

Neuere Ergebnisse
österreichischer Alpenseeforschung.

Von

Dr. Gustav Götzing.

Vortrag, gehalten den 1. Dezember 1915.



Die Seenforschung hat wie auch andere Teilgebiete der Geographie in den letzten Jahrzehnten bedeutungsvolle Fortschritte zu verzeichnen. Dies um so mehr, als die Seenforschung ja nicht Selbstzweck ist, sondern wieder eine wichtige Grundlage für physikalische, chemische und biologische Untersuchungen bildet und aus diesen Disziplinen vielfache Anregungen schöpft. Wir gruppieren unsere Ausführungen über die Ergebnisse der österreichischen Alpenseeforschung nach den einzelnen Studienzweigen der geographischen Seenforschung: Kartierung, Morphologie und Geologie, Temperatur- und Eisverhältnisse der Seen (der Wasserhaushalt der Seen bleibe hier unerörtert). Selbstverständlich müssen wir uns eine besondere Kürze auferlegen, wenn wir auch den wichtigsten Ergebnissen innerhalb der erwähnten Studienzweige einigermaßen gerecht werden wollen.

Die Detailkartierung der Alpenseen ist rüstig vorgeschritten. Dank einer Kooperation der Bodenseestaaten wurde eine Tiefenkarte vom Bodensee 1:25.000 fertiggestellt (11.147 Lotungen, Nachweis der 11 km langen unterseeischen Rheinmündungsrinne). Penck und Richter haben in dem Atlas der österreichischen

Alpenseen Tiefenkarten der größeren Alpenseen geliefert. Außerdem sind zu nennen die Lotungen und Kartierungen von: J. Müllner (Reschenscheideckseen, Seen des Unterinntals), Schjernerling (Zeller See), v. Lorenz und Heidler (Hallstätter See), Grissinger (Weißensee), Halbfuß (Mondsee), Trenner und Battisti (Terlagosee) u. a. Nach einer Zusammenstellung J. Müllners¹⁾ waren 1903 nur mehr wenige größere Alpenseen zu loten und zu kartieren (Leopoldsteiner-, Erlaf-, Lunzer Seen) und einige kleinere des Salzkammergutes, des südlichen Toten Gebirges und des Hochschwabs. Infolge Errichtung einer biologischen Station am Lunzer See, welche den Verfasser mit der geographischen Bearbeitung der drei Seen betraute, wurde diese Lücke unserer Kenntnis der Alpenseen gefüllt. Dagegen ist groß die Zahl der noch zu kartierenden Hochseen trotz der fleißigen Arbeiten von E. Fugger (Salzburgs Seen) und H. Polscher (Kreuzeckgruppe). (A. Wissert lotete ferner zwei Seen in der Schobergruppe.)

Infolge der zahlreichen kartographischen Arbeiten mußte mit der Annahme einer großen, „unergründlichen“ Tiefe der Alpenseen aufgeräumt werden, desgleichen mit der Annahme von besonders steilen Böschungen unter Wasser. Besondere Steilböschungen gehören zu den Seltenheiten (Hallstättersee, Königssee,

¹⁾ Einige Erfahrungen und Wünsche auf dem Gebiete der Seenforschung. Programm des Maximilian-Gymnasiums 1902/3.

Weißensee). Wir haben nun genaue Vorstellungen der Morphologie der Seewannen (Uferbank, Schwebfläche = zentrale Aufschüttungsfläche, Seehalde) und von vielen Alpenseen ist deren Morphometrie ermittelt (Tiefe, mittlere Tiefe, Volumen, mittlere Böschung, Umfang, mittlerer Umfang, Uferentwicklung) [W. Halbfaß].

Bezüglich der Entstehung der Seen ist die Erkenntnis wichtig, daß die Seen nicht direkt tektonisch bedingt, sondern höchstens tektonisch angelegt sind und vor allem der Erosion oder Akkumulation oder beiden Vorgängen ihr Dasein danken. Sie können auch nicht durch Verbiegung von Tälern, durch Rück-sinken der Alpen (Heim), erklärt werden. Sie knüpfen an die eiszeitliche Beeinflussung der Landschaft an. Erosionsseen sind zumeist Karseen und Trogseen. Akkumulationsseen finden sich innerhalb von Aufschüt-tungen von Moränen, Bergstürzen; Seen werden abge-dämmt durch Schuttkegel (Reschen- und Pragser Wild-see), Bergstürze (Antonisee bei Scheibbs). Die Mehr-heit der Alpenseen dankt die Entstehung sowohl ero-siven wie aufschüttenden Vorgängen (Seen in eis-zeitlichen Zungenbecken, von Endmoränen umsäumt: Boden-, Gmundener, Garda-, Wörther und Ossiacher See).

Ein besonders lehrreiches Studienfeld der Geo-logie und Morphologie der Seen ist das bezüglich der Verlandung und Sedimentation. Recht bedeutend werden manche Seen durch Zuschüttung infolge von Zu-flüssen reduziert (Wolfgangsee). Für einige Seen wurde

die Dauer der Jahre bis zur völligen Zuschüttung (Bodensee 12.500 Jahre) ausgerechnet. Die Zuflüsse bringen neben Schotter auch feinere Bestandteile, welche die Trübung im See bedingen, die übrigens infolge der Wellenbrandung an den Ufern vermehrt wird. Das vom Wasser schwebend gehaltene feine Material wird namentlich in der pelagischen Region (außerhalb der Uferregion) zum Absatz gebracht. Schlammkastenmessungen in verschiedenen Seen nach Schweizer Muster gaben Aufschlüsse über die jährlichen, jahreszeitlich und regional verschiedenen Beträge der Sedimentierung. Neben den mineralischen Bestandteilen der Trübung spielen aber für die Sedimentierung pflanzliche und tierische Bestandteile eine große Rolle. Abgestorbene Planktontiere und -pflanzen schlagen sich nieder; außerdem aber entstehen in der Uferregion Sedimente direkt durch pflanzliche und tierische Mitwirkung. Besonders in der Uferbank kommt es zu Kalkausscheidungen durch Tiere (hauptsächlich Schnecken). Dann besteht zwischen der kalkreichen und Si O_2 -armen Uferbank und dem kalkarmen und Si O_2 -reichen Schlamm der pelagischen Region ein großer chemischer Unterschied. Durch neuere Untersuchungen, insbesondere durch Bohrungen in der Uferbank hat sich wenigstens teilweise gezeigt, daß die zoogene und phytogene Uferbank schon am Ufer gleich mit größerer Mächtigkeit beginnt und der Felssockel darunter nicht die Höhe erreicht, wie nach der bisherigen, von F. A. Forel entwickelten Theorie der Entstehung der Ufer-

bank durch Wellenerosion, zu erwarten war. Neben den erwähnten Sedimenten gibt es auch rein chemische Niederschläge aus dem Seewasser, welche zu Kalkausscheidungen oder Eisentonausscheidungen führen, wie z. B. am Würmsee (Seeerz) oder am Lunzer Obersee.

Das Studium der Temperaturverhältnisse der Alpenseen wurde fast von allen Seenforschern in den Vordergrund gerückt. Die allgemeinen Gesetze des jahreszeitlichen Temperaturganges in einem Alpensee haben besonders durch E. Richter, namentlich am Wörther See, einen bedeutenden Ausbau erfahren. Am Ende der Eisperiode im Frühjahr hat das Wasser überall eine Temperatur von ca. 4°. Infolge Strahlung entsteht eine warme Oberflächenschicht über dem kälteren schwereren Wasser. Die Erwärmung schreitet etwa bis in den August an der Oberfläche hin fort und dringt auch langsam, aber in vermindertem Grade, in die Tiefe. Die direkte Schichtung der Temperatur des Wassers, die darin besteht, daß man von unten nach oben in immer wärmere, leichtere Wasserschichten gelangt, wird immer stärker, zugleich entwickelt sich immer mehr die sogenannte „Sprungschicht“, indem die Temperaturabnahme nach der Tiefe nicht gleichmäßig, sondern unterhalb einer oft homothermen Schicht in einer bestimmten Tiefe unter einem plötzlichen Sprung eintritt; worauf die Temperaturabnahme erst ganz allmählich vor sich geht. Die Sprungschicht wandert im Laufe des Sommers von den oberflächlichen Lagen

in immer tiefere hinunter, um dann eine bestimmte Tiefengrenze zu erreichen. Nach den neueren Forschungen ist sie eine Wirkung der Windströmungen neben der Wirkung der Strahlung und wird durch Wind verschärft. Infolge eines konstanten Windes werden die oben warmen Wasserschichten mit den darunter befindlichen gemischt, wodurch es zuoberst zu einem Temperatúrausgleich kommt. Aber dieses obere Wasser setzt sich schon in einer kleinen Sprungschicht gegen das tiefere kältere ab. Je länger der Wind andauert, um so tiefer rückt dann die Sprungschicht, aber stets ist ihrem Tieferrücken eine bestimmte Grenze durch die Temperaturunterschiede gesetzt, indem das warme leichte Wasser oberhalb der Sprungschicht mit dem kalten schweren unterhalb der Sprungschicht nicht gemischt werden kann. Unter dem Einfluß der immer stärkeren Wärmeeinstrahlung in den obersten Partien und durch fortgesetzte Windwirkung ist im August und September meist die stärkst ausgebildete Sprungschicht zu verzeichnen.

Inzwischen aber beginnt infolge nächtlicher Abkühlung eine starke Ausgleichung des oberen Teiles der Temperaturkurve der direkten Schichtung: Die Oberflächenschichten werden abgekühlt, daher schwerer; sie müssen also bis zur Schicht gleicher Temperatur unter-sinken. Man nennt diesen Vorgang die vertikale Konvektion. Je stärker die Abkühlung fortschreitet, umso tiefer reicht natürlich die vertikale Konvektion, die Sprungschicht wird schließlich aufgezehrt und durch

vertikale Konvektion der Grund erreicht, wodurch das Wasser von der Oberfläche bis zum Grund gleiche Temperatur erhält. Die Abkühlung und Konvektion schreiten in der gesamten Wassermasse weiter fort, bis endlich der 4⁰-Temperatur-Zustand erreicht ist. Wenn nun infolge weiterer Abkühlung im Spätherbst die Wasserschichten oben kälter werden, müssen sie jetzt an der Oberfläche bleiben, da Wasser von 2⁰ oder 3⁰ leichter ist als solches von 4⁰. So kommt es jetzt zur indirekten, verkehrten Schichtung der Temperatur, wobei man von der Oberfläche zum Grund in immer wärmere Wasserschichten kommt. Erst nach längerer Abkühlungsperiode, während welcher besonders durch Windwirkung das Wasser bis in erhebliche Tiefen unter 4⁰ abgekühlt werden kann, bildet sich eine 0⁰-Wasserschicht, welche das Gefrieren des Sees veranlaßt. Unter dem Eis bleiben die Temperaturen ziemlich konstant, da durch das Eis die Ausstrahlung gehindert wird und die Zuflüsse teils schwach, teils zugefroren sind; die umgekehrte Temperaturschichtung bleibt erhalten. Erst gegen das Frühjahr hin erfolgt teils infolge Strahlung durch das Eis, teils infolge der Zuflüsse eine Erwärmung der oberen Wasserschichten, so daß wieder der 4⁰-Zustand nahezu erreicht wird und das Eis durch Tauprozesse verschwindet. Das ist im allgemeinen der thermische Kreislauf in den Alpenseen.

Unter den einzelnen physikalischen Faktoren, welche die Thermik der Seen regeln, ist mit

E. Richter die Strahlung an erster Stelle zu nennen. Sie wirkt aber nur in den oberen Wasserschichten, wo die langwelligen roten erwärmenden Strahlen absorbiert werden. Das Eindringen der Wärme in die tieferen Wasserschichten erfolgt stets durch andere Vorgänge. Die Wärmeleitung ist gänzlich ohne Bedeutung. Hingegen spielt die Wärmemischung eine große Rolle, als Folge von Wellengang und Wind. Im Wellengang führen bekanntlich die Wasserteilchen Orbitalbewegungen aus, wodurch eine Wärmemischung eintritt. Durch konstanten Wind aber werden die warmen Oberflächenschichten eines Sees an der „Luvseite“ angestaut, so daß sie in einem Gegenstrom unter der Oberfläche zurücklaufen, wobei die Wasserschichten unter der Oberfläche erwärmt werden. Andererseits steigt im „Lee“ aus der Tiefe durch Saugwirkung an die Oberfläche kaltes Wasser auf. Es wird also durch Windwirkung ein gewisser Temperaturausgleich zwischen dem Wasser der Oberfläche und einer gewissen Tiefenzone hervorgerufen. Die Stärke der Durchmischung hängt ab einerseits von der Stärke des konstanten Windes, andererseits von dem Temperaturunterschied zwischen der Oberfläche und der betreffenden Tiefenzone. „Schwimmt“ ein leichtes warmes Wasser auf einem schweren kalten, so wird der Mischung durch Wellengang oder durch Windströmungen wegen des großen Dichteunterschiedes der verschieden temperierten Wasser ein großer Widerstand entgegengesetzt, er nimmt zu, je wärmer das

Wasser an der Oberfläche wird. Er ist übrigens nach einem physikalischen Grundgesetz z. B. bei einem Wasser von 25° über 17° größer, als bei einem Wasser von 15° über 7°.

Ein wichtiger Faktor, der die Temperaturverteilung bis in große Tiefen zu regulieren imstande ist, ist die Konvektion. Sie wirkt im Sommer in der Nacht und ist besonders im Herbst wirksam.

Interessante Ergebnisse der neueren Seenforschung beziehen sich auf die thermische Wirksamkeit der Zuflüsse. Sie beeinflussen thermisch meist die tieferen Schichten, da ihr Wasser teils wegen der Temperatur, teils wegen der Schlammführung schwerer ist als Seewasser. Gelegentlich lagert in den Seetiefen wärmeres, aber wegen Schlammführung schweres, von den Zuflüssen stammendes Wasser, so daß die eigentümliche Anomalie der direkten Schichtung entsteht, indem zuunterst die Temperatur zunimmt, so daß hier die umgekehrte Schichtung resultiert. Als Erklärungsmöglichkeit für diese Verhältnisse sind außerdem zunächst Erdwärme, warme Quellen u. dgl., aber auch Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung des Tiefenwassers oder größerer Gehalt an gelösten Bestandteilen und daher größere Dichte herangezogen worden. Manche Zuflüsse breiten sich bei entsprechender Temperatur aber auch in den mittleren und selbst oberflächlichen Schichten der Seen aus. Die Zuflüsse üben daher in verschiedenen Zonen der Seen einen thermischen Einfluß aus.

Anders dagegen der Ausfluß, der das Wasser von der Oberfläche des Sees absaugt. Brückner hat gezeigt, daß die verschiedene Größe des Ausflusses für die Oberflächentemperatur von Bedeutung ist. Ein starker Ausfluß führt das warme Wasser des Sommers und das kalte Wasser des Winters fort, er wirkt also der Vergrößerung der jährlichen Temperaturschwankung entgegen. Schwache Ausflüsse dagegen halten das warme Oberflächenwasser des Sommers und das kalte des Winters im See zurück. So erklären sich z. B. die Gegensätze des kalten Boden- und Hallstätter Sees einerseits und des warmen Zeller Sees, Wörther Sees, Faaker Sees und Veldes-Sees andererseits.

Es kommen aber auch noch geographische Faktoren in Betracht, welche für Verschiedenheiten der Thermik der Seen herangezogen werden müssen (wenn wir ganz absehen von der geographischen Lage und Höhe). Es sind dies z. B. die verschiedene Sonnenexposition, wornach z. B. der Königssee und Hallstätter-See wegen ihrer hohen Felsumrahmung und Schattenwirkung niedrigere Temperatur aufweisen, ferner die verschiedene Windexposition, wornach z. B. der regelmäßigen Tagwinden ausgesetzte Gardasee trotz seiner geringen Höhe kühler ist als der Comosee. Selbstverständlich ist auch die Trübung von Bedeutung, indem trübe Seen wegen starker Absorption der Wärme durch die trübenden schwebenden Teilchen zuoberst stärker erwärmt werden als klare Seen.

Schließlich ist auch noch die Bodenkonfiguration für die Thermik in Betracht zu ziehen: Tiefe und buchtenlose Seen haben eine geringere Wärmeschwankung als das Gegenteil. Welcher von den geographischen Faktoren in erster Linie die Thermik beeinflusst, darüber bestehen unter den Forschern noch kontroverse Meinungen.

Werfen wir noch kurz einen Blick auf die Strömungen. Je nach der Temperatur- und Dichteverteilung in den Seen sind die Strömungen in den drei eisfreien Jahreszeiten verschieden. Im Frühjahr können infolge der gleichmäßigen Temperatur und Dichte die Windströmungen bis zum Boden der Seen reichen, ebenso im Herbst, wobei die thermische Konvektion, wie erwähnt, eine besondere Rolle spielt. Hingegen ist im Sommer infolge der Sprungschicht das obere warme Wasser von dem unteren kalten getrennt. Wegen des Temperatur- und Dichteunterschiedes ist eine Durchmischung unmöglich, daher entwickeln sich infolge Windes ein Stromkreis oberhalb der Sprungschicht und ein ganz sekundärer unterhalb der Sprungschicht, indem sich die Bewegung der Gegenströmung des oberen Stromkreises auf die Partie unterhalb der Sprungschicht durch Reibung überträgt.

Mit diesen verschiedenen Strömungssystemen ist natürlich eine verschiedene Wassererneuerung verbunden. Letztere reicht im Frühjahr infolge der Windströmungen bis zum Grund, ebenso im Herbst, während

sie sich im Sommer auf die Partie oberhalb der Sprungschicht beschränkt. Das bestätigen auch die Sauerstoffanalysen des Wassers, deren mehrere bereits in einigen Alpenseen vorliegen. Im Frühjahr und Herbst ist Sauerstoff gleichmäßig im See verteilt, dagegen ist er im Sommer in der Tiefe viel geringer geworden, weil er nicht erneuert und verbraucht wird. Auch im Winter begegnen wir geringen Sauerstoffwerten, weil das Wasser unter der Eisdecke stagniert und nicht erneuert wird, wodurch wieder ein Sauerstoffverbrauch eintritt. Man kann also in den Seen Zirkulations- und Stagnationsperioden unterscheiden, und zwar: Vollzirkulation im Frühjahr und Herbst, Teilzirkulation im Sommer oberhalb der Sprungschicht, Teilstagnation im Sommer unterhalb der Sprungschicht und Vollstagnation im Winter. Dieselben Gesetze werden auch abgeleitet durch Ermittlung der Verschiedenheiten in der elektrischen Leitfähigkeit des Seewassers in verschiedenen Tiefen und in verschiedenen Jahreszeiten.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, daß von den thermischen Fragen besonders das Problem der täglichen Schwankung der Temperatur von verschiedenen Forschern an unseren Alpenseen studiert wurde. Sie ist an der Oberfläche bedeutend und kann an klaren Sommertagen bis $5-6^{\circ}$ betragen. Selbstverständlich sind die Maxima und Minima gegenüber der Luft infolge der größeren Wärmekapazität des Wassers verspätet. So fällt das Maximum

meist in die Nachmittagsstunden, das Minimum in die frühen Morgenstunden gleich nach Sonnenaufgang. Das Ausmaß der täglichen Schwankung hängt von der Strahlung ab; Bewölkung und Wind vermindern sie erheblich. Tägliche Schwankungen wurden aber auch in der Tiefe festgestellt, namentlich im Bereiche der Sprungschicht. Ähnlich wie in den schottischen Seen wurden bereits auch in manchen Alpenseen in derselben Tiefe große Veränderungen der Temperatur innerhalb weniger Stunden wahrgenommen, die sogar manchmal eine deutliche Periode aufweisen. Durch Wind kommen nämlich die Isothermenflächen im Bereiche der Sprungschicht in Schwingungen, auf der Luvseite wird das warme Wasser angestaut, im Lee dagegen tritt das kalte Wasser an die Oberfläche; die Isothermenflächen werden also gestört und suchen nach dem Wind wieder in die alte Lage zurückzugelangen. So entstehen Schaukelbewegungen, die manche Ähnlichkeit mit den großen stehenden Schaukelbewegungen des Seewassers, mit den Seiches, haben, weshalb man diese thermischen Schaukelbewegungen Temperatureiseiches genannt hat. Ihr eingehendes Studium in den Alpenseen ist gegenwärtig eines der Hauptprobleme der thermischen Forschung.

Mehrere Arbeiten besitzen wir bereits über die Eisverhältnisse der Seen. J. Müllner unterscheidet vier Phasen: die Zeit vor der ersten Eisbildung, die Zeit zwischen dieser und dem endgültigen Zufrieren, die Zeit des geschlossenen Sees und die Zeit zwischen

den ersten Tauspuren auf dem Eis bis zum völligen Schwinden des Eises. Er und andere Forscher haben auf die Beziehungen zwischen diesen Phasen zu den meteorologischen Verhältnissen, insbesondere zur Lufttemperatur hingewiesen. Die Dauer der Eisdecke ist in den verschiedenen Seen natürlich verschieden, vor allem je nach der Höhenlage und insbesondere den lokalklimatischen Verhältnissen. Von Bedeutung ist auch die Flächenausdehnung, indem kleinere Seen eine längere Eisdauer haben als große (wegen geringerer Wellentätigkeit), bei gleicher Flächenausdehnung entscheidet die mittlere Tiefe.

Das Eis selbst ist entweder Wassereis oder Schneeeis. Das Wassereis entsteht bei bereits entwickelter umgekehrter Temperaturschichtung; es setzt natürlich die Ausbildung einer 0°-Wasserschicht zuoberst voraus. Temperaturmessungen haben aber diese 0°Schicht nicht erweisen können, weil sie förmlich eine außerordentlich dünne Haut bildet. Selbstverständlich muß Windstille bei der Bildung des Wassereises herrschen, da sonst Mischung mit dem wärmeren tieferen Wasser erfolgt. Zunächst bilden sich frei schwimmende Eisnadeln, die sich häufig in der Form der Seiten eines Dreieckes aneinander bauen. Daran setzen sich horizontale und schiefe Lamellen an, die fiederförmig angeordnet sind und den Raum zwischen den Nadeln immer mehr einnehmen, bis schließlich eine vollständige Eiskruste entstanden ist. Eine häufige Form der Eisbildung ist die des Schneeeises, welche wir beson-

ders in höher gelegenen Seen antreffen. Durch starken Schneefall werden die oberen Wasserschichten abgekühlt, ein schwimmender Schneebrei bildet sich, der dann zu Schneeeis gefriert. Dieses ist im Gegensatz zum Wassereis trübe, von milchiger Farbe und voll Luftblasen.

Das Profil des Eises der Seen verändert sich im Laufe des Winters mannigfaltig. Das Wassereis wächst zunächst, wenn kein Schnee fällt und Frostwetter herrscht, rasch in die Tiefe; mit einem Schneefall hört das Tiefenwachstum auf. Bei größerer Schneelast wird das Wassereis niedergebogen und Seewasser entlang der Spalten emporgepreßt, so daß über dem Wassereis im Schnee ein Schneebrei entsteht. Der obere Teil des Schneebreies kann bei Frost zu Schneeeis gefrieren, so daß das Schneeeis durch eine Wasserschicht vom Wassereis getrennt ist. Fällt neuerlich Schnee, so wird wieder Wasser aufgepreßt — oder es entsteht auch durch Tauwetter ein Schneebrei über dem oberen Schneeeis, der wieder zu Schneeeis gefrieren kann, und das wiederholt sich mehrfach im Laufe des Winters. Wir haben dann mehrere Schneeeisschichten, getrennt durch Wasser oder Schneebrei über dem Wassereis.

Das Wassereis wird inzwischen langsam von unten her unterschmolzen, da es infolge des Druckes des darüber befindlichen Schnees und Schneebreies in immer tiefere und daher wärmere Wasserschichten gedrückt wird. Außerdem erhöht sich im Laufe des

Winters gegen das Frühjahr hin die Temperatur des Wassers unter dem Eise (meist infolge der wärmer werdenden Zuflüsse). Ist einmal das Wassereis untergeschmolzen, so geht die Auflösung des Schneeeises im Frühjahr rasch vonstatten, unterstützt von der Abschmelzung von oben.

Die Eisabschmelzung erfolgt zunächst von den Mündungsstellen der Zuflüsse, dann von den besonders an der Sonnenseite rasch sich erwärmenden Uferbänken aus. Durch Hochwasser wird das Eis gehoben und in Schollen zerbrochen. Außerdem arbeiten Regen, Wellen und Wind an der Zerstörung des Eises. Von Eisdetails sind neben der eigentümlichen scheinbaren Strukturveränderung des Wassereises, indem dieses am Ende der Eisperiode in polygonale vertikale Stengel zerfällt, wofür v. Cholnoky eine plausible Erklärung erbracht hat, die Eisspalten zu erwähnen, welche durch Zusammenziehung des Eises bei starkem Frost entstehen. Erwärmt sich dagegen das Eis, so dehnt es sich aus, die Spalten werden geschlossen und infolge Ausdehnung des Eises entstehen an den Ufern oder innerhalb der Eisfelder Eispressungen. Entlang der Spalten wird bei Schneelast Wasser aufgepreßt und dadurch werden die Spalten erweitert. Besonders an den Kreuzungsstellen von Spalten erfolgt bei Schneebedeckung vermehrte Schmelzung des Eises und des Schnees über der ausgeschmolzenen Röhre im Eis. So bilden sich die sogenannten Dampföcher, sternförmige Ausschmelzungs-

löcher. Solche können aber auch durch Abschmelzung von oben aus infolge Tauwetter oder Regen entstehen, indem das Schmelz- oder Regenwasser nach den tiefsten Stellen der einzelnen meist konkav zusammengepreßten Schollen zusammenläuft und hier ausschilzt.

Nur in den wichtigsten Zügen konnten wir in Anbetracht des großen Stoffes es versuchen, eine Zusammenstellung der geographischen Ergebnisse der österreichischen Alpenseenforschung zu geben. Es sind Ergebnisse der allgemeinen Limnologie, welche von verschiedenen Forschern an verschiedenen Seen gewonnen wurden. Nur von wenigen Seen der Alpen, z. B. vom Bodensee, haben wir bisher eine geographische Monographie nach den berührten verschiedenen Richtungen, nach dem Muster des Werkes über den Genfer See von dem Altmeister der Seenforschung F. A. Forel; bei den meisten Seen wurde bald dieser, bald jener Gesichtspunkt von den Forschern je nach Veranlagung in den Vordergrund gestellt. Ganze Gruppen von Seen der Alpen sind trotzdem fast gar nicht erforscht, was besonders von den Hochseen gilt. Bei den innigen Beziehungen, welche aber heute immer mehr zwischen Biologie und Fischereiwesen einerseits und der geographischen Seenforschung anderseits geschaffen werden, sind immer noch neue Materialien zur geographischen Erkenntnis unserer herrlichen Alpenseen zu erwarten.
