

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXXVI. Jahrgang 1906.

München

Verlag der K. B. Akademie der Wissenschaften

1907.

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Die Seeschwankungen (Seiches) des Chiemsees.

Von Anton Endrös.

(Eingelaufen 5. Mai.)

(Mit Tafel II und III.)

Die ersten Untersuchungen jener periodischen Bewegungen der Wassermasse eines Sees, welche nach einer Genfer Lokalbezeichnung allgemein „Seiches“ genannt werden, waren am Chiemsee in den Jahren 1901 bis 1903 ausgeführt worden. Die Beobachtungen hatten der unregelmäßigen Umrissform des Sees entsprechend äußerst komplizierte Schwingungsverhältnisse ergeben, worüber in einer Schrift „Seeschwankungen (Seiches) beobachtet am Chiemsee, Traunstein 1903, Dissertation der K. Technischen Hochschule in München“¹⁾ (im folgenden zitiert mit P. I.) ausführlich berichtet wurde. Auf Anregung von Herrn Professor Dr. Hermann Ebert wurden die Untersuchungen im Frühjahr 1904 wieder aufgenommen.

Es war zunächst erwünscht an weiteren Zwischenpunkten Beobachtungen mit selbstregistrierenden Limnometern anzustellen, um einzelne Schwingungen, besonders diejenige von 29 Min.-Dauer im westlichen Teile des Sees, Inselfee genannt, näher aufzuklären (vgl. P. I S. 65 ff.). Dabei sollte zugleich der Einfluß der Inseln, welche von den bayrischen Seen nur am Chiemsee in dieser Ausdehnung vorhanden

¹⁾ Die Schrift erschien zugleich als Jahresprogramm der K. Realschule Traunstein 1903.

sind — die Herreninsel hat 225 ha, die Fraueninsel 8,9 ha und die Krautinsel 2,7 ha; sie machen zusammen 2,25 % der Seefläche aus — in die Untersuchung einbezogen werden. Im Juni 1904 mußte ferner die Tieferlegung des Chiemseespiegels dem Vertrage gemäß beendet sein, wobei alle Wasserstände des Sees durch Regulierung des Seeabflusses, der Alz, um 60 cm tiefergelegt werden sollten.¹⁾ Dies seit 200 Jahren geplante Unternehmen, das den Zwecken der Melioration der anliegenden Kulturländer diene, konnte hiebei auch für die Wissenschaft nutzbar gemacht werden, indem der Einfluß auf die Schwingungsverhältnisse des Sees untersucht und damit gleichsam ein Experiment größtens Stiles angestellt werden konnte. Die ersten Untersuchungen hatten auch neben der starken Einwirkung der Umrissform des Sees auf die Schwingungsverhältnisse eine Mitwirkung der unterseeischen Beckenunregelmäßigkeiten ergeben. Diese Mitwirkung sollte weiter verfolgt werden, wozu zunächst Neulotungen notwendig waren, da verschiedene Umstände darauf hindeuteten, daß die Lotungen an mehreren Stellen nicht dicht genug waren.

So erwähnte E. Bayberger,²⁾ dem wir die erste Auslotung des Sees verdanken, selbst, daß die isolierte Tiefe von 43 m südwestlich der Herreninsel (vgl. die Tafel II) nicht notwendig angenommen werden muß, sondern daß die 40, 30 und 20 m-Tiefenkurven noch diese Stelle vielleicht umschließen. Um über die Bodengestalt in diesem Seeteile Sicherheit zu erhalten, wurden daher dort zwei Querprofile ausgelotet, das eine vom Badehaus bei Felden gegen die Südwestecke der Herreninsel und das zweite von da gegen den Ufervorsprung südlich Harras. Diese wie die folgenden geloteten Tiefen sind in die

¹⁾ Über das nun ausgeführte Unternehmen ist eben ein amtlicher Bericht „Die Senkung des Chiemseespiegels mittels Korrektion des Alzabflusses bei Seebruck“ vom Vorstande des K. Straßen- und Flußbauamtes Herrn Bauamtman G. Mayr veröffentlicht worden, aber leider nicht im Drucke erschienen, welchem obige Angaben entnommen sind.

²⁾ E. Bayberger, Der Chiemsee. Mitteilungen des Vereins für Erdkunde zu Leipzig 1888, S. 30.

Karte auf Tafel II eingezeichnet. Dieselbe enthält als Uferlinie die Tiefenkurve von $-0,36$ m H. P., mit welcher die Umrißlinie des Sees nach der Tieferlegung nahe zusammenfallen dürfte. Die genannte Kurve ist einer Karte des K. Straßen- und Flußbauamtes Traunstein entnommen, welche im Jahre 1880 auf Grund umfangreicher Vermessungen hergestellt und mit Tiefenkurven von $0,5$ zu $0,5$ m versehen ist. Die frühere Uferlinie des Sees ist durch die punktierte Linie angedeutet; sie ist dem Katasterblatte des K. B. topographischen Bureaus entnommen, da die Umrißlinie der Baybergerschen Karte sich als ungenau erwiesen hatte. Die Tiefenangaben stützen sich im wesentlichen auf die E. Baybergersche Karte und beziehen sich sämtliche auf das frühere Mittelwasser von $+0,50$ m H. P. Aus den Neulotungen ersieht man, daß die 10 m-Tiefenkurve viel näher als früher an die Irschner Bucht herangeht und daß die 20 und 30 m-Isobathen hier nicht enden, sondern die isolierte Tiefe von 43 m umschließen, ferner daß nur die 40 m-Kurve eine in sich geschlossene ist, aber eine ungefährl. fünfmal so große Fläche einschließt und sich 500 m südlich Harras so sehr dem Ufer nähert, daß wir hier ähnliche Böschungsverhältnisse wie an dem durch die Alluvionen der Achen entstandenen Achenzipfel und dem durch den Rotbach erzeugten Ufervorsprung vor uns haben. (Wahrscheinlich befand sich hier früher einmal die Mündung der Prien, von welcher ein Seitenkanal, der Mühlbach, etwas südlicher bei Schöllkopf in den See mündet.) Außerdem ist aus den Lotungen ersichtlich, daß von der Südwestspitze der Herreninsel in südlicher Richtung gegen das Feldner Gasthaus ein sanfter Rücken zieht mit zwei Sätteln, dem südlichen von 36 m größter Tiefe und dem nördlichen von 24 m; dazwischen erhebt sich der Seeboden bis 20 m. Diese Erhebung setzt sich, wie ich von den Fischern erfahren konnte, in Gestalt eines Rückens längs der Insel gegen Osten fort.

Weiterhin wurde das Profil Urfahren—Herreninselnordspitze ausgelotet, da die dort sich befindliche Einengung bei der Schwingungsunterteilung einen sehr großen Einfluß ausübt.

Der Seeboden fällt von Urfahren aus gleichmäßig bis zu einer Tiefe von 6,5 m ab; etwa 100 m vor der Herreninsel nur ist eine 20 m breite, über 10 m tiefe Rinne, welche ich erst bei einer Nachlotung auffinden konnte.

Ferner wurden einige von den den Fischern wohlbekannten und mit besonderen Namen belegten unterseeischen Erhebungen aufgesucht, von welchen der Chiemsee acht haben soll. Eine Stelle von 13 m Wassertiefe genannt die „Höhe“ wurde schon von Bayberger südöstlich der Herreninsel aufgefunden. Da nördlich davon keine Lotungen vorlagen, so hat er den Seeboden ansteigend gegen die Herreninsel angenommen. Ein weiterer Berg erhebt sich vor der Feldwieser Bucht bis 11 m unter Wasser, während ich näher der Bucht noch 28 m lotete. Eine dritte unter dem Namen „Kaiser“ bekannte Erhebung (s. P. I, S. 92) liegt im nordwestlichen Teile der Chieminger Seeausbuchtung und erhebt sich als Rücken langsam von Süden nach Norden bis 5 m unter Wasser, fällt aber gegen Westen, Norden und Osten ziemlich steil ab. Eine vierte isolierte Bodenerhebung hat E. Bayberger zu 27 m mitten zwischen der Fraueninsel und dem Achenzipfel, der Halbinsel am Südufer, gefunden. Eine fünfte soll sich etwa 1 km nordöstlich von Gstadt, am Nordwestufer, befinden, da wo nach Bayberger der See steil abfällt. Eine sechste Erhebung soll als größeres Plateau zwischen Chieming und dem Achenzipfel liegen, das von den Fischern als Grabenstädter Berg bezeichnet wird. Endlich reichen zwei weitere Erhebungen östlich bzw. nordöstlich der Herreninsel bis wenige Dezimeter unter Wasser, so daß dieselben nach der Tieferlegung bei niedrigem Wasserstand als Inseln hervortreten, während ich zwischen denselben und der Herreninsel noch 5 bzw. 4 m gelotet habe.

Man sieht aus den Lotungsergebnissen, daß die von E. Bayberger vorgenommenen Lotungen, so genau sie im westlichen Seeteile sind, sich doch als unzureichend im südlichen Teile und im Weitsee erweisen. Es dürfte sich daher verlohnen, wenn noch die Veränderungen der Seefläche durch die Tieferlegung veröffentlicht sein werden, eine Neuverlotung

vorzunehmen und die Konstanten des Seebeckens neu zu bestimmen.

Ein Hauptzweck der weiteren Untersuchungen der Seiches unseres Sees war endlich die Erforschung der Entstehungsursachen dieser Seeschwankungen, da sich die ersten Untersuchungen nur auf acht Monate erstreckt hatten und gerade der Chiemsee sich wegen seiner geographischen Lage sowohl als der raschen Dämpfung der Hauptschwingung, wodurch der Zeitpunkt und die Größe der neuerzeugten Schwankungen deutlicher als an anderen Seen herausgefunden werden kann, als besonders geeignetes Objekt erwiesen hatte. Über die Ergebnisse dieser letzteren Untersuchungen, in welche noch Beobachtungen am Waginger- und Simssee einbezogen wurden, wird in einer weiteren Arbeit berichtet werden. Im folgenden seien nur die Ergebnisse über die Schwingungsformen des Chiemsees an sich mitgeteilt.

Zuvor möchte ich mich der angenehmen Pflicht entledigen für die mannigfache Unterstützung, die ich bei der Arbeit gefunden habe, wärmstens zu danken. Vor allem waren mir die zum Teil kostspieligen Untersuchungen nur dadurch ermöglicht, daß die K. B. Akademie der Wissenschaften in München wiederum die erforderlichen Mittel zur Verfügung stellte, wofür an dieser Stelle ehrerbietigst gedankt sei. Am See selbst übernahmen bereitwilligst die Hilfsbeobachter, welche später bei den betreffenden Stationen mit Namen aufgeführt sind, die Überwachung und Bedienung der Instrumente. Außerdem gewährte mir der Besitzer der Chiemseedampfschiffahrt Herr Ludwig Feßler in liebenswürdigster Weise während der ganzen Beobachtungszeit freie Fahrt, wodurch mir die Kontrolle der Apparate sehr erleichtert wurde. Ferner überließen mir in entgegenkommenster Weise der Vorstand des K. B. Hydrotechnischen Bureaus Herr Oberbaurat Hensel die Diagramme des registrierenden Alzpegels in Seebruck und der Vorstand des K. Straßen- und Flußbauamtes Traunstein Herr Bauamtmann Mayr sämtliche für die Tieferlegung einschlägigen Schriften und Karten. Endlich stellte

mir Herr Professor Dr. W. Halbfuß in Neuhaldensleben seinen Lotapparat und seine umfangreiche Literatur über die Seenkunde bereitwilligst zur Verfügung und Herr Professor Dr. E. Bayberger in Passau übersandte mir freundlichst seine Originalaufzeichnungen über die Verlotung des Chiemsees. Den genannten Herrn sei auch an dieser Stelle nochmals aufrichtigst gedankt. Besonderen Dank aber schulde ich wiederum Herrn Professor Dr. Hermann Ebert an der Technischen Hochschule in München für die Überlassung sämtlicher Apparate wie die allseitige Förderung der Untersuchungen.

I. Die Beobachtungen.

1. Die Apparate.

Zu den Beobachtungen stand mir zunächst wieder ein Sarasinsches selbstregistrierendes Limnimeter¹⁾ zur Verfügung. Instrumente dieser Art hatten an den verschiedensten Seen Anwendung gefunden, um ein einheitliches Verfahren in der Beobachtungsmethode zu erhalten, und haben im allgemeinen sich gut bewährt. Auch bei den Untersuchungen in den Vorjahren wurden dieselben als sehr empfindlich befunden (s. P. I, S. 11). Die Störungen, welche durch die Verbindung von Pegel- und Registrierapparat mittels einer Gelenkstange entstanden, konnten bei der ständigen, persönlichen Überwachung rasch behoben werden. Da aber eine so häufige Kontrolle des Apparates wie früher mir jetzt nicht mehr möglich war, besonders wegen der größeren Ausdehnung des ganzen Beobachtungsnetzes, weisen die Limnogramme öfters die abgeschnittenen Kurvenzüge auf, welche einen Fehler bis ± 5 mm enthalten können. Die gleichen Erfahrungen hatte schon W. Halbfuß beim Horster Limnimeter am Madüsee²⁾ gemacht, wie die mitgeteilten Kurvenbeispiele ersehen lassen; dem

¹⁾ Eine eingehende Beschreibung durch H. Ebert findet sich in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. XXI, 193. J. Springer, Berlin 1901.

²⁾ W. Halbfuß, Stehende Seespiegelschwankungen (Seiches) am Madüsee in Pommern. Zeitschrift für Gewässerkunde, 6. Bd., 2. H., 1903.

genannten Forscher war eine persönliche Kontrolle der Apparate bei der weiten Entfernung vom See unmöglich. Auch die japanischen Seichesforscher berichten von unbefriedigenden Ergebnissen mit den Limnimetern,¹⁾ wobei die Aufzeichnungen eines solchen Instrumentes mit einem daneben aufgestellten, von ihnen konstruierten, das den Schreibstift direkt an der Schwimmerstange trägt, nicht übereinstimmen. Die von E. Sarasin auf Grund seiner reichen Erfahrung auf dem Gebiete der Seichesforschung konstruierten Apparate waren eben zunächst für eine Aufstellung auf Steinmauern oder in festgebauten Badehäusern gedacht, wo eine Verschiebung von Pegel- und Registrierapparat nicht leicht möglich ist, und die dicht bewohnten Schweizer Seen erlaubten auch immer eine so feste Aufstellung und sorgsame Überwachung. Dazu kommt, daß die Instrumente fast immer an größeren Seen verwendet worden waren, wo die Schwingungsamplituden gewöhnlich über 1 cm betragen, so daß Fehler von dem erwähnten Betrage nicht so störend wirken. Bei den in neuester Zeit untersuchten Seen fehlte aber jede Gelegenheit zu einer derartigen festen Aufstellung, weshalb die Instrumente auf eigens geschlagenen Pfählen oft weit in den See hinaus — wie am Madüsee — gestellt und dort dem Wellengang, Wind und Wetter ausgesetzt waren. Daß dabei jederzeit Verschiebungen zwischen Pegel- und Registrierapparat eintreten können, ist klar und unvermeidlich. Die Sarasinschen Instrumente in der jetzigen Form sind daher besonders für kleinere Seen, wo die Amplituden 1—2 mm gewöhnlich nicht übersteigen, nicht immer zu gebrauchen.

Die Sarasinschen Limnimeter lassen sich jedoch durch einfache Abänderungen, wie sie zur Zeit an den beiden Instrumenten der K. B. Akademie vorgenommen werden, auch in den genannten Fällen brauchbar machen. Der getrennte Pegelapparat ist überflüssig und der Schwimmer wird direkt über die beiden Rollen des Registrierapparates gehängt, welche

¹⁾ H. Ebert, Über neuere japanische Seenforschungen. Zeitschrift für Instrumentenkunde, XXIII, Nov. 1903, S. 345. J. Springer, Berlin.

die Schiene mit dem Schreibstift tragen. Der Schwimmer hängt hierbei an einem Kupferbände, das an der Schiene selbst mittels Druckschrauben festgeklemmt werden kann. Da die eine Rolle in der Mitte ihres Umfanges gezahnt ist, wird das Band seiner ganzen Länge nach in zwei schmale Bänder gespalten oder man verwendet statt des Doppelbandes nach Chrystal¹⁾ zwei Drähte, welche in zwei Riefen über die Rollen geführt sind. Dadurch ist erreicht, daß man dem abgeänderten Linnimeter jederzeit seine frühere Form wiedergeben kann, wenn an einem See die Verhältnisse dafür günstig sind. Am anderen Ende des Bandes hängt ein Gegengewicht. Durch diese Anordnung ist außerdem der Schreibstift in direkter Verbindung mit dem Schwimmer und die oben besprochenen Störungen fallen weg. Weiterhin bietet die Anordnung den Vorteil, daß der Schutzzylinder unmittelbar zwischen den Pfählen, welche den Apparat tragen, befestigt werden kann und dadurch einen festeren Halt bekommt. Je nach den Veränderungen des Pegelstandes kann die Schiene mit dem Schreibstift auf dem Bande nach Lockerung der Schrauben verschoben werden.

Auch Professor Chrystal hat die Sarasinschen Linnimeter für die Beobachtungen an den schottischen Seen für nicht immer geeignet befunden und dieselben in ähnlicher Weise bereits abgeändert und außerdem ein neues Instrument konstruiert, das sich bereits bei den Untersuchungen bewährt hat.¹⁾ Bei dem letzteren hängt der Schwimmer mittels eines Stahlbandes über zwei Gleitrollen, wie oben bei der Abänderung des Sarasinschen Linnimeters angegeben ist, an dessen anderem Ende ein Gegengewicht sich befindet. An dem Bande ist nun nicht direkt der Schreibstift befestigt wie beim Plantamour'schen Limnographen,²⁾ wo infolge der Reibung des Stiftes auf dem Papier der Stift schiefgestellt und ein störender Fehler entstehen kann, sondern auf dem Streifen wird ein kleiner

¹⁾ Die folgende kurze Beschreibung ist einer gütigen brieflichen Mitteilung des Herrn Prof. Dr. Chrystal entnommen.

²⁾ E. v. Chohnoky, Limnologie des Plattensees. Wien 1897.

Wagen befestigt, der einerseits auf zwei Rädchen mit Einkerbungen am Rande über einer kantigen Schiene läuft und anderseits auf einer Rolle mit flachem Rand auf einer eben solchen Schiene gleitet. Dieser kleine Wagen trägt den Schreibstift, der dabei schief auf dem Papier liegt. Hierdurch ist eine leichte und fehlerfreie Bewegung des Stiftes erreicht und außerdem ein Hemmen des Streifenganges durch den eindrückenden Stift vermieden. Den gleichen Wagen verwendete Chrystal auch bei den abgeänderten Sarasinschen Instrumenten. Die Schiene des ursprünglichen Limnimeters, welche den Schreibstift trägt, bleibt dabei weg, dafür werden die beiden oben genannten Schienen daneben befestigt. Statt des Stahlbandes benützte Chrystal hierbei auch zwei Drähte, wie schon oben erwähnt, welche in je zwei in die Rollen des Sarasinschen Limnimeters eingeschnittenen Rinnen laufen. Mit einem solchen abgeänderten Limnimeter wurden bereits Beobachtungen an Seen angestellt und diese lieferten Kurvenzüge, welche alle jene Einzelheiten aufweisen, wie ich sie mit meinem Limnimeter erhalten habe, wovon ich mich an einem von Chrystal freundlichst übersandten Original-Limnogramme selbst überzeugen konnte. Zugleich verwendet Chrystal Tintenstifte und dazu Papier mit feinerer Oberfläche, was sich bei dem schiefstehenden Stifte vollständig bewährt hat.

Als zweites Limnimeter benützte ich das von mir selbst konstruierte Instrument,¹⁾ das im folgenden zum Unterschied vom Sarasinschen Limnimeter kurz transportables genannt ist. Dasselbe war zu Beobachtungen an Zwischenpunkten hergestellt worden und hat sich auch bei den weiteren Beobachtungen am Chiemsee und besonders bei den Untersuchungen am Wagingersee und an kleineren Weihern wegen seiner Handlichkeit und großen Empfindlichkeit als sehr geeignet erwiesen. Dadurch ferner, daß die Aufzeichnungen mehrerer Tage (bis zu acht Tagen bei geringer Amplitude) untereinander auf

¹⁾ Eine kurze Beschreibung desselben mit Abbildung s. P. I, S. 33. und Zeitschrift für Instrumentenkunde. J. Springer, Berlin, 24. Juni 1904

denselben Streifen kommen, sind die Limnogramme sehr übersichtlich. Beim langsamen Streifengang (pro 1^h 2 cm) fällt auch die häufige Bedienung weg.

Endlich wurde wieder das Zeigerlimnimeter¹⁾ zu Ablesungen des Wasserstandes an korrespondierenden Punkten häufig gebraucht. Der verwendete Zeiger erlaubte die Ablesungen des Wasserstandes in achtfacher Vergrößerung und zwar wurde gewöhnlich von Minute zu Minute abgelesen, wozu sich auch Hilfsbeobachter benützen ließen.

2. Die Limnogramme.

Die Aufzeichnungen der Linnimeter sind am Chiemsee meistens Interferenzkurven von zwei und häufig von mehr als zwei Schwingungen, wie ich sie in P. I, S. 12 u. ff. eingehender besprochen habe. Die Entzifferung solcher Limnogramme verlangt daher immerhin eine Übung, welche man sich am besten durch künstliches Entwerfen mehrerer einfacher Kurven von verschiedener Dauer und Danebenzeichnen von Interferenzkurven derselben verschafft.

Die Dauer der einzelnen Seiches erhält man am genauesten und sichersten an den Knotenlinien der nächsten Oberschwingungen. Das ist aber nur an Seen mit vorwiegender Längsrichtung der Fall. Am Chiemsee dagegen, wo Schwingungen nach verschiedenen Richtungen auftreten, sind auch an den genannten Knotenlinien die einzelnen Schwingungen nicht genauer zu messen. Man ist daher auf die Bestimmung der Dauer aus Interferenzkurven angewiesen. Es wurde dabei wieder so verfahren, daß nur längere Seichesreihen benützt wurden, welche in der zu messenden Schwingung ausklangen. An der Hand der künstlich hergestellten Interferenzkurven konnten außerdem die höchsten und tiefsten Stellen der Einzelschwingungen hinreichend genau herausgefunden werden. Dabei war besonders auf eventuelle Phasenänderungen zu achten.

¹⁾ Eine Beschreibung desselben s. P. I, S. 7 und Dr. A. Petermanns geographische Mitteilungen, 1904, 12. H., S. 1.

Außerdem mußten die ersten Kurvenzüge einer jeden Reihe gewöhnlich weggelassen werden, weil sie keine periodischen Bewegungen des Seespiegels, sondern durch denivellierende äußere Ursachen erzwungene Bewegungen verzeichnen. Auf diese Bewegungen, die Chrystal zum Unterschied von den Seiches, welche „freie“ Schwingungen der Wassermasse sind, „erzwungene“ genannt hat,¹⁾ werde ich bei den Ursachen der Seiches ausführlich zurückkommen. Hier sei nur erwähnt, daß diese Kurvenzüge nie symmetrische Gestalt haben, wie die reinen Sinuskurven, so daß die Gefahr einer Verwechslung mit freien Schwingungen nicht leicht möglich ist. Findet man daher einen oder mehrere symmetrisch verlaufende Kurvenzüge von annähernd gleicher Dauer, so darf man darin eine neue Schwingung vermuten und wird sie bei genauer Durchsicht der Linnogramme öfters herausfinden. Auf diesem Wege habe ich eine neue Seiche von 54 Min.-Dauer und andere seltenere Schwingungen aus den früheren Linnogrammen nachträglich herausgefunden. Außerdem ist diese Bemerkung, die ich aus meinen Erfahrungen an sämtlichen Seen als erwiesen annehmen darf, besonders wichtig für die kurzdauernden Untersuchungen mit dem Zeigerlimnimeter, welche gewöhnlich nur wenige Kurvenzüge liefern. Eine Verwechslung mit dikroten Schwingungen ist ebenfalls ausgeschlossen, weil bei diesen der auf- und absteigende Ast der Kurvenzüge ebenfalls nicht symmetrisch verläuft. Eine Ausnahme nur habe ich bei den sogenannten Schwebungen beobachtet.

Nähern sich nämlich die Periodendauern zweier Schwingungen, so kommen n solche längerer Dauer auf $n + 1$ solche kürzerer Dauer, wobei $n = \frac{T'}{T - T'}$, wenn „ T “ die längere Dauer und „ T' “ die Dauer der kürzeren Periode ist; „ n “ ist dabei gewöhnlich nicht rational. Ich habe diese Kurvenzüge Schwebungen genannt, weil dieselben die graphische Dar-

¹⁾ Chrystal, On the Hydrodynamical Theorie of Seiches; Trans. Roy. Soc. Edinburgh 51. III. No. 25. Im folgenden zitiert mit H. T. S.

stellungen der sogenannten Schwebungen in der Akustik sind. Man sieht hierbei symmetrische Kurvenzüge, aber die Amplituden der einzelnen aufeinanderfolgenden Schwingungen wachsen bis zu einem Maximum (gleich der Summe der Amplituden der einzelnen Schwingungen) und nehmen in der gleichen Zeit wieder ab bis zu einem Minimum (der Differenz der Amplituden), um das Spiel zu wiederholen. Die Dauer einer solchen Schwebung ist hierbei $n \cdot T = (n + 1) \times T'$ (Min.). Ich habe schon darauf hingewiesen, daß ein Phasenvergleich der Einzelschwingungen an zwei Stationen sehr erleichtert und auch ohne ganz genaue Zeitmarke möglich ist; laufen nämlich die Kurvenzüge parallel, so haben beide Schwingungen an den betreffenden Stationen gleiche oder beide entgegengesetzte Phase; ist der Gang der Schwebungen entgegengesetzt, so hat die eine gleiche Phase, die andere entgegengesetzte (vgl. P. I, S. 16). Liegen dagegen nur einzelne Kurvenzüge, also keine ganze Schwebung vor, wie es bei Aufnahmen mit dem Zeigerlimnimeter gewöhnlich der Fall ist, so kann ein Vergleich der Kurvenzüge zu ganz falschen Ergebnissen führen, worauf ich später zurückkommen werde. Chrystal weist auch daraufhin, daß die Perioden höheren Nodalität, weil sich dieselben mit der Knotenzahl immer mehr nähern, am Ende der Längsachse schwer herauszufinden sind. Das ist auch der Grund dafür, daß die Kurven an den Enden der Hauptachse oft recht kompliziert werden. Denn schon drei Schwingungen von nahe gleicher Periodendauer z. B. von 11, 10 und 9 Min.-Dauer geben eine sehr komplizierte Kurve. Darin hat auch die verwickelte Form der Kurven in Seebruck, am Nordende des Chiemsees (s. P. I, S. 26) und diejenige der Limnogramme in Luzern am Vierwaldstättersee seinen Grund.¹⁾

¹⁾ Ed. Sarasin, Beobachtungen über die Seiches des Vierwaldstättersee; übersetzt von Trutmann. Mitteilung der Naturforscher-Gesellschaft in Luzern 3. 1903/04.

3. Die früheren Beobachtungen.

Nachdem durch Experimente an einem Beckenmodelle des Chiemsees und durch Beobachtungen mit dem Zeigerlimnimeter erwiesen war, daß Schafwaschen im Aiterbachwinkel, am Westufer des Sees, und Seebruck, am Nordufer, die Enden der Hauptschwingungsachse sind, war dort je ein selbstregistrierendes Sarasinsches Limnimeter aufgestellt worden. In Schafwaschen, dem Aufstellungsorte am Westufer (s. Karte auf Tafel II, Station I), stand das Instrument vom 14. April 1902 bis 1. Februar 1903 und in Seebruck das zweite Limnimeter vom 23. Juni 1902 bis 15. Februar 1903 (s. Tafel II, Station II). Um die komplizierten Schwingungsverhältnisse aufzuklären war ein drittes Instrument notwendig, das leicht transportiert und rasch aufgestellt werden konnte. Ich hatte zu diesem Zwecke im Mai 1902 das oben erwähnte transportable Limnimeter konstruiert. Dasselbe war in der Zeit vom 21. Juli bis 15. November 1902 nach und nach an 8 rings um den See verteilten Punkten aufgestellt worden und zwar nacheinander 1. in Feldwies, am Südufer, 2. in Felden, am westlichen Ende des Südufers, 3. in Mühlen, nördlich der Herreninsel, 4. in Stock, westlich der Herreninsel, 5. in Gstadt, nordwestlich der Fraueninsel, 6. in Arlaching, am Nordostufer, 7. in Chieming, am Ostufer und 8. in Hagenau, am Südostufer. Die Punkte selbst sind mit den laufenden Nummern in die Karte auf Tafel II eingetragen. Die Ergebnisse an diesen Stationen sind in P. I, S. 17—47 ausführlich mitgeteilt. Weil wir im folgenden wiederholt darauf zurückkommen müssen, seien nochmals in beiliegender Tabelle die an jedem Punkte beobachteten Seiches und für jede Seiche das Amplitudenverhältnis zu einer Vergleichsstation angegeben, wobei die Amplitude an derselben gleich 100 gesetzt ist. Das beigelegte Zeichen gibt die gleiche (+), beziehungsweise entgegengesetzte Phase (—) in bezug auf die Vergleichsstation an. Ist die betreffende Schwingung an einer Station nicht aufgefunden worden trotz eines Vergleiches mit dem gleichzeitigen Limnogramme einer anderen Station, so ist

Die Beobachtungen des Jahres 1902/03.

Station	Amplituden und Phasen der Seiches von folgender Dauer in „Min.“												Größte Amplitude	
	43	37 1/2	29	18	16	12 1/2	11	9 1/2	8	7	5	4		3
I. Schaf- waschen	+100	+100	+100	+20	0	0	+20	0	+25	0				300
II. Seebrock	-17		+29		+100	0	+100	+100	+100	+100	+100	+100	+100	300
1. Feld- wies	(-20)		0	+56	-93	+100	0	-100	+200	-25		()	()	80
2. Felden	+14		-68	+60	+67	+	0	0	0	0	()	()	()	38
3. Mühlen	0		-58	-74	-120	(-) 50	0	-100	-100	-100			()	60
4. Stock	+87		-90		+20		(0)						+	6
5. Getadt	0		-10	-11	-98		(-) 10	(+) 10						7
6. Arla- ching	-15		+84	-28	+57		+94	0	-47	+200				15
7. Chie- ming	-10		+89	-33	-44		+25	-(10)	+20					16
8. Hage- nau	0		+42	+100	-157		+94	+150	-()					32

die Amplitude 0 gesetzt; ist sie zweifelhaft, so ist die Rubrik freigelassen. In der ersten Rubrik stehen die Stationen, in der zweiten die Amplituden und Phasen der 43 Min.-Seiche, in der dritten die der $37\frac{1}{2}$ Min.-Seiche u. s. w., in der letzten ist die größte Doppelamplitude des Beobachtungsortes in Millimetern angefügt.

Auf Grund dieser Ergebnisse, wozu noch Beobachtungen an 10 weiteren Punkten mittelst des Zeigerlimnimeters kamen, konnten die Knoten und Bäuche einer größeren Zahl von Schwingungen zum Teil genau angegeben werden (vgl. P. I, S. 47—57).

4. Die neuen Beobachtungen in Schafwaschen (I).

Aus den einleitend schon erwähnten Gründen wurden nun im Frühjahr 1904 die Untersuchungen wieder aufgenommen. Zunächst wurde das Sarasinsche Limnimeter in Schafwaschen an der gleichen Stelle wie in den Vorjahren wieder aufgestellt. In dem genannten Winkel des Sees hatten sich die beiden Hauptschwingungen des Sees mit ihrer größten Amplitude gezeigt und da mir diesmal nur ein Sarasinsches Instrument zur Verfügung stand, war dieser Punkt der geeignetste um als feste Vergleichsstation für die Beobachtungen an den Zwischenpunkten zu dienen. Außerdem standen mir in Seebruck die Aufzeichnungen des dortigen registrierenden Seepegels zur Verfügung, welche die Seiches, wenn auch nur in zehnfacher Verkleinerung, so doch deutlich genug anzeigten, um die einzelnen Schwingungen herausfinden zu können. An der genannten Stelle stand das Limnimeter vom 14. April bis 10. Juli, von wo ab die Wassertiefe infolge der raschen Senkung des Seespiegels durch die Tieferlegung so gering wurde, daß eine Neuauflistung notwendig wurde. Etwa 100 m nördlicher wurde dieselbe vorgenommen, an einer Stelle, wo die Wassertiefe bei 0 cm Herrenwörther Pegel (im folgenden mit H. P. abgekürzt) immer noch 1,5 m betrug. Um keine Unterbrechung in der Beobachtung eintreten zu lassen, registrierte dort das transportable Limnimeter vom 1. Juni bis 10. Juli

ununterbrochen den Wasserstand. Von da ab war das Sarasinsche Instrument in Tätigkeit bis 1. Januar 1905, wo beginnende Eisbildung weitere Beobachtungen verhinderte. Bei dem Tauwetter Ende Februar wurden die Beobachtungen wieder aufgenommen; dabei war die ganze Bucht noch unter starker Eisdecke. Unerwarteter Eisgang am 12. März unterbrach die Untersuchungen, da das Instrument ans Ufer geschoben und beschädigt wurde. Ende Mai gelang es wieder, dasselbe an der gleichen Stelle in Tätigkeit zu setzen, bis Ende Juli die Beobachtungen beendet werden konnten. Die Bedienung hatte wieder wie in den Vorjahren Herr Gasthofbesitzer B. Mayer in freundlichster Weise übernommen.

Im folgenden werden nun die Seiches, welche aus den Aufzeichnungen in Schafwaschen herausgefunden wurden, geordnet nach ihrer Dauer aufgezählt.

1. Die 54 Min.-Seiche. Die Schwingung wurde erst nachträglich bei der abermaligen Vermessung der Limnogramme des Jahres 1902 als eigene Seiche des Sees erkannt. Die größte Reihe umfaßt aber nur sechs Schwingungen und die Amplitude¹⁾ erreicht nur 10 mm. Sie ist dabei auch nur bei hohem Wasserstande (über 80 cm H. P.) zu finden; da dieser Wasserstand in der weiteren Beobachtungszeit nicht mehr erreicht wurde, ist die Schwingung auch aus den neuen Limnogrammen nicht mehr herauszufinden. Als Mittel aus den gemessenen Reihen ergibt sich 53,8 Min. (größte Dauer 55,2 Min., kleinste 51,6 Min.), weshalb sie kurz 54 Min.-Seiche genannt sei.

2. Die 43 Min.-Seiche. Wie in den Vorjahren ist sie auch jetzt noch die eigentliche Seiche dieser Station und wenn nicht rein, so doch in dikroter Form fast immer zu erkennen. Die größte gelegentliche Doppelamplitude betrug im Jahre 1902 300 mm, im Jahre 1904 160 mm und 1905 185 mm. Dabei nimmt aber die Amplitude aufeinanderfolgender Schwingungen

¹⁾ Unter Amplitude ist hier wie im folgenden immer der Abstand des tiefsten und höchsten Punktes einer Schwingung verstanden.

rasch ab und die Reihen der Seiches sind im Verhältnis zu anderen Seen kurz. Die Dämpfung ist merkwürdigerweise bei hohem Wasserstande eine stärkere als bei niedrigem. Die Dauer der Seiche änderte sich auch diesmal stark mit dem Pegelstande und zwar ging der Wasserstand von 30 cm H. P. auf — 57 cm H. P. während der Beobachtungszeit zurück (infolge der Tieferlegung) und die Dauer nahm mit dem Pegelstande vom höchsten Werte von 42,10 bis 39,34 Min. ab, so daß der Mittelwert dieser Beobachtungszeit und zugleich des neuen Mittelwasserstandes von 0 cm H. P. 40,8 Min. rund 41 Min. beträgt. Die Seiche sei daher von jetzt ab 41 Min.-Seiche genannt. Auf die Veränderungen der Periodendauer im einzelnen werde ich später zurückkommen.

3. Die $37\frac{1}{2}$ Min.-Seiche ist nur an einigen Interferenzkurven der 41 Min.-Seiche zu erkennen. Da die Dauer derjenigen der ersteren sich nähert, bilden die beiden gleichzeitig auftretenden Schwingungen die früher mit Schwebung bezeichnete Form einer Interferenzkurve, wobei auf sechs Schwingungen von 41 Min. sieben solche von rund 36 Min. kommen. Die Dauer hat also um ungefähr $1\frac{1}{2}$ Min. gegen früher abgenommen und wird daher im folgenden 36 Min.-Seiche genannt.

4. Die frühere 29 Min.-Seiche ist auch diesmal neben der 41 Min.-Seiche am häufigsten im Schafwaschner Limnogramme zu finden. Rein tritt sie nie auf; nur zu Zeiten, wo die 41 Min.-Seiche rascher gedämpft wird, klingen manche Reihen in der 29 Min.-Seiche aus. Zeitweise zeigt sich dieselbe mit auffallend kleiner Amplitude. Die größte überhaupt gemessene Amplitude betrug diesmal 80 mm. Die Dauer der Seiche änderte sich von 28,99 Min. im Mittel bis 28,1 Min. Bei dem jetzigen Mittelwasser ist dieselbe 28,5 Min., weshalb sie nun $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche heißt.

5. Die 18. Min.-Seiche ist sehr selten in Schafwaschen zu erkennen. Nur wenn die Amplituden der Hauptschwingungen klein sind, konnte sie und auch dann nur einige Male

deutlich erkannt und ihre Phase und Amplitude mit anderen Punkten verglichen werden.

6. Die 11 Min.-Seiche ist aus den neuen Aufzeichnungen nur einmal deutlich herauszufinden. (2. Juni bei + 14 cm H. P.)

7. Die frühere 8 Min.-Seiche. Diese Schwingung zackt die Kurven jetzt häufiger aus und ist besonders im Momente des Eintrittes einer starken Denivellation immer und mit größerer Amplitude vorhanden. Doch sind gewöhnlich nur kurze Reihen zu messen. Auffällig ist, daß sie bei niedrigem Wasserstande und zwar bei — 54 cm H. P. in sehr langen Reihen, bis 89 Schwingungen nacheinander, und mit bedeutender Amplitude, bis 40 mm, auftritt. Einmal war dabei sogar der ganze Schafwaschner Winkel noch unter starker Eisdecke. Die Dauer dieser Seiche hat besonders stark abgenommen und zwar in der ganzen Beobachtungszeit von 8,57 Min. bis 6,40 Min., das sind um 25 % der ursprünglichen Dauer, worauf ich ebenfalls später noch zurückkommen werde. Sie sei daher zum Unterschied von der 8 Min.-Seiche des Weitsees 6,4 Min.-Seiche genannt.

8. Die 3,8 Min.-Seiche. Diese ist nur einmal bei Pegel — 54 cm zu messen gewesen und ist eine neue Seiche, welche früher, auch bei der nochmaligen Durchsicht der Limnogramme, nicht herauszufinden war.

5. Die Beobachtungen an weiteren Zwischenpunkten.

Um die Amplituden und Phasen der einzelnen Seiches an den verschiedenen neuen Beobachtungspunkten miteinander vergleichen zu können, wurden häufig das Schafwaschener Limnimeter und das transportable Limnimeter von mir persönlich kontrolliert und mit übereinstimmenden Zeitmarken versehen. Dabei wurde beim Beobachtungsgange um den See und beim Vergleich der Limnogramme besonders auf die häufiger auftretenden Seiches geachtet, da bei den selten auftretenden Seiches oft wochenlange Aufzeichnungen hätten umsonst sein

können. Häufig wurden nach der Kontrolle der Apparate noch gleichzeitige Aufzeichnungen an korrespondierenden Punkten mit dem Zeigerlimnimeter gemacht und auch diese beim Vergleich der Phasen und Amplituden der Seiches, wie sie in dem Ergebnisse in den folgenden Tabellen zusammengestellt sind, benützt. In den Tabellen selbst steht unter „*T*“ die aus dem betreffenden Limnogramme gemessene Dauer der Seiches in Minuten. Ist die Rubrik freigelassen, so konnte die Schwingung an dieser Stelle wohl beobachtet, aber mit ihrer Dauer nicht gemessen werden. Unter „*n*“ steht die Anzahl der Schwingungen der längsten dort aufgetretenen Reihe. Unter „Auftreten“ ist angegeben, wie oft die Schwingung gefunden wurde; unter „*a*“ steht die größte dort gemessene Amplitude in Millimetern, unter Vergleichsstation der Ort, mit welchem die Amplituden und Phasen der betreffenden Schwingungen verglichen wurden; unter „*V*“ das Amplitudenverhältnis des Beobachtungsortes und des Vergleichspunktes in Prozenten, wobei das zugefügte Zeichen die Phase der Schwingung angibt und zwar das „+“ Zeichen die gleiche und das „-“ Zeichen die entgegengesetzte Phase. Die Nummern der Stationen geben an, in welcher Reihenfolge dieselben verwendet wurden; mit diesen Nummern sind sie auch in die Karte eingetragen (siehe Tafel II).

Die Beobachtungsergebnisse an den Zwischenpunkten.

Station	$\frac{H}{Z}$	Seiche	T in Min.	n	Auftreten	α	Vergleichsstation	V	Bemerkungen
9. Ringgang Nord, am inneren Ende des Ringanges; vom 22. — 25. 5. 04; bedient v. B. Mayer.	1	41 Min.-S.	42,3	18	immer	32	Schafwaschen	+78	*Schätzung. *ganz unerwartet. in Schafwaschen nicht.
	2	36 "	36,5	14	2 mal	10	"	+ (70)*	
	3	28 1/2 "	28,55	12	öfters	19	"	+ 42*	
	4	8 "	8,10	12	2 mal	2	"		
10. Harras, am Ende des 200 m langen Ufervorsprunges; vom 17. — 22. 8. 04.	1	41 "	28,7	15	selten	10	"	+30	} Schwebungen. kurze Schwebungen mit 6.
	2	28 1/2 "	18,00	16	sehr oft	50	"	-100	
	3	18 "	(15,60)	25	häufig	10	"	+100	
	4	16 "	(7,9)	10	sehr häufig	30	Seebruck	(+100)	
11. Stock, 300 m nördlich Stock 4; vom 14. — 17. 8. 04.	1	41 "	26,4	24	häufig	4	Schafwaschen	+40	Zeitmarke nicht genau. Schafwaschen nicht.
	2	28 1/2 "	—	10	sehr häufig	10	"	-75	
	3	18 "	—	10	öfters	5	"	(?)* 100	
	4	16 "	—	2	1 mal	2	"		
	5	9 1/2 "	9,8	37	häufig	3	"		
12. Osternach, 1 km nördlich Stock 4; v. 22. 8. — 2. 9. 04.	1	41 "	28,67	12	"	15	"	+59	also Knoten. Schafwaschen Störung. nicht. "
	2	28 1/2 "	18,2	20	"	10	"	-38	
	3	18 "	—	20	"	5	"	-100	
	4	16 "	10,70	16	nicht	4	"		
	5	9 1/2 "	9,80	22	1 mal	4	"		
6	8 "	8,20	8	sehr häufig öfters	4	"			

13. Ringang Süd, am äußeren Ende des Ringanges; vom 6.—9. 9. 04.	1	41 Min.-S.	40,60	12	immer	14	Schafwaschen	+ 65	hier reine Sinuskurve. Schafw. nicht zu erkennen. also Knoten.
	2	36 "	36,00	14	2mal nicht	2	" 30 mm	- 25	
	3	28 1/2 "			1mal	1	Seebuck	(?) 15	
	4	16 "	15,68	6	"	1	"	—	
	5	11 "	10,72	17	häufig	2	Schafwaschen		
	6	9 1/2 "	9,90	14	1mal	3	"		
	7	8 "	8,30	7		1	"		
14. Kailbach, am Ende des gleich- namigen Winkels; vom 9.—25. 9. 04.	1	41 "	28,54	24	selten	5	"	+ 25	Schafwaschen nicht. Schwebung mit 9 1/2 Min.
	2	28 1/2 "	18,04	50	häufig	25	Mühlen	- 56	
	3	18 "	18,04	50	immer	22	"	+ 150	
	4	12 1/2 "	12,4	18	nicht öfters	5	Feldwies*	+ 40	
15. Herreninsel Nordspitze, 100 m südlich der Kapelle; vom 25. 9. bis 1. 10.; bedient vom K. Bauführer Maurer.	1	41 "	28,51	90	nicht	12	Schafwaschen 52 mm	- 60	*Pegeldiagramm.
	2	28 1/2 "	18,20	25	häufig	16	"	- ()	
	3	16 "	15,80	16	sehr häufig	4	Kailbach	+ 57	
	4	8 "	8,2	19	öfters	2	Seebuck*	- 20	
	5	5 1/2 "	5,5	6	seiten 2mal	1	"		
16. Herreninsel Südostspitze, an der Westseite der Landzunge; vom 1.—10. 10. 04.; bedient von Bau- führer Mauret.	1	41 "	18,00	80	nicht	12	Schafw. 130 mm	- 97	also Knoten.
	2	28 1/2 "			4mal	18	Felden*	+ 140	
	3	16 "	5,48	20	immer	10	Seebuck* 20 mm		
	4	5 1/2 "	40,20	6	nicht	2	"	- 5	
17. Fraueninsel, an der Mitte des Ostufers; vom 19. bis 20. 10. 04.; be- dient von Ober- fischer Marx.	1	41 "	17,8	10	1mal	2	Schafwaschen	+ ()	*Zeigerlimnimeter. *Pegeldiagramm.
	2	28 1/2 "	15,45	20	nicht	4	Herrninsel Süd*	+ 100	
	3	16 "	8,2	15	öfters	9	Fraueninsel West*	- 45	
	4	8 "	7,10	8	sehr häufig	3	Seebuck*		
	5	7 "			seiten	1	"		

15. Seebruck (Station II). Nach den Beobachtungen an den Zwischenpunkten wurde das transportable Limnimeter am 29. Oktober 04 nach Seebruck gebracht und zuerst etwa 100 m östlich des früheren Beobachtungspunktes aufgestellt. Es sollten hier die Dauer und Häufigkeit der Schwingungen des Weitsees nach der Tieferlegung beobachtet werden. Aus den früheren Beobachtungen war erwiesen, daß an diesem Punkte alle Seiches des Weitsees mit größerer Amplitude auftreten. Das Limnogramm war wieder meistens sehr kompliziert; doch traten wie in den Vorjahren auch diesmal sämtliche Seiches zeitweise in einfacheren Kurven deutlich genug auf, um ihre Dauer daraus messen zu können. Außerdem sollten hier die Seeschwankungen des Sees für die Untersuchung der Ursachen den Winter über beobachtet werden; da die Schafwaschener Bucht sich jeden Winter und frühzeitig schon mit Eis bedeckt, der See in Seebruck, am Ausflusse aber immer eisfrei bleibt, war die Registrierung des Wasserstandes im Winter nur hier möglich. Herr Oberauer, der auch den registrierenden Alzpegel bedient, übernahm wieder die Überwachung des Instrumentes. Derselbe nahm auch selbständig zweimal eine Versetzung des Limnimeters vor, nachdem eine solche durch die Änderungen des Wasserstandes notwendig geworden war. Das Instrument funktionierte hier ununterbrochen bis 8. April 1905. In folgender Tabelle sind die Beobachtungen zusammengestellt. Da keine Vergleichsbeobachtungen in dieser Zeit vorliegen, sind hier statt der früheren Rubriken nur die gemessene mittlere Dauer „ T “ der betreffenden Seiche, die größte Anzahl aufeinanderfolgender Schwingungen „ n “, die Häufigkeit und die größte Amplitude „ a “ angefügt.

Die Beobachtungen in Seebruck in den Jahren 1904/05.

Nr.	1904/05					1902/03			
	Seiche	T in Min.	n	Auftreten	a	T	n	Auftreten	a
1	41 Min.-S.	41,00	10	selten	10	42,68	8	selten	7
2	28 ¹ / ₂ „	28,5	6	„	15	28,99	8	„	9
3	18 „	18,00	33	öfters	30	18,19	25	öfters	37
4	16 „	15,40	60	immer	100	15,8	50	immer	40
5	11 „	—	—	nie	—	10,75	46	sehr häufig	123
6	9 ¹ / ₂ „	9,50	12	öfter	15	9,49	18	selten	10
7	8 „	8,34	69	sehr häufig	25	8,22	20	häufig	8
8	7 „	7,20	38	häufig	30	7,01	31	„	50
9	6 ¹ / ₂ „	6,50	20	selten	10	—	—	nie	—
10	5,7 „	5,70	15	„	5	—	—	nie	—
11	5 „	—	—	nie	—	5,00	12	selten	4
12	4 „	—	—	selten	—	4,12	72	öfters	15
13	3 „	—	—	nie	—	3,00	30	häufig	25

Die zum Teil sehr merklichen Änderungen der Schwingungsdauer der Seiches und der Häufigkeit ihres Auftretens infolge der Tieferlegung können wir erst nach der Feststellung der Schwingungsachse und der Schwingungsbäuche und Knoten der einzelnen Seiches näher besprechen.

II. Die Schwingungsformen des Chiemsees.

1. Die 41, 36 und 54 Min.-Seiche.

Die Amplitudenverhältnisse, welche aus den mittleren Amplituden möglichst deutlicher Schwingungsreihen an zwei verschiedenen Stationen gebildet wurden und die in obigen Tabellen bereits mitgeteilt sind, wurden für die häufiger auftretenden Seiches in die beiliegende Karte auf Tafel III Fig. 1 bis 5 eingetragen. Die Amplitude an einem Ende der Schwingungsachse ist dabei = 100 gesetzt. Die eingefügten Zeichen (+ und —) geben die Schwingungsphasen an den betreffenden Punkten an; dieselben wurden in den See selbst eingetragen und zwar so, daß ihre Dichtigkeit ein Bild der Größe der

Amplitude gewähren kann. Die (+ und —) Zeichen sind dabei in Reihen senkrecht zur horizontalen Wasserbewegung, also senkrecht zur Schwingungsachse angeordnet. Die Knotenlinien sind durch stark ausgezogene Linien angedeutet. Die Amplituden Verhältnisse selbst können natürlich keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, da die Amplituden zweier Punkte nach der Theorie nicht einmal in ganz regelmäßigen Seebecken in konstantem Verhältnisse stehen. Doch gibt die gewonnene Verhältniszahl einen guten Anhalt, um auf die Entfernung des betreffenden Punktes von der Knotenlinie zu schließen.

Die 41 Min.-Seiche ist nach dieser Zusammenstellung auf Taf. III Fig. 1 die uninodale Längsschwingung des Chiemsees mit der Schwingungsachse Schafwaschen-Seebruck. Die Knotenlinie geht durch die Südspitze der Herreninsel gegen Mühlen zu. Die Kommunikation nördlich der Herreninsel nimmt ebenfalls an der Schwingung teil, wie die Beobachtungen an der Nordspitze der Herreninsel und in Kailbach ergeben haben. Dabei hat Schafwaschen die sechsfache Amplitude von Seebruck, wie schon früher hervorgehoben wurde (s. P. I, S. 48). Das Amplitudenverhältnis nähert sich nach den neuen Ergebnissen noch mehr dem umgekehrten Verhältnis der beiden Seeflächen, wie sie durch die Knotenlinie voneinander getrennt werden, weil der größere Teil des Mühlener Winkels noch zum östlichen Teile kommt. Das Verhältnis ist das größte bis jetzt an Seen beobachtete. Daß die Fraueninsel die Amplitude — 5 hat, während das von der Knotenlinie entferntere Hagenau und Gstad 0 haben, läßt vielleicht schließen, daß an den seichten Ufern die Amplituden geringer sind als in der Mitte des Sees; dies wäre eine Bestätigung der Vermutung, wie sie Chrystal und Mac-lagan-Wedderburn auf Grund theoretischer Betrachtungen ausgesprochen haben.¹⁾

¹⁾ Chrystal and Mac-lagan Wedderburn „Calculation of the periods and nodes of lochs Earn and Treig, from the bathymetric data of the scottish Lake-Survey. Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh 41. III 1905.

Die 36 Min.-Seiche (frühere $37\frac{1}{2}$ Min.-Seiche) war bei den ersten Untersuchungen nur in dem Schafwaschener Limnogramme und da nur in der Höchstzahl von neun aufeinanderfolgenden Schwingungen beobachtet worden. Nun liegen neue Beobachtungen von dieser Seiche am Ein- und Ausgang des Rinnganges vor. Dort ist sie häufiger und deutlicher zu erkennen, weil die $29\frac{1}{2}$ Min.-Seiche speziell am Ausgang ganz fehlt und die 41 Min.-Seiche kleinere Amplituden als in Schafwaschen hat. Da die Amplitude der 36 Min.-Seiche am Rinngang kleiner ist als in Schafwaschen und die Schwingung an beiden Punkten gleiche Phase hat, ist sie gegen Schafwaschen und nicht gegen Kailbach gerichtet, wie früher vermutet (s. P. I, S. 64). Auch die Beobachtung im Kailbachwinkel bestätigt dies, da die Seiche dort nie aus dem Limnogramme herauszufinden ist, wo sie doch die größte Amplitude hätte haben müssen. Daß sie im Weitsee aus den Aufzeichnungen der Limnimeter nicht herausgefunden werden konnte, erklärt sich aus dem nämlichen Grunde, warum die 41 Min.-Seiche dort so lange nicht nachzuweisen war; sie muß eben dort gemäß dem Verhältnisse der größeren schwingenden Flächen eine bedeutend kleinere Amplitude haben als in Schafwaschen, wo dazu die Amplitude der 36 Min.-Seiche selbst nie bedeutend war. Eine günstige Beobachtung bei den Vorversuchen im Jahre 1901 aber verzeichnet in Chieming einen symmetrischen Kurvenzug von genau 36 Min.-Dauer mit nur $1\frac{1}{4}$ mm Amplitude; die Beobachtung dauerte 52 Min., so daß nur ein ganzer Kurvenzug vorliegt. Aus den früher erwähnten Gründen (S. 307) darf man in nur einem solchen symmetrischen Kurvenzuge eine eigene Schwingung des Sees erblicken. Die Beobachtungen deuten also darauf hin, daß wir in der 36 Min.-Seiche eine uninodale Schwingung Schafwaschen—Südufer—Chieming gefunden haben, wenn die Wassermasse nur südlich der Herreninsel schwingt, wofür wir weiter unten an der Hand der Theorie noch eine Bestätigung finden werden.

Die 54 Min.-Seiche konnte nur aus den früheren Limno-

grammen herausgefunden werden und da nur bei hohem Wasserstande (über 80 cm H. P.). Da die Schwingung in der Zeit, wo Zwischenbeobachtungen gemacht wurden, nämlich seit 20. Juni 1902 überhaupt nicht mehr oder nur in 1 bis 2 Schwingungen von wenigen Millimetern Amplitude aufgetreten ist — es blieb eben der Wasserstand immer unter 80 cm —, so liegen für diese Seiche keine Vergleichsbeobachtungen vor und es können solche wohl kaum mehr beschafft werden, da der See wohl nie mehr längere Zeit einen so hohen Wasserstand erreichen dürfte. Dennoch glaube ich mit großer Wahrscheinlichkeit in der 54 Min.-Seiche eine uninodale Schwingung in der Richtung Schafwaschen — Nordufer der Herreninsel — Chieming gefunden zu haben. Als Seiche längs der größten Achse haben wir nämlich schon die 41 Min.-Seiche durch direkte Beobachtung nachweisen können. Eine Schwingung erhält nach Chrystal¹⁾ aber eine verhältnismäßig große Periode, wenn das Becken am Knoten konvex ist. Und bei Urfahren erhebt sich der Seeboden bis 12 m unter Wasser und gleichzeitig findet sich hier eine starke Einschnürung des Sees mit einer Breite von 500 m. Ein Beispiel einer ungewöhnlichen Periodenverlängerung durch die ganz gleichen Umstände habe ich am Wagingersee gefunden, wo die Hauptschwingung bei einer Seelänge von nur 11 km eine Dauer von 62 Min. hat.²⁾ Auch der Umstand, daß die Seiche von 54 Min. nur bei hohem Wasserstand auftrat, spricht für die Annahme. Bei Hochwasser nämlich ist der Querschnitt des Sees an der Stelle Urfahren — Herreninsel ungefähr 500 m breit und hat dann bei einer mittleren Tiefe von rund 4 m eine Fläche von rund 2000 m². Bei den flachen Ufern nimmt aber die Breite des Querschnittes mit dem Wasserstande rasch ab; sie beträgt nach meinen Schätzungen bei dem jetzigen Mittelwasser nur noch rund 400 m, so daß der Querschnitt

¹⁾ Chrystal, H. T. S. zitiert S. 307.

²⁾ A. Endrös, Die Seiches des Waginger—Tachingersee; diese Sitzungsberichte Bd. 35. 1905, H. III, S. 447.

bei einer mittleren Tiefe von $2\frac{1}{2}$ m nur mehr 50 % des vorigen, nämlich 1000 m^2 ausmacht. Die Periode muß sich nach Chrystal mit der Verkleinerung des Querschnitts bedeutend verlängern und die Dämpfung noch stärker werden, als sie an sich schon ist. In der Tat finden sich nur mehr 1 bis 2 Kurvenzüge vor. Ein weiterer Umstand spricht für obige Annahme, nämlich daß die Schwingung nur bei plötzlichem Nachlassen des reinen Ostwindes zweimal in Reihen bis zu sechs Schwingungen aufgetreten ist. Auf die Stichtichtigkeit dieses Argumentes möchte ich aber erst bei Besprechung der Ursachen der Seiches näher zurückkommen.

Wir haben sonach am Chiemsee das merkwürdige Ergebnis, daß der See drei uninodale Seiches verschiedener Dauer hat, wovon alle drei ein Ende der Schwingungsachse, nämlich das westliche, gemeinsam haben; während das östliche Ende der einen, der 41 Min.-Seiche, am Nordende, in Seebruck, sich befindet, schwingen sehr wahrscheinlich die beiden anderen gegen Chieming. Dies Ergebnis entspricht ganz der Oberflächen- und Beckenform des Sees, bei der Chieming als Ende einer Seeachse ebenso in Betracht kommt wie Seebruck; die Geographen haben in der Tat auch zum größten Teile die Länge des Sees von Schafwaschen nach Chieming oder Grabenstädt hin gemessen,¹⁾ obwohl die Entfernung Irschner Winkel—Seebruck etwa 500 m länger ist. Die Teilung des Beckens durch die Herreninsel schafft dazu zwei Wege für die sich bei der Seichesbewegung west- und wieder ostwärts bewegenden Wassermassen, welche wegen der verschiedenen Tiefe Perioden von verschiedener Dauer bedingen. Schwingt das Wasser überwiegend in dem nördlichen Rinnale, so haben wir die 54 Min.-Seiche, im anderen Falle die 36 Min.-Seiche. Jedenfalls stören sich die beiden Schwingungen gegenseitig, worin wohl auch ein Grund für das seltene und kurze Auftreten der einen wie der anderen zu suchen ist. In der Seichesliteratur haben wir schon ein Beispiel für zwei

¹⁾ E. Bayberger, Der Chiemsee, S. 8 zit. S. 298.

uninodale Längsschwingungen, nämlich am Neuenburgersee.¹⁾ E. Sarasin, der die größeren Schweizer Seen auf ihre Seiches untersucht hat, wählte eigens diesen See wegen seiner ausgesprochenen Längsrichtung und regelmäßigen Umrißform und erwartete dort dementsprechend regelmäßige Schwingungsverhältnisse zu finden. Die Untersuchung aber ergab ganz unregelmäßige Seiches, unter welchen eine Schwingung von 50 Min. und eine zweite von 39,5 Min., aber nur in Reihen von höchstens 5 bis 10 Schwingungen zu messen waren. Am Neuenburgersee teilt nämlich ein unterseeischer Rücken, der sich stellenweise bis 8 Meter unter Wasser erhebt, das Becken in zwei Rinnen, wovon die westliche in der Mitte eine größte Tiefe von 153 m, die östliche aber nur von 94 m erreicht. Die Eigenschwingungen der beiden Teilbecken müssen deshalb verschiedene Dauer haben und stören sich auch gegenseitig, wie Sarasin selbst erwähnt. Die 39,5 Min.-Seiche ist sehr wahrscheinlich die uninodale Seiche der westlichen und die 50 Min.-Seiche diejenige der östlichen Rinne, worauf Forel ausdrücklich aufmerksam macht.²⁾ Am Chiemsee sind die Umstände für zwei Schwingungen verschiedener Dauer noch günstiger, da hier der trennende Rücken als Insel sich noch über den Wasserspiegel erhebt.

2. Die uninodalen Seiches und die Theorie.

Die P. Du Boyssche Methode der Berechnung der Perioden einknotiger Seiches hatte speziell für den Chiemsee einen mit der Beobachtung sehr befriedigend übereinstimmenden Wert ergeben. Die Dauer der Hauptschwingung war bei Mittelwasser vor der Tieferlegung zu 42,68 Min.³⁾ beobachtet und zu 42,22 Min. berechnet worden

¹⁾ Ed. Sarasin, Les Seiches du Lac de Neuchâtel; Arch. de Genève 28. 256.

²⁾ Forel, Le Léman II, S. 158.

³⁾ Bei den folgenden theoretischen Betrachtungen sind zunächst nur die Mittelwerte des früheren Wasserstandes und die früheren Tiefen benützt.

(P. I, S. 59), welcher Wert sich mit Benützung der neuen Lotungen zu 43,0 Min. erhöht und der damaligen Beobachtung also noch näher kommt. Seit dem hat nun Chrystal eine neue exakte Theorie der Seiches veröffentlicht.¹⁾ Die neue Theorie hat bereits am Loch Earn und Treig²⁾ sehr befriedigende Resultate geliefert und zwar nicht nur für die uninodalen, sondern auch für die mehrknotigen Seiches, bei welchen die Du Boyssche Theorie vollständig versagt hatte. Auch die Ergebnisse am Waginger-Tachingensee³⁾ wurden nur durch die Chrystalsche Theorie verständlich.

Obwohl nun der Chiemsee schon im voraus zu einer exakten Behandlung nach der Chrystalschen Theorie nicht geeignet sich erweist, da er sehr rasche Querschnittsänderungen besitzt und dazu eine große Breitenentwicklung gegenüber seiner Längenausdehnung hat, habe ich dennoch die Normalkurve des Sees längs der Achse der 41 Min.-Seiche gezeichnet, welche auf Taf. II links oben mitgeteilt ist. Dazu wurden 18 Querschnitte senkrecht zum erwähnten Talwege Seebruck-Südufer-Schafwaschen gelegt, wie sie in der Karte auf Taf. II angedeutet und numeriert sind. Dieselben wurden in vergrößertem Maßstabe gezeichnet, ihre Flächeninhalte gemessen, mit der Oberflächenbreite multipliziert und als Ordinaten in die Kurve eingetragen, deren Abszissen die Seeflächen von Seebruck bis zu dem betreffenden Querschnitte sind. Im Maßstab der Ordinaten ist 1 mm = 10^7 m³ und dem der Abszissen 1 mm = 50³ m³.

Eine besondere Schwierigkeit bei Aufstellung der Normalkurve bieten an unregelmäßigen Seen und besonders am Chiemsee die Verzweigungen des Talweges. So laufen vom tiefsten Punkte des Weitsees aus eine Rinne gegen Seebruck-Ost, eine zweite gegen Seebruck-West, eine dritte gegen Mühlen, eine vierte gegen Grabenstädt und eine fünfte gegen Chieming.

¹⁾ Chrystal, H. T. S., zit. S. 307.

²⁾ Chrystal and E. Maclagan-Wedderburn, Calculation, zit. S. 320.

³⁾ Endrös, Die Seiches des Waginger-Tachingensees; diese Zeitschrift 35, 1905 H. III, S. 460.

Doch ist für die 41 Min.-Seiche auf Grund der zahlreichen Beobachtungen ein Zweifel über die Richtung des Talweges fast ausgeschlossen.

Aus der so erhaltenen Normalkurve treten ganz deutlich die vier plötzlichen Querschnittsänderungen bei Punkt 9, 12, 15 und 17 hervor. Dieselben üben jedenfalls auf die Dauer der einzelnen Schwingungen je nach der Entfernung der betreffenden Einschnürungen von den Knotenlinien einen bedeutenden Einfluß aus. Außerdem verursachen sie sehr wahrscheinlich die Instabilität mancher Schwingungen, deren Knoten in die Nähe dieser Seestellen fallen, ohne mit denselben genau zusammenzufallen. Auf die Dauer der 41 Min.-Seiche übt wohl besonders die konvexe Stelle bei Punkt 12 der Normalkurve eine verlängernde Wirkung aus, da der Knoten dieser Schwingung dorthin fällt. Eine exakte Berechnung der Seicheskonzanten, welche auch an der vorliegenden Kurve trotz der Einengungen durch Annähern an Stücke von Parabeln und geraden Linien nach Chrystal vorgenommen werden könnte, kann aber aus einem weiteren Grunde keine brauchbare Annäherung liefern. Die Koordinaten des Kurvenzuges im Insee sind gegenüber denjenigen für den Weitsee verschwindend klein und ihre Verhältnisse gehen in die zur Auswertung der Seicheskonzanten vorzunehmenden Rechnungen ein.

Da man also am Chiemsee auf die Anwendung der exakten Theorie verzichten muß, ist man auf Annäherungsformeln angewiesen und da gerade hier die P. Du Boyssche Theorie einen so gut übereinstimmenden Wert für die Dauer der 41 Min.-Seiche geliefert hat, möchte ich im folgenden an der Hand der Chrystalschen Theorie kurz untersuchen, für welche Beckenformen die genannte Formel brauchbare Werte für die uninodele Schwingungsdauer ergibt.

P. Du Boys gelangte, wie Chrystal durch seine neue Theorie uns lehrt, durch ungenaue Anwendung der Theorie fortschreitender Wellen, sogenannter „Einzelwellen“, auf die stehenden Wellen zu der Formel: $T = 2 \int_0^l \frac{dl}{\sqrt{gh}}$, wobei T die

Dauer der uninodalen Seiche eines Becken von der Länge l und der veränderlichen Tiefe h bedeutet. Die Integration ist dabei längs der Linie der größten Tiefe vorzunehmen. Die Unzulänglichkeit dieser Formel ist besonders deutlich ersichtlich bei der Anwendung derselben auf vier verschiedene Chrystalsche Seentypen, nämlich auf einen See mit symmetrisch parabolischem Längsschnitt und einen solchen mit halb parabolischen, von denen also ersterer seine größte Tiefe in der Mitte und letzterer an einem Ende der Längsachse hat, ferner auf einen See, dessen Längsschnitt aus zwei symmetrisch gegen die tiefste Stelle geneigten Geraden besteht und einen derartigen, dessen Längsschnitt eine einzige, gegen die am Seende befindliche größte Tiefe geneigte, gerade Linie ist. Die vier Seen sollen sämtliche die gleiche Länge „ l “ und dieselbe Maximaltiefe „ h “ besitzen und außerdem konstante Breite und überall rechteckigen Querschnitt haben. Die Gleichung zwischen der veränderlichen Tiefe h und der Länge x hat bei den beiden erstgenannten, den parabolischen Schnitten, die Form:

$$y = h \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)$$

und bei den geradlinigen die Form:

$$y = h \frac{x}{a},$$

wobei a bei den symmetrischen Seen $= \frac{l}{2}$, der halben Seelänge, und bei den asymmetrischen $= l$, der ganzen Seelänge ist. Die Integration ergibt für beide parabolischen Kurven:

$$T = \frac{\pi l}{\sqrt{g h}}$$

und für beide geradlinigen:

$$T = \frac{4 l}{\sqrt{g h}} = 1,27 \frac{\pi l}{\sqrt{g h}}.$$

Der Übersicht halber stelle ich in folgender Tabelle die nach Du Boys berechnete Dauer mit der von Chrystal nach seiner exakten Theorie berechneten zusammen und füge in der letzten Rubrik die Abweichung der Du Boysschen Dauer in Prozenten „ $d T_D$ “ an:

Form des Längsschnittes	T nach Du Boys	T nach Chrystal	$d T_D$ in %
1. Parabolisch	$1,00 \frac{\pi l}{\sqrt{g h}}$	$0,70 \frac{\pi l}{\sqrt{g h}}$	+ 43
2. Halbparabolisch	1,00 „	0,82 „	+ 22
3. Symmetrisch geradlinig	1,27 „	0,83 „	+ 65
4. Geradlinig	1,27 „	1,05 „	+ 21

Aus der Tabelle ersieht man zunächst deutlich, daß die uninodale Schwingungsdauer für alle vier Seentypen nach P. Du Boys zu groß wird und zwar bei symmetrischen Seen viel mehr als bei asymmetrischen. Ferner soll nach P. Du Boys ein symmetrisch parabolischer See dieselbe Dauer haben wie ein halb parabolischer und ein symmetrisch geradliniger die gleiche wie ein geradliniger. Die P. Du Boyssche Formel nimmt eben keine Rücksicht auf die Lage des Knotens in Bezug auf die größte Tiefe. Chrystal macht uns die Schwingungsverhältnisse verständlich durch das Beispiel einer vertikal gespannten schwingenden Saite, wobei nur die Längs- und Querbewegungen zu vertauschen sind. Wie nämlich eine Saite mit der geringsten Dichtigkeit in der Mitte eine kleinere Schwingungsdauer besitzen muß als eine gleichlange, deren geringste Dichtigkeit am Ende ist, so muß ein See mit der größten Tiefe in der Mitte auch eine kleinere uninodale Schwingungsdauer haben als ein solcher, der seine größte Tiefe am Ende hat. Die beiden Schwingungsvorgänge stimmen wegen der Analogie der ihnen zugrunde liegenden Differentialgleichungen vollständig überein.

Aus obigen Betrachtungen lernen wir den Grund kennen, warum die P. Du Boyssche Formel gerade für die Haupt-

schwingung des Chiemsees eine so gute Annäherung ergibt. Der Chiemsee, der ein vollständig konkaver See ist, hat nämlich eine zu große Schwingungsdauer im Verhältnis zu seiner Länge und Tiefe, weil der Knoten nicht an die tiefste Stelle des Sees fällt, sondern im seichten Insensee liegt und dazu noch mit einer plötzlichen Beckeneinengung zusammenfällt. Letztere bewirkt ebenso wie die geringe Tiefe eine Verlängerung der Periode, wie ich besonders am Waginger-Tachingensee gefunden habe.¹⁾ Zum Vergleiche möchte ich hier die Abweichungen der nach P. Du Boys berechneten Dauer von der beobachteten für eine Anzahl von Seen anfügen. Dieselbe beträgt am Chiemsee $+ 1\%*$,²⁾ am Vierwaldstättersee $+ 2\%*$, am Genfersee ebenfalls $+ 2\%$,³⁾ am Loch Treig $+ 12\%$,⁴⁾ am Madüsee $+ 17\%*$, am Starnbergersee $+ 18\%*$, am Loch Earn $+ 22\%$,⁴⁾ am Bodensee $+ 23\%*$, am Wagingersee $+ 31\%*$ der beobachteten Dauer. Wie für den Chiemsee, so gibt also auch für den Genfer- und Vierwaldstättersee die P. Du Boyssche Formel sehr angenäherte Werte für die Periodendauer der uninodalen Seiches. In allen drei Seen ist eben der Knoten gegen das seichtere Ende des Sees hin verschoben und fällt dazu an eine plötzliche, starke Einschnürung des Beckens. Die Dauer wird durch beide Umstände so verlängert, daß sie der sonst bedeutend zu großen Dauer nach P. Du Boys sich nähert. Die Dauer nach Du Boys weicht aber um so mehr ab, je näher der Knoten der tiefsten Stelle des Sees zu liegen kommt, wie beim Loch Earn, beim Bodensee und Wagingersee. Somit ist auch durch die Ergebnisse an den bereits untersuchten Seen bestätigt, daß die P. Du Boyssche Formel in konkaven, stark asymmetrischen Seen eine gute erste Annäherung für die Periode der uninodalen Seiche eines Sees ergibt, daß aber dieselbe um so stärker abweicht, je näher der Knoten der tiefsten Stelle eines Sees liegt.

¹⁾ A. Endrös, Die Seiches des Waginger-Tachingersees, zit. S. 322.

²⁾ Die mit * bezeichneten Zahlenangaben habe ich selbst berechnet.

³⁾ Forel, Le Léman II S. 124.

⁴⁾ Chrystal und Maclagan-Wedderburn, Calculation, zit. S. 320.

Da die Beckenverhältnisse für die 36 Min.-Seiche des Chiemsees in der Richtung Schafwaschen-Stüdufer-Chieming ganz ähnliche wie bei der 41 Min.-Seiche sind, dürfen wir auch zur Berechnung dieser Schwingungsdauer die P. Du Boyssche Formel benützen. Die Berechnung ergibt in der genannten Richtung 38,2 Min., also einen Wert, der mit dem bei früherem Mittelwasser beobachteten von $37\frac{1}{2}$ Min. auf + 3% übereinstimmt. Wir dürfen daher in dieser guten Übereinstimmung eine Bestätigung unserer Deutung der Beobachtungsergebnisse erblicken.

Wenden wir zur Berechnung der Dauer der 54 Min.-Seiche die Du Boyssche Theorie an, so erhalten wir in der Richtung Chieming-Urfahren-Schafwaschen 36,1 Min. Die Dauer bleibt also bedeutend unter dem beobachteten Werte und zwar um 33%. Das Gleiche konnte ich bei der Hauptseiche des Wanger-Tachingersees konstatieren, wo die berechnete Dauer von 36 Min. um 44% unter der beobachteten von 62 Min. zurückbleibt. Ich habe schon oben S. 322 auf die ganz ähnlichen Beckenverhältnisse längs der Schwingungsachsen der beiden Seiches hingewiesen. Der Knoten beider Schwingungen fällt nämlich mit einer seichten und stark eingeeigten Seestelle zusammen, so daß die Seen in der Mitte konvex sind, wodurch nach der Chrystalschen Theorie die betreffende Periodendauer stark verlängert wird. Die genannte Theorie gibt nämlich für einen See mit konvexem parabolischen Längsschnitt für $T = 0,61 \frac{\pi l}{\sqrt{g h}}$, wobei h die kleinste Tiefe am Scheitel der

Parabel ist, und nach P. Du Boys erhält man $0,26 \frac{\pi l}{\sqrt{g h}}$, also eine Dauer, welche um 55% unter der nach der exakten Theorie berechneten zurückbleibt. Wir sehen sonach, daß auch theoretisch die Schwingung in der angenommenen Richtung möglich ist.

Die Lage der Knoten der uninodalen Seiches kann mit Vorteil nach der Du Boysschen Theorie berechnet werden. Am Wangersee konnte ich wiederholt auf das

übereinstimmende Ergebnis von Berechnung und Beobachtung hinweisen. Auch der Knoten der 41 Min.-Seiche am Chiemsee fällt nach Berechnung sehr nahe mit dem beobachteten Knoten südöstlich der Herreninsel zusammen. Der Knoten der 36 Min.-Seiche fällt nach Berechnung $1\frac{1}{2}$ km westlicher und derjenige der 54 Min.-Seiche in den Mühlener Winkel. Die beiden letzten Knoten konnten aus den schon angegebenen Gründen nicht beobachtet werden.

3. Die Änderungen der Dauer der uninodalen Seiches.

Die Dauer der 41 Min.-Seiche änderte sich am Chiemsee stark mit dem Pegelstande. Da der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Stande 166 cm beträgt, dürfte es von Interesse sein die früheren Beobachtungen mit den neuen zusammenzustellen, was in folgender Tabelle geschehen ist. In der ersten Rubrik steht die Zeit, in welcher die betreffenden Messungen gemacht wurden; in der zweiten der Pegelstand in cm H. P.; in der dritten die Mittelwerte der Dauer in Min., in der vierten abweichende Mittelwerte in der beigefügten Zeit bezw. bei dem angegebenen Pegelstande (vgl. P. I., S. 62).

Die Dauer der 41 Min.-Seiche und der Pegelstand.

Beobachtungszeit	Pegel	T in Min.	Abweichende Mittelwerte
2. 4.—4. 7. 1902	109 bis 86	43,90	zwischen 3. 4. und 2. 5. 44,05 zwischen 24. 5. und 4. 7. 43,75
3. 5.—22. 5. 1902	86 „ 68	43,34	
7. 7.—25. 8. 1902	68 „ 50	42,83	
1. 9.—6. 11. 1902	50 „ 30	43,13	bei Pegel 40 bis 30 : 43,56
9. 11.—11. 1. 1903	30 „ 10	42,15	bei Pegel 22 bis 19 : 40,65
28. 4.—9. 5. 1904			
25. 5.—8. 6. 1904			
9. 5.—24. 5. 1904			
29. 8.—25. 9. 1904	+ 10 „ — 10	41,38	
19. 6.—10. 7. 1904	— 10 „ — 30	41,00	
25. 9. 4. 12. 1904			
10. 7.—26. 8. 1904	— 30 „ — 57	39,72	bei Pegel — 40 bis — 50 : 39,34
14. 12.—12. 3. 1905			bei Pegel — 50 bis — 57 : 40,07

Die Dauer der Hauptseiche des Chiemsees hat also von 44,05 Min. bis 39,34 Min., das ist um 11 % des Mittelwertes abgenommen, als der Pegelstand von 109 cm bis — 57 cm H. P. zurückging. Die Dauer bei Mittelwasser vor der Tieferlegung war 42,68 Min. und ist jetzt 41,00 Min. Die Abnahme der Dauer bei Abnahme der Tiefe ist, wie früher schon hervorgehoben wurde, auf die starke Abnahme der Achsenlänge in der Schafwaschener Bucht zurückzuführen. Das Ufer läuft dort sehr flach aus, so daß beim Rückgang des Wasserstandes von Pegel 109 bis 68 cm die Achsenlänge um rund 100 m sich verkürzte, das ist um die Breite des früheren Überschwemmungsgebietes. Von Pegel 68 bis ungefähr Pegel — 30 wurde die eigentliche Uferzone, die mit Schilf bewachsen und ungefähr 40 m breit ist, trockengelegt. Die ganze Verkürzung der Länge der Achse beträgt also rund 150 m, das ist aber nur 0,8 % der ganzen Achse. Die Verkürzung der Dauer beträgt aber 11 %, soll jedoch der Theorie nach unter 0,8 % bleiben, da die Abnahme der Tiefe um 166 cm, das sind rund 2 % der größten Tiefe, die Dauer der Theorie nach verlängern muß (l steht linear im Zähler, h in der $\frac{1}{2}$ Potenz im Nenner). Es kann daher nur die Seichtheit dieses freigewordenen Uferstreifens die Dauer so beeinflussen. Wir dürfen daher aus dieser Beobachtung am Chiemsee schließen, daß seichte Ufer auch von geringer Breite die Periodendauer der Seiches verhältnismäßig stark verlängern. W. Halbfuß hat die gleiche Erscheinung am Madüsee beobachtet, wo sich die uninodale Seiche von 35,5 Min. bei einer Zunahme des Wasserstandes um rund 60 cm auf 36,4 verlängerte, das ist um 2,5 %. Die Ufer an den Enden des Sees sind dort ebenfalls sehr flach, so daß die Achse um ungefähr 400 m länger wird, worin auch Halbfuß die Ursache hierfür erblickt (S. 81).

Einzelne scheinbare Abweichungen sind am Chiemsee zu verzeichnen. Während z. B. die Dauer bis zum Pegelstand 50 cm auf 42,83 Min. abgenommen hat, nahm dieselbe zwischen Pegel 40 und 30 cm deutlich bis zum Werte 43,56 Min. zu,

welche Beobachtung mit derjenigen in den Vorjahren übereinstimmt. Der Grund ist nur der, daß bei Pegel 50 cm das eigentliche Seebecken, dessen Begrenzung eine rund 20 cm hohe Grasböschung bildet, gerade ausgefüllt war und daß also die Achse sich bis 30 cm Pegel nicht änderte, sondern nur die Tiefe und daher die Dauer zunehmen mußte (s. P. I, S. 62). Das Gleiche wiederholte sich bei Pegel — 40 und — 50 cm. Nach der Zone des Schilfes fällt nämlich das Ufer senkrecht auf eine Tiefe von 60 cm ab und das Wasser war bei Pegel — 50 bis zu dieser Stelle zurückgegangen und die Dauer, welche auf 39,34 Min. im Mittel zurückgegangen war, nahm von Pegel — 50 bis — 57 bis 40,07 Min. wieder zu. In der Veränderung der Dauer spiegelt sich die Terrassenform des Ufers wieder. Die früher unter Eis gemessene Dauer endlich stimmt mit den Werten bei Pegel — 30 bis — 40 cm überein, beidesmal beträgt sie rund 41 Min. Die frühere Annahme (s. P. I, S. 64), daß das an das Ufer und das Schilf angefrorene Eis die Seichesbewegungen nicht mitmachen kann, also die Achse um die Breite der Schilfzone verkürzt wird, findet dadurch seine Bestätigung.

Auch die 36 Min.-Seiche hat gegen früher an Dauer abgenommen; da aber die Messungen früher und jetzt nicht genau sind, kann die Abnahme nicht besprochen, ja ihrem ungefähren Betrage nach nicht einmal angegeben werden. Die 54 Min.-Seiche trat nur bei hohem Wasserstande in meßbaren Reihen auf.

4. Die 28 $\frac{1}{2}$ Min.-Seiche.

In anliegender Kartenskizze Taf. III Fig. 2 seien wieder wie bei der 41 Min.-Seiche die Amplituden und Phasen der 19 Beobachtungspunkte eingetragen.

Die 28 $\frac{1}{2}$ Min.-Seiche ist also nach den Beobachtungen die binodale Seiche mit der Schwingungsachse Schafwaschen—Chieming. Die eine Knotenlinie verläuft östlich der Fraueninsel in fast nord-südlicher Richtung, die zweite, westliche, liegt am Eingang in

die Schafwaschener Bucht. Der mittlere Schwingungsbauch liegt vor Harras. Die frühere Deutung findet also durch die neuen Beobachtungen ihre Bestätigung. Die Wasserbewegung verzweigt sich hier, so daß die Kommunikationen nördlich und südlich der Herreninsel an der Schwingung teilnehmen und der mittlere Schwingungsbauch scheint da zu liegen, wo die Bewegungen südlich und nördlich der Herreninsel sich treffen. Die $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche ist also eine uninodale Seiche Chieming—Harras, deren Dauer sich wahrscheinlich wenig ändern würde, falls die Schafwaschener Bucht abgesperrt wäre. Die P. Du Boyssche Formel gibt für Chieming—Südufer—Harras rund 23 Min., für Chieming—Nordufer—Harras 24 Min. Die Dauer ist demnach nach Du Boys zu kurz; jedenfalls wirkt die Einengung des Beckens durch die drei Inseln nahe der östlichen Knotenlinie verlängernd auf die Dauer. Die Einengung bei Urfahren dagegen wirkt nicht besonders ein, weil dieselbe ferner dem Knoten liegt.

Die $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche ist ferner uninodale Schwingung Harras-Schafwaschen, deren Knoten durch die neuen Beobachtungen sehr genau an den Eingang in die Schafwaschener Bucht, also an eine starke Beckeneinschnürung fällt. Die P. Du Boyssche Regel ergibt für diese Strecke von 4,8 km Länge rund 15,7 Minuten, bleibt also um 54 % hinter der beobachteten Dauer zurück. Die Schwingung stimmt hierin mit der 54 Min.-Seiche unseres Sees und mit der 62 Min.-Seiche des Waginger-Tachingersees überein. Die Achsenlänge der westlichen Schwingung beträgt also nur 4,8 km gegen diejenige der östlichen von 13 km.

Die $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche ist sonach die binodale Schwingung zu der 36 Min.-Seiche. Das Verhältnis der Dauer der uninodalen und binodalen Seiche erhält hier den ungewöhnlich großen Wert von 1:0,77 (37,5:28,99). Am Wagingersee, wo das Verhältnis 1:0,70 beträgt, habe ich auf die vollständige Unzulänglichkeit der P. Du Boysschen Theorie und die Übereinstimmung des Ergebnisses mit der Chrystal'schen Theorie hingewiesen. Ganz dasselbe, was vom Waginger-

see bei der 11,78 Min.-Seiche gesagt wurde, gilt auch vom Chiemsee bei der $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche. Da am Wagingersee die starke Einschnürung bei Horn mit dem nördlichen Knoten der 11,8 Min.-Seiche zusammenfällt, wurde die Dauer derselben so verlängert und, da der westliche Knoten der $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche an den Rinnang und auch der östliche Knoten an die Beckeneinengung durch die drei Inseln fällt, wird die Dauer der binodalen Seiche des Chiemsees noch stärker verlängert.

Sehr lehrreich ist die Zusammenstellung der Periodenverhältnisse von Grund- und erster Oberschwingung der schon oben erwähnten Seen, geordnet nach der Größe dieser Periodenverhältnisse.

Unter T_1 steht hier die Dauer der uninodalen, unter T_2 diejenige der binodalen Seiche in Min. und unter V das Verhältnis in % der uninodalen Periode.

See	T_1 in Min.	T_2 in Min.	V in %
Chiemsee	37,5	28,99	77
Wagingersee	16,80	11,78	70
Starnbergersee	25,0	15,8	63
Chiemsee, Schafwaschner Bucht	6,4	3,8	59
See mit parabolischem Längsschnitt	100	58	58
Madtsee	35,5	20,3	57
Loch Treig	9,18	5,15	56
Loch Earn	14,5	8,10	56
Vierwaldstättersee	44,25	24,25	55
Tachingersee	12,6	6,25	49
Genfersee	73	35,5	48

Der Chiemsee, Wagingersee und Starnbergersee haben der Reihenfolge nach die weitaus größten Verhältnisse. Die anormale Verlängerung der Dauer der binodalen Seiches bei den beiden ersten Seen ist verursacht durch das Zusammenfallen einer bzw. beider Knotenlinien mit starken Beckeneinschnürungen, wie ich es oben und beim

Wagingersee eingehend besprochen habe. Das gleiche scheint auch am Starnbergersee der Fall zu sein, wo die südliche Knotenlinie wahrscheinlich mit der Einschnürung bei Unterzaismering zusammenfällt, wie auch H. Ebert schon seinerzeit das damals einzig dastehende, stark abweichende Verhältnis (64) begründet hatte.¹⁾ Die dortige Einengung ist aber nicht so stark wie am Wagingersee, so daß auch das Verhältnis unter dem am Wagingersee zurückbleibt. Beide letztgenannten Seen haben also ganz ähnliche Beckenform für die uninodale und binodale Schwingungsunterteilung. Einen großen Gegensatz bilden aber hier der Chiemsee und Genfersee; während die Beckenform für die uninodalen Seiches die ganz gleiche ist (vgl. S. 329), ist dieselbe für die binodale Unterteilung so verschieden, daß der Chiemsee an den Anfang der Tabelle und der Genfersee an den Schluß kommt. Während wir nämlich am Chiemsee auch an den Knoten der binodalen Seiche starke Einschnürungen haben, liegen die Knoten derselben am Léman weder an Einengungen des Beckens noch an besonders seichten Stellen, so daß die binodale Seiche mit sonst normaler Dauer unter der Hälfte der anormal großen Dauer der uninodalen Seiche zurückbleibt. Die Periodenverhältnisse bei den übrigen Seen nähern sich zum Teil sehr demjenigen von Chrystal für rein parabolische, konkave Seen berechneten Werte von 58, was mit ihrer regelmäßigen Gestalt auch im Einklang steht. Wir sehen aus den aufgezählten Beispielen, daß auch so verschiedene Verhältnisse der Periodendauern von Grund- und erster Oberschwingung, wie sie Halbfaß in letzter Zeit übersichtlich zusammengestellt hat,²⁾ vollkommen im Einklange mit der neuen Chrystalschen Theorie stehen.

Auch die Dauer der $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche nimmt nach den neuen Untersuchungen mit dem Pegelstande ab (größter

¹⁾ H. Ebert; diese Berichte 30, 1900 H. III, S. 456.

²⁾ W. Halbfaß, Seiches oder stehende Seespiegelschwankungen. Naturw. Wochenschrift von H. Potonié. Berlin 23. Oktober 1904.

Wert 29,00, kleinster 28,10). Die Abnahme beträgt aber nur 3^o und führt wegen dieses geringen Betrages nicht zu näheren Erörterungen. Jedenfalls kompensiert die Zunahme der Dauer durch die Querschnittsverkleinerung am Rinngang zum Teil die Abnahme derselben infolge der Achsenverkürzung an dem seichten Schafwaschener Ende. Zu erwähnen ist noch, daß diese Seiche bei mittlerem und niedrigem Wasserstande mit auffallend kleiner Amplitude und selten auftritt, was wahrscheinlich in Knotenverschiebungen infolge der Veränderung des Wasserstandes seinen Grund hat.

5. Die 18 Min.-Seiche und 15½ Min.-Seiche.

Bei der 18 Min.-Seiche haben sich, wie schon einleitend erwähnt, einzelne Änderungen gegenüber den früheren Annahmen ergeben. Der Grund war hauptsächlich die Interferenzkurve der Schwebung, an welcher man bei kurzen Beobachtungen die eine mit der anderen verwechseln kann. Die neuen Ergebnisse sind wieder wie bei den vorausgehenden Seiches in Fig. 3 auf Taf. III eingetragen.

Die 18 Min.-Seiche ist darnach die binodale Seiche Seebruck-Kailbach mit der ersten Knotenlinie etwas nördlich Chieming und der zweiten etwas südlich Stock. Infolge der Kommunikation nördlich der Herreninsel erfolgt die Schwingung auch auf diesem Wege und wird dadurch gleichzeitig Querseiche Mühlen-Weitsee. Endlich ist die Seiche infolge der weiteren Beckenunregelmäßigkeit, der Einengung am Rinngange, trinodale Seiche Seebruck-Schafwaschen mit dem dritten Knoten am Rinngang. Die Schafwaschener Bucht schwingt aber nur zeitweise in dem Takte der 18 Min.-Seiche mit, während im benachbarten Kailbach die Schwingung immer und mit größerer Amplitude auftritt. Diese Schwingung zeigt so recht, welche komplizierten Schwingungsverhältnisse in einem so unregelmäßigen Seebecken möglich sind.

Von Osternach bis Schafwaschen fällt also eine ganze uninodeale Seiche von 18 Minuten. Es ist an der langen Dauer

eben wieder die Einengung am Rinngang schuld, welche mit dem Knoten zusammenfällt. Das Verhältnis der uninodalen Seiche Seebruck-Schafwaschen zur binodalen ist $1:0.43$, also wieder verhältnismäßig groß (bei parabolischen Seen ist dasselbe nach Chrystal $1:0.41$)¹⁾, ebenfalls nur verursacht durch das Zusammenfallen des dritten Knotens mit dem Rinngange.

Für die $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche stellt die Ergebnisse Fig. 4 auf Taf. III dar. Darnach ist diese Schwingung die binodale Seiche in der Richtung Seebruck—Harras mit dem ersten Knoten an dem Ufervorsprung nördlich Chieming, bei Schützing und dem zweiten Knoten an der Südostspitze der Herreninsel, dem Knoten der 41 Min.-Seiche, unterbrochen durch die Herreninsel, gegen den Rinngang hin. Auch hier erfolgt die schwingende Bewegung des Wassers südlich und nördlich um die Herreninsel herum. Der mittlere Schwingungsbauch fällt in die Höhe der Spitze des Achenzifels, der westliche vor Harras. Da Mühlen eine so große Amplitude hat, fällt sehr wahrscheinlich zwischen Mühlen—Harras eine weitere uninodale Seiche, so daß wir die $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche die dreiknotige Seiche Seebruck—Harras—Mühlen nennen können. Zu beachten ist, daß die Schafwaschener- und Kailbacher-Bucht hierbei nicht mitschwingen, weil die horizontale Wasserbewegung bei dieser Seiche quer zu den Buchten erfolgt. Ein Beispiel hierfür haben wir schon in der Seicheliteratur; am Vierwaldstättersee teilt sich die Querschwingung von rund 18 Min. Dauer in der Richtung Küsnacht—Sandsstadt ebenfalls dem Hauptbecken nicht mit, weil die horizontale Wasserbewegung quer zur Hauptachse erfolgt.

Um die Theorie auch auf ein so kompliziertes Becken anzuwenden, habe ich die Dauer der $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche aus der Normalkurve berechnet. Dieselbe läßt sich bis zum Knoten dieser Schwingung bei Stöttham (von Punkt 0 bis 3) angenähert als gerade Linie darstellen. Die Dauer muß daher

¹⁾ Chrystal, H. T. S. Seite 623.

nach Chrystal $T' = \frac{2\pi l}{2,405\sqrt{gh}}$ sein, wobei für l die doppelte

Seefläche von Seebruck bis zum Knoten und h die Ordinate σ der Normalkurve zu setzen ist; es ergeben sich 10,5 Min. In gleicher Weise kann die Dauer der 18 Min.-Seiche aus der Normalkurve bestimmt werden. Die Schwingung ist nämlich die uninodale Seiche Seebruck—Herreninsel Südost, also die uninodale Seiche des Hauptzweiges der Normalkurve von Punkt 0 bis 12. Der Knoten fällt außerdem fast genau in die Mitte dieses Kurvenzuges. Wir können daher diesen Zweig angenähert als Parabel betrachten, deren Scheitelpunkt im Knoten ist. Für die Dauer $T = \frac{\pi l}{\sqrt{2gh}}$, wobei l die

Fläche bis zum Knoten der 41 Min.-Seiche $= 200 \cdot 5^5 \cdot 100 \text{ qm}$ und h die Ordinate der Kurve in der Mitte $= 90 \cdot 5^2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gesetzt ist, erhält man 15,4 Min. Beide berechneten Werte bleiben also bedeutend unter den beobachteten Dauern und zwar der für die $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche um 32% und der Wert für die 18 Min.-Seiche um 15%. Die Annäherung der Kurve einerseits an eine Gerade andererseits an eine Parabel sind wohl beidesmal nicht genau, aber die Abweichungen sind nicht so groß um diese bedeutenden Beträge, um welche die berechnete Dauer hinter der beobachteten zurückbleibt, verständlich zu machen. Jedenfalls sind die besonderen Verhältnisse des Sees wie die große Breite, die flachen Ufer u. a. die Ursachen der geringen Übereinstimmung.

6. Die Seiches kürzerer Dauer.

Die 8 Min.-Seiche (vgl. Taf. III Fig. 5) ist die nächste Oberschwingung zu der $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche, also die vierknotige Seiche Seebruck—Harras; die erste Knotenlinie befindet sich bei Arlaching, die zweite geht südlich Chieming gegen Gstadt, die vierte läuft von Felden unterbrochen durch die Insel gegen Stock. Beobachtungen zwischen dem Schwingungsbauche bei Feldwies und dem westlichen bei Harras fehlen. Die dritte Knotenlinie läuft zwischen Mühlen und

Gstadt östlich der Herreninsel vorbei gegen Süden. Von besonderem Interesse ist die Schwingung noch deshalb, weil sie bei höherem Wasserstande auch in Schafwaschen aufgetreten ist und mit Seebruck gleiche Phase hatte. Die Eigenschwingung des Schafwaschener Winkels betrug nämlich bei höherem Wasserstande, zwischen 60 und 30 cm H. P., ungefähr 8,10 Min. und die Bucht machte dann die Schwingungen in gleichem Takte mit. Die 8 Min.-Seiche war auf diese Weise zeitweilig die sechsknotige Seiche Seebruck—Schafwaschen, wobei die beiden Kommunikationen südlich und nördlich der Herreninsel an der Schwingung teilnahmen. Diese Schwingung pflanzte sich im Gegensatze zur 15½ Min.-Seiche wohl nur deshalb in den Winkel hinein fort, weil ein Schwingungsbauch an den Eingang fällt, während bei der 15½ Min.-Seiche ein Knoten in der Nähe des Einganges liegt und die Wasserbewegung quer zum Eingang der Bucht stattfindet. Auch bei niedrigem Wasserstande wurde in Rinngang Süd und Nord die 8,2 Min.-Seiche noch beobachtet, aber in Schafwaschen ist diese Seiche nie mehr verzeichnet.

Die Eigenschwingung der Schafwaschener Bucht hat sich mit dem Wasserstande stark geändert. Bei Pegel 109—80 umfaßte sie : 8,57 Min., von Pegel 60 bis 30 cm : 8,10 Min., von da ab tritt die Schwingung sehr selten auf. Bei Pegel + 15 ist eine Reihe mit 7,15 Min. Dauer zu messen, eine weitere bei Pegel — 17 mit 6,67 Min. Erst bei Pegel — 54 tritt die Seiche wieder häufig und in sehr langen Reihen auf. Die Dauer hat dabei den geringsten Betrag von 6,40 Min. erreicht. Die starke Abnahme um 2,17 Min., das sind 34 % der nunmehrigen Dauer, erklärt sich eben aus der Verkürzung der Achse im Schafwaschener Winkel und zwar um den sehr seichten Uferrand. Der Vorgang kann aber nicht in der gleichen Weise wie bei der 41 Min.-Seiche verfolgt werden, weil die Schwingung oft gar nicht zu messen war. Daß sich auch später noch der Schwingungsbauch vor der Bucht in dieselbe hinein verlagerte, sieht man aus den

Limnimeterbeobachtungen am Rinngang sowohl als besonders aus Messungen von Seichesströmungen am Rinngang, bei welchen eine deutliche Periode von 8,2 Min. zu erkennen ist, worüber ich in einer eigenen Schrift Näheres mitteilen werde. Da die Bucht eben nicht mehr abgestimmt ist, schwingt sie nicht mehr mit und die Bewegungen können nur mehr erzwungene Schwingungen sein, wie ich sie am Waginger-Tachingersee beobachtet habe. Die Amplitude derselben ist aber, wie auch die der 17 Min.-Seiche im Tachingersee, nur klein, so daß sie aus dem unruhig verlaufenden Schafwaschener Limnogramme nicht zu erkennen ist.

Eine Seiche von 4 Min. wurde in Seebruck, Feldwies und Felden mit fast genau gleicher Dauer gemessen. Obwohl ein Phasenvergleich wegen der kurzen Periode und der geringen Zahl aufeinanderfolgender Schwingungen nicht möglich war, so glaube ich dennoch mit großer Wahrscheinlichkeit in ihr die weitere Oberschwingung von der $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche suchen zu dürfen, also die achtknotige Schwingung Seebruck—Harras, da die Schwingung gerade am Ende der Achse der $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche, nämlich in Seebruck, in deren mittleren Schwingungsbauche in Feldwies und deren westlichen Bauche bei Felden gefunden wurde.

Die nur einmal bei sehr niedrigem Wasserstande gemessene Seiche von 3,8 Min. ist sehr wahrscheinlich die binodale Seiche der Schafwaschener Bucht. Es wurde sonst nirgends eine Schwingung von solcher Dauer gemessen. Das Verhältnis der Perioden ist $6,4:3,8 = 1:0,59$ und entspricht ganz der konkaven Beschaffenheit des Schafwaschener Winkels.

Die 10,7 Min.-Seiche wurde bei den neuen Beobachtungen nur einmal in Osternach und einmal in Schafwaschen gemessen und beide Male bei einem Pegelstande von rund + 15 cm H. P. Da sie besonders in Seebruck nie mehr auftrat, liegen keine weiteren Vergleichsbeobachtungen vor. Eine Durchsicht der früheren Beobachtungen ergab in Gstadt eine Verwechslung der 11 mit der $12\frac{1}{2}$ Min.-Seiche, so daß also Gstadt die Amplitude 0 hat. Außerdem hat die Seiche

am ganzen Ostufer gleiche Phase. Ich halte sie daher für eine Oberschwingung der $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche und zwar für die trinodale Seiche Chieming—Harras. Die besondere Eigentümlichkeit hierbei ist, daß der östliche Schwingungsbauch infolge Verzweigung der Richtung in zwei solche zerfällt und zwar erstreckt sich der eine gegen Seebruck und der zweite gegen Hagenau. Die östliche Knotenlinie muß hierbei vom Achenzipfel gegen Nordosten ausbiegend nach dem Nordwestufer, ungefähr 1,5 km vor Seebruck, verlaufen. Für den Insee liegen zu wenig Vergleichsbeobachtungen vor. Nur einmal wurde die Schwingung früher in einer langen Reihe und größerer Amplitude in Schafwaschen beobachtet (s. P. I, Taf. II Fig. 11), dabei hatte sie übereinstimmend mit Seebruck entgegengesetzte Phase. Sie mußte dann, wie schon früher (P. I, S. 53) betont, vierknotige Seiche Seebruck—Schafwaschen gewesen sein. Auch bei dieser Seiche machte also die Bucht die Schwingungsbewegung nur zeitweise mit.

Für die 7 Min.-Seiche liegen nur einzelne Reihen in Harras und an der Fraueninsel vor. Sie konnte früher als dreiknotige Seiche Seebruck—Hagenau festgelegt werden. Nach den neuen Beobachtungen scheint sie auch zeitweise gegen Westen sich fortzusetzen.

Die $12\frac{1}{2}$ Min.-Seiche konnte bei den neuen Untersuchungen nur vereinzelt aus dem Kailbacher Limnogramme gefunden werden, aber mit einer gegen früher sehr kleinen Amplitude. Sie ist, wie schon früher (P. I, S. 55) angegeben werden konnte, sehr wahrscheinlich eine Schwingung Feldwies—Kailbach und zwar eine binodale.

Die übrigen Schwingungen, das sind die $9\frac{1}{2}$ Min.-Seiche, die 6,5 und 5,5 und 5 Min.-Seiche, sind Schwingungen des Weitsees, können aber auch auf Grund der neuen Beobachtungen nach Zahl und Lage der Knoten nicht näher festgelegt werden.

7. Die Einwirkung der Tieferlegung auf die Seiches.

Dadurch daß der Eintritt der Seespiegelsenkung des Sees in die Beobachtungszeit fällt, war, wie schon einleitend erwähnt, Gelegenheit gegeben die Einwirkung derselben auf die Schwingungen des Sees zu untersuchen, also ein Experiment im Großen anzustellen. Es dürfte angebracht sein diese Einwirkungen hier näher zu besprechen.

Die Tieferlegung selbst bestand darin, daß durch Ausbaggern und Regulieren des Seeabflusses, der Alz, alle Wasserstände um rund 70 cm erniedrigt wurden (in Wirklichkeit beträgt die Senkung bei Hochwasser 60 cm und bei Niedrigwasser 80 cm). Die Seetiefen sind also durchweg um diesen Betrag geringer geworden. Durch die große Sommerdürre des Jahres 1904 trat außerdem ein ungewöhnlich tiefer Wasserstand ein, der bis — 59 cm H. P. zurückging. Bei der Flachheit der Ufer änderte sich daher die Seefläche bedeutend. Die Änderungen sind deutlich aus der Karte auf Taf. II zu ersehen, in welche die neue Uferlinie bereits eingezeichnet und die frühere Umrißlinie durch die punktierte Linie angedeutet ist. Bei — 60 cm wurde einmal die Feldwieser-Bucht vollständig und die Hagenauer-Bucht zum großen Teile trocken gelegt. Weiterhin wurden die Einengungen bei Urfahren und am Rinngang bedeutend verstärkt; erstere hatte, wie schon erwähnt, bei Hochwasser von 100 cm H. P. eine Querschnittsfläche von rund 2000 qm und bei — 60 cm H. P. nur mehr rund 1000 qm, letztere eine solche von 2000 qm und dem seichtem Wasserstande nur 1200 qm. Außerdem wurden zwei kleine Inseln östlich der Herreninsel und mehrere größere Landzungen frei; so an der Nordostspitze der Herreninsel und Krautinsel ein Ufervorsprung von 400 m Länge, bei Sebruck ein solcher von rund 300 m; eine neue Halbinsel erstreckt sich bei Harras und eine weitere etwas südlich Harras 200 m weit in den See hinein und nördlich Stock zwei kleinere von 150 bzw. 120 m Länge. Ferner wurde rings um den See und um die Herreninsel ein 50 bis 100 m breiter Rand

trocken gelegt. Endlich ist jetzt der Ausfluß bei Seebruck etwa 200 m weiter in den See hinein verlegt.

Wie man sieht, sind die Veränderungen immerhin bedeutende, so daß eine Einwirkung auf die Schwingungen schon im voraus zu erwarten war. Dieselbe bestand nun einmal in einer Veränderung der Dauer aller Schwingungen. Um dieselbe überblicken zu können, sind die Mittelwerte der Dauer bei dem früheren und jetzigen Mittelwasserstande in der Tabelle S. 319 zusammengestellt. Darnach hat die Dauer bei den Schwingungen von 41, 36, $28\frac{1}{2}$, 18, $15\frac{1}{2}$, $12\frac{1}{2}$ und 6,4 Min. abgenommen und bei denjenigen von $9\frac{1}{2}$, 8 und 7 Min. zugenommen. Die Abnahme der Dauer habe ich bei der 41 Min.-Seiche eingehend besprochen; sie ist durch die Verkürzung der Achse um einen seichten Uferstreifen verursacht. Die gleiche Ursache trifft wohl auch bei den übrigen Schwingungen zu. In der Verlängerung der Dauer bei den anderen Seiches dagegen kommt die Tiefenverringerng mehr zum Ausdruck, weil das eine Ende der Achse in Seebruck nicht verkürzt wird und auch das andere Ende wahrscheinlich nicht auf seichtes Ufer ausläuft. Weiterhin treten mehrere Seiches bei tiefem Wasserstande gar nicht mehr auf, wie besonders die 10,7 Min.-Seiche, welche früher eine ständige Schwingung des Weitsees war, ebenso die 5 und 3 Min.-Seiche und die schon erwähnte 54 Min.-Seiche. Andere Seiches treten dagegen neu auf, wie die von 6,5 und 5,7 Min.-Dauer. Wieder andere sind viel seltener zu erkennen, wie die $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche und die 4 Min.-Seiche und endlich mehrere viel häufiger wie die 36 Min.-Seiche und 6,4 Min.-Seiche in Schafwaschen und die $9\frac{1}{2}$ und 8 Min.-Seiche in Seebruck. Wenn sich auch die Ursache der Veränderungen bei den einzelnen Seiches nicht angeben läßt, so verstehen wir doch die Einwirkung im allgemeinen. Durch Trockenlegung der seichten Ufer wird die Dauer so verändert, daß auch die Lage der Knotenlinien stark verschoben wird und dadurch bei der Beckenunregelmäßigkeit eine stärkere Dämpfung oder eine bessere Abstimmung des Seeteiles auf die einzelne Schwingung erfolgt.

Oder es wird die Einengung an bestimmten Punkten so stark, daß die eine oder andere Seiche von der betreffenden Dauer nicht mehr stabil ist. Lehrreich sind hiefür die Untersuchungen am Waginger-Tachingersee, wo keine binodale Seiche des ganzen Beckens wegen der Lage der starken Einschnürung möglich ist und wegen der Einschnürung bei Horn die binodale Schwingung des Wagingersees instabil ist. Auch die Einengung bei Rapperswyl am Zürichersee ist nach Sarasin wohl die Ursache dafür, daß die uninodalen und binodalen Seiches sich so schlecht entwickeln. Diese Ergebnisse machen es verständlich, warum in unregelmäßigen Seebecken nicht alle Seiches jeder Knotenzahl auftreten.

Zusammenstellung der Hauptergebnisse.

Der Chiemsee stellt in der Seichesforschung in gewisser Beziehung ein vollständiges Novum dar. Während bisher vorwiegend Seen mit ausgesprochener Längsrichtung untersucht wurden, liegt hier zum erstenmal die Untersuchung eines Seebeckens vor, dessen Breitenausdehnungen von fast derselben Größenordnung wie seine Längsdimensionen sind. Man kann, um ein akustisches Analogon heranzuziehen, die Schwingungen der bisher untersuchten Seen mit ausgesprochenem Längstalwege mit denjenigen von Saiten mit variabler Dichteverteilung vergleichen; der Chiemsee mit seinen vielen Schwingungsrichtungen entspricht dagegen einer Chladnischen Klangplatte von sehr unregelmäßiger Umgrenzung, einer Platte, aus der sogar durch die Inseln Teile ausgespart sind. Es kann nicht wunder nehmen, daß bei einem derartig komplizierten, aber immer noch schwingungsfähigen Gebilde überaus mannigfache Einzelformen des Schwingungsbildes zutage treten müßten, deren Charakteristika nach dem Vorausgehenden im wesentlichen aus folgendem bestehen:

1. Am Chiemsee konnten 17 Schwingungen verschiedener Dauer, wobei die unter 3 Min. Periodendauer noch nicht mitgerechnet sind, gefunden und die Lage der Knoten und Bäuche

der häufiger auftretenden Seiches auf Grund von Beobachtungen an 19 verschiedenen Seestellen mittels selbstregistrierender Limnimeter und 12 weiteren Punkten mittels des Zeigerlimnimeters zum Teil ganz genau festgelegt werden.

2. Die Hauptschwingung des Chiemsees von 41 Min. mittlerer Dauer schwingt in der Richtung Schafwaschen—Seebruck mit der Knotenlinie durch die Südostspitze der Herreninsel gegen Urfahren, also unterbrochen durch die Insel. Die Schwingungsachse ist dabei fast halbkreisförmig. Die Amplituden sind im Westen 6 mal so groß als im Osten.

3. Der Chiemsee hat zwei weitere uninodale Seiches, welche nur selten auftreten und zwar eine solche von rund 54 Min. Dauer, mit der Schwingungsrichtung Schafwaschen—Nordufer der Herreninsel—Chieming und eine weitere von ungefähr 36 Min., welche ebenfalls von Schafwaschen nach Chieming schwingt, aber längs der südlichen, tieferen Rinne.

4. Die Anwendung der P. Du Boysschen Berechnungsmethode ergibt für die Dauer der 41- und 36 Min.-Seiche sehr befriedigende Werte, versagt aber bei der Berechnung der 54 Min.-Seiche vollständig. Ein Vergleich mit den uninodalen Seiches in anderen bereits untersuchten Seen liefert das Ergebnis, daß die Dauer nach der P. Du Boysschen Interpolationsformel in symmetrisch konkaven Seen zu groß erhalten wird, wie auch die Chrystalsche Theorie lehrt, daß aber in konkaven, asymmetrischen Seen, wo der Knoten gegen die tiefste Stelle stark verlagert ist, die Annäherung eine gute wird, wie am Genfersee und bei der 41- und 36 Min.-Seiche des Chiemsees. Fällt aber der Knoten einer Schwingung an eine konvexe Stelle mit starker Beckeneinschnürung, so wird die Dauer nach der Formel viel zu klein, wie bei der 54 Min.-Seiche des Chiemsees und der 62 Min.-Seiche des Waginger—Tachingersees. Die Anwendung der exakten Chrystalschen Theorie aber ist am Chiemsee wegen der plötzlichen, starken Querschnittsänderungen sowohl als besonders wegen der geringen Längenausdehnung gegenüber derjenigen in der Breite nicht mit Erfolg möglich.

5. Eine $28\frac{1}{2}$ Min.-Seiche ist binodale Schwingung zu der 36 Min.-Seiche in der Richtung Ostufer—Schafwaschen, wobei die Wassermasse sowohl südlich wie nördlich der Herreninsel beteiligt ist. Die östliche Knotenlinie läuft von Feldwies östlich der Fraueninsel vorbei, die westliche befindet sich genau am Eingang in die Schafwaschener Bucht. Der mittlere Schwingungsbauch fällt vor Harras. Das anormale Verhältnis von Grund- und erster Oberschwingung, $1:0,77$, erklärt sich übereinstimmend mit den Ergebnissen an anderen Seen durch das Zusammenfallen der Knotenlinien mit starken Beckeneinschnürungen.

6. Eine weitere Seiche von 18 Min. ist zweiknotig in der stark abgelenkten Richtung Seebruck—Südufer—Kailbach und zugleich auch uninodale Querseiche Mühlen—Weitsee. Zeitweise schwingt auch die Schafwaschener Bucht mit, wobei am inneren Ende des Rinngangs ein weiterer Knoten entsteht, so daß diese Schwingung zeitweise dreiknotige Seiche der Richtung Seebruck—Schafwaschen ist.

7. In einer Seiche von $15\frac{1}{2}$ Min. Dauer konnte die binodale Schwingung Seebruck—Harras erkannt werden, wobei die 1. Knotenlinie südlich Arlaching liegt, und die 2. südöstlich der Herreninsel, zusammenfallend mit dem Knoten der Hauptschwingung und unterbrochen durch die Insel, gegen Osternach läuft. Insofern kann sie auch als dreiknotige Seiche Seebruck—Südufer—Mühlen bezeichnet werden. Auch die nächste Oberschwingung zur $15\frac{1}{2}$ Min.-Seiche von 8 Min. Dauer wurde beobachtet, welche also vierknotige Seiche Seebruck—Harras ist. Bei höherem Wasserstande, wo die Schafwaschener Bucht eine Eigenschwingung gleicher Dauer hatte, setzte sich die schwingende Bewegung auch in diese Bucht hinein fort als sechsknotige Seiche Seebruck—Schafwaschen. Endlich ist die 4,2 Min.-Seiche sehr wahrscheinlich die nächste Oberschwingung zur 8 Min.-Seiche, welche sich aber nicht in den Schafwaschener Winkel fortsetzte, so daß sie als achtknotige Seiche Seebruck—Harras gelten kann.

8. Eine Schwingung von 10,7 Min. mittlerer Dauer ist dreiknotige Seiche Weitsee – Insensee; dabei zerfällt der östliche Schwingungsbauch in zwei getrennte Bäuche, einen nordöstlichen bei Seebruck und einen südöstlichen bei Hagenau. Auch diese Seiche teilt sich zeitweise der Schafwaschener Bucht mit und ist dann vierknotige Schwingung Weitsee – Schafwaschen. Diese Seiche ist mit derjenigen von $28\frac{1}{2}$ Min. und von 18 Min. so recht ein Beispiel dafür, welche komplizierte Schwingungunterteilungen in einem so unregelmäßigen Becken möglich sind.

9. Eine Seiche von $12\frac{1}{2}$ Min. tritt nur im Insensee und außerdem noch in Feldwies auf und ist sehr wahrscheinlich die zweiknotige Seiche Feldwies – Kailbach, eine weitere von 7,1 Min. ist schon früher als trinodale Schwingung Seebruck – Hagenau nachgewiesen worden und setzt sich nach den neuen Beobachtungen auch in den Insensee fort. Weitere Seiches von 9,5 Min., 6,5 Min., 5,7 Min., 5,0 Min. und 3 Min. treten nur an einzelnen Punkten des Weitsees und da nicht so häufig auf, daß ihre Knoten und Bäuche mit Sicherheit aufgefunden werden konnten.

10. Die Schafwaschener Bucht endlich hat eine uninodale Eigenschwingung von 8,57 Min., welche mit dem Wasserstande bis 6,4 Min. abnahm, wo dann die Bucht für diese Periode gleichsam sehr gut abgestimmt war. Auch die binodale Seiche der 6,4 Min.-Schwingung konnte mit einer Dauer von 3,8 Min. gemessen werden.

11. Einen bedeutenderen Einfluß auf die Schwingungunterteilung übt nur die Herreninsel, die größte der drei Inseln aus. Einmal teilt sie den Insensee in zwei Kanäle, welche infolge ihrer Tiefen- und Querschnittsunterschiede Eigenschwingungen verschiedener Dauer bedingen. Bei der Mehrzahl der Schwingungen erfolgen die Schwingungsbewegungen südlich und nördlich der Herreninsel, so daß die Knotenlinien durch die Insel in zwei Teile zerlegt werden. Ferner wird durch die zweite Kommunikation die merkwürdige Erscheinung ermöglicht, daß eine Schwingung, nämlich die 18 Min.-Seiche,

zugleich Längs- und Querseiche sein kann. Die Beobachtung auf den Inseln, also mitten im See, ergab eine etwas größere Amplitude, als die korrespondierenden Punkte am Ufer haben, und ermöglichten außerdem die endgültige Festlegung der Knoten mehrerer Schwingungen.

12. Die Seichesuntersuchungen an einem See von so komplizierter Beckengestalt und Umrissform haben ergeben, daß Seichesbewegungen nach den verschiedensten Richtungen möglich sind, daß ferner jede Bucht Ende einer Schwingungsrichtung sein kann, daß weiterhin die Schwingungsrichtungen sich verzweigen können. Wichtig ist endlich das Ergebnis, daß mehrknotige Seiches nur einen Teil des Sees einnehmen können und daß nur zeitweise auch andere Seeteile im nämlichen Rhythmus mitschwingen. Eine Bucht schwingt nicht merklich mit, wenn die Schwingungsachse quer zu derselben verläuft.

13. Der jeweilige Wasserstand des Sees und dessen Veränderungen üben auf die Dauer der Schwingungen einen zum Teil bedeutenden Einfluß aus, indem die Dauer derjenigen Seiches, welche gegen seichte, flache Ufer schwingen, bei Abnahme des Wasserstandes ebenfalls abnimmt, bei anderen zunimmt. Besonders stark änderte sich die Dauer der Hauptschwingung, welche von 44,05 Min. bis 39,34 Min., also um 11% der mittleren Dauer abnahm, als der Wasserstand nach und nach von 109 cm bis — 57 cm H. P. zurückging. Eben diese starke Veränderung der Dauer läßt schließen, daß flache Ufer auf die Dauer der Seiches auch in sonst konkaven Becken einen merklichen Einfluß ausüben. Endlich bewirken die Veränderungen des Wasserstandes, daß einige Seiches zu Zeiten selten und mit kleiner Amplitude auftreten und rasch gedämpft werden, andere sich überhaupt nicht mehr zeigen. Durch dieses Ergebnis wird verständlich, warum in den einzelnen Seen nicht alle Seiches jeder Nodalität angetroffen werden. Die eben genannten Beobachtungen wurden nur dadurch ermöglicht, daß die Tieferlegung des Chiemseespiegels in die Beobachtungszeit

fiel und hiedurch die Differenz des höchsten und tiefsten Wasserstandes den hohen Betrag von 1,66 m erreichte.

Gleichzeitig mit den Untersuchungen der Schwingungsformen des Chiemsees, deren Ergebnisse in vorliegender Schrift mitgeteilt sind, wurden umfangreiche Beobachtungen über die Ursachen der Seiches angestellt und zugleich andere mit den Seiches in Zusammenhang stehende Probleme geophysikalischer Natur in dieselben einbezogen, worüber ich später zu berichten gedenke.

Traunstein, April 1906.

Normalkurve des Chiem- Sees.

Mafsst.
für 0/1mm-50³m²
für 6/101-1mm-10⁵m²

Die Seeschwankungen (Seiches) des Chiem- Sees.

von
Anton Endrös.

Mafsstab - 1 75 000

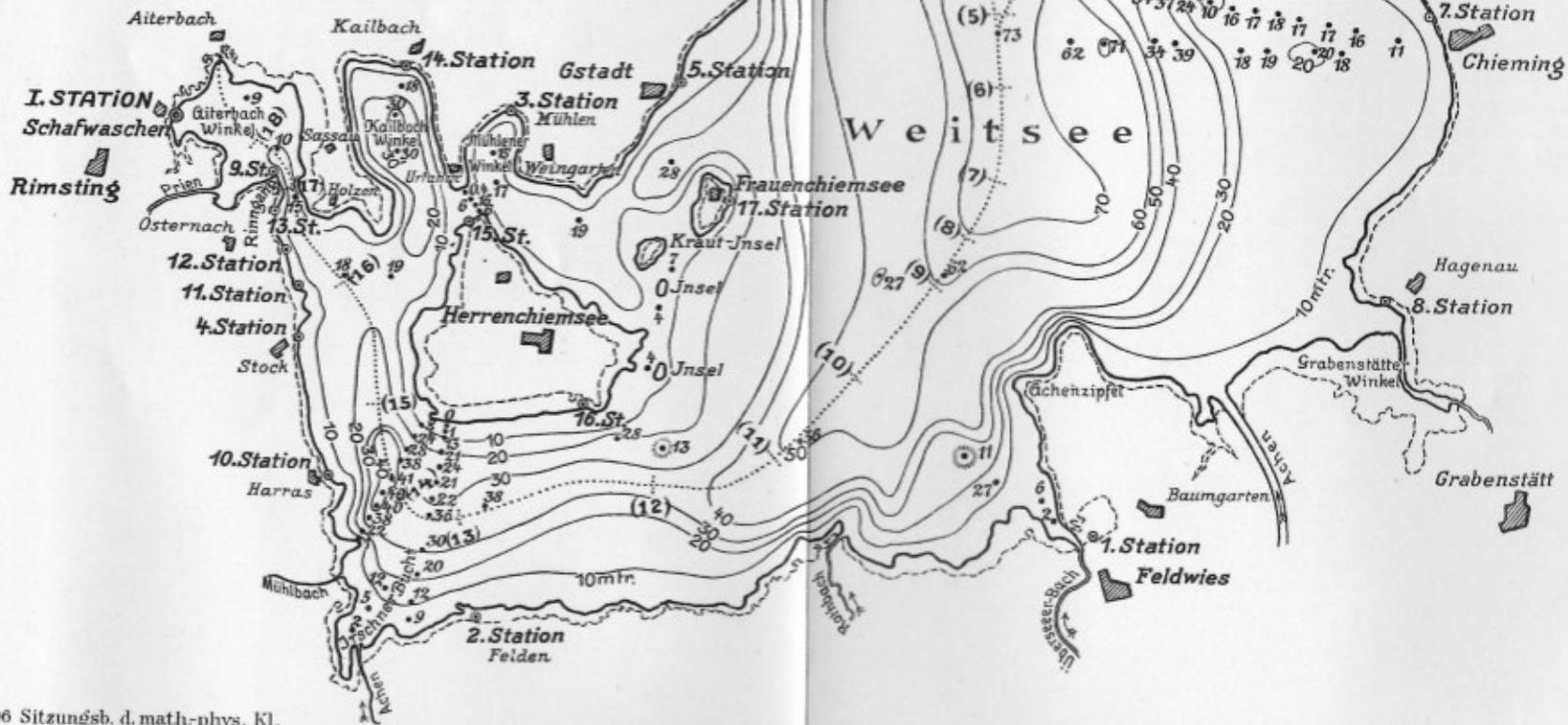


Fig. 1.
Die 4 1/2 Min.-Seiche.

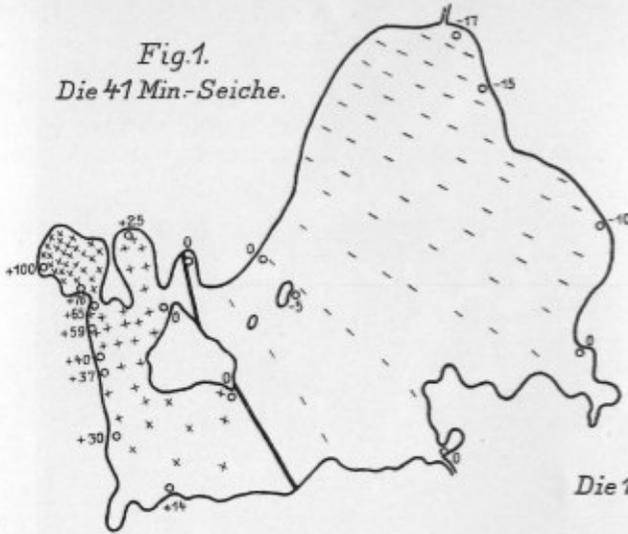


Fig. 2.
Die 28 1/2 Min.-Seiche.

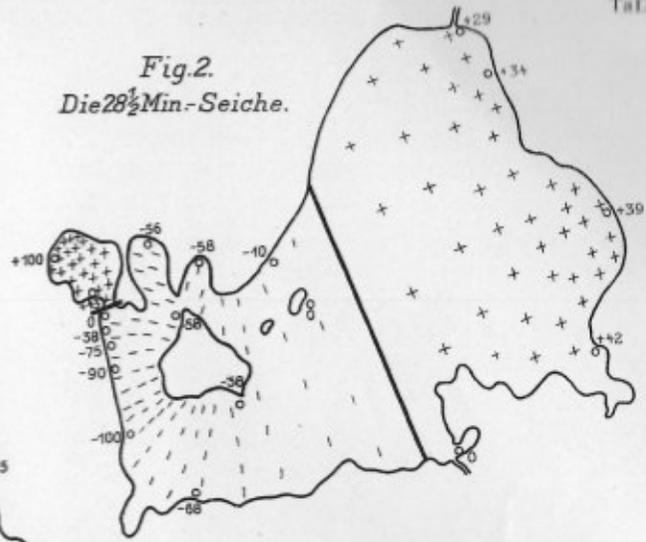


Fig. 3.
Die 18 Min.-Seiche.



Fig. 4.
Die 15 1/2 Min.-Seiche.

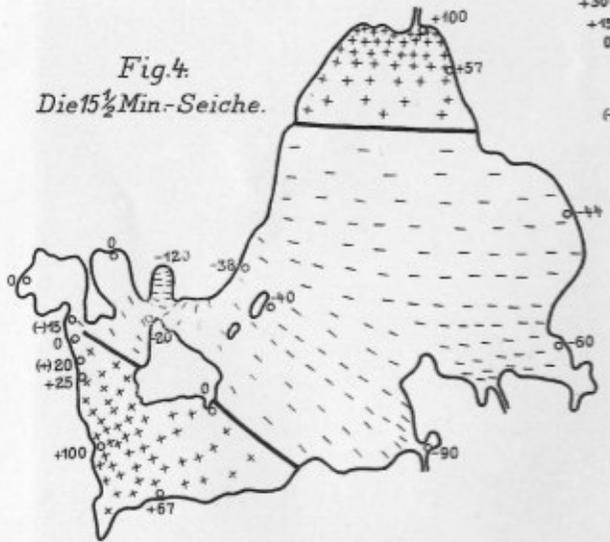
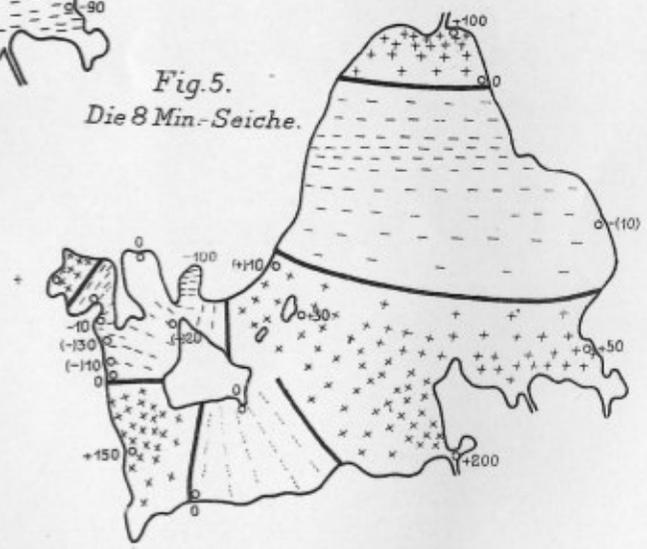


Fig. 5.
Die 8 Min.-Seiche.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [1906](#)

Autor(en)/Author(s): Endrös Anton

Artikel/Article: [Die Seeschwankungen \(Seiches\) des Chiemsees 297-350](#)