

ANNALEN

der

SCHWEIZERISCHEN METEOROLOGISCHEN

ZENTRALANSTALT

1963

Hundertster Jahrgang



City Druck AG, Zürich I
St. Peterstraße 10

1964

Die Seegfröni 1963

A. Einleitung

Die besondere Strenge des Winters 1962/63 braucht kaum noch betont zu werden. Sie äusserte sich am augenfälligsten im Zufrieren der meisten Seen des Mittellandes und im langen Bestehen der Schneedecke in tieferen Lagen. Das Zufrieren der Seen im besonderen verdient die Aufmerksamkeit der Meteorologen und aller am Wetter interessierten Personen. Solche Naturereignisse wurden schon vor vielen Jahrhunderten in Chroniken notiert und geben uns Hinweise auf das Wetter in den Zeiten vor der Erfindung des Thermometers und des Barometers. Wenn wir die Liste der Schweizer Naturseen (die Tab. 1 zeigt die Seen mit mehr als 1 km² Flächeninhalt) durchgehen, so würde man zunächst denken, daß während einer sehr langen Kälteperiode zuerst der See Nr. 21 ganz zufrieren müßte und daß dann die anderen Seen Nr. 20, 19, 18, ... bis zu Nr. 1 folgen würden. In der Praxis wird jedoch diese Reihenfolge nicht eingehalten. In der ersten Hälfte Januar 1963 froren zunächst die Seen Nr. 21, 20 und 19 zu, dann folgten der Hallwiler- und Greifensee (15, 16). In der zweiten Monatshälfte kamen zunächst der Untersee und der Ägerisee (2, 18), dann die Nummern 17, 13 und 14, an die Reihe. Der Alpnachersee (4,5 km², 35 m tief), der durch eine sehr untiefe Stelle bei Stansstad vom übrigen Vierwaldstättersee getrennt ist, pflegt gemäß alten Erfahrungen erst nach den schon genannten Seen zuzufrieren. In der vierten Januarwoche fror der Bielersee (9) ganz zu, und am 27. Januar trug das Eis schon Tausende von Besuchern. Auf dem Zürichsee (6) hatte die Eishildung um die Monatsmitte bei Rapperswil begonnen und am 24. Januar schloß die Eisdecke sich bei Zürich. Am 1. Februar war das Eis auch im unteren Seebecken stark genug, um dem Massenandrang der Stadtbevölkerung

standzuhalten (Bibliographie [2] und [3]). Dem Zürichsee folgte bald der Zugersee (10), und im Laufe des Monats Februar fror auch der Bodensee (2) mehr und mehr zu (siehe [4]). Die Fähre Romanshorn—Friedrichshafen verkehrte immerhin bis zum 10. Februar, und es scheint, daß die Eisdecke sich in der Nähe von Friedrichshafen nie ganz schloß. Frühere Vereisungen traten ein in 1879/80 (nicht ganz vollständig), 1829/30, 1794/95, 1694/95, 1683/84, 1572/73.

Die Kälte dieses Winters reichte dagegen nicht aus, um einen der übrigen Seen (1, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12) zum Gefrieren zu bringen. Vom Genfersee (1) und von den Seen südlich der Alpen (4 und 7) ist in geschichtlichen Zeiten überhaupt keine totale Seegfröni bekannt geworden. Das mildere Klima, das in diesen Gegenden herrscht, und die sehr große Tiefe dieser drei Seen, liefern eine hinreichende Erklärung dafür. Bekanntlich kann das Wasser an der Oberfläche erst gefrieren, wenn die *gesamte* Wassermasse bis auf 4 Grad abgekühlt ist (Temperatur der größten Dichte des Wassers). Im unteren, schmalen und wenig tiefen Teil des Lac Léman, im sogenannten Petit Lac, sowie in einigen Buchten (z. B. 1891 bei Territet) wurden im XIX. Jahrhundert gelegentlich große Eishänke von 1 bis 1,5 cm Dicke beobachtet. Der Hafen von Genève und das angrenzende Seebecken war in einzelnen Fällen so stark überfrozen, daß man zu Fuß von einem Ufer zum anderen wandern konnte, Anno 1570 sogar auf der 3 km langen Strecke von Le Vengeron nach Vésenaz. Auf dem Luganersee (7) wurde im Februar 1880 4 mm dickes Eis bei Morcote beobachtet, und die Schifffahrt soll bei Ponte Tresa von Eis behindert worden sein [5, 6]. Eine partielle Vereisung dieses Sees ist in früheren Jahrhunderten wahrscheinlich schon vorgekommen, z. B. im Winter 859/60, als man mit Roß und Wagen über die gefrorene Lagune von Venedig fuhr. Der Neuenburgersee (3) macht dem Winter etwas mehr Mühe als der Bodensee. Er fror dieses Jahr nicht zu; die letzten totalen Überfrierungen wurden 1879/80, 1829/30, 1694/95 und 1572/73 verzeichnet. Der Thunersee war — soweit bekannt — nur in den Wintern 1694/95 und 1362/63 ganz zugefrozen, in 1829/30 die östliche Hälfte. Der Brienersee (11) war anscheinend nur im Winter 1362/63 von Eis bedeckt. Vom Vierwaldstättersee (5) ist keine einzige vollständige Vereisung überliefert worden. Es ist vorgekommen, daß die westliche Hälfte bis zu den Nasen, oder auch einzelne Buchten, zu einem großen Teil gefroren, so daß eine tragfähige Decke entstand. Überschreitungen zu Fuß von Gersau nach Beckenried wurden nur in den Jahren 1684 und 1685 erwähnt. Im Winter 1890/91 ist eine dünne Eisdecke von Westen her bis gegen Treib vorgedrungen. Vom Urnersee wurde jedoch nie etwas ähnliches berichtet [7]. Auch im vergangenen Winter hat sich nur in der Nähe von Luzern Eis gebildet. Der Walensee (12) endlich scheint am besten den Angriffen der Kälte wider-

Tab. 1 Schweizer Naturseen unterhalb 1000 m ü. M. [1]

Nr.	Name	Fläche km ²	Höhe m ü. M.	Tiefe m
1	Lac Léman	581,5	372	310
2	Bodensee mit Untersee	537,4	396	252
3	Lac de Neuchâtel	215,8	429	153
4	Lago Maggiore	211,6	193	372
5	Vierwaldstättersee	113,8	434	214
6	Zürichsee mit Obersee	88,5	406	143
7	Lago di Lugano	48,9	271	288
8	Thunersee	47,8	558	217
9	Bielersee	39,2	429	74
10	Zugersee	38,2	414	198
11	Brienersee	29,2	564	261
12	Walensee	24,2	419	150
13	Murtensee	22,8	429	46
14	Sempachersee	14,4	504	87
15	Hallwilersee	10,3	449	47
16	Greifensee	8,6	435	34
17	Sarnersee	7,7	469	52
18	Ägerisee	7,2	724	82
19	Baldeggersee	5,2	463	66
20	Pfäffikersee	3,3	537	35
21	Lauerzersee	3,1	447	14

Jahr

1 8.6
7 6.5
0 7.6
9 7.8
9 8.6
4 9.6
5 2.4
7 -2.2
5 11.2

7 -0.3
6 -0.2
3 -0.3
1 -0.2
0 -0.5
9 -0.3
8 -0.3
2 0.2
7 -0.8

6 745
5 1298
2 1032
0 960
3 1129
5 1007
7 928
6 2060
5 2352

6 -73
4 -112
1 -99
1 -17
5 89
3 118
2 -31
2 -725
5 627

5 1570
1 1720
0 1613
2 1685
1 1821
3 1807
3 1629
3 1935
1 1803

1 -107
1 35
1 -80
5 -74
1 -150
5 -229
1 -37
1 55
1 -298

stehen zu können. Nur in den Wintern 1739/40 und 1829/30 wurden auf ihm wenigstens Spuren von Eis gesehen. Wir wollen hier nicht versuchen, eine wissenschaftliche Erklärung für das so verschiedenartige Verhalten der Seen zu geben. Das in der neuen Klimatologie der Schweiz [9] niedergelegte Zahlenmaterial wird das Studium von solchen klimatischen Besonderheiten erleichtern. Neben dem Element Temperatur wären zumindest auch noch lokale Unterschiede in Sonnenscheindauer und Strahlung zu untersuchen. Diese Größen werden aber nur an wenigen Stationen gemessen.

B. Vergleich des Winters 1962/1963 mit denjenigen in früheren Jahren

Wenn etwas außergewöhnliches geschehen ist, taucht bald die Frage auf, ob dieses Ereignis nun wirklich einmalig sei, oder ob man in früheren Zeiten schon etwas ähnliches erlebt habe. Man liest in den Zeitungen so oft von Rekorden der Menschen und der Natur, daß man das Gefühl einer gewissen Übertreibung nicht los wird. So läuft der Winter 1962/63 noch bald Gefahr, zum kältesten des XX. Jahrhunderts gestempelt zu werden, bevor dieses Jahrhundert auch nur abgelaufen ist. Haben wir nicht schon in den letzten 20 Jahren das wärmste Jahr seit dem Beginn der regelmäßigen Temperaturmessungen (1947 oder 1961 je nach Gegend) und den wärmsten Sommer (1947, 1950 oder 1952) erlebt? In krassm Gegensatz dazu steht nun der Winter 1962/63. Um die Stellung des vergangenen Winters im Vergleich zu anderen ebenfalls kalten Wintern zuverlässig beurteilen zu können, ziehen wir zunächst die Mitteltemperatur des Winters heran. Wir erinnern daran, daß aus den drei täglichen Ablesungen zwei verschiedene Mittel gebildet werden:

das Dreiermittel: $T_3 = (7^{30} + 13^{30} + 21^{30}) : 3$
 und das Vierermittel: $T_4 = (7^{30} + 13^{30} + 2.21^{30}) : 4$

Für die 12 Hauptstationen des schweizerischen klimatologischen Netzes erscheinen die täglichen Werte von T_3 in den Annalen der MZA. Das Vierermittel liegt dem Wert näher, den man durch stündliche oder kontinuierliche Messungen erhalten würde. Das arithmetische Mittel aller T_4 -Werte eines Monats wird als Monatsmitteltemperatur \bar{T}_4 bezeichnet; die Monatswerte von Dezember, Januar und Februar zusammen, bilden wiederum die Wintermitteltemperatur. Damit unser Vergleich mit der Vergangenheit nicht durch Stationswechsel verfälscht wird, müssen wir über homogene Temperaturmessungen für einen großen Zeitraum verfügen. Glücklicherweise stehen uns im Beiheft zum Jahrgang 1960 der Annalen [8] lange Temperaturreihen zur Verfügung, die die nötigen Korrekturen erfahren haben, um mit der heutigen Stationslage übereinzustimmen. Unsere Tabelle 2 + 2a enthält außer einem Auszug aus diesem Beiheft noch einige Stationen, für die wir selbst die nötigen Korrekturen dem ersten Heft [9] der „Klimatologie der Schweiz“ entnehmen konnten.

Wir sehen aus dieser Aufstellung, daß der Winter 1962/63 — von einer Ausnahme abgesehen — jedenfalls nicht der kälteste seit dem Beginn unserer Messungen

Tab. 2 Wintermitteltemperaturen (Dezember/Februar) von ausgewählten Stationen

	Höhe m	1879/80	1880/81	1884/85	1906/07	1908/09	1928/29	1940/41	1941/42	1962/63
Genève Obs.	405	-2.6	-2.8	-2.3	-0.7	-0.3	-1.5	0.2	-1.0	-1.9
Lausanne	589	-4.0	-3.1	-2.9	-1.3	-0.9	-1.9	-0.9	-1.9	-3.0
Montreux-Cl.	408		-2.3	-1.7	-0.9	-0.1	-0.8	0.0	-0.9	-1.8
Neuchâtel	487	-4.3	-3.6	-3.6	-1.2	-1.1	-2.6	-1.4	-2.2	-3.7
Bern	572	-5.2	-5.0	-4.7	-2.9	-2.6	-4.1	-2.3	-3.3	-4.6
Thun	560	-5.3	-5.2	-4.6	-2.7	-2.2	-4.3	-1.8	-3.2	-4.5
Luzern	498	-3.9	-4.9	-4.4	-2.4	-1.9	-3.9	-2.1	-3.0	-4.3
Weggis	440			-2.8	-1.1	-0.5	-2.6	-0.7	-1.5	-2.5
Altdorf	451	-2.9	-3.6	-3.0	-1.4	-0.9	-3.3	-1.0	-2.1	-2.7
Basel	317	-4.2	-3.7	-3.9	-1.1	-0.8	-2.9	-1.7	-2.8	-4.2
Zürich	556	-5.3	-5.2	-4.8	-2.4	-2.2	-4.3	-2.3	-3.2	-4.6
St. Gallen	664		-6.1	-5.9	-3.1	-3.1	-5.4	-3.3	-4.0	-5.7
Kreuzlingen	446	-5.1	-5.2	-4.8	-2.1	-2.0	-4.3	-2.2	-3.1	-4.4
Sion	549	-2.7	-3.2	-3.5	-2.6	-1.3	-2.3	-1.5	-2.3	-2.5
Locarno-Monti	379	0.9	1.4	1.0	3.0	2.5	1.3	1.6	1.9	1.0
Engelberg	1018	-5.1	-7.1	-7.0	-5.3	-4.9	-6.2	-4.7	-5.9	-6.9
Mont Soleil	1183	-3.1	-4.7	-6.5	-4.9	-3.7	-4.3	-3.9	-4.9	-5.4
Bever	1712	-11.2	-12.8	-12.3	-10.1	-10.6	-12.7	-11.2	-10.6	-12.6
St. Gotthard	2095	-7.4	-8.7	-10.7	-9.5	-8.3	-9.0	-8.5	-9.9	-10.0
G. St. Bernard	2479	-8.7	-9.3	-11.4	-10.6	-9.7	-10.8	-9.9	-10.4	-11.7
Säntis	2500	-8.9	-9.7	-12.3	-11.2	-9.9	-11.3	-10.1	-11.4	-11.4
Jungfraujoch	3576							-15.7	-16.6	-16.8

Tab. 2a Wintermitteltemperaturen (Dezember/Februar) vor 1864

	Höhe m	1765/66	1826/27	1829/30	1841/42	1846/47	1859/60
Basel	317	-4.0	-1.9	-5.4	-0.6	-1.6	-0.4
Genève Obs.	405	-2.2	-0.3	-3.5	-0.7	-0.6	0.3
G. St. Bernard	2479		-10.7	-10.1	-10.4	-10.8	-10.6

war. Für die meisten der Stationen, die wir im Mittelland zwischen 400 und 670 m ü. M. ausgewählt haben, kommt dem Winter 1962/63 der vierte Rang zu. In Lausanne, Montreux und Luzern hält er den dritten, in Neuchâtel den zweiten, in Altdorf und Weggis den fünften Rang. In Basel hält er zusammen mit 1879/80 den ersten Rang, und seit 1755 den zweiten, da der Winter 1829/30 noch bedeutend kälter war als alle darauf folgenden (vgl. Einleitung). In der 210jährigen Basler Temperaturreihe hält der Winter 1962/63 zusammen mit 1879/80 den zweiten Platz nach 1829/30. Es hat sich auch schon in anderen Jahren gezeigt, daß ein sehr kalter Winter in der oberrheinischen Ebene noch extremer ausfällt als im schweizerischen Mittelland. Die Hauptursache liegt vermutlich darin, daß der Nebel, der bei Hochdrucklagen häufig das Mittelland bedeckt, nördlich des Juras oft fehlt, so daß die nächtliche Ausstrahlung größer ist als z. B. in Zürich. Die schon erwähnte Ausnahme wird durch die Station Grand-St-Bernard gebildet, die eine ununterbrochene Temperaturreihe seit September 1817 besitzt. Für diese Station war der vergangene Winter der absolut kälteste seit 1817. Wenn auch für viele Flachlandstationen der Winter 1879/80 mit dem extrem kalten Monat Dezember den Rekord hält, so gilt das nicht für die Bergstationen, wo jener Winter nicht besonders hervortrat. Auch hier wird die Erklärung durch die winterlichen Hochnebel- oder Nebellagen geliefert, die mit einer kräftigen Temperaturinversion an der Nebelobergrenze verbunden sind. In den Alpen herrscht dann son-

1962/63
-1.9
-3.0
-1.8
-3.7
-4.6
-4.5
-4.3
-2.5
-2.7
-4.2
-4.6
-5.7
-4.4
-2.5
1.0
-6.9
-5.4
2.6
10.0
1.7
11.4
6.8

864

el-
en,
u-
u-
en
en
30
en
ir-
en
in
in
ls
er-
en
ft
ls
rd
ne
17
er
h-
en
ür
r-
r-
it
r-
n-

niges und relativ mildes Wetter. Ein sehr gutes Beispiel dafür findet man im Dezember 1963. Man vergleiche z. B. die Abweichungen der Temperatur und der Sonnenscheindauer von den Normalwerten für die Stationen Zürich und Säntis in der Tabelle «Monatswerte der wichtigsten meteorologischen Elemente 1963» im Anhang dieses Bandes! Daß solche Verhältnisse auch im Winter 1879/80 herrschten, kann man daraus ersehen, daß das Wintermittel der Bewölkung in Genève überdurchschnittlich war, während dasselbe Mittel für die Station Grand-St-Bernard zu den sechs kleinsten Werten der Periode 1846—1960 gehört [10]. Für die Bergstationen Säntis, Mont Soleil und St. Gotthard war der Winter 1894/95 der kälteste seit 1864; für Luzern, Altdorf, Engelberg und einige andere Orte hält der Winter 1890/91 den ersten Platz. Daß der Vierwaldstättersee in 1890/91 eine stärkere Überfrierung zeigte als Anno 1880, steht damit in guter Übereinstimmung.

Die Wintermitteltemperatur 1962/63 lag im Mittel-land durchschnittlich 4,2 Grad unter dem Normalwert der Periode 1931—1960. Die Abweichung betrug in Genève und Meiringen —3,7 Grad, in Altdorf —3,4 Grad, in Altstätten SG —4,8 Grad und in Basel —5,1 Grad. Auf den Bergstationen waren die Abweichungen kleiner: Grand-St-Bernard —3,5 Grad, Säntis und St. Gotthard —2,9 Grad. Die große Kälte beschränkte sich natürlich nicht auf die Schweiz. Verglichen mit der Normalperiode 1931—1960 waren die Wintermitteltemperaturen zu tief in ganz Europa, im europäischen und sibirischen Sektor der Arktis, im Osten und Zentrum von Nordamerika sowie in Südostasien [11]. Die Abweichung vom Normalwert war am größten bei Franz-Josephsland, wo sie —11 Grad betrug. Dazu ist allerdings zu bemerken, daß die Vergleichsperiode 1931—1960, die international verwendet wird, in der Arktis besonders mild war. In Europa war die Abweichung am stärksten in Deutschland, und sie erreichte bei Göttingen beinahe —7 Grad. Ein drittes Kältezentrum war südlich der großen nordamerikanischen Seen zu finden, wo die Wintertemperatur 5 Grad unter dem Normalwert blieb. Im Mittel über die ganze nördliche Hemisphäre war der Winter 1962/63 jedoch gar nicht zu kalt, sondern normal. Diese zunächst erstaunlich scheinende Tatsache rührt daher, daß jedes ausgedehnte und beständige Kaltluftgebiet in benachbarten Gebieten eine Wärmekompensation hervorruft.

Jedem Leser des täglichen «Wetterberichtes» der MZA werden im Winter ab und zu abgeschlossene Tiefs in der 500-mb-Karte auffallen, die nicht mit einem Tief in der Bodenkarte übereinstimmen. Das sind Kaltluftgebiete, die sogenannten «Kaltlufttropfen». Auf der Ostflanke eines solchen Tiefs strömt natürlich Warmluft gegen Norden. Zum Studium der Wetterentwicklung über längere Zeitabschnitte hinweg werden nun auch Boden- und Höhenkarten auf Grund von Monatsmittelwerten des Luftdruckes entworfen [12]. In diesen Karten sind kurzlebige Druckgebilde natürlich nicht mehr erkennbar, aber in den Monatskarten für 500 mb des Winters 1962/63 sind die beiden Tiefdrucktröge über Europa und dem östlichen Nordamerika als Folge der starken Kälte viel ausgeprägter als in anderen Jahren. Diese Lage bewirkte eine kräftige Warmluftzufuhr vom Westatlantik gegen

Grönland und von Nordafrika nach Sibirien. Es waren daher positive Abweichungen der Wintertemperatur über Grönland und der Davisstraße (bis +5 Grad), sowie über Sibirien (bis +8 Grad) zu verzeichnen. Im Meeresniveau war der Luftdruck bei Island sogar im Mittel der drei Monate Dezember bis Februar um 15 mb höher als der Normalwert (1931—1960). Das Drucküberschußgebiet über dem Ostatlantik war außerordentlich beständig. Schon im Monat Oktober 1962 war ein Überschuß von 8 mb über den Britischen Inseln zu bemerken. Im November und Dezember lag ein gleich starkes Zentrum bei 30° W und 53° N, resp. bei 20° W und 57° N. Im Januar 1963 war der Drucküberschuß sehr viel größer geworden. Im Zentrum, das knapp südlich Island lag, betrug die Abweichung vom normalen Monatsmittel fast 30 mb. Die Januarmittelkarte erhielt dadurch ein völlig ungewohntes Aussehen. Im langjährigen Mittel erstreckt sich im Januar ein Hoch (mit einem Druck von mehr als 1020 mb) von Bermuda über die Azoren bis nach Spanien, während ein Tiefdruckzentrum mit 997 mb beim Wetterschiff A (33° W und 62° N) zu finden ist. Die Bodenkarte für Januar 1963 weist im Gegensatz dazu ein Hochdruckzentrum mit 1030 mb nordwestlich Schottland (8° W, 60° N) und ein Tief mit 1007 mb 500 km nordöstlich der Azoren auf. Die täglichen Wetterkarten zeigten meistens ein kräftiges Hoch, dessen Zentrum entweder zwischen Grönland und Island, oder bei Schottland, über der Nordsee oder Mitteleuropa lag, und dessen Zentraldruck oft 1045 mb überstieg. Die Januarmitteltemperatur lag in der Schweiz nördlich der Alpen 4 bis 5°, in Südeuropa 5 bis 6°, in Deutschland 5 bis 8° und in Polen bis zu 10° unter dem Normalwert (1931—1960).

C. Die Zürcher Seegfröni

Der Zürichsee ist seit Bestehen der Meteorologischen Zentralanstalt achtmal zugefroren, und zwar an folgenden Daten:

1880: am 23. Januar	1909: am 30. Januar 05 h
1891: am 21. Januar	1929: am 16. Februar
1895: am 21. Februar	1941: am 16. Januar
1907: am 11. Februar	1963: in der Nacht 23./24. Januar

Bis die Eisdecke im unteren Seebecken stark genug ist, um einen beträchtlichen Teil der Stadtbevölkerung zu tragen, müssen nach dem Zufrieren noch mehrere Frosttage vorbeigehen. Dieser Zustand wurde aber in den Jahren 1907, 1909 und 1941 gar nicht erreicht. Anno 1907 setzte bereits am 13. Februar Tauwetter ein, das eine Woche anhielt, so daß die Schifffahrt am 19. wieder beginnen konnte (Annalen 1907). Am 30. Januar 1909 wurde die äußerst dünne Eisschicht, die sich am Morgen gebildet hatte, gegen Abend durch Wind wieder zerstört; außerdem begann am 3. Februar wieder Tauwetter (Annalen 1909 und [13]). Im Jahr 1941 wurde die Eisdecke, die am 16. Januar im unteren Seebecken schon mehrere Zentimeter dick war, durch Niederschläge verdorben. Noch am selben Tag setzte Schneefall ein, und auch die nächsten Tage brachten mehr als 20 cm Neuschnee, der in der Nacht 18./19. in Regen überging. Die gesamte Niederschlagsmenge vom 16. bis zum 21. Januar (07.30 h) betrug 40,5 mm. Das Gewicht des entstandenen Schnee-

breies drückte die dünne Eisschicht unter Wasser und weichte sie auf. Die hohen Temperaturen, die vom 19. bis zum 27. Januar herrschten, genügten, um die schon gehegten Hoffnungen auf ein «Eisfest» zunichte zu machen. Dünne Eisschichten von 1 mm bis zu 2 cm wurden auch in anderen Jahren im unteren Zürichseebecken beobachtet, z. B. im Februar und März 1934, am 16. März 1924, im Januar und Februar 1918, als zwischen Stäfa und Richterswil Eisstärken von 20 cm gemessen wurden.

Um die 8 am Anfang dieses Abschnitts aufgezählten Winter miteinander vergleichen zu können, haben wir die Temperaturen von Zürich herangezogen. Dabei haben wir sämtliche hier vorkommenden Temperaturwerte auf den Standort der *neuen Meteorologischen Zentralanstalt* (556 m ü. M.) reduziert, damit sie auch mit künftigen Messungen direkt vergleichbar sind. Die Tabelle 3 enthält zunächst für alle acht Jahre die Monatsmitteltemperaturen \bar{T}_4 der Monate November bis April, das Wintermittel (Dezember—Februar), und in den untersten zwei Zeilen 30jährige und 100jährige Mittelwerte. Eine weitere Größe, die im Zusammenhang mit Gefrier Vorgängen von Interesse ist, ist die Kälte- oder Wärmesumme über bestimmte Zeitabschnitte. Darunter verstehen wir das Zeitintegral der Temperatur, das man aus einem Thermogramm in einfacher Weise durch Planimetrierung der Fläche zwischen der Registrierkurve und einer festen Bezugsgerade erhalten kann. Diese Größe ist also ein Produkt Zeit \times Temperatur und kann in Gradtagen oder Gradstunden als Einheit ausgedrückt werden. Der Begriff von Gradtagen wird in heiz- und kältetechnischen Fragen sehr häufig verwendet. Oft stehen keine Temperaturregistrierungen, sondern nur Ablesungen zu festen Zeiten zur Verfügung. Dann wird man in vereinfachender Weise die Abweichungen der mittleren Tagestemperaturen von einem vorgegebenen Wert addieren. Da die Tagesmittel T_3 im Gegensatz zum genaueren Mittel T_4 schon in den Annalen der MZA vorliegen, haben wir das Dreiermittel benützt. In der Heiztechnik wird die erwünschte Raumtemperatur als Bezugswert eingeführt, und es werden z. B. Summen der Form $\sum (T_3 - 18^\circ)$ gebildet. Da wir es mit dem Gefrieren von Süßwasser und mit dem Auftauen von Eis zu tun haben, ist die Wahl der Bezugstemperatur 0° naheliegend. Ein Gefrieren ist um so eher zu erwarten, je tiefer und je länger die Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt bleibt [14]. Wenn wir zwei Größen Θ und Θ^* wie folgt definieren:

$$\begin{aligned} \Theta &= -T_3 \text{ wenn } T_3 < 0^\circ & \Theta^* &= +T_3 \text{ wenn } T_3 > 0^\circ \\ \Theta &= 0 \text{ wenn } T_3 \geq 0^\circ & \Theta^* &= 0 \text{ wenn } T_3 \leq 0^\circ \end{aligned}$$

dann ist $K = \sum \Theta$ die Kältesumme, oder Absolutwert der Summe aller negativen Tagesmittel eines bestimmten Zeitabschnittes und $W = \sum \Theta^*$ die Wärmesumme, oder Summe aller positiven Tagesmittel dieses Zeitabschnittes. Wo es sich aber um das Gefrieren von Meerwasser handelt, muß man als Bezugswert die entsprechende Gefriertemperatur wählen, die etwa zwischen -1° und $-2,1^\circ \text{C}$ liegt. Die Tabelle 3 enthält die Kältesumme für jeden einzelnen Monat sowie für das Halbjahr November bis April. Mit E haben wir die Kältesumme bezeichnet, die vom 1. November bis zum totalen Gefrieren des Zürichsees läuft, und mit B die Summe der negativen Ta-

gesmittelt vom 1. November bis zum Datum, an dem das Eis des unteren Seebeckens offiziell für begehbar erklärt wurde (ohne Lebensgefahr). Es ist bekannt, daß eine homogene Eisplatte von sehr guter Qualität bei 4 bis 5 cm Dicke eine Einzelperson tragen kann, aber nicht mehrere Personen beieinander. Sobald man an eine etwas dünnere Stelle kommt, ist ein Einbruch unvermeidlich. Für Eisgänger in großer Zahl wird die untere Grenze im allgemeinen zwischen 10 und 15 cm angesetzt. Außerdem ist die Beurteilung der Güte, oder besser gesagt, der Kristallstruktur des Eises eine Aufgabe für Spezialisten. In der Tabelle 3 wird außerdem für jeden Monat und für das Halbjahr die Anzahl n der Tage mit einer negativen Tagesmitteltemperatur ($T_3 < 0^\circ$) angegeben. Sogenannte Frosttage (Tagesminimum $< 0^\circ$) und Eis-tage (Tagesmaximum $< 0^\circ$) können für lang zurückliegende Jahre nicht gezählt werden, da damals noch keine Extremthermometer verwendet wurden.

Tab. 3 Monatsmitteltemperaturen \bar{T}_4 und Temperatursummen für Zürich (556 m)

	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Winter*	E	B
1879/80 \bar{T}_4	-0.6	-9.4	-6.0	-0.4	6.1	8.4	-5.3		
$\sum \Theta$	47.5	295.3	194.3	64.5	0.1	0.0	601.7	450	469
n	17	29	28	11	1	0	86		
1890/91 \bar{T}_4	2.3	-6.4	-6.2	-3.0	2.9	5.6	-5.2		
$\sum \Theta$	38.1	198.0	197.8	90.4	9.7	0.3	534.3	409	420
n	5	30	27	21	6	1	90		
1894/95 \bar{T}_4	3.7	-1.3	-5.4	-7.8	1.5	9.0	-4.8		
$\sum \Theta$	9.0	53.4	171.8	214.0	40.0	0.0	488.2	414	430
n	5	19	25	28	10	0	87		
1906/07 \bar{T}_4	4.6	-2.6	-2.0	-2.6	2.6	6.2	-2.4		
$\sum \Theta$	0.0	100.1	82.2	89.6	10.5	0.1	282.5	249	—
n	0	21	17	18	7	1	64		
1908/09 \bar{T}_4	1.4	-0.9	-3.3	-2.3	1.6	9.1	-2.2		
$\sum \Theta$	16.7	58.3	126.8	78.9	23.1	1.3	305.1	194	—
n	7	15	25	21	11	1	80		
1928/29 \bar{T}_4	5.2	-0.2	-5.3	-7.5	3.5	5.4	-4.3		
$\sum \Theta$	0.3	39.0	159.9	218.9	23.4	4.8	446.3	361	398
n	1	17	30	24	5	3	80		
1940/41 \bar{T}_4	4.7	-4.2	-3.7	0.9	5.1	6.2	-2.3		
$\sum \Theta$	2.2	143.4	148.1	23.2	0.0	0.7	317.6	266	—
n	3	22	21	9	0	1	56		
1962/63 \bar{T}_4	1.9	-3.4	-6.2	-4.2	3.2	9.2	-4.6		
$\sum \Theta$	21.5	121.3	196.6	121.4	17.0	0.0	477.8	276	339
n	11	21	24	22	4	0	82		
1931-1960 \bar{T}_4	3.7	0.1	-1.1	0.3	4.5	8.6	-0.2		
1864-1963 \bar{T}_4	3.2	-0.4	-1.5	0.1	3.7	8.0	-0.6		

* In dieser Kolonne steht als Wintermitteltemperatur das Mittel der Monate Dezember bis Februar. Die Summen $\sum \Theta$ und n beziehen sich dagegen auf das Halbjahr November bis April. Die Buchstaben B, E und n werden im Text erläutert.

Man sieht, daß der Winter 1962/63 auch in bezug auf die Kältesumme an vierter Stelle kommt und dem Win-

das
lärt
ine
bis
cht
ine
ver
ere
tzt.
ge-
pe-
Mo-
ner
en.
Zis-
lie-
ine

für

3

39

20

10

8

9

her
ten
ch-

uf
n-

ter 1894/95 nur wenig nachsteht. Das Seegfrörijahr 1929 kommt erst an fünfter Stelle. Für die Anzahl n gilt dasselbe. Weder die Mitteltemperatur noch die Kältesumme eines Winters sagt etwas darüber aus, ob die Kälte kurz und sehr intensiv oder aber mäßig und sehr anhaltend war. Wir haben daher auch noch die Tage mit $T_3 \leq -10^\circ$ ausgezählt und fanden für 1879/80 25, 1962/63 22, 1894/95 15, 1890/91 und 1928/29 9, 1940/41 8, 1906/07 3 und für 1908/09 1 Tag. Es fällt auf, daß die Kältesummen E bis zum Gefrieren des Zürichsees in den einzelnen Jahren sehr verschieden ausfielen. Es gibt also keine strenge Beziehung zwischen der Kältesumme und der Gefrierbereitschaft des Sees. Natürlich spielt die Wärme des vorangegangenen Sommers eine wesentliche Rolle. Wenn das Wasser z. B. im September an der Oberfläche noch 27° mißt, wie das 1947 der Fall war, dann sind die Aussichten auf eine Seegfröni gering. Aber nach einem kühlen Sommer folgt nicht immer ein kleiner Wert von E . Im Jahr 1890 war der Mai um $0,9^\circ$ zu warm, jedoch waren alle folgenden Monate bis November zu kühl. Trotzdem war die zum Zufrieren benötigte Summe E im nachfolgenden Winter doppelt so groß wie nach dem Jahr 1908, das einen bedeutend wärmeren (nahezu normalen) Sommer und ebenfalls einen milderen Herbst hatte. Es kommt auch noch darauf an, in welchem Zeitpunkt die kälteste Periode des Winters einsetzt. Dieselbe Kältesumme, wenn sie ohne Unterbruch über 3 bis 4 Monate verteilt ist, und dies besonders im Spätwinter, ist wahrscheinlich wirksamer als wenn sie auf die zwei Monate Dezember und Januar konzentriert wird, wie das 1879/80 und 1890/91 der Fall war. Auf weitere Faktoren in der Wärmebilanz des Sees hat *M. Hottinger* in [14] hingewiesen: Wärmezustrom vom Seebett her, Wärmeverlust durch Verdunstung, Schneefall, Ausstrahlung usw. Bei der Bildung der Eisdecke spielt der Wind eine ausschlaggebende Rolle. Wenn das Oberflächenwasser einmal auf null Grad abgekühlt ist, so kann sich in einer windstillen und klaren Nacht eine Eisschicht mit sehr großer Geschwindigkeit über den See ausbreiten. Der Wind, der Wellen erzeugt und das Oberflächenwasser mit tieferen, wärmeren Schichten mischt, kann das Zufrieren stark verzögern. Unter Windeinfluß entsteht eine ganz eigentümliche Art von Eisdecke, die aus fast kreisrunden Schollen besteht. Diese treiben zunächst einzeln herum und frieren erst später zusammen. Solche Schollen, die unter dem Einfluß der Bise besonders auf dem Genfer- und Neuenburgersee entstehen können, wurden sehr anschaulich durch *F. A. Forel* in [6] beschrieben. Zufälligerweise haben wir im «Südkurier» [15] eine sehr gute Photo solcher Schollen gefunden.

In der Nacht vom 23. auf den 24. Januar 1963, als das untere Zürichseebecken zufror, war die Bise im richtigen Moment abgeflaut. Von 18 h 10 bis 19 h 20 war es windstill, und die mittlere Windgeschwindigkeit zwischen 17 h und 05 h betrug nur 2 km/Stunde. Die Temperatur sank von -10° bis auf -16° . Schon am nächsten Tag wurde vom Polizeiinspektor der Stadt Zürich die Mitwirkung der Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH sowie der MZA zur Vorbereitung von Sicherheitsmaßnahmen zum Schutze der sehr zahlreich zu erwar-

tenden Eisgänger angefordert. Während die Abteilung für Hydrologie und Glaziologie alle Fragen der Eismechanik (Theorie des Einbruchs, Berechnung der zulässigen Belastung einer Eisschicht, Kristalluntersuchungen usw.) behandelte und Belastungsversuche auf dem Eise durchführte, besorgte die MZA eine spezielle Wetterberatung. Sie übernahm die Aufgabe, rechtzeitig vor allen Wettersituationen zu warnen, die die Tragfähigkeit der Eisdecke wesentlich herabsetzen könnten, und war an allen Besprechungen im Polizeiinspektorat durch einen oder zwei Meteorologen vertreten, worunter der Schreiber dieser Zeilen. Später schlossen sich Behörden von anderen Gemeinden und Kantonen, z. B. das Polizeiamt der Stadt Zug und das Bezirksammannamt Rorschach, an diese Warnorganisation an. Als Folge der erfreulichen Zusammenarbeit mit der Seepolizei der Stadt Zürich konnte bereits am 28. Januar 1963 eine Temperaturmeßstation auf dem Eis errichtet werden. Sie bestand aus einer englischen Hütte mit den üblichen Thermometern und einem Thermographen. Zur Messung der Temperatur im Eis und im Seewasser wurden fünf elektrische Widerstandselemente angebracht. Am 8. Februar kam ein Kugelpyranometer Bellani dazu, der unentgeltlich vom Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos zur Messung der Globalstrahlung zur Verfügung gestellt wurde. Fast alle Ablesungen wurden in zuvorkommender Weise von Beamten der Seepolizei ausgeführt. Die Resultate werden in extenso in der Tabelle 4 wiedergegeben. Da nach einigen Wochen die Abendablesung vorverlegt wurde, mußte die Temperatur für 21 h 30 unter Zuhilfenahme der Registrierung berechnet werden. Die Messungen der Stationen MZA und Zürich-Botanischer Garten wurden zum Vergleich herangezogen. Auf diese Weise konnten einzelne unvermeidliche Lücken ergänzt und die Reihe bis zum 23. Januar rückwärts verlängert werden. *Dr. M. Schüepp* besorgte die nötigen Reduktionen. Die Instrumentenhütte wurde aus Sicherheitsgründen am 20. Februar an Land genommen, aber vom 25. Februar bis zum 11. März wieder auf dem Eis (100 m vom Ufer entfernt) benützt. Anschließend wurde sie bis Ende März am Ende eines Landsteiges plaziert. Die Messungen der Temperatur im Eis wurden durch Strahlungseffekte gestört, so daß ihre Wiedergabe sich nicht lohnt. Die Wassertemperatur in 2 m Tiefe blieb während der offiziellen Seegfröni (1. Februar bis 8. März) immer zwischen $+1,5^\circ$ und $+2,5^\circ$.

Wir haben die Temperaturen der Station Tiefenbrunnen mit denen der MZA verglichen. Die Tabelle 5 zeigt, daß die Differenz der Tagesmitteltemperaturen Tiefenbrunnen — MZA (T_3) bis Anfang März im Pentadendurchschnitt höchstens 1° betrug, dann aber stark zunahm. Ende März war die Differenz wieder fast gleich null. Die Tabelle 6 zeigt den Verlauf der Differenzen der Terminwerte für übergreifende Dekaden.

Die größten Differenzen traten um die Mittagszeit auf, und zwar im Monat März. Bei diesem Vergleich ist noch zu beachten, daß wir für die Station MZA die publizierten Werte der Wildschen Hütte verwenden. Die daneben stehende englische Hütte ergibt etwas andere Temperaturen, wie man aus der Aufstellung unterhalb Tab. 6 sehen kann;

Tab. 4 Meteorologische Beobachtungen auf dem Zürichsee (406 m)

Datum	Temperaturen						Globalstrahlung cal/cm ²
	07 ³⁰	13 ³⁰	21 ³⁰	Mittel T ₃	Min.	Max.	
23. Januar	-15.6	-10.1	-13.4	-13.0			
24. Januar	-14.3	-8.7	-11.7	-11.6			
25. Januar	-14.5	-7.9	-10.8	-11.1			
26. Januar	-13.5	-6.6	-4.8	-8.3			
27. Januar	-5.6	-3.7	-4.3	-4.5			
28. Januar	-4.5	-3.0	-6.7	-4.7			
29. Januar	-7.6	-5.1	-4.7	-5.8	-10.2	-3.4	
30. Januar	-7.0	-5.1	-8.9	-7.0	-9.5	-4.6	
31. Januar	-10.6	-8.4	-9.1	-9.4	-13.6	-7.1	
1. Februar	-11.1	-8.7	-10.3	-10.2	-12.8	-8.7	
2. Februar	-12.1	-8.2	-9.8	-10.0	-13.8	-7.5	
3. Februar	-11.0	-7.7	-11.6	-10.1	-12.6	-7.0	
4. Februar	-10.5	-7.8	-12.5	-10.3	-13.1	-7.0	
5. Februar	-16.0	-7.7	-13.8	-12.5	-16.8	-6.7	
6. Februar	-15.4	-7.0	-10.6	-11.0	-16.7	-5.5	
7. Februar	-11.4	-2.9	-4.2	-6.2	-13.6	-1.2	
8. Februar	-3.5	0.6	-2.0	-1.6	-4.7	1.5	38
9. Februar	-5.9	1.0	-2.6	-2.5	-7.2	1.7	101
10. Februar	-4.1	1.9	-3.2	-1.8	-6.4	4.3	139
11. Februar	-3.8	-0.2	-0.4	-1.5	-4.2	1.3	52
12. Februar	-0.3	1.0	1.8	0.8	-2.0	2.8	67
13. Februar	-0.8	0.7	-2.8	-1.0	-3.0	1.2	84
14. Februar	-4.0	-2.0	-8.6	-4.9	-9.1	1.0	187
15. Februar	-6.3	-0.9	-2.5	-3.2	-10.4	-0.2	145
16. Februar	-3.1	2.5	1.8	0.4	-6.8	4.0	107
17. Februar	0.4	1.7	0.8	1.0	-0.3	(3)	74
18. Februar	0.2	1.7	-0.6	0.4	-1.2	2.0	(145)
19. Februar	-0.5	1.2	2.5	1.1	-1.6	(4)	—
20. Februar	4.1	5.1	3.5	4.2	—	—	—
21. Februar	-2.1	-3.1	-3.4	-2.9	—	—	—
22. Februar	-4.8	-3.5	-4.0	-4.1	-6.0	-2.5	—
23. Februar	-4.4	-3.5	-4.2	-4.0	-5.1	-2.7	85
24. Februar	-5.8	-3.3	-3.6	-4.2	-6.4	-3.0	96
25. Februar	-10.0	-1.1	-4.6	-5.2	-10.6	1.0	191
26. Februar	-10.8	-3.1	-3.2	-5.7	-11.7	-1.7	225
27. Februar	-9.7	-1.2	-3.3	-4.7	-10.5	1.5	221
28. Februar	-10.4	-1.9	-5.2	-5.8	-11.4	0.2	281
1. März	-11.3	-3.8	-7.1	-7.4	-12.2	-0.6	263
2. März	-12.0	-2.7	-6.5	-7.1	-12.6	0.0	240
3. März	-10.3	-1.4	-4.3	-5.3	-11.0	0.5	235
4. März	-7.6	1.0	-2.9	-3.2	-9.6	3.0	242
5. März	-6.7	1.3	-1.1	-2.2	-8.4	4.0	240
6. März	-6.0	2.6	0.0	-1.1	-7.0	4.2	198
7. März	-4.3	4.2	2.2	0.7	-5.1	9.0	209
8. März	-2.2	5.5	3.0	2.1	-3.4	9.5	198
9. März	4.0	5.4	2.0	3.8	-0.5	9.5	233
10. März	1.0	8.2	4.8	4.7	0.5	8.2	(157)
11. März	0.5	2.5	2.3	1.8	0.0	5.6	114
12. März	4.1	5.7	5.2	5.0	1.1	7.0	111
13. März	2.7	4.0	3.6	3.4	-1.6	6.4	171
14. März	1.1	8.1	2.9	4.0	0.3	9.4	54
15. März	1.9	3.9	2.8	2.9	-0.4	6.0	51
16. März	0.6	3.2	4.6	2.8	-0.6	7.6	156
17. März	3.3	4.4	2.0	3.2	1.0	8.8	103
18. März	2.5	3.3	6.9	4.2	1.0	11.5	—
19. März	5.7	7.6	6.0	6.4	4.5	10.6	122
20. März	2.7	8.2	3.9	4.9	1.2	9.2	(63)
21. März	4.4	2.5	2.0	3.0	1.0	4.5	135
22. März	2.0	4.5	1.1	2.5	0.5	4.5	226
23. März	-0.6	2.0	-0.2	0.4	-1.5	2.7	241
24. März	-2.3	5.0	0.9	1.2	-3.0	6.3	45
25. März	-1.6	7.7	3.5	3.2	-3.0	9.4	60
26. März	2.0	4.8	7.2	4.7	-0.6	9.0	84
27. März	5.7	5.1	4.9	5.2	2.0	6.2	143
28. März	3.4	3.8	4.5	3.9	2.0	7.8	44
29. März	3.1	9.4	6.7	6.4	2.0	13.2	—
30. März	2.3	2.1	2.8	2.4	1.0	3.4	—
31. März	3.4	3.9	1.7	3.0	1.5	(4.5)	—

Tab. 5 Differenz der Tagesmittel Tiefenbrunnen — MZA für P. taden

27. Januar — 31. Januar	0.3°
1. Februar — 5. Februar	0.4°
6. Februar — 10. Februar	-0.9°
11. Februar — 15. Februar	-0.6°
16. Februar — 20. Februar	-0.2°
21. Februar — 25. Februar	1.0°
26. Februar — 2. März	-0.6°
3. März — 7. März	-3.9°
8. März — 12. März	-1.7°
13. März — 17. März	-2.3°
18. März — 22. März	-0.7°
23. März — 27. März	0.1°
28. März — 31. März	-0.1°
Mittelwert	-0.7°

Tab. 6 Differenz der Terminwerte Tiefenbrunnen — MZA für De kaden

	07 ³⁰	13 ³⁰	21 ³⁰
27. Januar — 5. Februar	1.1°	-1.2°	1.0°
1. Februar — 10. Februar	0.5°	-1.1°	-0.2°
6. Februar — 15. Februar	0.1°	-1.6°	-0.8°
11. Februar — 20. Februar	0.3°	-1.6°	0.7°
16. Februar — 25. Februar	0.8°	-0.8°	1.2°
21. Februar — 2. März	0.7°	-1.2°	1.2°
26. Februar — 7. März	-1.4°	-4.5°	-0.9°
3. März — 12. März	-2.1°	-4.6°	-1.7°
8. März — 17. März	-1.2°	-3.2°	-1.4°
13. März — 22. März	-0.4°	-3.1°	-1.0°
18. März — 27. März	0.7°	-1.6°	-0.1°
23. März — 31. März	1.0°	-1.3°	0.3°
27. Januar — 31. März	0.1°	-2.1°	-0.1°

Differenz englische Hütte — Wildsche Hütte (MZA)

	07 ³⁰	13 ³⁰	21 ³⁰
Februar 1963	0,3°	-1,2°	0,4°
März 1963	0,2°	-0,6°	0,3°

Der Gesamteindruck, den man aus den Tabellen 5 und 6 erhält, wird durch diesen Unterschied in der Aufstellung nicht stark beeinflusst. Wir nehmen an, daß der große Temperaturunterschied, der anfangs März zwischen Tiefenbrunnen (406 m) und MZA (556 m) in Erscheinung trat, durch das rasche Verschwinden der Schneedecke in der Umgebung der MZA bedingt war. Die Station Tiefenbrunnen war immer noch von Eis umgeben, als der Boden am Zürichberg sich schon wesentlich erwärmte. Als in der dritten Märzdekade bei der Station Tiefenbrunnen immer größere Wasserflächen frei wurden, nahm die Temperaturdifferenz wieder merklich ab. Für die ersten Märztag, in denen die Schneedecke bei der MZA noch nicht verschwunden war (sie löste sich am 8. März auf), kann man geltend machen, daß die Rückstrahlung einer Schneedecke wesentlich stärker ist, als diejenige einer grau gewordenen Eisschicht. So lange die Eisschicht auf dem See zunahm bestand jedenfalls kein wesentlicher Temperaturunterschied zwischen der MZA und der Seeoberfläche. Als Beweis seien noch folgende Zahlen angeführt:

	Tiefenbrunnen	MZA Zürich
23.—31. Januar \bar{T}_4	-8,35°	-8,64°
23.—31. Januar Kältesumme	75,4	75,8 Gradtage
1.—28. Februar \bar{T}_4	-4,14°	-4,14°
1.—28. Februar Kältesumme	123,5	121,3 Gradtage

D. Das Wachstum der Eisdecke

Vermutlich sind noch bei keiner Seegrörni so sorgfältige Dickemessungen gemacht worden, wie sie die Seepolizei von Zürich 1963 ausgeführt hat. An fünf Stellen des unteren Seebeckens wurde jeden Tag zweimal gemessen, am frühen Vormittag (etwa 8 h) und gegen Abend (etwa 17 h). Da das Eis bei Wollishofen wegen einer Schifffahrtsrinne von Beginn an dünner als an allen anderen Stellen war, haben wir die Messungen von Wollishofen nicht berücksichtigt. Von den vier übrigen Meßstellen teilen wir den Mittelwert der Vormittagsmessungen in Tabelle 7 mit. Am Anfang mögen diese Zahlen auf 1 mm genau sein; später, als das Eis rauher wurde, nahmen auch die Meßfehler zu. Es ist daher nicht möglich, den täglichen Zuwachs genau zu bestimmen. Es ist klar, daß zwischen der Lufttemperatur und dem Wachstum der Eisdecke eine ziemlich enge Relation bestehen muß. Eine einfache Überlegung zeigt schon, daß auch bei konstanter, negativer Temperatur die Eisschicht immer langsamer wachsen wird. Wir vernachlässigen einmal die Details des Wärmeübergangs vom Eis zur Luft und setzen die Eistemperatur an der Oberfläche gleich der mittleren Lufttemperatur $T_3 = -\Theta$, an der unteren Fläche gleich 0° , und nehmen weiter an, daß das Wasser innerhalb einer gewissen Schicht schon die Gefrieretemperatur erreicht hat. Der Wärmetransport innerhalb des Eises von den unteren zur oberen Fläche ist dann

$$(1) \quad \frac{dQ}{dt} = A \cdot \frac{\Theta}{z} \text{ pro cm}^2 \text{ und Zeiteinheit,}$$

wo Q = Wärmemenge pro cm^2 , t = Zeit, z = Eisdicke in cm und A eine Konstante bedeuten. Nun ist aber die Zunahme der Eisdicke pro Zeiteinheit $\frac{dz}{dt}$ genau proportional zur abtransportierten Wärmemenge, denn für jedes Gramm Eis, das gebildet wird, müssen 80 cal. Wärme an die Luft abgegeben werden. Wir erhalten also für das Eiswachstum die Beziehung:

$$(2) \quad \frac{dz}{dt} = B \cdot \frac{\Theta}{z} \text{ ausgedrückt in cm/Zeiteinheit,}$$

z. B. cm/Tag, wobei B eine neue Konstante bedeutet. Wenn auf dem Eis eine Schicht von y cm Schnee liegt, dann wird die Beziehung komplizierter. Eine homogene Schneeschicht kann in bezug auf die Wärmeleitung einer gewissen Eisschicht von $C \cdot y$ cm Dicke gleichgesetzt werden, wobei die Zahl C von den Eigenschaften des Schnees (Dichte usw.) abhängt. Das Eiswachstum ist dementsprechend weniger rasch:

$$(3) \quad \frac{dz}{dt} = B \cdot \frac{\Theta}{z + C \cdot y}$$

Gleichungen dieser Art werden schon lange in arktischen Gebieten angewendet, wo die alljährliche Bildung einer Eisschicht von 2—3 m Dicke auf dem Meer für alle Transportfragen eine wesentliche Rolle spielt. *M. A. Bilello* gibt in [16] Formeln von verschiedenen Autoren an. Die numerischen Konstanten wurden nicht theoretisch, sondern aus dem Beobachtungsmaterial hergeleitet, und zwar für jeden Beobachtungsort wieder neu.

Sie hängen sicher mit der geographischen Lage, mit Meeresströmungen usw. zusammen. Leider werden in der Arktis Eisschichten von 20 cm und weniger als «quantité négligeable» behandelt, und die entwickelten Formeln gelten meist nicht für dermaßen «dünnes» Eis. Und die einzige Formel, die für dünnes Eis empfohlen wird, stimmt im Falle des Zürichsees nicht. Wenn wir nicht mit Schneefall rechnen wollen, können wir die Differential-Gleichung (2) $z \cdot dz = B \cdot \Theta \cdot dt$ integrieren, da Θ nur von t abhängt. Wir erhalten

$$(2') \quad z^2 = 2 \cdot B \cdot \int_0^t \Theta \cdot dt = D \cdot \sum_{t=0}^t \Theta \quad (D = \text{Konstante})$$

wenn wir die Zeit von dem Moment an zählen, wo die Eisdecke entstand, oder auch

$$(2'') \quad z = \sqrt{D \cdot \sum \Theta}$$

Wir lassen im Falle des Zürichsees die Kältesumme unter der Quadratwurzel mit dem 24. Januar beginnen. Es zeigt sich jedoch bald, daß in Zürich das Eis rascher zunahm als nach der Formel (2''). Wir hatten dagegen einen überraschenden Erfolg, als wir die Formel

$$(4) \quad z = D' \cdot (\sum \Theta)^{\frac{2}{3}}$$

ausprobierten. Wir haben die Werte dieser Funktion in die Tabelle 7 eingetragen, wobei der Proportionalitätsfaktor $D' = 1$ gesetzt wurde. Vom 25. Januar bis zum 18. Februar erreichte die Abweichung von den gemessenen Eisdicken nur einmal 2 cm. Alle Formeln dieser Art haben gemeinsam, daß sie während und nach einer Tauperiode nicht mehr gelten. Rein zufälligerweise ist die Diskrepanz in unserem Fall nach der Tauperiode Mitte Februar nicht einmal groß. Wir können immerhin sagen, daß eine Formel der Form (4) während einer Frostperiode mit Erfolg zur Extrapolation der Eisdicken gebraucht werden kann. Bei einem anderen See wird D' vermutlich von 1 verschieden sein, und auch der Exponent kann zwischen 0,5 und 0,8 einen anderen Wert erhalten. Nach einer Tauperiode kann die Formel mit Hilfe einer additiven Konstante k zu Beginn der zweiten Frostperiode der gemessenen Eisdicke wieder angepaßt werden. In Tabelle 7 haben wir vom 24. Februar an die Funktion

$$(k + \sum \Theta)^{\frac{2}{3}} \text{ wo } k = 11,6 \text{ Gradtage}$$

ebenfalls tabuliert. Die Eismessungen sind an den Tagen 19. bis 23. Februar ganz ausgefallen.

Es muß beachtet werden, daß nach Beginn der totalen Seegrörni am 26., 29. und 31. Januar etwas Schnee fiel (totaler Niederschlag rund 2 mm). Am oberen Ende des Sees, wo das Eis sich früher gebildet hatte, lag erheblich mehr Schnee darauf. Das Zusammentreten oder Walzen der Schneedecke erhöht die Wärmeleitfähigkeit und fördert somit die Eisbildung; dieses Verfahren wurde z. B. auf dem St. Moritzersee schon praktisch angewendet. Die Schneefälle, die sich vom 11. Februar an ereigneten, drohten allmählich, der Seegrörni ein rasches Ende zu bereiten. Allein vom 18. bis zum 19. Februar wurde in der Stadt Zürich eine Neuschneemenge

ir Pen.
ür De.
21³⁰
1.0^o
-0.2^o
-0.3^o
0.7^o
1.2^o
1.2^o
-0.9^o
-1.7^o
-1.4^o
-1.0^o
-0.1^o
0.3^o
-0.1^o
4)
1³⁰
4^o
3^o
llen 5
Auf-
ß der
zwi-
n Er-
der
war.
1 Eis
1 we-
i der
ichen
ieder
1 die
1 war
1 ma-
sent-
1 Eis-
ahm,
inter-
Als
ltage
ltage

Tab. 7 *Eisdicken auf dem Gebiet der Stadt Zürich und ihre empirische Berechnung*

Datum	Eisdicke cm	$\sum_{24. I}^t \Theta$	$\left(\sum_{24. I}^t \Theta\right)^2$	$\left(\sum_{k+24. I}^t \Theta\right)^2$
25. Januar	5.4	11.6	5.1	
26. Januar	7.9	22.7	8.0	
27. Januar	9.35	31.0	9.9	
28. Januar	9.7	35.5	10.8	
29. Januar	10.9	40.2	11.7	
30. Januar	12.25	46.0	12.8	
31. Januar	13.1	53.0	14.1	
1. Februar	13.65	62.4	15.7	
2. Februar	15.55	72.6	17.4	
3. Februar	18.3	82.6	19.0	
4. Februar	19.6	92.7	20.5	
5. Februar	21.55	103.0	22.0	
6. Februar	22.6	115.5	23.7	
7. Februar	25.2	126.5	25.2	
8. Februar	26.0	132.7	26.0	
9. Februar	26.2	134.3	26.2	
10. Februar	26.5	136.8	26.6	
11. Februar	26.6	138.6	26.8	
12. Februar	26.8	140.1	27.0	
13. Februar	26.6	140.1	27.0	
14. Februar	27.0	141.1	27.1	
15. Februar	27.2	146.0	27.7	
16. Februar	27.6	149.2	28.1	
17. Februar	27.4	149.2	28.1	
18. Februar	26.5	149.2	28.1	
19. Februar		149.2		
20. Februar		149.2		
21. Februar		149.2		
22. Februar		152.1		
23. Februar		156.2		
24. Februar	30.9	160.2	29.5	30.9
25. Februar	31.15	164.4	30.0	31.4
26. Februar	31.75	169.6	30.6	32.0
27. Februar	32.2	175.3	31.3	32.7
28. Februar	33.2	180.0	31.9	33.2
1. März	33.8	185.8	32.5	33.9
2. März	34.25	193.2	33.4	34.7
3. März	34.75	200.3	34.2	35.5
4. März	35.85	205.6	34.8	36.1
5. März	35.7	208.8	35.2	36.5
6. März	35.6	211.0	35.4	36.7
7. März	34.7	212.1		
8. März	32.8		$\sum_{7. III}^t \Theta^*$	0.7
9. März	31.5			2.8
10. März	29.5			6.6
11. März	28.5			11.3
12. März	27.5			13.1
13. März	26.7			18.1
14. März	25.9			21.5
15. März	24.9			25.5
16. März	23.5			28.4
17. März	21.7			31.2
18. März	19.8			34.4
19. März	17.0			38.6
20. März	13.5			45.0
21. März	11.7			49.9
22. März	10.9			52.9
23. März	9.0			55.4
24. März				55.8
25. März	8.5			57.0
26. März	5.5			60.2
27. März	3.0			64.9
28. März	0.0			70.1

von 25 cm gemessen. Das Gesamtgewicht der Schneefälle vom 24. Januar bis zum 19. Februar 07 h 30 betrug etwa 40 kg/m². Da das reine Eis ein spezifisches Gewicht von 0,917 g/cm³ hat, wiegt eine z cm dicke Eisplatte

9,17 z kg/m². Sie taucht im unbelasteten Zustand 0,917 z cm tief in Wasser ein und versinkt ganz, sobald eine zusätzliche Belastung von mehr als 0,83 z kg/m² entsteht. Da die Eisdicke am 18. Februar z = 26,5 cm betrug, galt als Grenzbelastung 22 kg/m² (mehr als eine Viertelmillion Personen pro km², gleichmäßig verteilt). Die kritische Grenze war somit am 19. Februar stark überschritten. Dies wirkte sich jedoch nur so aus, daß an allen undichten Stellen das Seewasser hervortrat und den Schnee zum Schmelzen brachte. Später wurde der Prozeß durch Regen noch beschleunigt. Das Schmelzwasser floß durch Risse und Löcher ab, so daß die Belastung der Eisdecke von selbst abnahm. Der Zutritt zum See war übrigens sofort gesperrt worden. Das Tauwetter dauerte nicht lange genug, um die ganze Schneeschicht zum Verschwinden zu bringen. Am 21. Februar begann eine neue Frostperiode. Am Nachmittag zeigte sich bereits an der Oberfläche eine 2 cm dicke Eiskruste. Darunter fand man 2 cm Wasser, nochmals 1½ cm gefrorenen Schnee und 26 cm von der alten Eisdecke, die kaum an Dicke, jedoch an mechanischer Festigkeit eingebüßt hatte. Zwei Tage später hatte der ganze Schnee sich in eine 5 cm dicke Eisschicht mit zahlreichen, bis 5 mm großen Luftblasen umgewandelt. Der See konnte für das Publikum wieder freigegeben werden, da der Enderfolg der Tauperiode in einer Zunahme der Tragfähigkeit des Eises bestand. Die Eisdecke begann wieder zu wachsen und erreichte am 4. März die maximale Dicke von 35,9 cm.

Die Abnahme setzte schon ein, bevor die mittlere Temperatur T₃ positive Werte erreichte. Auch wenn die Lufttemperatur konstant 0° betragen würde, müßte das Eis wegen der Wärme des Seewassers ja langsam schmelzen. Auch diese Erscheinung kann nicht durch die Formeln (1) bis (4) wiedergegeben werden.

Vom 7. März an blieben die Mitteltemperaturen über null Grad. Unter diesen Umständen nahm die Eisdicke ungefähr proportional zur Wärmesumme ab:

$$(5) \quad z - z_0 = -0,55 \sum \Theta^*,$$

wobei die Summe vom 7. März an gerechnet wird. In den ersten Tagen war die Abschmelzung rascher, weil zunächst die blasenreiche oberste Schicht zerfiel. Die Formel (5) erinnert an eine schon länger bekannte Formel von T. Zingg:

$$(6) \quad S = 0,45 \sum \Theta^*$$

die sich auf das Abschmelzen einer Firndecke im Hochgebirge bezieht. (S bedeutet die gebildete Schmelzwassermenge in cm.) Da im Falle des See-Eises auch von unten her Wärme zugeführt wird, ist es klar, daß der numerische Koeffizient in (5) größer sein muß als 0,45.

E. Einige Beobachtungen auf dem Eis

Die Seegröbri bot Anlaß zur Wahrnehmung von allerlei Erscheinungen, von denen wir hier nur einige wenige aufzählen können. Im Anfang war die gebildete Eisdecke homogen und praktisch frei von Luftblasen, klar und durchsichtig wie Glas sowie sehr hart. In den ersten Februartagen konnte man nach Entfernung des trockenen Schnees die dunklen Tiefen des Sees erblicken. An der unteren Fläche des Eises klebten mancher-

orts zahlreiche rote Flecken, sogenannte Blutalgen, die bei so tiefen Temperaturen anscheinend gut gedeihen. Man findet sie auch im Gebirge an der Schneeoberfläche.

An vereinzelt Stellen in unmittelbarer Nähe des rechten Seeufers war das Eis nicht durchsichtig, da es in horizontalen Schichten angeordnete feine Gasblasen von 0,1 bis 2 mm Durchmesser enthielt. Die dünnen Blaseschichten trennten bedeutend dickere, durchsichtige Eisschichten voneinander, und zwar zählten wir 13 bis 15 solcher durchsichtiger Schichten. Die obersten (ältesten) Schichten waren die dicksten (etwa 3 cm). Da die Hauptmasse des Eises sich zwischen dem 23. Januar und dem 8. Februar (0 bis 26 cm) gebildet hatte und an einem Tag (28. Januar) der Zuwachs fast nicht meßbar war, kommt man nicht umhin, diese Schichten als Tageszuwachs zu interpretieren. Wir haben diese Beobachtung gemeinsam mit Dr. H. Güller gemacht, der seinerseits darüber in [17] berichtet hat. Diese Erscheinung war F. A. Forel schon in 1880 bekannt, scheint aber merkwürdigerweise auf den Zürichsee beschränkt zu sein. Forel schrieb:

«On a signalé en un point, près de la ville de Zurich, une curieuse stratification de la glace. Des bulles de gaz se détachaient du fond de l'eau et montaient jusqu'à la surface inférieure de la glace où elles étaient emprisonnées par le fait de la cristallisation de l'eau; soit que le dégagement des bulles fût plus fort pendant le jour, ou que l'accroissement d'épaisseur de la glace fût plus actif pendant la nuit, on a reconnu une variation notable dans le nombre relatif de ces bulles de gaz, et l'on a pu constater ainsi l'accroissement de la glace aux divers jours de la congélation.»

Falls ein Leser Kenntnis von ähnlichen Beobachtungen an einem anderen Ort hat, wären wir für eine diesbezügliche Mitteilung dankbar.

Eis dehnt sich wie jeder feste Körper bei Erwärmung aus und zieht sich bei Abkühlung zusammen. Sein linearer Ausdehnungskoeffizient beträgt $0,00005 \text{ grad}^{-1}$ (Eisen z. B. $0,000012 \text{ grad}^{-1}$), das heißt, daß eine 1 km lange Eisplatte sich bei einer Erwärmung von 1° um 5 cm ausdehnt. Dabei werden gewaltige Zugspannungen oder Drucke entwickelt. Die Auswirkungen sind um so größer, je bedeutender die täglichen Temperaturschwankungen sind (siehe Maxima und Minima in Tabelle 4). Schon in den ersten Tagen entwickelten sich in der Eisdecke Risse, die einige Millimeter bis einige Zentimeter breit und manchmal viele hundert Meter lang waren. Abgesehen davon zeigte sich ein ganzes Netz von äußerst feinen Rissen, die nur durch die Lichtreflexion an der Bruchfläche auffielen (wie bei einem Riß in einem dicken Glaskörper). Daß die dicke Eisschicht aus Kristallen bestand, die die Form von Prismen mit senkrechten Kanten und einem unregelmäßigen Querschnitt hatten, konnte man in den ersten Wochen von bloßem Auge nicht erkennen. Diese Struktur wurde nur in polarisiertem Licht sichtbar. Diese Kristalle waren ineinander verzahnt und verkeilt. Die Kristallgrenzen sind die schwachen Stellen der Eisstruktur; hier setzt in einer Tauperiode die Abschmelzung ein. Beim ersten Tauwetter

entwickelten sich feine Kapillarröhrchen, die von oben nach unten verliefen. An herausgeschnittenen Blöcken waren sie sehr gut sichtbar.

Am Abend des 19. Februar, als die ganze Eisfläche mit Schneematsch bedeckt war, fielen uns beim Gang zur englischen Hütte graue Flecken auf. Aus der Nähe besehen, zeigten sich in der weißen Schicht flache, handbreite Trichter, einige Zentimeter tief, worin ab und zu Luftblasen sichtbar wurden. Nach Entfernung des Schnees zeigte sich unter jedem dieser Trichter ein senkrecht, ovales und fingerdickes Loch im Eise, das bis zum Seewasser hinab reichte. Pro Quadratmeter zählten wir 1 bis 3 solcher Röhren. Diese Löcher hatten sich ausnahmslos an den schon erwähnten Bruchflächen entwickelt. Hier hatten wir ein sehr wirksames Kanalisationssystem vor uns, das den Abfluß des Schneeschmelzwassers und des Regens ermöglicht haben muß. Im späteren Verlauf der Seegröbri traten so große Kanäle nicht wieder auf. Sie waren alle wieder zugefroren.

Als gegen Ende Februar die täglichen Temperaturschwankungen bis zu 12° zunahmen, wurde auch die Rißbildung bedeutender. Jedemal, wenn sich in der Nacht ein Riß öffnete, gefror darin das Wasser durch die Berührung mit der Luft sofort. Daher konnte die Lücke sich am Tag trotz dem großen Druck des sich ausdehnenden Eises nicht wieder schließen. In der nächsten Nacht öffnete derselbe Riß sich noch weiter, da sich hier die schwächste Stelle der Eisdecke befand. Wir haben am 25. Februar bei Tiefenbrunnen einen solchen Riß mit 7,5 cm Breite gefunden, der 22 Stunden später schon 15 cm breit war. Während die Eisdicke allgemein etwa 32 cm betrug, war dieser Riß mit nur 7 cm dickem Eis verschlossen. Zur Zeit der größten Eispressung (am Nachmittag zwischen 15 und 16 Uhr) waren wir gerade zugegen, als die Eisdecke, entlang dieser Spalte, nach oben knickte und eine Falte (Antiklinale) mit einem stumpfen Winkel bildete. Auf beiden Seiten war das Eis muldenförmig durchgebogen (Synklinale). Die eine Mulde war tiefer und füllte sich rasch mit Wasser; innert 100 Minuten war sie 200 m lang geworden und die Wassertiefe erreichte 40 cm. Die Knickstelle war dagegen um 23 cm gehoben. Da das Eis sich plastisch verhält, war nicht zu erwarten, daß die Falte sich in der Nacht zurückbilden würde. In der Tat waren zwei Tage später weitere muldenförmige Falten dazugekommen, mit einer totalen Länge von etwa 1 km. Das Wasser stand in der Synklinale bis zu 1,5 m hoch. Da das untergetauchte Eis langsam schmolz und brach, entstand auf diese Weise ein offener Wassergraben, der um so gefährlicher war, als sich nachts darüber eine dünne, trügerische Eisschicht ausbreitete. Innert einer Woche dehnte dieser Faltengraben sich von einem Ufer zum andern aus, so daß die Seepolizei kilometerlange Seilabsperrungen errichten mußte. Ähnliche Preßzonen entstanden weiter oben auf dem Zürichsee (sie sind grobkartiert worden) und auf den anderen Seen.

Innerhalb von wenigen Tagen ereigneten sich deswegen mehrere tödliche Unfälle in der Schweiz. Als dann außerdem am 7. März endgültig das Tauwetter begann, wurde allgemein das Betreten der größeren Seen ab 8. März verboten.

Vom 6. bis zum 20. März waren die Lufttemperaturen um 2,6° übernormal, so daß die Eisdicken relativ rasch zurückgingen. Das «Schnee-Eis» war bereits am 11. März größtenteils verschwunden und nun wurde das ältere Seewasser-Eis angegriffen. Die ursprünglich spiegelglatte und durchsichtige Schicht war grau und uneben geworden. Die Oberfläche sah aus, wie wenn sie mit einem Schnitzmesser bearbeitet worden wäre. Die Kristallgrenzen waren durch 1 bis 2 cm tiefe Kerben gekennzeichnet. Die Einzelkristalle waren von sehr unterschiedlicher Größe; der größte Kristall, den wir gesehen haben, hatte einen Durchmesser von 17 cm. Das Eis löste sich vor der Quaibrücke, in den Eispressungszonen und in unmittelbarer Nähe des Ufers viel rascher auf, als weiter außen. Wir haben mehrmals in 50 cm Tiefe die Wassertemperaturen bestimmt und erhielten:

11. März	2,8°
14. März	3,0°
19. März	3,8°
23. März	3,5°

Vom 12. März an bog die Eisdecke sich mit einem knisternden Geräusch durch, wenn man darüber ging, obwohl die Dicke noch immer 27 cm betrug. Das weist darauf hin, daß zwischen den Einzelkristallen Spiel entstanden war. Am 14. März war das Eis schon so brüchig, daß es nicht gelang, mit einem Eiskernbohrer Proben zu entnehmen. Andererseits war es noch nicht möglich, einen Eispickel durch das Eis hindurch zu stoßen. Am 18. März beobachteten wir, wie einzelne Eisschollen die Limmat hinabtrieben. Sie wurden von den Brückenpfeilern wie Butter zerschnitten. Von Schäden an den Brücken konnte keine Rede sein. Auch der Eisgang auf

der Sihl verlief dieses Jahr vollständig harmlos. Am 19. März war das Eis schon sehr biegsam geworden. Durch Druck auf den Eisrand konnte man Wellenbewegungen bis in 15 m Distanz erzeugen. Wir ruderten in Begleitung von *H. Röthlisberger* (Abt. für Hydrologie und Glaziologie) in einem Schlauchboot zum Eisrand. Wir betreten das Eis mit einiger Vorsicht und angetan mit Schwimmwesten. Unter dem Gewicht des leeren Schlauchbootes senkte sich die Eisdecke in kurzer Zeit unter den Wasserspiegel, und es schien nicht ratsam, mehrere Minuten an derselben Stelle stehen zu bleiben. Das Eis war nicht mehr gekerbt, sondern zeigte sowohl an der oberen, wie an der unteren Fläche viele trichterförmige Aushöhlungen, sehr viele Luftblasen (2 bis 3 mm Durchmesser) und Röhrchen. Einige kleinere Eiskristalle waren immerhin noch unversehrt.

Nach dem 20. März ereignete sich ein Kälterückfall und es traten sogar Nachfröste auf (23.—26. März). Am 23. März fanden wir in einiger Entfernung vom Ufer 11,5 cm dickes Eis, wovon die obersten 2,5 cm wieder zusammengefroren waren. Die Decke trug noch eine Person. Am 25. März unternahm die «Wädenswil» von der Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft eine Eisbrecherfahrt. Das Schiff hatte schon 1929 denselben Dienst geleistet. Wir konnten bei dieser Fahrt bemerken, daß das Eis in der Seemitte noch recht widerstandsfähig war, so daß der Kapitän es vorzog, schon vor Küsnacht umzukehren. Das Eis war mindestens 12 cm dick, und davon war etwa die oberste Hälfte neu gefroren. Das Aufbrechen des Eises sowie der ziemlich starke Südwind, der am 26. März wehte, führten dazu, daß die untere Seehälfte innert zwei Tagen eisfrei wurde.

A. Lemans

Bibliographie:

- [1] Statistisches Jahrbuch der Schweiz, Birkhäuser Verlag, Basel.
- [2] *P. Zimmermann*: Zürcher Seegfröni 1963, Buchverlag der «Neuen Zürcher Zeitung», 1963.
- [3] *E. Mühlheim, H. Walther und F. Rihner*: Seegfröni 1963, Verlag der «Zürichsee-Zeitung», Stäfa.
- [4] *P. Hug und F. Karrer*: Bodenseegfröni 1963, Verlag Ostschweizerisches Tagblatt, E. Löpfe-Benz AG, Rorschach.
- [5] *F. A. Forel*: La congélation des Lacs Suisses et Savoyards pendant l'hiver 1879—1880, Echo des Alpes 1880, N° 2 et 3, Genève.
- [6] *F. A. Forel*: La congélation des Lacs Suisses et Savoyards dans l'hiver 1891, Bibliothèque Universelle, Archives des Sciences physiques et naturelles, troisième période, Tome XXVII, N° 1, 15 Janvier 1892, Genève.
- [7] *X. Arnet*: Das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz während der Winter 1890/91 bis 1895/96, Druck: J. Schill, Luzern 1897.
- [8] Klimatologie der Schweiz, Abschnitt I C, Seite 15—62; Langjährige Temperaturreihen, Beiheft zum Jahrgang 1960 der Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt (MZA).
- [9] do., Abschnitt I C, Seiten 1—14: Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittel der Temperatur (1901—1940), Beiheft zum Jahrgang 1959 der Annalen der MZA.
- [10] do., Abschnitt I H, Bewölkung und Nebel, Seite 12 und 31; Beiheft zum Jahrgang 1962 der Annalen der MZA.
- [11] Beilage Nr. 29/63 zur «Berliner Wetterkarte», herausgegeben vom Institut für Meteorologie und Geophysik der freien Universität Berlin, 26. März 1963.
- [12] Die Großwetterlagen Mitteleuropas, Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach (Main) 1962 und 1963 (erscheint monatlich).
- [13] *J. Maurer*: Der strenge Winter 1929 und die große Seegeförne Februar/März in der Schweiz. Vierteljahrsschrift der Naturf. Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 74, S. 310 (1929).
- [14] *H. Hottinger*: Die Wärmebilanz großer Wassermassen in strengen Wintern (dargestellt am Zufrieren des Zürichsees), in der Zeitschrift «Wärme- und Kältetechnik», Jahrgang 43, Heft 11 und 12, Springer-Verlag, Berlin, November/Dezember 1941.
- [15] Das große Eis, Sonderheft vom «Südkurier», Unabhängige Heimatzeitung für Oberbaden und das Bodenseegebiet, Konstanz 1963.
- [16] *M. A. Bilello*: Formation, growth, and decay of sea ice in the Canadian Arctic Archipelago, Research Report 65, U. S. Army Snow, Ice and Permafrost Research Establishment (SIPRE), July 1960.
- [17] *A. Güller*: Meteorologische Betrachtungen zur Zürichseegeförne 1963, Vierteljahrsschrift der Naturf. Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 108, S. 417 (Dezember 1963).