Beiträge zur Geologie der Schweiz - Geotechnische Serie - Hydrologie

4. Lieferung

Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft — Arbeit aus dem ehemaligen Institut für Gewässerkunde der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich

Gedruckt mit Unterstützung der Stiftung der Schweizerischen Landesausstellung 1939 Zürich für Kunst und Forschung und der Stiftung Dr. Joachim de Giacomi der S. N. G.

ZUM WASSERHAUSHALT DES SCHWEIZER HOCHGEBIRGES

I. BAND

III. Teil

ALLGEMEINES

10. Kapitel. Die Eis- und Schneeverhältnisse der Oberengadiner Seen insbesondere des St. Moritzer Sees.

Beitrag zur Gewässer- und Klimakunde des Oberengadins

von

O. Lütschg-Loetscher †

Mitarbeiter Theophil Hauck und Rudolf Bohner

Mit 54 Figuren, 8 Tafeln und 48 Tabellen

In Kommission bei Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Bern

Zürich 1954

Druck von Aschmann & Scheller AG. / Buchdruckerei „zur Froschau" / Zürich

Früher erschienene Teilabschnitte des Werkes von O. Lütschg-Loetscher:

„Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges"

(Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Hydrologie, Lieferung 4)

I. Band, I. Teil, Erste Abteilung, 1945 (Mitarbeiter Rudolf Bohner)

1. Kapitel: Ueber den heutigen Stand der Niederschlagsforschung im Schweizer Hochgebirge.
2. Kapitel: Ueber den gegenwärtigen Stand der Abflußforschung im Schweizer Hochgebirge.
3. Kapitel: Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß im allgemeinen.

I. Band, I. Teil, Zweite Abteilung, 1944

4. Kapitel: Die Bedeutung und Bewertung der Vorratsänderungen im Wasserhaushalt der Gletscher im Schweizer Hochgebirge.
5. Kapitel: Beobachtungen über das Verhalten des vorstoßenden Oberen Grindelwaldgletschers im Berner Oberland.

I. Band, I. Teil, Dritte Abteilung, 1949

(Mitarbeiter Rudolf Bohner, mit einem Beitrag von Hans Burger)

6. Kapitel: Boden und Vegetation im Wasserhaushalt des Hochgebirges.
7. Kapitel: Die Bedeutung des Schneetransportes durch den Wind (Windverfrachtung) im Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges.
8. Kapitel: Die Bedeutung der Nebel-, Tau- und Reifbildungen im Wasserhaushalt des Hochgebirges.

I. Band, II. Teil, 1950 (Mit R. Bohner, H. Huber, Paul Huber und F. de Quervain)

9. Kapitel: Zur Hydrologie, Chemie und Geologie der winterlichen Gletscherabflüsse der Schweizer Alpen.

II. Band, III. Teil, 1944 (Mitarbeiter Rudolf Bohner und Walter Dietz)
Zur Hydrologie der Landschaft Davos. Forschungsgebiet Nr. 7.

III. Band, 1948 (F. Gygax)
Niederschlag und Abfluß im Einzugsgebiet der Magliasina. Forschungsgebiet Nr. 16.

In den *Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft* sind zum gleichen Thema erschienen:

Band LXXVI, 1946, Abh. 2:
Ueber die Verdunstungsgröße freier Wasserflächen im Schweizer Hochgebirge.

Band LXXVII, 1947, Abh. 2:
Beitrag zur Kenntnis des Wärmehaushaltes der obersten Bodenschicht der Schweizer Alpen.

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission.

Mit dem vorliegenden 10. Kapitel «Die Eis- und Schneeverhältnisse der Oberengadiner Seen, insbesondere des St. Moritzer Sees. Beitrag zur Gewässer- und Klimakunde des Oberengadins» gelangt die Herausgabe des Werkes von Herrn Ing. Dr. h. c. O. Lütschg-Loetscher «Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges» zu dem bei dem Stande der Arbeit bei seinem Tode (1947) möglichen Abschluß. Ueber die allgemeine Zielsetzung des «Wasserhaushaltes» sprach sich der Verfasser im Vorwort des zuerst (1944) erschienenen Bandes II ausführlich aus. Die nebenstehende Uebersicht orientiert über die erschienenen Teilabschnitte des Werkes.

Mitarbeiter von Dr. O. Lütschg an diesem Kapitel waren die Herren R. Bohner und Th. Hauck. Beim Tode des Autors lagen große Abschnitte nahezu druckbereit, andere erst in mehr oder weniger ausgearbeiteter Form vor. Die endgültige Redaktion des durch viele Tabellen komplizierten Manuskriptes zum druckfertigen Text erforderte von den genannten Mitarbeitern und von Fräulein V. Jenny vom Büro der Geotechnischen Kommission eine große Vertiefung in die weitgespannte vom Autor für dieses Kapitel vorgesehene Materie. Dabei mußten einige, noch wenig weit gediehene Abschnitte weggelassen werden, was in einzelnen Teilen des Werkes den Fluß der Darstellung etwas erschweren mag.

Die Herausgabe der Publikation war nur möglich durch die bereits Herrn Dr. Lütschg für dieses Werk von der «Stiftung Dr. Joachim de Giacomi» bewilligte Unterstützung, den großzügigen Beitrag der «Stiftung Schweizerische Landesausstellung 1939 Zürich für Kunst und Forschung» und der Mitwirkung der Familie von Dr. O. Lütschg. Den beiden Stiftungen und der Familie des Autors möchte die Geotechnische Kommission den besten Dank aussprechen.

Die Geotechnische Kommission freut sich sehr, daß mit der Herausgabe dieses Teiles das Werk ihres verehrten Mitarbeiters nun doch eine gewisse Vollendung finden konnte. Sie möchte den Mitautoren Herrn R. Bohner und Herrn Th. Hauck und Fräulein V. Jenny für ihre große Mühewaltung während der sich über Jahre hinziehenden Drucklegung herzlich danken.

Zürich, im Juli 1954.

Für die Schweizerische Geotechnische Kommission:

Der Präsident: Prof. Dr. F. de Quervain.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

I. *Vorwort und Einleitung, Ziel der Studie* 1

A. Erforschung der Alpenseen im allgemeinen 2

B. Ueber den Reichtum an Seen im bündnerischen Rheingebiet und im Oberengadin 3

C. Ueber die bisherige wissenschaftliche Erforschung der Oberengadiner Seen 4

D. Uebergang vom natürlichen St. Moritzer See zum gegenwärtig künstlich regulierbaren See 5

II. *Klima* 5

A. Allgemeine klimatische Besonderheiten des Oberengadins 5

B. Die hydro-meteorologischen Beobachtungsstationen im Oberengadin . . 9

1. Offizielle Beobachtungsstation der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt Zürich beim katholischen Pfarrhaus in St. Moritz-Dorf . . . 9

2. Die Meßstation des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz . . 9

C. Meteorologisch-physikalische Beobachtungen 10

1. Die Temperaturverhältnisse 10

2. Relative Feuchtigkeit 21

3. Die Windverhältnisse 21

4. Monatliche und jahreszeitliche Sonnenscheindauer 28

5. Niederschläge 30

III. *Hydrologisches* 38

A. Morphometrische Werte der Oberengadiner Seen 38

B. Der Wasserhaushalt des St. Moritzer Sees 43

1. Allgemeines 43

2. Wasserstandsbewegungen der Seen 43

3. Zuflüsse des St. Moritzer Sees 45

C. Die Abflußverhältnisse des Inns bei St. Moritz-Bad und bei der Straßenbrücke in Martinsbruck 46

D. Ueber die Thermik des St. Moritzer Sees 51

1. Allgemeines 51

2. Die thermischen Tiefenlotungen 51

3. Die Wassertemperaturen in den Oberflächenzonen des St. Moritzer Sees 60

4. Die Temperatur innerhalb der obersten Wasserschicht während der Dauer der Vereisung 66

5. Ueber das Rauchen des St. Moritzer Sees 68

Zweiter Teil.

Ueber das Einfrieren, die Befreiung von der Eisdecke, die Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen in den Jahren 1864—1945 69

1. Einfrieren, Befreiung von der Eisdecke, die Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen, Periode 1864—1943 69

II. Zusammenhang zwischen der Vereisungsdauer des Silser Sees und den Klimaschwankungen 79
III. Beziehungen zwischen Vereisungsdauer, Lufttemperatur und Niederschlag für Sils-Maria 80
Messungen und Beobachtungen auf und am St. Moritzer See 94
I. Einleitung 94
A. Ziel der Einzelforschung 95
B. Arbeitsprogramm 96
C. Meteorologische Station am St. Moritzer See 96
D. Besondere Apparate 97
II. Winter 1935/36 98
A. Allgemeines 98
B. Die Entwicklung der Eisdecke im Winter 1935/36 99
C. Meteorologische, hydrologische Verhältnisse 104
D. See-Absenkungen und Aufstau am gefrorenen St. Moritzer See vom 20.—23. 3. 36 105
1. Versuchsanordnung 107
2. Versuche 107
3. Zusammenfassung 109
E. Die Wasserüberflutung der Eisdecke des St. Moritzer Sees 112
III. Winter 1936/37 114
A. Die Eis- und Schneeverhältnisse auf dem St. Moritzer See im Winter 1936/37 115
1. Einleitende Periode von der Aneisung bis zum Zufrieren des Sees 115
2. Messungen und Beobachtung während der Periode des ganz zugefrorenen Sees 118
3. Oeffnung des Sees 125
B. Schneemessungen am Seeufer bei der Beobachtungsstation des E. W. St. M. am St. Moritzer See vom 6. Januar bis 20. März 1937 126
IV. Winter 1937/38 128
A. Allgemeines 128
B. Entwicklung der Eisdecke 129
C. Besondere Beobachtungen 129
D. Eis- und Schneemessungen auf dem St. Moritzer See im Winter 1937/38 . . . 130
E. Eigentümlichkeiten in der Entwicklung der Eisdecke des Silvaplaner Sees . . 133
V. Winter 1938/39 133
A. Lufttemperaturen und Wassertemperaturen 133
B. Schneehöhen- und Eisdickenmessungen am Ufer und auf der Eisdecke des St. Moritzer Sees 134
C. Aenderung in den inneren Schichtungsverhältnissen der Eisdecke 135
VI. Winter 1940/41 141
VII. Winter 1942/43 143
VIII. Winter 1943/44 145
IX. Eigentümlichkeiten im Aufbau der Eisdecke des St. Moritzer Sees 150
A. Gasblasenbildung 151
B. Ueber die Bildung von Spannungsrissen in der Eisdecke und über das «Seeheulen» 151
Eisblumen an den Oberflächen der Eisdecken der St. Moritzer, Silvaplaner und Silser Seen 154
I. Ziel 154
II. Allgemeines 154

III. Einleitung 155
IV. Eisblumengebilde 160
V. Vorgänge auf der Eisdecke des St. Moritzer Sees Anfang Januar 1937 167
VI. Allgemeine Zustände der Seen am 21. Januar 1943 168

Ueber die Bedeutung der Schneemassen auf den Eisflächen der Hochgebirgsseen im Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges im allgemeinen und im besonderen des Oberengadins 170

I. Allgemeines 170
II. Spezielles 170
III. Ergebnisse 171
A. Davoser See 171
B. Silser und Silvaplaner Seen — See von Campfer 171
C. Schluß 173

Photo Alb. Steinen, St. Moritz.

Fig. 1.

Blick von den Muottas Muraigl auf die Oberengadiner Seen.

Von links: Stazer See (Lej Staz), 1805 m. — St. Moritzer See (Lej da San Murezzan), 1768 m. — Campferer See (Lej da Champfèr), 1791 m[1]). Silvaplaner See (Lej da Silvaplauna), 1791 m[1]). — Silser See (Lej da Segl), 1797 m.

[1]) Der Campferer See ist mit dem Silvaplaner See direkt verbunden.

Die Erforschung der Eis- und Schneedecke des *St. Moritzer Sees* gewinnt deshalb besondere Bedeutung, weil es sich dabei nicht mehr um einen natürlichen See, sondern um ein Wasserbecken handelt, dessen Wasserstände durch den Betrieb des *Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz* periodisch wiederkehrenden Schwankungen unterworfen ist.

Diese Studien eines Einzelforschers erheben durchaus keinen Anspruch auf Vollständigkeit, d. h. als ein abgeschlossenes Bild der so überaus mannigfachen Vorgänge und Erscheinungen bei den winterlichen Zustandsänderungen von Wasser, Eis und Schnee betrachtet zu werden. Vieles konnte Raumes wegen nur in knapper Form wiedergegeben werden, anderes nur in Zahlenwerten oder Diagrammen ohne Kommentar, deren Verarbeitung und Deutung einer späteren Zeit überlassen werden muß. Auf diese Weise soll das mit Mühe und Arbeit erkämpfte Beobachtungsmaterial möglichst vollständig weiteren Forschungskreisen zugänglich gemacht werden. Das Bewußtsein, wenn auch noch so wenig, am Bau des Weges zur besseren Erkenntnis dieser einzigartigen wundervollen Alpenlandschaft gearbeit zu haben, befriedigt den Verfasser, ist ihm genügend, ist sein Idealismus.

A. Erforschung der Alpenseen im allgemeinen.

Wenn man heute von höherer Warte aus objektiv das Material an Beobachtungen überblickt, das uns über die Seen des Schweizer Hochgebirges zur Verfügung steht, so müssen wir zugeben, daß wir in der Erforschung unserer Alpenseen noch nicht so weit vorgeschritten sind, um eine nach allen Richtungen hin befriedigende systematische Einteilung der Seen vornehmen zu können. Zudem kann dieser Anforderung gerade der nicht genügen, der wie ich, sich am Ausbau dieser Disziplin beteiligt und in gewissen Fragen sogar eine bestimmte Stellung eingenommen hat. Mein Verhältnis zur Seenkunde ist viel zu persönlich und subjektiv, als daß ich eine in jeder Hinsicht objektive Klassifikation zu geben vermöchte. In dieser Frage schließe ich mich der Meinung von Prof. Dr. *Helmut Gams*[1]) in Innsbruck vollständig an: «Vorläufig tut man gut daran, wenn man jeden See für sich genauer als bisher untersucht und sich vor voreiligen Verallgemeinerungen hütet.»

B. Ueber den Reichtum an Seen im bündnerischen Rheingebiet und im Oberengadin.

Im II. Band der vorliegenden Arbeit[2]) habe ich bereits darauf hingewiesen, daß im Wasserhaushalt des gesamten bündnerischen Rheingebietes den Seen nur eine untergeordnete Bedeutung zukommt, weil es ihm an größeren Seen mangelt. Von den ungefähr 350 Seen, die diese Gebirgslandschaft zieren, trägt nur der mitten in der subalpinen Nadelregion liegende *Davoser See* (1562 m) den Charakter eines eigentlichen Talsees.

---

[1]) *Gams Helmut:* Beiträge zur Kenntnis der Vegetation schwedischer Seen. Sonderabdruck aus: *Rübel E.*, Ergebnisse der Internationalen pflanzengeographischen Exkursion durch Schweden und Norwegen 1925. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich, 4. Heft, Bern 1927.

[2]) III. Teil — Forschungsgebiet 7 — Davoser See. 6. Kapitel, 2. Abschnitt, I. Der Davoser See, S. 182.

Uebersichtskarte des Oberengadins.

Fig. 2.

Im Gegensatz zum bündnerischen Rheingebiet steht das Quellgebiet des Inns, das *Oberengadin*, dessen Wasser nicht der Nordsee, sondern mit der Donau weiterhin gegen Osten dem Schwarzen Meere zufließt. Es ist reich an malerischen Seen, ja es darf als eine eigentliche Seenlandschaft bezeichnet werden. Es birgt landschaftliche Schönheiten in sich, die in ihrer Art, in ihrem Reichtum an Licht und Farbe, in den Formen der Waldung, der Berge und Gletscher, in den Kontrasten zueinander wohl einzig in der Welt dastehen dürften. Und an alle diese Wunder der Natur reihen sich die Geheimnisse, die die Seenkunde in sich birgt. Die Probleme, die dieser Wissenschaftszweig der physischen Geographie in sich trägt, sind groß.

C. Ueber die bisherige wissenschaftliche Erforschung der Oberengadiner Seen.

Die wissenschaftliche Erforschung der Oberengadiner Seen hat vor allem in *hydrobiologischer* Richtung durch die langjährigen verdienstvollen Untersuchungen des Präsidenten der *Hydrobiologischen Kommission der S. N. G.* Dr. *G. Burckhardt*, Basel, einen gewaltigen Aufschwung genommen. *Walter Schmaßmann* gibt uns in seiner Arbeit über die Bodenfauna hochalpiner Seen auch ein klares Bild über die Verteilung der Fauna in den Oberengadiner Seen[1]), *H. Pallmann* und *P. Haffter* eine fesselnde Darstellung der pflanzensoziologischen und bodenkundlichen Verhältnisse des Oberengadins.[2]) In *limnologischer* Beziehung besitzen wir, speziell was die Eisverhältnisse dieser Seen betrifft, ein langjähriges Beobachtungsmaterial über deren Einfrieren und Befreiung von der Eisdecke, das wir den Herren Dr. *J. Robbi*, Vater und Sohn, *A. von Flugi*, *A. Bösch*, *S. Gaudenzi*, *Chr. Zuan* und dem *Elektrizitätswerk der Gemeinde St. Moritz*, speziell Direktor *Th. Hauck*, zu verdanken haben. Nicht unerwähnt lassen möchte ich die bathymetrischen Aufnahmen der Oberengadiner Seen (Silser See, Silvaplaner See, Campfer See, St. Moritzer See und Statzer See) der Eidg. Landestopographie, ausgeführt im Jahr 1892 von den Topographen J. Hörnlimann und R. von Allmen.

Spezielle Untersuchungen über die Eisverhältnisse der Oberengadiner Seen liegen bis heute nicht vor. Dagegen bin ich in meinen monographischen Arbeiten über den *Märjelensee*[3]) und den *Davoser See*[4]) auch den Eis- und Schneeverhältnissen der Hochgebirgsseen im allgemeinen nähergetreten. (Vgl.: Der Märjelensee. Einzelbeobachtungen über die Eisdicke hochalpiner Seen, S. 150—162.) Diese Sammlung erfuhr, namentlich was die Seen im Kanton Graubünden betrifft, eine bedeutende Bereicherung durch die Unterstützung von Dr. *P. Lorenz* in Chur. Andere Angaben stammen von Dr. *E. Imhof*, Prof. Dr. *Fr. Zschokke* in Basel und von Oberingenieur *Friedrich von Salis* in Chur.

---

[1]) *Schmaßmann Walter:* Die Bodenfauna hochalpiner Seen. Stuttgart 1920.

[2]) *Pallmann H.* und *Haffter P.:* Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin. Berichte der Schweiz. Botanischen Gesellschaft 1933. Bd. 42, Heft 2.

[3]) *Lütschg O.:* Der Märjelensee und seine Abflußverhältnisse. Annalen der Schweiz. Landeshydrographie. Kap. XV, S. 137 u. ff., Bern 1915.

[4]) *Lütschg O.:* Zum Wasserhaushalt des schweiz. Hochgebirges. II. Band, III. Teil, Forschungsgebiet 7, Davoser See, Kap. 6, 2. Abschn., 1. G., S. 214—222. Beiträge zur Geologie der Schweiz — Geotechn. Serie — Hydrologie, 4. Lief. Zürich 1944.

Eine Arbeit über das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz besitzen wir von *X. Arnet.*[1] *F. A. Forel* berichtet uns über die Temperatur der gefrorenen Seen[2]) und über die Eisverhältnisse der Schweizer und Savoyer Seen im Winter 1879/80[3]) und 1891.[4])

D. Uebergang vom natürlichen St. Moritzer See zum gegenwärtigen künstlich regulierbaren See.

Der St. Moritzer See wurde, beginnend mit dem Jahre 1892 bis zum Jahre 1912 als vergrößertes Wasserschloß für das Elektrizitätswerk der AG. für elektrische Beleuchtung St. Moritz und vom Jahre 1912 bis heute für das Elektrizitätswerk der Gemeinde St. Moritz (E. W. St. M.) benützt. Schon mit der ersten Wasserrechtskonzession wurde die Bedingung gestellt, daß der St. Moritzer See nicht «industrialisiert» werden dürfe, d. h. daß der See nicht mehr abgesenkt werden dürfe, als auf den natürlichen tiefsten Winterseestand. Diese wichtige Bedingung wurde anläßlich des Neubaus der Zentrale Islas im Jahre 1932 von der damaligen Gemeindeversammlung mit aller Deutlichkeit wieder festgelegt. Die Absenkung beträgt rund 1 m. Tiefster Winterwasserstand Kote 1767.03 m ü. M., normaler Sommerwasserstand Kote 1768.03. Normalerweise wird während der Sommermonate der Seespiegel durch ein hydraulisches Dachwehr beim Seeausfluß in Punt da Piz auf 1768 m konstant einreguliert. Dieser Stand bleibt auch während der Wintermonate verhältnismäßig konstant. Die täglichen Schwankungen, hervorgerufen durch den Bedarf der Zentrale, betragen im Winter 10—15 cm, entsprechend einem täglichen Ausgleich durch die zufließenden Wassermengen. Erst anfangs März, d. h. kurz vor der Schneeschmelze, wird die zulässige Absenkung von 1 m vollzogen, und zwar so, daß mit der beginnenden Schneeschmelze, die Mitte April normalerweise einsetzt, der tiefste, und Ende April wieder der normale Wasserstand erreicht wird. [5])

II. Klima.

A. Allgemeine klimatische Besonderheiten des Oberengadins.

Das Oberengadin, diese hochgehobene, höchstgelegene Berg- und Tallandschaft, die in der Berninagruppe bis über 4000 m ansteigt (Talboden rund 1800 m), bildet einen Bestandteil des rhätischen Hochlandes. In seiner Einheit und Vielfaltigkeit ist es eine

[1]) *Arnet X.:* Das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz. Mitt. d. Naturforsch. Gesellschaft in Luzern 1897.

[2]) *Forel F. A.:* La température des lacs gelés. Compt. Rend. hebd. Acad. Sc. XC. 1880.

[3]) *Forel F. A.:* La congélation des lacs Suisses et Savoyards pendant l'hiver 1879/80. «Echo des Alpes» XVI. Genève 1880.

[4]) *Forel F. A.:* La congélation des lacs Suisses et Savoyards dans l'hiver 1891. Arch. des sciences phys. et nat. (3) XXVII. Genève 1892.

[5]) Briefliche Mitteilung des E. W. St. M. vom 14. August 1945.

Gegend, die sich unter allen Alpentälern eines ganz besonderen Privilegiums erfreuen darf. Kaum in einem andern Teil der Alpen dürfte man in solcher Höhenlage von Berg und Tal eine größere Abgeschlossenheit vorfinden. Die Talsohle mit ihren vier Seen ist flach und breit, die ihr entlang ziehenden Talgehänge steigen nicht steil und nicht sehr hoch an. Die Sonnenstrahlen haben deshalb schon bei recht niederem Sonnenstande — ganz besonders wenn wir St. Moritz-Dorf ins Auge fassen — freien und langdauernden Zutritt zum Talgrunde und den daran anschließenden Berghängen. Dazu kommt noch, daß das Oberengadin zu den wald- und seenreichsten Gegenden der Schweiz überhaupt gehört. Ein Blick von den Muottas Muraigl auf diese herrliche Hochgebirgslandschaft, vgl. das Bild auf Tafel A, Fig. 1, zeigt dies in überwältigender Weise. Solch hoch gelegene, nach Westen gegen die erwärmenden feuchten ozeanischen Luftströmungen geschützte, gegen Einflüsse von außen abgeschlossene Berglandschaften mit nur wenig geneigter breiter Talsohle, besitzen nach Physiognomie, Klima, Vegetation, Fauna, Hydrologie usw. einen stark ausgeprägten *kontinentalen* Charakter. Speziell unser Untersuchungsgebiet, das Engadin, trägt in seinem Wesen eine so ausgesprochene Eigenart, wie wir sie ihresgleichen nur im Innern unserer Kontinente zuweilen noch vorfinden. Es ist nur nach Südwesten (Malojapaß) leicht offen, wird also auch nur von dieser Seite vor allem vom Wettergeschehen südlich der Alpen, namentlich vom Walten der Niederschläge leicht beeinflußt, sonst schafft es sich, seiner Abgeschlossenheit wegen, sein Klima selbst. Der Barometerstand ist, entsprechend der Höhenlage des Engadins, ein niedriger. Er beträgt in Sils (1811 m) im Durchschnitt 612,8, in Bevers (1711 m) 621,4, in Pontresina (1780 m) 610,9 mm. Die Barometerschwankungen sind sehr gering. Im Herbst ist die Luft ruhiger als im Sommer, der Horizont reiner, die Witterung beständig und klar. Es erfreut sich eines heiteren und ruhigen Winterklimas, dafür aber hat es wegen intensiver Wärmeausstrahlung die relativ tiefsten Wintertemperaturen des ganzen Alpengebietes. Im Gegensatz zum kalten Winter wird im Sommer die Talsohle stark erwärmt, so daß wir im Oberengadin eine sehr große Jahresschwankung bekommen. Gegen Mitte Mai wird im Oberengadin der Talgrund, der baumfrei der Sonne ungehinderten Zutritt gewährt, völlig schneefrei. Im N-exponierten Wald der Talhänge bleibt der Schnee nach mehrjährigen Beobachtungen von *H. Pallmann* bis sieben Monate liegen. Das nämliche gilt für die leicht erhöhten und waldfreien Lagen in schattiger N- und NE-Exposition. Die Dauer der winterlichen Schneebedeckung des Talbodens darf im Mittel auf 6 Monate angesetzt werden. Sie erstreckt sich im mittleren Zeitpunkt ungefähr von Mitte November bis Mitte Mai. Ende Mai grünen schon die Wiesen. Die Vegetation zeigt überall hochalpinen Charakter.

Die *Bewölkung* ist im Oberengadin etwas größer als im Unterengadin, das Hauptmaximum im Mai und Juni, ein zweites, weniger ausgesprochenes im September und Oktober. Die kleinste Bewölkung hat der Winter, speziell der Januar. Die Zahl der Nebeltage erreicht im Jahresmittel in Sils-Maria 14,9, Bevers 20,8 und in Schuls nur 1,4 Tage. Dementsprechend beträgt die in St. Moritz gemessene Sonnenscheindauer per Jahr 1812 Stunden. Die relative Feuchtigkeit ist am geringsten im Sommer: 70—72 %, mittags 47—58 %; vom September bis Januar 78—83 %.

Nebel tritt in unserem Forschungsbezirk, wenn wir von den lokalen Nebelschwaden (Malojaschlange) absehen, selten auf, erwähnenswert eigentlich nur im Herbst und namentlich über den Seen als Folge der Auswirkung der Kaltluftseen, und auch dann

meist nur in den Morgenstunden. Mit zunehmender Temperatur verflüchtigt er sich meist rasch. An schönen Sommerabenden treiben zuweilen mit abklingendem Malojawind größere Nebelschwaden wenig über der Waldgrenze talabwärts, lösen sich aber mit der zunehmenden Trockenheit der Luft auf. Nur mit dem Eintritt schlechten Wetters stößt der Malojawind kompakte Nebelmassen ins Tal.

Die Längstäler der Alpen haben, wie bekannt, durchgehend sehr geringe Niederschlagsmengen wegen Gebirgsschutzes nach Westen. Im Oberengadin ist die Niederschlagsmenge größer als im Unterengadin, weil, wie bereits hervorgehoben, über den Maloja südwestliche Luftströme Zutritt haben. Von Castasegna im Bergell bis Maloja fällt sie von 1433 bis 1363, von Maloja bis St. Moritz von 1363 bis 935 und von St. Moritz bis Zernez und Martinsbruck sogar 671 und 685 mm. Das Unterengadin ist bei Martinsbruck durch die scharfe Talknickung ganz gegen den österreichischen Teil abgeschnitten, so daß auch von dieser Seite keine Regenströmungen hineinzudringen vermögen. Die Hauptmenge der Niederschläge fällt auf die Sommerszeit.

Da das Engadin den allgemeinen Luftströmungen in hohem Maße entzogen ist, weist es zahlreiche Kalmen auf: Bevers 50 %, Schuls sogar 90 %. Im allgemeinen machen sich nur die Südwest- und Weststürme bemerkbar, seltener die Nordostwinde. Am meisten treten Lokalwinde auf, im Oberengadin ganz besonders der sog. «Malojawind», der sich gegenüber den periodischen Winden anderer Gebirgstäler durch vermehrte Intensität auszeichnet. *Föhnlagen* sind möglich. Akuter Föhn (Föhnstürme) macht sich aber nicht bemerkbar; er tritt nur in den höheren Lagen in Aktion.

Mit dem kontinentalen Charakter des Engadins aufs engste verbunden sind die Kontraste, die sich im Verlauf der meteorologischen Elemente bemerkbar machen. So sinkt der Wärmemesser fast alle Jahre bis auf —30° C; um so heißer brennt die Sonne in dem kurzen Sommer, und doch wird die Reihe der warmen Tage nicht selten im August, zuweilen auch im Juli, durch einen Schneefall, durch starke Nachtfröste unterbrochen.

Lokale Gewitter treten nur selten auf.

«Das Oberengadin verdient klimatologisch die Charakterisierung eines schonenden Reizklimas, da es eine für den Organismus äußerst wirksame und angenehme Mischung von herben und kräftigenden Reizfaktoren mit milden, wohltuenden Schonfaktoren bietet. Es ist nicht brüsk, extrem, irritierend, auch nicht flau, indifferent, lähmend, sondern liegt mit seinen Klimakomponenten — geographisch-orographisch bedingt — in einer glücklichen Mitte: *es ist Hochgebirge und Süden zugleich.* Die Klimaelemente und -charakteristika des Oberengadins sind bedingt durch die südliche Hochgebirgslage (1800 Meter) eines breiten Tales auf einer geologischen Massenerhebung am Südhang der Alpen.»[1])

Treffender und kürzer, als dies Dr. med. *Paul Gut* in St. Moritz vom heilkundlichen Standpunkte aus getan hat, vermag man das Höhenklima des Oberengadins in wenigen Grundzügen nicht zu charakterisieren. Daß die großen, zwischen hohen Ketten eingeschlossenen Längstäler der Alpen ihr eigenes Klima haben, ist bekannt und gilt besonders für lange in südwest-nordöstlicher Richtung liegende Talnaturen, wie das Engadin. Das Engadin hat sich, gleich dem Wallis, sein Klima selbst geschaffen.

[1]) *Gut Paul*, St. Moritz: Reizklima und Schonklima. Engadiner Post. Nr. 101, 53. Jahrgang, St. Moritz, 2. September 1944.

Eine Welt von Gegensätzen und doch voll harmonischer Schönheit liegt vor uns. Als langgestrecktes Hochtal in südwest-nordöstlicher Richtung, wie das Wallis, aber *ohne* Talschluß (*ohne* Talhintergehänge) — unvermittelt bricht es zum tiefeingeschnittenen Bergell ab — entwickelt sich im Oberengadin auf engstem Raume eine unglaubliche Fülle von Erscheinungen, wie sie auf unserem Weltraume kaum anderswo zu finden ist.

Welche klimatischen Einflüsse, welche ergreifenden Gegensätze bei so verschiedener Gestaltung des Bodens hier walten, kann in diesem Kapitel nur angedeutet werden. Das Klima solcher Tallandschaften ist von mir anderweitig eingehend dargelegt.[1])

Zusammenfassend ist vor allem hervorzuheben, daß die klimatischen Faktoren in engem Zusammenhang mit den geomorphologischen des Untersuchungsgebietes stehen. Als Kennzeichen des Klimas kommen in Betracht:

1. Luftverdünnung, bedingt durch die Höhenlage des Oberengadins.
2. Abnahme der Lufttemperatur, wenn auch, wie folgt, in weiten Grenzen schwankend. Zunehmende Amplitude.
3. Großer und rasch eintretender Unterschied zwischen Sonnen- und Schattentemperatur (Tag und Nacht).
4. Zunehmende Sonnenstrahlung an Quantität und Qualität, weil kürzere, trockenere und staubfreiere, reinere, durchsichtigere Luftsäule. Relativ größerer Gehalt an kurzwelligen, sogenannten violetten und ultravioletten Strahlen. Reichtum an chemisch wirksamen Sonnenstrahlen. Dazu starkes Ueberwiegen der sonnenhellen Tage gegenüber den trüben und regnerischen.
5. Zunehmende Ausstrahlung. Relativ große Strahlungsgleichmäßigkeit im Tages- und Jahresverlauf.
6. Höhere Lage der Wald- und Schneegrenze als Folge zuträglicherer Temperatur, kräftigerer Sonnenstrahlung, sowie wegen der geographischen Gebirgslage und der Gestalt der Landschaft.
7. Längere Dauer der Schneebedeckung und der Vereisung der Seen.
8. Das Klima des Engadins bringt das Regime seiner Gewässer in Verbindung mit der Lufttemperatur: der Verlauf der Abflußmengen im Monatsmittel stimmt mit dem der Luftwärme überein: Sehr geringe und anhaltende Wasserführung im Winter, wasserreicher Sommer mit ausgesprochener täglicher Periode der Wasserführung als Funktion der Temperatur (Schnee-, hernach Gletscherschmelze).
9. Abnahme der Niederschläge. Die längs der Seen und des Innlaufes SW—NE verlaufenden äußeren Bergketten schirmen das Tal gegen die vorwiegenden Regenwinde um ein beträchtliches ab.
10. Windgeschützte Lage im Winter. Der bekannte «Malojawind» mildert die sommerliche Wärme. Bei gewitterschwülem Wetter zuweilen starke, kurzfristige Föhneinbrüche in Hochlagen (Berninapaß).
11. Trockenheit der Luft, Abnahme der absoluten Feuchtigkeit; sie erreicht in 2000 m Höhe nur noch etwa halb soviel, wie im Meeresniveau. Nach den Untersuchungen

[1]) Vgl. meine Ausführungen in: *Lütschg O.*, «Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge», Zürich 1926, Erster Teil, II. Abschnitt, 1. Kap., S. 58 u. ff.

von *Dorno*[1]) fällt das Jahresmaximum der Wärmeintensität der Sonne nicht mit dem Höchststande der Sonne zusammen, sondern in den Frühsommer. Alles erklärt sich einheitlich durch den Wasserdampfgehalt der Luft. Der Jahresgang des absoluten Feuchtigkeitsgehaltes ist genau invers der Durchlässigkeit der Atmosphäre, und beide hinken dem Gang der Sonnendeklination nach. Die oft recht hohen Prozentgrade der relativen Feuchtigkeit dürfen nur als treffende Belege des kleinen Fassungsvermögens der kühlen Hochgebirgsluft für Wasserdampf aufgefaßt werden.

12. In luftelektrischer Beziehung ist hervorzuheben, daß vor allem des geringeren Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, des dünneren Luftmantels und der größeren Leitfähigkeit der Luft wegen, das Potentialgefälle, d. h. die Spannungsdifferenz zwischen Luft und Erde geringer ist.
13. Abnehmende Verdunstung der freien Wasserflächen.[2])
14. Kleinere Landesverdunstung.[2])

Zu den bestimmenden Faktoren des Klimas des Engadins gehört, wie oben vermerkt, seine *Niederschlagsarmut,* seine *Trockenheit.* Sie interessiert uns im besonderen. Bezeichnend für das Engadin ist der Wechsel im Niederschlag beim Uebergang vom niederschlagsreichen südlichen Alpental *Bergell* zum trockenen *Engadin.* Er vollzieht sich nicht so brüsk, wie z. B. im Wallis beim Rhoneknie nächst Martigny. Die Abnahme geht viel ausgeglichener vor sich, der Einfluß aus SW nimmt nur allmählich ab. Der folgende Abschnitt gibt hierüber nähere Auskunft.

B. Die hydro-meteorologischen Beobachtungsstationen im Oberengadin.

1. Offizielle Beobachtungsstation der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt Zürich beim katholischen Pfarrhaus in St. Moritz-Dorf, 1853 m ü. M.

Seit Jahrzehnten unterhält die M. Z. A. beim katholischen Pfarrhaus am Ostende von St. Moritz-Dorf eine Beobachtungsstation. Daselbst werden beobachtet: Lufttemperatur, relative Feuchtigkeit, Bewölkung, Niederschlag, Wind und Sonnenscheindauer. Diese Messungen sind in den Annalen der obgenannten Anstalt publiziert und dienten uns auch als Grundlage.

2. Die Meßstation des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz (E. W. St. M.) am St. Moritzer See (1768,03 m ü. M.).

Diese 1935 erstellte Meßstation dient dazu, die Eis- und Schneeverhältnisse auf dem St. Moritzer See selbst und an den Uferzonen während der Wintermonate zu beobachten.

Bekanntlich wurden bis zum Zweiten Weltkrieg (1939—1945) auf der Eisdecke des

[1]) *Dorno C.:* 1. Allgemeines aus Meteorologie und Klimatologie. — 2. Strahlung. — 3. Spezifisch-medizinische Klimatologie und Höhenklima. Vorträge in Davos vom 19.—26. August 1923. Braunschweig 1924. S. 34.

[2]) Vor allem als Folge der hohen Lage und der damit verbundenen langandauernden winterlichen Schneebedeckung.

St. Moritzer Sees alljährlich die berühmten internationalen Pferderennen abgehalten. Die Beobachtungen der erwähnten Meßstation erleichterten es, die Betriebsbedingungen des E. W. St. M. — dem der See als Tagesspeicher dient — und die rennsportlichen Bedingungen zu koordinieren.

Die Station liegt in der Lichtung eines kleinen Uferwäldchens am dorfseitigen, d. h. Nordufer des Sees, 290 m oberhalb der hölzernen Brücke von Punt da Piz, die dort den Innausfluß aus dem See überbrückt; 6 m östlich von der Station, auf dem großen Felsblock, befindet sich der Höhenfixpunkt, Ordnungsnummer 1421, mit der Kote 1769.901 m ü. M. (NH).

Die Station ist aus Holz, alle vier Wände sind jalousieartig durchbrochen und lassen zudem am Boden ringsum eine Oeffnung von 10 cm frei. Die Grundfläche mißt 1,80 × 1,50 m, die Höhe 2,20 m. Die Ausrüstung im Innern dieses Häuschens besteht aus einem Thermohygrographen «Fueß», mit einem Meßbereich des Thermographen von — 36° C bis + 45° C, dazu zur Kontrolle ein Präzisions-Quecksilber-Thermometer — 45° C bis + 50° C.

Die Station dient zudem als Basis für die periodischen Messungen der Eis- und Schneeverhältnisse der Eisdecke des Sees selbst, wie auch der Uferzonen; unmittelbar neben der Station am Ufer selbst ist ein mit Drahtgitter eingefriedetes Meßfeld von 5½ × 5½ m im Geviert. Darin sind untergebracht: ein Regenmesser, ein fester Schneepegel, eine weiße Glanzeternitplatte, für die Messung der jeweiligen Neuschneefälle. In diesem Meßfeld werden periodisch mit dem Schneerohr die Abstriche der Gesamtschneesäule und die Proben für die Wasserwertbestimmungen entnommen.

C. Meteorologisch-physikalische Beobachtungen.

1. Die Temperaturverhältnisse.

a) Allgemeines.

Entsprechend der Höhenlage des Oberengadins und dem kontinentalen Charakter seiner Landschaft liegen die mittleren Temperaturen tief und sind die Schwankungen groß. So zeigen die Stationen St. Moritz und Sils-Maria die in den Tabellen 1—3 aufgeführten Temperaturen.

Fig. 3 stellt in graphischer Weise den Temperaturgang der mittleren Monatswerte und des mittleren Jahreswertes der Perioden 1918/19–1927/28 und 1932/33–1941/42 dar. Fig. 4 gibt Auskunft über die Differenzwerte der monatlichen Maxima und Minima der Temperatur in St. Moritz für den nämlichen Zeitraum. In letzterem Diagramm geht das mächtige Ansteigen der Differenzwerte vom August (4,4°) bis Februar (8,3°) als Folge der zunehmenden Wärmeausstrahlung ebenso eindrucksvoll hervor, wie die bescheidenen Werte der Sommermonate April (4,3°), Mai (5,6°), Juni (5,6°), Juli (5,5°), August (4,4°) und September (5,1°).

b) Die Temperaturverhältnisse in Sils-Maria.

Mittlere jahreszeitliche Lufttemperatur in °C. Tabelle 1

Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-Apr.	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.	Minima [1]	Datum
1864/65	—5,6	8,3	1,3	—21,8	26. III. 65
65/66	—3,4	7,2	1,9	—16,5	11. III. 66
66/67	—2,7	7,4	2,3	—22,3	5. I. 67
67/68	—5,1	**8,9**	1,9	—24,0	1. I. 68
68/69	—4,0	7,8	1,9	**—26,9**	24. I. 69
69/70	—5,0	7,6	1,3	—21,2	24. XII. 70
1870/71	—5,1	7,0	1,0	—22,2	21. I. 71
71/72	—5,4	7,5	1,0	—18,4	11. I. 72
72/73	—3,5	7,9	2,2	—19,4	12. II. 73
73/74	—4,2	7,7	1,8	—22,0	25. XI. 74
74/75	—6,2	7,8	0,8	—23,4	9. II. 75
75/76	—4,7	7,6	1,5	—24,0	7. I. 76
76/77	—3,9	7,1	1,6	—20,1	12. III. 77
77/78	—4,5	7,9	1,7	—25,6	12. I. 78
78/79	—5,3	7,0	0,8	—23,8	8. I. 79
79/80	—5,0	7,7	1,4	—23,5	20. I. 80
1880/81	—3,8	7,3	1,7	—22,8	21. I. 81
81/82	—3,3	6,8	1,8	—17,8	3. XII. 82
82/83	—4,7	6,9	1,1	—25,0	25. I. 83
83/84	—3,8	7,3	1,7	—16,5	26. I. 84
84/85	**—2,4**	7,4	**2,5**	—18,0	13. I. 85
85/86	—4,6	8,0	1,7	—23,0	6. II. 86
86/87	—3,9	7,0	1,6	—21,5	21. XII. 87
87/88	—6,0	*6,7*	**0,3**	—25,6	30. I. 88
88/89	—5,2	7,5	1,2	—23,0	24. II. 89
89/90	—4,6	6,8	1,1	—23,8	3. III. 90
1890/91	**—6,6**	7,1	**0,3**	**—26,7**	18. I. 91
91/92	—4,5	7,5	1,5	—23,5	6. III. 92
92/93	—4,5	8,0	1,7	—23,0	5. II. 93
93/94	—4,6	7,4	1,4	—21,4	4. I. 94
94/95	—5,8	7,9	1,1	—24,8	15. II. 95
95/96	—3,4	6,8	1,7	—19,2	10. I. 96
96/97	—3,7	7,6	1,9	—22,4	30. I. 97
97/98	—3,4	7,9	2,2	—18,0	7. II. 98
98/99	—3,3	7,8	2,3	—21,0	11. XII. 99
99/1900	—4,1	8,2	2,0	—19,6	5./6. III. 1900
1900/01	—5,4	7,6	1,1	**—28,6**	15. II. 01
01/02	—3,8	*6,7*	1,5	—17,5	11. III. 02
02/03	—4,7	7,2	1,2	—21,3	16. I. 03
03/04	—4,5	8,3	1,9	—20,3	29. II. 04
04/05	—5,1	7,2	1,0	—25,2	2. I. 05
1905/06	—5,6	8,3	1,4	—22,8	31. XII. 06
06/07	—5,4	8,4	1,5	—19,4	3. II. 07
07/08	—4,7	8,1	1,7	—21,2	12. I. 08
08/09	—5,6	7,2	0,8	—23,6	6. III. 09
09/10	—4,4	6,6	1,1	—20,0	28. I. 10
1910/11	—5,2	8,6	1,7	—19,0	1. II. 11
11/12	—3,6	**6,4**	1,4	—23,4	4. II. 12
12/13	—3,9	7,7	1,9	—19,5	31. XII. 13
13/14	—3,8	7,0	1,6	—21,4	1. I. 14
14/15	—5,0	7,6	1,3	—21,8	20., 30., I. 15
15/16	—3,7	6,9	1,6	—19,4	21. II. 16
16/17	—6,2	7,7	0,8	—23,2	2. II. 17
17/18	—5,4	7,3	1,0	—22,0	9. I. 18
18/19	—3,4	6,7	1,6	—24,0	10. II. 19
19/20	—4,2	8,1	2,0	**—16,0**	12. III. 20
1920/21	—4,1	**9,0**	**2,5**	—18,0	17. I. 21
21/22	—4,6	7,4	1,4	—22,6	8. II. 22
22/23	—4,8	8,0	1,6	—20,0	19. I. 23
23/24	—5,1	8,0	1,5	—19,6	31. I. 24
24/25	—4,7	7,7	1,5	—21,4	13. III. 25
25/26	—4,0	7,7	1,8	—24,4	13. I. 26
26/27	—4,0	7,9	2,0	—22,0	18. II. 27
27/28	—3,9	8,4	2,2	—20,0	3. I. 28
28/29	**—6,3**	8,8	1,2	—25,2	15. II. 29
29/30	—4,3	7,8	1,7	—17,2	5. II. 30
1930/31	—4,8	7,7	1,5	—22,2	3. III. 31
31/32	—5,5	8,2	1,4	—23,4	13. II. 32
32/33	—4,4	7,3	1,4	—20,9	17. XII. 33
33/34	—4,9	8,3	1,7	—18,0	26. I. 34
34/35	—5,0	7,7	1,4	—25,8	9. III. 35
35/36	—3,8	7,3	1,7	—21,2	11. II. 36
36/37	—4,3	8,2	1,9	—20,1	31. XII. 37
37/38	—5,1	7,7	1,3	—23,3	4. I. 38
38/39	—4,0	6,9	1,5	—23,8	30. XII. 39
39/40	—5,1	7,5	1,2	—24,8	14. II. 40
1940/41	—5,7	7,1	*0,7*	—23,8	29. XII. 41
41/42	—5,3	8,6	1,6	—24,7	23. I. 42
42/43	—3,9	8,7	2,4	—20,6	10. I. 43
43/44	—5,0	8,0	1,5	—20,6	20. II. 44
44/45	—4,9	8,3	1,7	—23,4	10. I. 45

[1] Die Minima beziehen sich auf das Kalenderjahr Januar bis Dezember.

Mittlere monatliche, jahreszeitliche und jährliche Lufttemperatur in ° C.

Tabelle 1a

Die Periode 1864—1900 (37 Jahre) ergibt folgende Mittelwerte												Winter	Sommer	Jahr
XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X
—2,5	—6,9	—8,1	—6,4	—4,1	0,5	5,0	9,0	**11,2**	10,3	7,3	2,3	—4,6	7,5	1,5
Die Periode 1918/19—1927/28 und 1932/33—1941/42 (21 Jahre)												X-III	IV-IX	X-IX
—2,2	—5,8	**—6,6**	—5,2	—2,6	1,1	5,4	9,3	**11,4**	10,7	7,8	3,0	—3,5	7,9	2,2

Im nachstehenden sind, nach Jahresreihen geordnet, die Werte für Winter, Sommer und Jahr zusammengefaßt.

Tabelle 1b

Jahresreihe	Jahre	Winter XI-IV	Sommer V-X	Jahr XI-X
1864/65 — 1889/90	26	— 4,5	7,5	1,5
1890/91 — 1903/04	14	— 4,4	7,6	1,6
1904/05 — 1924/25	21	— 4,7	7,6	1,5
1925/26 — 1943/44	19	— 4,7	7,9	1,6
1864/65 — 1903/04	40	— 4,45	7,50	1,52
1904/05 — 1943/44	40	— 4,69	7,72	1,52
1864/65 — 1943/44	**80**	**— 4,57**	**7,61**	**1,52**
Extreme 1864/65—1943/44				
Maxima		— 2,4 1884/85	9,0 1921	2,5 1884/85 u. 1920/21
Minima		— 6,6 1890/91	6,4 1912	0,3 1887/88 u. 1890/91
Differenz		4,2	2,6	2,2

Tabelle 1c

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Max.	0,6 1898	—2,8 1868	—4,4 1936	—2,2 1869	—0,8 1942	3,0 1865	8,8 1868	11,8 1931	**14,2** 1928	12,9 1932	10,7 1932	5,0 1942
Min.	—5,8 1874 1912	—11,8 1871	—12,1 1891	—12,9 1901	—8,4 1865	—2,4 1917	1,8 1902	5,9 1871	**8,8** 1879	7,8 1896	3,8 1912	1,9 1905
Diff.	6,4	9,0	7,7	**10,7**	7,6	5,4	7,0	5,9	5,4	5,1	6,9	3,1

Das obige Material über Lufttemperatur bestätigt das für Talstationen in abgeschlossenen Hochtälern schon bekannte Ergebnis: Infolge intensiver Wärmeausstrahlung hat *Sils-Maria* die relativ tiefsten Wintertemperaturen des ganzen Alpengebietes. Im Gegensatz zum kalten Winter wird im Sommer die Talsohle stark erwärmt, so daß wir eine große Jahresschwankung bekommen, ein charakteristisches Zeichen eines kontinentalen Klimas.

Extremwerte und ihre Differenzen in ° C.

Tabelle 1d

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Mittelwerte Winter XI-IV	Mittelwerte Sommer V-X	Mittelwerte Jahr XI-X	Max.- u. Min.-Werte Winter XI-IV	Max.- u. Min.-Werte Sommer V-X	Max.- u. Min.-Werte Jahr XI-X
Periode 1864/65 — 1903/04 (40 Jahre) (A)																		
Max.	0,6	— 2,8	— 4,6	— 2,2	— 1,3	3,0	8,8	11,0	13,3	12,4	8,8	4,8	— 2,4	8,9	2,5	3,0	13,3	13,3
Min.	— 5,8	—11,8	—12,1	—12,9	— 8,4	— 2,3	1,8	5,9	8,8	7,8	5,6	— 1,1	— 6,6	6,7	0,3	— 12,9	— 1,1	— 12,9
Diff.	6,4	9,0	7,5	**10,7**	7,1	5,3	7,0	5,1	4,5	4,6	*3,2*	5,9	4,2	2,2	2,2	15,9	14,4	26,2
Periode 1904/05 — 1943/44 (40 Jahre) (B)																		
Max.	0,2	— 3,9	— 4,4	— 3,0	— 0,8	2,2	7,4	11,8	14,2	**12,9**	10,7	5,0	— 3,4	9,0	2,5	2,2	14,2	14,2
Min.	— 5,8	— 10,8	— 12,0	—12,0	— 6,7	— 2,4	2,6	6,5	8,5	8,1	3,8	— 1,9	— 6,3	6,4	0,7	— 12,0	— 1,9	— 12,0
Diff.	6,0	6,9	7,6	**9,0**	5,9	4,6	*4,8*	5,3	5,7	*4,8*	6,9	6,9	2,9	2,6	1,8	14,2	16,1	26,2
Periode 1864/65 — 1943/44 (80 Jahre) (C)																		
Max.	0,6	— 2,8	— 4,4	— 2,2	— 0,8	3,0	8,8	11,8	14,2	12,9	10,7	5,0	— 2,4	9,0	2,5	3,0	14,2	14,2
Min.	— 5,8	—11,8	— 12,1	—12,9	— 8,4	— 2,4	1,8	5,9	8,5	7,8	3,8	— 1,9	— 6,6	6,4	0,3	— 12,9	— 1,9	— 12,9
Diff.	6,4	9,0	7,7	**10,7**	7,6	5,4	7,0	5,9	5,7	*5,1*	6,9	6,9	4,2	2,6	2,2	15,9	16,1	27,1
Diff. B-A	— 0 4	— 2,1	+ 0,1	— 1,7	— 1,2	— 0,7	— 2,2	— 0,2	+ 1,2	+ 0,2	+ 3,7	+ 1,0	— 1,3	+ 0,4	— 0,4	— 1,7	+ 1,7	0,0

c) Die Lufttemperatur in St. Moritz.

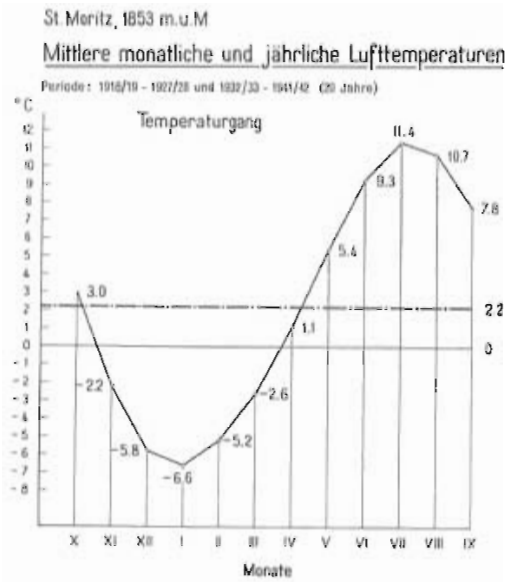


Fig. 3.

Mittlere monatliche, jahreszeitliche und jährliche Lufttemperatur in °C.

Periode 1918/19 — 1927/28 und 1932/33 — 1941/42 (21 Jahre, Okt./Sept.) Tabelle 2

X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	X-IX
3,0	— 2,2	— 5,8	— 6,6	— 5,2	— 2,6	1,1	5,4	9,3	**11,4**	10,7	7,8	— 3,2	7,6	2,2

Monatliche Maximal-, Minimal- und Differenzwerte.

Periode 1918/19 — 1927/28 und 1931/32 — 1941/42 (21 Jahre)

Max.	6,0	0,7	— 3,0	— 3,2	— 1,3	0,0	3,9	8,6	11,3	14,1	12,7	10,4	6,0	14,1	14,1
Min.	—0,3	—5,7	—10,4	—10,5	—9,6	—6,0	—1,3	3,0	5,7	8,6	8,3	5,3	—10,5	— 1,3	—10,5
Diff.	6,3	6,4	7,4	7,3	8,3	6,0	4,3	5,6	5,6	5,5	4,4	5,1	16,5	15,4	24,6

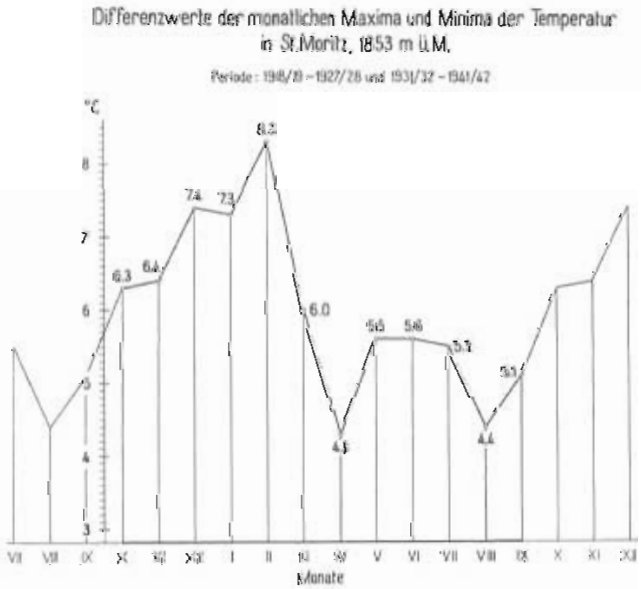


Fig. 4.

d) E.W.St.M.-Meßstation St. Moritzer See. Lufttemperatur in °C. Tagesschwankungen. Winter 1936/37.

Tabelle 3

	Dezember 1936			Januar 1937			Februar 1937			März 1937			April 1937		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1				—2,0	—20,0	18,0	4,5	— 5,0	9,5	—2,0	—22,0	20,0	6,0	— 3,0	9,0
2				1,0	—20,0	21,0	7,5	—11,0	18,5	—2,0	—24,0	22,0	3,5	—1,0	4,5
3				6,5	—15,0	21,5	8,0	—17,0	25,0	—2,0	—20,0	18,0	3,0	0,0	3,0
4				3,0	—13,5	16,5	4,5	—16,5	21,0	—3,5	—22,5	19,0	5,0	0,0	5,0
5				2,5	—16,0	18,5	3,0	— 5,0	8,0	2,5	— 8,0	10,5	7,0	—2,5	9,5
6				—1,0	— 6,0	5,0	3,0	—10,0	13,0	1,0	—19,5	20,5	9,0	—8,0	17,0
7				5,5	—10,0	15,5	0,0	—21,0	21,0	2,0	—19,0	21,0	6,5	—3,0	9,5
8				—2,5	— 8,0	5,5	4,0	—10,0	14,0	2,0	—21,0	**23,0**	8,0	—3,0	11,0
9				—4,0	—21,5	17,5	1,0	—15,0	16,0	3,0	— 7,0	10,0	6,0	—6,0	**12,0**
10				— 2,0	—27,5	25,5	—0,5	—17,0	16,5	1,0	—18,0	19,0	4,0	—3,0	7,0
11				—1,0	—20,5	19,5	0,5	— 6,5	7,0	—1,5	—23,0	21,5	7,0	—1,0	8,0
12				1,0	—20,5	21,5	—4,5	—11,0	6,5	0,5	— 4,0	5,0			
13				4,5	—15,0	19,5	—4,0	—17,0	13,0	0,0	— 8,5	8,5			
14				0,0	—17,0	17,0	—4,5	—23,0	18,5	2,5	—14,0	16,5			
15				—4,0	— 7,5	3,5	7,5	—23,0	**30,5**	2,0	—14,5	16,5			
16				0,0	—18,5	18,5	5,0	—17,5	22,5	0,0	—16,0	16,0			
17				—2,0	—21,0	19,0	—1,5	— 9,0	7,5	1,0	—15,0	16,0			
18				2,5	—12,0	14,5	— 3,0	—19,0	16,0	3,0	— 2,0	5,0			
19	4,0	—13,0	17,0	0,0	— 8,5	8,5	2,0	—23,0	25,0	3,5	1,0	2,5			
20	3,0	—15,5	18,5	—1,0	—22,5	21,5	5,5	— 7,0	12,5	3,0	— 2,0	5,0			
21	2,0	—14,5	16,5	1,0	—24,0	25,0	—1,5	—12,0	10,5	2,0	—13,0	15,0			
22	3,5	—13,0	16,5	5,5	—21,5	**27,0**	2,0	— 9,0	11,0	0,0	—13,5	13,5			
23	5,0	—13,0	18,0	6,0	—16,5	22,5	—1,5	— 9,5	8,0	4,0	— 8,0	12,0			
24	—1,0	—18,0	17,0	4,5	—18,0	22,5	0,0	—19,0	19,0	0,5	— 5,0	5,5			
25	5,0	—16,0	21,0	4,5	— 4,0	8,5	5,5	— 9,0	14,5	2,0	—14,0	16,0			
26	1,5	—15,0	16,5	4,0	—20,0	24,0	3,0	—11,0	14,0	—1,0	—18,5	17,5			
27	2,0	—17,0	19,0	—1,0	—20,0	19,0	1,0	— 4,5	5,5	0,0	—17,5	17,5			
28	0,0	—17,0	17,0	—1,5	—11,0	9,5	0,0	— 9,0	9,0	—1,5	—18,5	17,0			
29	0,5	—19,0	19,5	3,0	— 9,0	12,0				4,0	— 8,0	12,0			
30	—1,0	—19,5	18,5	8,0	—18	26,0				6,5	—10,0	16,5			
31	—1,0	—19,5	18,5	0,0	—18	18,0				6,0	— 8,0	14,0			
Mittel						17,5			14,75			14,6			

Winter 1937/38.

Tabelle 3a

	November 1937			Dezember 1937			Januar 1938			Februar 1938			März 1938			April 1938		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1				1,0	— 8,0	9,0	— 9,0	—25,5	16,5	—1,0	—21,5	20,5	6,5	— 7,0	13,5	11,0	— 5,5	16,5
2				— 1,0	— 3,0	2,0	—14,0	—28,0	14,0	—4,0	—13,5	19,5	1,0	—13,0	14,0	13,0	— 6,0	19,0
3				— 2,0	— 7,5	5,5	—11,0	—30,0	19,0	— 2,0	—14,0	12,0	4,5	—13,0	17,5	8,5	— 6,5	15,0
4				— 1,5	—10,0	8,5	— 9,0	—31,0	22,0	2,0	—19,0	21,0	6,0	— 6,5	12,5	—1,0	— 7,0	6,0
5				— 4,5	—14,5	10,0	—14,0	—29,5	15,5	—1,0	—23,0	22,0	8,0	—10,5	18,5	2,0	—11,5	13,5
6				— 8,0	—16,5	8,5	— 7,0	—29,5	22,5	— 1,0	—25	24,0	8,0	—15,0	23,0	4,0	—10,0	14,0
7				— 1,0	—14,5	13,5	— 3,0	—18,5	15,5	0,5	—24,5	25,0	7,0	—15,0	22,0	8,0	— 3,0	11,0
8				1,0	— 3,0	4,0	— 5,0	—19,0	14,0	2,0	— 24,0	26,0	7,0	—14,0	21,0	5,0	— 5,5	10,5
9				1,0	— 1,5	2,5	— 5,0	—12,0	7,0	—1,0	—24,0	23,0	10,0	—13,5	23,5	1,0	— 8,0	9,0
10				— 3,0	—16,5	13,5	— 4,0	—15,0	11,0	0,5	—20,0	20,5	8,0	—14,0	22,0	—3,0	—11,0	8,0
11				— 2,0	—19,0	17,0	— 3,0	—19,0	16,0	—3,5	—11,0	7,5	5,5	— 7,0	12,5	—1,0	—13,5	12,5
12				— 4,0	—16,0	12,0	1,5	—14,5	16,0	—5,0	—12,0	7,0	2,0	—10,0	12,0	4,5	—11,5	16,0
13				— 5,0	—23,5	18,5	1,5	—13,0	14,5	—6,0	—17,5	11,5	0,5	—13,0	13,5	7,0	— 9,5	16,5
14				— 7,0	—24,0	17,0	3,0	—14,0	17,0	0,0	—21,0	21,0	7,0	—16,0	23,0	7,0	— 3,5	10,5
15				— 7,0	—17,0	10,0	0,5	—13,0	13,5	—5,0	—24,5	19,5	9,5	—14,0	23,5	7,0	— 7,0	14,0
16				—12,0	—24,0	12,0	— 1,0	—13,0	12,0	—4,0	—24,0	20,0	10,0	—13,0	23,0	10,0	— 7,0	17,0
17				— 9,5	—24,0	14,5	2,0	— 8,0	10,0	—4,0	—23,0	19,0	7,0	—12,5	19,5			
18				—11,5	—25,0	13,5	2,0	—14,0	16,0	2,0	— 6,5	8,5	10,5	—11,0	21,5			
19				—10,0	—26,0	16,0	1,0	—17,0	18,0	1,0	—18,5	19,5	6,5	—10,0	16,5			
20				—13,0	—25,0	12,0	— 3,0	— 9,0	6,0	2,0	—20,0	22,0	6,5	— 6,0	12,5			
21				—12,0	—27,0	15,0	— 3,0	—20,0	17,0	3,5	—24,0	27,5	5,5	— 6,0	11,5			
22				— 9,0	—26,0	17,0	0,0	—20,0	20,0	4,0	—25,0	29,0	2,5	— 3,0	5,5			
23				— 4,0	—19,0	15,0	0,0	—18,0	18,0	1,0	—24,0	25,0	4,5	— 6,0	10,5			
24				2,5	—10,5	13,0	4,0	—16,0	20,0	1,0	—26,0	27,0	6,5	— 7,5	14,0			
25				2,0	—11,0	13,0	— 1,0	—15,0	14,0	4,0	—24,0	28,0	4,5	— 8,0	12,5			
26				— 4,5	—17,5	13,0	— 1,0	—17,0	16,0	3,0	—24,5	27,5	1,0	— 5,0	6,0			
27	6,2	— 9,0	15,2	— 7,0	—19,5	12,5	4,0	—11,0	7,0	5,0	—23,0	28,0	0,0	— 5,0	5,0			
28	—3,0	—13,0	10,0	—10,5	—20,5	10,0	— 4,0	—19,0	15,0	9,0	—11,5	20,5	2,5	— 4,0	6,5			
29	0,0	—14,0	14,0	—11,0	—24,0	13,0	— 5,0	—13,5	8,5				6,0	— 5,5	11,5			
30	6,0	—11,0	17,0	— 9,0	—27,0	18,0	— 5,5	— 9,5	4,0				7,0	— 7,5	14,5			
31				—14,0	—24,0	10,0	— 3,0	—16,0	13,0				11,0	— 3,0	14,0			
Mittel						11,9			14,5			20,8			15,4			

19. Januar bis 4. April 1943.

Tabelle 3b

	Januar 1943			Februar 1943			März 1943			April 1943		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1				2,0	— 7,0	9,0	7,0	— 17,5	24,5	6,0	— 1,0	7,0
2				— 1,0	— 8,0	7,0	8,5	— 11,5	20,0	0,0	— 5,0	5,0
3				— 2,0	— 17,0	15,0	9,0	— 12,5	21,5	2,5	—10,0	12,5
4				— 1,0	— 23,0	22,0	2,0	— 7,0	9,0	10,0	— 8,0	18,0
5				— 3,0	— 27,5	24,5	2,5	— 12,0	14,5			
6				— 3,0	— 28,0	25,0	0,5	— 13,0	13,5			
7				— 4,0	— 18,0	14,0	— 2,0	— 17,0	15,0			
8				0,0	— 24,0	24,0	0,0	— 20,0	20,0			
9				— 7,0	— 29	22,0	6,0	— 16,0	22,0			
10				— 5,0	— 24	19,0	6,5	— 12,5	19,0			
11				— 3,5	— 28,0	24,5	4,5	— 12,0	16,5			
12				6,5	— 20,0	26,5	6,5	— 13,0	19,5			
13				1,0	— 10	11,0	1,0	— 14,0	15,0			
14				4,0	— 12	16,0	1,5	— 13,0	14,5			
15				3,0	— 17,5	20,5	5,0	— 16,0	21,0			
16				— 3,0	— 10,0	7,0	6,0	— 14,0	20,0			
17				— 4,0	— 20,0	16,0	4,0	— 13,0	17,0			
18				0,0	— 26,0	26,0	1,0	— 13,0	14,0			
19	— 5,5	— 24,0	18,5	5,0	— 24,0	29,0	2,0	— 10,0	12,0			
20	— 3,0	— 20,5	17,5	7,0	— 21,0	28,0	5,0	— 13,0	18,0			
21	1,0	— 19,0	20,0	7,0	— 21,0	28,0	— 2,0	— 6,0	4,0			
22	1,0	— 13,0	14,0	9,5	— 20,0	29,5	0,0	— 7,0	7,0			
23	0,5	— 11,0	11,5	9,0	— 20,0	29,0	0,5	— 10,5	11,0			
24	— 1,0	— 14,0	13,0	8,0	— 18,0	26,0	2,0	— 9,0	11,0			
25	— 6,0	— 21,0	15,0	4,5	— 19,5	24,0	2,5	— 3,0	5,5			
26	— 2,0	— 22,0	20,0	4,0	— 20,0	24,0	0,5	— 1,5	2,0			
27	— 0,5	— 19,0	18,5	4,0	— 19,5	23,5	5,5	— 2,0	7,5			
28	1,0	— 18,0	19,0	6,0	— 17,0	23,0	4,0	— 5,0	9,0			
29	1,0	— 18,5	19,5				2,0	— 3,5	5,5			
30	0,5	— 18,5	19,0				7,0	— 7,0	14,0			
31	1,0	— 11,0	12,0				9,0	— 8,5	17,5			
Mittel						21,2			14,2			

e) Kaltluftsee-Bildungen über der Eis- und Schneedecke des St. Moritzer Sees.

Im Winterhalbjahr ist, wie bekannt, das Bergklima, im Sommer das Talklima wärmer. Diese Erscheinung wird vielenorts noch verschärft durch die *Temperaturumkehr*. Die Temperaturerniedrigung über dem Talboden kann im Winter bei hohem Barometerstand, d. h. bei heiterem, ruhigem, kaltem Wetter zu einem Dauerzustand werden. Günstig wirkt natürlich eine Schneedecke, da diese durch Ausstrahlung sehr erkaltet. Ueber dieses Thema habe ich bereits in meiner Arbeit «Zur Hydrologie der Landschaft Davos»[1]) berichtet und namentlich darauf hingewiesen, daß hohe windgeschützte Täler mit flachem Gefälle, in denen sich die vom Boden her erkaltete Luft anzusammeln vermag, schärfere Fröste aufweisen als die benachbarten Berghänge. Der kontinentale Charakter der Niederung, der sich in extrem tiefen Temperaturen offenbart, gelangt in solchen Zonen wirkungsvoll in Erscheinung. Wie im Becken der Davoser Landschaft, so vermag sich auch über der Eis- und Schneedecke des St. Moritzer Sees ein Kaltluftsee zu bilden. Er darf als ein Zeuge par excellence des kontinentalen Klimas des Engadins betrachtet werden. Die Bildung von Eisblumen auf den Oberflächen der Eisdecken der Oberengadiner Seen steht natürlich auch in Zusammenhang mit solchen Kaltluftseen.

An einem geradezu klassischen Beispiel, dessen Verarbeitung ich der Liebenswürdigkeit des Direktors des Observatoriums von Davos, Dr. *W. Mörikofer*, verdanke, soll das Phänomen der Temperaturumkehr, wie es sich in St. Moritz während eines heiteren, ruhigen und kalten Wintertages gelegentlich einstellt, belegt werden.

Der 2., 3. und 4. Januar 1946 brachten für St. Moritz sehr tiefe Temperaturen. Die allgemeine Wetterlage und die besonderen atmosphärischen Bedingungen für eine Temperaturumkehr, wie ich sie oben klargelegt habe, stellten sich ein: ein ausgespro-

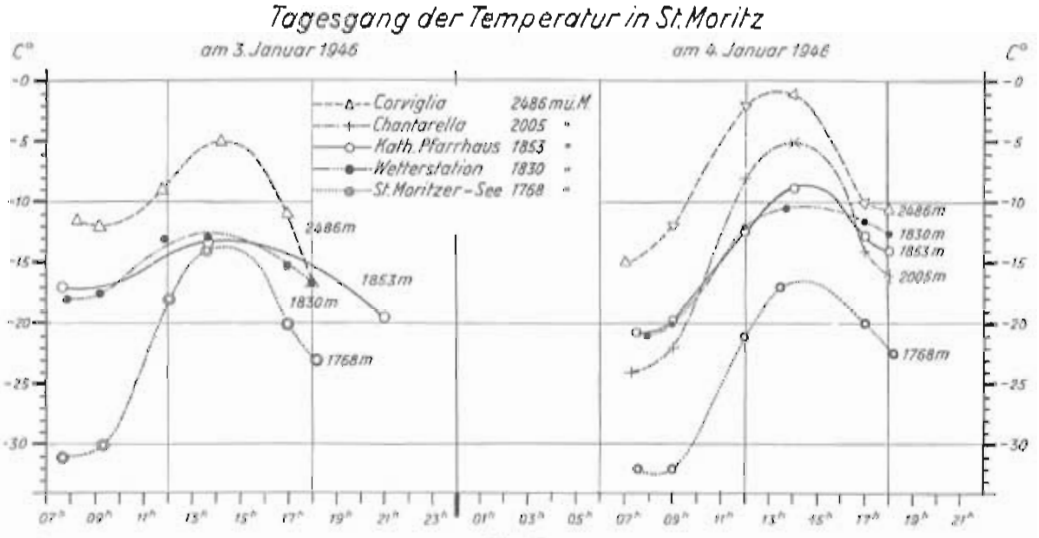


Fig. 5.

[1] *Lütschg-Loetscher O.:* Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. Bd. II, III. Teil. In «Beiträge zur Geologie der Schweiz — Geotechnische Serie — Hydrologie, 4. Lieferung. Zürich 1944.

Vgl. auch *Schüepp Walter:* Untersuchungen über den winterlichen Kaltluftsee in Davos. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft. 125. Jahresversammlung 1945 in Freiburg. S. 127. Aarau 1945.

Verlauf der Jsothermen über St. Moritz

am 4. Januar 1946

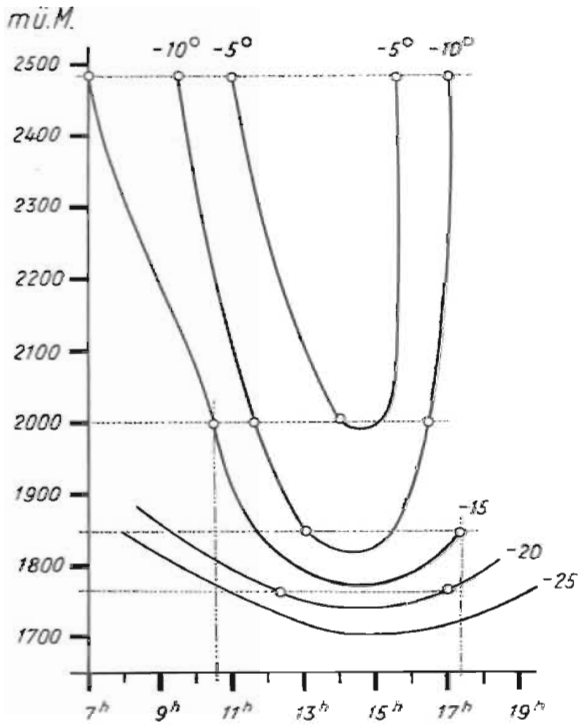


Fig. 6

Temperaturverteilung über St. Moritz

am 4. Januar 1946

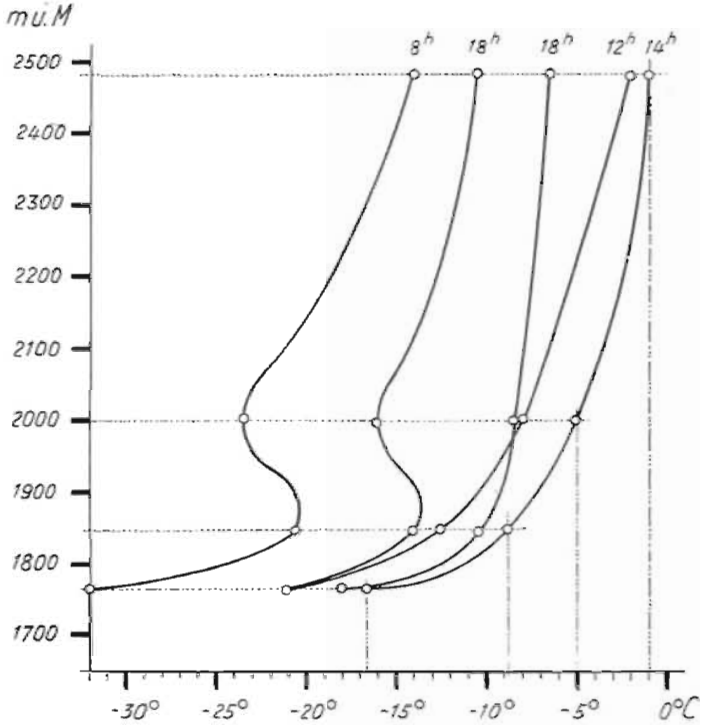


Fig. 7

Temperaturumkehr St. Moritz, 3./4. Januar 1946. Tabelle 4

Januar 1946 Tag	Zeit	Am St. Moritzer See 1768 m ü. M.	Wetterstation St. Moritz 1830 m ü. M.	Kath. Pfarrhaus St. Moritz-Dorf 1853 m ü. M.	Chantarella 2005 m ü. M.	Corviglia 2486 m ü. M.
		° C	° C	° C	° C	° C
3.	7.40	— 31,0	—	— 17,0	—	—
„	7.55	—	— 18,0	—	—	—
„	8.20	—	—	—	—	— 11,5
„	9.10	—	—	—	—	— 12,0
„	9.15	—	— 17,5	—	—	—
„	9.25	— 30,0	—	—	—	—
„	11.50	—	—	—	—	— 9,0
„	11.55	—	— 13,0	—	—	—
„	12.05	— 18,0	—	—	—	—
„	13.40	— 14,0	— 13,0	— 13,2	—	—
„	14.10	—	—	—	—	— 5,0
„	17.00	— 20,0	— 15,2	—	—	— 11,0
„	18.00	—	— 16,5	—	—	— 16,5
„	18.10	— 23,0	—	—	—	—
„	21.00	—	—	— 19,4	—	—
4.	7.00	—	—	—	—	— 15,0
„	7.15	—	—	—	— 24,0	—
„	7.30	—	—	— 20,8	—	—
„	7.40	— 32,0	—	—	—	—
„	7.55	—	— 21,0	—	—	—
„	9.00	— 32,0	— 20,0	— 19,8	— 22,0	— 12,0
„	12.00	— 21,0	— 12,0	— 12,4	— 8,0	— 2,0
„	13.30	— 17,0	—	—	—	—
„	13.40	—	— 10,5	—	—	—
„	14.00	—	—	— 8,8	— 5,0	— 1,0
„	17.00	— 20,0	— 11,5	— 12,8	— 14,0	— 10,0
„	18.00	—	— 12,5	— 14,0	— 16,0	— 10,5
„	18.10	— 22,5	—	—	—	—

chener Kaltluftsee über der Eis- und Schneedecke des St. Moritzer Sees (1768 m ü. M.) und um 20° C höhere Temperaturen auf Corviglia, 2486 m ü. M.

In Tabelle 4 sind die gemessenen Temperaturen zusammengestellt. Die graphischen Darstellungen dieser Beobachtungsergebnisse (Fig. 5, 6 und 7), nämlich:

1. Tagesgang der Temperatur am 3. und 4. Januar 1946:
   a) am St. Moritzer See, 1768 m ü. M., b) auf der Wetterstation St. Moritz, 1830 m ü. M., c) beim Kath. Pfarrhaus St. Moritz-Dorf, 1853 m ü. M., d) auf Chantarella, 2005 m ü. M., e) auf Corviglia, 2486 m ü. M.;
2. Tagesgang der Isothermen als Funktion der Meereshöhe;
3. Kurven des Temperaturverlaufes in einigen charakteristischen Zeitpunkten als Funktion der Höhe;

geben uns einen vielseitigen Einblick in das Wesen dieses Kaltluftsees. Bemerkenswert ist das Verhalten der Kaltluftansammlung auf Chantarella. Es zeigt eindrucksvoll, daß jeder Lage ein individueller Einschlag zukommt, wobei vor allem den örtlichen Verhältnissen nach Lage und Gestalt des Terrains das Hauptgewicht zufallen dürfte.

2. Relative Feuchtigkeit.

a) Monatsmittel der relativen Feuchtigkeit in % für Sils-Maria und Bevers, 1884—1900:

Tabelle 5

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Sils-Maria, 1811 m	78	76	76	74	73	*72*	*72*	75	78	**79**	78	78	76
Bevers, 1713 m	82	78	76	74	71	*70*	*70*	74	76	78	81	**83**	76

Ueber den Wasserdampfgehalt der Luft ist folgendes zu sagen.

Die *relative Luftfeuchtigkeit* der Stationen Sils-Maria und Bevers beträgt im Jahresmittel für beide Stationen 76 %. Während der Monate April bis August sinkt sie im Mittelwert nur wenig und beträgt für Sils-Maria 73 % und für Bevers 72 %. Während der Sommermonate Juni und Juli erreicht die Luftfeuchtigkeit ebenfalls im Mittelwert ihren Tiefstand: in Sils-Maria 72 %, in Bevers 70 %; ihr Höchststand fällt für Sils-Maria auf den Oktober, für Bevers auf den Dezember.

b) Relative Feuchtigkeit in % St. Moritz-Dorf (siehe Tabelle 6, 6a, 6b).

c) St. Moritzer See. Tagesschwankungen der relativen Feuchtigkeit in % (siehe Tabelle 7, 7a, 7b).

3. Die Windverhältnisse.

Es ist klar, daß in der nach Lage und Gestalt eigenartigen Hochgebirgslandschaft des obersten Teilstückes des Engadins ganz besondere Windverhältnisse herrschen müssen. Die Morphologie des Oberengadins und Bergells beherrscht das Windregime. Die stark ausgeprägte Abgeschlossenheit gegen außen erschwert den großen Luftströmungen ihren Ein- und Austritt in weitgehendem Maße. Die Nordwinde sind durch

b) Relative Feuchtigkeit in %, St. Moritz-Dorf[1]), 1899/1900—1945/46:

Tabelle 6

Hydr. Jahr	Winter Nov. April	Sommer Mai Okt.	Jahr Nov. Okt.	Minima Januar bis Dezember	
					Datum
	%	%	%	%	
1899/00	71	67	69	14	10. Okt. 1900
1900/01	67	69	68	16	April, Juni, Nov. 01
01/02	66	66	66	14	23. Febr., 12. März 02
02/03	63	66	64	11	24. Juni 03
03/04	66	65	66	10	13. Nov. 04
04/05	63	72	68	13	20. März 05
1905/06	70	63	67	13	22. Okt. 06
06/07	58	67	63	6[2])	14. Jan., 22. März 07
07/08	63	64	64	7[2])	29. Sept. 08
08/09	63	64	63	8[2])	29. Sept. 09
09/10	65	62	64	8[2])	6. März 10
1910/11	58	61	59	8[2])	Febr., Apr., Aug. 11
11/12	63	61	62	7[2])	15. Okt. 12
12/13	58	59	59	4[2])	26. Aug. 13
13/14	59	60	59	8[3])	27. Sept. 14
14/15	72	76	74	25	9. Aug. 15
1915/16	77	78	78	29	17. April 16
16/17	80	77	79	26	9. März, 14. Juli 17
17/18	74	73	74	22	31. Aug. 18
18/19	79	69	74	18	15. Juni 19
19/20	78	76	77	22	4. Febr. 20
1920/21	72	63	68	11	29. Nov. 21
21/22	69	67	68	21	9. Mai 22
22/23	83	74	79	28	2., 3. Mai, 9. Juni 23
1923/24	76	78	77	31	9., 24. Nov. 24
24/25	74	76	75	15	4. März 25
1925/26	73	73	73	24	15. Aug. 26
26/27	72	73	72	28	6. Okt. 27
27/28	72	70	71	28	17. Okt. 28
28/29	70[3])	72[3])	71[3])	23	31. März 29
29/30	74[3])	74[3])	74[3])	20	17. Aug. 30
1930/31	69[3])	71[3])	70[3])	20	28. Aug. 31
31/32	67	71	69	25	13. Mai 32
32/33	65	71	68	25	17. Febr. 33
33/34	73	70	72	25	13. Okt. 34
34/35	69	70	69	26	26., 27. März 35
1935/36	70	74	72	24	13. Febr., 17. Okt. 36
36/37	71	73	72	26	4. Juli 37
37/38	64	72	68	26	22. Fe., 21., 22. Okt. 38
38/39	72	77	75	26	15. Febr., 21. Apr. 39
39/40	70	76	73	24	8. April 40
1940/41	72	75	73	26	3. Dez. 41
41/42	75	81	78	25	27. Jan. 42
42/43	76	79	78	23	17. April 43
43/44	73	75	74	20	2. Juli 44
44/45	64	68	66	23	20. März 45
1945/46	68	72	70	24	13. Okt. 46

[1]) Höhe der Station von 1900—1922 = 1841 m ü. M. Die Station wurde am 12. Dezember 1922 nach St. Moritz-Bad (ca. 1800 m) verlegt und am 7./9. August 1923 wegen Beobachterwechsel nach St. Moritz-Dorf transloziert (1853 m).

[2]) Die Werte der Jahre 1907—1914 sind offenbar zu niedrig.

[3]) Zum Teil interpoliert.

Mittelwerte 1899/1900—1945/46 (47 Jahre)

Tabelle 6a

%	Winter						Sommer						Winter	Sommer	Jahr
	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.-April	Mai-Okt.	Nov.-Okt.
Mittel	73	72	68	66	70	68	69	68	68	70	74	74	70	70	70
Maxima	89	87	88	85	83	85	83	78	80	85	87	87	83	81	79
Jahr	1916	15,16,22	1919	1923	16, 43	1918	1917	1916	1943	1942	1942	1943		1942	
Minima	56	54	53	50	57	54	54	51	57	56	53	58	58	59	59
Jahr	1906	1913	11, 14	11, 13	1914	07,11,12	1913	1913	13, 21	1911	1914	1906	1906/07 1910/11 1912/13	1913	1910/11 1912/13 1913/14

Tabelle 6b

	Winter 1936/37			Winter 1937/38				1943	
	Januar	Februar	März	Dezember	Januar	Februar	März	Februar	März
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Maxima	58	70	66	44	60	71	78	66	66
Minima	10	9	14	9	19	31	34	12	10
Mittelwerte	35	46	42	25	41	50	58	45	50

c) St. Moritzer See. Tagesschwankungen der relativen Feuchtigkeit in %.
Winter 1936/37.

Tabelle 7

	Dezember 1936			Januar 1937			Februar 1937			März 1937			April 1937		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1				96	60	36	100	83	17	95	42	53	96	58	38
2				95	62	33	100	65	35	95	52	43	100	67	33
3				94	62	32	94	55	39	95	46	49	98	72	26
4				100	60	40	98	63	35	96	62	34	95	50	45
5				100	68	32	100	77	23	96	65	31	97	45	52
6				98	60	38	100	46	54	96	31	65	98	37	61
7				95	56	39	100	42	58	98	45	53	100	57	43
8				95	64	31	100	50	50	98	59	39	100	42	58
9				97	57	40	100	55	45	96	57	39	100	47	53
10				94	49	45	98	44	54	95	44	51	100	83	17
11				92	56	36	97	45	52	94	40	54	96	47	49
12				89	56	33	95	44	51	97	80	17			
13				95	48	47	97	49	48	89	58	31			
14				95	67	28	100	34	66	94	65	29			
15				100	90	10	100	46	54	90	33	57			
16				97	62	35	95	45	50	96	30	66			
17	98	24	74	97	61	36	99	54	45	96	65	31			
18	88	31	57	90	55	35	100	50	50	96	75	21			
19	100	56	44	98	81	17	98	28	70	96	82	14			
20	97	55	42	100	58	42	95	33	62	93	58	35			
21	94	58	36	95	47	48	90	45	45	93	52	41			
22	100	59	41	97	46	51	96	54	42	96	66	30			
23	98	48	50	90	49	41	98	42	56	96	47	49			
24	95	59	36	90	58	32	95	37	58	95	67	28			
25	99	56	43	95	72	23	95	39	56	95	41	54			
26	91	54	37	100	54	46	100	57	43	96	62	34			
27	96	59	37	98	82	16	100	74	26	96	53	43			
28	97	60	37	100	84	16	94	85	9	95	38	57			
29	96	59	37	98	64	34				96	52	44			
30	92	60	32	100	42	58				100	48	52			
31	94	60	34	100	60	40				100	40	60			
Mittel						35			46			42			

Winter 1937/38.

Tabelle 7a

	November 1937			Dezember 1937			Januar 1938			Februar 1938			März 1938			April 1938		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min	Diff.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1				100	56	44	93	59	34	100	65	35	100	58	42	100	29	71
2				100	83	17	90	66	24	100	57	43	100	49	69	100	20	80
3				100	75	25	90	57	33	97	44	53	92	58	34	100	47	53
4				99	66	33	98	38	60	100	57	43	95	35	60	80	48	32
5				100	69	31	98	74	24	98	67	31	100	35	65	93	50	43
6				100	84	16	99	65	34	98	57	41	100	25	75	100	53	47
7				98	82	16	96	53	43	98	47	51	100	30	70	95	48	47
8				100	89	11	98	65	33	100	45	55	100	37	63	100	54	46
9				100	85	15	100	81	19	100	52	48	100	25	75	97	45	52
10				93	70	23	100	69	31	100	60	40	100	30	70	98	53	45
11				90	63	27	97	63	34	97	59	38	100	57	43	91	49	42
12				96	67	29	100	51	49	96	45	51	100	38	62	100	43	57
13				90	79	11	100	65	35	97	51	46	100	43	57	100	40	60
14				95	86	9	100	48	52	93	49	44	100	30	70	96	46	50
15				95	71	24	100	50	50	95	53	42	100	22	78	100	45	55
16				93	74	19	86	52	34	96	59	37	100	20	80	100	32	68
17				90	80	10	99	53	46	100	57	43	100	36	64	Außer Betrieb gesetzt		
18				94	74	20	97	37	60	97	45	52	100	24	76			
19				91	67	24	100	50	50	100	47	53	100	46	54			
20				89	66	23	100	53	47	100	31	69	100	52	48			
21				89	65	24	98	58	40	100	46	54	100	46	54			
22				93	67	26	100	53	47	100	34	66	100	57	43			
23				97	72	25	100	45	55	100	35	65	100	50	50			
24				98	61	37	100	49	51	100	44	56	100	45	55			
25				97	55	42	97	63	34	100	38	62	100	56	44			
26				96	63	33	100	55	45	100	40	60	100	57	43			
27	100	34	66	96	62	34	100	71	29	100	29	71	100	52	48			
28	85	47	38	96	67	29	95	46	49	100	39	61	100	49	51			
29	100	51	49	96	69	27	100	63	37				100	53	47			
30	100	24	76	94	57	37	100	63	37				100	49	51			
31				94	69	25	99	48	51				99	37	62			
Mittel						25			41			50			58			

Winter 1943. Tabelle 7 b

	Januar 1943			Februar 1943			März 1943			April 1943		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1				95	72	23	96	34	62	91	47	44
2				91	79	12	94	45	49	89	43	46
3				84	45	39	96	39	57	78	25	53
4				86	42	44	96	70	26	87	27	60
5				87	45	42	90	45	45			
6				(85)	37	(48)	86	52	34			
7				90	60	30	87	35	52			
8				81	42	39	90	51	39			
9				85	64	21	95	37	58			
10				91	77	14	95	39	56			
11				92	48	44	95	45	50			
12				91	31	60	96	32	64			
13				87	51	36	96	50	46			
14				90	51	39	90	46	44			
15				95	41	54	93	37	56			
16				94	65	29	96	37	59			
17				85	53	32	97	43	54			
18				85	35	50	97	56	41			
19	86	55	31	87	28	59	95	52	43			
20	88	59	29	92	32	60	97	40	57			
21	90	48	42	93	25	68	97	70	27			
22	95	64	31	95	30	65	90	55	35			
23	95	72	23	96	31	65	93	60	33			
24	94	54	40	96	30	66	93	56	37			
25	85	55	30	96	39	57	95	77	18			
26	85	46	39	96	40	56	93	83	10			
27	89	45	44	96	45	51	93	66	27			
28	91	47	44	99	33	66	93	61	32			
29	91	55	36				92	55	37			
30	95	61	34				85	20	65			
31	94	67	27				91	25	66			
Mittel						45			45			

die hohe Kette des Juliers vollständig abgeschnitten und der Südwind tritt, namentlich im Sommer und Winter, sehr selten mit föhnartigem Charakter auf. Es sind deshalb vor allem die lokalen Winde, die sich hier als periodische Tal- und Bergwinde bemerkbar machen und zuweilen recht erhebliche Stärkegrade anzunehmen pflegen. In Betracht fallen vor allem der *Malojawind* und der *Julierwind*, die sich in der Regel nur bei schönem, sonnigem Wetter bemerkbar machen. Diese Lokalwinde schaffen eine Reihe von Erscheinungen, die gewissen Bereichen der Seen und ihren Uferzonen ein besonderes Gepräge verleihen. Ich denke dabei an die Verzögerung im Einfrierprozeß des nördlichen Endes des Silvaplaner Sees, die der Wirkung des vom Julierpaß herkommenden Windes zuzuschreiben ist und Zustände schafft, wie sie uns Bild 41 auf Seite 133 zeigt.

Die Windverhältnisse des Oberengadins sind namentlich von Dr. *Walter Mörikofer* auf Muottas Muraigl, 2456 m ü. M., untersucht worden.[1]) Bei der Häufigkeit der verschiedenen Windrichtungen fällt vor allem auf, daß mehr als die Hälfte aller Winde von SW kommt, d. h. aus dem Oberengadiner Seegebiet. Von Süden macht sich lediglich die schwache Luftströmung vom Berninapaß her bemerkbar. Die übrigen Winde sind schwach vertreten, namentlich die aus E und SE. Uns interessieren vor allem die aus dem Bergell aufsteigenden Südwestwinde und die die See-Ebene beeinflussenden Lokalwinde.

Ueber die Windstärken ist folgendes zu sagen. Nur der S-Wind tritt meist schwach auf, die Hälfte aller Beobachtungen auf Muottas-Muraigl ergeben Geschwindigkeiten von höchstens 2 m/sec. Bei den N-, NW- und vor allem den SW-Winden sind dagegen Geschwindigkeiten von 3—6 m/sec am häufigsten. Der Malojawind ist, allgemein beurteilt, noch stärker: 81 % der Beobachtungen ergeben Geschwindigkeiten von 7—20 m/sec. Bei schönem warmem Wetter nimmt er zuweilen stürmischen Charakter an.

Ueber die Entstehung des Malojawindes ist schon viel geschrieben und noch mehr diskutiert worden. Ich beschränke mich auf die Bekanntgabe der Malojawind-Theorie von Dr. *W. Mörikofer*, die mir als die einfachste und verständlichste erscheint. *W. Mörikofer* betrachtet den Malojawind als den normalen aufsteigenden Talwind des Bergells. Um diese Deutung richtig zu verstehen, ist es notwendig, das Oberengadiner Seegebiet als einen Bestandteil des Bergells anzusehen.

Im Gegensatz zu den feuchten und meist unsteten großen Luftströmungen aus Südwesten, die die eigentlichen Vorboten schlechten Wetters sind, zeichnet sich der trockene, in der gleichen Richtung wehende Malojawind durch eine auffallende Regelmäßigkeit in seinem Auftreten und durch intensive Strömung aus. Gewöhnlich setzt er bei schönem Wetter um 10 Uhr mit einigen heftigen Stößen ein und beherrscht darauf das Tal während 6—7 Stunden, erst gegen Abend verliert er sich allmählich. Seine größte Intensität erreicht er während der warmen Mittagsstunden über den freien Seeflächen. Weiter talabwärts, Scanfs zu, büßt er immer mehr seine Stoßkraft ein.

Ueber die jahreszeitliche Dauer des Auftretens des Malojawindes liegen keine systematischen Beobachtungen vor. Festgestellt ist nur, daß der Beginn seines Auftretens mit dem Aperwerden, das Ende mit dem Einschneien des Bergells zusammenfällt.

---

[1]) *Mörikofer Walter:* Beobachtungen zur Theorie des Malojawindes. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens, LXIII. Chur 1924.

4. Monatliche und jahreszeitliche Sonnenscheindauer in Stunden
St. Moritz 1900 01—1945 46.

Tabelle 8

Hydrographisches Jahr	Winter						Sommer						Winter	Sommer	Jahr
	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Oktober	Nov.-April	Mai-Okt.	Nov.-Okt.
1900/01	96*	82*	120	151	104	162	181	193	178	229	122	140	715	1043	1758
01/02	143	61	99	77	155	171	147	178	**278**	223	215	126	706	1167	1873
02/03	118	82	124	139	173	129	212	157	173	250	202	134	765	1128	1893
03/04	96	60	89	103	139	162	232	222	257	231	131	160	649	1233	1882
04/05	138	94	100	122	126	184	134	189	258	195	166	145	764	1087	1851
05/06	68	**125**	91	104	188	164	201	179	190	**274**	189	166	740	1199	1939
06/07	96	62	63	132	184	152	208	193	223	222	178	84	689	1108	1797
07/08	98	73	126	127	161	122	205	226	204	218	195	**222**	707	**1270**	**1977**
08/09	117	113	121	125	117	216	220	150	196	184	152	143	809	1045	1854
09/10	119	51	98	111	195	140	154	202	190	200	150	163	714	1059	1773
1910/11	62	43	126	147	153	219	141	182	262	248	199	142	750	1174	1924
11/12	109	71	85	119	139	161	186	168	176	125	118	129	684	902	1586
12/13	89	103	72	153	140	140	179	177	158	196	132	154	697	996	1693
13/14	75	88	115	122	122	174	143	186	159	229	196	153	696	1066	1762
14/15	101	73	75	105	148	199	181	160	210	213	176	146	701	1086	1787
15/16	92	52	121	85	89	182	196	180	180	203	146	161	621	1066	1687
16/17	79	50*	78	162	172	141	190	234	220	206	**232**	112	682	1194	1876
17/18	136	65	107	173	166	107	197	162	239	213	155	101	754	1067	1821
18/19	115	77	78	114	136	140	**260**	223	141	246	198	138	660	1206	1866
19/20	59	71	82	177	176	146	202	161	223	154	115	151	711	1006	1717
1920/21	124	68	86	166	205	135	148	207	219	186	212	216	784	1188	1972
21/22	116	112	70	118	113	122	229	148	146*	166*	90	71	651	850	1501
22/23	88	57	69	89	173	123	209	158	251	263	170*	120*	599	1171	1770
23/24	87	58*	122	161	163	168	185	184	241	201	194	186	759	1191	1950
24/25	128	108	115	123	165	154	170	248	174	227	167	194	793	1180	1973
25/26	91	77	86	118	126	180	147	156	176	252	195	140	678	1066	1744
26/27	86	90	69	161	165	190	215	203	210	233	120	205	761	1186	1947
27/28	79	72	115	161	106	149	161	227	270	233	130	145	682	1166	1848
28/29	65	88	129*	155	**234**	151	166	182*	249	181	214	120*	822	1112	1934
29/30	90	57	107	157	143	113	114	189	195	211	126	139	667	974	1641

Tabelle 8 (Fortsetzung)

1930/31		109	96	104	105	162	140	175	230	225	168	147	168	717	1113	1830
31/32		90	120	134	**215**	147	124	167	176	151	233	146	130	830	1003	1833
32/33		112	94	89	118	193	159	125	130	253	246	138	153	765	1045	1810
33/34		63	92	99	181	111	177	201	187	248	151	188	181	723	1156	1879
34/35		119	66	113	85	180	126	152	241	253	164	207	94	689	1111	1800
35/36		88	49	57	110	170	119	172	132	177	225	138	155	593	999	1592
36/37		98	93	91	80	96	150	205	173	215	159	148	118	608	1018	1626
37/38		120	72	92	167	201	**221**	156	244	201	166	135	188	**873**	1090	**1963**
38/39		**148**	66	74	148	132	163	78	175	235	179	142	69	731	878	1609
39/40		98	70	113	87	150	171	162	162	190	247	162	114	689	1037	1726
1940/41		82	96	76	121	172	132	143	212	200	208	202	150	679	1115	1794
41/42		98	106	93	120	153	139	193	206	211	188	153	168	709	1119	1828
42/43		121	93	107	150	192	190	188	188	197	236	132	172	**853**	1113	**1966**
43/44		105	77	**137**	118	157	168	221	160	168	175	125	93	762	942	1704
44/45		84	94	89	122	194	217	200	**256**	265	195	177	166	800	**1259**	**2059**
1945/46		129	44	99	91	143	192	134	132	228	190	203	170	698	1057	1755
Hydrogr. Jahre	Anzahl Jahre	*Dekadenmittel und langjährige Mittelwerte.*														
1900/10	10	109	80	103	119	154	160	189	189	215	**223**	170	148	725	1134	1859
1910/20	10	92	69	94	136	144	161	187	183	197	**203**	167	139	696	1076	1772
1920/30	10	95	79	97	141	159	149	174	190	213	**215**	162	154	720	1108	1828
1930/40	10	104	82	97	130	154	155	159	185	**215**	194	155	137	722	1045	1767
1940/46	6	103	85	100	120	169	173	180	192	**212**	199	165	153	750	1101	1851
1900/01—1945/46	**46**	**101**	**78**	**98**	**130**	**155**	**158**	**178**	**188**	**210**	**207**	**164**	**145**	**720**	**1092**	**1812**
		Extremwerte 1900/01—1945/46.														
Maxima		148	125	137	215	234	221	260	256	**278**	274	232	222	873	1270	2059
Jahr		1938	1905	1944	1932	1929	1938	1919	1945	1902	1906	1917	1908	1937/38	1908	1944/45
Minima		59	43	57	77	89	107	78	130	**141**	125	90	69	593	850	1501
Jahr		1919	1910	1936	1902	1916	1918	1939	1933	1919	1912	1922	1939	1935/36	1922	1921/22
Diff. Max./Min.		89	82	80	138	145	114	**182**	126	137	149	142	153	280	420	558

5. Niederschläge.

a) *Niederschlagsmessungen in Sils-Maria.*

Jahreszeitliche Niederschlagsmengen in mm. Tabelle 9

Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.	Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.	Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.
1864/65	183	715	898	95/96	278	**1033**	1311	25/26	472	723	1195
65/66	541	511	1052	96/97	408	614	1022	26/27	590	671	1261
66/67	354	659	1013	97/98	453	650	1103	27/28	487	714	1201
67/68	369	769	1138	98/99	505	383	888	28/29	223	583	806
68/69	296	573	869	1899/1900	321	605	926	29/30	341	482	823
69/70	219	403	622	1900/01	500	748	1248	1930/31	347	786	1133
1870/71	421	432	853	01/02	495	618	1113	31/32	273	650	923
71/72	417	1001	**1418**	02/03	373	671	1044	32/33	197	719	916
72/73	526	678	1204	03/04	539	454	993	33/34	434	584	1018
73/74	278	510	788	1904/05	297	766	1063	34/35	448	709	1157
74/75	452	612	1064	1905/06	382	345	727	35/36	545	493	1038
75/76	473	467	940	06/07	441	642	1083	36/37	496	**896**	1392
76/77	404	586	990	07/08	298	714	1012	37/38	210	650	860
77/78	297	878	1175	08/09	209	609	818	38/39	363	832	1195
78/79	518	559	1077	09/10	489	545	1034	39/40	337	657	994
79/80	202	657	859	1910/11	368	723	1091	1940/41	522	463	985
1880/81	289	423	712	11/12	564	571	1135	41/42	212	733	945
81/82	269	884	1093	12/13	368	578	946	42/43	208	586	794
82/83	285	541	826	13/14	471	610	1081	43/44	**144**	739	883
83/84	202	441	643	14/15	399	491	890	44/45	332	550	882
84/85	204	648	852	15/16	601	666	1267				
85/86	208	444	652	16/17	**668**	782	**1450**				
86/87	385	436	821	17/18	258	592	850				
87/88	**560**	760	1320	18/19	529	374	903				
88/89	235	740	975	19/20	639	642	1281				
89/90	222	766	988	1920/21	267	**294**	**561**				
1890/91	174	901	1075	21/22	448	644	1092				
91/92	398	616	1014	22/23	321	633	954				
92/93	162	437	599	23/24	405	728	1133				
93/94	299	611	910	24/25	355	473	828				
94/95	325	485	810								

Langjährige Mittel- und Extremwerte der Niederschlagsmengen und deren Differenzen in mm. Tabelle 9a

	Winter						Sommer						Summenwerte			Extremwerte		
													Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	XI-IV	V-X	XI-X	XI-IV	V-X	XI-X
	1864/65—1903/04 (40 Jahre). (A)																	
Mittel	**73**	**58**	**45**	**36**	**63**	**74**	**88**	**93**	**115**	**114**	**110**	**103**	**349**	**623**	**972**	—	—	—
Maxima	224	254	180	*125*	185	292	258	191	227	269	325	***335***	560	1033	1418	292	335	335
Minima	*0*	2	*0*	1	6	5	13	9	*25*	18	5	6	162	383	599	0	5	0
Differenz	224	252	180	*124*	179	237	245	182	202	251	320	***329***	398	650	819	292	330	335
	1904/05—1943/44 (40 Jahre). (B)																	
Mittel	**86**	**61**	**44**	**48**	**74**	**78**	**93**	**98**	**117**	**119**	**94**	**106**	**391**	**627**	**1018**	—	—	—
Maxima	257	177	*141*	151	214	168	193	183	199	222	239	***262***	668	896	1450	257	262	262
Minima	6	12	*1*	4	*1*	13	5	25	40	***47***	9	8	144	294	561	1	5	1
Differenz	251	165	*140*	147	213	155	188	158	159	175	230	***254***	524	602	889	256	257	261
Diff. B-A	+ 27	— 87	- 40	+ *23*	+ 34	**—132**	— 57	— 24	— 43	— 76	— 90	— 75	+126	— 48	+ 70	— 36	— 73	— 74
	1864/65—1943/44 (80 Jahre). (C)																	
Mittel	**80**	**59**	**45**	**42**	**68**	**76**	**91**	**96**	**116**	**116**	**102**	**104**	**370**	**625**	**995**	—	—	—
Maxima	257	254	180	*151*	214	292	258	191	227	269	325	***335***	668	1033	1450	292	335	335
Jahr	1906	1872	1895	1925	1916	1876	1872	1898	1890	1891	1882	1896	1916/17	1896	1916/17			
Minima	*0*	**2**	*0*	1	1	5	5	9	***25***	18	5	6	144	294	561	0	5	0
Jahr	1884	1885	1880	1891	1929	1865	1919	1885	1885	1893	1898	1871	1943/44	1921	1920/21			
Differenz	257	252	180	*150*	213	287	253	182	202	251	320	***329***	524	739	889	292	330	335
												Max. Min.	4,6	3,5	2,6			

Tagesmaxima, 1864/65–1943/44: **79 mm** 9. September 1888, **83 mm** 7. November 1906, **91 mm** 15. Mai 1926.

b) Niederschlagsmessungen in St. Moritz-Dorf.

Jahreszeitliche Niederschlagsmengen in mm. Tabelle 10

Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.	Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.	Hydrograph. Jahr	Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.
1899/1900	269	438	707	1915/16	529	652	1181	1930/31	301	623	924
				16/17	657	711	*1368*	31/32	251	521	772
1900/01	411	607	1018								
				17/18	213	594	807	32/33	164	647	811
01/02	441	512	953								
				18/19	603	404	1007	33/34	372	421	793
02/03	279	578	857								
				19/20	**751**	698	**1449**	34/35	582	612	1194
03/04	472	391	863								
				20/21	211	315	*526*	35/36	458	383	841
04/05	262	**724**	986								
				21/22	435	719	1154	36/37	321	634	955
05/06	325	*303*	628								
				22/23	356	560	916	37/38	146	500	646
06/07	370	622	992								
				23/24	320	706	1026	38/39	225	670	895
07/08	**247**	635	882								
				24/25	319	471	790	39/40	276	507	**783**
08/09	191	544	735								
				25/26	439	676	1115	1940/41	330	372	702
09/10	414	584	998								
				26/27	548	555	1103	41/42	*145*	496	641
1910/11	389	648	1037								
				27/28	401	628	1029	42/43	148	422	570
11/12	481	646	1127								
				28/29	168	519	687	43/44	*99*	635	734
12/13	407	615	1022								
				29/30	279	447	726	44/45	260	422	682
13/14	411	595	1009								
								1945/46	242	631	873
14/15	367	425	792								

	Mittelwerte 1899/1900—1945/46 (47 Jahre).												Winter Nov.-April	Sommer Mai-Okt.	Jahr Nov.-Okt.
	Nov. mm	Dez. mm	Jan. mm	Feb. mm	März mm	Apr. mm	Mai mm	Juni mm	Juli mm	Aug. mm	Sept. mm	Okt. mm	mm	mm	mm
	74	60	39	45	64	64	81	86	105	**113**	87	88	346	554	900
Max.	**245**	190	*151*	196	183	173	188	188	175	230	213	225	**751**	**724**	**1449**
Jahr	1934	1916	1919	1935	1916	1920	1926	1936	1939	1905	1918	1928	1919/20	1905	1919/20
Min.	*1*	7	3	3	8	5	12	19	**30**	22	11	9	*99*	*303*	526
Jahr	1924	1921	1908 1911	1932	1929	1938	1929	1925	1911	1940	1912	1915	1943/44	1906	1920/21
Diff.	**244**	183	147	193	175	168	176	169	*145*	208	202	216	652	421	928

Tagesmaxima: **74** mm 6. Oktober 1911, **79** mm 13. Dezember 1916, **85** mm 15. Mai 1926.

c) Prozentische Verteilung des Niederschlages auf die Jahreszeiten (1881—1900):

Tabelle 11

	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
Sils-Maria	13,5	20,4	34,1	32,0
Bevers	12,9	17,7	37,2	32,1

d) Anzahl der Tage ≥ 0,3 mm Niederschlag (1864—1900) auf die Monate verteilt:

Tabelle 12

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Sils-Maria 1811 m	6,1	*5,1*	7,9	9,5	11,8	11,6	**12,8**	12,2	9,4	9,8	7,8	6,8	110,8
Bevers 1713 m	8,0	*7,1*	9,2	10,5	11,9	13,4	**14,3**	13,9	10,2	10,5	9,1	9,3	127,4

e) Anzahl der Tage mit Schneefall für den Zeitraum 1881—1900:

Tabelle 13

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Sils-Maria 1811 m	7,0	6,0	8,2	**9,2**	5,0	1,2	*0,3*	0,6	2,2	5,2	6,5	6,8	58,2
Bevers 1713 m	8,0	7,4	8,3	**9,2**	3,9	1,7	*0,5*	0,7	1,9	5,6	7,2	9,2	63,6

f) Die Schneeverhältnisse im Oberengadin im allgemeinen.

α) *Schneechronik.*

Aus der Beverser Chronik von *Giorgio Planta* † 1876.

1818/19 war ein sehr milder Winter, an Weihnachten spielte man mit Kegeln in der Au noch im Freien, der erste Schnee kam erst Mitte Januar 1819.

1859 war in Italien mehr Schnee als im Engadin, wo es sehr kalt war.

1863 infolge ungeheuren Schneefalls war der Verkehr mit Chur acht Tage lang unterbrochen. Viele Lawinen im Frühling.

1874 sehr milder Winter, am 25. März im Wagen nach Maloja gefahren.

1875 schneereicher Winter, in drei Tagen fielen mehr als sechs Fuß Schnee. Auf Albula mehrere Unglücksfälle wegen Lawinen.

β) *Mittlere Niederschlagshöhen aus Schnee.*

Ueber die mittleren Niederschlagshöhen aus Schnee im Engadin gibt uns die Schrift von *J. Maurer:* «Temporäre Schneegrenze und mittlere Schmelzwasserhöhen im schweizerischen Alpengebiet nach neueren Erhebungen»[1]) wertvolle Auskunft.

[1]) Meteorologische Zeitschrift, Heft 12, 1909, S. 539—546.

Mittlere Niederschlagshöhen aus Schnee. 1886—1905. Sils-Maria, 1814 m ü. M.

Schmelzwasserhöhen in mm: Tabelle 14

Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Insgesamt
7	14	34	56	53	47	46	69	52	36	10	3	427
In Prozenten der gesamten Niederschlagsmenge:												
6	12	31	71	98	96	100	96	76	43	10	3	42

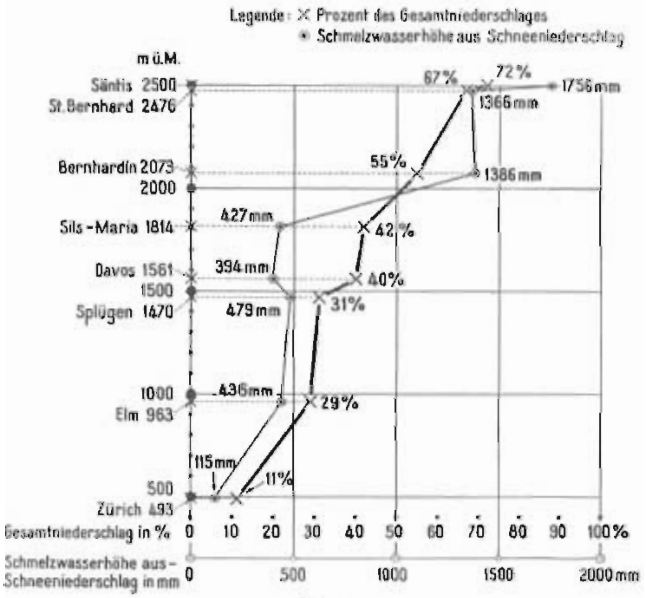


Fig. 8.

Berechnet man aus den vorhandenen direkten und gleichzeitigen Messungen der Höhe des *frisch* gefallenen Schnees — letztere einfach summiert — die mittlere Totalhöhe der Schneeschicht des Jahres für dieselbe Periode 1886—1905, so ergeben sich folgende Werte in den Gebirgslagen:

Mittlere Totalhöhe der Schneeschicht im Jahr in cm.

Elm	*Davos* (1896—1905)	**Sils-Maria**	*Bernhardin*
410	569	**408**	955

Verglichen mit den oben gegebenen Schmelzwasserhöhen resultieren daraus spezifische Wasserwerte (Wassergehalt des Schnees, d. h. wieviel Millimeter Schmelzwasser man aus 1 cm Schneehöhe erhält, die innerhalb den weiten Grenzen von 0,7 (Davos) und 1,5 (Bernhardin) schwanken.

γ) *Zusammenhang zwischen Höhenlage und Schmelzwasserhöhe aus Schneeniederschlag.* (Vgl. Fig. 8.)

Die Zunahme der Schmelzwasserhöhe des Schnees mit wachsender Höhe geht für Zürich, Elm, Bernhardin und Säntis, d. h. für Stationen, die den Niederschlag bringenden Winden offen liegen, mit bemerkenswerter Regelmäßigkeit vonstatten. Die mehr kontinentalen Charakter tragenden Stationen in Hochtälern, wie Davos und Sils-Maria, weisen wesentlich kleinere Werte auf. In Prozenten der gesamten Niederschlagsmenge ausgedrückt, geht sie verhältnismäßig regelmäßig vor sich.

δ) *Polarschnee*

tritt im Oberengadin nur selten und nur bei sehr tiefen Temperaturen auf. Es handelt sich dabei um sehr einfache Kristallgebilde. *Ed. Campell* hat im Dezember 1946, der Verfasser am 29. Dezember 1947 solchen beobachtet.

ε) *Die Schneegrenze des Oberengadins.*

In meinen Arbeiten «Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge»[1]) und «Davosersee»[2]) habe ich über die Höhengrenzen (Wald und Schnee) in der Schweiz schon eingehend berichtet. Ich darf mich deshalb kurz fassen. Aus den bisherigen Untersuchungen von *H. B. de Saussure, Ed. Brückner, Ludwig Kurowski, H. Christ, E. Imhof, J. Jegerlehner, A. de Quervain, Carl Schröter* geht hervor, daß die höchsten Grenzen nicht am Südrand der Alpen zu suchen sind, sondern in den höchsten Massenerhebungen der zentralen Teile der Alpen. Vor allem sind es die oberen Teile der großen Seitentäler, die dem Rhonetal von der Monte-Rosa-Gruppe, dem Aaretal von der Finsteraarhorn-Gruppe und, wie wir sehen werden, dem Inntale von der Bernina-Gruppe zukommen.

Im Gebiete des Monte Rosa liegt die Schneegrenze auf 3200 m, im Gebiete des Finsteraarhorns auf 2950 m und in der *Berninagruppe im Engadin auf 2960 m.*

Der Parallelismus mit den Linien gleicher Waldgrenzen ist bekannt und bedarf keiner weiteren Erörterung. Einige charakteristische Werte mögen die Stellung des Engadins im Verein mit den markantesten Massenerhebungen in den Alpen kennzeichnen:

Säntisgruppe	2450 m	Gotthardgruppe	2700 m
Titlisgruppe	2610 m	Monte-Rosa-Gruppe	3200 m
Finsteraarhorngruppe . . .	2950 m	Surettagruppe	2760 m
Tödigruppe	2710 m	Silvrettagruppe	2900 m
Sardonagruppe	2630 m	*Berninagruppe*	*2960 m*

Der absolute Höhenunterschied zwischen den Außenketten und den Massenzentren beträgt 700—800 m.

Ein Vergleich der vorstehenden Höhenwerte lehrt, daß die Schneegrenze im Engadin, wie die Waldgrenze, eine dominierende Stellung in den Alpen einnimmt.

g) Niederschlag und Kontinentalität im Engadin.

(Beziehung der Jahressumme der Niederschläge zur Meereshöhe als Ausdruck für die Wärme.)

α) *Kontinentalität.*

In dieser Frage stütze ich mich auf die Einteilung von *Helmut Gams*[3]). *Gams* unterscheidet 5 Kontinentalitätszonen, an die ich mich in der Klassifikation meiner Forschungsgebiete halten werde. Ueber den Begriff *Kontinentalität* habe ich schon in meiner Davoserarbeit[4]) berichtet. Ich resümiere kurz: Mit zunehmendem Winkel

[1]) *Lütschg Otto:* Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Verbandsschrift Nr. 14 des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes. Zürich 1926.

[2]) *Lütschg-Loetscher O.:* Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. II. Band, III. Teil — Forschungsgebiet Nr 7 Davoser See, S. 36—44. Zürich 1944.

[3]) *Gams Helmut:* Das ozeanische Element in der Flora der Alpen. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen, III, München 1931, S. 7 u. ff.

[4]) *Lütschg O.:* Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. Band II, III. Teil, S. 101 u. ff.

$(\text{tg } w = \left(\frac{\text{Jahressumme der Niederschläge in mm}}{\text{Meereshöhe in m}}\right)$ nimmt die Kontinentalität zu (Zunahme des Landklimas), oder was dasselbe bedeutet, die Ozeanität nimmt ab (Abnahme des Seeklimas).

Diese fünf, in der Folge kurz charakterisierten Zonen bringen nicht nur in floristischer, sondern auch in manch hydrologischer Beziehung Ordnung in diese Frage.

Zone I. Mit einer Kontinentalität unter 10° und seltener Frostwirkung (Januarmittel der Schattentemperatur über 2°).

Diese Zone ist heute ausschließlich am Alpensüdfuß entwickelt. Besonders bezeichnend ist das Vorkommen immergrünen Eichen- und Lorbeergehölzes.

Zone II. Mit einer Kontinentalität von 10—25° und nur geringen Frostwirkungen (Januarmittel der Schattentemperatur um 0°).

Diese Zone teilt mit der Zone I das reichliche Vorkommnen der Stechpalme und den häufigen Anbau der Edelkastanie, mit der folgenden die ausgedehnten Buchen- und Tannenwälder. Unter 20° gehört dazu die Schweizer Föhnregion um die Walen-, Zürich-, Zuger- und Vierwaldstätter-Seen und um das Ost- und Südufer des Léman. Sie umfaßt die ganzen Alpen, jedoch mit einigen Unterbrechungen (in der Schweiz im Thur- und Aaregebiet).

Zone III mit einer Kontinentalität von 25—45°, d. h. bis zu derjenigen Linie, wo die Niederschlagshöhe in Millimeter gleich der Meereshöhe in Metern ist. Diese Linie schneidet fast alle größeren Alpentäler, sie ist eine der wichtigsten Vegetationsscheidelinien: Bis zu ihr reicht die spätfrostempfindliche Buche (große Buchenbestände, sowohl hochstämmige wie auch strauchförmige, gehen dagegen nur wenig über die III. Zone hinaus), die hier hart den Bereich der frostharten und frostbedürftigen Zirbe berührt.

Zone IV mit einer Kontinentalität von 45—60°, zieht sich vom Wechsel in Niederösterreich durch die ganzen Zentralalpen bis in die Seealpen. Es ist die Zone der allgemeinen Verbreitung der Waldföhren-, Lärchen- und Zirbenwälder und der letzten ozeanischen Einstrahlungen.

Zone V mit einer Kontinentalität über 60°, die fast alle ozeanischen Arten ausschließt, ist in den Ostalpen, ausschließlich vom Silltal, durch die Stubaier, Oetztaler und Engadiner Alpen bis zur Ortler- und Berninagruppe vertreten, in den Westalpen nur südlich der Rhone in den Penninischen, Grajischen und Gottischen Alpen. Es ist die Zone der größten Gletschergebiete, der am höchsten steigenden Wälder und Felder und der bestentwickelten Alpensteppen.

β) *Mittlere Niederschlagshöhen und zugehörige Kontinentalitätsgrade der Bergeller- und Engadiner Stationen. Extremwerte. Periode 1901 bis 1940.*

Die nachfolgende Zusammenstellung umfaßt die mittleren Niederschlagshöhen, die Kontinentalitätsgrade der Bergeller- und Engadiner Stationen, sowie die Werte der Extremstationen der Schweiz: *Grächen* und *Brissago*, bezogen auf die Jahresreihe *1901 bis 1940*.

Tabelle 15

Gebiet	Station	Niederschlag 1901/40	Höhe	Kontinentalität	Ozeanität
		mm	m ü. M.	Grad	Grad
Bergell (Graubünden)	Castasegna	1433	*700*	*26° 02'*	**63° 58'**
	Soglio	1394	1090	38° 01'	51° 59'
	Vicosoprano	**1489**	1087	36° 08'	53° 52'
	Maloja	1363	**1880**	54° 03'	35° 57'
Oberengadin	Sils-Maria	1037	1814	60° 15'	29° 45'
	Pontresina	815	1805	**65° 42'**	*24° 18'*
	St. Moritz	935	1853	63° 14'	26° 46'
	Bevers	879	1711	62° 49'	27° 11'
	Zernez	*671*	1476	65° 33'	24° 27'
Unterengadin	Süs	813	1440	60° 33'	29° 27'
	Schuls-Remüs	707	1253	60° 34'	29° 26'
	Martinsbruck	685	1040	56° 38'	33° 22'
Extremstationen					
Vispertal (Wallis)	Grächen	*562*	**1629**	**70° 58'**	*19° 02'*
Langensee (Tessin)	Brissago	**2129**	*210*	*5° 38'*	**84° 22'**

III. Hydrologisches.

A. Morphometrische Werte der Oberengadiner Seen. [1])

Das Engadin bildet den obersten Abschnitt des südwestlich–nordöstlich streichenden Längstalzuges des Inns.

Die von Südwesten als hohe Stufe erscheinende Talwasserscheide von Maloja trennt das Bergell vom Inntal. Der Inn entwässert, von seiner Quelle im Lago di Lunghino an bis zur Landesgrenze unterhalb Martinsbruck, bei einer Länge von 104 km ein Gebiet von 2150 km², wovon fünf Sechstel zur Schweiz gehören, was einem Viertel der Gesamtfläche Graubündens entspricht.

Das Oberengadin ist ein breites, lichtes Tal. Der obere, südwestliche Teil des Haupttales erstreckt sich vom Malojapaß bis zum Ausfluß des St. Moritzer Sees und neigt sich auf einer Länge von 17 km um nur 44 m.

Den Hauptschmuck des Tales, das Auge der Landschaft, aber bildet die Reihe der spiegelnden Seen: der Silser und Silvaplaner See, der See von Campfèr, der St. Moritzer und Statzer See. Der gepflegte Wald um den Statzer und gegen den St. Moritzer See steht auf Rundhöcker-, Moränen- und Schottergelände. Die Riegelformen und Rundhöcker am See von Campfèr, die Inseln und Halbinseln im Silser See, ungezählte

[1]) Nach den bathymetrischen Aufnahmen von J. Hörnlimann und L. v. Albmen, 1892.

Rundhöcker und Terrassen zeugen von den Gletschern der Eiszeit, ebenso oben die zwischen schroffen Gräten und Spitzen liegenden, breiten, einst gletschererfüllten Nischen und Kare. Im Hintergrunde ragen mit heute noch zauberhaft großen Gletschern die Prachtgestalten drei- bis viertausend Meter hoher Berge aus kristallinen Gesteinen empor.

Wenden wir uns nun der Betrachtung der gegenwärtigen morphometrischen Werte jener fünf oberengadinischen Seen zu! (Vgl. Fig. 9 bis 11.)

Die *Seeflächen* betragen 422,2 ha für den Silser See, 269,4 ha beim Silvaplaner See, 56,5 ha beim See von Campfèr (wovon 24,0 ha auf dessen oberes und 32,5 ha auf sein unteres Becken entfallen), 78,9 ha beim St. Moritzer See und 4,7 ha beim kleinen Statzer See.

Die entsprechenden *Längen der Uferlinien* betragen 14615, 8140, 4400, 4285 und 875 m. Trotz seiner größern Fläche hat der St. Moritzer See eine kürzere Uferlinie als der See von Campfèr, weil hier ein Riegel den See in zwei Becken teilt.

Wir möchten nun die Längen, Breiten und Tiefen dieser fünf Seen angeben. Doch ist dies nicht ganz einfach. Die Länge kann ausgedrückt werden durch die Länge der Luftlinie, die die beiden entferntesten Punkte des Sees miteinander verbindet, oder aber durch die Länge der Achse des Sees, die mannigfach gekrümmt ist. Anderseits kann für die Breite des Sees eine mittlere und eine größte Breite angegeben werden, und ebenso können für die Tiefe des Sees ein mittlerer und ein maximaler Wert gefunden werden.

Die «*wahre Länge des Sees*», der Seeachse entlang gemessen, beträgt für den Silser See 5340 m, für den Silvaplaner See 3480, für den See von Campfèr 1900, für den St. Moritzer See 1750 und für den Statzer See 330 m. Die Länge der Luftlinie von einem See-Ende zum andern findet man um 8, 10, 19, 5 und 1,5 Prozent kürzer als diese Werte.

Die *größte Breite* des Silser Sees mißt 1370 m, die des Silvaplaner Sees 1280, die des Sees von Campfèr 480, die des St. Moritzer Sees 580 und die des Statzer Sees 220 m. Die mittleren Breiten sind um 42, 40, 38, 22 und 35 Prozent geringer. Während der Silser See die größten Schwankungen in der Breite zeigt, ist der St. Moritzer See fast überall gleich breit.

Die *größte Tiefe* aller Seen erreicht der Silvaplaner See mit 77,5 m. Der Silser See kommt nur auf 70,8 m Tiefe. Ebenso übertrifft der Silvaplaner See den Silser See an mittlerer Tiefe; denn er hat 47,5 m und der Silser See nur 32,4. Am wenigsten tief ist der kleine Statzer See; er hat 5,3 m größte und 2,9 m mittlere Tiefe. Der St. Moritzer See ist tiefer als der See von Campfèr (44 gegenüber 34 m größte Tiefe und 26 gegenüber 16 m mittlerer Tiefe). Die mittleren Tiefen sind berechnet aus dem Seevolumen, dividiert durch die Seefläche.

Die *Seevolumina* in Millionen Kubikmetern betragen: für den Silser See 136,9, für den Silvaplaner See 127,8, für den See von Campfèr am oberen Becken 2,4 und im untern 6,6, zusammen also 9, für den St. Moritzer See 20,6 und für den Statzer See 0,138. Die weitaus größten Wassermassen bergen also der Silser und der Silvaplaner See. Der St. Moritzer See hat mehr als 6mal weniger Wasser, der ganze See von Campfèr wieder weniger als die Hälfte vom St. Moritzer See, und der Statzer See ist noch 65mal kleiner als der See von Campfèr.

Die *mittlere Böschung* ist am steilsten beim St. Moritzer See, am wenigsten steil beim Statzer See und beim obern Becken des Sees von Campfèr. Dessen unteres Bekken, der Silser und Silvaplaner See folgen hier dem Range nach dem St. Moritzer See.

Zusammenfassend läßt sich sagen: Der oberste, der Silser See, ist der größte: er ist lang und hat eine reich gegliederte Uferlinie. Der zweite, der Silvaplaner See, ist kürzer, aber tiefer und enthält daher trotz viel geringerer Seefläche fast ebensoviel Wasser. Der dritte, der See von Campfèr, ist viel kleiner; sein oberes Becken ist klein und flach, das untere größer und tiefer. Der vierte, der St. Moritzer See, ist größer, zwar kürzer, aber ein wenig breiter und von gleichbleibender Breite, zudem besonders steil und im Verhältnis zur Fläche besonders tief. Der letzte, der Statzer See, ist dagegen ein winziges Schüsselchen. — Auf den langen, flachen Silser See folgt der kurze, tiefe Silvaplaner See, und dasselbe wiederholt sich in verkleinertem Maßstab mit dem See von Campfèr und dem St. Moritzer See.

Morphometrische Werte des Silser Sees,
basierend auf Kote 1800,1 m (alter Horizont) des Seespiegels. Tabelle 16

Fläche des Sees (G)	4,222 km²
Wahre Länge des Sees [1]	5340 m
Länge der Luftlinie [2]	4890 m
Länge der Uferlinie (λ)	14615 m
Maximale Breite	1378 m
Mittlere Breite	791 m
Maximale Tiefe	70,8 m
Mittlere Tiefe $(\frac{V}{G})$	32,4 m
Volumen des Sees (V)	136,942 Mio m³
Uferentwicklung $\left(U = \frac{\lambda}{2\sqrt{G \cdot \pi}}\right)$	2,01
$\frac{\text{Mittlere Tiefe}}{\text{Maximale Tiefe}}$	0,46
Mittlere Böschung $\left(B = \frac{100\ h}{G} \cdot L\right)$	20,7 %
Aequidistanz der Isobathen (h)	10 m (z. T. 5 m)
Summe der Isobathenlängen (L)	92 010 m
Anzahl der Lotpunkte	505

[1]) Entlang der Achse des Sees gemessene und sämtl. Krümmungen dieser Achse berücksichtigende Länge.
[2]) Länge der Luftlinie, die die beiden entferntesten Punkte des Sees miteinander verbindet.

Morphometrische Werte des Silvaplaner Sees und des Sees von Campfèr,
basierend auf Kote 1794,1 m (alter Horizont) des Seespiegels. Tabelle 17

	Silvaplaner See	See von Campfèr		
		Oberes Becken	Unteres Becken	Ganzer See
Fläche des Sees	2,694 km²	0,240 km²	0,325 km²	0,565 km²
Wahre Länge des Sees	3480 m	850 m	1050 m	1900 m
Länge der Luftlinie	3130 m	775 m	920 m	1540 m
Länge der Uferlinie	8140 m	2040 m	2360 m	4400 m
Maximale Breite	1280 m	450 m	480 m	480 m
Mittlere Breite	774 m	283 m	309 m	298 m
Maximale Tiefe	77,5 m	16,7 m	34,6 m	34,9 m
Mittlere Tiefe	47,5 m	16,0 m	20,3 m	16,9 m
Volumen des Sees	127,857 Mio m³	2,414 Mio m³	6,604 Mio m³	9,018 Mio m³
Uferentwicklung	1,40	1,17	1,17	—
$\frac{\text{Mittlere Tiefe}}{\text{Maximale Tiefe}}$	0,61	0,60	0,60	0,47
Mittlere Böschung	20,4 %	13,6 %	22,9 %	18,2 %
Aequidistanz der Isobathen	10 m	5 m	10 u. 5 m	10 u. 5 m
Summe der Isobathenlängen	55 080 m	6540 m	9315 m	15 855 m
Anzahl der Lotpunkte	299	—	—	171

Bathymetrische Karte des Silser Sees.

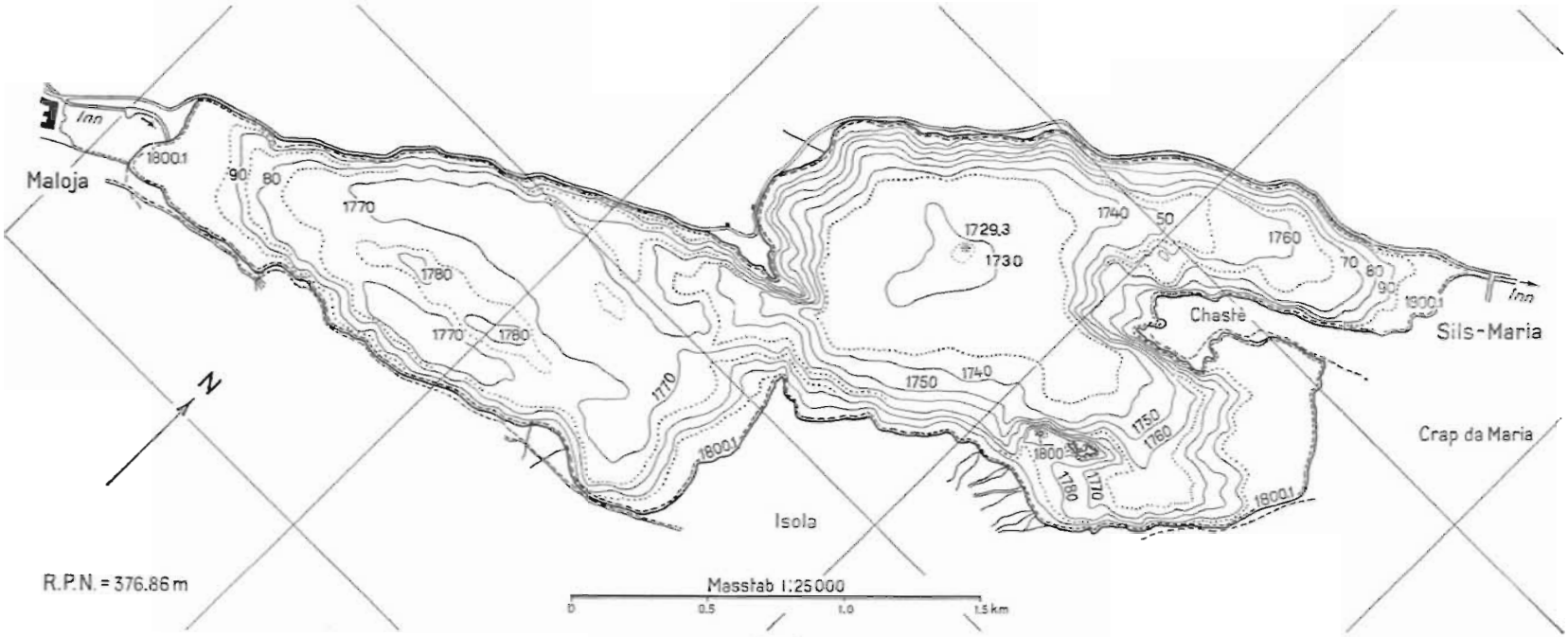


Fig. 9.

Originalmaßstab der Karten des Oberengadins = 1 : 25 000.

Aufnahme der Eidg. Landestopographie von J. Hörnlimann und L. v. Allmen vom 13. bis 23. August 1892.

Bathymetrische Karten der Seen von Silvaplana und Campfèr.

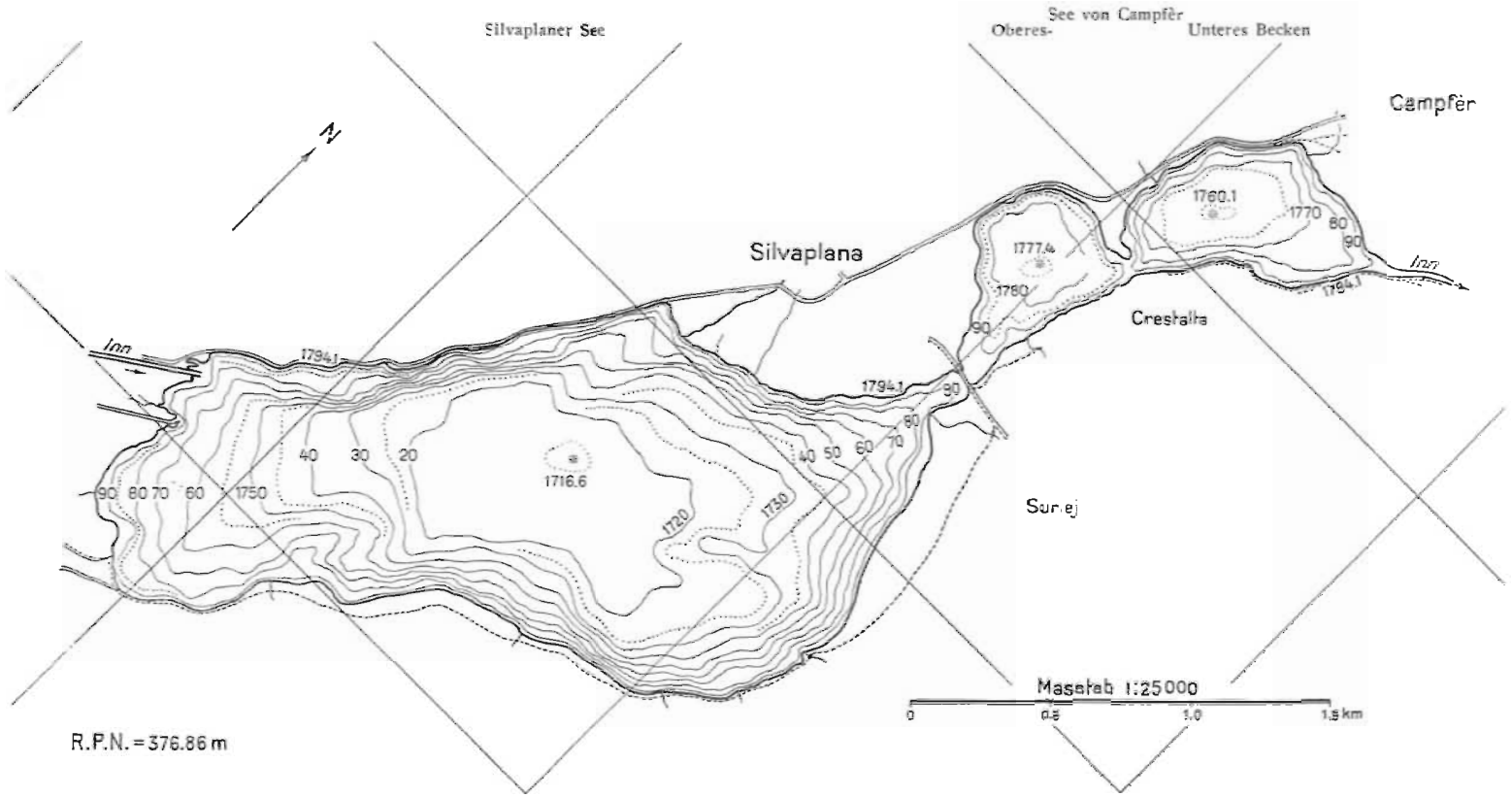


Fig. 10. Aufnahme der Eidg. Landestopographie vom 27. Aug. bis 7. Sept. 1892

Bathymetrische Karten des St. Moritzer Sees und Statzer Sees.

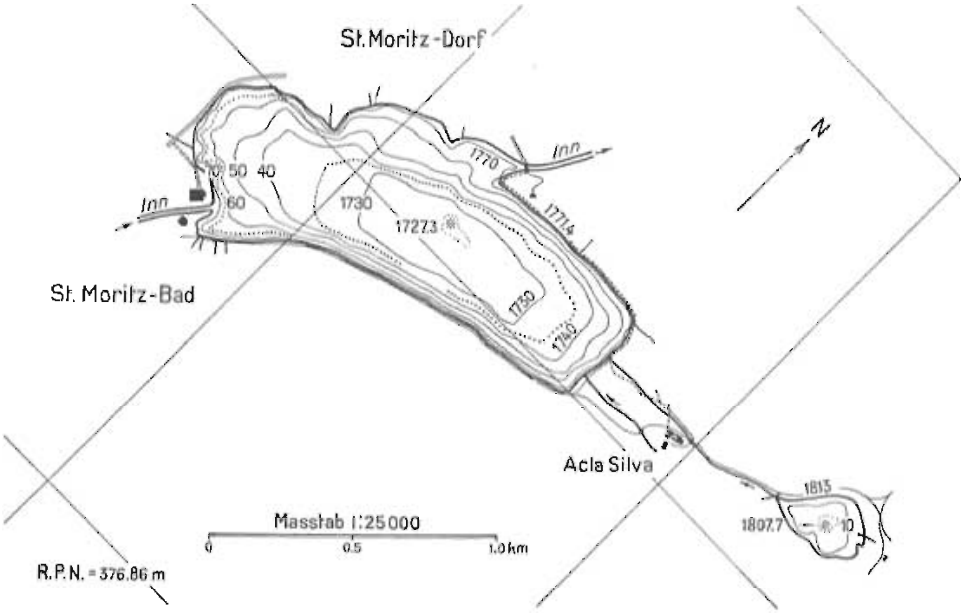


Fig. 11.

Aufnahme der Eidg. Landestopographie vom 13. bis 15. September 1892.

Morphometrische Werte, basierend auf den Koten **1771,4 m** für den St. Moritzer See und **1813 m** (alter Horizont) für den Statzer See.

Tabelle 18

	St. Moritzer See	Statzer See
Fläche des Sees	0,789 km²	0,047 km²
Wahre Länge des Sees	1750 m	330 m
Länge der Luftlinie	1660 m	325 m
Länge der Uferlinie	4285 m	875 m
Maximale Breite	580 m	220 m
Mittlere Breite	451 m	143 m
Maximale Tiefe	44,1 m	5,3 m
Mittlere Tiefe	26,1 m	2,9 m
Volumen des Sees	20,608 Mio m³	0,138 Mio m³
Uferentwicklung	1,36	1,14
Mittlere Tiefe / Maximale Tiefe	0,59	0,55
Mittlere Böschung	25,5 %	9,4 %
Aequidistanz der Isobathen	10 m (z. T. 5 m)	3 m
Summe der Isobathenlängen	22 400 m	1480 m
Anzahl der Lotpunkte	170	—

B. Der Wasserhaushalt des St. Moritzer Sees.

1. Allgemeines.

Der St. Moritzer See wird seit dem Jahre 1891 durch das Elektrizitätswerk der Gemeinde St. Moritz (E. W. St. M.) als Tagesspeicherbecken ausgenützt, seine Wasserstände sind deshalb künstlich beeinflußt.

Im Jahresablauf betrachtet weisen die Wasserstände einen jedes Jahr wiederkehrenden charakteristischen Verlauf auf.

Sommer: Vom Beginn der Schneeschmelze (ca. Ende April) bis zum Abklingen der Sommerwasserführung des Inns (ca. Anfang Oktober) wird der Seespiegel durch ein automatisches Dachwehr am Innausfluß bei Punt da Piz auf die normale Kote 1768.03 m ü. M. konstant reguliert.

Winter: Von Ende Oktober bis zur Schneeschmelze im April wird das automatische Dachwehr in seiner höchsten Lage blockiert, die Staukote wird durch Balkenaufbauten um ca. 20 cm erhöht. Dieser erhöhte Wasserstand bleibt bis zum Saisonbeginn ca. Mitte Dezember bestehen, um dann über die Feiertage Weihnacht—Neujahr auf den Normalstand 1768 m ü. M. abgebaut zu werden.

Während der Wintersaisonmonate Januar bis Ende März schwankt der Wasserspiegel im Tagesablauf ca. ± 5 cm, d. h. am Tag wird der See nur um ca. 5 cm abgesenkt, in der Nacht durch den Zufluß des Inns wieder um ca. denselben Betrag aufgestaut.

Erst nach Saisonende ca. 1 Monat vor der Schneeschmelze wird die konzessionsmäßig zugelassene Absenkung um höchstens 1 m, d. h. auf Kote 1767 m ü. M., innerhalb eines Monates stetig vorgenommen.

Nach Eintritt der Schneeschmelze ist der See in der Regel gegen Mitte Mai wieder aufgefüllt.

2. Wasserstandsbewegung der Seen.

Ueber die Wasserstandsschwankungen der Silser, Silvaplaner und St. Moritzer Seen gibt die nachfolgende Zusammenstellung sowie die Fig. 12 und 13 für den Silser und Silvaplaner See einen Einblick.

Wasserstände, Engadiner Seen. Tabelle 19

Hydrographische Station	Pegelnullpunkt[1]	Tiefste Stände		Höchste Stände		Höhenunterschied	Langjähriges Mittel	
	m ü. M.	Datum	m	Datum	m	m	Jahresreihe	m
Silser See	1792,87	Febr., März 1942	3,53	23. Sept. 1920	4,58			
Sils		April 1943	3,39	25. Sept. 1927	**4,63**	1,34	1900—1945	3,89
		März, Apr. 1944	3,29	6. Aug. 1939	4,43			
Silvaplaner See	1786,33	19./20. März 1908	3,63	17. Juni 1901	5,20			
		28./31. Jan. 1922	3,67	25. Sept. 1927	**5,27**	1,64	1928—1945	4,22
Silvaplana		20./28. Jan. 1923	3,66	5. Okt. 1935	5,08			
St. Moritzer See	1763,76	18. April 1940	3,34	2. Dez. 1935	4,53			
		April 1942	3,33	21./22. Nov. 1939	4,57	1,28	1907—1945	4,18
St. Moritz		22. April 1944	3,34	19. Nov. 1940	**4,61**			

[1] Die Koten beziehen sich auf den neuen Nivellementshorizont: R. P. N. = 373.60 m.

Langjährige Mittelwerte der Seestände und ihre Höhenunterschiede:

	m ü. M.	m
Silser See	1796,67	6,12
Silvaplaner See	1790,55	22,61
St. Moritzer See	1767,94	

Ueber weitere Wasserstands-Ergebnisse am Silser und Silvaplaner See und deren Wasserführung verweisen wir auf das Gutachten über die Silser See-Wasserwerkanlage.[1])

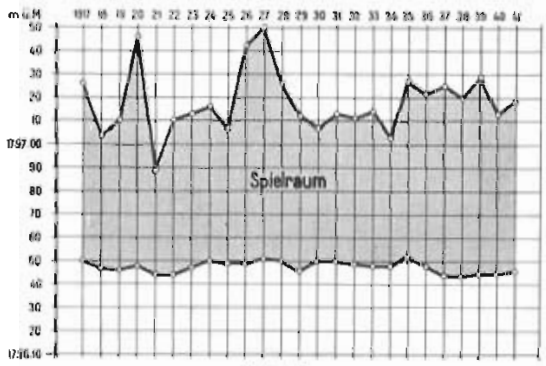


Fig. 12.
Höchste und tiefste Wasserstände und deren Spielraum des Silser Sees, 1917—1941.

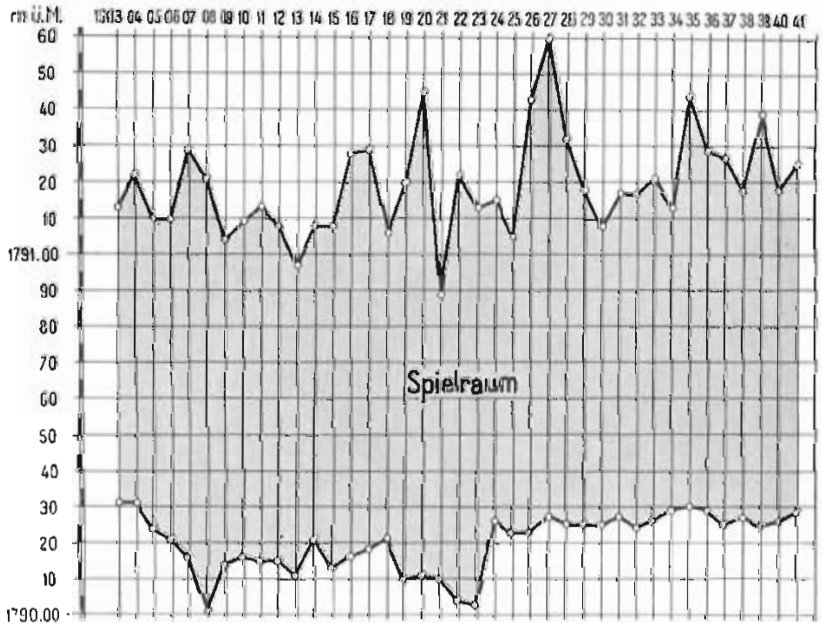


Fig. 13.
Höchste und tiefste Wasserstände und deren Spielraum des Silvaplaner Sees, 1903—1941.

[1]) *Heim A., Cardinaux G. J., Epper J., Lichtenhahn E.* und *Peter H.*, Gutachten zu den Bau- und Forstdepartement des Kt. Graubünden, Chur, 1910.

3. Zuflüsse des St. Moritzer Sees: *Inn, St. Moritz-Bad.*

Der Hauptzufluß des St. Moritzer Sees wird gebildet durch den in St. Moritz-Bad einmündenden Inn. Ungefähr 1 km von der Einmündungsstelle aufwärts befindet sich die Limnigraphen- und Abflußstation des *Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft.* Ihre Ergebnisse werden in den Jahrbüchern dieses Amtes veröffentlicht; nachstehend folgt nur eine kurze Zusammenfassung.

Inn, St. Moritz-Bad, Einzugsgebiet = 155,3 km². Periode 1907—1941 (35 Jahre).

Mittlere monatliche und jahreszeitliche Abflußmengen in m³/sec und l/sec/km², sowie Extremwerte, Periode 1907—1941.

Tabelle 20

	Winter							Sommer					Winter X-IV 7 Mon.	Sommer V-IX 5 Mon.	Jahr X-IX	Maximum (Spitze)	Minimum (Tagesmittel)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX					
m³/sec	4,95	3,21	1,66	1,18	0,93	1,04	2,12	8,97	15,9	15,1	11,5	7,75	2,16	11,84	6,21	70 23. IX. 1920	0,23 II. u. III. 1909
l/sec/km²	31,9	20,6	10,7	7,60	5,99	6,70	13,7	57,7	102	97,2	74,1	49,9	13,88	76,18	39,99		

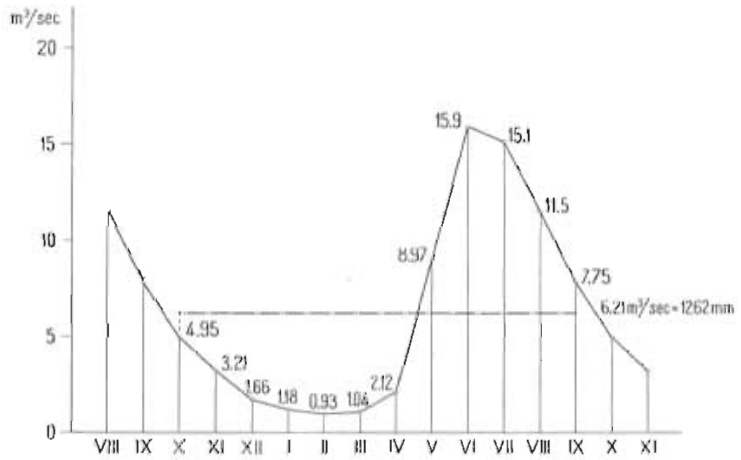


Fig. 14.

Mittlere Monats- und Jahresabflußmengen in m³/sec
Inn, St. Moritz-Bad, 1907—1941.[1])

	Mittlere Abflußhöhe mm	Total Mill. m³
Winterperiode 1. Oktober—30. April (7 Monate) . . .	255	39,5
Sommerperiode 1. Mai—30. September (5 Monate) . . .	1007	156,5
Jahr 1. Oktober—30. September (12 Monate)	1262	196,0

[1]) Die mittlere Wasserführung des Inns, St. Moritz-Bad, betrug, während der Zeit vom 1. Dezember 1944 bis 31. März 1945: 1,63 m³/sec (unter Einfluß der provisorischen Nutzung des Silser und Silvaplaner Sees); (1,37) gegenüber 1,20 m³/sec als Mittelwert der langjährigen Beobachtungsperiode 1907 bis 1941.

C. Die Abflußverhältnisse des Inns bei St. Moritz-Bad und bei der Straßenbrücke in Martinsbruck.

Die Frage des Abflußregimes des Quellgebietes des Inns bei St. Moritz-Bad kann am deutlichsten beantwortet werden, wenn wir die Wasserverhältnisse des Inns gleich von Anfang an mit denjenigen des Inns im Unterengadin bei Martinsbruck in Vergleich bringen. Diese Beziehungen suchen wir zu klären, indem wir Fälle herausgreifen, die für die eine oder die andere, oder für beide Stationen besonders charakteristisch sind, oder die das Zusammenwirken verschiedener Ursachen dokumentieren.

Tabelle 21 bringt die Flächeninhalte der Einzugsgebiete des Inns: a) von den Quellen bis zum Ausfluß des St. Moritzer Sees und b) bis zur Straßenbrücke von Martinsbruck[1]) zur Darstellung.

Tabelle 22 gibt Auskunft über die Abflußmengen und Abflußspenden des Inns und ihrer charakteristischen Werte für die nämlichen Stationen.

Das Einzugsgebiet der *Wassermeßstation St. Moritz-Bad* umfaßt *155,27 km²*, liegt also ziemlich genau zwischen den Sammelgebieten des Inns bis und mit der Ova Suvretta St. Moritz (151,90 km²) und dem Inn bis zum St. Moritzer See (158,13 km²).

Aus Gründen der Raumersparnis beschränke ich mich auf einige wenige Merkmale und muß es dem Leser überlassen, an Hand der Tabellenwerte weitere Eigentümlichkeiten herauszuschälen.

Diagramm 15 gibt uns einen Einblick in den Monatsgang der mittleren Abflußspenden des Inns, St. Moritz-Bad (1907—1945) und Martinsbruck (1904—1945), der mittleren Lufttemperaturen und der mittleren Niederschlagssummen von Sils-Maria (erstere von 1918/19—1927/28 und 1932/33—1941/42, letztere von 1864—1903).

Merkmale.

1. Der Gang der mittleren Monatsabflußspenden der beiden Stationen ist ein harmonischer. Minimum im Februar, Maximum im Juni. Mit dem Anstieg der Temperatur über Null Grad im April folgt auch das erste kräftigere Wachsen des Abflusses. Der gleichzeitige Rückgang der Abflußspenden im Monat Juli bei beiden Stationen erfolgt vor dem Maximum der Temperatur (August), weil der größere Teil der Schneereserven bereits geschmolzen ist und der Ablationsbetrag der relativ kleinen Gletscherflächen den fehlenden Schmelzertrag nicht auszugleichen vermag.

2. Die winterlichen Abflußspenden des Inns, St. Moritz-Bad der Monate Januar (0,23), Februar (0,84) und März (0,51) sind nur wenig kleiner als die von Martinsbruck.

Ursachen.

a) Das Meßprofil St. Moritz-Bad erfaßt nicht die Gesamtabflußmenge des Gebietes (Teile des Grundwasserstromes fließen direkt dem St. Moritzer See zu).

b) Sein Einzugsgebiet ist stärker vergletschert (größere Retention).

c) Größere Seeretention.

[1]) Die Felsenschlucht bei der Martinsbrücke bildet das untere Ende des Engadins, die Grenze zwischen der Schweiz und Tirol.

Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete des Inns, St. Moritz und Martinsbruck und deren mittlere Höhen.

Tabelle 21

Ausfluß St. Moritzer See, 171,84 km²				Martinsbruck, 1944,76 km²			
Höhenstufengebiete von 300 zu 300 m	Flächeninhalt einzeln	Höhenlage	Flächeninhalt summiert	Höhenstufengebiete von 300 zu 300 m	Flächeninhalt einzeln	Höhenlage	Flächeninhalt summiert
m ü. M.	km²	m ü. M.	km²	m ü. M.	km²	m ü. M.	km²
—	—	3451	0,00	—	—	4049	0,00
3000—3451	9,71	3000	9,71	3000—4049	74,88	3000	74,88
2700—3000	32,02	2700	41,73	2700—3000	346,79	2700	421,67
2400—2700	42,40	2400	84,13	2400—2700	534,54	2400	956,21
2100 - 2400	35,20	2100	119,33	2100—2400	444,80	2100	1401,01
1800—2100	43,58	1800	162,91	1800 2100	321,42	1800	1722,43
1768—1800	8,93	1768	**171,84**	1500 - 1800	155,57	1500	1878,00
—	—	—	—	1200—1500	53,86	1200	1931,86
—	—	—	—	1030—1200	12,90	1030	**1944,76**
Höhendifferenz = 1768 m. *Mittlere Höhe = 2375 m ü. M.*				Höhendifferenz = 3019 m. *Mittlere Höhe = 2350 m ü. M.*			

Abflußmengen des Inns - St. Moritz-Bad — Periode 1907 bis 1945.

Einzugsgebiet: Fläche = 155,27 km² — Vergletscherung = 12,7 % Tabelle 22

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Monatsmittel	m³/sec .	1,20	0,97	1,06	2,13	8,70	15,2	14,6	11,4	7,79	4,89	3,22	1,65
	l/sec/km²	7,74	6,26	6,84	13,7	56,1	98,1	94,2	73,5	50,3	31,5	20,8	10,6
Abflußhöhe in mm . .		21	15	18	36	150	254	252	197	131	85	54	29
Maximum (Spitze)	m³/sec .	2,27	2,6	2,35	9,77	52,9	39,5	39,8	41	65-70	43-48	46,1	5,65
	Jahr . .	1917	1915	1920	1920	1920	1928	1916	1939	1920	1935	1936	1926
Minimum (Tagesmittel)	m³/sec .	0,32	0,23	0,23	0,53	1,18	3,71	6,27	6,20	2,13	0,63	0,46	0,39
	Jahr . .	1911u.1913	1909	1909	1909	1932	1933	1925	1915	1945	1915	1921	1921

Durchschnittliche Jahresabflußmenge der 39 Jahre = 6,10 m³/sec, oder = 39,4 l/sec/km² = 1243 mm
Größte mittlere „ „ 39 „ = 9,25 „ „ = 59,7 „ (1920) = 1888 mm
Kleinste mittlere „ „ 39 „ = 4,07 „ „ = 26,3 „ (1921) = 829 „

Abflußmengen des Inns — Martinsbruck — Periode 1904 bis 1945.

Einzugsgebiet = 1945 km² — Vergletscherung = 7,7 %

Monatsmittel	m³/sec .	15,5	13,8	14,3	26,5	89,7	150	133	98,8	65,7	41,6	28,3	18,6
	l/sec/km²	7,97	7,10	7,35	13,6	46,1	77,1	68,4	50,8	33,8	21,4	14,6	9,56
Abflußhöhe in mm . .		21	17	20	35	123	200	183	136	88	57	38	26
Maximum (Spitze)	m³/sec .	27	27,1	33,1	94,2	342	366	420-470	350-380	530	340-380	462	46,1
	Jahr . .	1940	1928	1920	1928	1924	1928	1940	1939	1920	1935	1926	1918
Minimum (Tagesmittel)	m³/sec .	10,7	10,2	9,60	9,88	14,7	37,7	54,3	42,9	22,3	17,4	14,8	11,9
	Jahr . .	1909u.1926	1922	1909	1909	1921	1921	1942	1904	1906	1936	1915	1925

Durchschnittliche Jahresabschlußmenge der 42 Jahre = 58,2 m³/sec, oder = 29,9 l/sec km² = 944 mm
Größte mittlere „ „ 42 „ = 77,0 „ „ = 39,6 „ (1920) = 1252 mm
Kleinste mittlere „ „ 42 „ = 42,4 „ „ = 21,8 „ (1909) = 687 „

Abflußspenden: Inn, St. Moritz-Bad	7,74	6,26	6,84	13,7	56,1	98,1	94,2	73,5	50,3	31,5	20,8	10,6
Abflußspenden: Inn, Martinsbruck	7,97	7,10	7,35	13,6	46,1	77,1	68,4	50,8	33,8	21,4	14,6	9,56
Differenz	− 0,23	−0,84	−0,51	+ 0,1	+10,0	+21,0	+ 25,8	+22,7	+16,5	+ 10,1	+ 6,2	+ 1,0

Durchschnittl. Jahresabflußspende . Abfluß St. Moritzer See = 39,4 l/sec/km²
Martinsbruck = 29,9 „
Differenz = + 9,5 „
Größte mittlere „ . Abfluß St. Moritzer See = 59,7 „ . — Martinsbruck = 39,6 l/sec/km²
Kleinste mittlere „ = 26,3 „ = 21,8 „
Differenz + 33,4 „ + 17,8 „

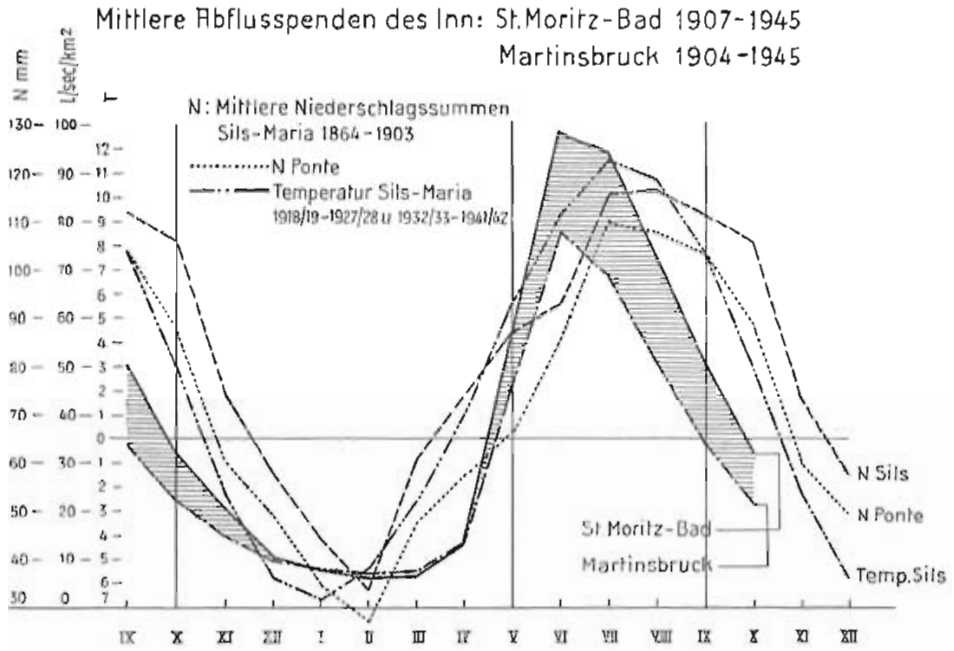


Fig. 15.

Bemerkenswert ist der ungleiche Verlauf der mittleren Monatssummen des Niederschlages der Stationen Sils-Maria und Ponte. Er ist ein guter Beleg der Veränderlichkeit des Niederschlages von Ort zu Ort.

d) Höhere Lage des Sammelgebietes (tiefere Temperaturen).

e) Das Einzugsgebiet des Inns, Martinsbruck, weist wesentlich größere Waldflächen und übrige Gebiete auf (vgl. Tabelle 21) als das des Inns, St. Moritz-Bad, was für eine größere Abflußspende spricht.

Für eine *Erhöhung* der Abflußspenden des Inns, St. Moritz-Bad gegenüber Martinsbruck, hingegen spricht der Einfluß der Schneemassen, die jeweilen auf die Eisdecken der Oberengadiner Seen von Sils, Silvaplana und Campfèr fallen und im Abfluß sofort zur Auswirkung gelangen. Offenbar überwiegen die unter 1 und 2 vermerkten Faktoren diesen Einfluß.

3. In den *Sommermonaten* nehmen die Abflußspenden von St. Moritz-Bad eine dominierende Stellung ein. Sie ist eine Folge der stärkeren Sommerregen, der größeren Ablationsbeträge (größere Vergletscherung) des vermehrten Aufbrauchs früherer Rücklagen als Folge des allgemeinen Rückganges der Gletscher, und des intensiveren Strahlungseffektes.

Das sommerliche Maximum fällt für beide Stationen in den Monat Juni (intensive Schneeschmelze im ganzen Gebiet mit Anteil Gletscherschmelze). Im Juli nur noch Schneeschmelze in den höheren Lagen, dagegen vermehrte Ablation, der Temperatur und der Größe der Vergletscherung der Gebiete entsprechend. Das Wasserzurückhaltevermögen der Seen darf auch als Ursache der erhöhten Abflußspende von St. Moritz-

Bad beigezogen werden. Es gelangt wohl deshalb nicht zum Ausdruck, weil solche Erscheinungen in den *Monats*mittelwerten meist untergehen. Die Abflußschwankungen solcher Phänomene gelangen wohl in den Tagesschwankungen zum Ausdruck, sie sind aber in ihrem Ausmaße doch zu bescheiden, um im vorliegenden Bilde in Erscheinung treten zu können.

In Wirklichkeit sind *alle* obengenannten Einflüsse an der Steigerung der sommerlichen Wasserführung des Inns, St. Moritz-Bad, beteiligt; es kommt nur auf das Maß an, ob bei Betrachtung der Einzelmonate diese oder jene Ursache vorwiegt.

Eine Abhebung des Gletscher- vom Schneemaximum als sekundäres Maximum, wie ich sie in meiner Arbeit über das stark vergletscherte Rhonegebiet zeigte[1]), gelangt in den Monatsmittelwerten für Martinsbruck gar nicht, für St. Moritz-Bad nur dann zum Ausdrucke, wenn wir die leichte Ausbuchtung im August, die sich im Verlauf der Kurve bemerkbar macht, diesem Einflusse zuzuschreiben berechtigt sind. Für eine solche Auseinanderhaltung sind die Monatsmittelwerte nicht geeignet. Hierzu müßten die Dekadenmittelwerte herbeigezogen werden.

Markant in Erscheinung tritt der Abfall der Kurve im Juli als Folge der großenteils bereits vollzogenen Schneeschmelze. Mit dem Ausklingen der Schneeschmelze setzt vom Juni an bis September, erst langsam, dann mit zunehmendem Aperwerden der Gletscherflächen rascher, die Ablation ein. Mit dem Steigen der Temperatur ergreift sie immer höhere Lagen; mit dem Fallen klingt auch sie langsam aus.

Auf einen wichtigen Punkt beim Vergleich der beiden Gebiete, der auch für eine Abnahme der Abflußspende von Martinsbruck spricht, soll noch im besonderen hingewiesen werden. Im Abschnitt Niederschläge, Tabelle 15, habe ich auf die starke Abnahme des Niederschlages von Maloja bis Martinsbruck (er geht auf die Hälfte zurück) und die damit in Verbindung stehende Zunahme der Kontinentalität aufmerksam gemacht. Der Grund liegt nicht nur in den kleineren Niederschlagsmengen selbst, sondern auch in den höheren Temperaturen, die die tieferen Lagen des Unterengadins kennzeichnen und in den damit in Verbindung stehenden größeren Werten der Landesverdunstung. Wohl ändert sich die Verdunstung von Gebiet zu Gebiet nur wenig, sie ist aber doch nur eine Halbinvariante und nimmt mit der Temperatur, also in tieferen Lagen zu. Infolgedessen wird von den starken Niederschlägen des St. Moritz-Gebietes weniger, von den geringeren des Unterengadins mehr Wasser durch die Verdunstung entfernt. Daß es sich dabei um recht ansehnliche Verdunstungsflächen handelt, geht aus der Tabelle 21, Seite 47, der Flächeninhalte deutlich hervor.

Eine Schwäche im ganzen Vergleichskomplex liegt in der Unsicherheit der Erfassung der unterirdischen Wassermengen (Grundwasser), die der Messung in den Innprofilen entzogen sind. Sie können nur auf dem Wege der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung einwandfrei bestimmt werden. Hierzu fehlt uns aber das engmaschige Niederschlags-Stationsnetz.[2])

---

[1]) *Lütschg O.:* Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Zweiter Teil. Der Abfluß im Walliser Rhonegebiet. III. Kap., S. 326 u. ff. Schweiz. Wasserwirtschaftsverband. Verbandsschrift Nr. 14, Zürich 1926.

[2]) Vgl. hierüber: *Lütschg O.:* Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß im Lichte der geologischen Forschung. Eclogae geologicae helvetiae. Vol. 38, Nr. 2, 1945. Basel 1946.

D. Ueber die Thermik des St. Moritzer Sees.

1. Allgemeines.

Diese Temperaturverhältnisse stehen vor allem mit dem Klima in Beziehung.

Die Schichtung des Wassers nach seiner Temperatur hängt natürlich mit dem Vorgang der Erwärmung und der Abkühlung zusammen. Ist die Temperatur *über* der des Dichtemaximums (4° C), so pflanzt sich die Erwärmung von der Oberfläche aus durch Leitung in die Tiefe fort. Kühlt sich dagegen das Wasser an der Oberfläche ab, so wird es schwerer als die unmittelbar darunter gelegenen Wassermassen und sinkt in die Tiefe; so schreitet die Abkühlung durch Strömung und Mischung zur Tiefe fort. Dabei ist stets die wärmste Schicht oben.

Ganz anders, wenn der Körper des Sees eine Temperatur *tiefer* als die Temperatur des Dichtemaximums besitzt. Dann dringt die Erwärmung durch Mischung zur Tiefe, weil die Schichten der Oberfläche durch die Erwärmung schwerer werden; anderseits pflanzt sich die Abkühlung durch Leitung abwärts fort. Die wärmste Schicht ist in diesem Fall als die schwerste stets unten.

Um das wechselvolle Bild der Wärmeschwankungen im jahreszeitlichen Ablauf in den verschiedenen Tiefenschichten zu erfassen, wurden am St. Moritzer See folgende Messungen durchgeführt:

Thermische Tiefenlotungen in der interessanten Periode Sommerende 27. September bis Einfrieren (Tabelle 24, Fig. 17), ergänzend dazu *Wassertemperaturmessungen* in den *oberflächlichen Zonen,* beginnend vom Spätsommer und lückenlos fortgesetzt bis zur einsetzenden großen Frühjahrsschneeschmelze im Juni (Tabellen 25 und 26).

Vom streng wissenschaftlichen Gesichtspunkt aus betrachtet ist es immer bedauerlich, wenn solche Meßreihen nicht in einem Zug, d. h. in derselben Saison durchgeführt werden können. Im vorliegenden Falle wurden die Oberflächentemperaturen vom 24. November 1938 bis zum 20. Juni 1939, anderseits vom 27. September 1945 bis zum 10. Dezember 1945 durchgeführt: die thermischen Tiefenlotungen konnten glücklicherweise parallel mit letzteren vom 27. September bis 18. Dezember 1945 erfolgen. Wer die zahllosen objektiven und subjektiven Schwierigkeiten kennt, die solchen langfristigen Meßreihen in die Quere kommen, wird sich trotz wissenschaftlichen Vorbehalten der Messungen freuen. Ergänzend sei hier noch auf die im Winter 1938/39 durchgeführten Messungen der Eisdecke, ihres Schneebelages und ihrer inneren Schichtungsverhältnisse hingewiesen, wodurch die Beobachtungen eine weitere Abrundung erhalten haben. (Siehe Seiten 133—140.)

2. Die thermischen Tiefenlotungen.

Durch welche Umstände wird die Vereisung eines Sees beschleunigt oder verzögert? Für eine genauere, einheitliche Beantwortung dieser Fragen ist es notwendig, neben den bereits berücksichtigten Faktoren, mehr als bisher auch dem Walten der Temperaturgesetze des Sees nicht nur an seiner Oberfläche, sondern auch in seinen Tiefen nachzugehen und den Windverhältnissen vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken. Es setzt dies allerdings große Anforderungen an die Forschung, denen leider nur

in besonders günstigen Fällen Genüge geleistet werden kann. Ein bescheidener Anfang wurde am St. Moritzer See gemacht. Hierüber soll in der Folge berichtet werden.

a) Allgemeines.

Die nun folgenden Darlegungen sollen einen ersten Einblick in die thermischen Zustände der Wassermasse des St. Moritzer Sees unmittelbar vor und während der einleitenden Periode des Einfrierens ermöglichen. Sie sind die Frucht von Beobachtungen und Messungen, die auf meine Veranlassung vom 27. September bis Mitte Dezember 1945, dem Zeitpunkte des Beginnes der Vereisung, von den Organen des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz in verdankenswerter Weise und mit großer Sorgfalt ausgeführt wurden.

Die Temperaturen wurden mit zwei peinlich geprüften, in Zehntelgrade geteilten Kippthermometern aus der Präzisionswerkstätte von *C. Richter* in Berlin gemessen.

Beobachtungsmaterial.

Ausgeführt wurden:
Messungen der Wassertemperatur, der Lufttemperaturen:

α) Am Ufer des Sees bei der Hydro-Meteorologischen Station, von einem 4 m herausragenden Steg aus, in 0,50 m Tiefe bei einer totalen von 1,15 m. Beobachtungszeit 7 h. 45.

β) Thermische Lotungen an vier durch Bojen markierten Stellen eines Meßprofils von der Meßstation des E. W. St. M. quer über den See, in Richtung der waldigen Höhe Punkt 1842. Siehe Querprofil Fig. 16.

Lage und Tiefe dieser Meßstellen:

Meßpunkt Nr. 1: 68 m von der Seestraße. Totale Wassertiefe = 11,50 m.
Meßpunkt Nr. 2: 250 m » » » » » = 41 m.
Meßpunkt Nr. 3: 375 m » » » » » = 42 m.
Meßpunkt Nr. 4: 522 m » » » » » = 19 m.

Die Messungen erfolgten in Zeitabständen von einer Woche. Total wurden 38 thermische Tiefenlotungen ausgeführt. Sie ermöglichen die Aenderungen, die die thermische Schichtung im Laufe der Untersuchungsperiode erfährt, festzustellen.

Den Lotungen zugeordnet wurden ferner Beobachtungen der Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag, Wind- und Bewölkungsverhältnisse der offiziellen meteorologischen Station bei der katholischen Kirche St. Moritz-Bad.

Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in übersichtlicher Form den Tabellen 23 und 24 zugeordnet worden. Zudem sind die Ergebnisse der Tiefenlotungen in Fig. 17 graphisch dargestellt.

Es kann nicht meine Aufgabe sein, die Thermik des St. Moritzer Sees, soweit das Beobachtungsmaterial dazu ausreicht, einer erschöpfenden Untersuchung zu unterwerfen. Ich muß mich schon raumeshalber auf die Bekanntgabe von Ergebnissen be-

b) Wärmeverhältnisse des St. Moritzer Sees vom 27. September bis 31. Dezember 1945.

Tabelle 23

1945 Datum	Temperatur °C: Wasser: Am Ufer 0,5 m unter dem Wsp.	Temperatur °C: Wasser: Meßpunkt No 2 in 18 m Tiefe	Temperatur °C: Luft: Tagesmittel	Temperatur °C: Luft: Minimum	Temperatur °C: Luft: Maximum	Stunden mit Temperatur unter 0 °C	Mittlere Temperatur unter 0 °C	St. Moritz-Dorf: Sonnenschein-Stunden	St. Moritz-Dorf: Art des Niederschlages	St. Moritz-Dorf: Wasserwert mm
September										
27	11,3	11,7	—	—	—	—	—	1/2	R = Regen	0,2
28	11,0	—	4,3	0,0	9,0	—	—	0	R	5,8
29	10,8	—	1,3	— 1,5	4,5	3	—	2		
30	—	—	2,0	— 4,0	7,5	12	—	3 1/4		
Oktober										
1	10,2	—	2,0	— 3,0	8,0	6	—	8 1/2		
2	10,5	11,0	1,6	— 3,5	6,5	3	—	4		
3	9,6	—	— 1,6	— 6,0	3,5	14	— 1,6	5	R	8,0
4	10,1	—	*— 3,3*	— 5,5	*0,0*	24	— 3,3	5 1/2		
5	9,0	—	— 2,3	*— 6,5*	0,5	20	— 2,3	2 3/4		
6	9,0	—	0,3	*— 6,5*	3,0	10	—	2	R	0,4
7	—	—	1,6	— 3,5	7,0	4	—	0		
8	8,6	9,7	1,0	— 5,0	11,0	14	—	5		
9	8,4	—	3,6	— 5,0	14,5	8	—	8 1/2		
10	9,2	—	1,6	— 3,5	9,0	12	—	8 1/4		
11	8,6	—	2,0	— 5,0	13,0	13	—	8 1/4		
12	8,6	—	**6,0**	— 4,0	12,5	8	—	8 1/2		
13	8,8	—	3,6	— 2,0	12,0	7	—	7		
14	—	—	4,6	— 4,5	14,0	10	—	8 1/2		
15	8,8	9,2	3,0	— 5,0	**16,0**	12	—	8 1/4		
16	8,0	—	0,6	— 5,0	11,0	13	—	8 1/2		
17	8,0	—	1,3	— 5,5	8,5	12	—	8 1/2		
18	8,2	—	2,3	— 2,0	7,5	8	—	8 1/2		
19	8,2		3,0	— 5,5	12,0	13	—	7		
20	8,2	—	1,6	— 5,5	11,0	14	—	8		
21	—	—	2,3	— 5,0	12,0	12	—	8 1/2		
22	8,4	—	3,6	— 2,0	11,5	8	—	5 1/2	R	0,2
23	8,2	—	2,3	**1,0**	5,5	1	—	1 1/2	R	3,2
24	8,2	8,3	2,3	— 3,5	7,0	10	—	0	R	14,8
25	7,0	—	0,0	— 1,5	6,0	11	—	7		
26	7,6	—	1,0	— 4,5	3,0	3	—	7		
27	7,2	—	0,6	— 3,0	7,0	8	—	2		
28	—	—	1,3	*— 6,5*	6,5	9	—	7 1/4	R	0,2
29	7,2	—	4,0	0,0	6,0	—	—	5	R	34,0
30	7,0	—	3,6	0,0	8,5	—	—	0		
31	7,0	—	4,0	— 1,0	8,0	—	—	2	S = Schnee	2,2

Wärmeverhältnisse des St. Moritzer Sees vom 27. September bis 31. Dezember 1945.

Tabelle 23 (Fortsetzung)

1945 Datum	Temperatur °C Wasser: Am Ufer 0,5 m unter dem Wsp.	Wasser: Meßpunkt Nr. 2 in 18 m Tiefe	Luft: Tagesmittel	Luft: Minimum	Luft: Maximum	Stundenzahl mit Temp. unter 0 °C	Mittlere Temperatur unter 0 °C	St. Moritz-Dorf: Sonnenschein-Stunden	St. Moritz-Dorf: Art des Niederschlages	St. Moritz-Dorf: Wasserwert mm	Beobachtungen über Eisbildungen auf dem St. Moritzer See	Windrichtung und -stärke Tageszeit 7 h 30	13 h 30	21 h 30	Bewölkungsgrad Tageszeit 7 h 30	13 h 30	21 h 30
November																	
1	**7,0**	—	1,3	— 2,0	4,5	8	—	½	R	4,8		SW 1	SW 2	SW 1	3	4	9
2	**7,0**	—	**1,6**	— *1,0*	4,5	4	—	0	R	1,0		NE 0	SW 0	SW 0	9	9	1
3	**7,0**	—	1,3	— 2,5	**9,5**	6	—	1				N 0	SW 1	N 0	5	2	0
4	—	—	0,6	— 2,0	5,5	9	—	7				NE 1	NE 1	NE 0	0	1	0
5	6,6	—	0,6	— 2,0	5,0	10	—	(7½)				NE 0	SW 1	SW 1	10	0	0
6	6,6	7,2	1,3	— 3,0	7,5	11	—	0				SW 0	SW 0	NW 0	0	0	2
7	6,0	—	0,0	— 6,0	8,0	17	—	1¼				NE 1	NE 1	NE 0	9	10	8
8	6,0	—	0,6	— 5,5	4,5	10	—	4½	S	4,8		NE 0	NE 1	NE 1	10	5	8
9	6,0	—	—3,6	— 7,5	0,0	23	—3,6	4¼	S	0,2		NE 1	NE 1	NE 1	1	2	0
10	5,8	—	— 6,0	— 8,5	— 2,0	24	—6,0	1¼				NE 0	NE 0	N 1	0	0	1
11	—	—	—6,0	—11,0	—1,0	24	— 6,0	½				NW 1	SW 0	N 0	9	10	2
12	5,2	—	—7,0	—11,0	—1,5	24	—7,0	2¼				SW 0	NE 0	NE 0	10	2	2
13	4,0	—	—8,0	—14,5	—2,5	24	—8,0	5¼	S	0,2	Erstes Randeis bei Surlej/Bootshaus	SW 0	SW 2	SW 3	7	5	4
14	3,8	6,0	—7,0	—14,0	—1,0	24	—7,0	7½			- - - - -	SW 3	SW 1	N 1	9	7	7
15	4,6	—	— 6,0	—11,5	1,5	20	—6,0	3	S	0,6	- - - - -	SW 0	NE 0	N 0	0	2	0
16	4,0	—	—7,6	—13,5	1,5	21	—7,6	2			- - - - -	NW 1	SW 0	NE 1	3	10	8
17	4,0	—	—5,0	—12,0	5,5	18	—5,0	7¼	S	1,7	- - - - -	NE 1	SW 1	N 0	0	1	7
18	—	—	—3,6	— 9,5	5,5	18	—3,6	7¼			- - - - -	NE 0	NE 1	NE 0	3	7	0
19	4,2	—	—5,0	—10,5	4,0	20	—5,0	7¼			- - - - -	NE 0	NE 0	W 0	10	8	3
20	4,0	—	— 5,0	—10,5	4,5	20	—5,0	7	S	2,2	- - - - -	N 1	NE 1	NE 0	2	9	10
21	4,0	—	—5,3	— 12,0	4,0	20	—5,3	5			- - - - -	NE 0	SW 0	SW 0	0	3	10
22	4,0	—	—4,6	—10,0	6,0	18	—4,6	7			- - - - -	SW 1	SW 1	NE 0	10	9	0
23	3,8	—	—5,0	—10,0	3,5	20	— 5,0	7			- - - - -	NE 1	NE 1	NE 0	8	3	0
24	3,8	4,9	—6,0	—10,5	1,0	22	— 6,0	7	S	3,0	- - - - -	NE 0	SW 2	SW 2	0	9	10
25	—	—	—4,6	—10,5	2,5	18	—4,6	3	S	1,6	- - - - -	W 0	NE 0	NE 2	10	10	5
26	3,8	—	—5,6	— 12,0	4,0	20	—5,6	4			100 Meter Eishorn bei Punt da Piz	NE 1	SW 0	SW 0	0	1	0
27	3,0	—	—6,3	—13,0	—1,0	24	— 6,3	6½				NW 0	NE 1	N 0	3	8	0
28	2,5	4,0	—7,3	—**15,0**	0,5	21	— 7,3	5¾	S	1,4	Erste schwimmende größere Eisscholle	NE 0	NW 2	NW 0	5	10	10
29	2,0	—	— 5,6	—11,5	4,5	20	—5,6	3				NW 1	SW 2	SW 2	8	1	0
30	*1,5*	—	—6,0	—11,5	3,5	20	— 6,0	6			Zunehmende Vereisung	NW 2	SW 2	N 0	2	10	6

Wärmeverhältnisse des St. Moritzer Sees vom 27. September bis 31. Dezember 1945.

Tabelle 23 (Fortsetzung)

1945 Datum	Temperatur °C Wasser: Am Ufer 0,5 m unter dem Wsp.	Wasser: Meßpunkt Nr. 2 in 18 m Tiefe	Luft: Tagesmittel	Luft: Minimum	Luft: Maximum	Stundenzahl mit Temperatur unter 0 °C	Mittlere Temperatur unter 0 °C	St. Moritz-Dorf: Sonnenschein-Stunden	St. Moritz-Dorf: Art des Niederschlages	St. Moritz-Dorf: Wasserwert mm	Beobachtungen über Eisbildungen auf dem St. Moritzer See	Windrichtung und -stärke Tageszeit 7 h 30	Windrichtung und -stärke Tageszeit 13 h 30	Windrichtung und -stärke Tageszeit 21 h 30	Bewölkungsgrad Tageszeit 7 h 30	Bewölkungsgrad Tageszeit 13 h 30	Bewölkungsgrad Tageszeit 21 h 30
Dezember																	
1	2,4	—	— 6,3	— 12,0	**2,5**	19	— 6,3	5¾			Größtenteils zugefroren	N 0	NE 0	NE 0	0	0	0
2	—	—	— 4,6	— 11,5	2,0	20	— 4,6	6	S	1,5	Großer Schlittschuhlauf	NE 0	SW 2	SW 1	2	2	3
3	3,0	—	— 5,3	— 13,0	— 5,5	24	— 5,3	4	S, 5 cm	1,3	Erstes „Seeheulen"	N 0	SW 0	NE 0	10	10	0
4	2,8	—	— 9,6	— 16,0	— 5,5	24	— 9,6	0	S	0,2	Vollständig zugefroren	NE 0	NE 1	NE 0	10	9	0
5	1,5	—	— 11,0	— 20,0	— 6,0	24	— 11,0	0	S	0,8	Erste Spannungsrisse	N 0	N 0	NW 1	0	10	10
6	1,2	—	— 8,6	— 11,0	— 6,0	24	— 8,6	0	S	0,4		N 2	NE 1	NE 1	10	10	10
7	1,2	—	— 9,0	— 11,5	— 5,0	24	— 9,0	1				N 0	NE 1	NE 1	10	10	6
8	1,2	—	— 12,6	— 17,5	— 8,0	24	— 12,6	1				NE 1	NE 1	NE 0	10	2	10
9	1,0	—	*— 15,0*	— 18,0	*— 11,0*	24	— 15,0	4½				NE 1	NE 2	NE 0	2	3	0
10	1,0	—	— 11,6	— 17,0	— 3,0	24	— 11,6	2			Eisdicke 20 cm	N 1	NE 1	SW 0	0	0	0
11	—	4,1	— 12,6	— 17,5	— 7,5	24	— 12,6	4½									
12	—	—	— 7,6	— 15,5	— 3,5	24	— 7,6	0									
13	—	—	— 7,3	— 16,0	— 2,0	24	— 7,3	0	S	4,0							
14	—	—	— 9,3	— 21,5	— 1,5	24	— 9,3	¼									
15	—	—	— 10,0	*— 22,0*	— 3,0	24	— 10,0	3¾									
16	—	—	— 8,3	— 21,0	— 1,0	24	— 8,3	0									
17	—	—	— 5,3	— 8,0	— 2,0	24	— 5,3	3									
18	—	4,1	— 3,0	— 4,5	0,0	24	— 3,0	2½	S	20,2	Eisdicke 22 cm						
19	—	—	**— 2,0**	**— 3,5**	— 1,0	24	— 2,0	0	S	29,0							
20	—	—	— 3,0	— 5,0	0,0	24	— 3,0	0	S	7,0	Eisdicke 22,5 cm						
21	—	—	— 9,3	— 21,0	— 4,0	24	— 9,3	0	S	2,4							
22	—	—	— 2,6	— 7,5	— 1,0	24	— 2,6	1½	S	2,4							
23	—	—	— 5,6	— 10,0	— 1,5	24	— 5,6	0	S	0,4							
24	—	—	— 6,6	— 16,0	— 3,5	24	— 6,6	½	S	1,0							
25	—	—	— 6,0	— 8,0	— 4,5	24	— 6,0	0	S	10,4							
26	—	—	— 8,6	— 21,0	— 0,5	24	— 8,6	½									
27	—	—	— 8,6	*— 24,0*	— 3,5	24	— 8,6	2¾	S	3,6							
28	—	—	— 2,3	— 8,0	+ **2,5**	21	— 2,3	0	S	2,2							
29	—	—	— 11,6	— 18,0	— 5,0	24	— 11,6	1¾	S	1,0							
30	—	—	— 9,3	— 16,0	— 5,5	24	— 9,3	1									
31	—	—	—	—	—	—	—	0									

Bemerkung. Die Summe der mittleren Tagestemperaturen „unter 0 °C" (negatives Temperaturmittel) bis zum 2. Dezember 1945, d. h. bis zum vollständigen Zufrieren des Sees, beträgt — 137 °C.

c) Ergebnisse der Wassertemperatur-Messungen des St. Moritzer Sees vom 27. September bis 18. Dezember 1945. Tabelle 24

Meßpunkt Nr. 1 — 68 m von der Seestraße — Totale Wassertiefe 11,5 m											
Meßtiefe m	27. IX. °C	2. X. °C	8. X. °C	15. X. °C	24. X. °C	6. XI. °C	14. XI. °C	22. XI. °C	28. XI. °C	11. XII. °C	18. XII. °C
0,5	11,6	10,95	10,1	9,4	8,4	7,0	5,8	4,8	3,6	—	—
1,0	11,75	11,0	9,75	9,3	8,4	7,2	5,8	4,7	4,0	—	—

Meßpunkt Nr. 2 — 250 m von der Seestraße — Totale Wassertiefe 41 m											
0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	2,2	0,5	0,6
0,2	—	—	10,0	9,4	—	—	—	—	—	—	0,6
0,3	—	—	10,0	9,4	—	—	—	—	—	1,1	0,6
0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	0,6
0,5	11,65	10,95	10,0	9,4	8,4	7,0	5,8	4,8	3,4	2,5	0,6
0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2
0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2
0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,0	1,2
0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	3,3	2,15
1,25	—	—	10,0	9,4	—	—	—	—	—	—	—
1,50	—	—	10,0	9,4	—	—	—	—	—	—	—
1,75	—	—	10,0	9,4	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	10,0	9,4	—	—	6,0	4,9	3,6	3,8	3,6
3	—	—	—	—	—	—	—	—	3,9	3,95	—
4	—	—	9,8	9,3	—	—	6,0	4,9	3,9	3,95	4,0
5	—	—	9,8	9,3	—	—	—	—	3,9	3,95	—
6	—	—	9,8	9,3	—	—	—	—	3,9	3,95	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—
8	—	—	9,8	9,3	—	—	—	—	3,9	4,0	—

Meßpunkt Nr. 2 — 250 m von der Seestraße — Totale Wassertiefe 41 m											
Meßtiefe m	27. IX. °C	2. X. °C	8. X. °C	15. X. °C	24. X. °C	6. XI. °C	14. XI. °C	22. XI. °C	28. XI. °C	11. XII. °C	18. XII. °C
9	—	—	—	—	—	—	6,0	4,9	—	—	—
10	—	—	9,8	9,3	—	—	—	—	3,9	4,1	4,1
12	—	—	9,8	9,3	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	9,8	9,3	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	9,8	9,2	—	—	6,0	4,9	4,0	—	—
18	11,7	11,0	9,7	9,2	8,3	7,2	6,0	4,9	4,0	4,1	4,1
20	—	—	9,65	9,1	—	—	6,0	4,9	—	—	—
21	—	—	9,6	9,0	—	—	—	—	—	—	—
22	11,25	10,9	9,6	9,0	8,2	7,1	6,0	4,9	—	—	—
23	—	—	9,6	8,9	—	—	—	—	—	—	—
24	10,8	10,5	9,5	8,8	8,2	7,1	6,0	—	—	—	—
25	—	8,7	9,3	8,7	—	—	—	—	—	—	—
26	6,6	6,7	7,6	8,4	8,0	7,1	6,0	—	4,4	4,1	4,1
27	—	—	6,6	7,3	7,85	7,1	6,0	—	—	—	—
28	—	—	5,6	5,8	7,4	7,05	6,0	4,95	—	—	—
29	—	—	5,4	5,4	6,6	7,0	6,0	—	—	—	—
30	—	—	5,1	5,1	5,9	6,95	5,9	—	—	—	—
31	—	—	4,9	4,9	5,4	5,6	5,9	—	—	4,1	4,1
32	—	—	4,75	4,8	5,15	5,0	5,9	5,0	—	—	—
33	—	—	4,7	4,7	5,0	4,85	5,15	—	—	—	—
34	—	—	4,6	4,6	4,7	4,7	4,95	5,1	—	—	—
35	—	—	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	—	—	—	—
36	4,35	4,6	4,5	4,4	4,6	4,4	4,6	4,8	4,7	4,3	4,1
40	—	—	—	4,3	4,3	4,3	—	—	—	—	—

Meßpunkt Nr. 3 — 375 m von der Seestraße — Totale Wassertiefe 42 m											
Meßtiefe m	27. IX. °C	2. X. °C	8. X. °C	15. X. °C	24. X. °C	6. XI. °C	14. XI. °C	22. XI. °C	28. XI. °C	11. XII. °C	18. XII. °C
0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	2,4	—	—
0,5	11,6	11,0	9,8	9,6	8,4	7,6	6,0	4,8	3,4	—	—
0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	3,9	—	—
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	3,9	—	—
1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—	—
18	11,6	11,0	9,7	9,15	8,3	7,2	6,0	4,8	—	—	—
22	11,4	10,8	9,6	9,0	8,2	7,1	6,0	—	—	—	—
24	—	10,4	9,5	8,9	8,1	7,1	6,0	—	—	—	—
25	9,4	7,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Meßpunkt Nr. 3 — 375 m von der Seestraße — Totale Wassertiefe 42 m											
Meßtiefe m	27. IX. °C	2. X. °C	8. X. °C	15. X. °C	24. X. °C	6. XI. °C	14. XI. °C	22. XI. °C	28. XI. °C	11. XII. °C	18. XII. °C
26	6,8	6,2	7,6	8,5	7,9	7,1	6,0	—	—	—	—
27	—	—	—	8,0	7,4	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	5,7	6,8	7,1	6,0	4,9	—	—	—
29	—	—	—	—	6,3	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	5,8	6,95	5,9	—	—	—	—
34	—	—	—	—	4,6	4,7	—	5,3	—	—	—
36	4,3	4,4	4,5	4,4	4,5	4,4	4,7	4,6	4,7	—	—

Meßpunkt Nr. 4 — 522 m von der Seestraße — Totale Wassertiefe 19 m											
0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	2,8	—	—
0,5	11,6	11,0	9,8	9,6	8,4	7,4	6,0	4,8	3,4	—	—
10	11,7	—	9,8	9,3	8,3	7,4	5,9	4,8	4,0	—	—
16	11,55	10,9	9,8	9,2	8,0	7,0	5,9	4,95	4,0	—	—

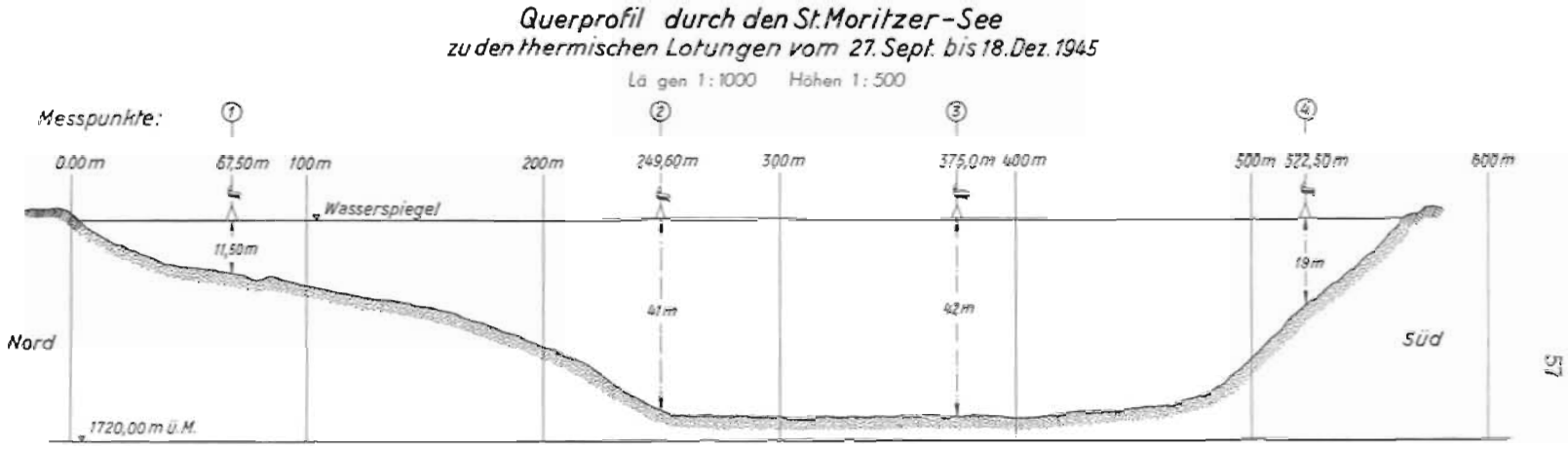


Fig. 16

schränken, die vor allem für die Klarstellung der einleitenden Periode des Gefrierens des Sees von Bedeutung sind.

Zunächst möchte ich hervorheben, daß der St. Moritzer See dem thermischen Typus der temperierten Seen angehört, d. h. seine Oberflächentemperatur ist während der kalten Jahreszeit unter 4° C, in der warmen über 4° C. Die Oberflächenschicht des Sees weist, wie bekannt, die größten Temperaturschwankungen auf und vermittelt vor allem so lange den Wärmeaustausch zwischen dem See und seiner Umgebung, bis eine Eis- und Schneedecke diese wechselseitige Beziehung unterbindet. In den temperierten Seen wird das warme Wasser des Sommers im Winter regelmäßig durch kaltes Wasser ersetzt. Die Temperatur der Oberfläche ändert sich von Ort zu Ort, anderseits auch periodisch von Monat zu Monat, von Jahreszeit zu Jahreszeit. Den lokalen Differenzen, die mehrere Grade zu erreichen vermögen, kommt namentlich in der Vereisungsfrage oft große Bedeutung zu. Sie werden in der Regel verursacht durch den Wind (Mischung der Oberflächenschichten mit den unmittelbar darunter liegenden Schichten anderer Temperatur), durch Zuflüsse, ungleiche Besonnung, Quellen, Wärmeleitung vom Ufergestade aus usw.

Die Tagesschwankung der Temperatur des Oberflächenwassers wird in erster Linie durch die Strahlung bestimmt. Sie ist zur Zeit des Sonnenhöchststandes am größten, im Winter am kleinsten. Solche Studien wurden im St. Moritzer See nicht ausgeführt. Nach Messungen von *F. M. Exner* im Wolfgangsee, von *W. Peppler* im Bodensee und von *V. Conrad* in vier österreichischen Alpenseen beträgt die Tagesschwankung im Oberflächenwasser im Sommer 1—2° C, im Winter nur den zehnten Teil davon, oder noch weniger.[1])

Ueber die Temperatur der Tiefe möchte ich mich folgendermaßen aussprechen.

Der momentane thermische Zustand der Wassermasse des Sees ist stets das Ergebnis eines in einem früheren Zeitpunkt bestandenen Wärmezustandes und der verschiedenen, seit jenem Zeitpunkt durch verschiedene Einflüsse hervorgebrachten Aenderungen. Wie sich der Wärmeaustausch vollzieht, darf als bekannt vorausgesetzt werden. Er gelangt für den St. Moritzer See in Fig. 17 klar zum Ausdruck:

Die Temperaturänderungen in den Tiefen des Sees von Woche zu Woche, vollziehen sich in allen vier Meßpunkten in harmonischer Weise, fast darf man von einer regelmäßigen Abnahme der Temperatur, praktisch beurteilt von einer Temperaturkonstanz von der Oberfläche bis in Tiefen von 22 m sprechen, wobei die nur schwach abnehmenden Temperaturen der oberen Schichten von Woche zu Woche in immer tiefere Regionen vordringen, bis sich schließlich mit Erreichung des Dichtemaximums von 3 m Wassertiefe abwärts eine homogene Wassertemperatur von 4° einstellt. Bedeutsam für die Vereisung des Sees sind nun die Vorgänge in den obersten Schichten des Sees nach Erreichung des Dichtemaximums. Sie gelangen in Diagramm Fig. 17 in den Tiefenlotungen vom 28. November, 11. und 28. Dezember eindrucksvoll zur Darstellung. Mit fortschreitender Abkühlung der Wassermasse bei andauernder Kälte nähert sich die Oberflächentemperatur immer mehr dem Gefrierpunkte, mit dessen Erreichung die einleitende Periode des Gefrierens des Sees ihren Anfang nimmt.

---

[1]) *Geiger Rudolf:* Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1942, S. 147.
Exner F. M.: Messung d. tägl. Temp.schwank. in verschied. Tiefen d. Wolfgangsees. Sitz.-B. Wien. Akad. 109, 905—922, 1900.
Peppler W.: Temp. d. Wassers u. d. Luft auf d. Bodensee. R. F. W. Wiss. Abh. 3, Nr. 7, 1937.
Conrad V.: Oberfl.-Temp. in Alpenseen. Gerl. B. 46, 44—61, 1935.

Ergebnisse der Wassertemperatur-Messungen des St. Moritzer Sees vom 27. September bis 18. Dezember 1945.

Meßprofil quer über den See unterhalb des Grand Hotels. — Wärmeverhältnisse des Sees bis zum Beginn seiner Vereisung.

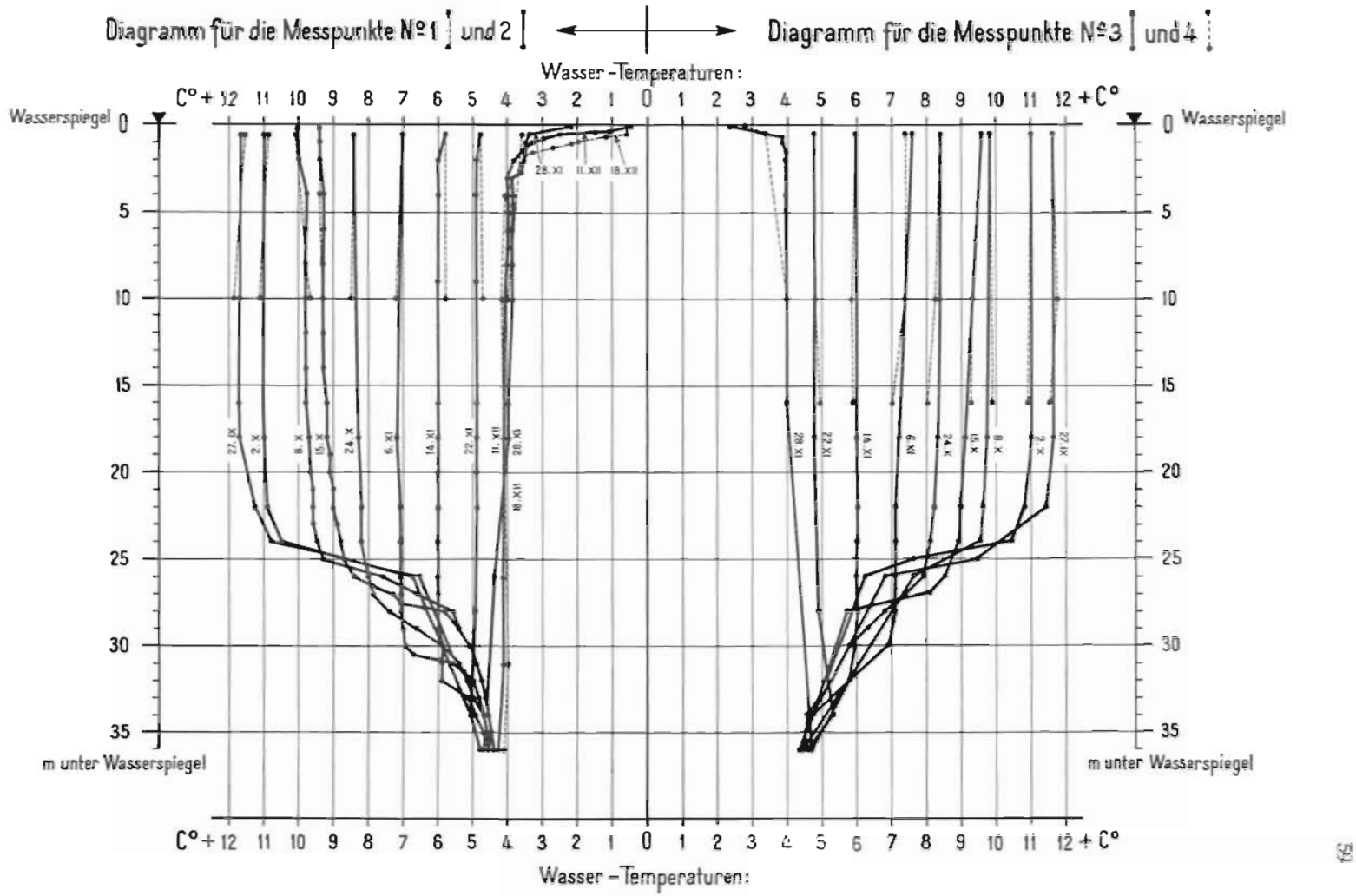


Fig. 17.

Meßpunkt Nr. 1: 68 m von der Seestraße. Totale Wassertiefe = 11,5 m

Meßpunkt Nr. 2: 250 m von der Seestraße. Totale Wassertiefe = 41 m

Meßpunkt Nr. 3: 375 m von der Seestraße. Totale Wassertiefe = 42 m

Meßpunkt Nr. 4: 522 m von der Seestraße. Totale Wassertiefe = 19 m

3. Die Wassertemperaturen in den Oberflächenzonen des St. Moritzer Sees.

Zur näheren Abklärung über den jahreszeitlichen Verlauf der Wassertemperatur in den obersten Wasserschichten *vor, während* und *nach* der Vereisung konnten im Jahre 1938/39 und ergänzend im Herbst 1945 Messungen durchgeführt werden, die einander, wenn auch aus verschiedenen Jahren stammend, gut ergänzen, indem die beiden Meßreihen gemeinsam die Zeitspanne vom 27. August bis 20. Juli umfassen.

Im jahreszeitlichen Ablauf betrachtet, kommen zuerst die Messungen von 1945, die mit der herbstlichen Abkühlung am 27. September beginnen und bis zum 10. Dezember, d. h. bis nach erfolgter Zufrierung reichen. Die Meßstelle lag bei der Beobachtungsstation des E. W. St. M. unter dem ehemaligen Grand Hotel. Ein besonders hiefür erstellter Steg ragte 4 m vom Ufer hinaus, die Wassertiefe betrug hier ca. 1,15 m; die Wassertemperaturmessungen erfolgten vom 27. September bis 3. Dezember 1945 in 0,50 m, vom 4.—10. Dezember in 0,25 cm Tiefe. Im Zeitpunkt der Wassertemperaturmessungen wurden immer gleichzeitig die Lufttemperaturen (Schattentemperaturen) gemessen. Die Resultate finden sich in der Tabelle 25.

Wiederum im jahreszeitlichen Ablauf eingereiht folgen die Messungen von 1938/39, die kurz nach dem definitiven Einschneien, jedoch noch *vor* dem Zufrieren am 24. November 1938 begannen, konsequent und fast lückenlos täglich *während* der Vereisung über die Eisbefreiung vom 28. April 1939 hinaus bis zur voll einsetzenden großen Wasserführung der Hauptschneeschmelze bis 20. Juni 1939 durchgeführt wurden. Als Meßpunkte wurden während der ganzen Vereisungsdauer eisfrei bleibende Stellen je beim Inn-Einlauf, bei der kath. Kirche in St. Moritz-Bad und beim See-Auslauf bei Punt da Piz gewählt. Die Lufttemperaturen dieser Meßreihe stammen von einem Präzisions-Hg-Thermometer in der Beobachtungsstation des E. W. St. M., das jeweils auf dem Wege vom See-Auslauf zum Inn-Einlauf en passant abgelesen wurde. Mit seltenen Ausnahmen erfolgten alle Messungen jeweils zwischen 7.00 und 8.00 morgens, d. h. vor Sonnenaufgang bei den Meßstellen.

Die Messungen der Wassertemperaturen erfolgten mit einem besonderen Hg-Thermometer, das von einer Metallhülse umgeben war, die im Notfall die richtige Ablesung auch außerhalb des Wassers — in einem Wasserbad — erlaubte. Normalerweise aber wurde das Thermometer mehrere Minuten horizontal in ca. 10 cm Tiefe eingetaucht und in dieser Lage auch abgelesen. Der ermittelte Wert bezieht sich dann auf eine Wasserschicht von einigen Zentimetern Mächtigkeit, ohne daß eine Gewähr dafür gegeben ist, daß das Instrument in jedem Falle auch nur auf 1 cm genau sich in der selben Tiefe befunden hat.

Solche Messungen sind daher nur in den Fällen streng vergleichbar, wo in der obersten Wasserschicht kein vertikaler Temperaturgradient vorhanden ist. Dies trifft zweifellos bei Seegang von solcher Stärke zu, daß die von ihm hervorgerufene Mischung die Wärmeunterschiede in der obersten Schicht vollkommen ausgleicht, die durch Ein- und Austrahlung verursacht werden. Sehr gering wird der vertikale Temperaturgradient der obersten Schicht auch bei andauernder hoher Bewölkung sein, da sie Ein- und Ausstrahlung sehr vermindert. Je stärker aber Ein- und Ausstrahlung wirken, je geringer der Seegang und je trüber das Wasser ist, um so größer werden die Fehler. Denn die eingestrahlte Wärmemenge kommt infolge der hohen Absorptionskraft des Wassers vorwiegend seiner obersten Schicht zugute. So werden nach *W. Schmidt* im obersten Millimeter reinen Wassers bereits 14 %, im obersten Dezi-

Tägliche Wasser- und Luft-Temperaturmessungen an der Uferzone des St. Moritzer Sees vom 27. September bis 10. Dezember 1945

von einem 4 m herausragenden Steg bei der Hydro-Meteorologischen Station.

Meßtiefe: Vom 27. Sept. bis 3. Dez. = 0,50 m; vom 4.—10. Dez. = 0,25 m. Totale Wassertiefe = 1,15 m

Tabelle 25

1945											
September	Temperatur		Oktober	Temperatur		November	Temperatur		Dezember	Temperatur	
	Wasser	Luft		Wasser	Luft		Wasser	Luft		Wasser	Luft
	°C	°C		°C	°C		°C	°C		°C	°C
			1	10,2	— 3,0	1	7,0	1,0	1	2,4	— 12,0
			2	10,5	1,0	2	7,0	0,0	2	—	—
			3	9,6	— 5,0	3	7,0	— 2,0	3	3,0	— 3,0
			4	10,1	— 5,0	4	—	—	4	2,8	— 9,0
			5	9,0	— 4,0	5	6,6	— 2,0	5	1,5	— 20,0
			6	9,0	— 2,9	6	6,6	— 2,0	6	1,2	— 9,0
			7	—	—	7	6,0	— 6,0	7	1,2	— 10,0
			8	8,6	— 3,0	8	6,0	— 5,0	8	1,2	— 12,0
			9	8,4	— 2,5	9	6,0	— 3,0	9	—	—
			10	9,2	— 3,0	10	5,8	— 8,0	10	1,0	— 17,0
			11	8,6	— 4,0	11	—	—			
			12	8,6	— 3,0	12	5,2	— 11,0			
			13	8,8	— 1,0	13	4,0	— 14,0			
			14	—	—	14	3,8	— 13,0			
			15	8,2	— 4,0	15	4,6	— 10,0			
			16	8,0	— 5,0	16	4,0	— 14,0			
			17	8,0	— 4,0	17	4,0	— 13,0			
			18	8,2	— 2,0	18	—	—			
			19	8,2	— 3,0	19	4,2	— 10,0			
			20	8,2	— 5,0	20	4,0	10,0			
			21	—	—	21	4,0	— 12 0			
			22	8,4	— 2,0	22	4,0	— 10,0			
			23	8,2	1,0	23	3,8	— 10,0			
			24	8,2	— 4,0	24	3,8	— 10,0			
			25	7,0	— 1,0	25	—	—			
			26	7,6	0,0	26	3,8	— 12,0			
27	11,3	4,5	27	7,2	— 3,0	27	3,0	— 6,0			
28	11,0	1,0	28	—	—	28	2,5	— 15,0			
29	10,8	1,0	29	7,2	— 2,0	29	2,0	— 11,0			
30	—	—	30	7,0	2,0	30	1,5	— 9,0			
			31	7,0	1,0						

Beobachtungszeit: $07^{h}\,45$.

Lufttemperatur St. Moritz (L) — Wassertemperatur des Inns: See-Einlauf (E) und -Auslauf (A).

Tabelle 26

	November 1938			Dezember 1938			Januar 1939		
	Luft	E	A	Luft	E	A	Luft	E	A
	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C
1				— 1	3,0	4,0			
2				— 5	2,0	4,0	— 7	0	0
3				— 8	1,5	3,5	— 11	0	0
4							— 12	0	0
5				— 13	0,5	3,0	— 14	0	0
6				— 2	1,5	3,5	— 12	0	0
7				— 14	0,5	2,5	— 15	0	0
8				— 13	0	2,5			
9							— 21	zugefroren	
10				— 1	1,0	3,0	— 22	zu	0
11							— 7	0	0
12				1	1,5	3,0	— 3	0	0
13				— 3	1,5	2,5	— 6	0	zu
14				— 6	1,0	1,5	— 10	0	zu
15				— 9	0	1,5			
16							2	0	0
17							1	0,5	0
18							3	0,5	0,5
19				— 14	0	0	0	0,5	0
20							— 5	0	0
21				— 3	0	1,0	— 3	0	0
22				— 11	0	1,5			
23				— 11	0	0	— 3	0	0
24	— 6	2,5	4	— 21	0	0	— 4	0	0
25	— 4	2,5	4,5				— 18	0	0
26	— 10	1,5	4	— 25	0	0	— 7	0	0
27				— 30	0	0	— 16	0	0
28	— 3	2,5	4	— 14	0	0	— 21	0	zu
29	1	3,0	4	— 12	0	0			
30	0	3,0	4	— 20	0	zu	— 18	0	zu
31							— 21	0	zu

Beobachtungszeit: $08^{h}00$.

Lufttemperatur St. Moritz (L) — Wassertemperatur des Inns: See-Einlauf (E) und -Auslauf (A).

Tabelle 26 (Fortsetzung)

	Februar 1939			März 1939			April 1939		
	Luft	E	A	Luft	E	A	Luft	E	A
	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C
1	— 23	— 1	0	— 6	0	0,5	— 1	1	1,5
2	— 23	— 1	0	— 16	0	0			
3	— 25	— 1	0	— 15	0	0	0	1,5	2,0
4	— 24	— 1	0	— 16			0	1,5	2,0
5				— 5			0	1,5	2,5
6	— 20	0	0,5				3	1,5	2,5
7	— 17	0	0,5						
8	— 17	0	0,5						
9	— 18								
10	— 8	0	0,5						
11				— 9	0,5	1,0	— 1	2,0	2 5
12							— 2	2,5	2,5
13	— 11	0	0,5	— 20	0	0	— 2	2,5	2,5
14	— 7	0	0,5	— 17	0	0,5	— 1	2,5	2,5
15	— 20	0	0,5	— 9	0	1,0	1	2,5	2,5
16	— 17	0	0,5	— 13	0	1,0			
17	— 17	0	0,5	— 18	0	0,5	— 3	3,0	4,0
18	— 7	0	0,5	— 22	0	0,5	— 2	3,0	4,0
19							— 2	3,0	4,0
20	— 11	0	0,5	— 13	0	1,0	— 5	3,0	4,5
21	— 16	0	0,5	— 13	0	1,0	— 4	3,0	4,5
22	— 21	0	0	— 8	0,5	1,0			
23	— 11	0	0,5	— 15	0	1,0	— 1	3,5	4,5
24	— 3	0,5	0,5	— 16	0	1,0	0	4,0	4,5
25	— 2	0,5	0,5	— 9	0,5	1,0	0	4,0	4,5
26							0	4,5	4,5
27	— 4	1	0,5						
28				— 8	1	1,0	0	4,0	4,0
29				— 17	0,5	1,0		See eisfrei[1])	
30				— 21	0	0,5			
31				— 5	1,0	1,5			

Beobachtungszeiten: Bis 11. April 1939 = 08 h 00, ab 12. April 1939 = 07 h 00.

[1]) Siehe dazu Tabelle 42 Winter 1938/39.

Lufttemperatur St. Moritz (L) — Wassertemperatur des Inns: See-Einlauf (E) und -Auslauf (A).

Tabelle 26 (Fortsetzung)

	Mai 1939			Juni 1939		
	Luft	E	A	Luft	E	A
	° C	° C	° C	° C	° C	° C
1	0	4,0	4,5	3	6,0	7,0
2	0	4,5	5,0	7	6,0	7,5
3	— 3	4,0	4,5	7	6,0	7,0
4	1	4,5	5,0			
5	0	4,5	5,0	6	6,5	7,0
6	— 2	4,5	5,0			
7				6	6,5	7,0
8	0	4,5	5,0	9	7,5	7,5
9	1	4,5	5,0	6	7,0	7,5
10	1	4,5	5,0	7	7,5	7,5
11	2	5,0	5,5			
12	2	5,5	6,0			
13				1	7,0	7,5
14				2	7,0	7,0
15				2	6,5	7,0
16				2	6,5	7,5
17				6	7,0	7,5
18						
19				6	7,0	7,5
20	— 1	5,5	6,5	7	7,0	7,5
21						
22	2	5,5	6,5			
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

Beobachtungszeit: 07 h 00.

meter 45 % der gesamten Strahlungsmenge absorbiert und diese Mengen wachsen mit der Trübung des Wassers. Die Ausstrahlung ist sogar ausschließlich auf die Oberfläche beschränkt, da die dunkle Wärmestrahlung vom Wasser nicht durchgelassen wird. Für den Ausgleich des durch Strahlung entstehenden vertikalen Temperaturgradienten kommt die Wärmeleitung wegen ihrer Langsamkeit nicht in Betracht.

Wir kommen mithin zum Schluß, daß unsere Oberflächenmessungen, streng aufgefaßt, keine Gewähr bieten, daß stets die wahre Temperatur oder auch nur untereinander vergleichbare Werte für die oberste Wasserschicht gefunden wurden. Meist dürften die Fehler Zehntelgrade, nur gelegentlich einen vollen Grad erreichen.

Um sich ein Bild über die Fehlergröße von Oberflächentemperaturmessungen zu machen, genügt es, solche bei windstillem Strahlungswetter auszuführen. Temperaturunterschiede bis 0,5° auf geringe Handbewegungen lassen sich leicht feststellen.

Raumeshalber verzichte ich auf die Bekanntgabe bereits ermittelter Temperaturgradienten in der obersten Wasserschicht hochgelegener großer und kleiner Alpenseen.

Seen in feuchtem, wolkenreichem Klima und hoher Gebirgsumwallung, durch welche die Bestrahlung, namentlich im Winter, verkürzt wird und dazu eine starke Durchflutung aufweisen, dürfen wohl besonders geringe, vertikale Temperaturgradienten besitzen.

Außergewöhnlich große Temperaturgradienten treten ein, wenn intensive Sonnenstrahlung eine gegen Wind gut geschützte Wasserfläche trifft und das Eindringen der Strahlen durch dicht angehäuftes Plankton unterbunden wird.

Algendecke hindert nicht nur in hohem Maße die Strahlung in die Tiefe, sondern sie erschwert zugleich das Aufkommen der mischenden Windzirkulation und des Seeganges.

Ein vertikaler Temperaturgradient in der obersten Wasserschicht kann aber auch durch eine oberflächliche Abkühlung hervorgerufen werden; die Temperatur nimmt dann mit der Tiefe zu. Eine solche Schicht bezeichnet man als verkehrt. Es ist ohne weiteres klar, daß dies regelmäßig geschehen wird, wenn die Abkühlung bei der Temperatur des Dichtemaximums, oder bei noch niedrigeren Temperaturen eintritt, denn dann wird das durch die Ausstrahlung abgekühlte Oberflächenwasser leichter und schwimmt oben. Dieser Fall hat allgemein Bedeutung für Seen in großer Höhenlage. Diesem Falle haben wir ganz besondere Aufmerksamkeit bei unseren thermischen Tiefenlotungen gewidmet, indem bei den Messungen vom 28. November, 11. und 18. Dezember 1945 bei den Meßpunkten 1 und 2 die Wassertemperaturen im obersten Meter jeweils von 10 zu 10 cm sorgfältig durchgemessen wurden. Wir verweisen auf die bezügliche Tabelle 24 und Diagramm 17, Seiten 56, 57 und 59.

In den Tabellen zu unseren Messungen haben wir, soweit erfaßbar und erhältlich, alle wichtigen *meteorologischen* Komponenten zusammengetragen, die Einfluß auf die Wassertemperaturen haben könnten. Es sei noch ein Hinweis auf die ebenso wichtigen *hydrologischen* Zufluß- und Abflußverhältnisse des St. Moritzer Sees getan, wobei wir uns auf den Hauptzufluß, den Inn, beschränken und auch hier unser Augenmerk auf die Beobachtungs-Periode September bis Juni konzentrieren.

Die mittleren Zuflußmengen des Inns in den einzelnen Monaten gemessen in St. Moritz-Bad sind ersichtlich in Tabelle 20 und Diagramm 14.

Die Abflußverhältnisse aus dem St. Moritzer See sind künstlich beeinflußt von den Betriebsbedingungen des Kraftwerkes Islas des E. W. St. M., das den See während der Monate November bis Mai als Ausgleichsbecken benützt. In den wasserarmen Monaten Dezember bis inkl. April wird während der Nachtstunden von 24.00 bis 6.00 Uhr nur das Pflichtwasser von ca. 0,2 m^3 /sec für die Kanalisationsvorfluter aus dem See bezogen, während die Maschinen abgestellt sind. Von 6.00 bis 24.00 Uhr jedoch laufen die Maschinen und verarbeiten dabei je nachdem 2—4,5 m^3/sec. Die täglichen Seespiegelschwankungen betragen im Winter 5 bis höchstens 10 cm, erst von Mitte März bis Mitte April wird die Seereserve durch eine Absenkung um max. 1 m ausgenützt.

Bei der Beurteilung der Wassertemperaturen beim Inneinlauf und dem Seeauslauf müssen auch die Fließverhältnisse des Inns auf seinem Wege bis zum Einfluß in den St. Moritzer See im Auge behalten werden. Der Inn durchfließt nacheinander zuerst den Silser See, macht dann eine Flußreise über ca. 2 km bei einem Gefälle von ca. 6 m in den Silvaplaner See. Vom Silvaplaner See in den St. Moritzer See legt er bei einem Gefälle von rund 22 m wiederum eine Strecke von rund 2,5 km zurück. Bei diesem turbulenten Lauf kommt das in den oberen Seen wohl stabilisierte Wasser sehr intensiv mit der Außenluft in Berührung und kühlt sich bei tiefen Lufttemperaturen merklich ab. Wir beobachten dann während des ganzen Winters immer merklich tiefere Wassertemperaturen beim Inn-Einlauf als beim See-Auslauf. Vergleichende Messungen zwischen Silvaplaner Seeauslauf und dem Einlauf in den St. Moritzer See an kalten Tagen wären in dieser Hinsicht sehr interessant gewesen, konnten aber leider im Hinblick auf die Entfernungen nicht durchgeführt werden.

4. Die Temperaturen innerhalb der obersten Wasserschicht während der Dauer der Vereisung.[1])

Versuche von *A. Merz* am 11. Februar 1911 im Sakrower See vom Eis aus.

Resultat. Die Reihe ergibt einen mit der Tiefe rasch abnehmenden Temperaturgradienten.

Wertvolle Aufschlüsse über die *Wassertemperatur unter der Eisdecke* gewähren die von *E. Richter* mitgeteilten Beobachtungen, die *O. v. Luschan* während der Eisperiode des Jahres 1894 im Millstädter See angestellt hat.[2])

Resultat. Es ergibt sich ein prinzipiell verschiedenes Verhalten der Mitteltemperaturen für die Oberfläche und 0,5 m Tiefe. Während die Oberflächentemperaturen abwechselnd fallen und steigen, nehmen die Tiefentemperaturen unaufhörlich zu. Es ist naheliegend, den Gang der Oberflächentemperaturen auf die Wirkung der Ein- und Ausstrahlung zurückzuführen, denn sie sinken so lange, als die ohnehin kurze winterliche Einstrahlungsdauer durch hohe Bewölkung und große Luftfeuchtigkeit noch weiter erheblich verhindert wird, nämlich bis ungefähr Mitte Februar, und steigen dann bis zum Ende der Eisperiode bei rascher zunehmender Tageslänge, geringer Bewölkung und Feuchtigkeit. Daß in der Tat Ein- und Ausstrahlung den oberflächlichen Tem-

[1]) *Merz Alfred:* Die Oberflächentemperaturen der Gewässer. Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde. Neue Folge. A. Geographisch-naturwissenschaftliche Reihe. Heft 5. Febr. 1920. Berlin 1920.

[2]) *Richter E.:* Seestudien. S. 46. Pencks Geogr. Abhandlung. Bd. VI. Heft 2.

peraturgang regeln, zeigt besonders klar die Trennung der Oberflächenbeobachtungen nach Morgen- und Nachmittags-Serien. Die Temperatur steigt nicht nur regelmäßig infolge der Einstrahlung nachmittags an und sinkt infolge der Ausstrahlung während der Nacht wieder ab, auch die Höhe der erreichten Werte steht in unmittelbarer Beziehung zur Strahlung. Während nämlich die Nachmittagswerte ab Mitte Februar infolge der stark vermehrten Einstrahlung rasch ansteigen, bleiben die Morgenwerte nach wie vor niedrig, da eben bei heiterem Himmel und trockener Luft die Ausstrahlung ebenso vergrößert wird, wie die Einstrahlung. Die dünne Eisdecke ist mithin kein Hindernis für die Wirksamkeit der Strahlung auf die Wassermasse des Sees. Wohl aber schaltet sie den mischenden und temperaturausgleichenden Einfluß des Windes aus, und auch Konvektion ist infolge der Dichtezunahme mit der Tiefe nicht möglich. Da endlich die Ausstrahlung nur an der Oberfläche wirksam ist, so bleibt als einziger Faktor, der die Wärme der tieferen Schichten beeinflußt, die Einstrahlung übrig. Infolgedessen nimmt hier die Temperatur unaufhörlich zu. Eine Abkühlung tritt auch nachtsüber nicht ein. Die Ausbildung der Eisdecke macht mithin den See zu einem Wärmeakkumulator.

Dieses für den Millstädter See abgeleitete Ergebnis darf nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Möglichkeit und Maß der Aufspeicherung hängen vielmehr von der Stärke und Klarheit der Eisdecke und von der Bildung einer Schneedecke über dem Eise ab. Denn mit zunehmender Stärke und Trübung des Eises, sowie bei Ueberlagerung mit Schnee wird die Einstrahlung immer mehr vermindert und schließlich gänzlich unterbunden, so daß dann eine Wärmezunahme durch Strahlung im Seewasser nicht eintreten kann.

Alle Beobachtungen lehren aber, daß unmittelbar unter dem Eise sehr große Gradienten vorkommen können.

Die hier aus Beobachtungen nachgewiesenen, recht ansehnlichen Vertikalgradienten der Temperatur unter einer Eisdecke wären auch aus bloßer Ueberlegung zu erschließen gewesen, da das durch Ausstrahlung unter die Temperatur des Dichtemaximums abgekühlte Wasser oben schwimmen muß. Ob aber auch bei einer Abkühlung oberhalb der Temperatur des Dichtemaximums ein nennenswerter Gradient entstehen kann, ist nicht so leicht zu entscheiden. Denn wenn auch in einem solchen Falle das Wasser schon bei der geringsten Abkühlung schwerer als die Unterlage wird, so kann es dennoch nicht sofort zur Konvektion kommen, da die innere Reibung des Wassers der Konvektion entgegenwirkt. Es muß vielmehr vorher die Dichtedifferenz zu einem solchen Betrag angewachsen sein, daß sie den Widerstand der inneren Reibung zu überwinden vermag. Da nun die innere Reibung mit sinkender Temperatur stark zunimmt, wird dieser Betrag größer sein, bei niedrigen als bei hohen Temperaturen. Da außerdem die Dichte des Wassers innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen für gleiche Temperaturänderung mit steigender Erwärmung immer rascher wächst, so wird mithin bei einer Abkühlung oberhalb der Temperatur des Dichtemaximums ein um so größerer thermischer Vertikalgradient auftreten können, je niedriger bereits das Wasser temperiert ist. Die Maximalwerte werden natürlich nur bei vollkommen windstillem Strahlungswetter um die Zeit des Sonnenaufganges anzutreffen sein.

Die Temperatur der Wasseroberfläche ist von größter Bedeutung für die Verdunstung. Die Oberfläche vermittelt fast die gesamte Erwärmung und Abkühlung.

Ueber das Rauchen des St. Moritzer Sees.

Am 25. September 1945, von 7.25 bis 7.30 Uhr, rauchte der St. Moritzer See. Schwaden von sehr großer Intensität stiegen auf, ein Phänomen, wie ich es anderswo in solcher Stärke niemals gesehen habe. — Wind von Norden, Lufttemperatur um Null, Wasser 12,5° C. — Es ist dies eine Erscheinung, die zumal im Herbst eintritt, wenn das Wasser wärmer ist als die Luft. Dieser Seerauch verschwindet, sobald der Wärmeunterschied zwischen Land und Wasser gering geworden ist. Auch im vorliegenden Fall handelt es sich um ablandige Winde aus Norden, die kälter sind als das Wasser, so kalt, daß das an der Oberfläche des Sees verdunstende Wasser wieder kondensiert.

ZWEITER TEIL.

Erster Abschnitt.

Ueber das Einfrieren, die Befreiung von der Eisdecke, die Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen in den Jahren 1864 bis 1945.

I. Einfrieren, Befreiung von der Eisdecke und Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen, Periode 1864 bis 1943.

In alten Handschriften fast schon vergessener Chronikschreiber liegen gewissenhafte Aufzeichnungen vor, die uns neben vielem anderem auch über Naturerscheinungen denkwürdiger Wetterjahre berichten. Ganz besondere Aufmerksamkeit verdienen nun aber die langjährigen statistischen Aufzeichnungen über *das Einfrieren und die Befreiung von der Eisdecke der Oberengadiner Seen.*

Die in den Tabellen 27—29 und Diagrammen 18—23 zusammengestellten Daten des Einfrierens und Eisfreiwerdens der Oberengadiner Seen stammen durchweg von privaten Beobachtern, die mit bemerkenswerter Beharrlichkeit über Jahrzehnte, ja für St. Moritz über ein Jahrhundert, Jahr für Jahr ihre Beobachtungen machten und solche über Vater und Großvater weiterführten. Die Beobachtungen gehen z. B. für den St. Moritzer See bis 1832 zurück. Dabei handelt es sich durchweg um verläßliche Nachrichten, so daß die Beobachtungen als ein homogenes Material betrachtet werden dürfen.

Den nachstehenden Beobachtern verdanken wir folgende Angaben:

Dr. phil. *J. Robbi,* St. Moritz, die bemerkenswerten lückenlosen Daten über das *Eisfreiwerden* des *St. Moritzer Sees* vom Jahre 1832 an bis heute;

A. v. Flugi, A. Bösch und dem E.W. St. Moritz die Daten über das *Einfrieren* des *St. Moritzer Sees*;

A. v. Flugi und *S. Gaudenzi* von Silvaplana die Daten über *Einfrieren* und *Eisfreiwerden* der *Silvaplaner* und *Campferer Seen* von 1863 bis heute, sowie

A. v. Flugi die Daten über das *Einfrieren* und *Eisfreiwerden* des *Silser Sees* von 1863 bis 1892;

Chr. Zuan, Sils-Maria, die bemerkenswerten, lückenlosen Daten betr. *Einfrieren* und *Eisfreiwerden* des *Silser Sees* von 1892 bis heute.

A. v. Flugi, Silvaplana, hat daneben allgemeine Natur-Beobachtungen gemacht, gesammelt und publiziert in seinem Sonderheft:
«Beiträge zur Naturchronik und Klimatologie des Ober-Engadins von 1850 bis ca. gegen 1920»,
das uns wertvolle Dienste geleistet hat.

Die Bereitwilligkeit, mit der die genannten Herren ihre Daten und teils aus alten Notizen ausgegrabenen Aufzeichnungen uns zur Verfügung stellten, sei ihnen hiermit besonders verdankt.

Zu den Beobachtungen ist zu bemerken, daß diese trotz gewalteter Sorgfalt in gewissen Beziehungen mit Ungenauigkeiten behaftet sind. So kann einer bei den Beobachtungen über das Einfrieren in guten Treuen der Auffassung sein, daß ein kleiner eisfreier Rest in einer verlorenen Ecke keine Rolle mehr spiele und erklärt den See als vollständig zugefroren, während der andere Beobachter zuwartet, bis auch das letzte Flecklein zugefroren ist, was evtl. noch mehrere Tage dauert. Das Einfrieren vollzieht sich nicht immer bei klarem Wetter, oft erfolgt es bei undurchsichtigem Schneegestöber, was bei der Ausdehnung und gewundenen Form der Seen die Sicht auf mehrere Tage vereitelt. So kann sich das vollständige Zufrieren des Sees vollziehen, ohne daß der genaue Tag festgestellt werden kann.

Besonders leicht ergeben sich aber Abweichungen bei der Festlegung der Daten über das Eisfreiwerden. Oft sind die Seen zum größten Teil eisfrei; immerhin schwimmen tagelang restliche Eistafeln von großer Ausdehnung, vom Winde getrieben auf dem See hin und her oder sie verfangen sich in abgelegene Buchten, um bei Windwechsel plötzlich wieder aufzutauchen. Da ist der Beobachter oft im Zweifel, ob diese vagabundierenden Eisreste noch zu berücksichtigen sind oder nicht. Je nach der Auffassung können hier nun die angegebenen Daten 10 Tage und mehr divergieren.

Wie aus den Tabellen und graphischen Darstellungen ersichtlich ist, fehlen für einzelne oder eine ganze Reihe von Jahren die Beobachtungen gänzlich. Dies erschwert die Feststellung von Minima und Maxima, vor allem aber die Berechnung von Mittelwerten. In Anbetracht der langjährigen Beobachtungsperiode glaubten wir es aber trotzdem verantworten zu dürfen, aus den wirklich belegten Daten Mittelwerte zu bilden.

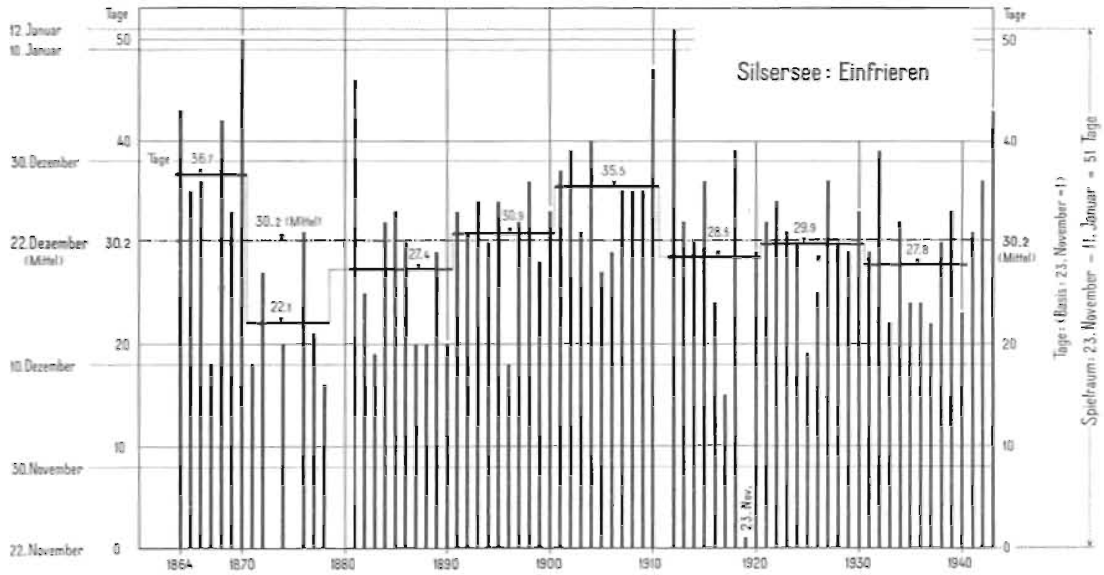
Die aus vorstehend angeführten Quellen stammenden Datumangaben und Beobachtungen, ergänzt durch eigene Beobachtungen über den neueren Zeitraum ab 1936 sind von uns verarbeitet worden. Auf den nachstehenden Seiten finden sie tabellarische Zusammenstellungen, graphische Darstellungen, berechnete Mittelwerte und sonstige ergänzende Angaben für alle drei Oberengadiner Seen.

Im Laufe der Beobachtungen ergab sich die Notwendigkeit der Konzentration auf einen bis höchstens zwei der drei Oberengadiner Seen. Als Beobachtungsobjekt für langfristige Beobachtungsreihen ergab sich der St. Moritzer See als am geeignetsten, da unsere Beobachter als Angestellte des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz (E.W.St.M.) am Gestade dieses Sees wohnten und das Beobachtungsobjekt darum ständig unter Augen hatten.

In der Folge wurde dann der Silser See auch in die näheren Betrachtungen einbezogen, da gerade für diesen See die lückenlosesten jahrzehntelangen Beobachtungen sowohl bezüglich des Einfrierens wie des Eisfreiwerdens, wie auch bezüglich der meteorologischen Beobachtungen und privaten Naturchroniken zur Verfügung standen.

Die Eisverhältnisse auf den Oberengadiner Seen.

1. Silser See. 1797 m ü. M. (R. P. N. = 373,60 m)

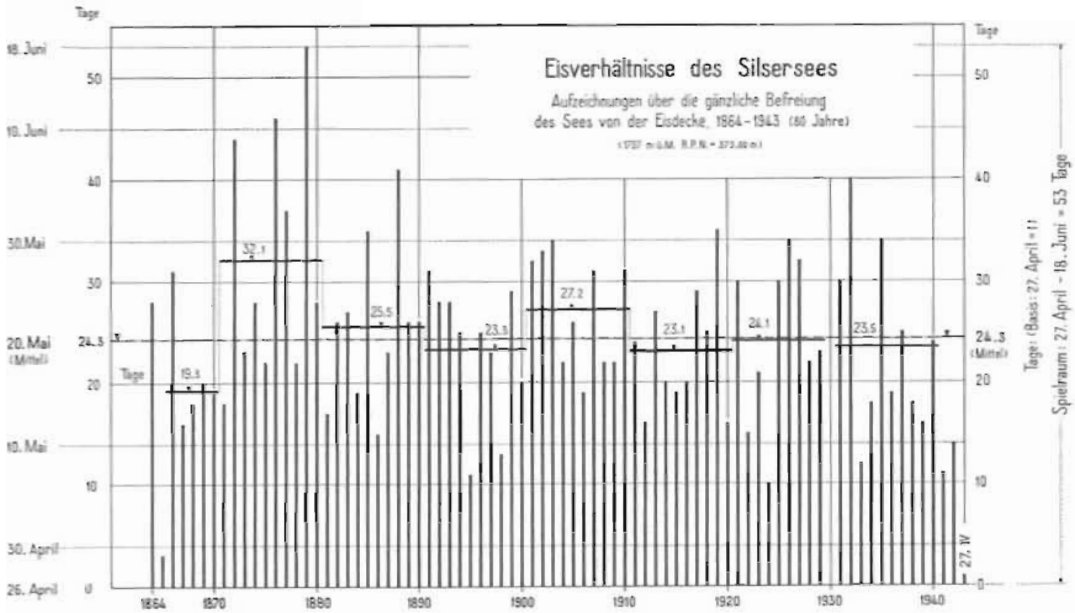


Die Aufzeichnungen erfolgten durch A. v. Flugi, Silvaplana, Ch. Zuan, Sils, und E.W. St. Moritz.

Fig. 18.

Einfrieren.

Frühester Termin:	23. November 1919	Spielraum: 51 Tage
Spätester Termin:	12. Januar 1913	(Periode: 1864—1943)
Mittlerer Termin:	22. Dezember	Zahl der Beobachtungsjahre = 75



Die Aufzeichnungen erfolgten durch A. v. Flugi, Silvaplana, Ch. Zuan, Sils, und E.W. St. Moritz.

Fig. 19.

Gänzliche Befreiung vom Eise.	Frühester Termin:	27. April 1943	Spielraum: 53 Tage
	Spätester Termin:	18. Juni 1879	
	Mittlerer Termin:	20. Mai	(Periode: 1864–1943) Zahl der Beobachtungsjahre = 79
Vereisungsdauer.	Kürzeste Dauer:	1864/65 = 115 Tage	Spielraum: 77 Tage
	Längste Dauer:	1878/79 = 192 Tage	(Periode: 1864–1943) Zahl der Beobachtungsjahre = 73
	Mittlere Dauer:	**149 Tage**	

Der Silser See hat eine Oberfläche von 4,1 km², eine maximale Tiefe von 71 m, eine mittlere Tiefe von 34,4 m, ein Volumen von 0,14 km³ und trägt von ca. Mitte Dezember bis Mitte Mai eine bis zu 80 cm dicke Eisdecke. Ist diese schneefrei, so kann durch das spiegelglatte, sogenannte «Schwarzeis» bei vollkommen klarem Wasser bis zu 4–6 m Tiefe der Seegrund eingesehen werden.[1])

[1]) Vgl. *Fonio A.*: Die Fischerei am Silsersee. Festschrift zur 124. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Segl/Sils i. E., 1944, S. 45.

Chronologische Daten über die Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen.

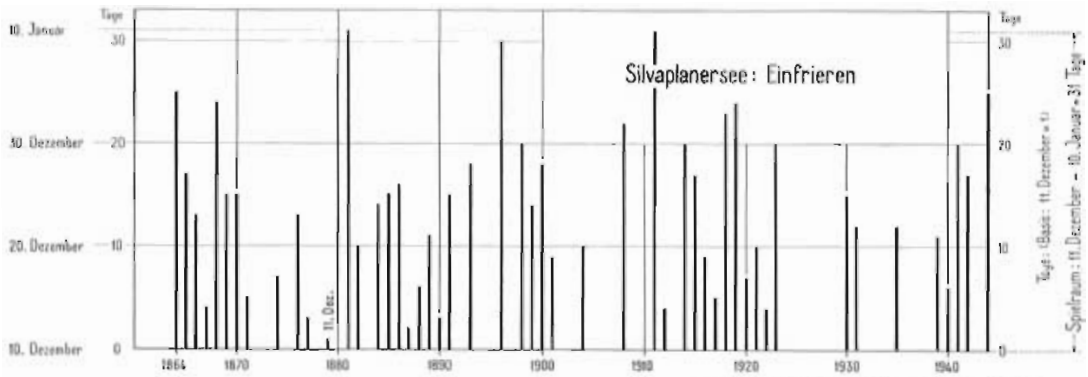
Silser See, 1797 m ü. M.

Tabelle 27

Winter	Zugefroren	Eisfrei	Vereisungs-dauer	Winter	Zugefroren	Eisfrei	Vereisungs-dauer
			Tage				Tage
1864 / 65	4. I.	29. IV.	*115*	1900 / 01	25. XII.	28. V.	154
65 / 66	27. XII.	27. V.	151	01 / 02	29. XII.	29. V.	151
66 / 67	28. XII.	12. V.	135	02 / 03	31. XII.	30. V.	150
67 / 68	10. XII.	14. V.	155	03 / 04	23. XII.	18. V.	147
68 / 69	3. I.	16. V.	133	04 / 05	1. I.	22. V.	141
69 / 70	25. XII.	15. V.	141	05 / 06	19. XII.	15. V.	147
				06 / 07	21. XII.	27. V.	157
70 / 71	11. I.	14. V.	123	07 / 08	27. XII.	18. V.	143
71 / 72	10. XII.	9. VI.	181	08 / 09	27. XII.	18. V.	142
72 / 73	19. XII.	19. V.	151	09 / 10	27. XII.	27. V.	151
73 / 74	19. XII.	9. V.	161				
74 / 75	12. XII.	18. V.	157	10 / 11	8. I.	20. V.	132
75 / 76	11. XII.	11. VI.	183	11 / 12	—	12. V.	—
76 / 77	23. XII.	2. VI.	161	12 / 13	12. I.	23. V.	131
77 / 78	13. XII.	18. V.	156	13 / 14	24. XII.	16. V.	143
78 / 79	8. XII.	18. VI.	**192**	14 / 15	22. XII.	15. V.	144
79 / 80	6. XII.	24. V.	170	15 / 16	28. XII.	16. V.	140
				16 / 17	16. XII.	25. V.	160
80 / 81	7. I.	13. V.	126	17 / 18	7. XII.	21. V.	165
81 / 82	17. XII.	22. V.	156	18 / 19	31. XII.	31. V.	151
82 / 83	17. XII.	23. V.	157	19 / 20	23. XI.	12. V.	171
83 / 84	11. XII.	15. V.	155				
84 / 85	24. XII.	31. V.	158	20 / 21	21. XII.	26. V.	156
85 / 86	25. XII.	11. V.	137	21 / 22	24. XII.	11. V.	138
86 / 87	22. XII.	19. V.	148	22 / 23	26. XII.	17. V.	142
87 / 88	12. XII.	6. VI.	176	23 / 24	23. XII.	6. V.	135
88 / 89	12. XII.	22. V.	161	24 / 25	22. XII.	26. V.	155
89 / 90	21. XII.	22. V.	152	25 / 26	11. XII.	30. V.	170
				26 / 27	17. XII.	28. V.	162
90 / 91	12. XII.	27. V.	166	27 / 28	28. XII.	18. V.	142
91 / 92	25. XII.	24. V.	150	28 / 29	22. XII.	19. V.	148
92 / 93	23. XII.	6. V.	134	29 / 30	21. XII.	—	—
93 / 94	28. XII.	12. V.	135				
94 / 95	22. XII.	24. V.	153	30 / 31	25. XII.	26. V.	152
95 / 96	26. XII.	20. V.	146	31 / 32	21. XII.	5. VI.	167
96 / 97	10. XII.	19. V.	160	32 / 33	31. XII.	8. V.	128
97 / 98	24. XII.	9. V.	136	33 / 34	14. XII.	14. V.	151
98 / 99	28. XII.	25. V.	148	34 / 35	24. XII.	30. V.	157
99 / 1900	20. XII.	16. V.	148	35 / 36	16. XII.	15. V.	151
				36 / 37	16. XII.	21. V.	156
				37 / 38	14. XII.	14. V.	151
				38 / 39	22. XII.	12. V.	141
				39 / 40	25. XII.	20. V.	147
				40 / 41	15. XII.	7. V.	143
				41 / 42	23. XII.	10. V.	138
				42 / 43	28. XII.	27. IV.	120
				43 / 44	4. I.	5. V.	122
				44 / 45	18. XII.	14./15. V.	148

Die Eisverhältnisse auf den Oberengadiner Seen.

2. Silvaplaner See, 1791 m ü. M. (R. P. N. = 373,60 m)



Die Aufzeichnungen erfolgten durch A. v. Flugi, S. Gaudenzi, Silvaplana, und E.W. St. Moritz.

Fig. 20.

Einfrieren.	Frühester Termin:	11. Dezember 1879	Spielraum: 31 Tage
	Spätester Termin:	10. Januar 1881 und 1911	(Periode: 1864—1944) Zahl der Beobachtungsjahre = 50

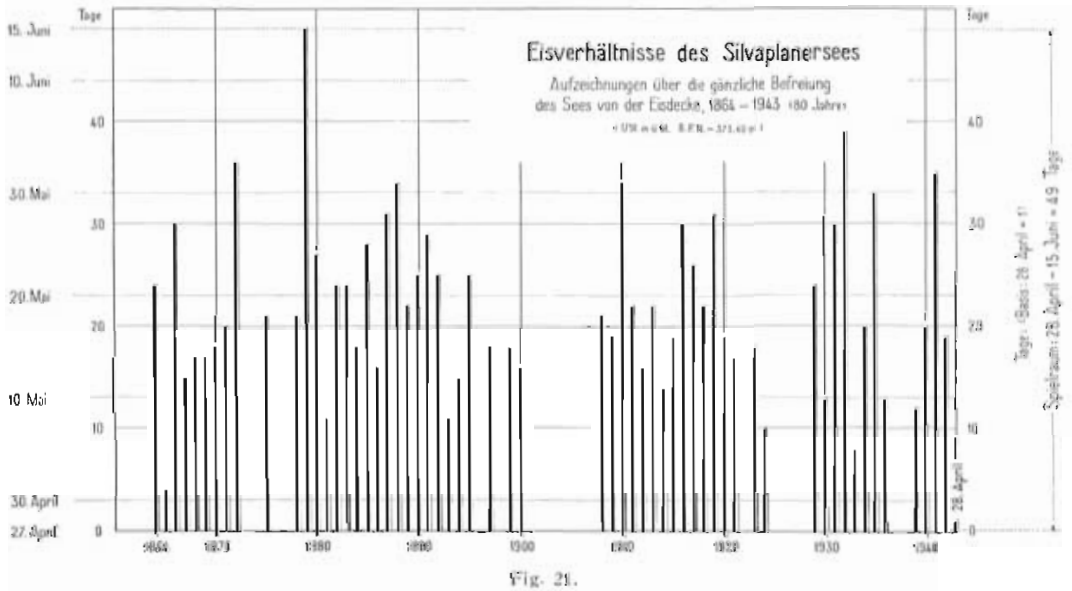


Fig. 21.

Gänzliche Befreiung vom Eise.	Frühester Termin:	28. April 1943	Spielraum: 49 Tage
	Spätester Termin:	15. Juni 1879	(Periode: 1864—1943) Zahl der Beobachtungsjahre = 80
Vereisungsdauer.	Kürzeste Dauer:	1864/65 = 117 Tage	Spielraum: 53 Tage
	Längste Dauer:	1887/88 = 170 Tage	(Periode: 1864—1943)
	Mittlere Dauer:	= **146 Tage**	Zahl der Beobachtungsjahre = 44

Chronologische Daten über die Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen.

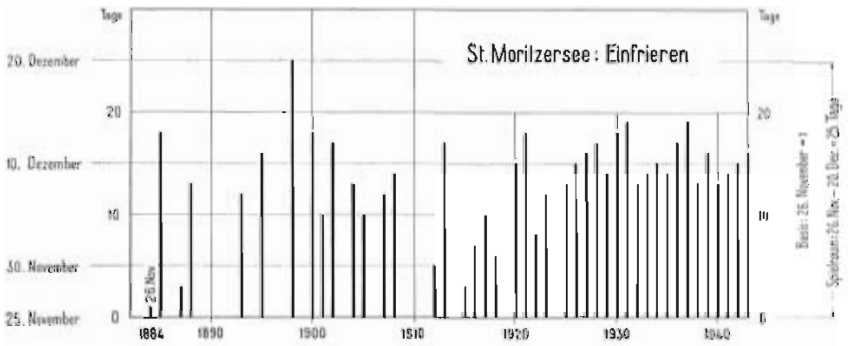
Silvaplaner See, 1791 m ü. M.

Tabelle 28

Winter	Zugefroren	Eisfrei	Vereisungs-dauer	Winter	Zugefroren	Eisfrei	Vereisungs-dauer
			Tage				Tage
1864 / 65	4. I.	1. V.	117	1900 / 01	28. XII.	—	—
65 / 66	27. XII.	27. V.	151	01 / 02	19. XII.	—	—
66 / 67	23. XII.	12. V.	140	02 / 03	—	—	—
67 / 68	14. XII.	14. V.	151	03 / 04	—	—	—
68 / 69	3. I.	14. V.	131	04 / 05	20. XII.	—	—
69 / 70	25. XII.	15. V.	141	05 / 06	—	—	—
				06 / 07	—	—	—
70 / 71	25. XII.	17. V.	143	07 / 08	—	18. V.	—
71 / 72	15. XII.	2. VI.	169	08 / 09	1. I.	16. V.	135
72 / 73	—	—	—	09 / 10	—	31. V.	—
73 / 74	—	—	—				
74 / 75	17. XII.	18. V.	152	10 / 11	—	19. V.	—
75 / 76	—	—	—	11 / 12	10. I.	13. V.	123
76 / 77	23. XII.	—	—	12 / 13	14. XII.	19. V.	156
77 / 78	13. XII.	18. V.	156	13 / 14	—	11. V.	—
78 / 79	—	15. VI.	—	14 / 15	30. XII.	16. V.	137
79 / 80	11. XII.	24. V.	164	15 / 16	27. XII.	27. V.	151
				16 / 17	19. XII.	23. V.	155
80 / 81	—	8. V.	—	17 / 18	15. XII.	19. V.	155
81 / 82	10. I.	21. V.	131	18 / 19	2. I.	28. V.	146
82 / 83	20. XII.	21. V.	152	19 / 20	3. I.	16. V.	133
83 / 84	—	15. V.	—				
84 / 85	24. XII.	25. V.	152	20/ 21	17. XII.	14. V.	148
85 / 86	25. XII.	13. V.	139	21 / 22	20. XII.	—	—
86 / 87	26. XII.	28. V.	153	22 / 23	14. XII.	15. V.	152
87 / 88	12. XII.	31. V.	170	23 / 24	30. XII.	7. V.	128
88 / 89	16. XII.	19. V.	154	24 / 25	—	—	—
89 / 90	21. XII.	22. V.	152	25 / 26	—	—	—
				26 / 27	—	—	—
90 / 91	13. XII.	26. V.	164	27 / 28	—	—	—
91 / 92	25. XII.	22. V.	148	28 / 29	—	21. V.	—
92 / 93	—	8. V.	—	29 / 30	—	10. V.	—
93 / 94	28. XII.	12. V.	135				
94 / 95	—	22. V.	—	30 / 31	25. XII.	27. V.	153
95 / 96	—	—	—	31 / 32	22. XII.	5. VI.	165
96 / 97	9. I.	15. V.	126	32 / 33	—	5. V.	—
97 / 98	—	—	—	33 / 34	—	17. V.	—
98 / 99	30. XII.	15. V.	136	34 / 35	—	30. V.	—
99 / 1900	24. XII.	13. V.	140	35 / 36	22. XII.	10. V.	139
				36 / 37	—	—	—
				37 / 38	—	—	—
				38 / 39	—	9. V.	—
				39 / 40	21. XII.	17. V.	147
				40 / 41	16. XII.	1. VI.	167
				41 / 42	30. XII.	16. V.	137
				42 / 43	27. XII.	28. IV.	122
				43 / 44	—	—	—

Die Eisverhältnisse auf den Oberengadiner Seen.

3. St. Moritzer See, 1768 m ü. M. (R. P. N. = 373,60 m)



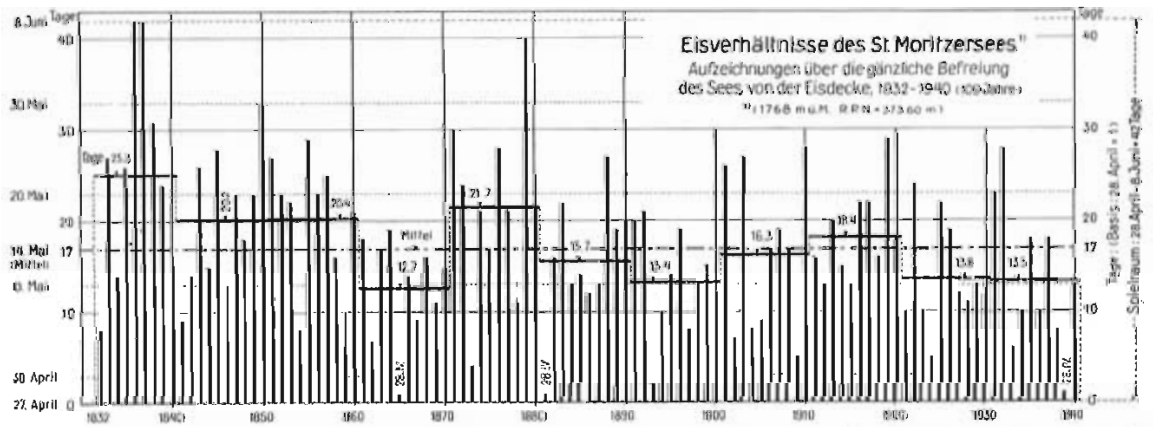
Die Aufzeichnungen erfolgten durch A. v. Flugi, Silvaplana, A. Boesch und E. W., St. Moritz.

Fig. 22.

Einfrieren.

Frühester Termin:	26. November 1884	} Spielraum: 25 Tage
Spätester Termin:	20. Dezember 1898	
Mittlerer Termin:	8. Dezember	(Periode: 1884—1943) unvollständig

Zahl der Beobachtungsjahre = 43



Die Aufzeichnungen erfolgten durch Dr. J. Robbi sen. und jun., St. Moritz.

Fig. 23.

Gänzliche Befreiung von der Eisdecke.	Frühester Termin:	28. April 1865 [1])	} Spielraum: 41 Tage
	Spätester Termin:	8. Juni 1836 und 1837	
	Mittlerer Termin:	14. Mai	(Periode: 1832—1940) Zahl der Beobachtungsjahre = 109
Vereisungsdauer.	Kürzeste Dauer:	1941/42 = 136 Tage	} (Periode: 1884—1944) Zahl der Beobachtungsjahre = 61
	Längste Dauer:	1887/88 = 177 Tage	
	Mittlere Dauer:	= 153 Tage	

[1]) Im Jahre 1942 trat die gänzliche Befreiung sogar schon am 23. April ein.

Chronologische Daten über die Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen.

St. Moritzer See, 1768 m ü. M.

Tabelle 29

Winter	Zugefroren	Eisfrei	Vereisungs-dauer	Winter	Zugefroren	Eisfrei	Vereisungs-dauer
			Tage				Tage
1864 / 65	—	28. IV.	—	1900 / 01	13. XII.	23. V.	161
65 / 66	—	11. V.	—	01 / 02	5. XII.	4. V.	150
66 / 67	—	6. V.	—	02 / 03	12. XII.	24. V.	163
67 / 68	—	13. V.	—	03 / 04	—	5. V.	—
68 / 69	—	8. V.	—	04 / 05	8. XII.	6. V.	149
69 / 70	—	12. V.	—	05 / 06	5. XII.	14. V.	160
				06 / 07	—	16. V.	—
70 / 71	—	27. V.	—	07 / 08	7. XII.	14. V.	158
71 / 72	—	21. V.	—	08 / 09	9. XII.	2. V.	144
72 / 73	—	1. V.	—	09 / 10	—	25. V.	—
73 / 74	—	18. V.	—				
74 / 75	—	14. V.	—	10 / 11	—	13. V.	—
75 / 76	—	25. V.	—	11 / 12	—	10. V.	—
76 / 77	—	18. V.	—	12 / 13	30. XI.	17. V.	168
77 / 78	—	8. V.	—	13 / 14	12. XII.	12. V.	151
78 / 79	—	6. VI.	—	14 / 15	—	10. V.	—
79 / 80	—	18. V.	—	15 / 16	28. XI.	19. V.	142
				16 / 17	2. XII.	19. V.	168
80 / 81	—	28. IV.	—	17 / 18	5. XII.	13. V.	159
81 / 82	—	13. V.	—	18 / 19	1. XII.	26. V.	176
82 / 83	—	19. V.	—	19 / 20	—	15. V.	—
83 / 84	—	10. V.	—				
84 / 85	26. XI.	11. V.	166	20 / 21	10. XII.	7. V.	148
85 / 86	13. XII.	9. V.	147	21 / 22	13. XII.	21. V.	159
86 / 87	—	10. V.	—	22 / 23	3. XII.	7. V.	155
87/ 88	28. XI.	24. V.	**177**	23 / 24	7. XII.	2. V.	146
88 / 89	8. XII.	16. V.	159	24 / 25	—	19. V.	—
89 / 90	—	17. V.	—	25 / 26	8. XII.	16. V.	159
				26 / 27	10. XII.	9. V.	150
90 / 91	—	17. V.	—	27 / 28	11. XII.	8. V.	148
91 / 92	—	18. V.	—	28 / 29	12. XII.	10. V.	149
92 / 93	—	29. IV.	—	29 / 30	9. XII.	9. V.	151
93 / 94	7. XII.	7. V.	151				
94 / 95	—	11. V.	—	30 / 31	13. XII.	20. V.	158
95 / 96	11. XII.	16. V.	156	31 / 32	14. XII.	25. V.	162
96 / 97	—	5. V.	—	32 / 33	8. XII.	3. V.	146
97 / 98	—	10. V.	—	33 / 34	9. XII.	7. V.	149
98 / 99	20. XII.	12. V.	143	34 / 35	10. XII.	15. V.	156
99 / 1900	—	9. V.	—	35 / 36	9. XII.	7. V.	149
				36 / 37	12. XII.	15. V.	154
				37 / 38	14. XII.	5. V.	142
				38 / 39	8. XII.	28. IV.	141
				39 / 40	11. XII.	10. V.	150
				40 / 41	8. XII.	14. V.	157
				41 / 42	9. XII.	24. IV.	*136*
				42 / 43	10. XII.	25. IV.	*136*
				43 / 44	11. XII.	29. IV.	139

Klimaschwankungen im Spiegel der Vereisung der Oberengadiner Seen.

Die im Vorangegangenen aus einem recht beachtlichen statistischen Material graphisch und tabellarisch zusammengestellten Beobachtungen über das Einfrieren, das Eisfreiwerden und die Dauer der Vereisung drängen danach, den Zusammenhängen zwischen dem *Klima* und den vorerwähnten Naturgeschehnissen nachzuspüren.

Wie schon früher erwähnt, eignet sich hierzu der Silser See am besten, da für diesen über 80jährige, fast lückenlose Beobachtungen aller Art vorliegen. Soweit möglich wurden vergleichbare Beobachtungen am Silvaplaner und St. Moritzer See miteinbezogen.

Ein Hilfsmittel, um die Klimaschwankungen besser beurteilen zu können, bietet das Verhalten der Binnengewässer, worauf schon *Ed. Brückner*[1]) und *Artur Wagner*[2]) hingewiesen haben. In Betracht fallen namentlich: die Aenderungen im Wasserhaushalte der Gewässer (Einnahme und Ausgabe) und die Andauer geschlossener Eisdecken. Es steht ohne Zweifel fest, daß auf dem Wege der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung Ergebnisse erzielt werden können, die uns ein wirklich klares Bild über die Klimaänderungen zu geben vermögen.[3]) *Langjährige* und *verläßliche* Reihen solcher Untersuchungen stehen uns heute noch nicht zur Verfügung. Mit der Zeit aber werden wir über ein hydrologisches Material verfügen können, das uns eine einwandfreie Beurteilung dieser Frage ermöglichen wird. Sehr eindrücklich geht das aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen im Hochgebirge hervor.

Bei den Oberengadiner Seen kann es sich, wenigstens vorläufig, nur um das Verhalten der Andauer der Eisdecke zu den Klimaschwankungen handeln, denn nur über diesen Faktor steht uns, wie wir gesehen haben, ein wirklich zuverlässiges und relativ langjähriges Beobachtungsmaterial zur Verfügung.

Für Seen wie die unsrigen, die regelmäßig zufrieren und auftauen, steht ein Zusammenhang der Andauer der geschlossenen Eisdecke mit gewissen Klimafaktoren außer Zweifel. So muß das Wasser in seiner ganzen Tiefe auf 4° C abgekühlt sein, bevor bei weiterem Wärmeentzug das Gefrieren der Oberflächen eintreten kann.[4]) Das tatsächliche Zufrieren kann dann allerdings vom Wetter einer einzigen Nacht (Windstille und Ausstrahlung) abhängen.[5]) Es ist dies ein Faktor, der zweifellos eine gewisse Unsicherheit in der Verwertung solcher Beobachtungen mit sich bringt. Trotz diesem Umstande steht der Zeitpunkt der Bildung solcher Eis- und Schneedecken, deren Andauer z. B. in bestimmten Beziehungen zur Winterkälte und zum Winterniederschlag. Daraus geht recht klar hervor, daß das vorliegende Problem sehr komplexer Natur und nicht leicht zu lösen ist. Mit Hilfe des Faktors «*Vereisungsdauer*» wollte ich gewisse Beziehungen zu den Klimaschwankungen klarlegen und damit einen Beitrag zur Lösung dieser Frage leisten. Erst eine künftige, eingehende, in der Natur ausgeführte Untersuchung wird also in einwandfreier Weise entscheiden können, welche Faktoren die Ursache der Klimaschwankungen bedingen.

[1]) *Brückner Ed.:* Klimaschwankungen. Geographische Abhandlungen, Bd. IV, Heft 2. Wien 1890.

[2]) *Wagner Artur:* Klimaänderungen und Klimaschwankungen. Die Wissenschaft, Bd. 92. Braunschweig 1940.

[3]) Unter Klima verstehen wir die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgendeiner Stelle der Erdoberfläche charakterisieren. Die Lehre vom Klima hat es niemals mit augenblicklichen, immer nur mit mittleren Zuständen der Atmosphäre zu tun.

[4]) Siehe unsere diesbezügl. Beobachtungen Seiten 53—57.

[5]) *J. Maurer* (Zürich): «Der strenge Winter 1929 und die große Seegefrörne Februar—März in der Schweiz» in «Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 1929», S. 310 ff.

II. Zusammenhang zwischen der Vereisungsdauer des Silser Sees und den Klimaschwankungen.

Die Dauer der Vereisung der Oberengadiner Seen steht vor allem mit denjenigen Faktoren in Verbindung, die das Werden und Vergehen der Eis- und Schneedecke bestimmen. In Betracht fallen namentlich alle Umstände, die die Temperatur des Wassers vor dem Einfrierprozeß und den Schmelzvorgang zur Zeit der Oeffnung der Seen bedingen. Die Vereisungsdauer ist das Produkt einer ganzen Reihe von meteorologisch-hydrologisch-physikalischen und chemischen Vorgängen, von denen hier nur die wesentlichsten genannt sein sollen.

Meteorologisch-hydrologische Faktoren: Lufttemperatur[1]), Strahlung, Schwankung der Sonnenflecken, Bewölkung, Niederschlag[1]), Wind. Temperatur der Zuflüsse, Quellverhältnisse.

Physikalische Faktoren: Lage (Exposition) des Sees und seines Einzugsgebietes hinsichtlich Besonnung und Windeinfluß, Größe und Gestalt des Seebeckens (namentlich Flächenausdehnung und Tiefenverhältnisse), Gestalt des Ufergeländes und seiner Umgebung (Einfluß der Wärmeausstrahlung der Erde).

Oertliche Verhältnisse fallen oft entscheidend ins Gewicht und führen zu regionalen Verschiedenheiten, oft auf kurze Distanz (so z. B. lokale Winde). Dies geht aus den Ergebnissen der Vereisungsdauer der Engadiner Seen klar hervor.

Chemische Faktoren: In chemischer Beziehung fällt namentlich der Kristallchemie Bedeutung zu.

Als Beitrag zur Abklärung der «Zusammenhänge zwischen Vereisungsdauer und Klima» wählen wir die langjährigen Beobachtungen am Silser See. Dank der vorbildlichen Chronik der Familie *Zuan* sind seit 1864 für jeden Winter die Daten des Einfrierens und der Eisbefreiung, somit die Vereisungsdauer fast lückenlos bekannt, desgleichen die meteorologischen Daten aus den «Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt» für die Beobachtungsstation Sils-Maria. Wertvoll ergänzt werden die Angaben durch die jahrzehntelangen privaten Beobachtungen von *Alphons v. Flugi* in Silvaplana, publiziert als «Beiträge zur Naturchronik und Klimatologie des Oberengadins» beginnend mit dem Jahre 1850.

In der folgenden Tabelle sind, beginnend mit dem Winter 1864/65 bis 1947/48, d. h. über mehr als 80 Jahre, die wichtigsten Daten, wie Vereisungsdauer, mittlere Sommer- und mittlere Wintertemperaturen und die Winter-Niederschläge zusammengestellt; die Vereisungsdauer wurde zudem graphisch dargestellt in den Figuren 24 und 25 und zusätzlich in der Tabelle 31 als Pentaden-Mittelwerte.

Eine sorgfältige Durchsicht der folgenden Tabelle zeigt einige auffällige Beziehungen, die wir wie folgt zusammenfassen, jedoch nur bedingt verallgemeinern möchten:

Kurze Vereisungsdauer geht parallel mit geringen Winter-Niederschlägen und milden mittleren Wintertemperaturen: Extreme Jahrgänge 1854, 1859, 1862, 1865, 1881, 1893, 1943, 1944.

[1]) Durch Einbeziehung der Tage mit Niederschlag, der Anzahl Tage mit bestimmten Temperaturen und vielleicht auch der Schwankungen der Sonnenflecken, dürften sich die Zusammenhänge noch wesentlich vertiefen lassen.

III. Beziehungen zwischen Vereisungsdauer, Lufttemperatur und Niederschlag für Sils-Maria.

Tabelle 30

Jahr 1. V. bis 31. IV.	Vereisungsdauer Tage	Jahr	Temperatur Sommer Mai-Okt. °C	Temperatur Winter Nov.-Apr. °C	Winter-Niederschlag Nov.-Apr. mm	Jahr 1. V. bis 31. IV.	Vereisungsdauer Tage	Jahr	Temperatur Sommer Mai-Okt. °C	Temperatur Winter Nov.-Apr. °C	Winter-Niederschlag Nov.-Apr. mm
		64	7,0					92	7,5		
1864 / 65	115			— 5,6	183	92 / 93	134			— 4,5	162
65 / 66	131	65	8,3	— 3,4	541	93 / 94	135	93	8,0	— 4,6	299
66 / 67	153	66	7,2	— 2,7	354	94 / 95	153	94	7,4	— 5,8	325
67 / 68	155	67	7,4	— 5,1	369	95 / 96	146	95	7,9	— 3,4	278
68 / 69	133	68	8,9	— 4,0	296	96 / 97	160	96	6,8	— 3,7	408
69 / 70	141	69	7,8	— 5,0	219	97 / 98	136	97	7,6	— 3,4	453
		70	7,6			98 / 99	148	98	7,9	— 3,3	505
70 / 71	123			— 5,1	421	1899 / 1900	148	99	7,8	— 4,1	321
71 / 72	181	71	7,0	— 5,4	417						
72 / 73	151	72	7,3	— 3,5	526			1900	8,2		
73 / 74	161	73	7,9	— 4,2	278	00 / 01	154	01	7,6	— 5,4	500
74 / 75	157	74	7,7	— 6,2	452	01 / 02	151	02	6,7	— 3,8	495
75 / 76	183	75	7,8	— 4,7	473	02 / 03	150	03	7,2	— 4,7	373
76 / 77	161	76	7,6	— 3,9	404	03 / 04	147	04	8,3	— 4,5	539
77 / 78	156	77	7,1	— 4,5	297	04 / 05	141	05	7,2	— 5,1	297
78 / 79	192	78	7,9	— 5,3	518	05 / 06	147	06	8,3	— 5,6	382
79 / 80	170	79	7,0	— 5,0	202	06 / 07	157	07	8,4	— 5,4	441
		80	7,7			07 / 08	143	08	8,1	— 4,7	298
80 / 81	126			— 3,8	289	08 / 09	142	0,9	7,2	— 5,6	209
81 / 82	156	81	7,3	— 3,3	209	09 / 10	151			— 4,4	489
82 / 83	157	82	6,8	— 4,7	285						
83 / 84	155	83	6,9	— 3,8	202			10	6,6		
84 / 85	158	84	7,3	— 2,4	204	10 / 11	132	11	8,6	— 5,2	368
85 / 86	137	85	7,4	— 4,6	208	11 / 12	—	12	6,4	— 3,6	564
86 / 87	148	86	8,0	— 3,9	385	12 / 13	131	13	7,7	— 3,9	368
87 / 88	176	87	7,0	— 6,0	560	13 / 14	143	14	7,0	— 3,8	471
88 / 89	161	88	6,7	— 5,2	235	14 / 15	144	15	7,6	— 5,0	399
89 / 90	152	89	7,5	— 4,6	222	15 / 16	140	16	6,9	— 3,7	601
		90	6,8			16 / 17	160	17	7,7	— 6,2	668
90 / 91	166	91	7,1	— 6,6	174	17 / 18	165	18	7,3	— 5,4	258
91 / 92	150			— 4,5	398	18 / 19	151	19	6,7	— 3,4	529
						19 / 20	171			— 4,2	639

Tabelle 30 (Fortsetzung)

Jahr 1. V. bis 31. IV.	Vereisungsdauer Tage	Jahr	Temperatur Sommer Mai-Okt. °C	Temperatur Winter Nov.-Apr. °C	Winter-Niederschlag Nov.-Apr. mm
20 / 21	156	20	8,1	— 4,1	267
21 / 22	138	21	9,0	— 4,6	448
22 / 23	142	22	7,4	— 4,8	321
23 / 24	135	23	8,0	— 5,1	405
24 / 25	155	24	8,0	— 4,7	355
25 / 26	170	25	7,7	— 4,0	472
26 / 27	162	26	7,7	— 4,0	590
27 / 28	142	27	7,9	— 3,9	487
28 / 29	148	28	8,4	— 6,3	223
29 / 30	—	29	8,8	— 4,3	341
30 / 31	152	30	7,8	— 4,8	347
31 / 32	167	31	7,7	— 5,5	273
32 / 33	128	32	8,2	— 4,4	197
33 / 34	151	33	7,3	— 4,9	434
34 / 35	157	34	8,3	— 5,0	448
35 / 36	151	35	7,7	— 3,8	545
36 / 37	156	36	7,3	— 4,3	496
37 / 38	151	37	8,2	— 5,1	210
38 / 39	141	38	7,7	— 4,0	363
39 / 40	147	39	6,9	— 5,1	337
40 / 41	143	40	7,5	— 5,7	522
41 / 42	138	41	7,1	— 5,3	212
42 / 43	120	42	8,6	— 3,9	208
43 / 44	122	43	8,7	— 5,0	144
44 / 45	148	44	8,0	— 4,9	332
45 / 46	129	45	8,4	— 3,7	423
46 / 47	138	46	8,4	— 4,9	417
47 / 48	134	47	9,5	— 2,8	443
		48	7,9		
Mittelwerte 1864/65 bis 1947/48	149		7,7°	— 4,6°	372 mm

Nachtrag: Während der Fertigstellung der vorliegenden Arbeit brachte der Winter 1950/51 mit enormen Schneefällen und Lawinen katastrophale Ereignisse, der Sommer 1951 zudem eine Hochwasser-Katastrophe. Vergleichsweise erwähnen wir einige Daten.

Sommer 1950 **8,9°** C

Winter			
1950/51	**164**	**— 4,5°** C	**737** mm
(Sils-Maria)	19. XII. bis 31. V.		Dieser Niederschlag übersteigt: den Mittelwert um 98 %, das Maximum 1916/17 um 10 %, das Minimum 1943/44 um das Fünffache.

Lange Vereisungsdauer geht parallel mit hohen Niederschlägen und tiefen mittleren Wintertemperaturen. Extreme Jahrgänge 1850/51, 1852, 1855, 1879, 1888, 1917, 1919, 1926.

Nachbemerkungen zum Winter 1950/51:

Diesen *ganz außerordentlichen* Winter möchten wir nur vergleichsweise erwähnen. Wie die obigen Zahlen zeigen, weist der Niederschlag das absolute Maximum der bisherigen 85jährigen Beobachtungen auf. Für den Winter (1. November bis 30. April) ergibt sich zudem eine summierte Schneehöhe von 1015 cm, die einer gemessenen Schmelzwasserhöhe von 709 mm entspricht. Nur 28,1 mm fielen zusätzlich in Form von Regen am 11. November 1950. Der größte tägliche Neuschneefall wurde am 12. Januar 1951 mit 91 cm ermittelt, an den beiden Tagen vom 19. und 20. Januar fielen zusammen 93 cm, und die größte Gesamtschneehöhe betrug 223 cm.

Die Eisverhältnisse auf den Oberengadiner Seen.

1. Silser See, 1797 m ü. M.

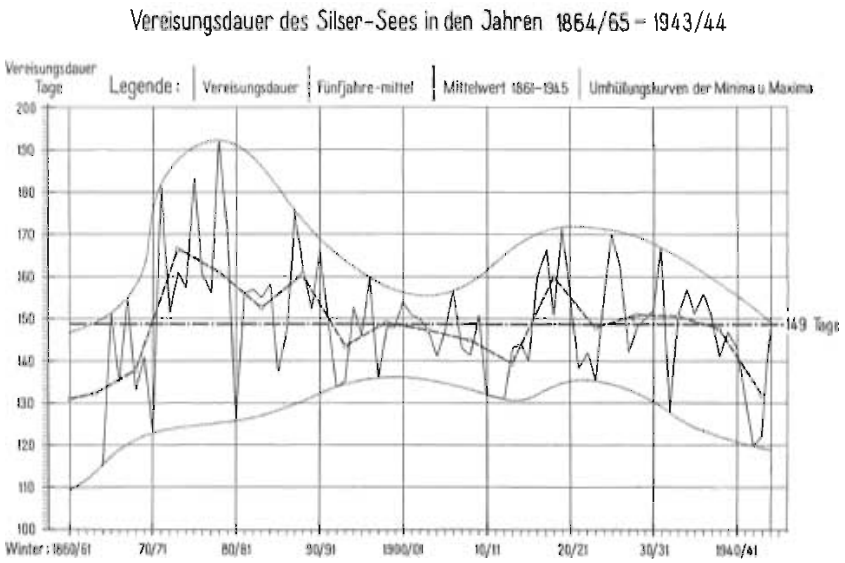


Fig. 24.

Das Einfrieren, Eisfreiwerden und die Vereisungsdauer des Silsersees 1864–1945

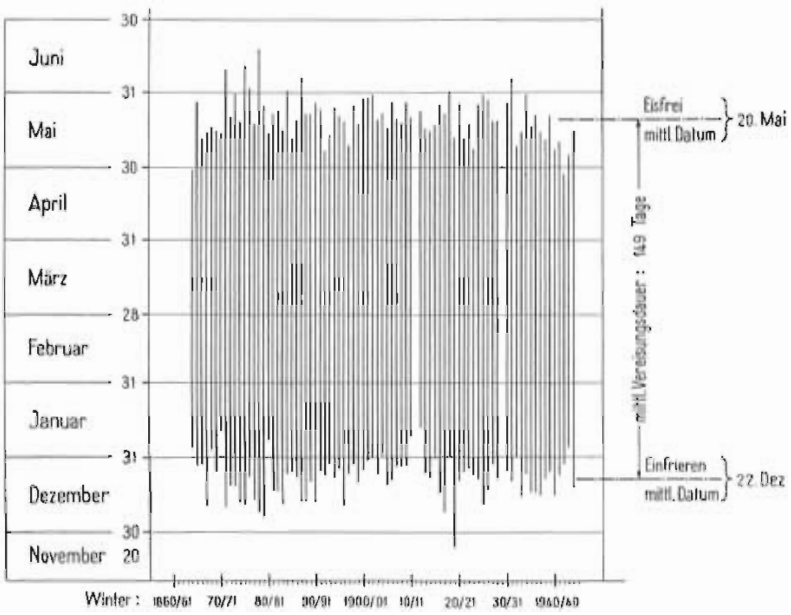


Fig. 25.

Tabelle 31

Pentaten-Mittelwerte der Vereisungsdauer

Pentaten	*Tage*	*Pentaten*	*Tage*	*Pentaten*	*Tage*
1861/62, 64/65, 65/66	132	1891/92—95/96	144	1921/22—25/26	148
1866/67—70/71	137	96/97—1900/01	149	26/27—30/31	151
71/72—75/76	167	1901/02—05/06	147	31/32—35/36	151
76/77—80/81	161	06/07—10/11	145	36/37—40/41	148
81/82—85/86	153	11/12—15/16	139	1941/42—44/45	132
86/87—90/91	164	16/17—20/21	161		
				1861/62—1944/45	**149**

Die enormen Schneefälle dieses Winters waren aber nicht auf das Engadin beschränkt, sie überzogen vor allem den Kanton Tessin und den ganzen Kanton Graubünden mit einer der schwersten Lawinenkatastrophen. Wie die nachfolgende Zusammenstellung zeigt, ergaben sich folgende Schäden:

Die Lawinenschäden des Winters 1950/51 in Zahlen.

(Vorläufige Zusammenstellung der Forstdienste der Kantone.) Tabelle 32

Kantone	Beschädigte Fläche ha	Wälder Masse m³	Überschüttetes Kulturland ha	Gebäude zerstört	Gebäude beschädigt	Tote	Vieh getötet Stück
Bern	6	370	—	25	8	—	—
Uri	106	2 600	1800	62	48	13	184
Glarus	20,7	4 220	—	24	—	2	9
St. Gallen . . .	70	9 000	—	14	—	—	—
Graubünden . .	347	65 050	483,5	473	92	53	215
Tessin	144	16 000	195	187	—	16	87
Wallis . . .	62	5 870	115	134	25	8	35
Total	755,7	193 110	2593,5	919	173	92	530

Nicht genug damit, brachte doch der August 1951 eine schwere Hochwasserkatastrophe, die wiederum die beiden Kantone Graubünden (Engadin, Bergell, Misox) und den Tessin aufs schwerste traf.

Zu ähnlichen Folgerungen führen die Betrachtungen von Pentaden-Mittelwerten, z. B.:

Kurze Vereisungsdauer weisen auf die Pentaden:

1866/67 bis 70/71: Niederschläge unter dem Mittelwert, mittlere Temperaturen milde.

1881/82 bis 85/86: extrem niedrige Niederschläge, sehr milde mittlere Temperaturen.

1891/92 bis 95/96: Niederschläge weit unter Mittelwerten. Mittlere Temperaturen auf Normalwert.

1941/42 bis 44/45: Niederschläge weit unter dem Mittel, mittlere Temperaturen eher unter dem Mittel.

Lange Vereisungsdauer weisen auf die Pentaden:

1871/72 bis 75/76: Niederschläge mit einer Ausnahme weit über dem Mittelwert. Temperaturen mit einer Ausnahme tiefer als Mittelwert.

1876/77 bis 80/81: In dieser Pentade liegen interessanterweise die beiden Extremwerte der Vereisungsdauer mit 192 bzw. 126 Tagen.

1916/17 bis 20/21: Hier geben zwei Extremjahre 1916/17 und 1919/20 den Ausschlag, sowohl hinsichtlich der Niederschläge wie der tiefen mittleren Temperaturen.

Eine kritische Durchsicht der Tabelle 30 zeigt aber, daß auch hier wie überall «keine Regel ohne Ausnahme» gilt. Als krasses Beispiel greifen wir den Winter 1884/85 heraus. Wie die nachfolgend verzeichneten klimatischen Hauptkomponenten

zeigen, hätte man nach ihnen auf eine *extrem frühe* Eisbefreiung rechnen müssen, was aber keineswegs eintraf:

Die mittlere Wintertemperatur ist mit —2,4 ° C die *allerhöchste* der ganzen 84jährigen Beobachtungsperiode. Der Winter-Niederschlag mit nur 204 mm ist nur um weniges höher als das absolute Minimum 144 mm (1943/44), jedoch um 168 mm geringer als der langjährige Mittelwert von 372 mm.

Und nun die Vereisungsdauer? Diese ist mit 158 Tagen um 9 Tage *länger* als der langjährige Mittelwert von 149 Tagen und um ganze 43 Tage länger als die kürzeste Dauer von 115 Tagen (1864/65). Das Datum der Eisbefreiung, der 31. Mai 1885, ist um 11 Tage später als das mittlere Datum (20. Mai) und um 34 Tage verspätet gegen das früheste bekannte Datum, den 27. April 1943.

Ausschlaggebend für diese regelwidrige, relativ lange Vereisungsdauer war die *späte* Eisbefreiung und nicht etwa ein frühes Zufrieren, denn das bezügliche Datum, der 24. Dezember 1884, ist praktisch gleich dem langjährigen mittleren Datum, dem 22. Dezember.

Es drängt sich die Frage auf: Wird im langjährigen Ablauf die Dauer der Vereisung eher beeinflußt durch Schwankungen zwischen frühestem und spätestem Einfrieren oder durch entsprechende Streuungen im Eisfreiwerden? Die nachstehende Tabelle zeigt, daß mit Ausnahme des Silser Sees die größeren Streuungen beim Eisfreiwerden zu finden sind, immerhin ist bei allen Seen der Spielraum ganz beträchtlich.

Spielraum zwischen den frühesten und spätesten Daten des „Zufrierens" und „Eisfreiwerdens". Tabelle 33

	Mittleres Datum	Frühestes Datum	Spätestes Datum	Spielraum
	Zufrieren			
Silser See	22. XII. (1864—1943)	23. XI. (1919)	12. I. (1913)	51
Silvaplaner See		11. XII. (1879)	10. I. (1881)	31
St. Moritzer See	8. XII. (1884—1943)	26. XI. (1884)	20. XII. (1898)	25
	Eisfrei			
Silser See	20. V. (1864—1943)	27. IV. (1943)	18. VI. (1879)	53
Silvaplaner See		28. IV. (1943)	15. VI. (1879)	49
St. Moritzer See	14. V. (1832—1943)	24. IV. (1942)	8. VI. (1836)	45

Wir wollen versuchen, die Ursachen für die extremen Abweichungen im Eisfreiwerden zu finden; hierbei werden wir durch sorgfältige Durchsicht der bereits erwähnten Beobachtungen von *A. v. Flugi* und eigene kritische Beobachtungen darauf geführt, daß die allgemeinen meteorologischen Bedingungen der Frühlingsmonate ins-

Jahre mit früher Eisbefreiung.

(Details zu den einzelnen Jahren siehe in Klimatol. Bemerkungen.)

Tabelle 34

		St. Moritzer See			Silser See						
Daten	Jahr	**1854**	**1859**	**1862**	**1865**	**1881**	**1884**	**1893**	**1943**	**1944**	**1946**
	Datum der totalen Eisbefreiung	5. V.	7. V.	4. V.	29. IV.	13. V.	15. V.	6. V.	27. IV.	5. V.	28. IV.
	Abweichung vom mittl. Datum (St. Moritzer See 14. Mai, Silser See 20. Mai) Tage	— 9	— 7	— 10	— 21	— 7	— 5	— 14	— 23	— 15	— 22
	Abweichung von der mittl. Vereisungsdauer 149 Tage Tage				— 34	— 25	+ 6	— 15	— 29	— 27	— 20
Temperaturen	Mittlere Wintertemperatur (Nov.—April) °C				— 5,6	— 3,8	— 0,8	— 4,5	— 3,9	— 5,0	— 3,7
	Abweichung vom langjähr. Mittel 1865—1948 (Sils: Nov.—April, 1865—1948: —4.6 °) °C				— 1,0	+ 0,8	+ 0,8	+ 0,1	+ 0,7	— 0,4	+ 0,9
	Summe der Temperatur-Ueberschüsse: 1. März bis Eisbefreiung °C	+ 2,5	+ 6,7	+ 9,7	— 1,8	+ 2,3	+ 3,9	+ 3,7	+ 3,8	— 1,0	+ 5,0
	1. April bis Eisbefreiung °C				+ 2,5					+ 1,5	
Niederschläge	Winter-Niederschläge (Nov.—April) mm				183	289	202	162	208	144	423
	Abweichung vom langjähr. Winter-Niederschlag: 1865—1948 mm				— 189	— 83	— 170	— 210	— 164	— 228	+ 51

Jahre mit später Eisbefreiung.

(Details zu den einzelnen Jahren siehe in Klimatol. Bemerkungen.)

Tabelle 35

		St. Moritzer See				Silser See					
Daten	Jahr	**1850**	**1851**	**1852**	**1855**	**1879**	**1885**	**1888**	**1917**	**1919**	**1951**
	Datum der totalen Eisbefreiung . . .	30. V.	24. V.	20. V.	26. V.	18. VI.	31. V.	6. VI.	25. V.	31 V.	31. V.
	Abweichung vom mittl. Datum . . Tage St. Moritzer See 14. Mai, Silser See 20. Mai	+ 16	+ 10	+ 6	+ 12	+ 29	+ 11	+ 17	+ 5	+ 11	+ 11
	Abweichung von der mittl. Vereisungsdauer (149 Tage) . . . . Tage					+ 43	+ 9	+ 27	+ 11	+ 3	+ 15
Temperaturen	Mittl. Winter-Temperatur (Nov.—April) °C	Mai sehr kalt	Mai sehr kalt		März kalt April kalt	— 5,3	— 2,4	— 6,0	— 6,2	— 3,4	— 4,5
	Abweichung vom langjähr. Mittel . . °C (1865—1948)					— 0,7	+ 2,2	— 1,4	— 1,6	+ 1,2	+ 0,1
	Summe von Temperatur-«Mankos»:										
	1. März bis zur Eisbefreiung . . °C					— 3,6	+ 0,7	— 3,0	— 5,1	— 3,7	— 1,5
	1. April bis zur Eisbefreiung . . °C					— 4,6	— 1,0	— 2,7	— 3,5	— 3,5	— 0,9
	1. Mai bis zur Eisbefreiung . . °C					— 3,3	— 1,8	— 0,2	— 0,7	— 1,7	— 0,3
Niederschläge	Winter-Niederschläge (Nov.—April) mm	Mai viel Schneef.	April u. Mai viel Schneef.		März u. April viel Schnee	518	204	560	668	529	722
	Abweichung vom langjähr. Winter-Mittel (1865—1948) . . . . . mm					+ 146	- 168	+ 188	+ 296	+ 157	+ 355 (um 94%)

Klimatologische Bemerkungen zu einigen Jahren mit extrem früher oder extrem später Befreiung der Oberengadiner Seen von der Eisdecke.

Nach A. von Flugi und Meteorologischer Zentralanstalt in Zürich (Annalen).

Tabelle 36

Jahr	Eisfrei: St. Moritzer See	Eisfrei: Silvaplaner See	Eisfrei: Silser See		Temperaturen C°: Mittl. Monatstemp. Bevers	Mittl. Monatstemp. Bevers 1864-1900	Abweichung vom langjähr. Mittel
1850	30. Mai	—	—	*Der St. Moritzer See wurde sehr spät eisfrei*			
				Der Winter weist nichts Außergewöhnliches auf, der Mai war vom 1.—20. anhaltend rauh, naß, kalt, mit häufigen Schneefällen.	—	—	—
1851	24. Mai	—	—	*Der St. Moritzer See wurde sehr spät eisfrei*			
				April: große Schneefälle,			
				Mai: naßkalte Witterung, sehr spätes Frühjahr	—	—	—
1852	20. Mai	—	—	*St. Moritzer See wurde recht spät eisfrei*			
				Januar: sonnig, schneearm	— 8,4	— 9,9	+ 1,5
				April: Straßen früh schneefrei	1,0	— 0,7	+ 1,7
				Mai: erste Schwalben, erster Kuckucksruf . .	7,7	5,8	+ 1,9
1854	5. Mai	—	—	*St. Moritzer See früh eisfrei*			
				Februar: stürmisch mit Regen	— 9,4	— 7,4	— 2,0
				März: ungewöhnlich trocken und warm . .	— 3,4	— 4,2	+ 0,8
				April: sonnig und trocken	2,4	0,7	+ 1,7
				Mai: früher Weidgang	7,6	5,8	+ 1,8
1855	26. Mai	—	—	*St. Moritzer See recht spät eisfrei*			
				Januar: sehr kalt, heftige Schneestürme . .	— 11,1	— 9,9	— 1,2
				März: sehr kalt, sehr viele Schneefälle . .	— 3,2	— 4,2	+ 1,0
				April: noch alle Straßen m. hartgefr. Schnee	1,6	0,7	+ 0,9
				Mai: sehr spätes Frühjahr, wie seit 1836/37 nie mehr	5,0	5,8	— 0,8
1859	7. Mai	—	—	*St. Moritzer See recht früh eisfrei*			
				Dezember: Oberengadin vollst. eingeschneit .	—	—	—
				Januar: kalt, trocken, eher wenig Schnee . .	— 11,7	— 9,9	— 1,8
				Februar	— 5,5	— 7,4	+ 1,9
				März } wenig Schnee	+ 0,2	— 4,2	+ 4,4
				April	3,0	0,7	+ 2,3
				Mai: warm und fruchtbar	8,1	5,8	+ 2,3
1862	4. Mai	—	—	*St. Moritzer See sehr früh eisfrei*			
				Januar: erste Hälfte sehr mild, zweite Hälfte trocken, sehr kalt	— 7,9	— 9,9	+ 2,0
				Februar: anhaltend Tauwetter mit Regen . .	— 3,2	— 7,4	+ 4,2
				März: extrem frühe Schneeschmelze (!) . . .	+ 0,8	— 4,2	+ 5,0
				April: erste Hälfte mild	5,4	0,7	+ 4,7
				Mai: extrem früh warm und mild	9,5	5,8	+ 3,7
					Sils	Sils	Abweichung
1865	28. April	1. Mai	29. April	*Alle Seen extrem früh eisfrei*	1865	1864—1900	
				Januar	— 8,0	— 8,1	+ 0,1
				Februar } es fehlen besondere Angaben .	— 9,8	— 6,4	— 3,4
				März	— 8,4	— 4,1	— 4,3
				April: Kleinvieh Weidgang	3,0	0,5	+ 2,5
				Mai	7,5	5,0	+ 2,5

Tabelle 36 (Fortsetzung)

Jahr	Eisfrei				Temperaturen C°		
	St. Moritzer See	Silvaplaner See	Silser See		Mittl. Monatstemp. Sils	Mittl. Monatstemp. Sils 1864-1900	Abweichung vom langjähr. Mittel
1879	6. Juni	15. Juni	18. Juni	*Alle OE-Seen sind extrem spät eisfrei!*			
				Januar: keine besondern Merkmale . . .	— 7,9	— 8,1	+ 0,2
				Februar: mild, sonnig, trocken 1.—23., dann Schnee	— 5,7	— 6,4	+ 0,7
				März: mild, trocken	— 3,1	— 4,1	+ 1,0
				April: rauh, täglich Schneefälle, am 30. IV. in Sils 133 cm Schnee!	— 0,8	0,5	— 1,3
				Mai: der kälteste Mai seit 1817, 1829, 1836, 1837, 1843, 1855. 27. Mai in Sils noch 80 cm Schnee	1,9	5,0	— 3,1
				Juni	8,8	9,0	— 0,2
1881	28. April	8. Mai	13. Mai	*St. Moritzersee extrem früh, obere Seen früh*			
				Januar: extrem kalter Monat	— 10,5	— 8,1	— 2,4
				Februar: sehr trocken	— 6,3	— 6,4	+ 0,1
				März: keine besondern Bemerkungen . . .	— 2,1	— 4,1	+ 2,0
				April: mild und trocken, Murmeli früh erwacht	0,7	0,5	+ 0,2
				Mai: am 4. Mai schon Kuckucksruf . . .	5.1	5,0	+ 0,1
1884	10. Mai	15. Mai	15. Mai	*Alle Seen recht früh eisfrei,* milder, niederschlagsarmer Winter. Mittl. Wintertemperatur —3,8 Grad und Winterniederschlag 202 mm			
				Januar: heiter, sonnig, mäßig kalt, 31. I. Schneehöhe: 61 cm	— 5,6	— 8,1	+ 2,5
				Februar: mild, niederschlagsarm, 28. II. Schneehöhe 63 cm.	— 5,5	— 6,4	+ 0,9
				März: sehr mild, frühe Schneeschmelze, Frühlingsflora	— 2,6	— 4,1	+ 1,5
				April: mild, Murmeltiere und Kuckuck sehr früh	1,0	0,5	+ 0,5
				Mai: anfangs Mai 25 cm Schneefall, dann rasch warm	6,9	5,0	+ 1,9
1885	11. Mai	25. Mai	31. Mai	*Obere Seen spät eisfrei.* Bis anfangs Mai waren alle Voraussetzungen für frühes Eisfreiwerden gegeben, positive Temperaturüberschüsse, sehr geringe Niederschläge. Der kalte, schneereiche Mai aber schlägt alles zurück.			
				Januar: sonnig, heiter. 31. I. Schneehöhe: 30 cm	— 9,6	— 8,1	— 1,5
				Februar: 28. II. Schneehöhe: 42 cm . . .	— 4,1	— 6,4	+ 2,3
				März: 22. III. in Sils Schlangen sehr früh erwacht!	— 2,4	— 4,1	+ 1,7
				April: 13. IV. Murmeltiere erwacht! 24. IV. Sils schneefrei	1,3	0,5	+ 0,8
				Mai: sehr kalter Monat: 3./4. V.: 44 cm Neuschnee; 14 —25. V. war die Silserebene wieder schneebedeckt: totaler Neuschneefall im Mai: 125 cm (!)	3,2	5,0	— 1,8
1888	24. Mai	31. Mai	6. Juni	*Alle Seen wurden spät eisfrei*			
				Januar: trocken, sehr kalt	— 8,7	— 8,1	— 0,6
				Februar: außergewöhnl. Schneefälle, Sils: 200 cm, dann außergew. kalt	— 7,9	— 6,4	— 1,5
				März: trüb, rauh, 31. III. Sils: 205 cm Schnee	— 5,4	— 4,1	— 1,3
				April: Ende Monat in Sils noch 155 cm Schnee, v. Okt. bis April: total 782 cm Schnee .	— 1,0	0,5	— 1,5
				Mai: in St. Moritz noch anfangs Mai 115 cm Schnee	4,8	5,0	— 0,2

Tabelle 36 (Fortsetzung)

Jahr	Eisfrei: St. Moritzer See	Eisfrei: Silvaplaner See	Eisfrei: Silser See		Temperaturen C°: Mittl. Monatstemp. Sils	Mittl. Monatstemp. Sils 1864-1900	Abweichung vom langjähr. Mittel
1893	29. April	8. Mai	6. Mai	*Alle Seen sehr früh eisfrei*			
				Januar: fortdauernd milde, sonnig und trocken. Die Schulkinder von St. Moritz machten bei staubiger Straße einen Spaziergang nach Sils. Silser See Eisdecke Ende Jan. trotzdem 60 cm	— 11,0	— 8,1	— 2,9
				Februar: kalt	— 6,6	— 6,4	— 0,2
				März: mild und trocken, frühe Schneeschmelze, am 25. III. blühen im Engadin Anemona vern.	— 2,8	— 4,1	+ 1,3
				April: der drittwärmste bekannte April . . .	2,9	0,5	+ 2,4
				Mai: keine besondern Bemerkungen	5,0	5,0	0
1917	19. Mai	23. Mai	25. Mai	*Alle Seen werden spät eisfrei*			
				Der Winter 1916/17 weist mit 668 mm den höchsten Niederschlag aller Winter zwischen 1865 bis 1946 auf. Dezember 1916 mild, aber viel Schnee. Ende Monat liegt der Schnee 125 cm			
				Januar: trüb, viel Schnee, Schneelage 150 cm	— 10,7	— 8,1	— 2,6
				Februar: sonnig, ungewöhnl. niederschlagsarm	— 9,7	— 6,8	— 2,9
				März: rauh u. kalt, durchschn. Schneelage 160 cm	— 5,7	— 4,1	— 1,6
				April: erste Monatshälfte schwere Schneefälle, 15. IV. Schneelage 200—250 cm, 30. IV. Schneelage 150 cm	— 2,4	— 0,5	— 2,9
				Mai: 15. V. immer noch 80 cm Schneelage . .	5,7	5,0	— 0,7
1919	26. Mai	28. Mai	31. Mai	*Alle Seen werden recht spät eisfrei*			
				Januar: recht kalt, niederschlagsreich. Ende Januar in Sils 80 cm Schnee	— 8,8	— 8,1	— 0,7
				Februar: erste Hälfte sehr kalt, zweite trüb .	— 8,4	— 6,4	— 2,0
				März: heiter, trocken, mild. Ende Monat große Schneefälle, am 31. III. in Sils 95 cm ges. Schnee	— 4,3	— 4,1	— 0,2
				April: große Schneefälle, wenig Sonne, am 22. IV. in Sils 115 cm gesetzter Schnee	— 1,3	0,5	— 1,8
				Mai: trocken, kühl, sehr langsame Schneeschmelze, sehr spätes Frühjahr	3,3	5,0	— 1,7
						1864—1940	
1943	25. April	28. April	27. April Vereisung nur 120 Tage	*Alle Seen werden extrem früh eisfrei*			
				Januar	— 8,1	— 8,1	0
				Februar	— 6,6	— 6,8	+ 0,2
				März	— 2,1	— 4,1	+ 2,0
				April	2,2	0,4	+ 1,8
				Winter-Niederschlag: 208 mm			
1944	29. April	—	5. Mai Vereisung nur 122 Tage	*Alle Seen werden früh eisfrei*			
				Januar 16 mm Niederschlag (Sils-Maria) .	— 6,1	— 8,1	+ 2,0
				Februar 52 „ „	— 9,3	— 6,8	2,5
				März 14 „ „	— 6,6	— 4,1	— 2,5
				April 13 „ „	1,9	0,4	+ 1,5
				Mai 124 „ „	5,8	5,0	+ 0,8
				Winter-Niederschlag: total 144 mm (abs. Min.)			
						1865—1940	
1946	21. April	25. April	28. April Vereisung 129 Tage	*Alle Seen werden ganz extrem früh eisfrei*			
				Januar Niederschlag Sils-Maria 72 mm . .	— 9,7	— 8,1	— 1,6
				Februar „ „ 66 „ . . .	— 4,6	— 6,8	+ 2,2
				März „ „ 75 „ . . .	— 1,9	— 4,1	+ 2,2
				April „ „ 96 „ . . .	3,2	0,4	+ 2,8
				Mai „ „ 149 „ . . .	6,3	5,0	+ 1,3
				Winter-Niederschl.: Nov. 45 bis April 46—423 mm			
						1867—1946	
Winter 1950/51	20. Mai	26. Mai	31. Mai Vereisung 164 Tage	*Alle Seen werden recht spät eisfrei*			
				(Niederschläge und Lufttemp. (Sils-Maria)			
				November 1950 169 mm; 167 cm Neuschnee	— 2,5	—	—
				Dezember 1950 90 „ : 153 „ „	— 7,6	—	—
				Januar 1951 182 „ : 290 „ „	— 5,9	— 8,1	+ 2,2
				Februar 1951 181 „ : 255 „ „	— 6,3	— 6,8	+ 0,5
				März 1951 50 „ : 77 „ „	— 4,7	— 4,1	— 0,6
				April 1951 65 „ : 74 „ „	— 0,2	6,4	— 0,6
				Mai 1951 86 „ : 10 „ „	4,7	5,0	— 0,3
				Winter-Niederschl.: Nov. 50 bis April 51 737 mm			
				Totalh. der Schneeschicht = 1015 cm (abs. Max.)			

Dieser Winter wird hier nur vergleichsweise angeführt wegen der extremen Schneefälle.

besondere während der Monate März, ganz besonders aber April und oft auch Mai im verlängernden oder verkürzenden Sinne *maßgebend* wirksam sein können.

Wir haben alle Jahrgänge, die hinsichtlich extrem früher oder extrem später Eisbefreiung (also nicht bezüglich totaler Vereisungsdauer) auffallen, herausgegriffen und deren Temperatur-Verhältnisse in den Monaten März, April, Mai mit den langjährigen monatlichen Mittelwerten verglichen und daraus *Temperatur-Mankos* bzw. *Temperatur-Ueberschüsse* berechnet. Im weiteren wurden für jeden dieser Monate allgemeine klimatologische Naturbetrachtungen zuverlässiger Laien, wie *A. v. Flugi* u. a. m., mitberücksichtigt. Diese Detail-Untersuchungen finden sich in den Tabellen 34—36 und berechtigen, die früheren Hinweise auf die Beziehungen zwischen Vereisung und Klima wie folgt zu ergänzen:

Frühe Eisbefreiungen gehen parallel mit positiven Temperatur-Ueberschüssen der Frühlingsmonate. Beispiele hiefür sind die Frühlinge: 1854; 59; 62; 65; 81; 84; 93; 1943; 44; 46.

Späte Eisbefreiungen gehen parallel mit Temperatur-Mankos der Frühlingsmonate. Beispiele hiefür: 1850; 51; 52; 55; 79; 85; 1917; 19.

Wie steht es nun mit dem Zufrieren? Es stellt sich die Frage, ob für das Zufrieren ähnliche relativ scharf erfaßbare Beziehungen zum «Klima» sich aufstellen lassen, wie für die Eisbefreiung. Ueberlegungsmäßig müßte man diese Frage verneinen, unter Hinweis auf den Hauptumstand, daß wir es bis zum Zufrieren mit einer noch offenen Wasserfläche zu tun haben, die allen möglichen — auch kurzfristig wirkenden — Einflüssen viel mehr ausgesetzt ist, als die durch Eisschicht geschützte Seefläche im Frühling. Wir erwähnen lediglich, daß unter sonst günstigen Vorbedingungen das Zufrieren durch allgemeine Winde oder gewisse Seepartien durch Lokalwinde (Julierwind bei einer bestimmten Partie des Silvaplaner Sees) wochenlang verzögert werden kann; anderseits können ergiebige Schneefälle in ruhige Wasserflächen oder Abstrahlung in klaren, kalten Nächten ein fast plötzliches Zufrieren herbeiführen. Es scheint auf den ersten Blick, als ob das Zufrieren viel mehr als die Eisbefreiung von allen möglichen Klimafaktoren verzögernd oder beschleunigend beeinflußt werden könne.

Die statistische Methode zeigt ein überraschend anderes Resultat. Auf Seite 85 haben wir in Tabelle 33 den Spielraum, d. h. die Streuung zwischen dem frühesten und spätesten Datum des Zufrierens und der Eisbefreiung für alle drei Oberengadiner Seen, während mindestens 80 Jahren zusammengestellt. Wir finden, daß dieser Spielraum für das Zufrieren auffallend viel *kleiner* ist als für die Eisbefreiung, was darauf hinweist, daß wir beim Zufrieren stabilere Verhältnisse haben, bzw. daß ein besonders einflußreicher stabilisierend wirkender Faktor vorherrscht.

Wenn wir alle wichtigen Klimafaktoren Revue passieren lassen, finden wir aber keinen einzigen, der im Herbst gleichmäßiger wäre als im Frühling. Mit dem Hinweis auf die Thermik des Sees glauben wir eine wichtige stabilisierend wirkende Komponente zu nennen, die den Spielraum beim Einfrieren verkleinern hilft. Die Tabellen 23 und 24 und das Diagramm der Tiefenlotungen 17 verdeutlichen diesen Hinweis: Die offene Seeoberfläche und alle Zuflüsse zum See stehen in einem dauernden positiven oder negativen Wärmeaustausch mit den darüberliegenden Luftschichten. Dank der Eigenschaft des Wassers, bei 4 ° C das größte spez. Gewicht zu haben, sinken die auf 4 ° C abgekühlten Wasserteilchen in die Tiefe, wo sie diese Temperatur behalten. Mit

zunehmender Abkühlung füllt sich das Seebecken sukzessive immer weiter bis zu den obersten Schichten mit diesem schweren 4grädigen Wasser. Die wochenlangen, aber täglich oft nur *stundenweise* wirksamen Abkühlungen bleiben somit aufgespeichert und summieren sich in den tieferen Wasserschichten; zeitweilige Erwärmungen der Luft können dieses einmal abgesunkene schwere 4grädige Wasser nicht mehr erreichen. Wie oberflächlich solche Erwärmungen der obersten Wasserschichten in Bergseen sein können, weiß jedermann, der darin gebadet hat und dabei unerwartet mit den Beinen in die kalte Unterschicht geraten ist und erschreckte.

Ausgehend von der Annahme, daß eine wirksame Abkühlung des Wassers bei Lufttemperaturen von 0° C abwärts erfolge, haben verschiedene Autoren als ein Maß für die stattgefundene Abkühlung die «Summe der negativen Temperatur-Tagesmittel bis zum Gefrieren» registriert. Hierzu lassen wir eine Notiz aus der «Neuen Zürcher Zeitung» zur Frage einer damals möglichen «See-Gfrörni» des Zürichsees folgen:

Wird der Zürichsee zufrieren?

(Aus der «NZZ» Nr. 107 vom 19. Januar 1945.)

Die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt teilt mit: Im Gegensatz zu unseren kleineren Schweizerseen, die infolge ihrer geringen Tiefe in den meisten Jahren zufrieren, ist der Zürichsee nur in strengen Wintern vollständig vom Eis bedeckt. Seit dem Jahre 1400 kam dies im Jahrhundert durchschnittlich siebenmal vor, zuletzt 1907, 1929 und 1941. Die «Vorgeschichte» der Eisbildung ist in den einzelnen strengen Wintern sehr verschieden. Neben der Temperatur spielen auch die Wind-, Bewölkungs-, Feuchtigkeits- und Niederschlagsverhältnisse eine wichtige Rolle. Wie die Jahre 1907 und 1941 zeigen, genügen schon ein bis eineinhalb Monate mäßige Kälte zur Bildung einer dünnen Eisschicht, besonders wenn ein paar kalte, klare und windstille Nächte aufeinander folgen. Dagegen ist zur Bildung einer dicken, tragfähigen Eisschicht, wie sie im Jahre 1929 und noch in stärkerem Maße 1891 und 1880 auftrat, langdauernde Kälte notwendig. In den beiden letztgenannten Fällen war die *Summe der negativen Temperatur-Tagesmittel* bis zum Gefrieren des Sees etwa 360 Grad, und selbst 1929, in welchem Jahre eine Periode von außergewöhnlich kaltem und oft klarem Wetter die Eisbildung begünstigte, war diese Summe 325 Grad. Der diesjährige Winter brachte anfangs nur außergewöhnlich große Niederschläge, aber normale Temperaturen. Die seit einem Monat herrschende Kälte hat bis zum 18. Januar erst eine negative Temperatursumme von etwa 150 Grad gebracht. Für eine bedeutende Eisdecke dürfte daher noch eine längere Dauer oder eine starke Verschärfung des Frostes notwendig sein. Dagegen wäre eine dünne Eisbildung besonders bei Aufhellung und kalten windstillen Nächten möglich.

Da wir unsere thermischen Tiefenlotungen im St. Moritzer See im darauffolgenden Herbst durchführten, haben wir alle erfaßbaren Klimafaktoren dieser Beobachtungsperiode gesammelt; sie finden sich in der Tabelle 23. Erstaunlicherweise ergibt unsere Summe der negativen Temperaturtagesmittel nur die Zahl 137 statt 325 bis 360 in Zürich. Eine Erklärung für diese Divergenz haben wir nicht. Ob bei dem gewählten Maß für die Abkühlungsgröße, ausgedrückt als «*Summe der negativen Temperatur-Tagesmittel*» (Summe aller jener mittleren Tagestemperaturen, die negatives Vorzeichen aufweisen, innerhalb der Kälteperiode bis zum erfolgten vollständigen Zu-

frieren) nicht eine wesentliche Komponente fehlt? Nämlich die *Zeitdauer* in Stunden, während welcher die Temperaturen unter 0° C abkühlend wirken konnten? Als Beitrag zur späteren Erklärung dieser Frage haben wir alle am Hg-Thermometer gemessenen und auf den Thermographenstreifen registrierten Temperaturen vom 27. September bis 2. Dezember 1945 für jeden Tag wie folgt ausgewertet (siehe Tabelle 23). Mittlere Tagestemperatur sowie Minima und Maxima, dann die Summe der negativen Temperatur-Tagesmittel und die *Anzahl der Stunden, während welcher die effektive Temperatur unter 0° C lag*. Für die Zeit vom 27. September bis zum 2. Dezember, d. h. dem Tag des endgültigen Zufrierens, fanden wir dafür ca. 880 Stunden. Vielleicht, daß unser Tabellenmaterial mit den Tiefenlotungen, dem Wasservolumen des Seeinhaltes den Wärmetechnikern Grundlagen für weitere Berechnungen bieten, aus denen relativ scharf erfaßbare Beziehungen zwischen Klima und *Einfrieren* der Seen abgeleitet werden können.

Vergleichen wir den Gang der Vereisungsdauer der Oberengadiner Seen mit den Schwankungen der Gletscher am Alpennordfuß, soweit dies das Beobachtungsmaterial erlaubt, so ergibt sich mit bemerkenswerter Klarheit, daß die ziemlich scharf getrennten Phasen, die in der Vereisungsdauer in Erscheinung treten, in gewissem Sinne auch in den Gletscherschwankungen zum Ausdruck gelangen. Das nämliche gilt im Vergleich von Vereisungsdauer mit Temperatur und Niederschlag.

Die Uebereinstimmung im Verlauf ist eine derart augenfällige, daß man füglich von einem Zusammenhang zwischen Vereisungsdauer und Klimaschwankung und damit auch zwischen Vereisungsdauer und Gletscherschwankung sprechen darf.

Wenn wir bedenken, daß nicht nur winterliche Faktoren die Vereisungsdauer der Seen bedingen, sondern auch sommerliche sie zu beeinflussen vermögen — der momentane thermische Zustand der Wassermasse eines Sees ist ja stets das Ergebnis eines in einem früheren Moment bestandenen Wärmezustandes und der verschiedenen, seit jenem Moment durch verschiedene Einflüsse hervorgebrachten Aenderungen, so bedarf es wohl keiner weiteren Begründung mehr, daß solche Beziehungen bestehen müssen.