll die Stundensumme der Globalstrahlung genauer als $4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ sein, dann ist die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe unbedingt zu berücksichtigen.

Für einen wolkenlosen Tag kann auch jener Eichfaktor ermittelt werden, der die exakte Tagessumme der Globalstrahlung liefert. Der so ermittelte Eichfaktor ist jedoch nur für Tage mit ununterbrochener direkter Sonne anwendbar und bei nur einem Wert der Sonnendeklination gültig. **Tab. 9b** zeigt, daß die Stundensummen auch in diesem Falle einen Fehler bis zu $4,2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ erreichen.

c. Genauigkeit der Stundensummen der Globalstrahlung.

Es ist schwierig, eine Abschätzung des Fehlers für die Stundensumme der Globalstrahlung zu geben. Es muß genügen, die Fehlermöglichkeiten anzuführen:

1. Der Fehler der Bestimmung des Stundenmittelwertes des Skalenausschlages aus nur 10 bis 20 gedruckten Punkten. Dieser Fehler ist bei stark wechselnder Bewölkung besonders groß. Eine obere Grenze für diesen Fehler läßt sich kaum angeben. Allerdings kann erwartet werden, daß er sich bei Bildung der Tagessumme weitgehend aufhebt.

2. Der Einstellfehler des Drehspulinstrumentes kann mit $\pm 1 \%$ des Vollausschlages angenommen werden. Das entspricht $\pm 0,8 \%$ $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, unabhängig vom Wert der Globalstrahlung.

3. Der Fehler zufolge des Nullpunktganges des Schreibers (Horizontierung) und des Nullpunktganges der Thermosäule kann mit Punkt 2

zusammengefaßt werden und wird den dort angegebenen Fehler nicht übersteigen.

4. Der Fehler, der durch falsche Festlegung des Eichfaktors (isotrope Strahlung oder direkte Strahlung) entsteht, kann maximal $4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ erreichen. Er wird jedoch in den meisten Fällen kleiner als $1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ sein, wenn für jedes Stundenintervall der Charakter der Strahlungsverhältnisse untersucht und der diesen Verhältnissen entsprechende Eichfaktor verwendet wurde.

5. Der Fehler zufolge eines Kondensationsbeschlages der Haube. Diesbezüglich waren die Verhältnisse an der Meßstelle äußerst günstig, da sehr selten Reif- oder Kondensationsbelag auftrat. Der Fehler selbst kann allerdings nur schwer abgeschätzt werden und mit Punkt 4 zusammengefaßt werden. Das Vorzeichen dieses Fehlers kann positiv oder negativ sein.

6. Der Fehler der Temperaturkorrektur kann vernachlässigt werden, weil die Temperaturkorrektur selbst klein ist und nur Temperaturunterschiede bis zu 15° C vorkommen.

7. Der Fehler zufolge eines nicht genauen Eichfaktors des Aktinometers und der Streuung der Eichpunkte in der Eichkurve (Abb. 1) kann ebenfalls vernachlässigt werden.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß der Hauptfehler von unkontrollierbaren Effekten stammt und die Angabe der Stunden-summe für die Globalstrahlung auf Zehntel $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ nur bei sorgfältiger Anwendung sämtlicher Korrekturen sinnvoll erscheint.

d. Zur Berechnung der Albedo.

Die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe muß bei genauen Albedoangaben berücksichtigt werden, auch wenn zur Albedomessung nur eine Thermosäule verwendet wird, mit der durch Drehen die einfallende und reflektierte Globalstrahlung gemessen wird. Nur bei isotroper Strahlung gilt für beide Stellungen der Thermosäule derselbe Eichfaktor. Dabei wird von Störungen durch verschiedene Konvektionsbedingungen über der Thermosäule bei gedrehter Säule abgesehen.

Abb. 18b enthält das Verhältnis der Eichfaktoren $f(h)/f_{\text{isotrop}}$ für das Solarimeter G18-1012. Bei Sonnenhöhen zwischen 55 und 25° ist die Abweichung des Quotienten vom Wert eins kleiner als 5% . Es ist anzunehmen, daß das tragbare Solarimeter, mit dem Albedowerte an verschiedenen Ablationsmeßstellen ermittelt wurden, etwa dieselben Eigenschaften besitzt, wie das Solarimeter G18-1012. Die Inhomogenitäten der Gletscheroberfläche werden in diesem Falle eine genaue Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors er-

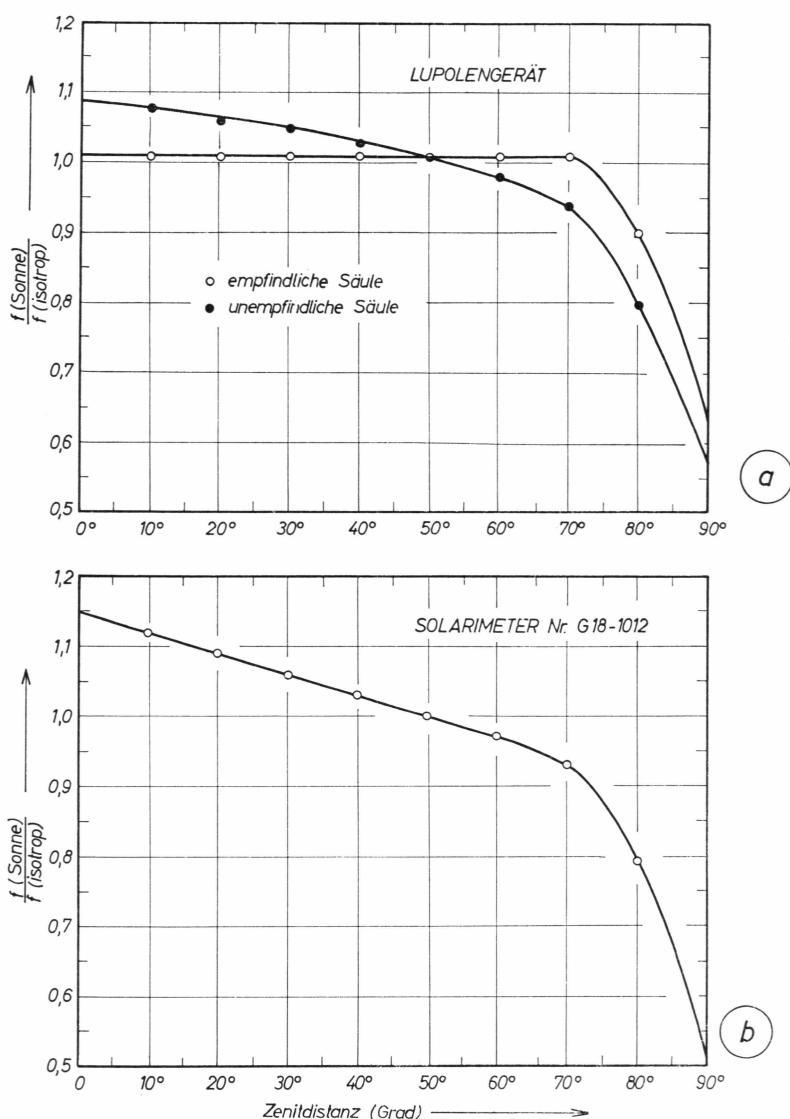


Abb. 18: Der Quotient des Eichfaktors ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}/\text{Skt}$) für direkte Sonne und des Eichfaktors für isotrope Strahlung in Abhängigkeit von der Zenitdistanz der Sonne. Die Eichkurven für Vormittags- und Nachmittagswerte wurden gemittelt.

a) Lupolengerät, beide Thermosäulen. b) Solarimeter G18-1012.

übrigen. Bei sehr tiefen Sonnenständen sind die Messungen auch wegen des geringen Ausschlages ungenauer.

Für die Albedoangaben aus den Registrierungen wurde jedoch die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors konsequent berücksichtigt.

e. Lupolengerät, Komponentenzerlegung.

Bei der Auswertung der Anzeige des Lupolengerätes wurden folgende Punkte berücksichtigt:

Erstens unterscheidet sich der Eichfaktor für die langwellige Strahlung im allgemeinen vom Eichfaktor für kurzwellige Strahlung und

zweitens muß der Eichfaktor für kurzwellige Strahlung noch die Art der kurzwelligen Strahlung, direkte Sonne oder diffuse Strahlung, berücksichtigen.

Es ist demnach grundsätzlich nicht möglich, die gewünschte Strahlungsgröße durch Multiplikation des Skalenwertes mit nur *einem* Eichfaktor des Lupolengerätes zu ermitteln. Nur im speziellen Fall, daß der Eichfaktor für den kurzwelligen und langwelligen Bereich denselben Wert besitzt und der kurzwellige Eichfaktor unabhängig von der Sonnenhöhe ist, kann die Gesamtstrahlungsbilanz der Thermosäule ($Q_0 - \sigma T_i^4$) durch einfache Multiplikation des Skalenwertes mit einem einheitlichen Eichfaktor ermittelt werden. In allen anderen Fällen ist es unerläßlich, den registrierten Ausschlag in den kurzwelligen und langwelligen Beitrag aufzuspalten. Jeder Beitrag wird mit dem entsprechenden Eichfaktor multipliziert und ergibt getrennt die kurzwellige und langwellige Strahlungsenergie.

Die Zerlegung des registrierten Ausschlages in die beiden Beiträge ist nur möglich, wenn gleichzeitig eine Registrierung der Globalstrahlung vorliegt.

Die Berechnung der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule erfolgt dann nach der Formel:

$$E_{\text{LW}} = (s_{\text{Sol}} \frac{f_{\text{Sol}}}{f_{\text{KW}}} - s_{\text{Lu}}) f_{\text{LW}} \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}.$$

Darin bedeutet E_{LW} die langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule ($A - \sigma T_i^4$ bzw. $E - \sigma T_i^4$), s_{Sol} den registrierten Ausschlag des Solarimeters, f_{KW} den Eichfaktor des Lupolengerätes für kurzwellige Strahlung, f_{Sol} den Eichfaktor des Solarimeters, s_{Lu} den registrierten Ausschlag des Lupolengerätes und f_{LW} den Eichfaktor des Lupolengerätes für langwellige Strahlung.

Sämtliche Eichfaktoren hängen von der Instrumententemperatur ab und die Eichfaktoren für kurzwellige Strahlung noch zusätzlich von der Sonnenhöhe, Strahlungsart und dem Azimutalwert der Anstrahlung (Vormittags- oder Nachmittagswert).

Die Auswertung wird nun in folgende Schritte zerlegt:

1. Der registrierte Skalenwert des Solarimeters sei bereits bekannt.
2. Dieser Wert wird mit dem Quotienten $f_{\text{Sol}}/f_{\text{KW}}$ multipliziert. Der Quotient muß vorher auf Temperatur, Strahlungsart (direkte Sonne oder isotrope Strahlung) und Azimut (Vormittags- oder Nachmittagswert) korrigiert werden. Das Ergebnis ist ein errechneter Skalenwert, der sich am Lupolengerät bei fehlender langwelliger Strahlung einstellen würde.

3. Zu diesem errechneten Skalenwert wird die Differenz zum registrierten Skalenwert am Lupolengerät gebildet. Dieser Differenzwert entspricht einem langwelligen Strahlungsstrom und wird mit dem Eichfaktor für langwellige Strahlung, der auf die herrschende Instrumententemperatur korrigiert ist, multipliziert.

4. Die langwellige, auf die Thermosäule einfallende Strahlungsenergie (atmosphärische Gegenstrahlung, langwellige Ausstrahlung der Gletscheroberfläche) ergibt sich dann durch Addition von σT_i^4 .

Diese Art der Auswertung wurde für die nach oben und nach unten gerichtete Thermosäule durchgeführt.

5. Die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche wird durch Differenzbildung der langwelligen Strahlung, die auf die obere und untere Säule einfällt, berechnet. Die langwellige Eigenstrahlung der Säule (σT_i^4) hebt sich dabei auf.

Als Beispiel ist in **Tab. 10** die Auswertung für den 6.6.1959 zusammengestellt.

f. Die Instrumententemperatur.

Die Vergleichslötstelle des thermoelektrischen Temperaturfühlers für die Instrumententemperatur des Lupolengerätes wurde zu Beginn der Meßperiode etwa zwei Meter tief in das Eis eingesetzt. Die Temperatur der Vergleichslötstelle konnte mit Hilfe eines Kupfer-Konstantan Thermoelementes und Spiegelgalvanometers (A 70, Kipp & Zonen, Delft) etwa ein- bis zweimal wöchentlich gemessen werden. Der Eichfaktor des Thermoelementes und des Temperaturfühlers wurde als Funktion der Temperatur ermittelt. Dazu wurde dieselbe Methode benützt, die im Abschnitt »Eistemperaturen« beschrieben ist. Die Genauigkeit der Messung der Instrumententemperatur des Lupolengerätes kann mit $\pm 0,1^\circ \text{C}$ angegeben werden. Dieser Fehler wird durch die Ableseungenauigkeit am Galvanometer und die Unsicherheit der Interpolation zwischen den einzelnen Meßtagen verursacht. Der Einstellfehler des Schreibers und die Unsicherheit des Eichfaktors kann vernachlässigt werden. In **Abb. 19** ist der zeitliche Temperaturverlauf der im Eis eingebohrten Vergleichslötstelle des Temperaturfühlers wiedergegeben.

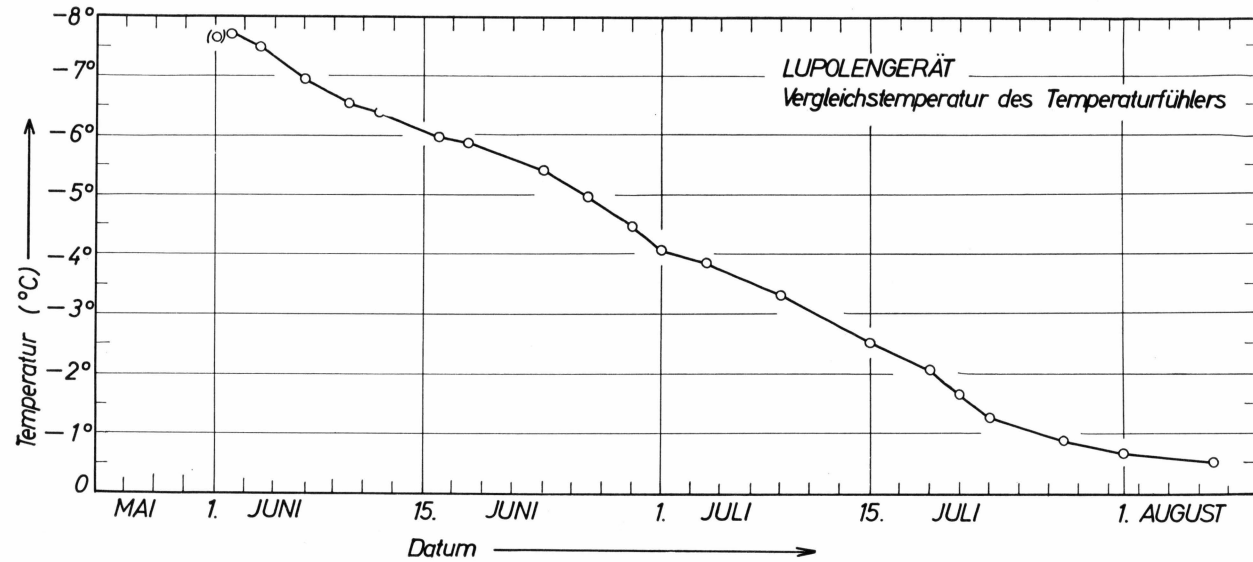


Abb. 19: Die Veränderung der Vergleichstemperatur des Temperaturfühlers zur Messung der Temperatur des Lupolen-gerätes. Die Temperatur der Vergleichslötstelle wurde mit Hilfe eines Thermoelementes gegen 0°C gemessen.

g. Genauigkeitsbetrachtungen zur Berechnung der langwelligen Strahlungsenergie.

Einfluß der Ungenauigkeiten der Eichfaktoren und der Skalenwerte:

Es wird angenommen, daß für die Bestimmung der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche alle Meßgrößen (Skalenwerte und Eichfaktoren) mit 1% Genauigkeit bekannt sind. Bei Differenzbildung sollen sich die Fehler addieren. Der Eichfaktor für langwellige Strahlung wird als fehlerfrei angenommen. Die Ermittlung der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche erfolgt nach der Formel:

$$A - E = E_{LW\ o} - E_{LW\ u} \quad \text{wobei}$$

$$E_{LW\ o} = (s_{Sol\ o} f_{Sol\ o} / f_{KW\ o} - s_{Lu\ o}) f_{LW\ o}$$

$$\text{und} \quad E_{LW\ u} = (s_{Sol\ u} f_{Sol\ o} / f_{KW\ u} - s_{Lu\ u}) f_{LW\ u} \text{ ist.}$$

Darin bedeutet E_{LW} die langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule, s registrierte Skalenteile, f_{Sol} den Eichfaktor des Solarimeters, f_{KW} den Eichfaktor des Lupolengerätes für kurzwellige Strahlung und f_{LW} für langwellige Strahlung. Die Indizes o und u bedeuten oben und unten.

Fehlerabschätzung für mittlere Bedingungen:

Die am 31.7.1959 gemessenen Werte eignen sich zur Fehlerabschätzung, weil es sich um einen ungestörten, wolkenlosen Strahlungstag mit vollständiger Registrierung sämtlicher Strahlungswerte handelt. An diesem Tag war die empfindliche Säule des Lupolengerätes nach unten und die unempfindliche Säule nach oben gerichtet.

Der mittlere Stundenmittelwert für

$$s_{Sol\ o} \frac{f_{Sol\ o}}{f_{KW\ o}}$$

der nach oben gerichteten Säule des Lupolengerätes ergibt 205 ± 6 Skalenteile und für $s_{Lu\ o}$ 153 ± 2 Skalenteile. Ein einzelner Differenzwert von

$$s_{Sol\ o} \frac{f_{Sol\ o}}{f_{KW\ o}} - s_{Lu\ o}$$

wird somit im Mittel um ± 8 Skalenteile falsch sein. Dies entspricht einem Fehlbetrag von $\pm 1,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Genau dieselben Überlegungen führen für die nach unten gerichtete Säule des Lupolengerätes zum Ergebnis, daß

$$s_{Sol\ u} \frac{f_{Sol\ u}}{f_{KW\ u}}$$

bei einem mittleren Betrag von 170 Skalenteilen um ± 5 Skalenteile und $s_{Lu u}$ bei einem mittleren Betrag von 161 Skalenteilen um ± 2 Skalenteile falsch ist. Der Differenzbetrag

$$s_{Sol u} \frac{f_{Sol u}}{f_{KW u}} - s_{Lu u}$$

mit einem Wert von 9 Skalenteilen ergibt einen Fehler von ± 7 Skalenteilen. Das entspricht $\pm 0,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche kann damit im Mittel um $\pm 1,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ falsch sein.

Ein Vergleich mit der Auswertung zeigt, daß die mittlere Abweichung der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche, berechnet nach

$$\bar{v} = \frac{\sum |v_i|}{n}$$

etwa $\pm 0,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ beträgt.

Diese Abschätzung soll zeigen, daß bereits bei Annahme eines Fehlers für die Meßgrößen von nur 1 % die bei den Werten der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche auftretende Streuung erklärt werden kann.

Fehlerabschätzung für Extremfälle:

Erweitert man diese Fehlerabschätzung für die langwellige Strahlungsbilanz auf die Extremfälle von maximaler Globalstrahlung und vollständiger Dunkelheit, dann erhält man für die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche folgende Fehler: Bei maximaler Globalstrahlung (31.7.1959, 12–13 Uhr) ergibt sich für die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche ein größter Fehler zu $\pm 3,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Bei vollständiger Dunkelheit beträgt der Fehler wegen der ursprünglichen Annahme von $\pm 1 \%$ für den Ausschlag nur $0,05 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Damit ist numerisch gezeigt, daß der absolute Fehler bei der Berechnung der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche für Tagesabschnitte mit Globalstrahlung etwa um zwei Zehnerpotenzen größer sein kann als bei Dunkelheit.

In Tab. 11 sind die oben erwähnten Fehler für die langwelligen Strahlungsströme bei verschiedenen Bedingungen zusammengestellt.

Zur Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors bei der Ermittlung der langwelligen Strahlungsenergie:

Im folgenden wird gezeigt, wie groß der Fehler bei der Berechnung der langwelligen Strahlungsenergie ist, wenn die Abhängigkeit des Eich-

faktors von der Sonnenhöhe für kurzwellige Strahlung nicht berücksichtigt wird.

Die von der Thermosäule des Lupolengerätes unmittelbar angezeigte Energie (E_{Lu}) kann in folgender Form dargestellt werden:

$$E_{Lu} = Q - \sigma T_i^4.$$

Die Energie E_{Lu} wird als »Gesamtstrahlungsbilanz der Thermosäule« bezeichnet. Für die nach oben und unten gerichtete Säule erhält man:

$$E_{Lu\ o} = G + A - \sigma T_i^4 = G + E_{LW\ o}$$

$$E_{Lu\ u} = R + E - \sigma T_i^4 = R + E_{LW\ u}.$$

Darin wurde die Bezeichnung von oben übernommen.

Ein Fehler im Betrag der Gesamtstrahlungsbilanz der Thermosäule E_{Lu} pflanzt sich mit dem absoluten Betrag in den Wert der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule und der langwelligen Ein- bzw. Ausstrahlung fort.

Zum Zweck einer übersichtlichen Abschätzung soll folgende Darstellung eingeführt werden:

$$G(\text{exakt}) = G(f_i) + k_1 G(f_i) \quad k_1 = \frac{\Delta f_1}{f_i}$$

$$E_{Lu}(\text{exakt}) = E_{Lu}(f_i) + k_2 E_{Lu}(f_i) \quad k_2 = \frac{\Delta f_2}{f_i}$$

$$\text{und} \quad G(\text{exakt}) + E_{LW}(\text{exakt}) = E_{Lu}(\text{exakt}).$$

Δf ist die Differenz des exakten Eichfaktors unter Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit zum Eichfaktor f_i für isotrope Strahlung. (f_i) bedeutet, daß die betreffende Strahlungsenergie unter Verwendung des für isotrope Strahlung gültigen Eichfaktors ermittelt wurde. Die Faktoren k_1 und k_2 sind dimensionslos. k_1 ist eine Funktion der Zenitdistanz der Sonne. Der Betrag hängt vom Verlauf der Eichkurve ab (vgl. Abb. 18). Die übrige Bezeichnung wurde von oben übernommen.

Zur Vereinfachung der Interpretation von k_2 sei angenommen, daß für langwellige Strahlung derselbe Eichfaktor gilt wie für kurzwellig gerichtetes Licht. Diese Voraussetzung bedeutet keine Einschränkung für die Gültigkeit der folgenden Abschätzung, wenn die Ungleichung $G \gg E_{LW}$ erfüllt ist. Nur auf solche Fälle soll die Abschätzung angewendet werden. Damit hat k_2 die entsprechende Bedeutung wie k_1 .

Unter Verwendung der am Anfang eingeführten Gleichungen ergibt sich für den Betrag der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule E_{LW} :

$$E_{LW}(\text{exakt}) = E_{Lu}(f_i) + k_2 E_{Lu}(f_i) - G(f_i) - k_1 G(f_i).$$

Man kann zur Diskussion dieser Gleichung zwei Extremfälle unterscheiden:

Erstens: Bei gleichem relativen Verlauf der Eichkurve des Solarmeters und des Lupolengerätes ist $k_1 = k_2$ für alle Sonnenhöhen erfüllt. Für $E_{Lu} \sim G$ heben sich die Korrekturglieder in obiger Gleichung auf. Der Betrag der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule (E_{LW}) ist damit in erster Näherung von den Koeffizienten k_1 und k_2 unabhängig und kann unter Verwendung der Eichfaktoren für isotrope Strahlung ermittelt werden.

Zweitens: Wenn nur *eine* der beiden Eichkurven (Solarimeter oder Lupolengerät) eine Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe zeigt, ist $k_1 = 0$ und $k_2 \neq 0$, oder umgekehrt. In diesem Fall überträgt sich der Fehler $k_2 E_{Lu} (f_i)$ mit demselben Betrag auf die langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule E_{LW} .

Beide Extremfälle werden am verwendeten Lupolengerät als Näherung angetroffen. Die Eichkurve der unempfindlichen Säulen entspricht dem Fall $k_1 \sim k_2$ und der empfindlichen Säule dem Fall $k_1 \neq 0$, $k_2 = 0$.

Eine explizite Berechnung der Fehler der Strahlungsströme mit und ohne Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors für die zwei charakteristischen Fälle ergibt folgendes Bild:

Für den ersten Fall: Unempfindliche Säule, $k_1 \sim k_2$.

Aus **Tab. 12** und **13** ist ersichtlich, daß der größte Fehler der Gesamtstrahlungsbilanz der Säule E_{Lu} im Stundenintervall 19–20 Uhr mit $-3,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ auftritt. Der größte Fehler der langwelligen Strahlungsbilanz der Säule E_{LW} beträgt im Stundenintervall 11–12 Uhr $+1,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Für den zweiten Fall: Empfindliche Säule, $k_1 \neq 0$, $k_2 = 0$.

Aus **Tab. 12** und **13** ist ersichtlich, daß in diesem Fall der Fehler der Gesamtstrahlungsbilanz der Säule E_{Lu} mit $+1,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ im Stundenintervall 12–13 Uhr kleiner ist als der Fehler der langwelligen Strahlungsbilanz der Säule E_{LW} mit $4,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ im Stundenintervall 18–19 Uhr.

Es zeigt sich damit, daß bei der Berechnung der Stundensumme der Gesamtstrahlungsbilanz und langwelligen Strahlungsbilanz der Säule (E_{Lu} bzw. E_{LW}) Fehler über $4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ entstehen können, wenn die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors nicht berücksichtigt wird.

Die in **Tab. 12** angeführten Werte »exakt« für die Gesamtstrahlungsbilanz der Säule E_{Lu} sind Stundensummen, die mit Hilfe der ange-

fürten »Methode der Komponentenzerlegung« ermittelt wurden. Mit den so gewonnenen Werten werden Beträge verglichen, die durch Multiplikation des Skalenwertes des Lupolengerätes mit dem Eichfaktor für isotrope kurzwellige Strahlung gewonnen wurden. Auch die Werte »langwellige Strahlungsbilanz der Säule, exakt« in **Tab. 13** sind mit Hilfe der »Methode der Komponentenzerlegung« berechnet. Sie werden mit jenen Werten verglichen, die sich als Differenz der Globalstrahlung und Gesamteinstrahlung ergeben, die beide durch Anwendung des Eichfaktors für isotrope kurzwellige Strahlung ermittelt wurden.

Der Vergleich der *Tagessummen* in **Tab. 14** ergibt folgendes Bild:

Im ungünstigsten Fall wird die Gesamtstrahlungsbilanz der Säule E_{Lu} bei Nichtberücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors um 4,4 % falsch und die langwellige Strahlungsbilanz der Säule E_{LW} zeigt mit $51,8 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ etwa 49 % Fehler. Für die atmosphärische Gegenstrahlung A ergibt der absolute Fehlbetrag von $51,8 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ einen relativen Fehler von 9,8 %.

Die nach unten gerichtete Säule: Wird zur Auswertung der Registrierung der nach unten gerichteten Säule des Lupolengerätes der Eichfaktor für isotrope kurzwellige Strahlung genommen, dann wird die Stundensumme der Gesamtstrahlung Q_u um jenen Prozentsatz der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule falsch, um den sich der verwendete Eichfaktor vom Eichfaktor für langwellige Strahlung unterscheidet. Das kann einen Fehler des Stundenmittelwertes der Gesamtstrahlung Q_u und der langwelligen Strahlungsbilanz der Säule E_{LW} bis zu $0,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ergeben.

Ein Strahlungsbilanzmesser, der aus zwei vollkommen gleichen Säulen und gleichen Lupolenhauben besteht, kann bei direkter Sonne und »Bilanzregistrierung« einen absoluten Fehler in der Tagessumme der Gesamtstrahlungsbilanz SB bis zu $27,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ergeben. Der Fehler ist unabhängig vom Wert der Gesamtstrahlungsbilanz SB und auf den Umstand zurückzuführen, daß die eine Säule der direkten und die andere der diffusen Bestrahlung ausgesetzt ist. **Tab. 15** enthält den relativen Fehler der Tagessumme der Gesamtstrahlungsbilanz für verschiedene Albedowerte.

Bei den hier ausführlich angeführten Fehlerbetrachtungen sind andere Fehlerquellen (Instrumententemperatur, Azimutaleffekt) bereits eliminiert. Die Fehlbeträge beziehen sich nur auf eine Nichtberücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors für kurzwellige Strahlung.

Bei den *Tagessummen der Strahlungsenergien* in **Tab. 14** zeigt sich:

Bei annähernd gleicher Sonnenhöhenabhängigkeit der Eichfaktoren (Solarimeter und empfindliche Säule des Lupolengerätes) ist der relative

Fehler bei der Bestimmung der Gesamtstrahlungsbilanz der Säule E_{Lu} groß und bei der langwelligen Strahlungsbilanz der Säule E_{LW} klein. Bei unterschiedlicher Sonnenhöhenabhängigkeit der Eichfaktoren (Solarmeter und unempfindliche Säule des Lupolengerätes) kehren sich die Verhältnisse um.

Die Fehlerbetrachtung führt zur Folgerung, daß auch im optimalen Fall bei Verwendung von zwei vollkommen gleichen Thermosäulen und gleichen Lupolenhauben die Gesamtstrahlungsbilanz der Gletscheroberfläche aus den Komponenten Einstrahlung und Ausstrahlung berechnet werden muß. Nur so ist die Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors möglich und eine Angabe der Strahlungsenergien auf $0,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ sinnvoll.

8. DIE WERTE DER STRAHLUNGSENERGIEN¹⁾

a. Die Werte des registrierten Strahlungshaushaltes.

Die Ergebnisse der Auswertung sind in **Tab. 16a–d** als Stundensummen für Globalstrahlung, reflektierte Globalstrahlung, langwellige Einstrahlung und langwellige Ausstrahlung zusammengestellt. Die Stundensummen werden auf $0,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ angegeben. Von den vier angegebenen Strahlungsströmen sind drei von der Meßstelle weitgehend unabhängig. Nur die reflektierte Globalstrahlung kann sich örtlich sehr stark ändern und muß für Energieumsatzbetrachtungen gesondert an verschiedenen Stellen der Oberfläche bestimmt werden. Es ist zweckmäßiger, die Stundensummen der langwelligen Strahlungsströme zu veröffentlichen als die Stundensummen der Gesamtstrahlung, weil bei der langwelligen Strahlung wesentlich kleinere zeitliche Schwankungen auftreten als bei der Gesamtstrahlung. Damit ist eine gute Möglichkeit der Kontrolle für die Genauigkeit der Angaben gegeben. Bei schmelzender Oberfläche müßte z. B. die langwellige Ausstrahlung konstant $27,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ betragen.

Ergebnisse, die durch Interpolation unter sicheren Annahmen gefunden wurden, sind in **Tab. 16a–d** mit einem hochgestellten Kreuz versehen. Die Ergänzung der Angaben wurde zur Vervollständigung des Materials durchgeführt. Die zur Interpolation gemachten Angaben sind im Abschnitt »Berechnung der Strahlungsenergien bei unvollständiger Registrierung« angeführt. Bei fehlenden Angaben in **Tab. 16a–d** ist die Interpolation zu unsicher.

Tab. 17 enthält die Tagessummen der Globalstrahlung, reflektierten Globalstrahlung, langwelligen Einstrahlung, Albedowerte aus Tagessummen, Tagessummen der kurzwelligen Strahlungsbilanz, langwelligen Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz.

Die *vollständige* Registrierung aller Strahlungswerte beginnt am 3.6.1959. Während des Lageraufbaues waren einzelne Strahlungsmeßgeräte bereits angeschlossen. Für den Zeitabschnitt vor dem 3.6.1959 werden jedoch nur die Tagessummen der Strahlungsenergien mitgeteilt. Die Eichfaktoren der Solarimeter, die in diesem Zeitabschnitt an einem anderen Schreiber angeschlossen waren, wurden über die bekannten

¹⁾ Werte der langwelligen Strahlungsströme gelten als vorläufige Angaben.

Widerstandswerte umgerechnet. Die Ergebnisse sind aus diesem Grunde nicht sehr genau. Die Abhängigkeit der Eichfaktoren von der Sonnenhöhe und der Temperatur wurde in diesem Falle nicht berücksichtigt.

b. Berechnung der Strahlungsenergie bei unvollständiger Registrierung.

Das nach unten gerichtete Solarimeter G18-1038 war während des Nachtabschnittes zur Nullpunktskontrolle am Sechsfarbenschreiber vom 3.6. bis 24.7.1959 kurzgeschlossen. Zur Angabe der reflektierten Globalstrahlung für diesen Abschnitt wurden folgende Annahmen gemacht:

1. Für den Zeitabschnitt mit schmelzender Oberfläche (23.6.-8.7. und 11.7.-24.7.1959) wurde angenommen, daß die langwellige Ausstrahlung nach σT^4 den Wert $27,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ hat. Dieselbe Annahme gilt auch für den Zeitabschnitt des direkten Solarimetervergleiches, während beide Solarimeter nach oben gerichtet waren (17.7.-19.7.1959).

Eine Abweichung um 1° C von der angenommenen Oberflächentemperatur ergibt eine um $1,5\%$ ($0,4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) veränderte langwellige Ausstrahlung.

Für einige Stunden am 9.7. und 10.7.1959 wurde die Oberflächentemperatur aus der registrierten Lufttemperatur abgeschätzt. Die Annahmen sind:

9.7.1959	0-10 Uhr	Oberflächentemperatur	$-1,0^\circ \text{ C}$
	10-12 Uhr	Oberflächentemperatur	$0,0^\circ \text{ C}$
	22-24 Uhr	Oberflächentemperatur	$-8,0^\circ \text{ C}$
10.7.1959	0- 4 Uhr	Oberflächentemperatur	$-8,0^\circ \text{ C}$
	4- 8 Uhr	Oberflächentemperatur	$-5,0^\circ \text{ C}$
	11-24 Uhr	Oberflächentemperatur	$0,0^\circ \text{ C}$

2. Für den Zeitabschnitt mit gefrorener Oberfläche (3.6.-22.6.1959) wurden die Albedowerte interpoliert. Die Unsicherheit der Interpolation ist sehr groß, da kein systematischer Tagesgang der Albedowerte auftritt. Allerdings sind die Absolutwerte der Globalstrahlung in den Nachtstunden klein. Eine Abschätzung zeigt (5.6.-6.6.1959), daß im Mittel bei einer Unsicherheit von 10% in der Annahme der Albedo (z. B. $A = 80\%$ statt 70%) die Stundensumme der reflektierten Globalstrahlung um $0,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ falsch wird. Im Maximum kann der Fehler eines einzelnen Stundenmittelwertes auch $1,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ erreichen.

Die Auswertung geht in folgenden Schritten vor sich:

Zu 1. Die langwellige Bilanz der Säule E_{LW} ist

$$E_{\text{LW}} = 27,5 - \sigma T_1^4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}.$$

Für den entsprechenden Ausschlag s_{LW} am Lupolengerät folgt

$$s_{LW} = \frac{E_{LW}}{f_{LW}}.$$

Der der kurzwelligen Strahlung entsprechende Ausschlag s_{KW} am Lupolengerät beträgt

$$s_{KW} = s_{Lu} - s_{LW}.$$

Die reflektierte Globalstrahlung R ist

$$R = s_{KW} f_{KW \text{ isotrop}}.$$

Zu 2. Die reflektierte Globalstrahlung R ist

$$R = G A \quad (A = \text{Albedo}).$$

Der entsprechende Ausschlag s_{KW} am Lupolengerät beträgt

$$s_{KW} = \frac{R}{f_{KW \text{ isotrop}}}.$$

Für den der langwelligen Strahlung entsprechenden Ausschlag s_{LW} am Lupolengerät folgt

$$s_{LW} = s_{KW} - s_{Lu}.$$

Die langwellige Strahlungsbilanz der Säule ist

$$E_{LW} = s_{LW} f_{LW}.$$

Darin bedeutet T_i die Instrumententemperatur, f einen Eichfaktor ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$), s einen Ausschlag, G die Globalstrahlung, A die Albedo, R die reflektierte Globalstrahlung und E_{LW} die langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule ($E - \sigma T_i^4$).

c. Kontrolle der Genauigkeit.

In Zeitabschnitten mit schmelzender Oberfläche kann der Betrag der gemessenen langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche (E) mit dem theoretischen Wert $\sigma (273,2)^4 = 27,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ verglichen werden. Damit ist eine absolute Kontrolle der Genauigkeit der gemessenen Strahlungsenergien möglich, da zur Berechnung der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche sämtliche Eichfaktoren benützt werden müssen. Das sind: Der Eichfaktor für das Aktinometer, der Solarimeter und des Lupolengerätes für isotrope kurzwellige Strahlung, berechnet aus der Abhängigkeit des Eichfaktors für direkte Sonne von der Zenitdistanz, der Vergleich der Empfindlichkeit der nach oben und unten gerichteten Säulen beider Instrumente bei isotroper Strahlung,

der Eichfaktor des Lupolengerätes für langwellige Strahlung und die Eichfaktoren zur Bestimmung der Instrumententemperatur (2 Thermo-elemente).

Zur Kontrolle der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche durch das *Stefan-Boltzmann'sche* Gesetz wurde der Zeitabschnitt vom 22.6. bis 29.7.1959 (außer 9.7. und 10.7.1959) ausgesucht. In diesem Zeitabschnitt (33 Tage) sind die 24stündigen Mittelwerte der Lufttemperatur (Thermograph 187 cm Höhe) positiv. Bis zum 25.7.1959 wurden nur Tageswerte (ca. 7 bis 21 Uhr) benützt, da bis zum 25.7.1959 die nach unten gerichtete Thermosäule des Solarimeters G 18-1038 nachts kurzgeschlossen war und damit eine exakte Auswertung der Ausschläge des Lupolengerätes nicht möglich ist.

Vom 26.7. bis 29.7.1959 sind die Werte der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche auch während der Nacht verfügbar. Sie wurden benützt, obwohl die Minimumtemperatur in diesem Abschnitt zeitweise negative Werte erreicht (absolutes Minimum $-1,2^{\circ}\text{C}$). Der Energiebetrag der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche wird bei einer Abweichung der Oberflächentemperatur vom Schmelzpunkt um 1°C um nur 1,5 % falsch. Es ist deshalb anzunehmen, daß der Einfluß der Stunden mit leicht gefrorener Oberfläche bei diesem Vergleich vernachlässigt werden kann.

Der Vergleich des gemessenen Energiebetrages mit dem theoretischen Wert $27,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ zeigt das befriedigende Ergebnis, daß der Meßwert nur um $0,2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ zu hoch ist. Der Fehler ist kleiner als 1 %.

Tab. 18 enthält das Ergebnis dieses Vergleiches. An jedem der 33 Tage wurde der Mittelwert der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche aus den einzelnen Stundenmittelwerten über die Meßzeit gebildet. Diese Werte liegen zwischen $26,8 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Minimum) und $28,4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Maximum). Die maximale Abweichung vom theoretischen Wert $27,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ beträgt demnach $0,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ oder 3,3 % des theoretischen Wertes. Die Abweichung

$$\frac{\sum |27,5 - \bar{E}|}{n}$$

beträgt $0,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, wobei \bar{E} der Tagesmittelwert der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche ist. Der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels beträgt $0,04 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Damit erreicht der systematische Fehler vermutlich $0,16 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ oder 0,6 % des Wertes $27,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Dasselbe Verfahren wurde für eine andere Gruppe von Vergleichstagen angewendet. Es wurden jene Meßstunden zur Untersuchung ausgewählt, in denen der Thermograph eine Lufttemperatur über $+0,5^{\circ}\text{C}$

zeigt. Für jeden Tag wurde aus den verfügbaren Stundensummen bei Lufttemperaturen über $+0,5^{\circ}\text{C}$ der Mittelwert der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche gebildet. Der Mittelwert für den gesamten Zeitabschnitt der Betrachtung beträgt wiederum $27,7\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Bei dieser Auswahl wurden 43 Tage mit insgesamt 510 Stunden erfaßt.

Das Ergebnis deckt sich mit der ersten Kontrolle. Die maximale Abweichung vom theoretischen Wert beträgt $1,1\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ und die mittlere Abweichung

$$\frac{\sum |27,5 - \bar{E}|}{n}$$

ist $0,4\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. In **Tab. 19** sind die Mittelwerte der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche für diese Untersuchungsperiode zusammengestellt.

Dieselbe Betrachtung wurde auch stichprobenartig auf die *einzelnen* Stunden eines Zeitabschnittes mit schmelzender Oberfläche angewendet. Als Beispiel seien die Stundensummen der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche am 29.7.1959 (Tab. 16d) angeführt. Es handelt sich um einen Tag (00–24 Uhr) mit schmelzender Oberfläche. Der 24stündige Mittelwert der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche beträgt $27,6\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Die Extremwerte sind $25,3$ und $29,1\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ und zeigen also eine maximale Abweichung von $1,6\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ vom theoretischen Wert $27,5\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Die mittlere Abweichung

$$\frac{\sum |27,5 - E|}{24}$$

beträgt $0,5\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ oder $1,8\%$ des theoretischen Wertes.

Für den Fall der atmosphärischen Gegenstrahlung erhält man folgendes Ergebnis: An wolkenlosen Tagen muß die atmosphärische Gegenstrahlung ungefähr konstant bleiben. Der 31.7.1959 eignet sich für eine derartige Kontrolle. Es liegt die vollständige 24-stündige Registrierung vor (Tab. 16c) und es handelt sich um einen wolkenlosen Tag, an dem nur in den ersten Nachtstunden leichte Ci-Bewölkung bemerkbar ist, die jedoch den Betrag der atmosphärischen Gegenstrahlung kaum beeinflußt. Als Tagesmittelwert ergibt sich für die atmosphärische Gegenstrahlung $21,8\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Die mittlere Abweichung

$$\frac{\sum |21,8 - A|}{24}$$

beträgt $1,0\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$, die Extremwerte sind $19,8$ und $24,9\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Damit beträgt die maximale Abweichung $3,1\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$.

Eine zweite Kontrolle für die Werte der atmosphärischen Gegenstrahlung wurde für den 30.6.1959 (Tab. 16c) durchgeführt. Der 24-stündige Mittelwert der atmosphärischen Gegenstrahlung beträgt 24,1 cal cm⁻² h⁻¹ und die Extremwerte sind 25,1 und 23,3 cal cm⁻² h⁻¹. Die maximale Abweichung erreicht hier nur 1,0 cal cm⁻² h⁻¹ und für die mittlere Abweichung

$$\frac{\sum |24,1 - A|}{24}$$

erhält man mit 0,4 cal cm⁻² h⁻¹ weniger als die Hälfte der im ersten Beispiel gefundenen mittleren Abweichung.

Die Beurteilung des absoluten *maximalen* Fehlers der gemessenen Stundensummen der langwelligen Ein- und Ausstrahlung gibt besseren Aufschluß über den Fehler der mitgeteilten Strahlungsenergien als die Angabe des *relativen* Fehlers, da angenommen werden kann, daß beim absoluten maximalen Fehler die ungünstigste Addition aller Teilfehler vorliegt. Im Prinzip erfolgt die Berechnung der langwelligen Ein- und Ausstrahlung (A, E) nach der Gleichung, die für beide Strahlungsströme gilt

$$\left. \begin{matrix} A \\ E \end{matrix} \right\} = E_{Lu} - E_{Sol} + \sigma T_i^4.$$

Darin ist E_{Lu} die vom Lupolengerät und E_{Sol} die vom Solarimeter angezeigte Strahlungsenergie (Globalstrahlung) und T_i die Instrumententemperatur. E_{Lu} - E_{Sol} bedeutet die langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule (E_{LW}).

Der Fehler, der durch eine ungenaue Bestimmung der Instrumententemperatur zustande kommt, ist vernachlässigbar. Eine Unsicherheit von 0,5° C bei der Bestimmung der Instrumententemperatur gibt im Betrag der Temperaturstrahlung nach dem Gesetz von STEFAN-BOLTZMANN nur eine Änderung um 0,2 cal cm⁻² h⁻¹. Damit ist der absolute Fehler des Gliedes σT_i^4 um eine Zehnerpotenz kleiner als der festgestellte absolute maximale Fehler der langwelligen Ein- oder Ausstrahlung (A, E). In den oben diskutierten Beispielen liegt der absolute maximale Fehler der langwelligen Ein- und Ausstrahlung zwischen 0,9 und 3,1 cal cm⁻² h⁻¹. Der absolute Fehler der langwelligen Ein- und Ausstrahlung wird demnach zur Gänze auf einen Fehler in der Bestimmung der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule (E_{Lu} - E_{Sol}) zurückgeführt. Im Abschnitt »Genauigkeitsbetrachtungen zur Berechnung der langwelligen Strahlungsenergie« wurde dieser Fehler eingehend diskutiert.

Aus diesen Ergebnissen wird abgeschätzt, daß ein festgestellter maximaler absoluter Fehler von 3,1 cal cm⁻² h⁻¹ für die langwellige Einstrahlung (A) bereits durch einen Fehler von 2,7 % der Globalstrahlung

verursacht wird, wenn alle übrigen Meßgrößen (Eichfaktoren für das Lupolengerät im lang- und kurzwelligen Spektralbereich, abgelesene Skalenteile der Registrierung am Lupolengerät) mit demselben relativen Fehler von 1 % belegt werden und sich im ungünstigsten Fall (maximaler absoluter Fehler) alle Fehler addieren.

Bei der langwelligen Ausstrahlung der Gletscheroberfläche (E) ergibt sich dasselbe Bild: Ein maximaler absoluter Fehler von $1,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ wird hier durch einen Fehler der Globalstrahlung von 2,5 % verursacht, wenn die vorhin gemachten Annahmen gelten.

Aus der Fehlerbetrachtung wird geschlossen, daß der mittlere relative Fehler der Stundensummen der Globalstrahlung und der reflektierten Globalstrahlung kleiner als 2,5 % sein dürfte.

d. Langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und Bewölkung.

Als weitere empfindliche Kontrolle für die Genauigkeit sämtlicher registrierter Strahlungsenergien kann der gefundene Zusammenhang zwischen langwelliger Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und Bewölkung angesehen werden. Zur Berechnung der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche müssen alle registrierten Strahlungsenergien verwendet werden (Globalstrahlung, reflektierte Globalstrahlung, Gesamteinstrahlung und Gesamtausstrahlung). Die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche wird durch Differenzbildung der langwelligen Strahlungsbilanz der nach oben und unten gerichteten Thermosäule des Lupolengerätes gefunden. Im Abschnitt »Genauigkeitsbetrachtungen zur Berechnung der langwelligen Strahlungsenergie« wurde bereits mitgeteilt, daß der absolute Fehler der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche bei vorhandener kurzwelliger Strahlung besonders groß ausfällt. Der Grund dafür ist, daß die Tagessumme der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche bei wolkenlosem Himmel mit etwa $-80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ nur 10 % der Tagessumme der Globalstrahlung ausmacht und bei der Bestimmung der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche der absolute Fehler der Globalstrahlung eingeht. Der relative Fehler der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche ist damit um den Faktor $G/(A-E)$ größer als der relative Fehler der Globalstrahlung. Im Abschnitt »Genauigkeitsbetrachtungen zur Berechnung der langwelligen Strahlungsenergie« wird dieser Fehler diskutiert. **Tab. 11** enthält numerische Beispiele. Bei mittleren Verhältnissen (Globalstrahlung $\sim 28 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ergibt sich für die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche ein absoluter maximaler Fehler von $\pm 1,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und bei hohen Beträgen der Globalstrahlung

($\sim 58 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) sogar $\pm 3,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Dabei wurde für jede Meßgröße (Eichfaktoren für das Solarimeter, für das Lupolengerät im lang- und kurzwelligen Spektralbereich, abgelesene Skalenteile der Registrierung des Solarimeters und des Lupolengerätes) nur 1 % relativer Fehler angenommen, jedoch die ungünstigste Addition aller Teilfehler vorausgesetzt. Es ist daher aussichtslos, bei starker Globalstrahlung die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche genauer als 5 % zu bestimmen. Man muß in solchen Fällen unbedingt mit einem absoluten Fehler von etwa $\pm 2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ rechnen.

Zur Ermittlung des Zusammenhanges von langwelliger Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und Bewölkung wurde die Schätzung der Bewölkungsmenge zu den klimatologischen Terminen (7, 14 und 21 Uhr) benützt. Zu jeder Schätzung der Bewölkungsmenge wurde der Mittelwert der Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche über einige Stunden mit folgender Zuordnung ermittelt:

Bewölkung zum Termin	Mittelwert der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche (A-E) für die Stunden
7 Uhr	5–11 Uhr
14 Uhr	11–17 Uhr
21 Uhr	17–23 Uhr

In Zeitabschnitten mit fehlender Registrierung wurde das Schema sinnvoll abgeändert.

Abb. 20 enthält zu jeder Bewölkungsmenge den gefundenen Mittelwert der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche. Bei Bewölkung 0/10 ergibt sich als Mittelwert $-4,0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und bei Bewölkung 10/10 $-1,2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Diese Werte bestätigen die erwartete Genauigkeit für die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche von etwa $\pm 2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und die Leistungsfähigkeit des verwendeten Lupolengerätes.

Dazu muß erwähnt werden, daß der Betrag der langwelligen Strahlungsbilanz auch durch die Temperaturschichtung der Atmosphäre bis 3000 m beeinflußt wird.

Vergleich der Werte der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche bei 0/10 Bewölkung mit Angaben anderer Autoren:

H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) finden am Vernagtferner (Ötztaler Alpen) bei schmelzender Oberfläche für die langwellige Strahlungsbilanz bei 0/10 Bewölkung aus 11 Beobachtungen als Mittelwert $-5,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Eigene Beobachtungen (W. AMBACH 1955a) liefern für dieselben Bedingungen $-4,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Als Meßgerät wurde von H. HOINKES und N. UNTERSTEINER ein Strahlungsbilanzmesser *Albrecht-*

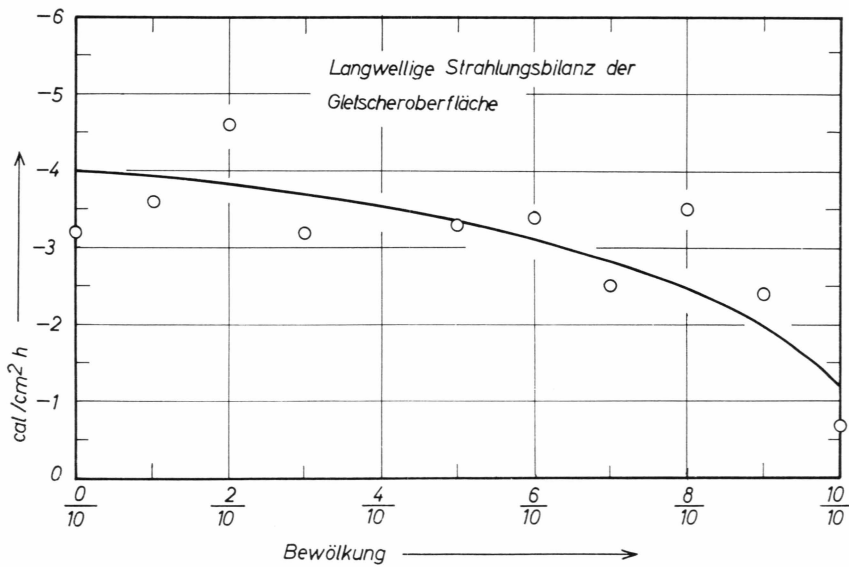


Abb. 20: Langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche bei verschiedener Bewölkungsmenge.

Fuess mit Quecksilberthermometer (F. ALBRECHT, 1933, 1937, 1939) verwendet. Die eigenen Untersuchungen wurden mit einem von F. SAUBERER (F. SAUBERER und I. DIRMHIRN 1952) konstruierten Gerät durchgeführt. M. DIAMOND und R. W. GERDEL (1956) finden bei 0/10 Bewölkung im Akkumulationsgebiet des Grönländischen Inlandeises etwa $-6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Als Gerät wurde eine Konstruktion von GIER und DUNKLE verwendet. Während der Winternacht in der Antarktis erhält G. H. LILJEQUIST (1956b) bei 0/10 Bewölkung den Wert $-4,2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert bezieht sich allerdings auf die Pyrgeometeroberfläche und muß bei Bezug auf die Schneeoberfläche auf $-3,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ erhöht werden. Der Reduktionsfaktor wird von G. H. LILJEQUIST in derselben Arbeit mitgeteilt. H. HOINKES (1961) gibt die langwellige Strahlungsbilanz bei 0/10 Bewölkung in Abhängigkeit von der Temperatur durch eine lineare Beziehung. Die Gerade erfüllt die Punkte $T = -18,4^\circ \text{ C}$ mit $-3,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und $T = -48,0^\circ \text{ C}$ mit $-1,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Der Vergleich mit den von H. HOINKES (1961) gegebenen Werten ist von besonderem Interesse, weil die Ergebnisse mit demselben Gerät gewonnen wurden wie die hier mitgeteilten eigenen Werte. Im eigenen Fall kann als mittlere Temperatur der Oberfläche 0° C angenommen werden. Es ist jedoch nicht sicher, wie die von H. HOINKES (1961) gegebene lineare Beziehung zwischen langwelliger Strahlungsbilanz und Temperatur nach 0° C extrapoliert werden muß. Der bei hohen Temperaturen ($-18,4^\circ \text{ C}$) gefundene Wert der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche

stimmt mit dem eigenen Wert bei 0°C gut überein. Der Mittelwert von $-2,1\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ (H. HOINKES, 1961) wurde aus 824 Stunden mit 0/10 Bewölkung bei einer mittleren Temperatur von $-40,6^{\circ}\text{C}$ berechnet. Dieser Wert ist wegen der starken Abhängigkeit der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche von der Temperatur mit den eigenen Werten nicht vergleichbar.

Vergleich der Werte der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche bei 10/10 Bewölkung mit Angaben anderer Autoren:

Bei 10/10 Bewölkung finden H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) auf dem Vernagt-Ferner (Ötztaler Alpen) eine positive langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche bis zu $+2\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Berechnungen aus eigenen Messungen (W. AMBACH, 1955a) ergeben bei 10/10 Bewölkung durch Extrapolation $+1,2\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ und aus Messungen von F. SAUBERER und I. DIRMHORN (1951) erhält man nach H. HOINKES ebenfalls $+1,2\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$. Dagegen finden M. DIAMOND und R. W. GERDEL (1956) den Wert $-1,2\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ bei 10/10 Bewölkung. Aus Messungen während der Winternacht in der Antarktis wird von G. H. LILJEQUIST (1956b) der Wert $-0,4\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ und von H. HOINKES (1961) der Wert $+0,1\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ angegeben.

In Anbetracht der schwierigen Bestimmung der langwelligen Strahlungsbilanz bei starker Globalstrahlung ist die Übereinstimmung der eigenen Werte mit denen anderer Autoren als gute Bestätigung für die Brauchbarkeit des Lupolengerätes zur Messung der langwelligen Strahlungsenergien, auch bei starker Globalstrahlung, zu werten. Die Vergleichswerte liegen innerhalb der Grenzen von $\pm 2\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$, die durch eine äußerst optimistisch gehaltene Fehlerabschätzung (nur 1 % für jede Meßgröße) erhalten wurden. Es muß ferner berücksichtigt werden, daß die angeführten Vergleichswerte anderer Autoren vorwiegend im Nachtabschnitt, also bei günstigeren Bedingungen, gewonnen wurden.

Es läßt sich aus den mitgeteilten Werten nicht entscheiden, ob der Zusammenhang der langwelligen Strahlungsbilanz mit der Bewölkungsmenge besser durch eine lineare oder quadratische Beziehung beschrieben werden kann.

Die angeführten Ergebnisse der Beziehung zwischen langwelliger Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und Bewölkung können noch in einem Punkt ergänzt werden. Die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche kann bei geringer Globalstrahlung (G kleiner als $1,0\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$) und klarem Himmel genauer ermittelt werden als bei starker Globalstrahlung. Es wurden deshalb jene Stundenintervalle der Registrierung ausgesucht, in denen die Globalstrahlung kleiner als $1,0\text{ cal cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ und – aus dem Verlauf der Registrierkurve beurteilt – keine Wolkendecke vorhanden war. Ferner sollen im ausgesuchten Zeit-

abschnitt alle Strahlungskomponenten registriert vorliegen. Diese Bedingungen sind in 30 Stundenintervallen erfüllt. **Tab. 20** gibt die Zusammenstellung. Als Mittelwert für die langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche erhält man $-4,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und für die langwellige Einstrahlung $22,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Diese Werte gelten nur bei 0/10 Bewölkung. Der so gefundene Betrag der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche von $-4,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ bei 0/10 Bewölkung stimmt mit den zitierten Werten (H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952, W. AMBACH 1955a), die über einer schmelzenden Eisoberfläche gefunden wurden ($-5,1$ und $-4,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$), genau überein. Die Differenz zum entsprechenden Wert aus **Abb. 23** beträgt $0,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und liegt innerhalb der Fehlergrenzen.

e. Diffuse Himmelsstrahlung.

Zur Registrierung der diffusen Himmelsstrahlung war kein eigenes Gerät vorgesehen. Daher ist die Angabe der diffusen Himmelsstrahlung nur bei Abdeckung eines Solarimeters (G18-1012) während der Eichung möglich. Die Angaben der diffusen Himmelsstrahlung beziehen sich ausschließlich auf wolkenlosen Himmel.

Zur Auswertung wurden die Skalenteile mit dem Eichfaktor für »diffuse Himmelsstrahlung bei klarem Himmel« (vgl. Abschnitt »die Eichfaktoren für diffuse kurzwellige Strahlung«, insbesondere **Tab. 5**) multipliziert. Wegen der geringen Temperaturänderungen ($\Delta T < 5^\circ \text{C}$) wurde keine Temperaturkorrektur am Eichfaktor angebracht. Für sämtliche Werte wurde der Eichfaktor bei $+1^\circ \text{C}$ angenommen.

Tab. 21 enthält die Ergebnisse. An insgesamt 7 wolkenlosen Tagen kann die diffuse Himmelsstrahlung angegeben werden. **Abb. 21** zeigt den Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung. Messungen desselben Tages sind mit gleichen Zeichen eingetragen und können gut durch eine Gerade verbunden werden.

M. DIAMOND und R. W. GERDEL (1956) geben die Werte der diffusen Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Energie der direkten Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche. Die Umrechnung ergibt, daß bei etwa $60 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ Globalstrahlung 18 % und bei etwa $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ Globalstrahlung 23 % diffuse Himmelsstrahlung enthalten sind. Aus Messungen in der Antarktis ist bekannt, daß die diffuse Himmelsstrahlung am Pol 14 % (K. J. HANSON 1960) und an der Küstenstation Maudheim im Minimum 17 % (G. H. LILJEQUIST 1956a) der Globalstrahlung beträgt. N. P. RUSIN (1960) gibt für die diffuse Himmelsstrahlung in der Antarktis bei klarem Himmel $9,6\text{--}10,8 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 12–15 % der Globalstrahlung, an.

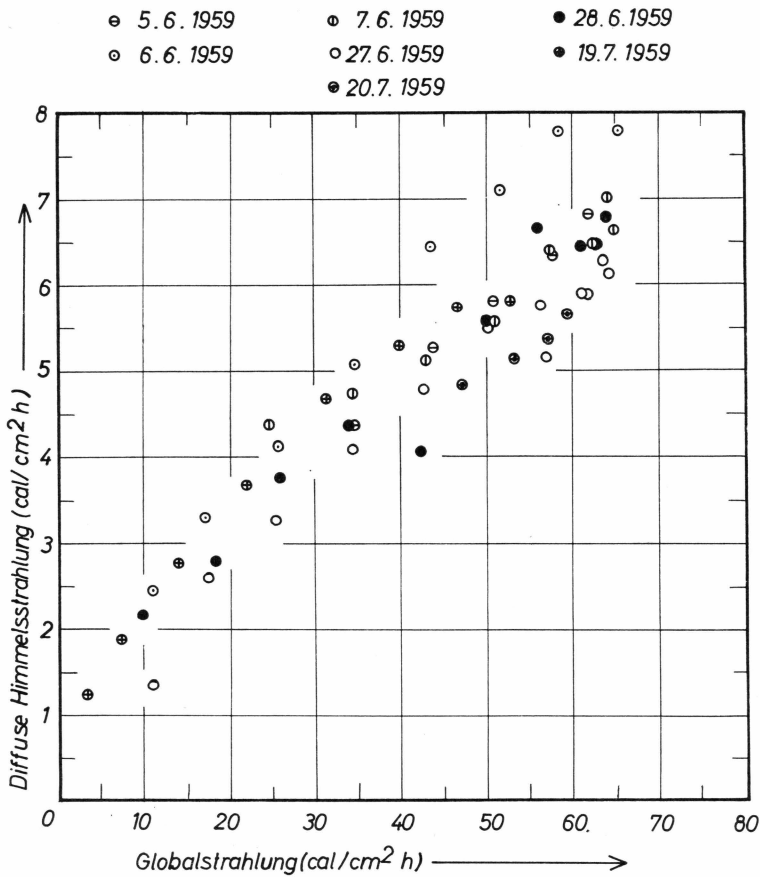


Abb. 21: Die diffuse Himmelsstrahlung bei klarem Himmel in Abhängigkeit von der Globalstrahlung.

f. Vergleich der gemessenen Globalstrahlung mit der extraterrestrischen Strahlung.

Die extraterrestrische Strahlung auf die horizontale Fläche wurde für die geographische Breite $69^{\circ}40'$ in Schritten von $0,5^{\circ}$ Sonnendeklination für die Registrierzeit berechnet. Durch einfache Integration erhält man für die Tagessumme der extraterrestrischen Strahlung auf die horizontale Flächeneinheit

$$I = I_0 \left(\sin \varphi \sin \vartheta \Delta t + \frac{48}{2\pi} \cos \varphi \sin \vartheta \sin t_u \right).$$

Darin ist I_0 die Solarkonstante ($118,8 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$), φ die geographische Breite ($69^{\circ}40'$), ϑ die Sonnendeklination und t_u der Stundenwinkel des

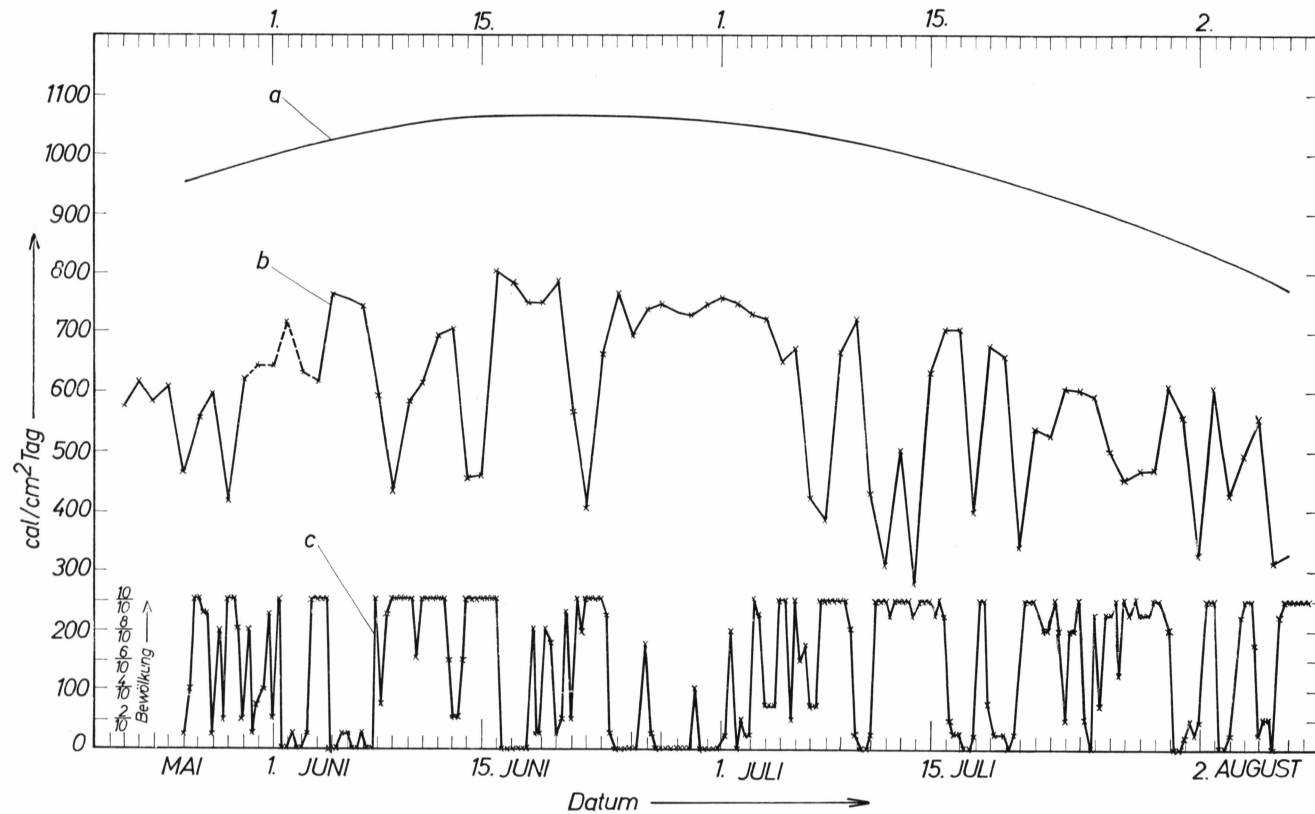


Abb. 22: Die Tagessummen der extraterrestrischen Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche (a), der Globalstrahlung (b) und die Bewölkungsmenge zu den klimatologischen Terminen (c).

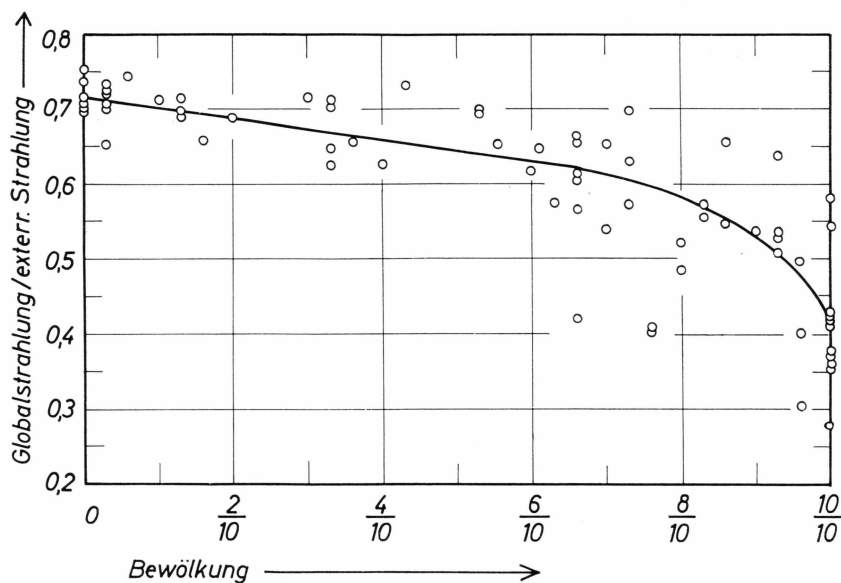


Abb. 23: Der Quotient der Tagessummen der gemessenen Globalstrahlung und der extraterrestrischen Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche in Abhängigkeit von der mittleren Bewölkung.

Sonnenunterganges; Δt bedeutet die Zeitdauer (Stunden) zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang. Die Ermittlung der Zeit t_u erfolgte nach

$$\cos t_{u,1,2} = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \vartheta.$$

In Abb. 22 wurden die Tagessummen der extraterrestrischen Strahlung, der Globalstrahlung und die geschätzte Bewölkungsmenge zu den klimatologischen Terminen eingetragen. Im Mittel über die Registrierzeit (22.5.–30.5., 3.6.–8.8.1959) ergibt sich als Verhältniszahl von Globalstrahlung zur extraterrestrischen Strahlung auf die horizontale Fläche 0,597. An wolkenlosen Tagen erreicht die Verhältniszahl den Wert 0,752 (16.6.1959). Der kleinste Wert wurde am 14.7.1959 zu 0,277 bestimmt. In Abb. 23 ist der Quotient aus der Tagessumme der Globalstrahlung und der extraterrestrischen Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche in Abhängigkeit von der Bewölkungsmenge dargestellt. Die angegebene Bewölkungsmenge ist der Mittelwert aus den Schätzungen zu den drei klimatologischen Terminen.

9. ALBEDO

Stundenmittelwerte der Albedo können aus der mit zwei Solarimetern registrierten einfallenden und reflektierten Globalstrahlung bestimmt werden. Mit Hilfe eines tragbaren Solarimeters wurden ferner Albedowerte fallweise an verschiedenartigen Meßstellen der Umgebung ermittelt.

a. Die Albedo aus der registrierten einfallenden und reflektierten Globalstrahlung.

In **Tab. 17** sind die Tagesmittelwerte der Albedo enthalten (Tagessumme der reflektierten Globalstrahlung/Tagessumme der einfallenden Globalstrahlung). Die Werte sind in **Abb. 24** zusammen mit den Windgeschwindigkeiten (315 cm Höhe) und den 24-stündigen Mittelwerten der Lufttemperatur (187 cm Höhe) dargestellt. Die Maxima der Albedo werden durch Neuschneebedeckung verursacht. Der Beginn der Ablationsperiode am 23.6.1959 wird sehr deutlich durch eine starke Abnahme der Albedo wiedergegeben. Sie erreicht am 27.6.1959 mit 46 % ein absolutes Minimum, das durch einen Föhnsturm mit hohen Tagesmittelwerten der Windgeschwindigkeit in 315 cm Höhe (12 m/sek) und Tagesmitteltemperaturen über $+3,5^{\circ}\text{C}$ verursacht wird. Die gesamte Oberschicht wird abgeschmolzen und dunkles, hartes Eis bildet die Oberfläche. Das Nachlassen der Windgeschwindigkeiten und das Absinken der Tagesmitteltemperaturen unter $+2,0^{\circ}\text{C}$ führen wieder zur Ausbildung einer Oberschicht und damit zu einer Erhöhung der Albedo (28.6.–7.7.1959). Am 8.7.1959 beginnt ein neuer Schneefall. Erst am 12.7.1959 ist die Oberfläche wieder schneefrei. Der nächste heftige Föhnsturm am 26. und 27.7.1959 verursacht wiederum eine deutliche Abnahme der Albedo von 54 % auf 47 %. Vom 30.7. bis 1.8.1959 ist die Oberfläche mit einer Spur Neuschnee bedeckt. In den folgenden Tagen (2.8.–7.8.1959) bildet sich die Oberschicht sehr deutlich aus und es ergeben sich für die Eisoberfläche sehr hohe Albedowerte zwischen 55 % und 63 %. Die Beobachtungszeit wird mit einer Neuschneedecke und erhöhter Albedo (85 %) beendet. Der absolut höchste Albedowert wurde am 14.6. und 15.6.1959 bei »white out« zu 86 % bestimmt.

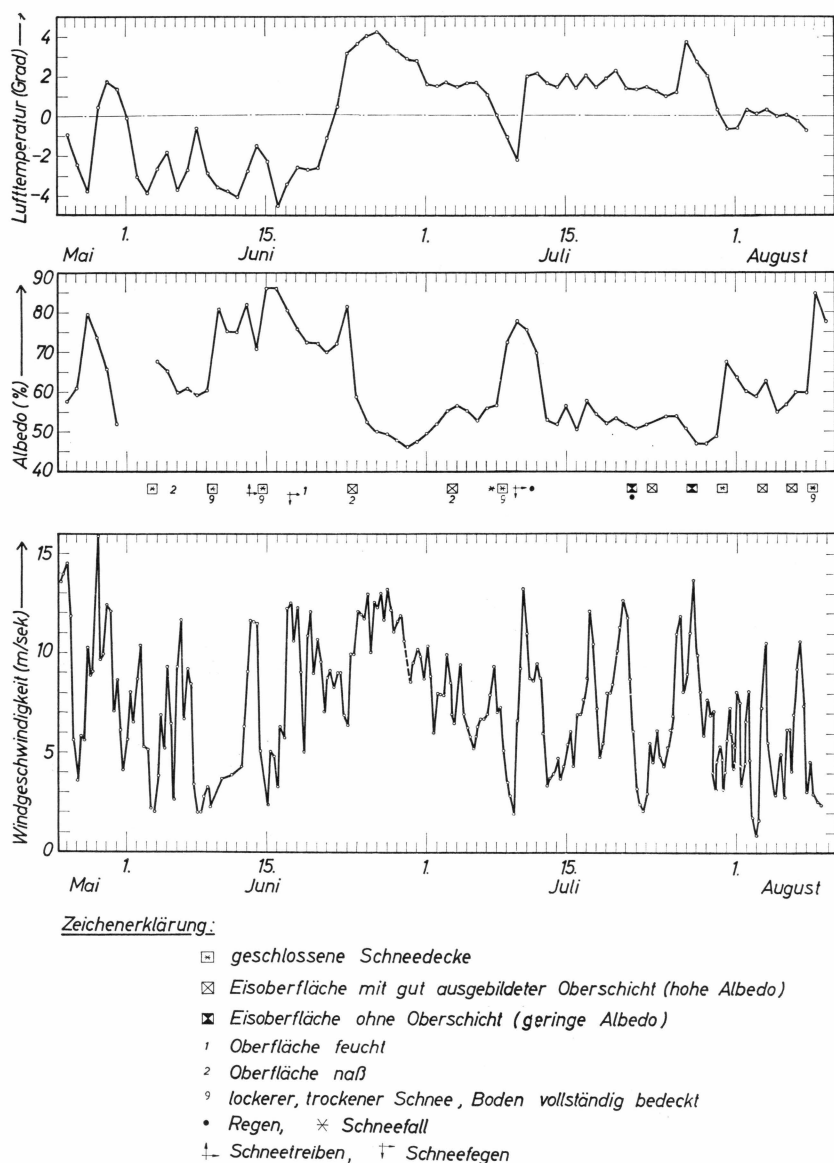


Abb. 24: Die Werte der Albedo aus der Registrierung der einfallenden und reflektierten Globalstrahlung (Quotient aus Tagessummen) im Vergleich mit Werten der Lufttemperatur (24 stündiges Mittel) und der Windgeschwindigkeit in 315 cm Höhe.

Eine Verfälschung der Albedo durch den Eigenschatten der Geräte ist nicht feststellbar. Die Kontrolle wurde durch Vergleich von aufeinander folgenden Stundenmittelwerten bei direkter Sonne und diffuser Beleuchtung durchgeführt (vgl. Abb. 25).

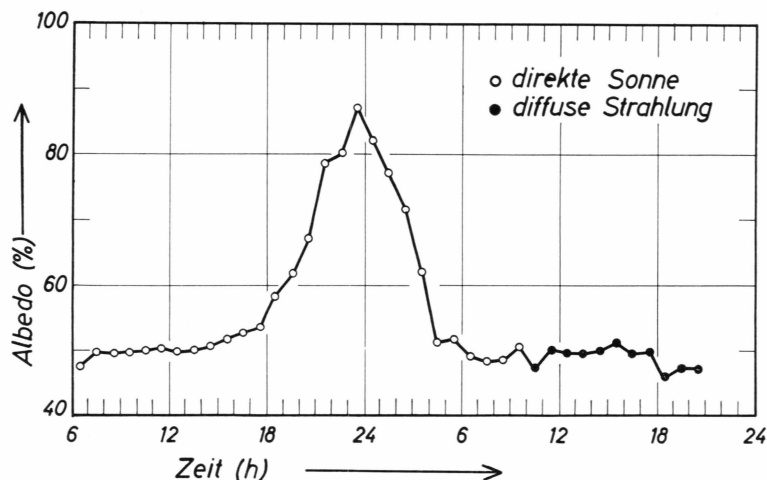


Abb. 25: Stundenmittelwerte der Albedo aus der registrierten einfallenden und reflektierten Globalstrahlung. Beispiel für den Tagesgang der Albedo bei direkter Sonne.

Bei direkter Sonne tritt ein auffallender Tagesgang der Albedo in Erscheinung. Bei tiefstehender Sonne wird eine wesentlich höhere Albedo gemessen. Sie nimmt von 50 % bei 40° Sonnenhöhe auf 87 % streifendem Einfall zu. Als Beispiel ist der Verlauf der Albedo für den 24./25.6.1959 in **Abb. 25** wiedergegeben. Gleichzeitig zeigt **Abb. 25** in den Mittagsstunden des 25.6.1959 den unbedeutenden Einfluß der Bewölkung.

Das Problem des Tagesganges der Bewölkung wird im Abschnitt »Extinktionsmessungen in Eis und Schnee« diskutiert.

b. Albedomessungen mit dem tragbaren Solarimeter.

Zwischen dem Aufstellungsort der registrierenden Solarimeter und der Umgebung war ein Unterschied in der Oberflächenbeschaffenheit deutlich sichtbar. Die Solarimeter waren über einer leichten Erhebung (Eishöcker) mit besonders heller, kryokonitfreier Eisoberfläche montiert.

In **Tab. 22** sind sämtliche Albedowerte, die mit dem tragbaren Solarimeter bei verschiedener Oberflächenbeschaffenheit gemessen wurden, zusammengestellt. **Tab. 22** enthält auch Albedowerte der Oberfläche bei den Ablationspegeln R_1 bis R_{10} (**Abb. 73**), die in regelmäßigen Zeitabständen und bei extremer Beschaffenheit der Oberfläche bestimmt wurden. Der Mittelwert über alle Messungen bei den Ablationspegeln R_1 bis R_{10} ergibt sich zu 43,1 %. Der kleinste Mittelwert beträgt 36,6 % und der größte 51,9 %. Die Einzelwerte sind in **Tab. 23** zusammengestellt.

Die Streubreite der Albedowerte bei den Ablationspegeln R_1 bis R_{10} von 36,6 % bis 51,9 % ist für eine Eisoberfläche sehr groß. Dieser

Umstand erschwert eine genaue Berechnung der absorbierten Globalstrahlung für Energieumsatzstudien.

Die Messungen der Albedo mit dem tragbaren Solarimeter wurden ausschließlich bei direkter Sonne durchgeführt, obwohl allgemein die Ansicht vertreten wird, daß Meßwerte bei diffuser Beleuchtung verlässlicher sind. Bei der Wahl von direkter Sonne für Albedomessungen war entscheidend, daß während einer Meßserie für das gesamte Pegelsystem R_1 bis R_{10} etwa gleichbleibende Strahlungsbedingungen erfüllt sein sollen. Da eine Meßserie etwa zwei Stunden Zeit beansprucht, war diese Bedingung bei direkter Sonne besser erfüllt als bei diffuser Beleuchtung.

Zur Messung der einfallenden Globalstrahlung wurde das Solarimeter auf einem Richtbrett horizontiert. Zur Messung der reflektierten Globalstrahlung konnte die nach unten gerichtete Thermosäule durch ein kardanisches Gehänge horizontal gehalten werden.

Die Albedo wurde durch einfache Division der Skalenwerte (mV) erhalten. Die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe konnte nicht berücksichtigt werden, da keine Eichungen des tragbaren Solarimeters vorgenommen wurden. Außerdem wurde auf die azimutale Orientierung der Thermosäule nicht geachtet. Damit sind alle Albedowerte, die mit Hilfe des tragbaren Solarimeters ermittelt wurden, mit einem kleinen systematischen Fehler behaftet, der sich auch in die Energiehaushaltsrechnung fortpflanzt. Wird angenommen, daß die für das fixierte Solarimeter gewonnene Eichkurve (Eichfaktor gegen Sonnenhöhe) auch annähernd für das tragbare Solarimeter gilt, dann müssen die Mittelwerte der Albedo um etwa 5 % des Wertes vergrößert werden. Der Albedomittelwert für die Ablationsmeßstellen R_1 bis R_{10} erhöht sich damit von 43,1 % auf 45,2 %. Die Berechtigung der Annahme, daß für das fixierte und tragbare Solarimeter annähernd dieselbe Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe gilt, läßt sich mit der Feststellung begründen, daß die Abhängigkeit durch die Wirkung der Katakaustik der inneren Glashaube verursacht wird.

Ein Vergleich von Albedowerten einer Eisfläche, der von verschiedenen Autoren angegeben werden, zeigt, daß der Albedomittelwert am grönländischen Arbeitsplatz mit 43,1 % für eine etwas kryokonit-belegte Oberfläche sehr groß ist. Aus der Veröffentlichung von I. DIRMHIRN und E. TROJER (1955) ist zu entnehmen, daß für trockenes, reines Eis auf dem Hintereisferner (Ötztaler Alpen) der Albedomittelwert zu 41 % bestimmt wurde. In derselben Tabelle ist auch angeführt, daß C. C. WALLÉN (1948) am Kårsa-Gletscher (Schwedisch-Lappland) den Albedowert zu 46,5 % ermittelt hat. Messungen von F. SAUBERER, F. SAUBERER und I. DIRMHIRN ergeben nach der zitierten Tabelle für reines, trockenes Gletschereis Werte von 33 % und 37 %.

10. MESSUNGEN DER STRAHLUNGSEXTINKTION IN EIS UND SCHNEE

a. Einleitung.

Gletschereis und Schnee sind im Spektralbereich der terrestrischen Sonnenstrahlung transparente Medien. Die Sonnenstrahlung vermag in tiefere Schichten unter die Oberfläche einzudringen und wird auch dort absorbiert. Die Absorption von kurzwelliger Strahlung ist somit kein Oberflächeneffekt. Unter der Oberfläche werden Hohlräume ausgeschmolzen und die Oberfläche selbst besteht aus Gerüsten und Säulen von angeschmolzenem Eis. Auf diesen Effekt der inneren Ablation ist schon früher hingewiesen worden (R. C. HUBLEY 1954, W. AMBACH 1955b, 1959, I. DIRMHORN 1957 und E. LA CHAPELLE 1959b).

Die Bedeutung der Strahlungsabsorption unter der Oberfläche ergibt sich aus der Feststellung, daß der Ort des Energieumsatzes von der Oberfläche in tiefere Schichten verlegt wird. Ferner wird durch die Strahlungsextinktion das Aussehen der Oberfläche wesentlich beeinflusst. Nach Stunden mit starker Globalstrahlung und wenig Wind erscheint die Oberfläche viel heller. Die Albedo ist vergrößert und es hat sich knapp unter der Oberfläche eine stark gelockerte, poröse Eisschicht (Oberschicht) gebildet, die kontinuierlich in das kompakte Eis ($\rho = 0,90 \text{ g/cm}^3$) übergeht.

Ein wesentlicher Umstand, der besonders Beachtung verdient, ist, daß der zur Ausbildung der Oberschicht aufgewendete Energiebetrag in ganz bestimmter Weise die Eisablation beeinflusst. Die zur Ausbildung der Oberschicht verbrauchte Energie kann vorerst nichts zur Abschmelzung der Oberfläche beitragen. Dafür wird jedoch im Nachtabschnitt die Oberschicht mit wesentlich weniger Energieaufwand geschmolzen. Dadurch ergibt sich eine zeitliche Phasenverschiebung von Energieumsatz und gemessener Ablation. Bei Energieumsatzstudien über einen längeren Zeitabschnitt (eine Woche) muß man den Vorgang in der Oberschicht nicht berücksichtigen. Es kann ohne erheblichen Fehler angenommen werden, daß am Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode etwa dieselben Verhältnisse in der Oberschicht vorliegen. Unterschiede im

aufzuwendenden Energiebetrag zur Ausbildung der vorliegenden Oberschicht gehen mit dem absoluten Betrag in den gesamten Energieumsatz ein und sind im allgemeinen Fall klein. Für detaillierte Studien jedoch können sich ohne Berücksichtigung der Eigenschaft der Oberschicht große Unstimmigkeiten ergeben. So wird z. B. bei fehlender Globalstrahlung durch einen positiven Energieumsatz wegen einer gut ausgebildeten Oberschicht mehr Ablation gemessen als dem Energieumsatz entspricht, da die Eisdichte der Oberschicht mit einem geringeren effektiven Wert in Rechnung gesetzt werden muß. Umgekehrt wird eine glatte Eisoberfläche bei Beginn der kurzwelligen Einstrahlung zuerst in eine poröse Oberschicht umgebildet und die meßbare Ablation tritt deshalb erst verspätet auf.

Messungen der Strahlungsextinktion im Gletschereis und Schnee führen daher zu einem verfeinerten Verständnis des Ablationsvorganges und Energieumsatzes.

Insbesondere drei Umstände erschweren die Ermittlung der absorbierten Strahlungsenergie unter der Oberfläche:

Erstens muß der Streuvorgang vom Vorgang der reinen Absorption getrennt werden, *zweitens* ist der Extinktionskoeffizient sehr stark von der Tiefe abhängig und *drittens* fehlt monochromatische und senkrecht einfallende Strahlung, wie sie bei Extinktionsmessungen im Labor verwendet wird. Meßtechnisch ist der erschwerende Umstand zu erwähnen, daß die oberflächennächsten Schichten wegen ihrer porösen Struktur einerseits am schwierigsten zugänglich sind, andererseits jedoch ist das Verhalten dieser Schichten für die Frage des Energieumsatzes am interessantesten.

Extinktionsmessungen werden heute in der Physik praktisch nur in der konventionellen Art durchgeführt, daß monochromatische, parallel und senkrecht einfallende Strahlung verschieden dicke Schichten eines homogenen Mediums durchsetzt und die durchgelassene Strahlung im Verhältnis zur einfallenden Strahlung bestimmt wird. Bei homogenen Medien ergibt sich ein konstanter Extinktionskoeffizient, d. h. die Gültigkeit des *Lambert'schen* Extinktionsgesetzes ist streng erfüllt. Bei stark streuenden Medien ergeben sich, wie bereits von G. I. POKROWSKI (1925) und W. AMBACH (1959) gezeigt wurde, in dünnen Schichten Abweichungen vom *Lambert'schen Extinktionsgesetz*, wobei die Bezeichnung »dünne Schicht« vom Produkt Extinktionskoeffizient und Schichtdichte abhängt. Erst nach Durchstrahlen der ersten dünnen Schichten ist das diffuse Streulicht im Gleichgewicht mit Gewinn und Verlust und in diesem Fall kann wieder die Gültigkeit des *Lambert'schen* Extinktionsgesetzes angenommen werden.

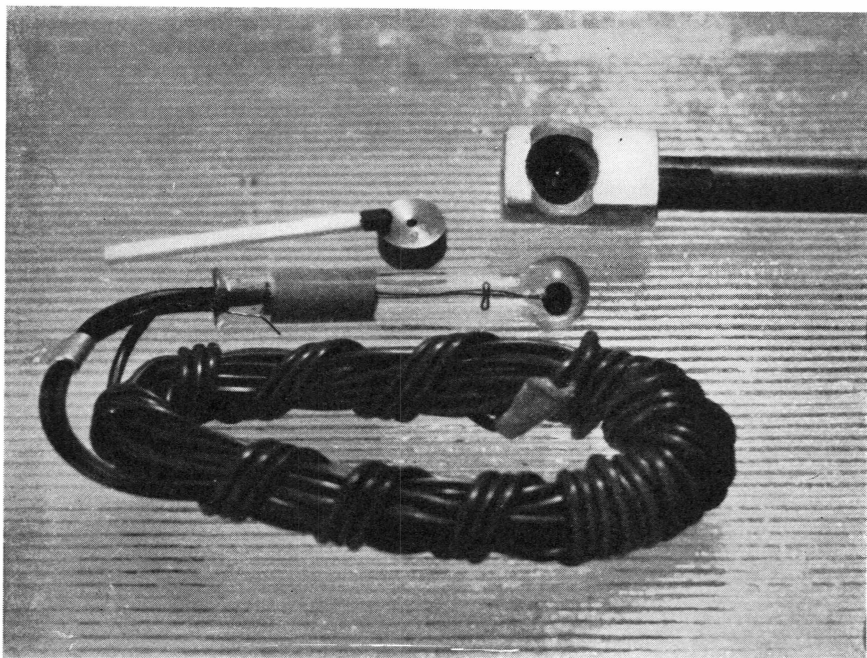


Bild 2: Kugelförmiger Strahlungsempfänger und selektiver Empfänger mit kleiner Apertur und Blende.

Ein tiefenabhängiger Extinktionskoeffizient wie er in oberflächennahen Schichten eines Gletschers bereits von W. AMBACH und H. MOCKER (1959) gefunden wurde, kann sowohl auf Unterschiede in der Eischeffenheit als auch auf die Ausbildung einer bestimmten räumlichen Verteilung des Streulichtes als »Randeffekt« gedeutet werden. Sicher spielen beide Effekte zusammen.

b. Verwendete Meßgeräte.

Zur Extinktionsmessung wurden zwei verschiedenartige Geräte verwendet:

1. Ein selektiver Strahlungsempfänger (Photodiode TP 50) mit kleiner Apertur. Dieses Gerät wurde zusammen mit H. L. HABICHT (H. L. HABICHT 1961) entwickelt. Damit kann die räumliche Verteilung der Strahlung im Eis gemessen werden.

2. Ein kugelförmiger Strahlungsempfänger, der geschwärzt ist und die Strahlung aus allen Raumrichtungen integriert. Dieses Gerät wurde bereits früher beschrieben (W. AMBACH 1958a, W. AMBACH und H. MOCKER 1959). Beide Geräte sind in **Bild 2** gezeigt.

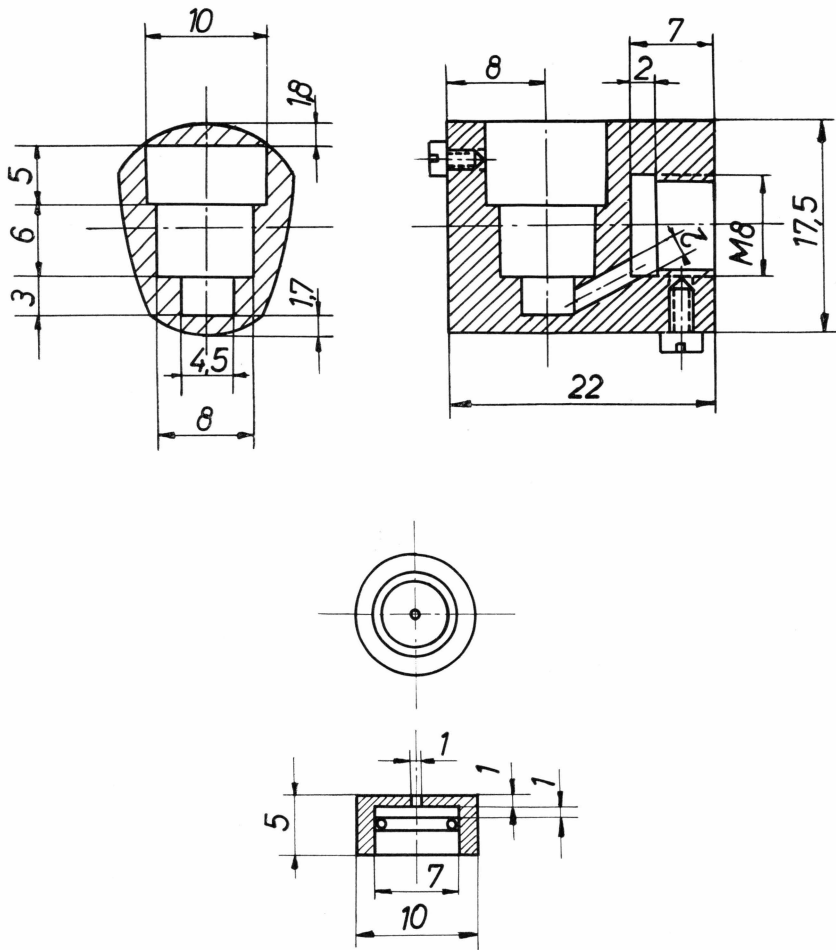


Abb. 26: Skizze der Halterung für den selektiven Strahlungsempfänger mit kleiner Apertur (Photodiode TP 50). Im Detail Filterhalterung und Blende.

c. Der selektive Strahlungsempfänger mit kleiner Apertur.

Als Empfänger wurde eine Germanium-Photodiode TP 50 (Siemens-Halske) verwendet. Die Photodiode TP 50 zeichnet sich durch ihre besonders kleine Stirnfläche (0,28 mal 0,6 cm) aus. Die Empfindlichkeit beträgt bei einer Gehäusetemperatur von 20° C 30 mA/Lm ($3,10^{-5}$ mA/Lx), bezogen auf eine Lichtquelle von 2400° K. Die empfindliche Fläche ist nur 1 mm² groß. Das Maximum der spektralen Empfindlichkeit liegt bei 1,5 μ und die infrarote Empfindlichkeitsgrenze bei 1,9 μ . Die Photodiode wurde als Photoelement geschaltet. Zur Ablesung wurde

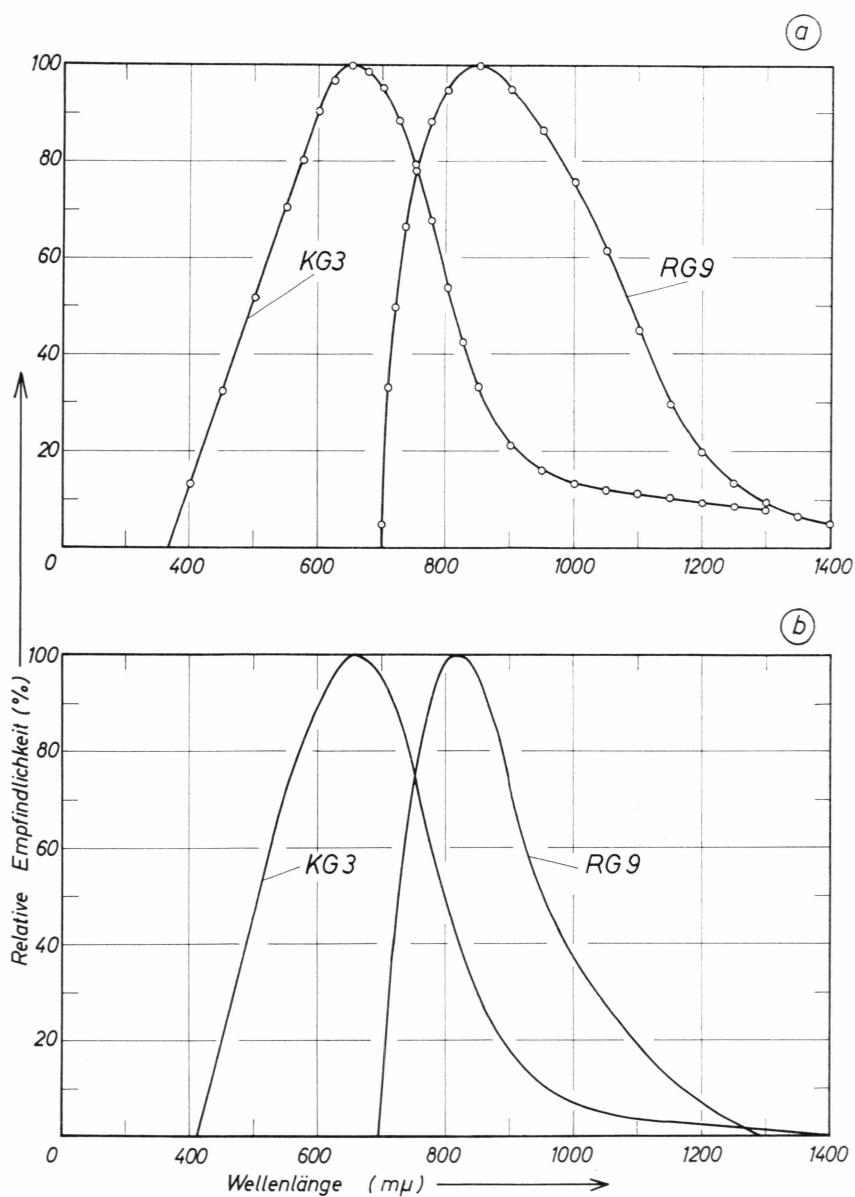


Abb. 27: Die relative Empfindlichkeit der Photodiode TP 50 mit Schott-Filter KG 3 und RG 9. a) Bei Annahme spektral unabhängiger Strahlungsenergie; b) Bei Annahme der Energieverteilung der terrestrischen Sonnenstrahlung.

ein Spiegelgalvanometer A 70 (Kipp & Zonen, Delft) verwendet. Zwischen Ausschlag (μA) und Lichtstrom kann eine lineare Beziehung angenommen werden (SIEMENS-HALSKE 1955).

Das Element wurde in ein Gehäuse montiert, damit vor der Empfängerfläche Filter und Blenden gesetzt werden können. **Abb. 26** zeigt die endgültige Form und Maße des Gerätes. Das Gehäuse wurde auf einem 70 cm langen Messingrohr befestigt. Bei horizontaler Einführung des Gerätes in die oberflächennahe Schicht konnte das Gehäuse in verschiedene Richtungen gedreht und damit die räumliche Verteilung der Strahlung abgetastet werden. Die Horizontierung erfolgte mit Hilfe einer fix montierten Libelle. Die Verdrehung wurde durch einen Zeiger über einer feststehenden Skala angezeigt.

Zur Verkleinerung des Öffnungswinkels wurden über der Empfängerfläche Blenden angebracht. Die Blende hat von der Empfängerfläche etwa 5 mm Abstand. Der Durchmesser der Öffnung beträgt 1 mm. Dadurch ergibt sich eine kleine Apertur. Die Abnahme der Anzeige bei Verdrehung aus einem parallel gerichteten Lichtbündel wurde im Labor aufgenommen. Bei einer Winkelverdrehung um 10° aus der direkten Anstrahlung sinkt der Ausschlag auf die Hälfte.

Hinter die Blende kann für spektrale Untersuchungen ein Filter gesetzt werden. Zur Untersuchung wurden die Schott-Filter KG 3 und RG 9 verwendet. In **Abb. 27 a** ist die spektrale Durchlässigkeit des Systems Filter und Element wiedergegeben. Bei Annahme der Energieverteilung der terrestrischen Sonnenstrahlung wird der Anzeigebereich verengt (vgl. Tab. 24). Aus diesen Kurven (**Abb. 27 b**) wird bei Annahme der Energieverteilung der terrestrischen Sonnenstrahlung der optische Schwerpunkt für KG 3 + TP 50 zu $665\text{ m}\mu$ und für RG 9 + TP 50 zu $850\text{ m}\mu$ bestimmt. Die Bandenstruktur der terrestrischen Sonnenstrahlung wurde nicht berücksichtigt.

d. Der kugelförmige Strahlungsempfänger.

Der kugelförmige Strahlungsempfänger wurde bereits von W. AMBACH (1958a) eingehend beschrieben und in den Alpen zur Extinktionsmessung in Eis und Schnee mit Erfolg benützt (W. AMBACH und H. MÖCKER 1959). Es handelt sich um eine metallische Hohlkugel, die in einer Glashalterung montiert und außen geschwärzt ist. Die Temperatur der Kugel wird thermoelektrisch gemessen. Dazu wird ein Spiegelgalvanometer A 70 (Kipp & Zonen, Delft) benützt. Die Verwendung eines derartigen Gerätes hat mehrere Vorteile:

Erstens wird das Streulicht im Eis aus allen Richtungen integriert. Der Strahlungsempfänger mißt demnach jenen Lichtstrom, den ein gleich großer Stein (bzw. Kryokonit) erhält.

Zweitens kann das Gerät sehr klein gebaut werden. Der Durchmesser der Empfänger­kugel beträgt beim kleinsten verwendeten Gerät 4 mm.

Drittens kann das Gerät senkrecht zur Oberfläche in vertikale Bohrlöcher eingeführt werden. Damit ist eine störungsfreie Messung möglich. Störungen durch Seitenwände, wie sie bei Einführung in horizontale Bohrlöcher vorkommen, fallen hier vollständig fort. Eingehende Prüfungen zeigten (W. AMBACH und H. MOCKER 1959), daß durch vertikale Bohrlöcher bei gerichteter und diffuser Strahlung keine Störung feststellbar ist.

Viertens ist mit diesem Gerät eine Strahlungsmessung in größeren Tiefen, etwa bis 2 Meter, mühelos möglich.

Ein Nachteil ist allerdings, daß der ermittelte Extinktionskoeffizient nicht unmittelbar zur Berechnung des Energieumsatzes benützt werden kann. Erläuterungen dazu folgen unten.

e. Messungen mit Hilfe des selektiven Strahlungsempfängers kleiner Apertur.

Zielsetzung dieser Messungen ist:

1. Die Bestimmung der *räumlichen Verteilung* der Strahlung in verschiedenen Tiefen und bei verschiedenen Wellenlängen.
2. Die Bestimmung des *Extinktionskoeffizienten* in Abhängigkeit von Tiefe, Meßrichtung (Oberlicht, Unterlicht) und Wellenlänge.
3. Angaben über den zur Eisschmelzung verfügbaren *Energiebetrag* in verschiedenen Tiefen.
4. Anwendung der Ergebnisse auf einige für die Glaziologie interessante Fragen.

Untersuchungen der räumlichen Verteilung der Strahlung in Eis und Schnee sind bisher nicht veröffentlicht worden und lassen eine Bereicherung unserer Kenntnisse über die Wirkung der Strahlung unter der Oberfläche erwarten.

Messungen im Eis:

Als Meßstellen wurden besonders gut ausgeprägte Eishöcker ausgesucht, die mit einer Hacke zusätzlich bearbeitet wurden, sodaß eine glatte, etwa 70 cm hohe »Meßwand« präpariert war. Mit Bohrern wurden seitlich horizontal Löcher gebohrt (Durchmesser 2 cm, Tiefe 60 cm), in die das Gerät unter die Eisoberfläche eingeführt werden konnte.

Zur Auswertung wurde im Diagramm Photostrom (Skalenteile) gegen Winkel der Meßrichtung aufgetragen. Der Winkel wurde in folgender Weise festgelegt:

- $\varphi = 0^\circ$ Meßrichtung nach oben, senkrecht zur Oberfläche
 $\varphi = 90^\circ$ Meßrichtung seitwärts, parallel zur Oberfläche
 $\varphi = 180^\circ$ Meßrichtung nach unten, senkrecht zur Oberfläche.

In diesen Diagrammen wurde die Meßtiefe (cm) als Parameter benutzt. Um Ergebnisse, die bei verschiedenartigen Meßbedingungen gewonnen wurden, vergleichen zu können, muß für die Strahlungsextinktion eine einheitliche Darstellung gefunden werden. Deshalb wurde in folgender Reihenfolge ausgewertet:

Zuerst wurde das Ausschlagverhältnis der Intensitäten in verschiedenen Richtungen bestimmt. Dieses Ausschlagverhältnis muß von der einfallenden Strahlungsintensität unabhängig sein. In **Abb. 28 a, b** sind die Verhältniszahlen

$$\frac{s(45^\circ)}{s(0^\circ)} \quad \frac{s(90^\circ)}{s(0^\circ)} \quad \frac{s(135^\circ)}{s(0^\circ)} \quad \frac{s(180^\circ)}{s(0^\circ)}$$

für die Filter KG 3 und RG 9 in Abhängigkeit von der Meßtiefe dargestellt. Es zeigt sich, daß für Tiefen größer als 25 cm die Verhältniszahlen konstant sind. In geringen Tiefen (Oberschicht, $z < 25$ cm) wird die Verhältniszahl kleiner. Diese Schicht ist optisch nicht homogen. Wie später diskutiert wird, kann aus einer tiefenunabhängigen Verhältniszahl auf einen richtungsunabhängigen Extinktionskoeffizienten geschlossen werden. Die Verhältniszahlen

$$\frac{s(45^\circ)}{s(0^\circ)} \quad \frac{s(90^\circ)}{s(0^\circ)} \quad \frac{s(135^\circ)}{s(0^\circ)} \quad \frac{s(180^\circ)}{s(0^\circ)}$$

unterscheiden sich sehr stark, d. h. es herrschen im Eis starke Abweichungen von einer kugelsymmetrischen Strahlungsverteilung. Wie aus **Tab. 25** hervorgeht, sind die Verhältniszahlen für das Rotfilter RG 9 wesentlich kleiner als für das Filter KG 3.

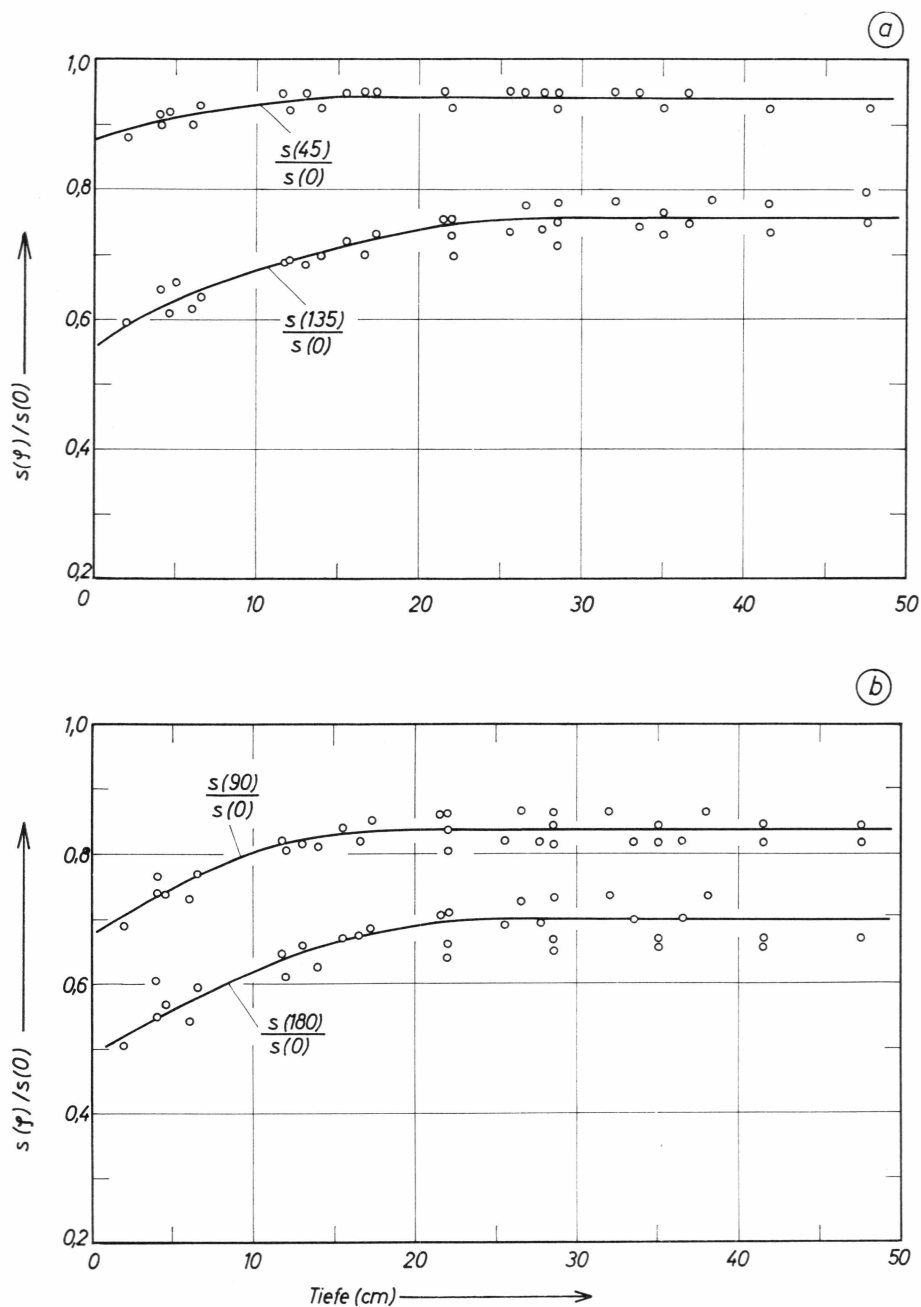


Abb. 28: Das Verhältnis der Strahlungsintensitäten in den Richtungen 45° , 90° , 135° und 180° zur Intensität bei 0° (nach oben). Intensitäten in Skalenteilen, Filter KG 3.

telt werden. **Abb. 29** ist die Darstellung des Ergebnisses in Polarkoordinaten. Zum besseren Vergleich wurden die Ergebnisse der Filter KG 3 und RG 9 direkt nebeneinander eingetragen. Bei $z = 0$ und $\varphi = 0^\circ$ wurde für beide Filter dieselbe Intensität angenommen. Als Parameter wurde die Tiefe verwendet. **Abb. 29** zeigt deutlich, daß der Extinktionskoeffizient bei $\varphi = 0^\circ$ für RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$) größer ist als für KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$) und daß das »Unterlicht« im Vergleich zum »Oberlicht« für RG 9 wesentlich geringer ist als für KG 3. **Abb. 29** kann dazu dienen, den Extinktionskoeffizienten als Funktion der Tiefe für $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ und 180° zu ermitteln. Ferner kann das »Oberlicht« und »Unterlicht« in verschiedenen Tiefen bestimmt werden, indem die Integrale

$$\begin{aligned}\text{Oberlicht} &= 2 \int_{90}^0 I(\varphi, z_0) \cos \varphi \, d\varphi \\ \text{Unterlicht} &= 2 \int_{90}^{180} I(\varphi, z_0) \cos \varphi \, d\varphi\end{aligned}$$

ermittelt werden. z_0 ist darin eine beliebige Meßtiefe und erscheint im Ergebnis als Parameter. Durch Integrieren über alle Raumrichtungen

$$T = 2 \int_{180}^0 I(\varphi, z_0) \, d\varphi$$

erhält man die Totalstrahlung, eine Größe, die mit dem kugelförmigen Strahlungsempfänger gemessen wird.

Die Integrale werden durch Planimetrieren numerisch für verschiedene z_0 -Werte bestimmt. Dazu eignet sich ein kartesisches Koordinatensystem (Skalenteile gegen Richtung φ) besser als ein Polarkoordinatensystem. Der Extinktionskoeffizient wurde für die Meßrichtung $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ und 180° , für das »Oberlicht« und »Unterlicht«, für die Bilanz (Differenz »Oberlicht–Unterlicht«) und die Totalstrahlung bestimmt. Dazu wurden Diagramme Logarithmus Intensität gegen Tiefe gezeichnet und die Steigung als Funktion der Tiefe bestimmt. **Abb. 30 a–d** zeigen die Ergebnisse für das Filter KG 3.

Als wesentliches Ergebnis folgt, daß der Extinktionskoeffizient sehr stark von der Richtung abhängt. In jeder Teilabbildung ist der Extinktionskoeffizient der Bilanz (größter Betrag) zum Vergleich eingezeichnet. Ab 35 cm Tiefe ist der Extinktionskoeffizient konstant und auch von der Richtung unabhängig. Die Tatsache, daß in diesen Tiefen für alle Richtungen derselbe Extinktionskoeffizient gilt, wird durch Messungen auf Alpengletschern gut bestätigt. In den oberen Schichten nimmt der Extinktionskoeffizient mit zunehmender Drehung nach unten sehr stark

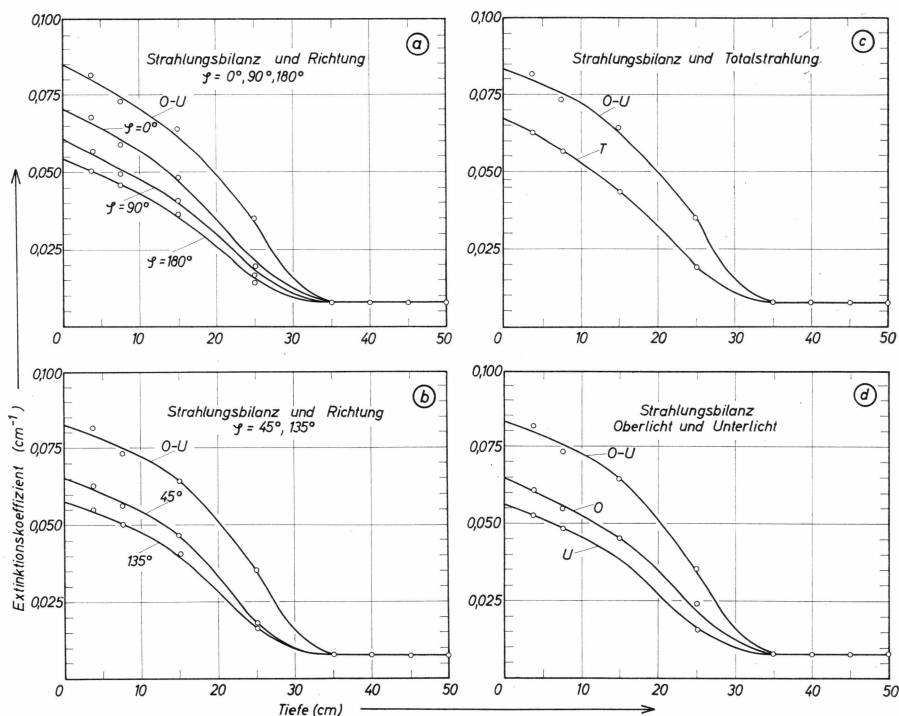


Abb. 30: a-d: Die Abhängigkeit des Extinktionskoeffizienten von der Tiefe für verschiedene Strahlungsgrößen

- a) Meßrichtung $\varphi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$
- b) Meßrichtung $\varphi = 45^\circ, 135^\circ$
- c) Strahlungsbilanz und Totalstrahlung
- d) Oberlicht und Unterlicht.

ab. Die Kurven mit den Parametern $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ und 180° liegen mit abnehmenden Extinktionskoeffizienten der Reihe nach geordnet vor. Bei $z = 0$ ist der Extinktionskoeffizient für die Richtung $\varphi = 180^\circ$ um den Faktor 0,8 kleiner als für die Richtung $\varphi = 0^\circ$.

Das bedeutendste Ergebnis ist wohl, daß auch der Extinktionskoeffizient des »Oberlichtes« etwa 0,8 mal kleiner ist als der Extinktionskoeffizient der Bilanz. Dieses Ergebnis ist interessant, weil in vielen Fällen aus Oberlichtmessungen auf die Energieabsorption geschlossen wird. Zur Angabe der absorbierten Strahlungsenergie muß jedoch der Extinktionskoeffizient der Bilanz angewendet werden. Auch bei Verwendung eines kugelförmigen Strahlungsempfängers darf der ermittelte Extinktionskoeffizient nicht zur Berechnung des Energieumsatzes benützt werden.

Bei Verwendung des Filters RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$) kann für die Oberlichtschicht (0–15 cm) wegen der größeren Streuung und geringeren Anzahl

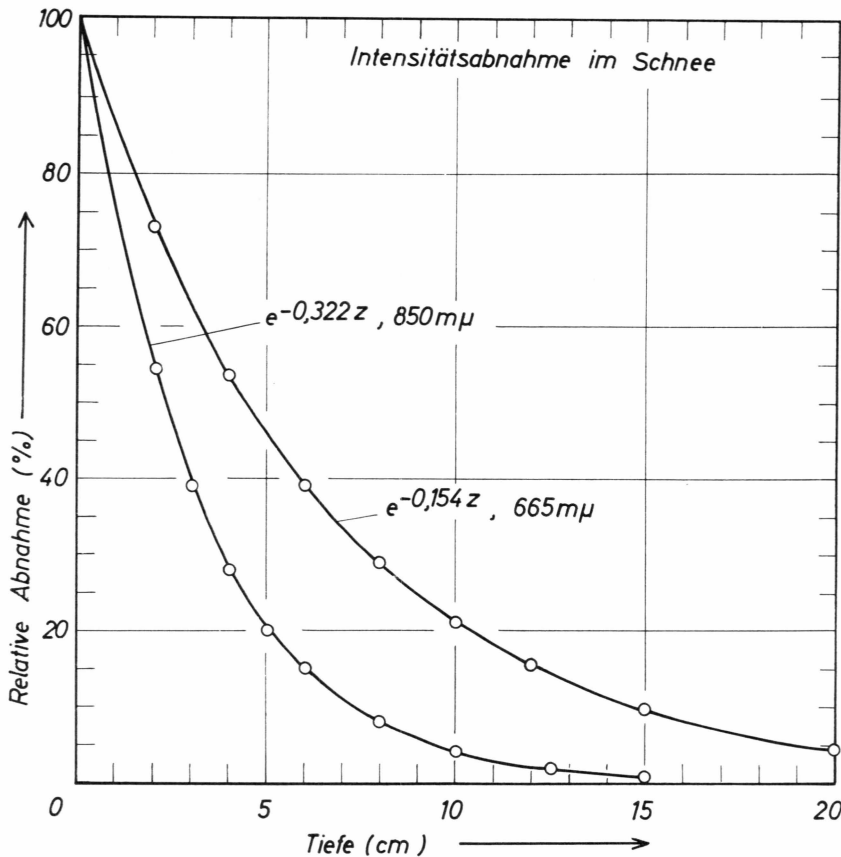


Abb. 31: Relative Intensitätsabnahme im Altschnee. Optische Schwerpunkte 665 mμ und 850 mμ.

der Meßwerte nur ein einheitlicher Extinktionskoeffizient angegeben werden. Auch hier besitzt der Extinktionskoeffizient der Bilanz mit $\kappa = 0,199 \text{ cm}^{-1}$ den größten und der Extinktionskoeffizient für $\varphi = 180^\circ$ mit $\kappa = 0,155 \text{ cm}^{-1}$ den kleinsten Wert. In **Tab. 26** sind für RG 9 sämtliche Extinktionskoeffizienten (0–15 cm) zusammengestellt.

Tab. 27 a, b enthält die relative Abnahme der räumlichen Strahlungsverteilung in Gletschereis für die Filter KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$) und RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$). Man erkennt, daß für beide Filter die Intensität der Totalstrahlung T annähernd dieselbe relative Abnahme zeigt wie die Intensität des »Oberlichtes«, jedoch die Abnahme der Intensität des »Oberlichtes« sich sehr stark von der Abnahme der Bilanz unterscheidet. Es wird daraus geschlossen, daß bei Anwendung von Extinktionskoeffizienten aus Oberlichtmessungen und aus Messungen mit Hilfe von kugelförmigen Strahlungsempfängern für Energieumsatzrechnungen etwa derselbe prinzipielle Fehler unterläuft.

Räumliche Strahlungsverteilung im Schnee

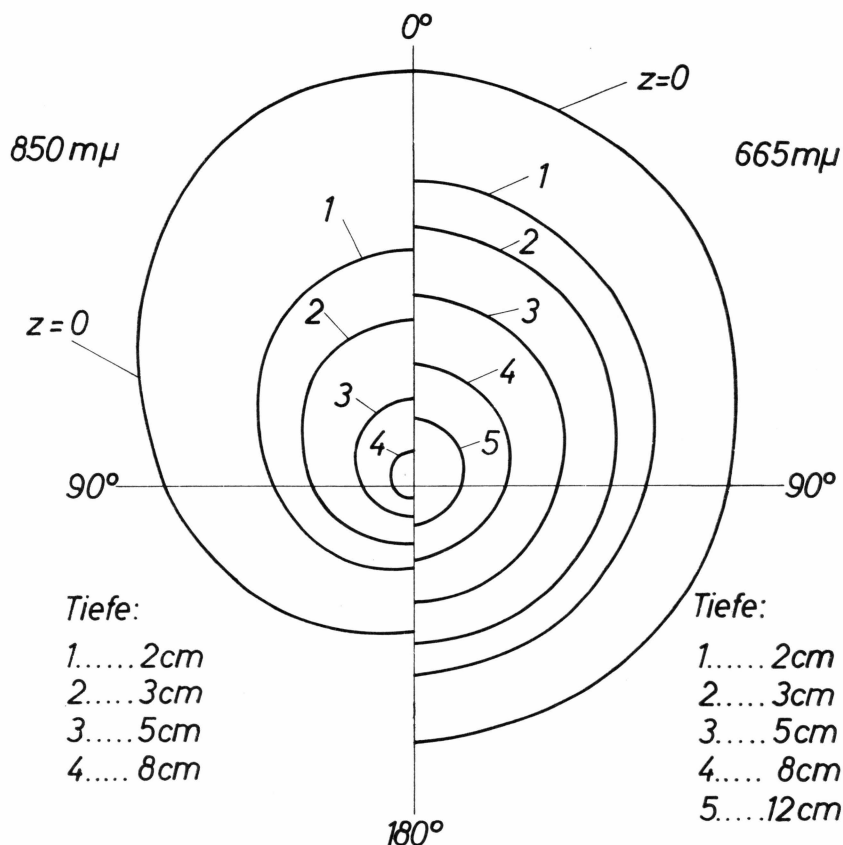


Abb. 32: Die räumliche Strahlungsverteilung im Altschnee in verschiedenen Tiefen für die Wellenlängen 665 mμ und 850 mμ.

Messungen im Schnee: Probeweise wurden auch Messungen der räumlichen Strahlungsverteilung im Schnee durchgeführt. Hier erhält man für die Verhältniszahlen der Intensität in verschiedenen Richtungen $s(\varphi)/s(0^\circ)$ bei sehr großer Streuung einen tiefenunabhängigen Wert. Die Beträge sind:

	$\frac{s(45^\circ)}{s(0^\circ)}$	$\frac{s(90^\circ)}{s(0^\circ)}$	$\frac{s(135^\circ)}{s(0^\circ)}$	$\frac{s(180^\circ)}{s(0^\circ)}$
KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$)	0.93	0.77	0.66	0.63
KG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$)	0.87	0.61	0.44	0.36

Auch hier sind die Beträge $s(180^\circ)/s(0^\circ) < 1$, d. h. im Schnee herrscht keine kugelsymmetrische Strahlungsverteilung. Die Verhältniszahlen sind sehr stark von der Wellenlänge abhängig.

Der Extinktionskoeffizient ist wegen der tiefenunabhängigen Verhältniszahlen nicht von der Richtung des Empfängers und der betrachteten Strahlungsgröße (Oberlicht, Unterlicht, Bilanz, Totalstrahlung) abhängig. Er wurde für KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$) zu $0,154 \text{ cm}^{-1}$ und für RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$) zu $0,32 \text{ cm}^{-1}$ bestimmt. Die relative Abnahme der Strahlungsenergie ist für beide Filter in **Abb. 31** dargestellt. In **Abb. 32** ist die gemessene mittlere Strahlungsverteilung im Schnee für die Filter KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$) und RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$) gezeichnet. Beide Ergebnisse sind in einem Diagramm zum besseren Vergleich gegenübergestellt. Bei $z = 0 \text{ cm}$, $\varphi = 0^\circ$ wurde für beide Filter die Intensität gleich groß gewählt.

Da die Messungen im Schnee nur an einer Stelle durchgeführt wurden, werden aus den Ergebnissen keine weiteren Schlüsse gezogen.

f. Messungen mit Hilfe des kugelförmigen Strahlungsempfängers im Eis.

Ein kugelförmiger Strahlungsempfänger wurde dazu benützt, um das Extinktionsverhalten der oberflächennächsten Schichten an verschiedenen Stellen zu untersuchen. Insgesamt wurden an vier Meßstellen Messungen durchgeführt. Dabei wurde eine extrem poröse Oberschicht und eine sehr kompakte, mit feinem Kryokonit belegte Oberfläche ausgewählt.

In **Abb. 33** sind die Ergebnisse dargestellt. Messung 3 wurde an der sehr porösen, gelockerten und reinen Oberschicht durchgeführt; Messung 4 hingegen an einer kompakten, sehr dunklen Oberschicht. Man erkennt, daß in einer dunklen, kompakten Oberschicht eine stärkere Lichtschwächung erfolgt als in einer weißen, porösen. Die Messungen konnten nur bis etwa 50 cm Tiefe durchgeführt werden, weil die Schichten $z > 50 \text{ cm}$ gefroren sind und bei Einführung des Elementes dieses dort festfrieren würde.

Aus allen vier Meßserien wurde eine mittlere Kurve konstruiert, indem die Extinktionskoeffizienten aus den Messungen 1 bis 4 gemittelt wurden. Die gemittelten Extinktionskoeffizienten sind in Abhängigkeit von der Tiefe in **Tab. 28** zusammengestellt. Der gemessene Extinktionskoeffizient ist in der isothermen Eisschicht 0–50 cm nicht konstant, sondern nimmt mit der Tiefe langsam ab. An der Grenzschicht des kalten Eiskörpers ist sein Wert ungefähr $0,014 \text{ cm}^{-1}$ und stimmt damit mit den auf Alpengletschern gemessenen Beträgen für große Tiefen sehr gut überein. Dort wurde der Extinktionskoeffizient mit dem kugelförmigen Strahlungsempfänger von W. AMBACH und H. MOCKER (1959) zu $0,015$ –

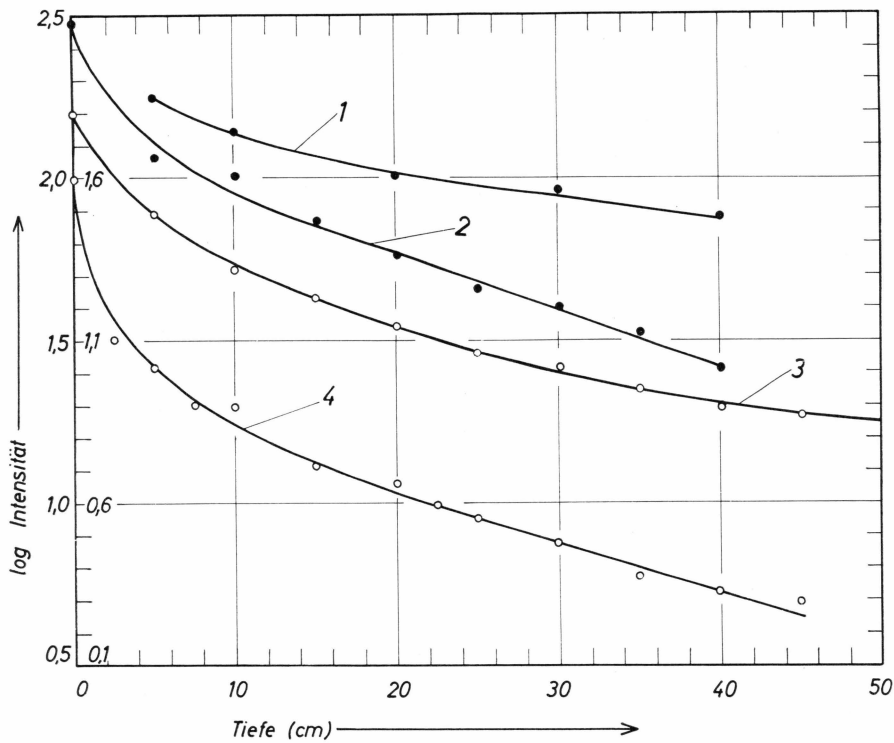


Abb. 33: Intensitätsabnahme mit der Tiefe, gemessen mit Hilfe eines kugelförmigen Strahlungsempfängers. Messung 3 wurde an einer sehr porösen, reinen Oberschicht, Messung 4 an einer kompakten, sehr dunklen Oberfläche durchgeführt. Innerer Ordinatenmaßstab gilt für Kurve 1 und 2, äußerer Maßstab für Kurve 3 und 4.

$0,018 \text{ cm}^{-1}$ bestimmt. In Abb. 34 ist die relative Abnahme der Totalstrahlung mit der Tiefe dargestellt. Die Werte wurden unter Verwendung der gemittelten Extinktionskoeffizienten gewonnen. Zum Vergleich sind die für Alpengletscher gültigen Werte eingetragen. Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Das auf Alpengletschern bestimmte Extinktionsverhalten des natürlichen Gletschereises wird damit durch Messungen in Grönland bestätigt.

Es ist bemerkenswert, daß die in Grönland gewonnenen Meßergebnisse für $z > 25 \text{ cm}$ noch eine geringfügige Abnahme des Extinktionskoeffizienten liefern, entgegen den in den Alpen ermittelten Werten. Erst die Tangente an die Extinktionskurve (Logarithmus Skalenteile gegen Tiefe) in der untersten isothermen Schicht liefert den Extinktionskoeffizienten für kompaktes, natürliches Gletschereis zu $0,015\text{--}0,018 \text{ cm}^{-1}$. Dieser Befund ist verständlich: Die absorbierte Strahlungsenergie reicht bei $z = 50 \text{ cm}$ gerade noch aus, um die Temperatur 0°C aufrecht zu

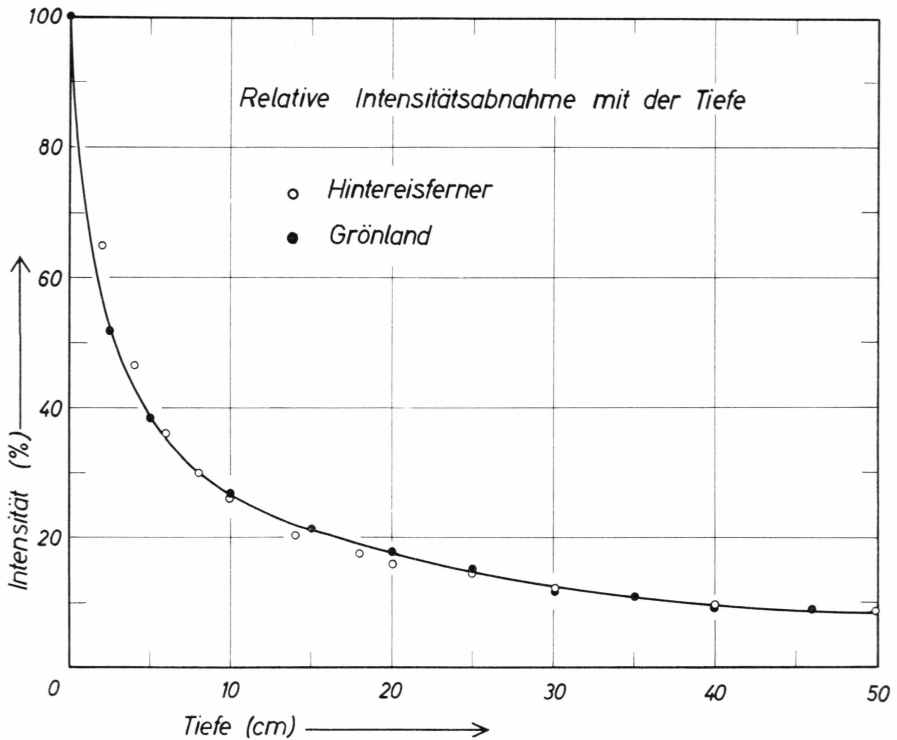


Abb. 34: Vergleich der relativen Intensitätsabnahme der Totalstrahlung im Gletschereis, gemessen mit Hilfe eines kugelförmigen Strahlungsempfängers. Leere Kreise: Meßwerte vom Hintereisferner (Öztaler Alpen); volle Kreise: Meßwerte Grönland.

erhalten. In den darüber liegenden Schichten muß soviel kurzwellige Energie pro cm absorbiert werden, daß der Energieüberschuß zur inneren Schmelzung verwendet werden kann. Damit wird das Eis gelockert und der Extinktionskoeffizient vergrößert.

Durch die Extinktionsmessungen erhält man somit eine gute Bestätigung für die Richtigkeit der Annahme, daß der Vorgang der Absorption von kurzwelliger Strahlung die Ursache für die Ausbildung einer isothermen Oberschicht ist.

g. Berechnung der inneren Ablation.

Im folgenden wird die absorbierte kurzwellige Strahlungsenergie in der oberflächennahen Eisschicht berechnet. Da sowohl Bestimmungen der Strahlungsbilanz aus der räumlichen Strahlungsverteilung als auch Messungen der Totalstrahlung mit Hilfe von kugelförmigen Strahlungsempfängern vorliegen, werden vorerst einige grundsätzliche Überlegungen zur Bestimmung der absorbierten Energie ausgeführt.

R. V. DUNKLE und J. T. GIER (1953) haben folgenden Ansatz zur Berechnung des Ober- und Unterlichtes in einem homogenen, streuenden Medium angegeben:

$$\begin{aligned} dY &= (-kY - rY + rZ) dx \\ dZ &= (+kZ - rY + rZ) dx. \end{aligned}$$

Darin ist Y der nach unten (positive x-Richtung) laufende Lichtstrom und Z der nach oben (negative x-Richtung) gerichtete Lichtstrom. r und

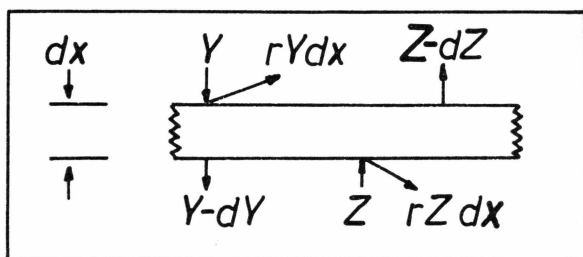


Abb. 35: Skizze zur Theorie von DUNKLE und GIER.

k sind Extinktionskoeffizienten, wobei r den gestreuten und k den absorbierten Betrag angibt. In Abb. 35 sind die Lichtströme schematisch skizziert.

Bei einer unendlich dicken Schicht erhält man bei Vernachlässigung der Reflexion an der Oberfläche: Für den nach unten gerichteten Lichtstrom

$$Y = I_0 e^{-\beta x}.$$

Für den nach oben gerichteten Lichtstrom

$$Z = \frac{k+r-\beta}{r} I_0 e^{-\beta x} \quad \text{mit:}$$

$$\beta^2 = (k+r)^2 - r^2.$$

Das Verhältnis Z/Y wird tiefenunabhängig zu

$$\frac{k+r-\beta}{r}$$

bestimmt und entspricht dem gemessenen Quotienten Unterlicht/Oberlicht für $x > 25$ cm.

Die pro Einheitsschichte absorbierte Energie ergibt sich aus der Differentialgleichung zu

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dY - dZ}{dx} = -k(Y + Z).$$

Aus den Lösungen für Y und Z erhält man dafür

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dY - dZ}{dx} = -\beta (Y - Z).$$

Das Ergebnis führt zu folgender interessanter Konsequenz: Die absorbierte Energie pro Einheitsschicht erhält man aus der Schwächung der Strahlungsbilanz ($Y - Z$) mit der Tiefe bei Verwendung des gemessenen Extinktionskoeffizienten β , oder man benützt die Summe von Oberlicht und Unterlicht ($Y + Z$) in Verbindung mit dem Absorptionskoeffizienten k . Der Absorptionskoeffizient k kann aus dem gemessenen Extinktionskoeffizienten β und dem Verhältnis von Unterlicht/Oberlicht bestimmt werden.

Durch Umformung erhält man die absorbierte Energie aus Messungen des Oberlichtes zu:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dx} &= -\beta (1 - m) Y = -\beta \left(\frac{1 - m}{m} \right) Z \quad \text{oder:} \\ \frac{dE}{dx} &= -k (1 + m) Y = -k \left(\frac{1 + m}{m} \right) Z. \end{aligned}$$

m bedeutet darin das tiefenunabhängige Verhältnis Unterlicht/Oberlicht.

Messungen des Oberlichtes können damit nicht unmittelbar zur Berechnung der absorbierten Energie benützt werden. Es muß vielmehr der gemessene Extinktionskoeffizient durch einen anderen ($\beta - \beta m$) ersetzt werden.

Da die Strahlungsbilanzen in der oberflächennahen Eisschicht am grönländischen Arbeitsplatz nicht unmittelbar gemessen wurden, stehen zur Berechnung der absorbierten Energie zwei Möglichkeiten offen:

a. Die Verwendung von berechneten Strahlungsbilanzen aus der räumlichen Verteilung der Strahlung.

b. Die Verwendung der Gesetzmäßigkeit der Schwächung der Strahlungsbilanz, die auf Alpengletschern von W. AMBACH und H. L. HABICHT (1961) gefunden wurde.

Die zweite Möglichkeit (b) scheint aus folgendem Grunde verlässlicher zu sein als (a): Messungen der Raumverteilung der Strahlung wurden am grönländischen Arbeitsplatz nur an ausgesuchten Stellen durchgeführt. Die erhaltenen Werte müssen nicht für natürliches Gletschereis repräsentativ sein. Da mit dem Kugelelement bestätigt wurde, daß die Lichtschwächung der Totalstrahlung auf Alpengletschern und am grönländischen Arbeitsplatz nach denselben Gesetzmäßigkeiten vor sich geht, kann daraus geschlossen werden, daß auch für die Schwächung der Strahlungsbilanz für Alpengletscher und für den grönländischen Ar-

beitsplatz dieselbe Gesetzmäßigkeit gilt. Die in den Alpen gewonnenen Ergebnisse von Strahlungsbilanzmessungen (W. AMBACH und H. L. HABICHT 1961) können damit auch für grönländische Verhältnisse Gültigkeit haben.

h. Berechnung der Dichteverteilung in oberflächennahen Eisschichten.

Zur Berechnung wird folgende Vorstellung benützt: In 50 cm Tiefe wird 1 cm³ ungestörtes natürliches Gletschereis mit der Dichte $\varrho = 0,9$ g/cm³ und der Temperatur 0° C angenommen. Durch die Abschmelzung der Oberfläche wandert der Einheitswürfel relativ zur Oberfläche. Während dieser Zeit wird kurzwellige Strahlungsenergie absorbiert und damit Eis geschmolzen. Die Masse des Einheitswürfels nimmt ab. Als Dichte soll im folgenden die im Einheitswürfel enthaltene Eismasse verstanden werden.

Die Geschwindigkeit der Relativbewegung des Einheitswürfels gegen die Oberfläche wird in zwei Komponenten zerlegt: v_1 (cm pro Tag) sei die Ablation, die im stationären Zustand nur durch Absorption von kurzwelliger Strahlung verursacht wird und v_2 (cm pro Tag) sei die Ablation durch Vorgänge, die Energie an der Oberfläche umsetzen (fühlbare und latente Wärme, langwellige Strahlungsbilanz). Die resultierende Geschwindigkeit ist $v_1 + v_2$ (cm pro Tag).

Der Massenverlust im Einheitswürfel ist

$$\Delta \varrho = \frac{\Delta E}{s}.$$

Darin ist s die Schmelzwärme und ΔE die absorbierte Strahlungsenergie. Man erhält sie aus:

$$\Delta E = \int_0^{t_0} \kappa(t) SB(t) dt \quad \text{cal cm}^{-3} \quad \text{mit} \\ (v_1 + v_2) t = z.$$

Darin ist κ der Extinktionskoeffizient der Strahlungsbilanz, SB die Strahlungsbilanz, t die Zeit und z die Tiefe. Da die Funktionen $\kappa(z)$ und $SB(z)$ nicht in analytischer Form vorliegen, wird die Integration in Stufen durchgeführt. Für die Schwächung der Strahlungsbilanz mit der Tiefe wurden folgende Angaben übernommen (W. AMBACH und H. L. HABICHT 1961):

Tiefe (cm):	0	2	4	6	8	10	14	18
	20	25	30	40	50			
Strahlungsbilanz (%):	100	46,1	25,9	17,7	13,5	10,8	8,3	7,0
	6,7	6,0	5,4	4,8	4,5			

Die Ablation v_1 steht mit dem Betrag der Strahlungsbilanz bei $z = 0$ in folgendem Zusammenhang:

$$SB = \varrho_0 v_1 s \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}.$$

Die Bezeichnung wurde von oben übernommen; $\varrho_0 = 0,9 \text{ g/cm}^3$.

Die Ablation v_2 muß die Beziehung

$$Q = \bar{\varrho} v_2 s \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

erfüllen. Darin ist Q die an der Oberfläche umgesetzte Energie und $\bar{\varrho}$ die mittlere Dichte der Schichte ($0 - v_2 \text{ cm}$).

Die Berechnung der Dichteverteilung in der Schicht ($0-50 \text{ cm}$) wurde für verschiedene Annahmen für v_1 und v_2 durchgeführt. Das Ergebnis ist in **Abb. 36** dargestellt. Es zeigt sich eine ausgeprägte Tiefenabhängigkeit der Eisdichte in der Oberschicht. Bei extremen Bedingungen ($v_1 = 4 \text{ cm pro Tag}$, $v_2 = 0$) erhält man in den einzelnen Schichten folgende mittlere Dichten:

Schichte (cm):	0-5	0-10	0-25	0-50
$\bar{\varrho} \text{ (g/cm}^3\text{)}$:	0,55	0,67	0,78	0,84

Bei $v_2 = 0$ ist das Dichteprofil vom Betrag v_1 unabhängig. Im Falle $v_2 \neq 0$ kann es zur vollständigen Ausbildung der Oberschicht nicht kommen. Die Werte der mittleren Dichte der Schichten sind dann größer.

Die berechneten Werte für den Energieverbrauch zur Ausbildung der Oberschicht sind in **Tab. 29a** angegeben. **Tab. 29b** enthält die mittlere Dichte der gesamten Oberschicht ($0-50 \text{ cm}$).

Die Energiebeträge, die zur Ausbildung einer Oberschicht aufgewendet werden müssen, liegen je nach Ablationsbedingung zwischen 80 und 240 cal cm^{-2} . Dieser Wert wird nicht zum Abschmelzen der Oberfläche aufgewendet. Bei Nichtbeachtung dieses Vorganges entstehen damit bei Berechnung der Ablation aus dem Energieumsatz im nichtstationären Fall Fehler bis zu 3,3 cm Eis.

Die mittlere Dichte der Oberschicht ($0-50 \text{ cm}$) schwankt je nach Ablationsbedingung zwischen 0,84 und $0,88 \text{ g/cm}^3$.

Aus der verkleinerten Dichte der oberflächennächsten Schichten ergibt sich folgende Konsequenz: Bei fehlender Globalstrahlung und Energiezufuhr durch dynamische Konvektion (fühlbare und latente Wärme) schmilzt die durch innere Ablation präparierte Oberschicht mit erheblich geringerem Energieaufwand als man durch Rechnung unter Verwendung von $\varrho_0 = 0,9 \text{ g/cm}^3$ ermittelt.

Die Bedeutung dieser Feststellung soll an einem Beispiel diskutiert werden:

Durch meteorologische Bedingungen begünstigt, sei während eines Tagesabschnittes die Oberschicht optimal ausgebildet worden. Die

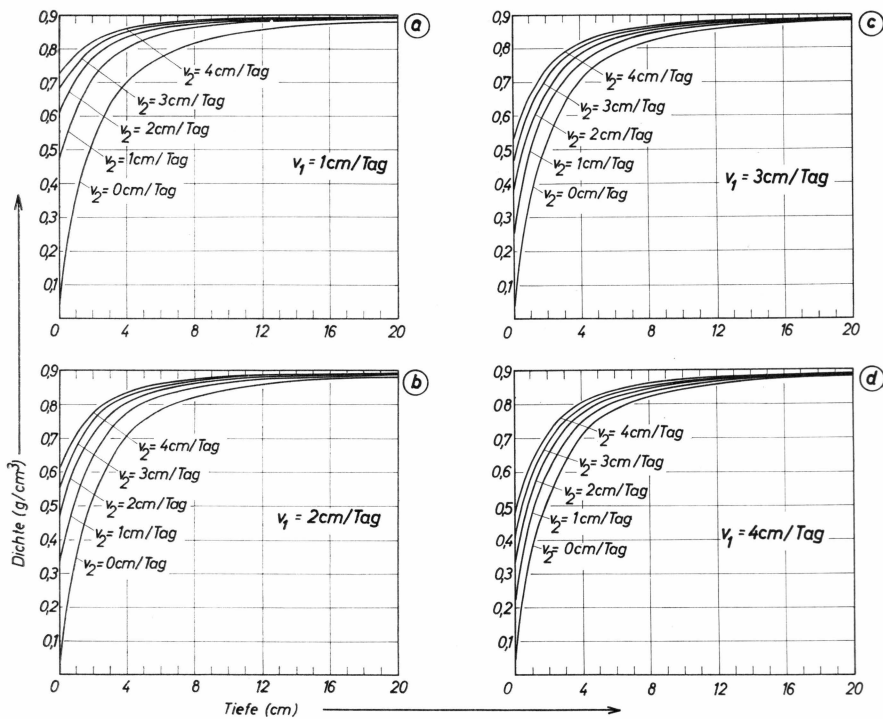


Abb. 36: Die berechnete Dichteverteilung in der oberflächennahen Eisschicht.

Dichteverteilung erhält man aus **Abb. 36** z. B. für $v_1 = 4$ cm pro Tag und $v_2 = 0$. Im folgenden Nachtabschnitt fehlt die Globalstrahlung und die fühlbare Wärme sei um 100 cal cm^{-2} für 12 Stunden größer. Der Energieumsatz erfolgt nur direkt an der Oberfläche. Wegen der großen Porosität der Oberschicht kann mit dem Mehrbetrag von 100 cal cm^{-2} eine etwa 3 cm dicke Eisschicht geschmolzen werden. Bei Nichtberücksichtigung der porösen Struktur der Oberschicht erhält man bei Verwendung von $0,9 \text{ g/cm}^3$ für die Eisdichte nur 1,4 cm Eis für die abgeschmolzene Schichtdicke.

Es kann mitunter beobachtet werden, daß eine windarme Periode von einem Abschnitt mit Föhnsturm abgelöst wird. Die Werte der verfügbaren Schmelzenergie werden dann sprunghaft erhöht. Aus **Tab. 29a** soll als Beispiel bei $v_1 = 4$ cm pro Tag ein Sprung von $v_2 = 0$ auf $v_2 = 4$ cm pro Tag gewählt werden. Für diese Annahme erhält man aus **Tab. 29a** für die Energie E eine Änderung von 240 auf 160 cal cm^{-2} . Die Energiedifferenz von 80 cal cm^{-2} ist nun als zusätzliche Energiezufuhr in Rechnung zu stellen, weil zur Herstellung der ursprünglichen porösen Oberschicht durch die kurzwellige absorbierte Strahlungsenergie derselbe Betrag mehr aufgewendet worden ist.

In diesem Sinne kann auch ein sehr hoher Ablationsbetrag bei Wettersituationen mit geringer Globalstrahlung und gleichzeitig hohen Werten der Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Dampfdruck interpretiert werden. Ohne Zweifel muß in solchen Fällen die Veränderung der Porösität der Oberschicht berücksichtigt werden.

Das glatte und dunkle Aussehen der Oberfläche bei derartigen Situationen ist eine Bestätigung für die Veränderung der Oberschicht. Der Zusammenhang des Zustandes der Oberschicht mit der Albedo wird im Abschnitt »Albedo« diskutiert.

Auf die Bedeutung der inneren Ablation für den Energiehaushalt ist früher von R. C. HUBLEY (1954), I. DIRMHIRN (1957), E. LA CHAPPELLE (1959) und W. AMBACH (1959) hingewiesen worden.

i. Studie zum Tagesgang der Albedo.

Von vielen Autoren ist ein Tagesgang der Albedo einer Schnee- oder Eisfläche beobachtet worden (z. B. R. C. HUBLEY 1955, I. DIRMHIRN und E. TROJER 1955 und A. JAFFÉ 1959, 1960). Im allgemeinen wird bei tiefem Sonnenstand ein größerer Betrag der Albedo als bei hohem Sonnenstand bestimmt. Nach I. DIRMHIRN und E. TROJER (1955) kann in vielen Fällen die Albedoänderung auf eine Veränderung des freien Wassergehaltes der Oberfläche zurückgeführt werden.

An dieser Stelle wird besonders darauf hingewiesen, daß zur Bestimmung des Tagesganges der Albedo bei direkter Sonne unbedingt die genaue Kenntnis der Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe erforderlich ist.

An Beispielen kann gezeigt werden (vgl. Abschnitt »Albedo«), daß die Veränderung des freien Wassergehaltes nicht allein für den Albedogang verantwortlich sein kann. Derselbe Schluß ist auch aus den von A. JAFFÉ (1960) ausgeführten Albedomessungen an Eisplatten zu ziehen.

Aus der räumlichen Verteilung der Streustrahlung in der oberflächennächsten Schicht bietet sich eine Erklärung für den täglichen Albedogang. Es kann als Näherung angenommen werden, daß bei Eis die diffus zurückgestrahlte Globalstrahlung Streulicht ist, das aus dem Eis austritt.

Es wird nun folgende Modellvorstellung näher untersucht: Bei senkrecht zur Oberfläche einfallender Strahlung liegt die Symmetrieachse der räumlichen Strahlungsverteilung ebenfalls senkrecht zur Oberfläche. Bei tiefstehender Sonne ist die Symmetrieachse zur Oberfläche geneigt. Es wird als Näherung der nicht realisierbare Extremfall betrachtet, daß bei tiefstehender Sonne die Symmetrieachse der räumlichen Strahlungsverteilung parallel zur Oberfläche liegt. Es wird ferner angenommen,

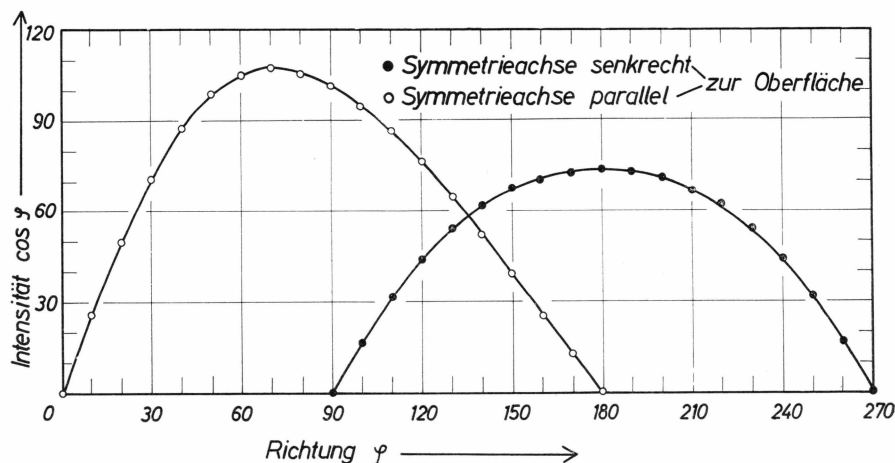


Abb. 37: Die räumliche Strahlungsverteilung im Gletschereis ($I_0 \cos$), extrapoliert auf $z = 0$, Symmetrieachse parallel und senkrecht zur Oberfläche, optischer Schwerpunkt $665 \text{ m}\mu$.

daß die räumliche Strahlungsverteilung zur Symmetrieachse in Näherung unabhängig von der Lage der Symmetrieachse zur Oberfläche ist.

Für die verschiedenen Lagen der Symmetrieachse kann unter Berücksichtigung des \cos -Gesetzes das aus der Oberfläche austretende Streulicht berechnet werden. Sein Betrag hängt stark von der Lage der Symmetrieachse ab. Für die Extremfälle Symmetrieachse senkrecht und parallel zur Oberfläche ist die räumliche Strahlungsverteilung für das Filter KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$) in kartesischen Koordinaten dargestellt (Abb. 37).

Für die Lage der Symmetrieachse parallel zur Oberfläche ist der Betrag des aus der Oberfläche austretenden Streulichtes um den Faktor 1,3 größer als bei senkrechter Lage der Symmetrieachse zur Oberfläche. Der Betrag der Albedo wird damit ebenfalls um den Faktor 1,3 größer. Das Ergebnis stimmt mit den Erfahrungen qualitativ überein. So zeigen eigene Messungen (vgl. Abschnitt »Albedo«) bei tiefer Sonne einen Anstieg der Albedo einer Eisfläche von 50 % auf 85 % und A. JAFFÉ (1960) erhält eine Albedoerhöhung an Eisplatten bei Änderung der Sonnenhöhe von 90° auf 20° um 25 % (z. B. von 50 % auf 75 %). In einer Arbeit von I. DIRMHORN und E. TROJER (1955) ist als Tagesgang der Albedo einer Eisfläche folgendes Beispiel zu entnehmen: Am 2.9. beträgt auf einer Meßstelle am Hintereisferner die Albedo während der Mittagsstunden etwa 21 % und um 16³⁰ Uhr etwa 37 %. Der Anstieg der Albedo wird von den Autoren allerdings auf eine Abnahme des Wassergehaltes der Oberfläche und eine Zunahme der spiegelnden Reflexion zurückgeführt.

Die Interpretation des Tagesganges der Albedo durch die Änderung der räumlichen Verteilung der Streustrahlung kann zu keiner Albedo größer als 100 % führen. Mit zunehmender Albedo muß der Tagesgang

kleiner werden. Hohe Albedowerte (trockener Neuschnee) werden zu einem großen Prozentsatz von diffuser Oberflächenreflexion hervorgerufen. Damit kann das hier vorgeschlagene Modell nur teilweise zur Erklärung benützt werden. Große Beträge der Albedo können sich auch ergeben, wenn das Unterlicht ungefähr gleich groß wie das Oberlicht wird. In diesem Fall ist beinahe kugelsymmetrische räumliche Strahlungsverteilung vorhanden. Damit ist der Betrag des aus der Oberfläche austretenden Unterlichtes von der räumlichen Lage der Symmetrieachse unabhängig.

11. AKTINOMETRIE UND LUFTTRÜBUNG

a. Einleitung.

A. ÅNGSTRÖM (1929, 1930) hat die Gesamterscheinung der Extinktion der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre in drei voneinander unabhängige Vorgänge aufgeteilt: In die Extinktion durch *Rayleigh*-Streuung, durch Dunstpartikeln und durch Absorption in Gasen.

Zur Bestimmung der Extinktion an Dunstpartikeln wurde der *Ångström*'sche Trübungskoeffizient β eingeführt. Es wird angenommen, daß dieser Extinktionsbetrag proportional $\lambda^{-\alpha}$ ist. Damit wird der Extinktionskoeffizient d_λ der Dunstpartikeln in der Form

$$d_\lambda = \beta \lambda^{-\alpha}$$

dargestellt und für den Wellenlängenexponenten α als Mittelwert $\alpha = 1,3$ angegeben.

Mit der Trennung physikalisch verschiedener Trübungsvorgänge in der Atmosphäre, wie dies durch die Bestimmung des Trübungskoeffizienten β geschieht, wird ein virtueller Tagesgang der Trübungsgröße weitgehend beseitigt. Nach F. MÖLLER (1956) kann allerdings auch β bei $\alpha = 1,3$ einen geringen virtuellen Tagesgang aufweisen.

W. SCHÜEPP (1949) hat eine verfeinerte Trübungsbestimmung veröffentlicht, bei der der Wellenlängenexponent α getrennt bestimmbar ist. Einer Zusammenstellung von F. VOLZ (1956) ist zu entnehmen, daß der Wellenlängenexponent α nicht konstant ist. In der Zusammenstellung variiert α von 0,9 bis 1,62. Eine andere Tabelle (FORTZIK und HINZPETER 1958) enthält α -Werte zwischen 0,5 und 1,5. Neuere Messungen, mitgeteilt von P. VALKO (1960), zeigen α -Werte zwischen 1,30 und 2,05. Der *Ångström*'sche Ansatz mit $\alpha = 1,3$ kann somit nur als Mittelwert gelten. Im Einzelfall ist $\alpha = 1,3$ nicht erfüllt. Trotzdem liefert die *Ångström*'sche Methode gut brauchbare Ergebnisse, vor allem bei geringer Lufttrübung, weil dort der Einfluß des Wellenlängenexponenten α auf das Ergebnis gering ist.

Für Expeditionsmessungen ist die von W. SCHÜEPP (1949) mitgeteilte Methode zur getrennten α -Bestimmung in den meisten Fällen nicht anwendbar, da gewisse Korrekturfaktoren nur aus sehr umfangreichem Material genügend genau bestimmbar sind.

b. Bestimmung des Ångström'schen Trübungskoeffizienten.

Obwohl Filtermessungen mit RG 2 und OG 1 vorliegen, wurden nur die RG 2-Werte zur Bestimmung des Ångström'schen Trübungskoeffizienten β benützt, da in der Anweisung für das IGY (*Instruction Manual*, IV, 1958) nur diese Strahlungswerte tabelliert sind. Die Auswertung wurde genau nach der oben zitierten Anweisung durchgeführt.

Zur Umrechnung der Skalenteile s in Energiebeträge wurden die Ausschlagdifferenzen $s_{\text{total}} - s_0$ mit dem Eichfaktor und $s_{\text{RG 2}} - s_0$ mit dem Eichfaktor und dem Filterfaktor multipliziert. s_0 ist der Nullpunkt. Die Temperaturabhängigkeit des Eichfaktors wurde berücksichtigt (vgl. Abschnitt »Die Eichfaktoren für gerichtete kurzwellige Strahlung«). Die Filterkorrekturen wurden vor der Expedition am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos bestimmt. Sie betragen für RG 2 Nr. 5712: 1,093 und für OG 1 Nr. 5806: 1,102. Damit ergeben sich die Energiebeträge in der *Internationalen Pyrheliometer-Skala 1956* (IPS 1956). Eine Temperaturabhängigkeit der Filterfaktoren wurde nicht berücksichtigt.

Die relative Luftmasse erhält man aus der scheinbaren Sonnenhöhe mit Hilfe einer Tabelle (*IGY Instruction Manual IV*, 1958, S. 461). Die scheinbare Sonnenhöhe wurde aus der wahren Sonnenzeit berechnet. Für die Refraktion wurde eine Korrektur angebracht (*IGY Instruction Manual IV*, 1958, S. 462). Für Sonnenhöhen größer als 30° reicht die am Aktinometer abgelesene scheinbare Sonnenhöhe in der Genauigkeit zur Bestimmung der relativen Luftmasse aus. Es ist anzunehmen, daß für den grönländischen Arbeitsplatz die angeführten Refraktionswerte Gültigkeit haben, obwohl für Polargebiete andere Tabellen empfohlen werden. Die optische Luftmasse wurde nach

$$m = m_h \frac{p}{1000}$$

bestimmt. p ist der Luftdruck in mb. Mit den Strahlungswerten $I_{\text{total}} - I_{\text{RG 2}}$ und der optischen Luftmasse m wurde der Betrag von β nach Tabelle 7 (*IGY Instruction Manual IV*, 1958, S. 464) bestimmt.

Eine Druckreduktion des Trübungskoeffizienten wurde nach Anleitung (*IGY Instruction Manual IV*, 1958, S. 406) durch Berechnung von

$$\beta_p = \beta \frac{p}{1000}$$

durchgeführt. p ist der Luftdruck an der Meßstelle in mb.

Aktinometermessungen wurden an insgesamt 9 Tagen durchgeführt. Die einzelnen Werte des Trübungskoeffizienten sind in **Tab. 30** enthalten. **Tab. 31** gibt die Mittelwerte der Meßreihen. Der größte Betrag des

Trübungskoeffizienten ist $\beta = 0,030$, $\beta_p = 0,027$ (20.7.1959), der kleinste $\beta = 0,011$, $\beta_p = 0,010$ (27.6.1959).

Durch Stichproben wurde versucht, den Trübungskoeffizienten aus RG 2 und OG 1 Filtermessungen zu vergleichen. Dazu wurden die Strahlungswerte in die Smithsonian-Skala durch Multiplikation mit 1,02 umgerechnet und nach den von G. H. LILJEQUIST (1956a) gegebenen Nomogrammen ausgewertet. Beide β -Werte stimmen sehr gut überein.

Die von G. H. LILJEQUIST (1956a) in der Antarktis bestimmten Monatsmittelwerte für β liegen für das Sommerhalbjahr (September bis April) zwischen 0,010 und 0,025. G. H. LILJEQUIST (1956a) vergleicht das Ergebnis mit β -Werten anderer Autoren, die unter ähnlichen Bedingungen gewonnen wurden. **Tab. 32** gibt eine Gegenüberstellung der angeführten Vergleichswerte.

c. Bestimmung des Trübungsfaktors.

Da Angaben des Trübungsfaktors für die Totalstrahlung häufiger sind als Angaben des Ångström'schen Trübungskoeffizienten, wurde der Trübungsfaktor zusätzlich bestimmt. Der Trübungsfaktor der Totalstrahlung erfaßt die Extinktion der Sonnenstrahlung durch Dunst und Absorption in Gasen. Sein Betrag gibt die Anzahl der reinen, trockenen Atmosphären, die zur Erzeugung der gemessenen Extinktion erforderlich wären.

Die Ermittlung der optischen Luftmasse wurde bereits oben beschrieben. Der Trübungsfaktor wurde nach der Formel (*IGY Instruction Manual IV, 1958*, S. 404)

$$T = P(m) (\log I_0 - \log I - \log S)$$

berechnet. $P(m)$ wurde aus einer Tabelle (*IGY Instruction Manual, IV, 1958*, Tab. 6, S. 463) entnommen, $I_0 = 1,98 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, I bedeutet die Totalstrahlung, und S die Reduktion auf den mittleren Sonnenabstand.

Die Druckreduktion erfolgt durch Angabe des »Projizierten Trübungsfaktors«

$$T_p = 1 + (T - 1) \frac{P(m_h)}{P(m)}$$

nach Formel (7) der Anweisung (*IGY Instruction Manual, IV, 1958*, S. 404). Darin ist m_h die relative und m die optische Luftmasse.

Die Ergebnisse für den Trübungsfaktor sind in **Tab. 30** angegeben. Wie erwartet, zeigt der Trübungsfaktor einen ausgeprägten virtuellen Tagesgang. Aus diesem Grund ist der Vergleich mit Angaben anderer Autoren nur bei bestimmten Luftmassen möglich. Eine Mittelbildung aller Werte für einen Tag würde ein falsches Bild geben.

Tab. 33 enthält für jeden Tag den »Projizierten Trübungsfaktor« (T_p) bei bestimmten relativen Luftmassen. Für $m_h = 3$ beträgt der größte Wert $T_p = 2,24$ (19.7.1959) und der kleinste Wert $T_p = 2,01$ (27.6.1959). K. J. HANSON (1960) berechnet bei $m_h = 3$ für die Südpol-Station im Sommer $T_p = 1,40$ und bei derselben Sonnenhöhe im Oktober in Little America (Antarktis) $T_p = 1,68$.

Die am grönländischen Arbeitsplatz gefundenen Beträge des Trübungsfaktors stimmen mit Angaben nach F. LINKE (1955) ungefähr überein. Für Juni–Juli wird dort im Breitenbereich 90–60° N für den Trübungsfaktor als Mittelwert 2,3 angegeben.

Dagegen liefern Messungen während der Grönland-Expedition der Universität Oxford 1938 nach E. ETIENNE (1940) Werte des Trübungsfaktors für Glacier Camp (400 m) $T = 2,81$ im August 1938, $T = 2,81$ im Oktober 1939 und für Igdllo Camp (1400 m) im September 1938 $T = 2,55$. In Tabelle I S. 73 gibt E. ETIENNE (1940) einen Vergleich von Trübungsfaktoren anderer Stationen in der Arktis, die nach E. ETIENNE neu berechnet wurden. Der größte Betrag des Mittelwertes beträgt $T = 2,89$ (Königsbucht, 79° N, 23 m), der kleinste Betrag $T = 2,55$ (Igdllo Camp, 66° N, 1400 m).

d. Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung.

Die Beträge der direkten Sonnenstrahlung sind in **Abb. 38** in Abhängigkeit von der scheinbaren Sonnenhöhe aufgetragen. Die Werte sind auf mittleren Sonnenabstand reduziert und in der *Internationalen Pyrheliometer Skala 1956* (IPS 1956) angegeben. Durch Interpolation werden die Werte von 5° zu 5° Sonnenhöhe ermittelt und sind in **Tab. 34** zusammengestellt. In **Tab. 35** sind verschiedene Angaben der direkten Sonnenstrahlung zum Vergleich bei einer optischen Luftmasse 2 gegenübergestellt.

Tab. 36 enthält Angaben über den Beitrag der einzelnen Extinktionsvorgänge zur Schwächung der direkten Sonnenstrahlung in der Atmosphäre über dem grönländischen Arbeitsplatz für die optischen Luftmassen $m = 1,5$, 2 und 3. Die Angaben bedeuten Prozentsätze der Solar-konstanten. Daraus ist ersichtlich, daß die Dunsttrübung nur 13,2–14,7 % (Luftmassenbereich $m = 1,5$ bis 3,0) der Gesamtextinktion ausmacht.

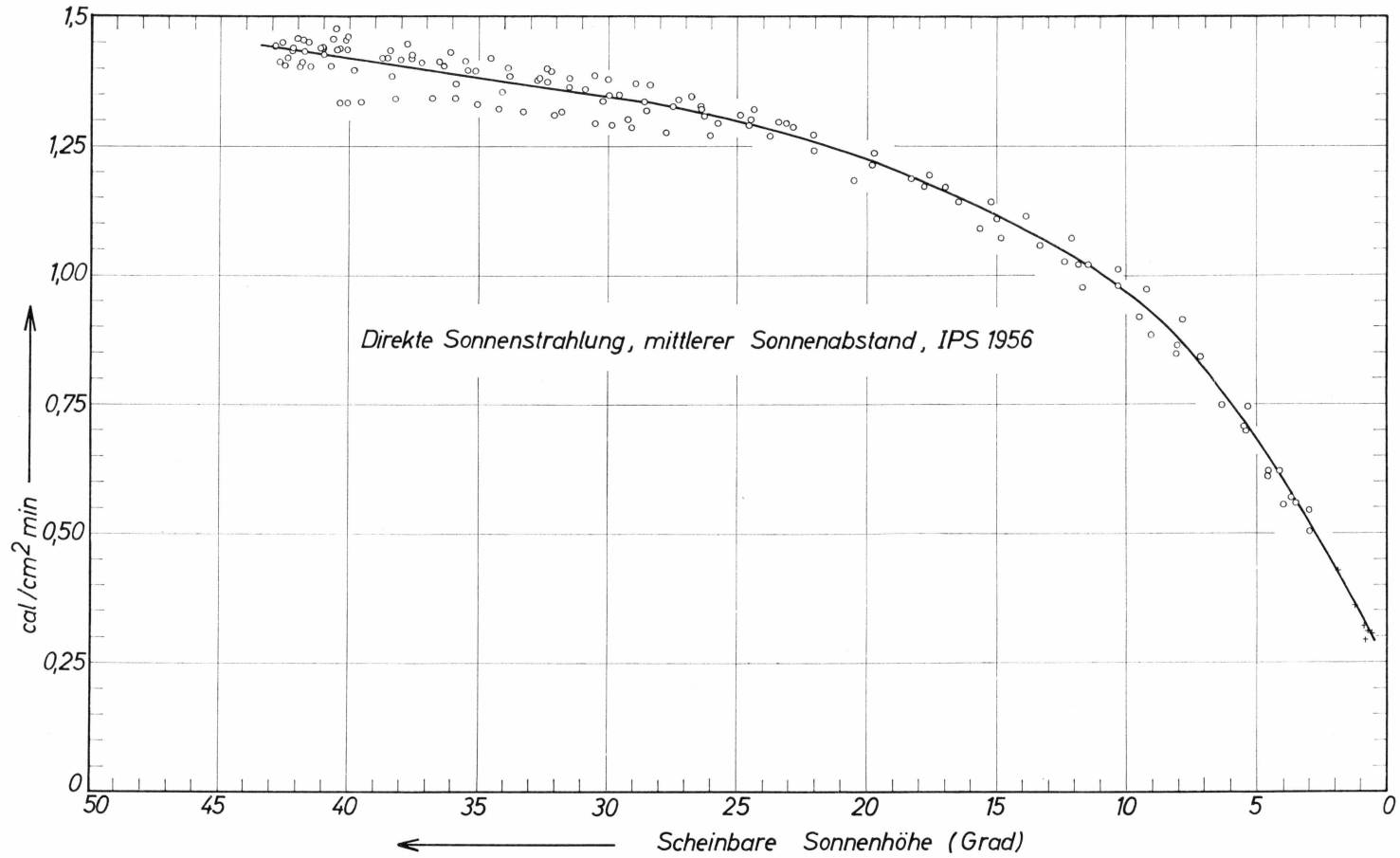


Abb. 38: Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$), reduziert auf mittleren Sonnenabstand, Aktinometer-Skala: IPS 1956. Kreuze: Scheinbare Sonnenhöhe aus Aktinometerablesung. Luftdruck 890 mb.

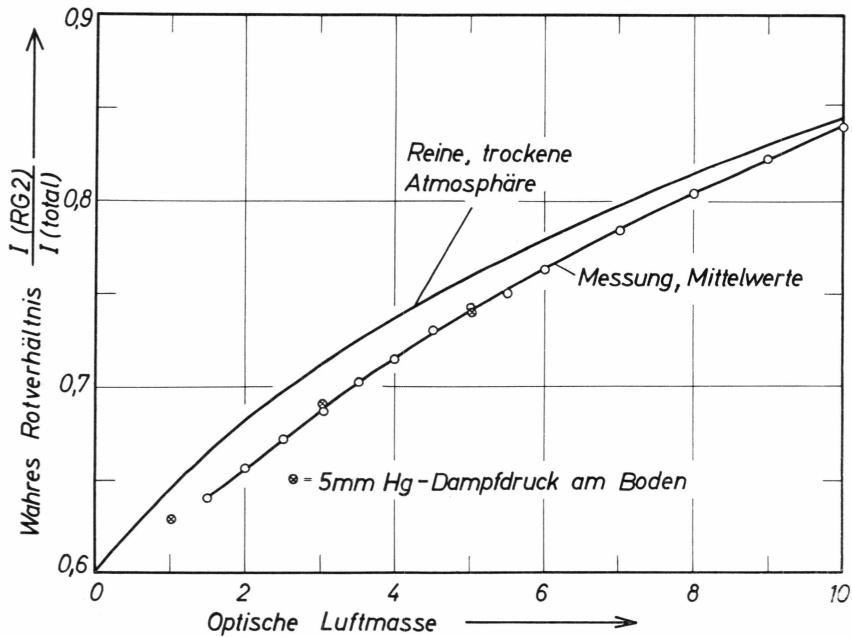


Abb. 39: Die Werte des »Wahren Rotverhältnisses« aus der Messung, für eine Rayleigh-Atmosphäre und für 5 mm Hg Dampfdruck am Boden.

e. Das »Wahre Rotverhältnis«.

Für jede Messung wurde das »Wahre Rotverhältnis«

$$R = \frac{I_{RG2}}{I_{total}}$$

berechnet. Dabei ist I_{RG2} die hinter dem RG 2-Filter gemessene Strahlungsintensität korrigiert mit dem Filterfaktor und I_{total} die Gesamtstrahlung. Das »Wahre Rotverhältnis« wird durch Veränderung des optischen Schwerpunktes der Strahlung, durch Dunsttrübung und Wasserdampfabsorption beeinflusst. Es beträgt außerhalb der Atmosphäre 60,0 %. Mit zunehmender Luftmasse wird der Betrag des »Wahren Rotverhältnisses« größer und erreicht bei $m = 10$ und reiner, trockener Atmosphäre den Wert 84,3 % (F. LINKE 1955, vgl. auch Abb. 39). Mit zunehmendem Wasserdampfgehalt wird das »Wahre Rotverhältnis« kleiner.

Für jeden Tag wurde der Betrag von R durch Interpolation für verschiedene Luftmassen bestimmt und in Tab. 37 zusammengestellt. Die Mittelwerte sämtlicher Messungen wurden zusammen mit dem »Wahren Rotverhältnis« einer Rayleigh-Atmosphäre in Abb. 39 dargestellt. Zusätzlich sind Werte des »Wahren Rotverhältnisses« für 5 mm Hg Dampfdruck am Boden eingezeichnet. Sie decken sich mit den Meßwerten sehr gut.

12. WIND UND AUSTAUSCH

a. Instrumente.

Zur Messung des Windweges wurden vier Schalenkreuzwindwegmesser (W. Lambrecht, Göttingen) in verschiedenen Höhen (40–320 cm) montiert. Die Ablesungen der Instrumente erfolgten regelmäßig dreimal täglich zu den klimatologischen Terminen um 7, 14 und 21 Uhr. Die Windrichtung wurde durch eine Windfahne angezeigt.

Eichkurven wurden von der Firma W. Lambrecht beige stellt. Sie waren jedoch für den Verwendungszweck zu ungenau. Eine Vergleichseichung im Feld war daher unerlässlich.

Die Windwegmesser wurden am 24.5.1959 montiert und liefen ohne Unterbrechung bis zum 9.8.1959. Alle zwei bis drei Wochen wurden die Instrumente in ihrer Höhe zyklisch vertauscht. 11 Tage hindurch wurden sie zum Vergleich in gleicher Höhe montiert. Durch insgesamt 76 vergleichende Beobachtungen konnte eine relative Eichkurve erstellt werden. Dabei wurde die Eichkurve eines Windwegmessers als richtig angenommen und die Eichkurven der drei anderen Instrumente auf die angenommene Eichkurve bezogen.

b. Windgeschwindigkeiten.

Tab. 38 enthält die mittleren Windgeschwindigkeiten in vier verschiedenen Höhen für jeden Tag (21–21 Uhr). Die Höhen der Windwegmesser sind als Zeitfunktion aus **Abb. 40** ersichtlich. Für das oberste Anemometer ($\bar{h} = 315$ cm) wurden auch die mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen den Beobachtungsterminen (7–14, 14–21, 21–7 Uhr) ausgerechnet. Durch Gruppenteilung ($\Delta u = 2$ m/sek) wurde für alle drei Zeitabschnitte und für den Tagesmittelwert eine Häufigkeitsverteilung gezeichnet (**Abb. 41**). Man erkennt deutlich, daß im Vormittagsabschnitt das Maximum der relativen Häufigkeit bei wesentlich höheren Windgeschwindigkeiten liegt als im Nachmittagsabschnitt. Am Vormittag ist die häufigste Windgeschwindigkeit $8 < u < 10$ m/sek und am Nachmittag $4 < u < 6$ m/sek. Die Häufigkeitsverteilung im Nachtabschnitt deckt sich ungefähr mit der im Vormittagsabschnitt. Eine Untersuchung der Ursache der Verschiebung des Häufigkeitsmaximums

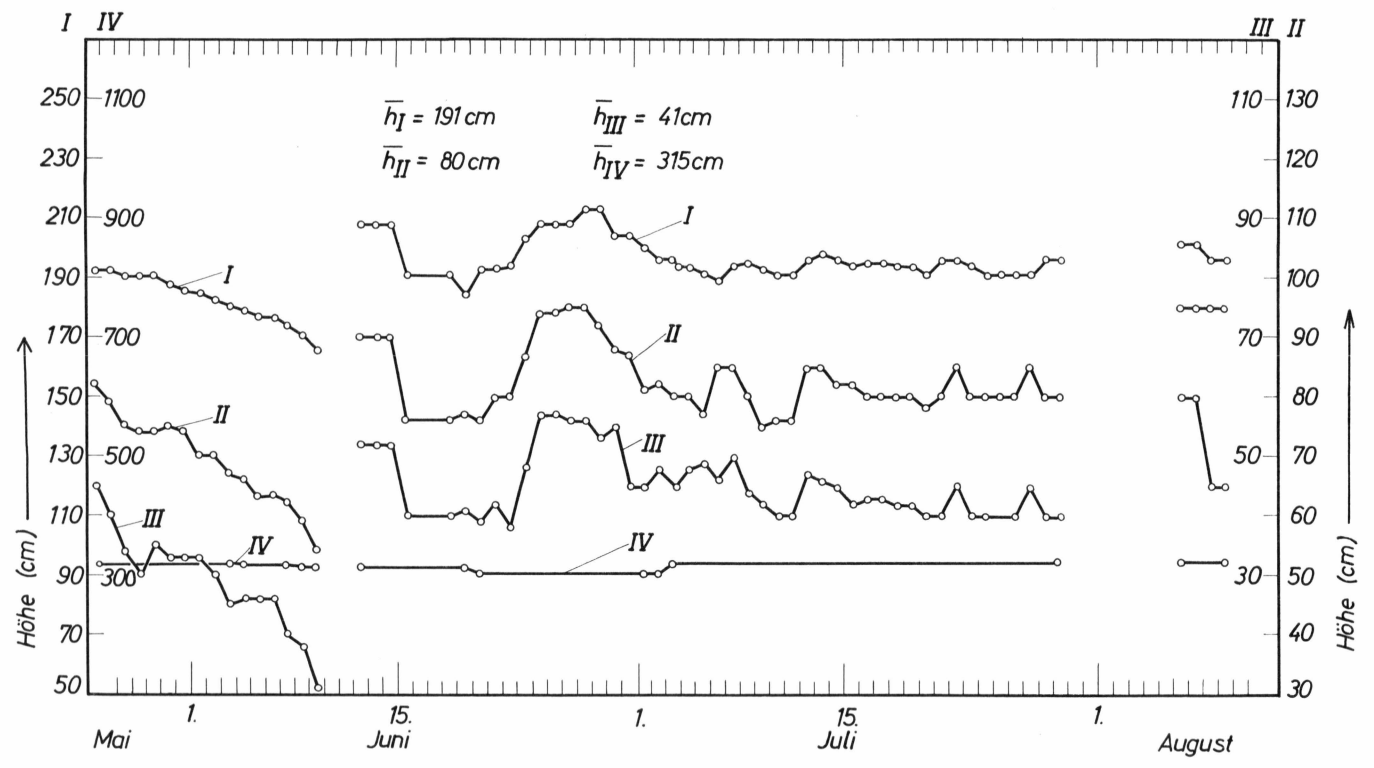


Abb. 40: Die Höhen der 4 Windwegmesser über der Oberfläche als Zeitfunktionen.

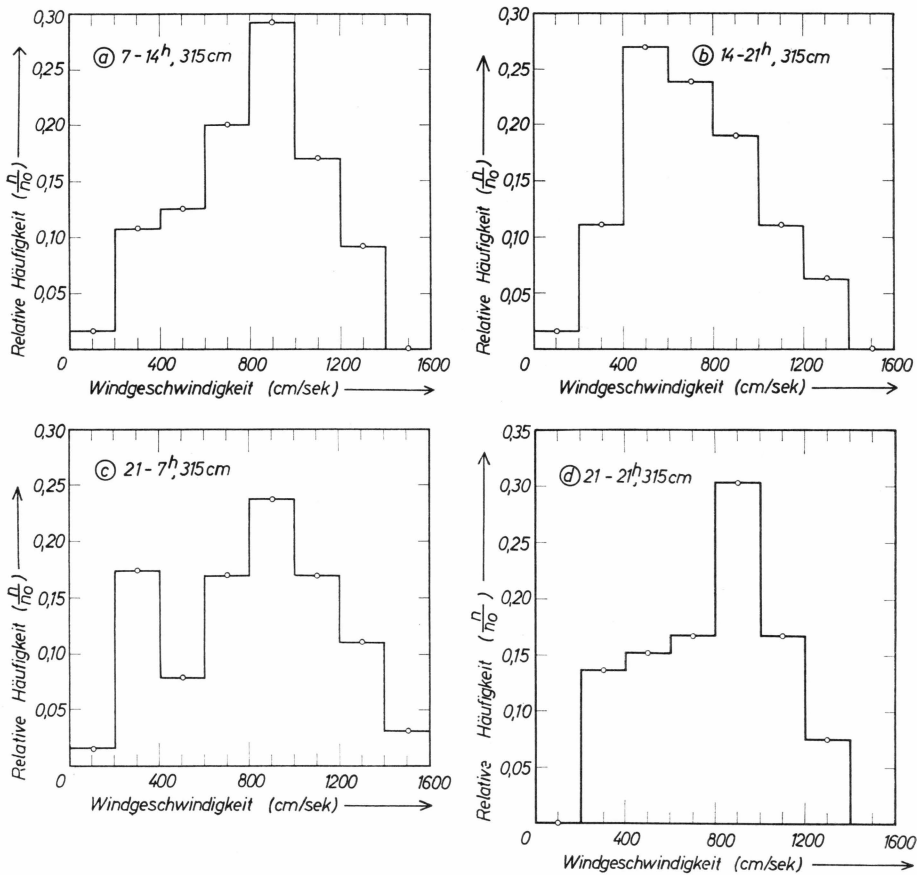


Abb. 41: Relative Häufigkeitsverteilung ($\frac{n}{n_0}$) der Windgeschwindigkeiten, 315 cm Höhe, für die Abschnitte: a) 07-14^h b) 14-21^h c) 21-07^h d) 21-21^h Gruppenintervall: 200 cm/sek.

während des Tages ist in Aussicht genommen. Deshalb wird hier auf Angabe von Schiefe und Exzeß der Häufigkeitsverteilungen verzichtet.

Für die gesamte Meßzeit wurden – mit Ausnahme der Abschnitte der Vergleichseichung – die Windwege in jeder Höhe summiert und die mittlere Windgeschwindigkeit ausgerechnet. Es ergibt sich dafür in den einzelnen Höhen:

Mittlere Höhe (cm)	Mittlere Windgeschwindigkeit (cm/sek)
315	785
191	739
80	642
41	570

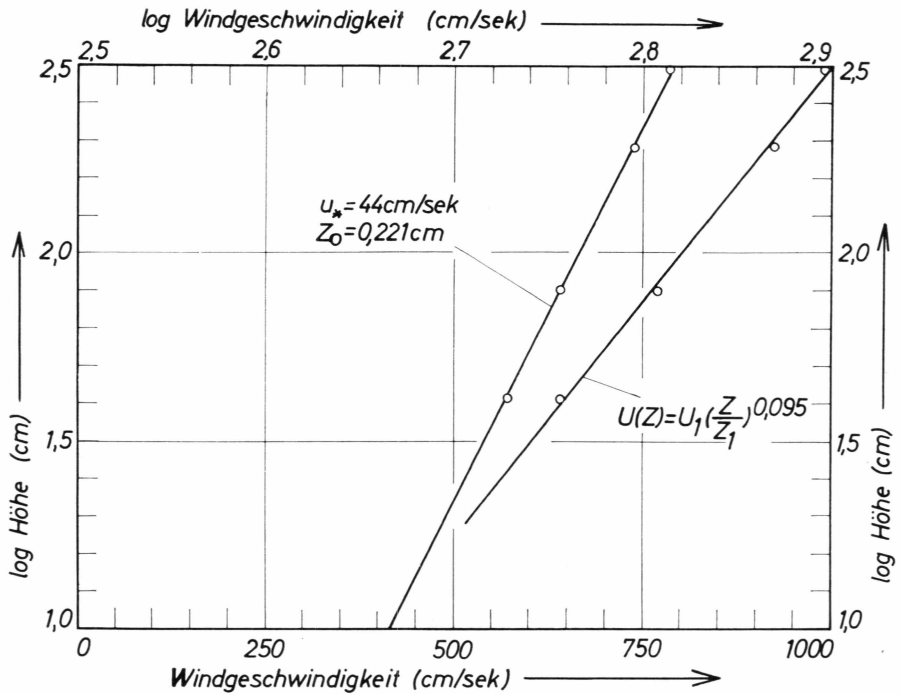


Abb. 42: Die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe. Mittelbildung über die gesamte Meßzeit. Darstellung als logarithmisches Gesetz und Potenzgesetz.

Wie Abb. 42 zeigt, ist damit das logarithmische Geschwindigkeitsprofil in idealer Weise erfüllt. Für die Deacon-Zahl β erhält man demnach $\beta = 1$. Zum Vergleich wurde auch das Potenzgesetz für die Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit

$$\left(\frac{u}{u_1}\right) = \left(\frac{z}{z_1}\right)^\alpha$$

geprüft, indem $\log u$ gegen $\log z$ (Abb. 42) aufgetragen wurde. Die Punkte zeigen neben einer etwas größeren Streuung als im Diagramm $\log z$ gegen u auch eine systematische Krümmung der Kurve. Für den Exponenten ergibt sich mit $\alpha = 0,095$ ein überraschend kleiner Wert. Damit erhält man für den Turbulenzparameter (H. LETTAU 1939) $n = 0,174$. Bei diesem kleinen Wert für α überrascht es nicht, daß auch das Potenzgesetz mit befriedigender Genauigkeit erfüllt ist, da für α gegen Null das Potenzgesetz mit dem logarithmischen Gesetz zusammenfällt. Vom Standpunkt der Austauschberechnung aus betrachtet ist jedoch die Darstellung durch ein Potenzgesetz nur ein Interpolationsverfahren.

Die Ergebnisse der Messungen der Windgeschwindigkeit in 315 cm Höhe können wie folgt zusammengefaßt werden:

Die größte mittlere Windgeschwindigkeit ist 1585 cm/sek (Nachtwert 28.5./29.5.1959) und die kleinste 189 cm/sek (Nachmittagswert vom 8.7.1959). Die mittlere Windgeschwindigkeit für die gesamte Meßperiode beträgt in dieser Höhe 785 cm/sek. Der größte Tagesmittelwert ist 1240 cm/sek (29.5.1959) und der kleinste 221 cm/sek (8.6.1959). Für den häufigsten Tagesmittelwert erhält man 900 cm/sek. Am Nachmittag sind niedere Werte der Windgeschwindigkeit häufiger als am Vormittag. Das logarithmische Gesetz für die Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe wird für den gesamten Zeitabschnitt und für kürzere Abschnitte (Tagesmittelwerte) gut bestätigt.

c. Windrichtung.

Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung (Ablesung dreimal täglich zu den klimatologischen Terminen) zeigt ein sehr stark ausgeprägtes Maximum für Winde aus ESE. Winde aus NW kamen sehr selten und aus NE nie vor. Die Häufigkeitsverteilung zeigt **Tab. 39** nach einer in 32 Richtungen geteilten Windrose.

d. Schubspannungsgeschwindigkeit.

Zur Berechnung des Austauschkoefizienten ist die Kenntnis der Schubspannungsgeschwindigkeit notwendig. Zu deren Ermittlung wurden die Tagesmittelwerte (21–21 Uhr) der Windgeschwindigkeit gegen den Logarithmus der Höhe aufgetragen. Alle Windprofile erfüllen mit gewünschter Genauigkeit die Beziehung:

$$u(z) = 5,75 u_* \log \frac{z}{z_0}.$$

Darin ist $u(z)$ die Windgeschwindigkeit als Funktion der Höhe, u_* die Schubspannungsgeschwindigkeit, z die Höhe und z_0 der Rauigkeitsparameter. Gegenüber dem von H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) angegebenen Ansatz wurde die Hilfsgröße z_0' (abgemessene Bodenrauigkeit) Null gesetzt. Diese Willkür wird damit gerechtfertigt, daß alle Meßhöhen $z \gg z_0'$ sind. In diesem Fall muß zur Bestimmung der Schubspannungsgeschwindigkeit u_* die Hilfsgröße z_0' nicht bekannt sein.

Abb. 43 zeigt Beispiele für das logarithmische Windprofil.

Für den Zeitraum der Vergleichseichung der Windwegmesser ist die Angabe der Schubspannungsgeschwindigkeit u_* ohne Annahme für den Rauigkeitsparameter nicht möglich. Da der Rauigkeitsparameter bei gleichbleibender Oberfläche sich kaum ändert, kann dieser Wert für kurze Zeitabschnitte interpoliert werden. Für die Vergleichstage 10.6., 11.6. und 12.6.1959 wurde $\log z_0 = -1.1$ und für die Vergleichstage vom

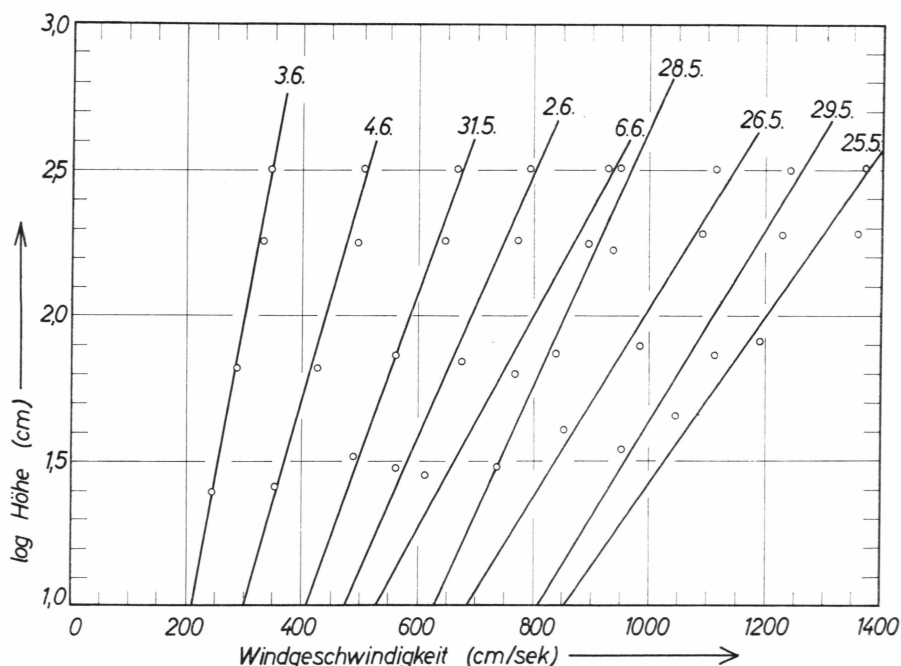


Abb. 43: Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten gegen den Logarithmus der Höhe. Ausgewählte Beispiele.

30.7. bis 6.8.1959 $\log z_0 = -0,4$ gesetzt. Die Beträge der Schubspannungsgeschwindigkeit (cm/sec) sind für jeden Tag in **Tab. 38** zusammengestellt.

Am 8.6.1959 wurde der kleinste Wert der Schubspannungsgeschwindigkeit zu $u_* = 10,6$ cm/sec bestimmt und am 24.6.1959 ergibt sich mit $u_* = 70,4$ cm/sec der größte Wert. Aus der mittleren Kurve (Abb. 42) erhält man $u_* = 44,0$ cm/sec und $z_0 = 0,221$ cm.

Verglichen mit Ergebnissen, die auf Alpengletschern gewonnen wurden, ist der Betrag der Schubspannungsgeschwindigkeit sehr groß. H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) finden für eine 121-stündige Meßperiode (Tagesabschnitt) am *Vernagtferner* (Ötztaler-Alpen) den Mittelwert $u_* = 16,88$ cm/sec und für eine zweite 93-stündige Meßperiode (Nachtabschnitt) für $\bar{u}_* = 20,05$ cm/sec. Sogar an einem windigen Meßplatz am *Hornkees* (Zillertaler Alpen) findet H. HOINKES (1953) für den Tagesabschnitt als Mittelwert über 7 Tage nur $\bar{u}_* = 25,13$ cm/sec. Aus einer graphischen Darstellung von H. HOINKES (1954a) ist zu entnehmen, daß im Sommer 1952 am *Vernagtferner* (Ötztaler Alpen) über eine 14-tägige Meßperiode $u_* \sim 15$ cm/sec bestimmt wurde. Eigene Messungen (W. AMBACH 1953) liefern in Nachtstunden an derselben Stelle am *Vernagtferner* ebenfalls Werte der Schubspannungsgeschwin-

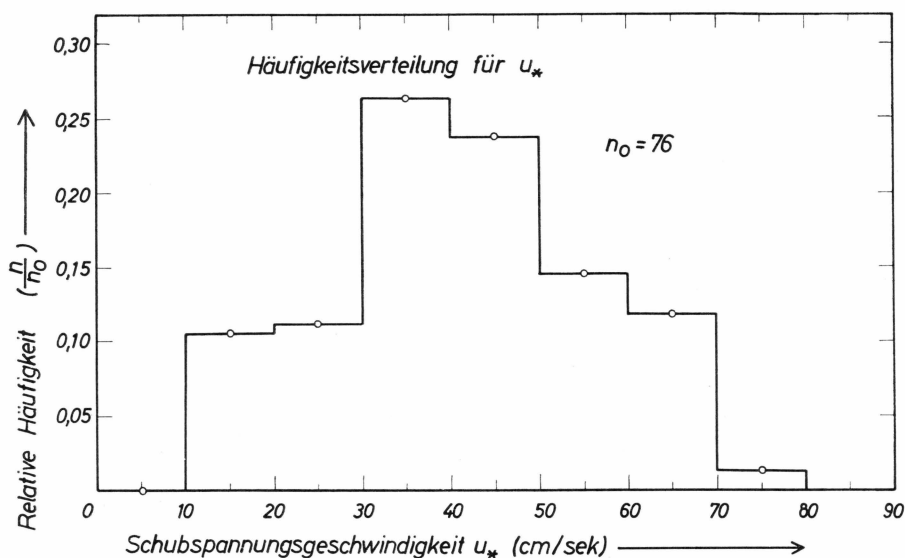


Abb. 44: Relative Häufigkeitsverteilung $(\frac{n}{n_0})$ der Tagesmittelwerte der Schubspannungsgeschwindigkeit. Gruppenintervall: 10 cm/sek.

digkeit zwischen 7,8 und 15,9 cm/sek. Die hier mitgeteilten Werte der Schubspannungsgeschwindigkeit sind größer als die in den Alpen gemessenen Beträge. An 76 Meßtagen wurde am grönländischen Arbeitsplatz die Schubspannungsgeschwindigkeit nur in 14 Fällen kleiner als 25 cm/sek bestimmt. Abb. 44 gibt eine Häufigkeitsverteilung der Werte der Schubspannungsgeschwindigkeit. Das Maximum der Häufigkeitsverteilung liegt in der Gruppe $30 < u_* < 40$ cm/sek mit 26% relativer Häufigkeit. Für die Gruppe $40 < u_* < 50$ cm/sek erhält man ebenfalls einen großen Wert von 24% für die relative Häufigkeit. Bei Werten $u_* < 30$ cm/sek und $u_* > 50$ cm/sek sinkt die relative Häufigkeit unter 15% ab.

Die größeren Beträge der Schubspannungsgeschwindigkeit werden am grönländischen Arbeitsplatz durch größere absolute Werte der Windgeschwindigkeiten verursacht, da der Rauigkeitsparameter einer schneefreien Gletscheroberfläche etwa gleich groß ist wie in den Alpen.

Auch N. UNTERSTEINER (1958) findet am *Chogo Lungma-Gletscher* (Karakorum) kleine Werte der Schubspannungsgeschwindigkeit. Für den Tagesabschnitt wird in Station I, Firn $u_* = 19,25$ cm/sek und in Station II, Eis $u_* = 10$ cm/sek gefunden. Im Nachtabschnitt besitzen dort die Beträge ungefähr dieselbe Größe wie im Tagesabschnitt (Station I, Firn $u_* = 19,37$ cm/sek; Station II, Eis $u_* = 7,35$ cm/sek). G. H. LILJEQUIST (1957a) findet in *Maudheim* (Antarktis) wegen wesentlich größerer Windgeschwindigkeiten Werte für die Schubspannungsge-

schwindigkeit, die im Maximum bei $u_* = 150$ cm/sek liegen. Allerdings ist kein linearer Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Schubspannungsgeschwindigkeit gegeben, da der Rauigkeitsparameter mit der Windgeschwindigkeit vermutlich zunimmt. So findet G. H. LILJEQUIST (1957 a) bei einer Windgeschwindigkeit von 32,5 m/sek für den Rauigkeitsparameter $z_0 = 0,58$ cm. Der Mittelwert des Rauigkeitsparameters bei Windgeschwindigkeiten bis 13 m/sek ist dort 0,01 cm. Aus Messungen auf der driftenden Eisscholle »US Drifting Station A« findet N. UNTERSTEINER (1961) $u_* = 21,7$ cm/sek bei Annahme $z_0 = 0,1$ cm.

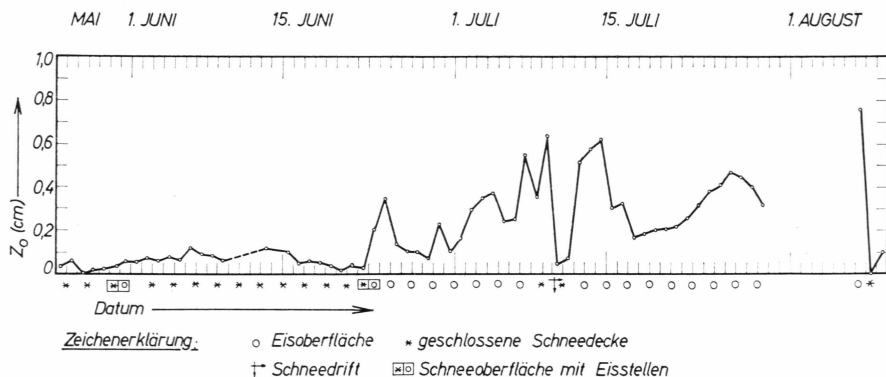


Abb. 45: Der Rauigkeitsparameter z_0 des Windprofils als Zeitfunktion mit Kennzeichnung der Oberflächenbeschaffenheit.

e. Rauigkeitsparameter.

Die gefundenen Werte des Rauigkeitsparameters einer Schneefläche sind wesentlich kleiner als der Rauigkeitsparameter einer Eisfläche. Durch unterschiedliche Ablation und Erosion der schmelzwasserführenden Bäche werden Eishöcker gebildet, die auf das Windprofil einen erheblichen Einfluß ausüben. Über der mit Schnee bedeckten Oberfläche ist der gemessene Rauigkeitsparameter $10^{-2} < z_0 < 10^{-1}$ cm. Über der höckrigen Eisoberfläche wurde der Rauigkeitsparameter um eine Zehnerpotenz größer bestimmt. Hier liegen die Werte zwischen 0,1 und 0,6 cm. **Abb. 45** zeigt den Rauigkeitsparameter gegen das Datum mit Kennzeichnung der Oberflächenbeschaffenheit. Der Wert am 14.6.1959 wurde durch Interpolation gefunden, da ein Anemometer eingefroren war und dadurch der Rauigkeitsparameter falsch ermittelt wird. Auch der Wert der Schubspannungsgeschwindigkeit ist an diesem Tag nur unsicher zu bestimmen. Beim Vergleich der Oberflächenbeschaffenheit mit dem Wert des Rauigkeitsparameters sind folgende Punkte auffallend:

Am Beginn der Ablationsperiode am 24.6.1959 erreicht der Rauigkeitsparameter z_0 das erste Mal einen Wert wesentlich über 0,1 cm. Er

bleibt bei Eisoberfläche im folgenden Zeitabschnitt über 0,1 cm und wird langsam größer. Die Erhöhung des Wertes des Rauigkeitsparameters wird auf die Ausbildung von Höcker und Schmelzrinnen zurückgeführt. Der erste Neuschneefall bringt am 10.7.1959 ein Absinken des Rauigkeitsparameters auf den über der Schneeoberfläche gefundenen Wert. Nach Ablation der Schneedecke steigt der Rauigkeitsparameter schlagartig auf Werte über 0,5 cm und bleibt im folgenden Zeitabschnitt bei schneefreier Eisoberfläche über 0,1 cm. Der zweite Neuschneefall am 7.8.1959, kurz vor Abbruch der Station, ist wiederum mit einem Absinken des Rauigkeitsparameters unter 0,1 cm verbunden.

Obwohl ein deutlicher Unterschied des Rauigkeitsparameters bei Eis und Schnee feststellbar ist, muß trotzdem angenommen werden, daß der gemessene Rauigkeitsparameter über Eis nicht durch die rauhere Mikrostruktur der Eisoberfläche, sondern durch die Höckerstruktur der Oberfläche erzwungen wird. Folgende Beobachtungen werden zur Bestätigung angeführt: Ein Oberflächenzustand mit etwa 50 % Eis und 50 % Schneebedeckung wurde vor Ausbildung der Schmelzhöcker vom 29.5. bis 1.6.1959 und vom 22.6. bis 23.6.1959 beobachtet. In beiden Perioden ergibt sich als Rauigkeitsparameter ein Wert, wie er über einer geschlossenen, glatten Schneeoberfläche gemessen wurde. Die Eisstellen scheinen in diesem glatten Zustand keinen Einfluß auf das Windprofil auszuüben. Am 8.7.1959 wurden die bereits ausgebildeten Schmelzhöcker mit einer geschlossenen Neuschneedecke überdeckt, die am 9.7.1959 6–8 cm Höhe erreicht. Der Schnee war locker und nicht verblasen, sodaß die Höckerstruktur der Oberfläche gut erhalten blieb. Trotz der geschlossenen Schneedecke beträgt der Rauigkeitsparameter noch immer $z_0 > 0,3$ cm. Erst nach Einsetzen der Schneedrift, durch die glatte Schneeoberflächen hergestellt und die Schmelzhöcker ausgeglichen wurden, erreicht der Rauigkeitsparameter Werte kleiner als 0,1 cm. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß die größeren Bodenformen (Schmelzhöcker und Wasserrinnen) für den Rauigkeitsparameter maßgebend sind und nicht die Mikrostruktur der Oberfläche selbst. Es ist bemerkenswert, daß die Makrostruktur der Eisoberfläche mit Höckerhöhen von 10–30 cm einen relativ kleinen z_0 -Wert ergeben. Die Bemerkung von H. HOINKES (1954a), daß der Wert des Rauigkeitsparameters $z_0 \sim 0,15$ cm, der sich aus drei unabhängigen Meßreihen auf Alpengletschern ergeben hat, eine echte Oberflächenkonstante sei, ist in der Weise zu interpretieren, daß für diesen Wert $z_0 \sim 0,15$ cm nicht die Bedeckung der Oberfläche (Schnee oder Eis), sondern die Struktur der Erhebungen aus der Oberfläche charakteristisch ist. So kann z. B. auch eine Schneeoberfläche mit hohen Sastrugi-Formen den gleichen Wert des Rauigkeitsparameters haben wie eine Eisoberfläche

mit Schmelzhöckern. Zum Vergleich der gemessenen Werte des Rauigkeitsparameters ist demnach die Angabe der Oberflächenart (Eis, Schnee) und der Oberflächenstruktur (Schmelzhöcker, Sastrugi) erforderlich. N. UNTERSTEINER (1958) findet z. B. für den Tagesabschnitt am *Chogo Lungma-Gletscher* (Karakorum) über Firn mit leichter Höckerstruktur – abgemessene Rauigkeit ungefähr 6 cm – etwa denselben Wert des Rauigkeitsparameters wie über Eis (Firn $z_0 = 0,28$ cm, Eis $z_0 = 0,20$ cm). Ferner muß bei großen Windgeschwindigkeiten ($u > 15$ m/sek) eine Abhängigkeit des Rauigkeitsparameters vom Betrag der Windgeschwindigkeit erwartet werden (G. H. LILJEQUIST 1957 a).

Die berechneten Werte des Rauigkeitsparameters über Eis stimmen mit denen anderer Autoren überein. So findet H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) aus Messungen auf einem Alpengletscher Werte für eine Eisoberfläche zwischen 0,147 und 0,338 cm. Auswertungen von Messungen während eines anderen Zeitabschnittes am *Hornkees* (Zillertaler Alpen) liefern bei größeren Windgeschwindigkeiten den Wert 0,172 cm (H. HOINKES 1953) und eigene Messungen (W. AMBACH 1953) am *Vernagtferner* (Ötztaler Alpen) geben für die Nachtabschnitte $z_0 = 0,053$ cm. Auch die von N. UNTERSTEINER (1958) am *Chogo Lungma-Gletscher* (Karakorum) über Eis gefundenen Werte des Rauigkeitsparameters liegen in derselben Größenordnung (Nacht 0,15 cm, Tag 0,20 cm). Bereits H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) haben darauf hingewiesen, daß ihre gemessenen z_0 -Werte mit Ergebnissen übereinstimmen, die H. U. ROLL (1948) für eine grasbedeckte Oberfläche mit 3–4 cm Halmlänge ermittelt hat.

Der Wert des Rauigkeitsparameters über Schnee aus eigenen Messungen kann mit dem von G. H. LILJEQUIST (1957 a) ermittelten Wert verglichen werden. Für Windgeschwindigkeiten bis 13 m/sek wird von G. H. LILJEQUIST (1957 a) $z_0 = 0,1$ cm angegeben. Die eigenen Werte liegen zwischen 0,1 und 0,01 cm. In beiden Fällen handelt es sich um denselben Bereich der Windgeschwindigkeit. Die etwas kleineren Werte der eigenen Messungen sind wahrscheinlich auf die glattere Schneeoberfläche zurückzuführen, da keine markanten Sastrugiformen ausgebildet waren.

Eine Veränderung des Rauigkeitsparameters des Windprofiles kann bei geänderter thermischer Schichtung der eisnahen Luftschicht vorgetauscht werden, da bei großen Temperaturgradienten das logarithmische Gesetz für die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe nicht mehr streng erfüllt sein kann. Bei größerer Stabilität der eisnahen Luftschicht ergibt sich ein kleinerer Wert des Rauigkeitsparameters. Ferner ist es möglich, daß bei bevorzugter Orientierung von Boden-

unebenheiten bei Veränderung der Windrichtung auch der Rauigkeitsparameter geändert wird.

Tab. 38 enthält die Mittelwerte des Rauigkeitsparameters für jeden Tag.

f. Austauschkoeffizient.

Die Berechnung des Austauschkoeffizienten erfolgt nach der Formel (H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952)

$$A = \frac{A_a}{(1+x)^2} \quad \text{g/cm sek.}$$

Darin ist A_a der Austauschkoeffizient für adiabatische Schichtung und x ein dimensionsloser Ausdruck (*Richardson-Zahl* Ri), der die nicht-adiabatische Schichtung der eisnahen Luftschicht berücksichtigt. Für A_a und x gelten die Ausdrücke:

$$A_a = \kappa \varrho u_* z \quad \text{und} \quad x = \frac{g(z+z_0)^2}{T} \frac{d\vartheta}{u_*^2 dz}.$$

Darin bedeutet κ die *Karman'sche* Konstante ($\kappa = 0,42$, L. PRANDTL 1956), ϱ die Luftdichte, u_* die Schubspannungsgeschwindigkeit, z die Höhe über der Oberfläche, g die Schwerebeschleunigung, T die absolute Temperatur, z_0 den Rauigkeitsparameter und $d\vartheta/dz$ den Gradienten der potentiellen Temperatur. Zur Berechnung der Luftdichte wurde ein mittlerer Luftdruck 896 mb und $T = 274^\circ \text{ K}$ gesetzt.

Die größte Korrektur für nichtadiabatische Schichtung beträgt 12 % (22.7.1959) bei $u_* = 14,3 \text{ cm/sek}$ und $d\vartheta/dz = +0,00193 \text{ gd/cm}$. Nur an einem Tag (15.6.1959) ergibt sich für x ein negativer Wert.

Die Tagesmittelwerte des Austauschkoeffizienten sind in **Tab. 38** für die Höhe $z = 100 \text{ cm}$ zusammengestellt. Die nichtadiabatische Schichtung ist darin bereits berücksichtigt. Der größte Wert beträgt 3,34 g/cm sek (24.6.1959) und der kleinste Wert 0,504 g/cm sek (8.6.1959).

Ein Vergleich der Beträge des Austauschkoeffizienten, die bei Messungen auf Alpengletschern gewonnen wurden, zeigt, daß für dieselbe Höhe ($z = 100 \text{ cm}$) sich auf Alpengletschern viel kleinere Werte ergeben. H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) finden als Mittelwert für den Tagesabschnitt etwa 0,5 g/cm sek und H. HOINKES (1953) 0,9 g/cm sek für den Tagesabschnitt und 1,1 g/cm sek für den Nachtabschnitt. Werte zwischen 0,5 g/cm sek und 1,1 g/cm sek sind für Alpengletscher repräsentativ. N. UNTERSTEINER (1958) findet am *Chogo Lungma-Gletscher* (Karakorum) für den Austauschkoeffizienten ebenfalls kleine Werte. Der Wert erreicht auf Station I, Firn, im Mittel 0,65 g/cm sek. Auf Station II, Eis, betragen die Werte für den Nachtabschnitt 0,25 g/cm sek und für den Tagesabschnitt 0,30 g/cm sek.

13. TEMPERATUR UND FEUCHTIGKEIT

a. Instrumente.

In einer Wetterhütte wurde mit Hilfe eines Thermohygrographen (Wochenumlauf) Lufttemperatur und relative Feuchtigkeit registriert. Der Thermohygrograph war 187 cm über der Oberfläche montiert. Zu den klimatologischen Terminbeobachtungen (7, 14 und 21 Uhr) wurden mit Hilfe eines *Assmann*-Aspirationspsychrometers Kontrollwerte für die Registrierung ermittelt. Ferner war in der meteorologischen Hütte ein Maximum- und ein Minimumthermometer ausgelegt. Die Ablesung des Maximumthermometers erfolgte am Abend, die des Minimumthermometers am Morgen.

Eine zweite, kleinere meteorologische Hütte wurde direkt unter der ersten, unmittelbar über der Oberfläche aufgestellt. Am Boden dieser Hütte war ebenfalls ein Maximum- und ein Minimumthermometer. Für diese Thermometer beträgt der mittlere Abstand von der Oberfläche wenige Zentimeter. Der Abstand ist wegen wechselnder Akkumulation und Ablation nicht sehr konstant. Die Lötstellen einer Thermokette mit 22 Elementen aus Kupfer-Konstantan waren in der oberen und unteren Wetterhütte montiert. Mit Hilfe dieser Thermokette wurde der Temperaturgradient in der eisenahen Luftschicht durch Anschluß an einen Punktschreiber (bis 19.7.1959 Sechs-Farben-Schreiber Meßstelle Nr. 3, ab 19.7.1959 Zwei-Farben-Schreiber) registriert. Die oberen Lötstellen hatten einen mittleren Abstand von der Oberfläche von 207,5 cm, die untere 16 cm ($\Delta z = 191,5$ cm).

b. Auswertung der Registrierung des Thermohygrographen.

Nach Anbringen der Zeitkorrektur (Uhrwerk) und Ermittlung der Korrekturgrößen aus den Kontrollmessungen (dreimal täglich) wurde der stündliche Mittelwert der Lufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit für die Dauer der Registrierung (25.5.–9.8.1959) bestimmt. Für die Luftdruckkorrektur wurden die korrigierten Werte der Registrierung eines Barographen benützt. Der Stundenmittelwert des Dampfdruckes wurde aus diesen Angaben ermittelt.

Die Stundenmittelwerte der Lufttemperatur und des Dampfdruckes sind in **Tab. 40, 41** zusammengestellt.

Die Stundenmittelwerte des Dampfdruckes sind erforderlich, um zwischen Kondensations- und Verdunstungsbedingung zu unterscheiden und Stundenintervalle mit Kondensation von Stundenintervallen mit Verdunstung zu trennen.

Aus den Stundenmittelwerten der Temperatur wurde das 24-stündige Temperaturmittel für jeden Tag errechnet. **Tab. 42** enthält das Ergebnis. Der ganze Abschnitt zerfällt deutlich in zwei Perioden. Bis zum 21.6.1959 sind alle Werte negativ, mit Ausnahme von drei Tageswerten (29.5., 30.5., 31.5.1959). Daran schließt sich die zweite Periode mit überwiegend positiven Tagesmitteltemperaturen. Nur am 9.7. und 10.7.1959 sinkt die Tagesmitteltemperatur unter 0°C . Diese zweite Periode klingt am 30.7.1959 mit Werten nahe um 0°C aus. Das tiefste Tagesmittel wurde am 16.6.1959 mit $-4,55^{\circ}\text{C}$ und das höchste am 26.6.1959 mit $+4,28^{\circ}\text{C}$ bestimmt. Die Extremtemperaturen für jeden Tag (21–21 Uhr) wurden aus den Stundenmittelwerten der Temperatur abgelesen. Die Tagesextremtemperaturen sind in **Tab. 42** enthalten. Der Zeitabschnitt 21–21 Uhr wurde gewählt, weil sich der Tagesablationswert auf diesen Zeitabschnitt bezieht. Das absolute Maximum des Stundenmittelwertes der Temperatur beträgt $+5,1^{\circ}\text{C}$ (27.7.1959 17–18 Uhr) und das absolute Minimum $-8,8^{\circ}\text{C}$ (16.6.1959 6–8 Uhr und 10.7.1959 2–3 Uhr). Die maximale Schwankung der Tagestemperatur (Maximum minus Minimum) wurde aus den Extremwerten der Registrierung gebildet. Die Ergebnisse sind ebenfalls in **Tab. 42** zusammengestellt.

Der größte Unterschied zwischen Maximum- und Minimumtemperatur war am 10.7.1959 mit $9,6^{\circ}\text{C}$ und der kleinste am 26.6.1959 mit $0,6^{\circ}\text{C}$.

c. Thermoelektrische Registrierung des Lufttemperaturgradienten.

Der Eichfaktor der Thermokette wurde bei ungeschützten Lötstellen im Felde und im Labor für beide verwendeten Schreiber bestimmt. Eine Temperaturabhängigkeit des Eichfaktors muß wegen der kleinen Temperaturdifferenzen und der kleinen Temperaturänderungen nicht berücksichtigt werden. Die Registrierung wurde durch Angabe der Stundenmittelwerte der gemessenen Temperaturdifferenz ausgewertet. In **Tab. 43** sind die stündlichen Mittelwerte der Temperaturdifferenz zusammengestellt. Aus den Stundenmittelwerten wurde das 24-stündige Mittel der Temperaturdifferenz der beiden Lötstellen für jeden Registriertag (3.6.–8.8.1959) bestimmt. Fehlende Registrierstunden wurden sinnvoll ergänzt, indem ein Zusammenhang zwischen positiver Lufttemperatur und Temperaturgradient benützt wurde (vgl. Abb. 46). Die

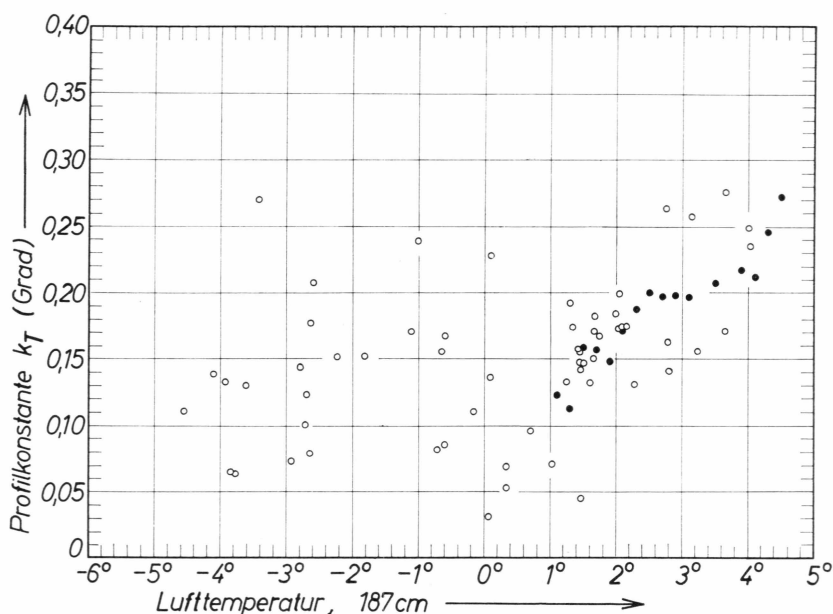


Abb. 46: Die Profilkonstante k_T des logarithmischen Temperaturprofils gegen die Lufttemperatur in 187 cm Höhe. Leere Kreise: k_T aus der thermoelektrischen Registrierung berechnet (Tagesmittelwerte). Volle Kreise: Gruppenmittel aus Einzelmessungen mit Hilfe eines Assmann-Aspirationspsychrometers und einer thermoelektrischen, strahlungsfehlerkompensierten Anordnung. Bei positiven Lufttemperaturen ergibt sich ein Zusammenhang zwischen k_T und der Lufttemperatur.

Temperaturdifferenzen sind im allgemeinen positiv, d. h. es ergibt sich eine Temperaturzunahme mit der Höhe. Nur an zwei Tagen (15.6. und 21.7.1959) ist der Mittelwert der Temperaturdifferenz negativ. Für die gesamte Registrierzeit (1762 Stunden) ergeben sich nur 164 einzelne Stundenintervalle (9,3 %) mit negativer Temperaturdifferenz.

Es wurde ferner angenommen, daß für Mittelwerte (Tagesmittelwerte, Stundenmittelwerte) der Temperatur im Bereich $z < 200$ cm folgender Zusammenhang mit der Höhe besteht:

$$T(z) = T_0 + k_T \ln \frac{z + z_0}{z_0}.$$

Darin bedeutet k_T eine Profilkonstante, T die Temperatur und z die Höhe. z_0 ist der Rauigkeitsparameter des Windprofiles und T_0 ist die Temperatur an der Oberseite der quasilaminaren Grenzschicht ($z = 0$).

Die Rechtfertigung der Annahme eines logarithmischen Temperaturprofils wird weiter unten gegeben. Der Temperaturgradient ergibt sich aus obiger Formel für $z \gg z_0$ einfach zu

$$\frac{dT}{dz} = \frac{k_T}{z}.$$

Aus den thermoelektrisch gemessenen Temperaturdifferenzen kann bei Annahme des logarithmischen Temperaturprofils in einfacher Weise die Profilkonstante k_T bestimmt werden:

$$k_T = \frac{\Delta T}{2,3 (\log z_1 - \log z_2)}$$

mit $z_1 = 16 \text{ cm}$, $z_2 = 207,5 \text{ cm}$.

k_T hat damit dasselbe Vorzeichen wie ΔT und ist der Temperaturdifferenz direkt proportional. Unter Verwendung von **Tab. 43** für die Stundenmittelwerte der registrierten Differenz der Lufttemperatur können auch die Stundenmittelwerte der Profilkonstanten k_T nach

$$k_T = 0,390 \Delta T$$

berechnet werden. Darin wird z in cm und ΔT in Grad Celsius angegeben. Die 24-stündigen Mittelwerte der Profilkonstanten k_T sind in **Tab. 44** enthalten. Der Betrag $k_T 10^{-2}$ gibt gleichzeitig den Wert des Lufttemperaturgradienten in 100 cm Höhe. Die in **Tab. 44** angegebenen Beträge der Profilkonstanten sind auf- und abgerundete Rechenwerte.

d. Messungen der thermischen Schichtung der eisnahen Luftschicht mit Hilfe eines Assmann-Aspirationspsychrometers.

Um die Gültigkeit des logarithmischen Temperaturprofils zu prüfen, wurden Lufttemperaturmessungen mit Hilfe eines *Assmann-Aspirationspsychrometers* im Höhenbereich bis 150 cm durchgeführt. Dazu wurde das Psychrometer an einem Tetraeder aus Aluminiumrohren aufgehängt.

Wegen der Durchmischung der instrumentennahen Luftschicht durch den Ansaugstrom und wegen der großen Trägheit des Quecksilberthermometers eignet sich das Assmann-Aspirationspsychrometer gut zur Erfassung von mittleren Bedingungen. Die starke thermische Unruhe der eisnahen Luftschichten (H. HOINKES 1956a, H. MOCKER 1958) bewirkt, daß nur bei Mittelbildung über einen längeren Zeitabschnitt (etwa 5–10 Minuten) überhaupt ein reproduzierbarer gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Temperatur und Höhe gefunden werden kann. Bei einem trägen Temperaturfühler wird die Mittelbildung bereits durch das Instrument besorgt.

Die Lufttemperaturmessungen mit Hilfe des *Assmann-Aspirationspsychrometers* wurden stichprobenartig bei möglichst verschiedenartigen Temperatur- und Windbedingungen durchgeführt. Insgesamt liegen 65 gemessene Profile vor. Die Genauigkeit der Temperaturdifferenzmessung wird mit $\pm 0,1^\circ \text{C}$ angegeben. Innerhalb dieser Genauigkeit erfüllen alle

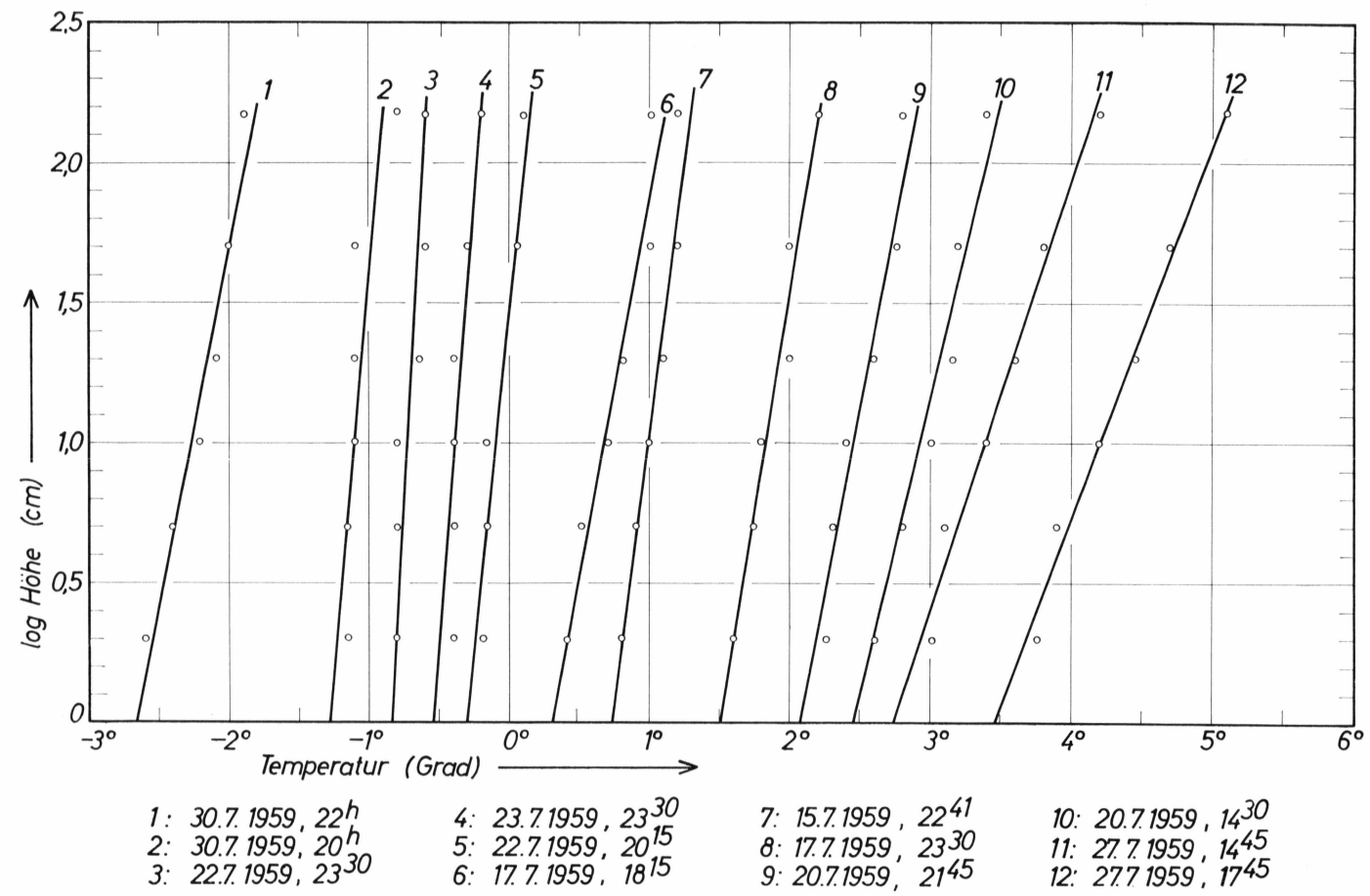


Abb. 47: Ausgewählte Profile der Lufttemperatur bis 150 cm Höhe, gemessen mit Hilfe eines Assmann-Aspirationspsychrometers. Halblogarithmische Darstellung.

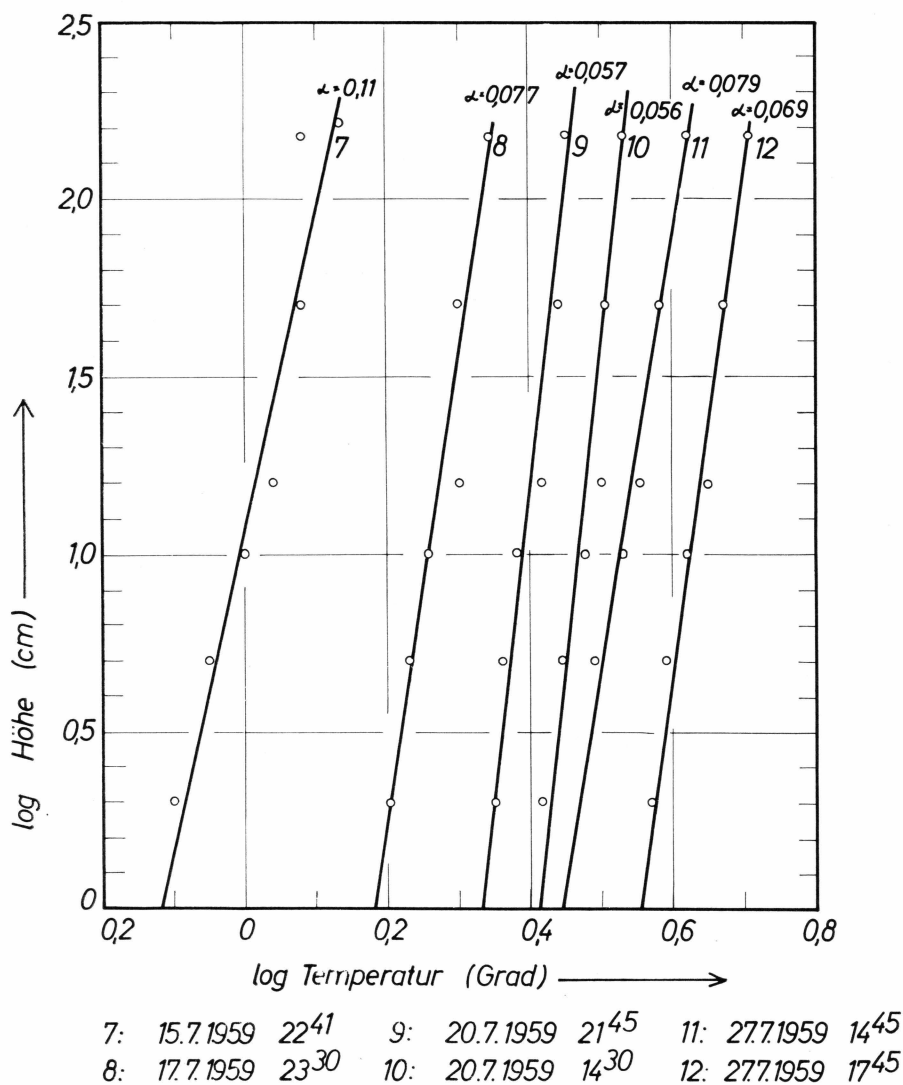


Abb. 48: Ausgewählte Profile der Lufttemperatur bis 150 cm Höhe, gemessen mit Hilfe eines Assmann-Aspirationspsychrometers. Doppellogarithmische Darstellung.

Profile die logarithmische Beziehung zwischen Temperatur und Höhe. Einige ausgewählte Profile mit verschiedenen Profilkonstanten k_T sind in Abb. 47 dargestellt.

Auch das Potenzgesetz

$$\frac{T}{T_1} = \left(\frac{z}{z_1} \right)^\alpha$$

ist befriedigend erfüllt (Abb. 48). Jedoch gilt hier dasselbe Argument wie bei den bereits besprochenen Windprofilen. Bei schwacher Höhen-

abhängigkeit der Meßgröße kann zwischen der Gültigkeit des logarithmischen Gesetzes und des Potenzgesetzes nicht entschieden werden. Der Exponent α liegt bei den dargestellten Profilen zwischen 0,11 und 0,056.

Es zeigt sich der bei positiver Lufttemperatur und Schmelzung der Oberfläche erwartete Zusammenhang zwischen der Profilkonstanten k_T des logarithmischen Temperaturprofils und der Lufttemperatur. Bei höherer Lufttemperatur ergibt sich auch ein größerer Wert für die Profilkonstante k_T , in der Weise, daß der Schnittpunkt mit $\log z$ -Achse etwa konstant ($\log z = -3,5$) bleibt. Für Temperaturprofile mit nahezu isothermer Schichtung ist die Bestimmung des Abschnittes auf der $\log z$ -Achse wegen eines schleifenden Schnittes sehr ungenau.

Abb. 46 zeigt den Zusammenhang zwischen der Profilkonstanten k_T des logarithmischen Temperaturprofils und der Lufttemperatur in 187 cm Höhe. In diesem Diagramm sind für positive Lufttemperaturen die Gruppenmittel der Profilkonstanten k_T für Temperaturgruppen von 0,2° C Intervallbreite aus Messungen mit dem *Assmann*-Aspirationspsychrometer (ergänzt durch thermoelektrische Messungen, siehe Abschnitt »Die thermische Unruhe der eisnahen Luftschicht«) eingezeichnet. Ferner enthält das Diagramm sämtliche 24-stündigen Mittelwerte der Profilkonstanten k_T aus der thermoelektrischen Registrierung (Tab. 44) gegen den 24-stündigen Mittelwert der Lufttemperatur in 187 cm Höhe (Tab. 42). Die oben erwähnten negativen Werte der Profilkonstanten sind weggelassen. Abb. 46 zeigt, daß die Werte der Profilkonstanten k_T , aus der thermoelektrischen Registrierung gut mit den Kontrollpunkten, d. h. den Gruppenmitteln der Profilkonstanten k_T aus Messungen mit Hilfe des *Assmann*-Aspirationspsychrometers und der thermoelektrischen Temperaturunruhemessungen, übereinstimmen.

Für die Profilkonstante k_T erhält man (Abb. 46) Werte bis 0,28 bei etwa +3,5° C Lufttemperatur. Da die Profilkonstante k_T über schmelzendem Eis von der Lufttemperatur abhängt, sind die Werte mit Angaben anderer Autoren nicht unmittelbar vergleichbar. Am *Vernagtferner* (Öztaler Alpen) wurde bei +6,5° C Lufttemperatur in 200 cm Höhe für die Profilkonstante $k_T = 0,7$ (H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952) und am *Hornkees* (Zillertaler Alpen) bei etwas über 7° C Lufttemperatur in 130 cm Höhe ebenfalls $k_T = 0,7$ (H. HOINKES 1953) gefunden. Eigene Messungen während eines Nachtabschnittes am *Vernagtferner* (Öztaler Alpen) liefern folgenden Zusammenhang zwischen der Profilkonstanten k_T und der Lufttemperatur in 130 cm Höhe (W. AMBACH 1953):

T° C (130 cm)	k_T
0,1	0,07
0,0	0,12
-0,1	0,05

Auch von N. UNTERSTEINER (1958) werden numerische Werte für die Profilkonstante k_T angegeben. Für den Tagesabschnitt ergeben sich aus Messungen am *Chogo Lungma-Gletscher* (Karakorum) $k_T = 0,54$ bei $T_{120\text{ cm}} = 4,05^\circ\text{C}$ (Station I) und $k_T = 0,79$ bei $T_{120\text{ cm}} = 6,67^\circ\text{C}$ (Station II). Für den Nachtabschnitt werden ähnliche Beträge für k_T gefunden.

Die Zunahme der Lufttemperatur mit dem Logarithmus der Höhe konnte mit möglichst trägheitslosen, thermoelektrischen Temperaturfühlern, die von W. AMBACH entwickelt wurden, ebenfalls bestätigt werden (H. HOINKES 1956a). Die Werte der Profilkonstanten k_T liegen bei diesen Messungen zwischen 0,11 und 0,47.

Aus dem Vergleich kann der Schluß gezogen werden, daß die thermoelektrische Registrierung des Lufttemperaturgradienten brauchbare Werte liefert. Es ist allerdings nicht möglich, numerische Gesetzmäßigkeiten zwischen k_T und der Lufttemperatur aufzufinden. Wie H. HOINKES (1954b) gezeigt hat, wird die thermische Schichtung der eisnahen Luftschicht stark vom Windtyp (Gletscherwind, Gradientwind) beeinflusst. An einem speziellen Beispiel konnte H. HOINKES (1954b) zeigen, daß bei Gletscherwind der Wert der Profilkonstanten k_T fast dreimal größer ist, als bei Gradientwind. Die Lufttemperatur zeigt in beiden Fällen in 150 cm Höhe etwa denselben Betrag $+6,5^\circ\text{C}$. Nur bei gleichen Windbedingungen wäre somit ein numerischer Zusammenhang zwischen k_T und Lufttemperatur möglich.

Bei Annahme der Vorstellung einer quasilaminaren Grenzschicht, die der Beschreibung der Zunahme der Windgeschwindigkeit mit dem Logarithmus der Höhe zu Grunde liegt, ist der Parameter z_0 als Dicke der quasilaminaren Grenzschicht zu deuten. Bei positiver Lufttemperatur und schmelzender Gletscheroberfläche muß die Temperatur an der Oberseite der quasilaminaren Grenzschicht etwas über 0°C sein, da sonst kein Wärme fluß durch die quasilaminare Grenzschicht vorstellbar wäre. Im vorliegenden Fall ergeben sich mit dem Rauigkeitsparameter $z_0 = 0,25\text{ cm}$ (Eisoberfläche) je nach Profilkonstanten k_T positive Temperaturen bis zu $+3,0^\circ\text{C}$ an der Oberseite der quasilaminaren Grenzschicht.

Wird die Vorstellung einer quasilaminaren Grenzschicht beim Temperaturprofil aufgegeben, dann kann formal ein neuer Parameter (Rauigkeitsparameter \bar{z}_0) nach der Formel

$$T(z) = T'_0 + k \ln \frac{z}{\bar{z}_0}$$

eingeführt werden. Ohne eine physikalische Bedeutung zu haben, eignet sich \bar{z}_0 zur Beschreibung des Temperaturprofils. \bar{z}_0 ist mit der Vorschrift definiert, daß bei Gültigkeit des logarithmischen Gesetzes für die Tem-

peraturzunahme mit der Höhe sich bei $z = \bar{z}_0$ die Oberflächentemperatur T'_0 ergibt. Der physikalische Sinn dieser Definition liegt in der Tatsache, daß \bar{z}_0 etwa konstant ($\log \bar{z}_0 = -3,5$) ist (vgl. Abb. 47). Diese Darstellung des logarithmischen Temperaturprofils wird später zur Berechnung der Oberflächentemperatur benützt. Die Darstellung soll nur als Interpolationsformel gewertet werden.

Aus Messungen auf Alpengletschern wurde bereits früher erkannt, daß $\bar{z}_0 \ll z_0$ ist. So finden H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952) am *Vernagtferner* (Ötztaler Alpen) für $\bar{z}_0 \sim 0,01$ cm. In derselben Arbeit wird darauf hingewiesen, daß H. U. SVERDRUP in *Spitzbergen* die gleiche Erfahrung gemacht hat.

e. Dampfdruck.

Aus der Registrierung des Thermohygrographen steht für jede registrierte Stunde der Stundenmittelwert des Dampfdruckes in 187 cm Höhe zur Verfügung (Tab. 41). Um den Gradienten des Dampfdruckes berechnen zu können, müssen Annahmen eingeführt werden. Bei bekannter Oberflächentemperatur kann der Sättigungsdruck angegeben werden, denn es wird angenommen, daß in der durch das Windprofil hergestellten quasilaminaren Grenzschicht der Sättigungsdruck herrscht. Es ist bisher bei derartigen Rechnungen immer angenommen worden, daß sich der Dampfdruck mit dem Logarithmus der Höhe ändert (H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952, H. HOINKES 1953, N. UNTERSTEINER 1958, W. AMBACH 1953).

Bereits in der Arbeit von H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952 wird über die Methodik der Berechnung des latenten Wärmestromes mitgeteilt, daß aus Messungen mit Hilfe eines *Assmann*-Aspirationspsychrometers die Gültigkeit des logarithmischen Gesetzes bestätigt wurde und H. U. SVERDRUP und C. C. WALLÉN die gleichen Gesetze gültig fanden. Da bei den bisher durchgeführten Abschätzungen des Wärmehaushaltes einer Eisfläche die Resultate des latenten Wärmestromes, deren Berechnung auf eine logarithmische Verteilung des Dampfdruckes aufgebaut ist, immer zu richtigen Ergebnissen geführt haben, kann an der Brauchbarkeit dieses logarithmischen Ansatzes nicht mehr gezweifelt werden.

Die Berechnung der Dampfdruckverteilung erfolgt nach

$$e(z) = e_0 + 2,3 k_e \log \frac{z + z_0}{z_0}.$$

Darin ist e_0 der Sättigungsdruck an der Oberseite der quasilaminaren Grenzschicht, k_e die Profilkonstante und z_0 der Rauigkeitsparameter

des Windprofils. Zur Berechnung des latenten Wärmestromes muß der Dampfdruckgradient

$$\frac{de}{dz} = \frac{k_e}{z} \quad z \gg z_0$$

ermittelt werden. Die Profilkonstante wird nach der Formel

$$k_e = \frac{e(z) - e_0}{2,3 (\log z - \log z_0)}$$

berechnet. Die Schwierigkeit liegt nur in der richtigen Bestimmung der Oberflächentemperatur, aus der sich der Sättigungsdruck ergibt. Für lange Zeitabschnitte kann bedenkenlos schmelzende Oberfläche mit 0°C angenommen werden. In Zeitabschnitten mit gefrorener Oberfläche muß die Oberflächentemperatur berechnet werden. Dazu wird der oben eingeführte Rauigkeitsparameter \bar{z}_0 des Temperaturprofils benützt. Die Formel lautet

$$T_o = T(187) - 2,3 k_T \log \frac{187}{\bar{z}_0}.$$

Die Bezeichnungen wurden von oben übernommen. Die Temperatur $T(187)$ ist die vom Thermohygrographen gemessene Lufttemperatur und k_T die Profilkonstante, die aus der thermoelektrischen Registrierung ermittelt wird. Beide Werte ($T(187)$ und k_T) sind als Stundenmittelwerte für die Zeit vom 26.5. bis 8.8.1959 verfügbar.

Schmelzende Oberfläche mit dem Sättigungsdruck 4,6 Torr in der quasilaminaren Grenzschicht wurde für folgende Bedingungen angenommen:

1. Während des Tagesabschnittes (7–21 Uhr) bei positiver Lufttemperatur $T(187)$.
2. Während des Nachtabschnittes (21–7 Uhr) bei positiver Lufttemperatur $T(187)$ und zugleich starker Ablation (23.6.–29.6., 20./21.7., 26.7.–28.7.1959).

In allen anderen Fällen wurde die Oberflächentemperatur für jedes Stundenintervall berechnet. In den überwiegenden Fällen während der Ablationsperiode ist die Oberfläche in den Nachtstunden leicht gefroren. Eine Ausnahme bilden Zeitabschnitte mit starkem Föhn.

Die Ergebnisse der so berechneten Oberflächentemperaturen wurden mit den Aufzeichnungen im Tagebuch über den Zustand der Oberfläche kontrolliert. Im allgemeinen ergibt sich Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung (gefroren oder schmelzend). Nur in wenigen Fällen wurden von der Rechnung abweichende Annahmen gemacht.

14. THERMISCHE UNRUHE DER EISNAHEN LUFTSCHICHT

Zur Messung der thermischen Unruhe im Höhenbereich 0–130 cm waren sechs Thermoelemente verfügbar. Durch einen Kunstgriff wurde der Strahlungsfehler der Thermoelemente kompensiert. Die Anordnung wurde zusammen mit H. MOCKER (H. MOCKER 1958) gebaut, labormäßig geprüft und auf einem Alpengletscher erprobt.

Messungen der thermischen Unruhe in der eisnahen Luftschicht haben das Ziel, neue Kenntnis über den Mischungsweg für Temperatur zu erhalten. Dadurch kann das Verhältnis der Austauschkoefizienten für Impuls und Temperatur bestimmt werden.

a. Die Anordnung.

Die Kompensation des Strahlungsfehlers wurde in der verwendeten Anordnung durch Serienschaltung eines zusätzlichen Thermopaars (Kompensationselement) erreicht. Der Thermokreis ist in Abb. 49 sche-

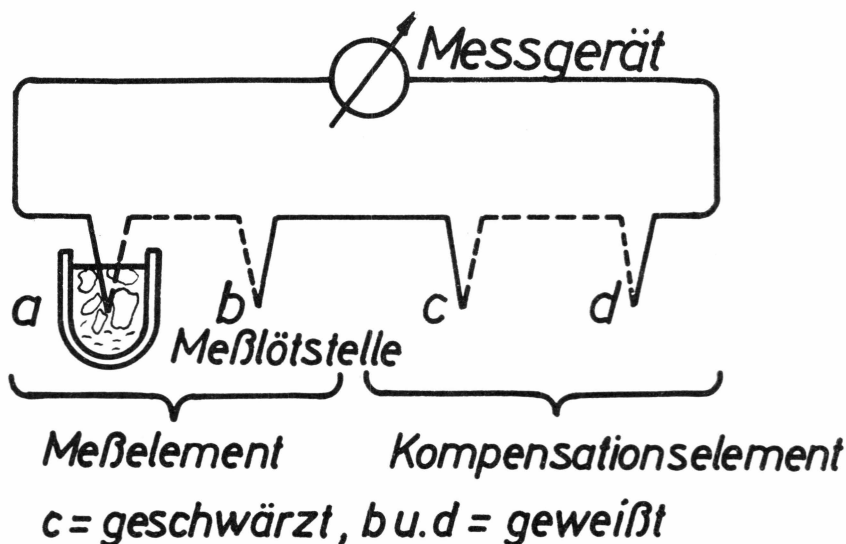


Abb. 49: Schaltskizze für die strahlungsfehlerkompensierte thermoelektrische Anordnung.

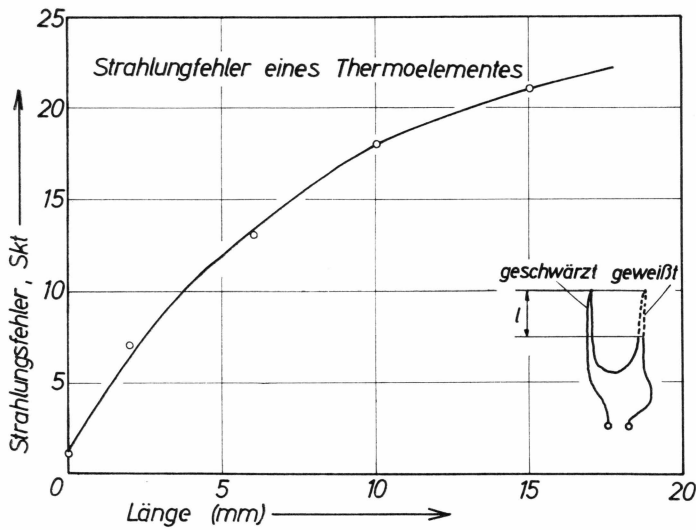


Abb. 50: Der Strahlungsfehler eines Thermoelementpaares, wenn die Schenkel 1 mm geschwärzt, bzw. geweißt sind.

matisch skizziert. Die Lötstellen b, c, d sind der Strahlung ausgesetzt. a-b ist das Meßelement und c-d das Kompensationselement. Die Lötstelle c muß den doppelten Strahlungsfehler von b und d haben. Der Kunstgriff besteht also darin, daß man mit Hilfe eines Kompensationselementes einen gleich großen, negativen Strahlungsfehler erzeugt, wie ihn das Meßelement b besitzt. Der Strahlungsfehler wird durch die gewählte Serienschaltung immer subtrahiert. Die Idee wurde von K. TAKASU (1953) und F. RASCHKE (1954) mitgeteilt. Formelmäßig läßt sich die Anordnung folgendermaßen erfassen:

$$\text{EMK} = e \{T_a - (T_b + S)\} + e \{(T_c + S') - (T_d + S)\}.$$

EMK ist die elektromotorische Kraft, e die differenzielle Thermospannung (Volt/Grad) und T die Temperatur der Lötstelle. $e(T_a - T_b)$ soll gemessen werden. S, S' sind Strahlungsfehler. Wenn b, c, d sich am selben Ort befinden, kann $T_b = T_c = T_d$ gesetzt werden. Damit erhält man für die elektromotorische Kraft

$$\text{EMK} = e \{T_a - (T_b + S)\} + e \{S' - S\}$$

und mit $S' = 2S$ erhält man:

$$\text{EMK} = e(T_a - T_b).$$

S wird durch Weißen der Lötstelle möglichst klein gehalten und S' kann durch Schwärzen der Bedingung $S' = 2S$ angepaßt werden. Abb. 50 gibt den Strahlungsfehler (Skalenteile) eines einzelnen Thermopaars,

wenn die Schenkel in einer Länge von 1 mm geschwärzt bzw. geweißt sind. Die Prüfung auf Strahlungsfehler erfolgte durch Abdecken der Lichtquelle.

Die zur Bestimmung der thermischen Unruhe über dem Eis verwandten Thermoelemente wurden schließlich so kompensiert, daß die Thermodrähte von der Lötstelle weg so weit geschwärzt (Parsons's Black) bzw. geweißt (Emaillack) wurden, bis der Strahlungsfehler des Thermoelementkreises bei einer Ventilierung von etwa 2 m/sek nur noch weniger als $0,2^{\circ}\text{C}$ betrug. Als Drahtmaterial wurde Kupfer-Konstantan (0,1 mm Durchmesser) verwendet. Zur Anzeige diente ein Spiegelgalvanometer A 70 (Kipp & Zonen, Delft). Die Ablesung erfolgte subjektiv.

Prüfung der thermischen Trägheit der Anordnung: Mit Hilfe einer rotierenden Heizwicklung (Abb. 51) konnten bei konstanter Drehzahl durch einen Luftstrom (Ventilator) periodische Temperaturschwankungen erzeugt werden. Bläst der Ventilator auf die Heizwicklung, dann wird die Temperatur des Luftstromes erhöht. Mit der Thermoelementanordnung wird die Amplitude der Temperaturschwankung bei verschiedenen Drehzahlen aufgenommen. In Abb. 52 ist der Galvanometer-

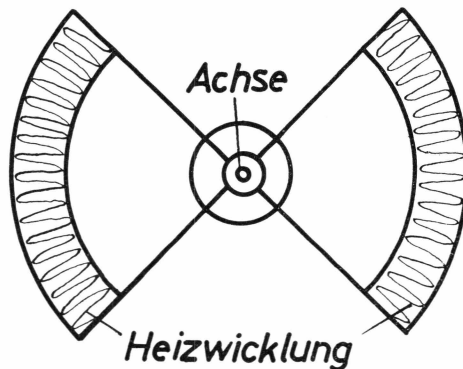


Abb. 51: Skizze der rotierenden Heizwicklung zur Prüfung des Auflösungsvermögens der Thermoelemente.

ausschlag gegen die Dauer der Temperaturschwankung aufgetragen. Dem Maximalausschlag von etwa 55 Skalenteilen entspricht eine Temperatur von $2,3^{\circ}\text{C}$. Eine Schwankungsdauer von mehr als 3 sek gibt das Element unverfälscht wieder. Da die Schwingungszeit des Galvanometers bei 1,5 sek liegt, ist anzunehmen, daß die untere Grenze der zu messenden Temperaturschwankungen durch die thermische Trägheit des Thermoelementes bestimmt ist. Die nur Zehntelgrade betragende Temperaturunruhe mit Perioden größer als 3 sek kann unverfälscht wiedergegeben werden.

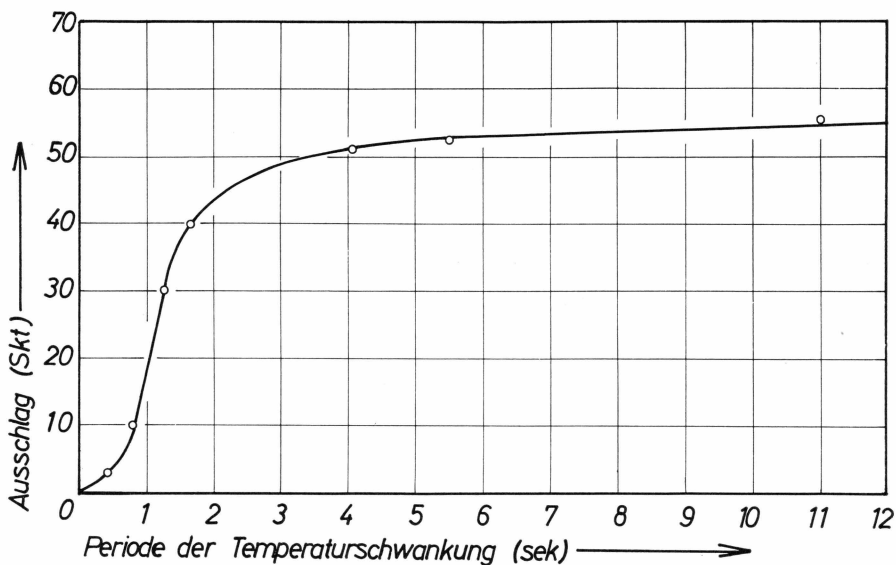


Abb. 52: Angezeigte Amplitude der Temperaturunruhe als Funktion der Periode der Temperaturschwankung.

b. Messung der thermischen Unruhe.

Sechs Meßstellen wurden im Höhenbereich 0–130 cm in logarithmischen Abständen fix montiert. Jedes Element wurde 2 Minuten lang eingeschaltet und die Umkehrpunkte der Temperaturschwankung notiert. Der zeitliche Abstand von zwei Umkehrpunkten beträgt im Mittel 4 sek. Die Vergleichslötstelle befand sich auf 0°C . Die Zeitdauer für die Messung des Profiles betrug 12 Minuten.

Die Messungen wurden vom 14.7. bis 29.7.1959 durchgeführt. Insgesamt wurden 29 Profile gemessen. Die Aufstellung erfolgte an zwei verschiedenen Meßstellen. Der Umbau wurde nach Messung von Profil Nr. 12 vorgenommen. Für Profil Nr. 16 bis Nr. 24 wurde das unterste Element wegen Schadens nicht verwendet.

c. Auswertung der Messungen.

Tab. 45 enthält ein Meßbeispiel (Profil Nr. 2). Zuerst wurde die Mitteltemperatur in jeder Höhe bestimmt. Dazu wurden alle Ablesungen für jedes Element gemittelt. Der Eichfaktor beträgt $1^{\circ}\text{C} \cong 24,2$ Skalenteilen, Meßbereich 5. Es brauchen keine Korrekturen angebracht werden. Die Ablesungen der Umkehrpunkte sind zeitlich ungefähr äquidistant. Aus diesem Grund wurden nicht nur echte Umkehrpunkte notiert, sondern auch Ausschläge, bei denen der Zeiger kurzzeitig verweilt, dann sich jedoch in der ursprünglichen Richtung weiter bewegt (Verweil-

punkte, z. B. 33–37–39 oder 23–21–20, Tab. 45). Die unterstrichenen Zahlen sind bei der Mittelbildung doppelt zu zählen. Die Mitteltemperatur wurde gegen den Logarithmus der Höhe aufgetragen und die Profilkonstante k_T bestimmt (Tab. 46). In drei Fällen ist die Streuung zur Ermittlung der Profilkonstanten zu groß.

Nach O. G. SUTTON (1953) ist der Mischungsweg für Temperatur definiert mit:

$$T' = l_T \frac{dT}{dz}$$

Darin ist T' die Temperaturunruhe, l_T der Mischungsweg und dT/dz der Temperaturgradient. Wenn man an der allgemeinen Vorstellung des Mischungsweges für eine beliebige Eigenschaft des Luftkörpers festhält (H. LETTAU 1939), ist

$$\bar{T}' = \overline{|T_m - T_i|},$$

wobei Querstriche die Mittelbildung bedeuten, T_m die Mitteltemperatur und T_i die Temperatur am Umkehrpunkt des Zeigers. In Tab. 46 sind die Werte \bar{T}' enthalten. Unterstrichene Ausschläge (Verweilpunkte, vgl. Tab. 45) wurden bei der Mittelbildung von \bar{T}' ausgelassen.

d. Berechnung des Verhältnisses der Austauschkoeffizienten für Temperatur und Impuls.

Aus Temperaturunruhemessungen kann das Verhältnis der Austauschkoeffizienten für Temperatur und Impuls in folgender Weise ermittelt werden:

Das Verhältnis der Austauschkoeffizienten A_T/A_I ist

$$\frac{A_T}{A_I} = \frac{l_T}{l_I} = c,$$

wobei die Indizes T und I Temperatur und Impuls und c eine dimensionslose Konstante bedeuten. Über die Abhängigkeit des Mischungsweges für Impuls von der Höhe herrscht bereits Klarheit. Nach L. PRANDTL (1956) gilt bei *Richardson-Zahl* $R_i = 0$ (vgl. Tab. 38)

$$l_I = \alpha z$$

wobei α eine dimensionslose Konstante (*Karman-Konstante*) ist. Die Werte der *Karman-Konstanten* wurden zwischen 0,40 und 0,45 bestimmt (L. PRANDTL 1956). Das Problem der Ermittlung von $A_T/A_I = c$ kann also auch so formuliert werden:

Da nach obigen Gleichungen

$$l_T = c \alpha z$$

gilt, kann c berechnet werden, indem eine Neubestimmung der Konstanten $c\kappa$ im turbulenten Temperaturfeld der eisnahen Luftschicht vorgenommen wird.

Nach Betrachtungen von A. S. MONIN und A. M. OBUCHOW (1958) ist der lineare Zusammenhang von l_T und z gesichert, wenn der lineare Zusammenhang von l_I und z angenommen wird. Ferner folgt, daß für einen höhenunabhängigen Wärmestrom das logarithmische Temperaturprofil erfüllt sein muß. Wärmetransport durch Advektion, wie von G. HOFMANN (1960) näher diskutiert wurde, kann hier vernachlässigt werden. Mit dem Ansatz

$$l_T = \frac{\bar{T}'}{k_T/z}$$

erhält man

$$c\kappa = \frac{\bar{T}'}{k_T}.$$

Für jede Höhe wurde ein Mittelwert \bar{T}' aus allen Profilen bestimmt und durch den Mittelwert der Profilkonstanten $\bar{k}_T = 0,214$ dividiert. Drei Profile mit großer Streuung, bei denen k_T nicht angegeben wurde, wurden nicht berücksichtigt. Man erhält für $c\kappa$ die in **Tab.47** enthaltenen Werte. Da $0,40 < \kappa < 0,45$ angegeben wird (L. PRANDTL 1956), folgt daraus

$$c = \frac{A_T}{A_I} \sim 1.$$

Bei genauer Betrachtung ergibt sich eine geringe Höhenabhängigkeit von $c\kappa$. Mit zunehmender Höhe wird der Wert von $c\kappa$ größer (mit Ausnahme von Element Nr. 6). Es ist jedoch zu bedenken, daß die Ablesung am Galvanometer nur auf Skalenteile (1 Skalenteil entspricht $0,04^\circ\text{C}$) erfolgen kann und die Werte \bar{T}' nur von der Größenordnung $0,1^\circ\text{C}$ sind. Deshalb wird angenommen, daß die Abhängigkeit $c\kappa$ von der Höhe nicht reell ist. Falls jedoch tatsächlich $c\kappa$ sich als höhenabhängig erweisen sollte, wäre dies mit der Feststellung gleichbedeutend, daß der Mischungsweg für Temperatur l_T nicht linear mit der Höhe wächst.

Das Problem der Höhenabhängigkeit von l_T wurde ferner nach folgenden Überlegungen untersucht: Für jedes Element (Höhe) kann ein Diagramm k_T/z gegen \bar{T}' gezeichnet werden. Die Punkte dieses Diagramms zeigen naturgemäß eine große Streuung, da es sich um Einzelmessungen handelt. Mit Hilfe der Ausgleichsrechnung wurde eine Gerade durch die Punkte bestimmt. Die Steigung der Geraden

$$\frac{\Delta \bar{T}'}{\Delta k_T/z}$$

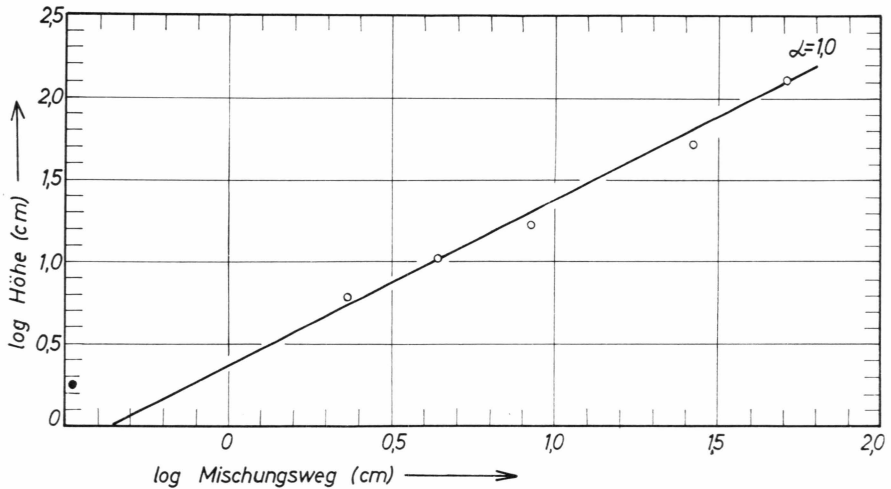


Abb. 53: Die Höhenabhängigkeit des Mischungsweges für Temperatur in doppel-logarithmischer Darstellung.

gibt den Mischungsweg für Temperatur in der Höhe z . Die Werte des Mischungsweges sind in **Tab. 48** enthalten.

Durch Logarithmieren des allgemeinen Ansatzes

$$l_T = a z^\alpha$$

erhält man

$$\log l_T = \log a + \alpha \log z.$$

Die Funktion $\log l_T$ gegen $\log z$ ist in **Abb. 53** gezeichnet. Der unterste Punkt $z = 1,5$ cm ist wegen der Unsicherheit in der Höhenangabe nicht berücksichtigt. Die Gerade liefert für a und α folgende Werte:

$$a = 0,445; \alpha = 1.$$

Damit wird der lineare Zusammenhang von l_T und z und $A_T/A_I \sim 1$ bestätigt.

e. Diskussion des Ergebnisses.

Angaben über das Verhältnis der Austauschkoeffizienten für Temperatur und Impuls sind bereits veröffentlicht. GRÖBER, ERK und GRIGULL (1955) teilen mit, daß das Verhältnis zwischen

$$1 < \frac{A_T}{A_I} < 2$$

liegt. In dem erwähnten Lehrbuch sind auch Originalarbeiten (z. B. A. FAGE und V. M. FALKNER 1932) zitiert. Von C. H. B. PRIESTLEY (1959) wird mitgeteilt, daß das Verhältnis A_T/A_I bei der *Richardson-*

Zahl $R_i = 0$ den Wert 0,8 besitzt. Für Berechnungen des fühlbaren Wärmestromes wird in den überwiegenden Fällen jedoch die Voraussetzung $A_T/A_I = 1$ gemacht. Wie aus einer Darstellung von C. H. B. PRIESTLEY (1959) hervorgeht, hängt der Wert A_T/A_I von der *Richardson-Zahl* ab. Es ist durchaus möglich, daß das Ergebnis auch von anderen Parametern beeinflußt wird. So wäre es verständlich, wenn verschiedene Autoren zu widersprechenden Aussagen gelangten.

Von diesem Standpunkt aus betrachtet, erscheint es gerechtfertigt, für das spezielle Problem des fühlbaren Wärmestromes in der eisnahen Luftschicht eines Gletschers das Verhältnis A_T/A_I neu zu bestimmen. Das Ergebnis $A_T/A_I = 1$ darf jedoch nicht verallgemeinert werden, sondern behält nur für das spezielle Problem Gültigkeit. Es soll wie folgt interpretiert werden:

Die Annahme $A_T/A_I = 1$, die zur Berechnung des fühlbaren Wärmestromes in der eisnahen Luftschicht eines Gletschers gemacht wird, stimmt mit den Ergebnissen von Messungen der thermischen Unruhe überein. Es ist weitaus befriedigender für die Annahme $A_T/A_I = 1$ im speziellen Fall eine experimentelle Bestätigung zu erhalten, als die Berechnung des fühlbaren Wärmestromes auf eine konventionelle Annahme aufzubauen.

f. Vergleichsmessungen auf einem Alpengletscher.

Mit derselben Anordnung wurden am *Hintereisferner* (Ötztaler Alpen) im Jahre 1956 zusammen mit H. MOCKER Temperaturunruhemessungen derselben Art durchgeführt (H. MOCKER 1958). Eine Neuauswertung nach dem im vorigen Abschnitt mitgeteilten Verfahren zeigt, daß die Größe αz hier im Mittel 0,86 beträgt. Daraus läßt sich ableiten, daß der Austauschkoeffizient für Temperatur doppelt so groß ist wie für Impuls. Es wird jedoch vermutet, daß auf Alpengletschern in moränennahen Gebieten die Temperaturunruhe durch horizontale Unruhe stark verfälscht wird. Am grönländischen Arbeitsplatz kann diese Störung nicht in Erscheinung treten. Zur weiteren Klärung sind umfangreiche Messungen erforderlich.

15. FÜHLBARE UND LATENTE WÄRME

a. Fühlbare Wärme.

Die Berechnung der fühlbaren Wärme Q_F erfolgt nach der Formel (H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952)

$$Q_F = c_p A \frac{d\theta}{dz} t \quad \text{cal cm}^{-2}.$$

Darin bedeuten c_p die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck ($c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ gd}^{-1}$), A den Austauschkoeffizienten ($\text{g cm}^{-1} \text{ sek}^{-1}$) für nichtadiabatische Schichtung, $d\theta/dz$ den Gradienten der potenziellen Temperatur und t die Zeit. Der Austauschkoeffizient A wird aus der Schubspannungsgeschwindigkeit, der Luftdichte und dem Mischungsweg ermittelt und die nichtadiabatische Schichtung wird mit Hilfe der *Richardson-Zahl* berücksichtigt (vgl. Abschnitt »Wind und Austausch«). Wärmetransport durch Advektion, wie von G. HOFMANN (1960) näher diskutiert wurde, kann hier vernachlässigt werden.

Da die Tagesmittelwerte des Austauschkoeffizienten (Tab. 38) und des Gradienten der potentiellen Temperatur (Tab. 44) berechnet wurden, kann für jeden Tag (25.5.–8.8.1959) der Betrag der fühlbaren Wärme angegeben werden. Die Ergebnisse sind in **Tab. 44** zusammengestellt. Die Berechnung wurde mit den Annahmen ausgeführt, daß die Austauschkoeffizienten für Temperatur und Impuls gleich groß sind (vgl. Abschnitt »Thermische Unruhe der eisnahen Luftschicht«) und für die Lufttemperatur im Tagesmittel das logarithmische Profil erfüllt ist.

Die Tagessumme der fühlbaren Wärme ist im allgemeinen positiv (Energiegewinn für die Oberfläche). Der größte Wert wurde zu $192,0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ am 24.6.1959, der kleinste positive Wert zu $9,4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ am 9.6.1959 berechnet. Für die gesamte Meßperiode (25.5.–8.8.1959) erhält man als Mittelwert $59,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Bei lückenhafter thermoelektrischer Registrierung der Lufttemperaturdifferenz zwischen 16 und 207,5 cm Höhe wurden sinnvolle Annahmen getroffen. Die Profilkonstante k_T wurde in diesen Fällen – bei positiver Lufttemperatur (19.7., 25.7., 26.7.1959) – aus der Relation k_T gegen Lufttemperatur (Abb. 46) geschätzt. Ferner ergibt sich am

27.7.1959 aus der Registrierung des Temperaturgradienten eine unwahrscheinlich hohe Profilkonstante ($k_T = 0,418$). Es liegt der Verdacht nahe, daß an diesem Tag der Nullpunkt der Registrierung fehlerhaft ist. Deshalb wurde auch für diesen Tag der Wert der Profilkonstanten k_T aus der Temperaturrelation (Abb 46) geschätzt ($k_T = 0,230$).

Die Energiezufuhr in Form von fühlbarer Wärme hängt von der Größe der Windgeschwindigkeit und des Lufttemperaturgradienten ab. Ein großer Überblick zeigt, daß auf Alpengletschern im allgemeinen kleinere Schubspannungsgeschwindigkeiten und größere Temperaturgradienten vorkommen, als auf dem grönländischen Arbeitsplatz. So läßt sich aus Angaben von H. HOINKES (1952, 1953) berechnen, daß während einer Meßperiode im August am *Vernagtferner* (3000 m, Ötztaler Alpen) etwa $80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ durch fühlbare Wärme gewonnen und im September am *Hornkees* (2260 m, Zillertaler Alpen) im Zeitabschnitt 8³⁰–16³⁰ Uhr im Mittel bereits 43 cal cm^{-2} zugeführt wurden. N. UNTERSTEINER (1958) findet für die fühlbare Wärme am *Chogo Lungma-Gletscher* (Karakorum) auf Station I (4000 m) $78 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und auf Station II (4300 m) $41 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

b. Diskussion von Potenzgesetzen zur Berechnung der fühlbaren Wärme.

Häufig werden zur Darstellung der Höhenabhängigkeit von Temperatur (T) und Windgeschwindigkeit (u) Potenzgesetze der Art

$$\frac{T}{T_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^{\alpha_T} \quad \text{und} \quad \frac{u}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^{\alpha_u} \quad \text{verwendet.}$$

Deshalb sei hier die Brauchbarkeit derartiger Ansätze zur Berechnung der fühlbaren Wärme kurz diskutiert.

Die Definition des fühlbaren Wärmestromes q ($\text{cal cm}^{-2} \text{ sek}^{-1}$) aus statistischen Turbulenzbetrachtungen (H. LETTAU und B. DAVIDSON 1957, A. S. MONIN und A. M. OBUCHOW 1958) ist

$$q = c_p \varrho \overline{w' T'}.$$

Darin sind q der fühlbare Wärmestrom pro Zeiteinheit, c_p die spezifische Wärme bei konstantem Druck, ϱ die Luftdichte und w' und T' sind die Vertikalschwankungen der Windgeschwindigkeit und Temperatur. Auf Grund einer Ähnlichkeitshypothese zwischen Wind- und Temperaturfeld kann bei Annahme $q = \text{konstant}$ und $\tau = \text{konstant}$ (τ bedeutet die Schubspannung) für q folgender Ausdruck gewonnen werden

$$q = u_*^2 c_p \varrho \frac{dT}{du} c = \text{konstant}.$$

Darin ist u_* die Schubspannungsgeschwindigkeit und c das Verhältnis der Austauschkoeffizienten von Temperatur und Impuls (dimensionslos). Die übrigen Bezeichnungen wurden von oben übernommen. Durch Erweitern mit dz/dz und Einführen des Mischungsweges für Impuls l_I

$$l_I = \frac{u_*}{du/dz}$$

erhält man

$$q = l_I \frac{du}{dz} c_p \varrho \frac{dT}{dz} l_I c.$$

Bei Einsetzen des Mischungsweges für Temperatur l_T

$$l_T = c l_I$$

ergibt sich für

$$q = l_I \frac{du}{dz} c_p \varrho \frac{dT}{dz} l_T.$$

Man erkennt: Bei konstantem q muß $l_I \frac{du}{dz} = \text{konstant}$ und $l_T \frac{dT}{dz} = \text{konstant}$ sein, wenn man ein gegenseitiges Aufheben der Exponenten der beiden Glieder ausschließt.

In der oberflächennahen Luftschicht kann bei großen Werten der Schubspannungsgeschwindigkeit und kleinen Lufttemperaturgradienten die *Richardson-Zahl* $R_i = 0$ gesetzt werden (vgl. Tab. 38). Für den Mischungsweg für Impuls gilt dann $l_I = \kappa z$. κ bedeutet die *Karman-Konstante*.

Es folgt daraus bereits die Gültigkeit des logarithmischen Temperatur- und Windprofiles.

Die Anwendung eines Potenzgesetzes ist demnach nur möglich, wenn die lineare Beziehung zwischen Mischungsweg und Höhe aufgegeben wird.

Wie bereits diskutiert wurde, kann das mittlere Windprofil (Abb. 42) durch ein Potenzgesetz mit dem Exponenten 0,095 befriedigend genähert werden. Daraus ist zu schließen, daß auch das Temperaturprofil bei Anwendung des Potenzgesetzes durch den Exponenten 0,095 genähert werden kann. Die mit Hilfe des *Assmann-Aspirationspsychrometers* gemessenen Temperaturprofile liefern bei Darstellung durch ein Potenzgesetz (Abb. 48) einen Exponenten zwischen 0,11 und 0,056 und bestätigen damit den Befund. Der Mischungsweg für Temperatur und Impuls muß dann ebenfalls durch ein Potenzgesetz genähert werden. Einen Anhaltspunkt über den Exponenten für den Mischungsweg gewinnt man aus Messungen der thermischen Unruhe in der eisnahen Luftschicht. Wegen

$$l_T \frac{dT}{dz} = \text{konstant}$$

muß sowohl bei Annahme eines logarithmischen Profiles als auch beim Potenzgesetz die thermische Unruhe T' höhenunabhängig sein. Die ausgeführten Messungen (Tab. 46) bestätigen bei Berücksichtigung der Meßgenauigkeit diese Folgerung.

Bei Einführung der thermischen Unruhe T' und Anwendung von Potenzgesetzen mit gleichem Exponenten für das Temperatur- und Windprofil erhält man mit $l_T = l_I$

$$q = (T')^2 \frac{u}{T} c_p \varrho \quad \text{cal cm}^{-2} \text{ sek}^{-1}.$$

Darin sind u und T Windgeschwindigkeit und Temperatur in einer beliebigen Höhe, wobei T als Temperaturdifferenz zur Oberfläche interpretiert werden muß. T' ist von der Höhe unabhängig. Diese Formel kann allerdings zur numerischen Berechnung von q kaum benützt werden, weil Messungen der thermischen Unruhe über eine längere Periode sehr umständlich sind.

c. Latente Wärme.

Die Berechnung der latenten Wärme (H. HOINKES und N. UNTERSTEINER 1952) erfolgt bei Sublimation nach

$$Q_S = \pm 680 A \frac{0,623}{p} \frac{de}{dz} t \text{ cal cm}^{-2}.$$

Das Minuszeichen gilt für den Fall der Verdunstung, A ist der Austauschkoeffizient für absolute Feuchtigkeit, p der Luftdruck, de/dz der Gradient des Wasserdampfdruckes und t die Zeit.

Bei Kondensation gilt

$$Q_K = 600 A \frac{0,623}{p} \frac{de}{dz} t \text{ cal cm}^{-2}.$$

Ohne Zweifel ist die Berechnung der latenten Wärme ungenauer als die Berechnung der fühlbaren Wärme. Dies aus folgenden Gründen:

Erstens wird in der Berechnung der Austauschkoeffizient für absolute Feuchtigkeit und Impuls gleich groß gesetzt. Man besitzt keine Kenntnis, wie gut diese Annahme erfüllt ist.

Zweitens wurden keine Messungen des Dampfdruckgradienten ausgeführt. Die Berechnung des Dampfdruckgradienten erfolgt auf Grund der Annahme, daß in der quasilaminaren Grenzschicht Sättigungsdruck herrscht. Zudem wurde bei gefrorener Oberfläche die Oberflächentemperatur aus dem Temperaturprofil mit Hilfe einer Interpolationsformel bestimmt.

Für jede Stunde wurde festgestellt, ob die Bedingung für Verdunstung ($e < e_0$) oder für Kondensation ($e > e_0$) erfüllt ist. e ist der Dampfdruck aus der Registrierung des Thermohygrographen und e_0 der Sättigungsdruck an der Oberfläche. Jeder Tag zerfällt damit in zwei Abschnitte: Im einen herrscht Verdunstung, im anderen Kondensation. Im Falle, daß die Tagesmitteltemperatur negativ war, wurde – einem Sublimationsvorgang entsprechend – die Kondensationswärme 600 cal/g durch die Sublimationswärme 680 cal/g ersetzt. Der Unterschied des Energiebetrages ist im Vergleich zur gesamten Energiebilanz sehr klein und wurde nur vor der Ablationsperiode (25.5.–23.6.1959) berücksichtigt.

Für jeden Tag kann für Sublimation und Kondensation getrennt ein mittlerer Dampfdruckgradient bestimmt werden, mit dem die Berechnung der latenten Wärme in diesem Zeitabschnitt erfolgt. Für den Luftdruck wurde ein Mittelwert $p = 670$ Torr gesetzt. In **Tab. 44** sind für jeden Tag zusammengestellt: Zahl der Stunden mit positiver latenter Wärme (Kondensation, Sublimation), Zahl der Stunden mit negativer latenter Wärme (Verdunstung), die Profilkonstanten k_e für beide Fälle, ferner die Tagessummen der positiven und negativen latenten Wärme. Daraus ergibt sich folgendes Bild:

Für die gesamte Beobachtungszeit (1802 Stunden) wird während 1332 Stunden (74 %) Verdunstung, während 310 Stunden (17 %) Kondensation (bzw. Verfestigung gasförmig in fest) festgestellt. Während 163 Stunden (9 %) ist der Dampfdruckgradient Null. Die Bedingung für Verdunstung ist damit weit häufiger erfüllt als für Kondensation.

In **Abb. 54 a, b** ist die Stundenanzahl mit Bedingungen für Kondensation und Verdunstung, die Tagessumme der positiven und negativen latenten Wärme und der Gesamtbetrag der durch dynamische Konvektion zwischen Oberfläche und angrenzender Luftschicht ausgetauschten Energie anschaulich dargestellt.

Es ist interessant, die Rolle der latenten Wärme im Energieumsatz kurz zu skizzieren: Obwohl die sublimierten und kondensierten Massen für den *Massenhaushalt* sehr klein sind, vermag die latente Wärme den Energieumsatz bedeutend zu beeinflussen. So wird zufolge der häufigen Verdunstung während des Abschnittes mit schneebedeckter Oberfläche die fühlbare Wärme durch die latente Wärme vollkommen kompensiert. Die latente Wärme ist in diesem Fall auch größer als der Energieverlust durch die langwellige Strahlungsbilanz. Bei schneefreier Oberfläche wird die fühlbare Wärme nur zu 37 % durch latente Wärme aufgehoben. Der

Abb. 54 a: Tagessumme der positiven und negativen latenten Wärme (cal/cm² Tag) und die Stundenanzahl mit Bedingung für Kondensation und für Verdunstung.

Abb. 54 b: Tagessumme der fühlbaren Wärme (cal/cm² Tag) und Tagessumme der latenten und fühlbaren Wärme (cal/cm² Tag).

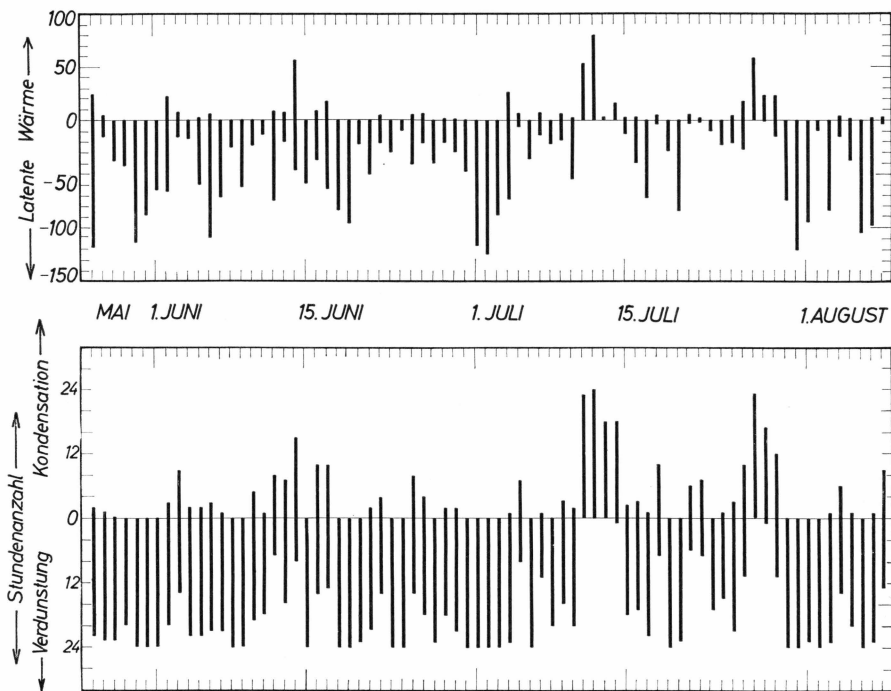


Abb. 54a.

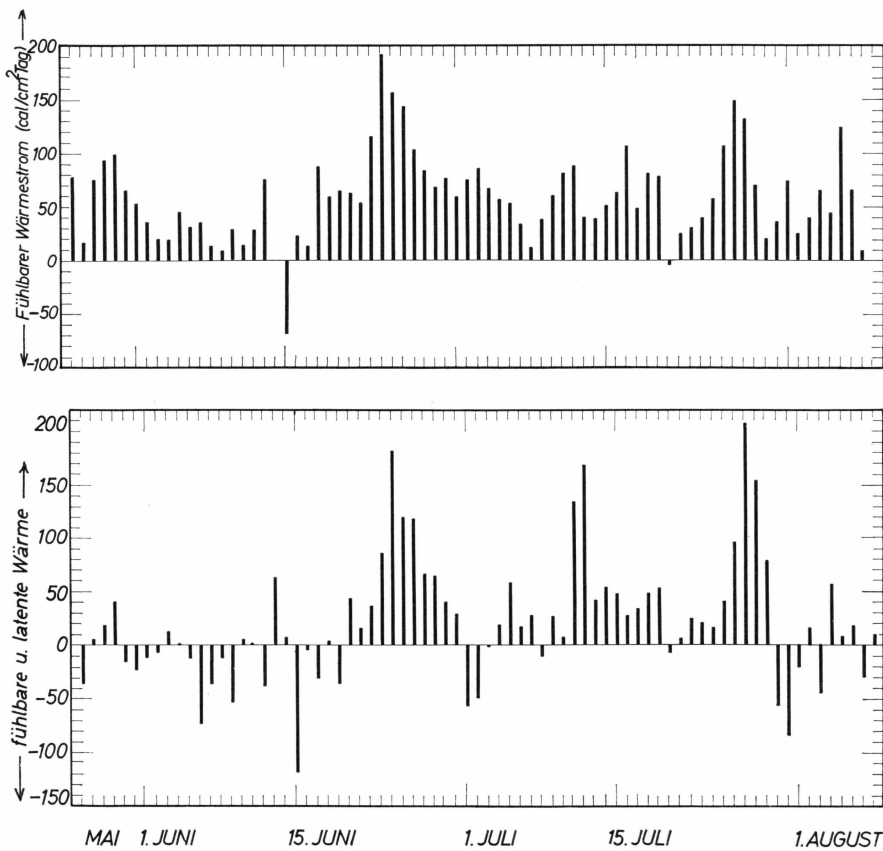


Abb. 54b.

Betrag der latenten Wärme erreicht bei schneefreier Oberfläche etwa die Hälfte des Energieverlustes durch die langwellige Strahlungsbilanz.

Die Kondensationswärme (bzw. Verfestigungswärme gasförmig in fest) ist der kleinste Betrag im Energieumsatz. Bei schneebedeckter Oberfläche ist die Kondensationswärme 12 %, bei schneefreier Oberfläche 24 % der für Verdunstung verbrauchten Energie und erreicht bei schneebedeckter Oberfläche 20 %, bei schneefreier Oberfläche 37 % der zur Eiserwärmung (Wärmeleitung) verbrauchten Energie.

Die Tagessumme des Absolutbetrages der Verdunstungsenergie erreicht am 2.7.1959 mit $125,0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ das Maximum. Für die Kondensationsenergie erhält man das Maximum am 12.7.1959 zu $80,0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Die gesamte, durch dynamische Konvektion ausgetauschte Energie, erreicht als Tagessumme am 27.7.1959 mit $+207 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ den Maximalwert und am 15.6.1959 mit $-108 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ den Minimalwert.

16. EISTEMPÉRATUREN

a. Instrumente.

Zur Messung der Eistemperaturen wurden selbstgebaute in Hudrinschläuchen verlegte Kupfer-Konstantan Thermoelemente verwendet. Die Anzeige erfolgte mit Hilfe eines Spiegelgalvanometers A 70 (Kipp & Zonen, Delft). Mit Absicht wurde von einer Vereinfachung der Anordnung durch eine gemeinsame Vergleichslötstelle abgesehen, um überflüssige Kontakte zu vermeiden. Die Meßgenauigkeit wird damit verbessert.

Die Eichung wurde vor der Feldmessung im Labor mit Hilfe eines Thermostaten (Wasserbad) bei einer Vergleichstemperatur von 0°C durchgeführt.

b. Meßprofile.

Zwei Meßstellen (II und III) befanden sich in unmittelbarer Nähe der Strahlungsstation (etwa 10 m Entfernung). Drei weitere (I, IV und V) sollten unterschiedliche topographische Eigenheiten des Geländes erfassen. Davon war eine Meßstelle (V) auf einem Hügel, die zweite in einer Mulde (IV) und die dritte an einem leichten Abhang (I) eingerichtet. Alle fünf Meßstellen befanden sich im Umkreis von etwa 500 m. (Abb. 73).

Die Meßstellen liefern die Temperaturänderung des Eises zur Berechnung des Energieumsatzes. Mit 19 Elementen wird der Bereich bis 8 m Tiefe erfaßt.

Ferner wurden vier Meßstellen (A–D) in der Ablationszone bis zur Firnlinie verteilt, um die unterschiedlichen Verhältnisse in der gesamten Ablationszone zu überblicken. An diesen Stellen wurde die Temperaturänderung ebenfalls mit 19 Elementen bis 5 m Tiefe erfaßt. **Tab. 49** gibt zusammen mit **Abb. 55** und **Abb. 75** einen Überblick über die Lage der Meßstellen.

Die Anfertigung, Eichung und Messung wurde zusammen mit O. SCHIMPP durchgeführt. Der Kabelbaum wurde mit Hilfe der thermischen Sonde nach P. KASSER (1960) eingesetzt und durch ein Spannungsgewicht in gestreckter Lage gehalten. Zur thermischen Angleichung der Elemente wurde die erste Messung erst zwei Tage nach Einbohren durchgeführt.

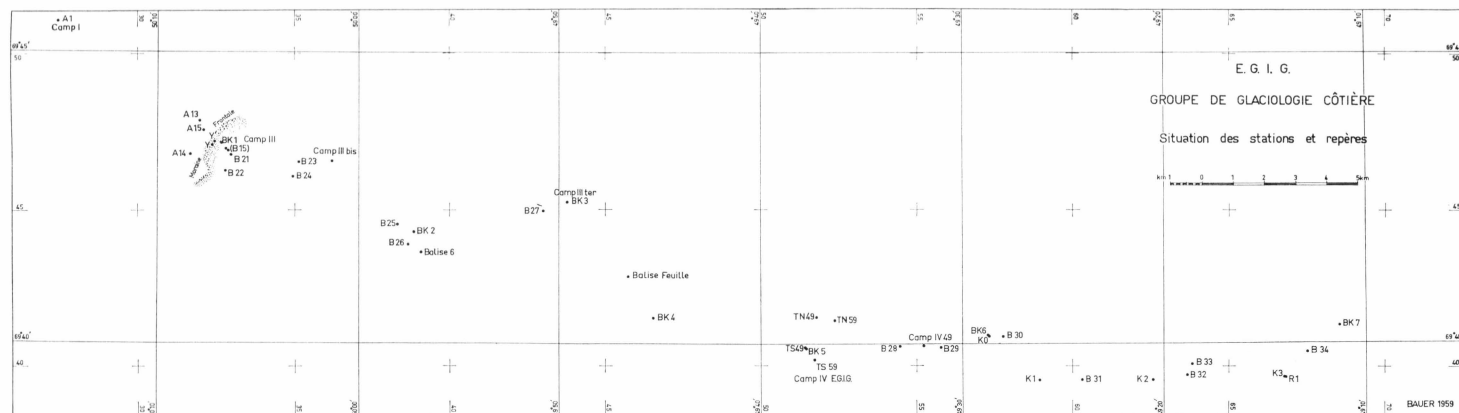


Abb. 55: Lageplan der Ablationspegel BK 1–BK 7, K 2, K 3. Temperaturmeßstellen: BK 2, K 2, K 3, BK 7. Für Camp IV – EGI (EGIG – Groupe de Glaciologie Côtière Situation des stations et repères – BAUER 1959).

(EGIG – Groupe de Glaciologie Côtière Situation des stations et repères – BAUER 1959).

c. Temperaturkorrektur.

Der Eichfaktor wurde als Funktion der Temperatur ermittelt. Die Änderung des Gesamtwiderstandes des Systems Thermoelement und Galvanometer ist vernachlässigbar.

Laut Firmenangabe ist der Temperaturkoeffizient des Galvanometers im verwendeten Meßbereich 4 kleiner als 0,03 % pro Grad Celsius. Auch bei einer Temperaturdifferenz von 30° C (Labor +20° C, Feld -10° C) wird erst 1 % Fehler erreicht.

Eine Prüfung der Widerstandsänderung des Thermoelementes im Temperaturbereich von +20 bis +100° C gibt keine meßbare Widerstandsänderung.

Die Thermoelemente wurden auch auf Störung durch den *Thomson*-Effekt geprüft. Dazu wurde das fertige Element sehr langsam durch ein Temperaturbad (+80° C) gezogen. Beide Lötstellen befinden sich dabei im gleichen Temperaturbad. Auch auf dem empfindlichsten Meßbereich war keine Ausschlagsänderung zu bemerken.

Die Temperaturabhängigkeit des Eichfaktors ist nur durch die Temperaturabhängigkeit der Thermospannung bedingt. Mit den verfügbaren Mitteln war eine Eichung im negativen Temperaturbereich nicht mit genügender Genauigkeit möglich. Zur Extrapolation vom positiven in den negativen Temperaturbereich wurde der Eichfaktor F (Skt/gd) im positiven Bereich als Funktion der Temperatur bestimmt. Diese Funktion muß eine lineare Beziehung zwischen Eichfaktor F und Temperatur T sein, wenn die EMK der integralen Thermospannung mit der Temperatur quadratisch wächst

$$\text{EMK} = a T + b T^2.$$

Nach Division durch T erhält man

$$\frac{\text{EMK}}{T} = a + b T$$

$$F = k (a + b T) \text{ Skt/gd.}$$

Darin sind a und b Materialkonstanten, k eine Konstante des Galvanometers, F der Eichfaktor (Skt/gd), T die Temperaturdifferenz zum Vergleichsbad (0° C) und EMK die integrale Thermospannung.

Der Eichfaktor F wurde im positiven Temperaturbereich bis +50° C bestimmt. **Abb. 56** zeigt an einem Beispiel, daß die lineare Beziehung zwischen Eichfaktor F und Temperaturdifferenz T der Lötstellen erfüllt ist. Der Temperaturkoeffizient des Eichfaktors beträgt am Meßbeispiel 1,17 % pro 10° C. Damit erhält man

$$F_T = F_0 (1 + 0,00117 T).$$

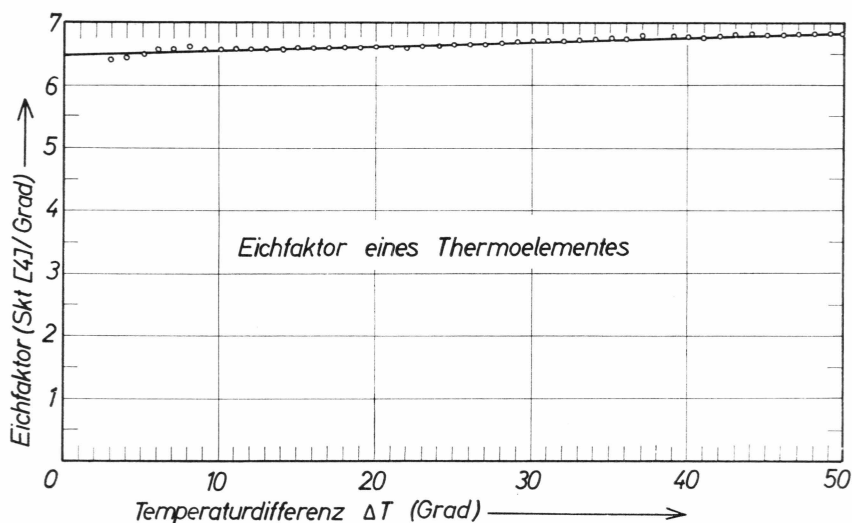


Abb. 56: Der Eichfaktor eines Thermoelementes $\left(\frac{\text{Skt}}{\text{Grad}}\right)$ in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz der Lötstellen. Die Vergleichslötstelle befindet sich auf 0°C .

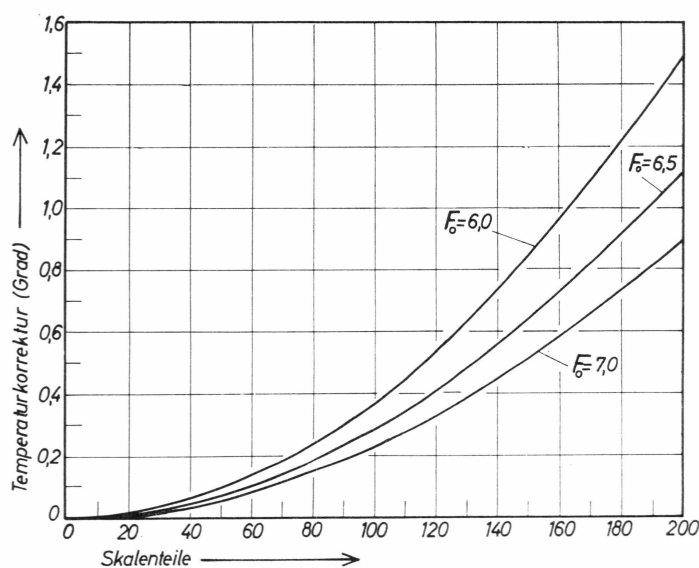


Abb. 57: Nomogramm zur Ermittlung der Temperaturkorrektur für negative Temperaturen.

Dieses Ergebnis stimmt mit dem Tabellenwert (1,15 % pro 10°C) gut überein. Damit kann die Extrapolation des Eichfaktors F in den negativen Temperaturbereich erfolgen. Zur einfacheren Auswertung wurde ein Korrekturdiagramm (Abb. 57) entworfen.

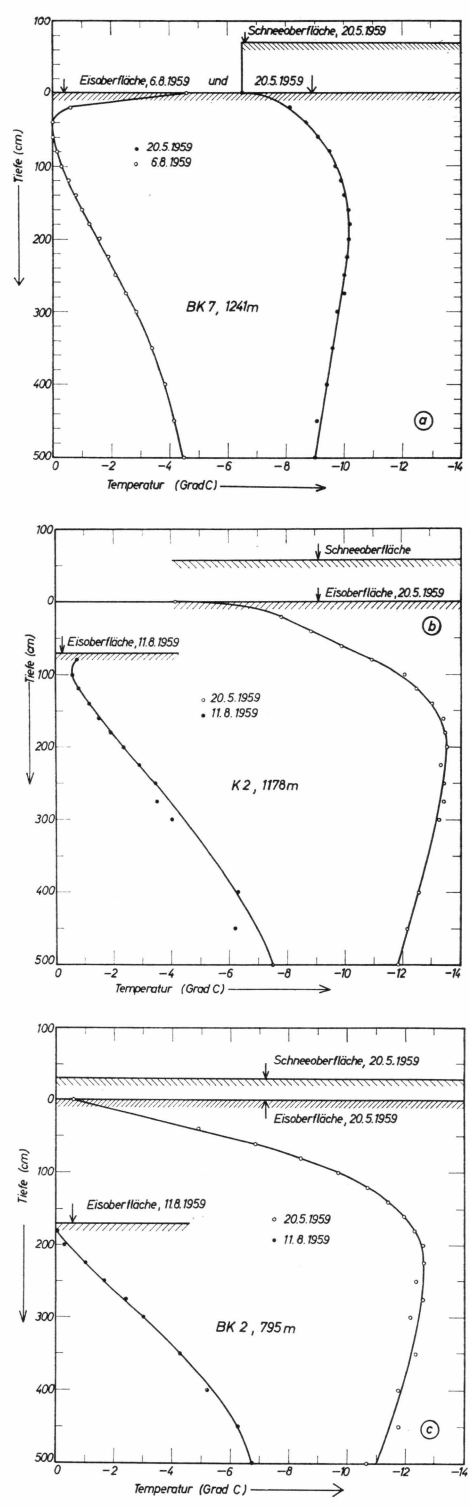


Abb. 58: Die Temperaturprofile im Eis bei a) BK 7, b) K 2, c) BK 2.

Der Eichfaktor wurde in Einzelfällen an bereits eingesetzten Thermoelementen überprüft, indem die eingebaute Lötstelle mit konstanter, unbekannter Temperatur angenommen wurde. Die Vergleichslötstelle wurde in verschiedenen temperierte Wasserbäder getaucht, bis sich der doppelte Ausschlag ergab. Die Nichtlinearität der Eichkurve (d. h. Temperaturabhängigkeit der differentiellen Thermospannung V/gd) wurde mit Hilfe eines Korrekturgliedes (LANDOLT-BÖRNSTEIN 1931) berücksichtigt. In allen Fällen stimmte das Ergebnis der Kontrolle mit der Laboreichung überein.

d. Genauigkeit.

Die Ablesegenauigkeit am Galvanometer beträgt mit $\pm 0,3$ Skalenteilen etwa $\pm 0,05^\circ \text{C}$. Bei Feldmessungen kommt noch eine kriechende Nullpunktswanderung und eine Empfindlichkeitsänderung bei nicht-horizontiertem Galvanometer hinzu. Diese zwei Fehlerquellen sind größer als die Ablesegenauigkeit. Der endgültige Fehler wird auf $\pm 0,2^\circ \text{C}$ geschätzt. Auf die Galvanometerhorizontierung während der Messung wurde ab 2.6.1959 besonders geachtet. Bei Messungen vor dem 2.6.1959 wurde der Horizontierungsfehler nachträglich korrigiert. Dazu wurde angenommen, daß die Temperatur in 8 m Tiefe und der relative Fehler über dem Meßbereich konstant ist.

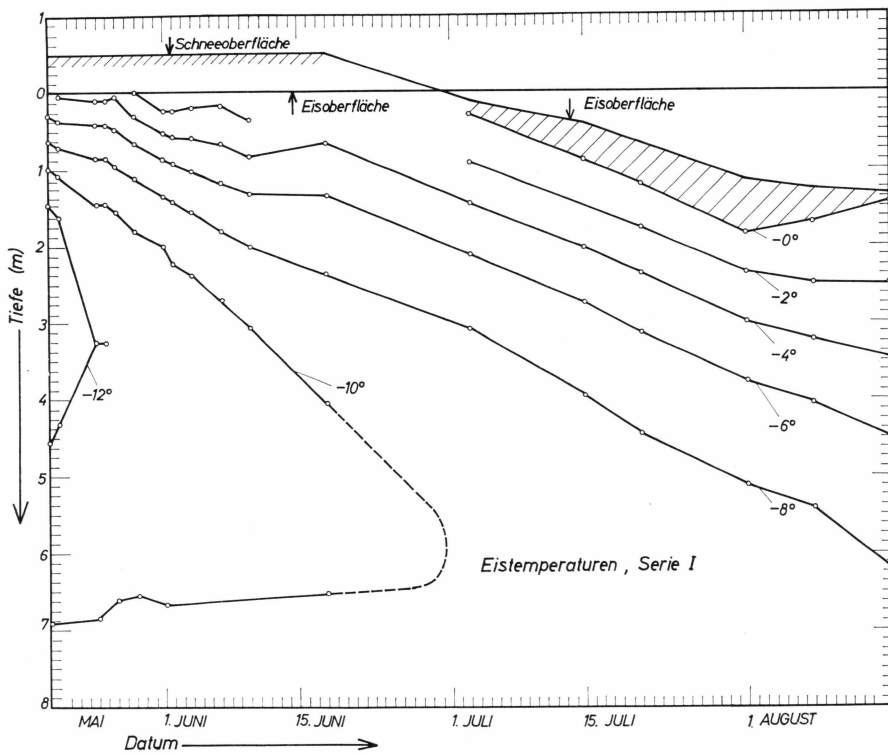
e. Meßwerte.

Die Meßwerte sämtlicher Profile sind in **Tab. 50a** zusammengestellt. Drei Profile wurden in **Abb. 58** dargestellt. Sie geben anschaulich die Temperaturänderung an verschiedenartigen Meßstellen im Höhenbereich 795–1241 m.

In **Tab. 51** sind die Veränderungen des Kälteinhaltes zusammengestellt. Der bei K 3 ermittelte Wert ist wesentlich kleiner als die übrigen Werte. Es besteht kein Grund zur Annahme, daß Meßfehler vorliegen, da hier in unmittelbarer Nähe Messungen von M. DE QUERVAIN mit Hilfe von Widerstandsthermometern vorliegen. Einer persönlichen vorläufigen Mitteilung verdanke ich M. DE QUERVAIN die Möglichkeit eines Vergleiches der Ergebnisse. In gleicher Tiefe (431 cm von der Schneeoberfläche vom 17.5.1959) ergibt sich durch Interpolation:

	Widerstandsthermometer (M. DE QUERVAIN)	
20.5.1959:	$-10,55^\circ \text{C}$	$-10,41^\circ \text{C}$
7.8.1959:	$-5,45^\circ \text{C}$	$-5,70^\circ \text{C}$ (15.8.1959)

Es wird angenommen, daß diese Meßstelle durch irgendeinen nicht erkennbaren Grund gestört ist. Diese Vermutung wird durch die Ergeb-



Ebb. 59: Darstellung der Werte der Eistemperaturen Serie I, 1013 m, als Zeitfunktion. Die schraffierte Fläche entspricht der isothermen Schicht.

nisse von M. DE QUERVAIN bestätigt, die in 1137 cm Tiefe unter der Schneeoberfläche vom 17.5.1959 einen Temperaturrückgang von $-7,16^\circ\text{C}$ auf $-7,88^\circ\text{C}$ vom 20.5. bis 15.8.1959 zeigen. Für Energieumsatzstudien wird daher dieses Temperaturprofil nicht verwendet werden können.

Für die Profile I, II und III wurde in Abb. 59–61 die Temperatur als Parameter gewählt, da genügend Messungen vorliegen. Aus den Abb. 59–61 erkennt man, daß die Temperatur 0°C nicht an der Oberfläche, sondern in tieferen Schichten erreicht wird. Die Dicke der isothermen Eisschicht findet man durch Extrapolation der Temperaturprofile nach $T = 0$. Sie ist in Abb. 59–61 schraffiert gezeichnet und für die Serien I–V in Abb. 62 als Zeitfunktion dargestellt. Es zeigt sich, daß die isotherme Schicht bereits lange vor Auftreten einer meßbaren Eisablation ausgebildet ist. Bei Serie I tritt sie wegen einer Schneeanwehung erst verspätet auf. Während der Ablationszeit ist die isotherme Schicht im Mittel 50–70 cm dick. Bei Serie I (Abb. 59) zeigt sich ab 1.8.1959 ein Zufrieren der isothermen Schicht von unten nach oben, obwohl an der Oberfläche noch Ablation feststellbar ist. Dieselbe Tendenz zeigt sich auch bei Serie II und III, besonders deutlich in einer Darstellung Tem-

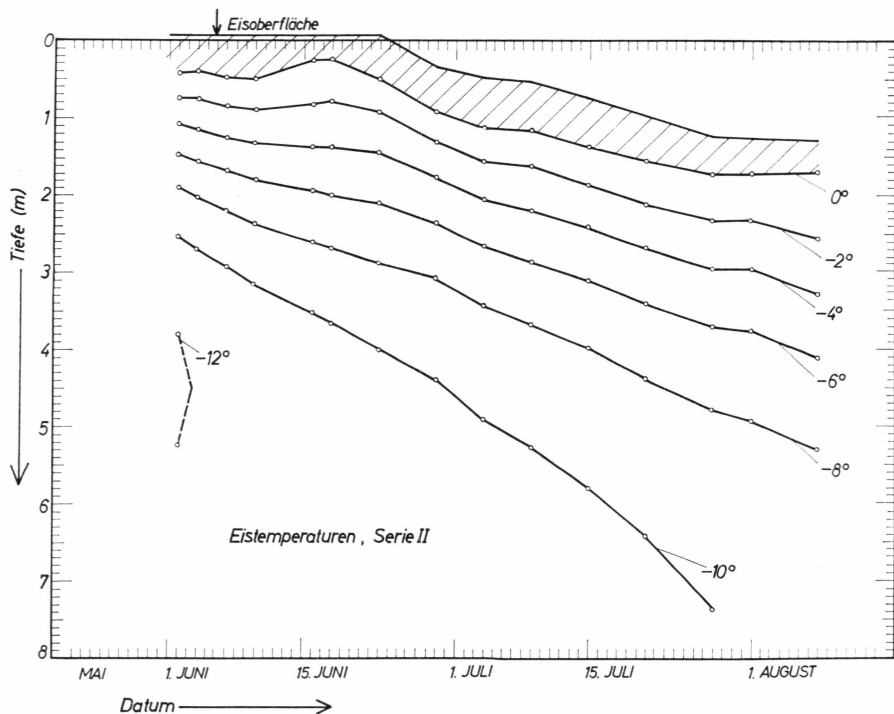


Abb. 60: Darstellung der Werte der Eistemperaturen Serie II, 1004 m, als Zeitfunktionen. Die schraffierte Fläche entspricht der isothermen Schicht.

peratur gegen Tiefe. Dieser Effekt ist bei Serie I sehr augenfällig, weil noch am 16.8.1959 durch A. BAUER und O. SCHIMPP eine Temperaturmessung erfolgt, die Temperaturmessungen an anderen Stellen jedoch am 8.8.1959 abgebrochen wurden. Es sind keine Anhaltspunkte zu finden, wodurch der Effekt des Zufrierens der isothermen Schicht bei gleichzeitiger Ablation durch Meßfehler vorgetäuscht wird. Es wird angenommen, daß dieser Effekt reell ist, da zur Zeit noch nicht genau bekannt ist, durch welche Bedingungen die isotherme Schicht stationär gehalten wird. Vor allem ist nicht geklärt, ob Schmelzwasser, das durch Risse sickert, wesentlich an der Bildung der isothermen Schicht beteiligt ist, oder ob die Ausbildung dieser Schicht nur durch Absorption von kurzwelliger Strahlungsenergie erfolgt. Aus Messungen, die in den Alpen durchgeführt wurden (W. AMBACH 1955b), ist ersichtlich, daß die isotherme Schicht nicht durch einen Strahlungsfehler der Thermoelemente vorgetäuscht wird. Der Strahlungsfehler der verwendeten Thermoelemente kann nur wenige Zehntelgrad Celsius betragen.

In Abb. 62 ist der Temperaturgradient an der Null-Grad-Grenze für die Serien I–V als Zeitfunktion dargestellt.

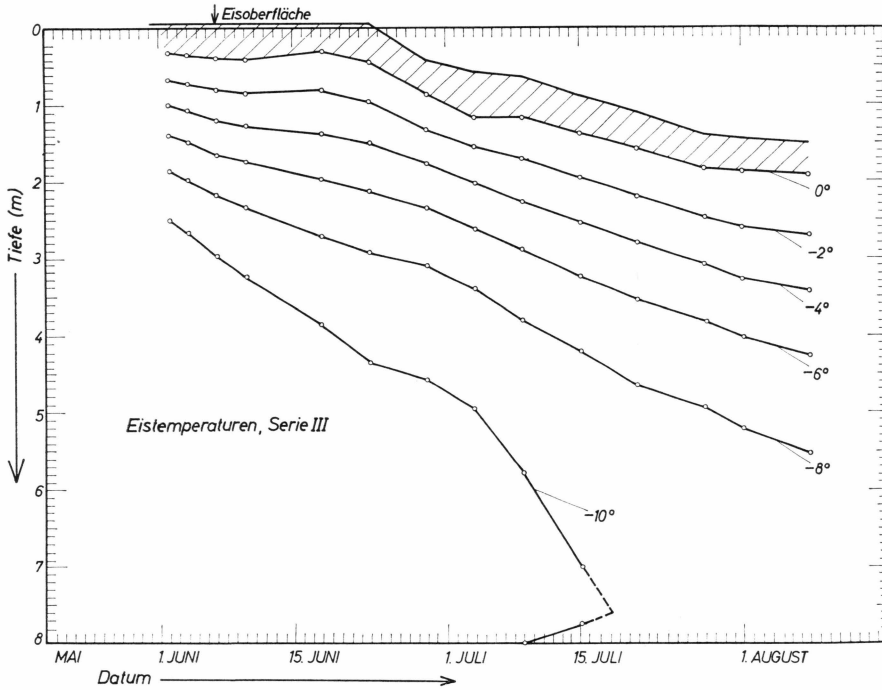


Abb. 61: Darstellung der Werte der Eistemperaturen Serie III, 1004 m, als Zeitfunktion. Die schraffierte Fläche entspricht der isothermen Schicht.

f. Energieverbrauch zur Eiswärmung.

Die Eistemperatur wird durch den von oben und unten eindringenden Wärmestrom erhöht. Die Temperaturänderung ist dabei mit einer Veränderung des Wärmeinhaltes verbunden. Die dazu verbrauchte Energie wird nach folgender Formel berechnet:

$$Q_{\Delta T} = \rho c \int_0^{\infty} \Delta T(z) dz \text{ cal cm}^{-2}.$$

Darin ist $Q_{\Delta T}$ die zur Eiswärmung verbrauchte Energie (cal cm^{-2}), ρ die Eisdichte, c die spezifische Wärme, ΔT die Temperaturänderung und z die Tiefe. Der Energiebetrag $Q_{\Delta T}$ wird durch zwei Wärmeströme geliefert:

$$Q_{\Delta T} = \lambda t \left\{ \left(\frac{dT}{dz} \right)_1 + \left(\frac{dT}{dz} \right)_2 \right\} \text{ cal cm}^{-2}.$$

Darin bedeuten λ die Wärmeleitfähigkeit des Eises, t die Zeit und dT/dz einen Temperaturgradienten. Die beiden Werte des Temperaturgradienten (Index 1 und 2) sind an der Null-Grad-Grenze und im unteren

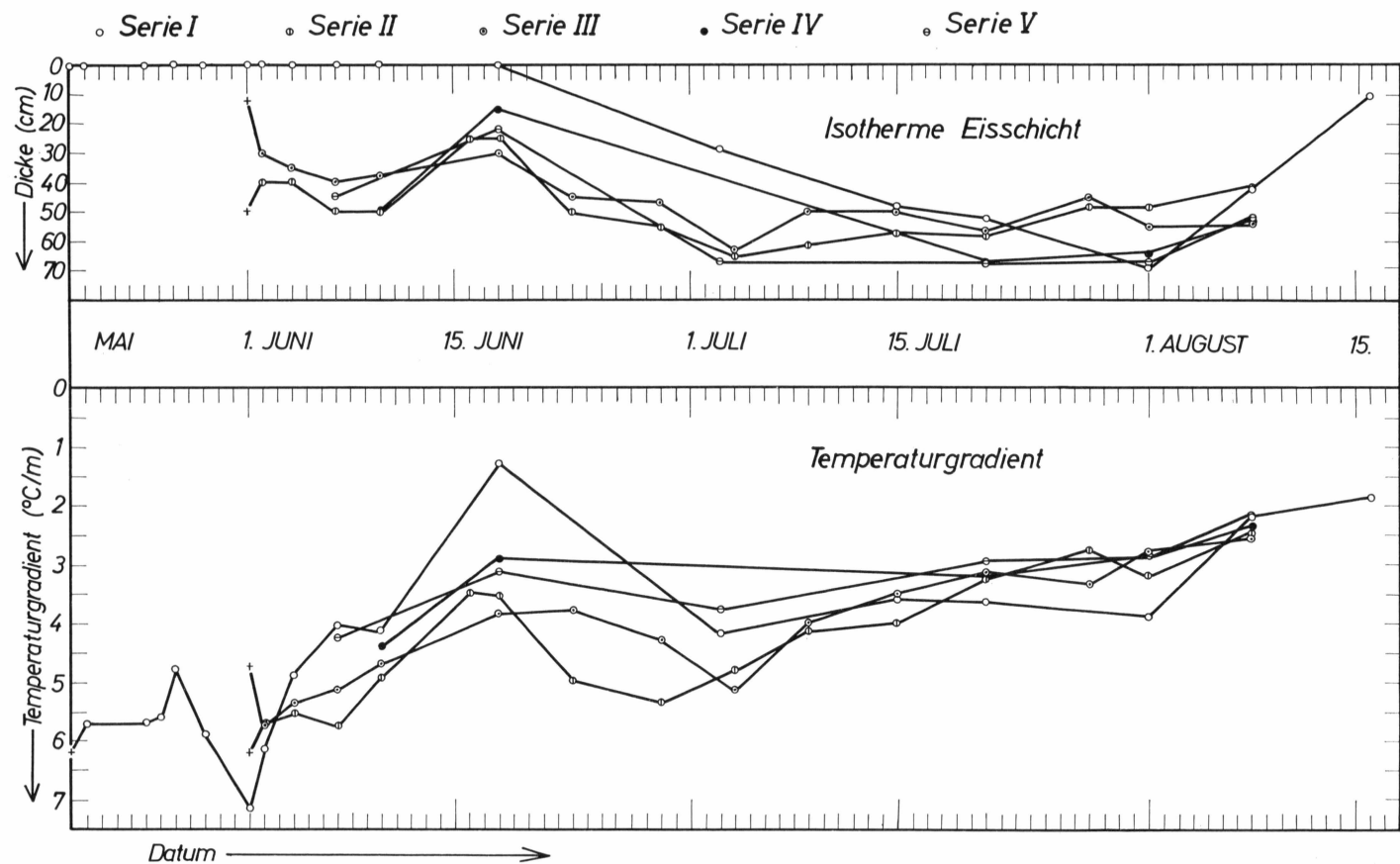


Abb. 62: Die Dicke der isothermen Eisschicht und der Temperaturgradient an der Null-Grad-Grenze als Zeitfunktion.

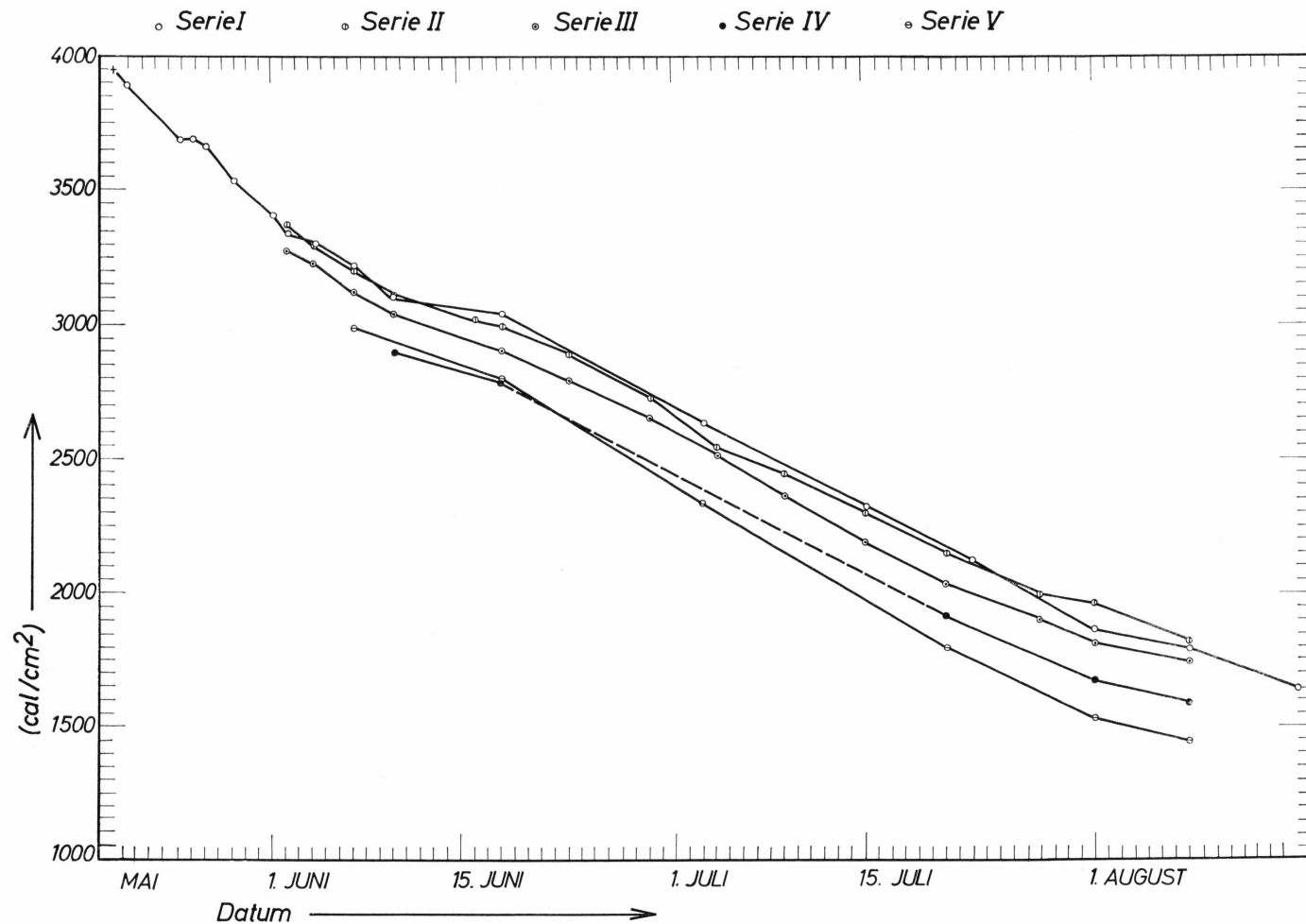


Abb. 63: Der Kälteinhalt (cal/cm^2) der Temperaturprofile I bis V als Zeitfunktion. Die Differenzbeträge geben die zur Eiserwärmung verbrauchte Energie.

Bereich mit konstanten Temperaturgradienten ($8 \text{ m} < z < 10 \text{ m}$) zu ermitteln.

Zur Berechnung der zur Eiserwärmung verbrauchten Energie stehen zwei Möglichkeiten offen:

1. Ermittlung durch Planimetrieren der Temperaturprofile (1. Formel).
2. Ermittlung aus den Temperaturgradienten (2. Formel).

Der erste Weg ist wegen der etwas unsicheren Werte der Temperaturgradienten, die für Formel 2 benötigt werden, genauer. Andererseits liegen die Werte der Temperaturänderung für Formel 1 nur bis 8 m Tiefe vor. Im Bereich $z > 8 \text{ m}$ muß deshalb zur Planimetrierung das Temperaturprofil extrapoliert werden. Die Unsicherheit der Extrapolation ist jedoch gering.

Für jedes Temperaturprofil wurde zunächst der gesamte Energiewert Q bestimmt, der der Fläche zwischen Temperaturprofil und Koordinatenachsen (Tiefe, Temperatur) entspricht. Die Energiedifferenzwerte sind die zur Eiserwärmung aufgewendeten Energiebeträge. Die Werte von Q der Profile I–V sind in **Abb. 63** als Zeitfunktion dargestellt. Die zur Eiserwärmung verbrauchten Energiebeträge erhält man durch Differenzbildung (vgl. Tab. 51).

Alle fünf Zeitfunktionen in **Abb. 63** zeigen etwa dieselbe Steigung. Der Energieverbrauch zur Eiserwärmung wird demnach nur wenig von der topographischen Eigenheit des Geländes beeinflusst. Bis Mitte Juni ist er etwas größer als im August. Als mittlerer Energieverbrauch zur Eiserwärmung können während der Hauptablationszeit $25\text{--}30 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ angenommen werden. Für die Profile I–V wurde der Energieverbrauch pro Tag ($\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in **Tab. 52** zusammengestellt. Zur Berechnung des Energiehaushaltes werden bis 2.6.1959 die Werte von Serie I und ab 3.6.1959 die Mittelwerte aus Serie II und III benützt.

17. SCHNEETEMPERATUREN UND SCHNEEDICHTEN

Die Schneedecke wurde vor Beginn der Abschmelzung an verschiedenen Stellen im Ablationsgebiet aufgedeckt. Schneehöhe, Schichtung, Dichte und Temperaturverteilung wurden an diesen Stellen gemessen. Die vorjährige Eisoberfläche wurde zur Beobachtung der Bildung von superimposed ice vor Beginn der Abschmelzung markiert. Die Markierung erfolgte mit Hilfe von weitmaschigen Tüchern oder Papierblättern.

In **Tab. 53** sind die Beobachtungen von Schneehöhe, Wasserwert und Kälteinhalt zusammengestellt. **Abb. 64** zeigt als graphische Darstellung die Ergebnisse der Schneeprofile an vier Meßstellen. In Fällen ohne besondere Ausbildung von Strukturen innerhalb der Schneedecke wurde der Wasserwert einfach durch Multiplikation der gemessenen mittleren Dichte mit der Schneehöhe ermittelt.

Nur bei den dargestellten Profilen (**Abb. 64**) wurden die Beiträge der einzelnen Schichten zum Wasserwert der Schneedecke summiert. Vier Profile (BK 7, K 3, K 2 und BK 5) wurden am gleichen Tag (20.5.1959) gemessen. Die Ergebnisse sind unmittelbar vergleichbar. Es kann angenommen werden, daß zu jenem Zeitpunkt der Wasserwert der winterlichen Akkumulation noch vollständig erhalten ist. Der Wasserwert beträgt in 1200 bis 1300 m Seehöhe (BK 7 und K 3) 34,9 und 38,2 g Wasser/cm². Er nimmt bis 1000 m Seehöhe (BK 5) auf 22,0 g Wasser/cm² ab. Die Beträge des Wasserwertes der Schneedecke unterscheiden sich zwischen BK 5 und BK 7 um den Faktor 1,6. Wesentlich größere Unterschiede sind im Kälteinhalt der Schneedecke zu finden, der am 20.5.1959 bei BK 5 (1013 m) 4,5 cal cm⁻² und bei BK 7 (1241 m) 72,6 cal cm⁻² beträgt. Während bei BK 7 (1241 m) nur eine dünne Schicht an der Oberfläche 0°C erreicht hat und die minimale Temperatur in der Schneedecke -8,0°C beträgt, ist bei BK 5 (1013 m) beinahe die ganze Schneedecke im schmelzenden Zustand. Trotz negativer Temperaturen der Schneeschichten ist die Schneedecke bereits mit Eislagen durchsetzt, die sich wahrscheinlich wenige Tage vorher durch Intrusionen gebildet haben. Diese Vermutung wird durch eine persönliche Mitteilung von M. DE QUERVAIN bestätigt. Drei Profile (**Abb.**

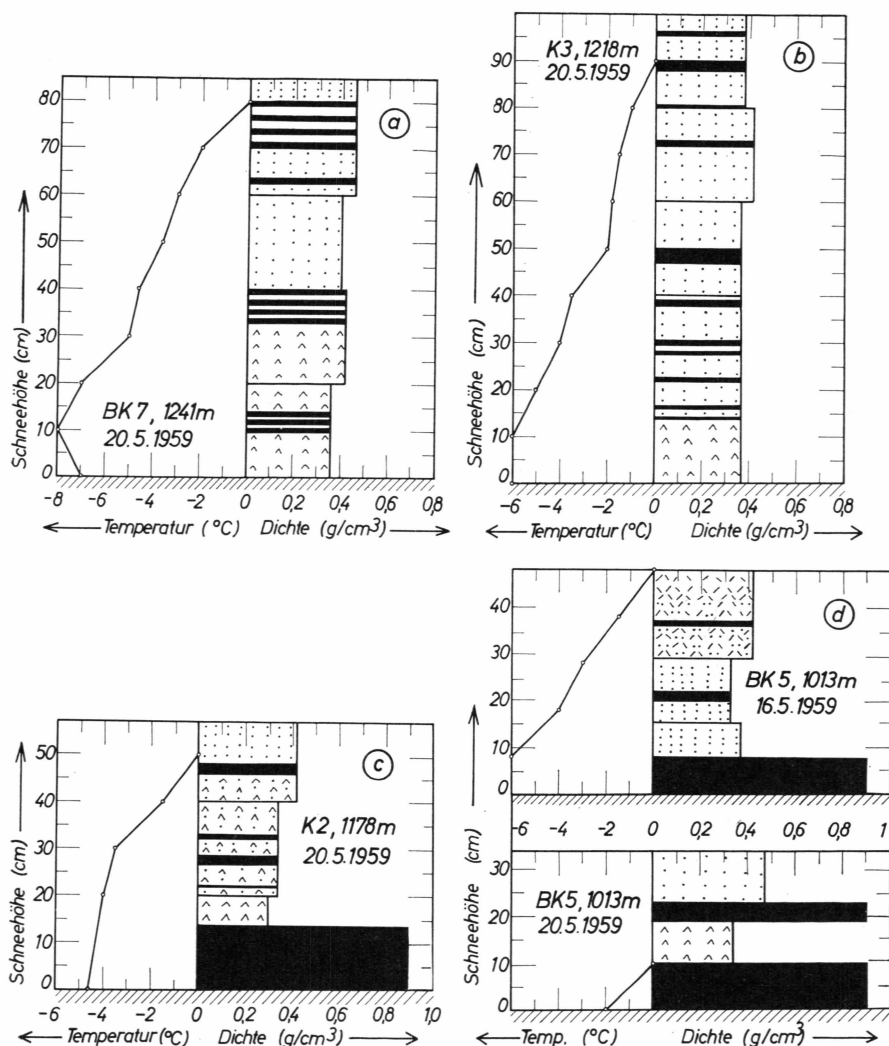


Abb. 64: Schneeprofile an den Meßstellen a) BK 7, 1241 m, b) K 3, 1218 m, c) K 2, 1178 m, d) BK 5, 1013 m. Signatur nach »The International Classification for Snow« (1954).

64c, d) zeigen als unterste Schicht nicht die erwartete Schwimmschneelage, sondern weißes, grobkörniges Eis. Aus dem Zustand der Verschmutzung (Kryokonit) ist zu schließen, daß es sich bei dieser Schicht um »junges Eis« handelt. Ohne Zweifel ist es der Entstehung nach als superimposed ice zu identifizieren. Es kann sich allerdings bereits im Herbst des Vorjahres gebildet haben. Eine genaue Datierung der Entstehung dieser Eisschicht ist nicht möglich. Mit Sicherheit muß diese Schicht jedoch bei Wasserwertsangaben zur winterlichen Akkumulation

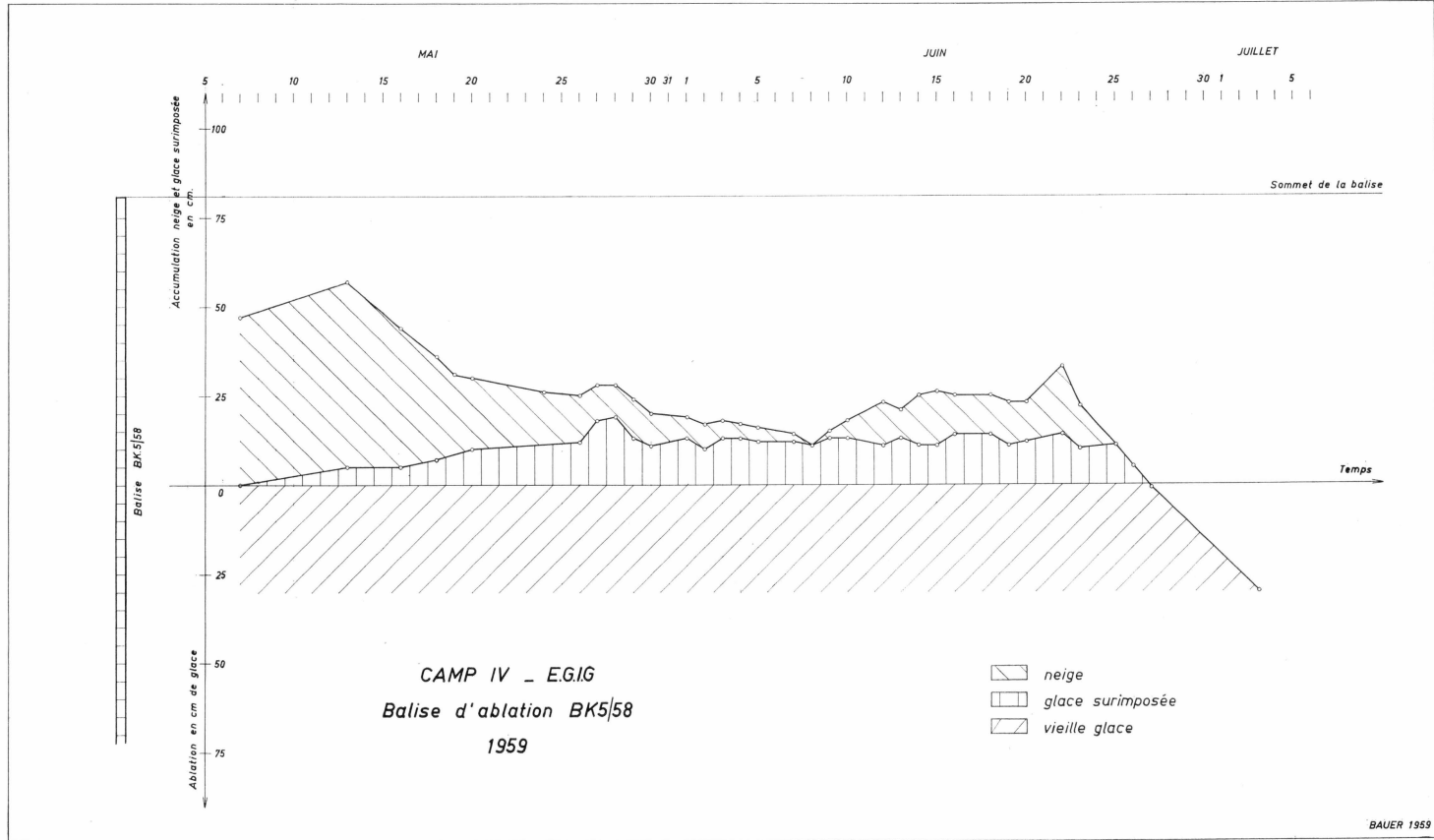


Abb. 65: Bildung von superimposed ice beim Pegel BK 5.
(Camp IV - EGIG Balise d'ablation BK 5/58 - 1959 - BAUER 1959).

gezählt werden, gleichgültig ob sie als superimposed ice im Herbst oder im Frühjahr entstanden ist. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Sondierung der Schneedecke bei BK 5, 1013 m (Abb. 65) läßt erkennen, daß am 20.5.1959 am Pegel BK 5 ebenfalls eine 10 cm dicke superimposed ice Schicht festgestellt wurde. Demnach ist die Entstehung dieser Schicht mit großer Wahrscheinlichkeit im Frühjahr anzunehmen. Der positive Energieüberschuß der Schneedecke gestattete bereits anfangs Mai (ab 7.5.1959) bei BK 5, 1013 m, die Ausbildung einer superimposed ice Schicht.

Auch bei K 2, 1178 m, wurde als unterste Schicht am 20.5.1959 eine superimposed ice Lage festgestellt, die bei BK 7, 1241 m, und K 3, 1218 m, noch fehlte. Die Schneedecke ist an diesen Stellen mit zahlreichen Eislamellen durchzogen. Diese Eislamellen werden als Beweis für die zeitweise positive Energiebilanz der Oberfläche vor dem 20.5. 1959 angesehen.

Bei den Dichteabstichen wurde nach Möglichkeit ein Mittelwert für eine größere Schicht erfaßt, sodaß es nicht notwendig ist, die Eislamellen im Dichteprofil getrennt zu behandeln. Die Schneetemperaturmessungen wurden mit Hilfe von Quecksilberthermometern, wie sie im Lawinendienst benützt werden, durchgeführt¹⁾.

¹⁾ Herrn Dr. L. KRASSER danke ich für die Überlassung geeigneter Thermometer.

18. SUPERIMPOSED ICE

a. Die Bedeutung des superimposed ice für den Energiehaushalt.

Im Bereich der Ablationszone wurde die Bildung von superimposed ice verfolgt. Dazu wurden weitmaschige Netze an 8 Stellen auf der vorjährigen Eisoberfläche ausgelegt. Nach Bildung der superimposed ice Schicht wurden die ausgelegten Marken ausgegraben und die Dicke der neugebildeten Eisschicht bestimmt. **Tab. 54** gibt die Verteilung der Netze und die Ergebnisse an. Werte für die Dicke der aufgefrorenen Eisschicht, die durch Sondierung an Pegeln in unmittelbarer Nähe gefunden wurden, werden zum Vergleich gegenübergestellt. Wegen des unterschiedlichen Wasserwertes der Schneedecke müssen beide Werte nicht genau übereinstimmen.

Bereits früher (W. AMBACH 1961) wurde die Entstehung des superimposed ice eingehend beschrieben. Die unterste Schneeschicht der winterlichen Akkumulation wird nach Beginn der Schmelzperiode mit Schmelzwasser durchtränkt. Dieses Schnee-Wasser-Gemisch friert an der alten, noch kalten, wasserundurchlässigen Eisoberfläche wieder auf, wenn die freiwerdende Schmelzwärme vom kalten Gletschereis aufgenommen werden kann. Die freiwerdende Schmelzwärme wird durch den Prozeß der Wärmeleitung in das Eis abgeleitet und zur Erwärmung des alten Eises aufgewendet. Im optimalen Fall kann das gesamte Schmelzwasser durch superimposed ice wieder gebunden werden und muß zum vollständigen Abbau der winterlichen Schneedecke noch einmal geschmolzen werden. Auf Gletschern des »Baffin Typs« ist dieser optimale Fall weitgehend erfüllt (P. D. BAIRD, W. H. WARD, S. ORVIG 1952).

Der Bildungsprozeß des superimposed ice kann durch folgende Gleichungen beschrieben werden. Für die freiwerdende Schmelzwärme gilt

$$Q_{s.i.i.} = (\varrho_{\text{Eis}} - \varrho_{\text{Schnee}}) s h \text{ cal cm}^{-2}.$$

Darin ist $Q_{s.i.i.}$ die freiwerdende Schmelzwärme, ϱ_{Eis} die Dichte des superimposed ice, ϱ_{Schnee} die Schneedichte der untersten winterlichen Akkumulationsschicht, s die Schmelzwärme und h die Schichtdicke des superimposed ice.

Für den Energiebetrag, der zur Erwärmung des Eises verbraucht wird, gilt

$$Q_{\Delta T} = \rho c \int_0^{\infty} \Delta T(z) dz \text{ cal cm}^{-2}.$$

$Q_{\Delta T}$ ist die zur Erwärmung des Eises aufgewendete Energie, ρ die Eisdichte, c die spezifische Wärme und $\Delta T(z)$ die Temperaturänderung des Eises in verschiedenen Tiefen. Es wird angenommen, daß der von unten kommende Wärmestrom vernachlässigt werden kann.

Der Einfluß des superimposed ice im Energie- und Massenhaushalt kann durch folgende Feststellung charakterisiert werden:

Durch Bildung von superimposed ice kann trotz positiver Energiebilanz der Wasserwert der winterlichen Akkumulation erhalten werden. Die positive Energiebilanz wird nicht zur Beseitigung der winterlichen Akkumulation, sondern zur Erwärmung des Eises verwendet. Zur vollständigen Beseitigung der winterlichen Akkumulation muß die doppelte Schmelzenenergie verfügbar sein.

Wie weit der Idealfall einer maximalen superimposed ice Schicht verwirklicht wird, hängt davon ab, wieviel Energie vom Eis durch Wärmeleitung aufgenommen werden kann. E_+ sei der Energieüberschuß.

Nur im Falle

$$E_+ = \lambda \left(\frac{dT}{dz} \right)_{z=0}$$

kann das gesamte Schmelzwasser aufgefroren werden. Die Ungleichung

$$E_+ > \lambda \left(\frac{dT}{dz} \right)_{z=0}$$

ist die Bedingung, daß ein Teil des Schmelzwassers abfließen kann und für die Eismasse verloren ist. Wenn die gesamte winterliche Akkumulation in superimposed ice umgewandelt werden soll, darf die Gleichung

$$E_+ = \lambda \left(\frac{dT}{dz} \right)_{z=0}$$

in keinem Augenblick verletzt werden.

Der Temperaturgradient an der Eisoberfläche bestimmt den in das Eis weitergeleiteten Energiebetrag. Da an der Eisoberfläche während der Bildung von superimposed ice die Temperatur konstant 0°C beträgt, ist der Temperaturgradient nur von der Temperaturleitzahl des Eises und dem Temperaturprofil im Eis abhängig.

b. Theoretische Überlegungen zur Bildung von superimposed ice.

Die Temperaturänderung des Eises und der Temperaturgradient an der Oberfläche wurde durch Lösung der Wärmeleitungsgleichung berechnet. Es wurde angenommen, daß an der Eisoberfläche die Temperatur konstant 0°C beträgt. Durch den Kontakt der Oberfläche mit Schmelzwasser ist diese Bedingung erfüllt. Der Anfangszustand soll durch einen konstanten Temperaturgradienten im Eis gegeben sein.

Die Lösung der Wärmeleitungsgleichung ist für diesen Fall bekannt (B. BAULE 1947). Wegen der unstetigen Randbedingung (Oberflächentemperatur ist von der geforderten Oberflächentemperatur verschieden) wird die Lösung durch symmetrische Erweiterung des Lösungsgebietes gewonnen. Damit kann die stationäre Oberflächenbedingung $T = 0^{\circ}\text{C}$ eingehalten werden.

Der Sachverhalt im Gletschereis ist von der in B. BAULE 1947 gegebenen Lösung nur dadurch verschieden, daß im Gletscher ein konstanter Temperaturgradient als Anfangsbedingung vorliegt und die angegebene Lösung für einen isothermen Anfangszustand gilt. Da durch Hinzufügen einer linearen Funktion von z die Lösung der Wärmeleitungsgleichung richtig bleibt, ist man in die Lage versetzt, den nicht-isothermen Anfangszustand im Eis zu berücksichtigen. Die vollständige Lösung lautet dann

$$T(z, t) = -T_0 \Phi\left(\frac{z}{2\sqrt{a^2 t}}\right) + mz.$$

Darin bedeuten die Funktion Φ die *Gauß'sche Fehlerfunktion*, T_0 die Oberflächentemperatur, m den tiefenunabhängigen Temperaturgradienten und a^2 die Temperaturleitzahl. Die Lösung wurde für plausible Annahmen, die den Meßwerten entsprechen, berechnet. Unter Annahme von $\lambda = 0,0066 \text{ g}^2 \text{ cal/cm sek gd}$, $c = 0,5 \text{ cal/g gd}$ und $\rho = 0,9 \text{ g/cm}^3$ erhält man $a = 6,55 \text{ cm h}^{-\frac{1}{2}}$. Als Anfangszustand wurde $m = 0,96 \text{ gd/m}$ und für die Oberflächentemperatur $T_0 = -16^{\circ}\text{C}$ angenommen. Dieser Wert des Temperaturgradienten wurde z. B. während der ersten Messungen bei Serie I in Tiefen von 8–4 m bestimmt. In diesen Tiefen dürfte zu dieser Zeit der winterliche Temperaturgradient noch ungestört sein. Die Extrapolation des Temperaturprofils im Bereich $z < 4 \text{ m}$ liefert die Oberflächentemperatur -16°C .

Abb. 66 gibt das Ergebnis der Berechnung der Temperaturprofile mit $t = 24, 100, 400$, und 1000 Stunden. Wegen der schlechten Wärmeleitung im Eis wird es nur sehr langsam erwärmt.

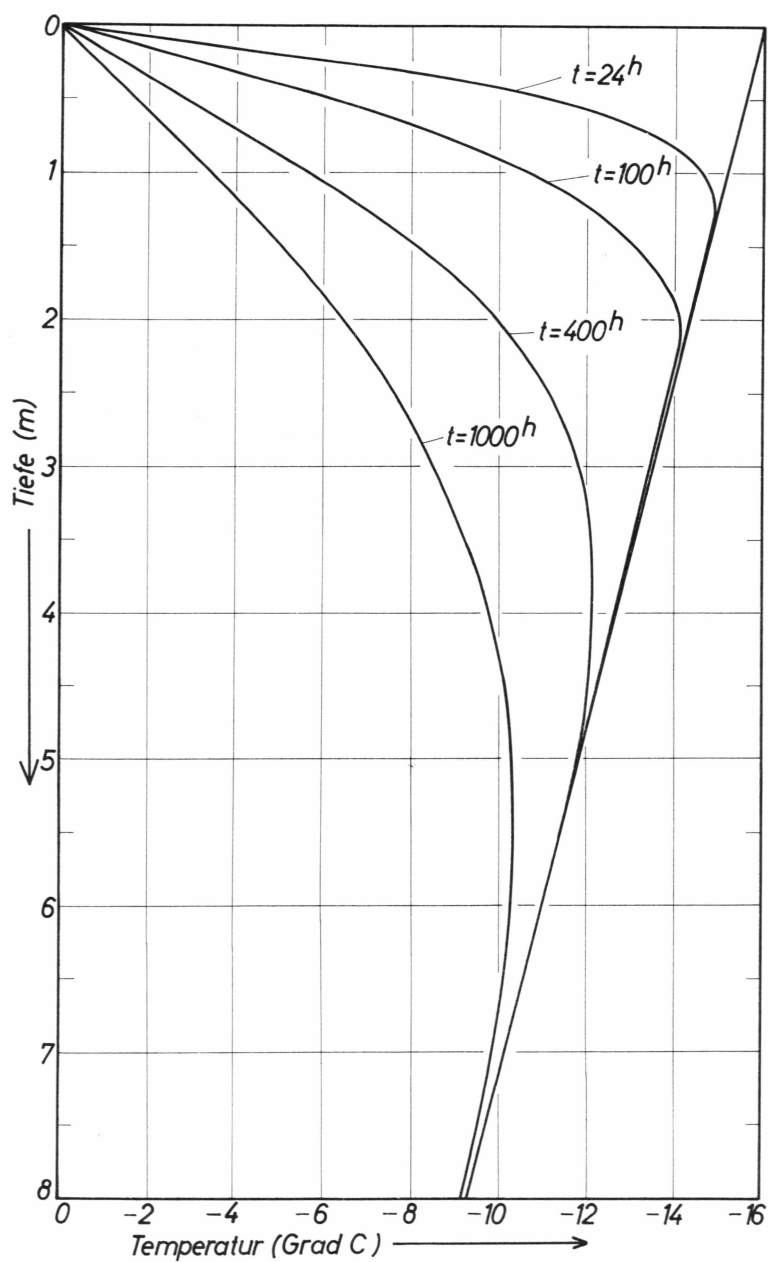


Abb. 66: Berechnete Temperaturprofile im Eis. Anfangsbedingung: $T_0 = -16^\circ \text{C}$,
 $m = 0,96 \text{ Grad/m}$.

Aus der oben angeführten Lösung des Wärmeleitungsproblems kann der Temperaturgradient an der Oberfläche als Zeitfunktion berechnet werden. Er ergibt sich für $t > 0$ zu

$$\left(\frac{dT}{dz}\right)_{z=0} = -\frac{T_0}{a\sqrt{\pi t}} + m.$$

Durch Integration dieser Gleichung erhält man die gesamte Energie Q , die pro Flächeneinheit dem Eis zugeführt wird

$$Q = \int_0^{t_0} \lambda \left(\frac{dT}{dz}\right)_{z=0} dt = \lambda \left(\frac{2T_0}{a\sqrt{\pi}} \sqrt{t} + mt\right).$$

Darin wurde die Bezeichnung von oben übernommen. Das Glied mt ist gegenüber $2T_0\sqrt{t}/a\sqrt{\pi}$ in dem für die Bildung von superimposed ice interessanten Zeitabschnitt klein. Damit nimmt die Energie, die in das Eis abgeleitet wird, näherungsweise mit \sqrt{t} zu. Die pro Tag zur Erwärmung des Eises verbrauchte Energie beträgt im untersuchten Zeitabschnitt (bis 1000 Stunden) zwischen 100 und 30 $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, wenn der erste Tag unberücksichtigt bleibt.

Die maximale Mächtigkeit der superimposed ice Schicht kann gebildet werden, wenn die tägliche positive Energiebilanz gleich groß ist wie die Energie, die pro Tag durch Wärmeleitung in das Eis abgeleitet werden kann. Aus **Tab. 52** ist zu entnehmen, daß der zur Eiserwärmung täglich verbrauchte Energiebetrag am Beginn der Schmelzperiode mit 40 $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ am größten ist. In diesem Zeitraum sind die Bedingungen zur Bildung von superimposed ice günstig. Wegen der abnehmenden Albedo der Schneeoberfläche nach Beginn der Schmelzung wächst gewöhnlich der positive Energieüberschuß der Oberfläche rasch an. Diesem raschen Anstieg der positiven Energiebilanz E_+ steht ein mit der Zeit kleiner werdender Temperaturgradient an der Eisoberfläche gegenüber (vgl. Abb. 66), sodaß sehr bald die Bedingung

$$E_+ = \lambda \left(\frac{dT}{dz}\right)_{z=0} \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

verletzt wird. In diesem Augenblick kann der Abfluß des Schmelzwassers beginnen.

Bei einer Schneehöhe von 50 cm mit der Schneedichte $\rho = 0,5 \text{ g/cm}^3$ müssen 2000 cal/cm^2 zur Schmelzung aufgewendet werden. Je langsamer die Abschmelzung der Schneedecke abläuft, desto günstiger ist die Bedingung zur Bildung von superimposed ice. Laut Rechnung werden 2000 cal/cm^2 in etwa 42 Tagen zur Eiserwärmung verbraucht (vgl.

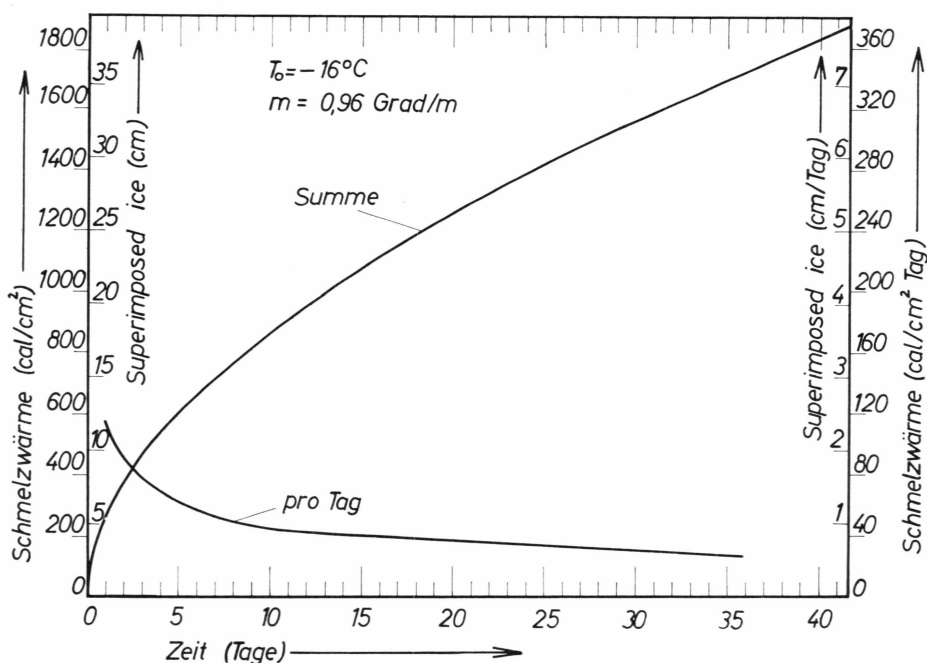


Abb. 67: Berechnete Energiebeträge, die bei der Bildung von superimposed ice umgesetzt werden. Anfangszustand: $T_0 = -16^\circ\text{C}$, $m = 0,96 \text{ Grad/m}$. Für die Summenkurve gilt der linke Maßstab, für die Tagesmittelwerte der rechte. $\rho_{\text{Schnee}} = 0,3 \text{ g/cm}^3$.

Abb. 67), sodaß die gesamte winterliche Akkumulation frühestens in 42 Tagen in superimposed ice umgeformt werden kann.

Die theoretisch abgeleitete Bedingung für die Bildung der dicksten superimposed ice Schicht wurde für verschiedene Werte von T_0 ausgewertet. Dazu wurden die Energiebeträge aus der Gleichung

$$Q = \lambda \left(\frac{2T_0}{a\sqrt{\pi}} \sqrt{t} + mt \right) \text{ cal cm}^{-2}$$

als Zeitfunktion berechnet und die täglichen Differenzwerte gebildet. Die Bezeichnungen in dieser Gleichung wurden von oben übernommen.

Die numerische Rechnung zeigt, daß die Annahme für den Temperaturgradienten des Anfangszustandes ohne praktischen Einfluß auf das Ergebnis ist. Der zur Erwärmung des Eises verbrauchte Energiebetrag für die Anfangsbedingung $T_0 = -10^\circ$, -20° , -30°C und $m = 1,0 \text{ gd/m}$ ist in Abb. 68 dargestellt. Aus den täglichen Differenzwerten der Energie kann für den optimalen Fall die tägliche Zunahme der superimposed ice Schicht aus der Beziehung

$$\Delta Q = (\rho_{\text{Eis}} - \rho_{\text{Schnee}}) s \Delta h$$

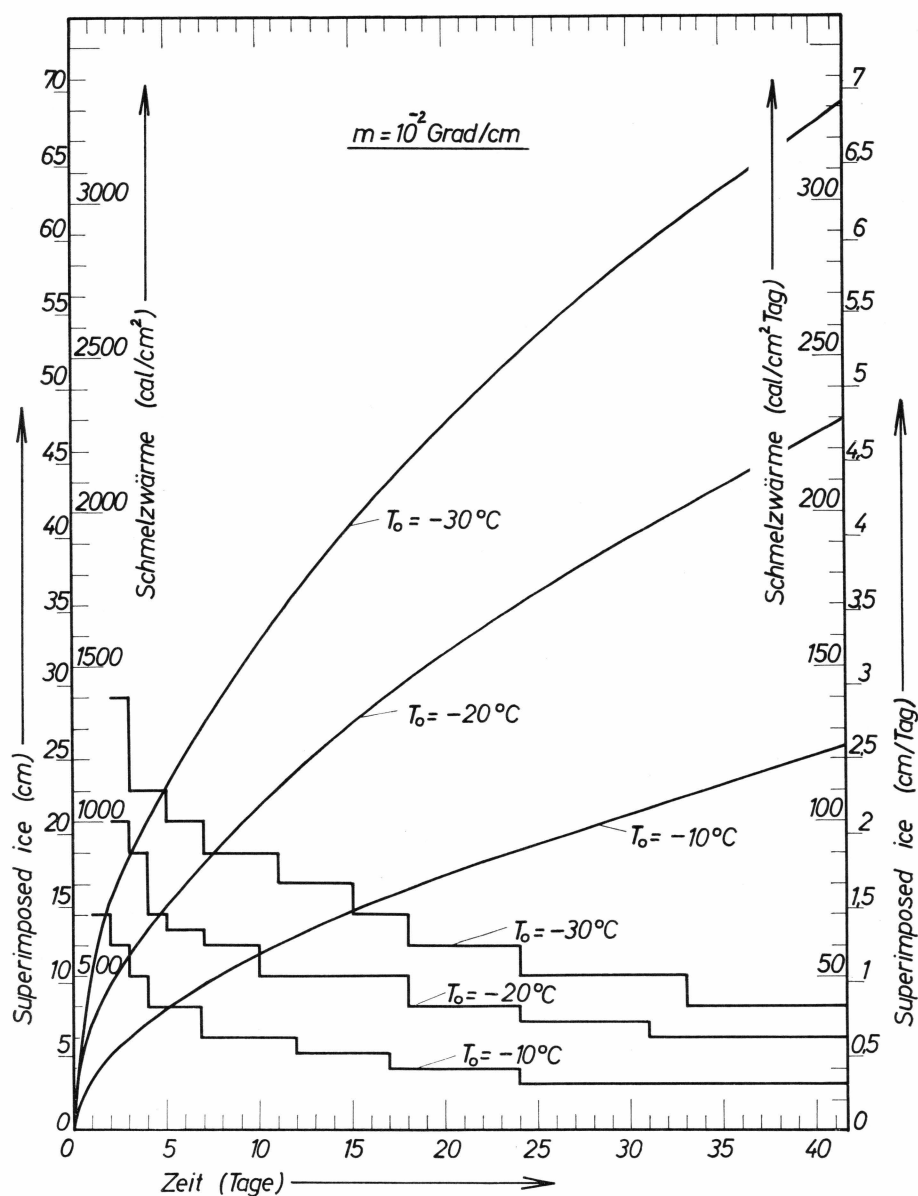


Abb. 68: Berechnete Energiebeträge, die bei der Bildung von superimposed ice umgesetzt werden. Anfangszustand: $T_0 = -10 - 20, -30^\circ\text{C}$ und $m = 1,0 \text{ Grad/m}$. Für die Summenkurve gilt der linke Maßstab, für die Tagesmittelwerte der rechte.

bestimmt werden. Darin bedeuten ΔQ den täglichen Differenzwert der zur Eis erwärmung verbrauchten Energie und Δh die tägliche Zunahme der Mächtigkeit der superimposed ice Schicht.

In Abb. 68 sind die Ergebnisse für die tägliche Zunahme der Dicke der superimposed ice Schicht für die Annahme $T_0 = -10^\circ, -20^\circ, -30^\circ\text{C}$

und $m = 1,0 \text{ gd/m}$ dargestellt. Bei einem Anfangszustand mit sehr kalter Oberfläche ($T_0 = -30^\circ \text{C}$) kann die superimposed ice Schicht anfangs (ohne Berücksichtigung der ersten drei Tage) etwa 2 cm pro Tag zunehmen. Auch nach einem Monat wächst die Schicht noch immer mit 1 cm pro Tag an. Bei $T_0 = -10^\circ \text{C}$ ist die tägliche Zunahme nur etwa $\frac{1}{3}$ des oben angeführten Betrages. Man kann als erste Näherung annehmen, daß die tägliche Zunahme der superimposed ice Schicht linear von $-T_0$ °C abhängt. Im optimalen Fall kann sich nach einem Monat bei $T_0 = -30^\circ \text{C}$ 58 cm und bei $T_0 = -10^\circ \text{C}$ 22 cm superimposed ice gebildet haben.

c. Meßwerte.

Am Pegel BK 5 (1013 m) liegen an zwei Stellen Messungen der Mächtigkeit des superimposed ice vor (vgl. Tab. 54). Am 13.5.1959 wurde ein weitmaschiges Netz auf der vorjährigen Eisoberfläche ausgelegt. Die Schneehöhe betrug 56 cm. Die Temperatur in der Schneedecke war bis knapp unter die Oberfläche negativ. Am 29.5.1959 wurde die Schneedecke an dieser Stelle wiederum aufgedaubt. Die gesamte Schneedecke war isotherm 0°C und naß. Über dem Netz hatte sich eine 12 cm dicke superimposed ice Schicht gebildet. Unter der Annahme von $0,3 \text{ g/cm}^3$ für die Dichte der untersten Schicht in der Schneedecke (Schwimmschnee) wird die freigewordene Schmelzwärme bei der Bildung von superimposed ice zu 580 cal cm^{-2} berechnet. Für denselben Zeitabschnitt (13.5.–29.5.1959) wurde die zur Eiswärmung verbrauchte Energie zu 720 cal cm^{-2} bestimmt (Abb. 63). Etwa 76 % dieses Energiebetrages wird also durch die freiwerdende Schmelzwärme gedeckt.

Die zweite Meßstelle liefert ein ähnliches Ergebnis. Am 20.5.1959 wurde in unmittelbarer Nähe der ersten Meßstelle (etwa 3 m Abstand) ebenfalls die alte Eisoberfläche markiert. Obwohl an der Eisoberfläche eine Temperatur von -2°C gemessen wurde, kann die unterste, 8–10 cm dicke, weiße Eisschicht bereits neu gebildete superimposed ice Schicht gewesen sein. Am 30.5.1959 wurde diese Stelle wiederum aufgedaubt und 8 cm superimposed ice über der ausgelegten Marke gemessen. Unter gleicher Annahme für die Dichte der untersten Schwimmschneesohicht ($\rho = 0,3 \text{ g/cm}^3$) ergibt sich für die bei der Eisbildung freigewordene Schmelzwärme 380 cal cm^{-2} . Für denselben Zeitabschnitt (20.5.–30.5.1959) wurde die zur Eiswärmung verbrauchte Energie zu 450 cal cm^{-2} bestimmt (Abb. 63). Etwa 81 % dieses Energiebetrages wird hier durch freiwerdende Schmelzwärme durch Bildung von superimposed ice gedeckt. Die Bildung des superimposed ice war zur Zeit der Aufgrabung (30.5.1959) im wesentlichen bereits abgeschlossen. Untersuchungen von O. SCHIMPP, die am 3.6.1959 durchgeführt wurden, zeigen über dem Netz 14 cm superimposed ice (Bild 3). Am 25.6.1959 wurde das Netz



Bild 3: Superimposed ice Schicht über dem ausgelegten Netz bei BK 5 (3.6.1959).

zur Gänze abgetragen und die Mächtigkeit des superimposed ice zu 13–17 cm Höhe bestimmt.

Eine Darstellung von A. BAUER (Abb. 65) für Pegelhöhen von BK 5, die durch Sondierung ermittelt wurden, zeigt das Wachsen der superimposed ice Schicht. Die erste Sondierung wurde am 7.5.1959 durchgeführt. Es ist kaum anzunehmen, daß vor diesem Zeitpunkt irgendwelche Schmelzprozesse in der winterlichen Schneedecke stattgefunden haben. In 19 Tagen wird dann die superimposed ice Schicht bis zu einer Dicke von 12 cm aufgebaut und bleibt bis zum Beginn der Eisablation in ihrer Mächtigkeit erhalten. Zur Bildung dieser Schicht wurden — bei Annahme von $0,3 \text{ g/cm}^3$ für die Dichte der untersten Schwimmschneelage — etwa 575 cal cm^{-2} als Schmelzwärme frei. Die theoretischen Überlegungen (Abb. 67) liefern für diesen Zeitraum von 19 Tagen zur Eis erwärmung einen Energieverbrauch von 1230 cal cm^{-2} .

Damit werden etwa 47 % der zur Eiserwärmung verbrauchten Energie durch freiwerdende Schmelzwärme gedeckt.

Die maximale Geschwindigkeit, mit der die Dicke der superimposed ice Schicht zunehmen kann, ist für eine bestimmte Temperaturverteilung als Anfangszustand im Eis nur durch Wärme- und Temperaturleitzahl des Eises bestimmt. In **Abb. 67**, rechte y-Achse, sind die Energiebeträge zu entnehmen, die bei den gemessenen Anfangsbedingungen ($T_0 = -16^\circ\text{C}$, $m = 0,96\text{ g/m}$) vom Eis täglich zur Erwärmung aufgenommen werden können. Man erhält für die ersten 19 Tage einen mittleren Energiebetrag von $55\text{ cal cm}^{-2}\text{ d}^{-1}$, wenn man die ersten Tage nicht berücksichtigt. Im optimalen Fall kann also die superimposed ice Schicht um etwa 1,2 cm pro Tag anwachsen. An der erwähnten Meßstelle BK 5 wurde eine Dickenzunahme von 0,7 cm pro Tag beobachtet, also 58 % des maximal möglichen Wertes.

Der Wasserwert der Schneedecke nimmt in diesem Zeitabschnitt (7.5–26.5.1959) um etwa $12,8\text{ g/cm}^2$ ab. Davon wurden etwa $7,2\text{ g/cm}^2$ wieder als superimposed ice gebunden und nur der Rest von $5,6\text{ g/cm}^2$ ging durch Abfluß für den Massenhaushalt verloren. Für die Wasserwertangabe wurde die Schneedichte am Beginn der Periode (7.5.1959) zu $0,4\text{ g/cm}^3$ und am Ende (26.5.1959) zu $0,5\text{ g/cm}^3$ angenommen. Für die Dichte der untersten Schwimmschneeschichte wurde wieder $0,3\text{ g/cm}^3$ eingesetzt.

d. Zusammenfassung.

Die allgemeine Bedeutung des superimposed ice für den Massen- und Energiehaushalt eines Gletschers kann in folgende Punkte zusammengefaßt werden:

1. Mit einer Sonde wird im Frühjahr die Höhe des winterlichen Schneeauftrages um die Dicke der superimposed ice Schicht geringer gemessen als vor deren Bildung. Auch an eingesetzten Pegelstangen wird der winterliche Auftrag ohne Berücksichtigung der superimposed ice Schicht fehlerhaft ermittelt.

2. Der Energiebetrag, der zum Abbau der winterlichen Schneedecke benötigt wird, ist nicht identisch mit jenem Energiebetrag, der zur Wiederherstellung der Verhältnisse des Vorjahres aufgewendet werden muß. Zur vollständigen Kompensation des winterlichen Auftrages muß auch die superimposed ice Schicht geschmolzen werden. Es ergibt sich daraus die Feststellung, daß der winterliche Auftrag im Idealfall zweimal geschmolzen werden kann. Dieser Idealfall wäre dann verwirklicht, wenn das gesamte Schmelzwasser der Schneedecke noch einmal gefroren werden kann.

3. Bei Angabe der Gleichgewichtszone zwischen Ablation und Akkumulation können erhebliche Fehler entstehen, je nachdem die superimposed ice Schicht zum alten Eiskörper gerechnet wird oder nicht.

4. Im Akkumulationsgebiet nahe der Gleichgewichtszone wird die Jahresmitteltemperatur aus den Temperaturverhältnissen in tieferen Schneesichten falsch ermittelt, weil die Schmelzwärme, die bei der Bildung von superimposed ice frei wird, eine zusätzliche, im Betrage nicht kontrollierbare Wärmequelle darstellt. Die Jahresmitteltemperatur kann aus Schneetemperaturmessungen nur dann richtig bestimmt werden, wenn die jahreszeitliche Temperaturschwankung sich nur durch reine Wärmeleitung im Schnee überträgt.

Es ist nicht möglich, die Beobachtungen des superimposed ice für die Ablationszone des Grönländischen Inlandeises zu verallgemeinern. Obwohl die möglichen Temperaturverhältnisse im Eis die Bildung von superimposed ice kaum beeinflussen, erschweren die großen Unterschiede in der Schneeablagerung eine Extrapolation auf benachbarte Gebiete. Mit Sicherheit folgt jedoch aus diesen Überlegungen, daß in einer Zone nahe der Firnlinie die Bildung von superimposed ice einen entscheidenden Einfluß auf den Massen- und Energiehaushalt ausübt, da die positive Energiebilanz nicht zur Beseitigung der winterlichen Akkumulation, sondern durch die Bildung von superimposed ice zur Erwärmung des alten Eiskörpers aufgewendet wird. Im Energiehaushalt stellt somit das superimposed ice eine Art Katalysator dar, durch den die überschüssige Energie zur Eis Erwärmung umgeleitet wird. Gleichzeitig bleibt der geschmolzene Schnee für den Massenhaushalt erhalten.

19. MESSUNGEN DES FREIEN WASSERGEHALTES IN DER SCHNEEDECKE

a. Einleitung.

Der freie Wassergehalt der Schneedecke kann durch Kapazitätsmessungen eines Plattenkondensators, der in den Schnee eingerammt wird, bestimmt werden. Die physikalischen Grundlagen und ein Gerät für Versuchszwecke wurden bereits veröffentlicht (W. AMBACH 1958b). Der starke Frequenzgang der Dielektrizitätskonstanten im Frequenzbereich bis 10^5 Hz, der auch von Z. YOSIDA (1958) angeführt wird, läßt eine Meßfrequenz über 10^5 Hz günstiger als niedrigere Frequenzen erscheinen. Aus diesem Grunde wurde das beschriebene Gerät (W. AMBACH 1958b) zusammen mit H. L. HABICHT umgebaut.

b. Das Gerät.

Als Kondensator wurde ein Plattenkondensator aus vier 3 mm dicken Stahlplatten (Abstand 27 mm, Plattenfläche 97 mm mal 97 mm) benutzt. Die Kapazität wird in einer Brückenschaltung durch Ampli-

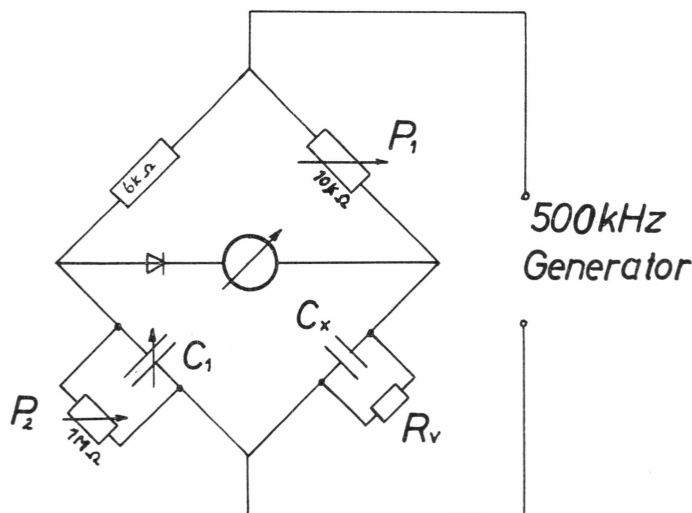


Abb. 69: Schaltbild zur Messung der Kondensatorkapazität.

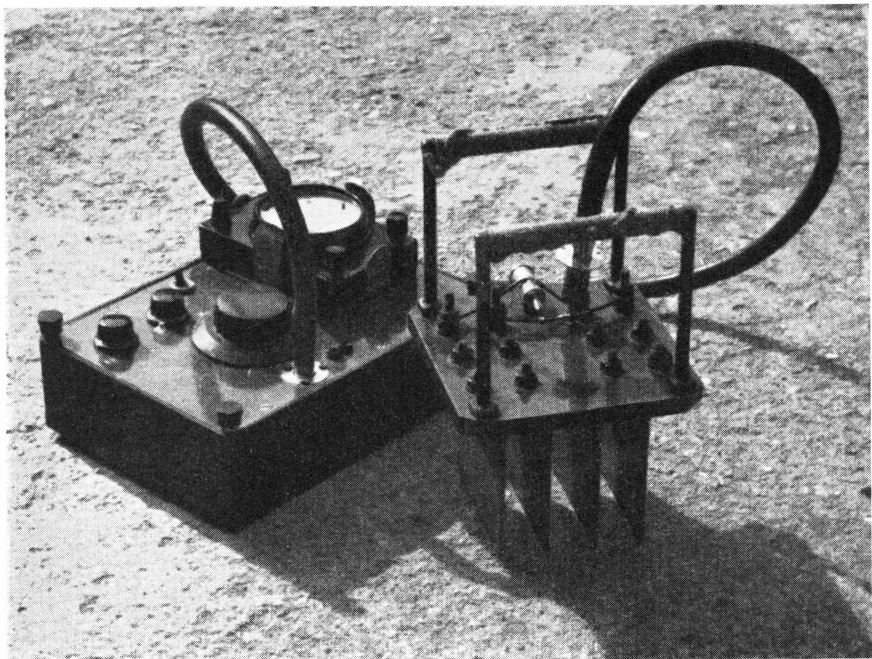


Bild 4: Geräte zur Messung des freien Wassergehaltes im Schnee. Dielektrische Methode.

tuden- und Phasenkompensation gemessen. **Abb. 69** zeigt das Schaltbild der verwendeten Brücke. Durch eine geeignete Kombination von Kon-

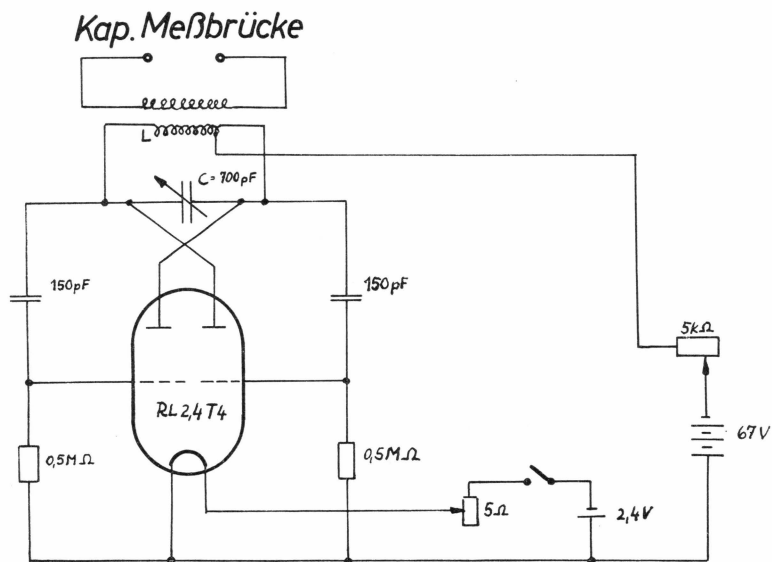


Abb. 70: Schaltbild des Balance-Generators.

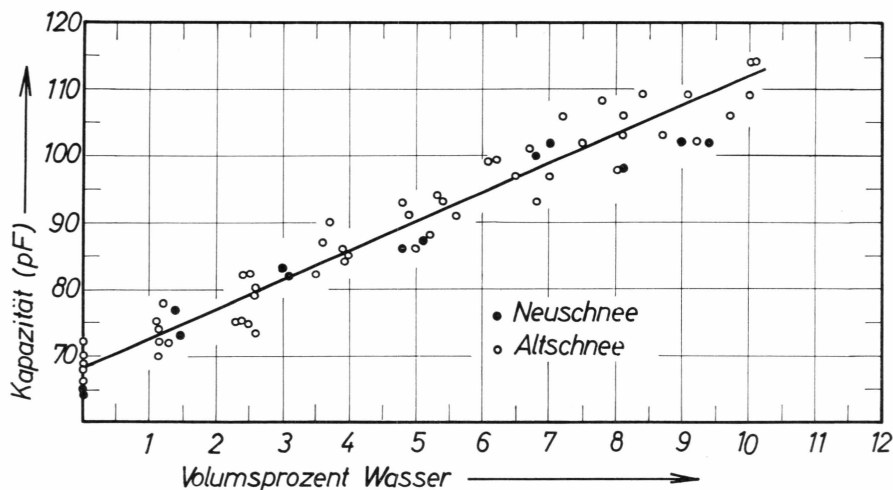


Abb. 71: Eichkurve des Kondensators mit Schnee-Wasser-Gemischen. Leere Kreise bedeuten trockenen Altschnee und volle Kreise trockenen Neuschnee als Ausgangsprobe.

densatoren wurde der Regelbereich des Drehkondensators (C_1) zwischen 57 und 126 pF festgelegt. Die Justierung der Brücke erfolgt einmal durch das Potentiometer (P_1) und wird nicht mehr verändert. Als Nullgerät eignet sich ein 50 μ A Zeigerinstrument. **Bild 4** zeigt das Gerät.

Ein Balance-Generator (Abb. 70) liefert 15 V Spannung mit 500 kHz und sehr guter sin-Form. Der Generator wird induktiv an die Brücke angekoppelt. Sender und Brücke sind in einem handlichen Gehäuse (17 \times 25 \times 7 cm) zusammengebaut. Ein kapazitätsarmes Koaxialkabel dient zum Anschluß des Kondensators an die Brücke.

Die Kapazität des Kondensators beträgt in Luft 36 pF und in trockenem Schnee 44 pF. Die Kapazität des Anschlußkabels ist 24 pF.

c. Eichung und Genauigkeit.

Die Eichung wurde in künstlich hergestellten Schnee-Wasser-Gemischen durchgeführt. Bei geringem Wassergehalt erhält man eine lineare Beziehung zwischen Volumsprozent und Kapazität. Versuchsmessungen mit einem feuchten Schwamm liefern ebenfalls einen linearen Zusammenhang zwischen Volumsprozent und Kapazität. Auch bei feuchten Sandproben werden von H. PERSON (1951) lineare Eichkurven gefunden.

Abb. 71 zeigt die Eichkurve. Die maximale Streubreite beträgt ± 1 vol % Wassergehalt. In diesem Zusammenhang sei bemerkt, daß man durch eine kalorimetrische Eichmethode (Schmelzen des Schnees) keine bessere Genauigkeit erzielen kann (Z. YOSIDA 1960). Eine Versuchs-

anordnung zeigte, daß bei einer Genauigkeit der Leistungsmessung von 2 % der absolute Fehler im Wassergehalt 1 vol % Wassergehalt ausmacht. Es ist kaum anzunehmen, daß eine Leistungsmessung mit üblichen Labormitteln besser als 1 % durchgeführt werden kann. Auch die Verwendung eines Satzes von Akkumulatoren ändert die Sachlage nicht. Versuche zeigten auch, daß eine indirekte Leistungsmessung durch anschließendes Erwärmen des Wassers, wie es von M. DE QUERVAIN (1945) vorgeschlagen wurde, das Ergebnis nicht verbessert. Es bleibt noch zu untersuchen, ob die kalorische Gefriermethode (U. RADOK, S. K. STEPHENS und R. L. SUTHERLAND 1961) eine Eichung genauer als 1 vol % Wassergehalt zuläßt. Die ersten Versuchsmessungen mit der kalorimetrischen Gefriermethode lassen erkennen, daß hier die Streuung der Eichpunkte auf etwa den halben Betrag (etwa $\pm 0,4$ vol %) reduziert wird.

Der Vorteil des Gerätes besteht in einer besonders einfachen Handhabung bei Feldarbeiten und läßt erwarten, daß die Genauigkeit der Bestimmung des freien Wassergehaltes mindestens mit der Genauigkeit der bisherigen Methoden durchgeführt werden kann. Die Abstimmgenauigkeit der Brücke wird bei 5 vol % Wassergehalt mit $\pm 0,25$ vol % angegeben. Allerdings ist bis jetzt noch nicht geklärt, wie groß die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Schneesorte (Korngröße, Packungsdichte, Verunreinigung) ist. Versuchsmessungen lassen erkennen, daß der Einfluß dieser Parameter gering ist. Die ausführliche Prüfung ist noch nicht abgeschlossen.

Das Gerät wurde am grönländischen Arbeitsplatz mit dem Zweck verwendet, neue Erfahrungen bei verschiedenartigen Bedingungen zu sammeln.

d. Ergebnisse.

Messungen von trockenen, natürlichen Schneeproben sind für verschiedene Dichten in **Tab. 55** zusammengestellt. Die Kapazität des Kondensators in trockenem Schnee ist geringfügig von der Dichte abhängig. Bei Probe 1, 2 und 3 handelt es sich um lockeren Treibschnee, bei Probe 4 und 5 um hartgefrorenen Altschnee, in den der Kondensator nur schwer einrammbar ist. Die in **Tab. 55** angeführten Kapazitätsschwankungen sind Extremwerte, die bei natürlichen Schneeproben vorkommen können.

Die Reproduzierbarkeit einer Messung wurde geprüft, indem der Meßwert an 10 verschiedenen Stellen bei sehr nassem Firn ($\rho = 0,40$ g/cm³) je dreimal abgelesen wurde. Geringe lokale Unterschiede im Wassergehalt sind durchaus möglich. Nach jeder Ablesung wurde der Kondensator neu eingerammt. Die Werte sind in **Tab. 56** enthalten. Der kleinste Mittelwert an den 10 Meßstellen beträgt 3,8 vol % Wasser-

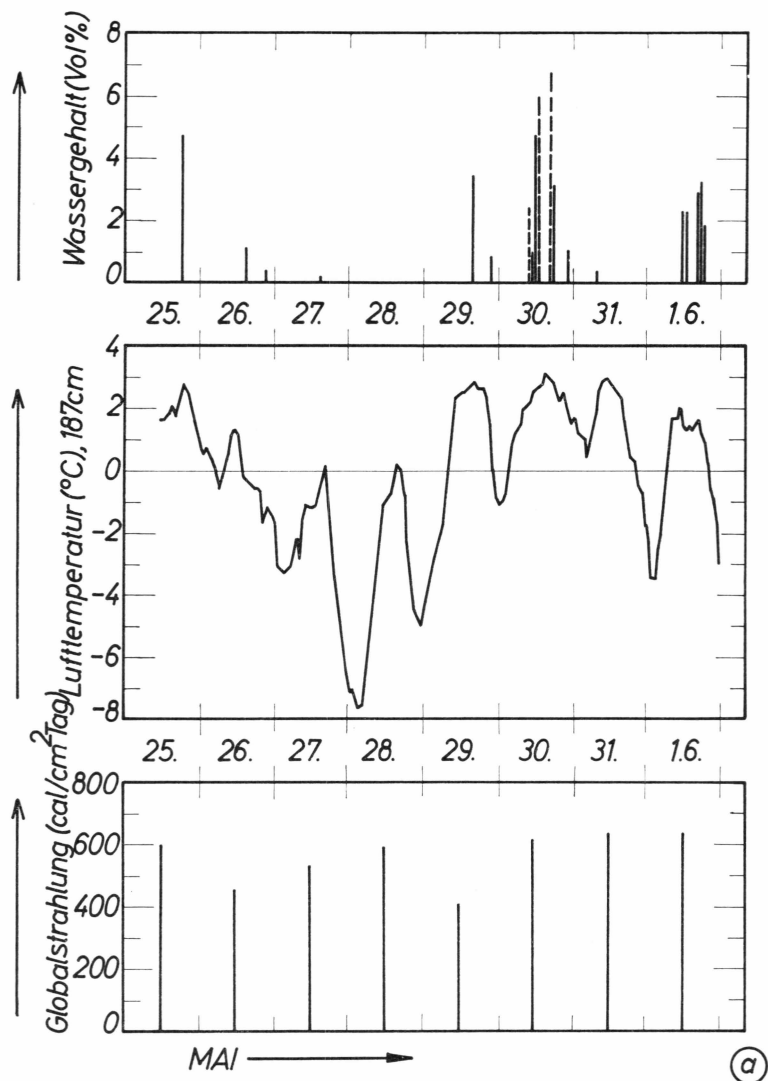


Abb. 72 a: Messungen des freien Wassergehaltes einer bestimmten Meßstelle im Vergleich mit Werten der Lufttemperatur (187 cm Höhe) und Tagessummen der Globalstrahlung. Unterbrochene gezeichnete Linien bedeuten Meßwerte an benachbarten Stellen.

gehalt, der größte 5,6 vol %. Der maximale Unterschied ist somit $\pm 0,9$ vol %.

Abb. 72 zeigt Meßwerte in der oberflächennahen Schneeschicht. Der Kondensator wurde immer am gleichen Meßplatz mit den Platten senkrecht zur Oberfläche eingerammt. Zum Vergleich sind Stundenmittelwerte der Lufttemperatur (187 cm Höhe) und die Tagessummen der Globalstrahlung eingetragen. Man erkennt, daß die am Nachmittag ab-

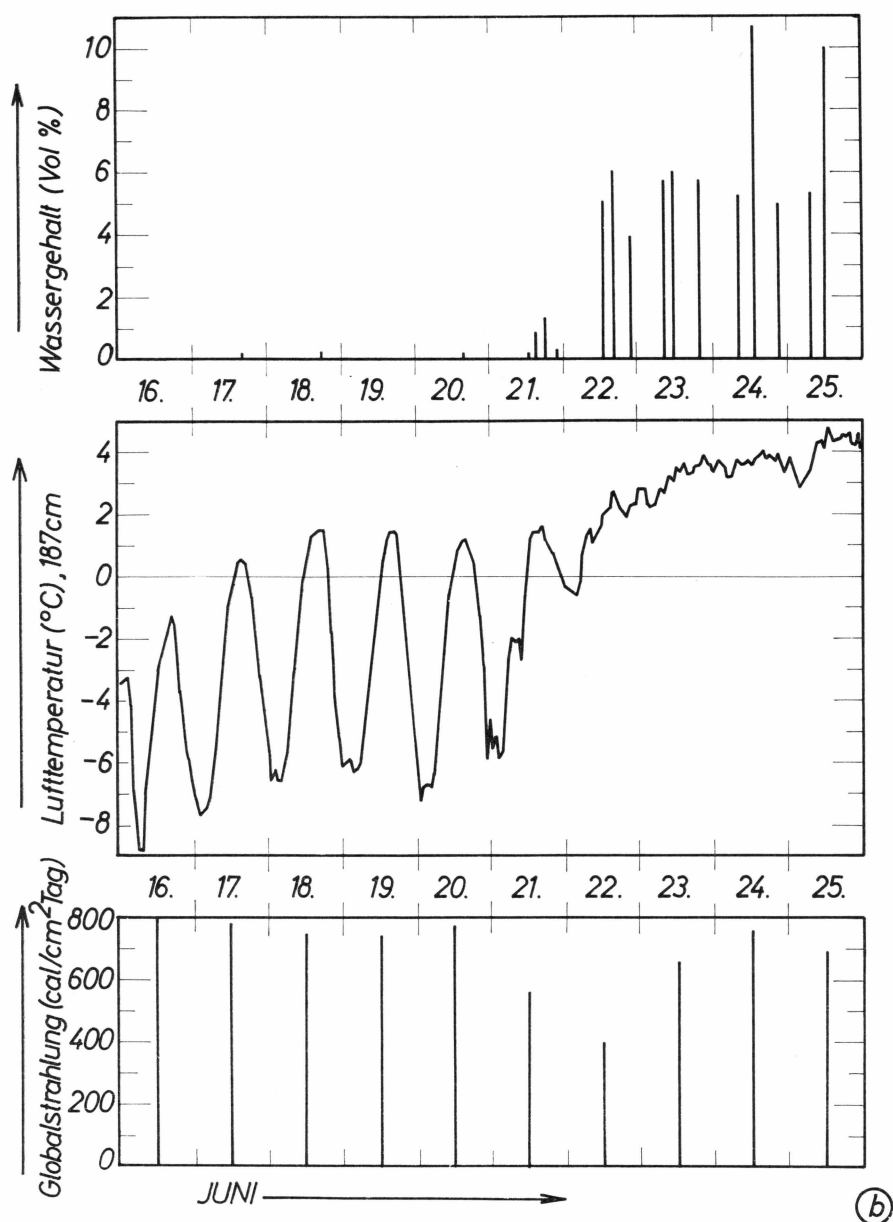


Abb. 72b: Messungen des freien Wassergehaltes einer bestimmten Meßstelle im Vergleich mit Werten der Lufttemperatur (187 cm Höhe) und Tagessummen der Globalstrahlung.

gelesenen Werte einen größeren Wassergehalt liefern, als die Früh- und Abendbeobachtungen. Bei negativen Lufttemperaturen ist der freie Wassergehalt trotz starker Globalstrahlung innerhalb der Meßgenauigkeit Null. Sobald die Lufttemperatur im Tagesmittel positiv wird, steigen

die Werte des Wassergehaltes an. Auch hier zeigt sich noch ein Tagesgang. Erst wenn die Lufttemperatur im Nachtabschnitt nicht mehr unter 0°C absinkt (ab 22.6.1959) ergibt sich kein ausgeprägter Tagesgang mehr. Am 24.6. und 25.6.1959 war die Schneedecke nur mehr ein Schneesumpf mit sehr unterschiedlichem Gehalt von freiem Wasser, da zum Teil das Wasser nicht abrinnen konnte und gestaut wurde. Deshalb liefern die Messungen an diesen zwei Tagen auffallend hohe Werte. Am 31.5.1959 wurde nur in den Morgenstunden eine Messung des freien Wassergehaltes ausgeführt. Es fehlt deshalb das der positiven Lufttemperatur entsprechende Ansteigen des freien Wassergehaltes.

An einer Schneewehe wurde die Tiefenabhängigkeit des freien Wassergehaltes untersucht. Die Messung wurde am 30.5.1959, 12 Uhr, durchgeführt. Der Schnee war in der Nacht vorher gefroren und wurde während des Vormittags feucht. Bei der zweiten Meßstelle (22.6.1959) liegt folgende Schichtung vor: 15 cm pappiger, feinkörniger Driftschnee, dann 40 cm grobkörniger Altschnee mit festen Schichten (vgl. Tab. 57).

An einer weiteren Verbesserung des Gerätes wird gearbeitet.

20. ABLATION

a. Messung und Ergebnisse.

Zur Messung der täglichen Ablation wurden im unmittelbaren Umkreis der Station (vgl. Abb. 73) von A. BAUER ein System von 10 Pegeln (R_1-R_{10}) eingesetzt. Eine Beschreibung der verwendeten Pegel ist in der Veröffentlichung von A. BAUER (1962) zu finden. Hier sollen nur die für die Energieumsatzrechnungen interessanten Einzelheiten angeführt werden.

Das Pegelsystem wurde täglich ein- bis zweimal abgelesen. Die Einzelwerte sind mit Fehlerangabe in **Tab. 58** zusammengestellt.

Für jeden Tageswert der Ablation wurde für den Ablationsabschnitt mit schneefreier Oberfläche der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels

$$m = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$$

berechnet und in **Tab. 58** zusammengestellt. Der größte berechnete Fehler des arithmetischen Mittels beträgt $\pm 1,1$ cm Eis. Im Mittel über 38 Tage erhält man für m den Wert $\pm 0,59$ cm Eis.

Die Streuung der Ablationswerte

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}$$

beträgt im Mittel $\pm 1,87$ cm Eis. Einem Nomogramm von H. BOCHOW, W. HÖHNE und A. RAEUBER (1958) ist zu entnehmen, daß bei zehn Meßstellen (R_1-R_{10}) mit 99 % Wahrscheinlichkeit der wahre Wert innerhalb der Grenzen $\pm \sigma$ liegt.

Will man die Differenz vom wahren Ablationswert zum Mittelwert bei gleicher Wahrscheinlichkeit um eine Zehnerpotenz verkleinern, dann müßten statt 10 Ablationspegeln 600 (!) zur Verfügung stehen. Ferner ergibt sich, daß der Fehler in der Gesamtablation (etwa 150 cm Eis) mit 99 % Wahrscheinlichkeit kleiner als 1,3 % ist.

Der mittlere Fehler (m) der Tageswerte der Ablation ist mit $\pm 0,59$ cm Eis sehr groß. Die Ursache für die große Streuung ist, daß die Ablations-

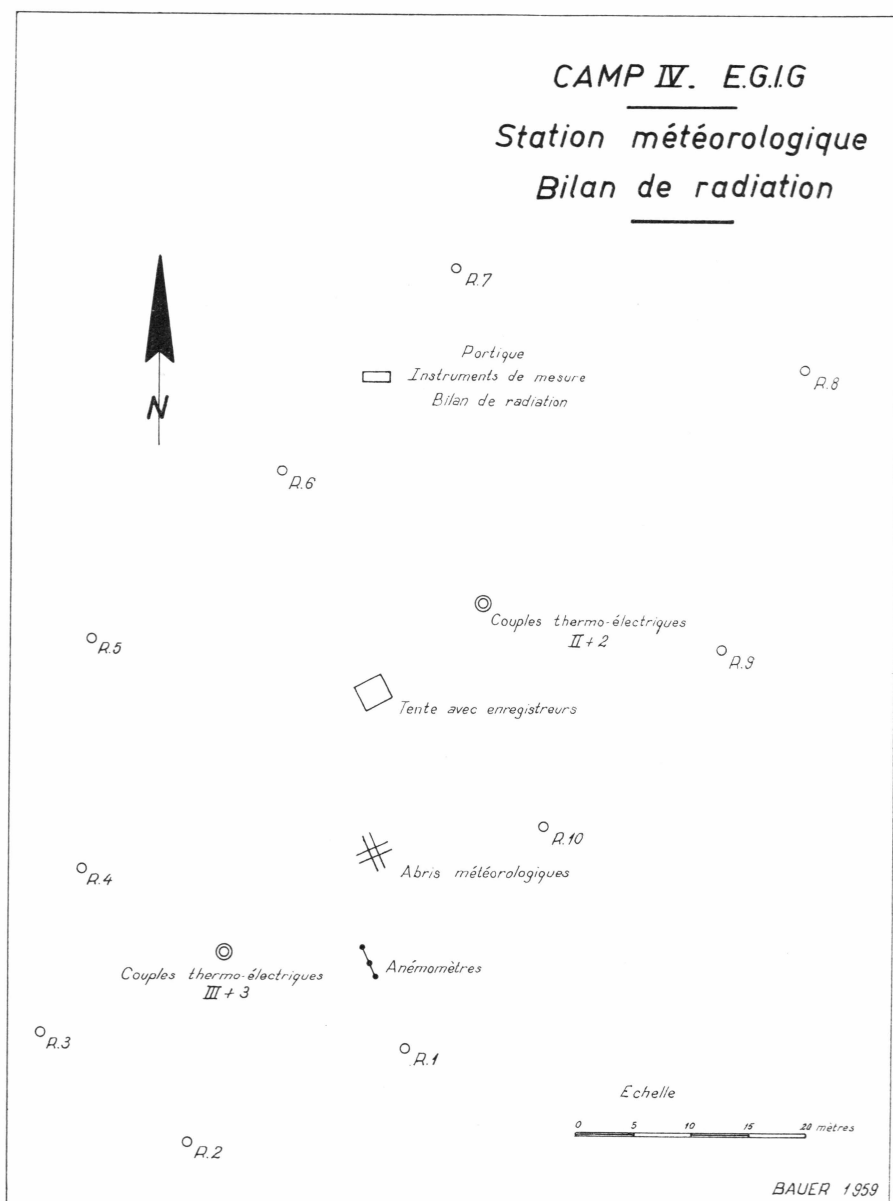


Abb. 73: Lageplan des Pegelnetzes R_1 - R_{10} , der Thermoelementserien II und III, der meteorologischen Hütte und der Aufstellung der Strahlungsmeßgeräte.
(Camp IV - EGIG Station météorologique - bilan de radiation - BAUER 1959).

pegel vor Beginn der Ablationsperiode eingesetzt wurden. Damit konnten zur Ablationsmessung keine besonders gut geeigneten, glatten Oberflächenstellen ausgesucht werden. Einige Meßstellen befanden sich am Rande eines Kryokonitloches.

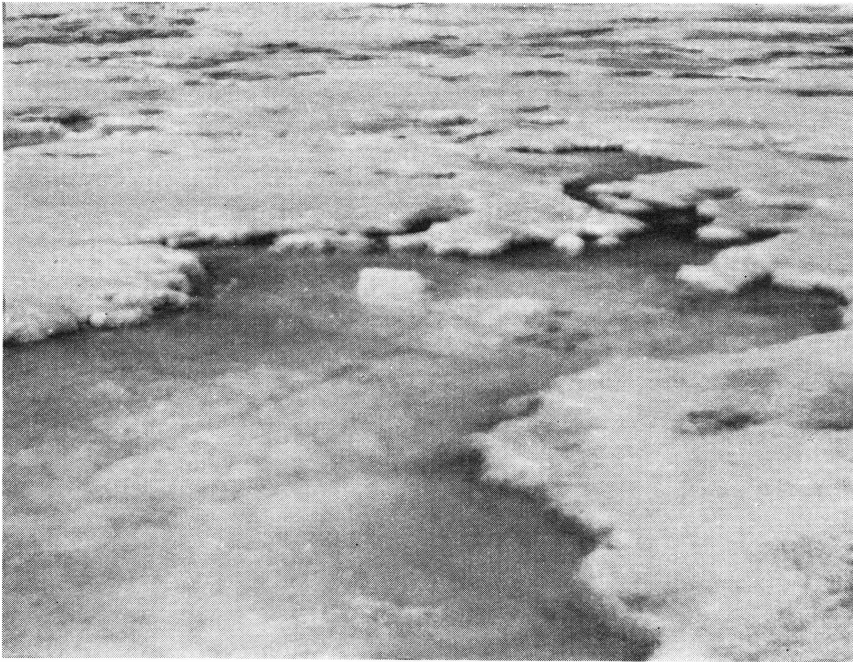


Bild 5: Oberfläche am Beginn der Ablationsperiode. Ablation von superimposed ice (25.6.1959).

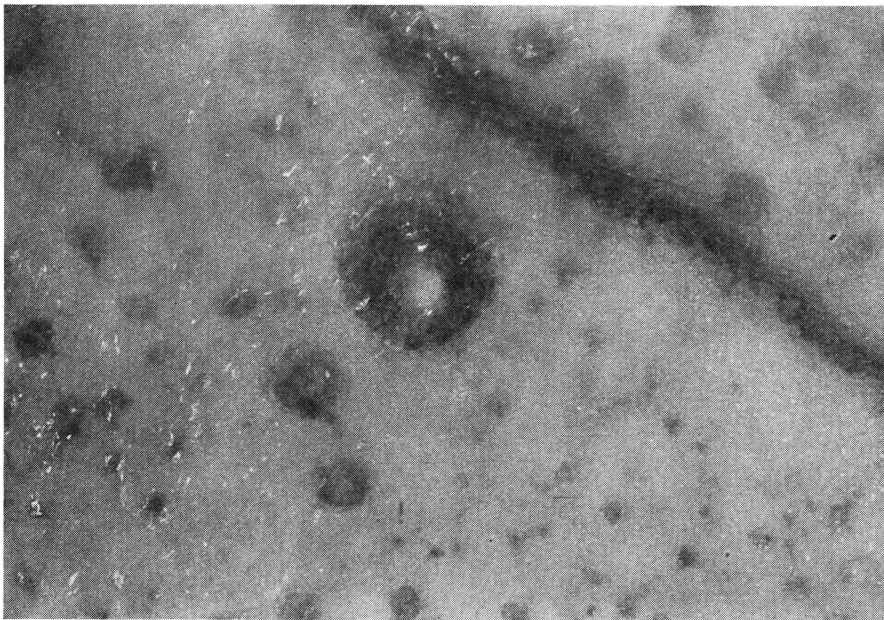


Bild 6: Zugefrorenes Kryokonitloch (25.6.1959).



Bild 7: Die Station am 25.6.1959.

Die ersten Anzeichen einer Schmelzung der Schneeoberfläche wurden am 14.5.1959 festgestellt. Dunkle Gegenstände auf der Oberfläche erzeugten einen Schmelzrand. Am 25.5.1959 wurde bereits ein geringer Wasserabfluß bemerkt. Jedoch erst am 23.6.1959 begann die eigentliche Ablationsperiode. Sie wurde am 22.6.1959 mit einem kurzen Regenschauer eingeleitet. Die Oberfläche verwandelte sich in einen Schneesumpf (Bild 5).

Die Beobachtung von Kryokonitlöchern zeigt, daß die oberflächennahen Eisschichten am Beginn der Ablationsperiode keine wesentliche innere Schmelzung erfahren haben, da die Kryokonitlöcher am 25.6.1959 noch immer mit einem »Eiszapfen« zugefroren sind (Bild 6). Dieser eiszapfenförmige Verschuß der Kryokonitlöcher zeigt manchmal eine radialsymmetrische Orientierung der Luftblasen, die durch einen radialsymmetrischen Temperaturgradienten verursacht wird. H. HOINKES (1956 b) weist darauf hin, daß auch im superimposed ice die Luft-einschlüsse nach der Richtung des Temperaturgradienten orientiert werden können.

Bild 7 zeigt die Umgebung der Station am 25.6.1959 während der kurzen Periode mit schneesumpftartiger Oberfläche. Erst am 27.6.1959 wurde wieder kompaktes, schmelzendes Gletschereis bemerkt. Ohne Zweifel handelt es sich bei dieser Übergangsperiode zwischen schnee-

bedeckter Oberfläche und Oberfläche aus kompaktem, schmelzendem Eis um die Ablationszeit des superimposed ice. Auch auf Alpengletschern wird bemerkt, daß im Gebiet unterhalb der Firnlinie, wo superimposed ice im schmelzenden Zustand anzutreffen ist, sich eine sumpfbartige Oberfläche bildet.

Die gesamte Ablationszeit wird durch zwei Neuschneefälle in drei Perioden geteilt. Eine Diskussion erfolgt im Abschnitt »Synthese des Energieumsatzes«.

b. Innere Ablation.

Die Ablation des Eises besteht eigentlich aus zwei Komponenten. Die eine kann an einem Ablationspegel als Abschmelzung der Oberfläche festgestellt werden und die andere Komponente ist die innere Ablation, verursacht durch Absorption von Globalstrahlung. Leider kennt man z. Zt. noch keine handlichen Geräte, um den Betrag der inneren Ablation zu messen. Formelmäßig ergibt er sich aus

$$A_1 = \int_0^{\infty} \Delta \varrho(z) dz \quad \text{g/cm}^2.$$

Darin bedeutet $\Delta \varrho(z)$ die Änderung der Eismasse in der Tiefe z . Eine Abschätzung der Dichteverteilung in der Oberschicht aus Extinktionsmessungen erfolgt für verschiedene Ablationsbedingungen im Abschnitt »Extinktionsmessungen in Eis und Schnee«. Der Betrag der inneren Ablation wird üblicherweise vernachlässigt. Diese Vernachlässigung ist jedoch nur im stationären Zustand der Oberschicht statthaft. Er ist durch die Erscheinung charakterisiert, daß die Dichteverteilung in der Oberschicht von der Zeit unabhängig ist. Der systematische Fehler, der durch die Vernachlässigung der inneren Ablation zustande kommt, kann etwa 3 cm Eis betragen. Er ist vom Betrag der gesamten Ablation und von der Beobachtungszeit unabhängig. Deshalb kann bei sehr kurzen Beobachtungsperioden die Vernachlässigung eine starke Verfälschung des Ergebnisses bewirken.

Im Zusammenhang mit den im Abschnitt »Synthese des Energieumsatzes« mitgeteilten Ergebnis, daß die Ablation der Eisoberfläche zu 91 % durch Strahlung, zu 1 % durch Verdunstung und zu 8 % durch andere Einflüsse verursacht wird, sei festgestellt, daß der *Beginn* der Ablationsperiode nicht durch Strahlungsvorgänge, sondern durch den Wert der Lufttemperatur bestimmt wird. Auch die Windverhältnisse sind nicht allein ausschlaggebend.

Durch einen Überschuß im Energiehaushalt kann die Oberflächen-temperatur den Schmelzpunkt erreichen. Im allgemeinen Fall wird die vermehrte Energie bei gleichbleibendem Strahlungsklima durch fühlbare Wärme geliefert, wenn Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit

zunehmen. Beim Eintreten von Schmelzspuren an der Oberfläche kann wegen der gleichbleibenden Oberflächentemperatur keine Abgabe des Energieüberschusses durch vermehrte langwellige Ausstrahlung erreicht werden. Zudem wird durch den freien Wassergehalt der Oberfläche die Albedo verkleinert. Die absorbierte Globalstrahlung steigt an und vergrößert bedeutend den anfangs kleinen Energieüberschuß. Der wesentliche Punkt ist, daß bei kalter Oberfläche (z. B. -10°C) eine Erhöhung der zugeführten Wärme einen Temperaturanstieg der Oberfläche bewirkt und ein Teil durch den vergrößerten Betrag der langwelligen Abstrahlung wieder kompensiert wird. Ein neues thermisches Gleichgewicht stellt sich ein und der Energiehaushalt wird durch eine Temperaturänderung der Oberfläche geregelt. Bei einer Oberflächentemperatur nahe dem Schmelzpunkt wird dagegen bei vermehrter Energiezufuhr der Schmelzpunkt erreicht. Damit kann die Regelung des Energiehaushaltes nicht mehr durch Temperaturänderung der Oberfläche erfolgen. Die vermehrte Energiezufuhr ist für den Schmelzprozeß verfügbar.

Die Vorgänge sind hier nur schematisiert. In Wirklichkeit ist das Zusammenspiel der Komponenten des Energiehaushaltes viel komplizierter.

21. SYNTHESE DES ENERGIEUMSATZES¹⁾

a. Einleitung.

Zur vollständigen Berechnung des Energieumsatzes müssen sämtliche Vorgänge, durch die mit dem Eiskörper Energie ausgetauscht wird, numerisch erfaßt werden. Alle Glieder der Wärmehaushaltsgleichung werden voneinander unabhängig bestimmt, da nur so eine Kontrolle des Ergebnisses möglich ist. Die Wärmehaushaltsgleichung wird in folgender Form angewendet:

$$\pm Q_{St} \pm Q_F \pm Q_L \pm Q_N \mp Q_W \mp Q_A = 0 \quad \text{cal cm}^{-2}.$$

Darin bedeuten Q_{St} die Gesamtstrahlungsbilanz (SB), Q_F die fühlbare Wärme, Q_L die latente Wärme, Q_N die durch den Niederschlag ausgetauschte Energie, Q_W die zur Eis erwärmung verbrauchte Energie und Q_A die verbrauchte Schmelzenergie. Alle Glieder dieser Gleichung können positives oder negatives Vorzeichen haben. Positives Vorzeichen bedeutet Energiegewinn und negatives Energieverlust.

Es ist sinnvoll, die Glieder der Gleichung nach Ursache und Wirkung zu trennen, wobei auf der linken Seite der Gleichung jene Energiebeträge angeschrieben werden, die als Ursache für eine Zustandsänderung des Eises anzusehen sind und rechts jene Glieder, welche die Zustandsänderung beschreiben:

$$\pm Q_{St} \pm Q_F \pm Q_L \pm Q_N = \pm Q_W \pm Q_A.$$

Die linke Seite der Gleichung ist der durch physikalische Vorgänge bedingte Energieumsatz. Im allgemeinen Fall kann eine zweifache Zustandsänderung des Eises eintreten: Die Temperaturänderung des Eises und die Ablation (bzw. Gefrieren von vorhandenem Wasser).

Die einzelnen Glieder der Wärmehaushaltsgleichung setzen sich aus folgenden Komponenten zusammen:

$$Q_{St} = G - R + A - E, \quad Q_L = Q_K - Q_V, \quad Q_N \sim 0, \quad Q_A = Q_P + Q_I.$$

Darin bedeuten G die Globalstrahlung, R die reflektierte Globalstrahlung, A die atmosphärische Gegenstrahlung, E die langwellige Ausstrahlung

¹⁾ Werte der langwelligen Strahlungsströme gelten als vorläufige Angaben.

der Oberfläche, Q_K die Kondensations- bzw. Verfestigungsenergie (gasförmig in fest), Q_V die für Verdunstung verbrauchte Energie, Q_P die mit Hilfe von Ablationsmessungen an Pegeln berechnete Schmelzenergie und Q_I die Energie, die zur Veränderung der Porosität durch innere Schmelzung in der Oberschicht aufgewendet wurde. Die durch den Niederschlag ausgetauschte Energie Q_N wird vernachlässigt. Bei Betrachtung einer längeren Ablationsperiode kann auch Q_I vernachlässigt werden.

b. Ergebnisse.

Die einzelnen Glieder der Wärmehaushaltsgleichung wurden für jeden Tag der Periode vom 26.5. bis 7.8.1959 (75 Tage) berechnet. Die Zahlenwerte sind in **Tab. 59** zusammengestellt und der besseren Übersichtlichkeit wegen in **Abb. 74** veranschaulicht.

Die gesamte Meßzeit zerfällt in sechs Perioden:

Periode 1: 26.5.–23.6.1959: teilweise mit Schnee bedeckte Oberfläche, Schneeverlagerung durch Drift, schwache Ablation

Periode 2: 24.6.–7.7.1959: schneefreie Oberfläche mit starker Ablation

Periode 3: 8.7.–11.7.1959: kurze Periode mit schneebedeckter Oberfläche (Neuschnee), schwache Ablation

Periode 4: 12.7.–29.7.1959: schneefreie Oberfläche mit starker Ablation, ähnlich wie Periode 2

Periode 5: 30.7.–1.8.1959: kurze Periode mit schneebedeckter Oberfläche (Neuschnee), schwache Ablation, ähnlich wie Periode 3

Periode 6: 2.8.–7.8.1959: schneefreie Oberfläche mit geringer Ablation und sehr hoher Albedo.

Zur Berechnung der absorbierten kurzwelligen Strahlungsenergie müssen die Tageswerte der Albedo an den Ablationsmeßstellen bekannt sein. Tageswerte der Albedo können jedoch nur aus den registrierten Strahlungsenergien berechnet werden. Am Aufstellungsort der registrierenden Strahlungsmeßgeräte war bei schneefreier Oberfläche eine wesentlich höhere Albedo festzustellen als über der mit Kryokonit belegten Eisoberfläche der Umgebung. Bei geringer Schneebedeckung wird der umgekehrte Effekt beobachtet. Am Aufstellungsort der registrierenden Geräte war häufig der Schnee fortgeblasen, sodaß wegen des durchscheinenden Eises eine geringere Albedo bestimmt wurde als in der mit Schnee bedeckten Umgebung. Es ist daher nicht möglich, eine genaue Angabe von Tageswerten der Albedo an den Ablationsmeßstellen zu geben.

benützt. Das Korrekturglied wurde am 5.8.1959 durch Vergleichsmessung bei extrem poröser Oberschicht bestimmt. Als Mittelwert der Albedo für die Ablationsmeßstellen erhält man am 5.8.1959 51,9 %, während der Mittelwert der Albedo aus den registrierten Werten der Globalstrahlung 57,0 % ist. Die Differenz beträgt 5,1 %.

Für jede der 6 Perioden wurde in **Tab. 61a–e** der Energieumsatz zusammengestellt. Die in Klammern angeführten Zahlen sind Energiebeträge pro Tag ($\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Durch Zusammenfassen gleichartiger Perioden ergibt sich folgendes Bild:

Abschnitt 1 = Periode 1: Schneebedeckte Oberfläche

Abschnitt 2 = Periode 2, 4 und 6: Schneefreie Oberfläche

Abschnitt 3 = Periode 3 und 5: Schneebedeckte Oberfläche (Neuschnee).

Für die Abschnitte 1, 2 und 3 werden wiederum zusammengefaßte Übersichten des Energieumsatzes gegeben (Tab. 60a–c).

Grundsätzlich kann eine Kontrolle des Energiehaushaltes durch den Massenhaushalt durchgeführt werden, wenn die Komponenten des Massenhaushaltes bekannt sind. Da keine Schneedriftmessungen vorliegen, kann eine exakte Kontrolle des Energiehaushaltes nur im Abschnitt 2 (schneefreie Oberfläche) durchgeführt werden. In diesem Abschnitt ist die Kontrolle durch die gemessene Eisablation gegeben. Wie aus **Tab. 60b** ersichtlich ist, stimmen berechnete und gemessene Ablation mit einer Genauigkeit von 2 % überein. Für die Eisdichte wurde $0,9 \text{ g/cm}^3$ und für die Schmelzwärme 80 cal/g gesetzt.

Für den Abschnitt 1 (schneebedeckte Oberfläche) kann die Überprüfung des Energieumsatzes nur mit Näherung durchgeführt werden. In diesem Abschnitt liegen Messungen der Ablation am Pegel BK 5 vor, dessen Umgebung während des ganzen Abschnittes mit Schnee bedeckt war. Die Veränderung der Schneehöhe ist von A. BAUER in **Abb. 65** dargestellt. Der Wasserwert kann aus der Schneehöhe unter Verwendung der Schneedichte $0,4 \text{ g/cm}^3$ geschätzt werden. Am 26.5.1959 beginnend, nimmt der Wasserwert der Schneedecke bis zum 8.6.1959 ab, wobei der Anstieg am 27.5. und 28.5.1959 wegen eines falschen Bezugspunktes (vorjährige Eisoberfläche) wahrscheinlich nicht reell ist. Die Abnahme des Wasserwertes beträgt vom 26.5. bis 8.6.1959 etwa 6,1 cm Wasser. Durch zeitweise Schneedrift verursacht, wächst vom 8.6. bis 22.6.1959 die Schneedecke wieder an und nimmt vom 22.6. zum 23.6.1959 um 4,6 cm Wasser ab. Für die Tage mit zeitweiser Schneedrift (8.6. bis 22.6.1959) können die Ablationsverhältnisse nicht überblickt werden. Zur Schätzung wird trotz Drift der Wert $0,89 \text{ cm Wasser pro Tag}$ übernommen. Dieser Wert ergibt sich aus dem Energiehaushalt als Mittel-

wert für die ganze Periode 1. Die gesamte Ablation in der Zeit vom 26.5. bis 23.6.1959 errechnet sich damit zu 23,2 cm Wasser (1860 cal cm^{-2}).

Ferner muß berücksichtigt werden, daß die Schneeoberfläche bei BK 5 eine größere Albedo besitzt, als die zeitweise freigeblasene Oberfläche bei den Registriergeräten. Die Ermittlung der Albedo aus der Registrierung liefert bei Schneebedeckung (9.6.–22.6.1959) die mittlere Albedo zu 77,5 %. Dieser Wert wird durch Messungen mit Hilfe des tragbaren Solarimeters bestätigt ($69,7 \% < \text{Albedo} < 85,3 \%$) und zur Energieumsatzrechnung benützt.

Als Ergebnis erhält man die geschätzte Ablation zu 23,2 cm Wasser. Sie stimmt mit der berechneten Ablation aus dem Energieumsatz mit 25,9 cm Wasser (Tab. 60a) gut überein. Die verdunstete Masse wurde vernachlässigt.

Für den Abschnitt 3 (Neuschnee) erhält man unter Benützung der registrierten Werte für die Globalstrahlung (G und R) die verfügbare Schmelzenergie zu $521,4 \text{ cal cm}^{-2}$. Sie ist im Vergleich zur gemessenen Ablation des Eises und Neuschnees von 2,8 cm Eis (202 cal cm^{-2}) zu groß. Auch hier muß erwähnt werden, daß die Albedo aus den registrierten Werten der Globalstrahlung mit 70 % zu niedrig ist. Durch Schneedrift wurde der Neuschnee von der Meßstelle sehr bald entfernt und damit die Albedo wesentlich erniedrigt. Deshalb wurde die Energieumsatzrechnung in diesem Abschnitt — wie in Abschnitt 1 — die Albedo 77,5 % gesetzt. Damit erhält man die berechnete Ablation zu 3,2 cm Eis. Dieser Wert stimmt mit der gemessenen Ablation von 2,8 cm Eis befriedigend überein. Die verdunstete Masse wurde vernachlässigt.

Die Berechnung des Energieumsatzes zeigt, daß bei schneefreier Oberfläche die berechnete Ablation mit der gemessenen mit einer Genauigkeit von 2 % übereinstimmt (Tab. 60b). Bei schneebedeckter Oberfläche ist der Vergleich von berechneter und gemessener Ablation wegen der Unsicherheit in der Übertragung der Albedo vom Ort der Registrierung auf den Ort der Ablationsmessung nur als Schätzung aufzufassen.

Eine Kritik der Genauigkeit zeigt, daß in der Wärmehaushaltsgleichung der absolute Fehler jedes Gliedes für die Genauigkeit des Ergebnisses verantwortlich ist. So erhält man im Abschnitt 2 bei einem angenommenen Fehler von $\pm 2,5 \%$ für die Globalstrahlung bereits $\pm 550 \text{ cal cm}^{-2}$ ($\pm 7,6 \text{ cm Eis}$). Auch die Unsicherheit der Albedo liegt in dieser Größe (2,5 %, vgl. Abschnitt »Albedo«) und bewirkt damit etwa denselben absoluten Fehler. Daraus geht hervor, daß die Genauigkeit des Gliedes G ($1 - \text{Albedo}$) die Genauigkeit des Ergebnisses (verfügbare Schmelzenergie) bestimmt.

In der vorliegenden Berechnung des Energieumsatzes wurde die innere Ablation (Q_1) vernachlässigt. Sie wird zu 200 cal cm^{-2} geschätzt (vgl. Abschnitt »Extinktionsmessungen in Eis und Schnee«).

Für den Abschnitt mit schneefreier Oberfläche wurde für jeden Tag die berechnete Ablation mit der gemessenen verglichen und die Differenz in **Abb. 74** dargestellt. Es zeigt sich, daß sich mitunter sehr große Differenzen zwischen den berechneten und gemessenen Werten ergeben. Die Unstimmigkeit ist im allgemeinen größer als der Fehler, der für die Ablationsmessung angesetzt werden muß. Die Erklärung ist, daß für kurzfristige Ablationsmessungen der Betrag der inneren Ablation nicht vernachlässigt werden darf. Die Werte der inneren Ablation (Q_I) können 200 cal cm^{-2} erreichen (Tab. 29a) und damit den Tagesablationswert maßgeblich beeinflussen.

Durch eine Gegenüberstellung von Ablation (cm/Tag) und Windgeschwindigkeit wird diese Behauptung gestärkt. Nach Tagen mit ungefähr gleichbleibender Ablation sind plötzlich Extremwerte der Ablation anzutreffen. So erhält man am 22.7.1959 trotz eines mittleren Wertes für die absorbierte Globalstrahlung ($260,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) eine minimale Ablation von nur 0,45 cm Eis pro Tag. Die Windgeschwindigkeit, die am Vortag 12 m/sek beträgt, fällt am 22.7.1959 auf 2 m/sek. Damit kann die Oberschicht neu ausgebildet werden und am Ablationspegel wird nur eine sehr kleine Ablation gemessen.

Der umgekehrte Fall tritt am 27.7.1959 in Erscheinung. Trotz eines mittleren Wertes der absorbierten Globalstrahlung ($264,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) wird bei Windgeschwindigkeiten bis 13,5 m/sek ein sehr hoher Ablationswert von 8,75 cm Eis pro Tag gemessen. Der hohe Wert wird durch Ablation der porösen Oberschicht (geringe effektive Eisdichte) verursacht.

Man erkennt, daß die Extremwerte von Ablation und Windgeschwindigkeit zusammenfallen. Daraus kann allerdings nicht gefolgert werden, daß die Windgeschwindigkeit den Betrag der Ablation bestimmt. Bei diesem Effekt handelt es sich um ein kompliziertes Zusammenspiel von fühlbarem Wärmestrom und innerer Ablation.

Der Energieumsatz für schneebedeckte und schneefreie Oberfläche wird in zwei Übersichten (Tab. 62) zusammengestellt. Als Energieüberschuß ist darin der Ausdruck Schmelzenergie + Energieverbrauch zur Eis erwärmung (Wärmeleitung) zu verstehen.

Für die Ursachen der Ablation läßt sich bei schneefreier Oberfläche ebenfalls eine Übersicht (Tab. 63) zusammenstellen. Positives Vorzeichen erhalten die ablationsfördernden und negatives Vorzeichen die ablationshemmenden Vorgänge. Die Angabe eines Prozentsatzes größer 100 % bedeutet (z. B. absorbierte Globalstrahlung = 112 %), daß der Vorgang — wenn er allein vorhanden wäre — eine Ablation verursachen könnte, die um einen bestimmten Faktor (z. B. 1,12) größer als die gemessene Ablation ist.

Die Synthese des Energiehaushaltes gibt bei schneefreier Oberfläche ein völlig anderes Bild als bei schneebedeckter Oberfläche. Bei schnee-

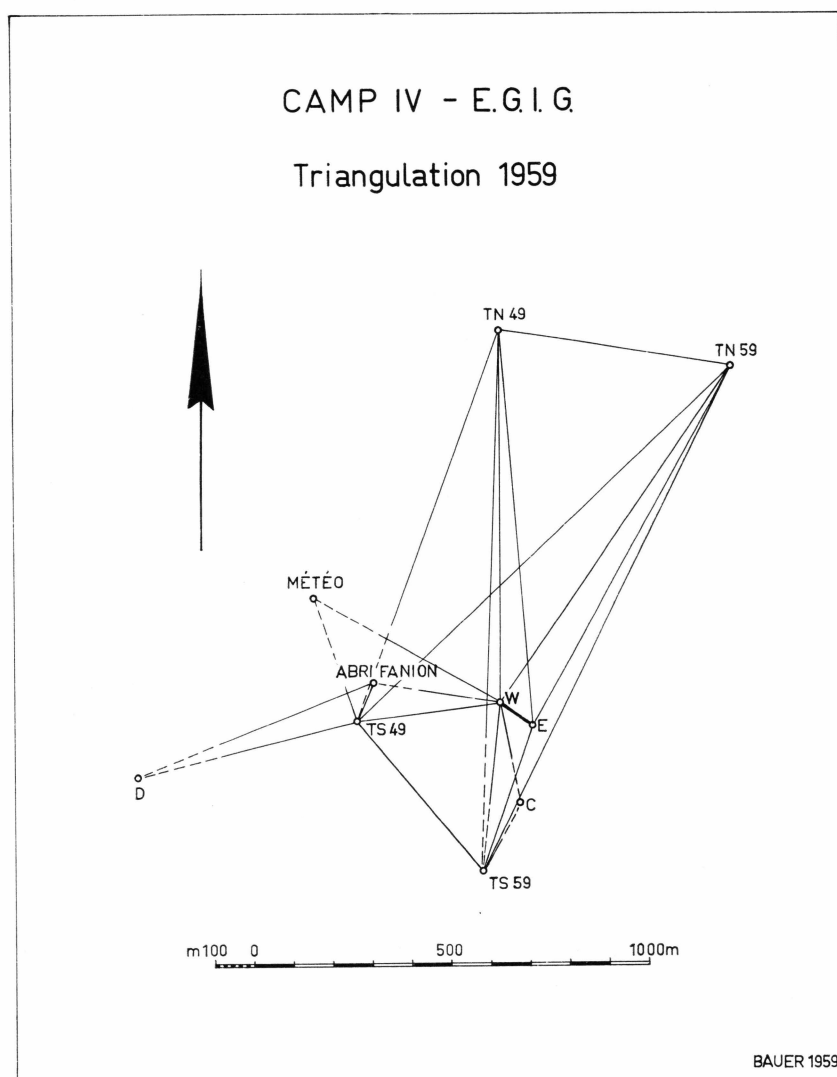


Abb. 75: Lageplan der Pegel C, D (C = Thermoelement Serie V, D = Thermoelement Serie IV, TS 49 = Thermoelement Serie I).
(Camp IV - EGIG Triangulation 1959 - BAUER 1959).

freier Oberfläche wird der Energieüberschuß zu 85 % durch Strahlung und zu 15 % durch dynamische Konvektion (Energieaustausch der Oberfläche mit der angrenzenden Luft) gedeckt. Der Energieüberschuß wird in der Hauptsache zum Schmelzen (92 %) benützt und nur ein geringer Teil (8 %) dient zur Temperaturerhöhung des Eises. Bei schneebedeckter Oberfläche wird der Energieüberschuß ausschließlich (102 %) durch Strahlung geliefert, da die fühlbare und latente Wärme etwa gleich groß

sind, aber verschiedenes Vorzeichen haben. Die dynamische Konvektion wirkt damit weder als Energiequelle noch als Energiesenke. Der resultierende Energieüberschuß wird bei schneebedeckter Oberfläche mit einem relativ hohen Prozentsatz (29 %) zur Temperaturerhöhung des Eises verwendet und nur 71 % werden zum Schmelzen verbraucht. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Absolutwerte der zur Temperaturerhöhung des Eises aufgewendeten Energie für beide Fälle etwa gleich groß sind und die verschiedene prozentuelle Aufteilung durch verschiedene Absolutbeträge des Energieüberschusses bedingt ist.

Für den Energiehaushalt am grönländischen Arbeitsplatz ergeben sich folgende charakteristische Eigenschaften:

1. Der Energieüberschuß wird in der Hauptsache durch Strahlungsvorgänge bestimmt.
2. Der Energieüberschuß wird zum Schmelzen und zum Erwärmen des Eises verbraucht.
3. Der Einfluß des Windes (dynamische Konvektion) auf die Ablation ist klein.
4. Die Bedingung für Verdunstung ist weit häufiger erfüllt als für Kondensation.
5. Die verdunstete Eismasse ist gegenüber der geschmolzenen vernachlässigbar.

Einer Darstellung von A. BAUER (Abb. 76) ist die Abhängigkeit der Ablation von der Seehöhe im Arbeitsgebiet zu entnehmen. Es zeigt sich folgende Erscheinung: Die Ablation eines Jahres ist über dem Höhenbereich 800–1220 m konstant. In der Randzone (BK 1) ergibt sich eine um fast 50 % größere Ablation, während im Höhenbereich über 1220 m die Ablation stark abnimmt. Auch diese Erscheinung kann durch die Energieumsatzstudie interpretiert werden: Die Synthese des Energieumsatzes zeigt als Ergebnis, daß die Ablation in der Hauptsache durch den Wert der absorbierten Strahlungsenergie verursacht wird.

Dieser Wert wird vor allem durch den Betrag der Albedo bestimmt. Bei annähernd gleicher winterlicher Akkumulation und gleicher Verschmutzung des Eises ist während der Ablationszeit die Albedo über ein größeres Gebiet konstant. So ist es auch verständlich, daß auf Alpengletschern über das gesamte Gebiet mit schneefreier Oberfläche der Tageswert der Ablation etwa gleich groß ist. Diesen Hinweis verdanke ich einer mündlichen Mitteilung von H. HOINKES, der bei regelmäßigen Begehungen des *Hintereisferners* (Öztaler Alpen) diese Vermutung bestätigt fand. Nur durch zwei Umstände kann die Ablation ein abweichendes Verhalten zeigen:

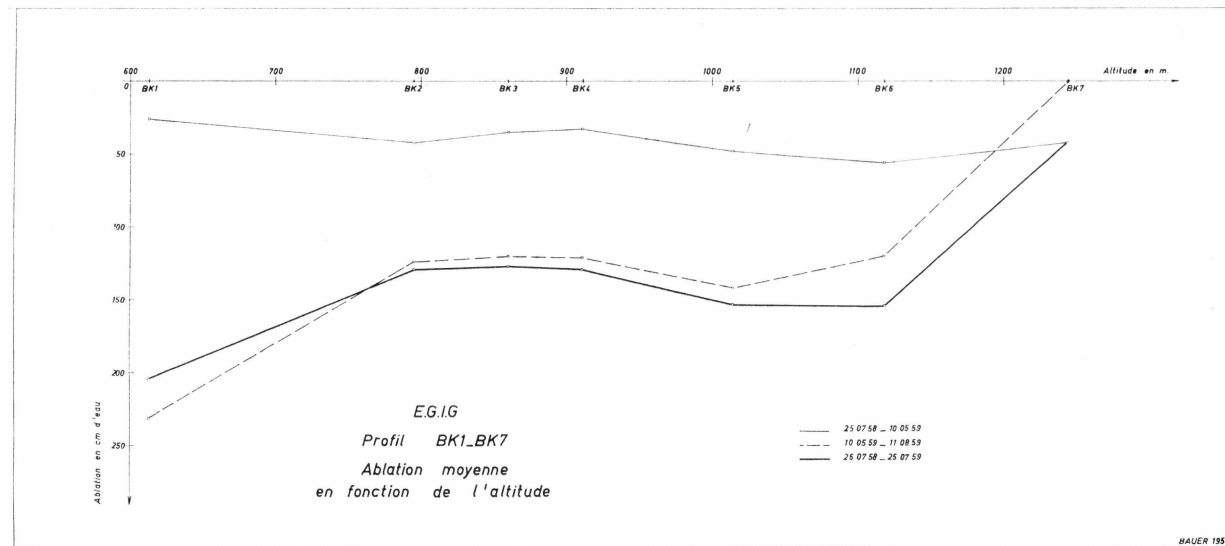


Abb. 76: Summierte Ablationswerte im Ablationsgebiet BK 1–BK 7.
 (EGIG – Profil BK 1–BK 7 Ablation moyenne en fonction de l'altitude BAUER 1959).

1. In Randzonen kann die Verschmutzung des Eises eine geringere Albedo und damit einen größeren Wert der Ablation bewirken. Dies wird am Pegel BK 1 festgestellt.

2. In größeren Seehöhen bewirkt der größere Betrag der winterlichen Akkumulation, daß die Eisoberfläche längere Zeit vor Abschmelzung geschützt wird. Dieser Effekt verursacht die geringere Ablation am Pegel BK 7.

Ungefähr gleiche Werte der winterlichen Akkumulation im Gebiet BK 1–BK 6 werden durch Messungen von Schneehöhen bestätigt (vgl. Abschnitt »Schneetemperaturen und Schneedichte«). Erst in Höhen über BK 6 nimmt der Akkumulationsbetrag zu.

Die Tatsache, daß im Bereich BK 2–BK 6 ungefähr derselbe Betrag der Ablation gemessen wird, bestätigt gleichsam das Ergebnis der Energieumsatzstudie, daß der Energieaustausch durch dynamische Konvektion eine untergeordnete Rolle spielt. Hydrologische Messungen von H. V. LARSEN (1960) führen zum gleichen Schluß.

Bei der Interpretation der Ablationswerte von BK 1–BK 7 wurde vom Einfluß der Hangneigung abgesehen. Höchstens beim Pegel BK 1 wäre ein Einfluß diskutierbar. Wegen der Orientierung der Fallinie E-W kann in erster Näherung angenommen werden, daß sich während eines Tages die Unterschiede im Strahlungsgenuß gegenüber einer horizontalen Oberfläche aufheben.

c. Vergleich des Energieumsatzes in verschiedenen Klimaten.

Das am grönländischen Arbeitsplatz gewonnene Ergebnis soll mit dem Energieumsatz an Schnee- und Eisoberflächen in anderen Klimaten verglichen werden. Zu diesem Zweck werden die Angaben der anderen Autoren in eine einheitliche Darstellung umgerechnet. Als solche wird die Angabe der Tagesmittelwerte der Gesamtstrahlungsbilanz, der übrigen Energiebeträge (fühlbare Wärme, latente Wärme, Energieaustausch durch Niederschlag) und des resultierenden Energiegewinns, der zum Schmelzen und zur Temperaturerhöhung verbraucht wird, gewählt. **Tab. 64** enthält den Vergleich, für den nur neuere Ergebnisse (ab 1950) verwendet werden.

Auffallend sind die wesentlich unterschiedlichen Beiträge der physikalischen Prozesse zum Energiegewinn und Energieverlust. Vor allem der Beitrag durch Strahlungsprozesse variiert in weiten Grenzen, da er in der Hauptsache vom Betrag der Albedo abhängt. Auch die übrigen Beiträge zum Energiehaushalt können sich stark unterscheiden (109 bis $-2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Über Eis erhält man in Grönland, in den Alpen und im Karakorum eine ähnliche Zusammensetzung des Energiehaushaltes.

Eine Ausnahme bieten Meßstellen im tieferen Bereich der Gletscherzungen (Hornkees). Ferner fällt der geringfügige Energieumsatz an der Oberfläche einer Eisscholle (U.S. Drifting Station A) auf. Der tägliche Energiegewinn ist hier an einer Eisoberfläche kleiner als an einer Schneeoberfläche am grönländischen Arbeitsplatz. Umgekehrt ergibt sich in der *Central Sierra Nevada* an einer Schneeoberfläche ein größerer Energiegewinn als an einer Eisoberfläche am grönländischen Arbeitsplatz. Das interessanteste Ergebnis ist wohl, daß der Energiehaushalt sowohl im Sommer an einer Schneeoberfläche mit hoher Albedo (Grönland, Site 2) als auch in der Polarnacht (Antarktis, Little America V) nur geringfügige thermische Zustandsänderungen der Schneedecke erlauben kann.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe von zwei Solarimetern MOLL-GORCZYNSKI und einem Strahlungsbilanzmesser nach R. SCHULZE (Lupolengerät) wurde der Strahlungshaushalt vom 26.5. bis 7.8.1959 registriert.

Die Eichfaktoren der Thermosäulen wurden in Abhängigkeit von Sonnenhöhe und Azimut bestimmt und der Eichfaktor für diffuse Strahlung nach einer Methode von G. H. LILJEQUIST berechnet. Die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe ist bei allen Thermosäulen groß, der Azimutaleffekt dagegen klein. Die Ergebnisse wurden durch Labormessung bestätigt. Die Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe wird beim Lupolengerät durch Streustrahlung in der Haube und beim Solarimeter durch eine Katakaustikwirkung der inneren Glaskugel verursacht. Der Eichfaktor des Lupolengerätes für langwellige Strahlung wurde mit Hilfe von Spektrographen und eines Schwarzen Körpers ermittelt. Die Thermosäulen sind für langwellige Strahlung bis zu 12 % empfindlicher als für kurzwellige isotrope Strahlung. Die Auswertung der Registrierung erfolgte unter Berücksichtigung der Temperatur-, Azimut- und Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors und unter Berücksichtigung des Unterschiedes der Empfindlichkeit der Thermosäule für kurz- und langwellige Strahlung. Für den Temperaturfaktor wurde die Temperaturabhängigkeit der EMK und des Widerstandes berücksichtigt.

Es werden die Stundensummen von einfallender und reflektierter Globalstrahlung, atmosphärischer Gegenstrahlung und langwelliger Ausstrahlung der Gletscheroberfläche für die Zeit vom 4.6.–8.8.1959, ferner die Tagessummen der Globalstrahlung ab 23.5.1959 angegeben. Die Genauigkeit der Ergebnisse wird eingehend diskutiert. Die Temperaturstrahlung der schmelzenden Oberfläche wurde zu $27,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ gemessen. (Fehler $< 1 \%$). Die langwellige Strahlungsbilanz beträgt bei $\frac{0}{10}$ Bewölkung $-4,0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ und bei $\frac{10}{10}$ $-1,25 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Mit neu entwickelten Geräten (kugelförmiger Strahlungsempfänger und selektiver Strahlungsempfänger kleiner Apertur) wurden Strahlungsextinktionsmessungen in Eis und Schnee durchgeführt. Der kugelförmige Strahlungsempfänger integriert das Streulicht aus allen Raumrich-

tungen. Mit dem Empfänger kleiner Apertur wurde die räumliche Verteilung der Strahlung in Schnee und Eis in zwei Filterbereichen erfaßt. Diese Messungen gestatten eine Abschätzung der Porösität der oberflächennahen Eisschichten und der inneren Ablation und bieten eine Erklärung des Tagesganges der Albedo bei direkter Sonne. Der Einfluß der inneren Ablation wird auf 3 cm Eis geschätzt.

Der *Ångström*'sche Trübungskoeffizient beträgt im Mittel 0,017 und der Trübungsfaktor 2,27 bei $m = 2$. Das »Wahre Rotverhältnis« deckt sich mit den Werten für 5 mm Hg Dampfdruck am Boden.

Aus Messungen der Windgeschwindigkeiten in 4 Höhen werden Schubspannungsgeschwindigkeit, Rauigkeitsparameter und Austauschkoeffizient berechnet. Ferner wurde der Lufttemperaturgradient registriert und aus einer Abschätzung des Dampfdruckgradienten werden die Tagessummen der positiven und negativen latenten Wärme und der fühlbaren Wärme berechnet.

Durch Messungen der thermischen Unruhe in der eisnahen Luftschicht wird bewiesen, daß die Austauschkoeffizienten für Temperatur und Impuls im turbulenten Temperaturfeld der eisnahen Luftschicht gleich groß sind. Zur Messung wurden selbstentwickelte strahlungsfehlerkompensierte Thermolemente verwendet.

Messungen der Eistemperaturen bis 8 m Tiefe, des Wasserwertes und Kälteinhaltes der Schneedecke sowie des superimposed ice wurden durchgeführt. Theoretische Überlegungen führen zu einem verfeinerten Verständnis der Bedeutung von superimposed ice für den Energiehaushalt. Die optimalen Bedingungen für die Bildung von superimposed ice werden angegeben. Mit einer neuentwickelten dielektrischen Methode wurde der freie Wassergehalt in der Schneedecke bestimmt.

Zur Synthese des Energieumsatzes werden alle Energiebeiträge unabhängig voneinander ermittelt. Die berechnete Ablation unterscheidet sich von der gemessenen bei schneefreier Oberfläche nur um 2 %. Der Energieüberschuß an der Oberfläche, der sich zu 85 % durch Strahlungsaustausch ergibt, wird zu 8 % zum Eiswärmen und zu 92 % zum Eisschmelzen verbraucht. Die verdunstete Eismasse ist vernachlässigbar. Bei schneebedeckter Oberfläche (26.5.–23.6.1959) wird der Energieüberschuß ausschließlich durch Strahlungsaustausch genährt (102 %), wobei 29 % zum Erwärmen und 71 % zum Schmelzen verbraucht werden.

SUMMARY

The radiation budget was determined by using two *Moll-Gorczynski* solarimeters and a *R. Schulze* radiometer (lupolen instrument) from May 26th to August 7th, 1959. The calibration factors of the thermocouples were determined as a function of the sun's altitude and azimuth. The calibration factor for isotropic radiation was determined by a method of G. H. LILJEQUIST. In all thermocouples the calibration factor largely depends on the sun's altitude, the azimuthal effect is, however, low. The results obtained were confirmed by laboratory measurements. In the lupolen instrument the dependence of the calibration factor on the sun's altitude is caused by scattered radiation in the cap, in the solarimeter it is caused by a catacaustic effect of the inner glass sphere. The calibration factor of the lupolen instrument for long-wave radiation was determined by means of spectrographs as well as by a black body. The thermocouples are up to 12 % more sensitive to long-wave radiation than to short-wave isotropic radiation. The values recorded were evaluated by taking account of the temperature-, azimuth-, and solar altitude dependence of the calibration factor and also by considering the different sensitivity of the thermocouple to short- and long-wave radiation. When determining the temperature coefficient of the calibration factor, the temperature dependence of the EMF and of the resistance were taken into account. The hourly sums of incoming and reflected short-wave radiation, long-wave incoming radiation from the upper hemisphere, and long-wave outgoing radiation from the glacier surface are given for the period June 4th to August 8th, 1959. Also the daily sums of short-wave radiation are given beginning with May 23rd, 1959. The accuracy of the evaluation is discussed in detail. Long-wave outgoing radiation of the melting surface was found to be $27.7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (error $< 1 \%$). Long-wave radiation balance is $4.0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for $\frac{0}{10}$ cloudiness, and $-1.25 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for $\frac{10}{10}$. Radiation extinction measurements were made in ice and snow by means of recently developed instruments (spherical radiation receiver and selective radiation receiver with small aperture). The spherical radiation receiver integrates scattered radiation from all directions. The receiver with small aperture measures the spatial distri-

bution of radiation in snow and ice within two filter ranges. The measurements of radiation extinction in ice and snow allow the estimation of porosity of the ice layers near the surface and the estimation of internal ablation. They also explain the diurnal variation of albedo on clear days. The effect of internal ablation is estimated to 3 cm of ice. The *Ångström* turbidity coefficient was on an average 0.017 and the turbidity factor was 2.27 for $m = 2$. The »Wahre Rotverhältnis« (I_{RG2}/I_{total}) coincides with the values for 5 mm Hg vapor pressure at the ground.

The friction velocity, the roughness parameter, and the exchange coefficient are calculated from the values of the wind velocities in four heights. The air-temperature gradient was recorded. Furthermore, the vapor pressure gradient was estimated and the daily sums of the flow of positive and negative latent heat and of the sensible heat were calculated. Measurements of temperature fluctuations in the air layers near the ice proved the equality of the exchange coefficients for temperature and momentum in the turbulent temperature field of the air layers near the ice. Self-contrived thermocouples in which the radiation error is compensated were used for the measurements.

Measurements were made of the ice temperatures down to a depth of eight meters, and of the winter cooling within the snow cover. The formation of superimposed ice was investigated. Theoretical considerations led to a better understanding of the importance of superimposed ice to the energy balance. The optimum conditions for the formation of superimposed ice are given. The free water content in the snow cover was determined by a recently developed dielectric method.

To synthesize the heat balance all energy contributions are determined separately. In the case of an ice surface calculated ablation differs from measured ablation only by 2 %. In this period the energy excess is caused to 85 % by radiation exchange and is consumed to 92 % for melting the ice and to 8 % for heating the ice. The amount of ice evaporated can be neglected. In the case of snow-covered surface (May 26th–June 23rd, 1959) the energy excess is exclusively caused by radiation exchange (102 %) where for heating and melting the ice 29 % and 71 %, respectively, of the excess energy are consumed.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALBRECHT, F. (1933): Ein Strahlungsbilanzmesser zur Messung des Strahlungshaushaltes von Oberflächen, *Meteorol. Z.* **50**, 62, 1933.
- (1937): Meßgeräte des Wärmehaushaltes an der Erdoberfläche als Mittel der bioklimatischen Forschung, *Meteorol. Z.* **54**, 471, 1937.
- (1939): Apparate und Meßmethoden der atmosphärischen Strahlungsforschung, *Meteorol. Taschenbuch*, herausgegeben v. F. Linke, V, Ausg. 204, Leipzig, 1939.
- ÅNGSTRÖM, A. (1929): On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air I, *Geogr. Ann.* **11**, 156–166, 1929.
- (1930): On the atmospheric transmission of sun radiation II, *Geogr. Ann.* **12**, 130–159, 1930.
- (1951): Actinometric measurements. Compendium of Meteorology. Am. Met. Soc., Boston, Mass., 1951.
- AMBACH, W. (1953): Über den nächtlichen Wärmeumsatz der gefrorenen Gletscheroberfläche, Dissertation Universität Innsbruck, 1953.
- (1955a): Über den nächtlichen Wärmeumsatz der gefrorenen Gletscheroberfläche, *Arch. Met. Geoph. Biokl. A*, **8**, 411, 1955.
- (1955b): Über die Strahlungsdurchlässigkeit des Gletschereises, *Sitzungsberichte d. Österr. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Klasse*, II, **164**, 483, 1955.
- (1958a): Ein Strahlungsempfänger mit kugelförmiger Empfängerfläche zur Bestimmung des Extinktionskoeffizienten in Gletschern, *Arch. Met. Geoph. Biokl. B*, **8**, 433, 1958.
- (1958b): Zur Bestimmung des Schmelzwassergehaltes des Schnees durch dielektrische Messungen, *Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol.* **IV**, 1, 1958.
- (1959): Ein Beitrag zur Kenntnis der Lichtstreuung im Gletschereis, *Arch. Met. Geoph. Biokl. B*, **9**, 441, 1959.
- (1961): Die Bedeutung des aufgefrorenen Eises (superimposed ice) für den Massen- und Energiehaushalt eines Gletschers, *Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol.*, **IV**, 169, 1961.
- AMBACH, W. und H. L. HABICHT (1961): Ein thermoelektrischer Strahlungsbilanzmesser zur Bestimmung der absorbierten Strahlungsenergie in oberflächennahen Eisschichten eines Gletschers, *Arch. Met. Geoph. Biokl. B*, **11**, 243, 1962.
- AMBACH, W. und H. MOCKER (1959): Messungen der Strahlungsextinktion mittels eines kugelförmigen Empfängers in der oberflächennahen Eisschicht eines Gletschers und im Altschnee, *Arch. Met. Geoph. Biokl. B*, **10**, 84, 1959.
- BAIRD, P. D., W. H. WARD und S. ORVIG (1952): The glaciological studies of the Baffin Island Expedition 1950, *Journ. Glac.* **2**, 11, 2, 1952.
- BAUER, A. (1962): EGIG, Meddelelser om Grønland; auch UGGI General Assembly 1960, Helsinki.
- BAULE, B. (1947): Die Mathematik des Naturforschers und Ingenieurs **VI**, 3. Aufl. Hirzel Zürich, 1947.

- BENER, P. (1951): Untersuchungen über die Wirkungsweise des Solarigraphen Moll-Gorczynski, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **2**, 188, 1951.
- BOCHOW, H., W. HÖHNE und A. RAEUBER (1958): Über die Bestimmung der für einen repräsentativen Mittelwert notwendigen Anzahl von Einzelwerten, Angew. Met., **3**, 170, 1958.
- BOLLE, H. J. und R. FLEISCHER (1954): Der Einfluß der Lupolenabsorption auf die Messung und Registrierung der Ultrarotstrahlströme, Ann. Met. **6**, 380, 1953/54.
- CALLENDAR, G. S. (1941): Infrared absorption by Carbon Dioxide, with special reference to atmospheric radiation, Quart. Journ. R.M.S. **67**, 273, 1941.
- CLASSIFICATION FOR SNOW, THE INTERNATIONAL (1954): Published as technical memorandum, No. 31 by the Associate Committee on Soil and Snow Mechanics, National Research Council, Ottawa, Canada, August 1954.
- DIAMOND, M. und R. W. GERDEL (1956): Radiation Measurements on the Greenland Ice Cap, S.I.P.R.E. Research Report 19, Oct. 1956; auch: U.G.G.I. Assemblée Générale de Toronto 1957, **IV**, 403.
- DIRMHIRN, I. (1957): Studie über Strahlungsvorgänge auf Gletschern, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **8**, 31, 1957.
- DIRMHIRN, I. und E. TROJER (1955): Albedountersuchungen auf dem Hintereisferner, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **6**, 400, 1955.
- DUNKLE, R. V. und J. T. GIER (1953): Radiation in a diffuse medium with application to snow, Un. California, Inst. Eng. Res., Berkley Cal., Ser. 62 (2) Nov. 15, 1953, auch: S.I.P.R.E. — Report Nr. 16.
- ETIENNE, E. (1940): Expeditionsbericht der Grönland-Expedition der Universität Oxford 1938, Veröff. d. Geophys. Inst. d. Uni. Leipzig, II Serie, **XIII**, 1940.
- FAGE, A. und V. M. FALKNER (1932): The transport of vorticity and heat through fluids in turbulent motion. Proc. roy. Soc. (A), **135**, 685, 1932.
- FOITZIK und HINZPETER (1958): Sonnenstrahlung und Lufttrübung, S. 270, Akadem. Verlagsgesellschaft Geest & Postig, Leipzig, 1958.
- FRANKENBERGER, E. (1958): Über die Anwendung von Strahlungsbilanzmessern verschiedener Bauart bei Wärmehaushaltuntersuchungen, Ann. Met. **8**, 163, 1958.
- FRITZ, S. und T. H. MACDONALD (1960): Some normal-incidence solar radiation observations during I.G.Y., U.G.G.I. Monographie **4**, Symposium on Radiation, Oxford 20.–25. Juli 1959, **4**, 1960.
- FUNK, J. P. (1961): A note on the long-wave calibration of convectively shielded net radiometers, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **11**, 70, 1961.
- FUQUAY, D. und K. BUETTNER (1957): Laboratory investigation of some characteristics of the Eppley Pyrheliometer, Transact. Ann. Geoph. Union, **38**, 38, 1957.
- GORCZYNSKI, L. (1936): Solarimeters and solarigraphs, Month. Weath. Rev. **54**, 381, 1926 — Some results obtained by testing solarimeters with pyrheliometer tubes, Month. Weath. Rev. **55**, 488, 1927 — Measurements of solar radiation instruments and some results. Meteorol. Mag. **71**, 1, 1936.
- GRÖBER, ERK, GRIGULL (1955): Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer-Verlag, 3. Auflage, 1955.
- HABICHT, H. L. (1961): Untersuchungen über die räumliche Strahlungsverteilung in Gletschereis und in Schnee. Dissertation Universität Innsbruck, 1961.
- HANN-SÜRING: Lehrbuch der Meteorologie I, S. 39, W. Keller, Leipzig, 5. Auflage.
- HANSON, K. J. (1960): Radiation measurement on the Antarctic Snowfield, a preliminary Report. Journ. Geoph. Res. **65**, 935, 1960.
- HINZPETER, H. (1952): Bericht über neuere Arbeiten zum Solarimeter nach Gorczynski, Z. Met. **6**, 118, 1952.

- HOFMANN, G. (1960): Wärmehaushalt und Advektion, Arch. Met. Geoph. Biokl. A, **11**, 474, 1960.
- HOINKES, H. (1953): Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern, II., Geogr. Ann. **XXXV**, 116, 1953.
- (1954a): Über glazial-meteorologische Arbeiten im Sommer 1952 (Vorläufige Mitteilung), Anzeiger d. math.-naturw. Klasse d. Österr. Akad. d. Wissenschaften, Jg. 1954, Nr. 15, 219, 1954.
- (1954b): Beiträge zur Kenntnis des Gletscherwindes, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **6**, 36, 1954.
- (1956a): Über den Zusammenhang zwischen Temperaturgradient und Temperaturunruhe, Ber. Dtsch. Wetterdienst Nr. **22**, 16, 1956.
- (1956b): Die Bedeutung des aufgefrorenen Eises (superimposed ice) für die Entstehung von Kryokonitlöchern, Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol. **III**, 305, 1956.
- (1959): Studies of solar and net-radiation in the Antarctic (Little America V and South Pole) 1957/58, IAM, Radiation Symposium Oxford 1959, Manuskript; auch U.G.G.I. Monographie Nr. 4, S. 4, 1960.
- (1960): Studies of solar radiation and albedo in the Antarctic (Little America V and South Pole, 1957/58), Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **10**, 175, 1960.
- (1961): Studies in Glacial Meteorology at Little America V, Antarctica, I Net radiation, heat balance, and accumulation during the winter night 1957, U.G.G.I., Helsinki, I.A.S.H. Nr. **55**, 29, 1961.
- HOINKES, H. und N. UNTERSTEINER (1952): Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern, II., Geogr. Ann. **XXXV**, 116, 1953.
- HUBLEY, R. C. (1954): The problem of short period measurements of snow ablation, Journ. Glac. **2**, 437, 1954.
- (1955): Measurements of diurnal variations in snow albedo on Lemon Creek Glacier, Alaska, Journ. Glac. **2**, 560, 1955.
- I. G. Y. INSTRUCTION MANUAL, Part IV, Radiation instruments and measurements. London: Pergamon Press 1958, Radiation Commission of the I A M A P.
- JAFFÉ, A. (1959): Beiträge zur Kenntnis der Strahlungseigenschaften des Gletschereises, Dissertation Universität Innsbruck, 1959.
- (1960): Über die Strahlungseigenschaften des Gletschereises. Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **10**, 376, 1960.
- JOHNSON, J. C. (1954): Physical Meteorology, S. 107, Chapman & Hall, London, 1954.
- KASSER, P. (1960): Ein leichter thermischer Eisbohrer als Hilfsgerät zur Installation von Ablationsstangen auf Gletschern, Geof. pura e applicata **45**, 97, 1960.
- KIPP & ZONEN (1958): Briefliche Mitteilung v. 20. Jänner 1959.
- LA CHAPELLE, E. (1959a): Annual mass and energy exchange on the Blue Glacier, Journ. Geoph. Res. **64**, 443, 1959.
- (1959b): Errors in ablation measurements from settlement and sub-surface melting, Journ. Glac. **3**, 458, 1959.
- LANDOLT-BÖRNSTEIN (1931): Erg. Bd. 2. Teil, S. 956.
- LARSEN, H. V. (1960): Runoff studies from the Mitdluagkat Gletscher in SE-Greenland during the late summer 1958, guide Book Denmark, International Geographical Congress 209, 1960.
- LETTAU, H. (1939): Atmosphärische Turbulenz, Akad. Verlagsgesellschaft Leipzig, 1939.
- LETTAU, H. und B. DAVIDSON (1957): Exploring the atmosphere's first mile, I, S. 218, Pergamon Press London.

- LILJEQUIST, G. H. (1956a): Energy exchange of an antarctic snow-field, Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949-52, Scientific Res. Vol. II, Part 1: Short-Wave Radiation, 1956.
- (1956b): Energy exchange of an antarctic snow-field, longwave radiation and radiation balance, Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949-52, Scientific Res., Vol. II, 1956.
- (1957a): Energy exchange of an antarctic snow-field, wind structure in the low layer, Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949-52, Scientific Res. Vol. II, 1957.
- (1957b): Energy exchange of an antarctic snow-field, (surface inversions and turbulent heat transfer) Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949-52, Scientific Res. II, Part 1, 1957.
- LINKE, F. (1955): Physik der Atmosphäre I, Handbuch der Geophysik VIII, 2. Lieferung. 1955.
- LOSSNITZER, H. (1959): Spektrale Durchlässigkeit verschiedener Filtermaterialien, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, IX, 434, 1959.
- MOCKER, H. (1958): Untersuchungen über die Strahlungsextinktion auf einem Ostalpenglischer, im Anhang: Eine Methode zur Temperaturunruhemessung in der eisnahen Luftschicht. Dissertation Universität Innsbruck, 1958.
- MONIN, A. S. und A. M. OBUCHOW (1958): Statistische Theorie der Turbulenz, Akademie-Verlag, Berlin, 1958 Fundamentale Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Vermischung in der bodennahen Schicht der Atmosphäre.
- MÖLLER, F. (1956): Strahlung in der unteren Atmosphäre, Handbuch der Physik, 48, 1956.
- OLSSON, H. und W. SCHÜEPP (1950): Die atmosphärische Trübung in Spitzbergen, Geogr. Ann. 32, 1950.
- PERSON, H. (1951): Über elektrische Messungen der Bodenfeuchte, Ber. dt. Wetterd. 32, 22, 1951.
- POKROWSKI, G. I. (1925): Über die Absorption des Lichtes in optisch inhomogenen Medien. Z. Physik 31, 14, 514, 1925.
- PRANDTL, L. (1942): Führer durch die Strömungslehre, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1942, 4. Auflage 1956.
- PRIESTLEY, C. H. B. (1959): Turbulent transfer in the lower atmosphere, University of Chicago Press 1959.
- PUPPO, A. und D. BIDASIO (1935): Il nuovo modello del solarigrafo di L. Gorczynski. Risultati di tora ture e considerationi critiche. Boll. Com. Geodes. Geofis. Consigl. Naz. Ricerche, ser. II, 5, 235, 1935.
- QUERVAIN, M. DE (1945): Neue Untersuchungsmethoden und Apparate, Mitteilungen Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. Davos, Schweiz, 1945.
- RADOK, U., S. K. STEPHENS u. R. L. SUTHERLAND (1961): On the calometric determination of snow quantity. U.G.G.I. Assembly, Commission of Snow and Ice, Helsinki 1960, A.I.S.H. Nr. 54, 133, 1961.
- RASCHKE, F. (1954): Die Kompensation des Strahlungsfehlers thermoelektrischer Meßfühler, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, 5, 447, 1954.
- REITZ, G. (1939): Pyranometrische Untersuchungen, Gerlands Beitr. Geophys. 55, 253, 1939.
- ROLL, H. U. (1948): Wassernahes Windprofil und Wellen auf dem Wattenmeer, Ann. d. Meteorol. I, 139, 1948.
- RUSIN, N. P. (1960): Radiation regime of the snow surface of the antarctic zone, Antarctic Symposium, Buenos Aires, 17.-25. Nov. 1959, U.G.G.I. Monographie Nr. 5. S. 67, 1960.

- SAUBERER, F. und I. DIRMHIRN (1951): Untersuchungen über die Strahlungsverhältnisse auf den Alpengletschern (Messungen auf dem Hohen Sonnblick im Sommer 1950), Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **III**, 256, 1951.
- SAUBERER, F. und I. DIRMHIRN (1952): Der Strahlungshaushalt horizontaler Gletscherflächen auf dem Hohen Sonnblick, Geogr. Ann. **XXXIV**, 261, 1952.
- SCHÜEPP, W. (1949): Die Bestimmung der Komponenten der atmosphärischen Trübung aus Aktinometermessungen, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **1**, 257–346, 1949.
- (1960): U.G.G.I. Monographie Nr. 4, Symposium on Radiation, Oxford, 1959, S. 9.
- SIEMENS-HALSKE (1955): Röhrendaten RÖK 851/15.3.55 Kennlinienfeld.
- TAKASU, K. (1953): Microclimatic Study II: A new type thermojunction for microclimatic use. Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto A, **27**, 55, 1953.
- TRYSELIUS, O. (1936): On the turbidity of polar air, Statens met.-hydr. anst. Medd. Ser. Uppsatser, No. 7, 1936.
- UNTERSTEINER, N. (1958): Glazial-meteorologische Untersuchungen im Karakorum II, Wärmehaushalt, Arch. Met. Geoph. Biokl. B, **8**, 137, 1958.
- (1961): On the mass and heat budget of arctic sea ice, Arch. Met. Geoph. Biokl. A, **12**, 151, 1961.
- VOLZ, F. (1949): Optik des Dunstes, Handbuch der Geophysik, **8**, 822–897, Verlag Bornstralger, Berlin, 1956.
- WALLÉN, C. C. (1948): Glacial-meteorological investigations on the Kårsa Glacier in Swedish Lapland 1942–1948, Geogr. Ann. **XXX**, 451, 1948.
- WALKO, P. (1960): The actinometric determination of turbidity parameters and of precipitable water at various altitudes, U.G.G.I. Monographie Nr. 4, Symposium on Radiation, Oxford 20.–25. July 1959, **8**, 1960.
- YOSIDA, Z. (1960): A calorimeter for measuring the free water content of wet snow, Journ. Glac. **3**, 574, 1960.
- (1958): Physical studies on deposited snow, V. Dielectric properties, contributions from the Institute of Low Temperature Science Nr. **14**, 1, 1958.

TABELLEN

ÜBERSICHT ZU DEN TABELLEN

Tabelle 1:

Zur Berechnung der Temperaturkoeffizienten der einzelnen Strahlungsmeßgeräte. Angabe in Prozent pro 10 Grad.

Tabelle 2:

Die Anzahl der gemessenen Eichfaktoren und die maximale Abweichung vom Wert, der durch die Kurve bei 50° Zenitdistanz gegeben wird.

Tabelle 3:

Die Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}/\text{Skt}$) der Thermosäulen bei 47° Zenitdistanz.

Tabelle 4:

Prüfung der intensitätsproportionalen Anzeige des Lupolengerätes und des Solarmeters.

Tabelle 5:

Die Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für diffuse Strahlung, berechnet nach G. H. LILJEQUIST (1956a) für $T = +1^\circ \text{ C}$.

Tabelle 6:

Vergleich der Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für diffuse Strahlung und senkrechte Bestrahlung.

Tabelle 7:

Der Eichfaktor ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für langwellige und kurzwellige isotrope Strahlung beider Thermosäulen des Lupolengerätes bei ventilierter Haube.

Tabelle 8:

Schwächung der Strahlungsenergie im kurzwelligen und langwelligen Spektralbereich beim Durchstrahlen einer Lupolenhaube. Durchlässigkeitsmessung mittels Spektrographen. Annahme der spektralen Energieverteilung für das terrestrische Sonnenspektrum nach HANN-SÜRING, für die Temperaturstrahlung $T = 287^\circ \text{ K}$ nach J. C. JOHNSON (1954) und für die atmosphärische Gegenstrahlung nach CALLENDAR (1941).

Tabelle 9a:

Vergleich der berechneten Werte der Globalstrahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) an einem wolkenlosen Tag bei folgenden Annahmen:

- I) Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe.
- II) Unter Verwendung des Eichfaktors für isotrope kurzwellige Strahlung.

Tabelle 9b:

Vergleich der berechneten Werte der Globalstrahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{h}^{-1}$) an einem wolkenlosen Tag bei folgenden Annahmen:

- I) Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe.
- II) Unter Verwendung jenes einheitlichen Eichfaktors ($f = 0,0795 \text{ cal cm}^{-2} \text{h}^{-1}/\text{Skt}$), der den exakten Wert für die Tagessumme der Globalstrahlung gibt.

Tabelle 10:

Beispiel für die Auswertung der Registrierung der nach oben gerichteten Thermosäulen des Solarimeters und des Lupolengerätes.

Tabelle 11:

Fehlerabschätzung zur Berechnung der langwelligen Strahlungsbilanz der Säulen und der Gletscheroberfläche.

Tabelle 12:

Vergleich der berechneten Gesamt-Strahlungsbilanz an einem wolkenlosen Tag für die empfindliche und die unempfindliche Säule des Lupolengerätes bei folgenden Annahmen:

- a) Berechnung mit Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors für kurzwellige Strahlung von der Sonnenhöhe und des Eichfaktors für langwellige Strahlung.
- b) Berechnung bei Verwendung des Eichfaktors für isotrope kurzwellige Strahlung.

Tabelle 13:

Vergleich der berechneten langwelligen Strahlungsbilanz an einem wolkenlosen Tag für die empfindliche und unempfindliche Säule des Lupolengerätes bei folgenden Annahmen:

- a) Berechnung mit Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors für kurzwellige Strahlung von der Sonnenhöhe und des Eichfaktors für langwellige Strahlung.
- b) Berechnung bei Verwendung des Eichfaktors für isotrope kurzwellige Strahlung.

Tabelle 14:

Übersicht zum Fehler der Tagessummen der Strahlungsenergie bei Nichtberücksichtigung der Sonnenabhängigkeit des Eichfaktors. Fehlerangabe im Vergleich zum Wert, der bei Verwendung des Eichfaktors für isotrope Strahlung gewonnen wurde.

Tabelle 15:

Relativer Fehler der Tagessumme bei Registrierung der Gesamt-Strahlungsbilanz bei direkter Sonne.

Tabelle 16a-d:

Stundensummen des registrierten Strahlungshaushaltes.

16a: Globalstrahlung.

16b: Reflektierte Globalstrahlung.

16c: Atmosphärische Gegenstrahlung.

16d: Langwellige Ausstrahlung der Gletscheroberfläche.

Tabelle 17:

Tagessummen der Strahlungswerte.

Tabelle 18:

Vergleichsreihe für Werte der langwelligen Ausstrahlung der schmelzenden Gletscheroberfläche für Tage mit positivem Mittelwert der Lufttemperatur (24stündiges Mittel).

Mittelbildung nur über Stunden mit vollständiger Registrierung des Lupolengerätes und Solarimeters; interpolierte Werte wurden nicht verwendet.

Tabelle 19:

Vergleichsreihe für Werte der langwelligen Ausstrahlung der schmelzenden Gletscheroberfläche über Stunden mit Lufttemperatur $\geq 0,5^\circ \text{ C}$ (Thermograph 187 cm Höhe).

Tabelle 20:

Stundensummen der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und der atmosphärischen Gegenstrahlung bei geringer Globalstrahlung ($< 1,0 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$) und $\%_{10}$ Bewölkung.

Tabelle 21:

Diffuse Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel.

Tabelle 22:

Messungen der Albedo mit Hilfe des tragbaren Solarimeters.

Tabelle 23:

Albedowerte bei den Ablationspegeln R_1 – R_{10} .

Tabelle 24:

Wellenlänge für maximale Empfindlichkeit, optischer Schwerpunkt und Halbwertsbreite der Kombination Photodiode TP 50 und Filter.

Annahme (1): Wellenlängenunabhängige Intensitätsverteilung.

Annahme (2): Intensitätsverteilung der terrestrischen Sonnenstrahlung.

Tabelle 25:

Die Intensitätsverhältnisse in verschiedenen Richtungen bei $z = 0 \text{ cm}$ und $z > 20 \text{ cm}$. Filter KG 3 $\cong 665 \text{ m}\mu$; Filter RG 9 $\cong 850 \text{ m}\mu$.

Tabelle 26:

Die mittleren Werte des Extinktionskoeffizienten in Gletschereis in der Schicht 0–15 cm. Filter RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$).

Tabelle 27 a, b:

Die relative Intensitätsabnahme im Gletschereis in verschiedenen Raumrichtungen.

27 a: Filter KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$).

27 b: Filter RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$).

Tabelle 28:

Die Abhängigkeit des gemittelten Extinktionskoeffizienten von der Tiefe, gemessen mit Hilfe eines kugelförmigen Strahlungsempfängers.

Tabelle 29 a, b:

29 a: Energiebeträge, die zur Ausbildung der Oberschicht notwendig sind. Berechnung bei verschiedenen Annahmen der Ablationskomponenten v_1 und v_2 .

29 b: Mittlere Dichte der Schicht 0–50 cm.

Tabelle 30:

Aktinometermessungen und Werte der Lufttrübung.

Tabelle 31:

Der Ångström'sche Trübungskoeffizient β und β_p . Mittelwerte der Meßreihen.

Tabelle 32:

Messungen des *Ängström*'schen Trübungskoeffizienten in Polargebieten. Zitiert nach G. H. LILJEQUIST (1956a).

Tabelle 33:

Der »Projizierte Trübungsfaktor« für verschiedene relative Luftmassen. Die Werte des Trübungsfaktors an der Station für den Luftdruck p sind im Mittel um etwa 5–7 % größer als der »Projizierte Trübungsfaktor«. Die angeführten Werte wurden durch Interpolation gefunden.

Tabelle 34:

Intensität der direkten Sonnenstrahlung, 1013 m, IPS 1956. Mittlerer Sonnenabstand.

Tabelle 35:

Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung senkrecht zur Bestrahlung, für $m = 2$, reduziert auf mittleren Sonnenabstand. Aktinometer-Skala: IPS 1956.

Tabelle 36:

Die Extinktionsbeträge der *Rayleigh*-Streuung, Dunst-Trübung und der Absorption in Gasen für die optischen Luftmassen 1,5, 2,0 und 3,0. Angaben in Prozent der Solarkonstanten.

Tabelle 37:

Das »Wahre Rotverhältnis« in Abhängigkeit von der optischen Luftmasse.

Tabelle 38:

Tagesmittelwerte von Windgeschwindigkeiten, Schubspannungsgeschwindigkeit, Rauigkeitsparameter, *Richardson*-Zahl und Austauschkoeffizient.

Tabelle 39:

Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (0 bis 31, 0 = N, 8 = E, 16 = S, 24 = W). Anzahl der Beobachtungen $n_0 = 219$.

Tabelle 40:

Stundenwerte der Lufttemperatur, mittlere Höhe 187 cm.

Tabelle 41:

Stundenwerte des Dampfdruckes, mittlere Höhe 187 cm.

Tabelle 42:

Mittel-, Extrem- und Differenzwerte der Lufttemperatur.

Tabelle 43:

Stundenmittelwerte der thermoelektrisch registrierten Lufttemperaturdifferenzen zwischen 16 und 207,5 cm Höhe.

Tabelle 44:

Angaben zur Berechnung der fühlbaren und latenten Wärme.

Tabelle 45:

Meßbeispiel für die thermische Unruhe in der eisnahen Luftschicht. Eichfaktor 24,2 Skt/Grad.

Tabelle 46:

Zusammenstellung der Ergebnisse der thermoelektrischen Temperatur-Unruhemessungen.

Tabelle 47:

Die berechneten Werte von $c \kappa$ (vgl. Text) in verschiedenen Höhen.

Tabelle 48:

Der berechnete Mischungsweg für Temperatur bis 130 cm Höhe.

Tabelle 49:

Übersicht zu den Eistemperatur-Meßstellen, vgl. Abb. 58.

Tabelle 50 a, b:

50 a: Die Meßwerte der Eistemperaturen.

50 b: Bemerkungen zur Tabelle 50 a.

Tabelle 51:

Der Kälteinhalt Q der gemessenen Temperaturprofile. Die Differenzbeträge Q_{AT} geben die zur Eiserwärmung verbrauchte Energie.

Tabelle 52:

Tagesmittelwerte der zur Eiserwärmung verbrauchten Energie für die Serien I bis V. Für Energieumsatzberechnungen sind die Werte negativ zu nehmen.

Tabelle 53:

Messungen und Beobachtungen in der Schneedecke.

Tabelle 54:

Bildung von superimposed ice in der Ablationszone. Die Meßstellen BK 6, BK 7, K 2 konnten nicht mehr kontrolliert werden. Lage der Meßstellen siehe Abb. 55. Werte der Schichtdicke des superimposed ice am Pegel wurden durch Sondierung gefunden.

Tabelle 55:

Kondensatorkapazität bei verschiedenen Dichten des trockenen Schnees.

Tabelle 56:

Beispiel für die Reproduzierbarkeit der Messungen. Der Kondensator wurde an 10 verschiedenen, benachbarten Stellen in die Schneedecke eingesetzt und die Ablesung erfolgte dreimal.

Tabelle 57:

Meßbeispiel für die Tiefenabhängigkeit des freien Wassergehaltes.

Tabelle 58:

Ablationswerte im Pegelnetz R_1 – R_{10} mit Fehlerangabe.

Tabelle 59:

Die Tagessummen der Komponenten des Energieumsatzes für die Periode vom 26. Mai bis 7. August 1959.

Tabelle 60 a–c:

Die Komponenten des Wärmehaushaltes für den Abschnitt mit

a) schneebedeckter

b) schneefreier

c) Neuschnee bedeckter Oberfläche.

Tabelle 61 a–e:

Die Komponenten des Wärmehaushaltes für kürzere Teilabschnitte (Periode 2 bis 6).

Tabelle 62:

Der Energieumsatz für schneebedeckte und schneefreie Oberfläche.

Tabelle 63:

Die Beiträge der einzelnen Vorgänge zur Ablation. Schneefreie Oberfläche (Abschnitt 2). Positives Vorzeichen erhalten ablationsfördernde, negatives Vorzeichen ablationshemmende Vorgänge.

Tabelle 64:

Vergleich des täglichen Energieumsatzes in verschiedenen Klimaten.

Tabelle 1.

Thermosäule	(1)	(2)	(3)	(4)
Solarimeter G18-1012, G18-1038	1,7 ‰	173/610	1,1 ‰	2,8 ‰
Lupolengerät, empfindliche Säule	3,4 ‰	223/600	1,5 ‰	4,9 ‰
Lupolengerät, unempfindliche Säule	2,2 ‰	223/600	1,5 ‰	3,7 ‰

Zur Berechnung der Temperaturkoeffizienten der einzelnen Strahlungsmeßgeräte. Angabe in Prozent pro 10 Grad.

- (1) Temperaturkoeffizient der Strahlungsempfindlichkeit (EMK pro $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$) nach Messungen von H. HOINKES (1959, 1961).
- (2) Quotient: Kupferwiderstand/Gesamtwiderstand des Thermokreises.
- (3) Temperaturkoeffizient des Gesamtwiderstandes.
- (4) Resultierender Temperaturkoeffizient für die Kombination Thermosäule und Schreiber.

Tabelle 2.

Instrument	Zahl der Eichwerte	Maximale Abweichung
Solarimeter G18-1012, Nachmittag	80	$\pm 2 \text{ ‰}$
Solarimeter G18-1012, Vormittag	37	$\pm 5 \text{ ‰}$
Lupolengerät, unempfindliche Säule, Nachmittag	41	$\pm 2 \text{ ‰}$
Lupolengerät, unempfindliche Säule, Vormittag	32	$\pm 3 \text{ ‰}$
Lupolengerät, empfindliche Säule, Nachmittag	61	$\pm 2,5 \text{ ‰}$

Die Anzahl der gemessenen Eichfaktoren und die maximale Abweichung vom Wert, der durch die Kurve gegeben wird. Vergleich bei 50° Zenitdistanz.

Tabelle 3.

Instrument	Vormittagswert	Nachmittagswert	Differenz
Solarimeter G18-1012	0,001409	0,001423	1,2 ‰
Lupolengerät, unempfindliche Säule .	0,002300	0,002275	2,1 ‰

Die Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}/\text{Skt}$) der Thermosäulen bei 47° Zenitdistanz.

Tabelle 4.

Lupolengerät											
s_1	64	58	42	31	26	24	80	109	70		
s_2	51	44	28	23	22	23	41	70	47		
s_3	126	104	71	55	48	46	119	176	116		
$s_1 + s_2$	115	102	70	54	48	47	121	176	116		
Solarimeter											
s_1	38,5	49	102	45	74	88	54	25	29	19	15
s_2	30,0	45	81	36	56	64	45	21	23	18	13
s_3	55,0	93	180	81	129	154	98	45	52	37	28
$s_1 + s_2$	68,5	94	183	81	130	152	99	46	52	37	28

Prüfung der intensitätsproportionalen Anzeige des Lupolengerätes und des Solarimeters. Bei genauer intensitätsproportionaler Anzeige ist $s_3 = s_1 + s_2$. s bedeutet Skalenteil.

Tabelle 5.

Thermosäule	(1)	(2)	(3)
Solarimeter G18-1012	0,0842	0,0758	2,8 % pro 10°
Solarimeter G18-1038	0,0830	..	2,8 % pro 10°
Lupolengerät, empfindliche Säule	0,0964	0,0927	4,9 % pro 10°
Lupolengerät, unempfindliche Säule	0,1350	0,1268	3,7 % pro 10°

Die Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für diffuse Strahlung, berechnet nach G. H. LILJEQUIST (1956a) für $T = +1^\circ \text{C}$.

- (1) Eichfaktor für isotrope Strahlung.
- (2) Eichfaktor für diffuse Strahlung bei klarem Himmel.
- (3) Temperaturkoeffizient des Eichfaktors für die Anordnung Thermosäule und Schreiber.
Angabe in Prozent des Wertes bei Null Grad.

Tabelle 6.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Solarimeter G18-1012	0,0842	39°	0,0758	16°	11 %	0,097	15 %
Lupolengerät, empfindliche Säule...	0,0964	18°	0,0927	14°	4 %	0,098	1,5 %
Lupolengerät, unempfindliche Säule	0,1350	37°	0,1268	29°	6 %	0,148	10 %

Vergleich der Eichfaktoren ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für diffuse Strahlung und senkrechte Bestrahlung.

- (1) Eichfaktor für diffuse isotrope Strahlung $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$.
- (2) Entsprechende Sonnenhöhe aus der Eichkurve (Abb. 1).
- (3) Eichfaktor für diffuse Strahlung bei klarem Himmel $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$.
- (4) Entsprechende Sonnenhöhe aus der Eichkurve (Abb. 1).
- (5) Differenz (%) zwischen beiden Eichfaktoren (1 und 3).
- (6) Eichfaktor für senkrechte Bestrahlung $h = 90^\circ$, $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$.
- (7) Prozentueller Unterschied zwischen dem Eichfaktor für isotrope Strahlung und dem Eichfaktor für senkrechte Bestrahlung (1 und 6).

Tabelle 7.

	Tempera- turkoeffi- zient pro						
	f_{LWV}	f_{LWV}	f_{LWV}	f_{KW}	$\frac{f_{LWV}}{f_{KW}}$	$\frac{f_{LWnV}}{f_{LWV}}$	$\frac{f_{LWnV}}{f_{KW}}$
	+ 20° C	10° C	+ 1° C	+ 1° C			
Empfindliche Säule							
Haube C	0,0936	4,9 %	0,0850	0,0964	0,88	0,85	0,75
Unempfindliche Säule							
Haube A: ab 27.6.1959..	0,1450	3,7 %	0,1350	0,1350	1,00	0,82	0,82
Unempfindliche Säule							
Haube B: bis 27.6.1959..	0,1343	3,7 %	0,1255	0,1350	0,93	0,82	0,76

Der Eichfaktor ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für langwellige und kurzwellige isotrope Strahlung beider Thermosäulen des Lupolengerätes bei ventilerter Haube. Es bedeuten:

- f_{LWV} Eichfaktor für langwellige Strahlung bei ventilerter Lupolenhaube.
 f_{LWnV} Eichfaktor für langwellige Strahlung bei nicht ventilerter Lupolenhaube.
 f_{KW} Eichfaktor für isotrope kurzwellige Strahlung.

Tabelle 8.

Bereich	Kurzwelliger Bereich 0,3–1,8 μ	Langwelliger Bereich 2,5–50,0 μ	Langwelliger Bereich 2,5–50,0 μ
Spektrale Energieverteilung	Terrestrische Sonnenstrahlung	Temperaturstrahlung eines Schwarzen Körpers $T = 287^\circ \text{ K}$	Atmosphärische Gegenstrahlung für 1 cm ppt H_2O
Haube A	29,4 %	30,4 %	29,4 %
Haube C	29,4 %	31,5 %	29,4 %

Schwächung der Strahlungsenergie im kurzwelligen und langwelligen Spektralbereich beim Durchstrahlen einer Lupolenhaube. Messung der Durchlässigkeit mittels eines Spektrographen. Annahme der spektralen Energieverteilung für das terrestrische Sonnenspektrum nach HANN-SÜRING, für die Temperaturstrahlung $T = 287^\circ \text{ K}$ nach J. C. JOHNSON (1954) und für die atmosphärische Gegenstrahlung nach CALLENDAR (1941).

Tabelle 9a.

Datum: 6. Juni 1959	Wahre Sonnenzeit										
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
1) Globalstrahlung											
exakt	1,4	2,2	4,3	9,1	17,2	25,2	34,2	42,5	50,3	57,2	62,2
2) s.f. _{isotrop}	2,7	3,9	6,8	11,7	18,6	26,5	35,5	43,7	51,3	57,8	62,4
3) Unterschied absolut											
cal/cm ² h	-1,3	-1,7	-2,5	-2,6	-1,4	-1,3	-1,3	-1,2	-1,0	-0,6	-0,2
4) Unterschied relativ											
in Prozent	-92,8	-72,3	-58,2	-28,6	-8,1	-5,2	-3,8	-2,8	-2,0	-1,0	-0,3

Vergleich der berechneten Werte der Globalstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹) an einem wolkenlosen Tag bei

- I) Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe.
- II) Unter Verwendung des Eichfaktors für isotrope, kurzwellige Strahlung.
 - 1) Wert der Globalstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹) unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eich-
 - 2) Wert der Globalstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹) unter Verwendung des Eichfaktors für isotrope,
 - 3) Differenzbetrag von 1) und 2) (absoluter Fehler cal cm⁻² h⁻¹).
 - 4) Differenzbetrag in Prozentsätzen des exakten Wertes.

Tabelle 9b.

Datum: 6. Juni 1959	Wahre Sonnenzeit										
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
1) Globalstrahlung											
exakt	1,4	2,2	4,3	9,1	17,2	25,2	34,2	42,5	50,3	57,2	62,2
2) s. 0,0795	2,6	3,7	6,5	11,2	17,8	25,4	34,1	41,9	49,0	55,1	59,4
3) Unterschied absolut											
cal/cm ² h	-1,2	-1,5	-2,2	-2,1	-0,6	-0,2	0,1	0,6	1,3	2,1	2,8
4) Unterschied relativ											
in Prozent	-85,7	-68,2	-51,2	-23,1	-3,5	-0,8	0,3	1,4	2,6	3,7	4,5

Vergleich der berechneten Werte der Globalstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹) an einem wolkenlosen Tag bei

- I) Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors von der Sonnenhöhe.
- II) Unter Verwendung jenes einheitlichen Eichfaktors (f = 0,0795 cal cm⁻² h⁻¹/Skt), der den exakten
 - 1) Wert der Globalstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹) unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eich-
 - 2) Wert der Globalstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹) unter Verwendung eines einheitlichen Eichfaktors
 - 3) Differenzbetrag von 1) und 2) (absoluter Fehler cal cm⁻² h⁻¹).
 - 4) Differenzbetrag in Prozentsätzen des exakten Wertes.

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	Tages- summe
64,5	65,5	63,0	58,4	51,6	43,5	34,6	25,7	17,1	10,9	5,3	2,5	1,6	750,0
64,4	64,8	62,8	58,7	52,7	45,6	37,6	29,4	21,4	15,1	8,5	4,6	3,0	789,5
0,1	0,7	0,2	-0,3	-1,1	-2,1	-3,0	-3,7	-4,3	-4,2	-3,2	-2,1	-2,4	-39,5
0,2	1,1	0,3	-0,5	-2,1	-4,8	-8,7	-14,4	-25,1	-38,5	-60,4	-84,0	-150,0	-5,3

folgenden Annahmen:

faktors von der Sonnenhöhe (exakter Wert).
kurzwellige Strahlung.

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	Tages- summe
64,5	65,5	63,0	58,4	51,6	43,5	34,6	25,7	17,1	10,9	5,3	2,5	1,6	750,0
61,1	61,3	59,5	55,6	49,8	43,0	35,5	27,8	20,2	14,3	8,1	4,4	2,9	750,2
3,4	4,2	3,5	2,8	1,8	0,5	-0,9	-2,1	-3,1	-3,4	-2,8	-1,9	-1,3	-0,2
5,3	6,4	5,5	4,8	3,5	1,1	-2,6	-8,2	-18,1	-31,2	-52,8	-76,0	-81,3	0,0

folgenden Annahmen:

Wert für die Tagessumme der Globalstrahlung gibt.
faktors von der Sonnenhöhe (exakter Wert).
0,0795 Skt/cal cm⁻² h⁻¹. Mit diesem Eichfaktor erhält man die exakte Tagessumme der Globalstrahlung.

Tabelle 10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Zeit	s _{Sol}	s _{Sol} - s ⁰	f ₊₁	f _t	G	s _{Lu}	s _{Lu} - s ₀	$\left(\frac{f_{\text{Sol}}}{f_{\text{KW}}}\right)_{+1}$	$\left(\frac{f_{\text{Sol}}}{f_{\text{KW}}}\right)_t$	s _{KW}	s _{LW}	f _{LWt}	E _{LW}	A	Q ₀
00-01	118	33	0,0444	0,0437	1,4	63	-22	0,672	0,680	22	-44	0,0807	-3,5	22,0	23,4
01-02	132	47	0,0467	0,0459	2,2	77	-8	0,681	0,690	32	-40	0,0807	-3,2	22,1	24,3
02-03	167	82	0,0535	0,0525	4,3	109	24	0,725	0,735	60	-36	0,0807	-2,9	22,3	26,6
03-04	226	141	0,0660	0,0647	9,1	163	78	0,785	0,797	112	-34	0,0807	-2,7	22,3	31,4
04-05	309	224	0,0786	0,0770	17,2	234	149	0,855	0,868	195	-46	0,0807	-3,7	21,3	38,5
05-06	405	320	0,0803	0,0788	25,2	315	230	0,834	0,846	271	-41	0,0807	-3,3	21,9	47,1
06-07	513	428	0,0812	0,0798	34,2	403	318	0,831	0,842	360	-42	0,0807	-3,4	21,9	56,1
07-08	612	527	0,0820	0,0807	42,5	484	399	0,840	0,850	447	-48	0,0807	-3,9	21,6	64,1
08-09	701	616	0,0828	0,0816	50,3	556	471	0,848	0,857	528	-57	0,0850	-4,8	21,2	71,5
09-10	778	693	0,0835	0,0826	57,2	620	535	0,855	0,862	597	-62	0,0850	-5,3	21,1	78,3
10-11	831	746	0,0840	0,0833	62,2	670	585	0,860	0,865	646	-61	0,0850	-5,2	21,6	83,8
11-12	854	769	0,0843	0,0838	64,5	693	608	0,864	0,868	668	-60	0,0850	-5,1	22,0	86,5
12-13	856	771	0,0853	0,0850	65,5	687	602	0,873	0,875	674	-72	0,0850	-6,1	21,3	86,8
13-14	833	748	0,0845	0,0842	63,0	661	576	0,865	0,867	648	-72	0,0850	-6,1	21,3	84,3
14-15	784	699	0,0838	0,0836	58,4	612	527	0,857	0,859	600	-73	0,0850	-6,2	21,3	79,7
15-16	712	627	0,0824	0,0823	51,6	554	469	0,843	0,844	529	-60	0,0850	-5,1	22,7	74,3
16-17	626	541	0,0805	0,0805	43,5	471	386	0,825	0,825	446	-60	0,0850	-5,1	22,8	66,3
17-18	532	447	0,0777	0,0776	34,6	380	295	0,796	0,796	356	-61	0,0850	-5,2	22,6	57,2
18-19	435	350	0,0735	0,0734	25,7	294	209	0,762	0,763	267	-58	0,0850	-4,9	22,8	48,5
19-20	340	255	0,0675	0,0672	17,1	219	134	0,735	0,737	188	-54	0,0850	-4,6	22,7	39,8
20-21	265	180	0,0610	0,0605	10,9	165	80	0,725	0,729	131	-51	0,0850	-4,3	22,5	33,4
21-22	187	102	0,0525	0,0519	5,3	112	27	0,710	0,716	73	-46	0,0850	-3,9	22,4	27,7
22-23	140	55	0,0467	0,0459	2,5	80	-5	0,681	0,690	38	-43	0,0807	-3,5	22,1	24,6
23-24	121	36	0,0444	0,0436	1,6	62	-23	0,672	0,682	24	-47	0,0807	-3,8	22,4	24,0

Beispiel für die Auswertung der Registrierung der nach oben gerichteten Thermosäulen des Solarimeters und des Lupolengerätes.

Die einzelnen Spalten bedeuten:

- 1) Stundenintervall (wahre Sonnenzeit).
- 2) Abgelesener Ausschlag (Skalenteile) für die Registrierung der Globalstrahlung (Solarimeter).
- 3) Ausschlagdifferenz zum Nullpunkt (Skalenteile).
- 4) Eichfaktor des Solarimeters ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für $+1^\circ \text{ C}$.

- 5) Eichfaktor des Solarimeters ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) für die Temperatur t , gemessen am Lupolengerät.
- 6) Globalstrahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) $G = (s_{\text{Sol}} - s_0) f_t$.
- 7) Abgelesener Ausschlag (Skalenteile) für die Registrierung des Lupolengerätes.
- 8) Ausschlagdifferenz zum Nullpunkt (Skalenteile).
- 9) Verhältnis des Eichfaktors des Lupolengerätes für kurzwellige Strahlung zum Eichfaktor des Solarimeters, bei $+1^\circ \text{ C}$ (dimensionslos).
- 10) Wie 9) bei Temperatur t , gemessen am Lupolengerät.
- 11) Errechneter Beitrag der Globalstrahlung zum Gesamtausschlag am Lupolengerät (Skalenteile) $s_{\text{KW}} = (s_{\text{Sol}} - s_0) (f_{\text{Sol}}/f_{\text{KW}}) t$.
- 12) Errechneter Beitrag der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermo säule zum Gesamtausschlag am Lupolengerät (Skalenteile) $s_{\text{LW}} = (s_{\text{Lu}} - s_0) - s_{\text{KW}}$.
- 13) Eichfaktor für langwellige Strahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}/\text{Skt}$) bei der Temperatur t .
- 14) Langwellige Strahlungsbilanz der Thermo säule: $E_{\text{LW}} = A - \sigma T_1^4$ ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$); berechnet nach: $E_{\text{LW}} = s_{\text{LW}} \cdot f_{\text{LW}t}$.
- 15) Atmosphärische Gegenstrahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$): $A = E_{\text{LW}} + \sigma T_1^4$.
- 16) Einfallende Gesamtstrahlung Q_0 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) $Q_0 = G + A$.

Tabelle 11.

	Skalenteile $s_{\text{Sol}} \frac{f_{\text{Sol}}}{f_{\text{KW}}} (\pm 3 \text{ } \%) - s_{\text{Lu}} (\pm 1 \text{ } \%) = s_{\text{LW}} (\pm)$	E_{LW}	Langwellige Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche
Mittlere Werte			
obere Säule	$204 (\pm 6) - 153 (\pm 2) = 51 (\pm 8)$	$\pm 1,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	$\pm 1,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$
untere Säule	$170 (\pm 5) - 161 (\pm 2) = 9 (\pm 7)$	$\pm 0,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	
Maximale Werte			
obere Säule	$424 (\pm 13) - 362 (\pm 4) = 62 (\pm 17)$	$\pm 2,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	$\pm 3,6 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$
untere Säule	$362 (\pm 11) - 349 (\pm 4) = 13 (\pm 15)$	$\pm 1,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	
Minimale Werte			
obere Säule	$0 (\pm 0) + 40 (\pm 0,4) = 40 (\pm 0,4)$	$\pm 0,05 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	$\pm 0,05 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$
untere Säule	$0 (\pm 0) - 0 (\pm 0) = 0 (\pm 0)$	$\pm 0,00 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	

Fehlerabschätzung zur Berechnung der langwelligen Strahlungsbilanz der Säulen und der Gletscheroberfläche. Die Berechnung der langwelligen Strahlungsbilanz der Säule E_{LW} erfolgt nach

$$E_{\text{LW}} = \left(s_{\text{Sol}} \frac{f_{\text{Sol}}}{f_{\text{KW}}} - s_{\text{Lu}} \right) f_{\text{LW}}.$$

Werte für den 31.7.1959; Erklärung im Text.

Tabelle 12.

Empfindliche Säule, 6. Juni 1959.
Energie in cal cm⁻² h⁻¹.

Wahre Sonnenzeit	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
1) Gesamt-Strahlungsbilanz der Säule, exakt	-2,1	-1,0	1,4	6,4	13,5	21,9	30,8	38,6	45,5	51,9	57,0
2) s _{Lu} · f _{isotrop}	-2,1	-0,7	2,2	7,2	13,8	21,4	29,7	37,3	44,3	50,5	55,5
3) Unterschied absolut cal cm ⁻² h ⁻¹	0,0	-0,3	-0,8	-0,8	-0,3	0,5	1,1	1,3	1,2	1,4	1,5
4) Unterschied relativ in Prozent	0,0	30,0	-57,2	-12,5	-2,2	2,3	3,5	3,5	2,6	2,7	2,6

Unempfindliche Säule, 30. Juni 1959.
Energie in cal cm⁻² h⁻¹.

Wahre Sonnenzeit	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
1) Gesamt-Strahlungsbilanz der Säule, exakt	-2,4	-1,2	0,8	5,6	12,3	21,5	29,3	37,2	44,2	50,9	55,5
2) s _{Lu} · f _{isotrop}	-1,5	0,1	2,8	8,1	14,5	22,2	29,8	37,4	44,2	50,4	54,4
3) Unterschied absolut cal cm ⁻² h ⁻¹	-0,9	-1,1	-2,0	-2,5	-2,2	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,5	1,1
4) Unterschied relativ in Prozent	3,7	91,7	-250,0	-44,7	-17,9	-3,3	-1,7	-0,5	0,0	1,0	2,0

Vergleich der berechneten Gesamt-Strahlungsbilanz an einem wolkenlosen Tag für die empfindliche

a) Berechnung mit Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors für kurzwellige Strahlung von

b) Berechnung bei Verwendung des Eichfaktors für isotrope kurzwellige Strahlung, vgl. 2).

1) Energiewert (cal cm⁻² h⁻¹) der Gesamt-Strahlungsbilanz der Thermosäule unter Berücksichtigung

2) Energiewert (cal cm⁻² h⁻¹) der Gesamt-Strahlungsbilanz der Thermosäule, wenn für das Lupolengerät

3) Differenzbetrag von 1) und 2) (absoluter Fehler cal cm⁻² h⁻¹).

4) Differenzbetrag in Prozentsätzen des exakten Wertes.

Die Gesamt-Strahlungsbilanz der Säule ist: Q₀ - σT_i⁴.

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	Tages- summe
59,4	59,4	56,9	52,2	46,5	38,4	29,4	20,8	12,5	6,6	1,4	-1,0	-2,2	644,2
58,0	57,7	55,3	50,5	45,0	37,2	28,4	20,0	12,8	7,6	2,5	-0,5	-2,1	631,5
1,4	1,7	1,6	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8	-0,3	-1,0	-1,1	-0,5	-0,1	12,7
2,4	2,9	2,8	3,3	3,2	3,1	3,4	3,8	-2,4	-15,2	-78,6	50,0	4,5	2,0

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	Tages- summe
58,7	58,0	55,8	52,0	44,8	37,0	28,8	20,8	13,0	6,6	1,5	-1,2	-2,4	627,1
57,2	57,7	55,7	52,3	46,0	38,6	31,4	23,8	16,3	9,8	3,9	0,5	-1,2	654,4
1,5	0,3	0,1	-0,3	-1,2	-1,6	-2,6	-3,0	-3,3	-3,2	-2,4	-1,7	-1,2	-27,3
2,6	0,5	0,2	-0,6	-2,7	-4,3	-9,0	-14,4	-25,4	-48,5	-160,0	142,0	50,0	4,4

und die unempfindliche Säule des Lupolengerätes bei folgenden Annahmen:
der Sonnenhöhe und des Eichfaktors für langwellige Strahlung, vgl. 1).
der Sonnenabhängigkeit des Eichfaktors (exakter Wert).
und das Solarimeter der Eichfaktor für isotrope kurzwellige Strahlung verwendet wird.

Empfindliche Säule 6. Juni 1959.
Energie in cal cm⁻² h⁻¹.

Tabelle 13.

Wahre Sonnenzeit	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
1) Langwellige Strahlungs- bilanz der Säule, exakt.....	-3,5	-3,2	-2,9	-2,7	-3,7	-3,3	-3,4	-3,9	-4,8	-5,3	-5,2
2) $s_{Lu} \cdot f_{isotrop} - s_{Sol} \cdot f_{isotrop}$	-4,8	-4,6	-4,6	-4,5	-4,8	-5,1	-5,8	-6,4	-7,0	-7,3	-6,9
3) Unterschied absolut cal cm ⁻² h ⁻¹	1,3	1,4	1,7	1,8	1,1	1,8	2,4	2,5	2,2	2,0	1,7
4) Unterschied relativ in Prozent	-37,2	-43,8	-58,7	-66,6	-29,7	-54,6	-70,7	-64,2	-45,8	-37,7	-32,7

Unempfindliche Säule 30. Juni 1959.
Energie in cal cm⁻² h⁻¹.

Wahre Sonnenzeit	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
1) Langwellige Strahlungs- bilanz der Säule, exakt.....	-3,8	-3,4	-3,8	-3,9	-5,1	-3,9	-4,7	-5,4	-5,7	-4,9	-5,5
2) $s_{Lu} \cdot f_{isotrop} - s_{Sol} \cdot f_{isotrop}$	-4,1	-3,9	-4,3	-4,0	-4,2	-4,5	-5,4	-6,3	-6,4	-5,8	-6,5
3) Unterschied absolut cal cm ⁻² h ⁻¹	0,3	0,5	0,5	0,1	-0,9	0,6	0,7	0,9	0,7	0,9	1,0
4) Unterschied relativ in Prozent	-7,9	-11,8	-10,5	-2,6	17,7	-15,4	-14,9	-16,6	-12,3	-18,4	-18,2

Tabelle 14.

Bezeichnung der Strahlung	Bezeichnung der Thermosäule	Energie exakt	absoluter Fehler	relativer Fehler
Gesamt-Strahlungsbilanz der Thermosäule	Empfindliche Thermosäule	644,2	12,7	2,0 %
	Unempfindliche Thermosäule	627,1	-27,3	4,4 %
Langwellige Strahlungsbilanz der Thermosäule	Empfindliche Thermosäule	-105,8	51,8	49,0 %
	Unempfindliche Thermosäule	-118,6	8,7	6,3 %
Atmosphärische Gegenstrahlung	Empfindliche Thermosäule	527,2	51,8	9,8 %
	Unempfindliche Thermosäule	578,6	8,7	1,5 %

Übersicht zum Fehler der Tagessummen der Strahlungsenergie (cal/cm² Tag) bei Nichtberücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors. Fehlerangabe im Vergleich zum Wert, der bei Verwendung des Eichfaktors für isotrope Strahlung gewonnen wurde. Empfindliche Säule 6. Juni und unempfindliche Säule 30. Juni 1959.

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	Tages- summe
-5,1	-6,1	-6,1	-6,2	-5,1	-5,1	-5,2	-4,9	-4,6	-4,3	-3,5	-3,9	-3,8	-105,8
-6,4	-7,1	-7,5	-8,2	-7,7	-8,4	-9,2	-9,0	-8,6	-7,5	-6,0	-5,1	-5,1	-157,6
1,3	1,0	1,4	2,0	2,6	3,3	4,0	4,1	4,0	3,2	2,1	1,6	1,3	51,8
-25,5	-16,4	-23,0	-32,2	-51,0	-64,8	-76,9	-83,7	-87,0	-74,4	-53,8	-45,7	-34,2	49,0

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	Tages- summe
-4,7	-6,3	-6,3	-5,3	-5,9	-5,9	-6,1	-5,4	-5,0	-4,5	-3,5	-4,3	-4,3	-118,6
-6,0	-5,8	-6,0	-5,3	-5,8	-6,2	-6,4	-6,4	-6,1	-5,3	-5,3	-5,0	-2,3	-127,3
1,3	-0,5	-0,3	0,0	-0,1	0,3	0,3	1,0	1,1	0,8	0,8	0,7	-2,0	8,7
-27,7	7,9	4,8	0,0	1,7	-5,1	-4,9	-18,5	-22,0	-17,8	-17,8	-16,3	46,5	6,3

Text zu Tabelle 13.

Vergleich der berechneten langwelligen Strahlungsbilanz an einem wolkenlosen Tag für die empfindliche und unempfindliche Säule des Lupolengerätes bei folgenden Annahmen:

- a) Berechnung mit Berücksichtigung der Abhängigkeit des Eichfaktors für kurzwellige Strahlung von der Sonnenhöhe und des Eichfaktors für langwellige Strahlung, vgl. 1).
- b) Berechnung bei Verwendung des Eichfaktors für isotrope, kurzwellige Strahlung, vgl. 2).

- 1) Stundensummen ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule unter Berücksichtigung der Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors (exakter Wert).
- 2) Stundensummen ($\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) der langwelligen Strahlungsbilanz der Thermosäule, wenn für das Lupolengerät und für das Solarimeter der Eichfaktor für isotrope kurzwellige Strahlung verwendet wird.
- 3) Differenzbetrag von 1) und 2), absoluter Fehler in $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.
- 4) Differenzbetrag in Prozentsätzen des exakten Wertes.

Tabelle 15.

Albedo	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %
Gesamt-Strahlungsbilanz cal/cm² Tag	-10	60	130	200	270	340
Relativer Fehler	+270%	-46%	-21%	-14%	-10%	-8%

Relativer Fehler der Tagessumme bei Registrierung der Gesamt-Strahlungsbilanz bei direkter Sonne.

Annahmen: Globalstrahlung 700 cal/cm² Tag, langwellige Strahlungsbilanz -80 cal/cm² Tag, absoluter Fehler der Gesamt-Strahlungsbilanz -27,3 cal/cm² Tag (vergleiche Tab. 14).

Stundensummen des registrierten Strahlungshaushaltes.
+ Bedeutet Berechnung mit Annahmen.
Globalstrahlung cal cm⁻² h⁻¹.

Tabelle 16a.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Juni 1959											
4.	1,1	1,4	1,7	4,1	7,9	13,9	25,7	33,8	51,6	53,3	64,5
5.	1,4	2,1	4,5	10,0	16,6	26,2	35,1	43,5	51,4	58,0	62,9
6.	1,4	2,2	4,3	9,1	17,2	25,2	34,2	42,5	50,3	57,2	62,2
7.	1,5	2,3	4,3	9,2	17,4	25,7	34,5	42,9	50,7	57,2	61,8
8.	0,8	1,3	2,8	4,6	9,1	15,1	38,9	27,0	45,2	52,2	49,9
9.	0,8	1,2	1,9	3,8	6,7	10,5	15,4	21,3	29,6	34,5	37,5
10.	1,1	1,7	3,3	6,4	9,6	13,7	18,6	23,7	28,3	34,9	41,0
11.	0,9	1,7	2,5	6,4	10,9	16,7	25,5	35,0	49,2	58,3	57,9
12.	2,1	3,2	4,1	7,2	12,4	17,8	28,6	37,1	46,7	53,1	60,7
13.	1,7	2,1	3,9	6,6	11,2	21,7	28,0	43,8	55,9	55,0	63,2
14.	1,2	2,4	4,0	6,1	8,3	13,3	20,7	25,7	30,6	37,7	33,6
15.	1,9	2,5	3,7	6,6	9,8	15,3	22,5	26,6	36,5	44,5	52,3
16.	1,3	4,0	3,8	15,3	25,2	34,6	40,4	44,9	52,5	59,1	63,5
17.	2,3	2,9	5,4	10,9	19,5	27,8	36,4	45,0	52,8	59,4	64,0
18.	1,3	5,9	6,8	7,8	13,7	26,8	24,7	40,1	46,8	58,9	63,0
19.	2,1	3,2	5,8	10,3	11,3	17,9	27,3	41,4	54,9	62,6	59,0
20.	1,7	2,2	5,3	13,2	17,8	26,2	34,7	42,2	51,3	58,6	67,9
21.	0,8	4,5	5,8	6,7	12,0	17,5	19,7	20,9	23,4	35,8	43,0
22.	1,4	1,5	3,7	5,3	9,0	9,6	15,4	21,0	24,3	30,9	32,8
23.	1,4 ⁺	2,0 ⁺	3,0 ⁺	5,3 ⁺	6,3 ⁺	9,1 ⁺	15,2 ⁺	25,0 ⁺	42,6	56,3	58,5
24.	1,8	2,6	4,9	10,2	18,2	26,4	35,2	43,6	51,3	57,5	61,9
25.	1,8	2,8	5,3	10,4	18,3	26,0	34,4	42,6	50,2	55,8	56,9
26.	1,3	3,3	5,2	10,0	17,9	25,8	34,4	42,6	49,4	55,2	59,8
27.	1,7	2,7	5,1	10,4	18,3	26,1	34,1	42,6	50,1	56,9	61,0
28.	1,6	2,6	5,0	10,0	17,8	25,9	34,0	42,3	49,8	55,9	60,6
29.	1,5	2,4	3,7	9,6	17,4	24,9	33,3	42,2	49,8	55,4	60,0
30.	1,4	2,2	4,6	9,5	17,4	25,4	34,0	42,6	49,9	55,8	61,0
Juli 1959											
1.	1,7	2,5	4,9	10,3	18,4	26,3	34,8	43,4	51,7	57,5	62,9
2.	1,7	2,6	5,1	10,3	18,4	27,4	36,3	36,3	41,7	53,5	62,3
3.	1,2	1,9	4,0	8,5	14,3	19,8	34,5	38,8	48,3	61,5	68,3
4.	1,5	2,1	4,4	7,6	17,0	25,8	34,3	41,2	49,4	53,1	60,4
5.	0,9	3,1	4,3	3,4	7,6	19,7	21,9	25,5	39,0	42,0	57,5
6.	1,0	2,9	4,3	9,0	15,4	16,9	33,4	33,7	55,3	46,9	43,4
7.	0,8	1,5	3,1	5,6	11,0	17,3	29,5	36,7	36,7	34,5	44,9
8.	0,4	0,5	2,4	5,9	9,4	12,5	16,0	24,0	28,3	27,5	32,3
9.	0,7	1,0	1,7	3,8	7,4	10,1	14,7	23,5	42,0	59,0	61,8
10.	1,6	2,5	6,1	9,9	17,4	25,9	34,1	42,7	42,1	56,7	62,0
11.	1,6	4,6	7,4	10,9	20,9	19,6	22,9	28,8	33,5	39,8	32,7
12.	0,7	1,3	4,7	5,8	7,9	15,1	20,5	40,1	35,4	26,7	21,6
13.	0,4	0,8	1,3	3,4	8,1	8,0	13,5	25,3	30,6	37,5	46,4
14.	0,5	0,8	1,6	3,8	5,9	8,2	11,5	13,1	20,7	23,0	21,5

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
58,0	43,2	39,5	35,9	41,2	42,3	33,5	24,9	16,4	9,7	4,7	2,3	1,4
64,9	69,2	62,0	57,5	50,9	43,3	34,7	25,6	17,1	11,1	7,1	2,8	1,8
64,5	65,5	63,0	58,4	51,6	43,5	34,6	25,7	17,1	10,9	5,3	2,5	1,6
64,1	65,0	62,4	57,4	50,8	42,8	34,3	24,8	16,4	6,7	3,1	1,3	0,8
58,7	55,8	58,6	57,4	37,7	27,4	19,2	14,1	9,4	5,3	2,7	1,3	0,8
38,6	38,8	38,0	37,9	32,8	26,1	19,4	13,9	8,8	5,7	3,2	1,6	1,2
48,6	52,6	57,6	60,2	51,1	44,2	31,2	19,2	12,0	7,0	3,7	1,9	1,2
55,8	55,3	52,2	49,3	35,2	32,2	20,9	18,5	10,8	7,3	4,1	3,1	2,1
60,8	52,1	59,2	53,4	51,1	43,2	35,2	26,2	17,7	10,5	6,4	2,6	0,9
67,5	67,5	69,7	63,8	42,7	34,1	29,0	17,8	9,9	8,5	3,8	1,4	1,1
30,8	45,4	34,9	37,3	35,7	26,4	19,1	12,9	9,7	7,0	5,4	2,5	1,4
59,0	51,6	47,2	42,6	38,7	32,0	23,5	15,5	10,0	6,2	3,4	2,1	1,4
66,0	67,0	64,1	59,3	52,0	44,2	35,5	26,6	18,0	8,3	5,9	3,2	2,1
66,5	67,3	64,0	59,2	52,2	44,0	35,5	26,5	17,9	10,9	5,9	3,1	1,7
65,7	66,7	63,5	58,3	51,2	43,7	35,2	26,2	18,0	11,1	5,6	3,0	2,0
65,5	66,7	62,8	52,0	53,3	43,2	36,1	28,0	19,9	11,9	6,2	3,1	1,7
59,7	66,4	66,5	59,0	56,8	40,8	36,9	31,6	17,9	12,1	4,4	3,6	1,6
53,8	55,5	48,6	55,2	40,8	46,3	28,2	22,2	14,4	6,8	3,1	1,9	1,4
37,0	40,0	33,8	43,8	31,5	15,9	15,2	9,1	6,3	5,3	3,0 ⁺	2,0 ⁺	1,4 ⁺
64,1	64,5	61,5	56,7	50,1	42,6	34,6	25,7	18,0	10,3	5,5	2,9	2,0
64,5	65,2	62,3	57,8	51,4	43,9	35,7	26,5	18,0	11,0	5,9	3,2	1,9
39,6	65,4	60,6	54,2	48,6	27,2	25,1	28,1	13,9	14,7	6,8	1,2	0,7
62,0	62,9	60,5	55,6	49,6	42,3	34,4	26,0	17,6	10,8	5,7	3,1	2,0
63,4	64,0	61,8	56,4	50,1	42,4	34,2	25,2	17,3	10,8	5,7	3,1	1,8
62,7	63,6	61,3	56,3	49,7	41,9	33,8	25,0	15,3	9,4	5,0	2,7	1,6
61,5	62,3	60,1	55,6	49,3	41,6	33,8	25,1	17,0	10,5	5,6	2,8	1,6
63,4	64,3	62,1	57,3	50,7	42,9	34,9	26,2	18,0	11,1	6,0	3,1	1,9
65,2	66,2	59,2	52,3	51,4	44,5	35,8	26,6	18,4	11,5	6,0	3,1	2,0
64,4	65,1	62,8	58,0	51,1	43,5	35,3	26,3	18,1	12,3	7,0	3,2	1,9
52,3	67,3	56,2	55,1	50,5	42,7	34,6	27,2	20,2	11,4	5,9	2,6	1,4
65,0	64,6	62,0	57,2	46,4	33,8	36,0	26,6	16,7	7,4	2,8	1,3	1,3
65,6	63,3	62,7	58,2	51,6	47,5	37,0	20,1	8,5	4,8	3,5	2,0	1,8
50,3	58,7	62,8	55,7	49,2	41,3	29,7	24,7	16,5	11,4	5,3	2,5	2,3
55,9	31,9	22,9	21,5	18,1	12,1	13,4	11,4	6,5	3,5	1,3	1,0	0,6
31,6	33,3	35,5	28,3	33,2	19,4	16,7	9,7	7,9	4,9	2,5	1,3	0,7
63,0	65,9	63,0	58,1	53,6	42,7	33,3	24,4	16,5	9,9	5,6	3,1	1,3
63,4	63,9	61,8	55,5	40,1	36,9	30,2	27,9	18,4	11,6	5,2	2,9	1,6
35,2	35,6	35,1	28,1	24,5	18,1	11,7	5,1	5,1	2,1	2,9	1,3	0,8
18,1	15,2	18,9	16,0	16,5	16,3	8,4	6,6	5,5	2,3	1,3	0,7	0,6
38,2	40,7	37,9	38,1	36,1	41,6	32,9	24,0	18,3	6,8	3,8	1,7	1,0
20,0 ⁺	20,0 ⁺	20,0 ⁺	20,0 ⁺	20,0 ⁺	20,0 ⁺	19,0	11,4	7,1	4,7	2,4	0,7	0,3

(Fortsetzung)

Tabelle 16a

Globalstrahlung cal cm⁻² h⁻¹.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
15.	0,5	1,8	3,1	6,3	10,7	15,6	24,4	30,2	44,2	54,9	54,4
16.	0,4	0,9	2,6	7,9	15,5	23,3	31,8	40,3	48,7	56,4	61,6
17.	0,9	1,7	3,7	8,1	15,6	23,4	31,8	40,3	48,4	54,5	58,8
18.	0,6	1,2	1,3	4,3	9,3	14,2	11,6	14,9	18,2	20,9	31,4
19.	0,8	1,0	2,5	6,3	13,6	22,5	31,0	39,8	47,6	54,0	59,0
20.	0,3	0,8	2,0	6,2	13,3	22,3	31,1	39,7	47,1	53,2	57,3
21.	0,8	0,2	0,7	1,4	2,8	4,3	7,2	15,4	23,7	24,5	31,0
22.	0,0	0,3	1,0	3,3	9,0	14,3	15,9	23,0	28,8	43,9	54,1
23.	0,3	0,6	1,0	3,2	5,2	9,2	14,0	18,3	34,1	42,1	43,5
24.	0,2	0,5	2,4	6,6	20,4	16,8	34,5	39,1	36,8	36,9	51,2
25.	0,2	0,3	1,0	7,1	9,2	20,9	29,1	37,8	45,4	51,3	56,1
26.	0,1	0,2	1,6	5,0	11,8	20,7	29,1	36,1	42,7	47,8	55,8
27.	0,3	0,3	1,1	2,6	3,3	6,9	10,8	31,2	27,7	46,0	55,0
28.	0,1	0,4	1,7	3,4	5,5	8,3	12,5	31,8	44,1	26,2	28,3
29.	0,1	0,1	0,4	2,8	5,7	8,3	20,7	23,1	25,0	49,1	50,7
30.	0,0	0,0	0,4	1,5	4,2	10,5	22,8	21,9	31,6	36,9	41,2
31.	0,0	0,1	0,6	2,6	9,7	18,9	28,0	36,5	44,3	50,8	55,0
August 1959											
1.	0,0	0,0	0,8	3,3	9,3	19,0	27,8	37,0	44,6	53,6	50,0
2.	0,0	0,4	1,4	2,0	4,3	5,5	8,3	15,4	20,7	33,0	34,4
3.	0,1	0,0	0,8	3,3	10,3	19,9	28,3	36,1	43,6	50,0	54,4
4.	0,2	0,2	0,7	3,2	8,5	18,4	27,1	36,1	43,4	50,8	34,4
5.	0,0	0,1	0,6	1,7	6,7	12,1	14,0	22,1	27,8	40,4	36,2
6.	0,0	0,2	1,1	3,9	10,0	19,6	28,8	37,7	42,1	48,1	44,8
7.	0,0	0,0	0,7	4,5	15,4	17,8	22,9	27,6	28,4	27,6	26,7
8.	0,0	0,1	0,7	2,9	4,7	8,7	13,3	21,4	24,6	37,1	40,6

(fortgesetzt).

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
55,5	55,8	54,7	57,8	50,6	36,2	28,7	25,1	10,1	5,1	2,6	1,3	0,5
65,1	61,5	58,5	53,9	47,4	39,8	32,9	24,4	15,3	8,6	4,3	2,0	1,1
61,1	61,8	59,3	54,3	47,6	39,9	31,6	22,5	14,7	7,7	4,2	1,9	0,4
34,0	33,2	40,4	40,0	26,6	20,3	20,1	20,4	17,6	8,8	4,5	1,6	0,6
60,6	60,3	57,6	52,8	46,6	39,9	31,4	21,9	14,0	7,5	3,4	1,3	0,5
59,3	59,1	56,4	52,0	46,0	38,5	30,2	20,5	10,4	5,5	2,8	1,7	0,9
35,8	39,9	37,3	29,8	22,9	20,3	13,4	8,9	6,9	3,3	2,2	0,8	0,5
54,8	60,0	55,9	50,3	28,0	21,5	21,7	22,6	17,1	9,0	1,8	0,9	0,3
58,7	59,7	55,2	47,5	33,9	32,3	31,1	22,9	9,5	1,7	0,8	0,4	0,2
59,6	57,9	61,4	54,6	53,3	34,4	18,5	10,7	6,9	2,5	0,8	0,3	0,2
58,7	59,4	56,3	51,5	45,4	39,1	31,5	23,7	17,0	8,1	3,1	0,3	0,1
57,8	42,8	47,9	51,3	40,7	34,7	30,8	18,6	5,2	5,0	1,9	0,8	0,5
54,4	44,3	43,9	53,1	43,6	36,3	22,3	6,9	4,1	1,3	0,5	0,3	0,1
31,4	24,9	44,1	31,0	47,0	36,3	28,2	24,0	9,7	6,9	4,5	0,6	0,0
58,8	52,3	42,8	49,2	34,4	17,3	13,2	7,3	3,5	1,8	0,6	0,0	0,0
42,7	55,3	44,6	43,0	37,3	35,5	22,5	7,8	3,7	1,9	0,7	0,1	0,0
57,4	57,6	54,5	49,7	43,1	34,8	25,7	18,2	11,3	5,3	1,6	0,2	0,0
57,4	57,0	54,3	43,7	37,7	25,1	13,6	10,6	8,1	4,4	0,5	0,2	0,0
33,9	24,8	24,3	29,2	30,1	23,1	17,7	8,0	4,6	2,1	0,7	0,3	0,1
56,8	56,5	54,6	50,0	43,0	35,2	25,8	17,7	10,2	4,4	1,4	0,2	0,2
41,9	53,8	42,0	22,4	14,1	10,7	8,3	6,3	2,4	1,1	0,1	0,0	0,0
56,4	57,1	54,9	46,4	39,2	31,1	22,0	13,9	7,2	2,6	0,4	0,0	0,0
54,9	54,3	50,9	45,1	38,1	30,3	19,8	14,2	6,8	2,3	0,2	0,0	0,0
30,4	37,2	19,6	15,8	15,7	8,4	5,6	5,2	2,0	0,6	0,2	0,1	0,0
34,8	30,4	26,6	23,1	19,3	16,0	12,4	7,3	2,7	1,1	0,1	0,0	0,0

Stundensummen des registrierten Strahlungshaushaltes.

Tabelle 16b.

+ Bedeutet Berechnung mit Annahmen.

Reflektierte Globalstrahlung cal cm⁻² h⁻¹.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Juni 1959											
4.	0,7 ⁺	0,9 ⁺	1,1 ⁺	2,6 ⁺	5,0 ⁺	8,8 ⁺	17,0	21,9	31,1	33,1	41,0
5.	1,4 ⁺	1,9 ⁺	3,6 ⁺	7,0 ⁺	10,8 ⁺	15,7 ⁺	20,1	25,1	29,8	33,7	36,8
6.	1,3 ⁺	1,8 ⁺	3,0 ⁺	5,9 ⁺	10,3 ⁺	15,1 ⁺	19,8	24,6	29,3	33,5	36,5
7.	1,3 ⁺	2,1 ⁺	3,4 ⁺	6,4 ⁺	11,3 ⁺	15,4 ⁺	19,5	24,6	29,3	32,7	35,9
8.	0,5 ⁺	0,8 ⁺	1,7 ⁺	2,8 ⁺	5,5 ⁺	9,0 ⁺	23,9 ⁺	16,8	27,1 ⁺	31,3 ⁺	30,0 ⁺
9.	0,6 ⁺	1,0 ⁺	1,5 ⁺	3,0 ⁺	5,4 ⁺	8,4 ⁺	13,4	17,9	24,5	28,6	31,4
10.	0,9 ⁺	1,4 ⁺	2,6 ⁺	5,1 ⁺	7,7 ⁺	11,0 ⁺	14,6	19,3	22,4	26,9	31,3
11.	0,7 ⁺	1,3 ⁺	1,9 ⁺	4,8 ⁺	8,2 ⁺	12,5 ⁺	19,2 ⁺	24,2	34,6	41,0	41,9
12.	1,7 ⁺	2,6 ⁺	3,3 ⁺	5,8 ⁺	9,9 ⁺	14,2 ⁺	22,9 ⁺	25,5	34,4	41,2	48,8
13.	1,4 ⁺	1,8 ⁺	3,1 ⁺	5,3 ⁺	8,4 ⁺	16,3 ⁺	19,6 ⁺	30,0	39,1	37,9	42,7
14.	0,9 ⁺	1,8 ⁺	3,2 ⁺	4,9 ⁺	6,6 ⁺	10,6 ⁺	16,5 ⁺	21,8 ⁺	26,0 ⁺	32,0 ⁺	28,6 ⁺
15.	1,7 ⁺	2,2 ⁺	3,3 ⁺	5,9 ⁺	8,8 ⁺	13,8 ⁺	20,3 ⁺	23,1	31,1	37,8	44,0
16.	1,0 ⁺	3,2 ⁺	3,0 ⁺	12,2 ⁺	18,9 ⁺	25,9 ⁺	27,2	32,6	39,6	45,7	50,3
17.	2,3 ⁺	2,9 ⁺	4,9 ⁺	8,7 ⁺	14,6 ⁺	19,5 ⁺	24,8	31,3	37,4	42,9	47,1
18.	1,3 ⁺	5,9 ⁺	6,1 ⁺	6,2 ⁺	9,6 ⁺	17,4 ⁺	16,0 ⁺	27,1	28,4	35,4	46,7
19.	2,1 ⁺	2,9 ⁺	4,6 ⁺	7,2 ⁺	7,3 ⁺	11,6 ⁺	16,3	27,4	37,3	43,5	42,0
20.	1,4 ⁺	1,8 ⁺	4,0 ⁺	9,8 ⁺	12,5 ⁺	18,3 ⁺	22,8	28,6	35,6	41,5	45,4
21.	0,6 ⁺	3,4 ⁺	4,3 ⁺	5,0 ⁺	9,0 ⁺	13,1 ⁺	13,6	15,9	18,6	27,0	32,5
22.	1,0 ⁺	1,1 ⁺	2,8 ⁺	4,3 ⁺	7,2 ⁺	8,2 ⁺	13,1 ⁺	18,3	22,2	27,1	27,8
23.	0,9 ⁺	1,3 ⁺	2,0 ⁺	3,4 ⁺	4,0 ⁺	5,7 ⁺	9,3 ⁺	15,0 ⁺	22,2	33,0	34,0
24.	2,7 ⁺	3,3 ⁺	4,8 ⁺	6,7 ⁺	9,8 ⁺	13,7 ⁺	16,7	21,6	25,4	28,6	30,9
25.	1,5	2,2	3,8	6,4	9,3	13,4	16,9	20,5	24,3	28,2	26,9
26.	2,6 ⁺	4,4 ⁺	4,8 ⁺	7,0 ⁺	10,3 ⁺	13,4 ⁺	16,8	19,4	21,9	24,6	26,7
27.	2,6 ⁺	2,9 ⁺	5,3 ⁺	6,3 ⁺	9,1 ⁺	12,7 ⁺	15,8	18,8	21,7	23,9	26,1
28.	2,7 ⁺	3,8 ⁺	5,8 ⁺	5,0	8,4	11,5	15,0	18,2	20,0	23,3	25,3
29.	1,8 ⁺	2,2 ⁺	2,8 ⁺	5,8	8,7	11,8	15,2	19,6	22,6	24,5	26,2
30.	2,0 ⁺	2,3 ⁺	3,6 ⁺	5,8 ⁺	8,8 ⁺	12,4 ⁺	16,0	19,5	23,1	25,9	28,0
Juli 1959											
1.	1,8 ⁺	2,1 ⁺	3,2 ⁺	5,6 ⁺	8,4 ⁺	12,1 ⁺	16,3	20,2	24,0	26,6	29,9
2.	1,7 ⁺	2,4 ⁺	3,6 ⁺	6,2 ⁺	10,0 ⁺	13,7 ⁺	20,0	18,4	20,5	31,0	32,8
3.	1,0 ⁺	1,3 ⁺	2,4 ⁺	4,8 ⁺	8,3 ⁺	11,6 ⁺	18,3	20,7	25,8	33,6	37,4
4.	1,6 ⁺	2,5 ⁺	3,7 ⁺	4,2 ⁺	9,9 ⁺	14,1 ⁺	18,5	22,5	26,5	30,1	31,6
5.	1,0 ⁺	1,5 ⁺	2,6 ⁺	1,8 ⁺	4,0 ⁺	8,6 ⁺	12,9	13,9	20,6	21,0	30,1
6.	1,2 ⁺	2,6 ⁺	3,5 ⁺	6,2 ⁺	7,3 ⁺	9,3 ⁺	18,5 ⁺	19,9	27,2	24,7	23,4
7.	1,0 ⁺	1,1 ⁺	1,7 ⁺	3,0 ⁺	5,7 ⁺	9,6 ⁺	14,8 ⁺	20,1 ⁺	19,1 ⁺	18,6 ⁺	22,3 ⁺
8.	0,5 ⁺	0,4 ⁺	1,3 ⁺	3,7 ⁺	7,0 ⁺	8,6 ⁺	10,4	17,2	18,3	18,6	22,1
9.	0,6 ⁺	0,8 ⁺	1,4 ⁺	3,2 ⁺	6,3 ⁺	8,6 ⁺	12,5 ⁺	20,7	33,3	44,4	47,3
10.	1,6 ⁺	2,4 ⁺	5,5 ⁺	8,9 ⁺	14,8 ⁺	22,0 ⁺	27,3 ⁺	34,2 ⁺	34,3	38,9	43,7
11.	1,6 ⁺	4,0 ⁺	5,7 ⁺	7,8 ⁺	13,5 ⁺	13,8 ⁺	17,0 ⁺	19,6	23,2	25,8	22,3
12.	1,3 ⁺	1,9 ⁺	2,7 ⁺	3,6 ⁺	4,8 ⁺	8,0 ⁺	9,1	17,2	17,1	14,3	11,8
13.	0,9 ⁺	0,9 ⁺	1,3 ⁺	1,8 ⁺	3,5 ⁺	4,1 ⁺	6,4	11,9	15,5	18,4	22,7
14.	0,7 ⁺	0,8 ⁺	1,2 ⁺	1,9 ⁺	3,2 ⁺	4,5 ⁺	6,6 ⁺	7,3	10,9	12,4	11,8

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
35,4	28,2	26,3	24,0	27,7	27,6	22,6	15,3	12,8	8,2	4,7	2,4	1,4 ⁺
37,9	38,0	35,9	33,5	30,3	27,6	21,5	16,7	12,5	6,6	4,3 ⁺	2,2 ⁺	1,6 ⁺
38,7	38,5	37,1	34,7	31,3	26,5	22,1	17,3	12,9	8,6	4,8	2,2 ⁺	1,4 ⁺
36,9	37,4	35,7	33,3	30,2	26,1	21,2	16,9	9,8 ⁺	4,0 ⁺	1,9 ⁺	0,8 ⁺	0,5 ⁺
35,2 ⁺	33,4 ⁺	35,4	32,6	23,1	17,0	12,2	9,1	6,1	3,5	1,9	0,9 ⁺	0,6 ⁺
32,2	32,5	31,8	30,9	26,7	21,4	15,8	11,3	7,1	4,5	2,5	1,3 ⁺	1,0 ⁺
36,4	39,2	41,0	44,8	38,5	33,3	23,1	13,8	9,0	5,3	2,5	1,4 ⁺	0,9 ⁺
41,1	41,2	39,4	37,8	27,0	25,4	16,9	15,8	9,3	6,3	2,7	2,5 ⁺	1,7 ⁺
53,4	45,8	52,8	41,1	41,3	35,7	29,9	23,4	17,0	9,8	5,8 ⁺	2,3 ⁺	0,8 ⁺
47,2	46,7	49,6	45,6	31,0	24,9	21,9	12,3	7,4	6,2	2,8 ⁺	1,0 ⁺	0,8 ⁺
26,2 ⁺	38,6 ⁺	31,3	32,7	30,5	23,6	17,3	11,7	8,7	6,6	4,9 ⁺	2,2 ⁺	1,3 ⁺
49,0	46,5	41,1	35,6	32,3	27,3	19,7	13,3	8,9	5,7	2,9	1,7 ⁺	1,1 ⁺
53,0	53,6	52,0	48,5	43,3	37,1	30,5	23,7	17,5	11,6	5,9 ⁺	3,2 ⁺	2,1 ⁺
49,7	50,1	48,8	44,5	40,4	34,6	28,6	22,7	16,5	10,9	6,3	3,1 ⁺	1,7 ⁺
48,9	49,4	46,5	42,4	36,9	32,1	26,6	20,7	15,7	11,5	6,5	3,0 ⁺	2,0 ⁺
47,0	48,0	45,4	39,0	39,8	31,3	26,9	21,2	17,4	11,3	5,6	2,6 ⁺	1,4 ⁺
44,0	48,7	47,2	41,7	41,2	28,2	25,0	20,1	12,8	9,1	4,1	2,7 ⁺	1,2 ⁺
40,3	38,0	33,7	34,8	33,3	32,6	18,0	15,1	10,4	4,6	2,1	1,3 ⁺	1,0 ⁺
31,1	32,3	27,2	33,0	23,4	12,4	11,7	7,3	4,9	3,7	2,1 ⁺	1,4 ⁺	1,0 ⁺
36,7	36,1	34,8	32,3	28,5	24,2	20,3	15,6	11,0	6,7	4,9 ⁺	3,4 ⁺	2,7 ⁺
32,3	32,3	31,1	29,2	26,5	23,1	19,1	15,4	11,1	7,4	4,6	2,6	1,7
19,8	32,4	30,0	27,1	24,7	13,5	12,4	12,9	6,6	7,0	4,3 ⁺	2,6 ⁺	2,2 ⁺
28,2	28,3	27,8	25,6	23,1	20,2	16,8	13,6	10,1	7,3	4,8 ⁺	3,6 ⁺	2,9 ⁺
27,4	27,8	26,7	25,0	22,5	19,6	24,8	13,5	9,6	6,6	3,9	2,9 ⁺	2,2 ⁺
26,6	27,0	26,4	24,9	22,5	19,4	16,3	13,5	9,7	6,7	3,5 ⁺	2,3 ⁺	1,7 ⁺
27,8	27,8	26,8	25,0	22,7	19,5	16,5	13,5	9,5	6,3	4,7 ⁺	3,1 ⁺	2,2 ⁺
29,4	30,0	29,0	27,1	24,6	21,4	18,0	14,5	10,3	7,5	4,9	3,1 ⁺	2,4 ⁺
31,6	32,4	31,2	27,8	27,0	24,5	20,6	16,8	13,0	8,8	5,5 ⁺	3,2 ⁺	2,0 ⁺
34,0	34,1	33,3	31,0	28,0	24,7	21,0	16,7	12,7	7,2	5,1 ⁺	2,7 ⁺	1,4 ⁺
29,3	35,9	32,1	29,8	28,1	24,4	20,2	16,3	12,2	8,9	5,6 ⁺	3,0 ⁺	1,5 ⁺
35,9	35,6	34,2	28,4	26,6	19,0	20,1	15,6	9,4	4,2	1,7 ⁺	1,0 ⁺	1,1 ⁺
33,6	33,2	32,3	29,7	27,5	25,6	19,3	11,2	5,4	2,9	2,4 ⁺	1,7 ⁺	1,8 ⁺
28,0	32,8	32,0	30,6	26,4	23,7	19,6	15,7	11,3	7,3	3,2 ⁺	1,7 ⁺	1,3 ⁺
29,4 ⁺	17,6 ⁺	13,5	12,5	10,8	7,3	8,3	6,6	3,7	2,3	9,1	0,5 ⁺	0,5 ⁺
23,1	25,0	26,6	20,6	24,7	14,9	12,9	8,1	7,2	3,7	1,7 ⁺	1,1 ⁺	0,5 ⁺
37,0	50,3	49,7	45,0	38,8	33,2	27,2	21,6	16,0	10,5	5,7	3,1 ⁺	1,3 ⁺
46,3	47,2	45,7	41,5	30,8	26,8	22,0	22,0	15,7	9,8	5,0 ⁺	0,1 ⁺	0,0 ⁺
23,8	23,2	22,6	18,6	15,1	11,1	7,2	3,7	3,3	1,2	2,2 ⁺	1,5 ⁺	1,5 ⁺
9,9	8,6	10,3	8,9	8,7	8,7	5,2	3,7	3,2	1,2	0,8	0,8 ⁺	0,8 ⁺
19,8	21,1	19,3	18,8	17,1	21,6	18,5	14,3	10,7	4,2	2,3	1,3 ⁺	1,3 ⁺
11,0 ⁺	11,0 ⁺	11,0 ⁺	11,0 ⁺	11,0 ⁺	11,0 ⁺	10,6	6,7	4,7	3,1	2,2	0,8	1,0 ⁺

(Fortsetzung)

Tabelle 16b

Reflektierte Globalstrahlung cal cm⁻² h⁻¹.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
15.	1,1+	1,5+	2,4+	3,4+	5,7+	7,7+	12,5+	14,3	21,1	25,6	26,5
16.	0,8+	0,9+	2,1+	6,0+	9,2+	12,2+	17,3	20,9	24,9	28,9	30,1
17.	1,7+	2,6+	3,7+	6,0+	8,4+	12,7+	17,6+	22,0+	25,8+	28,9+	31,0+
18.	0,9+	1,4+	1,7+	2,6+	4,8+	7,7+	6,7+	8,2+	9,9+	11,7+	16,2+
19.	0,7+	1,7+	2,8+	4,9+	8,3+	12,0+	16,8+	20,8+	24,8+	27,9+	30,4+
20.	0,6+	1,0+	1,8+	4,6+	7,8+	11,9+	16,6+	20,8+	24,0+	27,4+	28,8+
21.	1,0+	0,6+	0,3+	0,8+	1,3+	1,8+	3,5+	8,0	11,8	12,5	15,5
22.	0,0	0,2	0,5	1,5	4,3	6,1	7,9	11,5	15,5	22,6	26,6
23.	0,5+	0,8+	1,0+	2,2+	3,6+	5,0	7,7	10,6	18,7	22,7	23,4
24.	0,0+	0,8+	2,1+	4,9+	10,6+	8,8+	15,9	20,1	20,4	20,5	28,4
25.	0,3+	0,3+	0,9+	4,1+	5,1+	9,6	14,8	19,7	23,7	27,4	29,4
26.	0,0	0,0	1,6	3,9	7,3	11,0	15,5	17,9	21,5	23,9	26,9
27.	0,1	0,2	0,7	1,0	1,7	3,6	5,6	12,6	13,1	20,5	24,8
28.	0,1	0,4	1,0	1,7	2,6	3,9	6,3	13,0	18,8	12,3	13,6
29.	0,1	0,1	0,1	1,2	3,0	4,2	9,6	10,6	12,9	22,6	24,4
30.	0,0	0,0	0,2	1,2	3,1	8,1	15,9	15,6	22,3	25,8	27,4
31.	0,0	0,2	0,6	2,2	7,8	12,8	17,7	22,3	26,9	31,2	34,0
August 1959											
1.	0,0	0,1	1,2	3,2	7,4	12,2	17,0	21,9	26,1	31,4	30,8
2.	0,0	0,4	1,0	1,2	2,9	3,3	4,8	8,7	11,2	17,5	19,2
3.	0,1	0,0	0,7	2,6	7,0	12,0	16,9	22,2	26,9	31,0	33,7
4.	0,4	0,4	1,1	3,2	6,6	10,7	15,5	18,8	23,0	27,4	18,7
5.	0,0	0,0	0,4	0,9	3,6	6,5	8,0	11,7	17,5	21,5	20,0
6.	0,0	0,0	1,2	3,6	7,3	11,6	16,1	20,7	23,0	26,9	30,9
7.	0,0	0,1	1,7	4,3	8,5	9,9	12,8	16,1	16,9	16,7	16,4
8.	0,0	0,0	0,6	2,3	4,2	8,5	12,7	20,7	23,0	34,1	35,0

(fortgesetzt).

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
26,9	28,2	27,5	30,0	25,6	18,7	15,3	13,0	5,7	2,1	2,2+	1,6+	1,2+
33,2	31,5	30,4	28,1	25,5	21,8	18,8	14,0	9,5	6,5	3,6	19,9	12,5
32,5+	31,9+	30,6+	28,1+	24,9+	21,4+	17,6+	13,1+	9,6+	6,4+	3,7+	1,9+	0,9+
18,2+	16,5+	19,1+	19,9+	14,0+	10,6+	9,4+	9,7+	8,1+	5,4+	2,9+	1,2+	0,7+
30,9+	30,7+	29,3+	26,5+	24,0+	19,9+	16,5+	12,8+	9,3+	5,7+	2,9+	1,6+	1,1+
29,8+	29,8	28,5	26,2	23,4	20,0	15,5	11,2	5,7	2,5	1,0	1,4+	1,1+
17,8	19,9	18,8	15,4	12,2	10,5	7,3	5,0	3,5	1,3	0,9	0,5	0,2
27,6	32,0	30,5	27,7	16,1	12,8	12,5	6,0	9,5	5,2	0,6+	0,0+	0,0+
32,2	24,0	29,4	25,7	18,6	17,4	16,9	14,6	5,9	1,7	0,7+	0,3+	0,1+
32,4	32,9	33,0	31,1	29,4	19,2	10,9	6,7	4,2	1,5	0,7	0,3	0,2
31,7	32,4	30,7	28,2	25,2	20,6	16,5	13,9	9,9	5,4	2,7	0,4	0,2
26,8	21,1	23,2	25,6	21,3	17,1	15,9	10,2	2,9	2,5	0,9	0,5	0,4
25,2	21,2	20,8	24,4	20,6	17,6	11,3	3,8	2,0	0,6	0,4	0,3	0,1
15,1	12,3	19,7	14,6	21,4	15,6	14,1	12,1	4,9	3,1	2,2	4,2	0,0
27,5	27,2	21,6	24,8	19,3	9,0	7,1	3,7	1,7	0,6	0,4	0,0	0,0
29,6	37,2	28,2	27,8	24,2	23,0	14,1	5,8	2,9	0,9	0,7	0,8	0,0
35,4	35,2	33,6	31,2	27,6	22,9	17,6	13,9	9,5	5,3	2,0	0,4	0,0
33,9	33,5	32,1	26,3	20,9	15,1	8,2	6,4	5,0	4,1	0,7	0,3	0,1
19,0	14,6	14,4	19,2	18,7	14,5	11,2	5,1	2,6	1,2	0,5	0,3	0,0
35,4	35,4	33,4	30,5	26,6	22,4	17,1	12,2	8,0	4,3	1,5	0,3	0,3
23,0	28,4	20,0	13,0	8,9	6,4	5,0	3,7	1,5	0,7	0,0	0,0	0,0
31,1	29,1	29,9	26,9	23,0	18,2	14,5	9,9	6,0	2,6	0,7	0,1	0,0
31,1	31,0	29,3	26,7	23,2	19,4	11,6	9,2	5,8	2,1	0,4	0,0	0,0
17,6	21,8	11,7	9,6	9,3	5,2	3,4	3,0	1,1	0,4	0,1	0,0	0,0
27,6	23,8	20,8	17,8	15,1	12,2	9,3	5,6	2,2	1,2	0,2	0,0	0,0

Stundensummen des registrierten Strahlungshaushaltes.
+ Bedeutet Berechnung mit Annahmen.
Atmosphärische Gegenstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹), vorläufige Auswertung.

Tabelle 16 c.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Juni 1959											
4.	25,5	25,5	25,3	25,2	24,8	24,2	23,4	23,4	20,8	25,1	30,4
5.	21,8	21,3	21,7	21,9	21,5	22,4	22,1	22,2	21,9	22,8	23,4
6.	22,0	22,1	22,3	22,3	21,3	21,9	21,9	21,6	21,2	21,1	21,6
7.	21,1	21,6	22,0	22,1	21,4	22,2	22,4	21,4	21,9	22,3	23,0
8.	26,1	26,3	26,2	26,3	25,8	26,1	15,1	7,5	23,6	24,6	27,5
9.	26,1	26,2	25,9	26,3	25,9	25,8	25,4	24,4	24,7	25,1	25,7
10.	25,1	25,0	24,7	24,7	24,6	24,2	24,1	24,3	24,3	24,1	24,4
11.	24,5	25,0	24,5	24,2	24,5	24,6	24,4	22,5	23,0	22,9	24,1
12.	25,0	25,0	24,8	24,5	23,8	23,5	22,7	21,7	22,7	22,5	24,4
13.	24,0	24,5	23,8	23,9	23,8	23,2	22,2	22,1	22,1	21,9	25,2
14.	25,2	25,6	25,4	25,4	26,0	26,1	26,2	26,9	26,6	26,5	26,8
15.	26,4	26,5	26,6	26,6	26,7	26,2	27,2	26,5	26,6	25,8	25,9
16.	25,6	25,5	25,6	21,0	18,2	17,4	19,2	20,7	20,1	20,0	20,1
17.	20,7	21,5	21,9	17,8	21,2	22,0	22,3	21,9	22,2	23,0	22,8
18.	21,5	21,1	21,2	21,2	21,6	22,8	24,2	22,7	18,9	22,6	24,5
19.	22,0	22,1	23,0	20,8	21,3	23,5	20,5	20,3	18,9	20,4	22,7
20.	21,4	21,5	21,5	18,0	20,2	21,0	21,2	21,6	21,7	22,6	19,8
21.	21,7	21,3	21,8	21,9	21,2	24,8	26,3	26,2	25,9	25,5	25,3
22.	26,8	26,8	26,9	27,0	26,9	27,3	27,3	27,7	27,1	28,1	28,0
23.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	22,8	23,9	25,3
24.	25,7	25,7	25,7	25,2	23,9	24,3	24,0	24,0	23,9	24,7	26,1
25.	24,7	24,6	24,7	25,1	24,3	24,5	24,0	24,1	24,8	26,7	24,3
26.	26,3	27,0	27,5	27,0	26,3	25,9	25,7	25,9	27,8	27,7	27,7
27.	25,7	26,0	26,7	26,6	26,5	26,2	26,1	25,9	26,8	23,9	23,8
28.	26,4	27,9	30,0	30,8	23,8	25,1	25,0	24,5	23,7	24,1	24,5
29.	25,0	25,0	24,9	24,9	23,2	25,1	25,0	24,4	23,6	24,2	24,1
30.	24,5	24,9	24,5	24,5	23,4	24,8	24,2	23,7	23,6	24,4	24,1
Juli 1959											
1.	23,4	23,6	23,1	22,7	21,0	22,4	22,3	21,3	21,4	21,3	22,3
2.	22,4	22,5	22,2	22,0	21,0	21,3	22,4	20,9	20,3	22,6	22,6
3.	22,2	22,2	21,8	21,8	22,3	23,8	22,5	22,1	22,9	23,6	23,9
4.	23,0	23,6	23,3	22,9	22,4	23,0	22,9	23,4	21,5	21,4	21,1
5.	25,1	25,8	27,4	27,0	27,0	24,5	29,0	27,1	28,1	23,1	22,7
6.	23,3	23,6	23,4	23,9	22,1	25,5	26,0	22,5	21,5	20,8	25,2
7.	27,8	27,2	26,3	25,3	25,6	28,3	24,9	25,2	25,3	27,2	23,2
8.	27,8	27,5	27,0	26,9	27,8	27,1	26,6	28,1	25,8	27,3	27,1
9.	27,3	27,3	27,0	26,6	27,8	28,4	28,0	27,0	24,4	24,2	25,7
10. ....	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	22,4
11.	22,3	22,6	23,3	23,4	25,0	24,6	26,7	26,9	28,8	27,6	28,7
12.	28,9	28,4	26,7	27,0	27,5	26,7	26,9	24,9	29,8	29,8	29,4
13.	27,9	27,5	27,8	27,3	25,8	27,9	26,6	26,8	28,3	27,5	28,0
14.	27,5	27,3	27,2	27,1	27,6	28,0	28,4	27,6	28,2	28,2	28,0

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
21,4	26,0	24,2	24,9	24,6	22,6	22,2	18,8	22,1	22,4	21,9	21,5	21,1
23,1	19,2	22,9	22,3	22,9	21,7	23,4	22,8	23,0	21,7	21,2	22,9	22,5
22,0	21,3	21,3	21,3	22,7	22,8	22,6	22,8	22,7	22,5	22,4	22,1	21,4
23,1	22,4	22,3	22,9	23,2	23,8	23,3	23,7	23,4	25,3	26,2	26,2	26,0
24,6	24,9	23,6	20,4	25,5	26,3	26,1	26,3	25,6	24,9	26,3	26,3	26,1
25,3	25,7	25,6	24,8	24,7	25,4	25,9	25,3	25,9	25,6	25,3	26,0	25,0
24,5	24,8	17,7	21,2	23,1	22,7	21,0	23,4	24,1	24,2	24,8	25,0	25,1
24,1	24,7	24,5	26,5	24,2	22,7	25,1	25,6	25,8	24,9	23,7	23,9	23,8
31,0	29,0	24,5	21,1	21,1	22,4	22,0	21,8	21,2	..	..	..	..
22,1	20,4	20,4	21,6	23,9	23,7	23,5	22,8	24,6	24,0	24,7	25,2	25,0
26,6	26,2	27,0	27,9	26,2	26,6	26,2	26,1	26,5	26,2	26,1	26,2	26,3
23,5	27,9	25,3	22,9	25,9	27,2	26,0	26,5	26,5	26,2	26,3	25,8	25,7
20,6	20,2	20,3	21,2	22,0	21,5	21,6	22,0	21,6	24,1	21,3	21,4	21,3
21,9	20,7	22,4	22,4	23,5	23,2	22,7	22,7	22,4	22,4	22,3	22,2	22,1
23,5	23,5	24,3	24,9	26,3	26,3	25,6	25,6	25,1	24,3	23,3	22,5	22,3
22,5	22,3	26,4	25,2	26,6	24,9	24,5	24,7	26,3	24,4	23,4	22,4	21,9
24,0	24,4	22,7	23,8	28,2	24,6	22,0	20,3	23,3	23,6	23,8	20,5	21,7
28,8	31,5	26,7	24,0	30,3	26,0	21,3	23,8	26,0	26,1	26,5	26,8	26,9
27,8	28,0	28,5	29,3	29,0	28,0	27,9	28,1	28,1	27,9	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺
26,2	25,1	27,4	28,7	28,8	28,2	31,8	28,5	27,3	27,0	26,8	26,3	25,9
26,0	26,1	27,9	28,8	28,7	27,5	27,1	27,2	27,4	26,8	26,1	25,4	25,2
22,1	27,7	28,5	29,2	29,6	26,5	26,8	24,5	24,6	26,2	26,3	26,7	26,1
27,6	27,8	28,9	29,9	29,0	28,8	28,0	27,9	27,8	26,8	26,8	26,1	25,9
24,0	23,1	23,2	24,5	23,4	23,5	22,7	23,8	23,8	23,9	24,5	24,5	24,5
25,0	23,4	23,6	24,8	23,8	24,2	23,9	24,6	26,7	25,8	25,1	24,4	24,4
24,9	23,5	23,8	25,2	24,6	24,7	24,0	25,2	25,0	24,9	24,9	24,8	24,5
25,1	23,6	23,6	24,6	23,9	23,7	23,3	23,8	24,1	24,4	24,2	24,0	23,7
22,6	21,1	23,4	24,7	21,3	21,9	21,3	22,5	22,6	22,6	22,3	22,7	22,5
23,2	22,1	22,2	22,4	22,1	21,8	21,7	22,4	22,5	22,0	21,8	22,4	21,9
25,5	22,5	26,5	24,1	22,8	22,2	21,8	23,1	23,0	24,4	23,5	23,6	22,9
23,3	21,9	22,2	23,9	30,5	25,2	23,1	24,9	27,5	26,5	25,8	26,7	25,8
23,1	21,7	22,9	22,1	23,2	23,0	24,8	23,8	27,9	27,6	25,3	23,6	23,6
25,5	26,2	25,3	26,1	23,7	23,4	26,2	22,8	23,1	22,8	23,6	24,2	24,0
26,5	26,5	27,1	26,8	27,6	27,2	27,7	27,1	27,2	27,6	27,4	27,2	27,7
27,3	27,3	27,6	27,5	27,5	27,5	26,6	27,8	27,4	26,5	26,8	27,9	27,8
25,7	19,9	15,0	19,3	17,4	19,6	19,6	20,1	21,1	..	..	..	..
22,1	21,9	22,2	24,8	24,7	22,0	21,4	21,1	22,3	21,6	22,6	22,4	23,0
28,6	28,6	29,6	29,5	28,6	28,9	28,4	29,5	28,8	28,9	28,2	28,5	28,8
29,1	28,9	28,5	28,1	28,4	28,3	29,2	28,6	28,7	27,9	27,5	27,9	28,0
28,6	28,1	29,1	27,2	22,8	24,7	23,9	25,1	24,8	26,1	25,8	26,3	26,4
27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,9	27,6	27,8	27,1	26,3	27,1	26,4

(Fortsetzung)

Tabelle 16 c

Atmosphärische Gegenstrahlung (cal cm⁻² h⁻¹).

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
15.	25,7	24,8	25,1	25,0	25,9	25,7	26,5	26,5	25,4	25,3	26,0
16.	24,8	24,8	23,9	23,9	24,7	24,3	23,7	22,6	23,3	24,1	23,9
17.	24,4	24,2	24,1	25,2	22,6	23,7	23,8	23,9	23,2	23,7	24,2
18.	27,2	27,0	25,1	23,9	23,3	28,0	28,0	27,5	27,7	27,9	27,1
19.	24,9	24,8	24,7	24,3	23,1	22,9	22,9	22,2	22,3	22,8	23,0
20.	22,8	22,4	23,2	23,6	22,7	22,9	23,0	22,4	22,0	22,7	23,2
21.	27,4	27,3	27,8	27,8	27,2	27,2	27,2	27,3	27,5	27,3	27,2
22.	26,9	26,6	26,7	26,3	25,7	24,1	26,1	26,9	27,1	25,6	24,8
23.	27,6	27,2	27,6	27,1	27,3	27,6	27,3	27,7	26,7	26,2	24,6
24.	22,5	23,2	24,3	24,8	25,7	22,9	22,8	23,7	24,4	27,8	24,8
25.	26,5	26,0	26,7	26,9	26,1	22,8	24,7	23,5	24,2	24,1	24,4
26.	22,6	22,9	23,8	24,5	23,2	22,8	24,4	22,3	22,5	23,4	22,7
27.	26,4	26,7	27,0	27,4	28,6	29,0	28,4	27,9	27,7	28,1	25,7
28.	25,0	24,3	25,7	26,1	26,1	26,8	26,8	23,8	25,3	28,8	28,8
29.	27,5	27,9	27,8	27,4	28,0	27,7	26,5	26,9	27,3	23,9	24,6
30.	27,3	27,1	27,3	27,0	26,8	26,9	25,9	25,9	25,4	25,5	24,0
31.	23,5	22,4	24,9	23,4	23,0	21,2	22,0	21,4	20,9	21,4	20,9
August 1959											
1.	20,9	20,7	21,5	21,9	22,0	20,4	21,1	20,9	20,8	20,4	23,3
2.	23,4	25,0	25,5	25,2	26,9	26,9	27,5	27,1	27,7	24,6	26,4
3.	26,7	26,6	25,6	26,0	25,8	24,0	24,3	23,7	22,0	21,4	24,3
4.	23,2	22,6	23,6	24,0	24,4	22,5	24,0	22,4	22,7	23,4	24,4
5.	27,3	27,3	27,5	27,2	26,6	27,4	26,9	27,1	27,6	26,0	26,1
6.	21,5	21,9	23,0	23,1	22,3	20,9	22,0	21,8	22,3	22,0	23,0
7.	20,8	20,5	21,5	21,7	21,8	22,8	22,5	24,1	25,5	26,0	26,7
8.	27,1	27,0	26,7	26,4	26,7	27,1	26,8	27,3	28,2	30,1	31,8

(fortgesetzt).

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
23,8	24,3	24,8	25,6	24,9	24,9	24,8	23,4	24,5	24,2	24,3	24,3	24,0
23,8	21,6	22,9	22,6	23,5	23,6	23,6	23,8	23,0	23,8	23,7	24,0	24,2
24,4	22,0	22,9	24,0	23,9	23,9	23,4	24,2	24,1	25,2	24,1	25,1	26,1
28,6	28,2	26,3	28,8	28,4	27,9	26,3	23,4	23,8	25,2	23,0	24,8	24,2
23,2	22,0	22,8	23,1	23,2	22,0	21,4	22,8	23,3	23,4	23,3	22,9	23,0
24,1	23,3	24,3	24,8	25,0	24,6	23,4	23,6	22,7	24,8	23,6	24,9	26,2
26,7	26,4	27,2	27,5	27,8	27,4	27,9	27,9	27,5	27,0	26,9	26,9	26,5
19,8	17,1	10,1	23,5	29,0	29,8	26,9	23,0	22,2	24,8	24,7	25,3	27,3
24,3	23,5	22,9	25,4	23,9	23,0	22,4	23,1	22,6	23,6	22,7	22,6	22,8
21,5	26,4	23,3	23,1	25,8	25,4	26,7	27,2	27,4	26,7	26,8	26,5	26,5
23,9	23,3	23,1	23,7	24,0	23,4	22,9	23,4	24,3	24,1	24,5	23,7	23,1
23,8	26,9	24,9	24,3	25,4	23,3	24,5	25,5	27,5	26,6	27,5	27,6	26,4
29,4	32,6	26,4	25,5	27,1	26,2	26,6	27,7	28,2	28,6	28,3	27,5	27,2
29,6	28,9	26,8	27,3	24,4	22,4	22,3	24,0	25,9	24,9	25,7	26,7	26,5
26,8	22,0	24,8	24,0	28,7	26,4	26,9	27,2	27,4	27,0	27,0	27,4	27,3
25,2	24,2	23,7	25,0	24,3	23,2	26,0	24,7	23,0	22,6	22,4	21,9	22,3
21,2	20,3	19,8	20,5	20,8	20,6	22,0	22,1	22,4	22,0	22,7	22,9	22,6
22,4	22,2	21,7	22,3	21,4	28,5	28,0	26,8	24,6	22,5	22,3	22,5	23,0
26,5	27,5	27,2	27,1	26,3	27,1	26,2	27,7	27,0	27,0	27,3	27,5	26,8
25,6	23,4	22,7	22,6	23,0	22,5	22,8	21,1	20,3	22,2	22,7	22,8	22,9
24,2	24,4	26,2	28,1	28,7	27,8	27,8	27,7	28,0	27,9	27,7	27,8	27,4
24,6	22,8	20,1	22,3	22,6	22,9	22,6	22,6	22,8	22,6	22,2	21,7	21,5
22,9	22,2	22,5	22,8	23,4	22,7	22,4	22,5	22,4	21,9	21,4	20,9	21,0
26,2	24,9	27,0	26,7	27,1	27,9	27,7	27,2	27,3	27,7	27,5	27,1	27,1
28,2	29,3	29,6	29,2	28,7	28,0	28,2	27,0	26,0	25,0	25,4	26,1	26,5

Stundensummen des registrierten Strahlungshaushaltes.

Tabelle 16 d.

+ Bedeutet Berechnung mit Annahmen.

Langwellige Ausstrahlung der Gletscheroberfläche $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, vorläufige Auswertung.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Juni 1959											
4.	26,1 ⁺	26,3 ⁺	26,3 ⁺	25,7 ⁺	26,0 ⁺	26,1 ⁺	24,3	25,2	24,5	25,3	27,3
5.	25,4 ⁺	25,5 ⁺	25,0 ⁺	25,1 ⁺	24,6 ⁺	25,2 ⁺	25,6	25,7	25,3	25,9	25,9
6.	26,2 ⁺	26,4 ⁺	25,9 ⁺	25,5 ⁺	24,9 ⁺	24,7 ⁺	24,1	24,0	23,6	23,7	23,8
7.	25,6 ⁺	25,3 ⁺	25,2 ⁺	25,0 ⁺	24,2 ⁺	24,6 ⁺	25,2	24,4	24,7	25,2	24,8
8.	26,7 ⁺	26,7 ⁺	26,5 ⁺	26,4 ⁺	26,4 ⁺	27,5 ⁺	21,8 ⁺	28,9 ⁺	27,3 ⁺	25,7 ⁺	26,8 ⁺
9.	26,4 ⁺	26,2 ⁺	26,5 ⁺	25,9 ⁺	26,3 ⁺	26,7 ⁺	25,8	25,3	25,3	25,6	25,2
10.	25,7 ⁺	25,5 ⁺	24,9 ⁺	24,8 ⁺	25,5 ⁺	25,1 ⁺	25,0	24,5	24,6	24,9	24,8
11.	25,5 ⁺	25,6 ⁺	25,6 ⁺	25,2 ⁺	25,7 ⁺	25,9 ⁺	25,2 ⁺	25,2	24,5	24,0	24,2
12.	25,5 ⁺	25,4 ⁺	25,5 ⁺	25,2 ⁺	25,4 ⁺	25,0 ⁺	24,4 ⁺	25,4 ⁺	25,1	25,1	24,6
13.	25,5 ⁺	25,2 ⁺	24,5 ⁺	24,4 ⁺	25,4 ⁺	24,1 ⁺	25,0 ⁺	25,3	23,3	24,8	29,3
14.	26,1 ⁺	25,9 ⁺	25,3 ⁺	25,6 ⁺	25,9 ⁺	26,1 ⁺	25,8 ⁺	25,5 ⁺	26,4 ⁺	25,9 ⁺	26,8 ⁺
15.	26,5 ⁺	26,6 ⁺	26,3 ⁺	26,4 ⁺	27,1 ⁺	25,6 ⁺	26,3 ⁺	26,4	25,9	24,2	24,1
16.	26,2 ⁺	25,6 ⁺	26,3 ⁺	21,2 ⁺	19,5 ⁺	18,5 ⁺	22,0	22,8	21,6	22,5	22,4
17.	24,7 ⁺	25,0 ⁺	24,6 ⁺	24,5 ⁺	23,6 ⁺	23,8 ⁺	24,3	23,5	24,0	23,7	23,9
18.	25,3 ⁺	22,5 ⁺	23,0 ⁺	23,5 ⁺	25,0 ⁺	25,8 ⁺	26,1 ⁺	25,3	27,8	27,0	23,7
19.	25,7 ⁺	25,8 ⁺	26,2 ⁺	24,2 ⁺	25,0 ⁺	26,3 ⁺	26,3	25,4	24,4	24,2	25,7
20.	25,3 ⁺	25,5 ⁺	25,8 ⁺	23,3 ⁺	24,6 ⁺	24,3 ⁺	25,9	25,8	25,7	25,0	26,0
21.	25,3 ⁺	24,8 ⁺	24,1 ⁺	24,5 ⁺	26,4 ⁺	25,2 ⁺	26,9	25,6	25,6	26,1	26,6
22.	27,2 ⁺	27,1 ⁺	26,6 ⁺	26,6 ⁺	26,5 ⁺	27,4 ⁺	27,4 ⁺	28,0	26,9	26,8	27,3
23.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	31,6	27,0	28,4
24.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	28,3	27,6	27,8	27,4	27,0
25.	29,1	28,7	28,2	27,2	27,7	27,1	27,4	27,4	27,3	26,3	27,3
26.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,2	27,3	27,2	27,4	27,0
27.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,8 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	28,0 ⁺	27,6
28.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	31,0	28,1	28,2	28,3	28,4	28,1	28,1	27,9
29.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺
30.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	26,3	28,2	28,0	27,8	28,0
Juli 1959											
1.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,8	27,6	27,3	27,4	27,4
2.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,2	27,7	28,2	27,0	27,1
3.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5	27,6	27,6	26,9	26,5
4.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,9	27,7	26,9	26,9	27,5
5.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	26,5	26,8	27,2	28,3	26,6
6.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	26,3	27,8	26,9	26,7
7.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺
8.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,6	27,7	27,9	27,5	27,0
9.	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,1 ⁺	27,5 ⁺
10.	24,4 ⁺	24,4 ⁺	24,4 ⁺	24,4 ⁺	25,5 ⁺	25,5 ⁺	25,5 ⁺	25,5 ⁺	27,6	28,3	28,8
11.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,6	27,9	28,1	28,0
12.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	29,3	29,2	28,6	28,2	28,1
13.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,9	27,5	34,8	28,0	27,9
14.	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,5 ⁺	27,6	28,0	27,6	27,8

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
25,0	26,3	26,2	25,8	24,9	25,9	26,2	26,2	26,1	26,3	26,4	26,5	25,8+
26,1	26,1	25,8	26,3	26,8	26,7	27,4	27,0	27,0	26,8	26,2+	27,9+	26,8+
24,2	24,5	24,5	24,2	24,7	25,9	25,4	25,7	25,8	25,3	27,0	24,5+	24,3+
24,7	24,9	25,5	25,8	26,0	25,9	26,4	26,5	27,9+	26,6+	27,0+	26,8+	26,4+
23,4+	26,0+	24,3	26,9	27,4	26,8	26,5	26,6	26,3	26,4	26,3	26,6+	26,5+
25,1	25,4	25,4	25,5	25,5	25,7	25,8	25,8	25,9	25,8	25,6	26,1+	25,3+
25,1	24,6	24,7	24,6	24,8	25,4	25,8	25,1	25,7	25,4	25,9	25,9+	25,4+
24,2	25,4	24,8	26,0	25,8	25,8	25,6	25,4	26,0	25,2	25,5	24,7+	25,3+
26,3	23,5	21,3	25,3	25,1	25,1	25,6	25,3	25,0	26,0	24,2+	26,5+	25,5+
24,7	23,9	22,9	24,6	25,4	28,2	25,7	25,8	26,1	25,7	26,0+	26,1+	26,2+
27,2+	26,4+	26,0	27,5	26,6	26,4	25,6	26,3	27,0	25,8	26,3+	26,6+	26,4+
21,8	22,9	23,4	24,0	27,0	25,7	25,7	26,2	26,3	25,4	26,2	26,1+	26,0+
23,2	23,7	24,2	24,4	25,5	25,0	25,1	25,9	25,2	25,2	26,3+	26,5+	26,2
24,4	25,0	25,3	26,5	26,5	26,4	25,9	26,1	26,1	26,2	26,2	26,2+	26,0+
24,4	25,0	26,3	26,2	26,9	27,2	27,0	26,9	26,8	25,9	24,8	26,6+	26,5+
25,5	25,5	27,6	26,3	26,5	27,6	26,9	27,1	26,5	26,3	27,2	26,7+	26,0+
24,9	25,4	25,9	26,3	26,4	28,1	26,9	26,6	27,5	27,8	26,4	24,5+	25,3+
26,9	34,5	29,9	31,8	24,2	27,1	27,7	26,9	27,9	26,7	27,0	27,2+	27,5+
26,5	26,9	27,6	27,0	28,1	27,7	27,5	27,5	27,6	27,8	27,5+	27,5+	27,5+
27,2	27,2	27,1	27,0	27,2	27,6	27,4	27,3	28,4	28,5	27,5+	27,5+	27,5+
26,8	26,8	26,8	27,3	27,1	27,2	26,9	27,0	27,9	27,9	28,0	28,5	29,0+
25,3	26,5	26,5	27,4	27,8	27,7	28,1	27,4	28,2	28,0	27,5+	27,5+	27,5+
26,9	27,2	27,4	27,9	27,4	26,9	27,4	27,6	28,6	28,1	27,5+	27,5+	27,5+
27,6	27,6	27,9	27,9	28,0	27,9	20,2	27,4	28,6	28,6	28,3	27,5+	27,5+
28,1	27,8	27,8	27,9	27,9	28,1	27,8	27,4	28,7	28,2	27,5+	27,5+	27,5+
27,0	27,0	27,6	28,2	28,0	28,2	27,9	27,7	28,7	28,7	27,5+	27,5+	27,5+
27,9	27,9	28,0	28,4	28,2	28,2	28,0	27,6	28,6	28,1	28,0	27,5+	27,5+
27,0	27,2	27,2	28,5	27,3	28,1	28,0	27,9	27,5	28,0	27,5+	27,5+	27,5+
27,1	27,3	27,0	27,3	27,8	27,4	27,4	27,6	27,6	28,1	27,5+	27,5+	27,5+
27,9	27,6	27,7	28,2	27,6	27,2	27,5	27,8	27,9	27,7	27,5+	27,5+	27,5+
27,1	26,7	27,1	22,2	30,1	27,3	26,5	27,0	28,5	27,6	27,5+	27,5+	27,5+
27,1	27,2	27,4	28,0	28,1	27,4	27,4	28,1	27,6	27,6	27,5+	27,5+	27,5+
26,9	25,0	27,3	26,5	27,1	26,6	27,6	26,6	27,1	27,2	27,5+	27,5+	27,5+
27,5+	27,5+	27,2	27,1	27,4	27,5	27,2	27,3	26,7	27,7	27,4	27,5+	27,5+
27,2	27,6	28,0	27,6	27,5	27,6	27,1	27,5	27,5	27,1	27,8+	28,0+	28,0+
27,5+	27,7	22,2	28,9	29,5	26,6	26,4	25,1	24,8	24,8	25,2+	24,4+	24,4+
27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
27,4	28,1	27,9	27,4	27,3	28,1	28,0	27,8	27,7	28,4	27,5+	27,5+	27,5+
27,9	28,1	27,6	27,8	28,3	27,7	28,1	28,1	28,1	28,1	27,7	27,5+	27,5+
28,1	27,6	28,1	27,6	29,0	27,3	27,6	28,3	28,0	28,0	27,3	27,5+	27,5+
27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	28,0	27,8	27,9	27,6	27,8	27,5+

(Fortsetzung)

Tabelle 16 d

Langwellige Ausstrahlung der Gletscheroberfläche cal cm⁻² h⁻¹.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
15.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	28,1	28,6	28,5	28,5
16.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,9	28,5	28,3	28,4	29,8
17.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
18.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
19.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
20.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
21.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,1	27,2	26,8	27,0
22.	27,6	27,4	27,5	27,6	27,3	27,9	27,5	27,2	26,8	26,9	29,6
23.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	28,4	28,3	28,1	27,7	28,3	28,0
24.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	29,2	29,1	28,2	29,8	26,9
25.	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	29,1	28,9	29,8	28,2	28,2	28,7
26.	27,6	28,0	27,9	27,8	27,8	27,9	28,0	28,0	27,3	27,8	28,4
27.	27,5	28,0	28,0	28,2	28,3	27,9	27,8	29,6	27,7	27,6	28,2
28.	27,7	28,0	28,0	27,9	27,9	28,0	27,6	28,1	29,2	27,8	27,5
29.	27,8	27,7	28,0	27,9	27,7	26,8	27,5	28,6	27,4	27,6	26,7
30.	27,3	27,1	27,2	27,5	27,3	27,2	27,6	27,5	27,0	27,3	28,2
31.	26,7	26,5	27,0	26,5	26,9	26,2	26,9	27,3	27,6	27,3	27,3
August 1959											
1.	26,0	25,9	25,9	25,9	26,0	25,8	26,3	26,7	26,9	26,9	25,9
2.	27,0	27,1	27,6	27,6	27,7	28,1	27,6	27,6	28,0	28,0	27,3
3.	27,1	27,0	26,8	26,8	26,8	26,7	27,6	27,1	27,5	26,7	27,1
4.	28,0	27,8	28,0	28,0	28,0	28,1	28,5	29,2	28,6	27,9	28,7
5.	27,7	27,7	27,5	27,5	27,5	27,2	27,0	27,0	25,9	28,0	27,7
6.	26,8	26,8	26,9	26,8	27,3	27,3	28,0	28,1	28,3	28,1	27,8
7.	25,8	26,0	26,2	25,4	27,0	27,4	27,3	27,3	27,8	27,6	27,6
8.	27,1	27,2	27,0	27,4	27,4	27,3	27,3	27,4	27,7	27,3	27,2

(fortgesetzt).

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
28,2	28,4	28,1	27,9	28,0	28,3	27,8	27,8	28,2	27,6	27,5+	27,5+	27,5+
28,4	27,1	27,1	27,7	28,2	27,1	26,1	27,2	27,5	27,5	27,8	28,0	27,9
27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+	27,5+
27,5+	27,3	27,5	27,5	27,4	27,6	27,3	27,3	27,7	28,1	28,1	27,5+	27,5+
27,4	27,6	27,5	27,2	27,3	27,4	27,2	27,1	27,6	27,8	27,6	27,6	27,5
28,7	27,7	28,2	28,8	28,2	28,9	29,4	26,6	26,9	27,6	27,8	27,8	27,7
27,8	27,2	26,9	27,9	28,4	27,8	27,1	25,8	27,4	27,6	27,5+	27,5+	27,5+
27,1	27,4	26,9	26,0	27,3	28,1	27,8	27,9	28,0	27,6	27,5+	27,5+	27,5+
27,6	27,3	27,6	27,6	27,6	28,6	27,9	27,2	27,7	28,0	27,8	28,0	27,3
27,4	28,6	27,7	27,7	26,6	28,3	27,3	27,9	28,2	28,0	28,2	28,2	27,9
28,2	28,3	29,0	28,3	28,4	28,2	28,3	28,2	28,4	28,6	28,5	28,2	28,3
27,5	27,5	27,8	27,8	27,9	28,4	27,6	27,7	28,4	27,8	28,1	28,1	28,0
28,0	25,3	27,9	27,7	29,1	27,9	27,8	27,9	27,9	28,0	27,2	27,4	27,3
27,5	27,8	29,0	28,6	28,0	27,5	28,1	27,7	27,1	26,7	26,6	26,5	26,7
27,4	27,6	25,8	26,1	26,0	25,9	27,2	26,6	26,7	26,8	27,2	28,1	28,0
27,9	27,8	27,6	27,0	27,7	28,4	28,1	27,8	27,4	27,7	27,6	27,1	27,3
27,9	27,3	27,6	27,6	27,8	27,5	27,4	27,8	27,5	27,4	27,3	27,3	27,0
26,9	27,4	27,5	27,5	27,9	27,7	28,4	27,2	27,2	27,1	27,7	27,7	27,8
27,9	27,9	30,9	27,7	28,3	27,6	27,5	27,4	27,8	27,8	27,8	27,8	27,5
27,3	28,8	27,3	27,8	27,5	27,6	27,2	27,2	27,7	27,1	27,1	26,8	26,8
27,7	27,7	27,4	27,4	27,3	27,3	27,5	26,7	27,1	26,7	26,6	26,2	26,1
27,7	27,6	28,7	27,9	27,8	28,2	28,1	27,8	27,8	27,7	27,5	27,2	27,1
27,6	28,4	28,9	28,6	28,1	28,0	28,1	27,3	27,0	26,5	26,4	26,8	26,8

Tabelle 17.

Datum	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
Mai 1959								
22.	569,5	405,0	0,712	..	..	..	..	164,5
23.	610,6	397,8	0,652	..	..	..	..	212,8
24.	577,2	364,8	0,633	..	..	..	..	212,4
25.	600,8	345,5	0,576	..	..	..	..	255,3
26.	460,2	280,1	0,608	..	..	..	..	180,1
27.	532,3	424,1	0,797	..	..	..	..	108,2
28.	590,7	435,8	0,737	..	..	..	..	154,9
29.	410,2	270,0	0,658	..	..	..	..	140,2
30.	612,7	318,2	0,519	..	..	..	..	294,5
31. ....	..	..	..	..	..	..	..	..
Juni 1959								
1. ....	..	..	..	..	..	..	..	..
2. ....	..	..	..	..	..	..	..	..
3. ....	..	..	..	..	..	..	..	..
4.	612,0	399,8	0,653	522,1	620,6	1134,1	1020,4	212,2
5.	759,7	454,5	0,597	532,6	626,1	1292,3	1080,6	305,2
6.	750,0	456,3	0,608	527,2	598,8	1277,2	1055,1	293,7
7.	737,2	436,6	0,592	553,2	614,6	1290,4	1051,2	300,6
8.	595,3	360,4	0,605	582,0	630,7	1177,3	991,1	234,9
9.	429,2	354,7	0,808	612,0	618,1	1041,2	972,8	64,5
10.	572,8	431,4	0,753	571,1	603,7	1143,9	1035,1	141,4
11.	611,8	457,4	0,750	583,7	606,3	1195,5	1063,7	154,4
12.	692,3	569,4	0,822	..	601,3	..	1170,7	122,9
13.	709,9	503,0	0,710	533,6	608,1	1243,5	1111,1	206,9
14.	452,1	388,5	0,860	630,8	629,4	1082,9	1017,9	63,6
15.	555,4	477,1	0,860	626,7	612,1	1182,1	1089,2	78,3
16.	796,8	641,6	0,806	512,5	575,0	1309,3	1216,6	55,2
17.	781,1	594,3	0,760	528,2	602,4	1309,3	1196,7	186,8
18.	746,0	542,3	0,726	559,8	615,5	1305,8	1157,8	203,7
19.	746,2	539,1	0,723	551,0	624,9	1297,2	1164,0	207,1
20.	778,4	547,7	0,704	533,4	619,2	1311,8	1166,9	230,7
21.	568,3	408,2	0,720	606,6	656,4	1174,9	1064,6	160,1
22.	399,2	324,6	0,815	665,0	654,5	1064,2	979,1	74,6
23.	663,2	388,0	0,586	630,0	664,4	1293,2	1052,4	275,2
24.	760,9	400,6	0,526	623,4	660,3	1384,3	1060,9	360,3
25.	690,6	348,9	0,501	616,6	659,1	1307,2	1007,9	341,7
26.	737,4	364,3	0,494	656,1	659,0	1393,5	1023,3	373,1
27.	745,2	357,7	0,479	593,6	658,4	1338,8	1016,1	387,5
28.	733,8	340,4	0,464	605,5	672,8	1339,3	1013,2	393,4
29.	727,0	346,6	0,475	589,4	664,0	1316,4	1010,6	380,4
30.	745,7	369,6	0,495	578,6	667,2	1324,3	1036,8	376,1
Juli 1959								
1.	756,6	394,6	0,520	536,3	661,7	1292,9	1056,3	362,0
2.	749,7	412,2	0,550	528,7	659,3	1278,4	1071,5	337,5
3.	728,5	412,5	0,566	555,0	660,7	1283,5	1073,2	316,0
4.	720,9	398,0	0,553	575,8	654,5	1296,7	1052,5	322,9
5.	651,5	344,6	0,528	599,4	658,8	1250,9	1003,4	306,9

(Fortsetzung)

Tabelle 17 (fortgesetzt).

Datum	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
6.	672,6	377,4	0,562	574,7	650,6	1247,3	1028,0	295,2
7.	421,7	239,1	0,568	639,9	658,0	1061,6	897,1	182,6
8.	384,2	278,7	0,727	654,5	661,2	1038,7	939,9	105,5
9.	666,1	518,5	0,778	..	636,0	..	1154,5	147,6
10.	720,4	546,5	0,758	..	641,8	..	1188,3	173,9
11.	428,3	289,3	0,698	654,8	664,7	1083,1	954,0	139,0
12.	306,2	162,6	0,532	645,1	670,9	951,3	833,5	143,6
13.	496,1	257,7	0,518	640,3	673,0	1136,7	930,7	238,7
14.	276,2	156,4	0,566	660,3	662,6	936,5	819,0	119,8
15.	630,1	319,8	0,507	599,7	669,0	1229,8	988,8	310,6
16.	704,2	408,6	0,580	568,1	665,5	1272,3	1074,1	295,3
17.	703,2	383,0	0,545	576,1	660,0	1279,3	1043,0	320,2
18.	396,0	207,5	0,523	631,6	660,0	1027,6	867,5	188,5
19.	675,9	362,3	0,536	554,3	660,0	1230,2	1022,3	313,6
20.	656,6	341,4	0,520	566,2	660,8	1222,8	1002,2	315,2
21.	334,0	170,4	0,510	654,8	657,4	988,8	827,8	163,6
22.	537,5	277,2	0,520	590,0	667,6	1127,5	944,8	260,3
23.	525,4	283,7	0,540	599,7	662,7	1125,1	946,4	241,7
24.	606,5	335,0	0,540	600,2	664,8	1206,7	999,8	271,5
25.	652,6	353,1	0,540	583,3	670,6	1235,9	1023,7	299,5
26.	588,9	297,9	0,510	589,3	668,5	1178,2	966,4	291,0
27.	496,3	232,2	0,470	664,2	677,7	1160,5	909,9	264,1
28.	450,9	213,0	0,470	622,9	670,3	1073,8	883,3	237,9
29.	467,2	231,7	0,490	638,4	663,1	1105,6	894,8	235,5
30.	466,1	314,8	0,680	597,6	659,0	1063,7	973,8	151,3
31.	605,9	390,3	0,640	524,9	645,6	1130,0	1035,9	215,6
August 1959								
1.	558,0	337,9	0,604	542,1	647,6	1100,1	985,5	220,1
2.	324,3	191,5	0,590	637,4	661,0	961,7	852,5	132,8
3.	602,8	380,5	0,630	565,0	655,2	1167,8	1035,7	222,3
4.	426,1	236,2	0,550	610,9	674,7	1037,0	910,9	189,9
5.	492,9	282,1	0,570	588,3	656,9	1081,2	939,0	210,8
6.	553,2	331,4	0,600	532,8	653,9	1086,0	985,3	221,8
7.	312,4	186,5	0,600	605,3	656,5	917,7	843,0	125,9
8.	327,9	276,9	0,850	662,4	658,8	990,3	935,7	51,0

Tagessummen der Strahlungswerte (cal cm⁻²/Tag). Die einzelnen Spalten bedeuten:

- 1) Globalstrahlung.
- 2) Reflektierte Globalstrahlung.
- 3) Albedowerte aus 1) und 2).
- 4) Atmosphärische Gegenstrahlung. Vorläufige Auswertung.
- 5) Langwellige Ausstrahlung. Vorläufige Auswertung.
- 6) Gesamt-Einstrahlung. Vorläufige Auswertung.
- 7) Gesamt-Ausstrahlung. Vorläufige Auswertung.
- 8) Kurzwellige Strahlungsbilanz.

Tabelle 18.

Datum	Juni 1959				
	22.	23.	24.	25.	26.
Langwellige Ausstrahlung Mittelwert $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	27,4	27,8	27,5	27,4	27,4
$27,5 - \bar{E}$	0,1	-0,3	0,0	0,1	0,1

Datum	Juli 1959				
	11.	12.	13.	14.	15.
Langwellige Ausstrahlung Mittelwert $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$	27,8	28,2	28,3	27,8	28,1
$27,5 - \bar{E}$	-0,3	-0,7	-0,8	-0,3	-0,6

Vergleichsreihe für Werte der langwelligen Ausstrahlung der schmelzenden Gletscheroberfläche für Stunden mit vollständiger Registrierung des Lupolengerätes *und* Solarimeters; interpolierte Werte

Tabelle 19.

Datum	Juni 1959						
	5.	18.	21.	22.	23.	24.	25.
Zahl der Stunden	14	6	8	14	13	14	14
Langwellige Ausstrahlung Mittelwert, $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$...	27,4	26,8	27,8	27,4	27,8	27,2	27,2
$27,5 - \bar{E}$	0,1	0,7	-0,3	0,1	-0,3	0,3	0,3

Datum	Juli 1959						
	13.	14.	15.	16.	20.	21.	22.
Zahl der Stunden	14	7	14	14	9	14	12
Langwellige Ausstrahlung Mittelwert, $\text{cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$...	28,4	27,8	28,1	27,7	27,5	27,3	28,1
$27,5 - \bar{E}$	-0,9	-0,3	-0,6	-0,2	0,0	0,2	-0,6

Vergleichsreihe für Wert der langwelligen Ausstrahlung der schmelzenden Gletscheroberfläche über

Juni 1959				Juli 1959							
27.	28.	29.	30.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
27,6	28,2	27,9	28,0	27,6	27,4	27,5	27,1	27,4	26,8	27,3	27,5
-0,1	-0,9	-0,4	-0,5	-0,1	0,1	0,0	0,4	0,1	0,7	0,2	0,0

16.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	Mittel
27,8	27,6	27,3	27,8	27,6	27,8	28,0	27,9	28,2	27,9	27,6	27,7
-0,3	-0,1	0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,5	-0,4	-0,7	-0,4	-0,1	..

Tage mit positivem Mittelwert der Lufttemperatur (24stündiges Mittel). Mittelbildung nur über
wurden nicht verwendet. Vorläufige Auswertung.

Juni 1959				Juli 1959										
26.	27.	28.	29.	30.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	9.	11.	12.
14	12	13	10	14	14	14	14	14	14	14	7	6	14	14
27,4	27,3	28,0	27,9	28,1	27,6	27,4	27,5	27,1	27,4	26,8	27,7	28,4	27,8	28,2
0,1	0,2	−0,5	−0,4	−0,6	−0,1	0,1	0,0	0,4	0,1	0,7	−0,2	−0,9	−0,3	−0,7

Juli 1959								August 1959						
23.	24.	25.	26.	28.	29.	30.	31.	1.	3.	4.	5.	6.	7.	Mittel
14	14	14	14	14	14	10	7	10	9	14	7	11	10	
27,6	27,7	28,0	27,8	28,4	27,9	27,8	26,4	27,7	27,4	28,2	27,6	27,5	27,9	27,7
-0,1	-0,2	-0,5	-0,3	-0,9	-0,4	-0,3	1,1	-0,2	0,1	-0,7	-0,1	0,0	-0,4	

Stunden mit Lufttemperatur $\geq 0,5^{\circ}\text{C}$ (Thermograph 187 cm Höhe). Vorläufige Auswertung.

Tabelle 20.

Datum	Wahre Sonnen- zeit	Globalstrahlung cal cm ⁻² h ⁻¹	Langwellige Strahlungs- bilanz der Gletscher- oberfläche cal cm ⁻² h ⁻¹	Atmosphärische Gegenstrahlung cal cm ⁻² h ⁻¹
Juli 1959				
24.	00-01	0,2	-5,0	22,5
	01-02	0,5	-4,3	23,2
25.	22-23	0,3	-4,3	23,7
	23-24	0,1	-4,2	23,1
26.	00-01	0,1	-5,0	22,6
	01-02	0,2	-5,1	22,9
31.	22-23	0,2	-5,2	22,9
	23-24	0,0	-5,4	22,6
August 1959				
1.	00-01	0,0	-5,1	20,9
	01-02	0,0	-5,2	20,7
	02-03	0,8	-4,4	21,5
	21-22	0,5	-5,3	22,3
	22-23	0,2	-4,8	22,5
	23-24	0,0	-4,3	23,0
3.	22-23	0,2	-4,8	22,8
	23-24	0,2	-4,9	22,9
4.	00-01	0,2	-4,8	23,2
	01-02	0,2	-5,2	22,6
	02-03	0,7	-4,4	23,6
5.	21-22	0,4	-4,9	22,2
	22-23	0,0	-5,1	21,7
	23-24	0,0	-5,3	21,5
6.	00-01	0,0	-5,3	21,5
	01-02	0,2	-4,9	21,9
	21-22	0,2	-5,2	21,4
	22-23	0,0	-5,3	20,9
	23-24	0,0	-5,1	21,0
7.	00-01	0,0	-5,0	20,8
	01-02	0,0	-5,5	20,5
	02-03	0,7	-4,7	21,5
Mittel ...			-4,9	22,1

Stundensummen (cal cm⁻² h⁻¹) der langwelligen Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche und der atmosphärischen Gegenstrahlung bei geringer Globalstrahlung (<1,0 cal cm⁻² h⁻¹) und 0/10 Bewölkung. Vorläufige Auswertung.

Tabelle 21.

Globalstrahlung cal/cm²h	Diffuse Himmelsstrahlung cal/cm²h	Diffuse Himmelsstrahlung in % Globalstrahlung (Minimum-Maximum)
60	5,5–8,0	9–13 %
40	4,0–6,0	10–15 %
20	2,5–4,0	13–20 %

Die diffuse Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel.

Tabelle 22.

Datum	Zeit	Albedo	Meßstelle
Mai 1959			
30.	13 ^h	69,7 %	alte Firnoberfläche, Sonne
30.	13 ^h	75,5 %	Schneewehe, 2 Tage alt, Sonne
30.	13 ^h	62,0 %	Bambus I zur Ablationsmessung, Firn, Sonne
30.	13 ^h	51,5 %	Bambus II zur Ablationsmessung, Eis-Oberschicht, Sonne
30.	13 ^h 30	64,0 %	Bambus III zur Ablationsmessung, Schneewehe, 2 Tage alt, Sonne
30.	13 ^h 45	55,5 %	Bambus IV zur Ablationsmessung, Firn, darunter Wassereis, Sonne
Juni 1959			
16.	10 ^h	78,6 %	geschlossene Neuschneedecke, Sonne) Registrierung
16.	10 ^h	77,6 %	geschlossene Neuschneedecke, Sonne) 77,3%, 79,2%
16.	10 ^h	80,8 %	ungefähr 1 cm frischer Pulverschnee
16.	10 ^h	85,3 %	über Driftschnee, erscheint heller als die mit Pulverschnee bedeckte Umgebung
16.	15 ^h 20	82,3 %	über Harschfläche
Juli 1959			
13.	14 ^h 30–16 ^h	42,3 %	Mittel R ₁ –R ₁₀ (Ablationsmeßstellen), diffuses Licht
13.	16 ^h 45	54,7 %	Alu-Schiene, Sonne (Registrierung 51,8%, 56,2%)
16.	13 ^h 45–15 ^h 45	43,6 %	Mittel R ₁ –R ₁₀ (Ablationsmeßstellen), weiße Oberschicht, Sonne
16.	16 ^h 45	64,0 %	Alu-Schiene, wechselnde Strahlung (Registrierung 54,8 %, 57,2 %)
25.	13 ^h 30–15 ^h 30	41,3 %	Mittel R ₁ –R ₁₀ (Ablationsmeßstellen)
25.	16 ^h	57,6 %	Alu-Schiene (Registrierung 55,5 %, 52,7 %)
27.	14 ^h 45–16 ^h	36,6 %	Mittel R ₁ –R ₁₀ (Ablationsmeßstellen), Eis besonders dunkel, Sonne
27.	16 ^h 30	52,2 %	Alu-Schiene (Registrierung 48,5 %, 50,7 %)

(Fortsetzung)

Tabelle 22 (fortgesetzt).

Datum	Zeit	Albedo	Meßstelle
Aug. 1959			
5.	15 ^h 40–16 ^h 30	51,9 % Mittel	R ₁ –R ₁₀ (Ablationsmeßstellen), extrem helle Oberschicht, Sonne
5.	16 ^h 40	61,0 %	Alu-Schiene (Registrierung 58,5 %, 65,8 %)
Messung bei Drähten BK 51–BK 55 zur Ablationsmessung (Umgebung Pegel BK 5)			
Aug. 1959			
5.	17 ^h –17 ^h 30	54,0 %	BK 51 Ablationsmeßdrähte bei BK 5
5.	17 ^h –17 ^h 30	50,5 %	BK 52 Ablationsmeßdrähte bei BK 5
5.	17 ^h –17 ^h 30	38,5 %	BK 53 Ablationsmeßdrähte bei BK 5
5.	17 ^h –17 ^h 30	42,2 %	BK 54 Ablationsmeßdrähte bei BK 5
5.	17 ^h –17 ^h 30	24,4 %	BK 55 Ablationsmeßdrähte bei BK 5
Messung bei Drähten C ₁ –C ₅ zur Ablationsmessung (Umgebung Pegel C)			
6.	13 ^h –16 ^h	40,4 %	C ₁ stark poröse Oberschicht, leicht verschmutzt
6.	13 ^h –16 ^h	58,4 %	C ₂ weißer Höcker mit extrem heller Oberfläche
6.	13 ^h –16 ^h	40,4 %	C ₃ etwas graue Oberschicht
6.	13 ^h –16 ^h	57,8 %	C ₄ weißer Höcker mit extrem heller Oberfläche
6.	13 ^h –16 ^h	36,9 %	C ₅ mit Kryokonit verschmutzte Oberfläche
6.	13 ^h –16 ^h	21,0 %	extrem dunkle Oberfläche bei C
Messung bei Drähten D ₁ –D ₅ zur Ablationsmessung (Umgebung Pegel D)			
6.	13 ^h –16 ^h	52,4 %	D ₁ sehr weiße Oberschicht
6.	13 ^h –16 ^h	31,3 %	D ₂ verschmutzte Oberschicht
6.	13 ^h –16 ^h	39,5 %	D ₃ weiße Oberschicht
6.	13 ^h –16 ^h	59,7 %	D ₄ extrem weiße Oberschicht
6.	13 ^h –16 ^h	53,8 %	D ₅ sehr weiße Oberschicht

Messungen der Albedo mit Hilfe des tragbaren Solarimeters

Tabelle 23.

Datum	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	Mittel wert
13.7.1959...	34,4	45,6	48,5	44,9	39,2	42,6	48,6	38,9	38,8	41,1	42,3
16.7.1959...	39,9	48,1	44,6	48,6	34,2	43,7	47,1	46,6	40,6	42,3	43,6
25.7.1959...	39,5	49,0	43,3	50,0	41,1	47,7	47,8	42,2	47,2	44,8	41,3
27.7.1959...	38,7	40,6	35,2	37,5	28,5	40,5	40,0	35,2	34,0	36,1	36,6
5.8.1959...	56,1	49,4	50,3	58,0	34,3	55,2	56,1	54,6	51,3	53,2	51,9
Mittelwert: 43,1 %											

Albedowerte bei den Ablationspegeln R₁–R₁₀.

Tabelle 24.

Annahme	Maximale Empfindlichkeit (mμ)	Optischer Schwerpunkt (mμ)	Halbwertsbreite (mμ)
KG 3 (1)	650	—	± 160
(2)	660	665	± 145
RG 9 (1)	850	—	± 185
(2)	840	850	± 110

Wellenlänge für maximale Empfindlichkeit, optischer Schwerpunkt und Halbwertsbreite der Kombination Photodiode TP 50 und Filter.

Annahme (1): Wellenlängenunabhängige Intensitätsverteilung.

Annahme (2): Intensitätsverteilung der terrestrischen Sonnenstrahlung.

Tabelle 25.

	$\frac{s(\varphi=45^\circ)}{s(\varphi=0^\circ)}$	$\frac{s(\varphi=90^\circ)}{s(\varphi=0^\circ)}$	$\frac{s(\varphi=135^\circ)}{s(\varphi=0^\circ)}$	$\frac{s(\varphi=180^\circ)}{s(\varphi=0^\circ)}$
KG 3 z > 20 cm	0,940	0,885	0,755	0,700
z = 0 cm	0,875	0,675	0,555	0,490
RG 9 z > 20 cm	0,865	0,575	0,390	0,325
z = 0 cm	0,660	0,340	0,165	0,100

Die Intensitätsverhältnisse in verschiedenen Richtungen bei z = 0 cm und z > 20 cm. Filter KG 3 \cong 665 mμ; Filter RG 9 \cong 850 mμ.

Tabelle 26.

	0°	45°	90°	135°	180°	O.L.	U.L.	T.	O.L.-U.L.
$\kappa \text{ cm}^{-1}$	0,187	0,181	0,165	0,158	0,155	0,183	0,155	0,177	0,199 _s

Die mittleren Werte des Extinktionskoeffizienten in Gletschereis in der Schicht 0–15 cm. Filter RG 9 (\cong 850 mμ).

O.L. bedeutet »Oberlicht«, U.L. »Unterlicht« und T. »Totalstrahlung«.

Tabelle 27 a.

Tiefe cm	0°	45°	90°	135°	180°	O.L.	U.L.	T. O.L.-U.L.
0,0	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5	80	82	84	85	86	82	85	78
5,0	65	68	71	72	74	63	71	61
7,5	54	58	61	61	64	59	62	50
10,0	46	48	53	53	55	50	53	41
15,0	33	36	40	40	42	37	41	26
20,0	25	28	32	33	34	28	33	19
25,0	21	24	26	28	30	23	30	13
30,0	19	21	24	26	27	21	27	11
40,0	16	18	21	22	23	18	22	9
50,0	13	15	17	18	19	15	18	8

Tabelle 27 b.

Tiefe cm	0°	45°	90°	135°	180°	O.L.	U.L.	T. O.L.-U.L.
0,0	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5	65	63	67	68	69	63	68	60
5,0	40	40	45	46	46	40	46	36
7,5	25	26	29	30	31	25	32	22
10,0	16	16	20	20	21	16	22	14
12,5	9	10	13	14	14	10	15	8
15,0	6	8	9	9	10	6	10	5

Die relative Intensitätsabnahme (%) im Gletschereis in verschiedenen Raumrichtungen.

$\varphi = 0^\circ$ Empfänger nach oben gerichtet.

$\varphi = 180^\circ$ Empfänger nach unten gerichtet.

O.L. bedeutet »Oberlicht«, U.L. »Unterlicht« und T. »Totalstrahlung«.

a) Filter KG 3 ($\cong 665 \text{ m}\mu$).

b) Filter RG 9 ($\cong 850 \text{ m}\mu$).

Tabelle 28.

Tiefenbereich, cm						
0-2,5	2,5-7,5	7,5-12,5	12,5-17,5	17,5-22,5	22,5-27,5	27,5-32,5
	32,5-37,5	37,5-42,5	42,5-47,5			
Extinktionskoeffizient, cm ⁻¹						
0,260	0,104	0,053	0,040	0,034	0,031	0,030 ₅
0,029	0,024	0,014				

Die Abhängigkeit des gemittelten Extinktionskoeffizienten von der Tiefe, gemessen mit Hilfe eines kugelförmigen Strahlungsempfängers.

Tabelle 29 a.

	v ₁ = 1	v ₁ = 2	v ₁ = 3	v ₁ = 4
v ₂ = 0	240	240	240	240
v ₂ = 1	160	220	230	234
v ₂ = 2	120	160	200	220
v ₂ = 3	100	140	160	180
v ₂ = 4	80	120	150	160

Tabelle 29 b.

	v ₁ = 1	v ₁ = 2	v ₁ = 3	v ₁ = 4
v ₂ = 0	0,84	0,84	0,84	0,84
v ₂ = 1	0,86	0,84	0,84	0,84
v ₂ = 2	0,87	0,86	0,85	0,85
v ₂ = 3	0,87	0,86	0,86	0,85
v ₂ = 4	0,88	0,87	0,86	0,86

- a) Energiebeträge (cal cm⁻²), die zur Ausbildung der Oberschicht notwendig sind. Berechnung bei verschiedenen Annahmen der Ablationskomponenten v₁ (cm/Tag) und v₂ (cm/Tag).
- b) Mittlere Dichte der Schicht 0-50 cm.

Tabelle 30.

Datum	1) Zeit	2) h	3) p	4) m	5) I _{total}	6) I _{RG2}	7) I _{OG1}	8) $\beta \cdot 10^3$	9) $\beta_P \cdot 10^3$	10) T _g	11) T _{gP}
Juni 1959											
1.	13 ^h 10	41,00	882,4	1,328	1,437	0,915	1,123	15,0	13,0	2,54	2,35
1.	13 ^h 23	40,50	882,4	1,355	1,434	0,917	1,123	20,0	18,0	2,53	2,35
1.	14 ^h 31	37,62	882,4	1,448	1,419	0,891	1,117	7,5	6,6	2,42	2,28
1.	14 ^h 48	36,55	882,4	1,482	1,414	0,909	1,113	17,5	15,0	2,41	2,27
1.	15 ^h 45	32,63	883,0	1,634	1,380	0,889	1,090	15,0	13,0	2,40	2,25
1.	16 ^h 00	31,50	883,0	1,687	1,380	0,893	1,091	15,0	13,0	2,32	2,19
1.	17 ^h 23	24,90	883,0	2,150	1,308	0,868	1,056	18,0	16,0	2,20	2,15
1.	17 ^h 40	23,43	883,5	2,215	1,296	0,857	1,046	12,0	11,0	2,19	2,07
1.	18 ^h 58	16,98	884,0	2,990	1,170	0,810	0,979	7,5	6,6	2,14	2,04
1.	19 ^h 19	15,23	884,0	3,330	1,140	0,798	0,955	12,5	11,0	2,07	1,95
1.	20 ^h 00	12,10	884,2	4,130	1,072	0,749	0,933	25,0	22,0	1,97	1,89
1.	21 ^h 04	7,87	883,7	6,150	0,923	0,713	0,819	..	..	1,85	1,79
2.	15 ^h 49	32,73	883,8	1,625	1,378	0,895	1,093	15,0	13,0	2,40	2,26
2.	16 ^h 05	31,60	883,7	1,687	1,358	0,890	1,081	22,5	20,0	2,44	2,28
2.	16 ^h 24	29,98	883,8	1,765	1,346	0,881	1,078	20,0	18,0	2,40	2,26
2.	16 ^h 40	28,60	883,9	1,838	1,330	0,877	1,069	22,0	19,0	2,39	2,25
2.	17 ^h 31	24,55	884,0	2,105	1,288	0,853	1,041	17,5	15,5	2,29	2,16
5.	13 ^h 34	40,65	886,5	1,362	1,452	0,922	1,145	12,0	11,0	2,40	2,30
5.	13 ^h 47	40,12	886,7	1,375	1,452	0,923	1,134	12,0	11,0	2,39	2,25
5.	14 ^h 18	38,45	887,0	1,420	1,433	0,910	1,125	12,5	11,0	2,41	2,27
5.	14 ^h 44	37,55	887,0	1,455	1,425	0,909	1,121	12,5	11,0	2,37	2,25
5.	15 ^h 12	35,55	887,0	1,525	1,413	0,902	1,110	12,5	11,0	2,35	2,22
5.	15 ^h 35	33,93	887,0	1,580	1,401	0,900	1,101	12,5	11,0	2,34	2,22
5.	15 ^h 59	32,18	887,0	1,655	1,394	0,894	1,103	10,0	9,0	2,29	2,16
5.	16 ^h 26	30,03	887,0	1,770	1,376	0,891	1,098	10,0	9,0	2,24	2,05
5.	16 ^h 40	28,95	887,0	1,775	1,370	0,890	1,081	12,0	11,0	2,27	2,12
5.	17 ^h 41	24,40	887,0	2,135	1,321	0,883	1,063	16,0	14,0	2,15	2,04
5.	18 ^h 05	22,80	887,0	2,280	1,286	0,851	1,040	10,0	9,0	2,18	2,06
6.	13 ^h 31	40,55	882,2	1,355	1,476	0,948	1,163	12,5	11,0	2,27	2,14
6.	13 ^h 54	40,07	881,9	1,370	1,463	0,946	1,158	20,0	17,5	2,32	2,19
6.	14 ^h 35	37,80	882,4	1,434	1,445	0,939	1,146	20,0	17,5	2,34	2,20
6.	15 ^h 04	36,10	882,4	1,495	1,430	0,929	1,138	20,0	17,5	2,31	2,17
6.	15 ^h 27	34,58	882,4	1,554	1,419	0,924	1,128	18,0	16,0	2,28	2,16
6.	15 ^h 54	32,35	882,4	1,635	1,399	0,913	1,116	16,0	14,0	2,30	2,16
6.	16 ^h 19	30,58	882,8	1,730	1,388	0,905	1,120	15,0	13,0	2,23	2,03
6.	16 ^h 45	28,40	882,8	1,770	1,368	0,900	1,097	15,0	13,0	2,22	2,09
6.	17 ^h 05	26,80	882,9	1,950	1,346	0,894	1,081	17,5	15,5	2,20	2,08
6.	17 ^h 26	26,40	883,0	1,980	1,327	0,886	1,064	16,0	14,0	2,26	2,13
6.	17 ^h 46	24,50	883,0	2,120	1,301	0,856	1,059	12,5	11,0	2,26	2,13
6.	18 ^h 10	22,25	883,2	2,320	1,270	0,867	1,044	22,5	20,0	2,20	2,09
6.	18 ^h 36	19,70	883,3	2,600	1,236	0,854	1,026	20,0	17,5	2,12	2,02
6.	18 ^h 59	17,70	883,4	2,880	1,193	0,837	1,004	20,0	17,5	2,10	2,01
6.	19 ^h 43	13,90	884,0	3,620	1,113	0,808	0,959	17,5	15,5	2,02	1,93
6.	20 ^h 28	10,30	884,3	4,800	1,012	0,764	0,896	15,0	13,0	1,92	1,85
6.	20 ^h 44	9,25	884,4	5,300	0,972	0,735	0,860	12,0	10,5	1,92	1,85

(Fortsetzung)

Tabelle 30 (fortgesetzt).

Datum	1) Zeit	2) h	3) p	4) m	5) I_{total}	6) $I_{\text{RG 2}}$	7) $I_{\text{OG 1}}$	8) $\beta \cdot 10^3$	9) $\beta_p \cdot 10^3$	10) T_g	11) T_{gP}
7.	11 ^h 41	41,80	888,0	1,330	1,455	0,934	1,155	20,0	18,0	2,42	2,27
7.	11 ^h 51	42,00	888,0	1,325	1,458	0,930	1,145	15,0	13,5	2,41	2,26
7.	13 ^h 08	41,60	888,1	1,338	1,450	0,923	1,128	15,0	13,5	2,46	2,30
7.	13 ^h 30	41,00	888,2	1,350	1,440	0,919	1,131	17,5	15,5	2,48	2,32
7.	13 ^h 51	40,05	888,3	1,380	1,435	0,917	1,126	17,5	15,5	2,44	2,32
7.	14 ^h 18	38,73	888,7	1,415	1,421	0,908	1,122	17,5	15,5	2,48	2,34
7.	15 ^h 00	36,35	888,8	1,490	1,403	0,892	1,104	15,0	13,5	2,44	2,32
7.	15 ^h 18	35,15	888,9	1,540	1,394	0,895	1,100	17,5	15,5	2,43	2,30
7.	15 ^h 54	32,35	889,0	1,650	1,373	0,887	1,087	15,0	13,5	2,38	2,34
7.	16 ^h 13	30,90	889,0	1,720	1,358	0,882	1,080	17,5	15,5	2,39	2,26
7.	16 ^h 59	27,50	889,5	1,915	1,327	0,865	1,059	14,0	12,5	2,32	2,20
7.	17 ^h 17	26,30	889,5	2,090	1,308	0,861	1,050	7,5	6,7	2,25	2,13
7.	18 ^h 55	17,80	889,6	2,930	1,172	0,811	0,978	16,0	14,0	2,15	2,06
27.	9 ^h 53	38,02	899,0	1,445	1,416	0,897	1,107	13,0	12,0	2,48	2,33
27.	10 ^h 39	40,37	899,0	1,380	1,436	0,903	1,116	10,0	9,0	2,43	2,31
27.	11 ^h 01	41,17	899,0	1,360	1,438	0,903	1,124	10,0	9,0	2,47	2,34
27.	11 ^h 29	42,20	899,0	1,332	1,438	0,904	1,122	12,0	11,0	2,53	2,38
27.	11 ^h 50	42,60	899,0	1,324	1,442	0,905	1,128	10,0	9,0	2,51	2,37
27.	12 ^h 15	42,85	899,0	1,319	1,441	0,905	1,125	12,0	11,0	2,52	2,38
27.	12 ^h 38	42,85	899,0	1,319	1,439	0,905	1,125	12,5	11,5	2,52	2,38
27.	13 ^h 05	42,20	898,8	1,332	1,433	0,904	1,125	15,0	13,5	2,55	2,40
27.	13 ^h 31	41,75	898,9	1,344	1,434	0,904	1,125	12,5	11,5	2,53	2,38
27.	13 ^h 53	41,00	898,9	1,365	1,426	0,904	1,119	15,0	13,5	2,53	2,38
27.	14 ^h 40	38,50	899,0	1,435	1,421	0,899	1,115	11,0	10,0	2,45	2,32
27.	15 ^h 01	37,22	899,0	1,480	1,410	0,891	1,107	10,0	9,0	2,42	2,30
27.	15 ^h 27	35,35	899,0	1,543	1,396	0,885	1,100	10,0	9,0	2,43	2,30
27.	15 ^h 48	33,85	899,0	1,602	1,383	0,880	1,092	10,0	9,0	2,42	2,30
27.	16 ^h 20	31,50	899,0	1,717	1,364	0,876	1,081	15,0	13,5	2,26	2,15
27.	16 ^h 42	29,57	898,8	1,814	1,348	0,866	1,065	10,0	9,0	2,30	2,20
27.	17 ^h 08	27,32	898,8	1,945	1,340	0,860	1,057	5,0	4,5	2,23	2,13
27.	17 ^h 30	26,40	898,8	2,050	1,321	0,855	1,046	8,0	7,0	2,23	2,13
27.	17 ^h 50	23,10	898,8	2,280	1,294	0,845	1,035	6,0	5,5	2,13	2,04
27.	20 ^h 35	11,50	898,8	4,420	1,018	0,735	0,884	10,0	9,0	2,02	1,90
27.	20 ^h 53	10,33	898,8	4,900	0,977	0,718	0,857	11,0	10,0	2,02	1,94
27.	21 ^h 47	7,23	898,7	6,770	0,840	0,649	0,758	..	..	1,98	1,92
27.	22 ^h 21	5,33	898,6	8,850	0,746	0,596	0,688	..	..	1,91	1,86
27.	23 ^h 12	4,10	898,6	10,98	0,620	0,523	0,585	..	..	..	..
27.	23 ^h 50	3,50	898,6	12,37	0,556	0,481	0,530	..	..	..	..
28.	00 ^h 32	3,00	898,5	13,80	0,542	0,471	0,519	..	..	..	..
28.	01 ^h 04	3,70	898,5	11,87	0,568	0,487	0,540	..	..	..	..
28.	01 ^h 37	4,57	898,4	10,10	0,620	0,521	0,582	..	..	..	..
28.	02 ^h 13	5,48	898,2	8,630	0,707	0,568	0,642	..	..	..	..
28.	03 ^h 10	8,05	898,2	6,150	0,865	0,659	0,775	11,0	10,0	2,01	1,95
28.	03 ^h 35	9,50	898,2	6,060	0,917	0,683	0,813	13,0	11,5	2,05	1,98
28.	04 ^h 12	11,84	898,2	4,280	1,018	0,729	0,874	11,0	11,5	2,08	2,00
28.	04 ^h 33	13,38	898,2	3,820	1,056	0,748	0,903	14,0	12,5	2,13	2,05

(Fortsetzung)

Tabelle 30 (fortgesetzt).

Datum	1) Zeit	2) h	3) p	4) m	5) I_{total}	6) $I_{\text{RG 2}}$	7) $I_{\text{OG 1}}$	8) $\beta \cdot 10^3$	9) $\beta_p \cdot 10^3$	10) T_g	11) T_{gP}
28.	04 ^b 55	15,00	898,2	3,430	1,106	0,763	0,926	10,0	9,0	2,12	2,04
28.	05 ^b 14	16,50	898,2	3,130	1,142	0,785	0,950	12,5	11,0	2,14	2,02
28.	05 ^b 37	18,30	898,2	2,840	1,186	0,796	0,973	10,0	9,0	2,17	2,08
28.	05 ^b 56	19,80	898,2	2,630	1,211	0,811	0,970	12,5	11,0	2,16	2,06
28.	06 ^b 22	22,05	898,2	2,380	1,240	0,829	1,005	12,5	11,0	2,28	2,17
28.	06 ^b 41	23,75	898,2	2,220	1,268	0,812	1,018	5,0	4,5	2,29	2,18
28.	07 ^b 06	25,83	898,1	2,060	1,294	0,851	1,037	14,0	12,5	2,32	2,21
28.	07 ^b 48	28,55	898,0	1,875	1,318	0,855	1,044	10,0	9,0	2,39	2,27
28.	08 ^b 07	30,20	898,0	1,795	1,335	0,856	1,063	7,5	7,0	2,41	2,29
28.	08 ^b 57	34,12	898,0	1,600	1,354	0,865	1,066	12,5	11,0	2,54	2,41
28.	09 ^b 27	35,93	898,0	1,528	1,369	0,873	1,076	14,0	12,5	2,56	2,43
28.	10 ^b 04	38,37	898,2	1,440	1,385	0,878	1,087	15,0	13,5	2,62	2,49
28.	10 ^b 32	39,85	898,2	1,395	1,395	0,888	1,088	17,5	15,5	2,64	2,49
28.	10 ^b 54	40,75	897,7	1,370	1,404	0,887	1,097	14,0	12,5	2,48	2,34
28.	11 ^b 25	41,85	897,6	1,339	1,411	0,886	1,103	15,0	13,5	2,64	2,48
28.	11 ^b 58	42,43	897,6	1,324	1,418	0,891	1,106	15,0	13,5	2,64	2,49
28.	12 ^b 20	42,70	897,5	1,320	1,411	0,889	1,104	20,0	18,0	2,51	2,37
28.	12 ^b 53	42,50	897,5	1,325	1,405	0,886	1,100	20,0	18,0	2,53	2,39
28.	13 ^b 12	41,98	897,5	1,339	1,403	0,886	1,104	21,0	19,0	2,52	2,38
28.	13 ^b 41	41,50	897,4	1,351	1,403	0,888	1,102	22,5	20,0	2,50	2,35
Juli 1959											
19.	15 ^b 05	35,05	888,7	1,546	1,330	0,855	1,044	30,0	27,0	2,75	2,57
19.	15 ^b 17	34,25	888,7	1,572	1,321	0,850	1,044	30,0	27,0	2,76	2,59
19.	15 ^b 33	33,27	888,7	1,615	1,316	0,851	1,037	30,0	27,0	2,73	2,56
19.	15 ^b 48	32,07	888,8	1,670	1,309	0,863	1,032	35,0	31,0	2,70	2,53
19.	16 ^b 07	30,50	888,4	1,748	1,295	0,842	1,025	27,5	24,5	2,65	2,50
19.	16 ^b 25	29,10	888,4	1,823	1,285	0,838	1,024	29,0	26,0	2,61	2,46
19.	16 ^b 42	27,80	888,3	1,900	1,275	0,836	1,022	25,0	22,0	2,56	2,42
19.	17 ^b 01	26,05	888,2	2,020	1,268	0,849	..	27,5	24,5	2,47	2,33
19.	18 ^b 14	20,50	888,3	2,520	1,182	0,814	0,972	27,5	24,5	2,40	2,26
19.	19 ^b 10	15,77	888,2	3,230	1,089	0,763	0,920	20,0	18,0	2,29	2,18
19.	19 ^b 22	14,85	888,2	3,420	1,068	0,755	0,907	21,0	18,5	2,25	2,16
19.	19 ^b 42	12,43	888,2	4,050	1,025	0,737	0,880	15,0	13,5	2,14	2,05
19.	20 ^b 03	11,70	888,2	4,230	0,974	0,716	0,867	22,5	20,0	2,22	2,07
19.	20 ^b 39	9,10	888,1	5,430	0,884	0,671	0,784	17,5	15,5	2,20	2,06
19.	20 ^b 51	8,10	888,1	6,050	0,846	0,657	0,766	17,5	15,5	2,14	2,00
19.	21 ^b 23	6,30	887,9	7,570	0,748	0,601	0,680	..	..	2,07	2,00
19.	21 ^b 40	5,43	887,7	8,580	0,696	0,570	0,646	..	..	2,09	2,01
19.	22 ^b 05	4,60	887,8	9,890	0,609	0,519	0,573	..	..	..	..
19.	22 ^b 10	4,00	887,7	11,05	0,555	0,484	0,534	..	..	..	..
19.	22 ^b 34	3,00	887,7	13,62	0,503	0,452	0,487	..	..	..	..
19.	23 ^b 00	1,90	887,7	..	0,429	0,394	0,421	..	..	..	..
19.	23 ^b 34	1,20	887,6	..	0,361	0,310	0,347	..	..	..	..
19.	23 ^b 53	0,87	887,5	..	0,319	0,279	0,314	..	..	..	..
20.	00 ^b 07	0,75	887,3	..	0,310	0,293	0,307	..	..	..	..

(Fortsetzung)

Tabelle 30 (fortgesetzt).

Datum	1) Zeit	2) h	3) p	4) m	5) I_{total}	6) $I_{RG\ 2}$	7) $I_{OG\ 1}$	8) $\beta \cdot 10^3$	9) $\beta_p \cdot 10^3$	10) T_g	11) T_{gP}
20.	00 ^h 19	0,83	887,3	..	0,293	0,287	0,275	..	..	..	..
20.	00 ^h 31	0,60	887,2	..	0,306	0,291	0,282	..	..	..	..
20.	08 ^h 25	29,85	883,8	1,775	1,290	0,842	1,027	27,5	24,0	2,64	2,49
20.	08 ^h 40	29,27	883,6	1,800	1,300	0,845	1,032	22,5	20,0	2,55	2,40
20.	09 ^h 00	31,81	883,5	1,665	1,316	0,850	1,033	25,0	22,0	2,66	2,49
20.	10 ^h 01	35,90	882,6	1,498	1,342	0,867	1,057	32,5	28,5	2,76	2,58
20.	10 ^h 18	36,82	882,3	1,468	1,342	0,863	1,055	32,5	28,5	2,79	2,62
20.	10 ^h 44	38,25	882,2	1,422	1,342	0,854	1,045	30,0	26,5	2,89	2,69
20.	11 ^h 16	39,55	881,7	1,385	1,332	0,846	1,042	35,0	31,0	3,01	2,80
20.	11 ^h 36	40,10	881,6	1,368	1,330	0,843	1,037	35,0	31,0	3,08	2,86
20.	11 ^h 55	40,40	881,4	1,358	1,332	0,832	1,030	30,0	26,5	3,10	2,87

Aktinometermessungen

Die Spalten bedeuten:

- 1) MOZ für 45° westlich Greenwich.
MOZ (Station) = MOZ (45°) —18,5'
- 2) Sonnenhöhe
h berechnet ohne Refraktionskorrektur.
- 3) Luftdruck in mb.
- 4) Optische Luftmasse $m = m_h\ p/1000$, berechnet mit WSZ
 m_h = Relative Luftmasse, p = Luftdruck in mb.
- 5) I_{total} (cal cm⁻² min⁻¹) Intensität der Sonnenstrahlung senkrecht zur Bestrahlung, reduziert auf mittleren Sonnenabstand, Aktinometer-Skala: IPS 1956.
- 6) $I_{RG\ 2}$ (cal cm⁻² min⁻¹), Rotstrahlung senkrecht zur Bestrahlung, reduziert auf mittleren Sonnenabstand, Aktinometer-Skala: IPS 1956, Filterfaktor 1,093 angebracht.
- 7) $I_{OG\ 1}$ (cal cm⁻² min⁻¹), Gelbstrahlung senkrecht zur Bestrahlung, reduziert auf mittleren Sonnenabstand, Aktinometer-Skala: IPS 1956, Filterfaktor 1,102 angebracht.
- 8) *Ångström*'scher Trübungskoeffizient.
- 9) *Ångström*'scher Trübungskoeffizient, druckreduziert $\beta_p = p/1000$.
- 10) Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung.
- 11) »Projizierter Trübungsfaktor«.

Tabelle 31.

Datum.....	Juni 1959					Juli 1959				Mittelwert
	1.	2.	5.	6.	7.	27.	28.	19.	20.	
$\beta \cdot 10^3$ (Mittel).....	15	20	12	17	16	11	14	25	30	17
$\beta_p \cdot 10^3$ (Mittel)	13	17	11	15	14	10	12	22	27	15
Anzahl der Einzelmessungen ..	11	5	11	17	13	21	24	15	9	Summe 126

Der *Ångström*'sche Trübungskoeffizient β und β_p Mittelwerte der Meßreihen.

Tabelle 32.

Autor	Gebiet	Bemerkung	$\beta \cdot 10^3$
A. ÅNGSTRÖM (1951)	Polargebiet		≈ 45
H. OLSSON und W. SCHÜEPF (1950)	Spitzbergen Juni, Juli		28
O. TRYSELIUS (1936)	Abisko, Nord-Schweden 1931/32	Jahresmittel bei klarer Luft Sommer	8 30
WESTMAN (zitiert nach O. TRYSELIUS, 1936)	Spitzbergen	Sommer	45
G. H. LILJEQUIST (1956a) . . .	Maudheim, Antarktis 1950/52	September bis April	10–25
W. AMBACH	Camp IV-EGIG, Grön- land 1959	Juni und Juli	11–30 $\beta_p \cdot 10^3 = 10-27$
H. HOINKES und W. AMBACH, unveröff.	Kesselwandferner, Ötztaler Alpen, 3240 m	August und September 1958	15 $\beta_p \cdot 10^3 = 10$

Messungen des *Ångström*'schen Trübungskoeffizienten in Polargebieten und in den Ötztaler Alpen. Teilweise zitiert nach G. H. LILJEQUIST (1956a).

Tabelle 33.

Datum	Relative Luftmasse m_h																
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
Juni 1959																	
1.	2,34	2,20	2,08	2,03	1,98	1,94	1,91	1,88	1,86	1,83	1,80	1,79	..	..	..	..	..
2. . . . .	..	2,40	2,18	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5.	2,30	2,12	2,08	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6.	2,22	2,13	2,07	2,03	1,99	1,96	1,92	1,89	1,86	1,83	..	..	..	..	..	..	..
7.	2,35	2,23	2,14	2,08	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
27.	2,38	2,17	2,07	2,01	1,99	1,96	1,95	1,94	1,92	1,91	1,91	1,90	1,90	1,89	1,89	..	..
28.	2,49	2,25	2,15	2,09	2,05	2,03	2,01	1,99	1,98	1,97	1,96	1,95	1,95	..	..	..	..
Juli 1959																	
19.	2,74	2,47	2,31	2,24	2,20	2,15	2,10	2,07	2,05	2,04	2,03	2,02	2,02	2,01	2,01	2,00	2,00
20.	2,88	2,52	2,41	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Mittel . . . .	..	2,27	2,17	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Der »Projizierte Trübungsfaktor« für verschiedene relative Luftmassen. Die Werte des Trübungsfaktors an der Station für den Luftdruck p sind im Mittel um etwa 5–7 % größer als der »Projizierte Trübungsfaktor«. Die angeführten Werte wurden durch Interpolation des Tagesganges gefunden.

Tabelle 34.

Scheinbare Sonnenhöhe	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°	5°
Intensität (Mittel)	1,42	1,38 _s	1,34 _s	1,30	1,22 _s	1,11 _s	0,97	0,68
Intensität (Maximum) . . .	1,47	1,43	1,38	1,34	1,24	1,14	1,00	0,73

Intensität der direkten Sonnenstrahlung, 1013 m, IPS 1956. Mittlerer Sonnenabstand.

Tabelle 35.

Camp IV-EGIG Grönl. 1013 m Juni/Juli	Little America Antarktis, 44 m 23. Sept.– 22. Dez. 1957 21. März– 21. Juni 1958	Little America Antarktis, 44 m Herbst und Frühjahr 1957 Sommer 1957/58	Süd-Pol 22. Dez. 1957– 21. März 1958 21. Juni– 23. Sept. 1958	Kesselwandferner, Öztaleralpen, 3240 m August– September 1958
W. AMBACH	S. FRITZ und T. H. MAC DONALD (1960)	H. HOINKES (1960)	S. FRITZ und T. H. MAC DONALD (1960)	H. HOINKES und W. AMBACH noch nicht veröffentlicht
1,31	1,35	1,38 ⁺	1,46	1,35

Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung ($\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$) senkrecht zur Bestrahlung, für die optische Luftmasse 2 reduziert auf mittleren Sonnenabstand. Aktinometer-Skala: IPS 1956. ⁺Angabe 1,41 mit –2,9 % auf mittleren Sonnenabstand reduziert.

Tabelle 36.

Extinktion durch:	Optische Luftmasse m		
	1,5	2,0	3,0
Rayleigh-Streuung	13,0 %	16,2 %	21,6 %
Dunst-Trübung	3,5 %	4,2 %	5,7 %
Absorption in Gasen	10,0 %	10,4 %	11,4 %
Summe...	26,5 %	31,7 %	38,7 %

Die Extinktionsbeträge der Rayleigh-Streuung, Dunst-Trübung und der Absorption in Gasen für die optischen Luftmassen 1,5, 2,0 und 3,0. Angabe in Prozent der Solarkonstanten.

Tabelle 37.

Datum	Optische Luftmasse m													
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Juni 1959														
1.	64,2	66,0	67,5	69,0	70,4	71,8	73,1	74,4	75,6	76,7	..	..	..	..
2.	64,5	66,1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5.	63,7	65,3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6.	65,0	66,8	68,4	70,0	71,4	72,8	74,3	75,6	..	..	..	..	..	..
7.	64,2	66,0	67,5	69,0	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
27.	63,5	64,9	66,4	67,9	69,4	70,7	72,0	73,3	74,4	75,6	77,8	79,8	81,5	83,1
28.	63,5	64,9	66,4	67,9	69,4	70,7	72,0	73,3	74,4	75,6	77,8	79,8	81,5	83,1
Juli 1959														
19.	64,0	65,8	67,5	69,1	70,6	72,0	73,3	74,5	75,7	76,8	79,2	81,5	83,7	85,9
20.	64,0	65,8	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Mittel	64,0	65,7	67,2	68,8	70,2	71,5	73,0	74,2	75,0	76,3	78,4	80,4	82,3	84,0

Das »Wahre Rotverhältnis« in Abhängigkeit von der optischen Luftmasse. Angabe in Prozent.

Tabelle 38.

Datum	1) u_{315} 21-21 ^h	2) u_{191} 21-21 ^h	3) u_{80} 21-21 ^h	4) u_{41} 21-21 ^h	5) u_{315} 07-14 ^h	6) u_{315} 14-21 ^h	7) u_{315} 21-07 ^h	8) u_*	9) z_0	10) R_i	11) A_{100}
Mai 1959											
25.	13,80	13,58	11,88	10,45	..	..	..	60,9	0,036	0,003	2,89
26.	11,14	10,90	9,81	8,54	14,50	11,85	5,62	54,6	0,058	0,002	2,60
27.	4,86	4,73	4,23	3,97	3,60	5,87	5,65	16,7	0,002	0,024	0,78
28.	9,49	9,35	8,37	7,35	10,25	8,85	9,08	39,5	0,017	0,006	1,88
29.	12,40	12,28	11,05	9,53	15,85	9,67	10,00	52,9	0,022	0,004	2,51
30.	10,88	10,60	9,48	8,21	12,40	12,10	7,10	48,2	0,032	0,006	2,29
31.	6,65	6,45	5,64	4,83	8,70	6,15	4,13	31,2	0,054	0,011	1,46
Juni 1959											
1.	6,59	6,38	5,50	4,64	5,65	8,05	6,50	30,8	0,051	0,006	1,46
2.	7,91	7,74	6,74	5,61	8,70	10,35	5,28	38,1	0,070	0,004	1,86
3.	3,45	3,32	2,86	2,43	5,18	2,15	2,05	16,0	0,055	0,030	0,72
4.	5,06	4,94	4,26	3,54	3,82	6,90	5,21	24,5	0,076	0,008	1,16
5.	6,60	6,41	5,51	4,47	9,30	6,48	2,69	31,0	0,060	0,010	1,44
6.	9,28	8,94	7,67	6,11	9,27	11,63	6,65	47,5	0,118	0,002	2,26
7.	7,26	7,02	5,96	4,72	9,20	8,44	3,33	36,0	0,090	0,005	1,71
8.	2,21	2,09	1,74	1,45	1,98	2,00	2,74	10,6	0,079	0,090	0,43
9.	2,87	2,72	2,33	1,95	3,27	2,25	..	13,7	0,056	0,025	0,62
10. ....	..	..	3,12 ⁺	(21,2)	..	0,018	0,97
11. ....	..	..	3,27 ⁺	(22,1)	..	0,017	1,01
12. ....	..	..	3,64 ⁺	(21,1)	..	0,020	0,96
13.	10,30	9,85	8,70	7,95	9,05	11,60	11,57	52,6	0,119	0,003	2,50
14.	9,60	9,11	7,55	6,77	11,49	5,06	9,60	(67,0)	..	0,000	3,18
15.	3,77	3,45	3,17	2,90	2,35	5,00	4,86	18,4	0,092	-0,060	0,99
16.	4,85	4,56	4,10	3,76	3,24	6,25	5,76	22,3	0,044	0,014	1,03
17.	11,88	11,45	9,90	9,29	12,25	12,46	10,55	54,9	0,052	0,006	2,61
18.	9,24	8,40	8,20	7,60	12,22	9,08	5,07	42,9	0,049	0,007	2,04
19.	11,32	11,00	10,08	9,24	10,82	12,03	8,95	51,1	0,034	0,003	2,43
20.	9,31	8,95	8,10	7,47	10,65	9,64	7,09	37,4	0,013	0,008	1,78
21.	8,68	8,24	7,40	6,85	8,73	9,07	8,22	37,4	0,036	0,008	1,78
22.	8,39	7,95	7,07	6,54	9,01	9,00	6,81	35,3	0,024	0,008	1,68
23.	8,24	7,78	6,78	6,78	6,37	9,99	9,91	45,2	0,204	0,008	2,15
24.	11,95	11,38	9,86	8,99	12,06	11,97	11,75	70,4	0,339	0,003	3,34
25.	12,54	11,48	10,90	9,05	12,94	10,04	12,50	64,0	0,135	0,004	3,04
26.	12,29	11,86	10,50	9,78	12,27	12,96	11,67	61,6	0,100	0,004	2,93
27.	12,26	11,82	10,52	9,80	13,18	12,12	11,03	61,4	0,100	0,003	2,91
28.	11,34	10,90	9,69	8,98	11,53	11,83	10,57	54,5	0,069	0,003	2,59
29.	8,88	8,39	7,43	6,75	..	8,53	9,48	49,4	0,229	0,004	2,34
30.	9,60	9,08	8,20	7,19	10,17	9,76	8,61	47,8	0,100	0,004	2,27
Juli 1959											
1.	8,66	8,23	7,21	6,49	10,30	8,79	5,96	46,1	0,156	0,004	2,19
2.	7,87	7,36	6,37	5,71	7,92	7,91	7,85	45,6	0,296	0,004	2,17
3.	8,91	8,31	7,14	6,39	9,90	8,45	6,83	52,1	0,347	0,004	2,48
4.	8,62	7,81	6,80	6,29	..	9,33	6,84	46,0	0,224	0,004	2,18
5.	5,78	5,17	4,45	4,13	6,21	5,75	5,12	33,9	0,404	0,009	1,61
6.	6,46	5,80	5,01	4,84	6,27	6,61	6,64	35,7	0,250	0,007	1,70
7.	7,86	7,05	6,01	5,75	6,88	7,82	9,23	48,6	0,549	0,002	2,31
8.	6,50	5,81	5,05	4,73	6,98	7,24	5,05	37,4	0,315	0,001	1,78

Tabelle 38 (fortgesetzt).

Datum	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)
	u_{315} 21–21 ^h	u_{191} 21–21 ^h	u_{80} 21–21 ^h	u_{41} 21–21 ^h	u_{315} 07–14 ^h	u_{315} 14–21 ^h	u_{315} 21–07 ^h	u_*	z_0	R_i	A_{100}
9.	2,82	2,54	2,18	2,00	3,46	2,78	1,89	18,1	0,631	0,050	0,78
10.	9,20	8,51	7,45	7,16	6,53	9,14	13,20	40,0	0,446	0,006	1,90
11.	9,66	8,89	4,71	7,45	10,99	8,71	8,69	44,6	0,066	0,006	2,12
12.	8,24	7,44	6,34	6,05	9,48	8,74	5,96	51,4	0,513	0,004	2,44
13.	3,63	3,17	2,65	2,50	3,33	3,75	3,93	22,1	0,575	0,002	1,00
14.	4,30	3,80	3,23	3,06	4,74	3,63	4,31	27,2	0,616	0,012	1,27
15.	5,21	4,68	4,02	3,78	5,33	6,02	4,27	30,5	0,316	0,012	1,42
16.	7,10	6,42	5,50	5,18	6,85	6,86	7,68	40,9	0,316	0,006	1,94
17.	10,18	9,30	7,94	7,50	8,77	12,06	10,34	54,1	0,167	0,004	2,57
18.	5,96	5,31	4,54	4,27	7,12	4,74	5,39	30,8	0,181	0,010	1,43
19.	8,14	7,36	6,31	5,94	8,05	8,00	8,40	43,4	0,200	0,006	2,06
20.	11,34	10,42	8,87	8,35	10,52	11,31	12,64	61,1	0,207	0,002	2,90
21.	9,23	8,26	7,00	6,56	11,76	8,69	6,03	49,4	0,215	0,000	2,34
22.	2,70	2,36	2,03	1,92	3,19	2,34	2,02	14,3	0,254	0,060	0,61
23.	4,07	3,58	3,02	2,82	2,83	5,42	4,52	22,6	0,316	0,017	1,03
24.	5,17	4,59	3,89	3,67	6,10	4,74	4,28	29,8	0,380	0,009	1,42
25.	5,94	5,26	4,44	4,13	5,20	6,14	6,81	35,4	0,412	0,008	1,68
26.	10,74	9,24	7,75	7,30	10,98	11,82	8,04	63,4	0,467	0,003	3,01
27.	10,99	9,85	8,25	7,54	8,97	11,05	13,69	65,3	0,445	0,000	3,10
28.	8,50	7,55	6,36	6,06	9,90	8,08	6,83	50,5	0,400	0,007	2,40
29.	7,32	6,49	5,46	5,22	7,62	6,88	7,10	41,0	0,315	0,007	1,95
30. ....	..	..	5,16 ⁺	(36,8)	..	0,003	1,75
31. ....	..	..	6,13 ⁺	(43,6)	..	0,003	2,07
Aug. 1959											
1. ....	..	..	6,60 ⁺	(46,9)	..	0,005	2,22
2. ....	..	..	5,17 ⁺	(36,8)	..	0,003	1,75
3. ....	..	..	5,92 ⁺	(42,1)	..	0,003	2,00
4. ....	..	..	5,36 ⁺	(38,2)	..	0,008	1,81
5. ....	..	..	4,52 ⁺	(32,2)	..	0,008	1,53
6. ....	..	..	7,75 ⁺	(55,1)	..	0,005	2,62
7.	9,25	8,17	7,35	6,68	9,23	10,59	7,35	61,5	0,745	0,001	2,92
8.	3,46	3,16	2,83	2,92	3,09	4,53	2,97	13,0	0,010	0,030	0,58
9.	2,56	2,31	2,16	1,96	2,60	2,40	..	..	..	..	..

Die einzelnen Spalten bedeuten:

1) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (21^h–21^h), $\bar{h} = 315$ cm2) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (21^h–21^h), $\bar{h} = 191$ cm3) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (21^h–21^h), $\bar{h} = 80$ cm4) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (21^h–21^h), $\bar{h} = 41$ cm5) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (07^h–14^h), $\bar{h} = 315$ cm6) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (14^h–21^h), $\bar{h} = 315$ cm7) Mittlere Windgeschwindigkeit m/sek (21^h–07^h), $\bar{h} = 315$ cm

8) Schubspannungsgeschwindigkeit cm/sek

9) Rauigkeitsparameter z_0 (cm)10) Richardson-Zahl $R_i = \frac{g}{T} \frac{\kappa^2 (z + z_0)^2}{u_*^2} \frac{d\theta}{dz}$ in 100 cm Höhe11) Austauschkoeffizient ($g \text{ cm}^{-1} \text{ sek}^{-1}$) in 100 cm Höhe, Tagesmittelwert+ Werte aus Vergleichsrechnung. (u_*) mit Annahme berechnet

Tabelle 39

Windrichtung ...	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Häufigkeit n	3	0	0	0	0	1	1	4	13	77	61	19	9	10	5

Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (0 bis 31, 0 = N, 8 = E, 16 = S, 24 = W).

Anzahl der Beobachtungen $n_0 = 219$.

Tabelle 40.

Datum	Mittlere Ortszeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Mai 1959											
25. ....	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
26.	0,7	0,5	0,7	0,4	0,2	-0,1	-0,6	-0,3	0,0	0,5	1,1
27.	-1,7	-3,1	-3,2	-3,3	-3,2	-3,1	-2,5	-2,2	-2,8	-1,4	-1,1
28.	-7,2	-7,1	-7,4	-7,7 ^x	-7,6	-7,2	-6,1	-4,8	-4,1	-2,9	-2,0
29.	-4,4	-4,1	-3,6	-2,8	-2,6	-2,1	-1,7	-0,4	0,4	1,4	2,3
30.	-1,1 ^x	-1,0	-0,8	0,0	0,8	1,2	1,4	1,5	2,0	2,1	2,2
31.	1,6	1,2	1,1	1,0	0,4	0,8	1,4	1,8	2,5	2,8	2,9 ⁺
Juni 1959											
1.	-2,3	-3,4	-3,5 ^x	-2,5	-2,0	-1,1	0,3	1,0	1,7	1,7	2,0 ⁺
2.	-3,8	-4,5	-5,0	-6,2 ^x	-6,0	-5,9	-5,5	-4,5	-3,4	-2,4	-1,9
3.	-6,9	-7,4	-7,9 ^x	-7,8	-7,9	-7,6	-6,7	-4,4	-1,9	-0,7	-0,6 ⁺
4.	-4,4	-4,3	-4,2	-4,4 ^x	-4,4	-4,4	-3,4	-2,6	-2,5	-2,1	-1,2
5.	-5,3	-5,9	-6,4 ^x	-6,3	-5,6	-5,1	-4,3	-3,3	-2,2	-0,9	0,1
6.	-4,2	-5,0	-5,6	-6,2	-6,5 ^x	-6,4	-6,4	-6,0	-5,4	-4,8	-4,2
7.	-5,8	-6,1	-6,5	-6,6 ^x	-6,3	-5,9	-6,1	-4,6	-3,6	-2,7	-1,9
8.	-1,3	-1,9	-2,1 ^x	-1,9	-1,9	-1,7	-1,0	0,0	0,5	1,1	1,1
9.	-2,8	-3,1	-3,3	-3,2	-3,3	-3,5 ^x	-3,5 ^x	-3,2	-2,2	-2,5	-3,2
10.	-5,1	-5,0	-5,0	-4,3	-4,2	-5,0	-5,1 ^x	-4,9	-4,9	-4,5	-3,6
11.	-4,2	-4,3	-4,3	-4,3	-4,1	-3,9	-3,7	-4,1	-4,8 ^x	-4,3	-3,7
12.	-5,2	-5,1	-4,8	-5,0	-5,3	-5,6	-5,1	-4,3	-3,6	-2,7	-2,6
13.	-4,3	-4,2	-4,1	-4,1	-4,0	-3,8	-3,8	-3,8	-3,2	-3,0	-2,5
14.	-3,2 ^x	-3,1	-3,1	-2,6	-1,7	-1,2	-1,0	-0,5	-0,1 ⁺	-0,2	-0,4
15.	-2,8 ^x	-2,7	-2,6	-2,2	-2,1	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,1	-1,8 ⁺
16.	-3,4	-3,3	-3,3	-4,1	-6,8	-7,5	-8,8 ^x	-8,8 ^x	-7,0	-5,8	-5,0
17.	-7,1	-7,5	-7,7 ^x	-7,6	-7,5	-7,2	-6,5	-5,5	-4,3	-3,0	-1,9
18.	-5,8	-6,5	-6,3	-6,6 ^x	-6,6 ^x	-6,1	-5,6	-4,7	-3,3	-2,2	-1,1
19.	-6,1	-6,0	-5,9	-6,3 ^x	-6,2	-6,0	-5,4	-4,6	-3,7	-2,9	-1,7
20.	-6,6	-7,2 ^x	-6,8	-6,7	-6,8	-6,3	-5,3	-3,8	-2,4	-1,6	-0,6
21.	-5,5	-5,2	-5,8 ^x	-5,6	-4,1	-2,7	-2,0	-2,1	-2,0	-2,7	-0,6
22.	-0,4	-0,5	-0,6 ^x	-0,6	-0,2	0,8	1,3	1,5	1,1	1,3	1,5
23.	2,8	2,8	2,4	2,2 ^x	2,3	2,6	2,8	2,7	3,0	3,2	3,1
24.	3,5	3,7	3,6	3,5	3,2 ^x	3,2 ^x	3,5	3,7	3,6	3,6	3,7
25.	3,8	3,5	3,2	2,9 ^x	3,1	3,2	3,3	3,7	4,0	4,3	4,3
26.	4,2	4,5	4,6 ⁺	4,4	4,4	4,3	4,4	4,4	4,5	4,4	4,2

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
4	3	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

(Fortsetzung)

Tabelle 40

Datum	Mittlere Ortszeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
27.	3,7	3,4	3,3	3,2×	3,3	3,4	3,5	3,4	3,5	3,5	3,6
28.	3,1	3,0	3,0×	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,4	3,7	3,8+
29.	2,2	2,1	2,0×	2,1	2,2	2,4	2,6	2,6	2,6	2,7	2,9
30.	2,6	2,4	2,2	2,2	2,2×	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0
Juli 1959											
1.	1,4	0,9	0,6	0,2	0,1×	0,2	0,4	0,8	1,3	1,8	2,0
2.	0,3	0,2	0,0	—0,1×	—0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	2,3	2,6
3.	0,4	0,3	0,2×	0,3	0,5	0,8	1,2	1,7	2,1	2,4	2,5
4.	0,8	0,7	0,2	0,1×	0,3	0,8	1,0	1,3	1,3	1,5	1,8
5.	1,1	0,9×	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	1,4	1,6	1,8
6.	1,4	0,9	0,7×	0,8	0,9	1,1	1,5	2,0	2,0	2,0	1,8
7.	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,5
8.	0,7	0,4	—0,1	—0,1	0,0	0,1	0,3	0,6	0,6	0,5	0,4
9.	—1,6	—1,4	—1,5	—1,4	—1,5	—1,6	—1,6	—1,5	—1,2	—1,0	0,5
10.	—8,3	—8,6	—8,8×	—7,2	—6,5	—5,6	—4,5	—3,5	—2,5	—1,4	—0,6
11.	0,7	1,7	1,8	1,0	1,3	2,0	1,7	1,6	1,8	1,9	2,3
12.	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,0+	2,7	2,5	2,3
13.	1,4	1,5	2,0	2,0	1,4	1,3	1,1×	1,2	1,2	1,5	1,7
14.	1,4	1,7	1,4	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2×	1,3	1,5	1,5
15.	1,6	1,6	1,3	1,3×	1,4	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5
16.	0,9	0,5	0,4×	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,9	2,2
17.	0,7	0,9	0,7	0,5×	0,6	0,7	1,0	1,5	2,3	2,6	2,6
18.	2,1	2,1	1,7	1,6	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4
19.	0,7	1,2	0,8	0,6	0,9	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,3
20.	0,7	0,3	0,3×	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,6
21.	2,5	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2	0,7	0,6×	0,7	0,9	1,2
22.	1,3	1,1	1,2	1,1	0,8	0,8	0,9	1,3	1,5	1,6	2,5
23.	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	1,0	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2
24.	—0,7	—0,7×	—0,6	—0,3	0,1	0,4	0,4	1,4	1,2	1,6	1,8
25.	1,2	1,2	1,1×	1,3	1,3	1,5	1,8	2,0	2,0	2,0	2,1
26.	2,2	1,7	0,9×	0,9	1,1	1,8	2,0	3,0	3,3	3,3+	3,0
27.	2,1×	2,5	2,6	2,5	2,7	2,9	2,9	2,8	2,9	3,4	3,7
28.	3,6	2,8	2,6	2,6×	2,7	2,9	2,9	3,0	2,7	2,7	2,7
29.	2,6	2,3	2,0	1,9	1,8	1,4×	1,7	2,3	2,6	2,8	2,7
30.	—0,6	—1,0	—1,1×	—1,0	—1,0	—0,9	—0,9	—0,2	0,3	0,7	0,8
31.	—2,2	—1,9	—0,9	—0,9	—0,9	—1,3	—2,5	—1,8	—1,1	—0,7	—0,2
August 1959											
1.	—3,1	—3,6	—3,7	—3,8×	—3,6	—3,5	—3,2	—2,7	—1,7	—1,0	0,3
2.	—0,3	0,0	0,4	0,3	0,5	0,9	1,4	1,3+	1,0	0,8	0,4
3.	—1,0	—1,0	—1,2	—2,0×	—1,3	—1,4	—1,2	—1,3	—1,5	—1,1	—0,4
4.	1,4	0,9	0,9	0,7×	0,8	1,0	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0
5.	0,3	0,0	—0,2	—0,4	—0,8	—0,8×	—0,7	—0,6	—0,3	0,0	0,1
6.	—1,6×	—1,4	—1,4	—1,3	—1,2	—0,9	—0,2	0,2	1,0	1,2	1,8
7.	—3,6	—3,8×	—3,7	—2,5	—1,3	—1,0	—0,5	0,2	0,9	1,2	1,5
8.	—1,1	—1,3	—1,4	—1,2	—0,9	—0,3	—0,3	—0,4	—0,2	—0,1	0,2
9.	—2,2	—2,6	—3,8×	—3,6	—2,9	—1,6	—1,3	—1,1	—0,6	—0,3	0,1

Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, mittlere Höhe 187 cm. + Maximum × Minimum (21^h–21^h).

Tabelle 41.

Datum	Mittlere Ortszeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Mai 1959											
25. ....	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
26.	3,3	3,2	3,3	3,1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,2	3,3	3,6
27.	3,7	3,4	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,2	3,0	3,5	3,7
28.	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,4	2,5	2,7	2,9	3,2
29.	2,5	2,6	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7	3,8	4,2	4,4	4,5
30.	3,0	3,0	3,0	3,2	3,4	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6
31.	3,7	3,6	3,6	3,6	3,4	3,5	3,5	3,7	3,8	3,9	3,9
Juni 1959											
1.	2,9	2,8	2,7	2,8	2,9	3,3	3,7	3,8	4,0	4,0	3,7
2.	2,4	2,3	2,2	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7
3.	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,4	2,9	2,8	3,0
4.	2,7	2,6	2,8	2,7	2,6	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9
5.	2,2	2,1	2,0	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5
6.	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,3
7.	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,4	2,6	2,8	2,9
8.	3,6	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,7	3,8	3,8	3,8
9.	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,5	3,7	3,6	3,5
10.	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6
11.	2,8	2,8	2,8	2,4	2,9	2,9	3,0	2,8	2,5	2,6	2,7
12.	2,9	2,9	2,9	2,8	2,4	2,9	2,7	2,7	2,9	3,4	3,4
13.	2,8	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,7	2,8	2,9	2,9
14.	3,5	3,6	3,6	3,7	4,0	4,1	4,2	4,4	4,5	4,5	4,4
15.	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,9	4,0
16.	3,5	3,5	3,5	3,3	2,6	2,4	2,2	1,9	2,1	2,4	2,5
17.	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2
18.	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,7	3,0
19.	2,3	2,2	2,1	2,0	2,1	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	3,0
20.	2,1	2,0	2,1	2,2	2,1	2,2	2,3	2,7	2,9	3,1	3,4
21.	2,5	2,5	2,4	2,4	2,7	3,0	3,0	3,4	3,3	3,1	3,4
22.	3,4	3,7	4,0	4,1	4,2	4,5	4,6	4,6	4,4	4,6	4,5
23.	4,4	4,4	4,4	4,3	4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
24.	4,5	4,4	4,2	4,0	3,9	3,9	4,0	3,9	4,0	4,0	4,0
25.	4,2	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,4	4,5	4,6
26.	4,8	4,8	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4
27.	4,5	4,5	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
28.	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5	4,5	4,5	4,5
29.	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6
30.	4,3	4,3	4,1	4,0	3,9	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3
Juli 1959											
1.	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	3,2	3,2	3,4	3,4	3,5	3,6
2.	3,7	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,5	3,6	3,8	4,1	4,2
3.	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,7	3,7	3,9	4,0	4,1	4,2
4.	3,8	3,7	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8	3,9
5.	4,3	4,4	4,7	4,6	4,6	4,7	4,7	4,5	4,6	4,6	4,7

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
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3,7	3,5	3,5
3,6	3,6	3,5	3,8	4,0	4,1	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,8	3,7
3,7	3,7	3,5	3,5	3,5	3,6	3,5	3,2	2,8	2,7	2,5	2,2	2,2
3,7	3,6	3,4	3,4	3,4	3,4	3,3	3,0	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5
4,5	4,6	4,6	4,5	4,4	4,4	4,2	4,2	4,2	4,1	3,7	3,2	3,0
3,7	3,7	3,8	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,0	4,2	4,0	3,9	3,7
3,9	3,7	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,4	3,3	3,0	3,2	3,0
3,6	3,6	3,7	3,7	3,9	3,8	3,7	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7
2,9	3,0	3,1	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,0	2,8	2,4	2,2
3,2	3,4	3,5	3,5	3,4	3,3	3,0	3,2	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8
2,9	3,0	3,2	3,2	3,2	3,2	3,4	3,4	3,2	2,9	2,7	2,4	2,3
3,6	3,6	3,6	3,9	3,9	3,9	4,1	4,0	3,8	3,7	3,1	3,2	2,5
2,5	2,6	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,5	3,5	3,1	2,9	2,6	2,3
3,0	3,2	3,4	3,6	3,7	3,8	3,8	4,0	3,8	3,5	3,7	3,5	3,5
3,8	3,7	3,7	3,6	4,0	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4
3,5	3,5	3,4	3,3	3,6	3,7	3,6	3,5	3,5	3,5	3,3	3,2	3,0
2,8	2,7	2,7	2,9	2,8	2,8	3,0	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8
2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,1	3,1	3,0	2,9	2,9
3,3	3,4	3,2	3,1	3,1	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,6	2,7
3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2	3,1	3,2	3,1	3,1	3,2	3,1
4,3	4,4	4,5	4,4	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8
4,0	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,6	3,5	3,5
2,7	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,1	2,9	2,5	2,3	2,2	2,1
3,6	3,7	3,8	4,0	3,9	3,8	3,7	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,3
3,2	3,4	3,6	3,8	3,8	3,9	3,8	3,7	3,6	3,2	2,7	2,5	2,4
3,1	3,0	3,3	3,4	3,7	3,7	3,7	3,4	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3
3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,8	3,6	3,1	2,5	2,6
3,7	3,8	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,6	3,5
4,5	4,6	4,6	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,7	4,5	4,5	4,5	4,4
4,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5
4,2	4,2	4,1	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,2	4,3	4,2	4,3	4,1
4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8	4,6	4,7	4,7
4,4	4,4	4,4	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
4,5	4,4	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4
4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,6	4,5	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6
4,5	4,5	4,5	4,5	4,7	4,5	4,7	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4
4,3	4,3	4,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,3	4,2	4,2	4,1	4,1	3,9
3,7	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,1	4,1	4,0	3,8	3,7
4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	3,9	3,8
4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,0	3,8	3,8
3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	5,0	4,3
4,5	4,5	4,5	4,6	4,6	4,8	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5

(Fortsetzung)

Tabelle 41

Datum	Mittlere Ortszeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
6.	4,4	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,3	4,4
7.	4,0	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,6
8.	4,6	4,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4
9.	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,9
10.	1,9	1,9	1,8	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5
11.	4,1	4,6	5,0	4,8	4,8	5,0	5,0	4,8	5,0	5,0	5,2
12.	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	5,0	5,1	5,0	5,0	5,2
13.	5,0	5,0	5,2	5,2	5,0	4,9	4,7	4,6	4,6	4,7	4,7
14.	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,7	4,7	4,7	4,8	4,9	4,9
15.	4,5	4,4	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5
16.	4,3	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,7	3,9	4,0	4,1	4,3
17.	4,1	3,9	3,7	3,6	3,5	3,5	3,6	3,7	3,9	4,0	4,0
18.	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7
19.	4,4	4,4	4,2	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,4
20.	3,8	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	3,9	4,1	4,2
21.	4,6	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7	4,6	4,5	4,5	4,5	4,6
22.	4,6	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,4	4,5
23.	4,4	4,4	4,5	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,5
24.	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	4,1	4,1	4,5	4,6	4,5	4,6
25.	4,5	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
26.	4,3	4,1	3,8	3,8	3,7	3,9	4,0	4,3	4,4	4,4	4,4
27.	4,8	4,9	4,9	4,9	5,1	5,2	5,2	5,1	4,9	4,7	4,7
28.	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
29.	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	4,9	4,8	4,8
30.	4,1	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,9	4,0
31.	3,4	3,3	3,4	3,3	3,3	3,2	2,8	2,9	3,2	3,2	3,3
August 1959											
1.	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,8	3,0	3,4
2.	3,4	3,3	3,3	3,3	3,5	3,8	4,5	4,5	4,5	4,4	4,3
3.	4,2	4,1	3,9	3,6	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2	3,3
4.	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,5	4,6	4,6	4,5	4,4
5.	4,2	4,1	4,1	4,1	3,9	4,0	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2
6.	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,4	3,5	3,8	3,8	4,0
7.	2,6	2,7	2,9	3,2	3,5	3,5	3,6	3,8	3,9	4,0	4,0
8.	4,1	4,0	3,9	3,9	4,0	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,3

Stundenmittelwerte des Dampfdruckes (mm Hg), mittlere Höhe 187 cm.

(fortgesetzt).

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
4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,4	4,4	4,3	4,1	4,2
4,5	4,6	4,5	4,6	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,6
4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,0	4,0	3,9
4,2	3,9	3,8	3,7	3,7	3,6	4,1	3,5	3,3	2,9	2,7	2,3	2,1
3,7	3,7	3,8	4,1	4,1	4,2	4,2	4,0	3,8	3,8	3,7	3,8	4,0
5,0	5,0	5,0	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,2	5,0
5,1	5,1	5,1	5,1	4,9	4,9	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
4,9	4,8	4,8	4,7	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6
4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,6
4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,3
4,4	4,5	4,6	4,6	4,5	4,5	4,7	4,7	4,9	4,6	4,5	4,4	4,3
4,0	4,1	4,1	4,2	4,3	4,3	4,3	4,4	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4
4,7	4,7	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,4
4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4	4,2	4,1	3,9
4,4	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,3	4,4	4,3	4,3	4,3	4,4
4,5	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
4,5	4,7	4,7	4,6	4,9	4,8	4,6	4,5	4,3	4,4	3,8	3,7	4,0
4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5	4,4	4,6	4,5	4,4	4,2	4,0	3,9
4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5
4,2	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,3	4,3
4,6	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8
4,7	4,7	4,6	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	4,8	4,7	4,7	4,7
4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,7	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6
4,7	4,6	4,4	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4	4,2	4,4	4,4	4,4	4,2
3,9	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,1	3,8	3,6	3,4	3,4
3,4	3,5	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,1	3,0	2,8
3,7	3,9	4,1	4,3	4,4	4,4	4,4	4,3	4,4	4,1	4,0	3,8	3,4
4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3
3,4	3,5	3,7	3,7	3,8	3,7	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,9	4,2
4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,3	4,4	4,4	4,5	4,4	4,3	4,3
4,1	4,1	4,2	4,3	4,4	4,4	4,3	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2
4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,1	4,2	4,0	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7
4,0	3,9	3,8	3,7	4,2	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,3	4,1
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	3,8	3,7	3,7	3,8

Tabelle 42.

Datum	1) \bar{T}	2) max. Reg.	3) min. Reg.	4) Δ	5) min. 168	6) min. 2	7) max. 168	8) max. 2	9) $\Delta \bar{T}$
Mai 1959									
25. ....	..	..	..	..	..	..	..	..	0,52
26.	-0,10	2,1	-1,7	3,8	..	..	..	..	0,27
27.	-2,51	0,1	-4,2	4,3	..	..	..	..	0,28
28.	-3,80	0,1	-7,7	7,8	-8,0	..	0,2	..	0,36
29.	0,40	2,8	-4,8	7,6	-2,0	..	..	..	0,46
30.	1,68	3,1	-1,1	4,2	-2,3	..	3,5	..	0,53
31.	1,28	2,9	0,0	2,9	0,4	..	3,3	..	0,56
Juni 1959									
1.	-0,15	2,0	-3,5	5,5	-3,9	-4,2	2,5	..	0,45
2.	-3,11	-0,6	-6,2	5,6	-5,4	-6,6	0,2	..	0,25
3.	-3,93	-0,6	-7,9	7,3	-8,3	-8,5	0,5	..	0,34
4.	-2,64	-0,4	-4,4	4,0	-5,0	-5,2	0,1	..	0,20
5.	-1,84	2,2	-6,4	4,2	-6,6	-7,0	2,2	..	0,39
6.	-3,78	-0,6	-6,5	5,9	-6,2	-6,8	0,0	..	0,16
7.	-2,74	0,2	-6,6	6,8	-6,3	-7,0	1,1	0,0	0,26
8.	-0,66	2,4	-2,1	4,5	-2,6	-2,6	3,4	1,1	0,40
9.	-2,94	-1,4	-3,5	2,1	-4,0	-3,0	-1,8	-2,0	0,19
10.	-3,62	0,5	-5,1	5,6	-6,0	-5,6	0,1	-1,8	0,33
11.	-3,84	-2,4	-4,8	2,4	-4,8	-4,7	-2,0	-2,5	0,17
12.	-4,10	-2,2	-5,8	3,6	-6,0	-6,0	-1,4	-2,0	0,36
13.	-2,80	-1,7	-6,3	4,6	-6,7	-7,2	-1,0	-2,4	0,37
14.	-1,55	-0,1	-3,2	3,1	-1,6	-5,3	0,2	0,0	0,00
15.	-2,37	-1,8	-2,8	1,0	-2,8	-1,1	-1,3	0,0	-0,86
16.	-4,55	-2,1	-8,8	6,7	-9,8	-8,5	-0,6	-2,7	0,28
17.	-3,44	0,5	-7,7	8,2	-8,2	-8,6	0,6	-0,6	0,69
18.	-2,60	1,5	-6,6	8,1	-7,1	-7,8	2,6	0,0	0,53
19.	-2,70	1,4	-6,3	7,7	-7,0	-7,7	1,8	-0,3	0,32
20.	-2,65	1,2	-7,2	8,4	-7,9	-7,8	2,0	-0,1	0,45
21.	-1,13	1,6	-5,8	7,4	-6,8	-7,0	2,4	-0,2	0,44
22.	1,42	2,7	-0,6	3,3	-1,5	-1,2	4,0	1,6	0,40
23.	3,15	3,8	2,2	1,6	1,8	0,4	5,0	3,3	0,66
24.	3,64	4,0	3,2	0,8	2,8	1,2	4,5	3,5	0,71
25.	4,02	4,6	2,9	1,7	2,3	3,1	6,0	4,0	0,64
26.	4,28	4,6	4,1	0,5	2,7	3,5	6,4	4,5	0,61
27.	3,64	4,0	3,2	0,8	3,0	..	4,1	3,6	0,44
28.	3,22	3,8	3,0	0,8	2,8	..	4,0	3,4	0,40
29.	2,80	3,3	2,0	1,3	..	1,3	3,5	3,3	0,36
30.	2,78	3,5	3,2	1,3	0,8	-0,8	3,8	3,0	0,42
Juli 1959									
1.	1,61	2,9	0,1	2,8	-0,5	-0,2	3,4	2,5	0,34
2.	1,50	2,8	-0,2	3,0	-0,6	-0,6	3,3	2,5	0,38
3.	1,72	2,9	0,2	2,7	0,2	0,2	3,5	2,2	0,43
4.	1,44	2,2	0,1	2,1	-0,3	-0,2	2,8	1,7	0,38
5.	1,65	2,5	0,9	1,6	0,4	0,0	3,1	2,2	0,44
6.	1,66	2,1	0,7	1,4	0,5	0,2	2,9	1,9	0,39
7.	1,02	1,9	0,4	1,5	0,2	0,2	2,8	1,5	0,18
8.	0,06	0,8	0,7	1,5	-0,2	-0,2	0,8	0,5	0,08

(Fortsetzung)

Tabelle 42 (fortgesetzt).

Datum	1) \bar{T}	2) max. Reg.	3) min. Reg.	4) Δ	5) min. 168	6) min. 2	7) max. 168	8) max. 2	9) $\Delta \bar{T}$
9.	-1,02	4,1	-4,1	8,2	-1,9	-2,4	4,4	0,0	0,61
10.	-2,24	0,8	-8,8	9,6	-9,4	-9,7	1,1	-0,5	0,39
11.	2,00	2,6	-0,5	3,1	-0,3	-2,5	3,0	2,3	0,47
12.	2,16	3,0	1,5	1,5	1,7	1,0	2,7	2,9	0,45
13.	1,67	2,2	1,1	1,1	1,0	0,7	3,1	2,1	0,47
14.	1,45	1,8	1,2	0,6	1,1	0,5	2,2	1,6	0,37
15.	2,03	2,8	1,3	1,5	1,1	0,2	3,8	2,5	0,44
16.	1,42	2,4	0,4	2,0	0,1	-0,3	2,1	3,1	0,40
17.	2,04	3,0	0,5	2,5	0,7	0,0	3,5	2,5	0,51
18.	1,44	2,5	1,0	1,5	1,1	0,5	2,9	2,4	0,40
19.	1,86	2,7	0,3	2,4	-0,1	-0,4	3,2	2,2	..
20.	2,28	3,9	0,3	3,6	-1,3	0,7	4,4	3,3	0,34
21.	1,33	3,1	0,6	2,5	0,5	0,4	2,0	2,2	-0,02
22.	1,31	4,0	-0,3	4,3	0,6	0,6	5,8	3,4	0,50
23.	1,46	2,9	-1,2	4,1	-1,8	-1,8	3,6	..	0,36
24.	1,24	2,6	-0,7	3,3	-0,9	-1,0	3,3	2,0	0,34
25.	1,99	2,6	1,1	1,5	0,9	0,9	3,0	2,2	..
26.	2,20	3,3	0,9	2,4	0,3	-0,5	3,8	3,0	..
27.	3,78	5,1	2,1	3,0	1,6	2,1	6,0	4,5	1,07
28.	2,76	4,6	2,6	2,0	1,9	2,0	5,0	4,2	0,68
29.	2,06	3,0	1,4	1,6	1,0	1,2	3,6	3,0	0,45
30.	0,33	1,8	-1,1	2,9	-1,3	-1,4	2,6	1,5	0,14
31.	-0,61	1,3	-2,4	3,7	-3,2	-2,8	1,5	0,6	0,22
August 1959									
1.	-0,60	1,7	-3,8	5,5	-5,3	-4,4	2,5	1,3	0,43
2.	0,32	1,3	-0,4	1,7	-0,8	-3,5	1,5	1,1	0,18
3.	0,17	2,1	-2,0	4,1	-2,9	-2,7	2,5	1,6	0,25
4.	1,33	2,1	0,7	1,4	0,3	0,1	2,9	1,8	0,44
5.	0,07	1,5	-0,8	2,3	-1,5	-1,0	2,0	1,0	0,35
6.	0,10	2,1	-1,6	3,7	-2,4	-2,0	3,0	1,5	0,59
7.	-0,16	1,6	-3,8	5,4	-4,3	-4,1	1,8	1,4	0,28
8.	-0,71	0,5	-1,7	2,2	-2,0	-1,5	0,3	0,3	0,21

Mittel-, Extrem- und Differenzwerte der Lufttemperatur.

Die einzelnen Spalten bedeuten:

- 1) 24 stündiges Mittel der Lufttemperaturen, mittlere Höhe des Thermographen 187 cm.
- 2) Maximum-Temperatur aus der Registrierung für den Zeitabschnitt 21–21^h.
- 3) Minimum-Temperatur aus der Registrierung für den Zeitabschnitt 21–21^h.
- 4) Maximale Schwankung (Spalte 2 – Spalte 3) für den Zeitabschnitt 21–21^h.
- 5) Minimum-Temperatur, mittlere Höhe 168 cm gemessen in meteorologischer Hütte mit Hilfe eines Minimum-Thermometers, Ablesung 7^h.
- 6) Minimum-Temperatur, mittlere Höhe 2 cm gemessen in meteorologischer Hütte mit Hilfe eines Minimum-Thermometers, Ablesung 7^h.
- 7) Maximum-Temperatur, mittlere Höhe 168 cm gemessen in meteorologischer Hütte mit Hilfe eines Maximum-Thermometers, Ablesung 21^h.
- 8) Maximum-Temperatur, mittlere Höhe 2 cm gemessen in meteorologischer Hütte mit Hilfe eines Maximum-Thermometers, Ablesung 21^h.
- 9) 24 stündiger Mittelwert der Differenz der Lufttemperatur in den Höhen $z_1 = 16$ cm und $z_2 = 207,5$ cm.

Tabelle 43.

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
Mai 1959											
25.	0,50	0,37	0,40	0,30	0,58	0,55	0,47	0,42	0,43	0,44	0,44
26.	0,42	0,39	0,39	0,42	0,59	0,43	0,33	0,22	0,30	0,30	0,42
27.	-0,07	-0,07	-0,03	0,00	0,30	0,00	0,15	0,15	0,07	0,59	0,59
28.	0,31	0,33	0,33	0,25	0,19	0,15	0,12	0,15	0,15	0,37	0,44
29.	0,37	0,37	0,25	0,15	0,19	0,07	0,15	0,33	0,49	0,55	0,76
30.	0,25	0,22	0,22	0,30	0,33	0,37	0,31	0,22	0,30	0,40	0,52
31.	0,37	0,31	0,25	0,25	0,22	0,16	0,07	0,12	0,33	0,33	0,82
Juni 1959											
1.	0,47	0,22	0,19	0,13	0,04	0,12	0,22	0,47	0,52	0,67	0,52
2.	0,30	0,22	0,12	0,07	-0,04	-0,13	-0,10	-0,04	-0,04	-0,04	0,04
3.	0,15	0,12	0,07	0,03	-0,18	-0,37	-0,44	-0,22	0,25	0,93	1,11
4.	-0,09	-0,07	-0,07	-0,04	-0,07	-0,03	0,16	0,16	-0,03	0,04	0,15
5.	0,19	0,15	0,13	0,12	0,12	0,03	-0,02	0,00	0,07	0,22	0,47
6.	0,22	0,16	0,15	0,07	0,02	-0,09	-0,15	-0,15	-0,13	-0,13	-0,07
7.	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,02	-0,03	0,06	0,10	0,19
8.	-0,09	-0,13	-0,16	-0,13	-0,06	0,06	-0,22	0,43	0,80	0,50	0,99
9.	-0,10	-0,12	-0,10	-0,10	-0,10	-0,04	-0,03	0,06	0,65	0,19	0,16
10.	-0,10	-0,07	-0,07	0,03	0,13	-0,03	0,03	0,13	0,15	0,22	0,37
11.	0,00	0,04	0,07	0,12	0,16	0,19	0,31	0,24	0,21	0,21	0,50
12.	0,07	0,06	0,12	0,07	0,15	0,13	0,37	0,22	0,40	0,13	-0,30
13.	0,15	0,16	0,13	0,16	0,21	0,22	0,30	0,31	0,39	0,43	0,52
14.	0,39	0,34	0,33	0,30	0,30	0,21	0,07	0,06	0,07	0,04	-0,02
15.	-0,37	-0,46	-0,56	-0,52	-0,47	-0,92	-1,13	-0,98	-1,26	-1,24	-1,30
16.	-0,16	-0,15	-0,12	0,62	0,22	-0,52	-0,52	-0,37	-0,21	0,16	0,02
17.	0,86	0,79	0,89	0,83	0,71	0,61	0,56	0,46	0,44	0,46	0,55
18.	0,50	0,44	0,43	0,44	0,39	0,16	0,24	0,12	0,18	0,18	0,24
19.	0,36	0,37	0,37	0,43	0,42	0,31	0,25	0,13	0,07	0,04	0,13
20.	0,39	0,44	0,31	0,36	0,31	0,22	0,16	0,19	0,18	0,22	0,30
21.	0,27	0,31	0,22	0,19	0,25	0,24	0,22	0,21	0,39	0,47	0,67
22.	0,18	0,13	0,10	0,10	0,10	0,19	0,25	0,12	0,03	0,24	0,27
23.	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,52 ⁺	0,53	0,53	0,58
24.	0,62	0,64	0,61	0,52	0,50	0,58	0,64	0,65	0,67	0,70	0,84
25.	0,62	0,56	0,44	0,43	0,42	0,43	0,47	0,59	0,59	0,61	0,65
26.	0,64	0,64	0,62	0,62	0,56	0,49	0,49	0,44	0,50	0,50	0,52
27.	0,49	0,40	0,40	0,34	0,36	0,33	0,30	0,37	0,37	0,40	0,41
28.	0,36	0,36	0,37	0,39	0,33	0,36	0,37	0,39	0,40	0,40	0,49
29.	0,28	0,25	0,25	0,24	0,21	0,22	0,21	0,28	0,28	0,28	0,36
30.	0,34	0,28	0,22	0,22	0,22	0,18	0,18	0,27	0,31	0,34	0,43
Juli 1959											
1.	0,21	0,16	0,12	0,10	0,09	0,03	0,03	0,04	0,13	0,18	0,27
2.	0,37	0,34	0,25	0,22	0,22	0,15	0,15	0,18	0,22	0,37	0,49
3.	0,28	0,30	0,25	0,24	0,28	0,25	0,24	0,27	0,31	0,49	0,62
4.	0,31	0,30	0,25	0,28	0,25	0,22	0,21	0,22	0,16	0,18	0,22
5.	0,15	0,16	0,22	0,16	0,22	0,27	0,28	0,30	0,49	0,43	0,30

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
0,44	0,49	0,61	0,56	0,67	0,79	0,67	0,70	0,67	0,67	0,53	0,42	0,37
0,40	0,37	0,27	0,15	0,15	0,10	0,15	0,27	0,07	0,24	0,07	0,07	0,00
0,44	..	..	0,82	0,70	0,44	0,64	0,40	0,34	0,37	0,34	0,28	0,31
0,25	0,34	0,70	0,86	0,67	0,52	0,37	0,40	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
0,89	0,89	0,74	0,77	0,67	0,56	0,55	0,52	0,52	0,37	0,37	0,22	0,27
0,59	0,67	0,87	0,89	1,08	0,71	0,86	0,83	0,74	0,86	0,52	0,44	0,37
0,87	1,08	1,16	0,82	1,08	0,77	0,52	0,37	0,73	0,71	1,08	0,67	0,42
0,49	0,25	0,31	0,44	0,84	1,11	0,89	0,74	0,61	0,36	0,44	0,37	0,40
0,10	0,22	0,31	0,52	0,74	0,67	0,82	0,82	0,56	0,37	0,22	0,19	0,15
0,77	0,73	0,59	0,65	1,05	1,11	0,86	0,40	0,15	0,55	0,07	-0,13	-0,09
0,39	0,21	0,12	0,16	0,44	0,74	0,82	0,44	0,42	0,30	0,25	0,22	0,24
0,49	0,53	0,70	0,50	0,70	0,74	1,16	0,96	0,62	0,59	0,36	0,27	0,27
-0,07	-0,03	0,07	0,19	0,40	0,59	0,71	0,79	0,55	0,25	0,22	0,16	0,21
0,27	0,30	0,50	0,82	0,80	0,86	0,99	0,40	0,28	0,03	-0,04	-0,12	-0,07
1,05	1,50	1,41	2,44	1,17	0,42	0,15	0,00	-0,10	-0,12	-0,07	-0,10	-0,13
0,30	0,30	0,03	-0,04	0,61	0,84	0,95	0,71	0,42	0,03	0,04	-0,09	-0,06
0,49	0,15	0,30	0,71	0,76	0,52	2,47	0,80	0,56	0,18	0,15	0,10	0,07
0,53	0,50	0,22	0,30	0,18	0,02	0,00	-0,03	-0,07	-0,03	0,22	0,07	0,07
0,16	0,30	0,36	0,30	0,80	1,18	1,26	0,87	0,64	0,52	0,40	0,16	0,22
0,58	0,59	0,64	0,59	0,50	0,50	0,52	0,37	0,36	0,30	0,30	0,30	0,33
0,07	0,10	0,12	-0,04	-0,50	-0,49	-0,08	-0,03	0,15	-0,10	-0,18	-0,56	-0,58
-1,50	-1,53	-1,26	-1,01	-1,11	-1,18	-1,20	-0,89	-0,65	-0,47	-0,24	-0,16	-0,16
0,06	0,07	0,22	0,49	0,83	1,04	0,95	0,62	0,61	0,70	0,70	0,73	0,84
0,59	0,58	0,73	0,76	0,79	0,98	0,93	0,82	0,74	0,73	0,65	0,62	0,61
0,36	0,40	0,92	1,20	1,41	1,45	1,42	0,93	0,44	0,18	0,18	0,25	0,33
0,15	0,21	0,25	0,37	0,42	0,44	0,49	0,42	0,37	0,28	0,42	0,46	0,42
0,44	0,58	0,67	0,84	0,84	0,76	0,87	0,89	0,67	0,44	0,27	0,19	0,36
0,80	0,84	0,73	0,76	0,62	0,80	0,67	0,61	0,39	0,25	0,22	0,21	0,19
0,34	0,40	0,39	0,56	0,77	0,73	0,62	0,58	0,65	0,74	0,67	0,67	0,67
0,71	0,90	1,01	1,01	0,73	0,73	0,79	0,79	0,73	0,70	0,76	0,67	0,62
0,68	0,68	0,82	0,83	0,95	0,86	0,80	0,80	0,82	0,73	0,68	0,68	0,70
0,71	0,79	0,74	0,77	0,74	0,73	0,80	0,83	0,79	0,68	0,64	0,68	0,67
0,56	0,61	0,64	0,68	0,73	0,70	0,73	0,70	0,70	0,74	0,62	0,59	0,52
0,49	0,52	0,52	0,58	0,52	0,52	0,52	0,52	0,49	0,44	0,44	0,41	0,41
0,53	0,49	0,50	0,50	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,39	0,34 ⁺	0,31	0,24
0,36	0,33	0,40	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,49	0,47	0,46	0,43	0,33
0,53	0,47	0,56	0,65	0,68	0,67	0,64	0,65	0,61	0,55	0,43	0,34	0,28
0,33	0,31	0,47	0,53	0,59	0,72	0,76	0,68	0,62	0,49	0,46	0,39	0,36
0,59	0,53	0,52	0,52	0,65	0,65	0,52	0,52	0,46	0,37	0,25	0,25	0,22
0,55	0,77	0,58	0,58	0,59	0,59	0,61	0,58	0,52	0,49	0,39	0,28	0,28
0,36	0,58	0,68	0,84	0,87	0,56	0,67	0,59	0,52	0,28	0,21	0,19	0,19
0,39	0,41	0,59	1,04	0,96	0,87	1,10	0,68	0,43	0,31	0,36	0,19	0,25

(Fortsetzung)

Tabelle 43

Datum	Wahre Sonnenzeit										
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11
6.	0,22	0,22	0,22	0,27	0,25	0,22	0,30	0,36	0,28	0,36	0,46
7.	0,09	0,09	0,09	0,10	0,12	0,16	0,16	0,15	0,33	0,36	0,37
8.	0,06	0,04	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,03	0,06	0,12	0,12	0,16
9.	0,01	0,07	0,04	0,06	0,07	0,06	0,10	0,07	0,09	0,00	0,07
10.	0,31	0,27	0,24	0,24	0,19	0,19	0,16	0,16	0,18	0,18	0,34
11.	0,37	0,43	0,46	0,34	0,40	0,37	0,33	0,41	0,37	0,59	0,65
12.	0,41	0,43	0,43	0,46	0,47	0,55	0,59	0,59	0,64	0,65	0,52
13.	0,16	0,36	0,50	0,41	0,34	0,28	0,33	0,43	0,44	0,44	0,46
14.	0,31	0,33	0,28	0,27	0,28	0,36	0,37	0,37	0,49	0,58	0,61
15.	0,46	0,28	0,24	0,22	0,31	0,37	0,33	0,37	0,34	0,31	0,31
16.	0,22	0,21	0,21	0,22	0,19	0,15	0,15	0,15	0,19	0,28	0,55
17.	0,33	0,30	0,28	0,28	0,25	0,22	0,22	0,28	0,36	0,41	0,50
18.	0,40	0,40	0,37	0,37	0,27	0,39	0,39	0,37	0,37	0,49	0,59
19.	0,21	0,30	0,30	0,30	0,37	0,37	0,30	0,30	0,41	0,47	0,71
20.	0,31	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,03	0,00	0,09	0,18	0,40
21.	0,12	0,00	-0,06	-0,09	-0,12	-0,15	-0,37	-0,18	0,00	0,06	0,09
22.	0,15 ⁺	0,15 ⁺	0,15 ⁺	0,15 ⁺	0,15 ⁺	0,15 ⁺	0,21	0,34	0,46	0,31	0,83
23.	-0,15	-0,15	-0,12	-0,09	-0,06	0,09	0,15	0,18	0,25	0,18	0,28
24.	0,00 ⁺	0,00 ⁺	0,00 ⁺	0,00 ⁺	0,00	-0,09	-0,03	0,18	0,12	0,34	0,43
25.	0 46	..	..	..	..	..	..	0,12	0,25	0,31	0,46
26. ....	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
27.	0,55	0,58	0,62	0,58	0,64	0,68	0,64	0,77	0,80	0,98	1,11
28.	0,83	0,55	0,49	0,46	0,58	0,58	0,58	0,62	0,52	0,58	0,58
29.	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34	0,25	0,21	0,43	0,55	0,71	0,77
30.	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,12	-0,12	-0,68	-0,52	-0,12
31.	0,15	0,18	0,15	0,18	0,21	-0,06	-0,09	-0,06	-0,06	-0,03	0,09
August 1959											
1.	0,28	0,28	0,25	0,25	0,21	0,18	0,09	0,09	0,06	0,15	0,40
2.	0,46	0,49	0,49	0,37	0,31	0,25	0,28	0,34	0,28	0,18	0,18
3.	-0,12	-0,18	0,06	0,25	0,25	-0,09	-0,15	-0,12	-0,12	-0,12	0,00
4.	0,46	0,40	0,43	0,46	0,46	0,37	0,34	0,34	0,46	0,55	0,58
5.	0,06	0,00	-0,06	-0,09	-0,06	-0,03	-0,03	0,00	0,12	0,18	0,25
6.	0,49	0,52	0,49	0,43	0,34	0,28	0,21	0,18	0,18	0,21	0,46
7.	0,31	0,25	0,25	0,25	0,25	0,18	0,18	0,21	0,31	0,43	0,46
8.	-0,06	-0,06	-0,03	0,00	0,03	0,18	0,15	0,09	0,25	0,34	0,34

Stundenmittelwerte der thermoelektrisch registrierten Lufttemperaturdifferenzen zwischen 16 und

(fortgesetzt).

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
0,65	0,71	0,61	0,62	0,62	0,58	0,56	0,49	0,40	0,30	0,21	0,21	0,16
0,52	0,37	0,25	0,24	0,19	0,18	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,07	0,06
0,16	0,19	0,18	0,10	0,12	0,07	0,15	0,10	0,00	0,07	0,12	0,12	0,01
0,59	1,21	1,90	2,46	1,23	2,10	2,34	0,58	0,44	0,25	0,30	0,28	0,30
0,52	0,31	0,41	0,53	0,68	0,74	0,67	0,59	0,76	0,55	0,40	0,39	0,37
0,53	0,62	0,67	0,61	0,50	0,52	0,43	0,41	0,50	0,52	0,47	0,43	0,44
0,50	0,49	0,41	0,40	0,43	0,41	0,37	0,41	0,39	0,30	0,33	0,27	0,25
0,56	0,64	0,52	0,76	0,67	0,67	0,76	0,70	0,59	0,41	0,31	0,30	0,25
0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,37	0,25	0,30	0,30	0,25	0,25	0,28
0,41	0,52	0,56	0,67	0,72	0,84	0,79	0,70	0,55	0,44	0,33	0,31	0,27
0,76	0,83	0,70	0,70	0,71	0,46	0,52	0,67	0,53	0,44	0,34	0,28	0,22
0,52	0,52	0,58	0,84	0,89	0,84	0,84	0,84	0,74	0,67	0,59	0,49	0,44
0,68	0,68	0,59	0,49	0,52	0,52	0,37	0,34	0,33	0,27	0,22	0,12	0,12
0,67	0,67	0,71	0,80	0,77	0,71	0,68	0,54	0,58	0,52	0,46	0,40	0,34
0,46	0,55	0,64	0,74	0,77	0,83	0,74	0,43	0,40	0,21	0,18	0,15	0,15
-0,06	-0,03	0,06	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,77	1,07	1,14	1,87	2,06	0,55	0,21	0,31	0,00	0,28	0,46	0,25	-0,15
0,31	0,37	0,64	0,71	0,68	0,71	1,17	1,47	1,32	0,64	0,09	0,06	0,00
0,55	0,58	0,68	0,74	1,01	0,98	0,71	0,43	0,40	0,40	0,25 ⁺	0,25 ⁺	0,25 ⁺
0,46	0,49	0,71	0,80	0,83	0,86	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,40	0,43
1,29	1,26	1,35	1,41	1,69	1,63	1,72	1,38	1,20	1,26	1,23	1,20	1,07
0,74	0,68	0,74	0,58	0,92	1,11	1,04	0,80	0,74	0,62	0,71	0,64	0,55
0,58	0,52	0,49	0,80	1,04	0,62	0,55	0,52	0,40	0,28	0,12	0,03	-0,12
0,21	0,46	0,55	0,71	0,74	0,77	0,83	0,43	0,37	0,25	0,18	0,15	0,12
0,12	0,15	0,18	0,31	0,43	0,46	0,49	0,46	0,43	0,40	0,43	0,37	0,34
0,55	0,83	0,92	1,11	0,89	0,86	0,46	0,37	0,34	0,46	0,37	0,43	0,46
0,18	0,15	0,28	0,28	0,21	0,06	0,09	-0,06	-0,06	-0,09	-0,12	-0,12	-0,12
0,12	0,21	0,31	0,40	0,58	0,68	0,71	0,74	0,58	0,52	0,43	0,49	0,43
0,71	0,80	0,62	0,55	0,46	0,46	0,49	0,46	0,34	0,31	0,28	0,21	0,09
0,28	0,62	0,86	0,98	1,14	0,80	0,62	0,55	0,52	0,37	0,37	0,46	0,52
0,55	0,77	0,89	1,20	1,57	1,60	1,41	0,55	0,46	0,37	0,31	0,31	0,31
0,49	0,52	0,40	0,37	0,46	0,40	0,28	0,18	0,18	0,25	0,21	0,00	-0,06
0,49	0,40	0,55	0,34	0,37	0,52	0,52	0,12	0,09	0,31	0,18	-0,06	-0,06

207,5 cm Höhe; $\Delta T = T_{207,5} - T_{16}$; ΔT^+ mit Annahmen geschätzt.

Tabelle 44.

Datum	1) k_T	2) Q_F	3) St_K	4) St_V	5) k_{eK}	6) k_{eV}	7) Q_K	8) Q_V	9) Σ
Mai 1959									
25.	0,203	120,0	..	..	..	..	..	..	..
26.	0,106	57,3	2	22	0,019	-0,087	24,6	-118,0	-36,1
27.	0,108	16,5	1	23	0,009	-0,045	3,6	-15,4	4,7
28.	0,142	55,4	0	23	..	-0,038	0,0	-37,2	18,2
29.	0,178	93,0	0	20	..	-0,037	0,0	-42,2	50,8
30.	0,208	99,2	0	24	..	-0,091	0,0	-114,0	-14,8
31.	0,220	65,3	0	24	..	-0,112	0,0	-88,5	-23,2
Juni 1959									
1.	0,176	53,5	0	24	..	-0,082	0,0	-65,3	-11,8
2.	0,098	37,8	3	20	0,026	-0,080	22,0	-67,6	-7,8
3.	0,133	19,8	9	14	0,054	-0,069	8,0	-15,8	12,0
4.	0,079	19,0	2	22	0,026	-0,073	1,4	-18,7	1,7
5.	0,152	45,3	2	22	0,043	-0,083	2,5	-60,0	-12,2
6.	0,064	30,1	3	21	0,037	-0,101	5,7	-109,3	-73,5
7.	0,100	35,6	1	23	0,013	-0,081	0,5	-72,6	-36,5
8.	0,156	13,7	0	24	..	-0,090	0,0	-24,8	-11,1
9.	0,073	9,4	0	24	..	-0,106	0,0	-62,5	-53,1
10.	0,130	28,2	5	19	0,049	-0,057	0,5	-23,9	4,8
11.	0,066	13,8	1	18	0,026	-0,033	0,6	-13,6	0,8
12.	0,140	28,0	8	11	0,049	-0,031	8,6	-75,0	-38,4
13.	0,143	75,5	7	16	0,018	-0,022	7,2	-20,1	62,6
14.	-0,005	-3,3	15	8	0,053	-0,080	57,7	-46,5	7,9
15.	-0,334	-69,2	0	24	..	-0,090	0,0	-49,0	-118,2
16.	0,111	23,7	10	14	0,037	-0,113	8,7	-37,1	-4,7
17.	0,270	14,6	10	13	0,035	-0,083	18,3	-64,1	-31,2
18.	0,207	88,0	0	24	..	-0,075	0,0	-83,9	4,1
19.	0,123	59,6	0	24	..	-0,072	0,0	-96,0	-36,4
20.	0,177	65,6	0	23	..	-0,042	0,0	-22,0	43,6
21.	0,171	63,4	2	21	0,012	-0,060	1,0	-51,1	13,3
22.	0,154	53,9	4	14	0,028	-0,021	4,3	-21,6	36,6
23.	0,258	115,0	0	24	..	-0,029	0,0	-29,0	86,0
24.	0,276	192,0	0	24	..	-0,054	0,0	-10,3	181,7
25.	0,249	156,1	7	14	0,012	-0,048	5,1	-41,2	120,0
26.	0,236	144,0	4	18	0,027	-0,020	6,4	-21,2	129,2
27.	0,171	103,5	0	23	..	-0,029	0,0	-39,0	64,5
28.	0,156	84,1	2	18	0,013	-0,022	1,2	-20,6	64,7
29.	0,142	68,9	2	21	0,014	-0,030	1,3	-29,7	40,5
30.	0,163	77,0	0	24	..	-0,044	0,0	-48,3	28,7
Juli 1959									
1.	0,131	59,6	0	24	..	-0,110	0,0	-117,0	-57,4
2.	0,147	75,9	0	24	..	-0,120	0,0	-125,0	-49,1
3.	0,168	86,4	0	24	..	-0,073	0,0	-88,6	-2,2
4.	0,149	67,4	1	23	0,060	-0,075	26,3	-74,5	19,2
5.	0,171	57,2	7	8	0,026	-0,023	5,9	-5,9	57,2
6.	0,151	53,0	0	24	..	-0,044	0,0	-36,4	16,6
7.	0,071	34,0	1	11	0,015	-0,026	7,0	-13,2	27,8

(Fortsetzung)

Tabelle 44 (fortgesetzt).

Datum	1) k_T	2) Q_F	3) St_K	4) St_V	5) k_{eK}	6) k_{eV}	7) Q_K	8) Q_V	9) Σ
8.	0,031	11,6	0	20	..	-0,031	0,0	-22,2	-10,6
9.	0,238	38,6	3	16	0,018	-0,074	6,3	-18,5	26,4
10.	0,152	60,1	2	20	0,025	-0,072	1,8	-55,4	6,5
11.	0,185	81,5	23	0	0,054	..	53,0	0,0	131,5
12.	0,174	88,4	24	0	0,068	..	80,0	0,0	168,4
13.	0,183	38,2	18	0	0,053	..	19,4	0,0	57,6
14.	0,145	38,1	18	1	0,035	-0,018	15,9	-0,4	53,6
15.	0,173	51,2	2	18	0,047	-0,025	2,7	-13,1	40,8
16.	0,157	63,4	3	17	0,027	-0,060	3,1	-39,6	26,9
17.	0,199	106,2	1	22	0,014	-0,065	0,7	-73,4	33,5
18.	0,157	46,6	10	7	0,022	-0,019	4,8	-4,1	47,3
19.	0,190	81,4	0	24	..	-0,029	0,0	-28,9	52,5
20.	0,131	78,9	0	23	..	-0,063	0,0	-85,0	-6,1
21.	-0,009	-4,1	6	6	0,022	-0,015	6,2	-4,2	-2,1
22.	0,193	24,4	7	7	0,025	-0,029	2,1	-2,4	24,1
23.	0,142	30,4	0	17	..	-0,029	0,0	-10,3	20,1
24.	0,133	39,0	1	15	0,016	-0,052	0,4	-22,9	16,5
25.	0,165	57,6	3	21	0,044	-0,030	4,5	-21,1	41,0
26.	0,170	106,4	10	11	0,028	-0,041	16,9	-27,1	96,2
27.	0,230	148,0	23	0	0,041	..	58,8	0,0	206,8
28.	0,264	132,0	17	1	0,030	-0,016	23,5	-0,8	154,7
29.	0,174	70,6	12	11	0,049	-0,036	23,0	-15,5	78,1
30.	0,054	19,6	0	24	..	-0,090	0,0	-75,7	-56,1
31.	0,086	36,9	0	24	..	-0,121	0,0	-121,0	-84,1
Aug. 1959									
1.	0,167	74,1	0	23	..	-0,093	0,0	-95,0	-20,9
2.	0,070	25,9	0	24	..	-0,031	0,0	-9,8	16,1
3.	0,096	39,9	1	23	0,016	-0,091	0,6	-84,6	-44,1
4.	0,174	65,6	6	14	0,021	-0,030	4,4	-15,1	54,9
5.	0,137	44,1	1	20	0,016	-0,060	0,5	-37,1	7,5
6.	0,228	124,2	0	24	..	-0,083	0,0	-105,8	18,4
7.	0,110	66,9	1	23	0,036	-0,073	2,1	-98,0	-29,0
8.	0,082	9,9	9	13	0,031	-0,026	3,2	-3,9	9,2

Angaben zur Berechnung der fühlbaren und latenten Wärme.

Die einzelnen Spalten bedeuten:

- 1) 24 stündiger Mittelwert der Profilkonstanten k_T ; $k_T 10^{-2}$ ist der Gradient der Lufttemperatur in 100 cm Höhe.
- 2) Tagessumme des fühlbaren Wärmestromes (cal/cm² Tag).
- 3) Zahl der Stunden mit positiver latenter Wärme (Kondensation, Sublimation).
- 4) Zahl der Stunden mit negativer latenter Wärme (Verdunstung).
- 5) Mittelwert der Profilkonstanten k_e für den Abschnitt mit positiver latenter Wärme. $k_e 10^{-2}$ ist der Dampfdruckgradient in 100 cm Höhe.
- 6) Mittelwert der Profilkonstanten k_e für den Abschnitt mit negativer latenter Wärme. $k_e 10^{-2}$ ist der Dampfdruckgradient in 100 cm Höhe.
- 7) Tagessumme der positiven latenten Wärme (cal/cm² Tag).
- 8) Tagessumme der negativen latenten Wärme (cal/cm² Tag).
- 9) Tagessumme der fühlbaren und latenten Wärme (cal/cm² Tag).

Tabelle 45.

 Profil Nr. 2, 14. Juli 1959

 Beginn 21^h36

Element 1

 13 14 17 14 16 14 15 13 14 14 14 13 14 12
 Σ Ausschläge = 211, Anzahl der Umkehrpunkte $n = 15$
 $s_m = 14,05$ $T_m = 0,58$ $n' = 13$ $\bar{s}' = 0,85$ $\bar{T}' = 0,35$

Element 2

 16 18 17 18 17 18 16 17 16 17 16 20 17 19
 17 18 17 18 17 16 15 19 15 16 18 17 19
 Σ Ausschläge = 515, Anzahl der Umkehrpunkte $n = 30$
 $s_m = 17,16$ $T_m = 0,71$ $n' = 24$ $\bar{s}' = 1,01$ $\bar{T}' = 1,42$

Element 3

 17 20 21 20 18 19 18 20 21 23 21 18 19 18 21 20 17 18 21 17 15 18 22
 Σ Ausschläge = 617, Anzahl der Umkehrpunkte $n = 31$
 $s_m = 19,90$ $T_m = 0,82$ $n' = 14$ $\bar{s}' = 2,04$ $\bar{T}' = 0,85$

Element 4

 21 24 23 22 21 24 25 22 21 18 20 22 24 22 26 22 24 18 24 26 23
 Σ Ausschläge = 650, Anzahl der Umkehrpunkte $n = 29$
 $s_m = 22,40$ $T_m = 0,93$ $n' = 13$ $\bar{s}' = 2,12$ $\bar{T}' = 0,83$

Element 5

 23 26 31 26 27 26 28 31 25 28 26 27 26 29 27 29 27 33 34 26 33 24 29
 Σ Ausschläge = 728, Anzahl der Umkehrpunkten = 26
 $s_m = 28,00$ $T_m = 1,16$ $n' = 20$ $\bar{s}' = 2,30$ $\bar{T}' = 0,95$

Element 6

 30 32 33 31 33 29 30 28 32 31 28 29 34 32 35 36 34 36
 32 34 35 36 34 28 35
 Σ Ausschläge = 1038, Anzahl der Umkehrpunkte $n = 32$
 $s_m = 32,42$ $T_m = 1,34$ $n' = 20$ $\bar{s}' = 2,40$ $\bar{T}' = 0,99$

 Ende 21^h48

Bemerkungen: 10/10, 4 m/sek, keine Sonne

 Höhen: $h_1 = 3$ cm, $h_2 = 7$ cm, $h_3 = 11$ cm,

 $h_4 = 19$ cm, $h_5 = 52$ cm, $h_6 = 131$ cm

Meßbeispiel für die thermische Unruhe in der eisnahen Luftschicht. Eichfaktor 24,2 Skt/Grad. Es bedeuten: s_m mittlerer Ausschlag, T_m mittlere Temperatur, n' Zahl der Umkehrpunkte (»Verweilpunkte« nicht gezählt, \bar{s}' gemittelte Schwankung in Skalenteilen (aus Umkehrpunkten und Mittelwert s_m), \bar{T}' Mittelwert der Temperaturunruhe (aus Umkehrwerten und Mittelwert T_m).

Tabelle 46.

Profil Nr. 1, 14. Juli 1959, 20 ^h 57, $k_T = 0,1697$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1.....	3	22	0,62	16	0,49
2.....	7	28	0,77	24	0,64
3.....	11	25	0,83	17	0,47
4.....	19	29	0,77	21	0,83
5.....	52	33	1,12	17	1,01
6.....	131	23	1,30	15	0,64

Profil Nr. 2, 14. Juli 1959, 21 ^h 36, $k_T = 0,2044$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1.....	3	15	0,58	13	0,35
2.....	7	30	0,71	24	0,42
3.....	11	31	0,82	14	0,85
4.....	19	29	0,93	13	0,83
5.....	52	26	1,16	20	0,95
6.....	131	32	1,34	20	0,99

Profil Nr. 3, 15. Juli 1959, 7 ^h 49, $k_T = 0,3175$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1.....	1	27	0,52	19	0,47
2.....	5	30	1,02	24	0,72
3.....	9	31	1,25	15	0,81
4.....	17	37	1,36	23	1,20
5.....	51	37	1,77	19	1,52
6.....	129	36	2,07	26	1,02

Profil Nr. 4, 15. Juli 1959, 14 ^h 27, $k_T = 0,2740$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1.....	1	21	0,93	13	0,62
2.....	5	27	1,07	19	1,17
3.....	9	23	1,67	17	0,84
4.....	17	24	1,23	16	0,88
5.....	51	33	1,53	25	1,16
6.....	129	37	2,38	17	0,93

Profil Nr. 5, 15. Juli 1959, 14 ^h 42, $k_T = 0,2724$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1.....	1	18	0,91	16	0,58
2.....	5	28	0,97	22	0,76
3.....	9	22	1,52	16	1,32
4.....	17	29	1,15	19	0,82
5.....	51	27	1,55	15	1,25
6.....	129	24	2,43	16	1,07

(Fortsetzung)

Tabelle 46 (fortgesetzt).

Profil Nr. 6, 15. Juli 1959, 20 ^h 30, k _T = 0,2090					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	1	18	0,34	14	0,36
2	5	33	0,69	21	1,12
3	9	29	0,86	15	1,10
4	17	30	0,95	22	1,01
5	51	33	1,11	19	0,79
6	129	28	1,52	20	1,45

Profil Nr. 7, 15. Juli 1959, 20 ^h 45, k _T = 0,2590					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	1	21	0,19	13	0,53
2	5	28	0,64	20	0,91
3	9	30	0,84	20	1,12
4	17	31	0,86	20	0,95
5	51	34	1,34	20	1,38
6	129	34	1,67	24	1,03

Profil Nr. 8, 16. Juli 1959, 17 ^h 18, k _T = 0,1516					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	1	25	0,46	19	0,37
2	5	17	0,32	11	0,54
3	9	16	0,73	14	0,68
4	17	25	0,43	13	0,60
5	50	28	0,81	12	1,18
6	130	23	1,03	15	1,02

Profil Nr. 9, 16. Juli 1959, 20 ^h 45, k _T = 0,2480					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	2	31	0,77	23	0,69
2	6	29	0,79	19	1,08
3	10	31	1,24	17	0,92
4	17	34	1,20	18	1,15
5	51	31	1,40	19	0,83
6	130	30	1,69	20	1,00

Profil Nr. 10, 16. Juli 1959, 21 ^h 25, k _T = 0,2520					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	2	29	0,57	21	0,66
2	6	24	0,69	18	1,16
3	10	30	1,14	18	1,04
4	17	23	1,11	15	1,45
5	51	26	1,38	18	1,43
6	130	26	1,71	18	0,85

(Fortsetzung)

Tabelle 46 (fortgesetzt).

Profil Nr. 11, 16. Juli 1959, 23 ^h 10, $k_T = 0,1450$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1	2	21	0,18	15	0,60
2	6	26	0,52	18	1,12
3	10	22	0,54	18	0,87
4	17	23	0,67	15	0,78
5	51	27	0,78	15	1,02
6	130	24	0,95	18	0,97

Profil Nr. 12, 16. Juli 1959, 23 ^h 23, $k_T = 0,2130$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1	2	21	0,03	9	0,61
2	6	32	0,40	24	0,64
3	10	37	0,43	21	0,78
4	17	27	0,57	17	0,99
5	51	32	0,76	20	0,93
6	130	22	0,97	14	0,97

Profil Nr. 13, 28. Juli 1959, 13 ^h 25, $k_T = 0,1740$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1	1	35	0,92	19	0,72
2	6	29	1,05	19	0,96
3	9	31	1,41	19	0,97
4	17	21	0,88	13	1,35
5	51	28	1,56	18	1,06
6	130	31	1,91	25	1,06

Profil Nr. 14, 28. Juli 1959, 13 ^h 52, $k_T = 0,2420$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1	1	24	1,10	18	0,60
2	6	24	1,33	14	1,05
3	9	29	1,74	21	1,08
4	17	27	1,73	15	1,37
5	51	35	1,89	19	1,35
6	130	34	2,21	16	1,06

Profil Nr. 15, 28. Juli 1959, 15 ^h 59,					
Element	z, cm	n	T_m	n'	$\overline{T'}$
1	1	28	1,75	18	0,85
2	6	35	1,08	19	1,45
3	9	33	1,74	21	0,78
4	17	31	1,14	17	1,14
5	51	39	1,83	19	1,48
6	130	27	2,13	17	1,01

(Fortsetzung)

Tabelle 46 (fortgesetzt).

Profil Nr. 16, 28. Juli 1959, 16 ^h 20, k _T = 0,1740					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	1	16	1,25	14	1,04
2	6	33	1,39	17	0,96
3	9	28	1,54	16	0,89
4	17	32	1,47	22	1,09
5	51	33	1,92	21	1,25
6	130	32	2,08	16	0,75

Profil Nr. 17, 28. Juli 1959, 16 ^h 34,					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1	1	30	1,34	22	0,85
2	6	27	1,25	25	0,97
3	9	25	1,48	15	1,10
4	17	24	1,19	14	1,40
5	51	22	1,94	16	1,21
6	130	23	2,06	17	0,78

Profil Nr. 18, 28. Juli 1959, 18 ^h 15, k _T = 0,3700					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1 .....	..	..	..	..	..
2	6	35	1,21	29	0,81
3	9	39	1,49	15	1,93
4	17	40	1,59	24	1,22
5	51	42	2,00	28	1,09
6	130	36	2,35	24	1,29

Profil Nr. 19, 28. Juli 1959, 18 ^h 35, k _T = 0,2260					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1 .....	..	..	..	..	..
2	6	51	1,43	23	1,28
3	9	34	1,71	30	1,13
4	17	41	1,65	27	1,36
5	51	36	1,94	24	1,65
6	130	40	2,27	28	1,65

Profil Nr. 20, 28. Juli 1959, 22 ^h 34, k _T = 0,2220					
Element	z, cm	n	T _m	n'	T'
1 .....	..	..	..	..	..
2	5	52	2,01	30	1,31
3	9	43	2,22	29	0,86
4	17	46	2,34	30	1,32
5	52	44	2,62	30	1,42
6	130	56	2,64	30	1,58

(Fortsetzung)

Tabelle 46 (fortgesetzt).

Profil Nr. 21, 28. Juli 1959, 22 ^h 52, $k_T = 0,2220$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1 .....	..	..	..	..	..
2	5	55	1,85	35	1,18
3	9	39	1,92	23	1,32
4	17	36	2,09	28	1,06
5	52	44	2,36	28	1,24
6	130	50	2,44	40	1,32

Profil Nr. 22, 29. Juli 1959, 15 ^h 21, $k_T = 0,2520$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1 .....	..	..	..	..	..
2	5	29	1,62	23	1,09
3	8	30	1,70	17	0,94
4	16	28	1,62	20	1,31
5	51	21	2,07	15	1,02
6	130	29	2,41	19	1,17

Profil Nr. 23, 29. Juli 1959, 15 ^h 35, $k_T = 0,2440$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1 .....	..	..	..	..	..
2	5	22	1,30	20	0,83
3	8	20	1,57	14	1,50
4	16	29	1,43	17	1,47
5	51	25	1,83	17	1,36
6	130	30	2,16	22	1,04

Profil Nr. 24, 29. Juli 1959, 17 ^h 50, $k_T = 0,2090$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1	3	28	1,27	18	0,79
2	7	30	1,41	18	0,86
3	10	24	1,57	18	0,78
4	19	27	1,71	21	0,89
5	51	26	1,88	16	1,21
6	130	23	2,09	19	0,81

Profil Nr. 25, 29. Juli 1959, 18 ^h 04, $k_T = 0,1826$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1	3	18	1,30	14	1,00
2	7	25	1,48	21	0,60
3	10	26	1,41	16	1,07
4	19	25	1,58	19	0,89
5	51	26	1,76	22	0,84
6	130	28	2,10	22	0,66

(Fortsetzung)

Tabelle 46 (fortgesetzt).

Profil Nr. 26, 29. Juli 1959, 19 ^h 35, $k_T = 0,1088$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1	2	25	0,88	15	0,68
2	6	22	0,84	16	0,70
3	9	23	0,86	19	0,69
4	17	23	0,78	19	0,84
5	52	22	0,62	14	0,80
6	130	19	0,46	15	0,78

Profil Nr. 27, 29. Juli 1959, 19 ^h 52, $k_T = 0,0784$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1	2	32	1,10	22	0,71
2	6	28	1,02	22	0,75
3	9	37	1,01	25	0,83
4	17	25	1,07	17	0,85
5	52	25	0,96	19	0,55
6	130	28	0,77	14	0,78

Profil Nr. 28, 29. Juli 1959, 22 ^h 10, $k_T = 0,1435$					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1	2	22	3,77	16	1,22
2	6	28	2,64	12	0,55
3	9	23	2,46	14	0,98
4	17	24	2,36	14	0,62
5	52	20	2,29	14	0,66
6	130	22	2,27	16	0,59

Profil Nr. 29, 29. Juli 1959, 22 ^h 27,					
Element	z, cm	n	T_m	n'	\bar{T}'
1	2	27	2,73	15	0,63
2	6	16	2,64	12	0,65
3	9	19	2,68	13	0,83
4	17	14	2,67	10	0,76
5	52	19	2,95	13	0,46
6	130	22	2,83	18	0,37

Zusammenstellung der Ergebnisse der thermoelektrischen Temperatur-Unruhemessungen. Es bedeuten: z die Höhe, n die Anzahl der Umkehrpunkte (»Verweilpunkte« doppelt gezählt), T_m die Mitteltemperatur, n' die Anzahl der Umkehrpunkte (»Verweilpunkte« nicht gezählt), \bar{T}' der Mittelwert der Temperaturunruhe (aus Umkehrwerten und Mittelwert T_m).

Tabelle 47.

Element Nr.	1	2	3	4	5	6	Mittel
Mittlere Höhe (cm)	1,5	6,0	10,0	17,0	50,0	130,0	..
$c\kappa$	0,307	0,417	0,464	0,488	0,520	0,475	0,445

Die berechneten Werte von $c\kappa$ (vgl. Text) in verschiedenen Höhen.

Tabelle 48.

Element Nr.....	1	2	3	4	5	6
Mittlere Höhe (cm)	1,5	6,0	10,0	17,0	50,0	130,0
Mischungsweg l_T (cm)	0,30	2,32	4,38	8,60	26,60	51,20

Der berechnete Mischungsweg für Temperatur bis 130 cm Höhe.

Tabelle 49.

Bezeichnung des Profils	Lage	Seehöhe	Zahl der Elemente	Tiefe	1. Messung Datum 1959	Letzte Messung Datum 1959	Zahl der Messungen
I	BK 5	1013 m	19	bis 8 m	21.5.	16.8.	17
II	Nähe BK 5 Strahlungs- station	1004 m	19	»	2.6.	8.8.	15
III	Nähe BK 5 Strahlungs- station	1004 m	19	»	2.6.	8.8.	14
IV.....	Nähe BK 5 Mulde	∞ 1013 m	19	»	10.6.	8.8.	5
V.....	Nähe BK 5 Hügel	∞ 1013 m	19	»	7.6.	8.8.	6
A.....	BK 7	1241 m	19	bis 5 m	20.5.	6.8.	2
B.....	K 3	1218 m	19	»	20.5.	7.8.	2
C.....	K 2	1178 m	19	»	20.5.	11.8.	2
D	BK 2	795 m	19	»	20.5.	11.8.	2

Übersicht zu den Eistemperatur-Meßstellen, vgl. Abb. 55.

Profil I, 1013 m

Tabelle 50a

Datum, Zeit	Abstand von Nullmarke, cm	Mai 1959							Juni 1959
		20.	21.	25.	26.	27.	29.	1.	
Element Nr.		18 ^h 15	21 ^h 00	19 ^h 00	21 ^h 45	22 ^h 45	15 ^h 30	23 ^h 00	
I 1	800,0	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	9,30	
I 2	701,0	9,90	9,80	9,90	9,90	9,90	9,75	9,70	
I 3	601,5	10,70	10,65	10,70	10,65	10,55	10,50	10,50	
I 4	502,0	11,65	11,50	11,60	11,25	11,20	11,10	11,05	
I 5	451,5	11,90	11,80	11,60	11,50	11,35	11,20	11,10	
I 6	405,0	12,40	12,25	11,90	11,85	11,80	11,55	11,40	
I 7	351,0	12,60	12,60	12,15	12,00	11,95	11,65	11,35	
I 8	301,5	12,95	12,80	12,30	12,05	11,95	11,55	11,25	
I 9	251,0	13,00	12,90	12,05	11,70	11,65	11,20	10,80	
I 10	201,5	13,00	12,60	11,50	11,15	10,95	10,10	9,90	
I 11	150,5	12,10	11,65	10,40	10,05	9,85	9,50	8,65	
I 12	101,5	10,25	9,55	8,90	8,60	8,20	7,50	6,75	
I 13	50,5	6,75	6,70	7,20	6,35	6,20	5,45	3,80	
I 14	25,5	3,30	5,40	6,20	4,80	5,00	3,55	2,00	
I A	75,0	8,55	8,20	8,05	7,55	7,20	6,55	5,30	
I B	125,0	11,30	10,75	9,60	9,45	9,15	8,45	7,70	
I C	175,0	12,60	12,30	10,80	10,75	10,55	9,65	9,35	
I D	225,0	12,85	12,90	11,70	11,50	11,35	10,50	10,20	
I E	275,0	12,80	12,95	12,05	11,90	11,80	11,15	10,80	

Profil II, 1004 m

Tabelle 50a

Datum, Zeit	Abstand von Nullmarke, cm	Juni 1959					
		1.	2.	4.	7.	10.	16.
Element Nr.		19 ^h 30	19 ^h 15	20 ^h 15	20 ^h 00	17 ^h 45	19 ^h 00
II 1	800,0	10,45	10,55	10,50	10,50	10,50	10,55
II 2	700,0	10,85	11,25	11,05	11,00	10,95	11,00
II 3	599,0	11,40	11,65	11,60	11,50	11,45	11,35
II 4	499,5	11,85	12,05	11,90	11,70	11,55	11,25
II 5	448,0	11,90	11,95	11,75	11,60	11,30	10,90
II 6	399,0	11,95	11,95	11,75	11,45	11,15	10,55
II 7	348,5	11,60	11,70	11,50	11,05	10,55	9,95
II 8	299,0	11,05	11,05	10,50	10,10	9,65	9,00
II 9	249,5	9,90	9,90	9,40	8,90	8,35	7,75
II 10	199,5	8,50	8,35	7,85	7,30	6,85	6,35
II 11	149,5	6,25	6,10	5,70	5,20	4,75	4,55
II 12	99,5	3,50	3,60	3,20	2,70	2,55	2,65
II 13	49,5	..	0,40	0,50	0,00	0,05	1,00
II 14	24,5	..	..	..	..	..	0,00
II A	75,0	3,45	1,85	2,00	1,45	1,40	1,80
II B	125,0	4,90	4,75	4,40	3,95	3,65	3,60
II C	175,0	7,40	7,10	6,75	6,25	5,85	5,35
II D	225,0	9,20	8,90	8,55	7,95	7,55	6,90
II E	275,0	10,75	10,45	10,10	9,65	9,15	8,40

			Juli 1959					August 1959		
2.	4.	7.	10.	18.	3.	15.	21.	1.	8.	16.
18 ^h 45	19 ^h 45	20 ^h 30	18 ^h 00	20 ^h 15	16 ^h 30	10 ^h 00	16 ^h 30	18 ^h 00	13 ^h 20	15 ^h 30
9,20	9,30	9,20	9,20	9,30	9,40	9,30	9,10	9,05	8,95	8,70
9,65	9,70	9,70	9,75	9,70	9,55	9,40	9,15	9,00	8,85	8,45
10,35	10,40	10,40	10,30	10,20	9,90	9,50	9,15	8,80	8,60	7,85
10,95	10,85	10,80	10,65	10,30	9,65	9,05	8,60	7,90	7,45	6,80
11,05	10,95	10,85	10,65	10,10	9,50	8,50	8,05	7,20	6,80	6,05
11,25	11,30	10,95	10,70	10,05	9,10	8,15	7,50	6,55	6,00	5,10
11,20	11,00	10,65	10,35	9,65	8,55	7,35	6,65	5,40	4,80	4,05
10,95	10,75	10,40	9,95	9,10	7,85	6,55	5,70	4,05	3,45	3,05
10,45	10,15	9,65	9,20	8,30	7,00	5,35	4,30	3,50	2,00	2,00
9,70	9,30	8,60	8,05	7,20	5,75	3,85	2,70	0,80	0,80	1,10
8,35	7,70	7,15	6,60	5,95	4,20	0,80	1,15	0,00	0,00	0,00
6,30	5,80	5,35	4,75	4,75	2,55	0,00	0,00	..	..	..
3,55	3,55	3,35	2,60	3,75	0,30	0,00	0,00	..	..	..
2,00	3,25	2,25	1,50	3,45	0,00	..	..	..	..	..
4,95	4,85	4,25	3,65	4,20	1,40	0,00	0,00	..	..	..
7,30	6,95	6,30	5,70	5,45	3,30	1,25	0,15	0,00	..	..
9,00	8,70	7,90	7,35	6,55	4,95	3,10	1,90	0,00	0,00	0,60
10,00	9,85	9,15	8,65	7,60	6,35	4,60	3,50	1,60	1,35	1,60
10,70	10,60	10,00	9,55	8,30	7,40	5,95	5,05	3,20	2,65	2,50

(fortgesetzt).

			Juli 1959					August 1959	
18.	23.	29.	4.	9.	15.	21.	28.	1.	8.
18 ^h 45	12 ^h 30	17 ^h 00	18 ^h 30	15 ^h 30	17 ^h 00	15 ^h 15	19 ^h 30	19 ^h 00	14 ^h 30
10,60	10,60	10,60	10,45	10,40	10,35	10,15	10,10	9,95	9,75
10,95	10,85	10,90	10,65	10,55	10,40	10,15	9,90	9,55	9,50
11,35	11,10	10,95	10,65	10,50	10,10	9,80	9,40	9,55	8,80
11,20	10,85	10,60	10,10	9,65	9,40	8,90	8,35	8,20	7,65
10,75	10,35	10,05	9,55	9,15	8,70	8,15	7,50	7,25	6,70
10,40	10,00	9,45	9,00	8,55	8,00	7,25	6,80	6,70	5,80
9,75	9,25	8,85	8,05	7,65	6,95	6,30	5,45	5,45	4,60
8,75	8,25	7,75	7,00	6,40	5,80	4,90	4,20	3,75	3,20
7,50	7,05	6,45	5,45	4,80	4,15	3,30	2,60	2,80	1,95
6,15	5,85	4,95	3,85	3,35	2,60	1,65	0,85	1,10	0,70
4,40	4,15	2,85	1,80	1,55	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	2,40	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
1,00	0,05	0,00	..	..	..	..	..	..	..
0,00	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1,90	1,45	0,00	0,00	0,00	..	..	..	..	..
3,60	3,35	1,85	0,55	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,25	5,00	3,80	2,75	2,50	1,50	0,70	0,15	0,00	0,00
6,80	6,35	5,70	4,70	4,05	3,35	2,45	1,70	1,40	1,25
8,25	7,85	7,40	6,50	5,75	5,15	4,35	3,60	3,00	2,75

(Fortsetzung)

Profil III, 1004 m

Tabelle 50 a

Datum, Zeit	Abstand von Nullmarke, cm	Juni 1959					
		1.	2.	4.	7.	10.	18.
Element Nr.		20 ^h 30	20 ^h 00	20 ^h 00	20 ^h 10	16 ^h 45	19 ^h 05
III 1.....	800,0	9,85	10,00	10,00	10,00	10,05	10,15
III 2.....	699,5	10,40	10,40	10,55	10,55	10,55	10,55
III 3.....	600,5	11,00	11,05	11,15	11,10	10,95	10,85
III 4.....	499,5	11,45	11,55	11,55	11,40	11,10	10,80
III 5.....	450,0	11,35	11,50	11,45	11,20	11,05	10,50
III 6.....	399,0	11,55	11,65	11,50	11,20	10,90	10,15
III 7.....	349,0	11,35	11,35	11,05	10,70	10,35	9,45
III 8.....	301,0	10,75	10,85	10,60	10,10	9,60	8,65
III 9.....	250,0	9,95	9,95	9,65	9,00	8,45	7,45
III 10.....	199,0	8,75	8,70	8,20	7,50	6,95	6,10
III 11.....	149,5	6,90	6,60	6,10	5,45	5,00	4,40
III 12.....	100,0	4,30	4,00	3,55	3,05	2,80	2,70
III 13.....	51,5	2,20	1,00	0,90	0,65	0,65	0,90
III 14.....	27,5	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
III A.....	75,0	2,70	2,35	2,10	1,70	1,65	1,80
III B.....	125,0	5,65	5,30	4,90	4,20	3,85	3,55
III C.....	175,0	7,80	7,50	7,10	6,35	5,90	5,10
III D.....	225,0	9,40	9,30	9,05	8,30	7,75	6,80
III E.....	275,0	10,70	10,30	10,10	9,50	9,05	8,05

Profil IV, ∞ 1013 m Tabelle 50 a (fortgesetzt).

Datum, Zeit	Abstand von Nullmarke, cm	Juni 1959		Juli	August 1959	
		10.	18.	21.	1.	8.
Element Nr.		16 ^h 15	19 ^h 45	15 ^h 45	18 ^h 30	15 ^h 30
IV 1.....	800,0	9,50	9,60	9,20	8,90	8,70
IV 2.....	700,0	9,95	10,10	9,10	8,60	8,45
IV 3.....	600,0	10,50	10,50	8,85	8,15	7,85
IV 4.....	500,0	10,70	10,25	7,90	7,05	6,70
IV 5.....	449,5	10,60	10,05	7,30	6,30	5,80
IV 6.....	400,0	10,30	9,65	6,45	5,40	4,85
IV 7.....	349,5	9,30	9,00	5,50	4,30	3,80
IV 8.....	300,5	9,00	8,15	4,25	3,05	2,60
IV 9.....	250,5	7,80	7,00	2,90	1,65	1,45
IV 10.....	199,5	6,25	5,65	1,30	0,30	3,00
IV 11.....	150,5	4,30	4,05	0,00	0,00	0,00
IV 12.....	101,5	2,30	2,55	0,00	..	..
IV 13.....	51,0	0,05	1,10	..	..	..
IV 14.....	26,5	0,00	0,40	..	..	..
IV A.....	75,0	1,30	1,80	..	..	..
IV B.....	125,0	3,40	3,35	0,00	0,00	0,00
IV C.....	175,0	5,35	4,90	0,40	0,00	0,00
IV D.....	225,0	7,10	6,40	2,05	1,00	0,85
IV E.....	275,0	8,40	7,55	3,50	2,45	2,10

(fortgesetzt).

		Juli 1959					August 1959	
23.	29.	4.	9.	15.	21.	28.	1.	8.
13 ^h 00	17 ^h 45	18 ^h 45	16 ^h 00	17 ^h 30	15 ^h 30	19 ^h 45	18 ^h 45	14 ^h 30
10,15	10,50	10,45	10,20	9,95	9,75	9,70	9,65	9,50
10,50	10,70	10,70	10,35	10,10	9,70	9,55	9,35	9,15
10,70	10,70	10,70	10,25	9,70	9,30	9,15	8,90	8,55
10,50	10,60	10,25	9,65	9,00	8,45	8,10	7,70	7,25
10,10	10,00	9,60	9,00	8,40	7,75	7,25	6,90	6,45
9,60	9,70	9,05	8,30	7,70	7,00	6,40	6,00	5,45
9,05	8,75	8,20	7,45	6,60	5,85	5,15	4,65	4,15
8,15	7,80	7,15	6,30	5,35	4,55	3,50	3,25	2,85
7,00	6,50	5,65	4,75	3,95	3,00	2,15	1,70	1,65
8,05	4,90	3,90	3,00	2,25	1,35	0,45	0,30	0,25
4,00	2,80	1,80	1,25	0,30	0,00	0,00	0,00	..
2,15	0,50	0,00	0,00	0,00	..	..	..	..
0,30	0,00	..	..	..	..	..	..	..
0,00	..	..	..	..	..	..	..	..
1,50	0,00	0,15	0,00	0,00	..	..	..	..
3,05	0,15	0,40	0,00	0,00	..	..	..	..
4,70	3,75	2,55	2,10	1,25	0,40	0,00	0,00	0,00
6,35	5,65	4,45	3,80	3,05	2,25	1,30	1,00	0,80
7,55	7,10	6,20	5,35	4,65	3,90	2,95	2,55	2,15

Profil V, ∞ 1013 m Tabelle 50 a (fortgesetzt).

Datum, Zeit		Juni 1959		Juli 1959		August 1959	
		7.	18.	3.	21.	1.	8.
Element Nr.	Abstand von Nullmarke, cm	18 ^h 00	20 ^h 45	15 ^h 45	16 ^h 15	17 ^h 45	16 ^h 00
V 1	800,0	10,10	10,00	9,70	9,05	8,55	8,45
V 2	698,5	10,60	10,45	9,80	8,80	8,15	8,05
V 3	597,5	11,05	10,65	9,85	8,45	7,55	7,25
V 4	496,5	11,05	10,45	9,40	7,50	6,55	6,10
V 5	445,5	10,75	10,05	8,95	6,80	5,75	5,20
V 6	395,5	10,35	9,65	8,35	6,00	4,80	4,35
V 7	345,5	9,85	9,00	7,40	4,90	3,65	3,25
V 8	295,0	9,00	7,90	6,15	3,60	2,30	2,00
V 9	244,5	7,90	6,80	4,70	2,15	0,85	0,85
V 10	191,5	6,40	5,30	2,95	0,55	0,00	0,00
V 11	143,5	4,45	3,75	1,05	0,00	..	..
V 12	93,5	2,50	2,30	0,00	..	..	..
V 13	44,5	0,40	0,70	..	..	..	..
V 14	19,0	0,00	0,00	..	..	..	..
V A	75,0	1,40	1,40	0,00	..	..	..
V B	125,0	3,40	2,95	0,25	0,00	..	..
V C	175,0	5,40	4,45	1,95	0,00	0,00	0,00
V D	225,0	7,20	6,05	3,90	1,40	0,15	0,30
V E	275,0	8,40	7,30	5,45	2,85	1,55	1,35

(Fortsetzung)

Profil A, 1241 m Tabelle 50 a (fortgesetzt).

Datum, Zeit		20. Mai 1959	6. August 1959
Element Nr.	Abstand von Nullmarke, cm	11 ^h 30	21 ^h 00
A 1	0,0	6,50	4,60
A 2	20,0	8,15	0,60
A 3	40,0	8,70	0,00
A 4	60,0	9,10	0,00
A 5	80,0	9,50	0,15
A 6	100,0	9,70	0,30
A 7	120,0	9,90	0,55
A 8	140,0	10,00	0,80
A 9	160,0	10,15	1,00
A 10	180,0	10,20	1,25
A 11	200,0	10,15	1,60
A 12	225,0	10,10	1,90
A 13	250,0	10,00	2,15
A 14	275,0	10,00	2,50
A 15	300,0	9,75	2,85
A 16	350,0	9,60	3,40
A 17	400,0	9,40	3,85
A 18	450,0	9,05	4,15
A 19	500,0	9,00	4,50

Profil B, 1218 m

Datum, Zeit		20. Mai 1959	7. August 1959
Element Nr.	Abstand von Nullmarke, cm	12 ^h 15	13 ^h 00
B 1	0,0	..	..
B 2	20,0	..	0,65
B 3	40,0	1,65	0,10
B 4	60,0	4,15	0,10
B 5	80,0	6,30	0,10
B 6	100,0	7,80	0,15
B 7	120,0	9,00	0,65
B 8	140,0	9,80	1,35
B 9	160,0	10,35	1,75
B 10	180,0	10,55	2,20
B 11	200,0	10,75	2,70
B 12	225,0	10,75	3,35
B 13	250,0	10,80	4,05
B 14	275,0	10,65	4,65
B 15	300,0	10,60	5,15
B 16	350,0	10,35	6,20
B 17	400,0	9,95	6,90
B 18	450,0	9,75	7,50
B 19	500,0	9,30	7,90

(Fortsetzung)

Profil C, 1178 m Tabelle 50 a (fortgesetzt).

Datum, Zeit		20. Mai 1959	11. August 1959
Element Nr.	Abstand von Nullmarke, cm		
C 1	0,0	4,15	..
C 2	20,0	7,80	..
C 3	40,0	8,85	..
C 4	60,0	9,90	..
C 5	80,0	10,95	0,75
C 6	100,0	12,10	0,60
C 7	120,0	12,50	0,80
C 8	140,0	13,05	1,15
C 9	160,0	13,45	1,50
C 10	180,0	13,50	1,90
C 11	200,0	13,65	2,35
C 12	225,0	13,35	2,90
C 13	250,0	13,45	3,45
C 14	275,0	13,45	4,00
C 15	300,0	13,30	4,50
C 16	350,0	..	0,70
C 17	400,0	12,55	6,30
C 18	450,0	12,15	6,20
C 19	500,0	11,85	7,50

Profil D, 795 m

Datum, Zeit		20. Mai 1959	11. August 1959
Element Nr.	Abstand von Nullmarke, cm	16 ^h 30	
D 1	0,0	0,65	..
D 2	20,0	2,95	..
D 3	40,0	4,90	..
D 4	60,0	6,85	..
D 5	80,0	8,40	..
D 6	100,0	9,70	..
D 7	120,0	10,70	..
D 8	140,0	11,40	..
D 9	160,0	11,95	..
D 10	180,0	12,30	0,05
D 11	200,0	12,60	0,30
D 12	225,0	12,65	1,00
D 13	250,0	12,35	1,65
D 14	275,0	12,60	2,40
D 15	300,0	12,15	3,00
D 16	350,0	12,35	4,25
D 17	400,0	11,75	5,20
D 18	450,0	11,75	6,25
D 19	500,0	10,65	6,75

Die Meßwerte der Eistemperaturen (— Grad Celsius)

Tabelle 50 b.

Profil I, 1013 m

Datum		Bemerkung
Mai 1959		
20.	18 ^h 15	eingesetzt am 19. Mai, Nullmarke an Eisoberfläche, auf horizontiertes Galvanometer korrigiert
21.	21 ^h 00	auf horizontiertes Galvanometer korrigiert
25.	19 ^h 00	auf horizontiertes Galvanometer korrigiert
26.	21 ^h 45	auf horizontiertes Galvanometer korrigiert, 48 cm Schnee
27.	22 ^h 45	auf horizontiertes Galvanometer korrigiert
29.	15 ^h 30	auf horizontiertes Galvanometer korrigiert
Juni 1959		
1.	23 ^h 00	auf horizontiertes Galvanometer korrigiert
2.	18 ^h 45	ab 2. Juni Galvanometer während der Messung horizontal
4.	19 ^h 45	..
7.	20 ^h 30	..
10.	18 ^h 00	..
18.	20 ^h 15	Schneewehe ca. 50 cm tief
Juli 1959		
3.	16 ^h 30	Nullmarke 14 cm frei, Umgebung noch Firn und superimposed ice
15.	18 ^h 00	Nullmarke 42 cm frei, Oberschicht
21.	16 ^h 30	Nullmarke 68 cm frei
August 1959		
1.	18 ^h 00	Nullmarke 116 cm frei
8.	13 ^h 20	Nullmarke 128 cm frei bis Eis, 2 cm Schnee
16.	15 ^h 30	Nullmarke 133 cm frei

Profil II, 1004 m

Datum		Bemerkung
Juni 1959		
1.	19 ^h 30	eingesetzt am 31. Mai, Nullmarke 7 cm unter Eisoberfläche, Temperatur noch nicht angeglichen
2.	19 ^h 15	..
4.	20 ^h 15	..
7.	20 ^h 00	..
10.	17 ^h 45	..
16.	19 ^h 00	..
18.	18 ^h 45	geschlossene Schneedecke
23.	12 ^h 30	..
29.	17 ^h 00	Nullmarke 35 cm frei
Juli 1959		
4.	18 ^h 30	Nullmarke 47 cm frei
9.	15 ^h 30	6 cm Schnee, Nullmarke 54 cm über Schnee
15.	17 ^h 00	Nullmarke 75 cm frei, Oberschicht

(Fortsetzung)

Tabelle 50 b (fortgesetzt).

21.	15 ^h 15	Nullmarke 97 cm frei
28.	19 ^h 30	Nullmarke 124 cm frei
August 1959		
1.	19 ^h 00	Nullmarke 126 cm frei
8.	14 ^h 30	Nullmarke 129 cm frei bis Eisoberfläche, 2 cm Schnee

Profil III, 1004 m

Datum		Bemerkung
Juni 1959		
1.	20 ^h 30	eingesetzt 31. Mai, Nullmarke 6 cm unter Eisoberfläche, Temperatur noch nicht angeglichen
2.	20 ^h 00	..
4.	20 ^h 00	..
7.	20 ^h 10	..
10.	16 ^h 45	..
18.	19 ^h 05	geschlossene Schneedecke
23.	13 ^h 00	..
29.	17 ^h 45	Nullmarke 43 cm frei
Juli 1959		
4.	18 ^h 45	Nullmarke 57 cm frei
9.	16 ^h 00	6 cm Schnee, Nullmarke 64 cm über Schnee
15.	17 ^h 30	Nullmarke 90 cm frei, kleiner Bach
21.	15 ^h 30	Nullmarke 111 cm frei
28.	19 ^h 45	Nullmarke 140 cm frei
August 1959		
1.	18 ^h 45	Nullmarke 145 cm frei
8.	14 ^h 30	Nullmarke 149 cm frei bis Eisoberfläche, 2 cm Schnee

Profil IV, ∞ 1013 m

Datum		Bemerkung
Juni 1959		
10.	16 ^h 15	eingesetzt am 8. Juni, Nullmarke 3 cm unter Eisoberfläche
18.	19 ^h 45	geschlossene Schneedecke
Juli 1959		
21.	15 ^h 45	Nullmarke 93 cm frei
August 1959		
1.	18 ^h 30	Nullmarke 127 cm frei
8.	15 ^h 30	Nullmarke 134 cm frei bis Eisoberfläche, 3 cm Schnee

(Fortsetzung)

Tabelle 50 b (fortgesetzt).

Profil V, ∞ 1013 m

Datum		Bemerkung
Juni 1959		
7.	18 ^h 00	eingesetzt am 5. Juni, Nullmarke 8 cm unter Eisoberfläche
18.	20 ^h 45	5 cm Schnee
Juli 1959		
3.	15 ^h 45	Nullmarke 49 cm frei
21.	16 ^h 15	Nullmarke 105 cm frei
August 1959		
1.	17 ^h 45	Nullmarke 148 cm frei
8.	16 ^h 00	Nullmarke 156 cm frei bis Eisoberfläche, 3 cm Schnee

Profil A, 1241 m

Datum		Bemerkung
Mai 1959		
20.	11 ^h 30	eingesetzt am 18. Mai, Nullmarke an Eisoberfläche, 70 cm Schnee
August 1959		
6.	21 ^h 00	Nullmarke an Eisoberfläche

Profil B, 1218 m

Datum		Bemerkung
Mai 1959		
20.	12 ^h 15	eingesetzt am 18. Mai, Nullmarke 35 cm über Eisoberfläche, 100 cm Schnee
August 1959		
7.	13 ^h 00	Nullmarke 16 cm frei

Profil C, 1178 m

Datum		Bemerkung
Mai 1959		
20.		eingesetzt am 18. Mai, Nullmarke an Eisoberfläche
August 1959		
11.		Nullmarke 70 cm frei

Profil D, 795 m

Datum		Bemerkung
Mai 1959		
20.	16 ^h 30	eingesetzt am 18. Mai, Nullmarke an Eisoberfläche
August 1959		
11.		Nullmarke 168 cm frei

Bemerkungen zu Tab. 50 a.

Tabelle 51.

Profil I			Profil II		
Datum	Q	Differenz Q _A T	Datum	Q	Differenz Q _A T
Mai 1959			Juni 1959		
20.....	3950		2.....	3370	
21.....	3890	60	4.....	3295	75
25.....	3690	200	7.....	3200	95
26.....	3690	0	10.....	3110	90
27.....	3660	30	16.....	3020	90
29.....	3530	130	18.....	2995	25
		120	23.....	2890	105
Juni 1959			29.....	2730	160
1.....	3410		Juli 1959		
2.....	3340	70	4.....	2545	185
4.....	3300	40	9.....	2445	100
7.....	3220	80	15.....	2300	145
10.....	3100	120	21.....	2150	150
18.....	3040	60	28.....	1990	160
		410	August 1959		
Juli 1959			1.....	1960	30
3.....	2630		8.....	1820	140
15.....	2320	310	Extrapolation z > 8 m 17		
21.....	2120	200	vom 2. Juni 1959 bis 8. August 1959		
		260			
August 1959					
1.....	1860				
8.....	1790	70			
16.....	1640	150			
Extrapolation z > 8 m 7					
vom 20. Mai 1959 bis 16. August 1959					

(Fortsetzung)

Tabelle 51 (fortgesetzt).

Profil III

Datum	Q	Differenz Q_{AT}
Juni 1959		
2.....	3280	50
4.....	3230	110
7.....	3120	80
10.....	3040	140
18.....	2900	110
23.....	2790	140
29.....	2650	
Juli 1959		
4.....	2510	140
9.....	2360	150
15.....	2190	170
21.....	2030	160
28.....	1900	130
August 1959		
1.....	1810	90
8.....	1740	70
Extrapolation $z > 8$ m		7
vom 2. Juni bis 8. August 1959		

Profil IV

Datum	Q	Differenz Q_{AT}
Juni 1959		
10.....	2900	120
8.....	2780	
Juli 1959		
21.....	1910	870
August 1959		
1.....	1670	240
8.....	1585	85
Extrapolation $z > 8$ m		20
vom 10. Juni 1959 bis 8. August 1959		

Profil V

Datum	Q	Differenz Q_{AT}
Juni 1959		
7.....	2990	190
18.....	2800	
Juli 1959		
3.....	2330	570
21.....	1795	535
August 1959		
1.....	1525	270
8.....	1445	80
Extrapolation $z > 8$ m		67
vom 7. Juni 1959 bis 8. August 1959		

(Fortsetzung)

Tabelle 51 (fortgesetzt).

Profil A

Datum	Q	Differenz Q _A T
Mai 1959 20.....	2140	
August 1959 6.....	500	1640
Extrapolation vom 20. Mai 1959 bis 6. August 1959	z > 8 m	432

Profil C

Datum	Q	Differenz Q _A T
Mai 1959 20.....	2730	
August 1959 11.....	775	1955
Extrapolation vom 20. Mai 1959 bis 11. August 1959	z > 8 m	243

Profil B

Datum	Q	Differenz Q _A T
Mai 1959 20.....	1960	
August 1959 7.....	825	1135
Extrapolation vom 20. Mai 1959 bis 7. August 1959	z > 8 m	39

Profil D

Datum	Q	Differenz Q _A T
Mai 1959 20.....	2390	
August 1959 11.....	543	1847
Extrapolation vom 20. Mai bis 11. August 1959	z > 8 m	272

Der Kälteinhalt Q (cal cm⁻²) der gemessenen Temperaturprofile. Die Differenzbeträge Q_AT (cal cm⁻²) geben die zur Eiserwärmung verbrauchte Energie.

Tabelle 52.

Datum	Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV	Serie V	Mittelwert II und III
Mai 1959						
22.	40,0	..	..	..	..	..
23.	40,0	..	..	..	..	..
24.	40,0	..	..	..	..	..
25.	40,0	..	..	..	..	..
26.	40,0	..	..	..	..	..
27.	30,0	..	..	..	..	..
28.	65,0	..	..	..	..	..
29.	65,0	..	..	..	..	..
30.	40,0	..	..	..	..	..
31.	40,0	..	..	..	..	..
Juni 1959						
1.	40,0	..	..	..	..	..
2.	70,0	..	..	..	..	..
3.	20,0	37,5	25,0	..	..	31,0
4.	20,0	37,5	25,0	..	..	31,0
5.	26,7	31,7	36,7	..	..	34,0
6.	26,7	31,7	36,7	..	..	34,0
7.	26,7	31,7	36,7	..	..	34,0
8.	40,0	30,0	26,7	..	17,3	28,0
9.	40,0	30,0	26,7	..	17,3	28,0
10.	40,0	30,0	26,7	..	17,3	28,0
11.	7,5	15,0	17,5	15,0	17,3	16,0
12.	7,5	15,0	17,5	15,0	17,3	16,0
13.	7,5	15,0	17,5	15,0	17,3	16,0
14.	7,5	15,0	17,5	15,0	17,3	16,0
15.	7,5	15,0	17,5	15,0	17,3	16,0
16.	7,5	15,0	17,5	15,0	17,3	16,0
17.	7,5	12,5	17,5	15,0	17,3	15,0
18.	7,5	12,5	17,5	15,0	17,3	15,0
19.	27,3	21,0	22,0	26,4	38,0	21,0
20.	27,3	21,0	22,0	26,4	38,0	21,0
21.	27,3	21,0	22,0	26,4	38,0	21,0
22.	27,3	21,0	22,0	26,4	38,0	21,0
23.	27,3	21,0	22,0	26,4	38,0	21,0
24.	27,3	26,7	23,3	26,4	38,0	25,0
25.	27,3	26,7	23,3	26,4	38,0	25,0
26.	27,3	26,7	23,3	26,4	38,0	25,0
27.	27,3	26,7	23,3	26,4	38,0	25,0
28.	27,3	26,7	23,3	26,4	38,0	25,0
29.	27,3	26,7	23,3	26,4	38,0	25,0
30.	27,3	37,0	28,0	26,4	38,0	32,0

(Fortsetzung)

Tabelle 52 (fortgesetzt).

Datum	Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV	Serie V	Mittelwert II und III
Juli 1959						
1.	27,3	37,0	28,0	26,4	38,0	32,0
2.	27,3	37,0	28,0	26,4	38,0	32,0
3.	27,3	37,0	28,0	26,4	38,0	32,0
4.	26,0	37,0	28,0	26,4	29,6	32,0
5.	26,0	20,0	30,0	26,4	29,6	32,0
6.	26,0	20,0	30,0	26,4	29,6	25,0
7.	26,0	20,0	30,0	26,4	29,6	25,0
8.	26,0	20,0	30,0	26,4	29,6	25,0
9.	26,0	20,0	30,0	26,4	29,6	25,0
10.	26,0	24,2	28,3	26,4	29,6	26,0
11.	26,0	24,2	28,3	26,4	29,6	26,0
12.	26,0	24,2	28,3	26,4	29,6	26,0
13.	26,0	24,2	28,3	26,4	29,6	26,0
14.	26,0	24,2	28,3	26,4	29,6	26,0
15.	26,0	24,2	28,3	26,4	29,6	26,0
16.	25,0	25,0	26,7	26,4	29,6	26,0
17.	25,0	25,0	26,7	26,4	29,6	26,0
18.	25,0	25,0	26,7	26,4	29,6	26,0
19.	25,0	25,0	26,7	26,4	29,6	26,0
20.	25,0	25,0	26,7	26,4	29,6	26,0
21.	25,0	25,0	26,7	26,4	29,6	26,0
22.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
23.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
24.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
25.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
26.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
27.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
28.	23,6	22,9	18,6	21,8	24,6	21,0
29.	23,6	7,5	22,5	21,8	24,6	15,0
30.	23,6	7,5	22,5	21,8	24,6	15,0
31.	23,6	7,5	22,5	21,8	24,6	15,0
August 1959						
1.	23,6	7,5	22,5	21,8	24,6	15,0
2.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0
3.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0
4.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0
5.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0
6.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0
7.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0
8.	10,0	20,0	10,0	12,1	11,4	15,0

Tagesmittelwerte der zur Eisermwärmung verbrauchten Energie ($\text{cal cm}^{-2}/\text{Tag}$) für die Serien I bis V. Für Energieumsatzberechnungen sind die Werte negativ zu nehmen.

Tabelle 53.

Meßstelle	See- höhe, m	Datum	Schnee- höhe, cm	Wasser- wert	Kälteinhalt, cal cm ⁻²
Mai 1959					
BK 1 Pegel.....	612	10.	19	..	..
BK 1 Umgebung.....	612	10.	21	..	..
BK 1 Umgebung.....	612	20.	..	..	..
BK 2 Pegel.....	795	7.	39	..	..
BK 2 Pegel.....	795	12.	39	..	..
BK 2 Pegel.....	795	18.	24	..	..
BK 2 Pegel.....	795	20.	17	..	..
BK 2 Umgebung.....	795	12.	46	..	..
BK 2 Umgebung.....	795	20.	30	..	..
BK 3 Pegel.....	860	7.	27	..	..
BK 3 Pegel.....	860	20.	3	..	..
BK 3 Umgebung.....	860	10.	39	..	..
BK 4 Pegel.....	910	12.	0	..	..
BK 4 Umgebung.....	910	12.	20	..	..
BK 4 Umgebung.....	910	20.	..	..	..
BK 5 Pegel.....	1013	13.	42	..	..
BK 5 (1).....	1013	13.	56	..	..
BK 5 (1).....	1013	29.	..	..	..
Juni 1959					
BK 5 (1).....	1013	3.	..	..	..
BK 5 (1).....	1013	25.	10	..	..
Mai 1959					
BK 5 (2).....	1013	20.	36	22,0	4,5
BK 5 (2).....	1013	30.	26	14,0	0,0
Juni 1959					
BK 5 (2).....	1013	25.	20	..	0,0
Mai 1959					
BK 5 (3).....	1013	16.	48	23,1	46,2
BK 6 Pegel.....	1117	7.	56	..	..
BK 6 Pegel.....	1117	15.	57	..	..
BK 6 Umgebung.....	1117	12.	60	..	..
BK 7 Umgebung.....	1241	12.	80	..	..
BK 7 Umgebung.....	1241	20.	85	34,9	72,6
K 3 Bambus.....	1218	7.	95	..	..
K 3 Bambus.....	1218	14.	106	..	..
K 3 Umgebung.....	1218	20.	100	38,2	52,4
K 2 Umgebung.....	1178	12.	85	..	..
K 2 Umgebung.....	1178	20.	57	29,1	44,8

Messungen und Beobachtungen in der Schneedecke.

Bemerkung

..
Netz auf vorjähriger Oberfläche ausgelegt
Noch Firnflecken, Schneematsch, über Netz 2–4 cm superimposed ice
..
..
..
..
Netz auf vorjähriger Eisoberfläche ausgelegt
Weich, naß, $\rho = 0,49 \text{ g/cm}^3$
..
Umgebung mit einigen cm Firn bedeckt, über Netz 5–7 cm superimposed ice
Netz auf vorjähriger Oberfläche ausgelegt
..
Unterste 5 cm Firneis, Netz auf vorjähriger Eisoberfläche ausgelegt
Umgebung Firnflecken, Eis sehr weiß, über Netz 7 cm superimposed ice
..
Netz auf vorjähriger Eisoberfläche ausgelegt
12 cm superimposed ice gebildet

Sondierung Dr. SCHIMPP; 14 cm superimposed ice
13–17 cm superimposed ice, Schnee naß, weich

Auf vorjähriger Eisoberfläche Papier ausgelegt, Schneeprofil Abb. 64 d
8 cm superimposed ice gebildet, Schnee sehr feucht, $\rho = 0,53 \text{ g/cm}^3$

14 cm superimposed ice, Schnee sehr naß

Schneeprofil Abb. 64 d
..
..
Netz auf vorjähriger Eisoberfläche ausgelegt
Netz auf vorjähriger Eisoberfläche ausgelegt
Schneeprofil Abb. 64 a
..
..
Schneeprofil Abb. 64 b
Netz auf vorjähriger Eisoberfläche ausgelegt
Schneeprofil Abb. 64 c

Tabelle 54.

Meßstelle	Marke ausgelegt	Marke aufgegraben	Superimposed ice (cm Eis)	Superimposed ice am Pegel (cm Eis)	Seehöhe
	Mai 1959	Mai 1959			
BK 1	10.	20.	2-4	..	612 m
BK 2	12.	..	..	10	795 m
BK 3	10.	20.	5-7	7	860 m
BK 4	12.	20.	7	0	910 m
BK 5 (1)	13.	29.	12	13	1013 m
BK 5 (2)	20.	30.	8	11	1013 m
BK 6	12.	..	..	..	1117 m
BK 7	12.	..	..	..	1241 m
K 2	12.	..	..	..	1178 m

Bildung von superimposed ice in der Ablationszone. Die Meßstellen BK 6, BK 7, K 2 konnten nicht mehr kontrolliert werden. Lage der Meßstellen siehe Abb. 55.
Werte der Schichtdicke des superimposed ice am Pegel wurden durch Sondierung gefunden.

Tabelle 55.

Probe Nr.	1	2	3	4	5
Dichte (g/cm³)	0,21	0,23	0,29	0,40	0,42
Kapazität (pF)	61,5	61,0	65,0	65,5	65,0

Kondensatorkapazität bei verschiedenen Dichten des trockenen Schnees.

Tabelle 56.

Ablesung Skalenteile	29,0	36,0	40,0	38,0	39,0	36,5
Wassergehalt (Volumsprozent)	2,9	5,1	6,0	5,6	5,9	5,2
Ablesung Skalenteile	34,5	32,0	32,5	32,5	36,0	35,5
Wassergehalt (Volumsprozent)	4,7	3,9	4,0	4,0	5,1	4,9
Ablesung Skalenteile	39,0	34,5	35,5	36,0	34,5	35,5
Wassergehalt (Volumsprozent)	5,9	4,7	4,9	5,1	4,7	4,9
Ablesung Skalenteile	32,5	31,0	32,5	35,0	32,0	30,0
Wassergehalt (Volumsprozent)	4,0	3,5	4,0	4,8	3,9	3,2
Ablesung Skalenteile	36,0	37,0	33,0	31,5	34,0	33,0
Wassergehalt (Volumsprozent)	5,1	5,3	4,2	3,6	4,6	4,2

Beispiel für die Reproduzierbarkeit der Messungen. Der Kondensator wurde an 10 verschiedenen, benachbarten Stellen in die Schneedecke eingesetzt und die Ablesung erfolgte dreimal.

Tabelle 57.

30. Mai 1959, 12 ^h 00		Vol %
Kondensator senkrecht zur Oberfläche		5,5
10 cm Tiefe		2,3
15 cm Tiefe		0,0
30 cm Tiefe		0,0
22. Juni 1959, 16 ^h 15		
Kondensator senkrecht zur Oberfläche		4,4
8 cm Tiefe		1,1
12 cm Tiefe		0,3
15 cm Tiefe		0,0
20 cm Tiefe		0,0
30 cm Tiefe		0,3
45 cm Tiefe		0,9

Meßbeispiele für die Tiefenabhängigkeit des freien Wassergehaltes.

Tabelle 58.

Datum	Zeit	Ablation Summe	Ablation Differenz	Ablation Tageswert	$\sqrt{\frac{\Sigma v_i^2}{n(n-1)}}$
Juni 1959					
23. ....	..	0,00	..	..	..
24.	17 ^h 15	7,50	7,50	7,50	1,04
25.	17 ^h 00	14,30	6,80	6,80	0,97
26.	17 ^h 15	24,50	10,20	10,20	1,10
27.	21 ^h 30	31,20	6,70	6,70	0,53
28.	07 ^h 40	32,50	1,30	..	..
28.	21 ^h 30	37,10	4,60	5,90	0,46
29.	08 ^h 00	38,00	0,90	..	..
29.	21 ^h 00	42,80	4,80	5,70	0,61
30.	08 ^h 00	42,55	—0,25	..	..
30.	21 ^h 20	47,10	4,55	4,30	0,63
Juli 1959					
1.	20 ^h 30	49,30	2,20	2,20	0,71
2.	21 ^h 15	53,30	4,00	4,00	0,98
3.	21 ^h 00	54,10	0,80	0,80	0,91
4.	21 ^h 00	58,30	4,20	4,20	0,88
5.	21 ^h 00	63,50	5,20	5,20	0,69
6.	21 ^h 00	68,05	4,55	4,55	0,78
7.	21 ^h 00	71,90	3,85	3,85	1,05
8.	21 ^h 00	..	..	..	..
9.	13 ^h 45	..	..	..	..
9.	21 ^h 30	..	..	..	..
10.	14 ^h 30	..	..	..	..
10.	21 ^h 00	..	..	..	..

(Fortsetzung)

Tabelle 58 (fortgesetzt).

Datum	Zeit	Ablation Summe	Ablation Differenz	Ablation Tageswert	$\sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$
11.	14 ^h 30	..	..	..	..
11.	21 ^h 00	73,80	..	..	..
12.	07 ^h 30	75,60	1,80	..	..
12.	21 ^h 15	78,30	2,70	4,50	0,32
13.	07 ^h 45	79,40	1,10	..	..
13.	21 ^h 00	82,55	3,15	4,25	0,45
14.	07 ^h 30	83,95	1,40	..	..
14.	21 ^h 30	85,30	1,35	2,75	0,11
15.	07 ^h 30	85,10	—0,20	..	..
15.	21 ^h 30	87,05	1,95	1,75	0,75
16.	07 ^h 30	87,50	0,45	..	..
16.	21 ^h 15	90,25	2,75	3,20	0,58
17.	21 ^h 00	94,50	4,25	4,25	0,68
18.	21 ^h 30	97,95	3,45	3,45	0,63
19.	21 ^h 45	101,05	3,10	3,10	1,01
20.	21 ^h 30	106,65	5,60	5,60	0,77
21.	07 ^h 30	109,25	2,60	..	..
21.	21 ^h 00	111,15	1,90	4,50	0,62
22.	07 ^h 30	111,35	0,20	..	..
22.	21 ^h 30	111,60	0,25	0,45	0,64
23.	07 ^h 30	112,65	1,05	..	..
23.	21 ^h 00	114,70	2,05	3,10	0,46
24.	07 ^h 30	114,95	0,25	..	..
24.	21 ^h 00	118,05	3,10	3,35	0,62
25.	07 ^h 30	118,25	0,20	..	..
25.	21 ^h 00	121,35	3,10	3,30	0,33
26.	07 ^h 30	121,55	0,20	..	..
26.	21 ^h 00	126,45	4,90	5,10	0,32
27.	07 ^h 30	128,45	2,00	..	..
27.	21 ^h 00	135,20	6,75	8,75	0,77
28.	07 ^h 30	136,70	1,50	..	..
28.	21 ^h 00	139,45	2,75	4,25	0,36
29.	07 ^h 30	140,85	1,40	..	..
29.	21 ^h 00	142,65	1,80	3,20	0,28
30.	07 ^h 15	..	..	..	..
30.	21 ^h 00	..	..	..	..
31.	21 ^h 00	..	..	..	..
August 1959					
1.	07 ^h 30	..	..	..	..
1.	20 ^h 30	143,25	..	..	..
2.	21 ^h 15	144,60	1,35	1,35	0,40
3.	21 ^h 15	145,30	0,70	0,70	0,56
4.	21 ^h 00	147,65	2,35	2,35	0,32
5.	21 ^h 00	148,85	1,20	1,20	0,32
6.	21 ^h 00	150,10	1,25	1,25	0,42
7.	21 ^h 30	151,40	1,30	1,30	0,32

Ablationswerte (cm Eishöhe) im Pegelnetz R₁–R₁₀ mit Fehlerangabe.

Tabelle 59.

Datum	G	R/G	G-R	A-E	SB	Q _F	Q _K	Q _V	Q _W	Q _A
Mai 1959										
26.	460,2	0,608	180,1	25,5	205,6	57,3	24,6	-118,0	-40,0	129,5
27.	532,3	0,797	108,2	-29,6	78,6	16,5	3,6	-15,4	-30,0	54,0
28.	590,7	0,737	154,9	-12,1	142,8	55,4	0,0	-37,2	-65,0	96,6
29.	410,2	0,658	140,2	19,4	159,6	93,0	0,0	-42,2	-65,0	145,4
30.	612,7	0,519	294,5	-23,1	271,4	99,2	0,0	-114,0	-40,0	216,6
31.	638,0	0,512	311,5	-79,3	232,2	65,3	0,0	-88,5	-40,0	170,3
Juni 1959										
1.	636,0	0,565	276,3	-86,5	189,8	53,5	0,0	-65,3	-40,0	138,0
2.	710,0	0,595	287,9	-96,0	191,9	37,8	22,0	-67,6	-70,0	114,1
3.	628,0	0,677	225,4	-67,3	158,1	19,8	8,0	-15,8	31,0	140,2
4.	612,0	0,653	212,2	-49,6	162,6	19,0	1,4	-18,7	31,0	232,6
5.	759,7	0,597	305,2	-91,1	214,1	45,3	2,5	-60,0	34,0	168,8
6.	750,0	0,608	293,7	-75,1	318,6	30,1	5,7	-109,3	34,0	111,1
7.	737,2	0,592	300,6	-61,7	238,9	35,6	0,5	-72,6	34,0	168,3
8.	595,3	0,605	234,9	-29,3	205,6	13,7	0,0	-24,8	28,0	166,5
9.	429,2	0,808	64,5	-0,7	63,8	9,4	0,0	-62,5	28,0	-16,8
10.	572,8	0,753	141,4	-27,6	113,8	28,2	0,5	-23,9	28,0	91,7
11.	611,8	0,750	154,4	-12,8	141,6	13,8	0,6	-13,6	16,0	126,9
12.	692,3	0,822	122,9	-31,8	91,1	28,0	8,6	-75,0	16,0	37,8
13.	709,9	0,710	206,9	-44,1	162,8	75,5	7,2	-20,1	16,0	209,4
14.	452,1	0,860	63,6	4,4	68,0	-3,3	57,7	-46,5	16,0	60,0
15.	555,4	0,860	78,3	19,8	98,1	-69,2	0,0	-49,0	16,0	-27,7
16.	796,8	0,806	55,2	-59,4	-4,2	23,7	8,7	-37,1	16,0	-24,2
17.	781,1	0,760	186,8	-74,0	112,8	14,6	18,3	-64,1	15,0	66,6
18.	746,0	0,726	203,7	-52,1	151,6	88,0	0,0	-83,9	15,0	140,7
19.	746,2	0,723	207,1	-68,2	138,9	59,6	0,0	-96,0	21,0	81,5
20.	778,4	0,704	230,7	-79,6	151,1	65,6	0,0	-22,0	21,0	173,7
21.	568,3	0,720	160,1	-27,7	132,4	63,4	1,0	-51,1	21,0	124,7
22.	399,2	0,815	74,6	9,9	84,5	53,9	4,3	-21,6	21,0	100,1
23.	663,2	0,586	275,2	-12,0	263,2	115,0	0,0	-29,0	21,0	328,2
24.	760,9	0,435	429,9	-35,3	394,6	192,0	0,0	-10,3	25,0	551,3
25.	690,6	0,410	407,5	-35,4	372,1	156,1	5,1	-41,2	25,0	467,1
26.	737,4	0,403	440,2	-1,5	438,7	144,0	6,4	-21,2	25,0	542,9
27.	745,2	0,388	456,1	-65,5	390,6	103,5	0,0	-39,0	25,0	430,1
28.	733,8	0,373	460,1	-66,9	393,2	84,1	1,2	-20,6	25,0	432,9
29.	727,0	0,384	447,8	-73,8	374,0	68,9	1,3	-29,7	25,0	389,5
30.	745,7	0,404	444,4	-89,8	354,6	77,0	0,0	-48,3	32,0	351,3
Juli 1959										
1.	756,6	0,429	432,0	-125,5	306,5	59,6	0,0	-117,0	32,0	217,1
2.	749,7	0,459	405,6	-131,8	273,8	75,9	0,0	-125,0	32,0	192,7
3.	728,5	0,475	382,5	-105,7	276,8	86,4	0,0	-88,6	32,0	242,6
4.	720,9	0,462	387,8	-78,7	309,1	67,4	26,3	-74,5	32,0	296,3
5.	651,5	0,437	366,8	-59,4	307,4	57,2	5,9	-5,9	32,0	332,6
6.	672,6	0,471	355,7	-75,8	280,0	53,0	0,0	-36,4	25,0	271,6
7.	421,7	0,477	220,5	-20,1	200,4	34,0	7,0	-13,2	25,0	203,2

Tabelle 59 (fortgesetzt).

Datum	G	R/G	G-R	A-E	SB	Q _F	Q _K	Q _V	Q _W	Q _A
8.	384,2	0,727	105,5	−5,8	99,7	11,6	0,0	−22,2	25,0	64,1
9.	666,1	0,778	147,6	−82,0	65,6	38,6	6,3	−18,5	25,0	67,0
10.	720,4	0,758	173,9	−96,0	77,9	60,1	1,8	−55,4	26,0	58,4
11.	428,3	0,698	139,0	−9,9	129,1	81,5	53,0	0,0	26,0	237,6
12.	306,2	0,441	171,2	4,1	175,3	88,4	80,0	0,0	26,0	317,7
13.	496,4	0,427	284,4	−30,7	253,7	38,2	19,4	0,0	26,0	285,3
14.	276,2	0,475	145,0	−3,4	141,6	38,1	15,9	−0,4	26,0	169,2
15.	630,1	0,416	368,0	−68,8	299,2	51,2	2,7	−13,1	26,0	314,0
16.	704,2	0,489	359,8	−95,1	264,7	63,4	3,1	−39,6	26,0	265,6
17.	703,2	0,454	384,0	−83,9	300,1	106,2	0,7	−73,4	26,0	307,6
18.	396,0	0,432	225,0	−27,4	197,6	46,6	4,8	−4,1	26,0	218,9
19.	675,9	0,445	375,1	−105,7	269,4	81,4	0,0	−28,9	26,0	295,9
20.	656,6	0,429	374,9	−94,3	280,6	78,9	0,0	−85,0	26,0	248,5
21.	334,0	0,419	194,1	−1,8	192,3	−4,1	6,2	−4,2	26,0	164,2
22.	537,5	0,429	306,9	−68,2	238,7	24,4	2,1	−2,4	21,0	241,8
23.	525,4	0,449	289,5	−62,4	227,1	30,4	0,0	−10,3	21,0	226,2
24.	606,5	0,449	334,2	−64,6	269,6	39,0	0,4	−22,9	21,0	265,1
25.	652,6	0,449	359,6	−86,4	273,2	57,6	4,5	−21,1	21,0	293,2
26.	588,9	0,419	342,2	−80,0	262,2	106,4	16,9	−27,1	21,0	337,4
27.	496,3	0,379	308,2	−14,1	294,1	148,0	58,8	0,0	21,0	479,9
28.	450,9	0,379	280,0	−46,3	233,7	132,0	23,5	−0,8	21,0	367,4
29.	467,2	0,399	280,8	−24,6	256,2	70,6	23,0	−15,5	15,0	329,3
30.	466,1	0,680	151,3	−61,1	90,2	19,6	0,0	−75,7	15,0	19,1
31.	605,9	0,640	215,6	−120,4	95,2	36,9	0,0	−121,0	15,0	−3,9
August 1959										
1.	558,0	0,604	220,1	−105,1	115,0	74,1	0,0	−95,0	15,0	79,1
2.	324,3	0,539	149,5	−23,2	126,3	25,9	0,0	−9,8	15,0	126,9
3.	602,8	0,579	253,8	−90,8	163,0	39,9	0,6	−84,6	15,0	103,9
4.	426,1	0,499	213,5	−64,3	149,2	65,6	4,4	−15,1	15,0	189,1
5.	492,9	0,519	237,1	−66,4	170,7	44,1	0,5	−37,1	15,0	163,2
6.	553,2	0,549	249,5	−121,7	127,8	124,2	0,0	−105,8	15,0	131,2
7.	312,4	0,549	140,9	−51,2	89,7	66,9	2,1	−98,0	15,0	45,7

Die Tagessummen (cal cm^{−2}/Tag) der Komponenten des Energieumsatzes für die Periode vom 26. Mai bis 7. August 1959.

Die einzelnen Spalten bedeuten:

G Globalstrahlung

R/G Albedo

G-R Absorbierte Globalstrahlung

A-E Langwellige Strahlungsbilanz. Vorläufige Auswertung

SB Gesamt-Strahlungsbilanz. Vorläufige Auswertung

Q_F Fühlbare Wärme

Q_K Positive latente Wärme (Kondensationsenergie)

Q_V Negative latente Wärme (Verdunstungsenergie)

Q_W Zur Eisermwärmung verbrauchte Energie

Q_A Verfügbare Schmelzenergie

Tabelle 60 a-c.

Die Komponenten des Wärmehaushaltes für den Abschnitt mit

- a) schneebedeckter
- b) schneefreier
- c) Neuschnee bedeckter Oberfläche

Angabe der Energiesumme. Zahlen in Klammern bedeuten cal/cm² Tag. Werte der langwelligen Strahlungsbilanz aus vorläufiger Auswertung.

Tabelle 60 a.

Periode 26. Mai-23. Juni 1959 (29 Tage, Schnee)

Einstrahlung kurzwellig: 18175,0 (627) cal cm⁻²

	Energiegewinn cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)	Energieverlust cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung, Registrierung ...	5551,0 (193)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 1111,7 (38)
Fühlbare Wärme	1236,1 (43)	..
Latente Wärme	173,3 (6)	— 1454,8 (50)
Wärmeleitung .....	..	— 869,0 (30)
Summe	6960,4 (242)	— 3435,5 (118)
Schmelzenergie	3524,9 (124)	
Absorbierte kurzwellige Strahlung (Albedo 77,5 %) ..	4100,0 (141)	
Schmelzenergie	2077,0 (71)	≥ 25,9 cm Wasser (0,89)
Ablation geschätzt		23,2 cm Wasser (0,80)

Tabelle 60 b.

Periode 24. Juni-7. Juli, 12. Juli-29. Juli und 2. August-7. August 1959 (38 Tage, Eis).

Einstrahlung kurzwellig: 22062,0 (581) cal cm⁻²

	Energiegewinn cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)	Energieverlust cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung	12272,9 (323)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 2336,2 (61)
Fühlbare Wärme	2812,5 (74)	..
Latente Wärme	334,3 (9)	— 1370,1 (36)
Wärmeleitung .....	..	— 904,0 (24)
Summe	15419,7 (406)	— 4610,3 (121)
Schmelzenergie	10809,4 (285)	
Eis geschmolzen		150,1 (3,95) cm Eis
Eis verdunstet		2,2 (0,06) cm Eis
Ablation berechnet		152,3 (4,01) cm Eis
Ablation gemessen		149,0 (3,92) cm Eis
Differenz zwischen berechneter und gemessener Ablation		3,3 cm ≥ 2%

Tabelle 60 c.

Periode 8. Juli–11. Juli 1959 und 30. Juli–1. August 1959 (7 Tage, Neuschnee).
Einstrahlung kurzwellig: 3829,0 (547) cal cm⁻²

	Energiegewinn cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)	Energieverlust cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung, Registrierung ..	1153,0 (165)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 480,3 (69)
Fühlbare Wärme	322,4 (46)	..
Latente Wärme	61,1 (9)	— 387,8 (55)
Wärmeleitung .....	..	— 147,0 (21)
Summe	1536,5 (220)	— 1015,1 (145)
Schmelzenergie	521,4 (75)	
Schmelzenergie (Albedo 77,5 ‰)	230,0 (33)	≧ 3,2(0,46) cm Eis
Ablation gemessen		2,8(0,40) cm Eis

Tabelle 61 a–e.

Die Komponenten des Wärmehaushaltes für kürzere Teilabschnitte (Periode 2 bis 6).
Angabe der Energiesumme. Zahlen in Klammern bedeuten cal/cm² Tag. Werte der
langwelligen Strahlungsbilanz aus vorläufiger Auswertung.

Tabelle 61 a.

Periode 24. Juni–7. Juli 1959 (14 Tage, Eis).
Einstrahlung kurzwellig: 9842,1 (703) cal cm⁻²

	Energiegewinn cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)	Energieverlust cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung	5626,5 (402)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 956,2 (69)
Fühlbare Wärme	1259,1 (90)	..
Latente Wärme	64,7 (5)	— 670,9 (48)
Wärmeleitung .....	..	— 392,0 (28)
Summe	6950,3 (497)	— 2028,1 (145)
Schmelzenergie	4922,2 (352)	
Eis geschmolzen	4922,2	≧ 68,5(4,90) cm Eis
Eis verdunstet	670,9	1,1(0,08) cm Eis
Ablation berechnet		69,6(4,98) cm Eis
Ablation gemessen		71,9(5,14) cm Eis

Tabelle 61 b.

Periode 8. Juli–11. Juli 1959 (4 Tage, Schnee).
Einstrahlung kurzwellig: 2199,0 (550) cal cm⁻²

	Energiegewinn cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)	Energieverlust cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung	566,0 (141)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 193,7 (48)
Fühlbare Wärme.....	191,8 (48)	..
Latente Wärme.....	61,1 (15)	— 96,1 (24)
Wärmeleitung.....	..	— 102,0 (26)
Summe	818,9 (204)	— 391,8 (98)
Schmelzenergie.....	427,1 (106)	

Tabelle 61 c.

Periode 12. Juli–29. Juli 1959 (18 Tage, Eis).
Einstrahlung kurzwellig: 9508,2 (528) cal cm⁻²

	Energiegewinn cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)	Energieverlust cal cm ⁻² (cal cm ⁻² /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung	5272,8 (293)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 953,4 (53)
Fühlbare Wärme.....	1316,6 (73)	..
Latente Wärme.....	262,0 (15)	— 348,8 (19)
Wärmeleitung.....	..	— 422,0 (24)
Summe	6851,4 (381)	— 1724,2 (96)
Schmelzenergie.....	5127,2 (285)	
Eis geschmolzen	5127,2	≅ 71,3 (3,96) cm Eis
Eis verdunstet.....	348,8	≅ 0,6 (0,03) cm Eis
Ablation berechnet		71,9 (3,99) cm Eis
Ablation gemessen		68,9 (3,83) cm Eis

Tabelle 61 d.

Periode 30. Juli–1. August 1959 (3 Tage, Schnee).
Einstrahlung kurzwellig: 1630,0 (544) cal cm^{−2}

	Energiegewinn cal cm ^{−2} (cal cm ^{−2} /Tag)	Energieverlust cal cm ^{−2} (cal cm ^{−2} /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung	587,0 (196)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 286,6 (96)
Fühlbare Wärme.....	130,6 (44)	..
Latente Wärme.....	..	— 291,7 (97)
Wärmeleitung.....	..	— 45,0 (15)
Summe	717,6 (240)	— 623,3 (208)
Schmelzenergie.....	94,3 (32)	

Tabelle 61 e.

Periode 2. August–7. August 1959 (6 Tage, Eis)
Einstrahlung kurzwellig: 2711,7 (451) cal cm^{−2}

	Energiegewinn cal cm ^{−2} (cal cm ^{−2} /Tag)	Energieverlust cal cm ^{−2} (cal cm ^{−2} /Tag)
Absorbierte kurzwellige Strahlung	1373,6 (229)	..
Langwellige Strahlungsbilanz .....	..	— 417,6 (70)
Fühlbare Wärme.....	236,8 (39)	..
Latente Wärme.....	7,6 (1)	— 350,4 (58)
Wärmeleitung.....	..	— 90,0 (15)
Summe	1618,0 (269)	— 858,0 (143)
Schmelzenergie.....	760,0 (126)	
Eis geschmolzen	760,0	⊆ 10,5 (1,75) cm Eis
Eis verdunstet.....	350,4	⊆ 0,6 (0,10) cm Eis
Ablation berechnet		11,1 (1,85) cm Eis
Ablation gemessen		8,2 (1,37) cm Eis

Tabelle 62.

Schneebedeckte Oberfläche (Abschnitt 1)					
A-E -37 %	102 %	SB	Energieüberschuß 100 %	71 %	Q _A
G-R 139 %					
Q _K 6 %	42 %	Q _F		29 %	Q _W
Q _V -50 %	-44 %	Q _L			

Schneefreie Oberfläche (Abschnitt 2)					
A-E -20 %	85 %	SB	Energieüberschuß 100 %	92 %	Q _A
G-R 105 %					
Q _K 3 %	24 %	Q _F		8 %	Q _W
Q _V -12 %	-9 %	Q _L			

Der Energieumsatz für schneebedeckte und schneefreie Oberfläche. Die Bezeichnung ist im Text erläutert.

Tabelle 63.

Ablation 100 %	91 %	Strahlung	Kurzwellig	112 %
			Langwellig	-21 %
	1 %	Verdunstung		
	8 %	{	Fühlbare Wärme	25 %
			Latente Wärme	-9 %
			Eiserwärmung	-8 %

Die Beiträge der einzelnen Vorgänge zur Ablation. Schneefreie Oberfläche (Abschnitt 2). Positive Vorzeichen erhalten ablationsfördernde, negative Vorzeichen ablationshemmende Vorgänge.

Tabelle 64.

Meßstelle	Alpen Hornkees, 2300 m September	Alpen Vernagtferner, 3000 m August	Karakorum Chogo Lungma- Gletscher, 4300 m Juli	Grönland Camp IV – EGIG, 1004 m Juni/Juli/August
Oberfläche	Eis	Eis	Eis	Eis
Autor	H. HOINKES (1953)	H. HOINKES und N. UNTERSTEINER (1952)	N. UNTERSTEINER (1958)	W. AMBACH
Gesamt-Strahlungsbilanz	257	362	391	256
Andere Energiebeiträge (vgl. Text)	235	84	43	46
Energiegewinn (verbraucht zum Erwärmen und Schmelzen)	492	446	434	302

Meßstelle	Arktis US Drifting Station A Juli	Central Sierra Snow Laboratory California, 2300m Mai/Juni	Karakorum Chogo Lungma- Gletscher, 4000m Juni
Oberfläche	Eis	Schnee	Schnee
Autor	N. UNTERSTEINER (1961)	M. DIAMOND und R. W. GERDEL (1956)	N. UNTERSTEINER (1958)
Gesamt-Strahlungsbilanz	134	291	213
Andere Energiebeiträge (vgl. Text)	—2	109	67
Energiegewinn (verbraucht zum Erwärmen und Schmelzen)	132	400	280

(Fortsetzung)

Tabelle 64 (fortgesetzt).

Meßstelle	Mount Olympus Blue Glacier, 2010 m Juli/August	Grönland Camp IV – EGIG, 1004 m Mai/Juni	Grönland Site 2, 2300 m Juli/August
Oberfläche	Schnee	Schnee	Schnee
Autor	LA CHAPELLE (1959 a)	W. AMBACH	M. DIAMOND und R. W. GERDEL (1956)
Gesamt-Strahlungsbilanz	174	155	10
Andere Energiebeiträge (vgl. Text)	98	—1	—2
Energiegewinn (verbraucht zum Erwärmen und Schmelzen)	272	154	8

Meßstelle	Antarktis Maudheim, 37 m Dezember	Antarktis Maudheim, 37 m Juni/Juli	Antarktis Little America V, 44 m 21. April–20. Aug.
Oberfläche	Schnee	Schnee, Winternacht	Schnee, Winternacht
Autor	G. H. LILJEQUIST (1957 b)	G. H. LILJEQUIST (1957 b)	H. HOINKES (1961)
Gesamt-Strahlungsbilanz	27	—46	—23
Andere Energiebeiträge (vgl. Text)	14	26	17
Energiegewinn (verbraucht zum Erwärmen und Schmelzen)	41	—20	—6

Vergleich des täglichen Energieumsatzes (cal cm⁻²/Tag) in verschiedenen Klimaten.

Færdig fra trykkeriet den 17. september 1963.