

DAS EIS DES BALATON

VON

DR. EUGEN VON CHOLNOKY.

MIT EINUNDZWANZIG TAFELN UND 122 TEXTFIGUREN.

EINLEITUNG.

AUF schneebedeckten Feldern, weglosen Pfaden erreicht man im Winter das Eis des Sees. Am Ufer schnallt man die Eissporen an und schreitet nun schnell auf der stellenweise vom Schnee überlagerten, spiegelglatten Fläche dem Leeren entgegen. Dünner Nebel liegt über der Landschaft; nach Zurücklegung einiger hundert Schritte verschwinden die Ufer, der Lärm verhallt und wir sind von einem weissen, formlosen Nichts, einer lautlosen Stille umgeben.

Oft dauert die Fahrt — fortwährend mit dem Kompass orientiert — stundenlang, bevor wir wieder ein Geräusch vernehmen. Es ist dies ein eigenartiges Dröhnen, welchem wir anmerken, dass es aus der Ferne zu uns gelangt, eine Erklärung dafür findet jedoch nur jener, der die über das Eis dahinziehenden, Steine liefernden Wagenkarawanen schon von der Nähe hörte; bald erreichen unser Ohr menschliche Stimmen und der einförmige Schlag des Beiles. Es arbeiten in der Nähe irgendwo Fischer, sie werden jedoch nicht sichtbar. Bald klärt sich der Himmel ein wenig, da wird aber das Eis laut. Wir bekommen elementare Töne zu hören, welche mit gar nichts zu vergleichen sind, denn ganz eigentümlich vernimmt sich das Knallen und die schrillen, pfeifenden Töne, manchmal in betäubendem Gewirr.

Spät ertönt endlich Glockenton, bald erscheinen darauf die Bäume des jenseitigen Ufers und wir befinden uns wieder auf dem kotigen, geräuschvollen, unebenen Lande.

Wie oft legten wir diesen spannenden, seltsamen Weg zurück, um die verschiedensten Lebenserscheinungen des Eises zu erforschen. Es gibt dort des Unerforschten so viel, dass diese kurzgefasste Skizze kaum mehr als ein sehr lückenhaftes Bild dessen gibt, was mit dem Eise des Balaton vorgeht.

Eine befriedigend gründliche Arbeit hätten wir nur so verrichten können, wenn wir in der Lage gewesen wären, einige Winter vom Ent-

stehen bis zum Verschwinden des Eises ständig dort zu verbringen, und auch da wäre es notwendig gewesen, dass eine ganze Gruppe von Beobachtern auf der Fläche des Sees verteilt die Eiswelt erforscht hätte. Dies grenzt jedoch an das Unmögliche. Wir mussten uns begnügen, zuweilen nach Massgabe der Verhältnisse, kürzere oder längere Zeit auf dem Eise zu verbringen und möglichst grosse Ausflüge auf demselben zu machen, fortwährend Messungen, Zeichnungen und Photographien anfertigend.

Ich begann meine Studie als Assistent des Herrn Prof. LUDWIG v. LÓCZY, unter seiner Leitung, anfangs nur als Gehilfe, der an den Forschungen des Meisters teilnimmt. Später jedoch, als Arbeitsüberbürdung Herrn v. LÓCZY keine genügende Zeit mehr zu diesem besonders schönen und interessanten Studium liess, hatte auch ich Gelegenheit vieles zu erforschen. Besonders hatte ich Glück, als Prof. Baron ROLAND EÖTVÖS die gleichmässige Eisdecke des Balaton zum Schauplatze seiner gravimetrischen Studien wählte. Ich konnte an diesen epochemachenden Studien als Beobachter teilnehmen, hatte daher Gelegenheit im Jahre 1901 vom Jänner bis zum März einen ganzen Winter am Eise zu verbringen und zwar auf solche Weise, dass ich in heizbaren Bretterhütten, die auf Schlitten-Fundamenten aufgestellt waren, auch die Nächte zubrachte. Es war dies sozusagen ein arktisches Leben, reich an Episoden und diesen resultatvollen Wochen verdanken wir auch einen guten Teil der Ergebnisse unserer Forschung. Dies wiederholte sich, infolge der ungünstigen Eisverhältnisse leider in viel kürzerer Zeit — auch im Winter 1903.

Unsere Studien und deren Ergebnisse sind daher mit jenen LUDWIG v. LÓCZY's gemeinsam. Es ist schier unmöglich festzustellen, welches meine und welches seine Beobachtungen sind. Ich glaube kaum imstand zu sein, in meinem Werke scharfe Grenzen zwischen dem ausschliesslich «Meinigen» ziehen zu können, noch behaupten zu können, wo ich Prof. LÓCZY «plagisiere». Wie ich mein ganzes geographisches Wissen und meine Erfahrungen sozusagen ausschliesslich meinem Meister verdanke, kann ich auch nie mit vollem Recht meinen Namen über eines meiner Werke setzen. Besonders gilt dies im vorliegenden Falle, da ich ja eigentlich nur eine Assistenten-Rolle hatte und der Löwenanteil an den Forschungen und Ergebnissen ihm gebührt. Der Grund, dass er die Feder mir überliess, liegt ebenfalls in seiner Überbürdung, und ich übernahm diese Mission als Auszeichnung mit jener Freude, wie der Sohn das Werkzeug seines Vaters übernimmt, um statt seiner zu arbeiten.

Um so mehr Freude verursachte mir das Werk, da eine jede Zeile desselben mir die unvergesslichen Stunden in Erinnerung brachte, welche wir — fern vom Getöse der Welt — in dieser arktischen Welt allein den Forschungen lebend — zusammen verbrachten. Ein jeder Schritt brachte etwas Neues, bei einem jeden Ausfluge lernten wir eine andere Stimmung kennen und beobachteten manchmal wirklich überraschende Wendungen. Auch Gefahr blieb nicht aus, und die Arbeit war wegen der grossen Entfernungen manchmal anstrengend, wegen der Primitivität der Winter-Gasthäuser der Uferortschaften auch unbequem, all dies vergisst man jedoch, wenn man an schön-klaren, kalten Wintertagen über die unendliche Eisdecke blickt voll Spannung, die wundersamen Rätsel dieser geheimnissvollen, stummen Welt zu lösen.

KAPITEL I.

DER TEMPERATUR-GANG DES BALATON IM WINTER.

In ganz Europa gibt es keinen zweiten See, dessen Eis die grossartigen Erscheinungen des Binnensee-Eises unter so günstigen Verhältnissen zeigen würde, wie der Balaton. Auf den grossen und tiefen Alpenseen bildet sich selten eine zusammenhängende Eisdecke, da sich im Laufe des Winters in ihrer tiefen, riesigen Wassermenge eine derart grosse Wärmemenge aufspeichert, dass die Entstehung eines starken Eispanzers verhindert wird. Die Eisdecke der grossen Seebecken in nördlicheren Gebieten ist wegen der Unbewohntheit ihrer Ufer und des äusserst rauhen Klimas einem eingehenderen Studium nicht zugänglich. Unser Balaton ist hingegen zufolge seiner mittleren Tiefe von 3 m der Schauplatz rascher Temperaturänderungen und wie es die Untersuchungen von SÁRINGER beweisen, folgt der Änderung der Lufttemperatur sehr rasch auch eine Änderung in der Temperatur des Wassers. Im Vergleiche zu den Alpenseen bildet sich daher auf ihm sehr bald ein mächtiger Eispanzer, auch zeigen sich hier rasch jene wundervollen Erscheinungen, welche von den Temperaturschwankungen des Eises verursacht werden und rasch verläuft auch das Schmelzen des Eises, weil das seichte Wasser auf leichte Weise sogar unter dem Eise durchwärmt wird, sobald am Frühlingsanfang die Strahlen der Sonne mit grösserer Energie durchdringen, vielleicht bis zum Grunde. Der kurze, meist milde Winter unseres Klimas genügt zur raschen Entfaltung der Erscheinungen von Bildung, Bewegung und Verschwinden des Eises. Auf den grossen und tiefen Wasserflächen der rauheren Gebiete bildet sich der Panzer viel langsamer, auch verstärkt er sich nur allmählich und in der dauernden Kälte zeigen sich jene Erscheinungen, die am Balaton zu so schönen Forschungen Anlass gaben, nur in geringerem Masse.

Bloss in Nord-Amerika, im Gebiete der Vereinigten Staaten kennen wir Seen, auf welchen die Forschung in gleicher Weise erleichtert und zugleich dankbar ist, wie am Balaton. Auf den Mendota- und Monona-Seen (Wisc.) wurden auch Forschungen über ähnliche Erscheinungen angestellt, wie solche die Beobachter am Balaton vorfanden.¹ Diese Becken sind tiefer als der Balaton,² weshalb die

¹ E. R. BUCKLEY: *Ice ramparts*; Transactions of the Wisconsin Academy, Vol. XIII. part I. p. 141—162. Madison, 1901.

² Über ihre mittlere Tiefe bekam ich keine Daten. N. M. FENNEMANN erwähnt in seiner Abhandlung von Jahre 1902: On the Lakes of Southern Wisconsin (Wisc. Geol. and Nat. Hist.

Temperaturschwankung des Wassers ruhiger ist. Hier gibt es wahrscheinlich auch eine «Sprungschicht», die HALBFASS im Balaton vergebens sucht, denn sie ist in demselben weder theoretisch, noch praktisch zu vermuten.¹ Auf der Oberfläche solcher Seen, deren tiefe Wassermassen die Kälte des Winters nur in sehr kleinem Masse verspüren, ist natürlich infolge der in der grossen Masse aufgespeicherten Wärmemenge keine zwischen so grossen Grenzen sich bewegende Temperaturschwankung des Eises zu beobachten, wie am Eise des Balaton, dessen Abkühlung durch keine grosse Wärmemengen aufspeichernde Wassermasse gehemmt wird, da das Wasser im Winter, unter dem Eise, auch in der grössten Tiefe um vieles unter $+4^{\circ}$ ist und jene Schwankungen, die wir bei unseren unzähligen Beobachtungen in dem unmittelbar unter dem Eise befindlichen Wasser feststellten, waren kleiner als die möglichen Fehler unserer Instrumente und deren Ablesung.² Die sich zeigenden Abweichungen in der Temperaturverteilung sind, falls sie nicht von instrumentalen oder Ablese-Fehlern herrühren, als ausschliesslich zufällige zu betrachten. Ganz dezidiert kann ich behaupten, dass die Mitteltemperatur des eisbedeckten Balaton ganz bis zum Grunde derart nahe zu 0° ist, dass die Abweichungen weder in der Praxis in Betracht zu ziehen sind, noch Ursachen bemerkbarer Erscheinungen sein können. Allein die mit dem mehr als $+4^{\circ}$ warmen Schlamm in Berührung stehende Wasserschicht besitzt manchmal eine Temperatur von $+2$ bis $+3^{\circ}$. Da diese Schicht jedoch dichter und schwerer ist, als das 0 -gradige Wasser, entsteht keine Bewegung nach oben und ihr Einfluss auf die Bildung und Erhaltung der Eisdecke ist äusserst gering. Demzufolge wird zu der Zunahme, beziehungsweise Abnahme der Dicke des Eises jene Menge Wärmeverlust oder Gewinn benötigt, die zum Gefrieren des 0 -gradigen Wassers, respektive Schmelzen des 0 -gradigen Eises genügt. Natürlich verhält sich die Sache bei Seen, in deren tiefen Wassermassen eine bedeutende Wärmemenge aufgespeichert ist, welcher Umstand den Wechsel der Eisdecke lediglich ruhiger gestaltet, ganz anders.

Eine weitere wichtige Erklärung für die auffallend lebhaftige Beweglichkeit,

Survey. Bull. No. VIII. Ed. ser. no. 2.), dass der Mendota-See eine grösste Tiefe von 84 Fuss oder 25.6 m besitzt (S. 38.), spricht jedoch nicht von der mittleren Tiefe. BUCKLEY gibt in seinem genannten Artikel auf S. 1 die Fläche des Sees mit $15.2 \square$ Meilen, und das Volumen mit 16,880.000 Kubikfuss an. Aus diesen Zahlen wäre die mittlere Tiefe rechnerisch zu erhalten, sie sind jedoch unrichtig, da wir 0.004 Fuss erhalten, was eine Unmöglichkeit ist.

¹ Wie wir weiter unten sehen werden, gibt es doch eine «Sprungschicht» und zwar an der Oberfläche des Schlammes. Der manchmal mehrere Meter dicke weiche Schlamm ist als eine tiefe Wasserschicht zu betrachten, deren Temperatur auf die Lufttemperatur nur sehr träge reagiert. Im Sommer ist der Schlamm immer bedeutend *kühler* als das Wasser und im Winter um mehrere Grade *wärmer* als das Wasser.

² So z. B. ergibt sich eine allgemeine Fehlerquelle aus der eigenen Temperatur des Quecksilber-Fadens im Thermometer von Negretti-Zambra, deren Beachtung meist vernachlässigt wird. Gerät das Thermometer aus 0° Wasser in eine Lufttemperatur von -20 bis -25° , gefriert sofort die nasse Oberfläche des Thermometers und er liefert bei der Ablesung eine zu kleine Zahl, ist hingegen die Temperatur der Luft wärmer als die des Wassers, so ist der Fehler entgegengesetzt. Setzen wir nämlich voraus, dass bei der Umdrehung des Thermometers ein Quecksilberfaden mit einer Ausdehnung von 32° sich losreisst. Die bekannte Formel $d = \frac{n(T-t)}{6400}$ in welcher n die Länge des Fadens, T die Temperatur der Quecksilberkugel, t die des Fadens, d den Fehler bedeutet, so ergibt das für 0° Wasser und -20° Lufttemperatur einen Wert von -0.1° , für $+20^{\circ}$ Lufttemperatur $+0.1^{\circ}$ für n , welcher Fehler die Abschätzung der Zehntelteile der Grade schon illusorisch werden lässt.

rasche Änderung und für die wechselvollen Erscheinungen des Eises am Balaton finden wir in dem besonders unruhigen winterlichen Witterungsgang Ungarns. Unser Land ist im Winter gerade der Kampfplatz des asiatischen und des atlantisch-ozeanen Klimas. Bald verspüren wir die Wirkung des asiatischen Monsuns, bald wieder die des ständigen Westwindes der gemässigten Zone, samt seinen Wirbeln, den Cyklonen. Wird die westliche Luftströmung abgeschwächt, bekommen wir vom Gebiete des eurasischen hohen Luftdruckes Ostwind, begleitet von strenger Kälte und klarem Wetter. Das Thermometer sinkt tief unter 0° und ausserdem verstärkt das klare Wetter die Wärme-Ausstrahlung des Eises. Gewinnt jedoch der Westwind die Oberhand, so springt das Thermometer in einer Nacht um $15-20^{\circ}$, es tritt allgemeines Schmelzen und nasses Schneewetter ein. Die beigefügten Grafikon der täglichen Mitteltemperatur geben ein klares Bild dieser Witterungssprünge.

All diese Umstände tragen dazu bei, dass der Eispanzer des Balaton zur Stätte solcher Erscheinungen wird, welche bisher noch nirgends Gegenstand eines wissenschaftlichen Studiums waren. Sie verhalten zur Aufstellung allgemein gültiger Regeln, werfen ein klärendes Licht auf die Erscheinungen des polaren Eises, und gaben sogar zu interessanten Erwägungen bezüglich der Statik und Dynamik der Erdkruste Veranlassung.

* * *

Über das Gefrieren des Balaton, über die Geschichte des Eises und dessen Schmelzen verfügen wir über Daten von mehr als zehn Jahren. Leider sind diese Daten nicht Ergebnisse einer regelmässigen Beobachtung, gegen welche sich sehr grosse Hindernisse häuften. Das Studium des Eises ist nicht ohne Gefahr, ist meist eine sehr schwierige Aufgabe und erfordert unter allen Umständen einen besonders in naturwissenschaftlichen Dingen geübteren Beobachter. Die grösseren Ortschaften befinden sich entfernt vom See und man kann es nicht fordern, dass die intelligenteren Beobachter bei jedem Wetter, in Regen und Wind zum See hinabsteigen sollen, um die Änderungen zu beobachten. Das hätte unsere Beobachter, die ohnehin mit ausserordentlicher Zuvorkommenheit, beinahe Aufopferung die meteorologischen, limnologischen etc. Verhältnisse aufzeichneten, zu stark in Anspruch genommen. Übrigens wurde die Bedeutung des Eisstudiums erst in den letzten Jahren erkannt, und seither erhielten wir wirklich einige hochwichtige Beobachtungsreihen.

Die Geschichte des Eises während der Jahre 1892—1900 schrieb J. K. SÁRINGGER,¹ die Wiederholung halte ich daher für überflüssig. Seither erhielten wir die Daten von den Wintern 1900—901, 1901—902, 1902—903, 1903—904, 1904—05, jedoch lasse ich mich auch hier in keine detaillierten Beschreibungen ein, da die Grafikon der Figuren 1—12 samt den beigefügten Erklärungen ein weit klareres Bild von den Erscheinungen bieten. In jeder der Figuren bedeutet T die tägliche Mitteltemperatur in Keszthely; V die Komponenten des Windes (s. weiter unten); \mathcal{F} die zur Verfügung stehenden Aufzeichnungen über die Mächtigkeit des Eises; I die Integrallinie der Temperaturen.

Figur 1. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1892—93. Die Temperaturkurve zeigt uns die Tagesmittel von Keszthely, ohne

¹ Resultate der wiss. Erforsch. d. Balaton. Bd. I. Teil V. Abschnitt I. Die Temperaturverhältnisse des Sees. S. 45—48.

jede Reduktion. Der erste frostige Tag war am 24. November, zu welcher Zeit sich stellenweise am See Eis bildete. Anfangs Dezember war die Witterung etwas wärmer, infolge dessen das Eis sich nicht verstärken konnte. Erst am 8. Dezember sank die Temperatur wieder, worauf sich eine dicke Eiskruste bildete, die auch während der wärmeren Tage um die Mitte des Monates nicht schmolz. Am 24. Dezember trat grosse Kälte ein, das Eis wuchs ungemein stark und erreichte

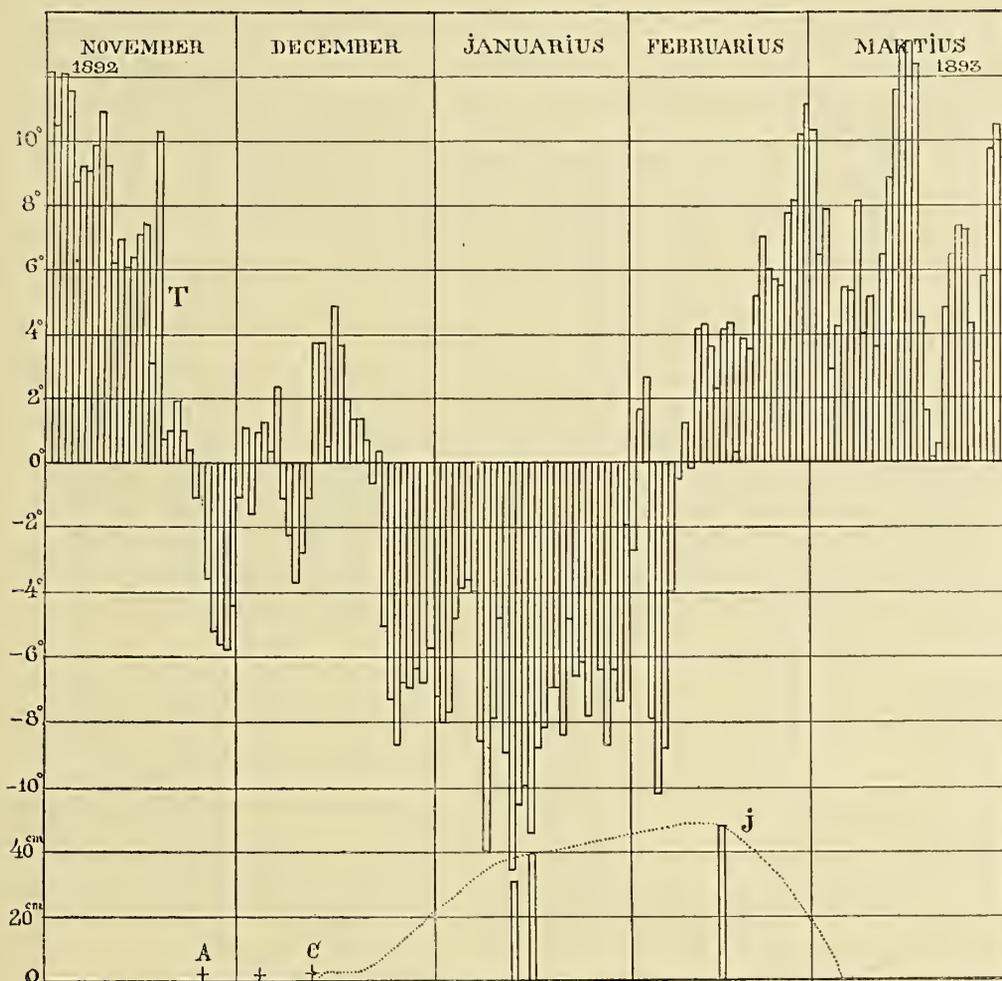


Fig. 1. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1892—93.

während der ungewöhnlich lang anhaltenden Kälte eine der grössten bisher beobachteten Dicke: 46 cm (Fig. 16). Sowie die Temperatur im Februar rasch zunahm, schmolz auch das Eis plötzlich, und verschwand anfangs März gänzlich. Der Temperaturgang von Balaton-Füred stimmt mit dem von Keszthely beinahe vollkommen überein, daher wir eine separate Darstellung für überflüssig erachteten. *A* bedeutet: die Enge von Szántód sei zugefroren. *C* der ganze See sei völlig zugefroren. Bei Kenese hatte das Eis am 13. I. 28—32 cm, in der Nähe des Landungsplatzes der Tihanyer Fähre am 15. I. 28 cm, zwischen Révfülöp und Boglár am 16. I. 35—40 cm, unter B-Füred am 14. II. 46 cm Dicke.

Figur 2. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton, im Winter 1893—94.

Angeblich ist die Enge von Szántód seit 20. November ständig zugefroren. Von Keszthely meldet man erst am 24. XII. hie und da schwimmendes Eis. Nach Angabe des «Keszthelyi Hirlap» (Journal von Keszthely) bildete sich erst am

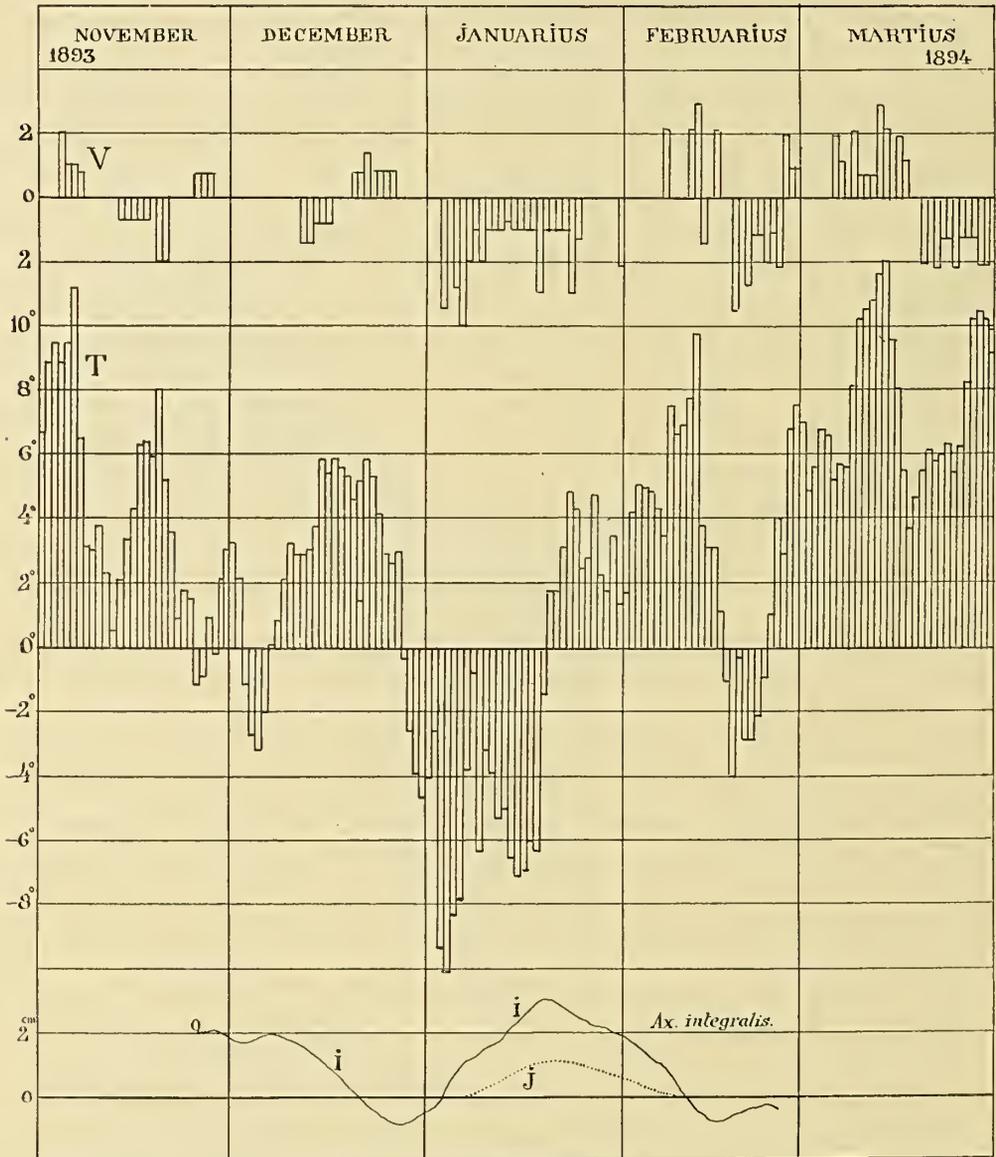


Fig. 2. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1893—94.

11. Januar eine zusammenhängende Eisdecke, jedoch wurde das Fischen schon am 11. II. eingestellt. Endgültig verschwand zwar das Eis erst am 1. III. Neben den Figuren befindet sich die negative Integrallinie der Temperaturen von dem ersten Frosttage an. Es ist dies ein sehr milder Winter, wenige Tage mit Temperaturen unter Null. Übrigens sind auch die Daten nur wenige. Die Figur betreffend die Winde enthält die täglich algebraisch addierte und auf die N-S-Achse

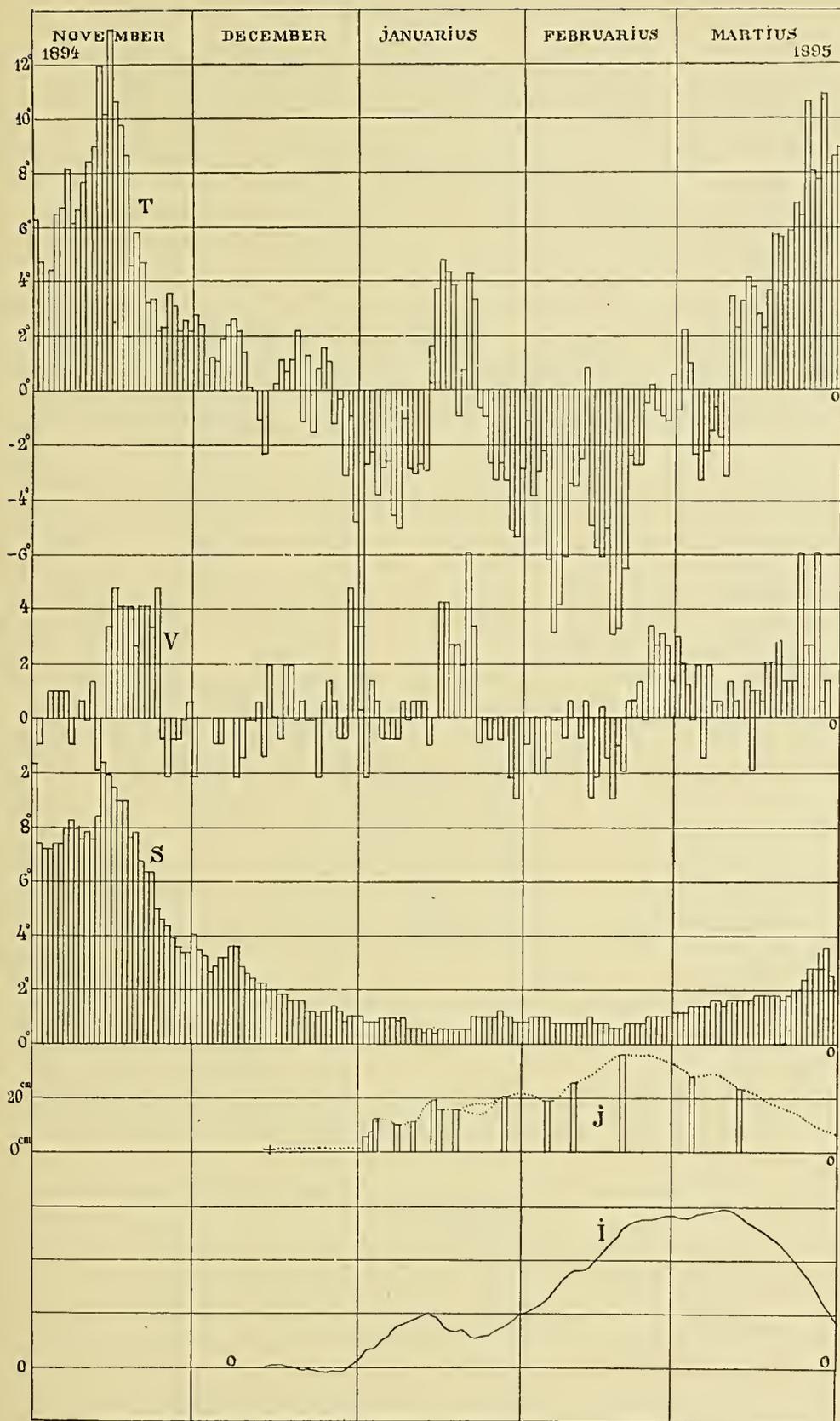


Fig. 3. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1894—95.

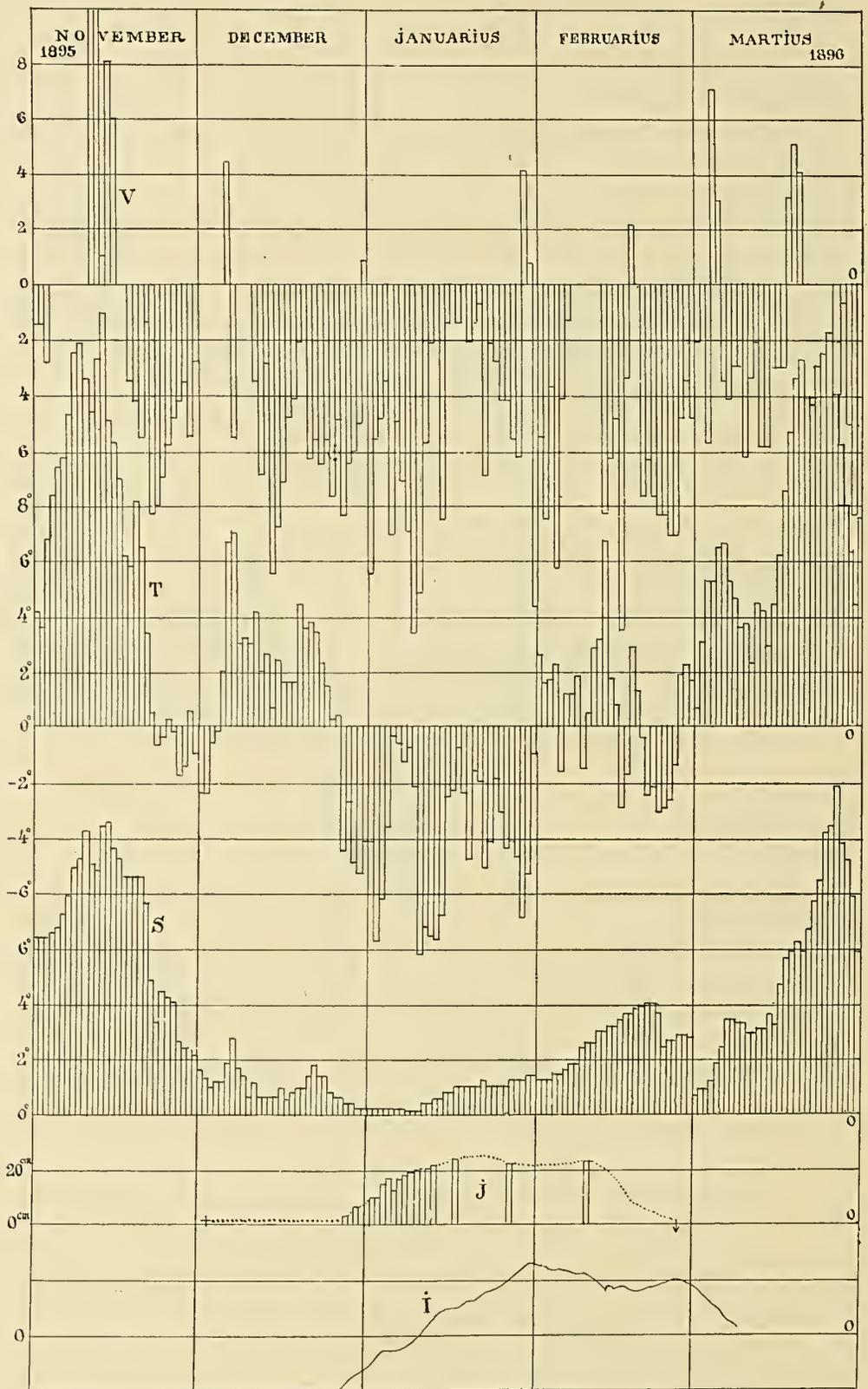


Fig. 4. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1895-96.

projizierten Komponenten des Windes. Die E und W Winde erscheinen daher in der 10 gradigen Skala mit vollem Werte, E Winde in negativem, diejenigen von W in positivem Sinne; die N und S Winde besitzen keine Ordinate; von den NW, NE, SW und SE Winden kommt nur die E und W Komponente in Betracht, ihr Grad wurde im Verhältnisse von $\cos 45^\circ$ graphisch verkleinert.

Figur 3. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1894—95.

Verhältnismässig sind die Daten für dieses Jahr zahlreich. Die detaillierte Beschreibung des Entstehens und Schmelzens des Eises s. im zit. Werke SÁRINGER'S

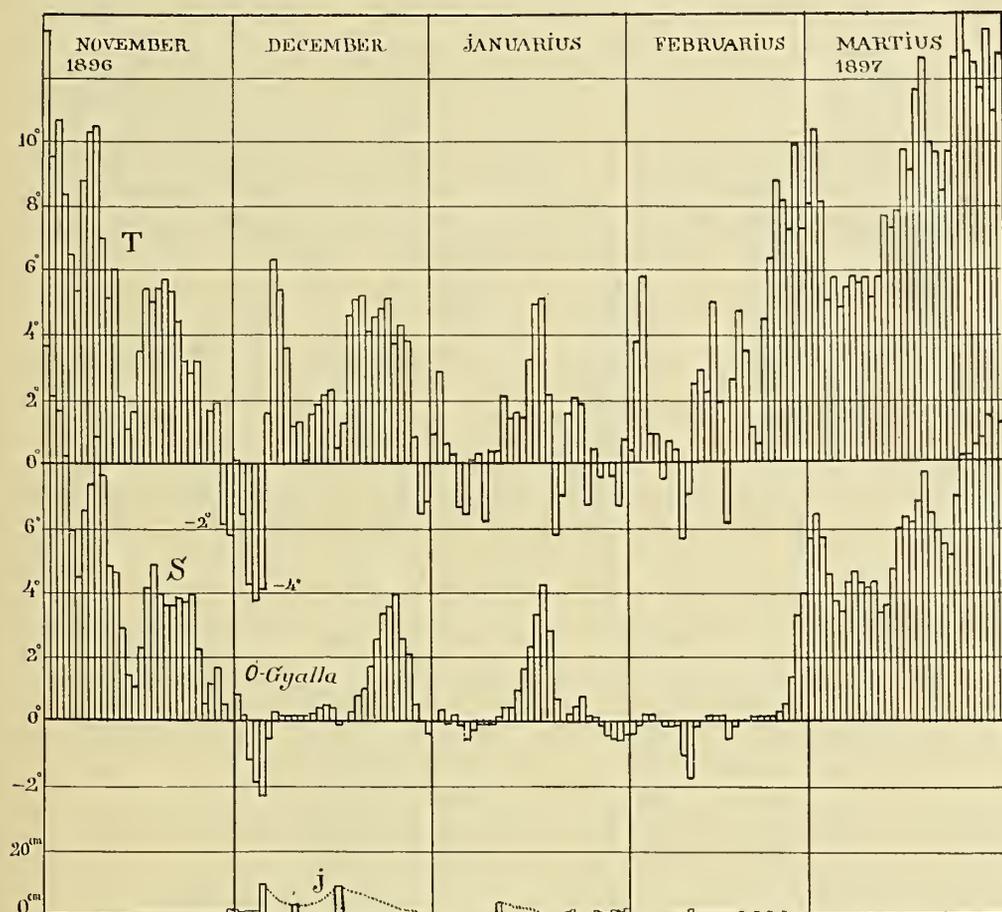


Fig. 5. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1896—97.

Die Figur enthält die Temperaturen von Keszthely (*T*), die Windkomponenten, wie oben (*V*), die Dicke des Eises vor Balatonfüred (*J*), die Temperaturänderung des Wassers im Sió-Kanal (*S*) und endlich die Integrallinie der Temperaturen von Keszthely (*I*). Von diesem Jahre besitzen wir auch Aufzeichnungen von der Temperatur des Sió, welche ich auch aufzeichnete, jedoch für unverlässlich halte.

Figur 4. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1895—96.

Sie enthält die Luft-Temperaturen von Keszthely, die Temperatur des Sió-Wassers, die Darstellung der Windkomponenten (*V*), die Integrallinie der Tem-

peraturen (I) und die Dicke des Eises am Balaton. In diesem Jahre wurde die Temperatur der Bodenoberfläche in Ó-Gyalla registriert, leider nur vom 1. Januar an. Das daraus sich ergebende Graphikon deckt sich merkwürdig genau mit dem negativen Teil der Kurve von den Lufttemperaturen in Balaton-Füred, das heisst zur Zeit, als die Temperatur unter den Gefrierpunkt sank, reagiert jedoch auf

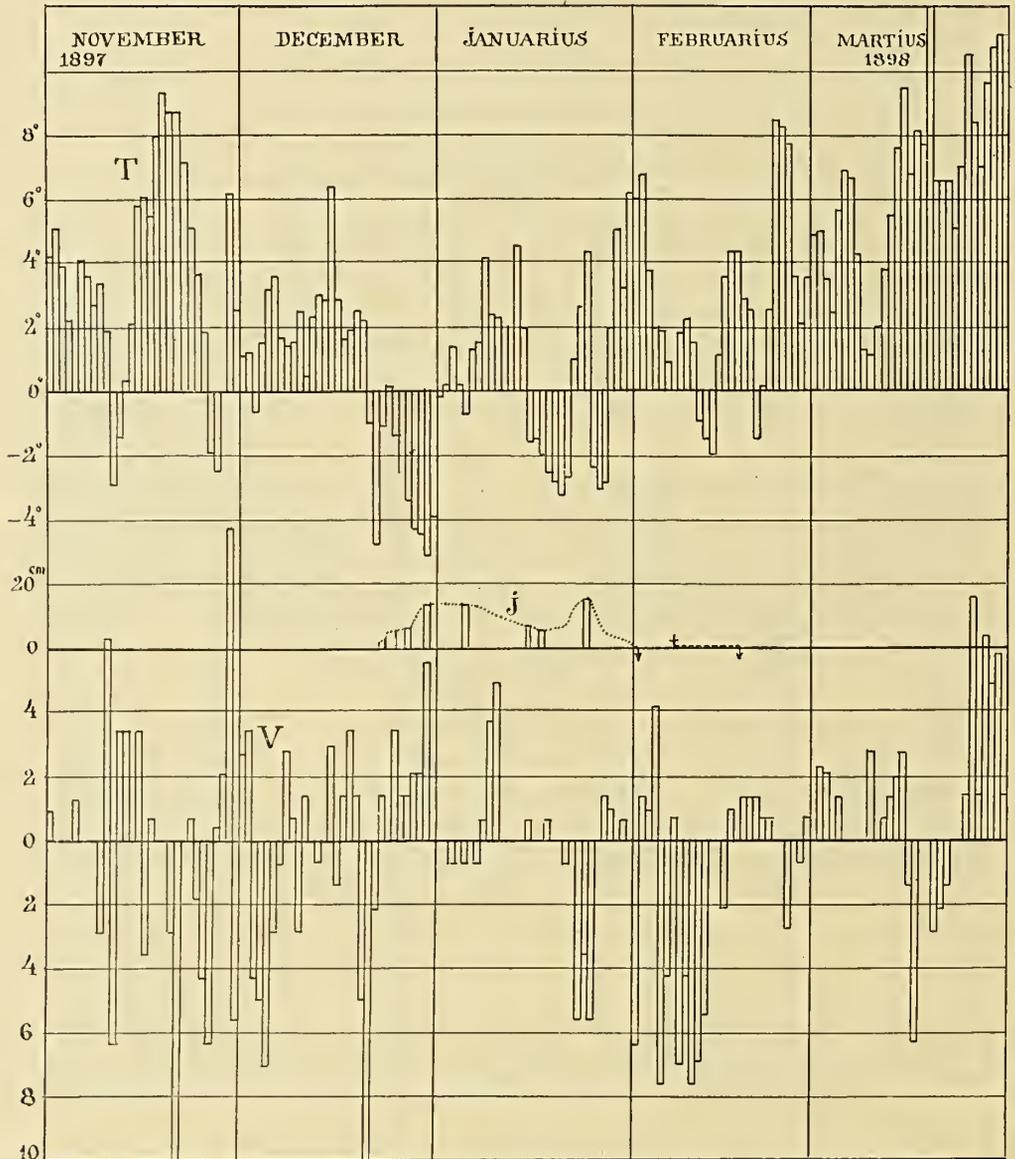


Fig. 6. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1897—98.

inzwischen auftretende wärmere Tage nicht. Über das Eis sind wir im Besitze guter Daten von Herrn GYAPAI aus Balaton-Füred. Die ausführliche Beschreibung des Verlaufes des Winters siehe im zit. Werke v. SÁRINGER. Die Darstellung der Winde bezieht sich hier auf die Achse SE—NW, die NE und SW Winde kommen daher darin mit ihrem vollständigen negativen, beziehungsweise positiven Wert zur Geltung, während die Komponente der SE und NW Winde gleich 0 ist.

Figur 5. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1896—97.

Temperaturgang in Keszthely, Bodentemperatur in Ó-Gyalla, Dicke des Eises. Dies war ein sehr milder Winter, ausführlich siehe bei SÁRINGER.

Figur 6. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1897—98.

Lufttemperatur in Keszthely (T); Figur der Winde auf die NW—SE Achse; Dicke des Eises. Milder Winter. Ausführliche Beschreibung siehe bei SÁRINGER.

Figur 7. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1898—99.

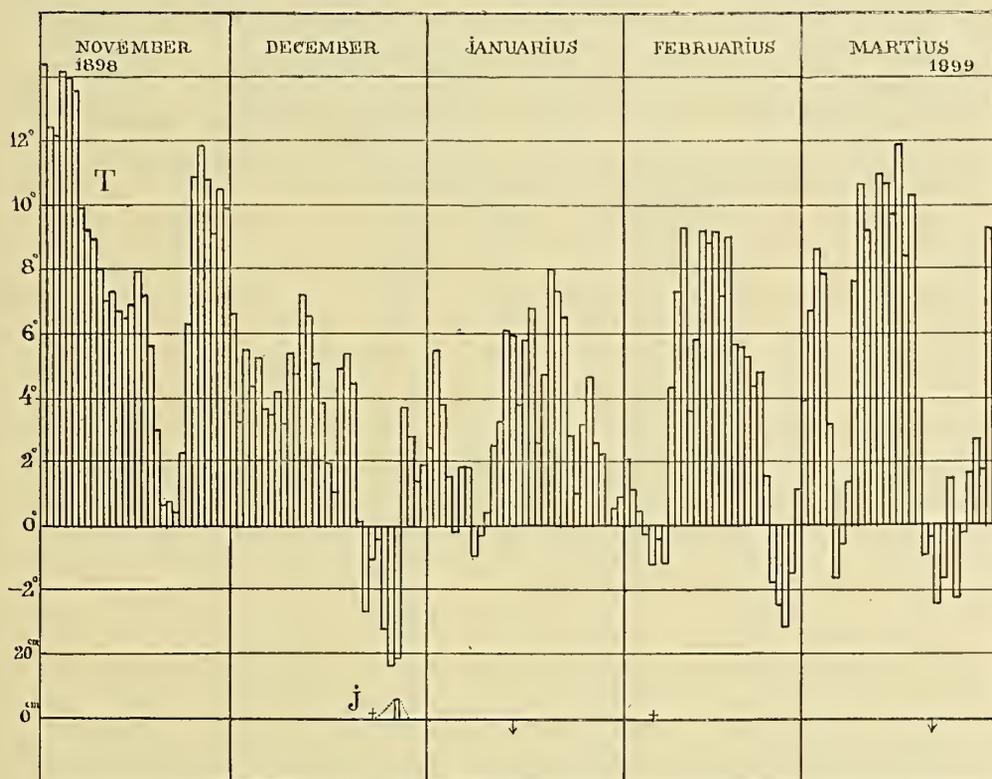


Fig. 7. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1898—99.

Lufttemperatur von Keszthely, Dicke des Eises. Von sämtlichen vielleicht der wärmste Winter, zur Eisbildung kam es kaum. Ausführlich bei SÁRINGER zit.

Figur 8. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1899—1900.

Lufttemperaturen von Keszthely, Windkomponenten auf die NW—SE Achse, Dicke des Eises. Strenge Kälte von kurzer Dauer, ansonsten milder Winter. Ausführliche Beschreibung bei SÁRINGER zit. p 48.

Figur 9. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1900—901.

Lufttemperaturen von Keszthely, deren negative Integrallinie, Figur der Winde auf NW—SE Achse, Dicke des Eises. Ein nahezu normaler, strenger Winter, während dessen der See von dickem Eise dauernd bedeckt war. Auffallend ist die

Übereinstimmung des Grafikons der Eisdicke und der Integrallinie. Die Geschichte des Eises ist kurz folgende. In Boglár frohr es am 1. I.; in Keszthely entstanden an diesem Tage nur Eisscherben, in der Nacht vom 1-ten auf den 2-ten frohr die

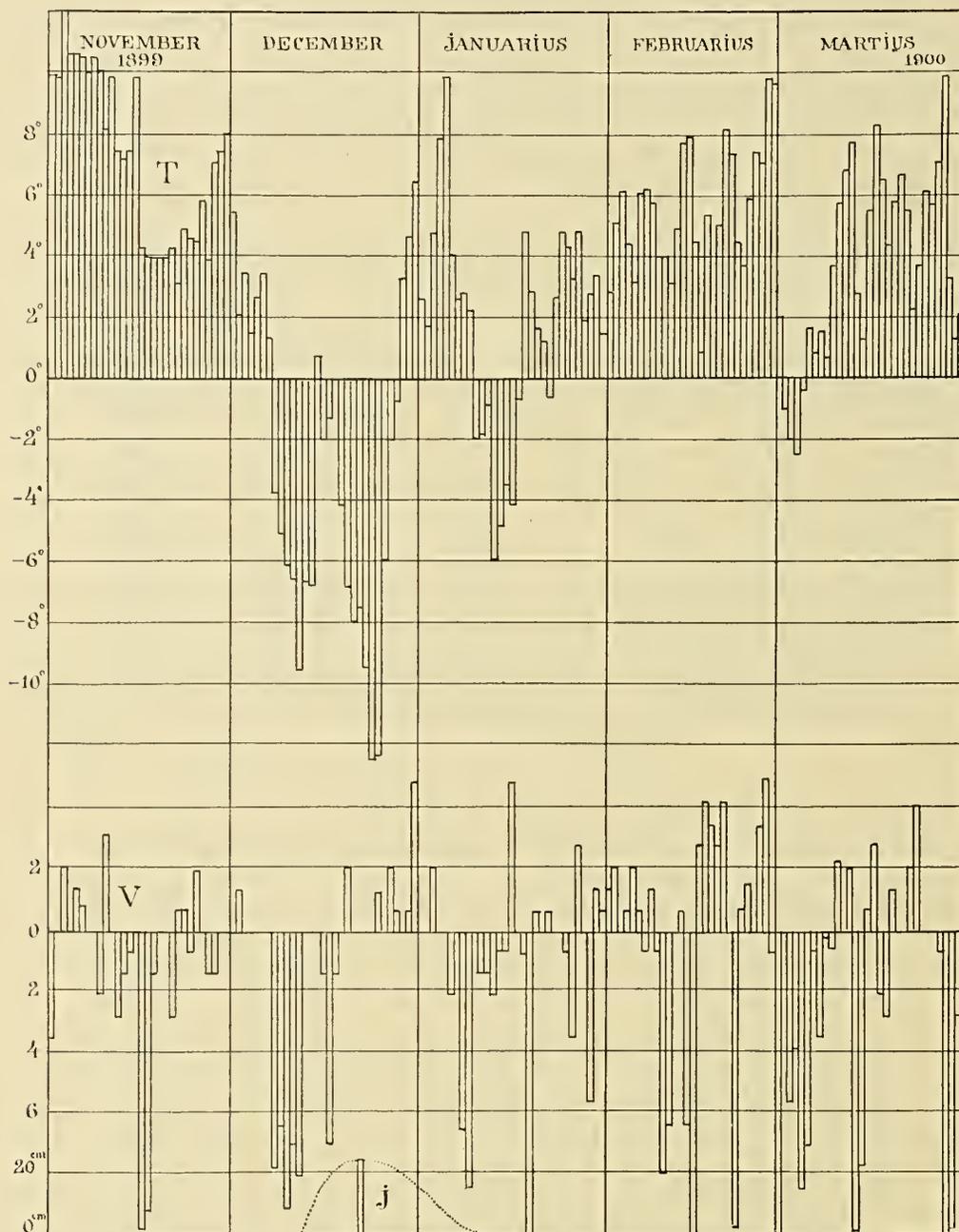


Fig. 8. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1899—1900.

ganze Keszthelyer Bucht zu; am 2-ten Nachmittag ist das Eis 3 cm. dick. In Balaton-Füred frohr der See bei starkem Nordwinde am 2-ten, nur im Süden ist noch offenes Wasser zu sehen. Am 3. I. beträgt die Dicke des Eises daselbst 8 cm. In Siófok wurde das im Bilden befindliche Eis anfangs hinausgeschleudert,

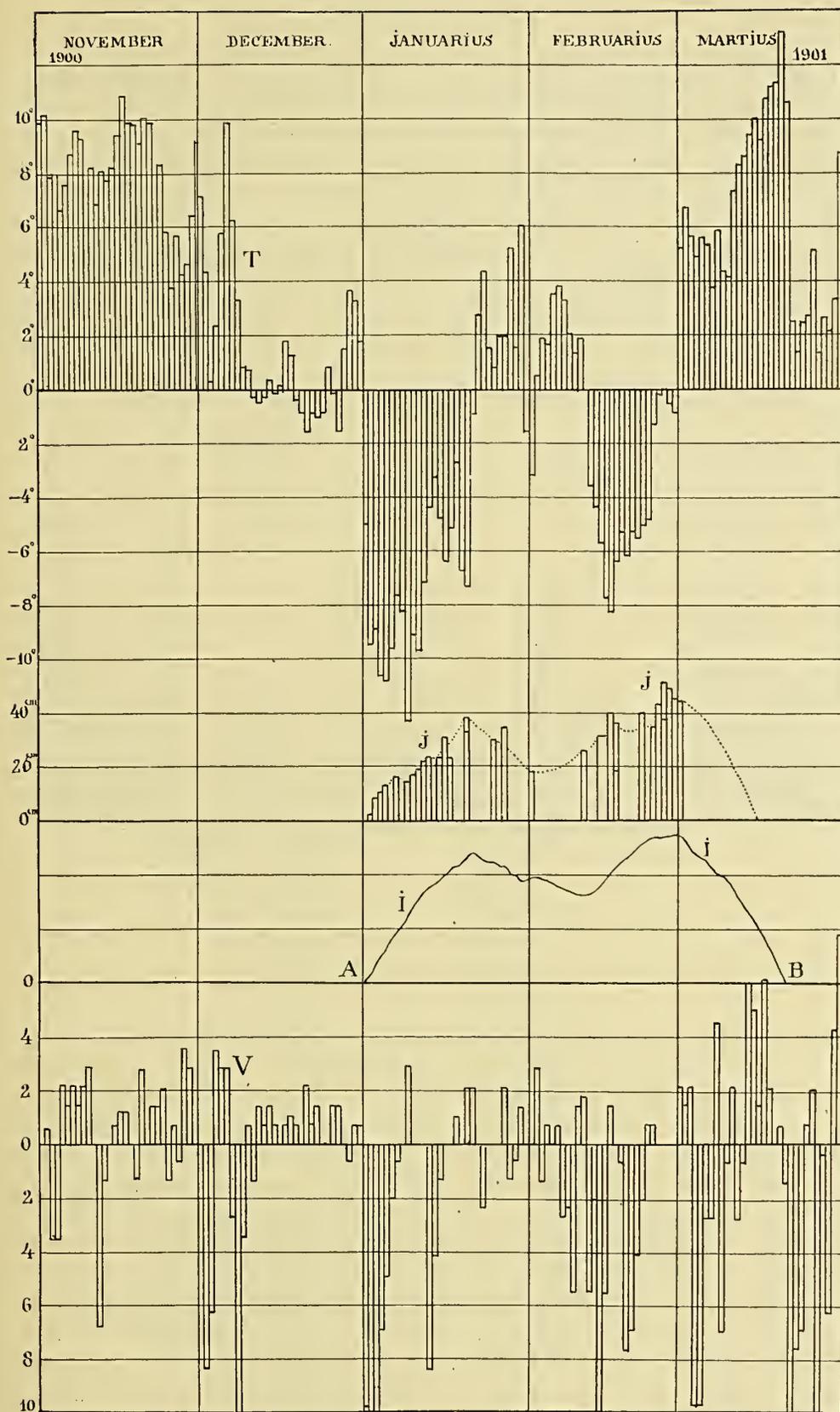
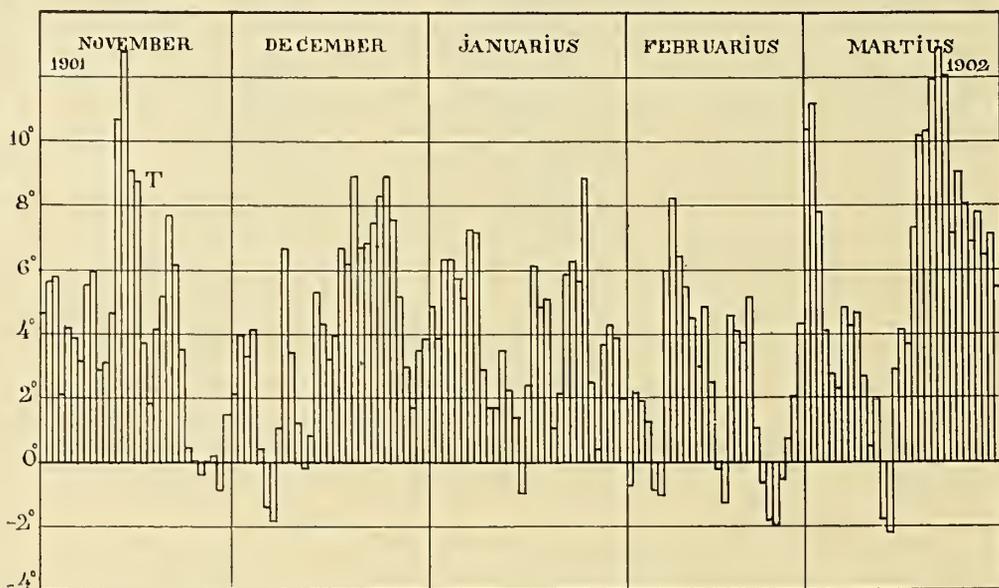


Fig. 9. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1900—901.

bald fror es jedoch auch hier zu. Am 4. I. beträgt die Dicke des Eises bei Boglár 20—35 cm. Bei Balaton-Füred 10 cm.; in Keszthely 6 cm. Am 5. I. in Balaton-Füred 13 cm. Nach Beobachtungen des Johann VAS kann man am 7. I. sich am Eise noch nicht sicher bewegen. Bei Keszthely ist das Eis 16 cm. dick. Am 9. I. erreicht das Eis in Balaton-Füred 15 cm., am 10. I. 17 cm., am 11. I. 19 cm. Dicke. Nach Lóczy beträgt die Dicke des Eises in der Bucht von Kereked in nächster Nähe des Ufers am 13. I. 22 cm., innerhalb der «Eisbrücke» 20 cm., zwischen Tihany und Füred 22 cm., unter dem Tihanyer Kloster 22·4 cm., im Hafen der Fähre von Tihany 22 cm., in der Gegend von Zamárdi 45 cm. (gestautes Eis). Am 15. I. ist das Eis vor Balatonfüred 23 cm. dick, am 16. I. bei Keszthely 30—31 cm. Am 22. I. zog über den See ein Gewitter, von diesem Tage an beginnt die Zerstörung des Eises. Am 25. I. beträgt die Dicke des Eises vor



Figur 10. Der Gang der Lufttemperatur und das Eis des Balaton im Winter 1901—902.

Balatonfüred 29 cm., am 31. I. bedeckte das Eis dicker Schnee. Am 1. II. ist das Eis vor Keszthely 18 cm. dick; nach Lóczy am 11. II. zwischen Alsóörs und Siófok 26 cm., folglich wächst es wiederum, am 14. II. vor Balatonfüred 32 cm., bei Keszthely jedoch am 17. II. nach Lovassy nur 18 cm., aber ebenfalls nach seinen Angaben am 24. II. 32·5 cm. Lovassy meldet weiters, dass auch der Zala-Kanal zufror, sogar auch der untere Teil des Grabens von der warmen Quelle Hévíz in einer Länge von 1 km. Am 25. II. ist das Eis vor Balatonfüred 38 cm. dick, am 28. II. ebendort, 2 km. vom Ufer entfernt 45 cm. Am 2. III. wurde die Oberfläche des Eises breiartig, am 5. III. beginnt der Wind sogar schon das Eis zu zerstören, am 6. III. sind schon grössere Flächen frei von Eis; von nun an ist der Zerstörungsprozess beständig. Am 12. III. wütet ein Gewitter mit Wiederholungen am 13. und 14. Bei Boglár verschwand das Eis am 14. in der Früh, in Balatonfüred erst am 15., vor Akarattya blieb jedoch noch immer ein wenig Eis am See. Dem Zerstörungswerke war besonders der starke W Wind behilflich, welcher auf dem Siófoker Molo grosse Barrikaden bildete.

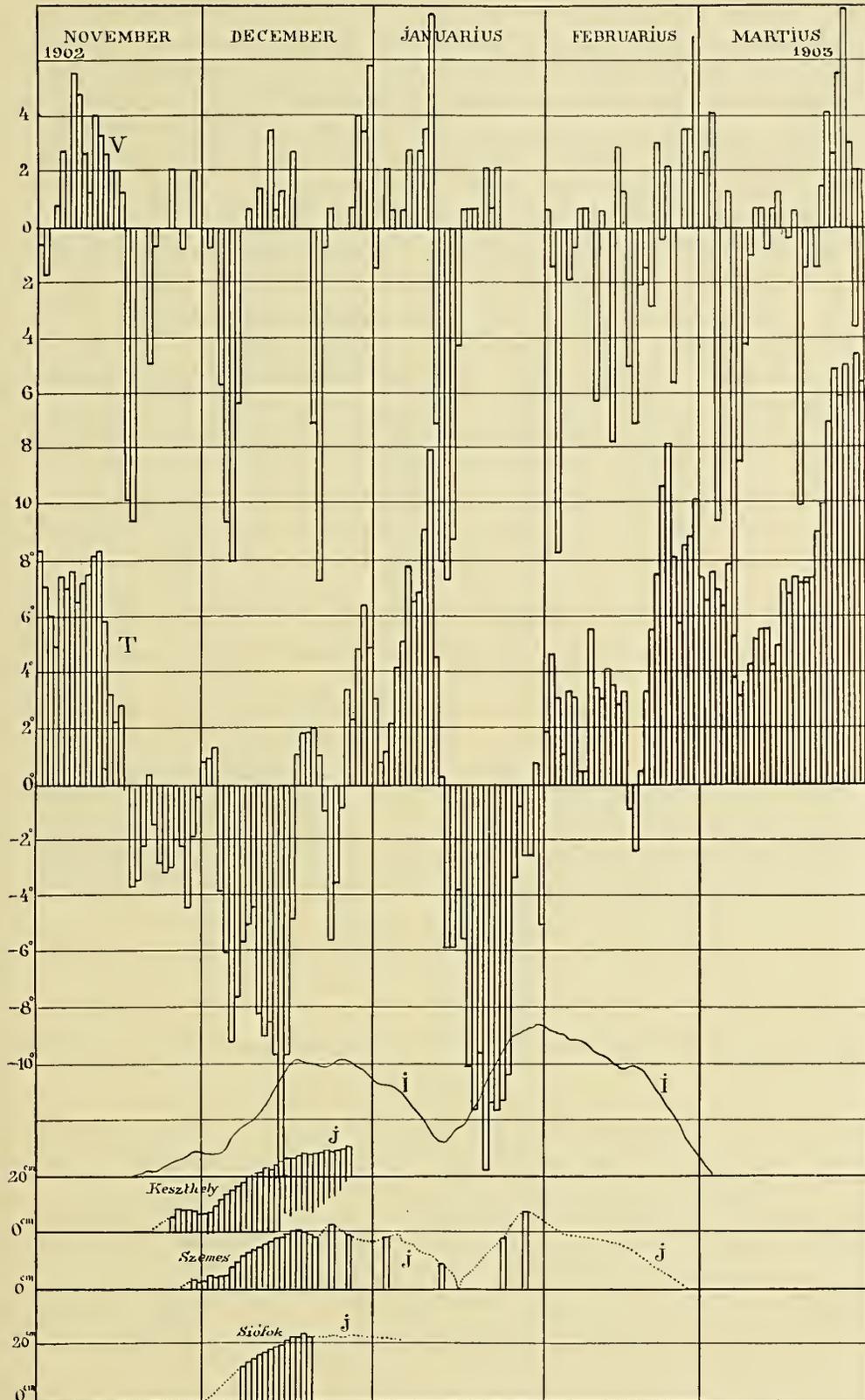


Fig. 11. Der Temperaturgang und das Eis des Balaton im Winter 1902—903.

Dieser Winter war für das Studium der Eisverhältnisse des Balalon schon darum wichtig, weil vom 26. Januar bis zum 6. März auch ich selbst die Zeit am Eise verbrachte und sehr wichtige Beobachtungen anstellte. Obwohl ich im Besitze einer Menge von Daten über die Dicke des Eises bin, verwende ich dieselben hier nicht, da sie von den verschiedensten Orten stammen und auch an ein und demselben Tage sehr verschiedene Daten liefern, daher nur zu einer Unklarheit in der

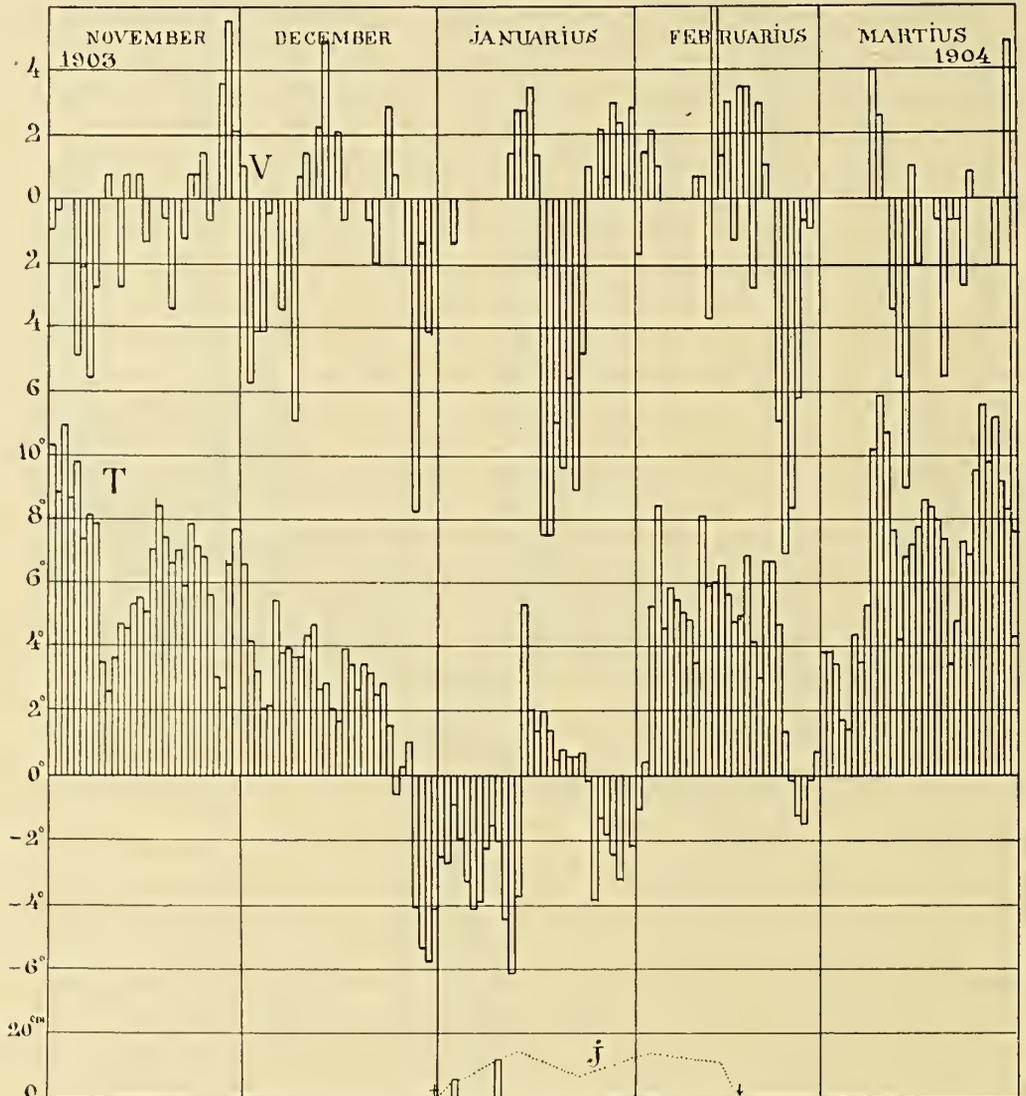


Fig. 12. Temperaturgang und das Eis des Balaton im Winter 1903—904.

über die Dicke des Eises verfertigten Figur beitragen würden. In diesem Jahre mass ich die grösste Dicke, am 26. Februar 1901, war das Eis 51 cm. dick. Den darauffolgenden Tag fand ich es einen km. näher zu Akarattya 49 cm. dick.

Figur 10. Der Gang der Lufttemperatur und das Eis des Balaton im Winter 1901—902.

Dieser Winter ist der mildeste des Dezenniums, in welchem die Beobachtungen angestellt wurden. In der Figur teile ich den Temperaturgang von Keszthely

mit. Eis bildete sich in der ersten Woche Februars, verschwand aber sogleich, nachher froh der See am 25. II. von neuem 3 cm. dick zu, dieses Eis wurde jedoch vom Winde ebenfalls zerstört, so dass man für die Eisgruben das Eis aus dem See fischen musste.

Figur 11. Der Temperaturgang und das Eis des Balaton im Winter 1902—1903.

Die Figur enthält den Gang der Temperatur in Keszthely, die Windverhältnisse bezogen auf eine NW—SE Achse, die Dicke des Eises, die negative Integrale der Temperatur. Die Beobachtung des Eises wurde in diesem Jahre anfangs besonders genau versehen, da in Keszthely Prof. v. LOVASSY, in Siófok Schiffskapitän AMANCSICS, in Szemes aber Stationschef JOSEF KÉTH tag-täglich das Eis beobachteten. Leider mussten jedoch v. LOVASSY am 27. Dezember, AMANCSICS am 5. Januar, KÉTH am 6. Januar die Beobachtungen einstellen, nachdem das Eis längs dem Ufer zu schmelzen begann und das weiter seewärts befindliche, bis Ende Februar anhaltende Eis unnahbar war. Von der zweiten Hälfte des Januar und der ersten des Februar besitzen wir nur einige Aufzeichnungen von LÓCZY und meine Beobachtungen, deren Spärlichkeit nur eine sehr allgemeine Einsicht in die eigentlichen Verhältnisse gewährt. Die Ähnlichkeit der Integrale und der Kurve der Eisdicke fällt auch sogleich ins Auge. Das Eis schmolz nach und nach, jedoch höchst ungleichförmig.

Figur 12. Temperaturgang und das Eis des Balaton im Winter 1903—1904.

Wir besitzen allein über den Temperatur- und Windwechsel genaue Daten. Eis gab es sehr wenig, nur anfangs Januar war es zu betreten, wurde aber sehr bald zerstört und am 16. Februar vom Winde auf das südliche Ufer getrieben.

* * *

Alle diese Daten liefern ein genügendes Material, um uns über Bildung sowie Zerstörung des Eises und dergleichen einen übersichtlichen Begriff bilden und allgemein gültige Regeln feststellen zu können. Der grosse Umfang des Materiales ist hier nicht ersichtlich, da eine übersichtliche Zusammenstellung desselben gänzlich unmöglich wäre, jedoch auch garnicht notwendig ist, nachdem die allgemeinen Gesetze auch so schon klar hervortreten und streng nachweisbar sind. Unsere allgemeinen Ergebnisse sind nun folgende.

A) Die Witterungsverhältnisse im Winter in der Umgebung des Balaton.

Die winterlichen Witterungsverhältnisse der Balatongegend sind, wie in ganz Mittel-Europa, sehr veränderlich und unbeständig. Es gibt sehr strenge und sehr milde Winter. So beträgt z. B. die Temperatur im Mittel für die 3 Wintermonate des Jahres 1892—1893 in Keszthely -2.1° , im Jahre 1901—1902 dagegen dortselbst $+3.47^{\circ}$. Die Temperaturen im Mittel ergaben während der Zeit unserer Beobachtungen in den Wintermonaten folgende Werte:

Winter:	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/1900	00/01	01/02	02/03	03/04	Mittel
Dezember:	-1.2	+2.1	+0.6	-1.1	+1.9	+0.4	<u>+2.8</u>	<u>-2.6</u>	+1.5	+4.1	-2.6	+2.0	+0.66
Januar:	<u>-7.6</u>	-2.2	-1.6	-3.9	+0.8	+0.7	+3.2	+1.7	-4.3	<u>+4.0</u>	-2.0	+2.5	-0.72
Februar:	+2.4	+3.2	<u>-3.8</u>	+0.5	+3.1	+2.6	+3.4	<u>+5.5</u>	-2.0	+2.3	+4.3	+4.0	+2.12
Im Mittel:	<u>-2.10</u>	+1.03	-1.60	-1.50	+1.93	+1.23	+3.13	+1.53	-1.60	<u>+3.47</u>	-0.10	+2.83	+0.69

Diese Tabelle zeigt schon, dass 1. der Winter in dieser Gegend sehr veränderlich ist und auch während der Beobachtungen sehr abwechselnd war; 2. waren die Winter während dieser Beobachtungen — zu unserem lebhaften Bedauern — viel milder als gewöhnlich. Die mittlere Temperatur in Keszthely betrug während der drei Wintermonate auf Grund der Daten von SÁRINGER¹ und RÓNA-FRAUNHOFER²:

Dezember	Januar	Februar	
— 0·2	— 1·6	+ 0·3	(SÁRINGER)
0·0	— 1·3	+ 0·8	(RÓNA-FRAUNHOFER)

Von diesen erscheint uns die letztere als wahrscheinlich, da sie sich auf 30jährige Daten stützt und mit der grössten Umsicht bestimmt ist.³ Diese Temperaturen in Betracht gezogen, war während der Zeit der Beobachtungen der Dezember um 0·66^o, der Januar um 0·58^o und der Februar um 1·32^o wärmer, besonders war also der Februar wärmer, welcher Umstand in grossem Masse für das Studium ungünstig war.

Nach SÁRINGER waren die mittleren Extreme des Winters folgende:

Zeitabschnitt	Keszthely 1874—1893			Bal.-Füred 1886—1894		
	Max.	Min.	Schwankung	Max.	Min.	Schwankung
Dezember	8·9	— 8·9	17·8	10·0	— 9·6	19·6
Januar	6·3	— 10·8	17·1	6·7	— 12·2	18·9
Februar	9·5	— 8·3	17·8	9·1	— 10·7	19·8
Winter	8·2	— 9·3	17·5	8·6	— 10·8	19·4

¹ Ergebnisse der Wissenschaftl. Erforschung des Balatonsees. I. Bd., IV. T., 2. Sect. Klimatische Verhältnisse der Umgebung des Balatonsees.

² S. RÓNA—L. FRAUNHOFER: Temperaturverhältnisse Ungarns. Amtliche Veröff. des Inst. für Meteor. und Erdmagn. 1904. Band IV.

³ Die im genannten Werke v. RÓNA—FRAUNHOFER zu der Station Keszthely beigezeichneten meteorologischen Aufzeichnungen zeigen, dass die meteorologischen Daten Keszthelys nicht ganz befriedigend sind, immerhin jedoch die besten von den Ufern des Balaton, daher wir auch unsere Betrachtungen hauptsächlich auf dieselben gründen. Wir besitzen zwar aus Keszthely eine 30jährige Beobachtungsreihe, dieselbe ist jedoch nicht homogen, da die Station im Jahre 1897 aus dem alten Gebäude des Landwirtschaftlichen Institutes in das neue verlegt wurde. Am alten Platze waren die Thermometer in einem von allen Seiten geschlossenen Hofe, vor einem Fenster des ersten Stockwerkes in einem Holzhäuschen mit Jalousien untergebracht. Der Ort war für Beobachtungen nicht besonders geeignet. Die nunmehrige Aufstellung vor dem Fenster des ersten Stockes kann ebenfalls nicht als glücklich bezeichnet werden. Nach meiner Ansicht wäre es nicht gestattet, das Thermometer des Lehrgebäudes mit jenem im Wirtschaftsgarten zu vergleichen, da der Gang beider völlig verschiedene Erscheinungen aufweist. Das Gartenthermometer wird infolge seiner Lage in einem konkaven Terrain ein viel extremeres Verhalten bekunden, als das Thermometer im Institute, welches sich überdies noch sehr hoch ober dem Erdboden befindet, folglich einen ruhigeren Gang besitzt. Diesen Unterschied bemerkte übrigens RÓNA (im zit. Werke S. 48.).

Jene subtilen Korrekturen, welche beim Vergleiche der Jahres- und Monats-Mittelwerte mit denen anderer Stationen unvermeidlich sind, konnten während unserer Berechnungen vernachlässigt werden, da dieselben nur an den absoluten Werten ändern, wogegen wir nur der relativen Unterschiede bedürfen.

Die absoluten Extreme vereine ich in folgender Tabelle:

Zeitabschnitt	Keszthely 1874—1893			Bal.-Füred 1886—1894		
	Max.	Min.	Schwankung	Max.	Min.	Schwankung
Dezember	16·8	— 21·0	37·8	17·8	— 16·8	34·6
Januar	12·6	— 17·8	30·4	11·5	— 17·2	28·7
Februar	15·6	— 16·5	32·1	16·0	— 15·5	31·5
Winter	16·8	— 21·0	37·8	17·8	— 17·2	35·0

Zu denselben Resultaten gelangten auch RÓNA und FRAUNHOFER, obwohl sie von den beiden Stationen nur für Keszthely die jährlichen und monatlichen Temperaturschwankungen berechneten. Für die Jahre 1871—1900 sind dies die folgenden Daten:

Monat:	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März.
Temperaturschwankung in Keszthely . . .	18·22	18·10	16·99	18·36	22·23.

Diese Daten sind besonders bedeutsam, da sie aus langjährigen Beobachtungen mit peinlichster Genauigkeit zusammengestellt wurden.

Wir ersehen aus denselben, dass der Monat Januar der beständigste ist. Dies bezeugt, dass es ein grossartiges Phänomen sein muss, welches die Temperaturverhältnisse unserer Winter beherrscht; es nimmt unzweifelhaft schon im Herbst seinen Beginn und endet im Frühling, jedoch einmal früher, einmal später. Im Jänner besteht aber seine Einwirkung immer, und macht sich in der Gleichförmigkeit der Temperaturverhältnisse gegenüber den vorangehenden und folgenden Monaten geltend. Unzweifelhaft findet diese mächtige Erscheinung in jenem hohen Luftdruck seine Begründung, welcher sich während des Januars über dem Zentrum Eurasiens verbreitet. Die Wirkung dieser Erscheinung regelt den Wechsel der Temperatur im Monate Januar. Wir können uns hiervon sogleich überzeugen, wenn wir untersuchen, welche Windrichtung wohl während der drei Wintermonate im Januar gegenüber den beiden anderen Monaten vorherrschend ist. Um dies zu ermöglichen, berechnete ich die Windhäufigkeit in den Wintermonaten der 12 beobachteten Jahre für Keszthely wie folgt:

Wind	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	C.
Dezember	283	91	22	17	141	110	57	108	287
Januar	297	34	36	33	85	130	127	59	315
Februar	332	39	20	55	90	118	55	54	251

Sogleich ist zu bemerken, wie grundverschieden die drei Monate bezüglich der Häufigkeit der westlichen (W, NW, SW) und östlichen (E, NE, SE) Winde sind. Nämlich

	Dezember	Januar	Februar
Häufigkeit der westlichen Winde	130	103	114
» » östlichen »	275	316	227
die zwei stehen zu einander in dem Ver- hältnisse von	1:2·115	1:3·068	1:1·991

Es ist sofort ersichtlich, dass die Häufigkeit der östlichen Winde im Ver-
gleiche mit den westlichen im Januar viel grösser ist, als im Dezember und Feb-
ruar. Dasselbe ist auch für die früheren Jahre aus dem zit. Werke von SÁRINGER
zu konstatieren (S. 39). Diese Daten sind in Prozenten gerechnet.

Von den Jahren 1874—93 ist nämlich in Keszthely

	im Dezember	Januar	Februar
Häufigkeit der westlichen Winde (‰)	13	8	12
» » östlichen » (‰)	31	37	35
Verhältnisszahl der Prozentzahlen	1:2·38	1:4·62	1:2·92

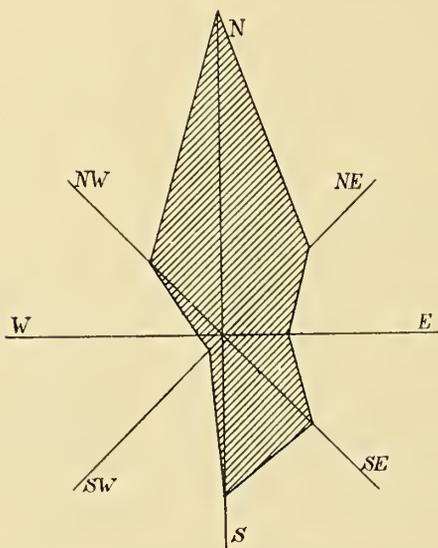


Fig. 13. Die Häufigkeit der Winde in Keszthely
im Monat Dezember.

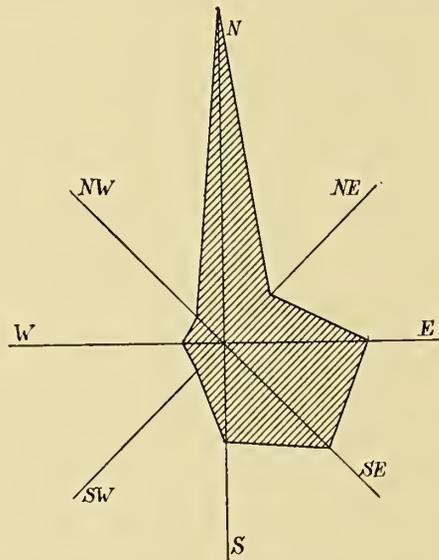


Fig. 14. Die Häufigkeit der Winde in Keszthely
im Monat Januar.

Es ist klar ersichtlich, dass daher nicht nur während der Dauer unserer
Beobachtungen, sondern auch ganz im allgemeinen in Keszthely im Monate Januar
die Häufigkeit der westlichen Winde sehr abnimmt, hingegen ein starkes Zunehmen
der östlichen Winde bemerkbar wird. Für die Monate November und März ist die
Berechnung dieser Zahlen ganz überflüssig, da wir ja wissen, dass die Zahl der
westlichen Winde gegen den Sommer im Wachsen, die der östlichen im Abnehmen
begriffen ist.

Die Verteilung der Winde in den drei Monaten für Keszthely stellen auch
noch die Figuren 13 bis 15 dar.

Dass der ruhige, gleichmässiger Temperaturgang, die geringeren Schwan-
kungen des Monats Januar tatsächlich von dem aus Asien stammenden hohen

Luftdruck und den kontinentalen Strömungen abhängig ist, wird noch eklatanter, wenn wir betonen, dass mit den östlichen Luftströmungen im Januar eine sehr niedere Temperatur verbunden ist. In der Umgebung des Balaton ist der Eintritt strengerer Kälte überhaupt — oder doch während der 12 Jahre unserer Beobachtungen stets von Nord- oder Ostwinden begleitet gewesen. Hierauf folgt klare, ruhige, mit anhaltender Kälte verbundene Witterung. Einer der ersten Beweise hiefür ist die Erfahrung des Volkes. Dieses weiss sehr gut, dass im Winter der Ostwind Kälte bringt, daher es beim Eintritt desselben zu sagen pflegt, «er bläst aus seiner Heimat», nämlich von Russland her, von dem das Volk weiss, dass es einen harten Winter hat. Man kann jedoch auch rechnerisch nachweisen, dass im Winter auch im allgemeinen die Ostwinde kälter als die Westwinde sind. Es ist dies keine leichte Arbeit, da sich sehr viele Umstände geltend machen. Ich versuchte trotzdem über die Erscheinung ein getreues Bild zu bieten. Jene Tage der Wintermonate in den 12 Beobachtungsjahren, an welchen der Beobachter in Keszthely zu den täglichen drei Ablesungszeiten westliche Winde verzeichnete (W, NW, SW), schied ich aus, bildete weiters aus Tagen mit nur östlichen Winden (NE, E, SE) eine zweite Gruppe, reihte weiters die rein nördlichen in die dritte, die rein südlichen in die vierte und Tage mit Windstille (alle 3 Ablesungen) und entgegengesetzten Windrichtungen in die fünfte Gruppe. Waren zwei Ablesungen E und eine z. B. N, reihte ich den Tag zu der Gruppe der östlichen Winde.

Aus den derart gewonnenen fünf Gruppen berechnete ich die mittlere Temperatur für jeden Winter, sowie auch für die zwölf Winter. Die Resultate enthält die nächstfolgende Tabelle. Dieselbe verrät uns, dass während die Tage mit östlichen Winden eine mittlere Temperatur von -0.045° besaßen, dieselbe für die mit westlichen Winden $+2.484^{\circ}$ betrug, also viel höher war. Natürlich sind im Durchschnitt jene Tage die kältesten, an welchen auch Norwind herrschte, da ja dieser Wind zu einer jeden Jahreszeit die Temperatur herabsetzt, während sie vom Südwinde erwärmt wird.

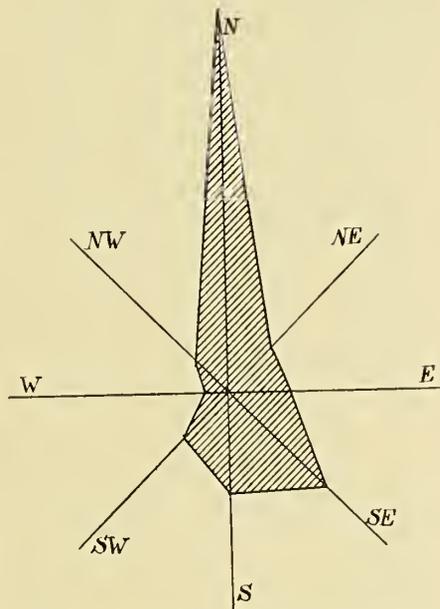


Fig. 15. Die Häufigkeit der Winde in Keszthely im Monat Februar.

Winter	Östliche Winde NE, E, SE		Westliche Winde NW, W, SW		Nordwind N		Südwind S		Gemischt	
	Zahl der Tage	Mittl. Tem- peratur	Zahl der Tage	Mittl. Tem- peratur	Zahl der Tage	Mittl. Tem- peratur	Zahl der Tage	Mittl. Tem- peratur	Zahl der Tage	Mittl. Tem- peratur
1892/93.	31	- 3·70	22	+ 2·25	32	- 1·22	—	—	5	- 0·16
1893/94.	39	- 1·14	16	+ 5·35	32	+ 1·15	—	—	3	+ 2·60
1894/95.	35	- 2·00	10	+ 1·65	36	- 2·03	4	- 4·57	5	+ 1·22
1895/96.	49	- 1·29	13	+ 1·78	21	- 1·08	—	—	8	- 1·37
1896/97.	34	+ 1·45	25	+ 1·80	21	+ 2·34	1	- 1·20	9	+ 2·98
1897/98.	23	+ 1·75	20	+ 2·09	16	+ 0·74	14	- 0·11	17	+ 0·92
1898/99.	24	+ 3·66	13	+ 3·88	21	+ 1·14	16	+ 2·81	16	+ 4·34
1899/900.	32	+ 2·14	18	+ 1·52	18	+ 0·87	16	+ 2·47	6	- 2·70
1900/901.	23	- 2·16	16	- 0·42	21	- 3·84	20	+ 0·57	10	- 0·70
1901/902.	23	+ 3·85	12	+ 3·72	16	+ 2·50	20	+ 3·63	19	+ 3·55
1902/903.	18	- 2·23	20	+ 3·72	18	- 0·50	17	- 2·04	17	- 1·19
1903/904.	38	+ 0·85	12	+ 3·13	25	+ 1·08	10	+ 2·46	6	+ 2·38
Mittel . .	369	- 0·045	197	+ 2·484	277	- 0·420	118	+ 1·169	—	—

Die mittlere Temperatur der Tage mit verschiedenen Windrichtungen wäre eigentlich auch vom theoretischen Standpunkte unrichtig, da dieselben zwei ganz verschiedene Elemente enthalten. Nämlich solche Tage, an welchen durchwegs Windstille war, und solche, an welchen der Wind aus nördlicher in die südliche oder aus westlicher in die östliche Richtung übergang. Die letzteren entstehen zur Zeit einer anticyklonalen Witterung, und sind sehr kalt, die früheren machen die cyclonale Witterung erkenntlich und sind im Winter immer Ursachen der milderen Witterung, da die Cyclone von der Seeseite zu uns gelangen.

Das Gesagte zusammengefasst, wird es nun ersichtlich, dass während der drei Wintermonate in der Umgebung des Balaton die Ostwinde gegenüber den Westwinden unbedingt vorherrschen, und zwar am prägnantesten im Januar. Infolgedessen ist im Januar unser Klima am meisten von dem Eurasiens abhängig, während der Einfluss desselben im Februar und im Dezember vom milderen Klima des Atlantischen Ozeans, charakterisiert durch den westlichen Wind und mit demselben verbundenen cyclonalen Wirbelbewegungen nach Osten zurückgedrängt wird.

Die Folge des Kampfes der beiden Klimaten ist jener plötzliche, sprungartige Witterungsumschlag, welcher den Winter unseres Landes besonders charakterisiert und im allgemeinen Mittel-Europa nicht nur von West- und Ost-Europa unterscheidet, sondern demselben sozusagen auf der ganzen Erde eine besondere Stelle einräumt.

Der Januar ist daher jener Zeitraum, während dessen der östliche, kontinentale Wind, ein Glied des eurasiatischen, grossartigen Monsun-Systems, im heftigsten Kampfe mit den westlichen Luftströmungen der gemässigten Zonen steht. Daher muss der Monat Januar in Ungarn der veränderlichste sein, wengleich die Schwankungen der Temperatur kleinere sind als in den Nachbarmonaten. Unter monat-

licher mittlerer Veränderlichkeit verstehen wir das arithmetische Mittel der Unterschiede der mittleren Temperatur aufeinanderfolgender Tage (Interdiurne Veränderlichkeit). Diese Veränderlichkeit wurde von RÓNA und FRAUNHOFER eingehend untersucht,¹ und es ist aus den Ergebnissen ersichtlich, dass der veränderlichste Monat der Januar war. Dieses Gesetz besteht unveränderlich für die Stationen Budapest, Ógyalla, Máriafalva, Turkeve, Bustyaháza, Ungvár und Marosvásárhely (für Keszthely wurden keine Berechnungen durchgeführt), während in Fiume die grösste Veränderlichkeit im Dezember eintritt, was eben bezeugt, dass die obige Erscheinung speziell für unser mitteleuropäisches Klima ein Kennzeichen ist, hingegen in dem, unter dem Einflusse des eigenen Klimas des Mittelländischen Meeres stehenden Fiume nicht besteht. Zum Beispiele führe ich hier die interdiurne Veränderlichkeit von Ógyalla auf:

Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
<u>2·44</u>	2·10	1·93	1·81	1·73	1·60	1·73	1·70	<u>1·67</u>	1·88	1·81	2·04	1·87

Diese Veränderlichkeit ist auch aus den Figuren 1—12 leicht abzulesen, in welchen die Temperatur mit plötzlichen Sprüngen um den Nullpunkt sich bewegt, sich bald ober, bald unter demselben befindet.

Die beiden Daten widersprechen einander scheinbar. Wieso ist es möglich, dass die Schwankung gerade minimal ist, wenn die Veränderlichkeit im Maximum ist? Mit einem Gleichnisse wäre die Erscheinung am leichtesten erklärlich zu machen. Wenn der Wind eine Flagge bewegt, kämpfen zwei Kräfte mit einander. Die eine ist die Schwerkraft, die andere die des Windes. Erstere versucht die Flagge hinabzuziehen, die andere horizontal auszuspannen. Bei starkem Winde weht die Flagge heftig, macht jedoch nur kleine Bewegungen, spannt sich mit schnalzendem Geräusch: die Veränderlichkeit der Stellung der Flagge ist in diesem Falle gross, die Dimensionen der Veränderungen jedoch gering. Im schwachen Wind bewegt sie sich schwerfällig, macht grössere Bewegungen, wird aber dann wieder schlaff. Die Veränderlichkeit ist also klein, die Schwankungen jedoch sehr gross.

Ebenso ist es mit der Witterung, was weiter zu erklären nun überflüssig ist.²

In der Umgebung des Balaton tritt die grosse Kälte gewöhnlich derart ein, dass nach wechselnden Winden ein starker Nord- oder Nordostwind ausbricht, das Thermometer fällt plötzlich, das Barometer steigt, der Himmel klärt sich und es entsteht eine windstille, ruhige, antizyklonale Witterung, gewöhnlich mit schwachen,

¹ L. c. Temperaturverhältnisse Ungarns.

² An anderer Stelle habe ich schon ausführlicher besprochen, dass das plötzliche Auftreten des Westwindes in Europa zur Zeit des Medardus-Tages (8. Juni) mit dem Beginne des indischen Monsuns im Sommer zusammentrifft (bursting of the monsoon) und ich wies darauf, dass das nichts anderes, als eine Erscheinung des um ganz Eurasien sich bemerkbar machenden Monsuns ist. Auch wies ich damals darauf, dass der winterliche Wechsel dieses Monsuns in unserem Lande ebenfalls fühlbar wird. Unanfechtbar besteht die Regel, dass im Winter der Ostwind herrscht, und von einer kontinentalen Witterung begleitet wird, im Sommer hingegen der Westwind, verbunden mit ozeanischer Witterung, herrscht. Unbestreitbar macht sich hier nur jene regelmässige Erscheinung geltend, welche sich um ganz Eurasien zeigt, und nur die eingebürgerte Anschauung, Europa wäre ein selbständiger Kontinent, lässt diese Auffassung in einem eigenen Lichte erscheinen, obwohl es vom naturwissenschaftlichen Standpunkte ganz unbegründet ist, an der veralteten Auffassung festzuhalten. Wer von dieser altertümlichen Tradition absieht, der wird in dieser Erklärung nichts Besonderes finden.

östlichen Luftströmungen. Schön ist diese Erscheinung aus den Figuren 1—12 zu ersehen, welchen ich auch ein Grafikon der Windverhältnisse beifügte, besonders auffallend z. B. in der Figur 11, welche die Witterung des Winters 1902/03 darstellt. Das Grafikon der Windverhältnisse wurde folgendermassen angefertigt. Nachdem wir schon wissen, dass die Ostwinde Kälte, die Westwinde Wärme bringen, müssen wir um einen Vergleich mit dem Grafikon der Temperaturen zu erleichtern — die Figur derart konstruieren, dass die negativen Ordinaten den Ost-, die positiven den Westwinden entsprechen und dass die Ordinaten ausserdem mit der Stärke des Windes im Verhältnisse stehen. Ausserdem wissen wir jedoch, dass auf unserem Kontinente beinahe ausnahmslos der Nordwind kalt, der Südwind warm ist. In der Figur muss also auch das zum Ausdruck kommen. Die grösste positive Ordinate entspreche also dem SW Winde, die grösste negative Ordinate dem NE Winde, während wir die NW und SE Winde für solche betrachten können, als hätten sie auf die Temperaturänderung keinen Einfluss. Die N, S, E und W-Winde figurieren nicht mit ihrem vollen Werte, sondern nur mit der in die NE, bzw. SW Richtung fallenden Komponente.

Zeichnen wir nun eine Windrose, deren NW—SE Achse horizontal, NE—SW Achse hingegen vertikal sei. So bekommen wir nun mit einfacher Projektion die Komponenten der Hauptrichtungen (N, S, E, W). Solcherweise konstruieren wir die drei Ordinaten für den Wind der täglichen drei Ablesungen, dieselben addieren wir nunmehr algebraisch, die algebraische Summe betrachten wir dann als die mittlere Wind-Ordinate eines Tages, und zeichnen diese Ordinate an ihre Stelle. Wir erhalten stufenförmige Figuren, welche z. B. an Tagen, wo starker Ost- oder Nord-Wind herrschte, tief unter die Achse reichen, dagegen bei starkem West- oder Süd-Wind hoch über die Achse steigen. Wegen Mangel an Raum sind nicht für die sämtlichen Jahre diese Figuren beigefügt worden, die wenigen zeigen jedoch schon, welche genaue Übereinstimmung zwischen der Umlegung des Windes und dem Eintritte der kalten Witterung besteht.

Diese Figur könnte man noch weiter entwickeln, indem man z. B. die Integral-Linie für dieses Grafikon mit dem richtigen Vorzeichen konstruieren würde. Wir würden so noch mehr Ähnlichkeit mit der Figur der Temperaturen erkennen, für unsere Zwecke jedoch, die den Zusammenhang zwischen Windverhältnissen und der Witterung suchen, genügt auch das.

Wir wissen, dass die Veränderlichkeit der Witterung in den gemässigten Zonen hauptsächlich durch die mit den westlichen Luftströmungen verbundenen Wirbelwinde (Zyklone und Antizyklone) verursacht wird. Diese Erscheinungen werden meist während des Studiums der Klimaverhältnisse unrichtig beurteilt. Der von Westen kommende Zyklon verwickelt die Statistik der Winde, da derselbe eventuell auch östliche Winde verursacht, in welchem Falle die Beobachtung der mit den Winden zugleich wechselnden Witterung eigentlich zu falschen Resultaten führt. Die Statistik müsste gewissermassen derart aufgestellt werden, dass wir aus der Rechnung die Wirbelbewegungen entweder weglassen, oder aber eine jede Windrichtung ein und derselben Wirbelbewegung in jene Gruppe der Windrichtungen einreihen, von welcher Richtung die betreffende Wirbelbewegung zu uns gelangte. Eine jede Witterung die eine Folge des von Westen kommenden Zyklons ist, müssten wir der Wirkung des atlantischen, ozeanen Klimas zueignen, während wir z. B. in jeder, durch Asiens hohen winterlichen Luftdruck entstandenen anti-

zyklonalen Witterung die Einwirkung des asiatischen, kontinentalen Klimas erkennen müssten. Dadurch entstünde unter den winterlichen Temperaturen ein noch schärferer Kontrast bezüglich dessen, ob dieselben durch die atlantische, oceane, oder asiatische kontinentale Wirkung erzeugt wurden.

Die uns zur Verfügung stehenden Daten genügen jedoch zur Klarlegung dieser Frage nicht, und schon die Aufarbeitung dieser Daten würde uns vom Studium des Balaton zu weit entfernen. Jedenfalls wäre es eine wertvolle und wichtige Studie, da sie nicht der jetzt üblichen Schablonform folgen würde und auf tatsächlich mechanische Theorien basiert, zwischen den Erscheinungen distinguieren würde, was früher oder später unerlässlich werden wird, falls wir auf diesem Gebiet Fortschritte aufweisen wollen.

B) Die Witterung und die Geschichte des Eises.

Im vorhergehenden Kapitel sahen wir, dass in der Umgebung des Balaton die Witterung im Winter sehr unbeständig ist: die Temperatur schwankt lebhaft um den Gefrierpunkt, der Wind nimmt sehr rasch völlig entgegengesetzte Richtungen an, es kann sogar bemerkt werden, dass auch der Niederschlag ganz unvorhergesehen, bald in Form von Schnee, bald als Regen erscheint, meist in grösseren Mengen, um dann ebenso plötzlich in ein wolkenlos klares Wetter umzuschlagen.

Daher ist natürlich kein Jahr dem anderen gleich, der Zeitpunkt des Frierens nicht vorauszusagen und auch die Dauer des Eises ist unbestimmt. Aus den Figuren 1—12 ist zu sehen, wie willkürlich das Erscheinen des Eises ist, und was für eine wechselvolle Geschichte der Eispanzer besitzt. Die Daten über das Auftreten und völlige Verschwinden des Eises während der 12 Beobachtungsjahre fasst die folgende Tabelle zusammen:

K. = Keszthely; B.-F. = Balaton-Füred; S. = Siófok; Cs. = Csopak; Sz. = Szemes.

Winter	Eis tritt das erstmal auf		Völliges Zufrieren		Zerreissen der Eisdecke		Völliges Verschwin- den der Eisdecke	
	Ort	Datum	Ort	Datum	Ort	Datum	Ort	Datum
1892—93	K.	4. XII.	K.	13. XII.	K.	27. II.	K.	?
1893—94	K.	20—24. XII.	K.	7. I.	K.	11. II.	K.	1. III.
1894—95	B.-F.	15. XII.	B.-F.	2. I.	B.-F.	25. III.	B.-F.	3. IV.
1895—96	B.-F.	2. XII.	B.-F.	29. XII.	B.-F.	25. II.	B.-F.	29. II.
1896—97	B.-F.	30. XI.	S.	4. XII.	B.-F.	27. XII.	B.-F.	2. III.
1897—98	K.	28. XI.	B.-F.	22. XII.	B.-F.	25—28. I.	B.-F.	19. II.
1898—99	B.-F.	23. XII.	B.-F.	9. I.	B.-F.	13. I.	B.-F.	22. III.
1899—1900	K.	2. XII.	Cs.	22. XII.	Cs.	7. I.	K.	11. II.
1900—01	B.-F.	2. I.	B.-F.	4. I.	B.-F.	5. III.	B.-F.	15. III.
1901—02	K.	3—9. II.	K.	2. III.	K.	3. III.	—	—
1902—03	K.	vor 23. XI.	S.	8. XII.	Sz.	13. I.	K.	1—8. III.
1903—04	K.	3. I.	—	—	—	—	—	—

Das Frieren, wie auch das Schmelzen des Eises schwankt zwischen ganz unbestimmten Grenzen und daher sind die Daten gar nicht geeignet zur Ermittlung eines Mittelwertes. In allgemeinen bezeugen die Daten nur soviel, dass der See gewöhnlich Anfangs des Winters zufriert und bei Beginn des Frühlings die Eisedecke gänzlich verliert. Das ist jedoch nicht immer so. Aus diesen Daten allein ist es wirklich sehr schwer, irgendeine Gesetzmässigkeit abzuleiten. Dies ist nur natürlich, da in der Umgebung des Balaton auch der Winter sehr verschieden ist, manchmal sehr kalt, manchmal wieder zu warm zur Bildung einer Eisedecke; ein wenig Eis bildete sich jedoch während unserer Beobachtungen immer.

Völlig verschieden von diesem ist das Bild, welches wir erhalten, wenn wir den Prozess der Entstehung und des Schmelzens des Eises mit der Temperatur der Luft vergleichen.

In den Figuren 1—12 trachtete ich die Geschichte des Eises während der einzelnen Winter graphisch darzustellen. Ich muss aber bemerken, dass diese graphische Darstellung infolge der Lückenhaftigkeit der Beobachtungen ziemlich unvollständig ist. Jedoch ist auch die Beobachtung in diesem Falle nicht sehr leicht. Am zutreffendsten kommt die Geschichte des Eises in der Veränderung der Dicke desselben zum Ausdruck, welche Veränderung aber sehr schwer zu beobachten ist. Solange der See noch nicht zusammenhängend zugefroren ist, können die kleineren, an das Ufer gefrorenen Tafeln für die Dicke nicht charakteristisch sein, da die in der Mitte schwimmenden Tafeln jedenfalls ganz anders geformt sind, letztere sind jedoch zu dieser Zeit sehr schwer oder garnicht zugänglich und im Winter sind auch schon keine Kähne mehr am Wasser.

Sobald der See zufriert, ist das Betreten desselben anfangs gefährlich, wenn dann die Gefahr geschwunden ist, wird mit zunehmender Dicke das Schneiden eines Keiles an welchem wir die Dicke bestimmen könnten, immer schwerer. Im Tauwetter ist wieder Gefahr vorhanden, der Verkehr ist sogar in dieser Zeit der gefährlichste, die in der Nähe der Ufer genommenen Daten sind hingegen unverlässlich. Das Eis ist nämlich in der Nähe der Ufer am meisten bewegt. Wir finden hier bald gestautes Eis, bald bildet sich eine wirkliche Überschiebung, tritt Tauwetter ein, schmilzt es hier am ehesten und an Stelle der Stauung finden wir die freie Wasserfläche, welche neuerdings zugefroren, den Beobachter leicht beirren könnte.

Kurz, derartige Beobachtungen sind sehr schwer, gefährlich, oft sogar unmöglich. Auch die Daten verschiedener Stationen sind nicht ganz gleich, übrigens eine ganz natürliche Erscheinung; das Eis ist eben nicht überall gleich. So z. B. am 27. Januar 1901 war in der Mitte der Verbindungs-Linie Siófok—Alsóörs das Eis 34 cm., einen km. nördlich 35 cm., noch um einen km. weiter 32 cm., obwohl diese Punkte im offenen Becken, unweit von einander gelegen sind, wo der Verband des Eises gleichmässig und ohne Stauung ist. Um so grössere Unterschiede ergaben sich natürlich in den Daten von einander entfernterer Punkte, so z. B. in jenen der keszhelyer und balatonfüreder oder szántóder Beobachtungen.

Noch viel ungewisser als die Bestimmung der Dicke, ist es festzustellen, wann das Frieren begann und wann die Bildung der Eisedecke als vollendet zu betrachten ist. Eis zeigt sich zuerst in den Lacken der Ufer und in den Buchten der Nordseite. Die Erscheinung dieses Eises können wir schwerlich als den Anfang des Prozesses betrachten. Im Laufe ruhiger Nächte bildet sich eine dünne Eisedecke,

welche jedoch durch den leisesten Wind am Morgen zerstört wird und die kleinen Täfelchen zerschmelzen im bewegten Wasser oder gelangen ans Ufer.

Einen derartigen Vorgang müssen wir unbedingt schon als den Beginn des Zufrierens bezeichnen, da nachher das Wasser schon derart abgekühlt wird, dass der Vorgang bald ein täglicher wird und allmählich werden die Tafeln ständig.

Gänzlich unbestimmbar ist der Zeitpunkt des völligen Zufrierens. Häufig sind die Fälle, in denen der Beobachter in Balatonfüred noch viel offenes Wasser verzeichnet, während die Beobachter in Siófok und Keszthely von völligem Zufrieren berichten. Namentlich in Keszthely, in der abgeschlossenen Keszthelyer Bucht, bildet sich im seichten Wasser schnell eine zusammenhängende Eiskruste, während in der östlichen Hälfte des Balaton die Eistafeln noch ein Spiel der Wellen sind.

Eigentlich ist der See nur selten ganz zugefroren, immer gibt es stellenweise Sprünge und Öffnungen, in welchen das Wasser sich frei bewegt, besonders längs dem Nordufer, wo der See überhaupt am schwächsten zufriert.

In der Fig. 1—12 ist jener Zeitraum, während dessen die Eisbildung schon ihren Anfang nahm, aber doch noch nicht vollständig ist, durch eine unterbrochene Linie an Stelle der Grundlinie in der Figur eingezeichnet. Vom Momente des vollständigen Zufrierens (manchmal schon früher) ist die Dicke des Eises durch Ordinaten angegeben. Diese Daten sind zwar häufig lückenhaft, jedoch verzeichnen die Beobachter meist «unveränderliche» Zustände, so dass wir je zwei Beobachtungen durch eine einfache Linie verbinden können. Derartige interpolierte Werte sind durch eine unterbrochene Linie gekennzeichnet.

Auf solche Weise erhalten wir sehr interessante Eistabellen, welche näher zu untersuchen und mit den Temperaturverhältnissen zu vergleichen, sich lohnt.

Im allgemeinen beginnt das Gefrieren verhältnismässig früh, sobald nur die mittlere Temperatur der einzelnen Tage genügend unter den Nullpunkt sinkt, freilich verspätet sich das Zufrieren immer noch ein klein wenig. Wie viel diese Verspätung nach dem ersten Frosttage beträgt, hängt wieder sehr von der darauffolgenden Witterung ab. War die Temperatur des ersten Frosttages eine sehr tiefe und folgten ihm ebenfalls kalte Tage, genügen 3—4 Tage, damit das Gefrieren mit voller Kraft beginne und der See bald zufriere. Ein anderes Mal folgen jedoch auf einige kalte wiederum Tage mit Tauwetter, es kann das auch wochenlang andauern, in solchen Fällen verspätet sich der Prozess des Zufrierens sehr. Darum kann man, aber darf man auch diese Daten nicht in arithmetische Mittelwerte vereinigen, was wir übrigens garnicht benötigen, da wir daraus auf nichts Brauchbares folgern könnten.

Häufig wird das Zufrieren durch den Wind behindert, was jedoch nur zur Folge hat, dass das Wasser in seiner ganzen Tiefe abgekühlt wird, um, nachdem der Wind sich gelegt hat, um so plötzlicher zu frieren. Es ist eine allgemeine Beobachtung, dass sobald die erste dünne Eiskruste vom Winde zerstört wird, das hierauf sich bildende Eis viel stärker und haltbarer ist, was auch natürlich ist, da das Wasser in solchen Fällen Zeit hat, beinahe die Temperatur 0° anzunehmen. Die Berechnungen und die graphischen Darstellungen sind jedoch viel zu ungenau, um mittels derselben diesen Vorgang nachweisen zu können. Wir haben aber nichts beobachtet, was mit diesem theoretischen Vorgange im Widerspruch wäre.

Während des ganzen Winters ist die Stärke des Eises in strengster Beziehung zu den Schwankungen der Temperatur. Dieser Zusammenhang ist jedoch nichts

weniger als einfach. Das Grafikon der Temperaturen ist gänzlich verschieden von dem der Eisstärke. Die beiden wurden schon von I. MÜLLNER mit einander verglichen,¹ ohne dass er natürlich zu einem wichtigeren Ergebnisse gelangt wäre. Die beiden Erscheinungen können auch nicht einfach verglichen werden, da mit der mittleren Tagestemperatur, mit entgegengesetztem Vorzeichen genommen, nicht die *Dicke des Eises*, sondern nur die *Zunahme* desselben im Verhältnisse steht. Ist die Temperatur niedrig, wächst das Eis an, ist sie dagegen hoch, schmilzt es.² Mit einem Worte die Änderung der Temperatur steht mit der Änderung der Eisstärke in verkehrtem Verhältnisse. Die Figur der täglichen Mitteltemperaturen ist daher gewissermassen die Differentiallinie der Eisstärke, das heisst, als könnten wir eine jede Ordinate der Kurve derart erhalten, dass wir in der Figur der Eisstärke Punkt für Punkt den Differential-Quotienten berechnen würden.

Wäre die Funktion der Temperatur durch die Gleichung $y = f(x)$ ausgedrückt, während für die Eisstärke $\eta = \varphi(\xi)$ stünde, so wäre auf Grund des Vorhergesagten

$$-y = \frac{d\eta}{d\xi} C,$$

und C eine noch unbekannte Konstante. Die Gleichung können wir auch umkehren, also ist

$$\eta = \frac{1}{C} \int -y d\xi + A,$$

wo die Grenzen der Integrale entweder Anfang und Ende der Vereisung, oder aber jener Zeitpunkt sein könnte, bei welchem das Thermometer im Tagesmittel zuerst unter den Nullpunkt sinkt und die obere Grenze dann nach Bedarf gewählt werden könnte. Wir bemerken nur noch, dass x und ξ in beiden Gleichungen die Zeit darstellen, und sowohl die Temperatur, wie auch die Eisstärke erscheint in der Figur und in unserer Betrachtung als die Funktion der Zeit.

Wenn wir versuchshalber $A = 0$ setzen und den Wert für $\left(\frac{1}{C}\right)$ entsprechend wählen, und hierauf die Integrale für die Figur der Temperaturen, $y = f(x)$ mit entgegengesetztem Vorzeichen konstruieren, können wir uns im Augenblicke von der Richtigkeit unserer Voraussetzungen überzeugen. *Die Integrallinie ist die getreue Abbildung der Figur der Eisstärke.*

Die Ermittlung der Konstante für die Integrale $\left(\frac{1}{C}\right)$ geschieht im vorliegenden Falle durch Versuche, da wir weder die Gleichung der Temperaturfigur, noch die

¹ Dr. I. MÜLLNER: Die Vereisung der österreichischen Alpenseen in den Wintern 1894—95 bis 1900—01; PENCK: Geographische Abhandlungen; Leipzig, 1903.

² Es wurde dies schon von v. DRYGALSKI bemerkt, als er während der Grönland-Expedition die Zunahme der Eisdecke an den Seen beobachtete und dieselbe mit der Summe der Temperaturen verglich (E. v. DRYGALSKI: Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Berlin, 1897. I. Band. Seite 415—417.) Nur war die Wahl bezüglich der Summe der Mitteltemperaturen nicht richtig, da er immer die algebraische Summe der beobachteten Mitteltemperaturen von der ganzen Zeitdauer bis zum Zeitpunkte der Beobachtung hätte nehmen müssen. Er legte seinen Berechnungen die Summe der beobachteten mittleren Temperaturen jenes Zeitraumes zu Grunde, welcher zwischen den beiden Messungen am Eise verfloss. Hierdurch ergibt sich bei häufig aufeinander folgenden Beobachtungen derselbe Fehler in den Resultaten, wie bei den einfachen Vergleichen der täglichen mittleren Temperaturen. Das Integrieren ist auf diese Weise unvollständig und ausserdem auch noch kompliziert.

der Eisstärke einfach ausdrücken können, haben wir es doch hier nicht mit ununterbrochenen Linien, sondern mit graduierten Figuren zu tun!

Wir wissen — und mit Hilfe dieses Gesetzes konstruieren wir die polygonale Integralfigur — dass jede Tangente der Integralkurve (in diesem Falle jede Seite) eine solche Neigung zur Abscissen-Achse besitzt, dass die Tangente des Neigungswinkels in gerader Proportion steht zur betreffenden Ordinate der Differentialkurve, da doch in unserer Konstruktion

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \tan \alpha = \frac{1}{C} y \text{ ist,}$$

sobald α die Neigung der Tangente der Integrallinie vertritt. Dass nun die Funktion $\eta = \varphi(\xi)$ tatsächlich die Figur der Eisstärken sei, bzw., dass sie dieser möglichst gleiche, müssen wir den Wert C entsprechend wählen. Durch Versuche haben wir uns überzeugt, dass wenn wir in der Figur der Eisdicke einen jeden Dezimeter so gross zeichnen, wie in der Figur der Temperaturen je einen Grad, so fällt bei $C = 7.5^{\circ}$ die Integralfigur mit derjenigen der Eisstärke beinahe zusammen.¹

Die grösste Schwierigkeit verursacht die Wahl des Zeitpunktes, von welchem an wir mit der Konstruktion der Integralfigur beginnen. Oft bleibt die Temperatur nach dem ersten Frosttage noch lange ober 0° und in diesem Falle ist unsere Figur um eine $\pm A$ Konstante höher oder niedriger als sie sein sollte, um der Figur der Eisstärke ganz zu gleichen. Der unbestimmte Termin der ersten Eisbildung ist kein günstiger Anfangspunkt. Am vorteilhaftesten ist es, die beiden Momente zu vereinen und als Anfang der Integralfigur jenen ersten Frosttag zu wählen, welcher mit der Zeit der ersten Eisbildung zusammenfällt. In diesem Falle wird die Integrallinie solange, als das Eis noch nicht messbar ist, das heisst, noch keine zusammenhängende Eiskruste entstand, auch unruhig bewegt sein und die Achse öfters durchschneiden, wie z. B. im Winter 1894—95.

Es treten jedoch auch Unterschiede zwischen der Integrallinie und der Figur der Eisstärke auf, was bezeugt, dass der Verlauf der Eisbildung auch noch von anderen Faktoren als den Temperaturschwankungen abhängig ist, welche ich aber nur ganz im allgemeinen als Ergebnisse unserer Forschungen aufzählen kann, ohne auch diese in genauer grafischer Weise zum Ausdrucke bringen zu können Solche Faktoren sind:

1. *Der Wind*, welchem während des Zufrierens und der ersten Eisbildung sowie auch bei der Zerstörung des Eises eine Rolle zukommt. Es ist nur natürlich, dass der Wind das dünne Eis zerstören und an das Ufer schleudern kann, oder das alte, zertrümmerte Eis plötzlich vom Wasserspiegel wegschaffen kann. Mit diesen Erscheinungen befassen wir uns noch eingehender in einem späteren Kapitel. Dadurch verschiebt er freilich auch den Zeitpunkt des Entstehens des ersten zusammenhängenden Eises, und jenen des Verschwindens des Eises. Er verursacht indessen auch eine interessantere Wirkung. Herrschen zur Zeit des Zufrierens starke Winde, welche das dünne Eis immerwährend wieder zerstören und das Wasser aufrühren: wird letzteres in der ganzen Tiefe durchkühlt und nachdem sich der

¹ In den Figuren 1 bis 12 wurde $C = 6^{\circ}$ angenommen, damit die Integrallinie etwas übertrieben sei und die Details besser hervorhebe. Die Ähnlichkeit ist jedoch auch so frappant und kann als unzweifelhafter Beweis der Richtigkeit unserer Voraussetzungen betrachtet werden.

Wind gelegt hat, beginnt die Bildung der zusammenhängenden Eisdecke rasch, und das Eis wächst schneller an, wenn nur die Temperaturverhältnisse günstig sind, als wenn dieselbe bei Windstille, schön langsam begonnen hätte. Bei ruhigem Wetter sinkt die Temperatur des Wassers nicht so tief und in solchen Fällen wächst das Eis nur sehr langsam und in dem $+2^{\circ}$ bis -3° kühlen Wasser ist doch noch genügend Wärmemenge enthalten, dass ein Entstehen einer wirklich starken, verlässlichen Kruste während der ganzen Zeit der Eisbildung unmöglich bleibt. Die im Wasser zurückgebliebene Wärme verhindert solcherart in grossem Masse ein anhaltendes und kräftiges Zufrieren. Diese Tatsache ist auch den Fischern bekannt, und sie sehen es gerne, wenn das erste Eis durch starken, kalten Wind zerstört wird, weil in dem darauf folgenden Winter das Eis stark sein wird, was für das Fischen günstig ist. Im anderen Falle ist das Eis sehr schwach und der Fischfang steht für eine Zeitlang still. Als Beispiel können die Winter 1894—95 und 1900—901 dienen, während welchen der See immer bei heftigem Winde zufror, worauf das Eis alsbald grosse Mächtigkeit erreichte. Dagegen entstand im Winter 1893—94 bei drei Wochen lang anhaltender, ausserordentlich kalter Witterung keine genügend starke Eiskruste, da kein starker Wind wehte. Im Jahre 1893 war der erste Frost am 28. Dezember begleitet von einem starken N-Wind, welcher jedoch schon am nächsten Tag nachgab, worauf bis zum 3. Januar ständig N_1 — N_2 -Wind blies. Dieser Tag war wiederum windig, auch war am 5. Januar ein stärkerer Wind, konnte jedoch zur Bildung des Eises nicht beitragen, da er bald an Stärke verlor und die Station Keszthely von nun ab bis zum Ende der frostigen Wintertage, dem 19. Januar ausnahmslos E_1 — E_2 , manchmal E_3 -Winde verzeichnete. Obwohl inzwischen Tage mit -7° bis -10° mittlerer Temperatur verzeichnet wurden, war kaum Eis am See und erreichte dasselbe keine grössere Mächtigkeit als 5—10 cm.

Diese Erscheinung in einer Weise in Betracht zu ziehen, dass wir sie grafisch darstellen und zur Korrektur der Integrallinie verwenden könnten — ist gänzlich ausgeschlossen, schon wegen der Kompliziertheit, teils aber auch infolge der Unvollständigkeit der Aufzeichnungen.

2. Eine wichtige Rolle kommt auch dem auf das Eis gelangten Schnee zu. Auch mit den diesbezüglichen Erscheinungen werden wir uns noch eingehender befassen. Hier erwähnen wir nur, dass der frische, noch nicht gefrorene Schnee das Anwachsen des Eises behindert, indem er ein Ausstrahlen und somit auch ein Abkühlen des Eises verzögert. Wird der Schnee vom Regen übergossen, oder härtet er sich durch Schmelzen wie Firn, so wird derselbe ein besserer Wärmeleiter und ist dem Abkühlen der Eiskruste nicht so sehr im Wege, kann sogar — indem er ganz eisartig hart wird — direkt zur Verstärkung des Eises beitragen. Die graphische Darstellung dieses Prozesses stösst auf schwierige Hindernisse.

Der Schnee beeinflusst auch noch das Zerstörungswerk, indem das Eis, sobald es vom Schnee nicht bedeckt ist, gleichmässig schmilzt, bis es endlich berstet. Unter einer Schneedecke vollzieht sich indess dieser Vorgang anders. Anfangs schützt der Schnee das Eis vor dem Schmelzen. Zuerst muss der Schnee schmelzen, erst hernach gelangt die warme Luft zum Eise. Auch vor dem Bestrahlen schützt derselbe das Wasser und das Eis. Durch den Schnee können die Sonnenstrahlen nicht in das Wasser und zum Eise gelangen, und die Temperatur des Wassers steigt daher nur sehr langsam. In solchen Fällen nimmt das Eis eine Temperatur

von 0° an, verliert seine Härte, wird sogar mürbe und ist von unzähligen kleinen Sprüngen durchquert. Sobald der schützende Schnee verschwindet, zeigt sich das Eis, obwohl es noch eine beträchtliche Dicke besitzt, als sehr schwach, so dass der erste etwas stärkere Wind den ganzen See eisfrei werden lässt. In solchen Fällen werden wir daher in der Kurve der Eisdicke anfangs ein langsames Abnehmen, hernach aber eine plötzliche Zerstörung wahrnehmen, im Gegensatz zum allmählichen Verschwinden des ohne eine Schneedecke schmelzenden Eises. Diese Erscheinung können wir ebenfalls graphisch nicht zum Ausdrucke bringen, besonders — wie wir noch sehen werden — infolge der komplizierten Geschichte des Schnees.

3. Ausser der Lufttemperatur besitzt auch noch die Klarheit oder Trübung der Witterung einen Einfluss. Ein klares Wetter trägt zur extremen Ausbildung der Kurve der Eisdecke bei. Im klaren Wetter ist der Verlauf des Anwachsens ebenso wie des Verschwindens des Eises ein beschleunigterer. Trübe Witterung verzögert beides. Vergessen wir jedoch nicht, dass das Eis, wie der Boden den grössten Teil seines Wärmegehaltes gleichfalls durch Strahlung und durch Leitung aus der unterhalb befindlichen Wasserschichte empfängt. Demnach sind die Folgen der Ein- und Ausstrahlung auch dieselben wie beim Boden. Genauer können nun die Folgen der klaren und trüben Witterung nachstehenderweise zusammengefasst werden:

a) Ist die Strahlung am Eise mit Wärmeverlust verbunden (Ausstrahlung mehr als Einstrahlung), so ist das Anwachsen des Eises im klaren Wetter intensiver als bei trübem Wetter.

b) Ist die Strahlung am Eise mit Wärmegewinn verbunden (Einstrahlung mehr als Ausstrahlung), so ist das Zerstörungswerk am Eise bei klarem Wetter intensiver als bei trübem.¹

Besonders während kalter, klarer Nächte wächst das Eis rasch in der Dicke an, was das Knattern und Platzen verrät. Das Volk sagt aber auch, dass besonders

¹ Ich prüfte auch noch, ob zwischen der Geschichte des Balatoneises und den Schwankungen der Bodentemperatur irgend ein Zusammenhang besteht. Zu diesem Zwecke schloss ich den Figuren einiger Jahre auch das Grafikon der in Ógyalla bewerkstelligten Bodentemperatur-Beobachtungen bei. Dieser Vergleich verhilft uns nur zu dem Resultate, dass am Balaton das Eis beiläufig solange aushält, als in Ógyalla die Bodentemperatur sich unter 0° befindet, was übrigens nur natürlich ist, da doch die Bodentemperatur so ziemlich im selben Verhältnisse zur Lufttemperatur steht, wie die Wassertemperatur des Balaton. Nicht uninteressant ist jedoch zu beobachten, wie schwer der Boden sowohl im positiven, wie auch im negativen Sinne eine von 0° verschiedene Temperatur annimmt. Der Grund liegt in jener Wärme, welche während des Gefrierens des im Boden befindlichen Wassers frei wird, resp. beim Schmelzen gebunden wird. Wenn die Bodentemperatur bis 0° sank, fällt sie solange nicht, bis das im Boden befindliche Wasser nicht gänzlich gefroren ist. Derselbe Fall tritt auch beim Schmelzen ein. Solange das Grundwasser nicht gänzlich geschmolzen ist, kann die Bodentemperatur nicht über 0° steigen. Währenddem daher die Bodentemperatur bei 0° verweilt, vollzieht sich die Umwandlung des Aggregatzustandes der Bodennässe. Auch im Balaton ändert sich die Temperatur des Wassers vom Beginne der Eisbildung an nur sehr wenig. Die Kurve der Temperaturen wird sozusagen von der Kurve der Eisdicke ersetzt, da letztere über den weiteren Wärmeverlust Aufklärung bietet. Die beiden müssten eben nur auf ein gemeinsames Mass bezogen werden, was jedoch eine ziemlich schwere Aufgabe ist, die nur zu lösen wäre, indem wir beide in Kurven der Wärmemengen umwandeln würden. Dann würde es sich lohnen, dieselben mit der Integrallinie der Lufttemperaturen zu vergleichen.

bei hellem Mondschein das Knattern und Anwachsen sehr stark ist. Freilich hat der Mond mit dem Vorgang nichts zu tun, ebenso wenig wie mit den nächtlichen Frösten, welche dem Obste Schaden bereiten.

Die Geschichte des Balatoneises und der Beobachtungen während der 12 Beobachtungsjahre enthält kurz gefasst die zu den Figuren 1—12 geschriebene Erläuterung. Das stärkste Eis wurde im Winter 1892—93 und 1900—901 beobachtet. Im ersteren Winter fand LUDWIG v. Lóczy eine Dicke von 46 cm. (Fig. 16), im



Fig. 16. Die Dicke des Eises im Winter 1892—93 (46 cm.).

letzteren mass ich das Maximum, nämlich 51 cm. Die Bewohner der Umgebung erzählen jedoch von viel stärkerem Eis, es wäre vorgekommen, dass das Eis derart anwuchs, dass die Fischer nur so ein Loch hauen konnten, indem sie zuerst in das Eis eine Grube einschnitten, und in diese einen Knaben stellten, der weiter grub, denn als das Wasser noch garnicht zu sickern begann, war die Grube schon so tief, dass ein Weiterarbeiten nur so möglich war. Ein so starkes Eis entstand während der Beobachtungen kein einziges Mal, dass es jedoch nicht unmöglich ist, erscheint klar, denn weder der Winter 1892—93, noch der von 1900—901 war besonders streng. Wir kennen viel strengere Winter.

Einen völlig eisfreien Winter hatten wir während dieser Jahre auch nicht, obwohl im Winter von 1898—99 wirklich kaum Eis entstand. Von den Bewohnern

hörte ich, dass es schon Winter gab, während welchen kein Stückchen Eis am See schwamm, das Jahr konnten sie aber nicht nennen.

Es gab auch Jahre, in denen das Eis zweimal (1902—903), sogar auch eines (1896—97), in welchem es sogar dreimal neu entstand. Im ersten Winter war das Eis in beiden Fällen genügend stark, in letzterem konnte man dagegen dasselbe nicht betreten, gerade nur, dass es den ganzen See bedeckte.

Der sich schnell bildende, starke Eispanzer ist von grosser Wichtigkeit für die Fischerei. Ist der See von schlechtem Eis bedeckt, so ist das Fischen unmöglich; das Fischen im freien Wasser ist im Winter nicht günstig, um so besser aber am Rücken des starken Eises. Zu solcher Zeit wird viel gefangen und es kann in der harten Kälte auch sicher alles verwertet werden.

KAPITEL II.

ERSCHEINUNGEN DER EISBILDUNG.

A) Das ruhige Gefrieren.

Das Wasser des Balaton unterscheidet sich nach Analysen von LUDWIG ILOSVAY beträchtlich von dem anderer europäischer Seen, da dasselbe ein sehr dünnes Mineralwasser ist. Es ist ein an Sulphaten und Kohlensäure reiches, Alkali- und Erdalkali-Mineralwasser. Der Salzgehalt ist genügend gross, um den Schmelzpunkt herunterzudrücken. DR. KARL TANGL war so freundlich, im physikalischen Institute der Kolozsvärer Franz-Josef-Universität den Schmelzpunkt des Wassers zu bestimmen. Er bekam -0.0177°C , die Depression des Schmelzpunktes ist daher -0.0177°C . Es ist dies zwar kein grosser Wert, jedoch ein genügender Beweis dafür, dass bei dem Gefrieren des Wassers der Salzgehalt eine Rolle spielt und wie das die Experimente von G. QUINCKE zweifellos beweisen,¹ ist auch der Zusammenhang zwischen der Konstruktion des Eises und dem Salzgehalt ein enger. Nach QUINCKE's Auffassung scheiden sich während der Eisbildung die Salzteile aus und es entstehen solche Schichtchen, welche infolge ihres grossen Salzgehaltes eine von jenen Wasserteilen, aus welchen das Salz ausgeschieden ist und die daher dünnere Salzlösungen sind, verschiedene Oberflächenspannung besitzen. Folglich benehmen sich diese salzigen Schichtchen gegenüber den süsseren wie dehnbare Häutchen, welche die weniger salzigen Kristalle umgeben. Als wären sie die Blasenwände klebriger Flüssigkeiten, demgemäss verteilen sie sich in der gefrierenden Flüssigkeit. Der Schmelzpunkt dieser sehr salzigen, klebrigen Schichtchen ist tiefer als derjenige der reinen Kristalle, weshalb sie auch später gefrieren. Wenn — infolge langsamen Frierens — alle Luft aus der Flüssigkeit entwichen ist, sind nach Beendigung der Eisbildung diese salzigen, blasenartigen Wände unsichtbar, das Eis erscheint als eine durchsichtige, einheitliche Masse. Geschah jedoch der Vorgang plötzlicher, verblieb in dem Wasser auch Luft, welche nun aus den gefrierenden Teilen ebenso ausgeschieden wird wie das Salz, so sammelt sie sich in den salzigen, konzentrierteren Teilen an, wo sie in Form von Blasen erscheint, die von salzigen Eiswänden umgeben sind. Diese Blasen verleihen dem Eise eine matte, weisse Farbe. Dieselben sind um so kleiner und zahlreicher, je rascher der Verlauf der Eisbildung war.

¹ G. QUINCKE: *Über Eisbildung und Gletscherkorn*; Annalen der Physik, IV. Folge, 18. Band, p. 1—80, ausserdem auch im Bande 7 und 9.

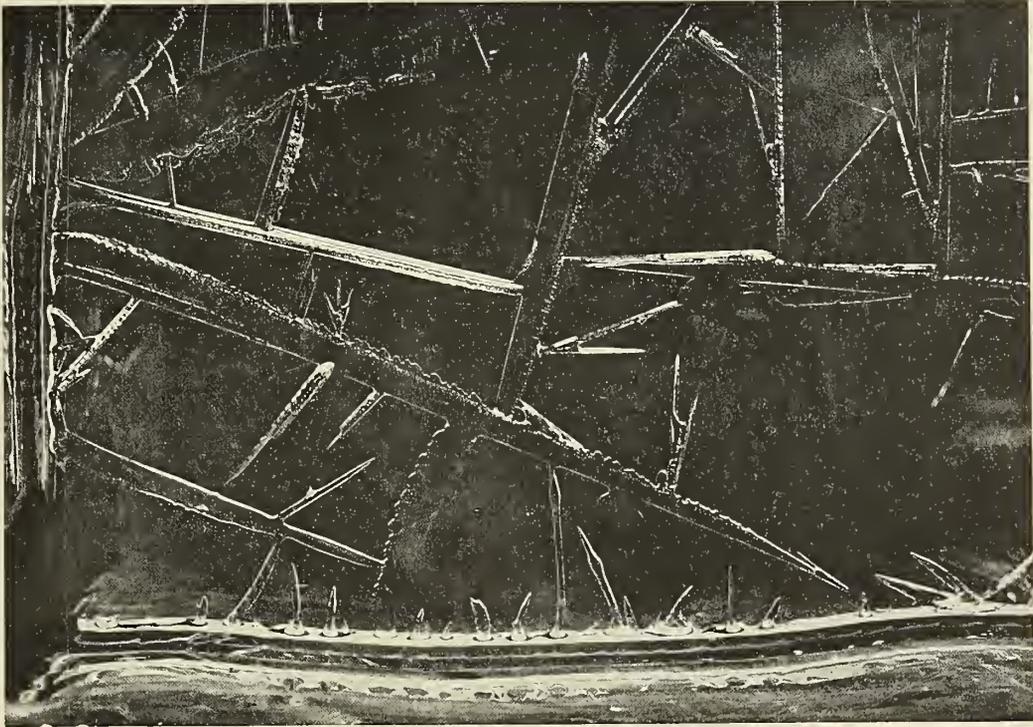


Fig. 17. Produkte der ersten Eisbildung im destilliertem Wasser. Vergrößerung $1\frac{1}{2}$ -fach.

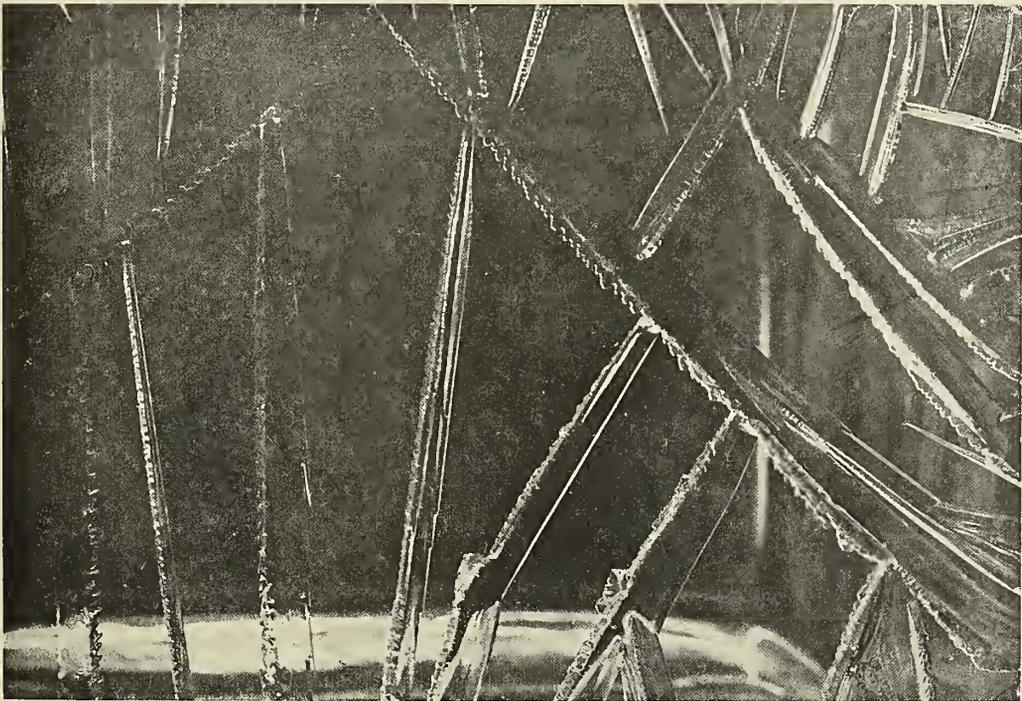


Fig. 18. Produkte der ersten Eisbildung im destilliertem Wasser. Vergrößerung $1\frac{1}{2}$ -fach.

Die salzigen Eiswände der Bläschen bilden sich meist in senkrechter Richtung auf die Eisfläche. Mit dieser Erscheinung müssen wir uns hauptsächlich an jener unten folgenden Stelle befassen, welche vom Schmelzen und Zerstören des Eises berichtet.

Während der Eisbildung zeigen sich zu allererst auf der Wasseroberfläche Eisnadeln, welche hauptsächlich Winkel von 30° , 60° , 90° und 120° mit einander einschliessen, jedoch kommen auch andere Winkel vor. Die ersten Kristalle sind um so einfacher, je reiner das Wasser ist. Dies ist übrigens nur natürlich, da hier nur eine geringe Menge des während des Gefrierens sich ausscheidenden Salzes vorhanden ist, welches die Kristalle mit klebrigen, langsamer gefrierenden Zellwänden umgibt. Diese Konzentrierung des Salzes und Komplizierung der Vorgänge beginnt erst, wenn die ersten, stabförmigen Kristalle genügend anwachsen. Fig. 17 und 18 zeigen uns die ersten Stadien der Eisbildung im destillierten Wasser. Wir können daraus ersehen, wie da einfache, grosse Eisstäbe, ohne jede kleinere Gliederung zustandekommen.

Je grösser der Salzgehalt ist, desto kompliziertere und zierlichere Formen entstehen.

Während des leider nicht sehr strengen Winters 1905/906 machte ich zur Beobachtung dieser Erscheinung im Geographischen Institute der Kolozsvärer Universität mit meinem Assistenten JULIUS BUSZEK und unserem Laboranten genaue Experimente. In gewissenhaft gereinigten Porzellanschüsselchen stellten wir Wasser in das Fenster. Auf der Wasserfläche schwamm ein einfacher Holzrahmen, mit welchem die in Bildung befindliche erste Eiskruste leicht herauszuheben und vor den photographischen Apparat zu bringen war. Der Saal, in welchem die Versuche angestellt wurden, hatte eine Temperatur unter 0° , damit während der Operationen das Eis nicht schmelze.

Das herausgehobene erste Gebilde wurde rasch in das vor dem photographischen Apparat aufgestellte Gestell gebracht, hinter welchem sich ein dunkler oder lichter Hintergrund befand, worauf die Aufnahme mit dem schon im voraus eingestellten Apparat rasch geschah. Es gelang uns solcherart wirklich brauchbare Bilder zu verfertigen, nie konnten wir aber die feinsten Details vollständig erhalten, da dieselben gewöhnlich schon bei dem Ausheben aus den Schüsseln abbrachen. Flaumige, unendlich zarte Gebilde sind das, welche man auf der Photographie kaum wiedergeben kann.¹

In den Aufnahmen, von welchen ich einige charakteristische in den folgenden Figuren beischliesse, sind tatsächlich die feinsten Teile abgestumpft, abgerundet, als wären sie ein wenig geschmolzen. Dies ist jedoch nur auf den in übernatürlicher Grösse verfertigten Aufnahmen wahrzunehmen und muss hiebei noch bemerkt werden, dass diese scheinbar geschmolzenen Teile sich an ausserordentlich dünnen Eisblättchen befinden, deren Dicke nur das Zehntel eines Millimeters erreicht und es schon ein schöner Erfolg ist, wenn wir überhaupt ihr Bild auf der photographischen Platte erhielten.

Die Eisbildung beginnt im destillierten Wasser mit sehr einfachen, nur wenig geschmückten Nadeln. Diese bilden mit dem Rahmen einen Winkel von ca. 90° ,

¹ Solange das Eis am Wasser liegt, zeigt die Platte die zarten Details desselben überhaupt nicht, da der Brechungskoeffizient für das Eis nicht sehr von dem des Wassers abweicht, und daher diese Formen im Wasser nicht recht zu bemerken sind. Erst wenn wir sie berühren, blitzen sie auf, werden aber durch das bewegte Wasser sofort zerstört.

60° oder 30° und spitzen sich gegen die Mitte der Wasserfläche immer mehr zu. Unzweifelhaft sind das die aus dem salzarmen Wasser entstandenen Kristalle, deren Entwicklung durch die Oberflächenspannung der QUINCKE'schen, salzhaltigen, klebrigen Schichte behindert wurde. Wahrscheinlich ist im ersten Momente der Eisbildung die Temperatur nächst dem Rahmen am tiefsten, weshalb auch die ersten Zellenwände sich nicht an der Wasserfläche, sondern am Ufer nach den bezeichnenden Winkeln festsetzen. Die Nadeln sind aus ganz durchsichtigem, kompaktem Eise. Dass sie nach ihrem Entstehen sofort von konzentrierterer Flüssigkeit umgeben werden, wird dadurch klar bewiesen, dass nur die ersten Nadeln so einfach sind und im weiteren Prozesse an denselben kleine Zieraten auftauchen und zwar höchstwahrscheinlich infolge sehr kleiner Temperaturunterschiede meist nur auf einer Seite der Nadeln. Diese, dem Laube ähnlichen Zieraten sind ungewein dünne Plättchen, sie verraten jedoch dieselbe Konstruktion wie die grossen Nadeln: sie sind kleine, aus den Seiten der grossen Nadeln unter 30, 60, 90° abzweigende Nadeln, welche weitere noch kleinere Nadeln tragen, zwischen welchen dünne, wagrechte Plättchen sich befinden, deren Zellenwände jedenfalls schon horizontal und vertikal sind. Mit der Bildung dieser Plättchen beginnt der zweite

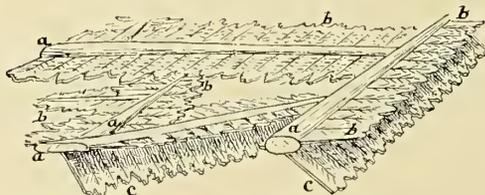


Fig. 19. Produkte der ersten Eisbildung.
a) Eisnadeln, b) horizontale Plättchen, c) geneigte Plättchen.

Abschnitt der Eisbildung, währenddessen die aus der klebrigen Flüssigkeit gebildeten Zellenwände senkrecht zur Wasserfläche (oder unter 30, 60°) sich abwärts fortsetzen. Unzweifelhaft besitzen die Eisnadeln als unvollständige Kristalle eine horizontale, optische Achse, während die in den tieferen Teilen des inzwischen angewachsenen Eispanzers befindlichen Kristalle vertikale optische

Achsen besitzen werden. Es kann sich aber auch ein Winkel von 30, 60° ergeben, wie das die eigentümlichen Erscheinungen im ersten Stadium der Eisbildung beweisen.

Solche aus kleinen Nadeln und dazwischen befindlichen Plättchen bestehende Gebilde entstehen nämlich nicht nur auf der Wasserfläche, sondern reichen auch wie zartgehäkelte Spitzen unter 30, 60° in das Wasser. Auch solche in das Wasser vertikal ragende Spitzen kommen vor, die schief geneigten sind jedoch viel häufiger. Die Neigungswinkel sind hier, wie auch bei den früher genannten Formen immer nur näherungsweise, aber nie genau 30, 60, 90°. Häufig sind auch 15° und deren Vielfache und gar nicht selten auch ganz unregelmässige Richtungen.

Dies gilt auch für die Neigung der Flächen der Zieraten; es gibt hier eine grosse Abwechslung, jedoch scheinen die zu 30° naheliegenden Richtungen zu dominieren.

Unbedingt entstehen diese spitzenartigen Zieraten in der von den grossen Nadeln ausgeschiedenen konzentrierten Flüssigkeit. Auch ihre kleinen Dimensionen verdanken sie dem Umstande, dass sie während der Eisbildung von sehr konzentrierten Flüssigkeiten umgeben werden, deren Gefrierpunkt tief unter Null liegt.

Endlich wird zu oberst die Flüssigkeit derart konzentriert, dass dieselbe vermöge ihres grösseren spezifischen Gewichtes kleine Konvektionsströmungen verursachend, zu sinken beginnt. Der Zwischenraum der Eisnadelchen wird nun wieder von



Fig. 20. Produkte der ersten Eisbildung im Leitungswasser.

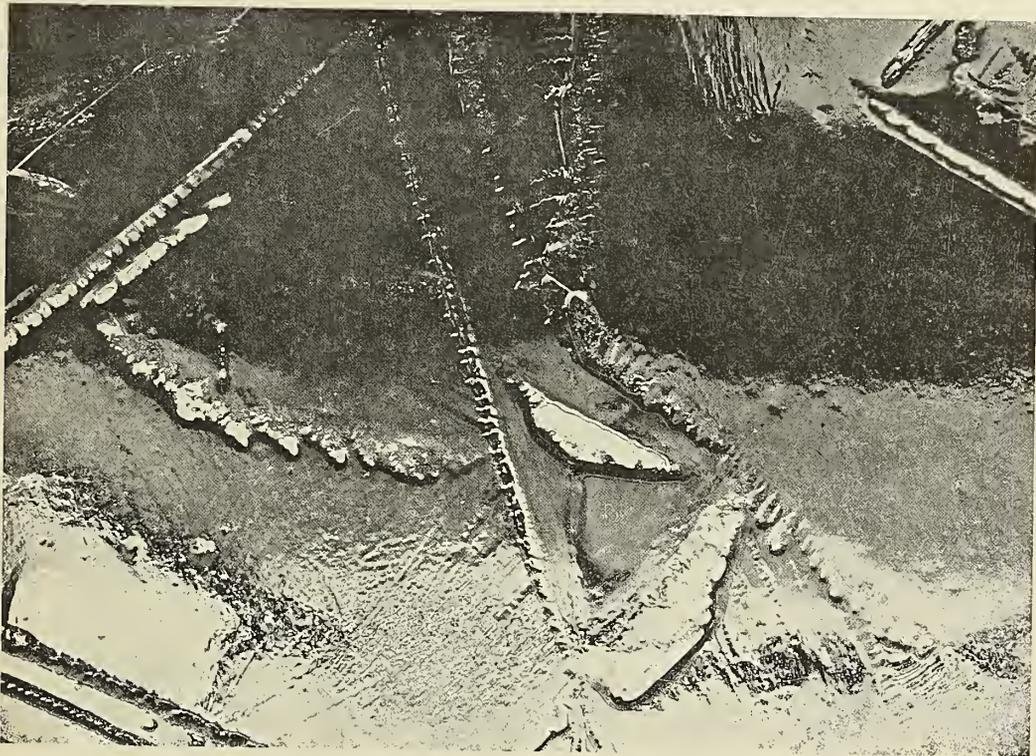


Fig. 21. Produkte der ersten Eisbildung im Leitungswasser, vergrößert.

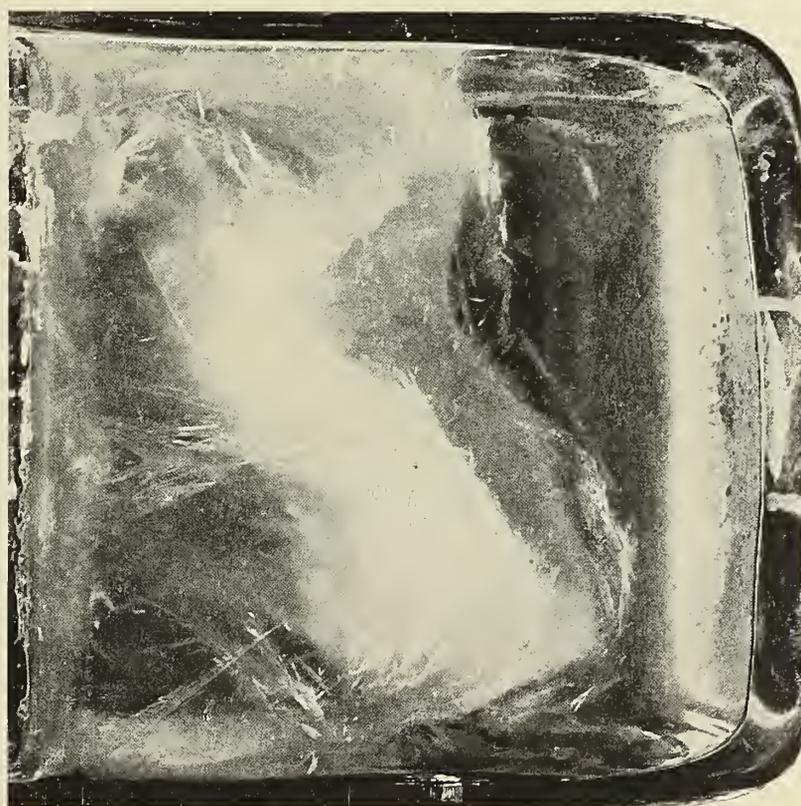


Fig. 22. Erste Eisbildung einer 44%igen Salzlösung in einem glattwandigen Gefäss. (Etwas verkleinert.)

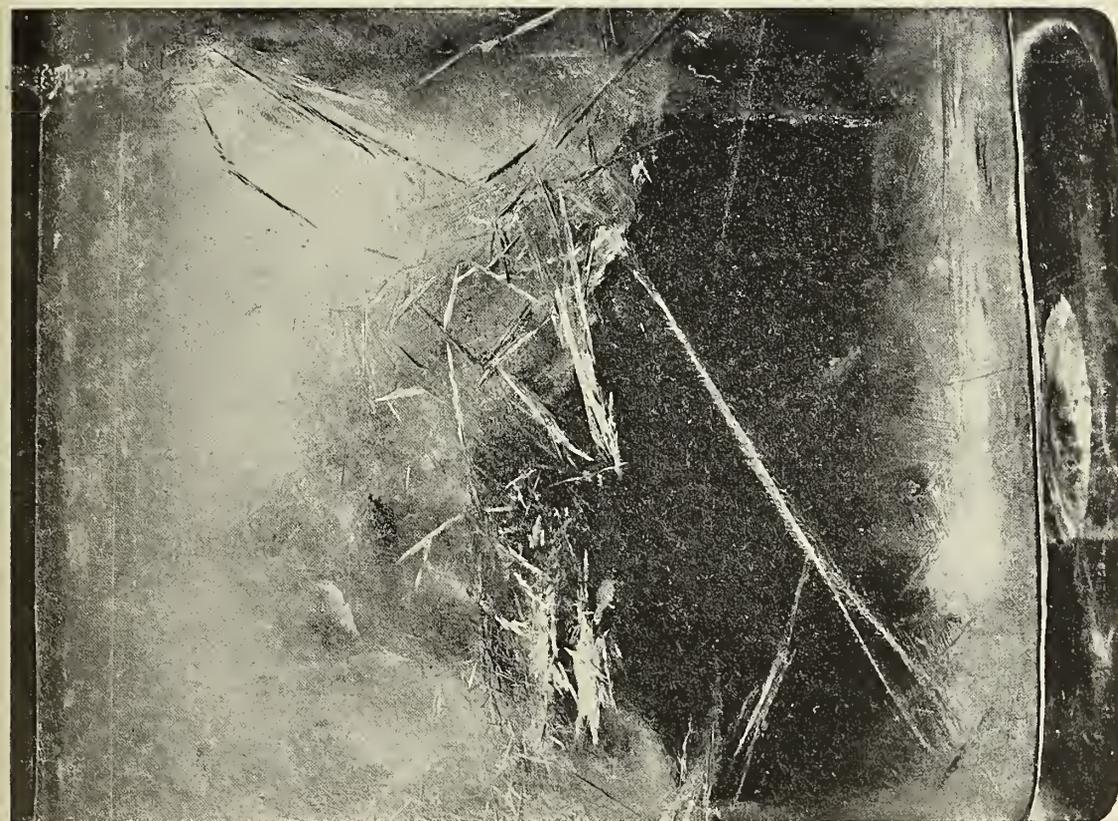


Fig. 23. Erste Eisbildung einer 44%igen Salzlösung nach einer geringen Erschütterung, infolge der die Gebilde etwas emporstiegen. (Etwas vergrößert.)



Fig. 24. Erste, oberflächliche Eisbildung in künstlichem Meerwasser.
(Etwas verkleinert.)

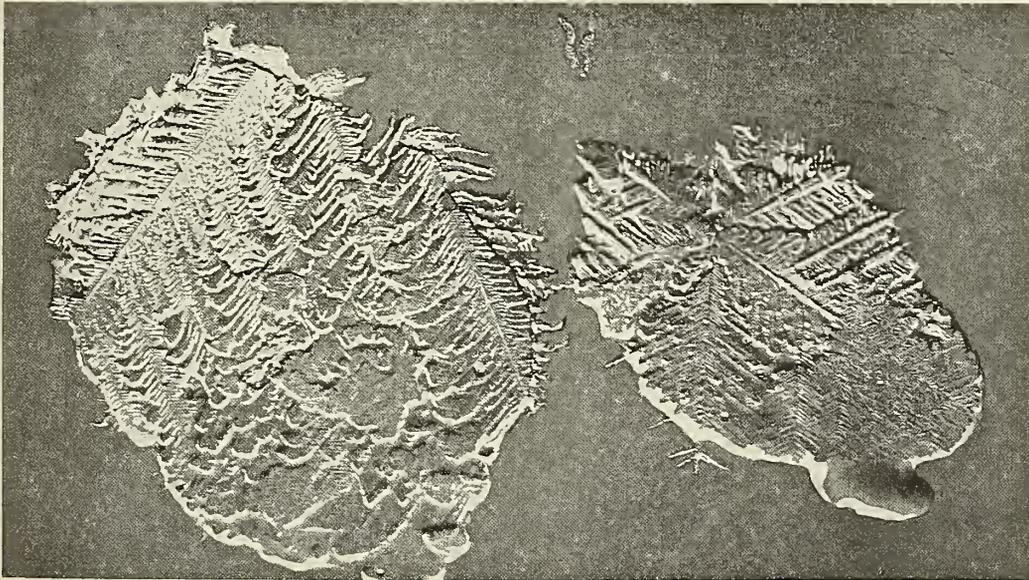


Fig. 25. An der Oberfläche künstlichen Meerwassers aufeinander geschichtete Eisblättchen
in mehr als doppelter Vergrößerung.

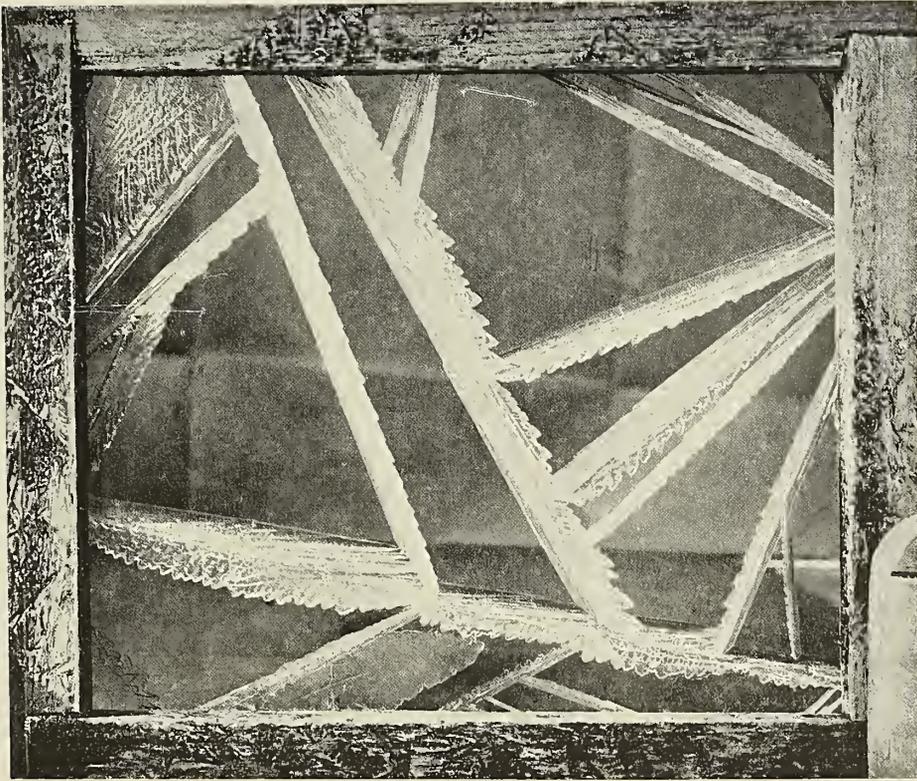


Fig. 26. Erste Eisbildung im Wasser des Balaton. $\frac{3}{4}$ der nat. Grösse.

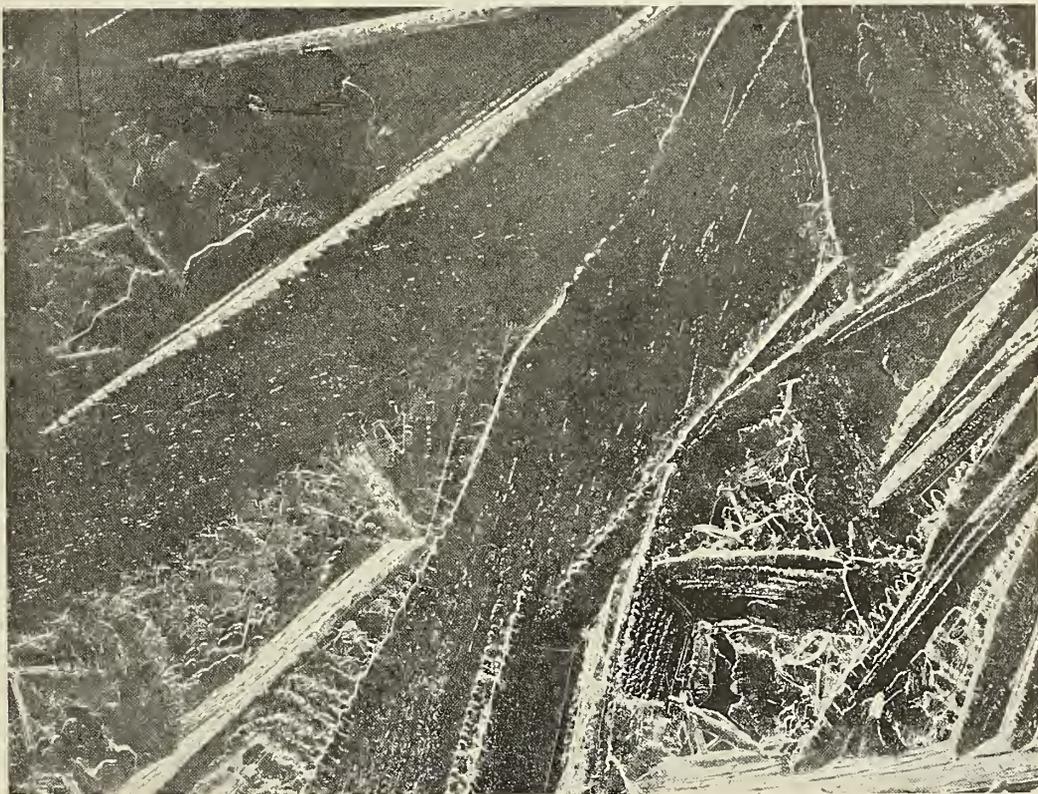


Fig. 27. Das erste Eis des Balaton-Wassers in einem vorgerückteren Stadium. $1\frac{1}{2}$ -fach vergrössert.

salzarmen Wasserschichtchen ausgefüllt, welche hierauf in Form dünner Plättchen gefrieren.

Die schief orientierten Zieraten und deren Verhältnis zu den grossen oberflächlichen Nadeln kann man auf photographischen Aufnahmen nur sehr undeutlich ausnehmen. Deshalb versuche ich ihre Position und Bildungsweise hier nur in einer kleinen Skizze darzustellen (Fig. 19).

Sobald im Wasser mehr Salz enthalten ist, verwickeln sich die Vorgänge bedeutend. Fig. 20 und 21 zeigen uns die erste Eiskruste des Kolozsvärer Leitungswassers. Der Salzgehalt desselben ist vorderhand nicht genau bekannt, da die letzte chemische Analyse im November 1903 angefertigt wurde. Seitdem wurden im Frühling 1904 die Sammelbrunnen in die Leitung eingeschaltet und die Analyse weist seither in der ganzen Menge der Salze eine Abnahme von 18·2‰ auf. Die Abnahme ist besonders im Kalkgehalte bemerkbar, beziffert auf 22·7‰, womit die Abnahme der Härte um 22·9‰ sehr gut übereinstimmt. Seit der Einschaltung der Sammelbrunnen wurde keine vollständige und detaillierte Analyse vorgenommen. Die Daten der bisher bekannten Analysen gruppierte ich dank der Liebenswürdigkeit DR. RUDOLF FABINY's in folgender kleinen Tabelle, in welcher die algebraischen Mittel der vom 1. März 1904 bis 29. September 1906 angefertigten 10 Analysen ersichtlich sind, wobei für MgO nur 4 Analysen zur Verfügung standen.

In einem Liter Kolozsvärer Leitungswasser sind enthalten in Grammen :

Feste Bestandteile bei 110°	0·2490
» » » 180°	0·2438
Kalkoxyd (CaO)	0·0696
Magnesiumoxyd (MgO)	0·0160
Chlor (Cl)	0·0150

Zur Oxydation organischer Stoffe in Laugenlösung sind erforderlich :

KMnO ₄	0·00245
Oxygen	0·0006
Härte des Wassers	9·142 deutsche Grade

Zum unmittelbaren Vergleiche mit dem Wasser des Balaton auf Grund der Daten von DR. LUDWIG ILOSVAY ist nur das CaO geeignet, welches im Balaton in Mengen von 0·0225—0·0280 gr. gefunden wurde. CaO befindet sich daher im Balaton viel weniger als im Kolozsvärer Leitungswasser.

Die auf diesem Wasser entstandene erste Eiskruste ist ziemlich kompliziert, doch können wir auch in ihr die primären grossen, horizontalen Nadeln erkennen, welche aber schon weitaus nicht so einfach sind wie im destillierten Wasser; sie sind viel kürzer, verschieden dick und mit unzähligen Detailformen geschmückt. Zwischen den grösseren finden wir unzählige unvollständige Nadeln, den grossen Teil der Zwischenräume jedoch füllen dünne Luftblasen einschliessende Plättchen aus, welche näher besichtigt, garnicht einfach, sondern mehrmals übereinander geschichtet erscheinen. Die kleinen Schichten besitzen verschiedene Ausdehnung, werden gegen die Tiefe zu kleiner und ihre Begrenzung ist eine abgerundete, wellige Linie. Auch finden wir ganz geschlossene runde Formen, das sind Stellen, von wo das zwischen den dünnen Eisschichtchen befindliche konzentrierte und

wegen seines tiefen Gefrierpunktes noch flüssige Salzwasser beim Ausheben des Gebildes herausfloss und an dessen Stelle Luft trat. Das Ausfliessen des Wassers tritt auch während der Eisbildung ein und zwischen den Plättchen gefriert nur sehr wenig Salzwasser infolge der klebrigen Beschaffenheit und der verschiedenen Oberflächenspannung, weil es von den salzlosen Eisflächen abgleitet und wie Öl am Wasser sich auszubreiten sucht. Die an den Eissäulen sichtbaren perlenreihenartigen Zieraten stammen von den in das Wasser vertikal hineinragenden Gebilden. Diese auf die Bildfläche normal gestellten, hinter den Eisnadeln befindlichen Gebilde erscheinen daher von der Kante gesehen und die verschiedene Beleuchtung ihrer ziemlich gleichmässig gezackten Kante lässt das Bild der Perlenreihe erscheinen.¹

Die hinunter zu ragenden schiefgeneigten Gebilde sind besonders schön in der Fig. 21 ersichtlich, welche in doppelter natürlicher Grösse derart aufgenommen wurde, dass nicht die Oberfläche der Eisplatte, sondern diese schief gestellten spitzenartigen Gebilde scharf eingestellt wurden.

Bemerkt muss noch werden, dass die neben diesen schiefen Gebilden sichtbaren dunklen Streifen keine Schattengebilde sind, als welche sie erscheinen, sondern dass wir hier den dunklen Hintergrund zu sehen bekommen — da diese Stellen infolge der schiefen Spitzen kein solcher Lichtstrahl erreicht, welcher von der Eisfläche in unser Auge zurückgeworfen, ein Glitzern der Eisoberfläche hervorrufen könnte.

Diese eigentümliche Lichterscheinung und viele ähnliche Komplikationen lassen die Plättchen im ersten Augenblicke viel dicker erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind.

Noch komplizierter und detaillierter sind die Formen, wenn wir den Salzgehalt des Wassers künstlich erhöhen.

Ein in einem quadratischen Glasgefässe zum Gefrieren hinausgestelltes Salzwasser beginnt mit der Eisbildung garnicht an der Oberfläche, sondern im Innern der Flüssigkeit durch Bildung wunderbar zarter vogelfederähnlicher Plättchen. Fig. 22 zeigt uns diese Erscheinung im natürlichen Verhältnisse. Wir sehen hier die leicht biegbaren Plättchen von ihrer Kante gesehen, als helle oder dunkle Linien, während sie en face gesehen auch in der Vergrösserung nur verschwommene, helle Flecken darstellen. Sie besitzen ein derart zartes hexagonales Gerüst, dass es erst in der Vergrösserung erkennbar wird.

Sobald wir aber das Gefäss berühren, beginnen diese zarten Gebilde sofort sich langsam emporzuheben und der Oberfläche zuzueilen. Fig. 23 zeigt uns dasselbe Stadium der Eisbildung, wie Fig. 22, jedoch wurde das Gefäss erschüttert, als wir es vor den photographischen Apparat brachten und die genannten Gebilde erhoben sich hiedurch beträchtlich.

Wenn die Eisbildung weiterschreitet, gelangen diese zarten Gebilde sämtlich zur Oberfläche, woselbst sie aufeinander geschichtet, sich zu einer lockeren, mürben, leicht zerstörbaren Kruste verdichten. Diese zarten Blättchen entstanden, wie wir ja wissen, aus salzfreiem Wasser. Während ihrer Aufeinanderschichtung bleiben jedoch dünne Schichtchen salzigen Wassers dazwischen zurück. Die

¹ Ich muss bemerken, dass die obere Hälfte des Bildes einen hellen, die untere einen dunklen Hintergrund besass, wodurch die Beleuchtungsunterschiede entstanden. Dieser Vorgang erwies sich als zweckmässig, um die Erscheinung in beiden Beleuchtungen vorführen zu können.

Oberflächenspannung dieses dichten salzigen Wassers ist von der des gefrorenen Wassers verschieden, folglich ist ersteres bestrebt sich auszubreiten. Die aus süßem Wasser gebildeten Eisblättchen sind überdies viel leichter als die dichte salzige Flüssigkeit, weshalb sie auch durch eine bedeutende Kraft gegeneinander und hinauf zu gepresst werden.¹ Die Folge der beiden Wirkungen wird daher das langsame Entweichen des Salzwassers zwischen den dünnen Blättchen sein, worauf letztere zusammenfrieren. Zwischen den Blättchen bleiben nur hautartig dünne Schichtchen des Salzwassers übrig.

Das Bild des Eises, welches aus dieserart zusammengepressten Blättchen bestehend, in kurzer Zeit zu einem dauerhaften Panzer zusammenfriert, ist sehr interessant (Fig. 24). Es ist das ein sehr verschwommenes, hie und da mit Luftblasen und zahllosen, regellos verlaufenden Konturen unterbrochenes Bild, in welchem wir die wunderschönen horizontalen Nadeln des wenig salzigen oder destillierten Wassers ganz und gar vermissen.

Das in der Fig. 24 ersichtliche Gebilde ist aus künstlichem Meerwasser entstanden. Das künstliche Meerwasser wurde mir durch die Freundlichkeit des PROF. RUDOLF FABINYI im chemischen Laboratorium der Kolozsvärer Universität angefertigt.

Wenn wir es nicht abwarten, bis die Blättchen sich sehr verdichten, sondern vorsichtig einige aus dem Wasser nehmen und auf eine Glasplatte gelegt unter dem Vergrößerungsglase untersuchen, so bekommen wir das Bild der Fig. 25 zu sehen. Es wird uns dann die niedliche und zarte Konstruktion der Blättchen auffallen, welche ganz die Gesetze des hexagonalen Kristallsystems befolgen.²

Eine Konstruktion, wie sie von DRYGALSKI im Eise der grönländischen Fjorde beobachtet wurde, wo nämlich die Blättchen vertikal d. h. senkrecht auf die Wasserfläche standen, konnte ich experimental nicht herstellen. Die Blättchen nahmen geradeso wie im salzarmen Wasser immer eine horizontale Lage an der Oberfläche ein.

Untersuchen wir nun das Wasser des Balaton. Einige Liter desselben erhielt ich von PROF. ALEXANDER v. LOVASSY aus dem See geschöpft und gut verpackt in Kolozsvár. Es stammte aus Keszthely vom Ende des Molo.

Die Formen der ersten Eisbildung stimmen überein mit jenen des Kolozsvärer Leitungswassers, sie sind nur etwas einfacher. In Fig. 26 sehen wir die ersten prachtvoll entwickelten Eisnadeln. Jede dieser Nadeln ist von einem horizontalen oder geneigten Zierat geschmückt, während wir unten in der Mitte schon das Eindringen der horizontalen Blättchen zwischen die Nadeln beobachten

¹ Allein nur dieser Druck kann die Blättchen aneinander pressen, folglich kann DRYGALSKI'S Meinung nicht bestehen (Grönland Expedition I. Bd. S. 414.), dass nämlich in einem zugefrorenen See während der weiteren Eisbildung die durch die Umwandlung des Wassers zu Eis bewirkte Volumenausdehnung jenen Druck erzeugt, welcher die kleinen Eisblättchen aneinander presst. Solange sich zwischen diesen Blättchen Salzwasser befindet, macht sich der in der Flüssigkeit herrschende Druck auf beiden Seiten der Blättchen in gleichem Masse geltend. Wenn hingegen zwischen den Blättchen das Salzwasser schon entwichen ist, benötigen sie keinen weiteren Druck, um zusammenzufrieren.

² In der Nähe des unteren Endes des rechtseitigen Blättchens befindet sich ein grosser Wassertropfen, das zwischen den Blättchen befindliche Wasser. Die kleinen Blättchen glitten während der Aufnahme ein wenig abwärts, das an ihnen haftende klebrige Salzwasser verhinderte nämlich ein Anfrieren an das wärmere Glas.

können. Links oben sind auf dem Bilde ein geneigter Zierat und ein horizontales Blättchen von einander gedeckt. Bemerkenswert muss werden, dass wir im Bilde die Nadeln von unten zu sehen bekommen. Die im Bilde ersichtliche Fläche des Holzrahmens war in das Wasser getaucht.

Im vorgeschritteneren Stadium (Fig. 27) werden wir jene überraschende Erscheinung beobachten können, dass obwohl schon die Nadeln der ersten Eisbildung einfacher sind als im Leitungswasser, auch im Weiteren der Vorgang nicht so kompliziert ist, als im Leitungswasser. Sehr wahrscheinlich verursacht das die geringere Härte des Balatonwassers, vielleicht auch die leichtere Lösbarkeit der darin befindlichen Salze, bzw. die geringere Gesättigtheit des Wassers, obwohl die absolute Menge des Salzes grösser ist.

Aus all diesen Experimenten ist es ersichtlich, dass die Eisbildung im Balaton denselben Beginn hat, wie in anderen Süsswässern: 1. bilden sich auf der Oberfläche Nadeln, 2. an diese Nadeln schliessen sich in geneigten oder horizontalen Flächen Zieraten an, 3. schichten sich zwischen den Nadeln dünne Plättchen auf einander und sobald die Oberfläche ganz zugefroren ist, geschieht, 4. die Eisbildung nur mittels dieser Plättchen. Die Plättchen schmiegen sich infolge des Auftriebes eng aneinander, das klebrige Salzwasser sickert (zum grössten Teile) aus den Zwischenräumen heraus und die Plättchen bilden eine kompakte, einheitliche, durchsichtige gefrorene Masse. Ganz dieselben Vorgänge beobachtete auch DRYGALSKI während der Grönland-Expedition in den am Lande und auf der Eisoberfläche gebildeten Seen, ohne jedoch den Erscheinungen eine Erklärung beizufügen.¹

Die Entstehung der Nadeln verursacht die Salzausscheidung, welche sich während der Eisbildung vollzieht. Infolge derselben werden die Kristalle, je stärker ihr Zuwachsen ist, von einer immer konzentrierteren Lösung umgeben. Diese konzentrierte Lösung nimmt die Rolle einer klebrigen Haut über, welche die intakte Ausbildung der Kristalle verhindert. Sobald die Nadeln eine gewisse Dimension erreichen, wird die oberste Schichte der Flüssigkeit zu einer noch konzentrierteren Salzlösung, deren Gefrierpunkt (richtiger Schmelzpunkt) herabsinkt, weshalb hier die Eisbildung stockt und weiter keine grossen Nadeln entstehen.

Es genügt jetzt schon die Bildung ganz kleiner Nadeln dazu, dass das hiedurch ausgeschiedene Salz die Umgebung sehr konzentriert. Endlich wird der Salzgehalt der obersten Schichte überall derart gross, dass das Hinabsinken derselben beginnt, begleitet von kleinen Konvektionsströmungen, worauf die Bildung der Plättchen beginnt und was die Hauptsache ist, die vertikalen Zellenwände entstehen (QUINCKE), welche jedenfalls die Wege des in die Tiefe sinkenden Salzwassers bezeichnen.

An der in ruhigem Wasser gefrorenen dicken Eisplatte können wir demnach zwei wesentlich verschiedene Teile unterscheiden. Der obere Teil besteht aus den Nadeln horizontaler Kristallgruppen, aus gezackten Flächengebilden und aus dazwischen gefrorenen horizontalen Plättchen. Wenn eine Lache über Nacht gefriert, das Eis jedoch nicht genügend an Dicke anwachsen konnte, da das Wasser unter der ersten dünnen Kruste in den Boden sickerte, finden wir an Stelle der Lache in der Früh nur diese obere Schichte. Zertrümmern wir diese

¹ E. v. DRYGALSKI: Grönland-Exp. d. Ges. für Erdkunde zu Berlin I. B. S. 411 etc.

und betrachten wir ein Stück derselben, so werden wir alle vorher beschriebenen, den dünnen Salzlösungen eigenen Formationen vorfinden können, da diese Lachen an der Strasse gewöhnlich aus Regenwasser, oder aus Schmelzwasser entstehen und ihr Wasser gewöhnlich eine ziemlich dünne Salzlösung ist. Dies ist der Grund, dass die horizontalen Eisnadeln gewöhnlich gut ausgebildet sind. Wenn das Eis jedoch genügend Zeit zum Anwachsen hatte, so ist die untere Fläche ganz glatt ohne jede Spur der Spitzen und Stäbchen. Die untere Fläche des starken Balatoneises ist stets eine glatte, durch keine Unebenheit gestört, ausgenommen freilich das gestaute Eis, von dem später die Rede sein wird. Wenn auf die erste ruhige Eisbildung kein Schmelzen stattfindet, so bemerken wir auf der Oberfläche des Eises leicht die Nadeln und Zieraten, sogar auch dann noch, wenn das Eis schon so stark geworden ist, dass man es betreten kann. Dies ist aber der seltenere Fall, gewöhnlich gefriert nicht der ganze See ruhig, nur Teile desselben, was am Eise leicht zu erkennen ist. Wenn wir auch solche Teile finden, so ist deren oberste Schichte meist schon verschwunden, da das Gefrieren durch Tauwetter unterbrochen wird, gewöhnlich derart, dass es nachts friert und bei Tag ein wenig schmilzt. Diesem Schmelzen während des Tages fällt dann die oberste, Eisnadeln tragende Schichte zum Opfer.

Auf der Oberfläche der auf dem Eise entstandenen Lachen finden wir diese oberste Schichte. Wenn das Eis infolge ungleichmässiger Belastung (z. B. der Eiswall der «turolás» genannten Erscheinung) stellenweise einsinkt, und hier das Schmelzwasser oder das an Sprüngen emporgestiegene Wasser sich ansammelt, kann die Oberfläche desselben leicht gefrieren, während das unterhalb befindliche Wasser wieder verschwindet. Auf diese Weise entsteht ober der Haupteisplatte eine dünnere Eisschichte, meist auf ihre quergestellten Zieraten gestützt, welche unter unseren Tritten klirrend zusammenbricht. Diese dünne Schichte besitzt immer Eisnadeln, welche ein wenig über die obere Fläche emporragen, während die untere Fläche voll mit spitzenförmigen Zieraten ist, welche wunderschöne Formationen bilden.

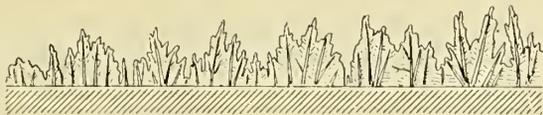


Fig. 28. Beim Zuschliessen von Spalten emporragende Eisnadeln und Plättchen.

Wenn eine klaffende Spalte über Nacht zufriert, entsteht auch hier im ruhigen Wasser eine nadelige, dünne Eisschichte. Eine solche sehen wir in der Spalte der Fig. 91. Die meisten Nadeln stehen senkrecht auf die Richtung der Spalte, doch laufen sie oft vom Rande derselben strahlenförmig aus, in welchem Falle die von beiden Seiten kommenden Nadeln schöne Formen bilden. Im wärmeren Wetter pflegen sich derartige Spalten zu schliessen, in welchem Falle die dünne Eisschichte zerbricht und langsam aus der horizontalen Lage herausgehoben wird, wobei sie infolge der bekannten Eigenschaft des Eises an den Rand der Spalte angefroren bleibt. Allmählich erreicht die dünne Schichte eine vertikale Stellung, die horizontalen Plättchen fallen heraus und nur die stärkeren Nadeln ragen über die geschlossene Spalte kreuz und quer gebogen empor (Fig. 28). Ein eigentümliches Bild! Die zarten Gebilde sind gerade aufgerichtet in einer unabsehbaren Linie längs der Spalte und glitzern über derselben in Gruppen strahlenförmig bald wieder in regelmässigen aufgerichteten Reihen. Die nicht allzugrossen Gebilde

konnte ich leider trotz öfteren Versuchen nicht aufnehmen. Am besten, wenn auch in gekrümmter Stellung, sind sie in Fig. 83 sichtbar.

Wie erwähnt, verschwindet diese Schichte mit ihren Eisnadeln von der Oberfläche des Eises und das ruhig entstandene Eis besitzt eine einheitliche Zusammensetzung.

Wenn wir aus diesem Eise einen derart grossen Block ausschneiden, dass dessen Dicke nur einige cm. beträgt und denselben jenen Prüfungen unterziehen, welche TYNDALL zu allererst erwähnte,¹ die aber noch viel schöner und mit präziser Genauigkeit von H. SCHOENTJES durchgeführt wurden,² gelangen wir zu denselben Resultaten.

1. Üben wir auf die ursprüngliche Fläche des Eises einen vertikalen Druck aus, so erscheinen darin die TYNDALL'schen Wasserblumen, nämlich infolge des Druckes schmelzen die zwischen den dünnen Plättchen zurückgebliebenen Salzwasserschichtchen und blitzen in hexagonalen, schneeflockenähnlichen Formen im Innern des Eises auf. In der Mitte jeder dieser Blumen oder Sterne ist eine leere Blase, welche das Resultat der durch Verwandlung des Eises in Wasser bewirkten Volumenverminderung entstanden ist.

2. Lassen wir durch eine Sammellinse Strahlen auf das Eis fallen, so schmelzen kegelförmige Löcher heraus, an deren Wänden wir leicht den geschichteten Aufbau des Eises erkennen und deren parallele Lage mit der Oberfläche.

3. Dringt ein Strahlenbündel durch den Eiswürfel, so erscheinen in demselben die TYNDALL'schen Wasserblumen ebenso, wie infolge des Druckes. Die Ebene dieser prächtigen Gebilde ist in diesem Falle ebenso mit der Wasserfläche parallel, wie in TYNDALL's Experimenten.

Mit einem Worte, das Eis des Balaton besitzt also einen genau solchen Aufbau, wie das eines beliebigen Süsswassers, wenn es ruhig zufriert.

B) Das Anwachsen des Eises.

Das Eis des Balaton wächst daher in der Dicke hauptsächlich durch Dazufrieren von unten. Darum ist auch die untere Fläche der Eiskruste immer spiegelglatt, nur hie und da gelangen die Teile verfaulten Pflanzen hinauf und schmiegen sich an diese untere Fläche. Der Prozess des Frierens setzt sich dann fort und wir finden nun in das Eis eingelagert eine dünne Schmutzschichte. Eine derartige fand ich am 17. Februar 1901 zwischen Siófok und Alsóórs, ca. 4 km. von Südufer entfernt (Fig. 29). Das Eis war hier 41 cm. stark und ober der unteren Fläche in 4—5 cm. Höhe zog sich eine lichtbraune, aus feinem Pflanzenstaub bestehende Schichte hin. Zur oberen Fläche wuchs 5—6 cm. dick eine Schneeschichte hinzu, was wir an den vielen Blasen und der weissen Farbe des Eises sofort erkannten.

Dies ist häufig der Fall. Wir wissen aus dem ersten Kapitel, dass Schneefall in der Umgebung des Balaton meist mit lauer Witterung verbunden ist, es ist daher in solchen Fällen das Tauwetter keine Seltenheit und darauf folgt immer wieder Frost. Aus dem Schnee wird Firn, er wird hart, vom Schmelzwasser vielleicht

¹ J. TYNDALL: Die Wärme als eine Art der Bewegung.

² H. SCHOENTJES: Fleurs de la Glace. Gand, 1905. Verlag von J. Vanderporten.

sogar durchtränkt und es entsteht ein weisses, mit Luftblasen erfülltes Eis. Auch in derart zustande gekommenem Eis findet man oft dünne Kotschichten. Das Entstehen dieser kann ich mir nicht anders erklären, als mit dem vom Winde dorthingeschleppten Schmutz. Das geschichtete Auftreten lässt sich durch den Wechsel von Schneefall und Staubgestöber erklären. Ich fand am 4. Februar 1901 7 km. westlich von Siófok und 2 km. einwärts vom Ufer, an der Oberfläche eine sehr interessante Stelle (Fig. 30). Das zwischen den zwei Schmutzschichten befindliche Schneeeis stammte von jenem Schneefall, dessen wunderschöne Schneeformen Lóczy photographierte (Fig. 114). Die darüber befindliche reinere, 45 cm. dicke Schichte fror nach dem starken Tauwetter der ersten Tage des Februar dazu. In dem unteren,

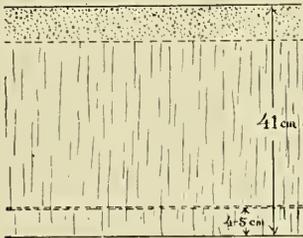


Fig. 29. Schmutzschichte in der Nähe der unteren Fläche des Eises.

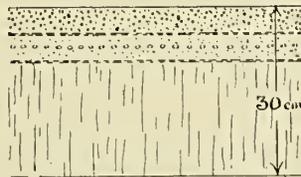


Fig. 30. Schnee und Schmutzschichten.

firnartigen Eise ist eine Reihe von Luftblasen, als eine separate Schichte bemerkbar. Diese entstand während des heftigen Windes. Der unterhalb der Blasen befindliche Schnee war schon firnartig hart, als der Wind die obere, dünnere Schichte darauf blies. An der Begrenzung beider blieb die Luft in grossen Blasen zurück, während in den anderen Teilen des firnartigen Eises die Blasen winzig klein sind.

Die Oberfläche des aus dem Schnee umgewandelten Eises ist nie eben. Die einstigen Schneehügelchen und andere Formen, wie immer sie auch zusammengepresst sind, bleiben immer noch ein wenig bemerkbar. An derartigen Stellen ist der Übergang vom Schnee in das harte, stahlige Eis ein allmählicher, weshalb auch die Bestimmung der Stärke des Eises auf Hindernisse stösst.

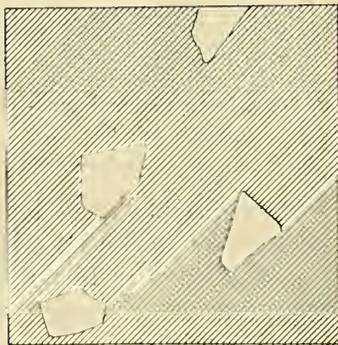
C) Unruhiges Frieren.

Viel häufiger als der zusammenhängende, in ruhigem Wasser sich bildende Eispanzer, ist das unruhige Frieren. Die erste Eiskruste wird vom Winde zerstört, auf dem dem Winde ausgesetzten Ufer zusammengestaut, worauf neuerdings sich dünnes Eis bildet, welchem es gerade so ergehen kann wie dem ersten. Ist hingegen die Kälte anhaltend, frieren diese zertrümmerten, gestauten Eisstücke zusammen, zwischen den frei schwimmenden Blöcken entsteht eine ruhige Wasserfläche und mit der Zeit kommt doch ein mächtiger Eispanzer zustande. In solchen Fällen erkennen wir folgende Formen:

1. Wenig abgerundete, polygonale Stücke, singular verstreut in dem reineren, ruhig gefrorenen Eise (Fig. 31). Dieses erste Eis ist gewöhnlich voller Luftbläschen, weiss gefärbt, gewiss mit Schnee vermischt, das ganze, wie es oft der Fall ist, in

Wellen gebildet. Die Oberfläche des Sees wird dann von einem wahren Brei bedeckt, welcher in der ersten windstillen Nacht zusammenfriert. Nachher kommt wieder ein stärkerer Wind, welcher diese ganze Tafel zerstückelt. Die schwimmenden Tafeln frieren in das später ruhig entstehende Eis ein.

2. Mehr abgerundete Stücke, dicht an einander. Dies ist gänzlich die von FOREL «glaçon-gâteau» genannte Form, welche er als die häufigste Eisform des Lac Léman beschreibt. Er vergleicht sie mit dem «pan cake» der englischen Polarreisenden. Es sind das frei schwimmende, sehr abgerundete Stücke, dicht neben einander. Am Rande eines jeden dieser Blöcke befindet sich eine kleine Trümmerschanze, durch deren Gewicht die Tafeln vom Wasser überschüttet werden. Während jedoch diese Eisgattung am Genfer-See nie in einen harten Eispanzer zusammenfriert, geschieht dies am Balaton immer sehr schnell. Die kleinen Trümmerschanzen sind auch darnach leicht zu erkennen (Fig. 32). Sie erhalten sich sogar sehr lange,



31. Singular verstreute, wenig abgerundete Eisstücke, zusammengefroren.

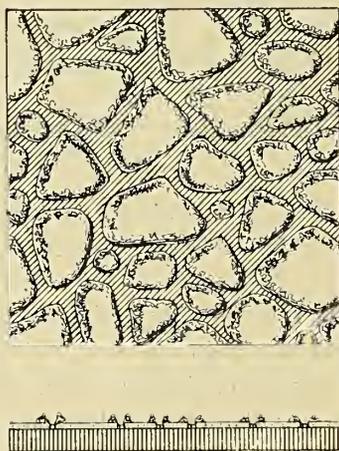


Fig. 32. Eine aus mehr abgerundeten Eisstücken entstandene Tafel. Oben Grundriss, unten Querschnitt.

wie das aus dem 33. Bilde ersichtlich ist, welches in der Nähe des Südufers des Balaton am 10. Januar 1904 photographiert wurde. Die weissen Flecken am Bilde sind derartige einstige Randwälle, welche vom Winde und dem Tauwetter schon ein wenig angegriffen wurden. Die einzelnen Stücke sind jedoch auf diesem Bilde sehr gross, noch wenig abgerundet, weshalb auch der FOREL'schen glaçon-gâteau-Form die auf dem 34. Bilde sichtbaren Gebilde viel besser entsprechen, indem die einzelnen Stücke nur einige dm.² gross und völlig abgerundet sind. Diese Photographie wurde 2 km. vom Südufer des Balaton im Februar des Jahres 1901 angefertigt.¹

¹ In der Mitte des Bildes ist das Wohnzelt sichtbar, welches während der gravimetrischen Messungen des BARON LORAND EÖTVÖS benützt wurde, weit im Hintergrunde das Instrumentenzelt. Damit die weissen glänzenden Eisformen auf der Photographie noch deutlich ersichtlich sein sollen, mussten immer kurze Expositionen angewendet werden. Dies ist der Grund, dass die Gestalten auf sämtlichen Bildern ziemlich dunkel erscheinen. Der Vorgang ist beiläufig derselbe, wie bei den Wolkenphotographien. Das Gelbfilter benützten wir mit keinem guten Erfolg, die Aufnahmen gelangen ohne dasselbe besser.



Fig. 33. Eine aus mehr abgerundeten Eisstücken entstandene Tafel.
Die Spuren der am Rande der einzelnen Stücke angehäuften Bröckchen sind noch sichtbar,



Fig. 34. Eine aus völlig abgerundeten, schwimmenden Blöcken entstandene Tafel.

3. Ein sehr interessanter Vorgang ist es, sobald das bewegte Wasser die zertrümmerten Eistafeln auf das noch zusammenhängende, stärkere Eis längs den Ufern anhäuft. Diese hinausgeworfenen Trümmer drücken die Eisdecke unter den Spiegel des Wassers, worauf das Eis vom Wasser überschüttet wird. Auf diesem oberen Wasser, welches bewegt ist, gelangen einzelne Eistafeln schwimmend weit weg und zerstreuen sich über der zusammenhängenden Eisdecke. Am Rande dieser Eisdecke gelangt von der offenen Wasserfläche viel Eis darauf, und drückt die Tafel tief unter die Wasserfläche, und es kann vorkommen, dass auch zwei schwimmende Stücke übereinander Platz haben. Dies beobachtete ich im Januar 1904, als vor Siófok ein breiter Eisstreifen im Tauwetter fest anhielt, während die Trümmer der drinnen zerbrochenen Tafel durch die Wellen hinausgeschleudert wurden. Derart entstand das in der Figur 35 ersichtliche Gebilde. Die Trümmer des zerstückelten weissen, mit Schnee vermengten Eises sind in das, ober dem peripherischen Eisstreifen ausgebreitete Wasser eingefroren.

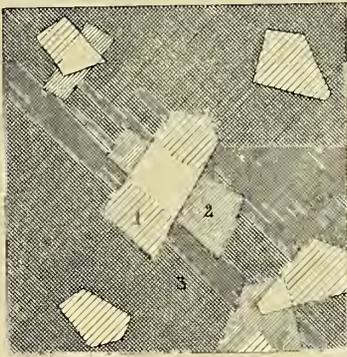


Fig. 35. Auf zusammenhängendes Eis hinausgeschleuderte Trümmer.

1. Oberste, hinausgeschleuderte Tafel, 2. ebenfalls, jedoch unter erstere getrieben, 3. zusammenhängende Eisdecke.

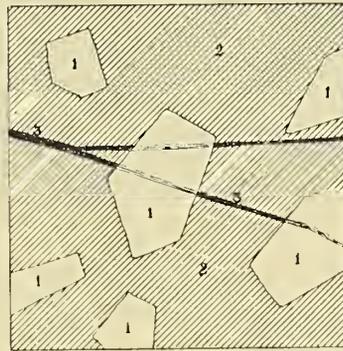


Fig. 36. Sprünge in der unteren, einheitlichen Eisdecke, welche früher entstanden als die oberste Eisschichte, und die Überflutung von den Eistrümmern.

Dass dieser obere Teil tatsächlich ein späteres Produkt ist, beweist das in der Figur 36 dargestellte Detail. Hier erblicken wir in der die Unterlage bildenden, zusammenhängenden Eiskruste einen zugefrorenen Sprung, welcher sich jedoch weder in der obersten, dunklen und sehr reinen Schichte des Eises, noch in den weissen, darin eingefrorenen Eistrümmern fortsetzt. Folglich ist der Sprung älter als beide genannten Teile.

4. Auch kommt vor, dass einzelne Tafeln im offenen Wasser durch Wellen aufeinander geschoben werden, einzelne werden sogar ganz umgekippt. (Figur 37). Die aufeinander geschobenen Tafeln ragen natürlich aus dem glatten Eisfelde als kleine Plateaus empor, während die auf die Kante gestellten Tafeln als phantastische Trümmer unseren Weg verlegen.

Die frei schwimmenden Eistafeln müssten eigentlich nach dem Zufrieren ähnlich hervorragen. Da jedoch diese primären Gebilde noch sehr dünne Tafeln sind, ist ihre Erhebung im Verhältnisse sehr gering: schon das geringste Schmelzen bei Tage und Frieren bei Nacht, noch mehr aber der erste Schneefall lässt alle

Unebenheiten verschwinden. Häufig jedoch sind dieselben bemerkbar und alsdann ist das Gehen am Eise sehr unbequem.

Noch unebener wird die Oberfläche des Eises, wenn die Tafeln durch den Wind aufeinander geschoben werden und eine ganz mächtige Anhäufung sich bildet. Oft sind diese kleinen, kaum fingerdicken Täfelchen ganz eng aneinander gepresst, als wären sie wie die Dachziegeln künstlich zusammengelegt (Fig. 38). Die obere Kante dieser zusammengepressten, unter verschiedenen Winkeln einfallenden, manchmal vertikal gestellten Täfelchen schmilzt auf der Oberfläche des Eises bald, worauf mosaikähnliche Bildungen entstehen. In anderen Fällen entstand das Eis aus grösseren Tafeln auf diese Weise, sodann bleibt aber auch die obere und untere Begrenzungsfläche des Eises durch diese auf den Kopf gestellten Tafeln sehr uneben. Solche Stellen erschweren das Fischen im Winter sehr häufig, da die Netze sich in den, in das Wasser hinunter ragenden Tafelstücken verfangen. Besonders unangenehm bemerkbar wird das, sobald ein länger anhaltendes Tauwetter oberflächlich alle Unebenheiten verwischt und ausserdem noch eine alles verbergende

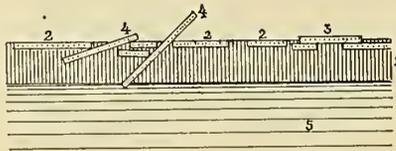


Fig. 37. Aufeinander geschobene und umgestürzte Tafeln.
1. Später gefrorene Hauptmasse, 2. frei schwimmende Trümmer, 3. überschobene Tafeln, 4. gestürzte Tafeln, 5. Wasser.

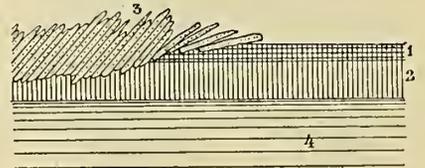


Fig. 38. Neu zusammengefrorene, unten ausgeglichene regelmässig aufgeschichtete Eistafeln.
1. Vor der Zusammenstauung, 2. nach derselben entstandenes Eis, 3. die geschichteten Tafeln, 4. Wasser.

Schneeschichte sich dazugesellt. Es ist dann ganz unmöglich die derart aufgebauten Stellen des Eises aufzufinden.

Die Figur 39 stellt eine aus kleinen Täfelchen aufgebaute Eiskruste dar, während in Figur 40 all das in grösserem Masstabe zu beobachten ist. Erstere wurde zwischen Siófok und Bad Világos am 10. Januar 1904 beobachtet, letztere am 29. Januar 1903 vor Boglár. Auf letzterer sind alle drei schon besprochenen Formen ersichtlich.

5. Ungemein interessante Formen sind zu beobachten, sobald das zwischen grösseren Tafeln zurückgebliebene Wasser bei ruhigem Wetter und Schneefall zufriert. Der gefallene Schnee wird in wunderliche bandförmige Gruppen zusammengetrieben (Figur 41), welche sodann als zarte, leichtgewölbte Linien das Eis zieren. Auch die Photographie gibt diese Verhältnisse treu wieder, da das weisse, schneeige Eis scharf vom rein gefrorenen, dunklen, glasgrünen Eis absticht (Fig 42). Eigentümliche dünne, doppelte Bänder können wir hier bemerken, welche stellenweise unglaublich regelmässig auftreten. Eine derartig regelmässige Stelle zeichnete ich mit grosser Sorgfalt und auf Grund genauer Masse (Fig. 43). Die Bänder sind ca 20 cm. breit. Sie sind in ihrer Mitte etwas matter, als gegen die Ränder zu, jedoch befinden sich in diesem matten Teile zwei helle Streifen, zwischen welchen die dunkelste Stelle des Bandes liegt. Die beiden hellen Streifen sind durch Strahlen, welche mit der Längsrichtung des Bandes einen Winkel von 30° ein-



Fig. 39. Aus kleinen Tüfelchen zusammengestaute Eiskruste zwischen Siófok und Világos.



Fig. 40. Eisstaung vor Boglár, am 29. Januar 1903.

schliessen, mit den äusseren, helleren Teilen verbunden. Das Ganze ist ein weisser, formloser Schleier, welcher an den Schnee erinnert, nur eine dünne Decke auf dem harten Eise. Dass diese Bänder ihren Ursprung dem Schnee verdanken, welcher in das 0° Wasser fiel und vom Winde zusammengetrieben wurde, erklärt

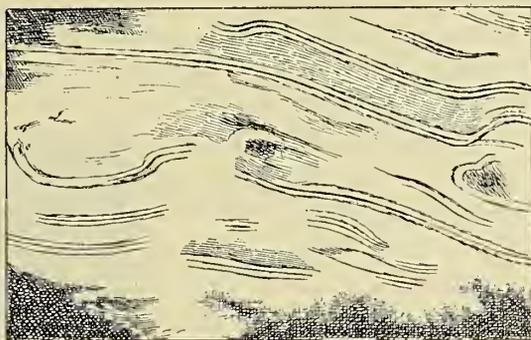


Fig. 41. Gebändertes Eis zwischen Boglár und Révfülöp, am 6. Februar 1903.



Fig. 42. Während des Schneefalles ruhig entstandenes Eis zwischen Boglár und Révfülöp, am 6. Februar 1903.

sich aus den Gebilden nächst grosser Eistafeln. Das ist der Fall in der Figur 44. Der Wind trieb die Eistafel schneller, als den in das Wasser gefallenen Schnee, wodurch dieser von der Tafel zusammengeschoben wurde. Unzweifelhaft hängt die Regelmässigkeit der Bänder mit der Kristallisation zusammen, da die grosse Regelmässigkeit und die 30°-igen Strahlen sonst schwerlich zu erklären wären.

Nachdem am Balaton das Eis zumeist durch den Nordwind zerstört wird, finden wir das unruhig gefrorene, gestaute Eis immer in der Nähe des Südufers, während längs dem Nordufer das durch ruhiges Frieren entstandene Eis häufiger ist. Aufgetürmtes Eis ist auch an den Ufern bei Kenese und Akarattya im Nordosten häufig, da der westliche Wind besonders durch seine niedrige Temperatur zum Zerstören des Eises geeignet ist.

Während unserer Beobachtungen fanden wir immer an solchen Stellen das dickste Eis, nur konnte man für die Dicke keine Zahlenwerte erhalten, da das Eis sehr unregelmässig, verschieden dick war, oft sogar konnte man den Eiswürfel (dirib genannt), welchen man herausschneiden musste, um die Dicke zu messen — nicht einmal herausheben.

Das dünnste Eis befand sich ständig in der Enge von Tihany-Szántód. Nie war es hier so stark, wie in anderen Teilen des Sees. Man kann dies jener heftigen Strömung zuschreiben, welche in der Enge bald nach der einen, bald

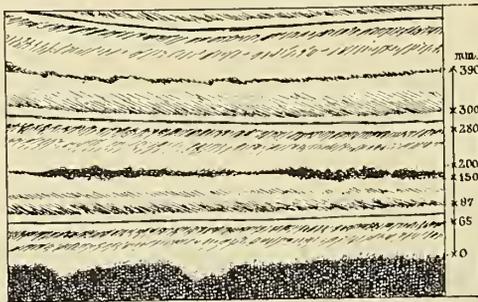


Fig. 43. Regelmässige Schneebänder.

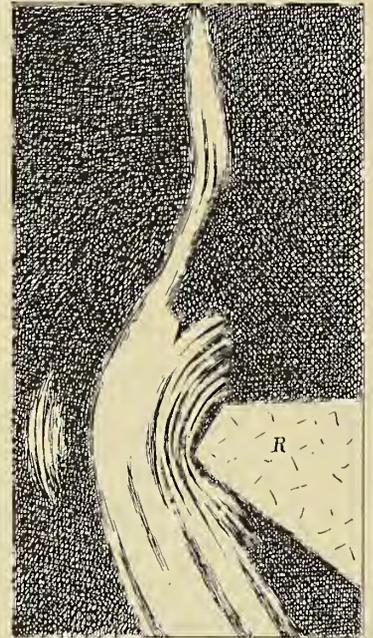


Fig. 44. Sich an primäre Eisblöcke anschmiegende Schneebänder.

nach der anderen Richtung ständig zu beobachten ist und das Frieren verlangsamt, durch Emporströmen des wärmeren Wassers auch das Anwachsen des Eises verhindert. Ich denke, dass jene Zunahme des Eises, welche während des Stillstandes der Strömung erfolgte, durch Beginnen der stärkeren Strömung wenigstens zum Teile wieder zerstört wurde. Darum konnte hier die Stärke des Eises nie genügend anwachsen.

Ausserdem fanden wir meist schwaches Eis am Ufer von Szepezd und im östlichen Teile der Bucht von Szigliget vor jener stumpfen Halbinsel, wo die Hügel von Szigliget in den See hineinreichen. An beiden genannten Stellen steigen unmittelbar in der Nähe des Ufers Quellen empor, welche die Eisbildung verlangsamen. Sogar bei sehr strenger Kälte fand ich vor Szepezd offene Stellen, während vor der Szigligeter Halbinsel das sehr schwache Eis voll Blasen war, die zweifellos mit dem Quellwasser zugleich emporstiegen.

Eine regelmässig runde ober einer Quelle befindliche Öffnung, von den Bewohnern «heves» genannt, fanden wir in der Bucht von Kereked im Kuszkó genannten östlichen Teile derselben. Das Wasser friert anfangs auch hier zu,

jedoch nach dem gänzlichen Zufrieren, sobald die regelmässige Strömung in der Bucht stillsteht, bilden sich bald kleine, runde oder radialgeformte, sternartige Öffnungen. Mit der Zeit schmilzt das Eis auf einem grösseren Flecke, darüber entsteht in sehr kalten Nächten eine dünne Eisdecke, welche mit der Faust leicht zu zerstören war, während gleichzeitig die Dicke des Eises überall 30 cm. betrug. Im offenen Wasser über dieser Quelle sahen wir oft Blasen emporsteigen. Diese versuchten wir in einer mit Wasser gefüllten, mit Gasometer versehenen Glasröhre aufzufangen — das Wasser froh jedoch in der grossen Kälte im unteren dünnen Teile des Rohres immer sofort zu — welchen Teil wir mit einer Schmelzlampe hätten zulöten müssen.

Später ist es gelungen das Gas mit Glycerin aufzufangen und analysieren zu lassen. Das Gas enthält Kohlendioxid 74·59%, Oxygen 4·19% und Nitrogen 21·22%, zusammen 100%. Da das Volumen des Oxygens und des Nitrogens im Verhältnisse 16·49 : 83·51 zu einander stehen, so ist es klar, dass wir hier eine kohlen säurehaltige Quelle haben, welche auch Luft aufnimmt, aber unterwegs wird das Oxygen der zugemischten Luft zum Teile aufgebraucht. In der Nähe, auf den Uferwiesen finden sich auch kohlen säurehaltige Quellen.

Die Uferbewohner sprechen viel von den «heves» und auch wir wurden vor denselben oft gewarnt, sie kommen jedoch so selten und immer nur in der Nähe des Nordufers vor, dass sie höchstens für die am Ufer spielenden Kinder gefährlich werden können. Am eigentlichen Eisspiegel fanden wir während der ganzen Zeit unserer Beobachtungen keinen einzigen dieser «heves» (wörtlich übersetzt = hitzig, heiss, kochend, warm).

KAPITEL III.

ERSCHEINUNGEN DER ZERSTÖRUNG DES EISES.

Das Eis des Balaton unterliegt einem viel abwechslungsreicheren Schicksal als das jener Seen, welche sich in einem einfacheren Klima befinden. Den ganzen Winter folgen einander Phasen der Zunahme und der teilweisen Zerstörung, da unsere kalten Zeitperioden niemals anhaltend sind. Eine eventuell zwei Wochen andauernde strenge Kälte zählt zu den Seltenheiten, meist sind einige Tage eingeschaltet, während welchen bei Tag wenigstens Schmelzen eintritt. Hier liegt der Grund, weshalb wir die oberste, aus horizontalen Nadeln bestehende Eisschicht des Süßwassers beim Balaton nie finden werden, immer ist die ganze Eisplatte von einer plättchenartigen Zusammensetzung und nur die von oben dazugefrorene Schneeschicht bildet eine Ausnahme.

Sobald dauernd wärmeres Wetter eintritt, fällt diese oberste, aus Firn und gefrorenem Schmelzwasser bestehende Schicht den Sonnenstrahlen oder dem lauen Wind zum Opfer. Oft wird auch das Eis von warmem Regen bedeckt, wo dann die obersten Schichten, besonders aber die von Luftblasen erfüllten, weissen, aus Schnee gefrorenen Teile rasch zugrundegehen. Das so entstandene Wasser überdeckt nun in Form einer dünnen Schicht das Eis. Wenn dieses warme Wetter einer strengen Kälte folgte, so ist die Eiskruste hart, besitzt wenig Sprünge, auf welchen das Wasser abfließen könnte, und dieses bleibt daher lange auf dem Eise und bietet Gelegenheit zu den schönsten Reflexen, Lichterscheinungen und Spiegelungen. Ist die Wasserschicht dünn, so wird das Eis nicht gleichmässig bedeckt; die um einige Millimeter höheren Teile ragen inselartig empor. Ein Beweis dessen, dass die Oberfläche des Eises nicht ganz eben ist, was wir besonders mit dem von oben daraufgefallenen Schnee und den von unten umändernd wirkenden Strömungen begründen können. Ich habe schon bemerkt, dass besonders in der tieferen Hälfte der Enge von Tihany—Szántód eine sehr starke Strömung herrscht. Deshalb ist hier das dünnste Eis vorhanden, und zwar nicht nur weil auf der unteren Fläche hiedurch eine Unebenheit entsteht, sondern da auch auf der Oberfläche sich eine ebensolche kundgibt; stellt doch die wirkliche Geoid-Niveaufläche das Wasser dar, auf welchem das Eis schwimmt. Das dünne Eis der tihany—szántóder Enge erhebt sich weniger aus dem Wasser (aus der Geoid-Niveaufläche), als das stärkere Eis des offenen Sees, darum zeigt sich auf der Oberfläche des Eises eine Vertiefung, in welcher sich das meiste Wasser ansammelt.

Wenn sich auch noch kein Wasser auf der Oberfläche des Eises gesammelt hat, zeigen sich hier schon Spuren dieser Erscheinung.

Das an der Oberfläche entstandene Wasser fließt zischend und wirbelnd durch eigentümliche kleine, runde Löcher unter das Eis. Wenn das Eis sehr erwärmt wird, entstehen darauf vertikale, dichte Scharten, von denen noch die Rede sein wird. Stellenweise werden jedoch diese Scharten genügend breit, um das Abfließen des Wassers zu ermöglichen. Sobald dies beginnt, erweitern sich die Löcher durch das warme Wasser, und erreichen sogar einen Durchmesser von 2—10 cm. Ist das Eis, in welchem sie entstanden, klar und glasig, so bildet sich ober dem vertikalen Loch ein schüsselförmiges Becken, dessen Durchmesser 10—50 cm beträgt (Fig. 45). Der Vorgang bei dessen Entstehung ist folgender: So oft ich solche bemerkte, war das Tauwetter immer von starkem, warmem Westwind begleitet. Der Wind setzt auch das unter dem Eis befindliche Wasser in Bewegung, besonders da zu dieser Zeit längs den in der Richtung des Windes befindlichen Ufern, weiters an Stelle der «turalás» genannten Eiswälle breite Spalten entstehen, welche das Volk unter dem Namen «rianás» kennt.

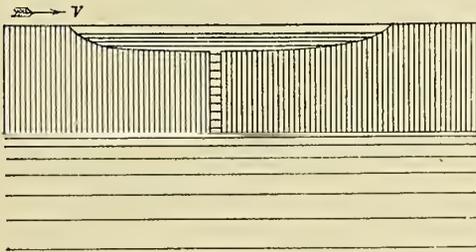


Fig. 45. Querschnitt eines im glasigen Eis entstandenen Abflussloches. (5. III. 1901.)



Fig. 46. Abflusslöcher in schneeigem Eis mit kleinen Leitungsrinnen. (6. II. 1903.)

Wir wissen aus den autographischen Wasserstandzeigern, dass das Wasser auch unter dem Eise Denivellationen unterliegt, es entstehen sogar sehr schöne, regelmässige Schwingungen. Der Wind dagegen ruft sehr rasche Schwingungen hervor, als wäre das Wasser auch unter dem Eise in Wellenbewegung. Soviel ist aber erwiesen, dass in diesen Löchern das Wasser sehr rasche, vertikale Schwingungen zeigt: emporquillt, das kleine Becken überschüttet und dann wieder abfließt. Die vollständige Phase einer einzelnen Eruption beträgt 2 Sek. (Nach meinen Aufzeichnungen vom 5. März 1901.) Diese Schwankungen des Wassers bieten einen sehr interessanten Anblick und erklären ohne weiteres das Entstehen der schüsselförmigen Vertiefungen. Später wird dieses Becken tiefer und bleibt ständig überschüttet. Obzwar es auch weiter die Schwankungen aufweist, wird die Wasserfläche von dem Wind gekräust und diese kleinen Wellen erweitern die Schüssel in der Richtung des Windes, die Wirkung der kleinen Wellen bezeugend.¹

Auch sah ich diese Abflüsse entstehen, als das Eis von schneeigem Eis, wahrhaftigem Firn bedeckt war. In diesen Schnee schnitt das abfließende Wasser eigenartige, kleine Rinnen (Fig. 46). Diese wasserverschlingenden Öffnungen froren

¹ Diese winzigen Wasserlöcher erinnern an die Lavateiche des Kilauea, in welchen die Lava auch hervortritt und wiederum verschwindet, mit mehrmaligen Wiederholungen.

später wieder zu und die kleinen Rinnen sowie auch das Loch wurden mit schönem, reinem Eis ausgefüllt.

Wenn wir in einem solchen Tauwetter ein Stück Eis der Einwirkung der Sonnenstrahlen aussetzen, bemerken wir eine seltsame Erscheinung. In dem Eisstücke entwickeln sich auf die frühere obere und untere Fläche senkrecht, von unten hinauf zu wunderbare, silberne, Eisblumen ähnliche Gebilde. Es ist nebensächlich, ob wir das Stück in derselben Stellung niederlegen, wie es im Zusammenhange war, das heisst mit der oberen Fläche aufwärts, oder ob wir es auf diese obere Fläche legen (umkehren), die silbernen Blätter beginnen immer von unten hinauf zu wachsen (Fig. 47). Wenn wir es auf eine Seitenfläche legen, so bilden sie sich in horizontaler Richtung, jedoch viel langsamer, aus den früheren horizontalen Flächen beiderseitig ausgehend. Als das vertikal gestellte Stück von diesen silbernen Blättchen schon ganz undurchsichtig geworden war, zeigte sich bei dem auf die Seite gelegten Stück noch kaum etwas.

Diese silbernen Blätter orientieren sich auch noch anderweitig, jedoch nicht mehr nach solch strengen Regeln. Mit ihren Flächen stellen sie sich nämlich

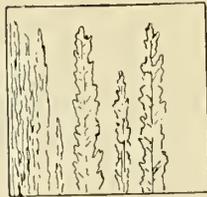


Fig. 47.

Entstehung der Silberblätter in einem schmelzenden Eisstück.

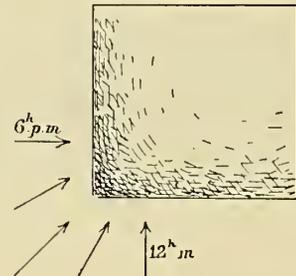


Fig. 48.

Die Orientierung der Silberblättchen nach den horizontalen Projektionslinien der Sonnenstrahlen.

immer senkrecht auf die Richtung der horizontalen Projektionslinien der jeweiligen Sonnenstrahlen (Fig. 48). Wenn sich nun die Sonne wendet, entstehen die neueren Blätter in immer anderen Ebenen und endlich durchqueren sie das anfänglich kristallreine Eisstück, in der der Sonne zugewendeten Hälfte derart, dass die Details gar nicht mehr unterscheidbar sind, das hexagonale Gewebe der Blättchen blitzt nur hie und da auf; das Eisstück wird undurchsichtig.

An der von der Sonne abgewendeten Seite entstanden nur einige dieser Silberblättchen, welche auch bis Sonnenuntergang im Eisstücke nicht bis hinauf dringen konnten Ihr Gewebe ist wirklich prächtig und wunderbar.

Als die Silberblättchen bis zur oberen Fläche reichten, durchkreuzten sie auch sich selbst, allmählich verlieren sie ihre Blumenform und werden glatte, glänzende Flächen. Wenn wir auf dieses Eis nun mit einer Hacke einen Schlag ausüben, so zerfällt es klirrend in lauter polygonale, nicht sehr regelmässige Stäbe. Diese Erscheinung nennt das Volk «gyertyásodás», d. h. Zerfallen des Eises in Kerzen, weshalb wir auch in der Folge der Einfachheit halber von Eiskerzen sprechen werden. Eiskerzen sind nun jene wenig regelmässigen, polygonalen Stäbe, welche unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen im schmelzenden Eise entstehen (Fig. 49). Ihre Seitenwände lassen die horizontale Schichtung noch deutlich erkennen, es

ist das die Spur der während des Gefrierens auf einander geschichteten dünnen Plättchen.

Wir wissen, dass diese Riffelung jene Beschaffenheit des Eises verrät, wonach zwischen die Süßwasserplättchen salzige Schichtchen eingefroren sind. Die Kerzen sind nicht gleichmässig dick, sie besitzen stufenförmige Absätze, was besonders jenem Umstande zuzuschreiben ist, dass die Eisblümchen zu unterst dichter sind



Fig. 49.
Eiskerze.

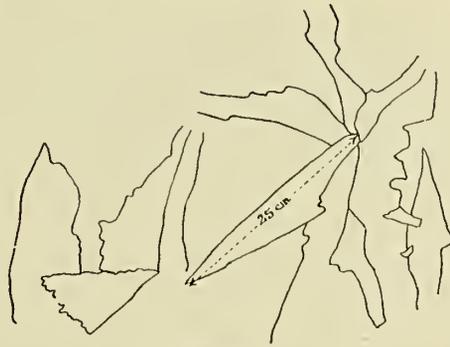


Fig. 50.
Polygonale Rinnen auf der Oberfläche des Eises, beim
Beginne des Vorganges der «gyertyásodás».

als in den oberen Teilen des Eisstückes. Der untere Teil zerfällt daher in kleinere Kerzen als der obere.

Wenn wir das in Kerzen zerspaltene Eis nicht zertrümmern, sondern z. B. dem nächtlichen Frost aussetzen, so können wir auf der unteren Fläche deutlich jene dünnen Rinnen unterscheiden, welche die Eisfläche polygonal durchkreuzen, den Eisblumen entsprechend.

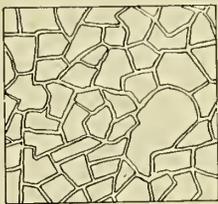


Fig. 51. Polygonale Rinnen auf der Oberfläche des Eises, bei vollständiger Entwicklung der «gyertyásodás».

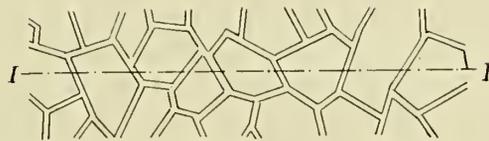
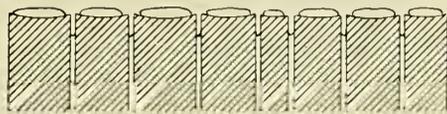


Fig. 52.
Querschnitt und Grundriss des zu Kerzen zerspaltenen Eises.

Solange das Eis noch in der natürlichen Lage, als eine zusammenhängende Tafel den See bedeckt und im andauernden Tauwetter aller Schnee wegschmilzt, erscheinen auf seiner Oberfläche die kleinen Rinnen, welche anfangs grössere, später immer kleinere Polygone umschliessen. Einige dieser Polygonalformen habe ich auf Grund pünktlicher Messungen in den Fig. 50 und 51 genau wiedergegeben. Solange die Polygone noch gross sind, bleibt das Eis ohne in Kerzen zu zerfallen klar und hart.

Bei vollständiger Entwicklung des Vorganges sind die Rinnen sehr tief, die Klinge des Taschenmessers erreicht ihren Boden nicht. Auf dem oberen Kerzenende befindet sich eine kleine seichte Vertiefung, in welcher ein konvexer kleiner Wassertropfen glitzert (Fig. 52).

Wenn wir diesen Tropfen wegwischen, erscheint die Fläche in einem eigentümlichen, samtigen Glanz, als wäre sie von einer seifigen, klebrigen Haut bedeckt. An der Stelle des weggewischten Tropfens bildet sich sofort ein neuer. Es ist dies ein eigentümlicher Anblick, der mich anfangs sehr überraschte.

Aus dem über die Eisbildung Gesagten erfuhren wir, dass das tatsächlich eine klebrige Schichte ist, das zu allererst geschmolzene konzentrierte Salzwasser, welches längs den einstigen, die Kerzen begrenzenden Eisblumen aus dem Innern des Eises zur Oberfläche stieg und dieselbe mit einer klebrigen Haut überzog. Wir können uns mit der eigenen Zunge vom Salzgehalte überzeugen. Die Polarreisenden kennen diese Erscheinung unter dem Namen «rassol».¹

Wenn das kerzige Eis wieder in die Kälte kommt, frieren die Kerzen zusammen und an Stelle der früheren Eisblumen sammeln sich in vertikalen Reihen Luftblasen. Ein solches einmal schon in Kerzen zerteiltes, nun wieder gefrorenes Eisstück sehen wir in Fig. 53 der Tafel VIII. Dieses Eisstück lag am Südufer zwischen den Eiswällen und wurde dort von den Sonnenstrahlen in Kerzen zerteilt.

Wenn das Schmelzen auch weiter anhält und die freiliegende Tafel weiter schmilzt, so fallen einzelne Kerzen heraus und das Eisstück wird durchlocht wie ein Kalkstein von einem Karrenfeld. (Taf. VIII. Fig. 54.)

Was ist nun diese Erscheinung? Winzige Gebilde der TYNDALLSchen Wasserblumen melden sich zwar, verschwinden jedoch neben den mächtigen Eisblumen vollständig. Die Seitenwände der Kerzen weisen die FORELSche Streifung auf, welche, wie wir wissen, durch Abwechslung salziger mit weniger salzigen Schichten entstand. Warum vollzieht sich nun die Zerstückelung nicht längs den TYNDALLSchen Eisblumen parallel zu den Plättchen und entsprechend der Eisbildung, warum senkrecht darauf? DRYGALSKI erklärt dies nicht deutlich genug, denn jene Behauptung, dass sich immer gleich grosse Plättchen untereinander reihen und die kerzige Struktur des Eises hiedurch schon während der Eisbildung gegeben wäre, ist nicht stichhaltig, denn meine Erfahrungen beweisen, dass die Plättchen viel grösser sind als die späteren polygonalen Formen, weiters ganz unregelmässig, die Fugen überbrückend, entstehen. Die schon fertigen Schichtchen beeinflussen die Form der nachträglich sich bildenden Plättchen überdies in gar keiner Weise. Auch QUINCKE gibt der Erscheinung keine Erklärung, übrigens scheint er sich nicht weiter mit ihr beschäftigt zu haben.

Zu allererst müssen wir bemerken, dass das frische Eis, wenn es zu schmelzen beginnt, sich nur unvollständig in Kerzen löst. So z. B. jenes Eis, welches wir in Fig. 60 sehen, befand sich am Ufer bei Boglár in mächtigen Wällen, es wurde in lauem Wetter hinausgeschleudert und obwohl die Sonne öfter darauf schien, blieb es stahlig und wurde nicht kerzig. Erst später, einen Monat hernach, begann es sich in Kerzen aufzulösen, dieselben waren aber sehr unregelmässig, klein und lösten sich auch leicht nach den horizontalen Richtungen, es wurde überhaupt eine Art

¹ L. H. ARCTOWSKI: Die antarktischen Eisverhältnisse; Peterm. Mitt. Ergänzungsh. Nr. 144 76. Seite.

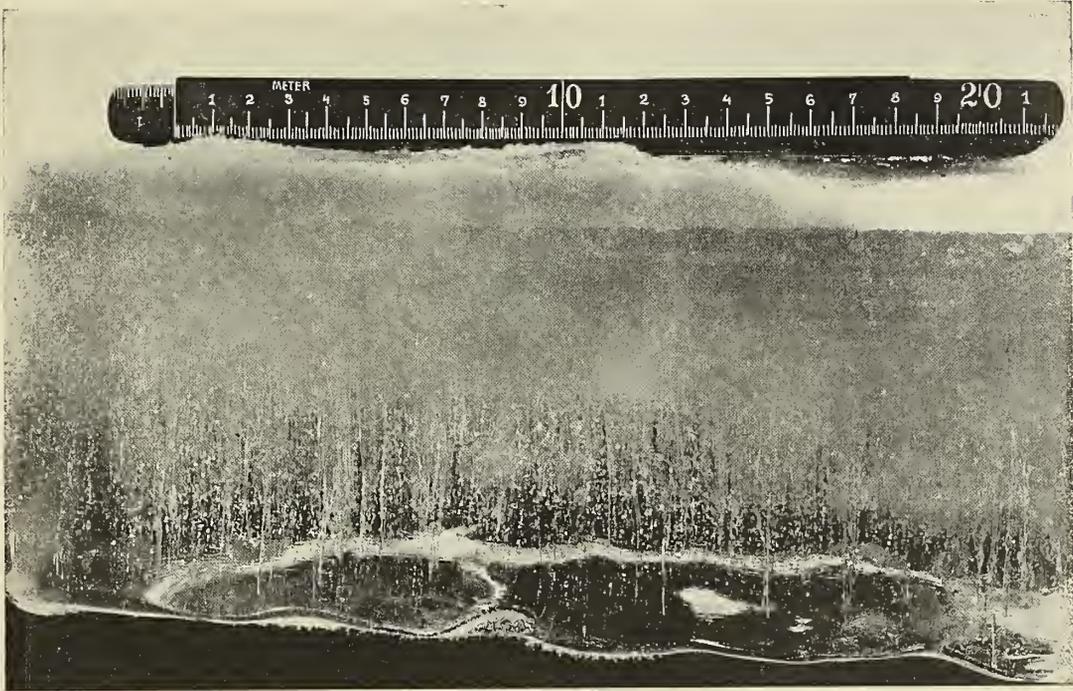


Fig. 53. Ein in Kerzen zerfallenes und neuerdings zusammengefrorenes Eisstück aus den Eiswällen vom Südufer. Oberhalb ist der auf das Eis gefallene Schnee, unten schimmert die untere, glatte Fläche des Eises durch dasselbe.

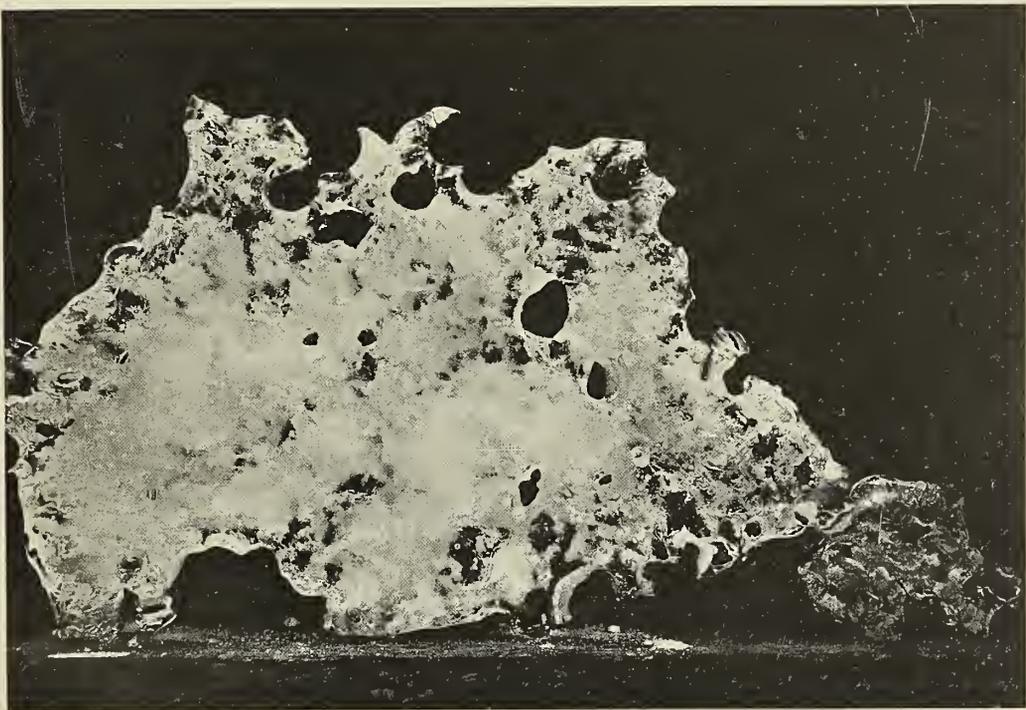


Fig. 54. Ein schmelzendes Eisstück, aus welchem einige Kerzen herausgefallen sind und daher Löcher entstanden, wie im Karren-Kalk.

Brei, in welchem nadelartige Formen dominierten. Das in Fig. 63—65 sichtbare Eis, welches vom Wind am 16. Februar 1904, also gegen Ende des Winters hinausgeschleudert wurde, war vollkommen kerzig, es genügte ein einziger Schlag und das Ganze zerfiel klirrend in regelmässig schöne, trockene Kerzen.

Es ist aus dem ersichtlich, dass die zur Kerzenbildung notwendige innere Struktur zwar schon beim Beginne der Eisbildung im Entstehen ist, jedoch erst nach längerer Zeit vollständig wird. Es ist daher ein Vorgang, welcher nach der Eisbildung langsam und stufenweise diese Struktur bildet. Wenn wir das zum Auseinanderfallen bereite Eisstück näher betrachten, so werden wir bemerken, dass die zwischen den Kerzen befindliche dünne Spalte auf der unteren Fläche des Eises viel schmaler ist, als auf der oberen. Während unten die Messerklinge nicht hineingeht, fällt sie auf der oberen Fläche in die Risse tief hinein. Oben ist ihre Breite mehr als 1 mm, unten nur einige Zehntel desselben. Der Vorgang ist daher oben vollkommener als in den unteren Schichten, wir haben es also mit einem von oben in das Innere dringenden Vorgang zu tun.

Wir finden jetzt schon leicht eine Erklärung, wenn wir uns den Vorgang der Eisbildung vergegenwärtigen.

Sehen wir vorderhand von der aus horizontalen Nadeln mit horizontalen optischen Achsen bestehenden obersten Schichte ab. Denken wir uns dieselbe schon fertig, worauf die dünnen Plättchen untereinander gefrieren. Es sei in Fig. 55 *a* der vertikale Schnitt durch das schon fertige kleine Plättchen. Dasselbe wurde soeben fertig, es besitzt daher eine Temperatur von beiläufig 0° . Darunter befindet sich ein Schichtchen stark konzentrierter Salzlösung, deren Schmelzpunkt z. B. 2° unter Null sei. Weiter hinunter zu ist der Schmelzpunkt infolge der langsamen Diffusion des Salzes allmählich höher, da die Konzentrierung immer kleiner ist, während wir endlich in der Höhe der oberen Fläche des sich später bildenden *b* Schichtchens wieder den anfänglichen Salzgehalt der Flüssigkeit mit einem Schmelzpunkt von ca. 0° vorfinden.

Die Eisbildung schreitet weiter. Schichtchen *a* kühlt sich unter 0° ab, kühlt die darunter befindliche Salzschichte und entzieht der Schichte *b* die Schmelzwärme, worauf auch die Schichte gefriert, aber sofort auch das Salz ausscheidet, welches sich unter dem *b* Schichtchen ansammelt. Es sei nun die Temperatur des Schichtchens *a* -1° , der I Salzschichte 0° , welche, wie wir wissen, hiebei nicht gefriert, die Temperatur des Schichtchens *b* ebenfalls 0° , wobei es weniger Wärme enthält als die Salzschichte I, da es ja schon gefroren ist. So setzt sich der Vorgang fort. Das Plättchen *a* kühle auf -2° ab, die Salzschichte I auf -1° , das Schichtchen *b* ebenfalls, das Salzschichtchen II auf 0° , die darunter befindliche Schichte *c* mit normalem Salzgehalt ebenfalls auf 0° , aber sie gefriere noch nicht. Es gehört noch weitere Abkühlung dazu. Schichte *a* werde -3° , I werde -2° , aber sei noch Wasser, *b* ebenfalls -2° , I aber -1 , Schichte *c* Eis von 0° u. s. w. Nur zur Vereinfachung des Beispiels nahm ich runde Zahlen. Freilich gibt es keinen so grossen Temperaturgradienten hinauf zu, am Wesen der Sache ändert dies jedoch nichts.

Jetzt aber folgt die bedeutsame Wendung! Das Salzwasser fliesst zwischen den Eisplättchen langsam ab, bleibt aber doch noch als klebrige Haut zwischen denselben zurück. Schichte *a* kühlt jetzt auf -4° ab, I ist noch immer -2° , jedoch gefroren, *b* ebenfalls -2° , II ist -1° und *c* Eis von 0° u. s. w. Das

Gefrieren der eingeschlossenen Salzschihte bewirkt daher ein Wachsen der Gradienten, da, wie in unserem Beispiel, zwischen den Schichten *a* und *b* nun eine Differenz von 2° besteht. Sobald I gefroren ist, kann die Abkühlung weiter abwärts schreiten, sie wurde jedoch durch das Gefrieren derselben einigermaßen verzögert.

Schichte *a* konnte bis nun, falls die Abkühlung ein Zusammenziehen resultierte, ihre horizontalen Dimensionen ruhig verkürzen, da sie auf einer schlüpfrigen, öligen Schichte auflag, auf welcher sie ausgleiten konnte. In jenem Augenblicke aber, als die eingeschlossene salzige Schichte I gefror, konnte die Schichte *a*, insoferne sie sich infolge Abkühlung auch noch weiter zusammenzog, nicht das

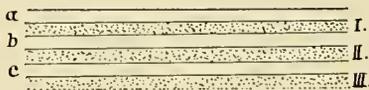


Fig. 55.
Der Vorgang der Eisbildung.

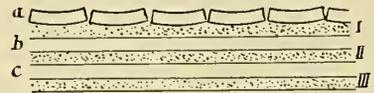


Fig. 56. Der Zustand der Eisbildung in dem auf das Gefrieren der I. Salzschihte folgenden Momente.

einfache Verschieben bewirken. Sie weist daher genau dieselben polygonalen Sprünge auf, wie der Lehm, sobald er sich während des Trocknens zusammenzieht. Ein jedes Polygon biegt sich ausserdem sogar aufwärts, da nicht einmal in der dünnen Schichte *a* überall eine gleiche Temperatur herrscht. Es entsteht daher der in Fig. 56 sichtbare Zustand.

Das Salzwasser gefriert ebenfalls in Kristallformen, wie dies die TYNDALLSchen Blümchen beweisen, es bilden sich daher Stäbchen und Plättchen, aus denen sich das Salz ebenfalls ausscheidet, und die Oberfläche dieser Kristalle mit einer dünnen Schichte umgibt, welche aus einer derart konzentrierten Salzlösung besteht, welche

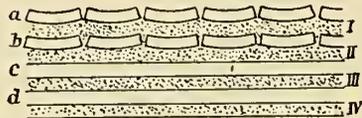


Fig. 57. Der Zustand der Eisbildung in dem auf das Gefrieren der II. Salzschihte folgenden Momente.



Fig. 58. Die mit dem Fortschreiten der Eisbildung entstandenen, mit Salzwasser erfüllten verticalen Sprünge.

nicht einmal bei dieser Temperatur gefriert, sondern ausgeschieden wird, und die Sprünge sowie die bei der Aufbiegung entstandenen Räume ausfüllt.

Den weiteren Verlauf des Prozesses können wir uns leicht vorstellen. Sobald die II. Salzschihte gefror, zerbröckelt bei der geringsten abermaligen Abkühlung das Schichtchen *b*, selbstverständlich an genau denselben Stellen, wie oberhalb die Schichte *a*. In Figur 57 ist dieser Zustand dargestellt. Und dies setzt sich so fort. Die Sprünge setzen sich von Schichte zu Schichte weiter abwärts fort und füllen sich mit stark konzentriertem Wasser, und die Erscheinung hält so lange an, wie lange die Eisbildung sich abwärts fortsetzt. (Fig. 58.)

Wir können uns leicht überzeugen, dass die Schichtchen eine derartige Zerstückelung und eine geringe Aufbiegung erleiden, indem wir in einem eisernen

Gefässe eine 1—2 mm hohe Wasserschichte gefrieren lassen, und zwar derartig, dass die auf der Oberfläche entstehenden horizontalen Kristallbildungen den Boden nicht erreichen sollen. Sobald dies der Fall wäre, gefrieren nämlich an den Boden unmittelbar die zierlichen Formen der oberflächlichen Eisschichte und es entstehen den Eisblumen der Fensterscheiben ähnliche Gebilde, welche unter Einwirkung anhaltender Kälte in der Richtung der Leitlinien zerbröckeln. Lassen wir jedoch die Schichte auf vorgeschriebene Weise richtig gefrieren, und lösen hernach die Schichte vom Boden des Gefässes, indem wir dasselbe auf einige Augenblicke auf den Kamin stellen, so erblicken wir auf der unteren Begrenzungsfläche das Netz der polygonalen Sprünge. Dies bemerkte auch DRYGALSKI und publizierte einen hievon verfertigten Staniolabdruck.¹

Das Eis ist also von abwärts sich verengenden Sprüngen durchzogen, die von Salzwasser erfüllt sind. Dieses ist aber in den Sprüngen ebenfalls gefroren, weshalb wir im Innern des Eises nichts bemerken. Nehmen wir nun aber an, dass das Eis wiederum im ganzen Umfang eine Temperatur von 0° annimmt. Das Eis strebt sich auszudehnen, die Sprünge wieder zu schliessen, was jedoch nicht gelingt, da diese vom Eise des Salzwassers ausgefüllt sind. Wäre die Eisplatte ganz frei und gewichtlos, könnten wir bemerken, dass sie sich biegt und zwar würde die obere Fläche konvex erscheinen, da hier die Ausdehnung eine grössere ist, als in den unteren Schichten, in denen die Temperatur auch früher nicht viel von 0° abwich. Drücken wir eine verbogene Schichte gerade, so entstehen von der konkaven Seite ausgehend Sprünge darin, welche ganz bis zur Mitte der Platte reichen, bis zur sogenannten «neutralen Zone», in welcher sich weder ein Ziehen, noch ein Drücken geltend machte.

Daher wird nun das Eis, indem es wieder erwärmt wird, und im Wasser infolge des mächtigen eigenen Gewichtes sich nicht biegen kann, unbedingt von Sprüngen durchquert, von unten beginnend. Natürlich entstehen die Sprünge wieder dort, wo sie die Fortsetzung der oberen bilden können. Sie werden ebenfalls von Salzwasser ausgefüllt, welches von den Sprüngen der TYNDALLSchen Blümchen in die vertikalen Spalten strömt.

Je öfter sich die Abkühlung und Erwärmung des Eises wiederholt, um so vollkommener bilden sich die Spalten und um so mehr salzige, zur Bildung der klebrigen Schichten geeignete Lösung sammelt sich dann in ihnen.

Es ist dies ein stufenweiser Prozess, welchem die TYNDALLSchen Eisblumen zumeist zum Opfer fallen, und das meiste Salz sammelt sich in diesen Sprüngen.

Es ist daher erklärlich, dass unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen zuerst diese, mit Salzwasser ausgefüllten Wände schmelzen und ihre Stelle kennzeichnet sich durch wunderbare silberne Blätter. Dass diese Erscheinung immer von unten beginnt, findet seine Erklärung darin, dass aus der unten geöffneten Spalte das Salzwasser bereits ausfließt, und Luft den Platz einnimmt. Daher die glitzernde silberne Farbe. Beginnt jedoch das Schmelzen oben, so kann das geschmolzene Salzwasser nicht abfließen, sondern sammelt das Salz der noch nicht geschmolzenen Teile, wodurch der Schmelzpunkt erhöht wird. Die Bildung der silbernen Blätter beginnt daher von oben viel langsamer, wie von unten.

¹ DRYGALSKI: Grönland-Expedition, I. Band. Seite 488. Fig. 52.

Das Schmelzen beginnt deswegen zuerst in den zu den Sonnenstrahlen senkrecht stehenden Schichten, da hier die meiste Wärme auf die Flächeneinheit entfällt. Die mit ihrer Kante nach aufwärts stehende Spalte erhält kaum ein wenig Wärme und die schief gestellten Flächen bekommen im Verhältnisse des Sinus ihres Neigungswinkels zur Horizontalprojektion entsprechend weniger. Dass die Zusammenstellung der silbernen Blättchen kristallisch ist, ist ja natürlich, da das dazwischen gefrorene Salzwasser, auch wenn es in grosser Kälte als Kriohydrat gefror, eine kristallische Zusammensetzung aufweist.

Wenn das Eis an Ort und Stelle, noch auf der Oberfläche des Wassers sich spaltet, ist es natürlich, dass die Sprünge zuerst an der Oberfläche sich entwickeln, da hier die Wirkung der Sonnenstrahlen eine unmittelbare ist. Es ist jedoch auch möglich, dass sie von unten ausgingen, nur wurden die Silberblätter von Wasser ausgefüllt, weshalb sie weniger deutlich sichtbar und erst dann zu bemerken sind, wenn sie die Oberfläche erreichten. Das habe ich jedoch nicht geprüft, es stehen mir daher keine Beobachtungen zur Verfügung.

Ich wage es jedoch, aus diesen Tatsachen Folgerungen von sehr allgemeiner Wichtigkeit abzuleiten, die zwar nicht streng zur Sache gehören, wegen ihrer Bedeutung jedoch erwähnt werden müssen.

DRYGALSKI fasst in seinem grossen Werke, welches in dieser Beziehung als alles umfassend gelten kann, unter dem Ausdrucke «Korn» das Gletscher-Korn, die nussgrossen Bildungen des aus Meerwasser entstandenen Eises und auch die im Eise des Süsswassers vorkommenden, kerzenartigen Gebilde zusammen, obzwar alle drei sehr verschiedenen Ursprunges sind. Das Gletscher-Korn entsteht aus dem sich in Firn umwandelnden Schnee. Die weiteren Umwandlungen desselben gehören nicht hieher. Die Körner des Eises der Fjorde entstehen auf Grund der Analysen von DRYGALSKI und SCHOENTJES, indem die primären Blättchen des Salzwassers durch die Strömungen auf einander geschoben werden, genau so, wie im gestauten Eise des Balaton die dünnen Eistafeln. Die Blättchen gefrieren zusammen und bilden auf der Wasserfläche ein Korn, dessen Struktur infolge der abweichenden Streichung der Blättchen sich gut von den benachbarten unterscheidet. Die kerzenartigen Gebilde der Süsswasserseen hingegen verdanken ihren Ursprung den durch wechselnde Abkühlung und Erwärmung verursachten Sprüngen und Spalten. Mit Bezug auf ihren Ursprung unterscheiden sich daher die dreierlei «Korne» völlig.

Es könnte jedoch jemand fragen, warum das Eis, welches mittels der Regulation so leicht in eine einheitliche Masse umwandelbar ist, in allen seinen Erscheinungsformen irgend eine Körnchenstruktur aufweist. Der Grund hiefür liegt einfach im Salzgehalte des Wassers, dessen Folgen QUINCKE so klar und einwandfrei auseinandersetzt. Auf welcher immer für eine Weise auch das Eis in Körner zerfällt, oder aus Körnern zusammengesetzt ist, sind dieselben immer durch die klebrigen Schichten des mit ausgeschiedenem Salze getränkten Wassers von einander geschieden, welche die Körner beim Schmelzen wieder trennen.

Doch halte ich es für richtiger, wenn wir diese Gebilde nicht unter einem einheitlichen Namen zusammenfassen, sondern dass wir die im Volksmunde gebräuchlichen verschiedenen Benennungen in die Literatur einführen. Für das Gletscher-Korn und das Korn des Meereises finden wir natürlich im Ungarischen keinen

volkstümlichen Ausdruck, im Deutschen müsste man jedoch unbedingt einen finden. Für die kerzenartigen Gebilde des Süßwassereises sollten wir dagegen den Ausdruck «Kerze» (ung. *gyertya*), für den Vorgang selbst das «*gyertyásodás*» (zu Kerzen zerfallen) aus dem Ungarischen übernehmen.¹

Das Schmelzen des Eises wird am Balaton gewöhnlich von dem Vorgange des «*gyertyásodás*» eingeleitet. Zu solcher Zeit kann der Fischer schon kein gutes Loch in das Eis hauen, da dieses unter seinem Beile in «Kerzen» zerfällt. Auch beginnt das Eis dann schon von oben und von unten zu schmelzen. Die durch das Eis dringenden Sonnenstrahlen erwärmen langsam das Wasser, welches nun das Eis an der unteren Fläche angreift. Die Oberfläche ist immer nass, und das Wasser verschwindet durch die schon beschriebenen Löcher. Mittlerweile wird das Eis derart mürbe, dass der Stiel des Beiles zwischen den «Kerzen» tief in das Eis gestossen werden kann und das Eis nur mehr zum Wasser hin mit einer härteren Schichte abgegrenzt ist. Das ist das «verfaulte» Eis, wie es die Fischer nennen.

Eine merkwürdige Erscheinung beobachtete Lóczy im Jahre 1903 in den Nächten vom 2—3. sowie 3—4. Jänner.

Am Neujahrstag trat warme Witterung ein, das Eis wurde von einer Wasserschichte überzogen. Am 2. Jänner war es trüb, mit +3 bis +4 Maximum und —1.5 bis —2.0° nächtlichem Minimum.

Den folgenden Tag gab es noch milderes Wetter, nachts war in Csupak nur eine Kälte von —0.5 bis —1.0°. In der ersten Nacht vernahm man von der Dämmerung bis zum nächsten Tag vormitag 9^h, in der zweiten von abends bis spät Nacht weithin ein stöhnendes Geräusch. Es gab ein ähnliches rhythmisches Geräusch, wie an windstillen Tagen, wenn der See unruhig wird. Eine einfache Erklärung für diese Erscheinung konnte man nicht finden. Lóczy fand nächsten Tag die Oberfläche des Eises voll mit erbsengrossen Luftblasen.

Besonders rasch ist das Zerstörungswerk an jenen Stellen, wo der Wind offene Stellen findet, da die Wellen ebenfalls fördernd wirken. Die Beobachtung dieser Erscheinung ist schon etwas gefährlich, denn sobald am See schon grosse offene Stellen vorhanden sind, und Wellenbildung überhaupt möglich ist, ist gewöhnlich das Eis schon sehr schlecht, der Rand des Wassers ist überhaupt unnahbar. Der Zufall wollte aber, dass ich diese hastige Zerstörung ganz aus der Nähe beobachten konnte. Im Jahre 1905 am 5. März nachts war ich wegen der Gravimetermessungen am Eise. Das Wetter war schon den vorhergehenden Tag sehr mild, abends entstand ein starker Nordwest-Wind und das Thermometer stieg stark. Das aus Brettern gebaute Wohnhaus glaubten wir mit noch einem Seile am Eise befestigen zu

¹ In der Umgebung des Balaton finden sich einige schwäbische Siedelungen, aber die Leute haben mit dem Eise gar nichts zu tun. Am Ufer des Fertő-Sees (Neusiedler-See) haben wir aber deutsche Dörfer, deren Einwohner mit dem Eise des Sees gut bekannt sind. Das Eis des Fertő benimmt sich dem des Balatons sehr ähnlich, daher war es nicht sehr schwer einige deutsche volkstümliche Ausdrücke zu finden, mit welchen wir die ungarischen am besten wiedergeben können. Wir werden einige solche Ausdrücke auch anwenden. Für die Kerzenbildung habe ich aber leider bei diesen deutschen Uferbewohnern keinen Ausdruck finden können. Ein geborener Deutscher, welcher sich mit den hiesigen Leuten, die einen sehr starken Dialekt sprechen, besser verständigen könnte, würde vielleicht einen ganzen Wortschatz entdecken können.

müssen. Dies geschah, indem wir im Eise ein Loch schlugen, an das Ende des Seiles ein Holzstück befestigten, so dass das Seil die Mitte desselben umfasste, worauf wir das Holz unter das Eis tauchten und querstellten. Darauf spannten wir das Seil an.

Ähnlich war auch das Wohnzelt mittels 5 Seilen ausgebunden. Bis zum Morgen wuchsen jedoch die Löcher beträchtlich. Auf der dem Winde zugekehrten Seite waren im Sturme die Seile wie Saiten gespannt, aber auch auf der entgegengesetzten Seite, wo der Wind die Seile nicht spannte und daher diese auch die Löcher nicht zerstörten, erweiterten sich letztere doch beinahe auf 2 m, wogegen sie ursprünglich 30 cm. lang waren. Dass Wasser war lebhaft bewegt und arbeitete



Fig. 59. Erweiterte Löcher neben dem Gravimeter-Instrumenten-Zelt. 5. März 1901.

am Südrande des Loches. Genau dies beobachtete ich auch an den Löchern beim Instrumentenzelt (Fig. 59). Beim Loche ist beobachtbar, wie stark das Wasser bewegt ist, und im dunklen Spiegelbilde des Zeltes können wir sogar beobachten, wie der Wind die dünne Wasserschichte auf dem Eise selbst treibt — manchmal bis zum Ufer.

Zu solcher Zeit ist der Verlauf des Zerstörungswerkes ein sehr rascher. Am 6. März 1901. war es schon nicht mehr ratsam, das Eis zu betreten und in einigen Tagen war es schon vollständig auf das Ufer geschleudert. Sobald der Wind ein derartig kerziges (gyertyás) Eis an das Ufer wirft — und zwar auf das Südufer — geschieht kein bedeutender Schaden. Ein derartiges Eis zerfällt so leicht, dass auch der weiche, sandige Boden kaum aufgewühlt wird. Völlig verschieden ist das von jenen Eisstauungen, welche aus noch frischem Eis gegen Ende des Herbstes aufgebaut werden. Das noch harte Eis wird von den Wellen spielend



Fig. 60. Ein aus frischem Eis aufgebauter Wall vor Boglár, am 28. Jänner 1903.



Fig. 61. Aus frischem Eis aufgebaute Wälle. Im Vordergrund gespaltenes, reines Eis, weiter schneeiges Eis, hinter diesem Wasser am Eise, in welchem der Wall sich spiegelt. Im Hintergrunde der Schlossberg von Boglár (28. Jänner 1903).

emporgeschleudert, und mit grosser Wucht an die am Ufer befindlichen Gebäude geworfen, wo es bedeutenden Schaden verursacht. Der Vorgang ist der, dass die noch harte Tafel wuchtig an das Ufer anprallt, dann hinauf gleitet und endlich zerbricht. Nun folgt eine Tafel auf die andere, jede Welle wirft ihr Stück hinauf, und die Eistafeln werden mächtig aufgetürmt, viel höher, als die Wellen überhaupt reichen.

In Figur 60 sehen wir einen derartig aufgetürmten Wall, welchen der Nordwind bei Boglár Mitte Jänner 1903 ans Ufer schleuderte. Fig. 61 zeigt uns denselben von einem entfernteren Standpunkte, um uns auch das ganze Barrikadensystem zu veranschaulichen. Die einzelstehende, pyramidenförmige Erhöhung entstand am Ende jenes Steinwalles, welcher vor Einführung des Dampfschiffverkehrs dem nach Révfülöp verkehrenden Schiffe als Molo diente. Hier wurden Jahrhunderte lang die Steine vom Nordufer ans Ufer gebracht. Dieser Steinwall ragt aus ziemlich tiefem Wasser plötzlich empor, weshalb eben die Wellen das Eis hier so hoch auftürmen konnten.

Am neuen Molo verrichtete derselbe Eiswall grosse Verheerungen, stemmte die einzelnen Steine auseinander, und zerstörte die Holzbauten (Fig. 62). Überhaupt richtet diese Auftürmung des Eises überall grosse Schaden an, da das Eis sehr hart ist. Besonders gefährlich ist es, wenn das junge harte Eis vom Südwestwinde zertrümmert wird, da es dann die Bauten beider Ufer von der Seite angreift, und Molen, Landungsbrücken und Badehäuser grossen Schaden erleiden.

Viel geringer ist jener Schaden, welchen im Frühlinge das weiche, «kerzige» Eis anrichtet. Solche Eiswälle sehen wir in den Figuren 63, 64 und 65. An denselben ist zu ersehen, wie morsch das Eis ist. Den grössten Teil des Walles hat das Wasser schon wieder weggeschwemmt. Dieses Eis richtete keinen Schaden an, obwohl auch der ganze, den See bedeckende Eispanzer auf einmal auf das Ufer geschleudert wurde. Dies geschah am 16. Februar 1904, während ich die Photographien am 19. anfertigte. Ebensolche, aus «gyertya»-Eis bestehende Aufdämmungen skizzierte ich auch am 5. April 1895 am Ufer bei Boglár.

In solchen Fällen verursachte die «kerzige», morsche Structur des Eises, dass das Eis sehr rasch ans Ufer gelangte; wurde heute noch gefischt, so war übermorgen am See nirgends mehr ein Stückchen Eis zu sehen und längs dem Südufer bildete das «verfaulte» Eis einen langen, weissen Damm. Viel seltener ist es, dass infolge andauernder Windstille das Eis nicht ans Ufer gelangt, sondern langsam zerfallend an der Oberfläche des Wassers verschwindet.

KAPITEL IV.

DER MECHANISMUS DES EISPANZERS.

A) Die Temperatur des Eises.

Die Temperatur des Eises am zugefrorenen See ist keinesfalls konstant und gleichmässig. Im Jahre 1901 prüfte ich vom 25. bis 28. Februar die Temperatur des Eises in verschiedenen Tiefen, in der Mitte des Sees, zwischen Siófok und Alsóörs. Die Ergebnisse sind die folgenden:

TAFEL I.

Temperaturen des Eises in der Nacht vom 25—26. Februar 1901.

Z e i t	t_1 9 cm tief	t_2 20 cm tief	t_3 38 cm tief	t_4 hängt im Freien am Seile des Wohn- Zeltes	τ_1 im Zelte des Gravi- meters 1·5 m hoch	τ_2 im Zelte des Gravi- meters im Schnee
	i m E i s					
9 ^h 5 ^m p. m.	-- 1·5 ⁰	-- 1·2 ⁰	-- 0·8 ⁰	-- 6·8 ⁰	-- 5·6 ⁰	-- 2·9 ⁰
10 ^h 45 ^m p. m.	-- 3·2 ⁰	-- 2·1 ⁰	-- 1·1 ⁰	-- 5·5 ⁰	-- 8·0 ⁰	-- 4·4 ⁰
12 ^h 25 ^m a. m.	-- 3·0 ⁰	-- 2·1 ⁰	-- 1·6 ⁰	-- 5·3 ⁰	-- 6·2 ⁰	-- 4·0 ⁰
2 ^h 0 ^m a. m.	-- 2·9 ⁰	-- 1·9 ⁰	-- 0·8 ⁰	-- 5·0 ⁰	-- 6·1 ⁰	-- 3·0 ⁰
3 ^h 45 ^m a. m.	-- 3·2 ⁰	-- 1·9 ⁰	-- 0·8 ⁰	-- 5·4 ⁰	-- 5·8 ⁰	-- 3·8 ⁰
5 ^h 25 ^m a. m.	-- 2·9 ⁰	-- 1·9 ⁰	-- 0·9 ⁰	-- 7·4 ⁰	-- 6·8 ⁰	-- 4·4 ⁰
7 ^h 5 ^m a. m.	-- 3·0 ⁰	-- 1·9 ⁰	-- 0·7 ⁰	-- 8·3 ⁰	-- 8·6 ⁰	-- 5·2 ⁰
8 ^h 45 ^m a. m.	-- 3·5 ⁰	-- 2·0 ⁰	-- 0·7 ⁰	-- 6·2 ⁰	—	—

Das Thermometer t_4 war immer sehr schwer ablesbar, da es meist von Reif umhüllt war, und bis ich es reinigte, stieg es schon ein wenig. Viel genauer sind die Daten des im luftigen Zelte des Gravimeters placierten Thermometers. Das draussen aufgehängte Thermometer empfand höchstwahrscheinlich auch die Wärme des Wohnzeltes und in der Früh bekam es Sonnenlicht. Die Thermometer im Eise waren im Schatten.



Fig. 62. Eisstauung am Ende des Boglärer Molos. 28. Jänner 1903.



Fig. 63. Auf das Ufer geschwemmtes kerziges Eis bei Újpuszta. 19. Februar 1904.

TAFEL II.

Temperaturen des Eises in der Nacht vom 26—27. Februar 1901.

Zeit	Thermometer im Eise			t_4 im Freien, am Seile des Wohn- Zeltes	Im Zelte des Gravimeters	
	t_1 3 cm tief	t_2 20 cm tief	t_3 38 cm tief		1·5 m hoch	im Schnee
7 ^h 0 ^m p.	— 2·7 ⁰	— 0·8 ⁰	— 0·5 ⁰	— 4·0 ⁰	— 3·3 ⁰	— 1·2 ⁰
9 ^h 0 ^m p.	— 3·7	— 1·5	— 0·7	— 5·0	— 5·2	— 2·4
10 ^h 40 ^m p.	— 5·0	— 2·0	— 0·9	— 7·0	— 7·0	— 4·1
12 ^h 20 ^m a.	— 6·0	— 3·0	— 1·0	— 7·0	— 8·3	— 5·2
2 ^h 0 ^m a.	— 6·8	— 3·5	— 1·2	— 8·8	— 8·8	— 6·2
3 ^h 40 ^m a.	— 7·0	— 4·0	— 1·3	— 9·5	— 9·6	— 5·2
5 ^h 20 ^m a.	— 7·6	— 4·6	— 1·6	— 10·0	— 10·0	— 6·9
6 ^h 55 ^m a.	— 7·9	— 4·5	— 1·8	— 9·9	— 10·0	— 7·3
8 ^h 0 ^m a.	— 7·8	— 4·5	— 1·5	— 6·8	—	—

Bezüglich t_4 gilt dasselbe, wie zuvor. Um 8^h Früh konnte ich die Beobachtungen nicht fortsetzen, da wegen der gravimetrischen Beobachtungen zu solcher Zeit die ganze Station immer verlegt wurde, und dann Ortsbestimmung, Festsetzen und Ausmessen neuer Stationen an der Tagesordnung waren, was die Temperaturbeobachtungen behinderte.

TAFEL III.

Temperaturen des Eises in der Nacht vom 27—28. Februar 1901.

Zeit	Thermometer im Eise			t_4 im Freien am Seile des Wohn- Zeltes	Im Gravimeter- Zelte	
	t_1 3 cm tief	t_2 17 cm tief	t_3 27 cm tief		1·5 m hoch	im Schnee
2 ^h 40 ^m p.	— 0·3 ¹	— 1·2 ⁰	— 0·8 ⁰	Sonne	—	—
4 ^h 50 ^m p.	— 1·4	— 0·9	— 0·9	— 1·0 ⁰	—	—
5 ^h 30 ^m p.	— 2·0	— 1·0	— 0·8	— 2·3	—	—
6 ^h 0 ^m p.	— 2·5	— 1·4	— 0·8	— 2·5	—	—
6 ^h 30 ^m p.	— 3·0	— 1·1	— 1·0	— 3·8	—	—
7 ^h 20 ^m p.	— 3·3	— 1·7	— 1·1	— 4·0	— 4·8 ⁰	— 2·9 ⁰
9 ^h 0 ^m p.	— 4·6	— 2·1	— 1·1	— 6·5	— 7·8	— 4·0
10 ^h 40 ^m p.	— 5·0	— 2·6	— 1·7	— 6·3	— 5·4	— 4·6
12 ^h 25 ^m a.	— 5·1	— 3·1	— 1·8	— 9·0	— 6·5	— 4·5
2 ^h 0 ^m a.	— 5·8	— 3·3	— 1·9	— 9·5	— 7·5	— 5·0
3 ^h 40 ^m a.	— 6·2	— 3·1	— 2·1	— 7·5	— 8·0	— 5·0
5 ^h 20 ^m a.	— 7·0	— 3·9	— 2·9	— 8·8	— 9·1	— 6·0
6 ^h 50 ^m a.	— 7·2	— 4·0	— 2·6	— 8·7	— 9·2	— 6·3
8 ^h 10 ^m a.	— 7·1	— 4·0	— 2·5	— 5·3	—	—
9 ^h 0 ^m a.	— 7·0	— 4·2	— 2·2	— 4·2	—	—

Ausserdem waren die Herren Baron ROLAND EÖTVÖS und Assistent Dr. DESIDERIUS PEKÁR im Jänner 1903, als ich verhindert war, so gütig, die wirklich lästigen nächtlichen Ablesungen auf mein Ersuchen vorzunehmen. Diese Resultate sind folgende:

TAFEL IV.

Nächtliche Temperaturen des Eises in der Zeit vom 29. Januar bis 1. Februar 1903.

Tag	Stunde	t_1 Luft	t_2 Schnee	Thermometer im Eise		Be- obachter
				t_3 8 cm tief	t_4 16 cm tief	
29. I.	5h 45m p.	— 2·3 ⁰	— 1·5 ⁰	— 0·8 ⁰	— 0·4 ⁰	EUGEN CHOLNOKY
	7h 20m p.	— 3·8	— 3·75	— 1·2	— 0·6	
	9h 45m p.	?	— 3·75	— 2·2	— 1·4	
	11h 15m p.	— 5·0	— 4·75	— 2·4	— 1·6	
30. I.	1h 30m a.	— 6·8	— 6·0	— 3·9	— 2·1	Baron ROLAND EÖTVÖS
	3h 0m a.	— 5·0	— 4·75	— 3·0	— 2·3	
	4h 30m a.	— 6·5	— 5·0	— 3·4	— 2·5	
	6h 0m a.	— 7·6	— 5·12	— 3·6	— 2·6	
	7h 20m a.	— 8·0	— 5·5	— 3·8	— 2·7	
	8h 40m a.	— 5·0	— 5·0	— 3·8	— 2·8	
31. I.	7h 40m p.	— 4·2	— 1·25	— 1·2	— 0·3	
	9h 0m p.	3·6	— 2·5	— 1·2	— 0·3	
	10h 30m p.	— 4·8	— 3·1	— 1·6	— 0·5	
	12h 0m	— 4·5	— 4·4	— 1·9	— 0·9	
	1h 30m a.	— 7·0	— 5·6	— 2·6	— 1·6	
	3h 0m a.	— 6·4	— 5·25	— 3·2	— 2·0	
	4h 30m a.	— 5·4	— 4·75	— 3·0	— 2·2	
	6h 0m a.	— 5·2	— 4·0	— 2·8	— 2·0	
	7h 30m a.	— 5·0	— 3·75	— 2·6	— 1·9	
	1. II.	6h 0m p.	— 6·3	— 3·75	— 2·2	— 0·2
7h 30m p.		— 6·4	— 5·0	— 2·2	— 0·8	
9h 0m p.		— 6·3	— 5·12	— 2·8	— 1·6	
10h 30m p.		— 6·0	— 5·0	— 3·2	— 2·2	
12h 0m		— 7·7	— 5·6	— 3·5	— 2·4	
1h 30m a.		— 8·0	— 6·5	— 3·8	— 2·6	
4h 30m a.		— 7·7	— 6·0	— 4·0	— 3·0	
6h 0m a.		— 7·0	— 6·25	— 4·0	— 3·0	
7h 30m a.	— 6·0	— 5·4	— 4·0	— 3·0		



Fig. 64. Auf das Ufer geschwemmtes kerziges Eis bei Tóközpuszta (westl. von Siófok),
19. Februar 1904.



Fig. 65. Auf das Ufer geschwemmtes kerziges Eis bei Tóközpuszta (westl. v. Siófok),
19. Februar 1904.

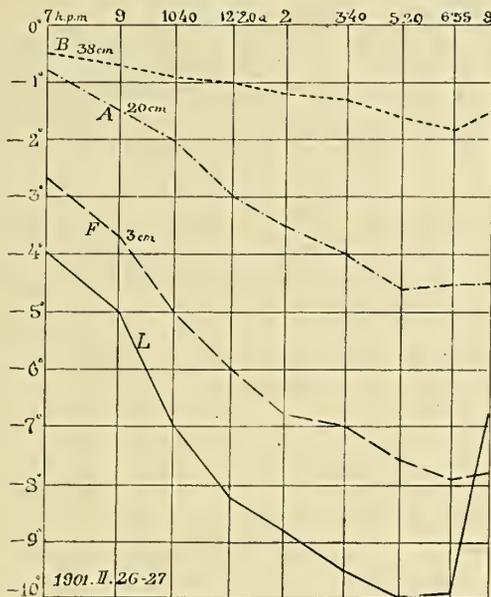
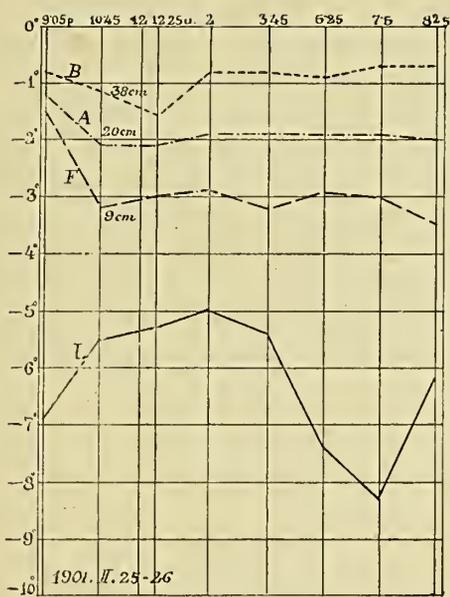


Fig. 66. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 25—26. Februar 1901. A die Temperatur des Eises in 20 cm Tiefe; B in 38 cm Tiefe; F an der Oberfläche; L die Temperatur der Luft.

Fig. 67. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 26—27. Februar 1901. A die Temperatur des Eises in 20 cm Tiefe; B in 38 cm Tiefe; F an der Oberfläche; L die Temperatur der Luft.

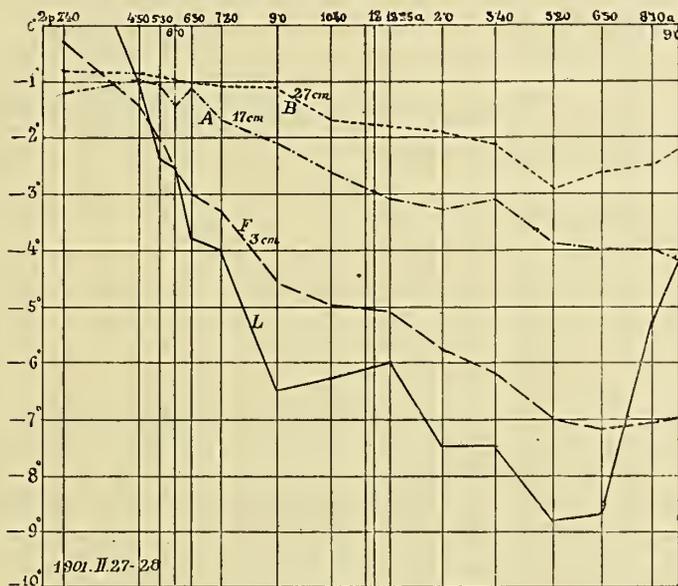


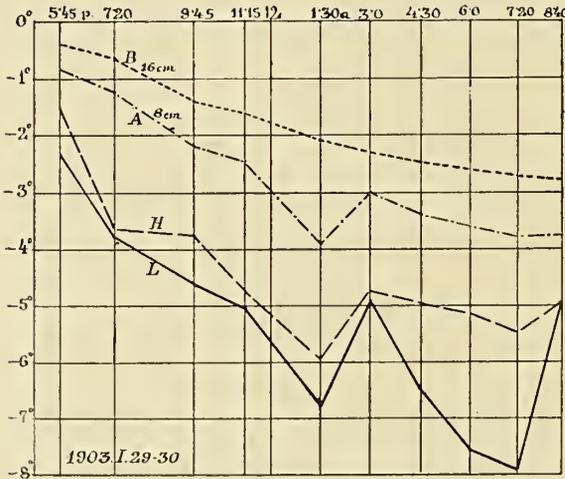
Fig. 68. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 27—28. Februar 1901.

A die Temperatur des Eises in 17 cm Tiefe; B in 27 cm Tiefe; F an der Oberfläche; L die Temperatur der Luft.

Alle Daten, die in diesen Tabellen aufgewiesen sind, können in den Graphikons Fig. 66 71 viel besser überblickt werden.

In dem Graphikon der Beobachtungen vom 25—26. Februar 1901 sehen wir, dass abends die Luft bis 2 Uhr nachts stetig wärmer wurde. Der Umschwung der

Temperatur von der Kälte zur Wärme geschah um 9^h abends, in der Schichte in 9 cm Tiefe wurde das Minimum jedoch erst um 10^h 45 m erreicht nun folgte die Temperatur langsam jener der Luft, gegen früh verspürte jedoch das Eis die starke Abkühlung der Luft garnicht Eine Erklärung hiefür konnte ich nicht finden. Es ist möglich, dass an der Stelle der Bohrungen, wo die Thermometer angebracht wurden, das Eis gespalten war und die Thermometer von dem aufsteigenden,



. 69. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 29—30. Jan. 1903. A Temperatur des Eises in 8 cm Tiefe; B in 16 cm Tiefe; H die Temperatur des Schnees, L die der Luft.

nahezu 0^o-igen Wasser erwärmt wurden. Während der weiteren Messungen kam kein derartiger Widerspruch vor. Infolge dieses ausnahmsweisen Widerspruches kann diese Messung nicht in Betracht gezogen werden. An dieser Stelle war die Dicke des Eises 43 cm, die Tiefe des Wassers 5 m, die Temperatur des letzteren auf der Oberfläche + 0·15^o, in 5 m Tiefe, am Grunde + 1·8^o.

Viel charakteristischer ist die Messung vom 26—27. II. 1901, als die Lufttemperatur von abends bis früh 5^h stufenweise fiel, dann ein wenig stagnierte und endlich rasch emporstieg. Dieselben Bewegungen vollzogen alle drei Ther-

nometer, jedoch je nach der Tiefe in einem immer kleineren Maasse. Die Abnahme der Temperatur ist überhaupt in den oberen Schichten rascher als in den tieferen. Nämlich

algebraisches Mittel von t_1	— 6·06 ^o
» » » t_2	— 3·16 ^o
» » » t_3	— 1·17 ^o
Die auf einen cm entfallende Temperatur-Abnahme zwischen t_1 und t_2	0·171 ^o
» » » » » » » » » t_2 » t_3	0·111 ^o

Das stammt daher, dass das Graphikon hauptsächlich das Stadium der Abkühlung der Luft und des Eises angibt. Schade, dass keine der Beobachtungsreihen den Zeitraum der Erwärmung registriert, weshalb man keine Isoplethen konstruieren kann, was sich auch nicht lohnen würde. Das nächtliche Verweilen am Eise war nur durch die Gravimetermessungen ermöglicht, da jedoch diese die Beobachtung bei Tage zugleich ausschliessen, musste man mit Rücksicht auf die wichtigen Gravimetermessungen von allem anderen absehen. An dieser Stelle war das Eis zur Zeit der Messungen 21 cm dick, der See 4·9 m tief; die Temperatur des Wassers betrug an der Oberfläche + 0·40, in 4·9 m Tiefe, im Schlamm + 3·8^o.

Aus dem nach Beobachtungen vom 27—28. II. 1901 angefertigten Graphikon ist zu ersehen, dass alle atmosphärischen Temperaturschwankungen im Eise verspätet und verschwommen erscheinen. Aus diesen Daten ist das

algebraische Mittel von t_1	— 4·5°
» » » t_2	— 2·5°
» » » t_3	— 1·61°
Die auf einen cm entfallende Temperatur-Abnahme zwischen t_1 und t_2	0·142°
» » » » » » » » » t_2 » t_3	0·090°

Nennen wir diese auf einen cm² entfallende Temperaturabnahme einen Gradienten, so können wir gleich hier bemerken, dass dieser Gradient auch hier im allgemeinen in den oberen Schichten grösser, in den tieferen kleiner ist. Aber auch das ist nur eine Folge dessen, dass wir das Eis auch hier im Zustande der Abkühlung untersuchten. Der Gradient der oberen Schichten war zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags von verkehrter Richtung, das heisst, dass die Oberfläche wärmer

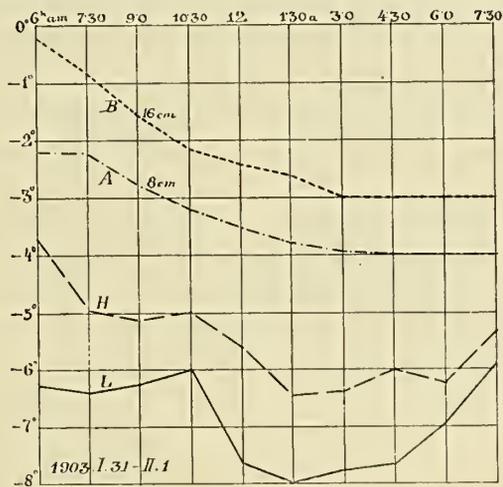
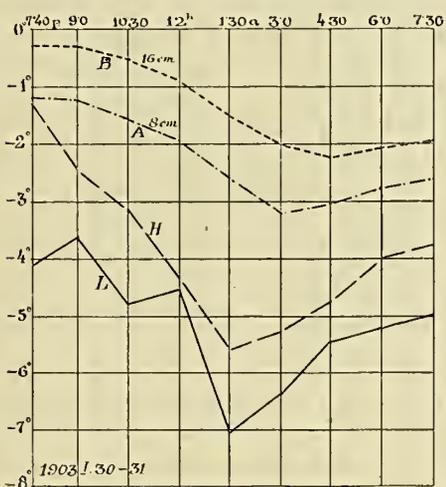


Fig. 70. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 30—31. Jan. 1903. A Temperatur des Eises in 8 cm Tiefe; B in 16 cm Tiefe; H die Temperatur des Schnees, L die der Luft.

Fig. 71. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 30. Jan.—1. Febr. 1903. A Temperatur des Eises in 8 cm Tiefe; B in 16 cm Tiefe; H die Temperatur des Schnees, L die der Luft.

war als die 17 cm tiefe Schichte. Der grösste nach aufwärts schreitende, positive Gradient war in den oberen Schichten um 7 Uhr, in den tieferen um 9 Uhr zu beobachten. Um 7^h a. m betrug jener der oberen 0·228°; jener der unteren um 9^h 0·20°. An dieser Stelle war während unserer Beobachtungen das Eis 49 cm dick; das Wasser 4·5 m tief; die Temperatur des Wassers betrug an der Oberfläche +0·70, in 45 m. Tiefe (im Schlamm) +3·8°.

Die drei im Jahre 1903 zwischen 29. I. und 1. II, aufgezeichneten Beobachtungsserien bekunden dasselbe. In der Tiefe von 16 cm verspürt das Eis nur die grössten Schwankungen der Lufttemperatur, weist ansonsten die ganze Nacht eine sehr gleichmässige fallende Temperatur auf.

B) Die Zusammenziehung des Eises.

Wie wir sahen, kann die Temperatur der Oberfläche des Eises beträchtlich sinken, während die andere, mit dem Wasser in Berührung stehende Fläche hingegen naturgemäss nicht kälter als -0.0177° (im Balaton) sein kann, nur gerade um jenen kleinen Wert, welcher benötigt wird, damit das unter der nächsten salzhaltigen Schichte befindliche Blättchen gefriere.

Diese Erscheinung hat wichtige mechanische Folgen. Infolge der Abkühlung ziehen sich die oberen Schichten der Eistafel zusammen, und es entsteht in diesen oberen Schichten eine mächtige horizontale Spannung, welche abwärts allmählich abnimmt. Wenn sich in einer Platte die inneren Kräfte derart verteilen, dass die Druck-, bzw. Spannkraft keine gleichmässige, sondern von der einen Fläche zur andern wachsend ist, muss die Platte sich biegen. Während der Biegung wird jene Fläche konkav, längs der die Zusammenziehung grösser bzw. die Ausdehnung kleiner ist. Infolge der eben besprochenen Abkühlungsweise des Eises am Balaton, müsste dasselbe sich ebenfalls biegen, und zwar so, dass die konkave Seite nach oben gekehrt sei. Die Erfahrung zeigt nun, dass beim Abkühlen das Eis zerspringt, und bald aus lauter unzusammenhängenden Tafeln besteht. Das Biegen dieser Eistafeln weist aber gleichzeitig auf sehr interessante mechanische Probleme hin.

Betrachten wir vorerst, was mit einem Eisbande von 100 m Länge, 1 m Breite und 0.5 m Dicke geschehen würde, wenn es zufolge ungleichmässig verteilter Temperaturen frei gebogen werden könnte. Und zwar sei die Temperatur der obersten Schichte $-t^{\circ}$, die der untersten 0° .

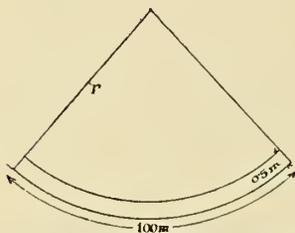


Fig. 72. Die Maasse des gekrümmten Eisbandes.

Est ist klar, dass das Eisband sich in einem Kreisbogen biegen würde, da ein jeder Punkt genau dieselbe biegende Kraft erleidet. Wie gross ist nun der Radius dieses Kreisbogens? Es sei der Halbmesser des Bogens der untersten Schichte r (Fig. 72), so ist der Umfang

$$A = 2r\pi.$$

Die oberste Schichte hätte zu einem Kreise ergänzt einen Umfang von

$$B = 2(r - 0.5)\pi.$$

Dieses B muss aber um soviel kleiner sein, als A , um wieviel A sich zusammenziehen würde, wenn es die Temperatur $-t^{\circ}$ annehmen würde. Es sei der lineare Ausdehnungskoeffizient des Eises rund 0.00005 ,¹ so müsste auch gelten, dass

$$B = A - t^{\circ} \cdot 0.00005 \cdot A.$$

Nehmen wir der Einfachheit halber an, dass $-t^{\circ} = -10^{\circ}$ ist, worauf wir aus beiden Werten des B erhalten, dass

$$2r\pi - \pi = A - 0.0005 \cdot A.$$

¹ Der Ausdehnungskoeffizient des Eises ist noch nicht mit Bestimmtheit bekannt, eben infolge des eigentümlichen Verhaltens des Eises. Die verschiedenen Beobachter (Dewar, Struwe, Nichols, Vincent, Zakrzewski) erhielten von einander sehr abweichende Daten.

Setzen wir den Wert von A ein, und lösen wir nun die Gleichung nach r , so erhalten wir für

$$r = 1000 \text{ m.}$$

Der besprochene Eisstreifen krümmt sich also nach einem Kreisbogen mit sehr kleinem Halbmesser (wenn wir die Krümmung in der Querrichtung ganz ausser acht lassen). Die Höhe des 100 m langen Kreisbogens beträgt 1·3 m, die beiden Enden ragen daher aus dem Wasser hervor, während die Mitte einsinkt.

Auf diese Weise gelangt aber der Streifen unter die Einwirkung starker Kräfte! In der Mitte macht sich der Auftrieb des Wassers geltend, an den Enden wirkt das eigene Gewicht als Belastung (Fig. 73). Diese entgegengesetzten Kräfte versuchen nun den Streifen ebenfalls zu biegen, und zwar zurück in seine ursprüngliche Lage. Wir müssten uns eines sehr schwerfälligen, graphischen Verfahrens bedienen, wollten wir die in dem Streifen hiedurch entstehenden Spannungen berechnen. Ausserdem ist aber die Rechnung auch ganz überflüssig, da die Krümmung garnicht zustandekommt.

Wir können das Problem vereinfachen, indem wir annehmen, der Streifen sei nur der Wirkung des Auftriebes des Wassers ausgesetzt, und indem wir das Ganze mit der Belastung eines Balkenträgers vergleichen. Das ist keinesfalls eine so grosse Belastung, wie sie der Eisstreifen in der Wirklichkeit erleidet. Wenn wir den Auftrieb mit ein Zehntel des Gewichtes des Eisstreifens annehmen, so ist das Gewicht der gleichmässig verteilten Belastung

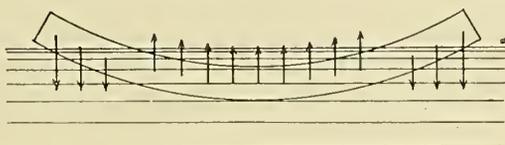


Fig. 73. Die Inanspruchnahme des gekrümmten Eisbandes.

$$P = 0.1 \text{ b. m. h. } 1000 \text{ kg/m}^3,$$

wo b die Breite, m die Höhe, h die Länge des Streifens in Metern angibt. In unserem Beispiel also

$$P = 0.1 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 100 \cdot 1000 = 5000.$$

In der Mitte eines geraden Balkenträgers ist nun die Spannung der äussersten Faser:

$$k = \frac{3}{4} \cdot \frac{P \cdot h}{b \cdot m^2},$$

und die Zahlenwerte eingesetzt, $k = 150 \text{ kg/cm}^2$ eine Spannung, unter deren Einwirkung das Eis ganz zermalmt würde. Aber auch in einem 10 m langen Streifen fällt auf der meist belasteten Stelle auf den \square cm 1·5 kg Druck, obgleich das Eis kaum mehr als 3 kg auf den \square cm verträgt.

Wir wissen, dass das Eis unter Einwirkung des Druckes plastisch wird, besonders bei einer Temperatur von 0° , welche die untersten Schichten des Eispanzers ständig besitzen. Das Eis gibt dem Drucke nach, die oberen Teile werden ein wenig auseinandergezogen, die unteren zusammengepresst und das Ganze breitet sich ungestört auf der Wasserfläche aus. Die Beobachtungen bewiesen diese Tatsache einwandfrei. Am Eise entstehen mächtige Risse, jedoch nirgends Biegungen der Tafeln.

Wie stark jedoch die Biegung versuchende Kraft vorhanden ist und dass

wir dieselbe keinesfalls ausser Acht lassen können, beweist die folgende wichtige Tatsache. Das Eis spaltet sich bei der ersten Abkühlung meist nur längs dem Ufer, und löst sich von letzterem sehr bald. Nunmehr schwebt es auf der Wasseroberfläche ganz frei und doch knattert es weiter; ein Sprung folgt dem anderen, und bald finden wir keine Stelle von 100 m², welche nicht von einer Spalte durchzogen wäre. Das können wir mit der einfachen Zusammenziehung nicht erklären, sondern nur, wenn wir in der Eistafel auch dann verschiedene Spannungen annehmen, wenn dieselbe sich frei zusammenzieht, da die unteren Schichten die oberen in der Zusammenziehung doch immer behindern. Im Falle einer ganz unbehinderten Zusammenziehung müsste sich die ganze Eisdecke in einem aufwölben, es ist aber leicht vorzustellen, dass diese Wölbung — sobald wir sie der Einwirkung der Schwerkraft aussetzen, sofort in Form unzähliger polygonaler Scherben auf die Wasseroberfläche zurückfallen würde.

Ich muss wiederum die trocknende Lehmschichte in Erinnerung bringen, welche ebenfalls zerspringt und in Stücke zerfällt, deren jedes sich biegt, da sie viel leichter und von einem viel kleineren Durchmesser sind, als dass grosse Spannungen in denselben entstehen könnten.

Es hat vielleicht den Anschein, als würde ich mit mir selbst in Widerspruch gelangen, da früher gesagt wurde, dass die kleinen salzarmen Blättchen schon beim Frieren auf ähnliche Weise zerspringen, jene Sprünge, welche mit der Zusammenziehung verbunden sind, also schon da entstanden. Das ist jedoch nur ein scheinbarer Widerspruch, in Gegenteil, wir finden gerade darin die beste Erklärung für die beiden Erscheinungen.

Die Erfahrung lehrt, dass, falls vom Beginne des Frierens die Luft immer nur kälter wird, auch im dicken Eise keine Sprünge entstehen. Dies zählt jedoch zu den seltensten Fällen. Im allgemeinen folgt nächtlicher Kälte bei Tag ein Steigen der Temperatur, wo dann — wie schon eingehend besprochen — die winzigen Spalten der «gyertyásodás» auch auf der unteren Fläche entstehen, auch dort von salzigerem Wasser erfüllt werden, wodurch nun die die Dilatation begünstigenden keilförmigen Spalten verschwinden und ihre Stelle ziemlich parallelwandige Sprünge einnehmen. Wenn dann im Eise ein viel grösserer Temperaturgradient entsteht, wie beim Frieren, so entstehen sofort die grossen Spalten. Doch kann im dünnen Eise, solange das Frieren rascher geschieht, der Gradient nicht gross sein, wirklich grosse Werte kann derselbe erst im dicken Eispanzer erreichen. Wir haben schon gesehen, dass bei grosser Kälte in den oberen Schichten eines dicken Eises der Gradient viel grösser ist, als in den unteren Schichten.

Die Sache ist nun klar.

Beim Frieren vollzieht sich in jedem kleinen «Blättchen» jener Vorgang, welcher den angewachsenen Eispanzer zerstückelt.

Die Spalten verschmälern sich nach abwärts sehr wenig. Am 4. Februar 1901 schnitt ich aus dem 41 cm dicken Eise eine zugefrorene Spalte. Diese war oben 1 cm, unten 0.2 cm. breit. In grösseren Spalten ist jedoch keine derartige Konvergenz der Wände zu beobachten. Ganz fehlerhaft sind die Folgerungen E. R. BUCKLEY's,¹ dass die im Eise der Süsswasserseen befindlichen Spalten keilförmig

¹ E. R. BUCKLEY: Ice ramparts; Transactions of the Wisconsin Academy. Madison, 1901. Vol. XIII. part. 1. 141 etc. — Die erwähnte Erscheinung bespricht er auf S. 154, und bringt sie auf Tafel XVII zur Darstellung.

seien, so dass sie auf der unteren Seite vollständig geschlossen wären. Er selbst gibt zu, dass diese Theorie durch Beobachtungen weder bekräftigt, noch umgestossen wurde, da die Erscheinung sehr schwer zu beobachten sei. Zur Unterstützung seiner Theorie erwähnt er, dass es Sprünge gibt, welche nicht durch die ganze Dicke des Eises reichen, sondern nur bis zur Mitte desselben. Auch ich sah solche Spalten, diese waren aber alle älteren Ursprunges, wieder zugefroren und das Eis war seitdem angewachsen, es froren unter dem Sprünge neue Schichten Eis, denselben vom Wasser absperrend. Dass sie tatsächlich ältere Spalten waren, konnte man meistens leicht beweisen, denn die Schichten des auf das Eis gefallenen Schnees bieten gute Orientierung über das relative Alter der Spalten.

Tausende von Spalten beobachtete ich. Klaffende, 20—30 cm breite Spalten ebenso, wie haardünne Sprünge. Mit Ausnahme des oben erwähnten Falles konstatierte ich jedoch in keinem einzigen Falle eine abwärts gerichtete Konvergenz der Wände, obwohl ich dies sehr genau prüfte, indem ich anfangs auch in diesem Glauben war. Rechnung überzeugte mich aber, dass dies unmöglich ist. Das würde vom Eisbildungsprozesse eine derartige grosse Kraft voraussetzen, die wir uns gar nicht vorstellen können. Eine physikalisch-mechanische Prüfung der Dinge zeigt uns, dass die obersten Schichten sich nicht ganz zusammenziehen, sondern ein wenig gespannt bleiben, die untersten Schichten dagegen ein wenig zusammengepresst werden, so dass die ganze Zusammenziehung der Eistafel so gross ist, als wäre die Temperatur des Eistafel auf den Mittelwert der in den verschiedenen Schichten herrschenden Temperaturen herabgesunken.

Im Feber 1907 unterzog ich endlich diese Erscheinung einer gründlichen Prüfung.

Zu dieser Zeit, am Ende des ungewöhnlich strengen Winters, lag auf dem See eine 28—30 cm dicke Eisdecke. Dass kein aussergewöhnliches Anwachsen des Eises erfolgte, ist dem aufliegenden hohen Schnee zuzuschreiben, welcher in den frostigen Nächten den Eispanzer gut vor Abkühlung schützte. Deshalb waren am Eise keine schön entwickelten Wälle, auch die Spalten waren schlecht ausgebildet. Die eine Hauptspalte stellt uns Fig. 84 dar. Beide Wände derselben waren vollständig vertikal, abgesehen freilich von dem oben befindlichen, stark firnigen Schnee, in welchen die Spalte eine unregelmässige Öffnung riss, von der später noch gesprochen wird. Die Wände des reinen, ungewöhnlich harten Eises waren aber beiderseits der Spalte vollkommen lotrecht.

Im selben Eise gelang es mir mehrere zugefrorene Spalten vorzufinden, und ausgraben zu lassen. An den abgeglätteten Wänden solcher Eisblöcke konnte ich gut Beobachtungen vollführen, die mich endlich zu einem überraschenden Resultate führten.

Nur die dünnsten Spalten waren bis zur unteren Fläche wiederum zugefroren, während die mit einem etwas breiteren Graben gekennzeichneten Spalten auf der unteren Fläche auch immer noch einen äusserst regelmässigen Graben besaßen, welcher bezeugte, dass das Zufrieren der Spalten von oben beginnt, und nur sehr langsam bis zur unteren Grenzfläche zuwächst.

Ein Querschnitt durch das Eis und senkrecht zur Spalte zeigt uns ein dem Schema in Fig. 74 ähnliches Bild.

Oben, im firnigen Schnee ist ein einige Centimeter tiefer Graben (α). Der Boden desselben ist schon reines, glasiges Eis. In der Mitte des Grabens sind

dicht neben einander Luftblasen, welche sich in einer Vertikalebene abwärts fortsetzen, und mit ihrem glänzenden Weiss klar die Symmetrieebene der Spalte kennzeichnen (*b*). Diese Blasenreihe reicht bis zum tiefsten (eigentlich, in natürlicher Lage: höchsten) Punkte des an der unteren Eisfläche befindlichen Grabens. Zu unterst folgt dieser Graben als letztes Überbleibsel des unteren Endes der Spalte (*c*). Sehr interessant ist es, dass die untere Eisfläche, welche überall, wo das Eis nicht zusammengestaut ist, sich spiegelglatt bildet, hier gegen die Spalte zu beiderseits sanft eingewölbt ist, wie das auch aus der Figur ersichtlich.

Bei engeren Spalten sind ausser dem oberen Graben und dem unteren Kanal keine weiteren Anhaltspunkte über die einstige Breite der Spalte. In der Spalte ist ein ebenso durchsichtiges, glasiges Eis vorhanden, wie in der Eistafel selbst.

Das Bild eines ausgehobenen Sprunges zeigt uns Fig. 75. Derselbe ist so dünn, dass kein unterscheidbarer unterer Kanal vorhanden ist. Nur die Fläche der Luftblasen glänzt im Eise. Der in Fig. 75 (Tafel XII) sichtbare Eisblock stammt aus dem rechts rückwärts sichtbaren Loch, die Dicke beträgt 28 cm. Zum Photo-

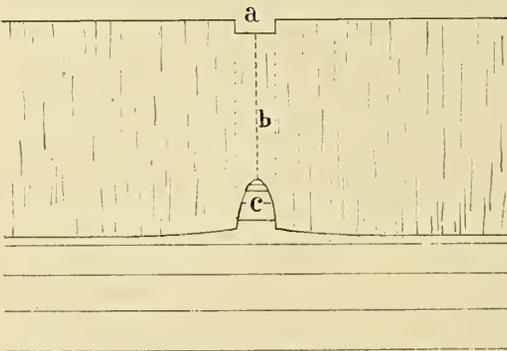


Fig. 74. Skizze der Gesamt-Konstruktion der zugefrorenen Spalte.

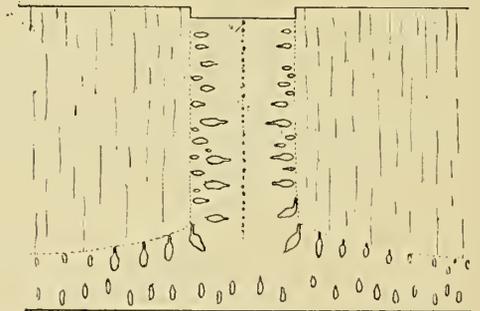


Fig. 76. Verteilung der Luftbläschen in der Gegend der zugefrorenen Spalte.

graphieren wurde der Block auf ein Stativ gesetzt, so dass die obere firnige Fläche nach unten gekehrt ist. Mit der unteren glatten Fläche blieb derselbe nämlich im Winde nicht ruhig, glitt leicht herunter, während so die obere Fläche mit dem Holzrahmen sich besser rieb. Aber auch wegen der besseren Beleuchtung war diese Massnahme notwendig. Das Eisstück ist halb zugedeckt durch ein schwarzes Tuch, damit zugleich auch die rückwärtige Fläche gedeckt sei, und so auf dem dunklen Hintergrunde die Ebene der Luftblasen hervortrete. Beim Ausschneiden entstehen in dem ganz klaren Eise dünne Haarspalten, diese glänzen in dem sonst kristallreinen Eise am Bilde. Die uns zugekehrte Seite glätteten wir übrigens ganz ab.

Bei breiteren Spalten bleiben übrigens auch Spuren der Wand zurück, und zwar auf eine sehr interessante Weise, wodurch die Richtigkeit der QUINCKESchen Annahmen unumstösslich bewiesen wird.

Auch die Blasenreihe in der Mitte der Spalte ist dieselbe Erscheinung, welche QUINCKE während seiner Versuche beobachtete, als er in prismatischen Gefässen Wasser zum Frieren brachte und die Luftblasen in der Mitte der Eissäule sich ansammelten.

Wir finden aber längs der Wand der einstigen Spalte auch jene radialen Bläschen, welche die Säulen QUINCKES so trübten, und von welchen er in seinem oft genannten Werke eine gut gelungene Photographie publiziert.



Fig. 75. Dünne Spalte im Eise. Der 28 cm. dicke Eisblock liegt verkehrt auf dem Stativ, die ursprünglich obere, firnige Fläche ist unten. Zwecks besserer Beleuchtung ist das Eisstück zum Teile durch ein schwarzes Tuch bedeckt.

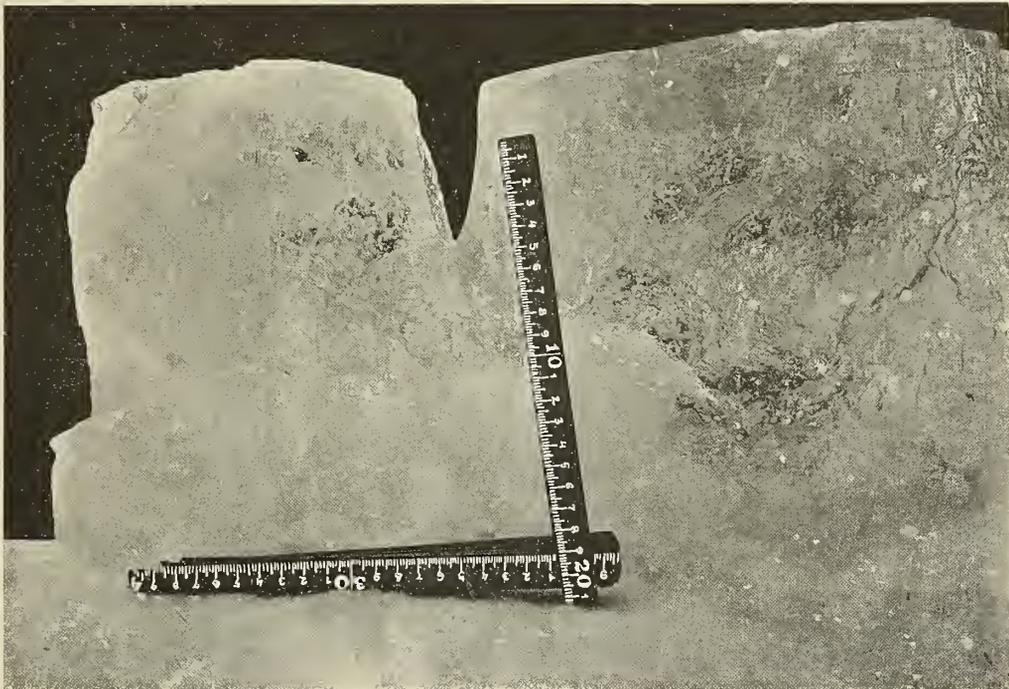


Fig. 79. Bild des unteren Canals der Spalte.

An Stelle der zugefrorenen Spalten haben die Luftblasen eine Anordnung, wie sie in Figur 76 zu sehen ist. Die Längsachsen der Bläschen stehen auf die einstige Wand senkrecht und wir können infolge der Stellung der Luftblasen sogar die Einbuchtung an der unteren Fläche wahrnehmen.

Nach vollständiger Schliessung der Spalte wuchs das Eis noch in der Dicke, im zugewachsenen Teile stehen die Bläschen alle vertikal, wie es die Theorie verlangt und wie es allgemein beobachtet wird.

Wären diese Blasen nicht vorhanden, so wäre es ganz unmöglich am Eise die Wände der einstigen Spalte zu erkennen, und natürlich auch über ihre Lage, ob sie parallel oder abwärts zu zusammenlaufend waren, bekämen wir keinen Aufschluss.

Es begegneten uns auch solche Spalten, wo es wirklich den Anschein hatte, als wären dieselben unten enger als oben. Wir fanden nämlich ein Eisstück, auf welchem eine dicke Schichte Schnee war. Der Sprung berührte auch diesen gefrorenen Schnee, und es entstand in ihm eine 1·5 cm breite Spalte. Jene Spalte, welche die Eistafel durchdrang, war ebenfalls so weit, fror jedoch wieder zu. Im weissen Schnee-Eis war die Spalte in 1·5 cm Dicke gut zu unterscheiden, das kristallreine Eis durchdrang die weisse Schichte des Firns wie ein dunkler Basalt-

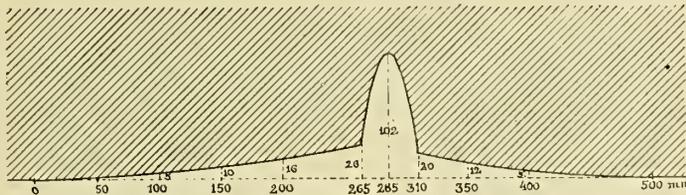


Fig. 77. Unterer Canal einer kleineren Spalte.

Dyke die lockereren Gesteine. Im reinen Eis liess die Spalte jedoch keine andere Spur zurück, als die in der Mittelebene versammelten Luftblasen. Jeder konnte nun glauben, dass auch ursprünglich eine nach abwärts sich schliessende Spalte vorhanden war. Wir wissen aber aus dem Vorhergesagten, dass dies ein Irrtum ist, da die Wände der einstigen Spalte im reinen Eis nur einige horizontal gestellte Bläschen zurücklassen.

Das Interessanteste ist der unterhalb verlaufende Kanal. Von einigen besitze ich die Maasse und zwei können wir in Fig. 77. und 78 dargestellt sehen. Erstere zeigt den Kanal eines kleineren Sprunges, letztere jenen einer aussergewöhnlich grossen Spalte.

Noch viel besser gibt Fig. 79, Taf. XII das Bild des Kanals wieder, welches nach einer Photographie angefertigt wurde. Auch hier ist das Eisstück auf die obere Fläche gestellt. Das neben aufgestellte Maass dient zur Orientierung bezüglich der Grösse.

Wir können sogar die längs den einstigen Seitenwänden befindlichen horizontalen Bläschen auf der Photographie ziemlich gut unterscheiden.

Da der Eisblock glatt abgeschliffen war, senkrecht auf den Verlauf des Kanals und da die uns zugekehrte Seite des Blockes mit der Photographieplatte parallel gestellt war, ist die auf der Aufnahme sichtbare, ziemlich regelmässige Linie tatsächlich der Querschnitt der Spalte.

Diese Linie unterzog ich nach starker Vergrößerung der Originalaufnahme einer gründlichen Prüfung, um die mathematische Form derselben zu bestimmen. Am nächsten steht dieselbe einer Ellipse, deren Polargleichung folgende ist:

$$y^2 = 4.707 x - 0.2596 x^2,$$

wo die Maasse in Millimetern der Natur angegeben sind. Die grosse Achse der Ellipse ist daher 317 mm, die kleine 38.6 mm lang.

Auch wird eine Parabel, deren Parameter 2.21 ± 0.0297 ist, genügend zutreffen. Die Ungewissheit der Abmessung verursacht es, dass eine so lange Ellipse schwer von einer Parabel zu unterscheiden ist.

Jedenfalls wäre es ein interessantes Problem, festzustellen, wie diese Linie theoretisch ausfallen müsste. Wahrscheinlich muss dieselbe tangential in die Seitenwand der Spalte übergehen, wie das auf den ausgehobenen Eisstücken zu sehen war. Die Eisbildung beginnt in der Spalte an der Oberfläche, da die Temperatur des Wassers dort eventuell stark unter 0^0 sinkt und die unteren Schichten abkühlt.

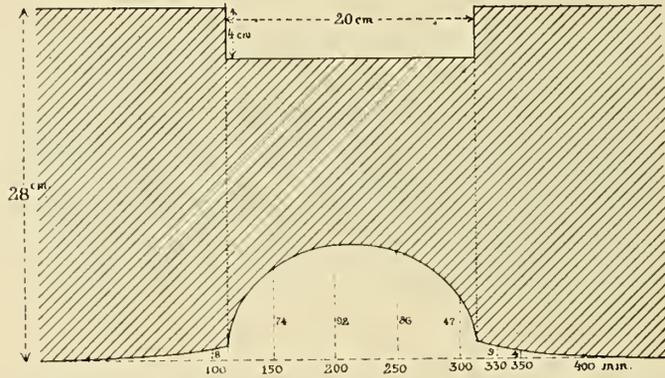


Fig. 78. Gesamt-Construction und unterer Canal einer grossen Spalte.

Deswegen ist die Ellipse wahrscheinlicher. Auch durch Rechnung erscheint dies als wahrscheinlich, doch infolge der Ungewissheit der Messungen ist vorläufig die Frage praktisch und theoretisch unentschieden.

Es ist besonders interessant, dass die untere Eisfläche gegen den Canal zu gewölbt ist. Dies geschah dadurch, dass das Eis bei der Zerspaltung im Wachsen begriffen war. Längs der Spalte nun, wo das in derselben befindliche Wasser das Eis sozusagen wärmt, richtiger, es nicht so abkühlen lässt, wie wo anders, ist das Anwachsen des Eises keineswegs so rasch, wie das der ungespaltenen Tafel. Freilich nimmt diese Aufwärmung allmählich rechts und links der Spalte ab, wodurch das Eis gegen die Spalte eine Einbuchtung bekommt, deren Form mit der Wärmeleitung des Eises im Zusammenhange steht.

Die Entstehungsformen der Spalten sind haardünne Sprünge. Grosse Öffnungen könnten ja garnicht entstehen, da das Eis jeder kleinsten Ausdehnung mittels eines Sprunges ausweicht. Unter dem feinen Gravimeter, oder in dessen nächster Nähe entstanden oft Sprünge, unter uns entstand der Knall, und das feine, hori-

zontale Torsionspendel, dessen Beruhigung $1\frac{3}{4}$ Stunden in Anspruch nahm, nahm davon absolut keine Kenntnis, was jedenfalls der Fall gewesen wäre, wenn mit dem Sprunge beträchtlichere Horizontalverschiebungen verbunden gewesen wären. Wenn der Sprung zu unseren Füßen verlaufend entsteht, verspürt man einen sehr kurzen Schlag, wie jenen eines elektrischen Funkens, das ist die Längsschwingung der Eistafel, welche das scharfe pfeifende, oder donnerartig dumpfe Getöse verursacht.

Kaum gibt es in der Natur noch ein so grossartiges Phänomen, als wenn in klaren, kalten Nächten das vom Schnee freie Eis abkühlt, und am Balaton das Knattern beginnt. Mit Beginn der Dunkelheit löst sich auf einmal das Schweigen am See. Anfangs sind es dumpfe Stösse, helle Knalle, dann auf einmal beginnt ein schrecklicher Donner. Es ist vom weiten noch immer hörbar, indem der Sprung den ganzen See durchheilt. Ein andermal wiederum hören wir einen nahenden, scharfen Ton, welcher von sehr weit stammt, dann auf einmal die Tonhöhe wechselt und mit dumpfem Getöse wieder in der Ferne verstummt. Der Ton des sich uns nahenden Sprunges ist hoch, derjenige des entfernenden tief, was mit dem raschen Nahen und Weichen der Tonquelle leicht zu erklären ist. Das Geräusch dieser Vorgänge ist angeblich sehr weit, ja sogar auf einen Tagesmarsch vom See entfernt vernehmbar. Entwickelt sich die Erscheinung vollständig, so dauert es stundenlang, mit vieler Abwechslung und es gibt am See ein solch starkes Knattern, dass man die eigene Stimme nicht vernimmt.

Bedeckt der Schnee das Eis und ist der Himmel trübe, die Luft neblig, so sind diese Töne nur selten wahrnehmbar, dieselben geben einen abgestumpften Ton.

Das Knattern fürchten die Fischer nicht, im Gegenteil freut es sie, da sie ja wissen, dass dann das Eis anwächst. Übrigens bedeuten die Spalten absolut keine Gefahr und auch die an das Eis gewöhnten Pferde schrecken nicht vor denselben zurück.

Dass das Eis während der Spaltung tatsächlich der Dicke nach wächst, beweisen am besten jene Spalten, die wiederholt zufroren und sich wieder spalteten. Solche Spalten besitzen ein stufenförmiges Profil (Fig. 80), da zur Zeit der zweiten Spaltung das Eis schon dicker war und mehr über den Wasserspiegel emporragte, als im ersten Falle. BUCKLEY erwähnt solche vom Mendota und Monona-See, in der mittleren südlichen Hälfte von Wisconsin (U. S. A.),¹ weiters auch FRANZ NAGY vom Fertő-See (Neusiedler-See).²

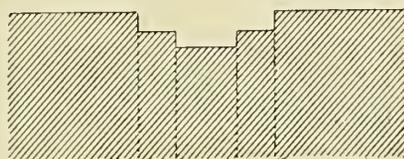


Fig. 80. Stufenförmig zugefrorene Spalte.



Fig. 81. Mitsamt einer Längenschiebung entstandene Spalte.



Fig. 82. Durch scheernde Kraft im frischen Eis einer zugefrorenen Spalte entstandene Sprünge.

¹ L. c.

² NAGY, FRANZ: Einige Beobachtungen am Eise des Fertő im Monate Januar 1906; Földrajzi Közlemények, XXXIV. Band, S. 73.

Die haardünnen Spalten beweisen oft auch, dass mit der dehrenden Spannung zugleich auch eine mit der Spalte parallele, horizontale Verschiebung stattfand, da der Sprung keine ununterbrochene Linie darstellt, sondern aus unordentlich angereihten, S-förmigen Teilen besteht (Fig. 81). Diese horizontale Kraft wirkte zweifellos in der Richtung der Pfeile, die in der Figur angebracht sind. In breiteren Spalten kann man auch noch beobachten, dass diese horizontale Kraft erst nach dem Zufrieren der Spalte zur Geltung kam, da das dazwischen gefrorene, frische Eis diese Zerstückelung aufweist (Fig. 82).

Wie es später noch erörtert wird, verlaufen die breitesten Spalten längs der Ufer, einzelne wieder teilen das Becken in mehrere Partien. Figur 83. zeigt uns eine Spalte, welche von Siófok nach Osten, parallel mit dem Ufer lief. Photographiert wurde sie am 10. Jan. 1904. Die in mehreren Reihen erfolgte Anordnung der dünnen, wiederholt zertrümmerten Eisdecken bezeugt, dass die Spalte durch wiederholtes Schliessen und Öffnen sich so breit entwickelte und auch wir sahen sie hart zugefroren.

Figur 84 (Tafel XIII) zeigt uns eine Spalte, welche quer durch den See zieht, von der Gegend bei Siófok nach Csopak. Die Spalte weist eine sehr interessante Erscheinung auf, von welcher es sich lohnt eigens zu sprechen. Das Eis wird von hohem Schnee bedeckt (12. Februar 1907), welcher zum grössten Teil schon firnartig ist, mit dem Eise jedoch nicht ganz verschmolzen war. Es ist aus dem Bilde ersichtlich, dass diese Schneeschichte beiderseits der Spalte, als wären es Teile einer Antiklinale, aufgebogen ist. Der Grund hiefür liegt in dem verschiedenen Dehnungskoeffizienten des Eises, und des firnartigen Schnees. Als die erste Spaltung erfolgte, folgte die Firnschichte noch nicht ganz dem Eise, die Spalte war daher im Eise breiter. Als die Spalte geschlossen wurde, waren die beiden Schichten durch das emporsteigende Wasser schon verschmolzen, der Firn folgte daher der Eistafel und musste sodann bei der vollkommenen Schliessung aufgebogen werden.

Sehr interessant sind die Kreuzungen der Spalten. Die ältere Spalte wirkt meist auf die jüngere störend, indem die neue auf eine, wenn auch kleine Strecke die Richtung der alten aufnimmt, da hier die zu vollführende Arbeit eine leichtere ist (Figur 85). Augenblicklich könnte man glauben, dass gerade die, als ältere bezeichnete Spalte die neuere ist, und *b* wäre die ältere, deren beide Stücke beim Entstehen der Spalte *a* horizontal verschoben wurden. Hierauf bekommen wir jedoch leicht eine bestimmte Aufklärung, wenn wir weiter gehen, und bald eine anders gerichtete Spalte vorfinden (*c*), deren Verlauf eine gerade entgegengesetzt wirkende horizontale Spannung voraussetzen würde.

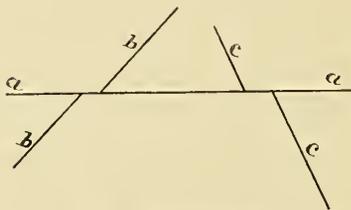


Fig. 85. Zusammentreffen zweier Spalten mit Verschiebung. *a* alte Spalte, *b* und *c* neue Spalten.

Wenn zwei einander naheliegende Spalten von einer neuen durchquert werden, entstehen grosse Verwickelungen. Die neue Spalte verästelt sich und erscheint erst nach Passierung der älteren Spalten wieder als eine verstellte Spalte. Eine derartige zeichnete ich im Februar 1903 (Figur 86). Aus dieser Zeichnung ist zu ersehen, dass die Spalten unbekümmert mit dem älteren, in die Eistafel eingefrorenen, schneeigen Eisstück, ihren Lauf ungestört fortsetzen.

Manchmal zerspaltet sich ein grösserer Sprung und endigt damit (Figur 87). In



Fig. 83. Mit dem Ufer parallel laufende Spalte, 10. Januar 1904.



Fig 84. Querlaufende Hauptspalte in der Gegend zwischen Siófok und Csopak, 12. Februar 1907.

solchen Fällen sollten wir eigentlich in der Fortsetzung der Spalte durch Zusammenpressung verursachte Störungen vorfinden, da dieses Verschwinden der Spalte sicherlich in einer neutralen Gegend liegt, wo einerseits Spannung, andererseits

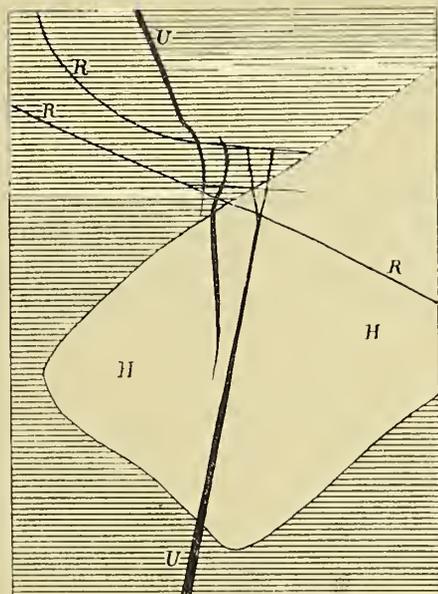


Fig. 86. Zusammentreffen einer neuen Spalte (*U*) mit zwei älteren Spalten (*R*). Der weiss gelassene Teil ist ein Stück altes, schneeiges Eis, der schraffierte Teil ruhig gefrorenes Eis.

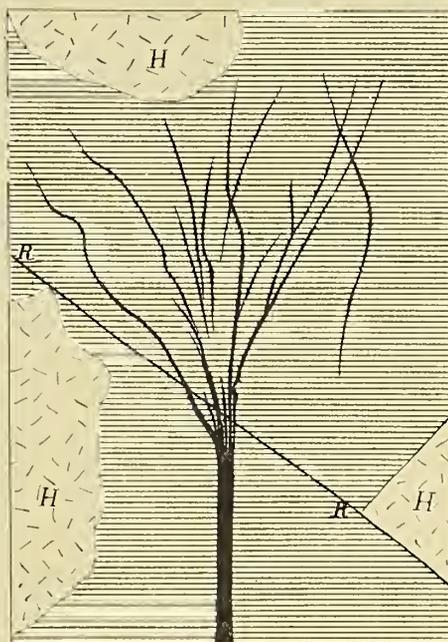


Fig. 87. Eine in Verästelungen endigende Spalte. *R* ältere Spalte, *H* ältere, schneeige Eisstücke.

Pressung auf das Eis einwirkt. Es kann aber allerlei Störung dabei mitwirken, die pressende Kraft kann eventuell an ganz anderen Orte ausgeglichen werden, weshalb wir auch in der Fortsetzung der Spalte nichts finden.

Das entlang den Spalten emporsteigende Wasser durchtränkt die dünne Schneeschichte und ruft in dieser Veränderungen hervor. (Das Gewicht des Schnees verursacht es, dass der Wasserspiegel beinahe mit der Eisoberfläche zusammenfällt.) Interessant ist in solchen Fällen die Feststellung des Alters der Spalten. Ich verfertigte eine Skizze im Januar 1904. (Figur 88.) Im durchnässten Schnee gefriert das Wasser und es wird dunkel, zum Teile durchsichtig, von grünlicher Farbe, welche nach und nach sich trübt, gegenüber der Weisse des unberührten Schnees. Die aller-ältesten der auf der Zeichnung ersichtlichen Spalten sind *A*, *B* und *C*. Neuer sind *D* und *E*, noch neuer *F* und *G*. An der oberen Grenze der Zeichnung läuft eine sehr grosse zusam-

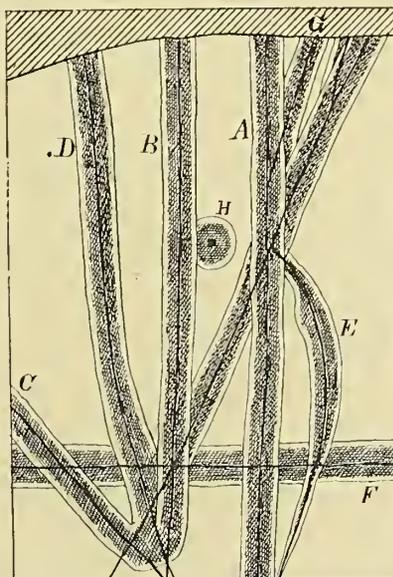


Fig. 88. Zusammentreffen aufgeweichter Spalten.

mengeschobene Spalte vorüber, welche noch bei Anfertigung der Zeichnung in starker Bewegung war. Hievon nördlich hat der hingewehte Schnee alles dicht bedeckt. Bei *H* wurde ein Loch ausgehauen, bei welchem auch das Wasser aufsaugte, aber es ist zu sehen, dass das Loch später entstand, als die Spalte *B*.

C) Die Ausdehnung des Eises.

Erwärmen sich die durch Spalten getrennten Eisstücke — welche erfahrungsgemäss garnicht aufgebogen sind — vom neuen, so müssten sie sich derart ausdehnen, dass sie in Form einer Kalotte sich aufwölben würden. Die untersten Schichten haben nämlich 0° Temperatur, ihr Volumen ist daher ständig, die niedere Temperatur der Oberflächenschichte dagegen steigt auf 0° , diese müssen sich folglich dehnen.

Die Aufwölbung ist jedoch infolge des Gewichtes der Eistafeln, bzw. des auf diese einwirkenden Auftriebes, welcher in den entfernteren Teilen eine die Widerstandsfähigkeit des Eises weit übertreffende Spannung entwickelt, ausgeschlossen. Der mechanische Zustand ist beiläufig wiederum derselbe, wie bei der Aufbiegung, wenn auch nicht ganz genau. Die durch die Theorie bestimmte Aufwölbung tritt aber — wie es die Erfahrung lehrt — auch hier nicht ein. Statt dessen dehnt sich das Eis genau so aus, als wenn vor der Ausdehnung die Temperatur überall diejenige gewesen wäre, wie die mittlere Temperatur des Querschnittes. Es ist sehr wahrscheinlich, dass infolge einer derartigen Ausdehnung, — vorausgesetzt, diese könne unbehindert stattfinden — das Eis, sobald die Temperatur bis 0° steigt, ein grösseres Volumen besitzt, als anfangs, noch vor der ersten Abkühlung, als die Temperatur ebenfalls nahe 0° war. Diese leitete ich nur auf theoretischem Wege ab, mit Beobachtungen kann ich es nicht beweisen. Es ist nämlich wahrscheinlich, dass jener Vorgang, welcher beim Gefrieren durch Bildung der Kapillar-Spältchen die Erscheinung der «Kerzenbildung» hervorrief, die absolute horizontale Ausdehnung der Eistafel erhöhte.

Aber auch wenn dies nicht geschieht, kann das Eis sich nicht unbehindert dehnen, da mit Ausnahme einiger grossen, die entstandenen Spalten sämtlich fest zugefrozen sind. Diese müssten sich wieder schliessen, damit das Eis seinen ursprünglichen Ruhezustand neuerdings einnehmen könne, dies ist aber unmöglich, da die Spalten mit frischem, stahligem Eise gefüllt sind.

Jene Spalten, die nur dünn zugefrozen sind, werden wiederum geschlossen, die dünne Eisdecke wird zerstückelt, emporgespresst und die einzelnen Trümmer auf die Kante gestellt, wie schon früher beschrieben (S. 45). Aber auch nachdem aus diesen wenigen Spalten auch alles Getrümmer herausgespresst ist, findet die Ausdehnung noch kein Ende, da doch der grösste Teil der Spalten zugefrozen ist. Daher entsteht im Eispanzer hierauf eine grosse, horizontale Spannung, der das Eis endlich doch nachgibt, und es entstehen imposante Eiswälle, indem das Eis sich aufbiegt und dann bricht (ungarisch: *turulás*).

Bevor zur morphologischen Prüfung dieser Erscheinung übergegangen wird, müssen wir jenes ungemein interessante Problem erörtern, an welchen Stellen diese Eiswälle entstehen.

Hätte der See eine regelmässige Parallelepipedon-Form mit der Breite a und der Länge b (Figur 89), so müsste die Spannkraft, würde das Eis sich nur an den Ufern bewegen, die folgenden Arbeiten leisten:

1. Längs der vier geradlinigen Ufer das Eis mittels einfachem horizontalen Druck zermalmern. Ist die Dicke des Eises v , die zur Zermalmung auf die Flächeneinheit benötigte Kraft p , so ist zu dieser ganzen Arbeit die Kraft

$$(\text{Druck}) P = (2a + 2b) v \cdot p.$$

notwendig.

2. Das Eis muss an allen vier Ufern ein wenig verschoben werden, damit der Punkt A in A' , B in B' , C in C' und D in D' komme. Es sei vor der Ausdehnung die Temperatur des Eises t^0 , der Ausdehnungskoeffizient α . Punkt A wird dann um die Länge $\frac{b}{2}\alpha t^0$ verschoben (gleichzeitig Erwärmung auf 0^0), während in der Mitte der Seite b keine Verschiebung stattfindet. Vom Punkte A bis zur Mitte von b nimmt die Verschiebung einfach im Verhältnis ab. Die mittlere Verschiebung längs dem Uferstücke $\frac{b}{2}$ beträgt daher $\frac{b}{4}\alpha t^0$. Wird zur Verschiebung der Flächeneinheit um eine Längeneinheit die Kraft q benötigt, so ist die gesamte, auf der Strecke von A bis $\frac{b}{2}$ wirkende Kraft gleich $\frac{b^2}{8}v \cdot \alpha t^0 q$. Nachdem wir vier solche Stücke haben, und da wir die auf den a Seiten wirkende Kraft auf gleiche Weise berechnen können, so beträgt folglich die zur gesamten Verschiebung notwendige Kraft

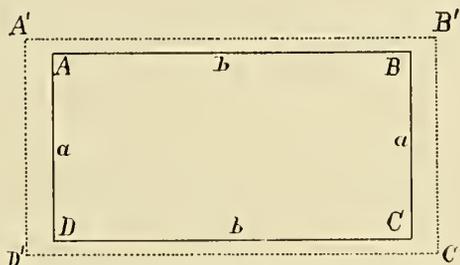


Fig. 89. Ausdehnung des Eises in einem See von regelmässiger Parallelepipedform.

$$Q = \left(\frac{b^2}{2} + \frac{a^2}{2} \right) v \cdot \alpha \cdot t^0 \cdot q$$

Die gesamte Kraft daher

$$E = P + Q = 2(a + b)v \cdot p + \frac{(a^2 + b^2)}{2} v \cdot \alpha t^0 \cdot q$$

Diese letztere, die Q Kraft, ist sehr beträchtlich, auch wenn wir nicht Reibung zwischen Eis und Ufer, sondern nur zwischen Eisflächen voraussetzen, das heisst, dass das Eis nicht am Ufer gleitet, sondern längs einer dem Ufer parallelen Spalte. Dies wird hauptsächlich dadurch verursacht, dass unter Einwirkung des Druckes das Eis zusammenfriert, und so während der ganzen Verschiebung eigentlich die Kräfte das Eis in einemfort abscheeren. Nehmen wir an, dass diese abscheerende Wirkung des Eises mit der Druckfähigkeit desselben gleich ist, so begehen wir wahrscheinlich keinen grossen Fehler. In diesem Falle ist q beträchtlich grösser als p .

Aus den Koeffizienten der beiden Kräfte ist zu ersehen, dass wenn a und b klein ist, der Koeffizient von q wegen a klein sein wird, mit dem Anwachsen von a und b wächst jedoch dieser Koeffizient quadratisch, bei grossen Längen und grosser Temperaturänderung vollführt daher diese Kraft grosse Arbeit.

Ausserdem wissen wir aus den Forschungen B. WEINBERGS¹, dass bei der Torsion des Eises anfangs, bis wir noch nicht zur Grenze der elastischen Deformation gelangten, die Widerstandsfähigkeit des Eises nicht gross ist. Erst nach Überschreitung der Grenze der elastischen Deformation ist zur Deformierung eine grosse Kraft nötig (die Ursache hiefür sind wahrscheinlich die Salzsichtchen). Ist also die Ausdehnung des Eises nicht allzu gross und auch die Dimensionen der Eistafel keine grossen, kann diese Arbeit ausser acht bleiben. Deshalb nehmen wir an kleineren, an das Ufer gefrorenen Tafeln keine derartigen Verschiebungen wahr.

Ganz anders stehen die Dinge bei der Stauung von runden Eistafeln. In diesem Falle entfällt die Kraft Q ganz, nur P verbleibt. Die Eistafeln müssen nämlich nicht am Ufer verschoben werden; es ist der Druck und die Ausdehnung in jedem Punkte senkrecht auf das Ufer, es spielt daher nur P eine Rolle.

Das ist ein erheblicher Unterschied.

Wir kommen auf das Viereck $a-b$ zurück. Der Einfachheit halber nehmen wir an, dass a die Hälfte von b ist. Wir können in diesem Falle in das $ABCD$ Viereck zwei solche Kreise zeichnen, welche die Ufer und sich selbst berühren.

Der Halbmesser eines jeden Kreises ist $\frac{a}{2}$, die ganze Länge der zwei Kreise daher $k=2a\pi$. Nehmen wir an, dass während der Ausdehnung das Eis längs dieser zwei Kreise sich staut. Die zur Vollführung der ganzen Arbeit nötige Kraft

$$E_1 = P_1 = 2 \cdot a \cdot \pi \cdot v \cdot p = 6.28 \cdot a \cdot v \cdot p.$$

Unter derselben Voraussetzung, dass nämlich $b=2a$ ist, beträgt die frühere Kraft P , welche längs den Seiten des Viereckes $ABCD$ das Eis zertrümmert:

$$P = 6 \cdot a \cdot v \cdot p.$$

P_1 ist daher zu P im Verhältnisse wie

$$P_1 : P = 6.28 : 6,$$

P_1 ist also um kaum 5% grösser als P , Q dagegen entfällt ganz. Die neben den Kreisbögen zurückbleibenden Segmente kommen, als Eisfelder von kleinerer Ausdehnung, auf Grund des Vorhergesagten nicht in Betracht.

Längs was immer für welcher anderer Linie sich das Eis auch stauen möge, wäre, teils der Länge der Linie, teils der zur Verschiebung benötigten Kraft wegen, die Arbeit immer grösser als so.

Demzufolge geschieht das Aufbrechen und Auftürmen des Eises stets längs solcher Kreise, welche sich womöglich an die Ufer schmiegen, ist dies wegen der Form des Beckens nicht möglich, so werden die Kreise zu Ellipsen gedehnt, oder sie zerfallen in zwei Kreisbogen, welche sich möglichst an die Ufer anlehnen, und dann entsteht die Stauung auf der zwischen denselben liegenden Uferstrecke und längs den Kreisbogen selbst. Bei einer unregelmässigen Uferlinie ist das noch verständlicher und darum ist am Eis des Balaton diese Erscheinung längs einander berührenden, an die Ufer geschmiegen Linien zu erwarten.

Im Winter 1894—95 habe ich die Eiswälle des Balaton genau skizziert. Wir dürfen freilich nicht erwarten, dass die Linien etwa sehr regelmässig sein

¹ B. WEINBERG: Über die innere Reibung des Eises. Ann. d. Phys. IV. Serie, 18. Band, S. 81

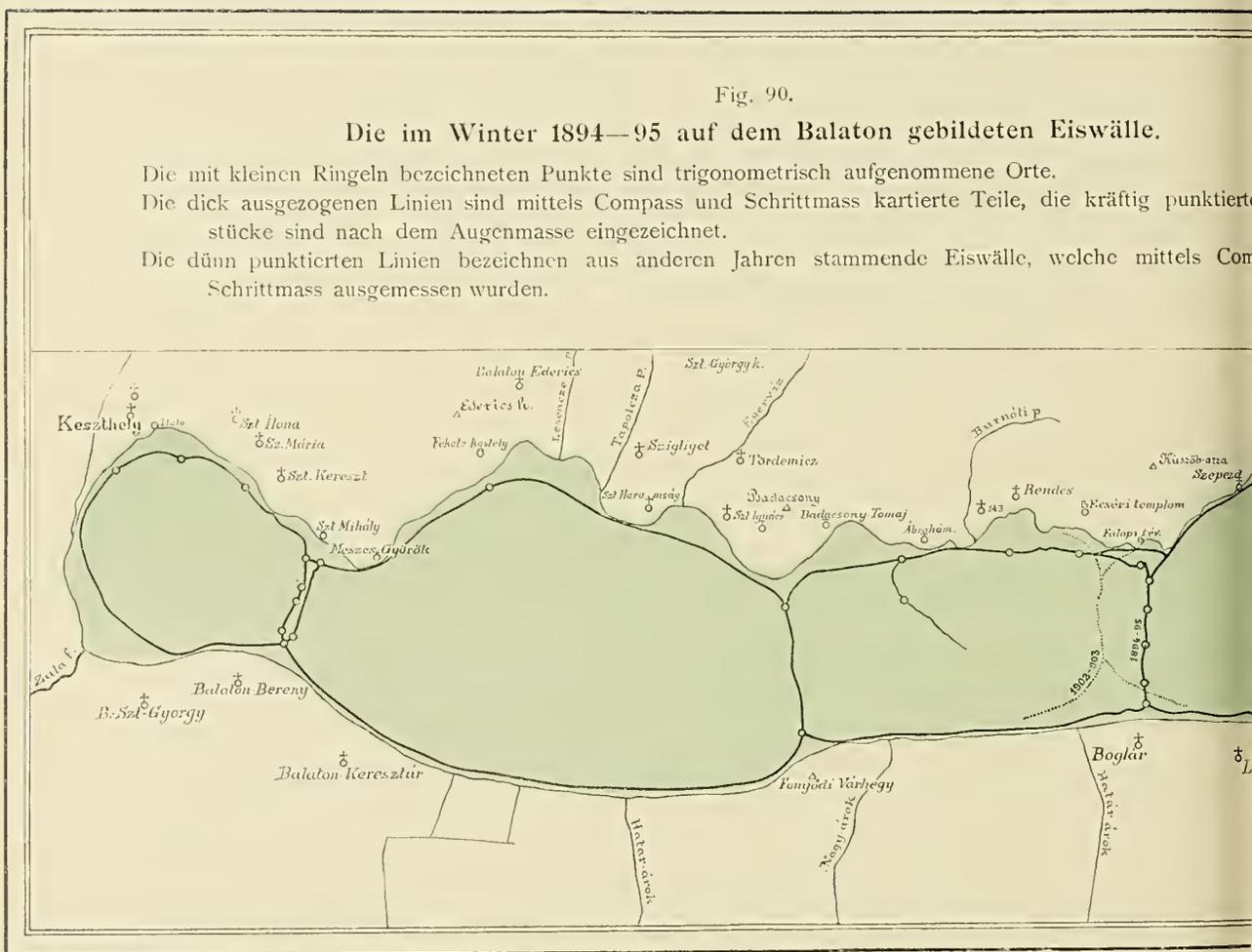
Fig. 90.

Die im Winter 1894—95 auf dem Balaton gebildeten Eiswälle.

Die mit kleinen Ringeln bezeichneten Punkte sind trigonometrisch aufgenommene Orte.

Die dick ausgezogenen Linien sind mittels Compass und Schrittmass kartierte Teile, die kräftig punktierte Stücke sind nach dem Augenmasse eingezeichnet.

Die dünn punktierten Linien bezeichnen aus anderen Jahren stammende Eiswälle, welche mittels Compass und Schrittmass ausgemessen wurden.



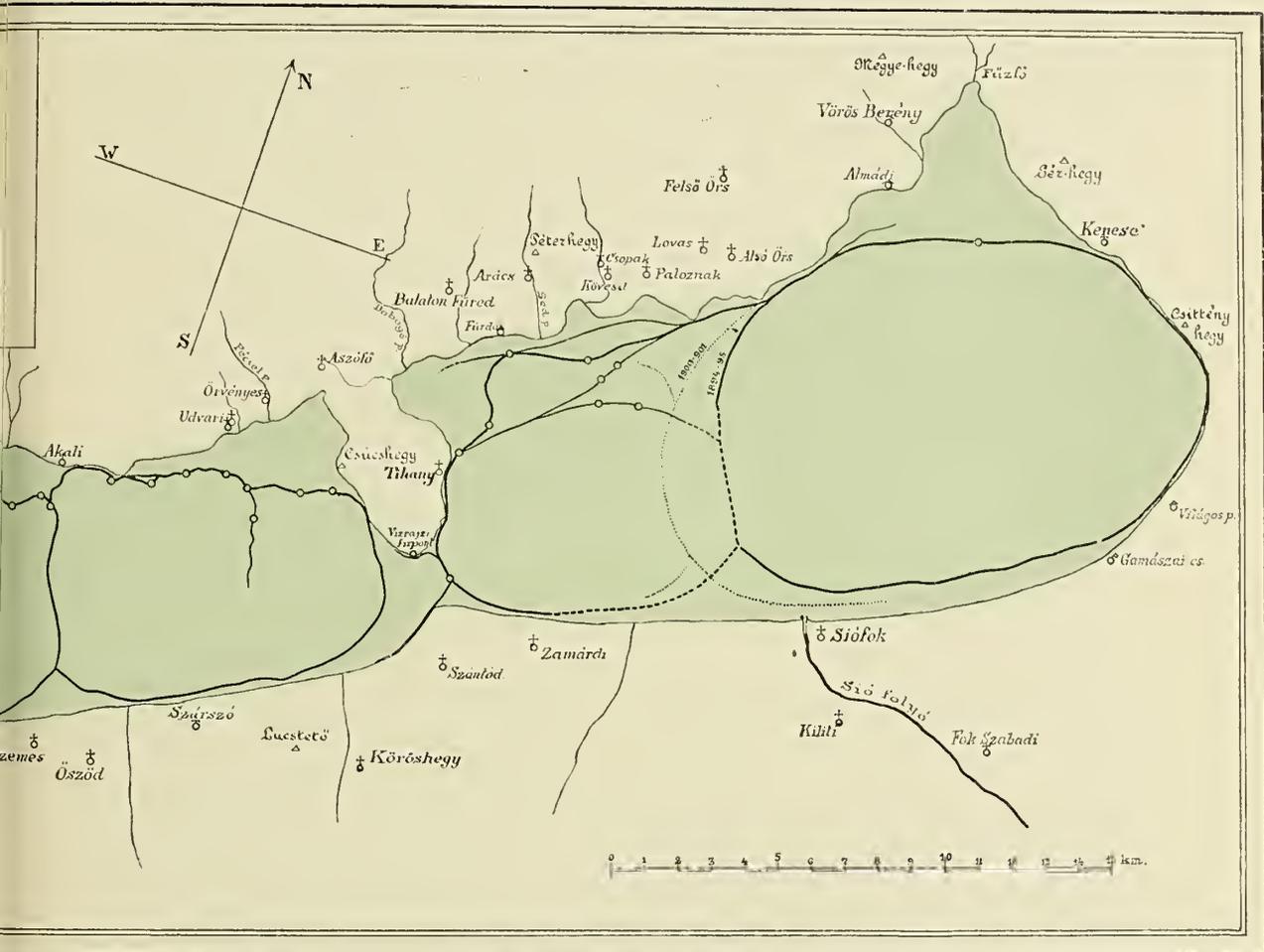
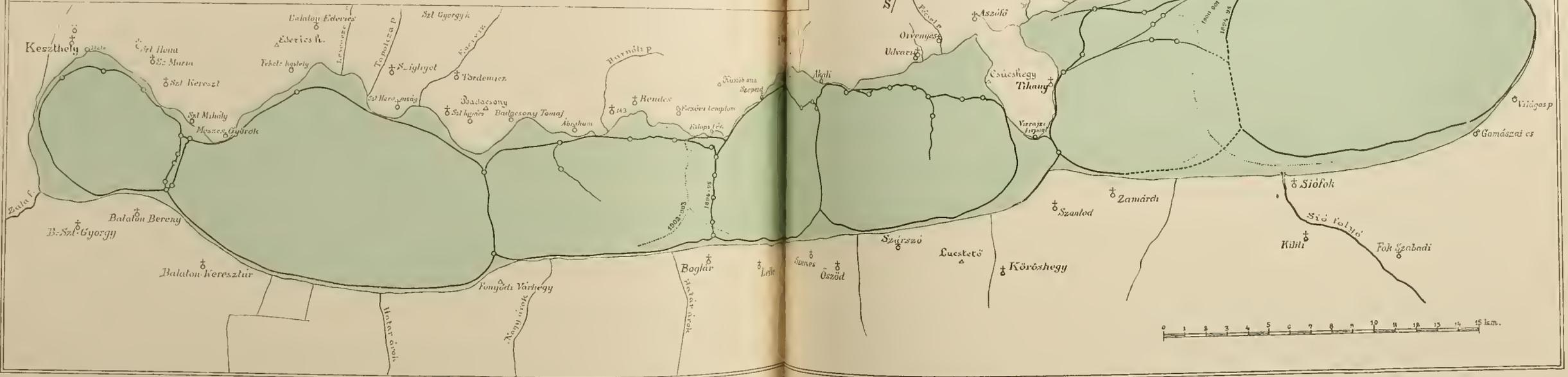


Fig. 90.

Die im Winter 1894—95 auf dem Balaton gebildeten Eiswälle.

Die mit kleinen Ringeln bezeichneten Punkte sind trigonometrisch aufgenommene Orte.
 Die dick ausgezogenen Linien sind mittels Compass und Schrittmass kartierte Teile, die kräftig punktierten
 Stücke sind nach dem Augenmasse eingezeichnet.
 Die dünn punktierten Linien bezeichnen aus anderen Jahren stammende Eiswälle, welche mittels Compass
 Schrittmass ausgemessen wurden.



werden, da die ungleichmässige Härte des Eises, der Einfluss eventueller Spalten etc. die genaue Regelmässigkeit stören und infolgedessen ist der Verlauf der Eiswälle eine Zickzacklinie, zerstückelt und nur stellenweise an die Ufer geschmiegt. Ein Blick auf die in Figur 90 (Tafel XIV) dargestellte Karte, welche die Verteilung der Eiswälle in 1894—95 enthält, überzeugt uns jedoch, dass die früheren Folgerungen richtig sind und die Aufbrüche tatsächlich längs der einzeichnenbaren grössten Kreise erfolgen.

Die Kartierung der Eisstauungen ist keine einfache Arbeit. Die wichtigeren Punkte gewann ich mittels der kleinen ELLIOTSchen Taschensexantanten, durch Rückwärtseinschneiden mit Hilfe der am Ufer sichtbaren und in der Karte identifizierbaren Punkte (Kirchtürme, Bergkuppen, wichtigere Gebäude, Ruinen etc.). Man wurde in dieser Arbeit viel vom Nebel behindert. Die Details gewann ich nach dem Itinerariumverfahren, mit Schrittzähler und Kompass. Die Arbeit war aber sehr spannend, denn sie enthüllte eine bisher ganz unbekannte, neue Erscheinung.

Vorher und auch später öfters beobachteten wir die Verteilung der Eiswälle und fanden dieselben zum grössten Teil immer auf der nämlichen Stelle. Es waren aber auch Ausnahmefälle, als eine oder die andere Querspalte nicht ganz genau auf der Stelle derjenigen von früheren Jahren entstand, manchmal blieben einzelne ganz weg. Dies ändert aber an der Hauptsache nichts, wenn wir bedenken, von wie vielen Zufällen die lokale Festigkeit des Eises abhängt.

In lauen Wintern, wenn der See nur von einer dünnen Eispanzer überzogen ist, welcher vom Winde öfters zertrümmert wird, entstehen gar keine oder nur kaum wahrnehmbare Eiswälle. Aber auch die grösste Kälte genügt nicht zur Entwicklung dieser Erscheinung, wenn sie von starkem Schneefall begleitet ist und der Schnee infolge der Witterungsverhältnisse firnig wird. Infolge dieser Umstände waren im Winter 1906—1907 keine typischen Eiswälle am Eise des Balaton.

Wenn auf eine einzige, ununterbrochene Abkühlung wiederum eine einzige Temperaturzunahme die Eiswälle verursachen würde, und das Eis überall von gleicher Festigkeit wäre, entwickelten sich die Eiswälle sicherlich ganz regelmässig und die Erscheinung würde der Theorie vollständig entsprechen. So aber, wo die Beobachtung fortwährend abwechselnde Temperaturschwankungen aufweist: treten verschiedene störende Umstände dazwischen

Sobald das Eis infolge der Abkühlung berstet, frieren die Spalten bald wieder zu, vorläufig aber nicht so stark, dass ihr Eis gleich dick wäre mit dem Haupteise. Dieses dünnere Eis bricht während der Aufwärmung meist wieder dort, längs den Spalten, auf, welche schon nahezu den Verlauf der kommenden Eiswälle besitzen, nämlich an den Stellen der grössten Spannung. In solchen Spalten kann das Eis bei raschen Temperaturschwankungen nicht anwachsen, während in anderen Spalten das Eis sehr stark wird.

Tatsächlich bezeichnen diese ständig in Bewegung befindlichen Spalten schon voraus die Stelle der Eiswälle. Gibt es keine langanhaltende, ständige Kälte, so wandeln sich diese Öffnungen — wir könnten sie Hauptspalten nennen — langsam, stufenweise in Eiswälle um. Das bei jeder Erwärmung hinausgeschleuderte Eis häuft sich am Rande der Spalte an und bildet einen mächtigen Wall.

Ein derartiger Eiswall entstand im Februar 1901 zwischen Siófok und Alsó-Örs, an der Berührungsstelle der in dem östlichen Becken einzeichnenbaren beiden grössten Kreise, so dass er eher dem östlichen — grösseren — Kreisbogen folgte.

Vor Siófok, weit drinnen im See, verzweigte sich dieser Wall, der eine Ast folgte gegen Osten, der andere gegen Westen dem Ufer. Nördlich war die Verzweigung noch mehr entfernt vom Ufer, auch diese Äste näherten sich den Ufern, der eine bei Alsó-Örs, um jedoch dasselbe sofort wieder zu verlassen und nach Kenese zu biegen und von nun an längs dem Ufer bis Világos zu ziehen, der anderer Ast näherte sich bei der Bucht von Kereked am meisten dem Ufer, verliess es aber bei Balatonfüred, und nahm Direktion auf Tihany. Dem Verlaufe zwischen Tihany und dem südlichen Ufer konnte ich nicht folgen.

Dieser grosse Eiswall ging aus Hauptspalten hervor. Die Hauptspalte sehen wir beiläufig in der Mitte des Beckens, morgens, nach einer kalten Nacht, in Figur 91. Die Breite der ganzen Spalte betrug ca. 1 m, links wird jedoch die Hälfte (45—50 cm) von einer Eisterrasse eingenommen, deren Niveau tiefer als der Eispanzer ist wobei auch die Dicke diesem nahesteht. Diese Terrasse ist wahrscheinlich während einer früheren kalten Witterung in der unbeweglichen Spalte zustande gekommen. Damals war es aber nicht so kalt, wie zur Zeit der Aufnahme (-10° —bis -15° C.). Wir finden neben der Spalte schon viele herausgeschleuderte Stücke, die Spalte ist aber zugefroren und auf der dünnen Eishaut sehen wir die quergestellten Eiskristalle. Ausserdem glänzen einige daraufgefallene schneeige Eisstücke. Auf der rechten Seite der Spalte (östlich) ist der Schnee durchnässt, das ist der Grund für die dunklere Färbung dieses Teiles.

Die Figur 92 zeigt uns dieselbe Spalte von derselben Stelle gesehen am folgenden Morgen, als die Kälte nachliess, die Temperatur nahe 0° betrug, das Eis sich ausdehnte und die Spalte geschlossen wurde, jedoch nicht ganz, da die Temperatur des Eises nicht 0° erreichte. Sie schloss sich nur bis zur schon erwähnten Terrasse, stellenweise auch die schon zertrümmernd. Die emporgedrückten Eisstücke wurden zum Teile auf das Haupteis hinausgeworfen.

Die bei den Gravitationsmessungen notwendigen Ortsveränderungen behinderte diese Spalte anfänglich nicht sehr. Später entwickelte sie sich infolge grösserer Temperaturschwankungen besser, und über den durchweichten, trümmerigen Eiswall konnte man die Zeltschlitten nur mit Mühe hinüberbringen. In Fig. 93 sehen wir den im Beginne der Entwicklung befindlichen Eiswall eben während eines Umzuges. Mit Nordwestwind verbunden war vorher ein starker Schneefall, welcher die schärferen Formen verdeckte. In diesem Bilde können wir im Vordergrund sehen, dass der Eiswall eine kleine Verzweigung besitzt, welche auf einer Strecke mit dem Hauptwall parallel läuft, sich aber bald wieder vereinigt. Zwischen beiden befindet sich eine inselartige Eistafel, welche vom emporquellenden Wasser ganz bedeckt wurde, welches zur Zeit der Aufnahme neuerlich froh und eine spiegelglatte, schneefreie Fläche bot.

Die Figur 94 zeigt uns endlich die völlige Ausbildung des Eiswalles. Es ist dies schon eine mächtige Stauung, auf welcher der Verkehr sehr beschwerlich ist. Die vielen kleinen Eisstückchen häuften sich phantastisch an, ringsum schmolz der Schnee in grossen Flecken und gefror wieder. Im Hintergrunde sind die Ufer von Alsó-Örs sichtbar und auch am Bilde ist es wahrzunehmen, dass der Eiswall in einem mächtigen, gegen Osten (im Bilde rechts) offenen Bogen sich dem Ufer nähert. Weit drinnen am Eise sind, als kleine schwarze Punkte, Fischer zu unterscheiden. Weiter teilt sich der Eiswall und der grosse, auseinander gehende Y Buchstabe umfasst den Landvorsprung von Alsó-Örs.



Fig. 91. Die im Februar 1901 gebildete Hauptspalte — offen.



Fig. 92. Die im Februar 1901 gebildete Hauptspalte — geschlossen.
Ungefähr auf eben derselben Stelle, wie in Fig. 91



Fig. 93. Der Eiswall, welcher längs der Hauptspalte vom Februar 1901 entstand, in entwickeltem Zustande. Umzug der Gravimeter-Station.

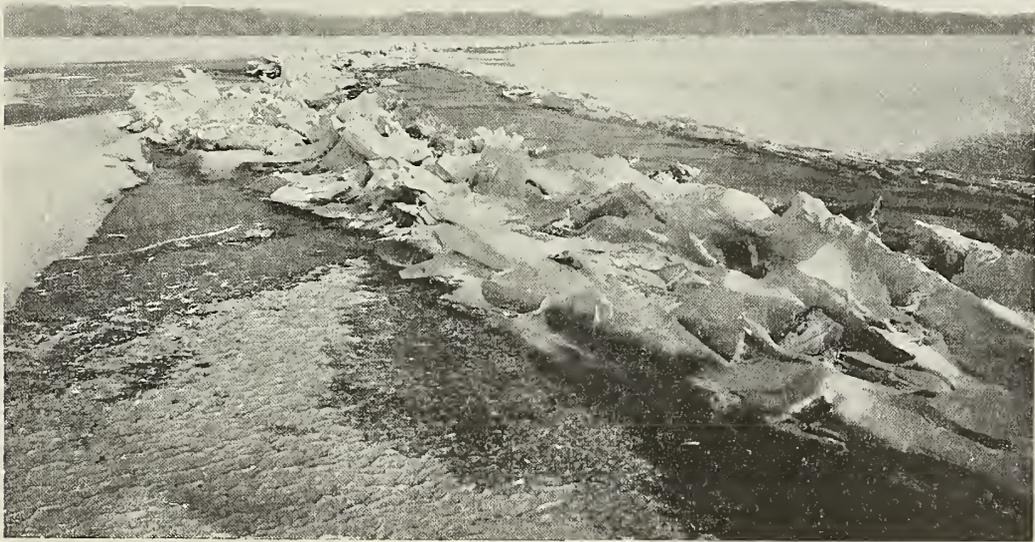


Fig. 94. Der längs der Hauptspalte vom Februar 1901 entstandene Eiswall vollständig entwickelt, zwischen Siófok und Alsó-Örs.



Fig. 95. Aus starkem Eise gebildeter Eiswall vor Balaton-Füred im Frühling 1893.



Fig. 96. Aus starkem Eise gebildeter Eiswall mit überschobenem Teile (charriage).
Fortsetzung des in Fig. 95, sichtbaren Eiswalles gegen das Ufer zu.

Ein ganz anderes Äusseres besitzt ein Eiswall, welcher nach lang anhaltender Kälte, während plötzlicher Aufwärmung entsteht. Kaum gab es einen geeigneteren Winter zur Erforschung dieser Eiswälle, als den von 1892–93, als nach über einen Monat dauernder ausserordentlicher Kälte, plötzlich mit zwei Sprüngen das warme Wetter eintrat. Damals dachten wir aber leider noch nicht an die Wichtigkeit der Sache, und verfertigten auch keine Karte. Nur einige Photographien machte Prof. Lóczy, von welchen ich in Fig. 95 und 96 jenen Eiswall reproduziere, welcher von den Ufern Tihany's gegen Balatonfüred ziehend, dort sich an das Nordufer anschmiegte.

In der Fig. 95 sehen wir 40 cm dickes Eis zu wirklichen, zusammengebrochenen Antiklinalen aufgebogen.

Fig. 96 zeigt eine dem Ufer näher liegende Partie desselben Eiswalles. Diese ist besonders darum interessant, da an jener Stelle, wo sie unterbrochen zu sein

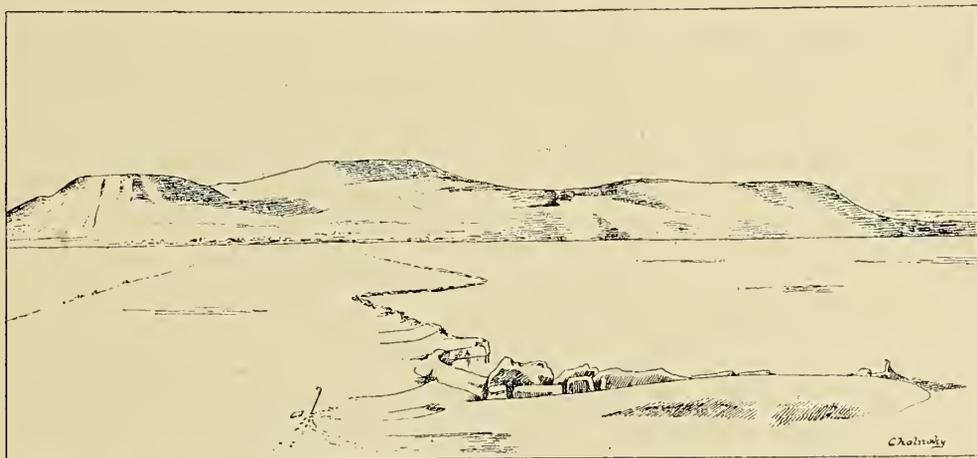


Fig. 97. Von Boglár nach Révfülöp ziehender Eiswall aus starkem Eise, vom Boglärer-Berg gesehen. (1895, III. 2.)

scheint, eine wirkliche *Chariage*, Überschiebung (richtiger: Unterschiebung) stattfand. Der Rand der hinter dem Wall befindlichen Eisplatte brach ab und gelangte unter die diesseitige. Dies ist immer eine gefährliche Stelle, denn wer hier die schiefe Tafel betritt, gelangt unrettbar unter das Eis, wie dies dem Beile eines uns begleitenden Fischers erging. Viel Unglück geschieht an derartigen Stellen.

Im Frühlinge 1895 entstanden die Eiswälle auch aus ziemlich dickem Eis. Der Eiswall zwischen Boglár und Révfülöp durchquerte den See in einer schönen schlängelnden Linie und schmiegte sich, am südlichen wie am nördlichen Ende geteilt, dem Ufer an. Schön konnte man das vom Schlossberg bei Boglár beobachten (Fig. 97). Ganz dieselbe Form hatte derjenige Eiswall, welcher hier im Jänner 1903 entstand. Dieser verzweigte sich vor Boglár in einer Entfernung von ca. 2 km, gerade dem Molo gegenüber und erreichte, beiderseits vom Molo 2 km entfernt, das Ufer.

Zur selben Zeit nahm ich auch bei Szepezd, in der Nähe des Ufers ein Detail auf, welches die Figur 98 wiedergibt und schön aneinander gelehnte Tafeln zeigt.

In diesen wunderbaren Einzelheiten konnte man sehr viele kleine Erschei-

nungen beobachten. Ihr Studium ist insofern lohnend, als wir Analogons finden zu einzelnen Phasen der Gebirgsbildung.

In der Figur 100 stellte ich einige einfachere Fälle nebeneinander; diese kommen häufig vor, ihr willkürlichster Wechsel setzt den Eiswall zusammen.

A) Eine einfache Antiklinale. Sehr häufig besonders im dickeren Eise.

B) Eine schiefe Antiklinale, wo das aufgebogene Stück in ungleich grosse Teile zerfiel und der kleinere Teil vom grösseren verdrückt wurde.

C) Einfache Aufschiebung (Chariage). Derart einfach ziemlich selten.

D) Eine unter Wasser geratene Sinklinale. Eine solche sah ich im Jänner 1903. Die Breite der Spalte war 5—6 m. Am Eise war schon kein Schnee mehr, aller schmolz schon und ein Teil des Eiswalles überging in einen solchen breiten

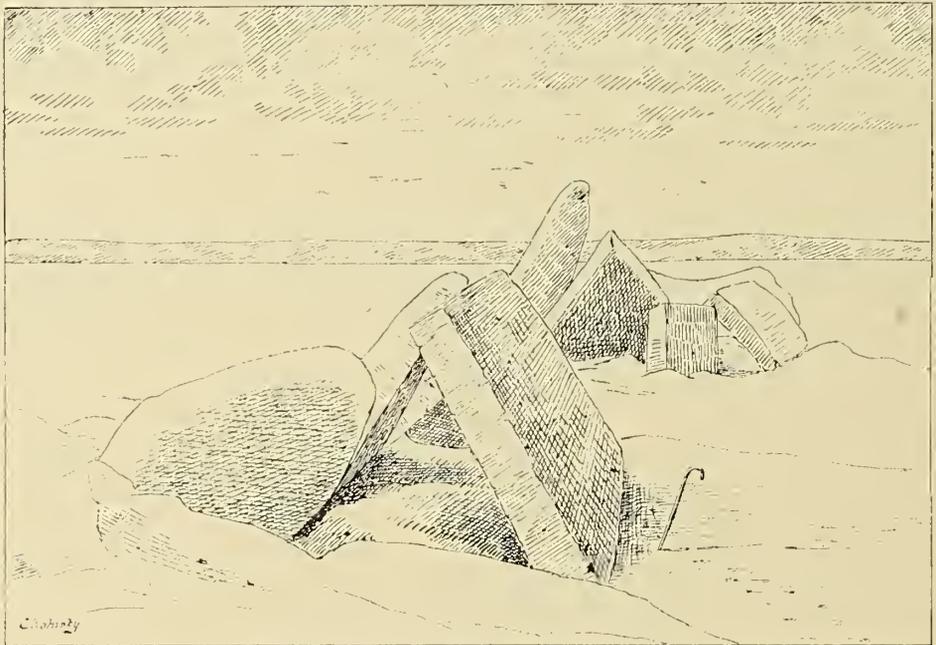


Fig. 98. Eiswall aus starkem Eise vor Szepezd (1895, III. 4).

Graben. Es wurde einem schwindelig, wenn man sich die unter dem Wasser befindlichen Eistafeln ansah, welche den in das Wasser Gefallenen unbedingt wie in einer Falle, gefangen nehmen würden. Das Eis selbst war auch voll mit Wasser, deswegen musste man sich wirklich vorsichtig einer solchen Stelle nähern.

E) Eine Unterschiebung, welche wir in Figur 96 sahen.

F) Eine einschenkelige Anti- und Sinklinale. Eine einfach umgekippte Tafel, welche im Laufe der Schliessung der Spalte sich ganz aufstellen wird.

Ungemein interessant sind jene Stellen, wo ein, aus den Haupteiswällen abgezweigter Eiswall sein Ende findet. Einen solchen nahm ich im Jänner 1903 auf und zeichnete denselben. Figur 101 enthält die Obenansicht und den Querschnitt desselben. Wir sehen, dass es eine schöne, gleichförmige, dachartige Antiklinale ist, welche auf einmal mit leicht gebogenen Eistafeln endet. Eine dieser gewölbten Tafeln hoben wir aus, um in der Mitte den Radius der Biegung zu bestimmen. Dieser war hier 10 m, in den oberen Teilen etwas weniger. Das Eis kann sich

also wölben, die stauenden Kräfte verlangen dies sozusagen. Dieses gebogene Stück blieb stehen, wie eine Wölbung. Längs den Antiklinalen finden wir für gewöhnlich keine Biegung, obwohl auch hierfür schon Fälle vorkamen, da die Stauung sehr ungleichmässig wirkt. Von einer antiklinalen Aufwölbung beim Badehaus von Balatonfüred berichtet Lóczy vom 2. März 1895. Um das Badehaus herum wird das Eis ständig in 1 m Breite ausgehoben und es wird dafür gesorgt, dass dieser Kanal immer offen bleibe. Damals wurde das Eis nicht bis zum Ufer ausgehoben, sondern es blieb ein ca. $1\frac{1}{2}$ m breites Gesimse. Hier wölbte sich das Eis um 10 cm und blieb fest, obwohl die Menschen wie über eine Brücke darüber gingen.

Dort, wo im Grundriss dieser symmetrischen kleinen Antiklinale eine geringe Einsenkung wahrzunehmen ist, gehen zwei winzige Eiswälle aus, mit spanngrossen, übergeschobenen Eisstücken.

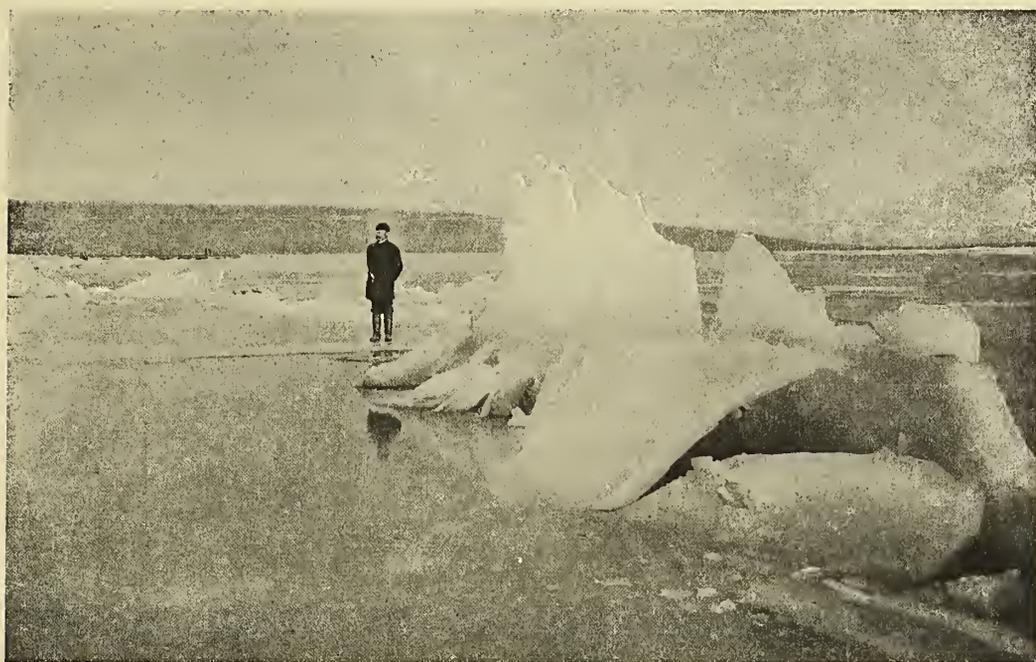


Fig. 99. Aus dünneren Tafeln gebildeter Eiswall in der Keszthelyer Bucht (Januar 1903).

Sehr interessant sind jene Stellen, wo die Eiswälle das Ufer erreichen und sich an den zum Ufer gefrorenen breiten Eistafeln, wie an Massiven stauen oder sogar den Kies und den Sand aufwühlen.

Die Figur 102 zeigt solche peripherische Stauungen, bei welchen das Eis auf das Ufer gelangte, wobei das Eis am Ufer ein wenig beschädigt wurde, das Ufer aber nichts litt. Figur 103 zeigt uns dagegen eine Stelle, wo das Eis des Sees unter das Ufereis geschoben wurde, und letzteres eine zusammenhängende, beinahe mannshohe, wunderbare Wölbung bildete.

In der Gegend von Kenese, Akarattya, Aliga und Világos, wo das Ufer einen schönen regelmässigen Bogen bildet, entsteht der Eiswall immer ganz draussen am Uferstrand, und wühlt stellenweise den Sand und den Kies stark auf (Tafel XVIII, Figur 104 und 105). Hier wird durch den dazwischengefrorenen Kot das

Eis schon ganz plastisch, deshalb sind die Stauungen stellenweise ganz ungestörte, schöne Falten, gewöhnlich in der Form einer gegen das Ufer übergeneigten Antiklinale. Als ob das Ufer das Massiv wäre und das Eis und das Koteis gefaltet werden würde; die Steile dieser Falten ist dem Massiv zugewendet.

Ähnliche Uferiswälle photographierte E. R. BUCKLEY¹ auf den Mendota- und Monona-Seen (Wisconsin U. S. A.), nur ungleich grössere wie sie die Ufer des Balaton aufweisen. Das ist aber natürlich, da auf diesen Seen viel dickeres Eis entsteht als am Balaton. Auch die der Abhandlung M. SELIM BERGER's² beigefügten Photographien über die nördlichsten Ufer Schwedens sind sehr schön, dieselben illustrieren die Überschiebung der Eistafeln in den Flussmündungen.

Die Eiswälle erscheinen nach dem Zufrieren des Balaton jedes Jahr mit anderen Eigenheiten, nur in ihrer allgemeinen Lage ist eine Übereinstimmung vorhanden.

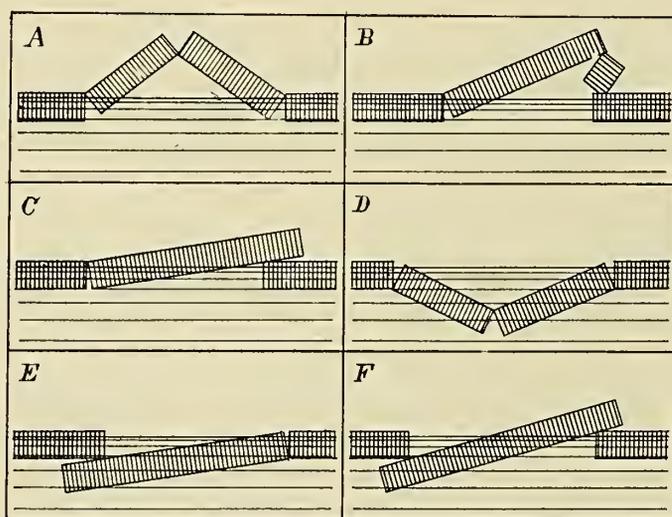


Fig. 100. Die bei der Eiswallbildung am häufigsten beobachteten Aufbrüche.

Die verschiedene Dicke des Eises, die gerade oder gebuchtete Uferlinie, der andauernde oder unterbrochene Ablauf der kalten Periode, Schneefall und Tauwetter und endlich auch der Wind beeinflussen alle die Entwicklung der Eiswälle. Sie sind wahrhaftig die immerwährenden Anzeiger der Witterung der Kälteperiode.

Am vollkommensten entwickeln sie sich, wenn das Eis schneefrei ist und auf kalte Nächte sonnige Tage folgen. Es ist nicht notwendig, dass die Lufttemperatur sehr herabsinke, die Wärme der Sonne erzeugt am Eis und in den oberen Schichten des Eises eine beträchtliche Erwärmung, durch das klare Eis wird sogar das darunter befindliche Wasser ein wenig erwärmt.

Bei trübem, nebligem Wetter, wie sehr auch die Temperatur steigt, entstehen keine Eiswälle, besonders wenn das Eis auch von Schnee bedeckt ist. Zur systematischen Erforschung alldieser Faktoren und zur Vergleichung derselben mit den

¹ E. R. BUCKLEY: Ice ramparts; Transactions of the Wisconsin Acad Vol. XIII, p. 1, 141. S.

² M. SELIM BERGER: Vegetation och floran i Pajala Socken med Muonio Kapellag i arktiska Norbotten; Ark. för botanik utgifvet af K. Svenska Vetenskaps-Akademiern. III. Band, Nr. 4. Stockholm, 1904.

Eiswällen wäre aber eine ununterbrochene Beobachtung während des Winters neben dem Balaton notwendig.

Zu bemerken ist noch, dass das Fischervolk die Entstehung der Eiswälle der Freiwerdung der Luft zuschreibt.

Die Eiswälle erleiden auch nach ihrer vollständigen Ausbildung fortwährende Bewegung. Zwischen der Tages- und Nachttemperatur ist gewöhnlich eine solche Differenz, dass sie 0° übertrifft; infolgedessen dehnt sich die Tafel und zieht sich wiederholt zusammen. Bei jedem Schmelzen zerfällt das ganze mehr und mehr, die aufgestauten Tafeln stürzen ein, bald ragt nichts mehr empor am Orte der Dilatation, vom Eise verschwindet jeder Schnee, und die ruhige, klaffende Spalte ist kaum zu bemerken. Meist ist dieselbe bis dahin schon so breit, dass man sie nur mittels Bretter passieren kann. Eine solche Spalte mit freiem Wasser nennt das Volk «rianás», das heisst «Schrecknis», da die Pferde erschreckt werden, indem sie schon von weitem das Schwanken des Eises bemerken. Während das Knattern und Bersten des Eises die Pferde auch meinen eigenen Erfahrungen zufolge nicht beunruhigt oder erschreckt, fürchten sie sich vor der «rianás» instinktmässig und verspüren schon von weitem das Schweben des Eises. In solchen Fällen schrickt das Pferd zurück und es ist nicht weiterzubewegen.

Das sind diese gefährlichen Öffnungen (Fig. 106), wo die Zerstörung des Eises ihren Anfang nimmt. Der in der Öffnung entstehende Wellenschlag erweitert immer mehr die «rianás», dann beginnt der Wind die inneren grossen, vom Ufer überall losgewordenen Eisfelder umherzutreiben und es entstehen rasch auf einzelnen Stellen freie Wasserflächen, auf welchen einige Eis tafeln herumschwimmen. Nähern wir uns diesen Stellen, so verspüren wir sogleich das Zittern des Eises, hervorgerufen durch das Anprallen der Wellen an den Rand des Eises; wir vernehmen das Geräusch des neuerwachten Lebens. Zu dieser Zeit ist auch der Prozess des «gyertyásodás» vorgeschritten, das Eis ist auch schon dünn, entsteht ein starker Wind, so hat er binnen wenigen Stunden alles Eis von der Wasserfläche weggefegt.

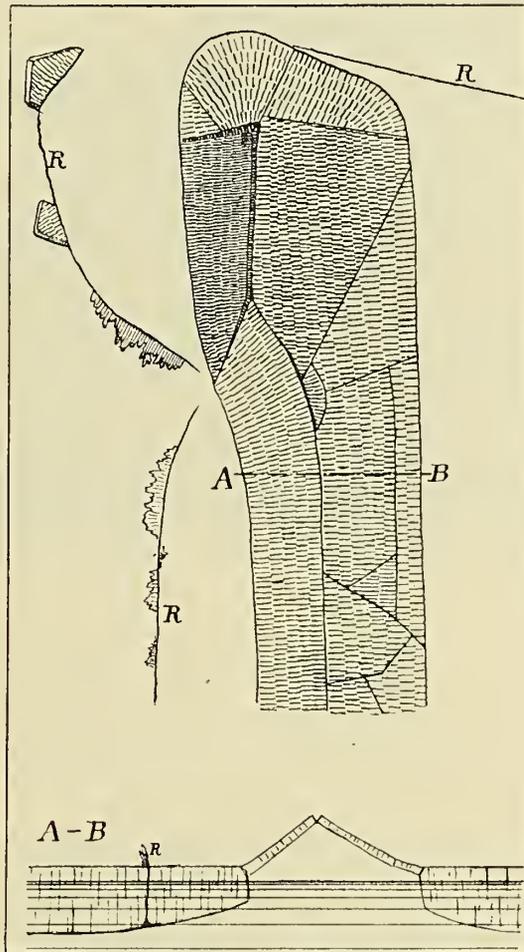


Fig. 101. Das Ende eines seitlich abgezweigten Eiswalles (Januar 1903).

Riesenhaft ist der auf die Uferbauten ausgeübte Druck des Eises während dessen thermischer Ausdehnung. Auch ist er viel gefährlicher als der Druck des vom Wind getriebenen Eises, denn — die Bauten ganz umfassend — drückt er dieselben mit elementarer Kraft in radialer Richtung auf die durch die Eiswälle

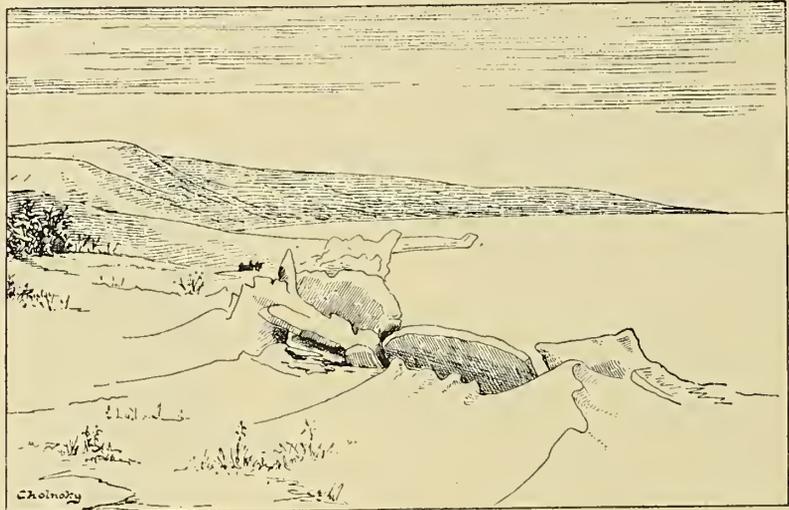


Fig. 102. Hinaufgeschobener Ufer-Eiswall zwischen Révfülöp und Szepezd. 1895, III. 4.

bezeichneten grössten Kreise. Es gibt kaum welche Bauten, die diesem Drucke widerstehen könnten. Bedenken wir, dass das Eis durch diesen Druck beinahe bis zur Grenze seiner absoluten Festigkeit in Anspruch genommen ist — unter



Fig. 103. Unterschobener Ufer-Eiswall zwischen Révfülöp und Szepezd. 1895, III.

Einwirkung des Druckes wird ja das Eis zermalmt — so können wir uns vorstellen, wie gross der auf einen \square m fallende Druck ist. Es sei das Eis nur 0.5 m dick und nehmen wir an, dass das Eis per \square cm keinen grösseren Druck als 3 kg erträgt, fällt doch auf jeden Meter der Ufermauer ein Druck von 15 Tonnen. Einen derartig grossen Druck nehmen die Ingenieure nicht einmal beim Bau von Brücken an, umsoweniger bei Ufermauern, obwohl auch 3 kg auf den \square cm schon ein



Fig. 104. Aufgewühlter Kies und Sand unterhalb Akarattya.



Fig. 105. Ufer-Eiswall am südöstlichen Ufer von Tihany.

kleines Maass ist. Nach MOSELEY ist auf ein □ Zoll 808·4 Pfund die oberste Grenze, also auf den □ cm 21·5 kg! Das können wir freilich nicht als Basis nehmen, denn das Eis ist auf der Seefläche schon vielfach zersprungen, die Spalten und die Sprünge sind schwächere Stellen. Nehmen wir aber nur ein Siebentheil so bekommen wir schon einen immensen Druck. Diese Zahl, dass nämlich das Eis per □ cm nicht mehr als 3 kg erträgt, erhielt ich durch einfache, grobe Versuche. Ich benützte dazu einen dm³ grossen Eiswürfel, diesen liess ich zum Eise dazufrieren worauf ich auf den Würfel ein Brett legte, dass der Druck womöglich gleichmässig sei. Hierauf belastete ich das Brett, und der Eiswürfel zerfiel unter 300 kg unbedingt. Gegen diesen Versuch kann man freilich mehrere Einwendungen machen annähernd entspricht er doch ziemlich den natürlichen Verhältnissen.



Fig. 106. Spalte mit freiem Wasser (rianás) zwischen Boglár und Révfülp.
An Stelle des Eiswalles vom Winter 1903.

Für diesen grossen Druck gibt es auch Fälle als Beispiele. Im Frühling 1895 wurden die Pfosten des Badehauses in Siófok der Reihe nach vom Eise umgebogen, so dass sie einen Winkel von 50° mit dem Boden bildeten. Die Quaimauer in Keszthely wurde nach Berichten vom Weiland Baumeister ANTON HENZ vom Fundamente hinabgeschoben bis auf eine Entfernung vom 1 m. Der zum Badehaus führende Damm wurde im Jahre 1870 zusammengepresst und der zu einer Masse gefrorene Damm löste sich vom Seeboden, wölbte sich auf und bildete einen so hohen Bogen, dass Wagen durchfahren konnten. Im Jahre 1886 zerdrückte das Eis das ganze Gerüst der Keszthelyer Badehausbrücke. Die erwähnte Zerstörung des Siófoker Badehauses sah ich selbst. Ich sah aber auch die Eisbrecher in Balatonfüred ganz verschoben und umgestürzt, die Landungsbrücke in Badacsony vollständig zerstört, die Brücke von Kenese samt Damm gänzlich zertrümmert und versuchte selbst den Molo in Boglár vor der Zerstörung zu beschützen. Die Verteidigung gegen diese elementare Kraft ist sehr einfach. Die Bauten müssen «aus-

geeist» werden, recht ferne von denselben, und die entstandenen Dilatationsöffnungen müssen ständig offen gehalten werden. Führen wir dies recht ferne von den Bauten durch, so entsteht uns auch noch der Nutzen, dass gegen das vom Winde getriebene Eis diese harte, zum Ufer gefrorene Tafel als Eisbrecher fungiert und auch gegen diese nicht geringzuschätzende Gefahr als Schutz dient.

D) Das Eis und die Kruste des Erdballes.

Alldas in den vorhergehenden Kapiteln Gesagte zusammenfassend, können wir folgende Tatsachen feststellen:

1. Das Eis bereitet während des Frierens schon die Erscheinung der Gyertyásodás (Kerzenbildung) vor, welche durch weitere Einwirkung der Temperaturschwankungen nur vervollständigt und entwickelt wird.

2. Bei starker Abkühlung erleidet das Eis, zufolge der intensiven Zusammenziehung, Sprünge. Diese sind jedoch grösstenteils nicht allein durch das Zusammenziehen verursacht, denn dann wäre ihre Fortentwicklung unterbrochen, sobald das Eis sich ringsum von den Ufern gelöst hat. Hauptsächlich wirkt jener Umstand ein, dass die verschiedenen Schichten des Eises verschiedene Temperaturen besitzen, weswegen die Eiskruste, würde sie nicht zerspalten, sich beträchtlich krümmen müsste.

3. Die meisten der Sprünge frieren wieder gut zu, da nach dem erfolgten Sprünge hier sich schon keine bedeutenderen Bewegungen vollziehen. Es gibt jedoch unter den Sprüngen einige, welche wir die Hauptspalten nannten, welche den eigentlichen Dilatations-Lücken entsprechen und längs denen sich nun die absolute Ausdehnung und Zusammenziehung ausgleicht.

4. Diese Hauptspalten zeigen Ort und Verlauf der in der Folge erscheinenden Wälle und Klüfte.

5. Im Falle eines wechselvollen Temperaturganges entstehen längs der Hauptsprünge Wälle des Eisschuttes, genannt: *turolás*.

6. Wenn nach einer länger anhaltenden kalten Periode die Erwärmung plötzlich stattfindet, so entstehen diese Eiswälle an Stelle der Hauptspalten, falls auch diese stärker zugefroren sind, stellenweise von ihnen abweichend aus dickem Eis, mittels einfacher Aufwerfung.

7. Der Verlauf der Hauptspalten ebenso, wie der «*turolás*» richtet sich nach den Uferlinien und einander anpassenden Kreisbogen. Wo zwei dieser Kreise aneinander stossen, entsteht ein gerader Sprung, oder auch zwei einander durchquerende Spalten.

8. Die Eiswälle — «*turolás*» — sind auch nach ihrer Ausbildung die Stellen einer immerwährenden Bewegung, weswegen auch das Zerstörungswerk hier die raschesten Fortschritte macht. Nach intensiver Aufwärmung entstehen an ihrer Stelle offene Wasserstreifen, welchen das Volk den Namen «*rianás*» gab. Hier beginnt das Zerstörungswerk; welches nun unter Mitwirkung des Windes meist einen äusserst raschen Verlauf nimmt.

Nach der öfters erwähnten Abhandlung E. R. BUCKLEY's veröffentlicht C. R. VAN HISE einige Reflexionen, die Bewegungen des Eises und der Erdkruste vergleichend.

Wer Gelegenheit hat, diese Erscheinungen zu beobachten, kann tatsächlich nicht umhin, diese beiden Vorgänge zu vergleichen. Die Eiswälle ziehen auf der flachen Eistafel wie wirkliche Kettengebirge dahin, wo sie aber auf das Ufer geschoben würden, müssen wir an die an Massive sich anlehnenden Faltengebirge denken. Besonders hier, wo das schmutzige Eis und der zusammengefrorene Schutt genügend plastisch sind, um wirkliche Falten zu erzeugen: ist die Vergleichung naheliegend und es sind auch die Erscheinungen in ihren kleineren Details sich frappant ähnlich.

Oder ähneln die das Eis durchquerenden Spalten und Eiswälle («turolás») nicht ganz dem Uralgebirge, welches zwischen zwei unberührten, völlig ruhig liegenden Tafeln keck dahinzieht. Die in der Fig. 103 sichtbare Überschiebung erinnert uns an den Bau des Balkangebirges, dessen steiler Abhang ausnahmsweise auf der Aussenseite des Bogens ist, während die Form in der Fig. 102. die Typen des eurasischen Systems, die Karpathen und Apenninen nachahmt. In Form des emporgequollenen Wassers finden wir auch die vulkanischen Eruptionen vor, an Stelle der aus der Tiefe emporsteigenden Lava. Auch diese Lava überdeckt manchmal grosse Flächen in ungestörten Schichten, wie das an den Spalten emporquellende Wasser, welches auf grosse Strecken die Schneekristallen vereint.

Mit der Vergleichung müssen wir jedoch sehr vorsichtig vorgehen. Die Materie und die Kraft, welche in den beiden Erscheinungen zur Geltung kommen: sind grundverschieden. Die abwechselnd steifen, plastischen oder aber lockeren Bestandteile der festen Erdkruste kann man schwerlich mit dem Eise vergleichen, welches ganz besondere Eigenschaften besitzt. Wie es schon TYNDALL zum Ausdrucke brachte, ist jede einzelne Moleküle des Eises in vollster Ordnung, wodurch es sich hauptsächlich von den glasartigen Körpern unterscheidet, mit welchen ersteres so oft verglichen wird. Das Eis lagert, als fester Körper, ohne jeden Übergang am völlig flüssigen Wasser.¹ Wie anders sind die Verhältnisse in der Erdkruste! Auf die obersten festen Schichten folgen welche mit Wasser getränkt, die ganz andere Eigenschaften besitzen, dann treffen wir alle Stadien des Überganges, bis wir endlich bis zum völlig flüssigen Magma gelangen, wie immer auch die Anordnung der Schichten sei.

In unseren Betrachtungen kann das Eis des Balaton ganz einfach als eine ebene Tafel aufgefasst werden, während die Erdkruste eine Wölbung darstellt, in der ganz andere Spannungen und Belastungen herrschen als auf einer Fläche.

Die Kräfte selbst sind auch nicht ein und dieselben. Sei es jedoch was immer für eine Kraft, welche die Faltung der Erdkruste bewirkt, sei es die raschere Zusammenziehung der inneren Teile oder die Ausdehnung der äusseren (denn nur diese beiden können es sein), was übrigens ganz relativ ist, keinesfalls können die Erscheinungen, wie wir es am Eise sahen, durch abwechselnde Abkühlung und Erwärmung der Erdkruste hervorgerufen werden. Die beiden Kräfte unterscheiden sich auch in ihrer Erscheinungsform. Im Eise des Balaton wechseln periodische Zusammenziehungen und Ausdehnungen, in der Erdkruste ist indessen keine Spur von einer relativen Zusammenziehung (eine Ausdehnung des inneren Kernes oder

¹ Wir nehmen hier jene feinen physikalischen Erscheinungen nicht in Betracht, infolgederen das 4° kalte Wasser schon in einem gewissen Übergangsstadium zum festen Zustand befindet, und gewissermassen auch das 0° Eis nicht mehr als vollkommen fester Körper zu betrachten ist.

eine Zusammenschrumpfung der Kruste). Wir suchen die Analogien der im Balatoncis entstehenden Hauptspalten vergebens in der Erdkruste. Scheinbar ist derartige bloss auf der Mondoberfläche vorhanden, wo die Kruste sich schon rascher zusammenzieht als die inneren Teile. In der Auffaltung der Gebirge kann wohl eine Pause eintreten — eine Zeitlang wirkt die Gebirgsbildende Kraft nicht —, von Fällen jedoch, wo sich einmal schon entstandene Falten wieder ausgeglichen hätten, haben wir keine Kenntnis. Eine Lockerung kann entstehen, wenn die horizontale Spannung in der Erdkruste verschwindet, dies kann aber nur Einsenkungen zur Folge haben, nie klaffende Spalten.

Es herrscht daher ein Unterschied in der Materie, in den Kräften und deren Erscheinungsform. Aber auch in den Einzelheiten offenbaren sich Abweichungen. Schön angereihte, «plissirte» Faltungen, welche z. B. in kristallinen Schieferrn oft so wunderbar detailirt sind und als Beweise der Plasticität des Materiales dienen: gibt es im Eise nicht. Obzwar die Bewegung der Gletscher ein Zeugnis davon abgibt, dass das Eis unter dem Drucke sich gerade so bewegt, wie die plastische Materie, verliert es seine Plastizität unter Einwirkung einer ziehenden Kraft vollständig. Das Eis ist auch keineswegs plastisch, nur wissen wir aber, dass unter dem Drucke, bei 0° Temperatur, die als Zellenwände dienenden klebrigen Salzsichten schmelzen und daher eine relative Verschiebung der kleinen Teilchen zu einander ermöglicht ist. Unter Einwirkung der Ziehkraft schmelzen diese Salzsichtchen nicht und das Eis ist ebenso starr wie Glas, was die unzähligen Sprünge auf der Oberfläche von den Gletschern ebenfalls beweisen. Es ist daher das Eis keine wirklich plastische Materie und es kann auch mit jenem Zustande der Kristallinen Schiefer nicht verglichen werden, während welchen die feinen kleiner Faltungen derselben entstanden. Dazu wäre es notwendig, dass das Eis sich biege. Im Falle einer Biegung ist gewöhnlich der eine, äussere Teil einer Ziehkraft, der andere, innere, einem Drucke ausgesetzt. Dem letzteren würde das Eis nachgeben, ersterem kann es jedoch nicht widerstehen und so wird das gebogene Stück brechen. Die Biegung des Eises ist nur möglich, wenn in keinem der beiden seitlichen Teile Ziehkraft vorhanden ist, sondern in einem grösserer Druck entsteht als im anderen. Beim Entstehen der «turolás» ist der Zustand für den ersten Moment tatsächlich derartig. Tritt aber dieser Teil nur um ein Geringstes aus der allgemeinen Eisfläche, meldet sich in den äussersten Teilen des konvexen Stückes sogleich die Ziehkraft und das Eis bricht.

Deshalb finden wir in den Eiswällen (turolás) nirgends so schöne Faltungen, welche mit denen der plastischen, gefalteten Gesteine vergleichbar wären.

Sobald die Eistafeln aneinander gelehnt die Dilatationsspalte dachförmig überbrücken und unter sich einen leeren Raum besitzen, stehen wir wieder einer Erscheinung gegenüber, welche in der Erdkruste unmöglich entstehen kann. Infolge der Faltung können im Innern des Erbballes keine Hohlräume entstehen.

Für den ersten Moment glauben wir am Eise die wunderbarsten Beispiele der durch die neuesten Ergebnisse der Tektonik teilweise bestätigten Chariage-Theorie vorfinden zu können. Dies ist in den Zeichnungen *B*, *C* und *E* der Fig. 100 demonstriert. Eine derartige Überschiebung der Erdkruste, wie es die Zeichnungen *C* und *E* zeigen, ist beinahe undenkbar, da derselben eine Verwerfung vorangehen müsste, welche eine relative Niveauverschiebung im Masse der Dicke der Erdkruste verursachen würde. Erst hierauf könnte das Gleiten des höheren

Krustenteiles auf den unterhalb gebliebenen stattfinden. Dies vollzieht sich am Eise mit Leichtigkeit, da unter der gänzlich festen Kruste sofort das flüssige Wasser folgt und überdies die Reibung des Eises zum Eise bei so grossen Kräften und so kleinen Flächen nicht in Betracht kommen kann. Unter der oberen, festen Schichte der Erdkruste folgt jedoch das Magma nicht mit einer scharfen Grenze, dies können wir als vollkommen sicher annehmen. Ausserdem bedeutet die Reibung der einzelnen Teile einen Widerstand, welcher, wenn schon betreffs der fallenden Kraft vernachlässigt, unbedingt in Betracht gezogen werden muss, sobald es sich um die Festigkeit der bewegten Schichten handelt. Im Verhältnisse zu jenen Kräften, welche die Masse der Erdkruste bis zur Grenze der Berstung belasten, ist die Reibung keinesfalls verschwindend, sondern über einer bestimmten, leicht zu berechnenden Grenze wird der Widerstand der Reibung grösser als diejenige Kraft, welche die Gesteine bis zur Grenze der Elastizität in Anspruch nimmt.

Eine Überschiebung in der Erdkruste ist nur in der Weise der Zeichnung *B*, Fig. 100, denkbar, in welchem Falle die in den Hohlraum der umgestürzten Antiklinale eintretende plastische Materie die Reibung wesentlich hindert. Und eben diese, in der Zeichnung *B* dargestellte Form ist in verschiedenen komplizierten Formen sehr häufig am Eise, besitzt jedoch derartig starre, zerbrochene, zerworfene Teile, wie sie in den sich gewaltig reibenden Gesteinschichten nicht recht denkbar sind.

Wichtige Unterschiede können zwischen den tektonischen Formen des Eises und der Erdkruste auch in jener Hinsicht festgestellt werden, dass während die festen Bestandteile der Erdkruste sehr verschieden hart und fest sind, das Eis in dieser Beziehung als vollkommen homogen betrachtet werden kann. Auch hier finden wir wieder in den Gebilden am Ufer analoge Fälle, da dort das mit Schutt und Sand vermischte Eis eine ungleichförmig zusammengesetzte Kruste bildet.

Wie es scheint, reihen sich in der Erdkruste die Falten zu den schon aufgefalteten Teilen in zeitlicher Reihenfolge, so dass wir die jüngeren Falten immer weiter entfernt von den allerältesten vorfinden. Am Eise werden hingegen die späteren Bewegungen am leichtesten an jenen Stellen ausgeglichen, wo die früheren schon einen Eiswall aufbauten. Eine regionale Angliederung der Falten suchen wir hier daher vergebens, ausgenommen wieder am Ufer, wo die Verhältnisse in jeder Beziehung denen der Erdkruste besser entsprechen.

C R VAN HISE vergleicht sogar das längs der Wälle emporquellende Wasser mit den parallel den Falten der Erdkruste dahinziehenden, vulkanischen Gebieten.

Die Analogie ist in gewisser Beziehung berechtigt, eigentlich aber nur eine Vergleichung. Auf eine derartige Weise, wie das Wasser am Eise emporsteigt, kann man sich unmöglich die vulkanischen Vorgänge vorstellen. Wir kennen keinen einzigen Vulkan, kein einziges vulkanisches Gebiet, welches auch nur einigermaßen jene einfachen Verhältnisse aufweisen würde, welche beim Emporsteigen des Wassers zu beobachten sind.

Ein Vergleich mit den tektonischen Verhältnissen ist noch ehestens in einer Richtung denkbar, an die VAN HISE eben gar nicht dachte. In der Nähe des Ufers kann man öfter bemerken, dass die Eistafel bei höherem Wasserstand gebildet wurde, der Wasserspiegel später aber sank (möglich, dass die lokale Schwankung nur von einer Denivellation stammte), worauf die ohne Stütze gebliebene Eistafel zusammengebrochen, gewöhnlich bei gleichzeitiger Entwicklung eines starken hori-

zontalen Druckes, auf den trocken gewordenen Boden fiel. Diese zerstückelte, ein wenig komprimierte Eistafel erinnert lebhaft an die zerspaltenen Tafelgebirge. Nach den verschiedensten Richtungen umgekippte Tafeltrümmer ragen horstähnlich aus dem allgemeinen Niveau; Grabensenkungen, assymetrische Täler, ungestört horizontale, emporragende «Mesas» finden wir hier, und werden nun noch obendrein die subaerischen Gebilde von ein wenig Schnee nachgeahmt, stehen wir vor dem lehrreichsten Modelle der tafeligen Horstgebirge.

Ohne Zweifel lohnt es sich die zwischen den Eisgebilden und den tektonischen Vorgängen bestehenden Ähnlichkeiten und Gegensätze einer wissenschaftlichen Prüfung zu unterziehen, diese muss jedoch mit grosser Umsicht geschehen, immer im Auge behaltend, dass die Materie und die Kraft bei den beiden Erscheinungen verschiedene sind.

KAPITEL V.

DER SCHNEE AM EISE.

Das Studium der Vorgänge des auf das Balatoneis gefallenen Schnees und der aus demselben entstandenen Formen führt ziemlich zu denselben Resultaten, als das Studium der Umwandlungen und Formen des auf den Ebenen des Festlandes befindlichen Schnees. Die Erforschung des am Festlande befindlichen Schnees beschäftigte lange nicht so viele Naturforscher, als es dieses interessante Problem verdient hätte.¹

So viel steht jedoch schon fest, dass der frisch gefallene Schnee anfangs vom Winde ebenso angehäuft wird, wie der Flugsand, auf welche Tatsache ich schon früher die Aufmerksamkeit lenkte.² Nur muss ich noch auf Grund meiner seither erworbenen Erfahrungen die dort geäußerten Ansichten damit ergänzen, dass die ersten Formen sofort erstarren und ihre weitere Entwicklung kann nicht mehr mit jener des Flugsandes verglichen werden, was übrigens auch CORNISH und STAFF bewiesen. Die einmal angehäuften Schneeteilchen kleben sofort zusammen, verlieren ihre leichte Beweglichkeit und von nun an überwiegen die Deflationsformen.

Es ist unbestreitbar, dass das Zusammenkleben der Schneekörperchen mit der Regelation zu erklären ist. Sobald der schnell bewegte, kleine Kristall an ein schon anhaftendes Schnee- oder Eiskörnchen stößt, kann das Anfrieren sofort entstehen, wo dann an dem Punkte des Zusammenstosses die Temperatur gewiss über 0° sich erhebt, wenn auch in einer ganz kleinen Ausdehnung von einigen Quadratmikronen. Das genügt, um das sofortige Anfrieren zu bewerkstelligen.

Noch rascher und inniger ist das Zusammenkleben, wenn die Temperatur des Schnees nahe um 0° ist, oder das Schmelzen eben beginnt. In solchen Fällen friert das Schmelzwasser der Oberfläche auf die unteren, noch kalten Kristalle, welche sofort verbunden und mit der mitgebrachten Salzlösung umgeben werden. Diese QUINCKE'schen klebrigen Schichten bilden die Kornstruktur, welche für den Firn und das aus Firn hervorgegangene Gletschereis so charakteristisch ist.

¹ Zu den ausführlichsten Studien gehört jene von V. CORNISH: «On snow-waves and snow-drifts in Canada»; The Geogr. Journ., Vol. XX, 1902, S. 137—175; weiters HANS v. STAFF: «Wind und Schnee»; Zeitschrift des deutschen und österreichischen Alpenvereins. Bd. XXXVII, 1906, S. 45—56.

² Die Gesetze der Bewegung des Flugsandes, Földtani Közlöny. Band XXXII. 1902. S. 4.

Nun steht das Schneehügelchen natürlich schon als hartes, widerstandsfähiges Material dem Winde gegenüber und letzterer nagt aus demselben je nach seiner Kraft verschiedene Deflationsformen heraus.

Nichts bezeugt das rasche Aneinanderkleben der Schneekörnchen besser, als die Entstehung der Wächte. Die Körnchen des über den scharfen Kamm darübergeblasenen Schnees bilden zusammengeklebt ein vom Kamm weit wegstehendes Gesimse, welches dieselben Konturen und auch dieselbe Entstehungsgeschichte besitzt, wie die beiden, in der horizontalen Fläche auseinander tretenden Arme der Sandbarkhane.

Das rasche Aneinanderkleben des Schnees verursacht auch, dass im Schnee die Deflationsformen viel häufiger sind, als solche, die mit den normalen Formen der Sandhügeln identisch wären.

Damit den Flugsand-Barkhanen ähnliche Gebilde entstehen können, müssen äusserst günstige Fälle eintreten: 1. eine schon früher auf das Eis gefrorene Schneeschicht, auf welcher die Bewegung des frisch gefallenen Schnees mit starker Reibung verbunden ist; 2. niedrige Temperatur, damit die Schneekörnchen nicht allzu rasch aneinanderkleben; 3. ein genügend intensiver und ununterbrochener Wind, welcher den Schneeformen zum Zusammensinken und Erhärten keine Zeit lässt.

Betrachten wir jedoch diejenigen Formen, welche ich am Balatoneise beobachten konnte, der Reihe nach.

A) Reif am Eise.

Reifbildung entsteht, wie wir wissen, zuerst an den Kanten und Ecken derjenigen festen Körper, deren Wärme infolge der Ausstrahlung genügend herabsank. Der Grund hiezu ist in jener Regel zu suchen, welche besagt, dass der Vorgang der Ausstrahlung bei konvexen Flächen sich stets rascher abwickelt, als von ebenen oder gar konkaven Flächen. In Figur 108 ist eine beliebige Fläche durch die Linie AB dargestellt. Nehmen wir an, die Ausstrahlung findet von dieser Fläche statt und es verliere dadurch der Körper bis zur inneren, durch $A'B'$ bezeichneten Fläche, einen Teil seiner Wärme. Weiters sei die Ausstrahlung in jedem Teile der Oberfläche gleichmässig. Ist $ab = bc = cd = de$ etc., so verlässt die Teile E , welche sich unter den ebenen Oberflächenpartien befinden, während der Zeiteinheit ebensoviel Wärme, wie die Teile D , welche unter konvexen, und die Teile H , welche unter konkaven Oberflächenteilen sind. Nur ist aber das Volumen von E grösser als D und kleiner als H . Bei gleicher Zahl Kalorien der ausgestrahlten Wärme kühlen jedoch am besten die Teile D ab, etwas weniger die Teile E , am wenigsten

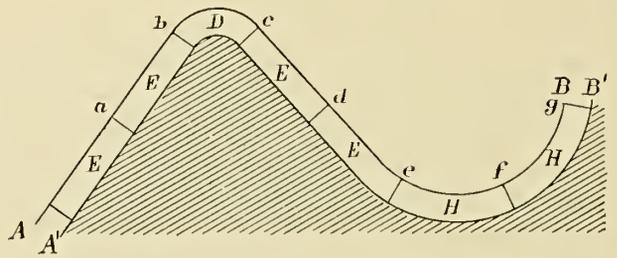


Fig. 107. Ausstrahlung von konvexen, konkaven oder ebenen Flächen.

aber die grössten, d. h. die Teile *H*. Die Strecke *bc* wird daher als die kälteste, *ef* und *fg* als die wärmste erscheinen. Je gebogener die Strecke *bc* ist, je kleiner nämlich der Radius ist, umso stärker ist die Abkühlung gegenüber den anderen Teilen. Das verursacht, dass der Reif z. B. an den Kanten von Gittern, Rändern und Spitzen der Blätter und Grashalme zuerst auftritt, und erst später, wenn die Flächen auch schon abgekühlt sind, den ganzen Körper umhüllt.

Höchst wahrscheinlich entstehen auch die Schneeflocken auf diese Art. Der Wassergehalt der Luft kristallisiert an den Spitzen der kleinen, zuerst entstandenen hexagonalen Blättchen, denn diese Stellen werden infolge der Ausstrahlung kälter als die Luft.

Die Erscheinung des Reifes am spiegelglatten Eise ist äusserst eigenartig. Ein jeder, noch so glatter Eisspiegel besitzt kleine Unebenheiten, die Überreste der horizontalen Kristallstruktur des ersten Gefrierens. An solchen verstreuten Anschwellungen erscheint eher Reif, als an Stellen, wo das Eis am meisten konvex ist. Kleine Kristallgebilde von 1—2 cm Durchmesser entstehen hier, welche an Gesträuche erinnern, welche aus einem Stamm ausgehen. Unter dem Vergrösserungsglase sind die kleinen, charakteristisch, hexagonal verwachsenen Stäbchen, Blättchen und Sternchen deutlich zu erkennen. Es bietet einen sonderbaren Anblick, wenn diese 2—3 cm hohen Reifbündelchen das Eis dicht bedecken (Fig. 108). Manchmal sieht man aus langen, starren Nadeln zusammengesetzte, derartige Reifanhäufungen, von welchen



Fig. 108. Reifbündelchen am Eise.

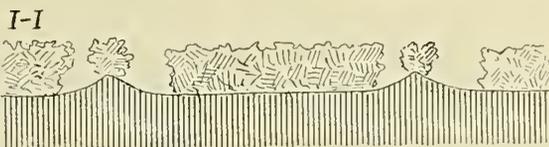
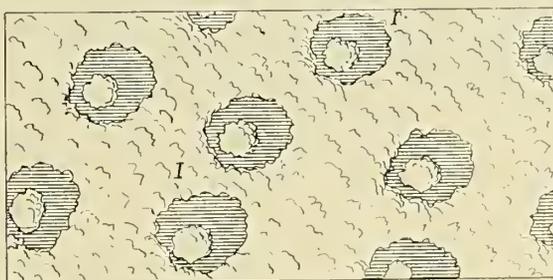


Fig. 109. Reifüberzogene Schneeschicht am Eise.
Grundriss und Querschnitt.

auch ARCTOWSKI in seiner schon erwähnten Abhandlung (S. 76) spricht.

Später erhalten diese kleinen Reifansammlungen eine interessante Rolle. Die unter denselben befindlichen Unebenheiten erscheinen mit der Zeit als klar hervortretende Aufwölbungen, mit einer Höhe von 3—4 mm. Diese Umwandlung kann nicht anders erklärt werden, als dass das Eis an jenen Stellen, wo es vom Reife nicht geschützt wird, angegriffen wird. Und zwar ist hier wahrscheinlich die Verdunstung tätig. Die Oberfläche des Eises kann mitunter auch eine Temperatur von 0° aufnehmen und in solchen Fällen ist die Verdunstung sehr stark, unter den kleinen Reifbüscheln kann das jedoch nicht geschehen.

Setzt sich dieser Vorgang weiter fort, so können wir noch eigenartigere Erscheinungen wahrnehmen. Zwischen den kleinen Büschelchen setzt sich nun der Reif auch auf die glatte Eisfläche, die unmittelbare Umgebung der Büschelchen

bleibt jedoch frei. In solchen Fällen entsteht jene wunderliche Erscheinung, welche wir in Fig. 109 im Grundrisse und im Querschnitte dargestellt sehen. Die Büschelchen sitzen auf spitzigen kleinen Buckeln; diese Erhöhungen übergehen mit konkaven Hängen in die allgemeine Eisfläche über. Auf dem konvexen Hange ist kein Reif vorzufinden, während die ebenen Teile ganz belegt sind. Ich will nicht behaupten, dass die auch durch die Büschelchen geschützten konvexen Teile nicht genügend abgekühlt waren, um eine Reifbildung zu ermöglichen. Jener Umstand spricht zwar nicht dagegen, dass die Büschelchen nicht genau in der Mitte des freien Platzes sind, sondern sämtlich in einer bestimmten Richtung verschoben sind. Hiedurch gewinnt der kleine freie Fleck, dessen Durchmesser 3—4 cm beträgt, ein Aussehen, wie eine kleine Hufspur. Bläst nämlich während der Reifbildung ein wenig Wind, im abgebildeten Falle von links nach rechts, so ist eine derartige Anordnung leicht erklärlich.

Genau konnte ich mich jedoch auch von dem nicht überzeugen, ob die Masse der auf den ebenen Teilen befindlichen, kleinen Kristallen ausschliesslich nur aus Reif besteht, oder ob sie eine dünne Schneeschichte darstellt, deren Oberfläche der Reif überzog. Denn die oberste Schichte ist zweifellos eine Reifbildung, dies beweist ein einziger Blick durch die Lupe. Die tieferen Schichten hingegen sind derart kompakt, dass deren Ursprung nach der Struktur nicht mehr festzustellen ist. Es ist möglich, dass die leicht schwebenden Schneeflocken um die Reifhügelchen auch derart sich ablagern.

Diese Frage bleibt immerhin ungelöst. Zwar erwähnt auch ARCTOWSKI¹ vom Eise des Südpoles den Reifbündelchen ähnliche Gebilde, kennt aber die in Fig. 109 sichtbare Erscheinung nicht.

B) Die Anhäufungsformen des Schnees.

Sobald der Schnee bei kaltem Wetter das glatte, trockene Eis bedeckt, stört der Wind sogleich die Gleichmässigkeit der Decke. Fällt der Schnee in völliger Windstille, so ist am Eise schwerer Verkehr, da der feine, staubartige Schnee nicht sofort an das Eis klebt. Er füllt sogar die Schneehufe und die Bewegung wird sehr erschwert, da die ganze, dünne Schneeschichte an die Sohle klebt.

In einem solchen Falle (am 7. Februar 1895) begann ein schwacher Wind die ruhig gefallene, kaum 1 cm dicke Schneeschichte zu stören. Dies geschah auf eine eigenartige Weise. Stellenweise packte nämlich der Wind die etwas emporragenden Teile der Schneeschichte und schob hiedurch den Schnee eigentümlich zusammen, wie es aus Fig. 110 ersichtlich. Er löste vom Schnee einen, vom Angriffspunkte ausgehenden,

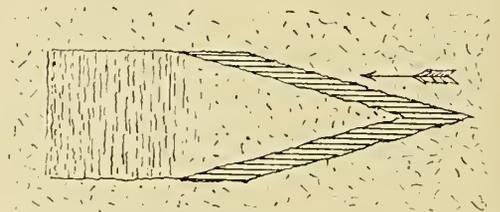


Fig. 110. Durch Wind angehäufter Schnee. 1:15.

¹ HENRYK ARCTOWSKI: Die antarktischen Eisverhältnisse. Petermann's Mitth. Ergänzungsheft No 114. Gotha, 1903. S. 76



Fig. 111. Aus frischgefallenem Schnee gebildeter Barkhan.



Fig. 112. Durch Ripplemarks zerstückelter Barkhan.

keilförmigen Teil, welcher vor sich den Schnee in einem kleinen, quadratischen Hügelchen aufstaute. Unzählige solche konnte man am glatten Eise sehen, als sie sich während des Nordostwindes bildeten, ein wenig bewegten und sobald der kleine Hügel genügend dicht wurde, unbeweglich wurden. Gegen abends entstand ein starker Wind, welcher den Schnee vom Eise samt diesen kleinen Gebilden wegfegte. Mehrmals sah ich diese Erscheinung nicht mehr.

Wenn der Schnee auf nasses Eis fällt, klebt er sofort an und der Wind kann ihn nicht bewegen, sobald aber eine dünne Schneeschicht schon an das Eis fror, häufen sich wunderbare Formen an.

Zuförderst entstehen regelmässige Wellen (ripplemarks), deren Entfernungen untereinander sehr verschieden sind. Es gibt 1—2 dm lange, aber auch solche von 60—80 cm. Die Erscheinung ist daher nicht im mindesten so regelmässig, wie bei den Sandwellen. Die Ripplemarks des Flugsandes sind, wenn sie ungestört entstehen, immer ca. 10 cm von einander. Unzählige, viele tausende meiner Messungen beweisen dies. Die Entfernung der Sandwellen (vom Kamm bis zum Kamm) ändern sich nur unter dem störenden Einflusse der Unebenheiten des Terrains. Meine Beobachtungen führten zu jenem Resultate, dass die Entfernung der Sandwellen weder von der Neigung des Hanges des Sandterrains, noch von der Grösse der Sandkörner oder der Stärke des Windes, sondern einzig allein von dem Wechsel des Neigungswinkels des Terrainhanges abhängt.¹

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse beim Schnee. Die Beweglichkeit der Schneekörnchen wechselt in kurzer Zeit sehr beträchtlich und ist in verschiedenen Verhältnissen sehr verschieden. Infolge dessen ist auch die Entfernung der Wellen sehr abwechselnd. Es wäre ein äusserst eingehendes, bis zur genauen Untersuchung der physikalischen Verhältnisse der Schneekörnchen sich erstreckendes Studium nötig, um den Zusammenhang der Länge der Schneewellen mit anderen Erscheinungen konstatieren zu können.

Es entstehen auch aus frisch gefallenem Schnee wirkliche «Barkhane», eine äusserst seltene Erscheinung. Der Barkhan bleibt nämlich alsbald unbeweglich liegen, erstarrt und alsdann melden sich schon die Deflationsformen, welche ihn gänzlich umgestalten.

In Fig. 111 ist das Bild eines solchen Barkhanes zu sehen. Leider sind sie sehr schwer aufzunehmen, da der weisse Barkhan sich sehr schwach vom weissen Schneefelde abhebt. Die ganze Formation selbst ist der Barkhan, welcher von den Ripplemarks zerstückelt wurde, da er so niedrig ist, dass dieselben ihn ganz bis zur unteren, harten Schneeschicht durchkreuzen. Dies ist der Grund dessen, dass wir manchmal die Gestalt des Barkhans kaum mehr erkennen, wie z. B. in Fig. 112

¹ Hier ist nicht der Ort, wo ich die Ergebnisse meiner Studien erörtern könnte, ich kann hier nur auf dieselben hinweisen, obwohl sie noch nicht publiziert wurden. Wenn wir auf einem Sandhügel der Reihe nach die Kammweiten der Sandwellen messen (viele hundert Daten erhalten wir so) und nun z. B. auf jedem Meter den Neigungswinkel des Hügels bestimmen, so können wir uns durch folgendes Verfahren leicht von diesem Zusammenhange überzeugen. Zeichnen wir eine Figur, deren Abscissen die fortlaufende Meterzahl darstellen, die Ordinaten hingegen im Verhältnisse zum Wechsel des Neigungswinkels für je einen Meter stehen. Zeichnen wir nun darunter wieder eine Figur, in der jedoch die Ordinaten im Verhältnisse zu dem aus den Kammweiten des betreffenden 1 Meter-Teiles gebildeten arithmetischen Mittel stehen: so erfahren wir, dass die beiden Figuren — bei Benützung eines entsprechenden Masstabes — kongruent sind.

(drei sind deutlich sichtbar, parallel mit der Bildfläche, im Hintergrunde vermutet man aber mehrere).

Einen derartigen Barkhan, wie die auf der Photographie, nahm ich im Februar 1901 genau auf und lege in Fig. 113 den genauen Grundriss desselben vor.¹ Wir sehen, dass die allgemeine Grenzlinie des Barkhans eine Ellipse ist, deren Gleichung festzustellen mir auch gelang:

$$y^2 = 0.4994x - 0.032038x^2.$$

Die Gleichung bezieht sich auf den Scheitelpunkt der Ellipse (*A*), Achse *X* ist die Längsachse des Barkhans. Die Punkte *B* und *C* erhielten wir durch Rech-

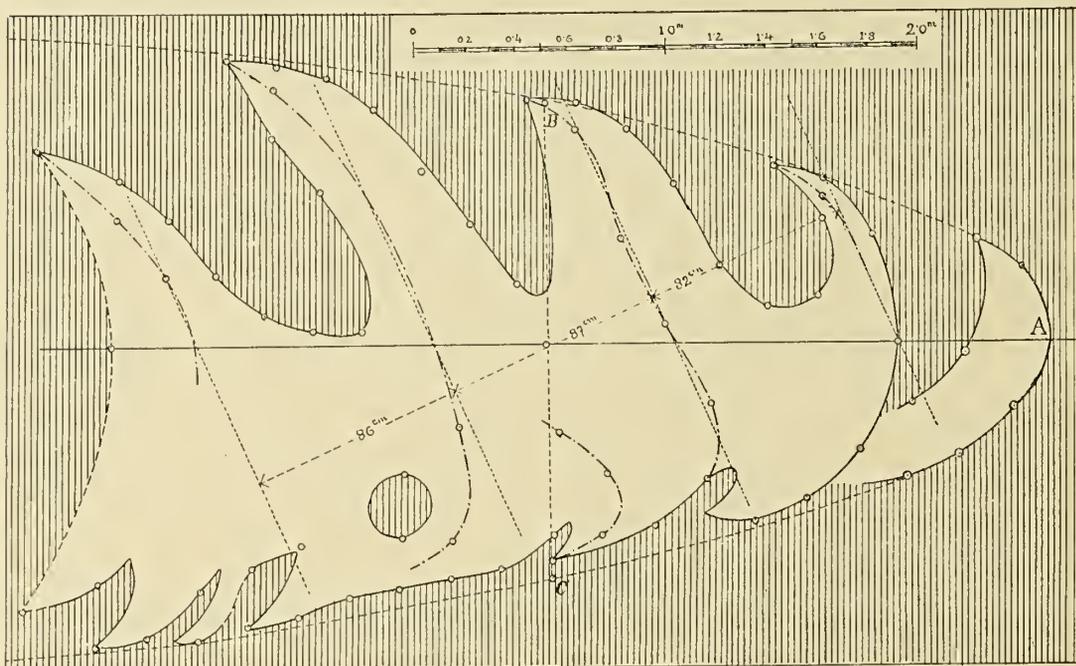


Fig. 113. Grundriss des Schneebarkhans.

nung. In der Zeichnung stellen die schraffierten Teile den alten, harten Schnee dar, die weissen den frischen «Flug»-Schnee.

Wir erblicken am Barkhan parallele Kämme, die zu der Achse des Barkhans nicht senkrecht stehen und ihre Entfernung beträgt beinahe immer 86 cm. Das sind früher entstandene Schnee-Rippeln, die in einem mit 25° abweichenden Winde entstanden. Die Enden der Rippeln hat der Wind abgebogen und so der allgemeinen Barkhanform angepasst.

Diese Barkhane, welche vor unserem Auge im Schneesturme entstanden sind, erstarrten alsbald. Von nun ab wurden sie vom Winde nur mehr abgetragen, ihren Ort veränderten sie jedoch nicht mehr.

Ähnliche Formen dürften jene gewesen sein, welche Herr Prof. Lóczy im Dezember 1900 in der Bucht von Kereked aufnahm und welche die Fig. 114 und

¹ Dasselbe wurde schon erörtert in Földtani Közlöny, Bd. XXXII. S. 15 (Die Gesetze der Bewegung des Flugsandes).



Fig. 114. Barkhane der Bucht Kereked im Monat Dezember 1900.
Von den westlichen Höhen der Bucht gesehen,



Fig. 115. Barkhane der Bucht Kereked im Monat Dezember 1900.
Die dunklen Flecken sind Eisflächen.

115 (Tafel XX) darstellen. Leider sah ich selbst diese Formen nicht, konnte daher auch nicht feststellen, wieviel an ihnen die Deflation arbeitete und folglich kann ich dieselben nicht weiter beschreiben. Die weit vorragenden Sichelarme, die überall auftauchenden elliptischen Linien sind untrügliche Anzeichen der Barkhanbildung. An einzelnen Partien bemerken wir auch Ripplemarks, jedoch haftete der Schnee gewiss schon stark am Eise, von welchem er sonst weggefegt worden wäre, und daher sind die Formen unvollkommen.

Die Anhäufungen um die Hindernisse sind ähnlich jenen am Lande, wie sie von STAFF¹ beschrieben wurden. Von diesen habe ich nichts zu sagen.

C) Deflation der Schneegebilde.

Die Formen, welche die Deflation im Schnee bildet, sind äusserst mannigfaltig. Durch die nagende Wirkung des Windes kommen jene kleinen Schichten wieder zum Vorschein, welche während der Auflagerung der Schneehügelchen während eines stärkeren Windstosses entstanden. Jeder Windstoss übt auf die Schneemasse einen Druck und verdichtet hiedurch die schon abgelagerten Kristalle. Auf diese Weise wird jeder Schneehügel geschichtet und diese Schichten erscheinen abermals infolge der zerstörenden Arbeit des Windes. Auf den Photographien von V. CORNISH sind derartige sehr schöne Deflationsformen zu sehen, wir können sie jedoch am Festland nach jedem intensiveren Winde vorfinden.

Am Balatoneis besitzt der Schnee nur unbedeutende Unebenheiten, daher diese schönen Formen nur an wenigen Stellen anzutreffen sind.

An Stellen, wo im Eise, unter dem Schnee zerstreut vorkommende Unebenheiten sind, z. B. Tafeltrümmer, bildet sich im tiefen Schnee oberhalb einer jeden derartigen Unebenheit eine regelmässige, in Fig. 116 ersichtliche Form. Die oberste Schichte des aus der allgemeinen Schneeoberfläche hervorragenden Hügelchens ist härter als die untere, wodurch die untere, körnige und losere Schichte eher dem Winde zum Opfer fällt, als die obere. Die Folge hievon ist, dass der Wind die obere harte Schichte untergräbt und diese als eine konsolförmige Decke von elliptischem Grundriss zurückbleibt. Bis zu jenem

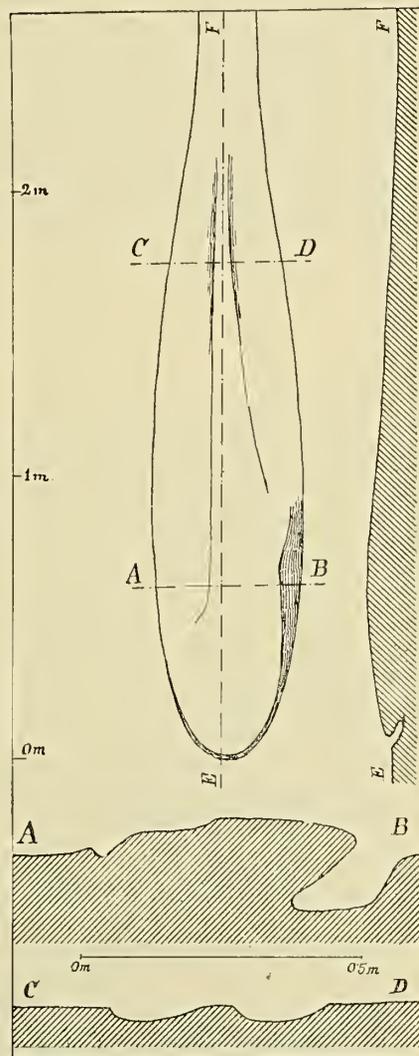


Fig. 116. Einfache Deflationsform auf einer Unebenheit des Eises. Grundriss, Längsschnitt und zwei Querschnitte.

¹ L. c.

Punkte, in welchem die Tangente der Grenzfigur mit dem Winde parallel wird, ist die Form von einem tiefen Graben umgeben, und ragt selbe aus der Umgebung empor. Von nun an sinkt jedoch dieselbe unter das Niveau der Umgebung, was auch aus dem Längsschnitte leicht zu ersehen ist. Auf der Rückenfläche der in Fig. 116 abgebildeten, genau vermessenen Form zieht ein allmählich sich verschmälender Kamm. Dieser war nicht an allen von mir beobachteten Formen, man könnte sogar sagen, dass Formen mit Kamm seltener waren, als solche ohne denselben.

Die Zerteilung des Windes vor dem Hindernisse zwingt die Luftströmung in eine sich der Barkhan-Ellipse anschmiegende Bahn. So kann man sich die regelmässige elliptische Stirne dieser Deflationsform erklären. Im rückwärtigen Teile treffen die getrennten

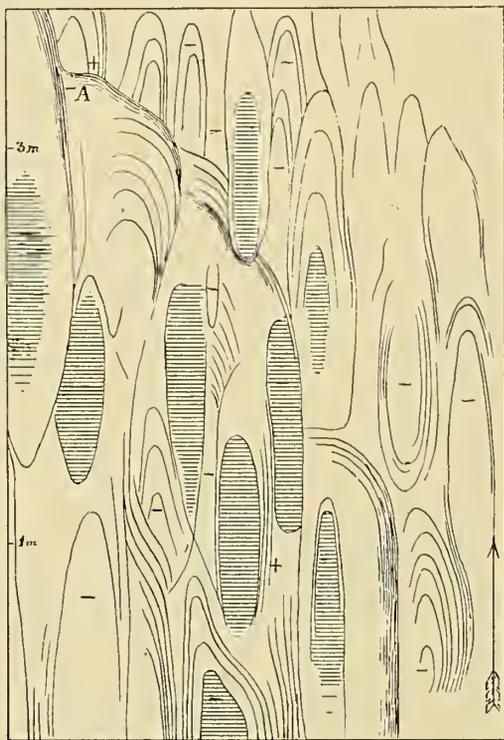


Fig. 118. Deflationserscheinungen in Form elliptischer Aushöhlungen im harten Schnee (Januar 1903). Höhenunterschied bei A 15 cm.

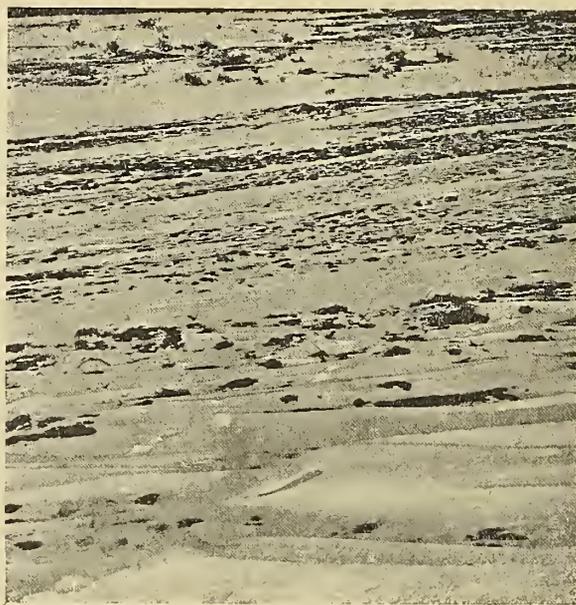


Fig. 117. Herabgebogenes Schneegesimse in Tihany, 12. Februar 1907.

Strömungsäste wieder auf einander und infolge der elastischen Wirkung der die Vereinigung befördernden Kraft entsteht hier auf einer kleinen Strecke die Strömung energischer als die Strömung des ungestörten Windes. Diese zusammentreffende, energischere Strömungsstrecke verursacht die Vertiefung des rückwärtigen Teiles.

Das ist beiläufig die einfachste Deflationsform, bei welcher die oberste, härtere Schichte von den tieferen, weichen Schichten getrennt ist und die Grundrissform der Barkhanlinie annahm, welche dem Verlauf der durch Hindernisse gestörten Lufströmungen entspricht. Die elliptische Stirne untergräbt der Wind gewöhnlich sehr stark, er bläst nämlich den lockeren Schnee ganz weg. In solchen Fällen beugt sich dieses vorspringende Gesimse plastisch herab. Dies sehen wir in Fig. 117 vorne. Im Februar 1907 waren derartige Gebilde am See und an den vom Winde be-



Fig. 119. Mit dem durch die Fischereilöcher heraufgestiegenen Wasser zusammengefrorene kreisförmige Schneeflecken.

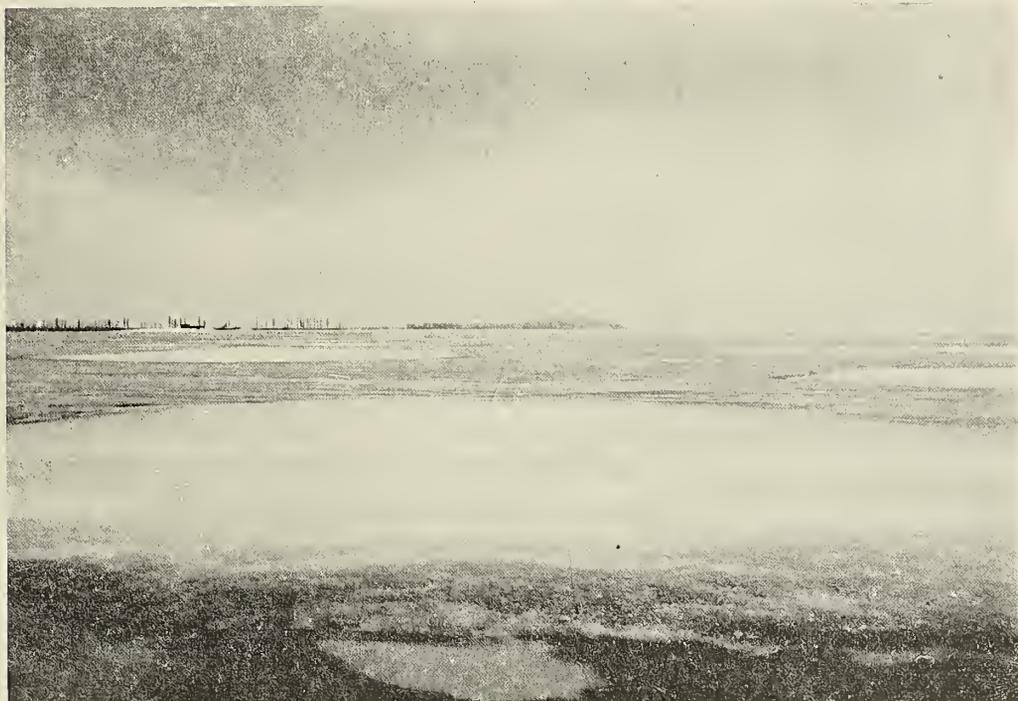


Fig. 120. Flecken des mit dem heraufgestiegenen Wasser zusammengefrorenen Schnees, nach Auflösung des linderen Schnees.

suchten Uferflächen sehr häufig. Dies ist ein schönes Beispiel für die Plastizität und Biagsamkeit des Firns, was jedoch nicht mit der gewöhnlichen Biagsamkeit anderer Körper gleichbedeutend ist.

Figur 118 stellt eine viel kompliziertere Form dar. Ich zeichnete selbe im Januar 1903. — In der Figur befindet sich das Zeichen — an jenen Stellen, wo die winderzeugten Furchen am tiefsten sind. In den tiefsten Stellen, welche ich in der Zeichnung schraffierte, ist der Schnee nur mehr so dünn, dass das dunkle Eis durchschimmert. Diese eigentümlichen Gebilde waren an alten, erhärteten flachen Schneeanhäufungen sichtbar, welche inselförmig auf dem schneefreien Eise lagen. Als ich die ersten sah, dachte ich an verschwommene Fusspuren, sobald sie jedoch auf sämtlichen alten Schneehügelchen wieder zu finden waren, war es mir klar, dass es sich hier um natürliche Erscheinungen handle. Vorderhand gibt es für dieselben keine andere Erklärung, als dass auf einem schon früher deflatierten Gebiete sich später regellos Schnee-Rippeln verbreiteten und so in den tiefsten Stellen zweier sich kreuzender Wellensysteme der Schnee lockerer blieb als in den höheren Teilen.

Der Wechsel der Anhäufungen und Ausnagungen gibt sich in der Verteilung der Formen hauptsächlich dadurch kund, dass die Steilseite der Anhäufungsformen vom Winde abgewendet ist, während die Deflationsformen diese dem Winde zukehren. Eine feine Schichtenstruktur ist an den Anhäufungsformen nicht wahrzunehmen, während dies bei den Deflationsformen immer der Fall ist.

Dasselbe gilt auch für den durchnässten Flugsand. Die Anhäufungsformen sind auf der dem Winde abgekehrten Seite steil, während die Deflationsformen im nassen Sand auf der zugekehrten Seite steil sind. Auf letzterem bemerken wir die gleiche feine Schichtenstruktur, wie im Schnee.

D) Durchnässung des Schnees.

Der auf das Eis gefallene Schnee verdichtet sich oft zu einer eisartig harten, schaumigen, blasigen Masse, sobald in Öffnungen durch das Eis das Wasser emporsteigt. Viel ist hier nicht zu bemerken, es erscheint jedoch als notwendig, einzelne auffallende Erscheinungen zu erklären.

Durch die Fischereilöcher, welche in regelmässigen Reihen nach einander folgen, steigt das Wasser empor und durchtränkt den Schnee in regelmässigen Kreisen, wobei Wasser und Schnee zu einer harten Masse frieren. Derartige Flecken, deren runde Form, kreisförmige Gliederung beachtenswert ist, zeigt uns Fig. 119. Der Rand der Flecken ist immer um etwas höher als die Mitte; die Formen sind von einem förmlichen kleinen Wall umgeben. Dies verursacht folgende Erscheinung: Das im Loche emporsteigende Wasser verbreitet sich gleichförmig, kühlt jedoch inzwischen ab, bis es endlich in einer gewissen Entfernung gefriert. Das Wasser steigt noch lange nach der Bildung des Eisringes empor, an dieser durchtränkten Stelle ist jedoch das Wasser genügend warm, um einen Teil des Schnees zu schmelzen. Da hiedurch die Zahl der kapillaren Öffnungen vermindert wird, fließt ein Teil des Wassers samt dem Schmelzwasser durch das Loch wieder ab. In der Mitte des gefrorenen Eisringes bleibt also weniger durchnässter

Schnee, das Niveau fällt also. — Der Durchmesser der Schneeflecken beträgt 5—10 m, die Breite des Wallringes 1—1·2 m.

Später, sobald in den anderen Teilen des Eises der undurchnässte Schnee eventuell infolge geringerm Schmelzens etwas zusammensinkt, ragen diese Flecken, den Ringbergen des Mondes ähnlich, aus der Umgebung hervor.

Besonders rätselhaft erscheinen diese Schneeflecken, wenn das Schmelzen schon sehr vorgeschritten, der Schnee vom Eise schon verschwunden ist, nur mehr noch diese harten Flecken in langen weissen Reihen übrig bleiben.

Ungemein interessant ist die Erscheinung der Aufsaugung des Schnees, welche entlang den grossen Spalten sich vollzieht. Sie ist vielleicht geeignet die Vereisung des Schnees einigermassen verständlicher zu gestalten. Wir sehen dieselbe in Fig. 121 abgebildet; die Bedeutung der Zahlen ist folgende:

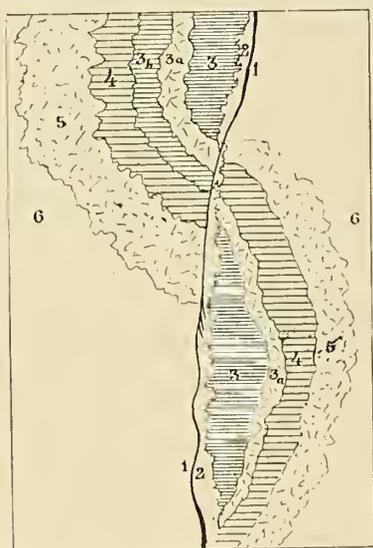


Fig. 121. Verschiedene Stadien der Durchtränkung des Schnees längs einer Spalte.

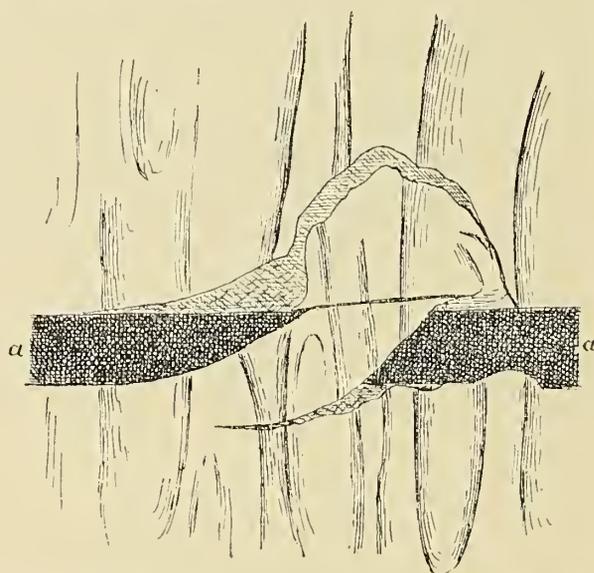


Fig. 122. Die Verteilung des bei der Spaltung des Eises sich losgelösten Firnes. Ca. 1:20.

1. Die Spalte selbst, welche durch Überschiebungen teils auf die eine, teils auf die andere Seite, vollkommen gedeckt ist.

2. Die Masse der aufgewühlten und auf die Kanten gestellten, mannigfachsten Eistafeln, unter welchen sich von splitterdünnen bis zu 20 cm dicken alle denkbaren Variationen vorfinden.

3. Vom Wasser gänzlich überflutete Stellen, wo das Wasser derzeit total gefroren ist. Die Oberfläche dieser Gebilde bedecken die stabförmigen Rippen, von welchen am Anfange unserer Abhandlung die Rede war. Diese Stellen fallen schon von Weitem durch ihre dunkelgrüne Färbung auf und glänzen im Scheine der Abendsonne prächtig. Hier ist der Schnee im emporsteigenden Wasser völlig geschmolzen und das Eis daher rein, kristallin. An einzelnen Stellen hat sich, zufolge der während des Frierens eingetretenen Bewegungen, das Wasser unter der schon entstandenen dünnen Eisedecke wieder zurückgezogen, und an Stelle derselben erglänzt jetzt silberig die Luft.

3 a) Hier ist das Wasser unter der dünnen Eiskruste überall abgeflossen. Die Stellen schimmern in lichtem, silberigem Glanz infolge der darunter befindlichen äusserst dünnen Luftschichte.

3 b) Dieser Streifen ist nicht überall vorhanden; derselbe ist dunkel, zur Hälfte aus reinem Eis, zur Hälfte aus zusammengefrorenem Schnee bestehend. An diesen Stellen schwamm höchst wahrscheinlich der Schnee auf dem emporgestiegenen Wasser

4. Gefrorener, gänzlich durchnässter Schnee. Die kleinen Reifansammlungen verloren ihre Struktur vollständig. Etwas heller als der vorherige.

5. Hier wurde der Schnee in den unteren Schichten vom Wasser durchtränkt, während die Köpfe der kleinen Reifbüschelchen aus diesem herausragten und nun vermittels ihrer ungeänderten Weisse den Streifen noch heller erscheinen lassen, als den vorherigen.

6. Unberührter, reiner Schnee mit Reif.

Durchnässt der Regen den Schnee, so bedeckt das Eis eine breiartige Masse, welche über Nacht gefriert und das Eis schwer gangbar gestaltet. Die Oberfläche des durchtränkten Schnees gibt — neuerdings gefroren — eine äusserst glatte, unebene Fläche, auf der man auch mit Eishufen versehen schwer vorwärts kommt. Ausserdem bedeckt zu solcher Zeit diese firnartige Schneeschichte alle Formen und man kann nur mit Mühe die feineren Variationen des Eises studieren.

Es ist aber von Interesse, dass dieser durchtränkte, abermals erstarrte Schnee — nennen wir ihn firnartig — mit dem Eise nicht verwächst. Meist lässt er sich leichter vom Eise trennen, als dass er selbst zerreißen würde. Spalten durchziehen in einem von starker, harter, firniger Schneeschichte bedeckten Eise das Eis und den Firn nicht gleichmässig. Oft spaltet der Firn anders als das Eis und die derart entstandenen Firntafeln lösen sich vom Eise los. Einen derartigen Fall zeigt uns Fig 122, auf welcher zu sehen ist, dass die ca. 15 cm breite Spalte *a* im Eise gerade verläuft. Der Firn jedoch, dessen Härte die erstarrten, fusspurenähnlichen Deflationsformen derart ungleichmässig beeinflussen, spaltete in einer ganz anderen Richtung, so, dass ein Teil desselben, ober der Spalte verschoben, nun brückenartig dieselbe überlagert.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.

		Ort
Fig.	1. Der Gang der Temperatur und das Eis des Balaton im Winter 1892—93	Seite 9.
»	2. » » » » » » » » » » » » » 1893—94	» 10.
»	3. » » » » » » » » » » » » » 1894—95	» 11.
»	4. » » » » » » » » » » » » » 1895—96	» 12.
»	5. » » » » » » » » » » » » » 1896—97	» 13.
»	6. » » » » » » » » » » » » » 1897—98	» 14.
»	7. » » » » » » » » » » » » » 1898—99	» 15.
»	8. » » » » » » » » » » » » » 1899—900	» 16.
»	9. » » » » » » » » » » » » » 1900—901	» 17.
»	10. » » » » » » » » » » » » » 1901—902	» 18.
»	11. » » » » » » » » » » » » » 1902—903	» 19.
»	12. » » » » » » » » » » » » » 1903—904	» 20.
»	13. Die Häufigkeit der Winde in Keszthely im Monat Dezember	» 24.
»	14. » » » » » » » » » » » » » Januar	» 24.
»	15. » » » » » » » » » » » » » Februar	» 25.
»	16. Die Dicke des Eises im Winter 1892—93 (46 cm.), L. v. Lóczy's Aufnahme	» 36.
»	17. Produkte der ersten Eisbildung im destilliertem Wasser, Vergrößerung 1½-fach. Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	Tafel I.
»	18. Produkte der ersten Eisbildung im destilliertem Wasser, Vergrößerung 1½-fach. Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	» I.
»	19. Produkte der ersten Eisbildung, Skizze des Autors	Seite 40.
»	20. Produkte der ersten Eisbildung im Leitungswasser. Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme.	Tafel II.
»	21. Produkte der ersten Eisbildung im Leitungswasser, vergrößert. Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	» II.
»	22. Erste Eisbildung einer 44%igen Salzlösung in einem glattwandigen Gefäss. (Etwas verkleinert.) Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme.	» III.
»	23. Erste Eisbildung einer 44%igen Salzlösung nach einer geringen Erschütterung, infolge der die Gebilde etwas emporstiegen. (Etwas vergrößert.) Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	» III.
»	24. Erste, oberflächliche Eisbildung in künstlichem Meerwasser. (Etwas verkleinert.) Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	» IV.
»	25. An der Oberfläche künstlichen Meerwassers aufeinander geschichtete Eisblättchen in mehr als doppelter Vergrößerung. Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	» IV.
»	26. Erste Eisbildung im Wasser des Balaton. ¾ der nat. Grösse. Im Geografischen Institute der Kolozsvärer Universität gemachte Aufnahme	» V.
»	27. Das erste Eis des Balaton-Wassers in einem vorgerückteren Stadium. 1½-fach vergrößert	» V.
»	28. Beim Zuschliessen von Spalten emporragende Eisnadeln und Plättchen	Seite 45.
»	29. Schmutzschichte in der Nähe der unteren Fläche des Eises	» 47.

Fig. 30. Schnee und Schmutzschichten	Seite	47.
» 31. Singular verstreute, wenig abgerundete Eisstücke, zusammengefroren	»	48.
» 32. Eine aus mehr abgerundeten Eisstücken entstandene Tafel. Oben Grundriss, unten Querschnitt	»	48.
» 33. Eine aus mehr abgerundeten Eisstücken entstandene Tafel. Aufnahme des Autors	Tafel	VI.
» 34. Eine aus völlig abgerundeten, schwimmenden Blöcken entstandene Tafel. Aufnahme des Autors	»	VI.
» 35. Auf zusammenhängendes Eis hinausgeschleuderte Trümmer	Seite	49.
» 36. Sprünge in der unteren, einheitlichen Eisdecke, welche früher entstanden als die oberste Eisschichte, und die Überflutung von den Eistrümmern	»	49.
» 37. Aufeinander geschobene und umgestürzte Tafeln	»	50.
» 38. Neu zusammengefrorene, unten ausgeglichene regelmässig aufgeschichtete Eistafeln	»	50.
» 39. Aus kleinen Täfelchen zusammengestaute Eiskruste zwischen Siófok und Világos. Aufnahme des Autors	Tafel	VII.
» 40. Eisstauung vor Boglár, am 29. Januar 1903. Aufnahme des Autors	»	VII.
» 41. Gebändertes Eis zwischen Boglár und Révfülöp, am 6. Februar 1903	Seite	51.
» 42. Während des Schneefalles ruhig entstandenes Eis zwischen Boglár und Révfülöp, am 6. Februar 1903. Aufnahme des Autors	»	51.
» 43. Regelmässige Schneebänder	»	52.
» 44. Sich an primäre Eisblöcke anschmiegende Schneebänder	»	52.
» 45. Querschnitt eines im glasigen Eis entstandenen Abflussloches. (5. III. 1901.)	»	55.
» 46. Abflusslöcher in schneeeigem Eise mit kleinen Leitungsrinnen. (6. II. 1903.)	»	55.
» 47. Entstehung der Silberblätter in einem schmelzenden Eisstück	»	56.
» 48. Die Orientierung der Silberblättchen nach den horizontalen Projektionslinien der Sonnenstrahlen	»	56.
» 49. Eiskerze	»	57.
» 50. Polygonale Rinnen auf der Oberfläche des Eises, beim Beginne des Vorganges der «gyertyásodás»	»	57.
» 51. Polygonale Rinnen auf der Oberfläche des Eises, bei vollständiger Entwicklung der «gyertyásodás»	»	57.
» 52. Querschnitt und Grundriss des zu Kerzen zerspaltenen Eises	»	57.
» 53. Ein in Kerzen zerfallenes und neuerdings zusammengefrorenes Eisstück aus den Eiswällen vom Südufer. Aufnahme des Autors	Tafel	VIII.
» 54. Ein schmelzendes Eisstück, aus welchem einige Kerzen herausgefallen sind und daher Löcher entstanden, wie im Karren-Kalk. Aufnahme des Autors	»	VIII.
» 55. Der Vorgang der Eisbildung	Seite	60.
» 56. Der Zustand der Eisbildung in dem auf das Gefrieren der I. Salzschichte folgenden Momente	»	60.
» 57. Der Zustand der Eisbildung in dem auf das Gefrieren der II. Salzschichte folgenden Momente	»	60.
» 58. Die mit dem Fortschreiten der Eisbildung entstandenen, mit Salzwasser erfüllten verticalen Sprünge	»	60.
» 59. Erweiterte Löcher neben dem Gravimeter-Instrumenten-Zelt. 5. März 1901	»	64.
» 60. Ein aus frischem Eis aufgebaute Wall vor Boglár, am 28. Januar 1903. Aufnahme des Autors	Tafel	IX.
» 61. Aus frischem Eis aufgebaute Wälle vor Boglár. Aufnahme des Autors	»	IX.
» 62. Eisstauung am Ende des Boglärer Molos. 28. Januar 1903. Aufnahme des Autors	»	X.
» 63. Auf das Ufer geschwemmtes kerziges Eis bei Újpuszta. 19. Februar 1904. Aufnahme des Autors	»	X.
» 64. Auf das Ufer geschwemmtes kerziges Eis bei Tóközpuszta (westlich von Siófok). 19. Februar 1904. Aufnahme des Autors	»	XI.
» 65. Auf das Ufer geschwemmtes kerziges Eis bei Tóközpuszta (westlich von Siófok). 19. Februar 1904. Aufnahme des Autors	»	XI.

Fig. 66. Die Temperaturen des Eises in der Nacht 25—26. Februar 1901	Seite	69.
» 67. » » » » » » » 26—27. » 1901	»	69.
» 68. » » » » » » » 27—28. » 1901	»	69.
» 69. » » » » » » » 29—30. Januar 1903	»	70.
» 70. » » » » » » » 30—31. » 1903	»	71.
» 71. » » » » » » » 31. Januar—1. Februar 1903	»	71.
» 72. Die Maasse des gekrümmten Eisbandes.	»	72.
» 73. Die Inanspruchnahme des gekrümmten Eisbandes	»	73.
» 74. Skizze der Gesamt-Konstruktion der zugefrorenen Spalte.	»	76.
» 75. Dünne Spalte im Eise. Aufnahme des Autors.	Tafel	XII.
» 76. Verteilung der Luftbläschen in der Gegend der zugefrorenen Spalte	Seite	76.
» 77. Unterer Kanal einer kleineren Spalte	»	77.
» 78. Gesamt-Construction und unterer Canal einer grossen Spalte	»	78.
» 79. Bild des unteren Canals der Spalte. Aufnahme des Autors.	Tafel	XII.
» 80. Stufenförmig zugefrorene Spalte	Seite	79.
» 81. Mitsamt einer Längenverschiebung entstandene Spalte	»	79.
» 82. Durch scheerende Kraft im frischen Eise einer zugefrorenen Spalte entstan- dene Sprünge	»	79.
» 83. Mit dem Ufer parallel laufende Spalte. 10. Januar 1904. Aufnahme des Autors	Tafel	XIII.
» 84. Querlaufende Hauptspalte in der Gegend zwischen Siófok und Csopak. 12. Februar 1907	»	XIII.
» 85. Zusammentreffen zweier Spalten mit Verschiebung.	Seite	80.
» 86. Zusammentreffen einer neuen Spalte mit zwei älteren Spalten.	»	81.
» 87. Eine in Verästelungen endigende Spalte	»	81.
» 88. Zusammentreffen aufgeweichter Spalten	»	81.
» 89. Ausdehnung des Eises in einem See von regelmässiger Parallelepipedform	»	83.
» 90. Die im Winter 1894—95 auf dem Balaton gebildeten Eiswälle (Karte).	Tafel	XIV.
» 91. Die im Februar 1901 gebildete Hauptspalte — offen. Aufnahme des Autors.	»	XV.
» 92. » » » 1901 » » » — geschlossen. » » » » »	»	XV.
» 93. Der Eiswall, welcher längs der Hauptspalte vom Februar 1901 entstand, in entwickelterem Zustande. Aufnahme des Autors	»	XVI.
» 94. Der längs der Hauptspalte vom Februar 1901 entstandene Eiswall vollständig entwickelt, zwischen Siófok und Alsó-Örs. Aufnahme des Autors	»	XVI.
» 95. Aus starkem Eise gebildeter Eiswall vor Balaton-Füred, im Frühling 1893. LUDWIG v. LÓCZY's Aufnahme	»	XVII.
» 96. Aus starkem Eise gebildeter Eiswall mit überschobenem Teile (chariage). LUDWIG v. LÓCZY's Aufnahme	»	XVII.
» 97. Von Boglár nach Révfülöp ziehender Eiswall aus starkem Eise, vom Bog- lárer Berg gesehen. (2. III. 1895.) Skizze des Autors	Seite	87.
» 98. Eiswall aus starkem Eise vor Szepezd (4. III. 1895.) Skizze des Autors	»	88.
» 99. Aus dünneren Tafeln gebildeter Eiswall in der Keszthelyer Bucht (Januar 1903). ALEXANDER v. LOVASSY's Aufnahme	»	89.
» 100. Die bei der Eiswallbildung am häufigsten beobachteten Aufbrüche.	»	90.
» 101. Das Ende eines seitlich abgezweigten Eiswalles (Januar 1903). Grundriss und Querschnitt	»	91.
» 102. Hinaufgeschobener Ufer-Eiswall zwischen Révfülöp und Szepezd. 4. III. 1895. Skizze des Autors.	»	92.
» 103. Unterschobener Ufer-Eiswall zwischen Révfülöp und Szepezd. 4. III. 1895. Skizze des Autors.	»	92.
» 104. Aufgewühlter Kies und Sand unterhalb Akarattya. Aufnahme des Autors	Taf.	XVIII.
» 105. Ufer-Eiswall am südöstlichen Ufer von Tihany. LUDWIG v. LÓCZY's Aufnahme.	»	XVIII.
» 106. Spalte mit freiem Wasser (rianás) zwischen Boglár und Révfülöp. Aufnahme des Autors	Seite	93.
» 107. Ausstrahlung von konvexen, konkaven oder ebenen Flächen	»	100.
» 108. Reifbündelchen am Eise	»	101.
» 109. Reifüberzogene Schneeschicht am Eise. Grundriss und Querschnitt	»	101.

Fig. 110. Durch Wind angehäufter Schnee	Seite 102.
» 111. Aus frisch gefallenem Schnee gebildeter Barkhan, Aufnahme des Autors	Tafel XIX.
» 112. Durch Ripplemarks zerstückelter Barkhan, Aufnahme des Autors	» XIX.
» 113. Grundriss des Schneebarkhans	Seite 104.
» 114. Barkhane der Bucht Kereked im Monat Dezember 1900. LUDWIG v. LÓCZY's Aufnahme.	Tafel XX.
» 115. Barkhane der Bucht Kereked im Monat Dezember 1900. LUDWIG v. LÓCZY's Aufnahme.	» XX.
» 116. Einfache Deflationsform auf einer Unebenheit des Eises. Grundriss, Längsschnitt und zwei Querschnitte	Seite 105.
» 117. Herabgebogenes Schneegesimse in Tihany, 12. Februar 1907, Aufnahme des Autors	» 106.
» 118. Deflationserscheinungen in Form elliptischer Aushöhlungen im harten Schnee (Januar 1903)	» 106.
» 119. Mit dem durch die Fischereilöcher heraufgestiegenen Wasser zusammengefrorene kreisförmige Schneeflecken. Aufnahme des Autors	Tafel XXI.
» 120. Flecken des mit dem heraufgestiegenen Wasser zusammengefrorenen Schnees nach Auflösung des linderen Schnees. Aufnahme des Autors	» XXI.
» 121. Verschiedene Stadien der Durchtränkung des Schnees längs einer Spalte	Seite 108.
» 122. Die Verteilung des bei der Spaltung des Eises sich losgelösten Firnes	» 108.

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
Einleitung	3.
Kapitel I. Der Temperaturgang des Balaton im Winter	6.
<i>A)</i> Die Witterungsverhältnisse im Winter in der Umgebung des Balaton	21.
<i>B)</i> Die Witterung und die Geschichte des Eises	29.
Kapitel II. Erscheinungen der Eisbildung	38.
<i>A)</i> Das ruhige Gefrieren.	38.
<i>B)</i> Das Anwachsen des Eises.	46.
<i>C)</i> Unruhiges Frieren:	47.
Kapitel III. Erscheinungen der Zerstörung des Eises	54.
Kapitel IV. Der mechanismus des Eispanzers	66.
<i>A)</i> Die Temperatur des Eises.	66.
<i>B)</i> Die Zusammenziehung des Eises	72.
* <i>C)</i> Die Ausdehnung des Eises	82.
<i>D)</i> Das Eis und die Kruste des Erdballes	94.
Kapitel V. Der Schnee am Eise	97.
<i>A)</i> Reif am Eise	100.
<i>B)</i> Die Anhäufungsformen des Schnees	102.
<i>C)</i> Deflation der Schneegebilde	105.
<i>D)</i> Durchnässung des Schnees	107.
Verzeichnis der Abbildungen	110