

## Zweiter Abschnitt.

# Messungen und Beobachtungen auf und am St. Moritzer See

## I. Einleitung.

Ausgehend von den vorausgegangenen Zusammenstellungen weitläufig zerstreuter, jahrzehntelanger Beobachtungen haben wir versucht, diese sich alljährlich wiederholenden Naturgeschehnisse im großen Rahmen langfristiger Zeitläufe aufzuzeigen und darüber hinaus in Zusammenhang zu bringen mit dem allgemeinen «Klima».

In den folgenden Kapiteln werden wir nun über Einzelforschungen berichten, die in den Jahren 1936 bis 1946 durchgeführt wurden zur Abklärung von Einzelproblemen, die programmäßig vorgesehen war, aber auch von solchen, die sich erst im Laufe der Beobachtungen neu stellten.

Dr. O. Lütschg hatte im Nachlaß diese Einzelforschungen chronologisch in der Reihenfolge der Jahre 1936 bis 1946 geordnet. Die Nachlaßbearbeiter fragten sich, ob im Interesse einer klaren Uebersicht über die Geschehnisse, die sich innerhalb eines ganzen Zyklus «Werden, Sein, Vergehn» eines Eisbelages im jahreszeitlichen Ablauf abspielen, nicht eine thematische Ordnung der Beobachtungen aufdränge. Eine thematische Ordnung, z. B. beginnend mit der Abkühlung des Seewassers im September bis zum Einfrieren, dann die Metamorphosen des Eisbelages, die Einflüsse der Winterniederschläge auf den Eisbelag usw. bis zur vollständigen Eisbefreiung im Frühling. Ungeachtet der Beobachtungsjahre, in welchen die einzelnen Phänomene beobachtet wurden, würden sie in der Reihenfolge: Abkühlung, Eisbildung usw. zu einem schematischen «*Normal-Lebensablauf*» einer winterlichen Eisdecke eines Hochgebirgssees wie ein Puzzlespiel zusammengesetzt. Hier angelangt, sträubt sich etwas in uns. Wohl würde wissenschaftlich systematisch ein sehr klarer Ueberblick über den Ablauf eines winterlichen Geschehens in jahreszeitlicher chronologischer Reihenfolge sich ergeben. Wir scheuten trotzdem zurück vor dieser Stoffgruppierung und berichten nachfolgend so, wie wir die einzelnen Erscheinungen beobachten konnten. Jahrelang warteten wir oft darauf, bis günstige Bedingungen es ermöglichten, diese oder jene Frage, die offen geblieben war, beantwortet zu bekommen: offen gestanden, waren wir überhaupt «systematisch» zu unseren Beobachtungen über die Schnee- und Eisverhältnisse der Oberengadiner Seen gekommen? Nein, ohne die verunglückten Pferderennen 1935/36 hätte nie jemand daran gedacht! Dieses Vorkommnis drängte zu einer Aufklärung der Ursachen, und von dort aus «tasteten» wir uns schrittweise weiter.

Die vielen Texthinweise sollen dem Leser die eventuell gewünschte thematische Ordnung der Einzelphänomene ermöglichen helfen.

### A. Ziel der Einzelforschung.

Ende Januar, anfangs Februar wurden seit 1910 jeweils auf der Eis- und Schneedecke des St. Moritzer Sees Pferderennen abgehalten. Während der projektierten Rennwochen vom 25. Januar bis 6. Februar des Winters 1935/36 versagte die Eisdecke. Sie wurde vom Seewasser überschwemmt; nach mehrtägigen Verschiebungen mußten am 6. Februar 1936 die Rennen endgültig abgesagt werden. Der Rennverein St. Moritz faßte hierauf den Beschluß, die zur Aufhebung der Rennen führenden Umstände festzustellen. Unter anderem wurde auch die Vermutung ausgesprochen, ob eventuell die periodischen, täglich wiederkehrenden Seespiegelschwankungen, verursacht durch den Betrieb des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz (E. W. St. M.) Mitursache der Ueberschwemmung sein könnten. Auf den Vorschlag des Direktors des Elektrizitätswerkes wurde beschlossen, das ganze Problem gemeinsam sachlich und so genau wie möglich zu studieren und den Verfasser als Sachverständigen beizuziehen.

Es galt vor allem, folgende Fragen grundsätzlich abzuklären:

1. Waren die Umstände, die zur definitiven Absage der Pferderennen Veranlassung gaben, in irgendeinem ursächlichen Zusammenhang mit den täglichen Wasserspiegel-Schwankungen des St. Moritzer Sees von durchschnittlich 5 cm bis maximal 9 cm, wie sie sich seit Jahren aus dem Wasserhaushalt des E. W. St. M. ergaben, oder waren diese Vorkommnisse verursacht durch ungewohnt ungünstige meteorologische Verhältnisse des Monats Januar, Anfang Februar 1936, wie u. a. unzeitgemäßer Regen, hohe Temperaturen, dadurch entstandene Schmelzwassertümpel auf der Eisdecke, zudem in den kritischen Tagen unmittelbar vor dem Rennen relativ hohe und spezifisch schwere Schneefälle, die zu einer Ueberlastung der im Mittel 30 cm starken Eisschicht und damit zusätzlich zu einer stellenweisen Ueberflutung von unten her führen mußten?  
Infolge zu hoher Temperaturen, zumindest infolge zu spät einsetzender andauernder ausgiebiger Frostwirkung, konnten die «Sümpfe» nicht so sicher durchfrieren, daß die Rennen in der technisch zulässigen Zeit hätten verantwortet werden können.
2. Verhält sich die Eisdecke auf dem St. Moritzer See wie ein frei schwimmendes Floß, das allen Seestandsänderungen ohne zeitliche Verzögerungen folgt, oder verursacht der Zusammenhang der Eisdecke mit den Uferpartien eine zeitliche Verzögerung in der Anpassung an den jeweils wechselnden Wasserstand des Sees?
3. Klarstellung der Eis- und Schneeverhältnisse der Eisdecke. Bestimmung der Stärke des Eises und dessen Tragfähigkeit.

Für die vorläufige Beurteilung der oben gekennzeichneten Fragen wurde das gesamte vorhandene und nachträglich auffindbare Tatsachenmaterial herbeigezogen; es erwies sich als absolut unzureichend. Bei näherer Prüfung der Sachlage zeigte sich nämlich, daß sehr wichtige Unterlagen für die Beurteilung dieser Verhältnisse fehlten. Es wurde deshalb ohne Zeitverlust ein Beobachtungsdienst ins Leben gerufen und dafür gesorgt, daß mit Beginn der Aneisung des Sees in kommenden Jahren der ganze Fragenkomplex einer einwandfreien wissenschaftlichen Untersuchung unterzogen werden konnte.

## B. Arbeitsprogramm.

Im Anschluß an gemeinsame Besprechungen und Begehungen wurde ein allgemeines Arbeitsprogramm aufgestellt, das in seinen wesentlichen Teilen folgendermaßen lautet:

1. Einrichtung a) einer kleinen meteorologischen Beobachtungsstation am Ufer des Sees und b) eines meteorologischen Dienstes.
2. Studium der Aneisung des Sees, Messung der Eisdicken und Schneehöhen und Bestimmung ihrer Wasserwerte, Beobachtungen über das Verhalten der Schneedecke bei Temperaturschwankungen, Studium der Struktur der Eisschicht und deren Veränderungen.
3. Verhalten der Eisdecke bei Niveau-Schwankungen des Wasserstandes, Aufnahme eines Meßprofils quer über die Eisdecke des St. Moritzer Sees mit Hilfe einer Anzahl über das ganze Profil verteilter, auf der Eisdecke fixierter Punkte, deren Höhenschwankungen bei wechselndem verändertem Wasserstand von einem Festpunkt am Ufer mit Hilfe genauer Nivellements zu bestimmen sind. Gleichzeitig sind die Seespiegelschwankungen durch einen selbstregistrierenden Wasserstandsmesser mit Festpegel festzustellen, Sowohl die rechnerische, als auch die graphische Verwertung des Beobachtungs- und Registriermaterials ermöglichen für jeden einzelnen Meßpunkt des Eisdeckenquerprofils die Feststellung: a) einer allfälligen zeitlichen Verzögerung, oder b) die sofortige niveaumäßige Anpassung der Eisdecke an die Schwankungen des Seespiegels.

Mit der Festsetzung des Arbeitsprogrammes setzte eine rege Inangriffnahme der Arbeiten ein, die unter der Leitung des Verfassers von *Th. Hauck* und den beiden Technikern des Elektrizitätswerkes *W. Frey* und *A. Bernhard* ausgeführt wurden.

## C. Meteorologische Station am St. Moritzer See

(280 m westlich des Bahnhofes).

Die Ausrüstung der Beobachtungsstation am St. Moritzer See umfaßte an hauptsächlichen Geräten:

1. Ein Thermo-Hygrograph mit Präzisions-Thermo-Hygrometern.
2. Ein Präzisions-Quecksilberthermometer mit  $\frac{1}{5}^{\circ}$ -Einteilung.
3. Ein normaler Hellmann-Niederschlagsmesser für Schnee.
4. Ein im See-Eis verankerter Schneepegel.
5. Ein im Ufergelände verankerter Schneepegel.
6. Eine Präzisionswaage (auf 0,5 g genau).
7. Handbohrmaschine mit Eisbohrer 10 mm  $\varnothing$ , 60 cm lang, für schnelle Ermittlung der Eisdicken.
8. Große Eisbohrmaschine für das Herausschneiden von Bohrkernen von 175 mm  $\varnothing$ , 80 cm Länge.

Das laufende meteorologische Beobachtungsmaterial lieferten die Aufzeichnungen der meteorologischen Stationen der Zentralanstalt in Zürich, Beobachtungsort: Katholisches Pfarrhaus bei der Kirche in St. Moritz-Dorf und des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz am See.

### D. Besondere Apparate.

*Eisbohrmaschine »Hauck-Giuliani-Lütschg«.* Für die Ermittlung der Schichtungsverhältnisse der Eisdecke wurde neben Meßstäben und festen Pegeln eine eigens für diese Untersuchungen konstruierte Eisbohrmaschine folgender Bauart verwendet (siehe Fig. 26—31).

#### Eisbohrmaschine „Hauck-Giuliani-Lütschg“.



Fig. 26.



Fig. 27.



Fig. 28.

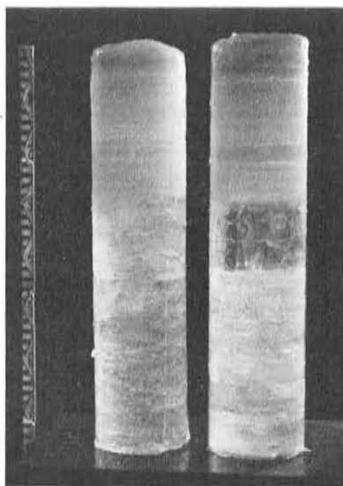


Fig. 29.



Fig. 30.

Als Hauptbestandteil enthält die Maschine einen zylindrischen Hohlbohrer, der es erlaubt, in ca. 3—4 Minuten aus einer 80 cm dicken Eisdecke einen sauberen Eiszylinder von ca. 175 mm Durchmesser heraus zu bohren, siehe dazu Fig. 29.

Das auf Skikufen fahrbare Maschinengestell enthält eine lange Welle, an deren unterm Ende der Bohrer (Fig. 26 und 27) angeschraubt ist. Am oberen Ende der Welle befindet sich eine Aufhängevorrichtung mit daran befestigtem Drahtseil. Das über zwei Rollen laufende Seil ist an einem Hebel derart festgemacht, daß der Bohrer sehr leicht auf und ab bewegt werden kann. Der Bohrer-Antrieb besteht aus einem Handrad mit Kegelrad-Übersetzung. Der Bohrer-Vorschub erfolgt durch das Eigengewicht des Bohrers und der Welle.

Der Bohrer selbst besteht aus einem Stahlrohr von ca. 180 mm Innendurchmesser mit viergängig spiralig aufgeschweißtem Bandstahl. Diese Spiralen dienen für das Heraufarbeiten der «Bohrspäne». Am untersten Ende sind die Stahlbänder messerscharf geschliffen (Fig. 28, 30 und 31).

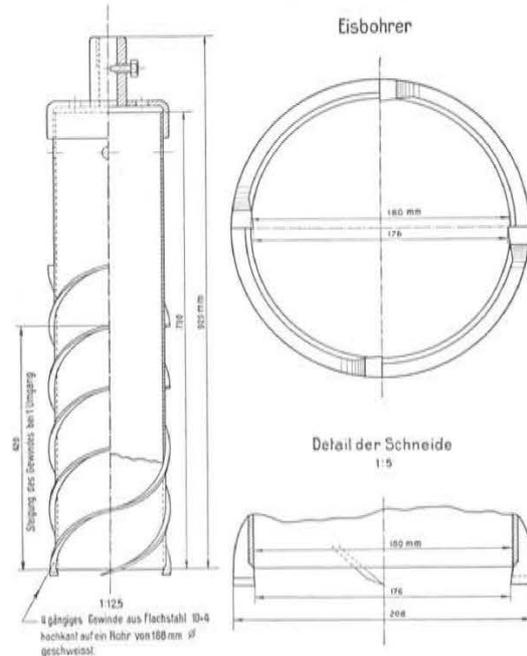


Fig. 31.

## II. Winter 1935/36.

Wie schon früher angeführt, mußten ausgerechnet die 25. Jubiläums-Pferderennen den Tücken der Witterung zum Opfer fallen. Diese für den Kurort im allgemeinen, wie für den Rennverein im besondern verlustreiche Angelegenheit gab Anlaß für die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen.

### A. Allgemeines.

Im Winter 1935/36 herrschten in St. Moritz, wie überhaupt in der ganzen Schweiz, namentlich während der Monate Dezember, Januar und Februar, ungewöhnliche meteorologische Verhältnisse, die sich insbesondere durch bedeutend höhere Temperatur-Mittelwerte auszeichneten.

Im Winterbeginn (Dezember) kamen zuerst noch sehr tiefe Temperaturen vor (10. Dezember  $-18^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$ ). Damit war die thermische Disposition des Sees zur Eisbildung gegeben.

Unmittelbar vor Weihnachten machte sich aber ein außergewöhnlicher Temperaturanstieg bemerkbar, der sich besonders in der Zeit zwischen Weihnachten und Neujahr zu einem ausgesprochenen Tauwetter entwickelte.

Zwischen Ende Dezember bis Anfang Februar wechselten Kälte- und Wärmewellen in bunter Reihenfolge, im allgemeinen blieb jedoch die mittlere Temperatur in dieser Zeitperiode bedeutend über dem normalen Mittelwert.

Diese außergewöhnlichen Temperaturverhältnisse übten natürlich einen sehr nachteiligen Einfluß auf die Entwicklung der Eisdecke auf dem St. Moritzer See aus.

Das Ausbleiben längerer Perioden starken Frostes verhinderte die Bildung einer dickeren Eisschicht an der Seeoberfläche, während zeitweiliges Tauwetter, nicht selten von Regen begleitet, zur Bildung größerer Wassertümpel auf der Eisfläche beitrug. Mitunter wurden diese Wassertümpel bei starkem Schneefall zugedeckt, ohne daß der vorübergehend für kurze Zeit einsetzende Frost Zeit gehabt hätte, die Schmelzwassertümpel bis auf deren Grund zum Gefrieren zu bringen. Die Schneedecke ihrerseits hinderte den Wärmeaustausch und somit auch die genügende Abkühlung der relativ tiefen sulzigen Stellen und förderte dadurch ihr Bestehenbleiben.

Die Verhältnisse im Hinblick auf die Rennpiste auf dem See entwickelten sich trotz wochenlangen gewaltigen Anstrengungen des Rennvereins immer unbefriedigender. Als ca. 10 Tage vor dem Rennen ein Arbeitspferd mit angehängtem Schlitten an einer Stelle innerhalb der Rennpiste durchbrach und kurz vor Trainingsschluß auf einer bis anhin nicht als zweifelhaft bekannten Stelle ein Rennreiter mit seinem Pferd eine Zwischenschicht durchtrat, mit dem Pferd stürzte und sich nicht unerheblich verletzte, sah sich die Rennleitung gezwungen, schweren Herzens die zwischen dem 25. Januar und 2. Februar 1936 projektierten 25. Jubiläums-Pferderennen nach bereits erfolgter achttägiger Verschiebung am 6. Februar endgültig abzusagen.

Der XXV. Jahresbericht 1935/36 des Rennvereins schließt mit folgender Feststellung: «... denn abnormal waren die Verhältnisse im Jubiläumswinter 1936. Es mögen sich die ältesten Personen an einen so milden Winter im Engadin nicht erinnern. Warmwettereinbrüche von kurzer Dauer sind bekannt, Warmwetterperioden von fast zwei Monaten vom Dezember bis in den Februar hinein aber nicht. Einer solchen Wetterkatastrophe sind die Rennen 1936 zum Opfer gefallen...»

Die vorstehend kurz umrissenen Vorgänge wurden, soweit möglich, mit Hilfe des vorhandenen meteorologischen und hydrologischen Beobachtungs- und Meßmaterials beweiskräftig belegt. In den Diagrammen Fig. 34 auf Seite 103 sind diese graphisch zusammengestellt und sollen nachfolgend kurz besprochen werden.

## **B. Die Entwicklung der Eisdecke im Winter 1935/36.**

Systematische Aufzeichnungen über die Entwicklung der Eisdecke vom Beginn ihrer Entstehung fehlen; immerhin geben Tagebuchaufzeichnungen von Herrn Geometer *Tröger*, Sekretär des Rennvereins, die eingezogenen Berichte der Eisschneider bei der Eisgewinnungsstelle «Meierei» und einige eigene Beobachtungen ein sehr deutliches Bild über die eigenartige Entwicklung. Wir lassen die verschiedenen Beobachtungen soweit möglich chronologisch geordnet folgen.

Dem 25. Jahresbericht 1935/36 des Rennvereins entnehmen wir folgende interessante Angaben: «Am 23. Dezember 1935 wurde mit der Absteckung der Rennpiste

begonnen; schon an diesem Tag zeigten sich sehr ungleichmäßige Eisstärken von 3—15 cm, darüber stellenweise ausgedehnte wässrige Sumpftümpel von 10—15 cm Tiefe, zudem an unvermuteten, bisher ungewohnten Stellen offene Löcher im Eis. Am 26. Dezember fielen 30 cm Neuschnee (150 mm Wassersäule) mit nachfolgendem Tauwetter mit  $+4$  bis  $+8^{\circ}$  C Lufttemperaturen, um 8.00 Uhr am Seeufer gemessen. Vorübergehende tiefe Temperaturen erlaubten am 11. Januar 1936 den Trainingsbeginn auf der Rennpiste, aber schon am 12. Januar mußte die Piste wegen wasserzügen Stellen nach richtigem Regen wieder gesperrt werden.»

Wohl als wertvollsten Fund dürfen wir die Eisprofil-Aufnahmen von Herrn Geometer *Tröger* bezeichnen, die er in der entscheidenden Zeit des 1. Februar 1936 an mehreren, nicht näher gekennzeichneten Stellen innerhalb der Rennpiste aufgenommen hat. Siehe Eisprofile Fig. 33. Diese Profile dürften den entscheidenden Ausschlag für die zweite Verschiebung und zur endgültigen Absage der Rennen gegeben haben. Wir werden diese Eisprofile noch näher besprechen, nachdem wir vorgängig noch eine

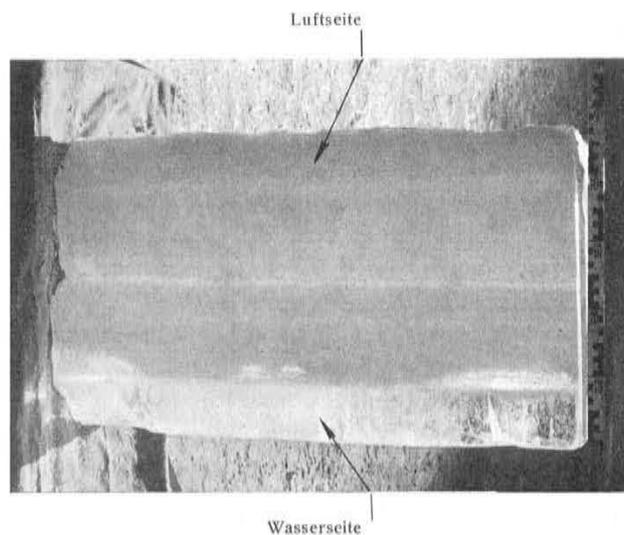


Photo Albert Steiner.

Fig. 32.

#### St. Moritzer See.

Eisblock gewonnen in der offiziellen Eisgewinnungsstelle (Südostecke des Sees, westlich der Mündung des Ovel da Cangiolas) und entstanden ca. zwischen Weihnacht—Neujahr und 1. Januarhälfte 1935/36.

Ueber dem klaren Initialeis von 0 bis ca. 9 cm, bauen sich in bunter Folge verschiedene deutlich abgezeichnete Schichten auf. Bezüglich Durchsichtigkeit finden sich alle Nuancen von ganz glasklar, leicht durchsetzt von milchigen flockigen Einschlüssen, von uni leicht getrübt bis vollständig milchig undurchsichtig, zuoberst grobkristallines Firneis.

weitere Schilderung der allgemeinen Entwicklung der Eisdecke wiedergeben, die sich mit den Angaben des Rennvereins deckt.

Von den Arbeitern der offiziellen Eisgewinnungsstelle bei der «Meierei» erhielten wir folgende Angaben: «Bis zum 15. Januar 1936 wagten wir nicht, Eis zu schneiden; einmal war es bisher unergiebig dick, dazu sehr unkompakt (nicht zusammengefrorene Schichten), zudem schien uns die Abfuhr mit schwerbeladenen Pferdeschlitten bisher

Eisprofile:  
 aufgenommen während der kritischen Periode  
 am 1. Febr. 1936

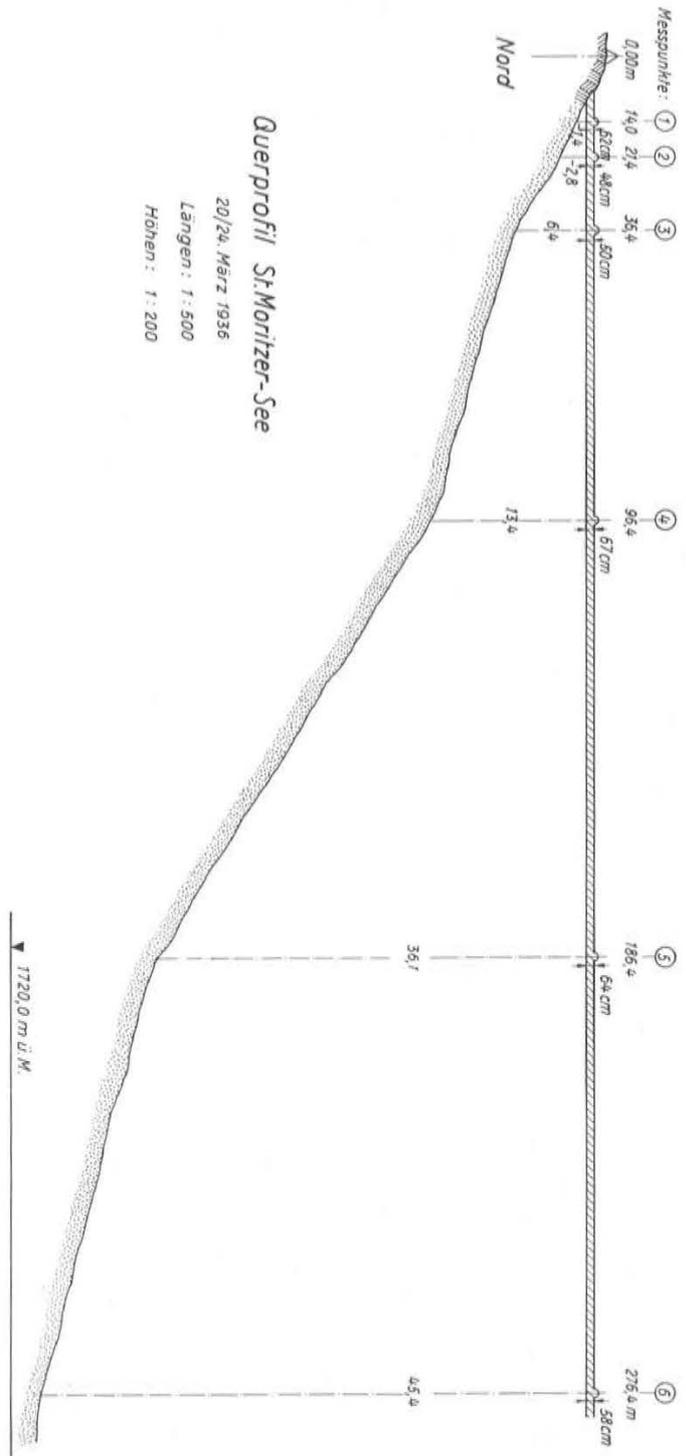
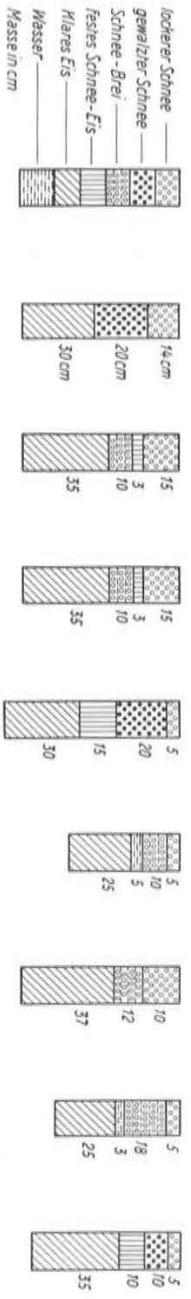


Fig. 33.

riskant. Am 15. Januar ergaben sich Blöcke von 35—45 cm Stärke, milchig weiß und undurchsichtig mit deutlichen Schichtungslinien, in denen sich einige Blöcke bei seitlichem Umkippen aufspalteten.» Fig. 32 zeigt einen solchen zu gewerblichen Zwecken geschnittenen Block; der Maßstab mit Zentimeterteilung erlaubt eine Schätzung der Stärken einzelner Schichten.

Die von Herrn Geometer *Tröger* am 1. Februar aufgenommenen Eisprofile a bis h, aufgezeichnet in Fig. 33, wurden an verschiedenen kritischen Punkten innerhalb der Rennpiste ermittelt. Ein Vergleich der Profile mit dem in Fig. 32 abgebildeten Eisblock bestätigt die verschiedenen wiedergegebenen Beobachtungen. Wir kommentieren die Profile a bis h wie folgt: Ueber einer sicher tragenden Klareisdecke von 25 bis maximal 35 cm baut sich eine Schichtung auf, die von Profil zu Profil stark wechselt.

*Profil a* ist ein fast ideales Profil; über der Eisdecke liegt eine 20 cm starke Schicht durch schwere Walzen zusammengepreßten Schnees, darüber eine dünne, leichte Neuschneesicht von 14 cm.

Die *Profile b und c* dagegen sind die denkbar gefährlichsten, heimtückischsten Profile für die wertvollen Pferdebeine. Ueber der Eisdecke ein 10 cm tiefer wässriger Schnee- und Schlammbrei, der gerade begonnen hatte, durch die Einwirkung tiefer Lufttemperaturen von oben her langsam durchzufrieren, als eine Neuschneesicht darauf fiel und als Isolierschicht die willkommene Durchfrierung des wäßrigen Schnee- und Schlammbreies mindestens sehr stark verzögerte. Ein Fußgänger geht, auch fest auftretend, unbeschadet über diese Stellen; das trabende, galoppierende Pferd bricht durch, bricht ein Bein und muß abgetan werden.

Die *Profile e, f, g* sind ebenso gefährlich wie b und c. Der wäßrige Schnee- und Schlammbrei der versumpften Stellen wurde durch eine Neuschneesicht abgedeckt, ehe der Sumpf oberflächlich zuzufrieren begann. Die Stellen sind heimtückisch, weil auch der aufmerksamste Beobachter nach mehreren Tagen nicht sieht, daß unter der trügerisch sauberen Schneeschicht von 5 cm z. B. bei Profil g 21 cm Sumpf darunter lauern.

Die *Profile d und h* waren auch einmal versumpft; dank glücklichen Umständen konnten die Sümpfe von 15 bzw. 10 cm Tiefe vor dem Neuschnee- und Schlammfall vollständig zu milchig undurchsichtigem Eise durchfrieren.

Nachfolgend noch einige ergänzende Einzelbeobachtungen über die spätere Entwicklung der Eisdecke als Fortsetzung der vorstehenden Beobachtungen von Herrn *Tröger*.

*Beobachtungen A. Bernhard: 17. Februar 1936.* Eisgewinnungsstelle. Ein freischwimmender geschnittener Eisblock von  $90 \times 30$  cm Fläche und 36 cm Dicke ragt 3 cm über das Wasser hinaus; Eintauchtiefe =  $1\frac{1}{2}$  h, ausragender Teil  $1\frac{1}{2}$  h, im vorliegenden Fall 30 mm.

28. Februar 1936. Eisgewinnungsstelle. Freitag nachts leichter Schneefall, der gegen Vormittag stark zunimmt. Temperatur ca.  $-3^{\circ}$  C. Das Barometer sinkt innert 24 Std. um ca. 14 mm. Stärke der Eisschicht 45 cm. Differenz zwischen Wasserspiegel und Eisoberkante nach dem Schneefall ca. 15 mm um 9 Uhr.

29. Februar 1936. Eisgewinnungsstelle. Differenz zwischen Seespiegel und Eisoberkante um 9 Uhr, nachdem die Temperatur in der Nacht gesunken war, 15 mm.

*Meteorologische hydrologische Verhältnisse*  
während der ausgefallenen Pferderennen 1936 auf dem St. Moritzer-See

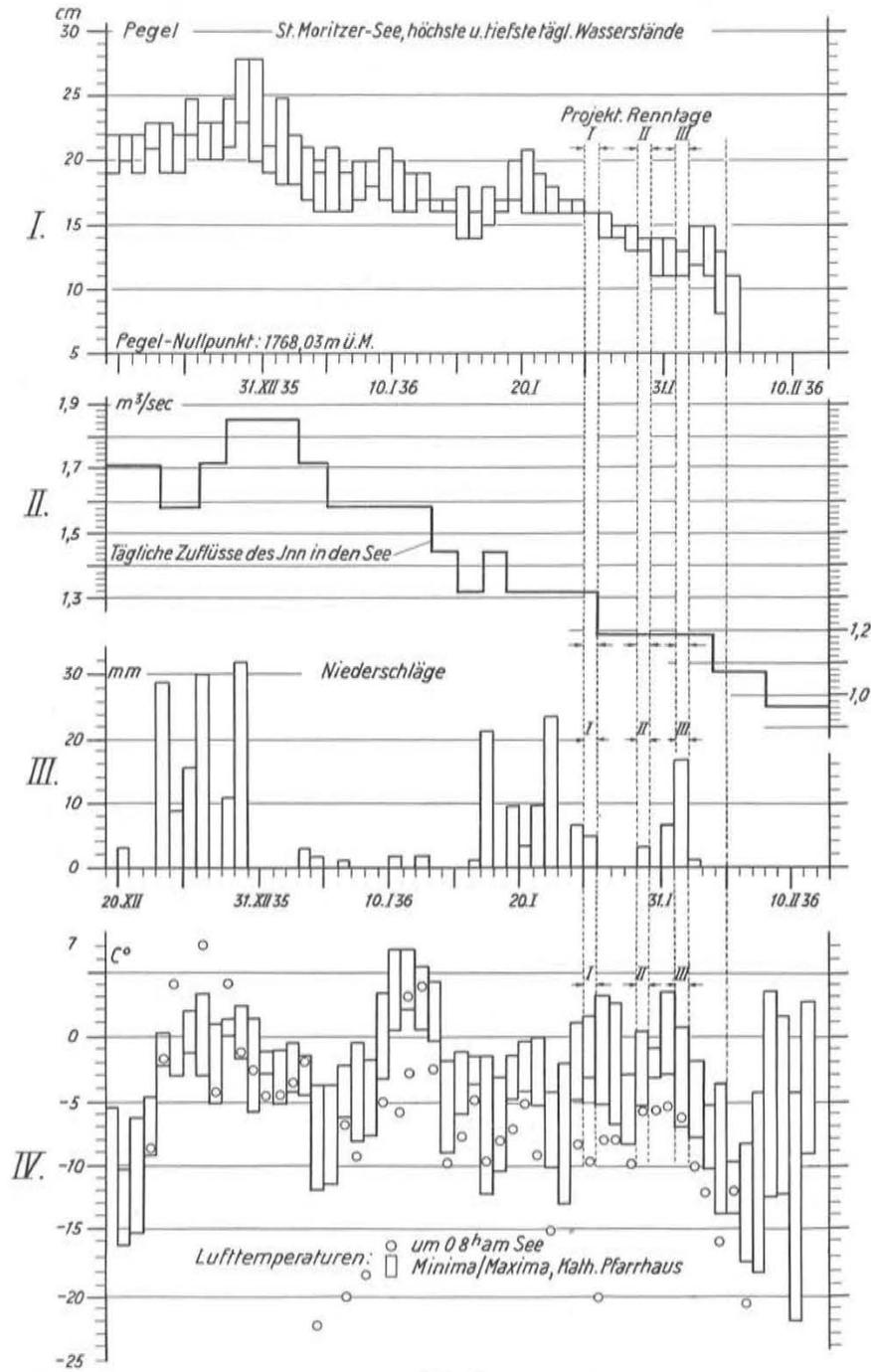


Fig. 34.

*Beobachtungen Givatti, 28. Februar 1936.* Eisgewinnungsstelle. *Givatti* wollte an einer Stelle Eis schneiden, die bisher nicht benützt wurde. Dabei kam folgender Block heraus. Blockdimensionen: Fläche =  $70 \times 35$  cm, Dicke 46,5 cm.

- Oberste Schicht: Dicke = 12,0 cm, schwach gefrorenes, weiches Eis;
- 2. Schicht: Dicke = 10,0 cm, weiches Eis;
- 3. Schicht: Dicke = 10,0 cm, Klareis;
- 4. Schicht: Dicke = 8,0 cm, hartgefrorenes, milchiges Eis;
- 5. Schicht: Dicke = 6,5 cm, Klareis.

Beim Herausnehmen des Blockes aus dem Wasser zerfiel der Block an der 3. Schicht (Klareis) sauber in drei Teile.

### C. Meteorologische, hydrologische Verhältnisse.

Die meteorologischen, hydrologischen Verhältnisse, die zu dieser eigenartigen Entwicklung maßgebend mitbestimmend waren, wurden sorgfältig gesammelt. Sie finden sich in Fig. 34 in den Diagrammen I, II, III, IV ausgewertet und nachfolgend kurz besprochen.

*Diagramm I: Seespiegelschwankungen des St. Moritzer Sees, hervorgerufen durch den Betrieb des Kraftwerkes Islas des E. W. St. M. vom 20. Dezember 1935 bis 6. Februar 1936.*

Durch die Wassernutzung des Elektrizitätswerkes werden täglich wiederkehrende Seespiegelschwankungen verursacht. Das Spiel zwischen den beiden Grenzwerten ging Tag für Tag nach einem bestimmten Rhythmus: Morgens 06 h 30 begann der Betrieb mit den eigenen Maschinenanlagen im Kraftwerk Islas, das in der Nacht, zwecks Akkumulation von Wasser, stillgelegt war. Das in der Nacht akkumulierte Wasser wurde während des Tages in der Zeit von 06 h 30 bis ca. 24 h laufend abgebaut. Um ca. 24 h ergab sich jeweils das tägliche Seestandsminimum. Von 24 h bis 06 h 30 stieg darauf der Seespiegel wieder konstant jeweils bis zum höchsten Stand um 06 h. Das Diagramm des Limmigraphen zeigt, daß normalerweise innerhalb von 18 aufeinanderfolgenden Stunden der Seespiegel zwischen 3 bis 5 cm, im Maximum 9 cm schwankte.

*Diagramm II: Zuflüsse des St. Moritzer Sees vom 20. Dezember 1935 bis 6. Februar 1936.*

Der Synchronismus zwischen Niederschlag und Zunahme<sup>1)</sup> der Abflußmenge des Inns, gelangt in den Aufzeichnungen des Limmigraphen in St. Moritz-Bad klar zum Ausdruck; er machte sich namentlich im Anstieg vom 28. Dezember 1935 bis 3. Januar 1936 mit der bekannten zeitlichen Verschiebung deutlich bemerkbar. Ob die relativ hohen Lufttemperaturen und die teilweise als Regen gefallenene Niederschläge ein wesentliches Ansteigen der Wassertemperaturen herbeiführten und damit eventuell von unten her Abschmelzen der Eisdecke, damit herabgeminderte Tragkraft, leichtere Ueberflutbarkeit von unten her verursachten?

<sup>1)</sup> Auf die Frage, warum Niederschläge in Schneeform sich in Zunahme der Abflußmengen aus oberflächlich gefrorenen Hochgebirgsseen auswirken können, kommen wir auf Seiten 170—173 zurück.

*Diagramm III: Niederschläge.*

Eine Häufung von Niederschlägen fand auf die gefrorenen Oberengadiner Seen in der Zeit vom 23. bis 29. Dezember 1935 und vom 16. bis 26. Januar 1936 statt. Das zeitliche Zusammenfallen höherer Niederschlagswerte mit größeren Abflüßmengen<sup>1)</sup> des Inns (Seeausfluß) gelangte ebenfalls deutlich zum Ausdruck.

*Diagramm IV: Lufttemperatur vom 20. Dezember 1935 bis 6. Februar 1936.*

Aus den Aufzeichnungen der meteorologischen Station *Pfarrhaus St. Moritz-Dorf* (jeweilige Minima und Maxima in Säulen dargestellt) und Beobachtungen auf dem St. Moritzer See (jeweilen um 8 Uhr, siehe Kreise) von Geometer *Tröger*, Sekretär des Rennvereins, ist das Ansteigen der Temperatur in der Zeit vom 23. bis 29. Dezember 1935 und vom 9. bis 15. Januar 1936 klar ersichtlich. Es war teilweise mit starken Niederschlägen sogar als Regen verbunden.

*Schlußfolgerung.*

Aus dem gesamten Beobachtungsmaterial der kritischen Periode des Winters 1935/36 geht einwandfrei hervor, daß für diese Jahreszeit und in solcher Höhe außergewöhnliche Verhältnisse herrschten, vor allem hohe Temperaturen, die tagelang mit ihren Maxima und sogar Minima über dem Nullpunkt lagen. Dadurch wurden Zustände geschaffen, wie sie oben geschildert sind. Die durch die hohen Temperaturen gebildete Schmelzwassermenge wurde durch Regenfall wesentlich erhöht. Gleichzeitig bildeten diese schweren Niederschläge eine neue wesentliche Zusatzbelastung der schwimmenden Eisdecke, wodurch die relativ dünne Eisschicht als überlastetes Floß, wie wir später sehen werden, mit ihrer Oberfläche unter den Seespiegel gedrückt wurde. Wo Risse, evtl. Löcher vorhanden waren, hatte diese Gewichtsüberlastung auch ein Ueberfluten der Eisdecke mit Seewasser von unten herauf zur Folge. Es ist nicht ausgeschlossen, daß durch die erhöhte Wassertemperatur ein leichtes Abschmelzen von unten her eingetreten ist. Ungenügende, zu spät einsetzende Fröste konnten die tiefen Sümpfe innerhalb nützlicher Frist nicht zuverlässig durchfrieren.

Das zusammengestellte Beobachtungsmaterial belegt die aus dem XXV. Jahresbericht des Rennvereins bereits einmal zitierte Feststellung: *einer Wetterkatastrophe sind die Pferderennen 1936 zum Opfer gefallen.*

Dieses Vorkommnis beschäftigte alle Beteiligten sehr nachhaltig und ließ den Wunsch wachwerden, mehr über die Entwicklung der Eisdecke, die dabei maßgebenden meteorologischen und hydrologischen Bedingungen zu erfahren. Wichtig war auch, klarzustellen: Wie verhält sich die Eisdecke bei steigendem bzw. sinkendem Wasserspiegel im Rahmen des Wasserhaushaltes des unterhalb des St. Moritzer Sees liegenden Kraftwerkes *Isas des E. W. St. M.*? Als Beitrag zur Abklärung dieser Frage machten das E. W. St. M. gemeinsam mit Herrn *Tröger*, Geometer, Sekretär des Rennvereins, im März desselben Winters die nachfolgend beschriebenen Versuche.

**D. See-Absenkungen und Aufstau am gefrorenen St. Moritzer See vom 20.—23. März 1936.**

Im Zusammenhang mit den vorbeschriebenen Untersuchungen über die Ursachen der verunglückten Pferderennen war die Wirkung von Seespiegelschwankungen auf

<sup>1)</sup> Siehe Note auf vorhergehender Seite.

**Messungen und Beobachtungen auf dem St. Moritzer See.**  
Winter 1935/36.



Fig. 35.

Aufnahme eines Meßprofils quer über den St. Moritzer See mit Hilfe einer Anzahl über das ganze Profil verteilter, auf der Eisdecke fixierter Punkte, deren Höhenschwankungen von einem Festpunkt (vgl. Fig. 35) am Ufer des Sees mit Hilfe genauer Nivellements bestimmt wurden. Ueber die Ausführung dieser Messungen geben die Figuren 35, 36 und 37 Auskunft.



Fig. 36.

Aufstellung des Nivellierinstrumentes am Seeufer und der Mire auf der Eisdecke des Sees.

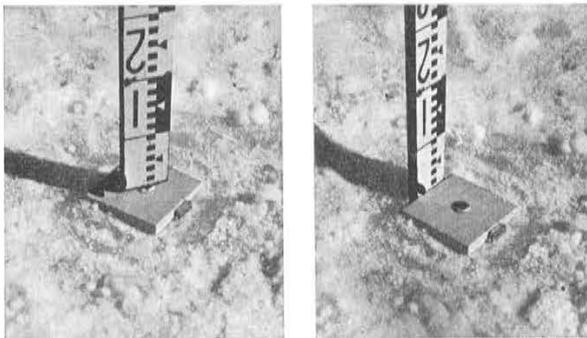


Fig. 37.

Aufstellung der Mire: a) auf dem fixierten Punkt des Holzklotzes (Größe 12/12/12 cm); b) auf der Eisfläche neben dem Holzklotz.

die Eisdecke noch abzuklären: Verhält sich diese wie ein freischwimmendes Floß, das jeder Wasserspiegelveränderung folgt, wobei die Eisdecke weit draußen, d. h. gegen die Seemitte und längs den Uferzonen, zu beobachten waren. Zur Klarstellung des Verhaltens wurden folgende Versuche gemacht.

### 1. Versuchsanordnung

(siehe Querprofil St. Moritzer See, Fig. 33).

Vom Nordufer aus bis ungefähr in die Mitte des Sees wurde eine Gerade von 276,40 m abgesteckt und längs derselben in Abständen von 14 m, 7,4 m, 15 m, 60 m, 90 m und 90 m in die Eisdecke 6 Fixpunkte verankert, die, ungefähr bündig mit der Eisoberfläche, Nietenköpfe in Holzfassung von 12/12/8 cm Größe für das Aufstellen einer Präzisionsmire trugen. Am Ufer, nächst eines Festpunktes des *Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft (Ordnungsnummer 1421, Kote 1769,901 m ü. M. INH1)*, wurde ein Präzisionstheodolit so aufgestellt, daß einerseits jeder Fixpunkt der Geraden auf der Seeoberfläche mit möglicher Genauigkeit anvisiert, andererseits ein müheloser Anschluß an den erwähnten Festpunkt bewerkstelligt werden konnte. Mit Beginn des Nivellements wurde in bestimmten Zeitpunkten (auf ein Pfeifensignal hin) mit einem kontrollierten Meterstab der Seestand, ebenfalls von einem Festpunkte aus, auf den Millimeter genau bestimmt. Nach Vollendung dieser Vorarbeiten und des ersten Nivellements wurde unter steter Höhenkontrolle der Fixpunkte und des Wasserspiegels innerhalb mehrerer Tage der Seespiegel ständig um einen größeren Betrag gesenkt, hernach umgekehrt wieder gehoben.

Die Ergebnisse der 4tägigen Versuche finden sich in der Tabelle 38 zusammengestellt.

### 2. Versuche.

*Versuch a vom 19./20. März 1936.* Zur Schaffung einer einwandfreien Basis für die kommenden Versuche wurde von 18 h (19. März) bis 9 h 30 (20. März) durch Betriebs-einstellungen des Kraftwerkes Isas der Seespiegel nach Möglichkeit konstant gehalten und damit ein vielstündiger Ruhestand für die Eisdecke auf dem See erzielt.

Am 20. März, 9 h 00, vor Beginn der Senkung, wurde jeder einzelne Meßpunkt aufs sorgfältigste einnivelliert. Unmittelbar darauf wurde durch Pfeifensignal, wie vorerwähnt, der Wasserspiegel einerseits am Pegel des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft an der Seespitze bei Punt da Piz und zur Kontrolle gleichzeitig am Pegel des E.W. St. M. bei der Brücke von Punt da Piz abgelesen. Um gleichzeitig eine weitere Kontrolle darüber zu haben, wie Eisoberfläche und Wasserspiegel während dieses Versuches in einer etwas entlegenen Gegend sich verhielten, wurde bei der offiziellen Eisgewinnungsstelle Meierei, wo ca. 80 m vom Ufer entfernt eine rund 30 m umfassende Oeffnung sich befand, an einem über ein Loch gelegten Balken die Distanz Wasseroberfläche—Eisoberkante laufend kontrolliert (Kolonne 11 der Tabelle 38). Die erste Absenkung des Sees dauerte von 9 h 00 bis 18 h 00, total also 9 Stunden.

*Ergebnis.* Aus den Beobachtungen Kolonne 2 geht hervor, daß der Seespiegel von 9 h 00 bis 18 h 00 um total 63 mm gesenkt wurde. Kontrolliert man die Höhen der Eisoberfläche jedes einzelnen Meßpunktes (Kolonnen 3 bis 8) über dem jeweiligen Wasserspiegel am Morgen bei Beginn und am Abend bei Schluß der Messung, so ergibt sich praktisch, trotz verschiedenen kleinen Zwischen-Differenzen — ihre Ursache dürfte wohl in der Ungenauigkeit des Nivellements der weit entlegenen Fixpunkte zu suchen

sein — *eine überraschend genaue Uebereinstimmung zwischen der Bewegung des Wasserspiegels und der Eisoberfläche.*

*Versuch b vom 20. bis 23. März 1936.* Vom 20. März, 18 h 00, bis 21. März, 8 h 00, wurde wiederum darauf geachtet, den Seespiegel auf dem ungefähren Stand des Vorabends zu halten.

Am 21. März von 8 h 15 bis 18 h 10 wurde der Absenkungsversuch weitergeführt. Dieser zweite Tag zeigte gegenüber dem ersten Tag insofern eine wesentliche Aenderung, als durch die stetig fortschreitende Absenkung des Seespiegels die Eisschicht nächst der Uferpartien auf den flach verlaufenden Seegrund aufstieß und Meßpunkt Nr. 1, teilweise auch Nr. 2, von diesem Moment an die Senkung des Wassers in geringerem Maße mitmachte. Gleichzeitig stellte sich bei den dem Ufer nächstliegenden Meßpunkten 1 und 2 eine deutlich wahrnehmbare Konkavität der Eisdecke ein. Das Aufsitzen dürfte etwa gegen Mittag stattgefunden haben.

Für die Zusammenhänge bei fortgeschrittener Absenkung kommen somit nur mehr die Meßpunkte 3 bis 6 (Kolonnen 5 bis 8) in Frage. Ein Vergleich des Höhenmaßes zwischen Wasserspiegel (Kolonne 2) und Eisoberfläche der Meßpunkte 3 bis 6 in der oben erwähnten Zeitperiode, total 9 Std. 55 Min., zeigt wiederum einen außergewöhnlich engen Zusammenhang. Dabei betrug die Absenkung des Seespiegels am 21. März von 8 h 15 bis 18 h 10 80 mm, total seit dem 20. März, 8 h 00, rund 143 mm.

Ueber das Wochenende vom 21. März, 18 h 10, bis 23. März, 8 h 05, beschränkte man sich lediglich darauf, den Seespiegel so weit als möglich konstant zu halten.

*Versuch c vom 23. bis 24. März 1936: «Aufstau».* Am 23. März, 8 h 05, wurde, entgegen den Versuchen a und b durch entsprechende Betriebseinstellungen des Kraftwerkes eine Hebung des Seespiegels verursacht.

Nach Durchführung des Eingangsnivellements im Ruhestand des Sees wurde sofort mit dem Stau des Sees begonnen. Bis ca. 11 h erreichte er eine Höhe von total 16 mm. Bis zu diesem Zeitpunkt konnte praktisch eine totale Uebereinstimmung festgestellt werden, wobei zu bemerken ist, daß die Meßpunkte 1 und 2 noch nicht berücksichtigt werden dürfen, da die Eisschichten der Uferpartien noch auf dem flachen Seegrund auflagen. Ca. 11 h begann ein starkes Schneetreiben, das ununterbrochen bis 17 h anhielt. Es verdichtete sich derart, daß wegen mangelnder Sicht die Messungen der entlegenen Punkte unmöglich wurden.

Von 11 h an zeigte sich aus dem Verlauf des Seespiegels und den Bewegungen der Eisoberfläche ein zunehmendes Zusammenlaufen der beiden Linien, d. h. *ein zunehmendes Eintauchen der Eisschicht im Wasser.* (Höhe der neuen schweren Schneeschicht bis 17 h: 20 cm, Lufttemperatur 0°. Eisdicken siehe Profil Fig. 33.) Leider wurde am 23. März die genaue Messung des Niederschlages und die Bestimmung des Wasserwertes unterlassen, jedoch am 24. März durchgeführt. Dieser Versuch ergibt also ein doppeltes Ergebnis. Einmal zeigt er eine klar ausgesprochene Uebereinstimmung zwischen den steigenden Bewegungen des Wasserspiegels und der Eisoberfläche bis zum Eintritt des Schneefalles, dann — ganz eindeutig — wie unter dem Einfluß der sich ständig erhöhenden Schneelast das Eisfloß immer tiefer ins Wasser eintaucht (Kolonne 11 in Tabelle 38).

*Versuch d vom 23. März, 17 h, bis 24. März, 17 h.* Durch Betriebseinstellung des Kraftwerkes wurde danach getrachtet, den Seespiegel soweit möglich konstant zu

halten, um wiederum einen Ruhestand für die Eisschicht zu erzielen. In dieser Nacht sank die Lufttemperatur auf  $-9^{\circ}$ . Der Schnee wies unter diesem Kälteeinfluß am 24. März, 7 h 00, vollständig pulverige Struktur auf. Der 24. März wurde ein sehr sonniger warmer Frühlingstag; die Wirkung auf den am Vortag gefallenen Neuschnee zeigt das Folgende:

*Schneemessungen vom 24. März 1936 auf dem St. Moritzer See.*

Der untersuchte Schnee war am Vortage innerhalb von 5 Std. bei einer Temperatur um  $0^{\circ}$  20 cm hoch gefallen und in der Nacht bei ca.  $-8^{\circ}$  gelegen.

Tabelle 37

Zeit Uhr	Schneehöhe cm	Spez. Gewicht	Luft $^{\circ}\text{C}$	Bemerkungen
7.00	20	—	$-9^{\circ}$	In der Nacht Temp. ca. $-7^{\circ}$ bis $-9^{\circ}$ , Schnee schwer, pulverig
9.00	20	0,11	$0^{\circ}$	Schnee schwer, pulverig
11.00	17	0,14	$+9^{\circ}$	Schnee schwer, ballig
16.00	9	0,23	$+1^{\circ}$	Schnee schwer, ballig mit Harstkruste

### 3. Zusammenfassung.

Aus den Nivellementsergebnissen und den Wasserstandsbeobachtungen der Versuche a, b, c und d geht klar und eindeutig hervor, daß zwischen der Bewegung des Seespiegels und der Eisoberfläche zeitlich Uebereinstimmung besteht.

Mit zunehmender Schneebelastung taucht die Eisdecke immer tiefer ins Wasser ein, bei Ueberlastung sogar unter die Wasseroberfläche. Der durch erhöhten Druck der vollständig eintauchenden Eisdecke erzeugte Gegendruck der Wasseroberfläche läßt Wasser durch allfällige Spalten und Oeffnungen der Eisdecke aufsteigen (kommunizierendes Rohr).

Andererseits können auch Niederschläge in wäßriger Form, oder durch hohe Lufttemperatur entstehende Schmelzwässer auf der intakten Eisdecke Wasserlachen oder ausgedehnte Tümpel bilden.

Das durch Ueberlastung der Eisdecke von unten her aufsteigende Ueberflutungswasser bzw. das von äußern Einwirkungen stammende Schmelzwasser bildet mit dem bestehenden Schneebelag bzw. mit Neuschnee Schneebreisümpfe auf der Eisdecke.

Hauptsächlich durch äußere Frosteinwirkung beginnen diese Sümpfe sukzessive von oben nach unten durchzufrieren, es entstehen dann zeitweise recht eigenartige Schichtungsverhältnisse.

Die während der Nivellementsversuche beobachtete Ueberflutung der Eisdecke bei Ueberlastung wurde sofort eingehend beobachtet und in der Folge bei jeder Eisdickenmessung eingemessen.

See-Absenkungen und Aufstau bei gefrorenem St. Moritzer See 20. bis 24. März 1936.

Tabelle 38

Ver- such	Wasser- spiegel- differenz am festen Pegel	Nr. der Meßpunkte, deren Distanz vom Theodoliten und die gemessenen Eisdicken in cm:						Luft- temp. C°	Meteorologische Daten	Niveau-Differenz Wasserspiegel- Meßkante mm	
		1. 14 m 62 cm	2. 21,4 m 48 cm	3. 36,4 m 50 cm	4. 96,4 m 67 cm	5. 186,4 m 64 cm	6. 276,4 m 58 cm				
a	Kolonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Niveau-Differenzen in mm während See-Absenkung am 20. III. 1936 von 09 bis 18 Uhr.	-63	-58	-58	-63	-66	-60	-45	-6° bis +3°		83 bis 86
	Niveau-Differenzen in mm während Ruhestellung in der Nacht vom 20. III. 18 Uhr bis 21. III. 09 Uhr.	+17	+10	+10	+15	+15	+15	+10			
b	Niveau-Differenzen in mm während See-Absenkung vom 21. III. 08 Uhr bis 18 Uhr.	-80	-61	-74	-79	-78	-87	-90	-7° bis +5°		89 bis 93
	Niveau-Differenzen in mm während Ruhestellung vom 21. III. 18 Uhr bis 23. III. 08 Uhr.	-2	-8	-5	+1	+1	+5	+6			
	Zeit mm	03 <sup>06</sup> 0	03 <sup>02</sup> 0	08 <sup>03</sup> 0	08 <sup>05</sup> 0	08 <sup>07</sup> 0	08 <sup>09</sup> 0	08 <sup>11</sup> 0	00		92
c	Niveau-Differenzen während See-Stau vom 23. III. 08 Uhr bis 17 Uhr.	+4	0	+3	+1	0	+2	0	+1°		92
	Zeit mm	09 <sup>58</sup> +10	10 <sup>01</sup> +1	10 <sup>02</sup> +6	10 <sup>03</sup> +7	10 <sup>04</sup> +6	10 <sup>05</sup> +5	10 <sup>07</sup> ?	+ 1 1/2°		92
	Zeit mm	11 <sup>10</sup> +16	11 <sup>01</sup> +5	11 <sup>02</sup> +12	11 <sup>03</sup> +13	11 <sup>05</sup> +13	11 <sup>07</sup> +13	11 <sup>09</sup> +12	+ 1 1/2°	Beginnt zu schneien	91

Tabelle 38 (Fortsetzung)

c	Niveau-Differenzen während See-Stau vom 23. III. 08 Uhr bis 17 Uhr.	Zeit	12 <sup>10</sup>	12 <sup>02</sup>	12 <sup>08</sup>	12 <sup>04</sup>	12 <sup>06</sup>	12 <sup>08</sup>	12 <sup>09</sup>	12 <sup>05</sup>	12 <sup>09</sup>	+2 <sup>0</sup>	Schneefall!	91	
		mm	+20	+8	+17	+20	+19	+17	+15						
		Zeit	13 <sup>03</sup>	13 <sup>01</sup>	13 <sup>08</sup>	13 <sup>08</sup>	13 <sup>08</sup>	13 <sup>07</sup>	13 <sup>08</sup>	13 <sup>08</sup>	13 <sup>08</sup>	13 <sup>08</sup>	0 <sup>0</sup>	Schneefall!	91
		mm	+26	+10	+20	+24	+22	+22	+21						
		Zeit	14 <sup>05</sup>	14 <sup>01</sup>	14 <sup>02</sup>	14 <sup>05</sup>	14 <sup>05</sup>	14 <sup>07</sup>	14 <sup>09</sup>	14 <sup>09</sup>	14 <sup>07</sup>	14 <sup>09</sup>	0 <sup>0</sup>	Schneefall!	90
		mm	+33	+14	+27	+31	+33	+32	unsichtig						
		Zeit	15 <sup>00</sup>	15 <sup>01</sup>	15 <sup>02</sup>	15 <sup>03</sup>	15 <sup>07</sup>	15 <sup>08</sup>	15 <sup>09</sup>	15 <sup>09</sup>	15 <sup>09</sup>	15 <sup>09</sup>	0 <sup>0</sup>	Schneefall!	89
		mm	+38	+18	+31	+36	+36	+37	unsichtig						
		Zeit	16 <sup>05</sup>	16 <sup>01</sup>	16 <sup>02</sup>	16 <sup>05</sup>	16 <sup>05</sup>	16 <sup>06</sup>	16 <sup>09</sup>	16 <sup>09</sup>	16 <sup>09</sup>	16 <sup>09</sup>	—	Schneefall!	
		mm	+51	+22	+37	+41	+40	unsichtig	unsichtig	1/2 <sup>0</sup>					
		Zeit	17 <sup>08</sup>	17 <sup>01</sup>	17 <sup>02</sup>	17 <sup>08</sup>	17 <sup>06</sup>	17 <sup>07</sup>	17 <sup>09</sup>	17 <sup>09</sup>	17 <sup>09</sup>	17 <sup>09</sup>	—1 <sup>0</sup>	Schneefall!	77
		mm	+64	+26	+43	+48	+46	unsichtig	unsichtig						
				Einige Fixpunkte mußten neu fixiert werden, die neuen Messungen beginnen um 11 Uhr mit neuem Horizont.											
	Differenz von 23. III. 17 Uhr bis 24. III. 08 Uhr.	08 <sup>03</sup>	11 <sup>02</sup>	11 <sup>08</sup>	11 <sup>06</sup>	11 <sup>08</sup>	11 <sup>10</sup>	11 <sup>13</sup>	11 <sup>13</sup>	11 <sup>13</sup>	11 <sup>13</sup>	+9 <sup>0</sup>	Schneeh. 17 cm spez. Gewicht 0,139 kg/dm <sup>3</sup>	68	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+9 <sup>0</sup>	Schneeh. 17 cm spez. Gewicht 0,139 kg/dm <sup>3</sup>	68	
d	Niveau-Differenzen während Ruhestellung vom 23. III. 17 Uhr bis 24. III. 17 Uhr.	Zeit	12 <sup>02</sup>	12 <sup>02</sup>	12 <sup>03</sup>	12 <sup>04</sup>	12 <sup>05</sup>	12 <sup>05</sup>	12 <sup>05</sup>	12 <sup>07</sup>	12 <sup>08</sup>	+6 <sup>0</sup>	Weitere Entwicklung der Schneedecke siehe Text zu 24. III.	68	
		mm	—1	+1	+1	—2	—5	—2	0						
		Zeit	14 <sup>05</sup>	14 <sup>01</sup>	14 <sup>02</sup>	14 <sup>03</sup>	14 <sup>05</sup>	14 <sup>06</sup>	14 <sup>07</sup>	14 <sup>07</sup>	14 <sup>07</sup>	+5 <sup>0</sup>		68	
		mm	0	—4	—5	—4	—6	+2	+10						
		Zeit	15 <sup>00</sup>	15 <sup>01</sup>	15 <sup>03</sup>	15 <sup>04</sup>	15 <sup>05</sup>	15 <sup>07</sup>	15 <sup>09</sup>	15 <sup>09</sup>	15 <sup>09</sup>	+3 <sup>0</sup>		68	
		mm	—1	0	—4	—2	—5	+2	+7						
		Zeit	16 <sup>00</sup>	16 <sup>01</sup>	16 <sup>02</sup>	16 <sup>05</sup>	16 <sup>05</sup>	16 <sup>07</sup>	16 <sup>09</sup>	16 <sup>09</sup>	16 <sup>09</sup>	+1 <sup>0</sup>	Schneeh. 9 cm spez. Gewicht 0,229 kg/dm <sup>3</sup>		
		mm	—2	0	—4	—3	—8	—5	0						
		Zeit	17 <sup>00</sup>	17 <sup>01</sup>	17 <sup>02</sup>	17 <sup>05</sup>	17 <sup>05</sup>	17 <sup>06</sup>	17 <sup>08</sup>	17 <sup>08</sup>	17 <sup>08</sup>	0 <sup>0</sup>	Schnee hat Harstkruste!	68	
		mm	—3	—3	—2	—1	—7	—10	—5						

### E. Die Wasser-Überflutungen der Eisdecke des St. Moritzer Sees.

Das spezifische Gewicht des Wassers von 4° C ist 1, dasjenige von Eis ist 0,92. Daraus ergibt sich, daß eine im Wasser frei schwimmende Eistafel von 10 cm Stärke rund 1 cm aus dem Wasser herausragt. Schon eine kleine Zusatzlast auf diesem «schwimmenden Floß», z. B. herrührend von 10 cm Schneebelag vom spezifischen Gewicht 0,1 kg/dm<sup>3</sup> genügt, um die Oberfläche dieser Eistafel *unter* Wasser zu drücken und sie dort in Schwebe zu halten. — Es war für uns Beobachter eine interessante Feststellung, daß die unverletzte kompakte Eisdecke infolge der Zusatzbelastung durch den daraufliegenden Schnee sozusagen ständig von der Wasserüberflutung bedroht ist. Diese latente Ueberflutungsgefahr wird akut, sobald die Eisdecke, die mit einem verhältnismäßig hohen Schneebelag belastet ist, durch Risse oder Löcher verletzt wird und dadurch das Wasser *über* die Oberfläche heraufquellen kann.

Weil dieses Ueberflutungsrisiko sozusagen permanent vorhanden ist, haben wir uns im Laufe der Jahre angewöhnt, bei jeder Eisdickenmessung auch dieses latente Ueberflutungsrisiko zu messen (siehe z. B. Diagramm Winter 1936/37 Eisdecke). Wir gingen dabei wie folgt vor:

An den Meßstellen für die Eisdickenmessung wurde der Schneebelag auf ca. 1 m<sup>2</sup> sauber weggeräumt. Dabei wurde bei trockenem, d. h. nicht überflutetem Eis ein Aluminiumrohr von 110 mm  $\varnothing$  und ca. 100 mm Höhe, dessen einer Rand fräsenartig gezahnt war, durch kurze Radialbewegungen ca. 1 cm tief in den Eisbelag eingefräst und dann außen herum mit einem nassen Schneebrei verdichtet. In einigen Minuten ist bei normalem Frost dieser Schnee gefroren und das Rohr absolut dicht. Nun wurde mit einem gewöhnlichen Spitzbohrer von 14 mm  $\varnothing$  und ca. 60 cm Schaftlänge — in einer gewöhnlichen Drillbohrmaschine eingespannt — ungefähr im Zentrum des Aluminiumrohres die Eisdecke durchbohrt. Die ganze Anordnung ist in Fig. 38, Lösung A, skizziert.

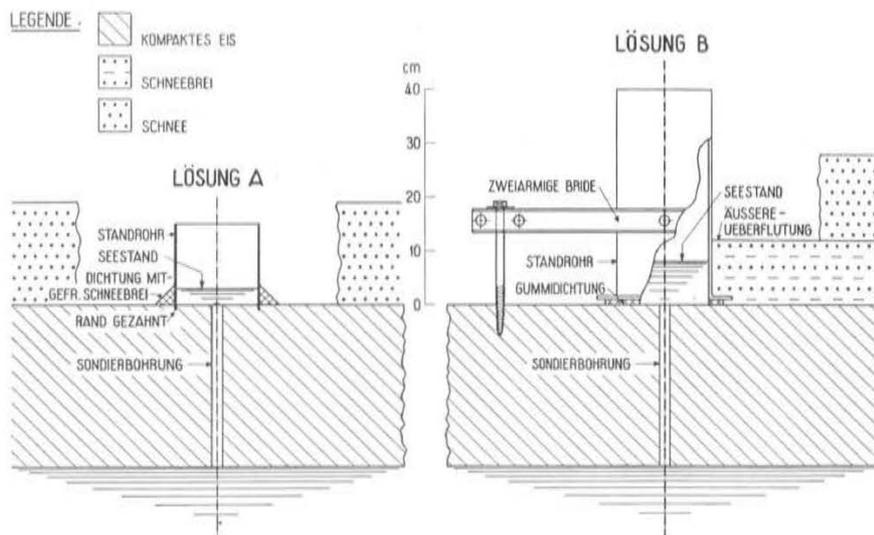


Fig. 38.

Ist die Eisdecke durch Schnee überlastet, so quillt sofort nach dem Durchbohren das Wasser durch das Loch herauf und überflutet die Eisdecke um Millimeter oder mehrere Zentimeter. Diese Ueberflutung bleibt aber in dem abgedichteten Aluminiumrohr lokalisiert und kann hier bequem ausgemessen werden.

Ist die Eisdecke nicht überlastet, so bleibt der kommunizierende Wasserspiegel *unter* der Eisoberfläche und kann im Bohrloch selbst eingemessen werden.

Die Messung der Eisdicke erfolgt in dem erwähnten Bohrloch mit einem ca. 3 mm starken und 70 cm langen Eisendraht, welcher ein kurz abgebogenes, rechtwinkliges Ende besitzt. Dieses abgewinkelte Ende wird in das Bohrloch eingeführt, bis es etwas unter die Unterkante der Eisdecke abgesunken ist; dann wird der Draht so weit nach oben gezogen, bis das abgewinkelte Ende an der wasserseitigen Eisfläche anstößt. In dieser Stellung wird auf der Eisoberfläche der rechte Daumnagel an den Meßdraht gedrückt und der Meßdraht wieder herausgezogen. Die Distanz zwischen abgewinkeltem Ende und aufgedrücktem Daumnagel ergibt die jeweilige Eisdicke. — Ist die Messung fertig, so wird zum Schutze gegen eine Dauerüberflutung ein ca. 10 cm langer, leicht konischer Holzzapfen in das Bohrloch gehämmert und die kleine, von der Messung herrührende Ueberschwemmung mit trockenem Schnee verschüttet. Das Standrohr wird darauf mit einer kleinen Hacke leicht freigelegt.

Muß die Eisdickenmessung und die «Ueberflutung von unten» auf einer bereits überfluteten Eisdecke vorgenommen werden, so ist die Meßmethode nach Variante A nicht mehr möglich, weil das Aluminiumstandrohr wegen der herrschenden Ueberschwemmung nicht mehr abgedichtet werden kann. In diesem Falle tritt die Einrichtung nach Fig. 38, Lösung B, in Funktion. Dieselbe besteht aus einem Standrohr von ca. 400 mm Höhe und einem Durchmesser von 180 mm. Am untern Ende besitzt dieses Rohr einen angeschweißten Flansch mit einem aufgeklebten 10 mm starken Dichtungsring aus Gummi. In halber Höhe des Standrohrs befindet sich ein schaukelartiger Doppelarm, mit Drehzapfen am Rohrmantel. Ca. 30 cm lange, starke Holzschrauben mit Vierkantkopf werden nun ins Eis eingeschraubt und auf diese Art das Standrohr fest auf die Eisoberfläche aufgepreßt, wobei der Gummiring das Rohr gegen die Eisfläche abdichtet. Mit einer kleinen Handpumpe wird darauf das Innere des Standrohres leer gepumpt, die Dichtigkeit kontrolliert und darauf das Bohrloch im früher beschriebenen Sinne gebohrt. Sobald das Loch durchgedrungen ist, stellt sich im Innern des Standrohres eine «Ueberflutung von unten her» ein, die mit der äußern Ueberflutung verglichen werden kann. Gewöhnlich, d. h. wenn keine Schmelzwasser von Tauwetter oder Regen auf die Eisdecke gefallen sind, ist die innere und äußere Ueberflutung gleich hoch. Bei starkem Tauwetter oder Regen kann bei unverletzter Eisschicht die «Ueberflutung von unten her» kleiner sein als die bestehende obere Ueberflutung.

Bei Tauwetter im Frühjahr oder bei sehr dünner Eisdecke im Dezember und darauffolgenden sehr schweren Schneefällen, kann die Ueberflutung der Eisdecke 20 bis 30 cm betragen. Folgt eine längere Frostperiode, so durchdringt die tiefe Lufttemperatur langsam die isolierende Schneeschicht und der Sumpf beginnt von oben her zuzufrieren. Im Verlaufe von Tagen oder Wochen ergibt sich eine vollständige Durchfrierung und es bleibt dieser gefrorene Sumpf während des ganzen Winters als milchigweiße Schicht bestehen. In solchen Ueberflutungsperioden entsteht ein recht komplizierter Aufbau der Eisdecke, indem, von unten nach oben betrachtet, auf eine ursprüngliche Klareisschicht von mehreren Zentimetern ein Sumpf folgt, der durch eine dünne

Zwischeneisschicht abgedeckt ist. Darüber kann ein zweiter Sumpf folgen, der nach oben durch eine Trockenschneeschicht von 10—15 cm abgedeckt wird. — Diese Sumpfschichten, besonders wenn sie mit einer leichten Eisdecke abgedeckt sind, bilden für die Piste, die für die berühmten Pferderennen benützt wird, große Schwierigkeiten, weil beim Durchtreten dieser Zwischeneisschicht durch die Rennpferde großer Schaden entstehen kann. Man hilft sich in solchen Situationen so, daß 30 bis 50 Männer die fragliche Sumpfschicht vollständig durchstampfen, damit das Eindringen des Frostes von oben her die Durchfrierung befördert.

Eine interessante Situation vom 5. Februar 1937 (siehe Seite 123) ist uns lebhaft in Erinnerung geblieben. Ein Arbeiter durchschlug bei der Erstellung des hölzernen Schutzzaunes auf der Rennpiste die Eisdecke und verursachte damit eine sehr beträchtliche Ueberflutung, die infolge relativ hoher Lufttemperatur durch Frost nicht mehr eingedämmt werden konnte. Die Rennleitung war schon verzweifelt. Da erinnerten wir uns daran, daß die Carba AG., Bern, feste Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) in Spezialpackungen von 1—2 kg für ihre Kühlschränke fabriziert. Per Postexpress kamen zwei solcher CO<sub>2</sub>-Zylinder von ca. 2 kg Gewicht an. An der «Unfallstelle» wurde die Wunde in der Eisdecke sauber freigelegt, ein weitmaschiges, ganz dünnes Drahtgitter korbartig hinein versenkt, um das wertvolle Gut vor dem Versinken in den See zu schützen. Dann wurde mit allen Vorsichtsmaßnahmen ein solcher CO<sub>2</sub>-Zylinder in das Loch hineingeworfen. Die Reaktion des —79grädigen CO<sub>2</sub> war stürmisch, so daß wir uns wegen der freiwerdenden Kohlensäure schleunigst verziehen mußten. Nach wenigen Minuten war aber das Loch und der benachbarte Sumpf steinhart gefroren; die Durchsumpfung der Umgebung konnte mit Durchtreten behoben werden.

### III. Winter 1936/37.

Die *Eis- und Schneeverhältnisse* des St. Moritzer Sees konnten im Winter 1936/37 vom Tage des Einfrierens an vom 10./12. Dezember 1936 bis zum 22. März 1937 erstmals systematisch beobachtet werden. Die sehr interessanten Ergebnisse sind in der Figur 39 übersichtlich dargestellt.

Auf Grund der ersten orientierenden Beobachtungen des Vorwinters 1935/36 (nach den verunglückten Pferderennen) und den ersten daraus sich ergebenden Erfahrungen wurde die schon anderweitig beschriebene Beobachtungsstation des E. W. St. M. mit allen nötigen Einrichtungen und Instrumenten bereitgestellt.

Die Beobachtungen 1936/37 erstreckten sich sowohl auf die Eis- und Schneeverhältnisse auf dem See selbst, als auch auf die Schneeverhältnisse am Ufergelände neben der Beobachtungsstation. Die Messungen auf dem See wurden durchschnittlich einmal wöchentlich gemacht, die Schneemessungen am Ufer gleichzeitig an demselben Tag, zudem aber regelmäßig am Schluß eines jeden Neuschneefalles; siehe hierzu auch die Tabelle der Schneemessungen (39, Seiten 126, 127); während der Monate Januar, Februar und März wurden die Lufttemperaturen mittels Thermographen und Hg.-Thermometers gemessen; die beobachteten Temperatur-Maxima-Minima und Mittelwerte sind am untern Rand von Fig. 39 graphisch dargestellt.

Um einen klaren Einblick zu bekommen in die Wachstumsverhältnisse der Eisdecke, einmal bei *blankem*, schneefreiem Eis, zudem bei schneebedecktem, d. h. natürlich *isoliertem* Eis, wurde ein Quadrat von  $2 \times 2$  m vom 20. Dezember 1936 bis zum 15. Februar 1937 ständig schneefrei gebürstet. Bei jeder Eisdickenmessung wurden mindestens 2 Messungen, je in diesem blanken Eis und im unmittelbar benachbarten schneebedeckten Eis, gemacht. Im Diagramm 39 sind diese vergleichenden Eisdicken nebeneinander dargestellt. Die Isolierung des Schneebelages kommt in dem stark verlangsamten Eiswachstum drastisch zum Ausdruck. Die schneefrei gehaltene Eisfläche kann aber ihren anfänglichen Vorsprung nicht dauernd einhalten, denn mit wachsender Stärke isoliert auch die blanke Eisschicht das Wasser gegen die tiefe Lufttemperatur immer mehr ab, was im Diagramm ebenfalls deutlich sichtbar wird.

Nachfolgend eine Besprechung der Beobachtungen in chronologischer Reihenfolge.

### **A. Die Eis- und Schneeverhältnisse auf dem St. Moritzer See im Winter 1936/37.**

Besprechung der Messungen und Beobachtungen.

#### **1. Einleitende Periode von der Aneisung bis zum Zufrieren des Sees.**

In der Zeit vom 6. bis 10. Dezember 1936 bildeten sich an verschiedenen Stellen der Seeoberfläche zugleich kleinere und größere nicht zusammenhängende Eistafeln, die vom Winde tagelang auf dem See herumgetrieben wurden. Am 10. Dezember war die ganze Seeoberfläche zusammenhängend zugefroren. Schon in den ersten darauf folgenden Tagen schneite es mehrere Male jeweils einige Zentimeter auf die dünne Eisdecke. Am 14. Dezember betrug die Eisstärke ca.  $8\frac{1}{2}$  cm, die auf der Eisschicht befindliche Schneedecke ca. 10 cm. Beim Bohren von Sondierlöchern überquoll das Wasser die Eisfläche, ein Beweis, daß die dünne Eisdecke stark überlastet und es noch nicht zu einem Ausgleich gekommen war.

Durch die das Eis netzartig durchziehenden Risse, hervorgerufen durch starke tägliche Temperaturschwankungen, Ueberlastungen durch Schnee, überflutete das aufsteigende Wasser die Eisdecke, durchtränkte die Schneedecke teilweise ganz bis zur Oberfläche, teilweise nur in den untersten Lagen.

Der von oben wirkende Frost brachte die Sümpfe im Verlaufe mehrerer Tage allmählich zum Gefrieren, wobei vorübergehend Schichtungen verschiedener Aggregatzustände entstanden. Nach genügend langer Kältewirkung froren die Sümpfe vollständig durch und verbanden sich fest mit der Initialeisschicht.

Diese zusätzliche Eisschicht ist natürlich leicht an ihrer undurchsichtigen, milchigen Farbe von der durchsichtigen, glasklaren Kerneisschicht (Initialschicht) zu unterscheiden.

Die so gefrorenen Sümpfe zeichnen sich stellenweise als dunkle Flecken auf der Schneedecke deutlich ab. Dabei rühren die dunklen Flecken vom ehemals ganz durchtränkten, die grauen Flecken vom nur teilweise durchnäßten Schnee her.

Bei dieser Art der Vereisung kann natürlich von der Bildung einer auch nur einiger-



maßen homogenen Eisschicht nicht die Rede sein. Das Situationsbild vom 28. Dezember 1936 (Fig. 40) gibt hierüber Auskunft.

Ausgesprochene Ribbildungen, wie sie vorstehendes Bild zeigt, vermögen sich nur bei dünner Eisschicht und geringem Schneebeleg, d. h. bei schlechtem Schutz gegen die äußern meteorologischen Einflüsse zu bilden. Ein Teil dieser Spaltensysteme bildete

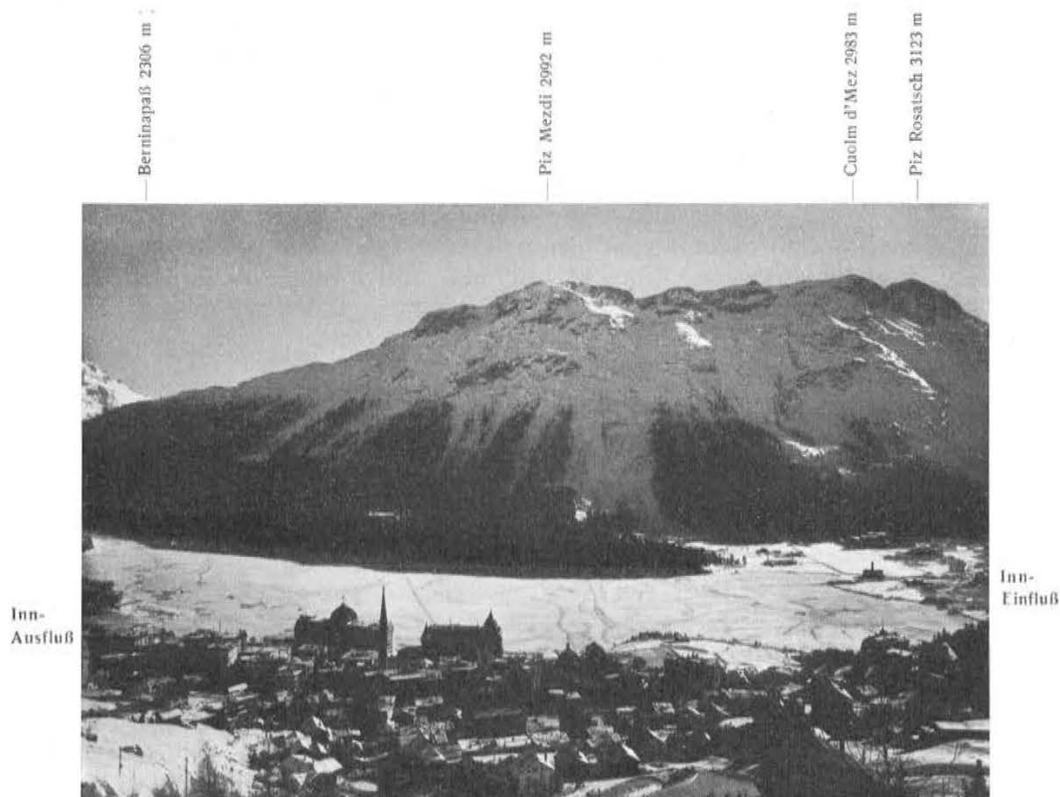


Photo Albert Steiner

Fig. 40.

St. Moritzer See vom Kurhaus Chantarella aus gesehen.

Zustand am 28. Dezember 1936, ca. 167 mm Klareis, darüber ca. 11 cm Schnee.

sich schon vor Eintritt der ersten Schneefälle, ein anderer Teil wurde durch den Schneedruck verursacht. Die zerrissene Eisdecke spiegelt sich in der Schneeschicht und gibt uns einen Einblick in diese Vorgänge.

Die Entwicklung der Eisdecke von ihrer Bildung 6. bis 10. Dezember, vor allem aber von den ersten Schneefällen an, wurde durch Photoaufnahmen vom 15., 18., 23., 28. Dezember festgehalten; Fig. 40 zeigt die letzte Aufnahme dieser Reihe.

## 2. Messungen und Beobachtungen während der Periode des ganz zugefrorenen Sees.

Siehe hierzu die graphischen Darstellungen der Fig. 39 und die Tabelle 39 über die Schneemessungen auf Seite 116.

### *M1. Bohrungen vom 14. Dezember 1936 von 14 h bis 16 h.*

1. *Messung.* Lage: ca. 100 m vom Ufer, nächst der meteorologischen Station am See: 8,5 cm Klareis, darüber 9 cm Pulverschnee, Wasserwert 10,3 mm,  $S = 0,11$ . Beim Bohren eines Loches überquoll das Wasser sofort stark und überschwemmte die Eisdecke.

2. *Messung.* Lage: ca. 3 m vom Ufer: 8,5 cm Klareis, darüber 5 cm milchiges Eis, darüber 4,5 cm Schnee. Beim Bohren eines Loches blieb das Wasser ca. 14 mm unter der Eisoberkante.

3. *Messung.* Lage: ca. 15 m vom Ufer entfernt. Ergebnisse beinahe wie bei Messung 2.

### *M2. Bohrungen vom 21. Dezember von 14 h bis 17 h.*

*Allgemeines.* Im Verlaufe der Woche vom 14.—21. Dezember, die ohne Niederschlag, von herrlichstem Wetter begünstigt war, hat sich das allgemeine Bild wie folgt verändert:

Vermehrte Ribbildungen auch im bisher unversehrten Mittelteil der Eisdecke. Da und dort dunkle Löcher mit deutlichen Spuren von Ueberschwemmungen. Zunahme der Eisdicke von ca. 8,5 auf 12,0 cm, also recht wenig, wohl infolge geringer Kälte und Isolierwirkung der ca. 10 cm dicken Pulverschneedecke. Zur Untersuchung der Isolierwirkung des Schnees wurde am 14. Dezember eine Fläche von  $2 \times 2$  m saubern Schwarzeis blank gefegt und dauernd schneefrei gehalten. Wie vor einer Woche ist das gesunde Klareis von 12,0 cm durch die ca. 10-cm-Schneedecke immer noch zu hoch belastet, was deutlich wird durch Aufquellen von Wasser überall da, wo Risse oder Löcher vorhanden sind. Die Ausdehnung der Tümpel um diese Löcher und Risse wird eingedämmt durch die Schwammwirkung der Schneedecke und durch Dammwirkung nach dem Gefrieren des Breies. Hinter den gefrorenen Dämmen, wo das Wasser gestaut wurde, findet sich oft schon eine Doppelschicht: altes Klareis — wässrige Schneesulze — dünne weiße Eisdecke — Pulverschnee. Die dünne Weißeisdecke entsteht durch Durchfrieren von oben her; sie wirkt jedoch ihrerseits isolierend und hemmt wiederum das gänzliche Durchfrieren der Schichten.

### *Messungen.*

1. Zwei Eisdickenmessungen im gesunden Klareis, 50 und 100 m vom Ufer entfernt in der Bucht gegenüber dem Grand Hotel ergaben 12 und 12,2 cm Eis (schwarz und weiß) mit darüber lagerndem Schnee von 10 und 11 cm Höhe.

Das Seewasser überflutet die Eisdecke leicht nach dem Durchbohren (Zeitpunkt der Messungen 14 h—17 h).

2. Direkt am Ufer: Klareis 11 cm, Weißeis 5 cm, Schnee 4 cm; ca. 50 m vom Ufer: Klareis 8,8 cm, Weißeis 4 cm, Schnee 3 cm.

3. Ca. 150 m vom Ufer entfernt: reines sauberes Klareis 11,8 cm, Schneehöhe ca. 12 cm, Wasserwert des Schnees = 15,4 mm. Spez. Gewicht = 0,14.

*M 3. Bohrungen vom 28. Dezember 1936, 14 h bis 16 h. (Hierzu Fig. 40.)*

*Allgemeines.* Infolge der bald 3 Wochen anhaltenden Kälte bildeten sich immer zahlreichere Spalten, die die Eisdecke kreuz und quer durchziehen und in kleinere und größere Flächen aufteilen. Es konnten 4 Risse festgestellt werden, die beispielsweise den ganzen See in einem bemerkenswert geradlinigen Zug durchqueren. Infolge der, im Verhältnis zur Eisdicke, stark belasteten Eisschicht, quoll fast überall mehr oder weniger Wasser durch die Risse über, das beidseitig der Risse die Eisdecke langsam überflutete, den Schneebelag langsam von unten her durchtränkte und sich immer höher sog bis auf die Höhe, wo der Frost durch den Schnee durchdringt und den Brei zum Gefrieren bringt. Allmählich ist die ganze Seedecke kreuz und quer davon überzogen, so daß die gesunden Schwarzeispartien langsam rar werden.

Wie bereits erwähnt, wurde am 21. Dezember 1936 ein Versuchsfeld der Eisdecke vollständig schneefrei gemacht, um das Wachstum einer blanken, der Frostwirkung unmittelbar ausgesetzten Eisschicht einerseits, und als Vergleich, normal mit einer 10 cm hohen Schneeschicht bedecktes Eis zu kontrollieren. Die Isolierwirkung der relativ geringen Schneeschicht von 10 cm erwies sich als sehr bedeutend:

Wachstum des *blanken* Eises in einer Woche ca. 15 cm.

Wachstum des *schneebedeckten* Eises in einer Woche nur ca. 5 cm.

#### *Eismessungen.*

*1. Eismessung:* Blankes Versuchsfeld. Reines Klareis: 26,5 cm. Beim Durchbohren des Eises quoll das Wasser sofort über das Eis und überdeckte es mit ca. 23 mm Höhe (ein Zeichen für die zu große Schneelast, die auf der Eisschicht ruhte).

*2. Eismessung:* Gesundes Klareis mit ca. 11 cm Schneeschicht bedeckt. Schwarzeis: 17,0 cm. — Ganz durchgefrorener kristalliner Pulverschnee (Rauhreifschnee): 11 cm. — Höhe des Seewassers über dem Eis: 5 mm.

*3. Eismessung:* Gesundes Klareis mit ca. 11 cm Schnee bedeckt. Schwarzeis: 16,5 cm. — Kristalliner Rauhreifschnee: 11 cm. — Höhe des Seewassers über der Eisoberkante: 9 mm.

*4. Eismessung:* Früher überschwemmtes, jedoch durchgefrorenes Eis. Klareis 16,6 cm. — Weißes Eis 4,2 cm. — Seewasser 5 mm unter der Oberkante des Weißeises. Totale Eisschicht: 20,8 cm.

*5. Eismessung:* In einer noch nassen überschwemmten Zone. Sauberes Klareis: 17,0 cm, darüber wässriger Schnee: 3,0 cm, darüber durchnäßter firnartiger Schnee: 2,0 cm, darüber trockener grobkristalliner Schnee mit Rauhreifkristallen. Totale Schneeschicht 9,0 cm. Beim Aufsetzen eines Rohres auf das obige Schwarzeis und Ausschöpfen des sulzigen Schneemantels stand reines Wasser 40 mm hoch über dem sauberen Schwarzeis.

#### *Schneemessungen über der Eisdecke.*

*1. Messung:* Pulverschnee, durchgefroren bis auf das saubere Klareis. Rauhreifschnee. — Höhe: 110 mm, spez. Gewicht: 0,15, Gewicht pro dm<sup>2</sup> Fläche 164 g.

*2. Messung:* Wie bei Messung 1. Genau die gleichen Resultate.

*M 4. Bohrungen vom 5. Januar 1937, 14 h—17 h.*

*Allgemeines.* In den vergangenen 8 Tagen wurde der Seespiegel von Pegelstand + 16 auf — 10 cm abgesenkt. Längs der Ufer klaffen ca.  $\frac{1}{2}$  cm breite, unten geschlossene, oben offene durchgehende Risse. Die durch Aufliegen der Eisdecke auf dem Grund der Ufer entstandene schiefe Ebene ist auch beim Gehen sehr gut fühlbar; weitere wesentliche Auswirkungen der Absenkung auf der übrigen Eisdecke sind nicht bemerkbar.

Die Schneedecke auf dem Eis ist an ihrer Oberfläche voll großer Rauhreifblüten (nächtlicher Nebel auf dem See). Die ganze Schneedecke bis auf das Eis besteht aus lauter klirrenden, großen Kristallen. Näheres hierüber siehe dritten Abschnitt «Eisblumen», Seiten 154—167. Das anhaltende klare, kalte Wetter begünstigte das Wachstum des Eises, wobei wiederum die blanken Stellen bedeutend zunahmen.

*Eismessungen.*

*1. Messung:*

- a) Blankes Versuchsfeld: Klareis 39,7 cm. Beim Durchbohren des Eises quillt das Wasser 5 mm über die Eisoberfläche.
- b) Mit Schnee bedecktes Eis: Klareis 24,0 cm, darüber Weißeis 4,5 cm, darüber 5,0 cm Schnee.

Zunahme der Eisdicke seit dem 28. 12. 1936 (8 Tage):

- a) Blankes Versuchsfeld:  $39,7 - 26,5 = 13,2$  cm.
- b) Mit Schnee bedecktes Klareis, 6 cm vom blanken Versuchsfeld entfernt:  $24,0 - 16,7 = 7,3$  cm.

Bemerkenswert ist der relativ rasche Uebergang von dickerem blankem zu schneebedecktem dünnerem Eis; er vollzog sich innerhalb einer Strecke von ca. 50 cm.

- 2. *Messung:* Mitte Tribüne Rennverein. Gesundes Klareis mit 11 cm Schnee bedeckt. Schwarzeis 21,1 cm. Grob kristallisierter Rauhreifeis 11,4 cm. Seewasser über der Eisfläche 3 mm.

- 3. *bis 7. Messung:* Die Eisstärkemessungen 3 bis 7 wurden durchweg in früher überschwemmten, später mit dem Schneemantel zusammengefrorenen Zonen des zwischen Tribüne und Innmündung liegenden Teiles des Sees gemessen, deshalb auch die durchweg größeren Eisstärken:

Messung 3: Eisstärke total = 39,5 cm. Messung 4: 30,0 cm. Messung 5: 39,5 cm. Messung 6: 30,0 cm. Messung 7: 25,0 cm (100 m von der Innmündung).

*Schneemessungen über der Eisdecke.*

Zwei Schneemessungen von 11,4 cm hohem grobkristallisiertem Rauhreifeis auf reinem trockenem Klareis ergaben ein spezifisches Gewicht von 0,15.

*M 5. Bohrungen vom 11. Januar 1937, 14 h—16 h.*

*Allgemeines.* Durch den Schneefall vom 8. Januar von ca. 5 cm Höhe ist die ganze Eisdecke auf dem See gleichmäßig überdeckt worden, so daß gar keine Risse und Farbenabstufungen mehr festzustellen sind. Durch die Absteckarbeiten der Rennbahn und die Montagearbeiten an den Tribünen und Hütten und den damit verbundenen ver-

mehrten Verkehr, der durch die Verwendung der Seefläche als Flugplatz noch eine wesentliche Zunahme erfuhr, ist die Schneedecke fast überall von Arbeitenden und Fußgängern hartgetreten worden und es hält schwer, unberührte Schneeflächen zu finden.

#### *Eismessungen.*

1. *Messung:* Auf dem schneefreien Versuchsfeld.
  - a) Mitte des Versuchsfeldes. Klareis. Dicke = 43,5 cm. Beim Durchbohren der Eisschicht überfließt das Wasser ganz leicht und langsam die Eisdecke.
  - b) 1,10 m von der Mitte des Versuchsfeldes, unmittelbar beim Uebergang zum schneebedeckten Eis. Dicke = 38,5 cm.
  - c) 2,00 m von der Mitte, ca. 70 cm vom Rande des Versuchsfeldes, totale Stärke = 29,5 cm, davon 4 cm weißes Eis obenauf. Das Wasser steht ca. 1,5 cm unter der Eisoberfläche.
2. *Messung:* Unverdorbenes Klareis am vorderen Rand der Tribüne. Eisdicke des Klareises = 23,0 cm. Beim Durchbohren der Eisschicht überflutet Wasser das Eis 12 mm hoch. Auf diesem Eis lag eine totale Schneeschicht von ca. 13 cm, bestehend aus einer alten rauhreifähnlichen Schneeschicht und einer dünnen Neuschneesicht von knapp 2 cm.
3. *Messung:* Achse der Rennbahn vor den Tribünen. Totale Stärke = 35,0 cm, davon die oberste Schicht ca. 8 cm Weißeis. Der Wasserstand lag 3 cm unter der Eisoberfläche.
4. *Messung:* Gesundes unverdorbenes Klareis bei den Tribünen. Nach Durchbohren des Eises überflutete das Wasser das Eis 14 mm hoch. Die Eisschicht war hier mit einer vollständig intakten, kompakten Schneeschicht von 17 cm bedeckt (alte Rauhreifschicht 11,5 cm, neue Schneeschicht mit Mehlpulver-Struktur 5,5 cm).

#### *Schneemessungen über der Eisdecke.*

1. *Messung* einer ungestörten Neuschneesicht auf blanker Eisfläche, totale Höhe = 5,0 cm. Struktur: Pulverschnee, dicht wie Mehl. Spez. Gewicht: 0,13.
2. Unverdorben und unberührte totale Schneelage, Höhe 17,0 cm, davon unten 11,5 cm grobe Rauhreifstruktur, darüber 5,5 cm Pulverschnee, Mehlstruktur. Spez. Gewicht: 0,15.

#### *M 6. Bohrungen vom 18. Januar 1937.*

*Allgemeines.* Durch die Schneefälle am 15. Januar bei sehr heftigem Wind, ist die ganze Eisdecke gleichmäßig mit Schnee überdeckt. Die alte Schneedecke wurde durch den Wind teilweise abgetragen. Die, sozusagen, ebengefegte Schneedecke mißt durchschnittlich 13—15 cm. Sie verhindert jeden Einblick in die Rißverhältnisse der Eisdecke.

#### *Eismessungen.*

1. *Messung:* Herausgeschnittener Eisblock der Eisverwertungsstelle (Meierei). Totale Eisdicke 35,0 cm mit folgenden Schichtungen: von oben nach unten:

50 mm weißes Eis,  
 270 mm Eis (glasklar),  
 30 mm Klareis mit weißen, ca. 10 mm langen, senkrechten, nadelartigen Luftkanülen.

2. *Messung*: Blanker Versuchsplatz. Vollständig schneefrei gehaltenes Feld: Eisdicke 50,0 cm. Seewasser über der Eisoberkante 7 mm.  
 Normales Feld: Totale Eisdicke 34,0 cm. Seewasser unter der Eisoberkante 28 mm.
3. *Messung*: Gesundes Klareis unter natürlicher gesunder, ca. 17 cm hoher Schneelage:
  - a) 28,5 cm Klareis, 17 cm Schnee, Wasserspiegel über Eisoberkante 5 mm.
  - b) 26,0 cm Klareis, 15 cm Schnee, Wasserspiegel über Eisoberkante 7 mm.
4. *Messung*: Klareis mit Weißeissschicht. Klareis 26,0 cm, Weißeis 4,0 cm, Schnee ca. 13 cm.

#### *M 7. Bohrungen vom 3. Februar 1937.*

*Allgemeines.* In den vergangenen 14 Tagen war das Wetter sehr trüb, eher über mittelwarm und von häufigen Schneefällen begleitet, die Schneebeschaffenheit eher naß, entsprechend relativ hohen Temperaturen. Die Schneefälle erfolgten ausnahmslos bei ziemlich heftigem Wind, wodurch eine relativ gleichmäßige Schneeschicht von ca. 26 cm sich zu bilden vermochte. Das hohe Gewicht dieser Schneeschicht drückt bei der Bildung von Löchern das Wasser wie ein sprudelnder Quell über das Eis. Dank der guten Eisbeschaffenheit zeigt die Eisdicke sehr wenig weite Risse, wenig kleine Löcher, daher sind auch nur wenige Stellen versumpft.

#### *Eismessungen.*

1. *Messung*. Blankes Versuchsfeld. Vollständig schneefrei gehaltenes Feld: Eisdicke 51,0 cm, Seewasser über Eisoberkante 50 mm.  
 Normales Feld: ca. 39 cm Klareis und Weißeis, 27,0 cm Schnee. Wasserspiegel über Eisoberkante 20 mm.
2. *Messung*. 10 m westlich des Versuchsfeldes. Klareis 28 cm, Weißeis 4,5 cm, Schnee 25,0 cm, Seespiegel über Eisoberkante 25 mm.
3. *Messung*. Bei der Tribüne. Klareis 35,0 cm, festgewalzter Schnee 5,0 cm. Seespiegel 13 mm über Eisoberkante.
4. *Messung*. Unter der Tribüne. Klareis 35,0 cm, kein Schnee. Seespiegel 45 mm über Eisoberkante.

#### *M 8. Bohrungen vom 8. Februar 1937.*

*Allgemeines.* Seit der letzten Beobachtung war das Wetter sehr unbeständig, meist bedeckt, sehr böig, begleitet von Föhneinbrüchen und Schneefällen, bei starkem Wind.

Dies hatte zur Folge, daß die Schneelage auf dem See sich kaum merkbar erhöhte. Der Schnee wird verweht und liegt nicht mehr so gleichmäßig. Die Schneestruktur hat sich geändert; sie weist zwei deutlich getrennte Schichten auf, eine grobkristalline von 8,5 cm und eine windgebackene, pulverige Schicht von 17,5 cm. Infolge der relativ

hohen Temperaturen wuchs die Eisdecke nur ganz unwesentlich, auch dort, wo das Eis immer blank gehalten wurde.

Der 5. Februar war ein sehr kritischer Tag mit sehr schwerem Schneefall bei hohen Temperaturen. Bei den Tribünen entstand ein Loch im Eis, wahrscheinlich aus Unvorsichtigkeit, wobei keine Abdichtung erfolgte. Von diesem Loche aus ging eine sehr starke Ueberschwemmung in Richtung Grand Hotel mit ca. 10—13 cm hohem Wasserstand über Eis. Auch hier war oberflächlich dem Schnee gar nichts anzumerken. Die Eisdecke und Schneeschicht zeigten folgende Struktur: Schwarzeis 34,0 cm, wässriger Schnee 13,0 cm, Schnee 13,0 cm. Auf Seite 114 wurde geschildert, wie dieser gefährliche Sumpf mit festen CO<sub>2</sub>-Würfeln der Carba Bern saniert wurde.

#### *Eismessungen.*

1. *Messung.* Blankes Versuchsfeld. Mitte. Eisdicke 52,0 cm; Seewasser über der Eisoberkante 55 mm.  
Normales Feld daneben: Eisdicke 42,0 cm, Schnee 25,0 cm, Seewasser über Eisoberkante 25 mm.
2. *Messung.* Ca. 30 m westlich des Versuchsfeldes: Eis 34,0 cm, Schnee 26,0 cm, Seewasser über der Eisoberkante 20 mm.

*Schneemessung.* Im Versuchsfeld: Höhe 25,0 cm. Spez. Gewicht 0,15.

#### *M 9. Bohrungen vom 15. Februar 1937.*

*Allgemeines.* In der vergangenen Woche war das Wetter allgemein trüb und kalt; es herrschte vorwiegend Nordwestwind mit leichten Schneefällen.

Am 13. schneite es ohne Wind bei tiefen Temperaturen 8 cm; am 14. war ausnahmsweise ein schöner Sonnentag, aber doch eher kühl. Der 15. war stark föhnig, der Schnee sehr schwer und stark zusammengesunken.

Bei der Eisgewinnungsstelle: 15. Februar. Das Eis zeichnet sich ausnahmslos durch eine herrliche Klarheit aus, Stärke 48 cm, wovon 41,5 cm klar und 6,5 cm oben weiß.

Besondere Erscheinungen: Trübung der Durchsicht durch Sonnenausstrahlung. Oberflächliche Abschmelzschichten.

#### *Eismessungen.*

1. *Messung.* Blankes Versuchsfeld. Mitte. Eisdicke 53,0 cm; Seewasser über der Eisoberkante 65 mm.  
Normales Feld daneben: Eis 42,0 cm, Schnee 30 cm. Seewasser über der Eisoberkante 35 mm.
2. *Messung.* Ca. 40 m westlich des Versuchsfeldes. Eis 36,0 cm, Schnee 30,5 cm. Seewasser über der Eisoberkante 25 mm.
3. *Messung.* 5 m östlich der offenen Eisgewinnungsstelle Meierei. Eis 42,5 cm, davon 36,5 cm klar und 6,0 cm weiß; Seewasser über der Eisoberkante 10 mm.

*Schneemessungen über der Eisdecke.* Schneepegel 30,0 cm.

a) Eingerahmtes Schneefeld: Höhe 34,0 cm, spez. Gewicht 0,21.

b) Offene Eisgewinnungsstelle: Höhe 30,0 cm, spez. Gewicht 0,16.

Vom 15. Februar bis Ende März erfolgten zahlreiche und ergiebige Schneefälle. Innerhalb von 30 Tagen schneite es an 13 Tagen, eine Neuschneehöhe von 127 cm.

Diese Neuschneelast zusätzlich zu der bestehenden Schneeschicht von ca. 30 cm war zu viel für die Tragfähigkeit der Eisdecke von einer mittleren Stärke von ca. 42 cm. Eine Beobachtung am 22. Februar ergab schon 24 cm (!) Wasserüberflutung über der angebohrten Eisdecke. Da den Beobachtern das Wasser von oben in die kniehohen Gummistiefel lief und man nie recht wußte, wenn man in einem trügerisch überdeckten Eisloch versank, wurden die Beobachtungen bis am 6. März unterbrochen. Erst nach einigen aufeinanderfolgenden Frosttagen mit Temperaturminima unter  $-20^{\circ}\text{C}$  wagte man sich wieder auf die Eisdecke. Wie hatte sich der Aufbau der Eisdecke verändert! Querschnitte von der Schneeoberfläche bis zur untersten wasserseitigen Eisunterkante ergaben Totalhöhen bis zu 125 cm und ein wahres Durcheinander von den verschiedensten Aggregatzuständen. Man vergleiche dazu die graphischen Darstellungen der Fig. 39 vom 15. Februar bis 22. März und die nachfolgenden Meßergebnisse.

Beginnend von der Schneeoberfläche mit einer trügerischen, alles darunter verdeckenden prächtigen trockenen Pulverschneeschicht, in deren freigelegtem Profil sich deutlich die Schneefälle der letzten Tage unterscheiden ließen. Insbesondere war der «rote Schnee» vom 19./20. März sehr gut in ca. 6 cm unter der Oberfläche sichtbar. Es folgte ein wässriger Schneebrei von ca. 23 cm Höhe, dann eine sehr harte, milchige Zwischeneisschicht von ca. 7 cm, darunter wiederum ein wässriger Schneebrei von ca. 23 cm und erst jetzt die ursprünglich homogene Eisdecke von durchschnittlich 45 cm Stärke. Sorgfältig durchgeführte Messungen der Ueberflutung der alten Eisdecke nach deren Durchbohrung ergab eine Ueberflutung durch den kommunizierenden Seespiegel bis zu 46 cm (!).

Nachdem sich die allgemeinen Witterungsverhältnisse noch eher verschlechterten, wurden in Anbetracht der steigenden Unfallgefahr die sehr ergiebigen und aufschlußreichen Beobachtungen des Winters 1936/37 abgeschlossen.

Nachfolgend die Ergebnisse der Schlußmessungen vom 15. und 22. März 1937 und die tabellarische Zusammenstellung der winterlichen Schneemessungen am Ufer.

#### M 10. Bohrungen vom 15. März 1937.

*Allgemeines.* Die vollständige Versumpfung der Eisfläche auf dem ganzen See verunmöglicht Eismessungen in bisherigem Umfang.

Ca. 100—150 m vom Ufer der Meßstation entfernt, wurden vorsichtig die verschiedenen Schichten freigelegt.

*Eismessungen.* Schichtenfolge von oben nach unten.

	1. Messung		2. Messung
	cm		cm
Trockener Schnee . . . . .	30,0	} 70,0	35,0
Wässriger Schneebrei . . . . .	13,5		21,5
Zwischen-Eisschicht . . . . .	3,0		7,0
Wässriger Schneebrei . . . . .	23,5		23,0
Unterste Eisschicht . . . . .	47,5		39,0
Total . . . . .	117,5		125,5

Der Wasserstand, der sich im Ausstich bildet, liegt 350 mm über der Oberkante der untersten Eisschicht.

*Schneemessung.* Eingerahmtes Schneefeld: Höhe 129 cm, spez. Gewicht 0,22.

Schichtenfolge von oben nach unten:

- 36,5 cm schwerer Neuschnee,
- 34,5 cm leichter fester Pulverschnee,
- 56,0 cm firniger Altschnee.

*Letzte Kontrollbohrung vom 22. März 1937.*

*Allgemeines.* Das warme Tauwetter in Verbindung mit nassen Schneefällen hat eine zusehende Versumpfung der Eisdecke zur Folge.

*Eismessung* (von oben nach unten):

	cm
Trockener Schnee . . . . .	15,5
6 cm unter der Oberkante sogenannter roter Schnee von der Nacht vom 19./20. März.	
Wässriger Schneebrei . . . . .	18,5
Zwischen-Eisschicht . . . . .	6,5
Wässriger Schneebrei . . . . .	23,0
Unterste Eisschicht . . . . .	38,0
Total . . . . .	101,5

Der Wasserstand im ausgestochenen Loch liegt 460 mm über der Oberkante der untersten Haupt-Eisschicht.

*Schneemessung am Ufer:* Höhe 112 cm.

### 3. Öffnung des Sees.

Der St. Moritzer See wurde am 15. Mai 1937 eisfrei, nach 154 Vereisungstagen.

*Allgemeines.* Ueber die *Oeffnung* des St. Moritzer Sees möchte ich kurz folgendes bemerken.

In Betracht fallen folgende Faktoren:

1. Unterschmelzung durch warmes Seewasser.
2. Abschmelzen von oben her durch Regen, Temperaturanstieg, Wärmestrahlung der Sonne und Rückstrahlung von den Uferzonen.
3. Abschmelzung durch Zuflüsse und warme Uferzonen.
4. Wind und Wellen; letztere führen zur Ueberflutung und Zerstörung des schneebedeckten Eises. Auch durch ein starkes Ansteigen der Zuflüsse, wodurch die Eisdecke ungleich gehoben wird und die Bildung von Spalten und Rissen im Eis einen Zerfall in Schollen einleitet.

Während die Wärmewirkung von unten und von oben die Eis- und Schneedecke in der Regel nur langsam zum Schwinden bringt, vermögen Wind und Wellen, sowie ein rapides Wachsen der Zuflüsse die Zerstörung der Eisdecke zu beschleunigen. Wie ungleich sich der Vorgang der Oeffnung des Sees vollzieht, d. h. welche Mannigfaltigkeit der Konstellation den einwirkenden Faktoren zukommt, geht aus den Aufzeichnungen über die gänzliche Befreiung des Sees von der Eisdecke von Dr. *J. Robbi* sen. und jun. (vgl. Tab. 29, S. 77) in den Jahren 1864—1943 in kaum überbietbarer Deutlichkeit hervor.

**B. Schneemessungen am Seeufer bei der Beobachtungsstation des E.W.St.M. am St. Moritzer See vom 6. Januar bis 20. März 1937.**

Ueber die Schneemessungen am St. Moritzer See bei der Beobachtungsstation des E.W.St.M. orientiert die nachfolgende Zusammenstellung.

Tabelle 39

1937 Monat	Tag	Stunde	Schnee-Pegel 0 = Erd- bzw. Eisoberfläche		Schnee-Rohr ∅ = 160 mm F = 200 cm <sup>2</sup>		Spez. Ge- wicht	Bemerkungen	
			Pegel cm	Neu- schnee cm	Wasser- wert cm <sup>3</sup>	Höhe mm			
1	2	3	4	5	6	7	8		
Januar	6.	8.00	—	1,2	1,6	—			
	7.	—	—	—	—	—			
	8.	14.00	—	6,5	—	—			
	9.	8.00	—	5	85	4,2			
	10.	—	—	—	—	—			
	11.	—	—	—	—	—			
	12.	—	—	—	—	—			
	13.	—	—	—	—	—			
	14.	—	—	—	—	—			
	15.	—	—	—	—	—			
	16.	8.00	8	3	36	1,8		} Leichter Schneefall bei viel Wind.	
	17.	—	—	—	—	—			
	18.	—	—	—	—	—			
	19.	—	—	—	—	—			
	20.	8.00	13	5	86	4,3		} Leichter Schneefall bei Wind (19./20.).	
	21.	—	—	0	—	—			
	22.	—	—	0	—	—			
	23.	—	—	0	—	—			
	24.	—	—	0	—	—			
	25.	—	14	3,5	39	1,9		} Leichter Schneefall bei starkem Wind.	
	26.	8.00	20	6	45	2,2			
	27.	18.00	25	5	94	4,7			
	28.	?	27	4	—	—			
	29.	—	—	—	—	—			
	30.	—	—	—	—	—			
	31.	—	—	—	—	—			
	Februar	1.	?	25	4	75	3,7		Sehr nasser Neuschnee.
		2.	—	—	0	—	—		
		3.	8.00	20	0	—	—		
		4.	—	—	—	—	—		
		5. <sup>1)</sup>	8.00	24	—	—	—		
6.		8.00	26,5	6	40	2,0		} Leichter Schneefall bei starkem Wind.	
7.		8.00	—	—	—	—		<sup>1)</sup> Beobachtungsstation auf den See verlegt.	
8.		8.00	26	0	—	—			
9.		—	—	0	—	—			

Tabelle 39 (Fortsetzung)

1937 Monat	Tag	Stunde	Schnee-Pegel 0 = Erd- bzw. Eisoberfläche		Schnee-Rohr Ø = 160 mm F = 200 cm²		Spez. Ge- wicht	Bemerkungen
			Pegel cm	Neu- schnee cm	Wasser- wert cm³	Höhe mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	
Februar	10.	8.00	25	0	—	—		} Leichter Schneefall vormittags bei starkem Wind.
	11.	14.00	26	1	13	—		
	12.	—	—	0	—	—		} Wind nachts, dichter feinflockiger Schneefall.
	13.	—	27	—	—	—		
	14.	10.00	35	8	112	5,6		
	15.	—	32	0	0	—		
	16.	—	—	—	—	—		
	17.	7.30	30	—	—	—		
	18.	12.00	33	3	40	2,0		
	19.	7.30	34	1	10	—		
	20.	7.30	34	—	—	—		
	21.	11.30	37,5	3	77	3,8		
	22.	ca. 10	34,5	—	—	—		
	22. <sup>1)</sup>	—	28	—	—	—		24 cm Wasser auf dem Eis.
	23.	—	37	9	60	—		<sup>1)</sup> Verlegung der Meßstation an den Uferrand.
	24.	—	—	—	—	—		
	25.	12.00	35	2	35	1,7		Leichter Schnee fällt in der Nacht bis 9 Uhr.
	26.	7.30	32	—	—	—		
	27.	7.30	32	—	—	—		
	28.	14.00	65	—	—	—		
März	1.	7.45	85	53	943	47	0,089	
	2.	7.45	78	0	—	—		
	2.	14.30	76	—	—	—		
	3.	—	—	0	—	—	— →	Wasser-Überschwemmung der bis- herigen Meßstelle am Seerand. Neuerstellung einer Meßstelle am Seeufer ca. 3 m von der Meß- hütte.
	4.	—	100 <sup>2)</sup>	—	—	—		<sup>2)</sup> 100 cm durch Abstich an der neuen Stelle.
	5.	7.30	103	3	50	2,5		
	6.	7.30	107	4	64	3,2		
	7.	—	—	—	—	—		
	8.	7.30	98,5	0	—	—		
	9.	7.30	100	2	30	1,5		
	10.	7.30	96	0	—	—		
	11.	17.00	96	—	—	—		Beginnt zu schneien.
12.	7.30	—	—	—	—		Leichter Schneefall bei Wind.	
13.	7.30	121	25	438	21,9	0,088		
14.	} 7.30	134	13	576	28,8	0,22	14./15.: nasser Schnee.	
15.								
16.	—	—	—	—	—			
17.	—	—	—	—	—			
18.	—	—	—	—	—			
19.	7.30	116,5	—	—	—		} Regen und Schnee, sehr nasser Schneefall; „Roter Schnee“ gefallen!	
20.	7.30	110	—	—	—			

#### IV. Winter 1937/38.

Die ergebnisreichen Beobachtungen der beiden Vorwinter 1935/36 und 1936/37 hatten einen recht interessanten Einblick in das Werden, Sein und Vergehen von Schnee und Eis auf den Oberengadiner Seen ermöglicht. Für den Winter 1937/38 war vorgesehen, die strukturelle Metamorphose der Eisdecke von deren Bildung bis zum Abschmelzen etwas näher zu betrachten. Die indessen konstruierte Eisbohrmaschine (siehe Fig. 26 und 27, S. 97) ermöglichte solche Einblicke in die inneren Schichtungsverhältnisse der Eisdecke, konnten doch damit innerhalb von einigen Minuten saubere Bohrproben durch die stärksten auftretenden Eisdecken herausgebohrt werden.

Die mit den Weihnachtstagen 1937 beginnende ad-interim-Uebernahme des technischen Betriebes der Drahtseilbahnen St. Moritz—Corviglia und der neuen «Funi» Corviglia—Piz Nair durch das E. W. St. M. verunmöglichte die Durchführung des vorgesehenen Programmes.

Die Beobachtungen dieses Winters beschränkten sich damit auf allgemeine Daten, wobei immerhin die nachstehend erwähnten Beobachtungen von Wasserwerten eines Rauhreifbelages anfangs Dezember allein schon die Mühe lohnten. Im weitern konnten anlässlich einer energiewirtschaftlich bedingten Absenkung des St. Moritzer Sees von ca. 50 cm und Wiederaufstau um 35 cm wertvolle Kontrollbeobachtungen zum Absenkungs- und Stauversuch vom März 1936 gemacht werden.

Ziemlich vollständige Eisdickenmessungen an drei Kontrollpunkten vom Beginn der Eisbildung bis zur vollständigen Eisbefreiung am 4. Mai 1938 runden die Beobachtungen ab.

##### A. Allgemeines.

Der Winter begann verhältnismäßig spät. Die erste Eisbildung setzte ungefähr am 26. November 1937 ein. Am 11. Dezember war der See ganz zugefroren. Bald nach dem Einschneien treten zwei sehr strenge Kälteperioden ein, eine erste vom 13. bis 23. Dezember, die zweite vom 26. Dezember 1937 bis 6. Januar 1938, mit der tiefsten Temperatur des Winters von  $-32^{\circ}$  C am 3. Januar 1938. Die Monate Dezember, Januar und Februar waren durchschnittlich sehr kalt, was aus den mittleren Monatstemperaturen, aus den Tagesmittelwerten von 8 h, 14 h und 22 h (den Registrierstreifen des Thermohygrographen in der Meßstation St. Moritzer See entnommen) und den Normalwerten von St. Moritz-Dorf zu ersehen ist.

<i>St. Moritzer See:</i>	<i>19.—31. Dezember</i>	<i>Januar</i>	<i>Februar</i>
1936/37 . . .	— 9,25 ° C	— 7,74 ° C	— 4,95 ° C
1937/38 . . .	— 14,6 ° C	— 10,0 ° C	— 11,2 ° C
<i>St. Moritz-Dorf</i>	<i>Dezember</i>	<i>Januar</i>	<i>Februar</i>
Normal			
1864—1900 . . .	— 5,7 ° C	— 6,6 ° C	— 5,0 ° C

Vom Monat März an begann eine Schönwetterperiode von wochenlanger Dauer, bei einer für den Wintersport katastrophalen Schneearmut, wie sie in dieser Höhenlage sehr selten beobachtet wird.

Die extreme Schneearmut zeigte sich recht eindrucksvoll aus den Schneepegelablesungen in den Wintern 1936/37 und 1937/38 bei der Meßstation St. Moritzer See und den mittleren Niederschlägen:

Tabelle 40

Winter (1. Nov. bis 30. April)	Beobachtete maximale Schneehöhe am Ufer	Winter-Niederschlag
Winter 1936/37	15. März 1937: 134 cm	496 mm
Winter 1937/38	18. Februar 1938: 53 cm	210 mm
Winter-Mittelwert: 1864/65 bis 1947/48	—	372 mm

### B. Entwicklung der Eisdecke.

Die allgemeinen klimatischen Bedingungen, die sofort nach der ersten Eisbildung vom 26. November einsetzten, waren zunächst für die Entwicklung einer festen klaren Eisdecke sehr ungünstig. Kaum hatte sich eine erste zusammenhängende dünne Eisdecke am 6. *Dezember 1937* gebildet, schneite es darauf. Durch das einsetzende Tauwetter vom 7./8. Dezember mit anschließendem schwerem Schneefall von 25 cm Höhe am 9. Dezember, bildete sich über der ganzen Seeoberfläche Sulzbrei, der dank einem bald darauf einsetzenden starken Frost zu einer tragenden Eisschicht von ca. 15 cm Stärke gefror. Damit war innerhalb weniger Tage eine bedeutend stärkere Eisschicht entstanden, als dies bei normaler Entwicklung möglich gewesen wäre.

Die unter A. angeführten Frostperioden — der kalte Winter im allgemeinen und die Schneearmut dieses Winters im besonderen — ergaben sehr günstige Bedingungen zur Bildung einer homogenen Eisschicht.

Die stabilen Witterungsverhältnisse hielten den ganzen Winter an. Der warme März und April beschleunigten den Schmelzprozeß, so daß die Messungen, wegen morsch werdender Eisdecke, verhältnismäßig früh abgebrochen werden mußten. Am 4. *Mai 1938* war der See vollständig eisfrei. (Details siehe Beobachtungsmaterial, Seite 132.)

### C. Besondere Beobachtungen.

1. *Bildung von Eisblumen.* Wohl die interessanteste Erscheinung des Winters 1937/38 war eine sehr ergiebige Rauhreifbildung auf der glatten, bisher schneefreien Eisdecke über den ganzen See in den Nächten vom 10./11./12. Dezember. Die prachtvolle Rauhreifbildung wurde durch Nebel ermöglicht, der vom Inn-Einfluß über die Eisoberfläche strich und sich langsam über die ganze Eisfläche ausbreitete. Diese Beobachtung wird noch dadurch bestätigt, daß die stärkste Reifbildung an den Bäumen des kleinen Wäldchens in der Nähe der Inn-Einmündung entstand, während die höher gelegenen Waldpartien am folgenden Morgen vollständig frei von Rauhreif waren und nur den normalen Schneebeleg aufwiesen. (Vgl. hierüber: 1. Teil. Allgemeines. Kap. 8: Die Bedeutung der Nebel-, Tau- und Reifbildungen im Wasserhaushalte des Hochgebirges, Seiten 161—171, mit Tafeln 2—4.)

2. *Ueberflutung der Eisdecke.* Es wurde während des ganzen Winters wiederum die interessante Beobachtung gemacht, daß schon relativ dünne Schneebelege von ca. 10—20 cm, bei einer Eisdecke von ca. 30—35 cm, eine Ueberflutung der Eisdecke zur Folge hatten. Der allgemeine Schneemangel und die seltenen Schneefälle verunmöglichten systematische Messungen.

3. *Einfluß des Fallens und Steigens des Seespiegels auf die Seedecke.* Durch die andauernde große Kälte über Weihnachten und Neujahr nahm die Energieabnahme des *Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz* einen bisher nie dagewesenen Umfang an. Um den kostspieligen Fremdenergiebezug nicht allzusehr beanspruchen zu müssen, griff das Werk vorübergehend die Wasserreserven im St. Moritzer See an. Zwischen dem 20. Dezember und dem 2. Januar wurde der Seespiegel um *50 cm* abgesenkt; in der Zeit vom 5.—15. Januar wiederum um *35 cm* gehoben. Diese recht bedeutenden Wasserspiegelwechsel ermöglichten wertvolle Kontrollen zu den seinerzeitigen Versuchen vom März 1936.

*Ergebnis.* Weder das Fallen noch das Steigen des Seespiegels hatten einen wesentlichen Einfluß auf die Eisdecke. Einzig die Eisränder längs der Uferlinien wurden stärker beeinflußt: Bei starken Absenkungen legt sich die Eisdecke an den flachen Ufern natürlich auf den trockenen Grund, während die frei schwimmende Eisdecke sich parallel und unmittelbar mit dem Wasserspiegel senkt. Dauert die Absenkung längere Zeit an, so friert die aufliegende Eisschicht am Boden fest. Wird nun das Wasser wieder gestaut, so hebt sich die frei schwimmende Eisdecke wiederum mit dem Wasserspiegel, während die an den Rändern angefrorene Eispartie zurückbleibt. Mit zunehmendem Steigen des Wasserspiegels überflutet das durch Ritzen und unter der Eisdecke durchquellende Wasser diese Randzonen. Stellenweise ergibt sich dann eine elastische Durchbiegung der frei schwimmenden Eisdecke mit einer Senkung gegen die Uferländer zu (konvex). Es bilden sich dann längs der Ufer streckenweise ca. 3—5 m breite überschwemmte Gürtel. In unserem Falle war die Ueberschwemmung an den Rändern ca. 8 cm hoch, ebte aber seeseitig rasch ab, um bei 3—5 m Distanz vollständig aufzuhören. Diese Ueberschwemmungen dauerten jeweils höchstens einen Tag, in der darauffolgenden Nacht froren diese Gürtel wieder vollständig zu.

#### **D. Eis- und Schneemessungen auf dem St. Moritzer See im Winter 1937/38.**

Vorgänge während der Periode des Zufrierens vom 26. November bis 11. Dezember 1937.

*26. November, 7.45 Uhr:* Erste Eisbildung in der Bucht von Surlej, hinter der Bad-Kirche und unter dem Hotel Waldhaus bei Punt da Piz. Temperaturen: 8.45 —  $5^{\circ}$  C, 14.00 +  $1^{\circ}$  C, 22.00 —  $7^{\circ}$  C.

*30. November, 7.45 Uhr:* Neue große frei schwimmende Eisfläche in der Bucht bei der Meierei. Temperaturen: 8.00 —  $10^{\circ}$ , 14.00 +  $5^{\circ}$ , 22.00 —  $8^{\circ}$ .

*30. November bis 6. Dezember:* Kaltes unfreundliches Frostwetter. Täglich entstehen neue Eistafeln in den noch freien Wasserflächen. Da es recht windig ist, werden die Eistafeln von einer Ecke in die andere getrieben. Bei Westwind stauen sich alle Eistafeln bei Punt da Piz und in der Bucht unter der Meierei, umgekehrt bei Ostwind in den Buchten bei der Reithalle und bei der Kirche. Eine zusammenhängende Eisschicht kann sich nicht bilden. Am 5. Dezember ist der ganze See mit Ausnahme von zahlreichen offenen Wasserrinnen mit größeren und kleineren Eisplatten übersät.

*6. Dezember, 7.45 Uhr:* Neuschneefall von 6 cm bei tiefer Temperatur. Die unzusammenhängende, kaum 3 cm starke Eisdecke wird von der Schneelast überall unter Wasser gedrückt, was an der dunkeln Färbung des Schneebeleges deutlich wird.

*7./8. Dezember:* Warmes Tauwetter. Auf dem See zerfließen Eis und Neuschnee zu einem einheitlichen grauen Brei.

*9. Dezember:* Neuschneefall von 25 cm bei warmem Wetter. Der ganze See ist nun mit einem tiefen gleichförmig grauen Schneebrei überdeckt, der deutlich sichtbar unmittelbar unter der Wasseroberfläche in der Schwebelage schwimmt. Dieser Schneebrei füllt alle bisherigen freien Wasserrinnen aus und verbindet die unzusammenhängenden Eistafeln mit einem noch breiigen «Schnee-Zement».

*10. Dezember:* Nach einer kalten Nacht ist am Morgen der ganze See zugefroren, mit einer glatten weißlich milchigen Eisdecke. Für die Messung der Eisdicke ist die Situation etwas zu gefährlich.

*11. Dezember, 7.45 Uhr:* Sehr kalte Nacht, Temperaturminimum  $-19^{\circ}$  C. Die am Vorabend vollständig spiegelglatte Eisdecke ist in ihrer ganzen Ausdehnung mit einem gleichmäßigen prachtvollen Rauhrefteppich überzogen, blumenartige Gebilde von ca. 30 mm Höhe. Die Eismessungen ergaben recht verschiedene Eisstärken bis maximal 150 mm, als Mittel aus verschiedenen Messungen 105 mm. Schneehöhe beim Schneepiegel am Ufer 30 cm.

*Ab 3. Januar 1938* konnten während des ganzen Winters regelmäßige Eis- und Schneemessungen durchgeführt werden, die in nachfolgender Tabelle gesammelt sind.

## Eis- und Schneemessungen auf dem St. Moritzer See im Winter 1938 (Januar bis Mai).

Tabelle 41

	Mittlere Lufttemperatur	Schnee Ufer	Seepartie vor der Meteorologischen Station						
			Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		
			Schnee	Eis	Schnee	Eis	Schnee	Eis	
	°C	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
3. Jan. 1938	- 23,6	35	11,5	26,5	11,5	26,5	10,0	27,5	
5. „ „	- 24,6	35	11,5	28,0	11,5	28,0	7,5	34,0	
6. „ „	- 12,3	35	11,5	29,0	11,5	29,0	7,5	36,0	
7. „ „	- 10,0	36	12,5	29,0	12,5	29,0	8,5	36,0	(Neuschnee 1 cm)
8. „ „	- 10,0	36	13,0	29,5	13,0	29,5	8,0	37,5	
17. „ „	- 3,6	—	12,5	31,5	14,0	31,5	12,0	38,0	
24. „ „	- 8,3	—	15,0	34,0	15,0	34,0	14,0	42,0	
27. „ „	- 6,6	43	—	—	—	—	Neuschnee 8 cm		
29. „ „	- 7,3	—	Starker Wind mit leichtem Schneefall						
30. „ „	- 7,6	52	Schneefall bei Wind				Neuschnee 9 cm		
31. „ „	- 8,6	(61) Sp. G = 0,20	29,0	34,5 1,7 <sup>1)</sup>	35,0	28,0 2,8 <sup>1)</sup>	30,0	28,0 2,8 <sup>1)</sup>	) <sup>1)</sup> Überflutung nach Bohrung eines Loches in cm
							Schnee mit Meterstab bei der Meteorol. Station		
1. Febr. 1938	- 12,3	49	—	—	—	—	—		
2. „ „	- 9,3	51	—	—	—	—	—		Neuschnee 2 cm
7. „ „	- 15,0	46	26,0	36,0	27,0	43,0	56 Sp. Gew. 0,22		Sp. Gew. 0,12
11. „ „	- 10,0	51	—	—	—	—	—		Neuschnee 5 cm
14. „ „	- 13,6	50	30,0	40,0	32,0	44,0	64 Sp. Gew. 0,21		Sp. Gew. 0,48
18. „ „	- 2,3	53	—	—	—	—	—		Neuschnee 3 cm
21. „ „	- 13,3	—	30,0	40,0	30,0	44,0	63 Sp. Gew. 0,20		Sp. Gew. 0,25
28. „ „	- 4,7	49	29,0	40,0	28,0	44,0	62 Sp. Gew. 0,21		
8. März 1938	—	—	22,0	40,0	24,0	44,0	48 Sp. Gew. 0,25		nasser Schnee
14. „ „	—	—	10,0	<sup>2)</sup>	12,0	<sup>2)</sup>	33 Sp. Gew. 0,34		nasser Schnee
21. „ „	—	11	0	<sup>3)</sup>	0	<sup>3)</sup>	0 —		
27./28. „ „	—	—	—	—	—	—	—		Neuschnee 23 cm
17. April 1938	—	—	—	—	—	—	Meßstat. außer Betrieb gesetzt		Sp. Gew. 0,15
4. Mai 1938	—	—	See vollständig eisfrei						

<sup>1)</sup> Eisstruktur von oben nach unten: Schnee 10 cm, Eis 2 cm, Wasser 4 cm, Eis 44 cm.<sup>2)</sup> Eisstruktur von oben nach unten: Schnee 0 cm, Eis 5 cm, Wasser 6 cm, Eis 33 cm.

### E. Eigentümlichkeiten in der Entwicklung der Eisdecke des Silvaplanner Sees.



Photo Albert Steiner

Fig. 41.

**Silvaplanner See**, vom Hahnenseegebiet aus gesehen. Zustand am 5. Januar 1937.

Das Bild zeigt sehr deutlich, wie sich die Eisdecke des Silvaplanner Sees in mehreren Wochen nach und nach in verschiedenen Etappen zu bilden vermochte. Die schwarze Fläche im Vordergrund zeigt die jüngste Eisschicht, die weißliche im Hintergrunde die älteste, die im Laufe der Zeit mehrfach überschneit wurde. Die durch die Schneeschicht überlastete, älteste Eisdecke wurde, ähnlich wie beim St. Moritzer See, mehrmals überflutet.

Die dunkle Fläche im Vordergrund ist junges Eis und deshalb blank. Die Verzögerung im Einfrierprozeß rührt her von der Wirkung des von Norden über den Julierpaß-Einschnitt einfallenden Windes. (Ein ähnlicher Vorgang vollzog sich im Winter 1943/44, wo diese Restfläche erst am 14. Januar 1944 zum Einfrieren kam.)

### V. Winter 1938 / 39.

Im Laufe dieses Winters konnten folgende drei interessante Meßreihen durchgeführt werden:

#### A. Lufttemperaturen und Wassertemperaturen.

*Lufttemperaturen* am Ufer des St. Moritzer Sees, mit Messung der *Wassertemperaturen* in den obersten Wasserschichten der eisfreien Partien des St. Moritzer Sees je am Inneinlauf, bei der katholischen Kirche in St. Moritz-Bad und beim Innauslauf bei Punt da Piz.

Diese Meßreihe konnte vom 24. November 1938 bis zum 20. Juni 1939 über 146 Tage durchgeführt werden. Die Messungen erfolgten in der Regel zwischen 7.00 und 8.00 Uhr morgens. Für die Wassermessungen wurde ein Quecksilberthermometer, das mit einer Metallhülle umgeben war, verwendet. Womöglich erfolgten die Ablesungen immer so, daß das horizontal liegende Thermometer in den obersten Wasserschichten mehrere Minuten untergetaucht blieb und so abgelesen wurde. Die Tabellen mit den Meßergeb-

nissen befinden sich nicht unter den nachfolgenden Tabellen des Winters 1938/39, sondern wurden im Zusammenhang mit der Thermik des St. Moritzer Sees Seite 62—64 eingegliedert.

Im Zusammenhang mit der vorstehend erwähnten Meßreihe der Wassertemperaturen in den Oberflächenzonen, möchten wir hinweisen auf *die systematischen thermischen Tiefenlotungen*, die, beginnend mit der herbstlichen Wasserabkühlung vom 27. September 1945 bis zum Zufrieren des Sees am 18. Dezember 1945 durchgeführt werden konnten. Auch diese Ergebnisse finden sich wie die vorstehend erwähnten in den Tabellen 23—25 und in der graphischen Darstellung Fig. 17.

Alle diese Messungen, sowohl über die Temperaturverhältnisse der Luftmassen über der Eisdecke, der Temperatur des Wassers einerseits in den Oberflächenzonen, wie auch in den Tiefenzonen des Sees, ergeben interessante Beiträge zur Thermik des St. Moritzer Sees. Es war von besonderem Interesse, dazu noch die Entwicklung der Eisdecke und ihres Schneebelages bis zur vollständigen Abschmelzung zu verfolgen.

### B. Schneehöhen- und Eisdickenmessungen am Ufer und auf der Eisdecke des St. Moritzer Sees.

Beginnend mit dem ersten Einschneien am 21. November 1938 bis zur Schneeschmelze Mitte April 1939, wurden täglich die Schneehöhen am festen Schneepegel bei der Beobachtungsstation des E. W. St. M. beobachtet und nach jedem Neuschneefall dessen Höhe und Wasserwerte gemessen.

Nachdem sich nach Neujahr eine zuverlässige Eisdecke gebildet hatte, wurden auch die Eisdicken zirka wöchentlich gemessen. Ueber die Beobachtungen der inneren Schichtungsverhältnisse berichten wir unter C.

Der Winter 1938/39 muß nach der subjektiven Beurteilung der Beobachter als ein niederschlagsarmer Winter bezeichnet werden, insbesondere die zweite Winterhälfte. Die Winterniederschlagshöhe (1. November bis 30. April) betrug 363 mm. Maximale Schneehöhe, am Schneepegel gemessen, 78 cm. Die Summe aller Schneefälle betrug 174 cm.

Vergleichsweise betragen für *Sils-Maria*:

Mittlere Niederschläge (Winter, 1. Nov.—30. April) für die langjährige	
Periode 1864—1948 . . . . .	372 mm
Beobachtete Maxima für den Winter 1916/17 . . . . .	668 mm
Beobachtete Maxima für den Winter 1950/51 . . . . .	722 mm
Summe aller Schneefälle für den Winter 1950/51 . . . . .	996 cm
Maximale beobachtete Schneehöhe 1950/51 . . . . .	210 cm

Diese Vergleiche zeigen, daß, wenn auch die Winter-Niederschlagshöhe des Winters 1938/39 sehr wenig vom langjährigen Mittelwert abweicht, die subjektive Beurteilung der Beobachter doch begründet ist.

Im Zusammenhang zwischen Vereisungsdauer und Klima (siehe Tab. 29, S. 77) ist es interessant festzustellen, daß der St. Moritzer See schon extrem früh, nämlich schon am 28. April 1939, vollständig eisfrei war, ein Datum, das seit 1832 nur zirka 6mal erreicht und nur 2mal unterschritten wurde.

### C. Aenderung in den inneren Schichtungsverhältnissen der Eisdecke.

Eine dritte, sehr interessante Meßreihe konnte durchgeführt werden über den Wandel in den inneren Schichtungsverhältnissen der Eisdecke im Laufe von zirka  $2\frac{1}{2}$  Monaten. (Siehe dazu die Eisprofile Fig. 43b.) Veranlassung zu diesen interessanten Messungen gab eine Fliegerstaffel, die auf der Eisdecke des St. Moritzer Sees ihre Camp-Zelte aufzustellen beabsichtigte. Vorsichtigerweise erkundigte sich der Staffelkommandant schon einige Wochen vorher über die derzeit herrschenden Verhältnisse. Er zog es dann vor, die Camp-Zelte aufs Festland zu verlegen und die Eisfläche jeweils nur als Start- und Landebahn zu benützen.

Wir nahmen diese Gelegenheit wahr, um an 8 markierten Beobachtungsstellen, beginnend mit dem 16. Januar bis 3. April 1939, Eisprofilaufnahmen durchzuführen, um daran die Entwicklung der inneren Schichtungsverhältnisse beobachten zu können. Alle 8 Punkte lagen in der Bucht zwischen Reithalle und Surlej, wo ursprünglich der Camp-Platz der Staffel vorgesehen war. Die Bilder 42a, b zeigen Aufnahmen vom 17./18. Jan. 1939. Jeder Kenner wird bei vergleichenden Betrachtungen zwischen diesem Bild, den Eisprofilaufnahmen vom 16. Januar 1939 und den Tabellen über die täglichen Schneemessungen interessante Zusammenhänge finden.

Die Eisprofilaufnahmen zeigen deutlich, wie die anfänglich noch dünne Eisdecke durch die relativ schweren Neuschneefälle hinuntergedrückt und dadurch Ueberflutungen provoziert wurden; die dunkeln versumpften Stellen der Aufnahme vom 17./18. Januar 1939 zeigen dies sehr anschaulich. Mit zunehmender Eisdicke und dank der sehr seltenen Neuschneefälle ab Mitte Januar konnte dann die kranke Eisdecke zusehends gesunden; ab 6. Februar war sie ganz kompakt durchgefroren und blieb gesund bis zur frühen Eisbefreiung am 28. April 1939.



Fig. 42a.

Zustand des St. Moritzer Sees vom 17. Januar 1939 mit acht markierten Beobachtungsstellen.



Fig. 42b.

Zustand des St. Moritzer Sees vom 18. Januar 1939. (Die dunkeln Stellen veranschaulichen die Ueberflutung der Eisfläche.)

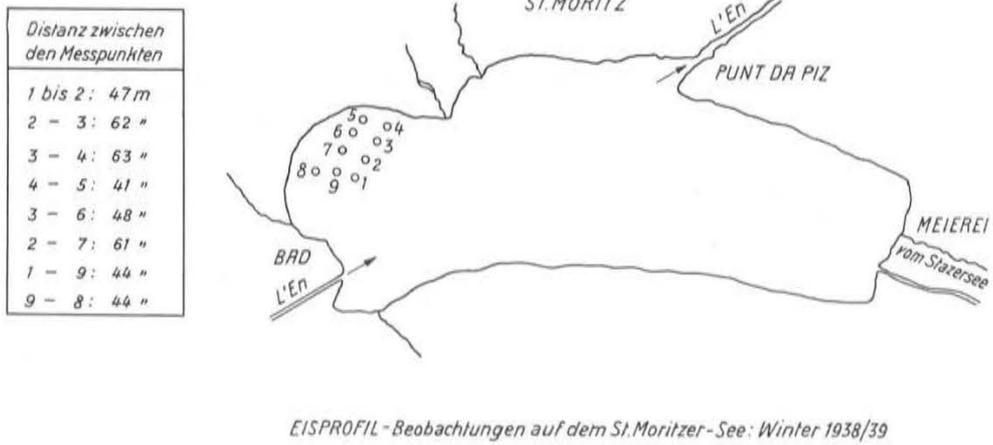


Fig. 43a.

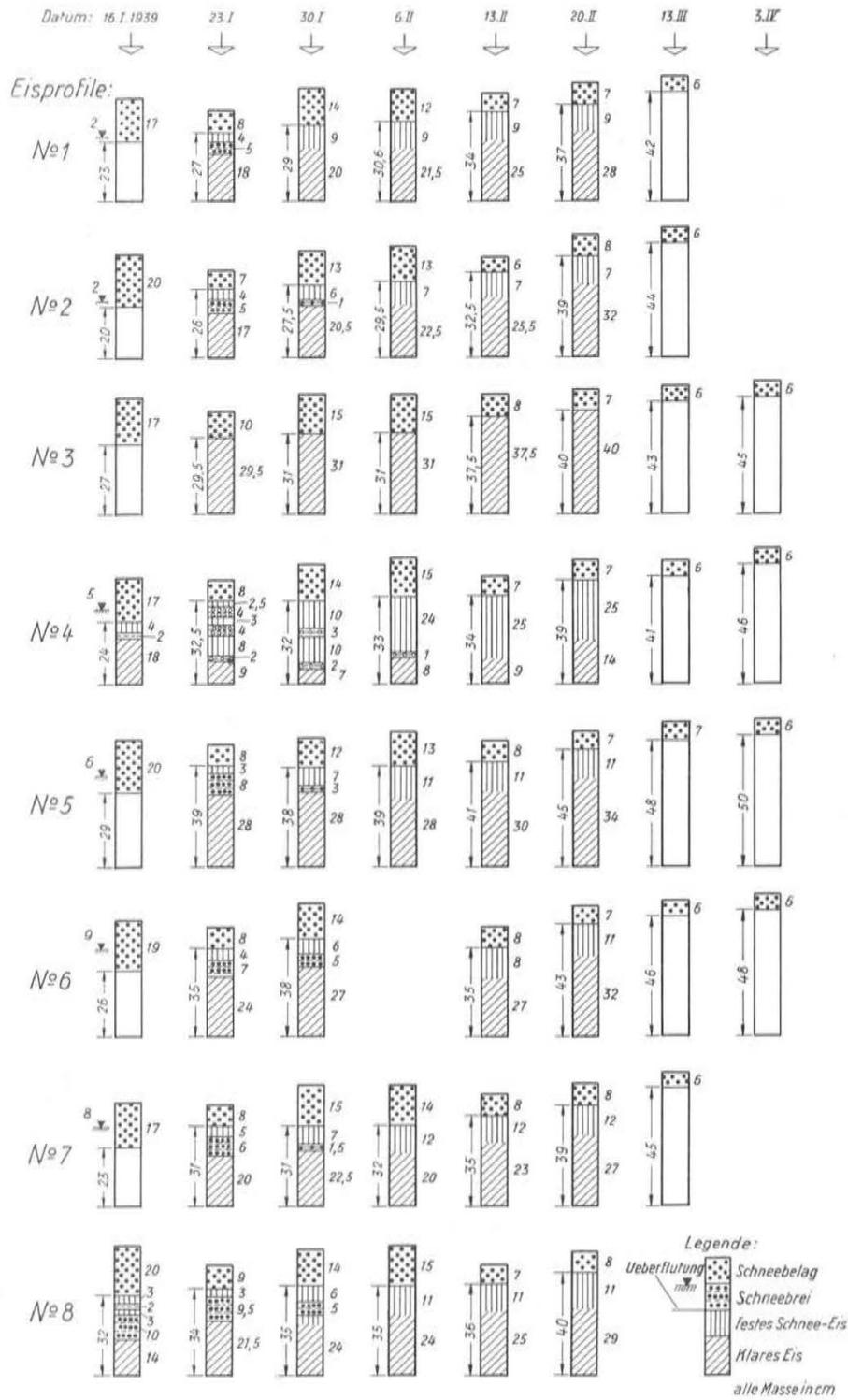


Fig. 43b.

Eisprofilaufnahmen der Beobachtungsstellen Nr. 1—8 des St. Moritzer Sees vom 16. Januar bis 3. April 1939.





Tabelle 42 (Fortsetzung)

	Täglich		Wöchentlich		Neuschnee		Eisprofil 3:		Bemerkungen
	Pegel (Abstich) cm	Wasser- wert g	Höhe cm	Wasser- wert g	Höhe cm	Wasser- wert g	Eis- stärke cm	Schnee- belag cm	
<b>März 1939</b>									
1.	8 <sup>h</sup> 00	61			3				
2.	"	59							
3.	"	56							
4.									
5.									
7.	"	52							
8.	"	49							
9.	"	56		82	6	63			
10.	"	56							
11.	"	56							
13.	"	55					<b>43</b>	<b>6</b>	
13.	16 <sup>h</sup> 00		54	1238					
14.	8 <sup>h</sup> 00	55			9				14./15. Schneefall bei starkem Wind Sehr starker Wind
15.	"	64			8	183			
16.	"	72	329						
17.	"	68							
18.	"	68							
20.	"	68							
20.	14 <sup>h</sup> 00		66	1448					
21.	8 <sup>h</sup> 00	68							
22.	"	68							
23.	"	68							
24.	"	68							
25.	"	68							
28.	7 <sup>h</sup> 00	68							
29.	"	68							
30.	"	65							
31.	"	62							
<b>April 1939</b>									
1.	7 <sup>h</sup> 00	60							
2.	"	56							
3.	"	60		75	4	13	<b>45</b>	<b>6</b>	Schneebeleg sehr wässrig Eisoberfläche schon sehr mürbe
4.	"	55	52	1218					
5.	"	53							
6.	"	48							
8.	8 <sup>h</sup> 00	31							
10.	"	18							
11.	"	15							
12.	7 <sup>h</sup> 15	6							
13.	7 <sup>h</sup> 09	—							
.....									
28. Der St. Moritzer See ist vollständig eisfrei! Seit dem Jahre 1832 wurde diese frühe Befreiung vom Eis nur sechsmal beobachtet.									

## VI. Winter 1940/41.

### Kernbohrungen aus der Eisdecke des St. Moritzer Sees im Februar 1941.

Pro Memoria sei erwähnt, daß im September 1939 der Zweite Weltkrieg ausbrach, der bis 1945 dauern sollte. Durch aktiven Militärdienst war dauernd Personal des E. W. St. M. abwesend. Eine konsequente systematische Fortsetzung unserer Beobachtungen und Messungen war nicht mehr möglich; wir mußten uns darauf beschränken, dann und wann bei günstigen Gelegenheiten Einzelbeobachtungen und Messungen durchzuführen.

Eine solche interessante Gelegenheit bot sich im Februar 1941 anlässlich eines Besuches des Verfassers in St. Moritz, bei welchem Anlaß mit der früher besprochenen Eisbohrmaschine (siehe S. 111) Kerne aus der Eisdecke herausgebohrt wurden.

Unsere früheren Eisprofilmessungen wurden entweder vorgenommen an den Eisblöcken, die bei der offiziellen Eisgewinnungsstelle geschnitten wurden, oder ergaben sich aus der Meßmethode mit dem rechtwinklig umgebogenen Meßdraht in kleinen Bohrlöchern, die mit der Handbohrmaschine und einem zirka 60 cm langen Bohrer von zirka 15 mm Durchmesser gebohrt wurden. Erstmals im Winter 1939 hatten wir systematische Eisprofilaufnahmen an Bohrkernen machen können, die mit der erwähnten großen Eisbohrmaschine herausgeschnitten wurden.

Die St. Moritzer Konstrukteure dieser großartig funktionierenden Eisbohrmaschine brannten darauf, dem Verfasser an Hand einer größeren Bohrserie die Leistungsfähigkeit unter Beweis zu stellen.

Die Voraussetzungen für die Messungen waren Mitte Februar noch sehr ungünstig, da über der Eisdecke ein zirka 15 cm tiefer wässriger Schnee- und Schlammbrei lag, der sehr trügerisch von einer zirka 20 cm starken Pulverschneeschicht überdeckt war.

Ab 19. Februar wurden laufend Kontrollmessungen bei den Meßpunkten (Fig. 44) I—VI durchgeführt, um den Fortschritt im Durchfrieren dieses Schnee- und Schlammbreies festzustellen. Wie die Figur 45 zeigt, ging das Einfrieren sehr langsam vorwärts.

Indessen hatte der Verfasser ein Meßprofil mit den Bohrstellen 1—11 (siehe Fig. 44) abstecken lassen. In jedem dieser Punkte sollte am gegebenen Tag mit der großen Eisbohrmaschine ein Kern aus der Eisdecke herausgeschnitten, ausgemessen, protokolliert, eventuell fotografiert werden.

Trotzdem die Voraussetzungen auf der Eisdecke, infolge noch nicht voll durchgefrorenen Schnee- und Schlammbreies, noch nicht ideal waren, wurden am 28. Februar 1941 die Bohrungen zwischen 9 und 16 Uhr durchgeführt. Die Profilaufnahmen finden sich in Fig. 46 zusammengestellt.

Die Rollenverteilung der Anwesenden war folgende: der Verfasser Dr. O. Lüttschg als Oberexperte, Hauck, Protokollführer, Bernhard, Beobachter und Ausmesser der Bohrkerne, Giuliani Vater und Sohn, Oletto mit Spähni, Bohr-Equipe (siehe Abbildung 27).

Ohne jeden Zwischenfall wurden die 11 Bohrkerne in flottem Tempo ohne Forcierung sauber und ansehnlich herausgebohrt. Die durchschnittliche Bohrzeit, die abgestoppt wurde, betrug rund 4 Minuten pro Kern. Da es sich bei der Ausmessung der Kerne zeigte, daß auch in beträchtlicher Tiefe noch nicht ganz durchgefrorene Zwi-

### Herausschneiden von Bohrkernen aus der Eisdecke des St. Moritzer Sees im Februar 1941.

Situationsplan 1 : 20 000.

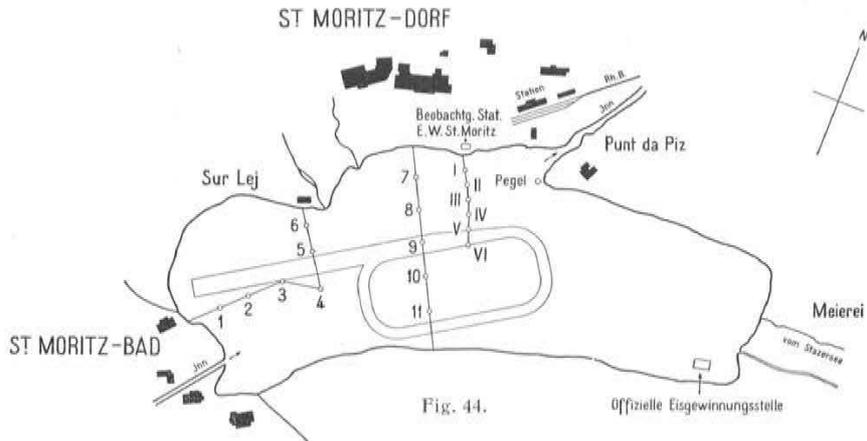


Fig. 44.

	Hohen in cm :														
	Eis				Schnee-brei				trockener Schnee						
Beobachtungsdatum : Febr. 1941	19.	21.	24.	25.	27.	19.	21.	24.	25.	27.	19.	21.	24.	25.	27.
Beobachteter Punkt :															
I	--	--	--	--	--	15	16	16	18	Eis	25	24	24	18	15
II	--	--	--	--	--	15	15	18	16	Eis	21	20	22	20	18
III	--	--	--	--	--	16	17	17	17	Eis	22	20	18	14	
IV	--	--	--	--	--	15	16	17	15	16	21	20	21	22	19
V	--	--	--	--	--	14	15	17	17	19	22	20	19	18	16
VI	--	--	--	--	--	13	15	15	15	15	22	20	19	19	19

Fig. 45.

### Kontrollmessungen zur Vororientierung über die Versumpfung über der Eisdecke vom 19. bis 27. Februar.

Legende : Klares Eis    Kompaktes Schnee-Eis    Schnee-Brei    Schnee

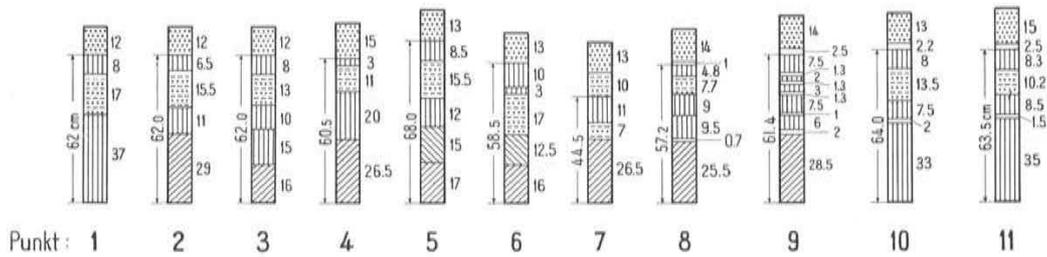


Fig. 45.

### Schnee- und Eisprofile der Eisdecke des St. Moritzer Sees aufgenommen am 28. II. 1941, 9<sup>h</sup>—16<sup>h</sup>.

Witterung : Bewölkt bis bedeckt.

schenschichten aus Schnee- und Schneebrei sich befanden, wurden bei diesen Bohrstellen nebst den Bohrkernen auch die Bohrlöcher mit dem rechtwinklig abgebogenen Meßdraht sorgfältig ausgemessen, um die richtigen Maße der halbflüssigen Zwischenschichten zu ermitteln. Die aufgezeichneten Profile in Fig. 46 zeigen sehr eindrucklich die bewegte Entwicklungsgeschichte der total rund 60 cm dicken Eisschicht abgebildet in den bewegten Schichtungsverhältnissen.

Messung der Wassertemperaturen: Es wurden bei den nachfolgend angeführten Punkten die Wassertemperaturen unmittelbar unter dem *unteren* Rand der Eisdecke gemessen: Punkt 7:  $0,7^{\circ}$  C; Punkt 8:  $0,6^{\circ}$  C; Punkt 9:  $0,7^{\circ}$  C; Punkt 10:  $0,7^{\circ}$  C; Punkt 11:  $0,6^{\circ}$  C.

### VII. Winter 1942/43.

Für diesen Winter liegen nur Beobachtungen vor über den Wasseraustausch zwischen Luft und Schnee am St. Moritzer See. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 43 und den Tafeln B und C zusammengestellt.

**Beobachtungen über den Wasseraustausch zwischen Luft und Schnee  
am St. Moritzer See, 1768 m ü. M.**

28. Januar bis 28. März 1943.

**Hauptergebnisse.**

Tabelle 43

Nr.	Zeitpunkt der Messung	Schale Nr. 1	Schale Nr. 2	Schale Nr. 3	Mittelwert
		mm	mm	mm	mm
1	20. Jan. 17h 00 — 23. Jan. 16h 45	— 0,199	—	—	— 0,199
1 <sup>A</sup>	22. Jan. 10h 00 — 23. Jan. 16h 45	— 0,133	— 0,160	— 0,116	— 0,136
2	24. Jan. 11h 00 — 30. Jan. 16h 10	— 0,713	— 0,684	— 0,670	— 0,689
3	31. Jan. 12h 00 — 17h 20	— 0,100	— 0,068	— 0,069	— 0,079
4	4. Febr. 11h 45 — 7. Febr. 11h 00	— 0,431	— 0,638	— 0,601	— 0,557
5	8. Febr. 15h 20 — 9. Febr. 17h 30	— 0,315	— 0,343	— 0,415	— 0,358
6	10./11. Febr.	—	—	—	— <sup>1)</sup>
7	12. Febr. 14h 00 — 13. Febr. 10h 10	— 0,183	— 0,228	— 0,162	— 0,191
8	14. Febr. 16h 35 — 15. Febr. 16h 40	— 0,596	— 0,616	— 0,532	— 0,581
9	17. Febr. 13h 30 — 23. Febr. 7h 30	— 1,741	— 1,964	— 1,897	— 1,867
10	24. Febr. 7h 30 — 16h 50	— 0,298	—	—	— 0,298
11	24. Febr. 17h 00 — 25. Febr. 17h 00	— 0,680	—	—	— 0,680
12	25. Febr. 17h 10 — 26. Febr. 18h 00	— 0,448	—	—	— 0,448
13	26. Febr. 18h 15 — 28. Febr. 17h 45	— 0,779	—	—	— 0,779
14	28. Febr. 18h 00 — 1. März 17h 10	— 0,414	—	—	— 0,414
15	1. März 17h 25 — 2. März 17h 55	— 0,366	—	—	— 0,366
16	2. März 18h 10 — 3. März 17h 55	— 0,166	—	—	— 0,166
17	3. März 18h 10 — 4. März 18h 15	— 0,100	—	—	— 0,100
18	4. März 18h 25 — 5. März 17h 30	— 0,597	—	—	— 0,597
19	5. März 17h 40 — 6. März 7h 45	— 0,050	—	—	— 0,050
20	7. März 18h 10 — 8. März 17h 15	— 0,779	—	—	— 0,779
21	8. März 17h 30 — 9. März 18h 00	— 0,580	—	—	— 0,580
22	9. März 18h 10 — 10. März 18h 00	— 0,547	—	—	— 0,547
23	10. März 18h 10 — 11. März 18h 30	— 0,415	—	—	— 0,415
24	11. März 18h 40 — 12. März 18h 10	— 0,546	—	—	— 0,546
25	12. März 18h 20 — 13. März 7h 40	— 0,033	—	—	— 0,033
26	14. März 18h 20 — 15. März 18h 00	— 0,646	—	—	— 0,646
27	15. März 18h 10 — 16. März 18h 10	— 0,878	—	—	— 0,878
28	16. März 18h 20 — 17. März 18h 25	— 0,713	—	—	— 0,713
29	17. März 18h 35 — 18. März 18h 25	— 1,177	—	—	— 1,177
30	18. März 18h 35 — 19. März 7h 30	— 0,000	—	—	— 0,000
31	20. März 7h 40 — 19h 00	— 0,795	—	—	— 0,795
32	20. März 19h 10 — 21. März 18h 00	— 0,978	—	—	— 0,978
33	22. März 7h 30 — 18h 20	— 0,912	—	—	— 0,912
34	22. März 18h 30 — 23. März 18h 20	— 1,359	—	—	— 1,359
35	23. März 18h 30 — 24. März 18h 10	— 2,171	—	—	— 2,171
36	27. März 17h 30 — 28. März 17h 30	— 0,348	—	—	— 0,348

<sup>1)</sup> Keine Ergebnisse, Niederschlag.

## VIII. Winter 1943/44.

### Beobachtungen über die ersten Phasen der Eisbildung und des Einfrierens des St. Moritzer Sees.

Aus den über Jahrzehnte sich erstreckenden Beobachtungen über die Daten des jeweiligen totalen Zufrierens der Seen lassen sich mittlere Daten dafür berechnen. Für den St. Moritzer See ergibt sich aus 43 Jahren als mittleres Datum für das totale Zufrieren der 8. Dezember. Trotzdem wird man Jahr für Jahr immer wieder überrascht, wie unerwartet, sozusagen über Nacht, sich große Teile, ja oft die ganze Seefläche mit einer Eisschicht überziehen.



Fig. 47.

Bildung der ersten Eisdecke auf dem St. Moritzer See am 16. November 1943.

Der Winter 1943/44 bot ausnahmsweise günstige Verhältnisse für die Beobachtung des Einfriervorganges, da zwischen der Bildung der ersten größeren Eistafeln am 21. November bis zum totalen Zufrieren am 9. Dezember 18 Tage verstrichen. Dieses Zufrieren im Zeitlupentempo ermöglichte einzelne interessante Beobachtungen über die Bildung der allerersten Eishaut. Das Bild 47 zeigt, wie am frühen Morgen des 16. November 1943 auf der ruhigen Wasserfläche die ersten hautdünnen Eisbildungen sich zeigten. Auch der geschulte Beobachter hatte aus der Entfernung Mühe, zu beurteilen, ob es sich wirklich um erste Eisbildungen oder um leichte Kräuselung der Wasseroberfläche durch darüberhuschende Windstöße handle. Erst nachdem der Wind diese Gebilde in Ufernähe getrieben hatte, erwiesen sie sich als Eis in statu. Bei der Betrachtung dieser breiigen Masse drängte sich der Ausdruck «gallertartig» förmlich auf.

Einzelne Eisgebilde noch ohne ausgesprochene Formen bildeten eine immerhin lose zusammenhängende, hautdünne, ganz oberflächlich auf dem Wasser liegende, sehr bewegliche Haut. Warf man einen Stein ins benachbarte Wasser, so folgte diese Haut jeder feinsten Bewegung. Aus dieser Beobachtung läßt sich schließen, daß in diesem Stadium die Eiskristalle horizontal geschichtet und in einer beweglichen Art untereinander gekoppelt sind. Ein hineingeworfener Stein verursacht ein scharf umgrenztes Loch, leichter Wind treibt diese Gebilde als Ganzes herum, bei starkem Wellengang aber werden sie zerrissen.

Bei ruhiger Entwicklung verfestigt sich diese Haut zusehends innerhalb weniger Stunden zu einer dünnen Eisschicht von zirka 1 mm Stärke, die, wenn auf dem Wasser



Fig. 48.

Die Eisschicht auf dem St. Moritzer See weist am 17. November 1943 bereits eine Stärke von 5 mm auf.

liegend, von erstaunlicher Elastizität auch kurzen Wellenbewegungen der Wasseroberfläche folgt, ohne dabei zu brechen.

Außerst reizvoll ist in diesem Zustand das musikalische «Glasperlenspiel», das dadurch entsteht, wenn starker Wind die ganz dünnen am Rande entstehenden Eiskristalle gegen den schon gefestigten Eisrand wirft und ein kristallreines, klingendes, glasiges Klirren erzeugt, das am besten verglichen werden kann mit dem Geläute, das bei jenen Glasstäbchenvorhängen entsteht, durch die man hindurchschreiten kann und die hinter dem Durchschreiten glasig klingend sich schließen.

Am folgenden Morgen, den 17. November, hatte leichter Wind die stark vergrößerte Tafel in die Bucht Surlej-Reithalle getrieben. Welche erstaunliche Wandlung hatte aber die Eisoberfläche durchgemacht! (Bild 48.) An Stelle der gallerteartigen

Masse des Vortages wies jetzt die Eisschicht, die zirka 5 mm stark war, eine sehr charakteristische Oberflächenstruktur auf. Es schien, als seien horizontal liegende Stäbchen-Kristalle im Wasser eingefroren, wobei diese Stäbchengebilde über die Eisfläche als zirka 5—10 mm erhabene Höcker herausragten. In der Gegenlichtaufnahme Bild 49 ist diese eigenartige Struktur der Oberfläche gut ersichtlich. Am Ufer an den ganz seichten Stellen hatte das Eis schon eine Stärke von zirka 3 cm. Hier waren diese «Stäbchen» aber viel feiner und waren teilweise wundervoll gefiedert, als ob

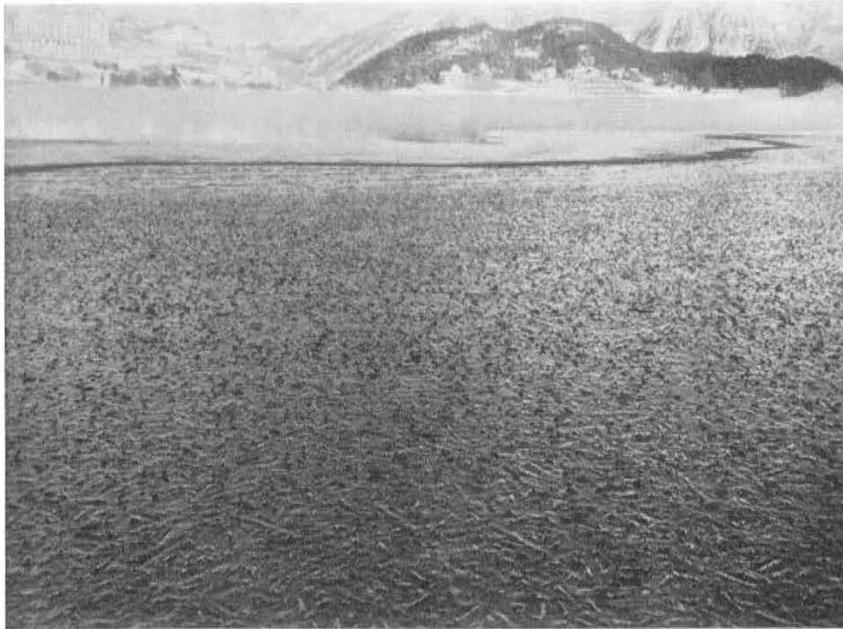


Fig. 49.

Auf diesem Bild des St. Moritzer Sees vom 17. November 1943 ist die charakteristische Oberflächenstruktur des Eises sichtbar.

Schilfblätter und Gräser im Wasser liegend eingefroren wären. Bild 50 zeigt eine Großaufnahme dieser Zone.

Nach 3 Tagen hatte die ganze große Eistafel eine Stärke von 5—6 cm erreicht und trug schon zuverlässig. Mit zunehmender Eisdicke verschwanden aber die wunderbaren Gebilde restlos, die Eisoberfläche war spiegelglatt ohne geringe Rauigkeiten.

Die beschriebene Entwicklung der ersten Eisschicht und die eigenartige Wandlung der Oberflächenbeschaffenheit ist typisch und konnte alljährlich wiederholt festgestellt werden, sofern die Eisbildung ohne störende Beeinflussung durch starken Schneefall vor sich gehen konnte.

Indessen hatte sich am 21. November nebst unserer Tafel in der Bucht bei der Reithalle, die wegen ihrer geringen Wassertiefe und windgeschützten Lage meistens zuerst zufriert, auch in der Ecke bei der Meierei, als der sonnenärmsten Stelle, je eine Eistafel von beträchtlicher Größe gebildet. Im Situationsplan Fig. 51 sind die einzelnen



Fig. 50.

Am Ufer des St. Moritzer Sees ist die Eisdecke ca. 3 cm stark. Die im Wasser eingefrorenen, horizontal liegenden, gefiederten Stäbchen-Kristalle ragen aus der Eisfläche heraus.

Eistafeln in der Reihenfolge ihres Entstehens mit römischen Ziffern und mit dem Datum bezeichnet. Zwischen dem 21. November und dem 5. Dezember folgten Tage mit starkem Wind, die für die Bildung von Eisschichten nicht günstig waren. Erst in der Nacht vom 5./6. Dezember entstand in einer windstillen kalten Nacht die große Eistafel II/6. XII.

### Zufrieren des St. Moritzer-See's 1943

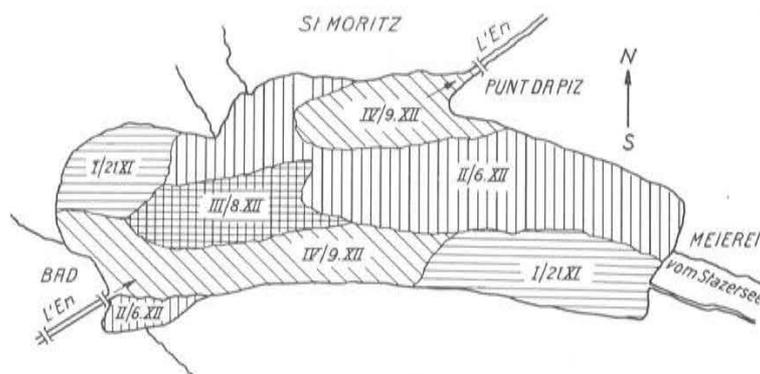


Fig. 51.

## St. Moritzer See. Relative Feuchtigkeit und Lufttemperatur

16. November bis 12. Dezember 1943.

Tabelle 44

1943	Relative Feuchtigkeit			Lufttemperatur		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
16. November	97	57	40	- 5	- 14,0	9,0
17.	92	45	47	- 1	- 10,0	9,0
18.	97	56	41	+ 1	- 11,5	12,5
19.	96	65	31	+ 0,5	- 7,0	7,5
20.	100	60	40	+ 4,5	- 9,0	13,5
21.	95	63	32	+ 4,0	- 6,0	10,0
22.	95	73	22	+ 1,0	- 8,0	9,0
23.	94	49	45	+ 2,0	- 11,0	13,0
24.	93	45	48	+ 1,0	- 12,5	13,5
25.	95	50	45	- 2,0	- 7,5	5,5
26.	90	35	55	0,0	- 13,0	13,0
27.	93	50	43	0,0	- 12,0	12,0
28.	95	54	41	0,0	- 12,0	12,0
29.						
30.						
1. Dezember						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.	94	81	13	+ 1,0	- 3,0	4,0
8.	90	67	23	+ 1,0	- 12,0	13,0
9.	90	65	25	- 1,5	- 14,0	12,5
10.	91	70	21	0,0	- 11,0	11,0
11.	90	65	25	- 6,0	- 17,0	11,0
12.	89	65	24	- 4,0	- 17,5	13,5

Von ganz besonderem Interesse war die Bildung der Eistafel III/8. XII. Am Abend des 7. Dezember und in der Nacht 7./8. Dezember fiel bei relativ hohen Temperaturen um  $0^{\circ}\text{C}$  herum zirka 8 cm Neuschnee. Während dieser Neuschnee in der offenen Wasserfläche aufgelöst wurde, blieb er in der Partie III/8. XII. fast 20 Stunden in Form eines dickflüssigen grauen Breies im Wasser liegen. Erst in den Abendstunden des 8. Dezember gefror dieser schwimmende Schnee zu einer festen Eisschicht von deutlich milchig weißer Färbung. Dieser Vorgang war ein deutliches Beispiel dafür, daß der in die freie Wasserfläche fallende Schnee diese rasch soweit abkühlt, daß beim Absinken der Lufttemperatur unter  $0^{\circ}\text{C}$  der Brei zufrieren konnte.

Im Laufe des 9. Dezember froren die letzten noch offenen Wasserflächen IV/9. XII. zu.

Der vorstehend geschilderte Einfrier-Vorgang kann als typisch bezeichnet werden.

### **IX. Eigentümlichkeiten im Aufbau der Eisdecke des St. Moritzer Sees.**

Auf zwei besonders interessante Erscheinungen am jungen Eis sei hier noch hingewiesen, nämlich auf die Bildung der Eisblumen auf der jungen Eisdecke, die Gegenstand eines besondern Kapitels dieser Arbeit ist und auf die in der jungen Eisdecke reizvoll sichtbar werdenden Gasblasen, die aus dem Seeuntergrund aufsteigen und dabei einfrieren.



Fig. 52.

Gasblasengebilde im Klareis.

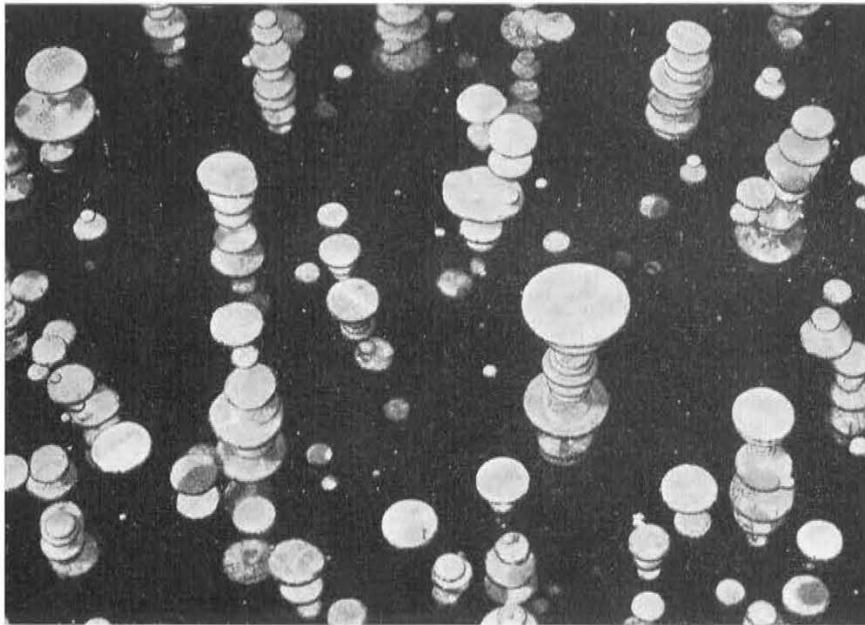


Fig. 53.

Einzelheiten.

Vom Seegrund aufgestiegene und unter dem Eise angesammelte, darauf eingefrorene Gasblasen (Methan) im Klareis des St. Moritzer Sees beim Bootshaus nächst der Einmündung des Ovel da la Resgia.

### A. Gasblasenbildung.

Am St. Moritzer See sind zwei Stellen bekannt, wo in besonders reichlichem Maße Gasblasen aufsteigen, beim Hotel «Bellaval» beim Bahnhof und beim Bootshaus des Segelklubs. Die beiden Bilder 52, 53 zeigen in sehr eindrücklicher Weise, wie mit zunehmender Eisdicke auch die eingefrorenen «Gassäulen» infolge der ständigen Gasentwicklung immer höher und höher werden.

### B. Ueber die Bildung von Spannungsrissen in der Eisdecke und über das „See-Heulen“.

Die unmittelbar nach der Bildung der ersten Eisdecke einsetzende weitere Entwicklung bietet Gelegenheit zu überaus interessanten Beobachtungen. Hat sich die Eisdecke bei klarem Wetter gebildet und ist währenddessen kein Schnee gefallen, so ist die Eisdecke spiegelglatt und von erstaunlicher Durchsichtigkeit. Interessanterweise wirkt aber gerade diese durchsichtige Eisdecke auf den Beobachter als schwarze Fläche. Diese dunkle Färbung verführt die Beobachter immer wieder zur Anwendung des Ausdruckes «Schwarzis» für dieses klare Eis, wogegen das aus Schneebrei entstandene milchige undurchsichtige Eis als «weißes Eis» bezeichnet wurde.

Es ist naheliegend, daß diese große dunkle Fläche wie ein «schwarzer Körper» günstige Bedingungen für den Strahlungsaustausch bietet, sowohl bei Sonnenbestrahlung wie auch für die Abstrahlung in kalten Nächten. Die Temperaturdifferenzen im

Tagesgang können sehr groß sein. Vergleichsweise beobachteten wir anlässlich von Untersuchungen von Farbanstrichen an eisernen Leitungsmasten während der Sonnenbestrahlung Temperaturen bis  $50^{\circ}\text{C}$ , zirka 5 Stunden nach Sonnenuntergang schon  $-15^{\circ}\text{C}$ . Welche Temperaturen und Temperaturdifferenzen zwischen der Kontaktschicht Wasser-Eisunterkante um  $0^{\circ}\text{C}$  herum und der Luftschicht unmittelbar über dem Eis bestehen, haben wir nicht gemessen. Man darf hierbei annehmen, daß die einfallende intensive Sonnenstrahlung teilweise von der unteren Kontaktschicht Wasser—Eis reflektiert wird und dabei ähnlich wirkt wie die modernen Trocknungsmethoden mittels Strahlung, d. h. die reflektierten Strahlen wirken von unten nach oben, die einfallenden Strahlen von oben nach unten. Wie dem auch sein möge, es werden hierbei ohne Uebertreibung gewaltige Kräfte wirksam, die dem staunenden Beobachter akustisch und optisch vordemonstriert werden.

Zuerst erfolgt die akustische Demonstration in Form eines weithin hörbaren «gfürchig» wirkenden See-Heulens. Es setzt kurz nach Sonnenaufgang ein, dauert zirka 2 Stunden, hört dann auf, um sofort nach Sonnenuntergang wiederum zu beginnen und zirka 3 Stunden zu dauern. In außergewöhnlich kalten, klaren Nächten kann es intermittierend die ganze Nacht andauern. Die Bezeichnung See-Heulen ist sehr bezeichnend für das Geräusch. Es hat wirklich viel Aehnlichkeit mit dem langgezogenen jaulenden Heulen der Hunde, das ab- und aufwogt; auch der Vergleich mit dem gurgelnden Geräusch, das entweichende Luftblasen in Flaschen erzeugen, liegt oft recht nahe, man hat oft den Eindruck, als ob eine gewaltige Luftblase unter dem Eis gurgelnd dahinjage und einen Ausweg suche. In der Tat ist für den aufmerksamen Beobachter deutlich feststellbar, daß es sich um einen mit großer Geschwindigkeit fortbewegenden Ton handelt, nach unserer Auffassung in der Richtung der sich bildenden Spannungsrisse in der Eisdecke, die ununterbrochen einige hundert Meter Länge aufweisen können.

Das spukhaft anmutende See-Heulen wird einem recht begreiflich, wenn man nach zirka 5stündiger intensiver Sonnenbestrahlung an den Südufern sieht, wie sich die Eisdecke von zirka 10—15 cm Stärke 10, 20, 30 cm am flachen Ufer hinaufgeschoben hat, wie sie den Steinen oder am Steilufer sich dachfirstartig bis zu 50 cm Höhe aufsteilt. Nach mehreren Tagen anhaltender Sonnenbestrahlung überschieben sich am Ufer einzelne Eisschichten und bilden einen wirren glasigen Trümmerstreifen längs des Südufers. Wir haben es hier also mit der Ausdehnung des Eises unter Einfluß von Temperaturdifferenzen zu tun, und zwar nicht nur mit der linearen, sondern mit der Volumenausdehnung. Die gewaltigen Kräfte, die hierbei wirksam sind, kennt jeder leidtragende Hausbesitzer aus den Frostschäden bei geplatzten Eisenrohren, Boilerreservoirs anlässlich der kriegsbedingten Energieeinschränkungen.

Ein Blick in ein Lexikon zeigt, daß der lineare Ausdehnungskoeffizient pro  $1^{\circ}\text{C}$  für Eis 0,000 0518 beträgt. Vergleichsweise weist Aluminium einen der höchsten Werte für die Metalle auf: 0,000 0232, also zirka die Hälfte des Eises, Ulmenholz dagegen nur 0,000 0056, also einen Zehntel des Eises.

Wie hat nun die freie Eisfläche weit draußen auf dem See reagiert? Sie ist spinnwebartig von Haarrissen durchzogen, d. h. die Risse sind durch die ganze Eisdecke durchgehend, klaffen aber gewöhnlich nicht auseinander, sondern sehen aus wie ein Sprung in einer fest eingesäumten Fensterscheibe. Nur bei außergewöhnlich tiefen Temperaturen von  $-25^{\circ}\text{C}$  bis  $-35^{\circ}\text{C}$  klaffen die Risse einige wenige Millimeter

auseinander. Wie schon erwähnt, können diese Risse Längen von einigen Hunderten von Metern aufweisen. Auf die wichtige Rolle, die diese Risse für die Bildung der berühmten Rauhref-Eisblumen oder für die Ueberschwemmungen und Versumpfung der Eisdecke spielen können, haben wir an anderen Stellen verschiedentlich hingewiesen.

Schon wenige Tage genügen, um die anfänglich spiegelglatte Eisfläche von Grund auf zu verändern: die Risse werden von Tag zu Tag zahlreicher, es schneit, durch das Schnee-Zusatzgewicht wird die noch relativ dünne Eisdecke hinuntergedrückt, Wasser dringt durch die Risse hinauf, vermengt sich mit dem Schnee und zeichnet dabei den Verlauf der Risse sehr plastisch ab. Mit zunehmender Dicke der Eisdecke, besonders aber sofort nach Bildung eines Schneebelages von zirka 10 cm, d. h. einer gut isolierenden Abdeckung der Eisdecke, hört das See-Heulen auf und wird mit Ausnahme von außergewöhnlich tiefen anhaltenden Temperaturen während der Monate Januar, Februar, März nicht gehört. Erst während der Schneeschmelze, wenn die abdeckende Schneeschicht nicht mehr wirksam ist, beginnt jeweils nach Sonnenauf- und -untergang das See-Heulen von neuem.

### Dritter Abschnitt.

## Eisblumen an den Oberflächen der Eisdecken der St. Moritzer- Silvaplaner- und Silser Seen.

«Wir sehen in der Natur nie etwas als Einzelheit, sondern wir sehen alles in Verbindung mit etwas anderem, das vor ihm, neben ihm, hinter ihm, unter ihm und über ihm sich befindet. Auch fällt uns wohl ein einzelner Gegenstand als besonders schön und malerisch auf; es ist aber nicht der Gegenstand allein, der diese Wirkung hervorbringt, sondern es ist die Verbindung, in der wir ihn sehen mit dem, was neben, hinter und über ihm ist, und welches alles zu jener Wirkung beiträgt». *Goethe.*

### I. Ziel.

Es soll der Frage der Bildung und Ausbildung von Eisblumen, die sich durch besondere Formen von den Oberflächen der Eisdecken der *St. Moritzer, Silvaplaner* und *Silser Seen* abheben, nähergetreten und zu deren Lösung beigetragen werden.

Alte Probleme sollen soweit möglich geklärt und vertieft, neuen, im Fortschreiten der Erkenntnis spontan auftretenden Aufgaben das nötige Interesse geschenkt werden.

Ferner sollen die Wasserwerte solcher Eisgebilde, die, wie bekannt, der Gruppe der *horizontalen* Niederschläge angehören, soweit möglich bestimmt, und deren Bedeutung im Wasserhaushalt des Hochgebirges erforscht werden.

### II. Allgemeines.

Es gibt viele Phänomene in der Natur, die allgemein bekannt sind, welche wir aber noch nicht genügend erklären können, weil die bedingenden Ursachen noch nicht genau ermittelt sind. Solche Naturerscheinungen bietet das Eis in mehrfacher Hinsicht.

Während der Sonnenschein-Stunden vollzieht sich eine relativ große Verdunstung, die nach Sonnenuntergang eine relativ hohe Feuchtigkeit der Luft über dem Eise bedingt und bei extremer Abkühlung in der Nacht und namentlich in den frühen Morgenstunden zu starken Kondensationserscheinungen führen muß. Resultat: Rauhreif, als Sondererscheinung Eisblumen auf der Eisdecke.

Der Anfang des Prozesses dürfte bereits mit dem Beginn des Sonnenunterganges zusammenfallen, denn die Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf nimmt mit abnehmen-

der Temperatur, wie bekannt, rasch ab, die Bedingungen zur Kondensation sind vorhanden.

Längere winterliche Aufenthalte im Oberengadin und namentlich Begehungen der drei Oberengadiner Seen mit *Th. Hauck* im Winter 1943 und 1946, sowie die tatkräftige Unterstützung, die die Studien über Schnee und Eis an den Oberengadiner Seen durch die Organe des *Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz* erfuhren, ermöglichten eine Reihe von Beobachtungen über Entstehung und Wachstum von Eisblumen auf den Eisdecken dieser drei Seen, sowie die Bestimmung der Wasserwerte solcher Ausblühungen, über die hier berichtet werden soll.

Zunächst sei hervorgehoben, daß jeder dieser drei Oberengadiner Seen, auch in den Eisverhältnissen, eine stark ausgeprägte Individualität besitzt. Man braucht ja nur nach einer Reifnacht oder in der Schwindperiode der Vereisung durchs Oberengadin zu fahren, um solche örtliche Unterschiede lebendig vor Augen geführt zu bekommen. Mancherlei Erscheinungen sind nur für *einen* der Seen charakteristisch — ich denke dabei namentlich an die ungleichen Windverhältnisse —, andererseits ergeben sich, den allgemeinen klimatischen Verhältnissen des Oberengadins wegen, doch auch gemeinsame Züge.

Mit dem Großbegriff Klima kommt man bei der Klärung des Eisblumenproblems, namentlich der Vielgestaltigkeit des Vorganges wegen, nicht aus, dazu bedarf es der Erkenntnis des Klimas auf lokalem Raum.

### III. Einleitung.

In den Ausblühungen einer Eisdecke steckt ein offenbares Geheimnis, in das einzudringen nicht leicht ist, trotzdem die Eisblumen, einzeln und in Scharen, in ihrem Wachstum und in ihrer vollen Entfaltung und Pracht dem Forscher zugänglich sind und verfolgt werden können. Es ist nicht ausgeschlossen, daß uns die bedeutsamen Wandlungen, die gegenwärtig die Kristallchemie durchmacht — sie geht davon aus, daß die Kristallisation nicht nur ein physikalischer, sondern wesentlich auch ein chemischer Vorgang ist — neues Licht in diese schwierige Materie bringen wird.

Die Gestaltung der emporwachsenden Eisblumen umfaßt eine Anzahl von Bildungen, die sich durch besondere Formen von der Oberfläche der Eis- bzw. Schneedecke, auf der sie sich entwickeln, abheben. Ihre präzise Entstehungsart, ihr Anreicherungsverfahren, bleibt, solange systematische und kontinuierliche Beobachtungen, mikroklimatische Messungen und chemische Untersuchungen fehlen — und dies ist beinahe immer der Fall —, auch dem geübten Beobachter meist verborgen. Dieser Mangel ist auch der Grund, weshalb es immer noch in den Fragen der Abgrenzung von Diffusion und Kapillarität und den nachträglichen Veränderungen der Eisgebilde an Klarheit fehlt.

Was uns durch Beobachtung und Messung möglich geworden ist, sind genaue Angaben über die Beschaffenheit des Standortes, die Struktur der Eis- bzw. Schnee-

<sup>1)</sup> Hierzu steht uns das vorzügliche Beobachtungsmaterial der Hydro-Meteorologischen Station des Elektrizitätswerkes der Gemeinde St. Moritz am St. Moritzer See, 280 m westlich seines Auslaufes, zur Verfügung.

decke und die allgemeinen klimatischen Verhältnisse im Oberengadin.<sup>1)</sup> Solche Beobachtungen vermögen wohl bis zu einem gewissen Grade Messungen an Ort und Stelle zu ersetzen, sind aber für eine durchgreifende Lösung des Problems unzureichend.

Was *Gregor Kraus*<sup>1)</sup> über *Boden und Klima auf kleinstem Raume* aussagt, gilt in den Hauptzügen auch für die Eis- und Schneedecke: «Jedes Bodenstückchen hat nämlich eine ausgesprochene Selbständigkeit und eine garantierte Sondertätigkeit seinen Nachbarn gegenüber. Aber nicht die chemische (*Kraus* mißt also dem chemischen Vorgang keinen gewichtigen Einfluß bei, d. V.), sondern, was ja eigentlich selbsteleuchtend sein sollte, die physikalische Beschaffenheit, insbesondere das, was man den Bau des Bodens nennt: seine Morphologie, seine Struktur, haben ausschlaggebende Bedeutung, haben die Fähigkeit, aus den allgemeinen Verhältnissen von Boden und Klima eines Ortes die speziellen des Standortes zu erzeugen, herauszudifferenzieren. Mit andern Worten, die Beschaffenheit des Standortes ist der Hauptsache nach eine Funktion seiner Bodenstruktur.»

Deshalb ist auch klar, daß ein Unterschied zwischen Eisblumenbildungen auf klarem, sog. «schwarzem Eis», auf Eisschnee, oder Schnee und ihren Kombinationen gezogen werden muß. In allen Fällen aber kommt dem Bau, der Struktur des Eises oder Schnees, der hydro-meteorologischen Eigenart der Lage ausschlaggebende Bedeutung zu. Die Art der Eisblumengebilde steht zweifellos auch in Beziehung zum Verlauf der einleitenden Vereisungsperiode: bei ruhiger See vollzieht sich die Eisbildung lamellar — eine einzige Nacht bei Windstille und Ausstrahlung vermag ein vollständiges Zufrieren herbeizuführen, bei Wellenschlag durch Schollenbildung.

Das See-Eis zeigt eine ziemlich regelmäßige Wachstumsregelung derart, daß sich die Eiskristalle mit Basis parallel der Wasseroberfläche anlagern.

Wir beschäftigen uns hier nur mit den Eisblumen auf den Oberengadiner Seen und hier nur mit den Eisgebilden, die sich auf Schwarzeis und auf relativ glattem Schneeeis bilden, mit den eigentlichen Schneekristallen nur soweit, als dies notwendig ist. Das nämliche gilt für die Vorgänge beim Eiswachstum und bei den Änderungen der Eisstruktur usw. im Laufe der Eisperiode.<sup>2)</sup>

Eisblumenbildungen auf den Oberengadiner Seen gehören zu den selteneren Erscheinungen dieser Seen. Dieser Art von horizontalen Niederschlägen kommt deshalb im Wasserhaushalt der drei Seen nur *untergeordnete* Bedeutung zu.

In allgemeiner Form macht sich der Rauheis in St. Moritz hauptsächlich im Dezember und Anfang Januar, viel seltener im Januar und Februar bemerkbar.

Hydrologisch wichtig in dieser Frage ist, daß das Wasser dieser Ausblühungen in der Regel aus gemessenem und aus ungemessenem Niederschlag stammt. Eine genaue quantitative Trennung dieser beiden Größen ist schwer zu erzielen.

Für eine Zufuhr von Wasserdampf von unten, d. h. von der Wasserspiegelfläche aus, spricht der Umstand, daß sich der Prozeß der Eisblumenbildungen in der Regel nur bei wenig dickem Eis zu vollziehen vermag. Die Möglichkeit eines Einflusses von unten nach oben auf kapillarem Wege — dazu gehört natürlich auch eine entsprechende Struktur des Eises — ist gegeben.

1) Kraus Gregor: *Boden und Klima auf kleinstem Raum*. Jena 1911, Seite 31.

2) Auch auf das Phänomen der Eisblumen an Fenstern, die sich, wie bekannt, von Kristallisationszentren nach und nach fast über die ganze Fläche ausbreiten, soll nicht eingetreten werden.

Bemerkenswert ist ferner, daß Reifbildungen auf Schneeflächen nie die Größe von Blumen auf Eis erreichen, daß überhaupt der strukturelle Aufbau der komplexen Aggregate auf Eisflächen ein anderer und vielgestaltiger ist als auf Schnee.

Allgemein beurteilt, darf festgestellt werden, daß auf Eisflächen große, auf Schnee nur kleine Gebilde und in der Regel nur in Form von Flächen, seltener vereinzelt oder gruppenweise, wie auf Eis, vorkommen.

Die nachfolgenden Ausführungen sind das Produkt eigener Forschungen und Überlegungen. Sie machen keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie sollen nur einen Beitrag liefern zur Klärung dieses schwierigen Problems.

Rauhreifbildungen entstehen vor allem in klaren und kalten Nächten bei ganz windstiller Wetterlage, wenn sich die Oberflächenschicht der Eis- oder Schneedecke durch Ausstrahlung gegen den Weltraum so stark abzukühlen vermag, daß es zu einer Ausscheidung des überschüssigen Wasserdampfes der Luft kommen muß und dieser bei Abkühlung zu einem kompakten Kristallaggregat zu erstarren vermag. Reifbildungen dieser Art sind, im Gegensatz zu solchen aus Nebeltröpfchen in Körnerform, stets gut kristallin ausgebildet. Es wird sich auf einer Fläche um so mehr Reif bilden, je niedriger ihre Temperatur gegenüber der der umgebenden Luft geworden ist und je mehr Feuchtigkeit ihr innewohnt. Der entscheidende und primäre Grund dürfte die Ausstrahlung sein. In solchen Fällen spielt auch der Wasserdampf, der durch Verdunstung der Eis- oder Schneemassen selbst entsteht, eine gewisse Rolle.

Den Transport von Wasserdampf von der Eisoberfläche nach den höheren Luftschichten, er mag nun von der Verdunstung herkommen oder eine andere Ursache haben, bewirkt der Massenaustausch. Das nämliche gilt für den Transport von Wärme und Kälte. Es sind dies Vorgänge, die bis zu einem gewissen Grade miteinander in Beziehung stehen. Dabei kommt natürlich der Ausstrahlung große Bedeutung zu (namentlich beim Einfrierprozeß).

Unter Massenaustausch versteht man die vermischende Wirkung der Luftturbulenz. Diese ungeordnete Bewegung der einzelnen Luftquanten beruht auf der leichten Beweglichkeit der Luft, die bei der Ueberschreitung einer gewissen minimalen Geschwindigkeit von dem «laminaren» Strömungszustand in den «turbulenten» übergeht. Die Grenzgeschwindigkeit, oberhalb der jede Windbewegung mit Turbulenz verbunden ist, ist für die freie Atmosphäre sehr gering und beträgt rund zwei Millimeter pro Sekunde. Da auch bei Windstille immer eine, wenn auch ganz lokale Luftbewegung herrscht, so darf man wohl sagen, daß in der Atmosphäre immer Turbulenz vorhanden ist.

Das Wesen des Wasseraustausches ist zweifellos sehr verwickelter Natur. *W. Schmidt* haben wir es zu verdanken, daß wir heute über die Bedeutung des Massenaustausches bei atmosphärischen und damit zusammenhängenden Prozessen im allgemeinen Bescheid wissen.<sup>1)</sup> Ueber die Dicke der Grenzschicht und deren Abhängigkeit von den Faktoren, die sie bestimmen, weiß man bis jetzt nichts Bestimmtes. In der Frage der Eisblumenbildung fällt ihr zweifellos große Bedeutung zu.

<sup>1)</sup> Vgl. hierüber: *Schmidt Wilh.*: Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Probleme der kosmischen Physik. VII. Hamburg 1925. — *Marquardt Roland*: Untersuchungen des Wärme- und Wasserdampfaustausches über dem Bodensee. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Bd. 36 (1932), S. 78—132. Leipzig 1932.

Liegt Schnee auf dem Eis, so entwickeln sich die bekannten Reifkristalle, und zwar nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Schneedecke (*Paulcke* gibt ihnen die Bezeichnung «Tiefenreif»). Dabei entstehen Hohlräume, die zu den bekannten lockeren Schneeschichten führen. Ueberhaupt stellen die Veränderungsvorgänge beim Schnee, und in gewissem Sinne auch beim Eis, einen fortwährenden Wechsel zwischen dem flüssigen, dampfförmigen und festen Aggregatzustand dar. Eisblumen, ich verstehe darunter kristalline Gebilde größeren Formats, treten, soweit unsere Beobachtungen und Erfahrungen reichen, nur auf nackter Eisfläche auf. Dabei kommt dem Zustand der Eisoberfläche, namentlich wenn wir die Gestalt der sich entwickelnden Kristallskelette ins Auge fassen, Bedeutung zu. Eine wohl entscheidende Rolle dürfte dabei der einleitenden Periode der Eisbildung zufallen.

Eisblumen sind komplexe Erscheinungen, die maßgebenden Bedingungen, unter denen sich die verschiedenen Eisblumensysteme bilden, der Reichtum ihrer Formen stehen a) mit den atmosphärischen (meteorologischen) Verhältnissen und b) mit der Struktur des Eises bzw. seiner Oberfläche, c) mit den Seeverhältnissen und der Kristallchemie, im engen Zusammenhang. Sie sind, wie bekannt, im Hochgebirge, einzeln und vereint, starken und oft raschen und wechselvollen Aenderungen unterworfen.

Daß die Bedingungen in freier Atmosphäre andere sind, als in der Grenzzone unmittelbar über der Eisfläche — es geht dies schon recht deutlich aus dem ungleichen Charakter der Kristallgebilde hervor —, bedarf wohl kaum einer näheren Erläuterung. Es genügt, darauf hinzuweisen, daß über einer Eisdecke das Kleinklima, auf örtlich streng begrenztem Raume, die Situation beherrscht. Seine von Stelle zu Stelle wechselnde Eigenart in Verbindung mit den von Ort zu Ort ändernden strukturellen Einflüssen der Eisoberfläche, unter Berücksichtigung der zur Auswirkung gelangenden hydrologischen Faktoren, bedingen den Formenreichtum der Eisblumengebilde. Mit anderen Worten: Jede Eisblumenart und jede Rasse innerhalb einer Eisblumensorte ist an bestimmte Klima- und Struktureigentümlichkeiten gebunden.

Als Ausgangskerne für die Entwicklung der Eisgebilde fallen vor allem die Sondererscheinungen auf der Eisdecke selbst in Betracht: Unebenheiten der Eisfläche, Spalten, Eislöcher an den Randzonen usw. Eine photographische Vergrößerung, ja schon ein Blick durch ein Vergrößerungsglas fördert eine Miniatur-Rundhöckerlandschaft reinster Form zutage. Von dieser Warte aus müssen wir diese Phänomene betrachten.

#### Prozeß bei der Bildung von Eisblumen.

Eis verdunstet etwas langsamer als Wasser, daher ist auch der Dampfdruck über Wasser etwas größer als über Eis:

Wasserdampfdruck	Eisdampfdruck	Unterschied
bei $-5^{\circ}\text{C} = 3,17\text{ mm}$	$= 3,03\text{ mm}$	$= 0,14\text{ mm}$
bei $-10^{\circ}\text{C} = 2,16\text{ mm}$	$= 1,97\text{ mm}$	$= 0,19\text{ mm}$
bei $-15^{\circ}\text{C} = 1,44\text{ mm}$	$= 1,26\text{ mm}$	$= 0,18\text{ mm}$

Je glatter die Eisfläche, desto größer dürfte auch der Dampfdruck über ihr sein. Luft über Eis nimmt, sofern sie nicht gesättigt ist, immer Wasserdampf auf. Ist sie nahezu gesättigt, so genügt eine bescheidene Temperaturabnahme, um einen Teil ihres Wasserdampfes in Form von Eiskristallen auszuscheiden.

Aus solchen Vorgängen entwickeln sich die seltsamen Eisgebilde, solchergestalt wie sie aus den Eisdecken der Oberengadiner Seen emporwachsen. Ihr Wachsen zu formvollendeten, voll entfalteteten, vielgestaltigen Blumen wird namentlich durch anhaltende Abnahme der Lufttemperatur in Verbindung mit anhaltender Uebersättigung der eisnahen Luftschicht mit Wasserdampf ermöglicht.

Eine Zunahme des Wasserdampfgehaltes der eisnahen Luftschicht kann aber auch durch Herantransport von Luft höherer Feuchtigkeit herbeigeführt werden.

*Eis* ist die feste Phase des Wassers, die für Atmosphärendruck bei Temperaturen unter  $0^{\circ}$  C besteht. Es kristallisiert hexagonal, ist also optisch einachsig. Das elementare Raumstück eines Eiskristalles ist ein senkrechttes Prisma mit rhombischer Grundfläche von  $60^{\circ}$  Seitenwinkel. Der Feinbau der Eiskristalle zeigt Vielgestaltigkeit. Es wachsen plattenförmige, säulenförmige Kristalle in der Richtung der Haupt- und Nebenachsen aneinander, so daß Bildungen von relativ großen Ausmaßen entstehen. Ueber die Hauptformen der Eisblumen auf Seespiegeln des Hochgebirges der Alpen sind meines Wissens noch wenige Untersuchungen angestellt worden. Im Gegensatz dazu stehen die Forschungen über die Gestalten der Eiskristalle in der Atmosphäre und auf Schnee, auf die einzutreten hier zu weit führen würde.

Trotz der vielen eingehenden Studien, die der Kristallform des Eises bisher gewidmet wurden, sind wir über die Bedingungen, unter denen die eine oder die andere Form entsteht, noch nicht völlig im klaren.

Die Eisdecke erhält bei ruhender kalter Luft über dem Seespiegel eine sehr homogene Ausbildung, so daß die einzelnen sie aufbauenden Kristalle nicht mehr erkennbar sind. Anders, wenn während des Gefrierprozesses im Wasser, meist durch den Wind oder durch Zuflüsse, die Wärmeströmung fortwährende Aenderungen erfährt; so kommt es natürlich nicht zur Bildung größerer Kristalle mit regelmäßiger Anordnung der Achsen; es entsteht vielmehr ein Körnereis mit kleinen Individuen, deren Achsen wirr durcheinander liegen. Die Beschaffenheit der Oberfläche der Eisdecke erhält dann einen anderen Charakter und führt zu anderen Eisblumengebilden als bei einer homogen ausgebildeten Eisdecke.

Schmilzt nun ein Bruchstück solchen Eises — ich denke dabei an einen Eisblock der Eisgewinnungsstelle bei der Meierei —, so zerfällt es in stengelige Stücke, deren Längsachse (zugleich optische Hauptachse) mit der Vertikalen zur ursprünglichen Eisdecke zusammenfällt.

Beim Uebergang von Wasser in Eis entwickelt sich Wärme. Diese Wärme verursacht eine vermehrte Verdunstung des Wassers. Das Wasser verliert also, während es zu Eis wird, mehr durch Verdunstung, als da es noch flüssig war. Diese Zunahme der Verdunstung wird um soviel größer, soviel rauher die Kälte und soviel schneller das Gefrieren vor sich geht. In der Regel handelt es sich um einen Prozeß von kurzer Dauer. Sobald das Wasser vollkommen zu Eis geworden ist, folgt das daraus entstandene Eis wiederum der alten Regel.

Ein ähnlicher Vorgang spielt sich bei der Bildung von Eisblumen ab, nur mit dem Unterschied, daß an Stelle des Wassers der Wasserdampf der Luft tritt, und daß sich der Prozeß bei gefrorenem Zustand des Sees abwickelt (Berührung abgekühlter Luft mit Eis), wobei die Eisdecke in ihrem Aufbau (Struktur) und an ihrer Oberfläche ver-

schiedener Art sein kann. Auch bei der Bildung von Eisblumen wird beim Uebergang von Wasser in Eis Wärme frei, die eine Zunahme der Verdunstung bedingt.

Es ist nicht ausgeschlossen, daß gerade diesem Vorgang bei der Bildung von Eisblumen besondere Bedeutung zufällt (Verdunstung und Wiederansatz), denn das Eis folgt bei seiner Verdunstung den nämlichen Gesetzen, wie das Wasser, woraus es entstanden ist.

Erst eine künftige und eingehende, an Ort und Stelle und mit dem hierfür notwendigen Instrumentarium ausgeführte Untersuchung wird entscheiden können, welche Faktoren bei der Bildung dieser oder jener Form von Eisblumen ausschlaggebend sind.

#### IV. Eisblumengebilde.

Aus den bisherigen Untersuchungen von *P. Niggli, H. Bader, R. Haefeli, E. Bucher, J. Neher, O. Eckel* und *Chr. Thams*<sup>1)</sup> über die Größe der atmosphärischen Eisbildungen geht hervor, daß bei niederen Temperaturen kleinere Eisgebilde als bei höheren Temperaturen entstehen. Diese Größenabnahme mit fallender Temperatur entspricht natürlich der gleichzeitigen Abnahme des maximalen Dampfgehaltes der Luft. Ferner steht fest, daß bei höheren Temperaturen und geringerer Uebersättigung der Luft mehr Tafeln entstehen, die nach den Rändern wachsen, und bei niederen Temperaturen und größerer Uebersättigung mehr Nadeln, die nach der Hauptachse, also in der Längsrichtung zunehmen. Die auf glatten Eisflächen sich bildenden Eisblumen tragen in ihrer Entstehungsart wohl verwandten Charakter, unterscheiden sich aber doch in ihrem Aufbau wesentlich von den Eisgebilden in freier Atmosphäre. Die Ursachen, die diese Ungleichheit bedingen, liegen nicht nur in der verminderten Entwicklungsfreiheit (das Wachstum nach allen Richtungen hin ist nicht mehr möglich), sondern in der Möglichkeit des Zutrittes von Feuchtigkeit vom Seewasser her, durch Spalten im Eis und durch das Eis selbst. Mit diesen Faktoren steht auch die Größe der Eisgebilde im Zusammenhang. Das eingehende Studium der Eisblumbildungen auf glatten Eisflächen wird namentlich durch den Umstand sehr erschwert, daß solche Phänomene nur sehr selten eintreten. Seit vier Wintern wartete ich mit Ungeduld auf ein solches Ereignis.

Ueber die Größe der Eisblumengebilde stehen mir folgende zuverlässige Messungen und Schätzungen zur Verfügung:

11. Dezember 1937: Allgemeines Auftreten von Eisblumen am St. Moritzer See. Größe (Höhe) = 35 mm. Beobachter: Alexander Bernhard vom EW St. Moritz.

2. Dezember 1940: Eisblumen bei der Reithalle, zirka 10 m vom Ufer. Gemessene Größe = 30 mm. Beobachter Alexander Bernhard vom EW St. Moritz. (Photograph Albert Steiner, St. Moritz, spricht von 8 cm Durchmesser.)

Auf mein Befragen schätzt Gemeindegeometer Gottfried Grieshaber den maximalen Durchmesser solcher Eisblumen auf 6—8 cm, die Höhe auf 5 cm. (Mündliche Mitteilungen vom 25. September 1945.)

<sup>1)</sup> Niggli P., Bader H., Haefeli R., Bucher E., Neher J., Eckel O., Thams Chr.: Der Schnee und seine Metamorphose. Beiträge zur Geologie der Schweiz — Geotechnische Serie — Hydrologie, Lieferung 3, Zürich 1939.

Beim Abkühlungsprozeß in der freien Atmosphäre, in Nähe der Sättigungsgrenze, vermögen sich durch Sublimation kleine Ansammlungen von Kristallmolekülen, sog. Kondensationskernen, an den vorhandenen Staubteilchen in der Luft zu entwickeln. Bei ihrem Wachstum entstehen daraus die bekannten wunderbaren Schneekristalle.

Beim direkten Uebergang vom ungeordneten flüssigen oder gasförmigen in den geordneten festen Zustand vollziehen sich nun auch auf den Eisflächen unserer Hochgebirgsseen Naturvorgänge, die zu Eiskristallen (Eisblumen) führen. Diese Gebilde sind denen in freier Atmosphäre wohl verwandt, in vielen Beziehungen aber anderer Art, anderen Ursprungs. Bei der Bildung von Eisblumen auf See-Eisflächen kommt nicht nur den momentan herrschenden atmosphärischen Zuständen im Hinblick auf Druck, Temperatur, Sättigungsdefizit, Wind, Chemie, Elektrizität usw. Bedeutung zu, sondern auch den augenblicklich herrschenden hydrologischen Verhältnissen des Sees und — der Struktur (Dicke und Beschaffenheit) der Eisdecke. Dies vor allem wegen der Zufuhrmöglichkeit von Wasserdampf von der Seeoberfläche nach der Eisoberfläche, wobei selbstverständlich auch den Strahlungsvorgängen große Bedeutung beizumessen ist.

Ueber das Wachstum der Blumen selbst möchte ich mich folgendermaßen aussprechen.

Es ist klar, daß hierfür vor allem der erforderliche Wasserdampf vorhanden sein muß. Dazu gehört — soll sich der Prozeß weiter zu entwickeln vermögen, d. h. soll das Gebilde wachsen und gedeihen können — nicht nur die dazu gehörende Abkühlungsgröße, sondern es bedarf auch der steten Zufuhr neuer Nahrung — von oben oder unten —, neuen Wasserdampfes. Deshalb kommt auch dem Wind als Zubringer neuer Feuchtigkeit unter der Garde der meteorologischen Faktoren große Bedeutung zu. Alles beruht auf Kombinationen.

Das Studium der Eisblumengebilde läßt erkennen, daß das einzelne Individuum bei Unterkühlung und plötzlich einsetzender Kristallisation seine Eigenart in der Regel nicht frei zu entwickeln vermag. Unter besonderen Umständen aber ist es ihm doch möglich, sich gesetzmäßig nach bestimmtem Bauplan mit gewisser Anpaßmöglichkeit gegenüber der Abkühlungsfläche, d. h. sich nach einem bestimmten Aufbauprinzip zu entfalten, so daß sich auf gleichartiger (relativ homogener) Eis- bzw. Schneefläche, bei gleichen atmosphärischen Zuständen ein Meer von Blumen ein und derselben Struktur zu entwickeln vermag. So ist es schon vorgekommen, daß sich die spiegelglatte Eisfläche (Schwarzeis) des St. Moritzer Sees in einer Nacht in ein einziges Meer von Eisblumen gleicher Art von seltener Homogenität, in eine Seedecke von märchenhafter Pracht umzuwandeln vermochte. In der Regel aber treten Eisblumen (vgl. die Tafeln 1—5) nur in Gruppen, Scharen, über Spalten usw., oft ganz vereinzelt auf. Ein gleichartiges Eisblumenmeer, wie es sich in der Nacht vom 10./11. Dezember 1937 auf dem St. Moritzer See zu bilden vermochte, gehört zu den sehr seltenen Erscheinungen. In den vergangenen 15 Jahren hat sich dieses Phänomen nur einmal eingestellt, eben in der oben vermerkten Nacht. Gleiches Kleinklima und gleiche Oberflächenstruktur beherrschten die Situation.

Die Geschwindigkeit des Erstarrungsprozesses und das Wachstum der Gebilde selbst steht vor allem mit dem Temperaturgefälle, dem Feuchtigkeitsgrad und der Art der Konvektionsströmung im Zusammenhang, wobei natürlich auch der Struktur der Abkühlungsfläche bzw. der Eis- und Seedecke Bedeutung zufällt.

In Abhängigkeit von den Bildungsbedingungen und den hydroatmosphärischen Vorgängen stehen die Form, die Gestalt, der Aufbau der Eisgebilde selbst, denen, wie bekannt, große Variabilität innewohnt (vgl. Tafeln 1—5).

Beim Studium dieser Eisgebilde ergibt sich der Eindruck, als ob die schon gebildeten Kristalle eine gewisse Anziehungskraft auf Massen gleicher Art ausüben, die zur Ausscheidung bereit sind und diese sich dann der vorhandenen Struktur des Kristalles homogen anfügen.

**Standorte und Größen der Eisblumengebilde.  
Maßgebende Bedingungen ihrer Entstehung und Entwicklung.**

Eisblumenvorkommnisse, die nicht die ganze Seefläche auf einmal in sich schließen, treten am häufigsten in den Mündungsregionen der Zuflüsse, dann aber auch im Bereich des Abflusses auf, wobei natürlich der Zone des Inn-Einlaufes das Hauptgewicht zufällt. Aber auch an *Rändern* von offenen Stellen der Eisdecke (Dampflöcher), d. h. an Orten, die durch ein Aufquellen wärmeren Wassers (Quellen u. dgl.) gekennzeichnet sind, also erst längere Zeit frei bleiben, dann gefrieren, wo ein Ueberfließen des Wassers auf die Eisfläche möglich ist, wo sich durch Verdunstung (Rauchen des Wassers, Nebelbildungen) eine wesentliche Erhöhung der Luftfeuchtigkeit unmittelbar über dem Eise einzustellen vermag, entfalten sich die Eisblumen in voller Pracht. Ein weiterer Anreiz bieten die Spaltensysteme, namentlich dann, wenn eine Durchfeuchtung der Spalte vom Seewasser zur Eisoberfläche möglich ist.

Die Gestaltung der Eisgebilde darf als eine prägnante bezeichnet werden. Die Bilder Tafeln 1—5 sprechen hierüber eine deutliche Sprache. Sie zeigen, daß sich diese Eisausbildungen an ganz bestimmte Formen halten, die immer wiederkehren und wohl mit dem Großklima der Landschaft, mit dem Mikroklima unmittelbar über der Eisdecke mit den geo-, hydro-, meteor- und morphologischen Eigenarten der Oberengadiner Seen im Zusammenhang stehen dürften, wobei der Dicke und Struktur der Eisdecke besondere Bedeutung zufällt.

Bemerkenswert, aber durchaus natürlich ist nun, daß die Bildung von Oberflächenreif oft mit dem «*Rauchen*» des Inns zusammenfällt. Wenn sich die sehr kalte Luft über dem Schnee mit der relativ warmen Luft über dem Inn mischt, entsteht der sogenannte *Mischungsnebel*, d. h. der Inn «raucht». Beiden Erscheinungen liegen die gleichen atmosphärischen Voraussetzungen zugrunde, deshalb ihr gleichzeitiges Auftreten. Häufig wird dieser Mischungsnebel durch den Wind über die Eis- und Schneefelder der Seen und ihrer nächstgelegenen Geländestreifen getrieben. Treffen die stark unterkühlten Wassertröpfchen dieses vorbeistreichenden Nebels auf feste Gegenstände (Bäume, Sträucher, Eis, Schnee, Unebenheiten der Eis- und Schneedecke usw.), so erstarrten sie zu festen Kristallaggregaten. Diese Eisgebilde zeigen aber in ihrer Gestalt meistens die bekannte Abhängigkeit von der Windrichtung, was bei *regelmäßig* ausgebildeten Eisblumen und Eisblumenfeldern seltener der Fall ist. Zweifellos kommt dem Faktor Wind auch in der Frage der Gestalt und Ausbildung der Blumen und ihrer Gruppierung Bedeutung zu.<sup>1)</sup> Durch den Windeinfluß werden bestehende, regelmäßige Eisblumenfelder ungleich stark angegriffen, in ihrem weiteren Wachstum beeinflußt,

<sup>1)</sup> Der Wasserdampfgehalt dieser vorbeistreichenden Luft- und Nebelmassen ist natürlich einem steten Wechsel unterworfen.

Eisblumen auf der Oberfläche der Eisdecke des St. Moritzer Sees.

Tafel 1

Seemitte beim Bootshaus.

Dezember 1936.



Dezember 1936

Fig. A.



Fig. A\* (Detail zu Fig. A).

Bootshaus  
|



Fig. B.



Dezember 1936

Fig. C.

Fig. A, A\* und C: Bildung von Oberflächenreif nach Entstehung von Rissen (durch Kälteeinfluß und kapillares Schieben von Wasserteilchen nach oben) in der Eisdecke. Das aufquellende Seewasser überflutet längs der Spalte bandförmig die Eisdecke auf eine Breite von 1,5–2 m beidseitig des Risses und gefriert. Je nach der Struktur der Oberflächenschicht bilden sich, wie die Figuren A und B zeigen, Eisblumen, deren Zahl mit der Dauer der Frostperiode in der Regel wächst. Verschiedene Kombinationen treten auf. Bemerkenswert ist, daß über solchen Rissen mit Vorliebe großblättrige Eisblumen in Rosettenform entstehen.

Fig. B: Bereifte Wildfährte. Spur eines gleichmäßig gemächlich trabenden (schnürenden) Fuchses, wobei die Trittsiegel ziemlich genau, beinahe auf einer geraden Linie ausgerichtet, hintereinander liegen.



Eisblumen auf der Eisdecke des St. Moritzer Sees.



Fig. D.

Photo Albert Steiner.

St. Moritzer See bei Punt da Piz am Secauslauf:  
Kranz von pfingstrosenartigen Eisblumen.

Typische Formen von Eisgebilden.



Fig. E.

Eisblume (Federnelke) auf Schwarzeis.

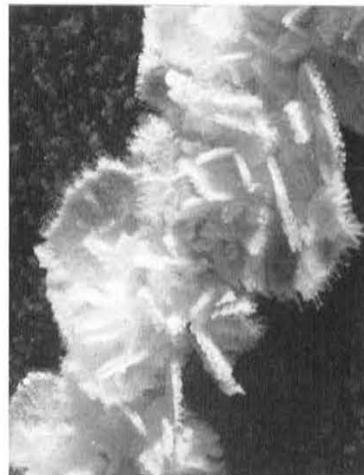


Fig. F.

Eisblumenband (Räusche) auf Eisspalte.

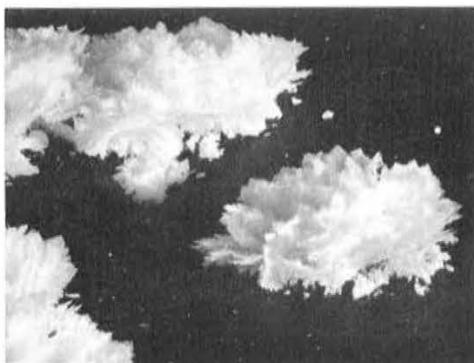


Fig. G.

Eisnelken auf Schwarzeis.

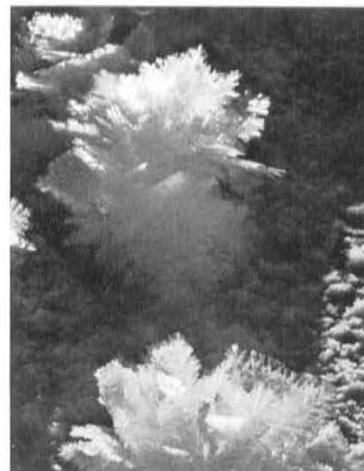


Fig. H.

Eisblumen auf körniger Schwarzeisoberfläche.



Eisblumen auf der Eisedecke des St. Moritzer Sees in der Nähe des Inn-Einflusses bei St. Moritz-Bad.



Detail zu Fig. J.



Detail zu Fig. K.

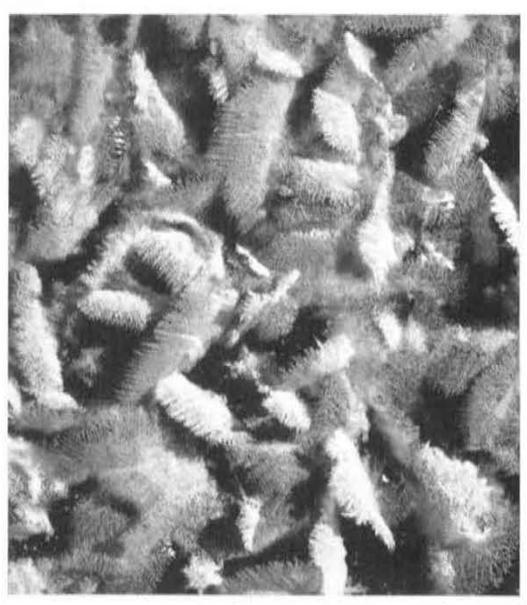


Fig. J.

Photo Albert Steiner.

Federförmige Eisblumen (Farne) auf Schwarzzeis.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Wolkformen von genau gleichen Aggregaten, wie die federförmigen Eisblumengebilde der Figur J konnte ich am 4. Juli 1945, 20,05 Uhr vom Parkhotel Films, Waldhaus, aus, in westlicher Richtung (Segnespab) beobachten.



Fig. K.

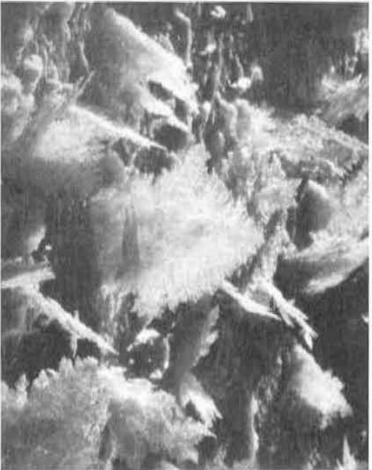
Photo Albert Steiner.

Blattförmige Eisblumen auf Schwarzzeis.

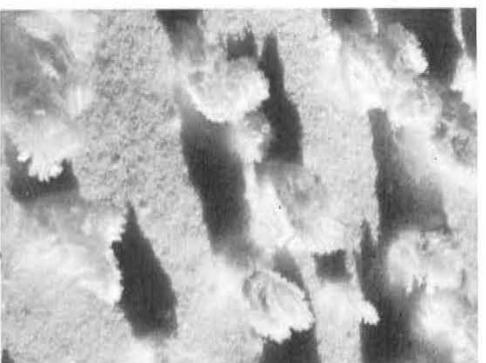
Komplexe Aggregate mit gemischten und tafelligen Bauelementen.



**Eisblumen auf der Eisedecke des St. Moritzer Sees in der Nähe des Inn-Einflusses bei St. Moritz-Bad.**



Detail zu Fig. L.



Detail zu Fig. M.



Fig. L.

Photo Albert Steiner.

**Segelförmige Eisblumen auf Schwarzzeis.**

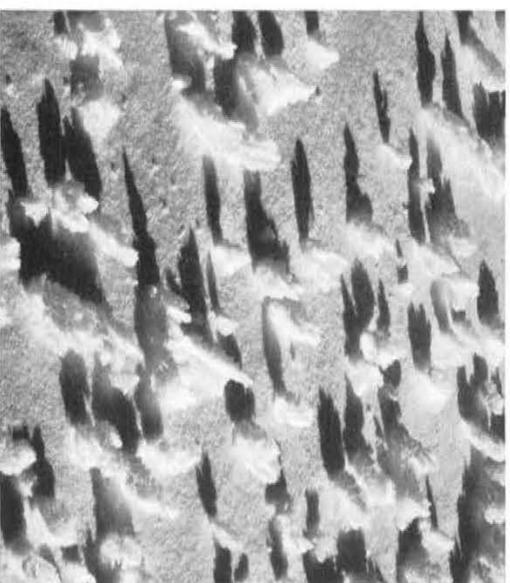


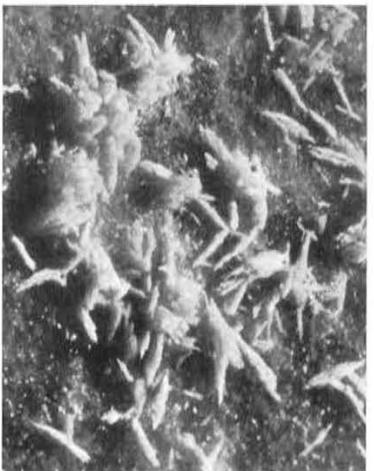
Fig. M.

Photo Albert Steiner.

**Schwanähnliche Eisblumen auf rauher Eisoberfläche**



**Eisblumen auf der Eisdecke des Silvaplanner Sees.**



Detail zu Fig. N.

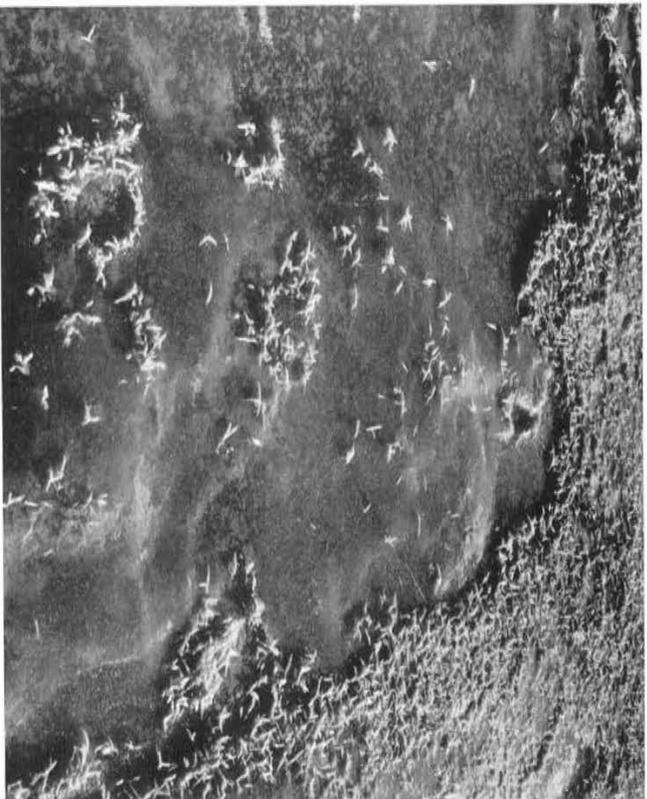


Fig. N.

Seesternartige Eisblumen auf leicht rauher Schwarzseisoberfläche.  
Zustand am 22. Januar 1943.

Photo Albert Steiner.

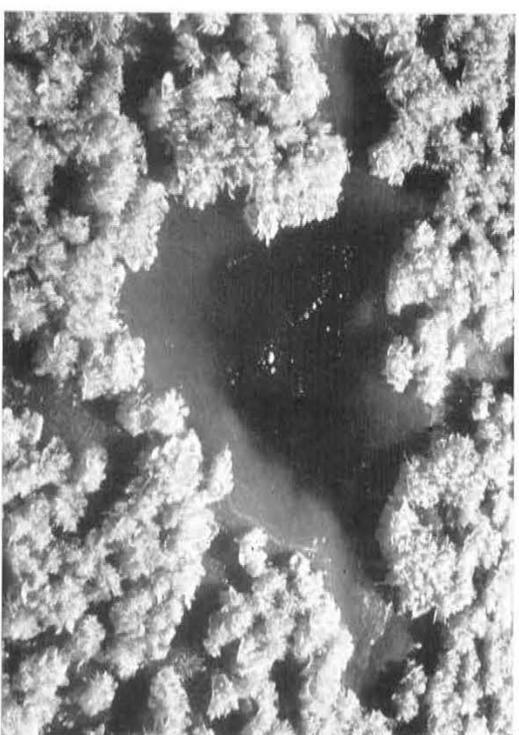


Fig. O.

Pinenstrohenartige Eisgebilde auf Schwarzeis.  
Zustand am 22. Januar 1943.

Photo Albert Steiner.



es findet eine Umformung statt, vereinzelt auftretende Blumen werden zerstört, furchenartige Gebilde geschaffen, so daß sich mit der Zeit eine vollständige Umwandlung der Oberflächenstruktur zu vollziehen vermag. Daraus erhellt recht deutlich, daß Gebilde recht verwickelter Art zustandekommen müssen, und außerdem ein Wechsel der verschiedenen Phasen möglich ist.

Aus unseren Untersuchungen geht ferner mit aller Klarheit hervor, daß sich *weite* Flächen solcher Eisgebilde namentlich dann zu bilden vermögen, wenn über einer klaren Eisdecke eine homogene Schneedecke von lockerer Struktur liegt. Solche Produkte erreichen allerdings nie die Dimensionen der Eisblumen.

Die Ursachen hievon dürften folgende sein:

1. Tiefere Temperaturen des Schnees im Vergleich mit der des Eises (bekanntlich besitzt der Schnee ein sehr schlechtes Wärmeleitungsvermögen).
2. Rauhere Oberflächenbeschaffenheit (andere Struktur) des Schnees im Vergleich mit der des Eises (deshalb ist in der Regel auch das Verhältnis der Oberflächenspannung von Schnee und Eis zur Dampfspannung der Luft ein anderes).

Eine sehr wichtige Stellung in dieser Frage fällt, wie bereits angedeutet, dem Rauheitsgrad der obersten Eis- und Schneedeckenschicht zu. Je rauher, höckeriger, holperiger, runzeliger, gefurchter die Oberfläche ist, je mehr Vorsprünge und Unebenheiten usw. also die Eis- und Schneedecken besitzen, desto zahlreicher und in ihrer Gestalt mannigfaltiger vermögen sich solche Eisblumengebilde zu entwickeln. Auch in diesem Fall liegt die Ursache wohl in der ungleichen Abkühlung der Oberfläche, denn es ist klar, daß frei in die Luft ragende Schnee- und Eisteilchen einer stärkeren und rascheren Abkühlung ausgesetzt sind, als glatte, ebene Flächen, zudem weisen sie größere Flächen auf und sind deshalb der Strahlung in vermehrtem Maße ausgesetzt. Die Eisblumen gehören dem hexagonalen System an. Beim Uebergang vom flüssigen oder gasförmigen in festen Zustand lagern sich die Moleküle rechtseitig symmetrisch an. Ihr Formenreichtum (Blatt- und Blumenformen, Stab- und Sternformen usw.) ist ein so großer, daß zu ihrer Bildung jedem der sie bestimmenden Faktoren eine besondere Rolle zufallen muß.

Hören wir, was uns Professor Dr. *Paul Niggli*, Zürich, über den Prozeß der Kristallisation beim Schneefall sagt:

«In Abhängigkeit von den Bildungsbedingungen, den besonderen atmosphärischen Verhältnissen, kann man unterscheiden: 1. vorwiegend nadelige bis prismatische Kristalle, einfach oder aggregiert; 2. vorwiegend tafelige Kristalle, tafelig senkrecht zu der Richtung, die bei den nadelig-prismatischen Bildungen Stengelrichtung ist. Solche praktisch zweidimensionale Kristalle, oft mit etwa ein Hundertstelmillimeter Dicke, sind sehr häufig dendritisch sternförmig entwickelt, meist regelmäßig sechswinklig, mit oder ohne Seitenäste, öfters mit kompakter Zentralplatte; 3. komplexe Aggregate, mit gemischten prismatischen und tafeligen Bauelementen; 4. verrundete Kristalle oder Kristallaggregate, sog. Graupeln und scheinbar formlose Bildungen.

Dem Bergkristall gegenüber fällt die weit größere Variabilität sowie die ausgesprochene Neigung zu skelettartigem Wachstum auf. Nun ist in zweihundertjähriger Forschung bestätigt worden, was bereits Cappeler aussprach: Die Form der Kristalle, der Phänotypus, ist aus der kristallinen Struktur, dem Genotypus, ableitbar unter Be-

rücksichtigung der bei der Kristallisation wirksamen Milieufaktoren. Der Prozeß der Eisbildung ist ein Fixierungsprozeß der starke Kräfte aufeinander ausübenden Wassermoleküle. Diese ordnen sich in gesetzmäßiger Weise zu Sechseringen, die aneinandergereiht eine wellige, zweidimensionale bienenwabenartige Netzstruktur ergeben. Die Netze selbst verbinden sich senkrecht zur Schicht mit Kräften der gleichen Größenordnung, die den Netzverband erzeugen, so daß in erster Annäherung jeder Molekülschwerpunkt tetraedrisch von vier anderen Molekülen in kürzesten Abständen umgeben ist. Dabei ist zu bedenken, daß die Entfernung zweier Molekülzentren nur 2,76 Zehnmillionstelmillimeter beträgt, bis zum sichtbaren Schneekristall, somit ein vielmillionenfacher Aufbau- und Einordnungsprozeß stattfinden muß. Erfolgt dieser Vorgang relativ langsam und ohne Behinderung, so entstehen ganz allgemein von ebenen Flächen begrenzte Vollkristalle. Nach dem heutigen Stande der Forschung ist es bei Kenntnis des strukturellen Baumotivs, also des Genotypus, möglich, vorauszusagen, was für Lagen diese Begrenzungsflächen aufweisen können, gelang es doch, die Regel der Winkelkonstanz, die nur bei genau gleichen Entstehungsbedingungen für die Flächenbegrenzung einer Kristallart gilt, zu einem umfassenden Rahmengesetz umzugestalten.»

Dies gilt zweifellos im wesentlichen auch für die Eisblumenbildungen auf Schnee- und Eisflächen.

Wenn wir die einzelnen Gestalten einem kritischen Vergleich unterziehen, so bestätigt sich immer und immer wieder, daß das Zusammenspiel der Faktoren sich aufs Resultat nicht immer fördernd, sondern ebenso oft auch hemmend auszuwirken vermag. Dabei ist folgender Umstand von besonderer Bedeutung: Sobald verschiedene Bedingungen kollektiven Geschehens aufeinander einwirken, braucht es in der Abwicklung der Vorgänge *Zeit*. Diesem Faktor kommt in der Frage der Ausbildung von Eisblumen unbedingt eine so große Bedeutung zu, daß er allen andern Faktoren mindestens gleichwertig an die Seite gestellt werden muß.

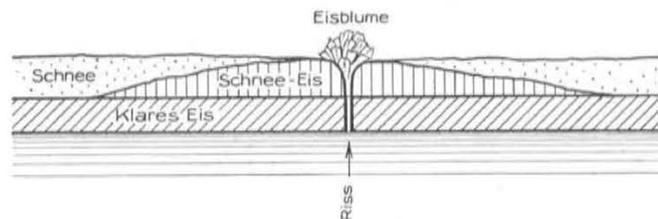


Fig. 54.

Wasserdampf schiebt sich kapillar nach oben und bildet auf dem Sublimationswege Oberflächenreif in prächtig ausgebildeter, großblättriger Rosettenform. (Siehe hierzu Tafel 1, Fig. A, A\* und C, des vorliegenden Kapitels.)

Besonders verwickelt sind die physikalischen Vorgänge, die sich in der Berührungszone zwischen dem Seewasser, der Eis- und Schneedecke und der Luft abspielen und ihre Wechselwirkung bestimmen. Nur eine möglichst vollständige und genaue Berücksichtigung aller Faktoren, die die gegebene Erscheinung bestimmen, kann richtige Hinweise, sowohl auf deren Ursprung und früheren Verlauf, als auch auf ihre weitere wahrscheinliche Entwicklung geben.

Die Entstehung von Eisblumen setzt vor allem bestimmte atmosphärische Zustände voraus, wobei, wie bekannt, den Faktoren Feuchtigkeit, Temperatur und Wind das Hauptgewicht zufällt.

Zur Bildung der Kondensationsprodukte ist eine gewisse Uebersättigung der Luft über der Oberflächenschicht der Eis- oder Schneedecke mit Wasserdampf erforderlich. Der Betrag dieser Uebersättigung ist von der *Oberflächenbeschaffenheit*, vom Material, aus dem sie besteht, abhängig.

Da die Oberflächenschicht Wasserdampf im Ueberschuß nicht zu halten vermag, muß sich der Wasserdampf an der Oberfläche des Körpers niederschlagen. Von der gegenseitigen Einstellung dieser Faktoren dürfte, wenigstens teilweise, Form, Größe und Entwicklung der Blumen abhängen. Jedenfalls beruht die Entstehungsart, das Wachstum und die Mannigfaltigkeit der Kristallgebilde auf einem Ineinandergreifen mehrerer ungleich wirkender physikalischer Vorgänge.

Es erheben sich ganz von selbst folgende Fragen: Was für eine Rolle fällt beim Entwicklungsmechanismus der Grenzfläche zwischen Seewasser und schwimmender Eisdecke, der Struktur der Eismassen, der Spaltenbildung, dem Chemismus des Seewassers und der Eisgebilde (Eisblumen), den Niveauschwankungen des Sees, der Gestalt der Seewanne, der Temperatur des Seewassers, des Eises, der Luft (Temperaturgefälle, Temperaturschwankung), der Wasserflora, der Schwebeflora usw. zu? Wachsen die einzelnen Eisgebilde von ihrer Basis aus, oder findet eine Anreicherung nur von oben, nur von unten, oder von unten *und* oben statt? usw. Was für eine Rolle fällt den Luftblasen im Eise zu? (Die vom Boden aufsteigenden und durch den Gefrierprozeß im Eise festgehaltenen Luftblasen werden bei strenger Kälte gepreßt, in bestimmten Fällen die Luft zum Austritt gezwungen.<sup>1)</sup> Wird nicht beim Zusammenziehen des Eises (Kältewirkung) feuchte Luft herausgepreßt? Feuchte Luft kann ja auch, der Struktur des Eises entsprechend, kapillar nach oben geschoben werden. Ist nicht auch den Druckschwankungen der freien Atmosphäre und ihrem Eindringen in und durch die Eisdecke (ein- und ausgehender Luftstrom, Wechselwirkung zwischen Atmosphäre, Eis und Seewasser, Ueberführung von Wasserdampf) Bedeutung beizumessen? Haben wir es nicht vielleicht mit einer Eisatmung zu tun? Stehen damit nicht auch chemische Vorgänge in Verbindung?

Das sind wichtige, aber nur zum Teil abgeklärte Fragen.

Schon einleitend habe ich darauf hingewiesen, daß sich der Wasserwert solcher Eisgebilde teils aus gemessenem, teils aus ungemessenem Niederschlag zusammensetzt. Ein weiterer Teil dieses Wertes fällt zweifellos dem Seewasser zu. Daraus geht die Kompliziertheit des Problems deutlich hervor.

Geschwindigkeiten verschiedener Art wirken bei der Gestaltung der Eisblumen mit. Das Groß- und Kleinklima mit Temperatur, Strahlung, Windbewegung und Barometerdruck, reguliert die Bewegung der Wassermoleküle in die Luft hinein, bestimmt die Verdunstungsgröße. Das Kapillarsystem von Kanälen im Eis zusammen mit Temperatur, Dampfdruck, Schwere, Diffusion, Oberflächenspannung usw. bestimmt die Geschwindigkeit, mit der die Feuchtigkeit aus dem Innern der Eisdecke an die Oberfläche gelangt. Wenn wir bedenken, daß außerdem noch ein Wechsel der verschiedenen

<sup>1)</sup> Vgl. Götzing Gustav: Die Eisverhältnisse der Lunzer Seen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. Sonderabdruck. Leipzig 1917. Seiten 95 und 96.

Phasen eintritt, ferner erwägen, daß einzelne Faktoren auch von der chemischen Zusammensetzung der im Wasser gelösten Stoffe abhängig sind, so darf man sich über die Mannigfaltigkeit des Problems nicht wundern.

Um sich über die Struktur der Schwarzeisblöcke im allgemeinen und im besondern von solchen mit Luftblasen ein klares Bild zu verschaffen, braucht man nur der offiziellen Eisgewinnungsstelle (Meierei) am untern Ende des St. Moritzer Sees in der Zeit des Zerfalls der Eisplatten einen Besuch zu machen. Der strukturelle Aufbau der Eisdecke gelangt in diesem Zustand klar zum Ausdruck und macht ein Nachobenschieben von feuchter Luft oder Wasserteilchen verständlich.

Luftblasen machen sich namentlich in der litoralen Region bemerkbar, wo sie durch Pflanzen geliefert werden und deshalb auch in verschiedener Gestalt und ungleich verteilt auftreten. Ueber die chemische Zusammensetzung solcher Luftblasen fehlen heute noch die hierzu notwendigen Analysen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß gerade durch solche chemische Zerlegungen neues Licht in die Frage der Entstehung der verschiedenen Eisblumenformen gebracht werden kann. Dabei sind, und es geht dies aus den Bildern Fig. 52 und 53 eindrucksvoll hervor, die Luftblasen oft deutlich gestreckt, wodurch eine vertikale stengelige Struktur entsteht, die namentlich, wie oben hervorgehoben, beim Verfall der Eisdecke in der Zeit der Seeöffnung markant in Erscheinung tritt. Dieser Vorgang zeigt auch klar und deutlich, daß die Feuchtigkeit, die in Verbindung mit anderen bekannten Faktoren zur Bildung von Eisblumen vorhanden sein muß, nicht nur aus der Atmosphäre zu stammen braucht, sondern auch von unten her über das Seewasser durch Spalten und Luftblasensysteme oder auf kapillarem Wege geliefert werden kann, wobei dem Temperaturgefälle, der potentiellen Energie Bedeutung zufallen dürfte.

Schon die Ungleichheit der Struktur des Eises, namentlich wenn solches mit Luftblasen durchsetzt ist, ruft, der verschiedenen Temperaturgefälle Seewasser/Eisoberfläche wegen, Temperaturunterschiede an der Eisfläche hervor, die natürlich auch zu ungleichen Verdunstungs- und Kondensationsvorgängen in der Berührungszone Eisoberfläche/Luft führen muß. Diese Verschiedenheit dürfte wohl auch das ungleiche örtliche Auftreten von Eisblumen, wenigstens teilweise, verständlich machen. All dies mahnt zur Vorsicht bei der Erklärung der Eisblumenbildung auf Seeflächen.

Wenn wir uns die Bildung einer Eisdecke vor Augen führen: erst horizontal, dann vertikal liegende Eisnadeln, und erwägen, daß die zwischen diesen Nadeln zweifellos gebliebene, feuchte Materie namentlich bei intensivem Strahlungswetter, d. h. bei sehr niedriger Temperatur an die Oberfläche der Eisdecke gedrückt und kristallisiert, so entstehen erst kleine kraterförmige Gebilde, auch auf glatter Eisoberfläche, die zu Eisrosen oder auch fächerförmigen Eiskristallgebilden anzuwachsen vermögen. Das Initialwasser solcher Eiskristalle stammt also nicht aus der Atmosphäre, sondern aus dem Seewasser. Diese Eiskristallhäufchen mit ihren Flächen und Kanten, bilden in gewissem Sinne den Schwerpunkt, den Kern, die Wurzel der Eisblumen. Solche Kerne können also aus Seewasser, die Blume selbst aus atmosphärischem Wasser bestehen, somit aus Wasser verschiedener Herkunft und verschiedener chemischer Beschaffenheit. Daß sich solche Eisbildungen bei ungleich gearteten Kernsystemen in ihren Formen verschieden verhalten müssen, bedarf wohl keiner näheren Erläuterung.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Es besteht kein Zweifel, daß bei der Bildung von Eisblumen, in gewissen Fällen, nicht nur dem kristallinen Rauhreif, sondern auch dem Rauhrost eine bestimmte Stellung eingeräumt werden muß.

Eine kleine Aenderung in der Konstellation der Kräfte, die solche Gebilde entstehen läßt, vermag eine ganze Umwälzung der Kristallgebilde, wenigstens in ihren äußern Formen, herbeizuführen. Was sich auf den Oberflächen dieser Eisdecken und auch in ihrem Innern abwickelt, steht nicht nur mit dem allgemeinen Klima der Umgebung, sondern auch mit dem Mikroklima jeder einzelnen Entwicklungsstelle im engsten Zusammenhang.

Bekanntlich bleibt die Oberfläche einer Kern-Eisschicht, der äußern Einflüsse wegen, in der Regel, nur kurze Zeit relativ glatt. Am glattesten erhalten sich, nach meinen Erfahrungen, Eisoberflächen an Stellen, wo es dem Seewasser gelingt, sich in dünner Schicht über die Eisfläche zu verteilen (Randpartien des Sees, Streifen längs von Spalten, um Quelllöcher usw.).

Namentlich an den Rändern solcher Ueberschwemmungsflächen bilden sich Kristalle aus, die sich zuweilen zu großblättrigen Blumen zu entwickeln vermögen. Sind die Voraussetzungen für die Rauhreifbildung erfüllt, dann ist wenigstens teilweise auch die Entwicklungsmöglichkeit für Eisblumen vorhanden.

## V. Vorgänge auf der Eisdecke des St. Moritzer Sees Anfang Januar 1937.

Sehr instruktiv sind die Vorgänge auf dem St. Moritzer See *vom 4. auf den 5. Januar 1937.*

*Meteorologische Verhältnisse.* Die mittlere Tagestemperatur der vorhergehenden 14 Tage schwankte zwischen  $-5^{\circ}$  und  $-15^{\circ}$ .

Ueber die Werte der Lufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit vom 1.—7. Januar 1937 gibt die folgende Tabelle Auskunft.

Tabelle 45

	Lufttemperatur			Relative Feuchtigkeit
	Tagesmittel	Absolute Maxima	Minima	Tagesmittel
1. Januar 1937	$- 13,3^{\circ}$	$- 2,0^{\circ}$	$- 20,2^{\circ}$	76 %
2. " "	$- 11,0^{\circ}$	$+ 1,2^{\circ}$	$- 20,0^{\circ}$	81 %
3. " "	$- 5,3^{\circ}$	$+ 6,3^{\circ}$	$- 14,8^{\circ}$	83 %
4. " "	$- 8,3^{\circ}$	$+ 3,0^{\circ}$	$- 13,5^{\circ}$	84 %
5. " "	$- 6,3^{\circ}$	$+ 2,0^{\circ}$	$- 16,0^{\circ}$	84 %
6. " "	$- 3,6^{\circ}$	$- 1,1^{\circ}$	$- 9,0^{\circ}$	77 %
7. " "	$- 2,0^{\circ}$	$+ 5,6^{\circ}$	$- 10,0^{\circ}$	77 %

Vom 4. auf den 5. Januar 1937 lag eine Nebelschicht über dem See. Am 5. Januar erreichte die Schneedecke über dem schwarzen Eis eine Höhe von 110 mm.

*Befund am Morgen des 5. Januar.* Die ganze Schneedecke bis auf das Eis besteht aus lauter großen Kristallgebilden, die beim Betreten klirren. Der alte Schnee hat sich unter dem Einfluß der anhaltenden Kälte (Strahlung) in blätterförmige (schuppen-

förmige) Kristalle umgewandelt. Der Schnee zeigt von oben bis unten die gleiche Struktur. Die ganze Oberfläche besteht aus einem Meer prächtiger Blumen.

Die durch scharfe Frostwirkung vollständig *umgebildete* (veränderte) Struktur des Ursprungsschnees soll hier besonders hervorgehoben sein.

Allgemein bekannt ist, daß in der Kristallwelt gewisse Gesetzmäßigkeiten bestehen. Der kristallisierte Wasserdampf, d. h. die Eiskristalle, zeigen die Eigentümlichkeit, sich nach verschiedenen Richtungen verschieden zu verhalten. Sie besitzen die Fähigkeit, bei allgemein gleicher Stoffzufuhr in verschiedener Richtung ungleich schnell zu wachsen und daher bei ungehinderter Entwicklung bestimmte, in Strahlungsflächen begrenzte Formen anzunehmen. Auf einer Eis- und Schneedecke handelt es sich im Bildungsmedium um ein Wachstum, das in der Regel nicht nach allen Richtungen, sondern nur halbsphärisch zur freien Entwicklung gelangen kann. Das Wachstum erfolgt durch flächenmäßige Bildung immer neuer Schichten; dieses Wachstum hängt bei ruhigem Wetter vor allem vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft, bei bewegter Luft aber auch von der Windstärke ab, die örtlich und quantitativ sehr ungleich aufzutreten vermag. Ist die Zufuhr gleichmäßig, d. h. geht der Prozeß bei Windstille vor sich, so entstehen in der Regel geometrisch regelmäßige, einheitliche Formen, ist sie aber unregelmäßig, so entwickeln sich kompliziertere Gestalten. Viele Kombinationen sind möglich, wobei auch, wie bereits hervorgehoben, der Zeitdauer der Kristallbildung große Bedeutung zufällt.

## VI. Allgemeine Zustände der Seen am 21. Januar 1943.

Die Schnee- und Eisdecke des *St. Moritzer Sees* zeichnet sich durch ruhigen Charakter aus. Die Schneedecke zeigt wenig Unregelmäßigkeiten, fast keine Risse und offene Stellen (dunkle Flächen, zugefrorene Löcher). Die ganze Fläche ist frei von Eisblumen und darf als homogen bezeichnet werden.

Im Gegensatz dazu stehen — *Silvaplener und Silser See*. Die Oberflächen ihrer Schnee- und Eisdecke haben ein unruhiges Gepräge, beide weisen viele Ribbildungen auf. Der Silser See zeigt auffallend weniger Löcher als der Silvaplener See, was auf eine geringere Zahl von Quellaustritten hinweist. Die Löcher sind fast durchweg der Vereisung verfallen und machen sich nur noch durch ihre dunkle Farbe bemerkbar. Eisblumen treten sowohl am Silvaplener wie am Silser See auf, und zwar scharenweise, ganz unregelmäßig verteilt, in mannigfaltiger Gruppierung und ungleichen, wunderlichen Figuren und Formen. Sie entwickelten sich nur an überfluteten dunkeln Flächen; auf reinen weißen Schneeflächen fanden sich keine Eisblumen vor. Im Anfangsstadium handelt es sich um liegende Stäbchen, die nach und nach zu flachblättrigen Rosetten anwachsen. Die Eisgebilde sind sehr zarter Natur, so konnten von Hand auf einmal ganze Flächen von Eisblumen zertrümmert werden.

Für die Bildung dieser Eisblumen kommen folgende Ursachen in Betracht:

1. Starke Ausstrahlung bei genügend hohem Feuchtigkeitsgehalt der Luft.
2. Austreten von stark gesättigtem Wasserdampf aus Eisspalten, Eislöchern und feinen Kanälen (Poren).

3. Zufuhr wasserdampfgesättigter, teilweise schon kondensierter Luft über eisfreien offenen Stellen von benachbarten Flüssen und Seen.
4. Austreten von Wasserdampf auf *kapillarem* Wege durch die Eisdecke selbst.

Die kapillar gebundene Feuchtigkeit wandert infolge Verdunstung zur Oberfläche. Es ist nicht ausgeschlossen, daß das zuweilen massenhafte Auftreten von Eisblumen in der litoralen Zone das Vorhandensein ganzer Systeme von mit Wasserdampf gefüllten Kapillaren voraussetzt.<sup>1)</sup>

Da die bei der Kondensation frei werdende Wärmemenge wieder dem Schmelzprozesse zur Verfügung steht, dürfte auch diesem Schmelzwasser, das zweifellos wieder zu Eis erstarrt, eine gewisse Bedeutung zufallen.

Wichtig für die Lösung des vorliegenden Problems ist auch die Klarstellung der täglichen Periode des Sättigungsdefizites der Luft, d. h. der Kondensation und Verdunstung durch besondere Versuche, worauf namentlich Dr. H. Renqvist, Helsinki, am Internationalen Hydrologenkongreß in Edinburg (14.—26. September 1936) hingewiesen hat.

Der *entscheidende* und *primäre* Grund für die Eisblumenbildung liegt wohl in der *Ausstrahlung*.

Ob auch der elektrischen Leitfähigkeit eine gewisse Rolle zufällt, kann heute noch nicht beantwortet werden.

---

<sup>1)</sup> Vgl. hierüber: Schulze Karl: Ueber die Entstehung der Eis- und Salz-Ausblühungen. Meteorologische Zeitschrift, Bd. 54, Heft 11, November 1937. Seiten 423—426.

#### Vierter Abschnitt.

## Ueber die Bedeutung der Schneemassen auf den Eisflächen der Hochgebirgsseen im Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges im Allgemeinen und im Besonderen des Oberengadins.

### I. Allgemeines.

In meiner Arbeit «Zur Hydrologie der Landschaft Davos»<sup>1)</sup> bin ich erstmals der Frage näher getreten: Was für eine Bedeutung fällt im Wasserhaushalt des Hochgebirges den Schneemassen zu, die sich im Laufe des Winters auf den Eisdecken unserer Hochgebirgsseen sammeln, lagern?

Die Versuchung liegt nahe — und es wird dies oft auch so angenommen —, die winterlichen Rücklagen, die in Form von Schnee auf die gefrorene klare Oberschicht des Sees fallen und deren Wassergehalt erst in der Frühjahrs-Schmelzperiode wieder zum Abfluß gelangt, für den winterlichen Seeabfluß für verloren zu betrachten, d. h. diesen Schneemassen den nämlichen Charakter zuzuteilen, wie den Schneereserven im übrigen Gebiet. Sofern es sich um Seen mit *natürlichem oberirdischem* Abflusse handelt — und dies trifft für unsere Hochgebirgsseen in der Regel auch zu —, ist diese Ueberlegung nicht haltbar.

Zunächst möchte ich zu diesem Vorgang folgendes bemerken. Nach meinen langjährigen winterlichen Untersuchungen an Seen unseres Hochgebirges ist in der Regel die Eisdecke mit dem Ufer *nicht* verwachsen, sondern sie schwimmt wie ein Floß auf dem See. Eingehende Studien über diese Frage, die wir in Verbindung mit dem *Elektrizitätswerk der Gemeinde St. Moritz* speziell am St. Moritzer See im Winter 1935/36 ausgeführt haben, und über die ich auf Seiten 105—111 berichtet habe, bestätigen dies in einwandfreier Weise.

### II. Spezielles.

Unter normalen sommerlichen Verhältnissen wird der Seespiegel durch die auf ihn fallenden Niederschläge gehoben, der Wasserstand des Seeausflusses dadurch erhöht. Ist der See gefroren, so fällt der Niederschlag, meist in fester Form, auf die Initialeisfläche, wodurch ein Druck auf diese ausgeübt wird, der eine Steigung des

<sup>1)</sup> *Lütsch O.*, Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. II. Band, III. Teil — Forschungsgebiet Nr. 7 — Davoser See, Zürich 1944.

Seespiegels auslöst. Mit der Hebung des Seespiegels Hand in Hand folgt auch eine Steigung des Wasserstandes des Seeausflusses, d. h. eine Zunahme der Wassermenge eines offenen Seeabflusses. Anders ausgedrückt: Eisdecken mit auflagernder Schneeschicht drücken das Wasser aus den Seen hinaus.

### III. Ergebnisse.

#### A. Davoser See.

Die Wasserstandsdiagramme des Davoser Sees zeigen diesen Zusammenhang in eindeutiger Weise.<sup>1)</sup> So stieg der Abfluß des Sees, das Seewasser, anfangs Januar 1922 bei 50 mm Niederschlag in 4 Tagen um 4 cm, darauf bei 90 mm Niederschlag in 3 Tagen um 7 cm und anfangs Februar 1922 bei 50 mm Niederschlag in 4 Tagen um 4 cm. Genaue Berechnungen ergeben, daß beinahe die gesamte Wasserwertehöhe der Schneedecke im Anstieg des Sees zum Ausdruck gelangt. Mit der Hebung des Seespiegels steigt auch das Niveau des Seeabflusses. Im Seeabfluß fehlt einzig und allein die ins Grundwasser übergehende, durch die Hebung des Sees vermehrte Wassermenge.<sup>2)</sup>

Diese Ergebnisse lassen folgende Schlußfolgerungen zu: In Zeiten kleinster Wasserführung des Davoser Sees, im Winter, wird sein Abfluß durch die winterlichen Niederschläge, die auf ihn fallen, erhöht. Der Einfluß der Schneedecke auf den winterlichen Abfluß wirkt also ausgleichend auf Faktoren, die den Abfluß vermindern, wie beispielsweise der Rückgang der Quellzuflüsse.

Daraus erklärt sich, daß Hochgebirgsgewässer, deren Einzugsgebiete reich an Seen sind, namentlich in schneereichen Wintern wesentlich größere Abflußspenden aufweisen, als solche, die arm an Seen sind. Ferner ist hervorzuheben, daß der winterliche Niederschlag, der auf eine gefrorene Seefläche fällt, bei der Aufstellung der winterlichen Wasserbilanz nicht als Rücklage in Rechnung gestellt werden darf, denn er gelangt, unter Einwirkung der Seeretention, sofort zur Auswirkung.

Die Frage, ob solche Vorgänge wirklich allgemeinen Charakter tragen, veranlaßte mich, solche Untersuchungen auch auf die Oberengadiner Seen auszudehnen. Hierfür bietet diese Gegend geradezu klassische Beispiele.

#### B. Silser- und Silvaplanner Seen — See von Campfer.

Beobachtungsstation für den Abfluß: Inn, St. Moritz-Bad.

Fläche der Seen im Einzugsgebiet, total 7,6 km<sup>2</sup>.

##### 1. Beispiel.

*Schneefall* von Samstag, den 27. Februar, zirka 21 Uhr, bis 1. März 1937.

<sup>1)</sup> In der Regel gefriert der Davoser See im Dezember, im April wird er wieder eisfrei. Die klare Eisschicht schwankt je nach den Witterungsverhältnissen zwischen 6 und 20 cm. Ueber dieser klaren Eisdecke bilden sich die bekannten, in ihrem Aufbau recht verschiedenartigen Schnee—Schneeeis—Schneebrei—und Schnee—Wasser—Schichten, die nicht allein mit den meteorologisch—hydrologischen Faktoren, sondern oft auch mit den lokalen Verhältnissen in enger Beziehung stehen. Ueber die Mächtigkeit der Schneedecke im Davoser—See—Gebiet diene folgendes: Die maximale Schneehöhe von Davos, bezogen auf die 35jährige Periode 1900—1935 schwankt zwischen 54 und 159 cm, die zugehörigen Wasserwerte sind 0,241 und 0,281. Im 35jährigen Mittelwert ergibt sich eine maximale Schneehöhe von 108 cm, mit einem Wasserwert von 0,209.

<sup>2)</sup> Vgl. III. Teil des Werkes (Bd. II), 6. Kapitel, 2. Abschnitt, II, C, Seite 238 u. ff.

*Witterung.* 27. Februar, 21 Uhr: zirka  $-1^{\circ}$  C, meistens windstill; am 28. Februar, von zirka 17 Uhr bis zirka 20 Uhr, orkanartiger Sturm. Vom 28. Februar auf den 1. März starker Temperatursturz: 28. Februar 1937, 14 Uhr =  $-0,6^{\circ}$  C., 1. März, 8 Uhr =  $-20,0^{\circ}$  C.

*Neuschnee:* 53 cm; *Wasserwert* = 47 mm, *Dichte* = 0,089 mm/cm.

**Aufzeichnungen des Limnigraphen am Inn in St. Moritz-Bad.**

Tabelle 46

	Pegel m	Differenz mm	Lufttemperatur	Abflußmenge m <sup>3</sup> /sec
27. Februar 1937	0 h = 1,411	—	} — 0,7°	0,731
	12 h = 1,411	+ 7		
	18 h = 1,418	—		
	22 h = 1,418	—		
	24 h = 1,418	—		
28. Februar 1937	6 h = 1,420	+ 2	} — 3,0°	0,840
	10 h = 1,421	+ 1		
	12 h = 1,426	+ 5		
	18 h = 1,436	+ 10		
	22 h = 1,440	+ 4		
	23 h = 1,441	+ 1		
	24 h = 1,450	+ 9		
1. März 1937	2 h = 1,457	+ 7	} — 13,6°	1,258
	6 h = 1,458	+ 1		
		— 8 47 mm		
8. März 1937	12 h = 1,450		— 8,0°	
11. März 1937	18 h = 1,440	— 10	— 8,6°	

*Ergebnis:* Der Schneefall vom 27. Februar, 21 Uhr, bis 1. März 1937, früh, im Betrage von 53 cm Höhe, Wasserwert = 47 mm, verursachte eine Steigung des Wasserstandes des Inns in St. Moritz-Bad von 47 mm. Es entspricht dies einer Zunahme der Wassermenge des Inns gegenüber dem Zustand vor dem Schneefall von 527 l/sec.

## 2. Beispiel.

*Schneefall vom 13./14. März 1937.*

*Schneehöhe 25 cm, Wasserwert = 22 mm, Dichte = 0,089 mm/cm.*

**Aufzeichnungen des Limnigraphen am Inn in St. Moritz-Bad.**

Tabelle 47

	Pegel m	Differenz mm	Abflußmenge m <sup>3</sup> /sec	Differenz
13. März 1937	24 h = 1,460	—	1,280	260 l/sec
14. März 1937	6 h = 1,460	—		
	12 h = 1,465	+ 5		
	18 h = 1,480 <sup>1)</sup>	+ 15	1,540	

<sup>1)</sup> Zunehmende Temperatur verhinderte ein Fallen des Wasserstandes auf das Niveau vom 13. März.

*Ergebnis:* Steigung des Inns = 15 mm, Zunahme der Abflußmenge des Inns durch den Schneefall vom 13./14. März 1937 = 260 l/sec.

### 3. Beispiel.

*Annähernd gleichmäßiger Schneefall vom 1. bis 3. Januar 1941.*

Schneehöhe = 33 cm, Wasserwert = 22 mm, Dichte = 0,067 mm/cm.

**Aufzeichnungen des Limnigraphen am Inn, in St. Moritz-Bad.**

Tabelle 48

	Pegel m	Differenz mm	Abflußmenge m <sup>3</sup> /sec	Differenz	Luft- temperatur
1. Januar 1941	12 h = 1,460		1,280	} 325 l/sec	— 4,0 °
2. " "	12 h = 1,460	—			— 3,3 °
3. " "	12 h = 1,470	+ 10	1,410		— 6,6 °
	16 h = 1,470	—			
	18 h = 1,485	+ 15	1,605		
4. " "	12 h = 1,485	—	1,605		
5. " "	12 h = 1,480	— 5	1,540		
6. " "	12 h = 1,480	—			
7. " "	12 h = 1,475	— 5			
8. " "	12 h = 1,475	—			
9. " "	12 h = 1,475	—			
10. " "	12 h = 1,480	+ 5			
11. " "	12 h = 1,475	— 5			
12. " "	12 h = 1,475	—			
		— 15			
20. Januar 1941	12 h = 1,460	— 25			

*Ergebnis:* Zunahme der Abflußmenge des Inn, St. Moritz-Bad, durch den Schneefall vom 1./2./3. Januar 1941 = 325 l/sec (Steigung des Wasserstandes = 25 mm).

### C. Schluß.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen an den Oberengadiner Seen bestätigen damit aufs neue, daß der winterliche Niederschlag, der auf unsere Hochgebirgsseen fällt, sofort im Abfluß zur Auswirkung gelangt. Diesem Phänomen darf also, soweit es unsere und verwandte Hochgebirgsseen betrifft, allgemeinen Charakter zugeschrieben werden.

Da auch die hochgelegenen Seen des Mittelgebirges im Winter zufrieren, dürften auch diese die beschriebene Erscheinung zeigen.

