

Limnologische Untersuchungen des Vierwaldstättersees : physikalischer Teil : II. Abteilung : Beobachtungen über die "Seiches" des Vierwaldstättersees

Autor(en): **Sarasin, E. / Truttmann**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern**

Band (Jahr): **4 (1904)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-523434>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Limnologische Untersuchungen

des

Vierwaldstättersees

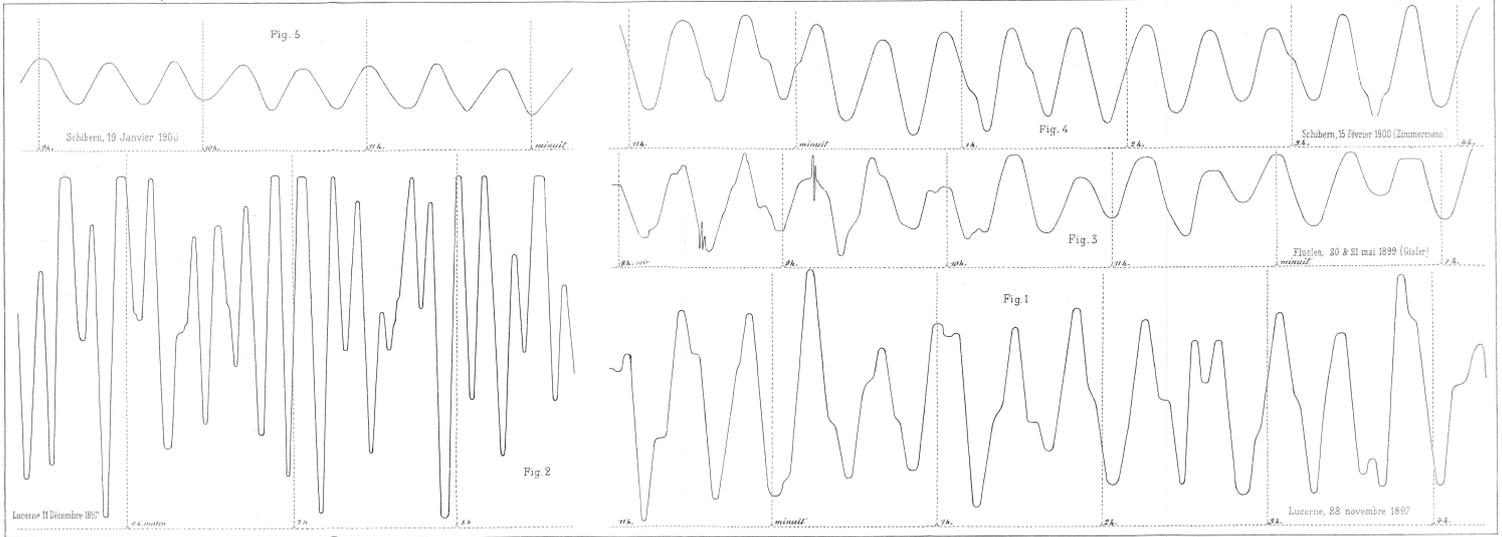
Physikalischer Teil

II. Abteilung:

Beobachtungen über die „Seiches“ des Vierwaldstättersees

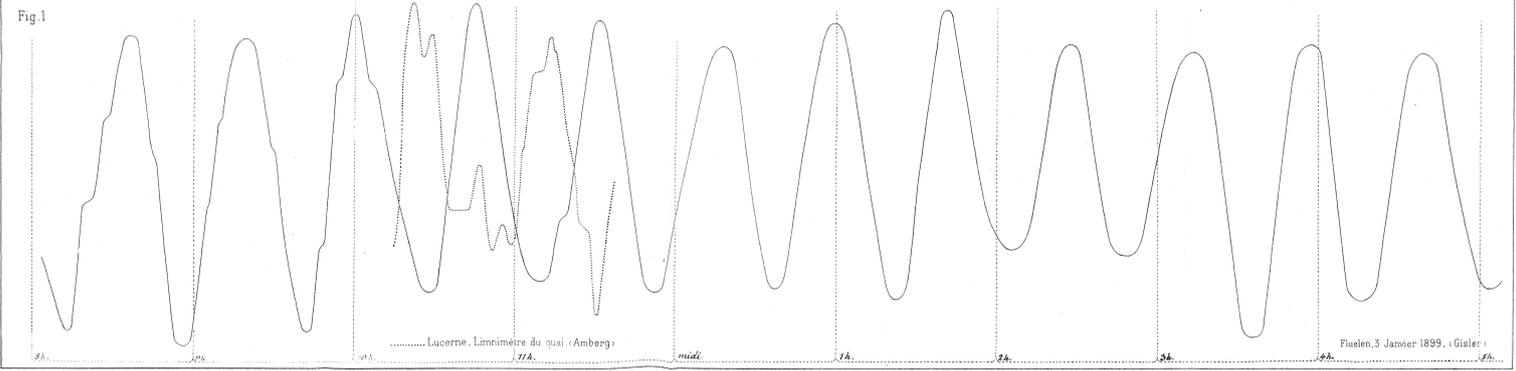
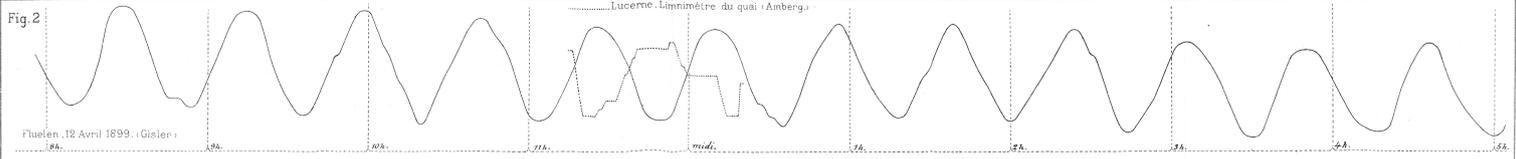
Von **Ed. Sarasin**, Genf

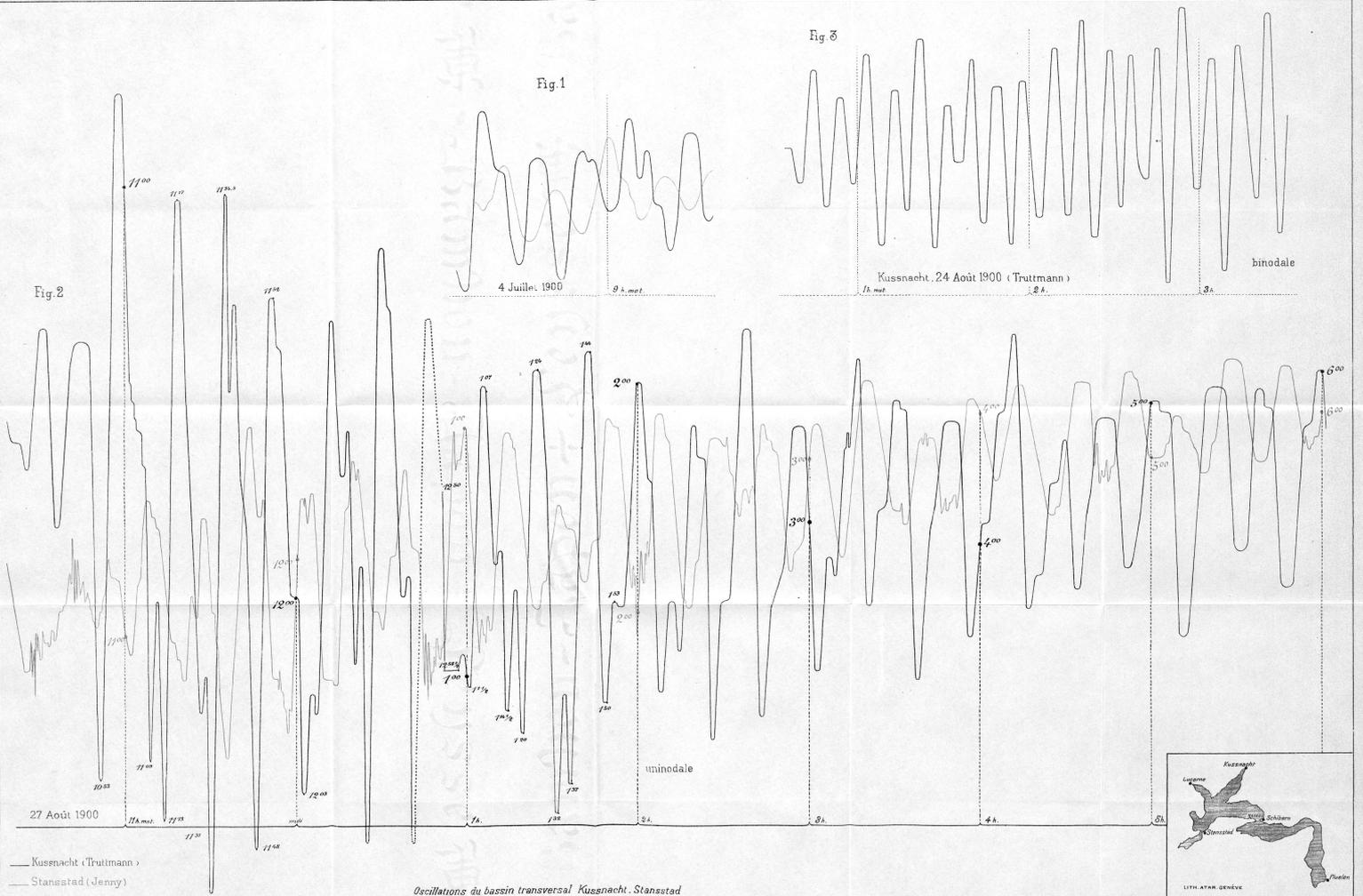
Uebersetzt von Landschreiber **Truttmann**, Küsnach



Oscillationen des Verwaldströmerssee (nördliche Orassa)

Ed. Sarasin





Beobachtungen

über die

„Seiches“ des Vierwaldstättersees.

Von *Ed. Sarasin*, Genf.

Uebersetzt von Landschreiber *Trutmann*, Küsnach.

I. Allgemeines.

Alles Fluidum, ob flüssig oder gasförmig, ist vermöge seines Wesens ausserordentlich beweglich. Für die Flüssigkeiten, die verschiedenen Impulsen von aussen unterworfen sind, besteht der Naturzustand, dass sie beständig in Bewegung sind und auf die geringsten Stösse reagieren. Jedes flüssige Molekül, das aus seiner Gleichgewichtslage gebracht worden ist, schwingt hierauf zwischen dieser hin und her. Es verhält sich so mit der gesamten Masse einer Flüssigkeit, die, sobald sie irgend eine Lageveränderung erlitten, sofort eine Schwingungsbewegung annimmt, die dahin strebt, die Oberfläche in eine horizontale Ebene zurückzubringen.

Auf diese Weise bildet z. B. jede Wassermasse, klein oder gross, einen wirklichen Pendel-Apparat, der isochrone Hin- und Herbewegungen zeigt von einer Zeitdauer, die von der Länge des Bassins (Länge des Pendels) abhängt.

Diese allererste Tatsache der aller Wassermasse eigenen Schwingungsbewegung, welche aus den elementarsten Kenntnissen der Mechanik der Flüssigkeiten resultiert, hätte, wie es scheint, zu allen Zeiten vorausgesehen und beobachtet werden sollen. So überraschend es ist, ist dem nicht so und diese Schwingung, die alle tagtäglich konstatieren können, ohne darauf acht zu haben, wenn es sich um eine Badewanne oder einen

einfachen Handzuber handelt, ist, wie es den Anschein hat, bei natürlichen Wasserbecken, wie Seen und Teichen, nicht gesucht, ja nicht einmal vermutet worden, so dass selbst grosse Gelehrte ihre Existenz negieren und ein Heros der Physik, ein Volta, in einem kürzlich veröffentlichten Briefe bestimmt hat behaupten können, dass diese Bewegungen sich auf dem Comersee, an dessen Ufern er wohnte, nicht einstellen. Plötzliche Niveauveränderungen an den Enden eines Sees, Wechselströmungen in einer Meerenge, sind wohl zu allen Zeiten von den Uferbewohnern und Schiffern wahrgenommen worden, so die Strömung des Euripus; aber der Gedanke, die notwendige Wiedereinnahme des Gleichgewichtes in einer Hin- und Herbewegung zu suchen, die notwendigerweise der ersten Gleichgewichtsstörung folgt, ist den Naturbeobachtern erst in ganz neuer Zeit in Sinn gekommen und es war das Verdienst des Hrn. *F. A. Forel*, diese so einfache Wahrheit völlig und endgültig festzustellen, dass das Wasser eines Sees oder irgend eines Beckens wie das eines einfachen Zubers schwingt, indem der Unterschied nur in der Bewegungsamplitude besteht, wie bei Pendeln von verschiedenen Längen.

Die einzige Bewegung, die in den Augen der Laien die Oberfläche eines Wasserspiegels verändert und die in die Augen springt in einer Weise, um von allen erkannt zu werden, sind die Wellen, welche eine rein oberflächliche und örtliche Erscheinung sind, von der wir hier nicht sprechen. Die Gleichgewichtsschwingungen der ganzen Wassermasse eines Sees aber sind, sehr seltene Ausnahmen abgerechnet, dem gewöhnlichen Volke unbekannt, selbst den Uferbewohnern und Fischern, weil die Oberflächenbewegungen, die sie hervorrufen, obwohl diese beständig, die meiste Zeit sehr schwach und nur bei sehr sorgfältiger Beobachtung und mit Spezialinstrumenten konstatiert werden können.

Bisweilen jedoch, und infolge örtlicher und besonderer atmosphärischer Verumstände können sie eine ausnahmsweise Intensität annehmen und Niveauveränderungen von einem Meter und darüber erzeugen. Unter dieser Form waren sie seit langem bekannt, besonders in Genf, wo man sie *Seiches* nannte. Eine der ältesten Beobachtungen dieser Erscheinung

wurde im Hafen von Konstanz am 23. Februar 1549 durch den Chronisten Christoph Schothais gemacht, der ein Steigen und Fallen von 60 cm an notierte.

Im Jahre 1826 hat der Professor *Ineichen* Seiches auf dem Vierwaldstättersee in Luzern beobachtet¹⁾. Aber der klassische Boden der Seiches ist Genf und hier haben sie diesen Namen bekommen. Die grossen Verhältnisse des Lemman, die Verengung des westlichen Seearmes und seine geringe Tiefe bilden ausnahmsweise günstige Bedingungen für starke Niveauveränderungen, die zwei Meter und darüber erreichen können. (Veinié 2. und 3. Oktober 1841.) *Fatio de Duillier* hat eine sehr gute Beschreibung der Erscheinung von 1730 gegeben, schon er stellt sie dar als eine Bewegung von Ebbe und Flut, demnach von schwingender Natur. *De Saussure* brachte ihrem Studium seinen bewunderungswürdigen Beobachtungsgeist entgegen und betrachtete sie als eine Einwirkung, die auf das Wasser ausgeübt wird durch plötzliche und örtliche Veränderungen der Schwere der Luft, gefolgt von Ebbe und Flut.

Vaucher, ein gelehrter Genfer Naturforscher, hat sie zum Gegenstand einer schönen Monographie gemacht, die bis zu den Untersuchungen des Hrn. *Forel* das Vollständigste war, was wir über diese Frage besitzen.

Forel, der leidenschaftliche Beobachter des Genfersees,

¹⁾ In der nämlichen Stadt haben sich ausserordentliche Bewegungen und von ausnahmsweiser Stärke schon in frühern Zeiten gezeigt und sind in der Zeitgeschichte erwähnt worden.

Die ersten Seiches-Beobachtungen auf dem Vierwaldstättersee sind von Prof. *J. Ineichen* im Jahre 1826 gemacht worden. Die betreffende Nachricht befindet sich im Jahrgang 29 der „Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich“ (1884) unter den „Notizen zur schweizerischen Kulturgeschichte von Prof. *R. Wölf*.“ In einem Briefe von Hofrat Prof. *J. K. Horner* in Zürich an *Alfred Gautier* in Genf findet sich daselbst folgende Stelle:

„. . . Mr. *Oeri* a trouvé à Lucerne dans le professeur *Ineichen* un homme fort instruit, qui accepta avec plaisir la tache que l'on allait lui imposer. Ce Monsieur m'a écrit, qu'il y avait au Lac des IV Cantons aussi le phénomène qu'on appelle *Seiches* à Genève. Nous avons donc fait des recherches pour établir au moins des observations barométriques à l'autre bout du Lac et nous avons trouvé à Altdorf un observateur zélé dans la personne de Mr. le docteur *Lusser*. . . .“

Nähere Angaben über das „Wie“ und „Wann“ der Beobachtungen sind nicht vorhanden.

Arnet.

widmete schon frühzeitig dem Studium der Erscheinung, die uns beschäftigt, seinen klaren und scharfsinnigen Geist und es gelang ihm bald, ihr Dunkel zu lichten. Seine ersten Versuche datieren vom 1. Mai 1869. Er beobachtete im Hafen von Morges die Ebbe- und Flutbewegungen, welche *Fatio de Duillier* und nach ihm *de Saussure* in Genf konstatiert hatten, und er erkannte bald — und das war der entscheidende Schritt, den er in der Frage tat —, dass man es hierin nicht mit einer mehr oder weniger regelmässigen Schwingungsbewegung zu tun habe, sondern mit einem auf die ganze Masse des Sees sich erstreckenden rythmischen Balancieren von bestimmter Zeitdauer, wie dasjenige eines Pendels. Sein erster Apparat war der Hafen von Morges, sein Beobachtungsposten die Oeffnungen der Hafendämme und die Erscheinung notierte er in den Augenblicken, wo die durchgehende Strömung die Richtung wechselte, bald vom See in den Hafen, bald umgekehrt. Später vertauschte er ihn gegen sein Plemyrameter oder Heber, der den See mit einem kleinen in den Ufersand gegrabenen Becken verbindet und den er in der Folge an andern Uferstationen des Genfer- und anderer Seen zur Anwendung brachte. Er konstatierte auf diese Weise die Allgemeinheit der Erscheinung in Bestätigung der schon von Vaucher beobachteten Tatsachen. Aber diese Methode, welche die fortwährende Dazwischenkunft des Beobachters erforderte, genügte nicht und erlaubte übrigens auch nicht, den wahren Gang der Erscheinung festzustellen und ihre kleinsten Einzelheiten zu bestimmen. Das konnte erst geschehen, als er in der Folge bei diesem Studium die graphische Methode anwandte und auf der Terrasse seines Hauses in Morges ein Registrier-Linnimeter aufstellte.

Die Aufzeichnungen dieses Apparates auf einem endlosen Papierstreifen ergaben, was die plemyrametrischen Beobachtungen voraussehen liessen: regelmässige Sinuslinien (Kurven, Sinusoide), ein unwiderlegbarer Beweis der Pendelbewegung von bestimmter Periode. Es ergaben sich auf diese Weise drei Hauptperioden, eine von 73 Minuten, eine von 35 Minuten und eine viel kürzere von 10 Minuten. Die längste konnte nur der grössten Amplitude entsprechen, d. h. der Längschwingung des Sees von Genf nach Villeneuve, der Schwingung von einem Ende einer fixen

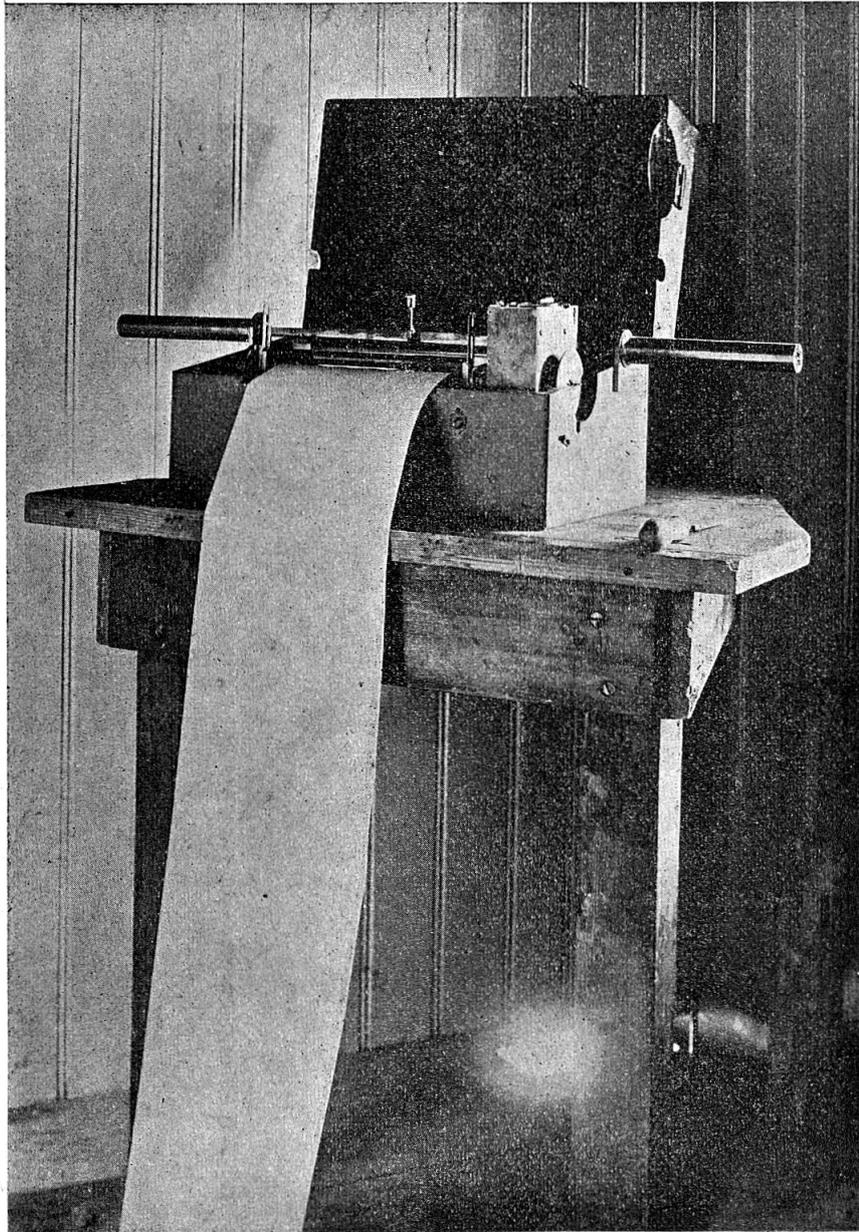
Medianlinie zum andern, d. h. mit einem einzigen Knoten: eine Uninodalschwingung oder einknotige Seiche; die zweite, mit einem der Hälfte der ersten sich näherndem Werte, musste einer Schwingung von zwei Knoten von gleichem Sinn an beiden Enden und entgegengesetzt in der Mitte entsprechen: binodal. Was die Schwingung von 10 Minuten anbelangt, die in Morges sehr regelmässig und sehr häufig sich zeigt, sah Hr. Forel in ihr eine Schwingung von Morges nach der savoyischen Küste, eine Transversal-Schwingung.

Hr. Forel kontrollierte seine im grossen gemachten Experimente mit solchen in verkleinertem Massstabe in Laboratoriumsbecken, in denen er das Wasser schwingen liess und wovon eines eine verkleinerte Darstellung des Seegrundes des Genfersees darstellte. Endlich wandte er auf dieses grosse natürliche Pendel die gewöhnliche Pendelformel an, modifiziert, und begründete also eine vollständige Seiches-Theorie.

Die Ergebnisse, aus denen Hr. Forel so wichtige Resultate ableitete, waren indessen unter wenig günstigen Bedingungen gewonnen infolge der Lage von Morges am Ufer der grössten Breite des Sees im Bogenteil der Schwingung, wo er aus dieser doppelten Ursache das Minimum der Amplitude bietet. Er rief deshalb andere analoge Beobachtungen auf andern Stationen zu Hilfe, was Hrn. *Ph. Plantamour* bestimmte, durch die „Société Genevoise d'instruments de physique“ ein Registrier-Limnimeter von grosser Präzision mit festem Standort auf der Terrasse seiner Besetzung im Sécheron bei Genf erstellen zu lassen. Dieser Apparat funktioniert seit 1877 und zeichnet seither ohne Unterbruch die Bewegungen des Sees an seinem Westende, wo sie ihr Maximum erreichen, auf.

Das genügte noch nicht, um das Problem in seinem Ganzen zu umfassen und es war von Wichtigkeit, genaue Messungen auf andern Stationen des Genfersees ausführen und sie selbst auf andere Seen ausdehnen zu können, denn die Messungen, die Hr. Forel mit seinem Plemyrameter aufgenommen, waren bloss eine erste Annäherung, was mich selbst dazu führte, die Sache zu studieren und das Modell eines leicht transportablen, selbstregistrierenden Limnimeters erstellen zu lassen, das sich den verschiedensten Verhältnissen der Seeufer in leichter Ein-

richtung anpasst, weder besondern Schutz erheischt und in einigen Stunden aufgestellt werden kann. Dieser Apparat, 1879 konstruiert, erfüllt diesen Zweck vollauf. Ich habe ihn summarisch, wenigstens in seinen Hauptzügen, in der Dezember-



nummer 1879 der „Archives des sciences physiques et naturelles“ von Genf beschrieben. Sein Gebrauch hat sich seitdem ausgedehnt und da mehrere Akademien und gelehrte Gesellschaften bei den nämlichen Erstellern für die Studien in ihren Ländern

solche bestellt hatten, hielten diejenigen, welche sie verwenden mussten, eine eingehende Beschreibung für notwendig und Hr. Prof. Ebert von München hat es übernommen, diese Beschreibung in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ mit mehreren Figuren zu liefern. Jedermann kann sich dort Rats erholen und wir beschränken uns hier auf das für die Klarstellung des Ganges des Apparates streng Notwendige.

Er schreibt die Schwingungen des Sees in Kurvenform auf einen endlosen Streifen Papier. Die Ordinaten der Kurve geben die Höhe des Sees in jedem Augenblick an und ihre Abscissen die Zeit, jeder Millimeter entspricht einer Minute.

II. Beschreibung des Apparats.

Das Limnimeter besteht im wesentlichen aus zwei Teilen: dem Pegelapparat und dem Registrierapparat.

Der Pegelapparat umfasst einen ca. 1,5—2 m hohen und ca. 0,30 m Durchmesser haltenden Cylinder aus Zinkblech, der mit Rohrschellen an einem Pfahl oder Pfosten fixiert ist. Der Cylinder muss für alle Fälle unter den tiefsten Wasserstand reichen und so hoch sein, dass bei Hochwasser die Wellen nicht oben hineinschlagen können. Unten ist der Cylinder durch einen Blechboden geschlossen und nur seitlich eine ca. 10 cm breite und 20 cm hohe viereckige Oeffnung ausgeschnitten, um die Kommunikation mit dem See zu vermitteln. Diese Oeffnung ist durch einen Schieber regulierbar zum Zwecke, dem Registrierapparat nur die Seichesbewegungen des Sees, nicht aber auch die oberflächliche Wellenbewegung zu übermitteln, welche letztere das Kurvenbild stören, zum Teil verwischen würden. Eine Oeffnung des Schiebers von ca. 3 cm Lichtweite genügt in der Regel vollständig.

Im Cylinder schwimmt eine Trommel, die einen um ca. 2—3 cm geringern Durchmesser hat als der Cylinder selbst, so dass sie in diesem sich frei bewegen, alle Niveauveränderungen des Seespiegels aufnehmen und auf den Registrierapparat übertragen kann.

Im Zentrum des Schwimmers oder der Trommel steckt eine durch den Schwimmer hindurch verstellbare Stange, an der

ein ebenfalls nach dem Bedürfnis des variablen Wasserstandes des Sees verstellbares und zu diesem Zwecke gelochtes Kupferband von 12 mm Breite angeschraubt werden kann. Dieses Kupferband, an dessen andern Ende ein Laufgewicht hängt, wird über eine Welle geführt, deren verlängerte Achse in den Registrierapparat reicht und an deren andern Ende sich ein Zahnrad befindet.

Auf dem Zahnrad ruht ein auf der untern Seite mit einer Zahnung versehenes Lineal, dessen Zähne in diejenigen des Zahnrades eingreifen. Durch die Welle, deren Achse, Zahnrad und Lineal wird die durch die Schwankungen des Wasserspiegels hervorgerufene Vertikalbewegung der Trommel und der darin steckenden Stange in eine horizontale umgesetzt.

Wir haben damit schon die Beschreibung des II. Teiles des Apparates — des Registrators — angetreten. Das Lineal trägt zwei Bleistifte (Minen). Der eine, in der Mitte des Lineals angebrachte, registriert nun auf einem endlosen, 25 cm breiten Streifen Papier in Kurvenlinie die geringsten Seichesbewegungen des Sees in natürlicher Grösse; der andere, auf der rechten Seite des Streifens gehende, in Verbindung mit einem Uhrwerk die Stunden.

Die Vorwärtsbewegung des Papierstreifens geschieht durch zwei vom genannten Uhrwerk in Umdrehung versetzte Walzen, zwischen denen der Streifen hindurchgeführt wird und zwar im Tempo von einem Millimeter per Minute. Auf jeden Stunden-schlag macht dieser Bleistift auf der sonst geraden Linie, die er schreibt, einen Hacken. Es ist nun von Wichtigkeit, dass die Uhr mit der wirklichen Zeit genau harmoniert, damit der die Kurven schreibende Bleistift die wirklichen Zeitperioden der Seiches getreu wiedergibt.

Durch diese Anordnung werden also von dem in der Mitte befindlichen Stifte der räumliche, durch den seitlich angebrachten der zeitliche Verlauf der Seespiegelschwankungen miteinander entsprechend fixiert. Das durch eine Spalte im Kasten des Apparates heraustretende Papier wird bei jedesmaligem Besuche auf eine Welle gerollt und der Streifen je am 1. und 16. jeden Monats bei der Stundenmarke Mitternacht abgeschnitten und hernach gefalzt, so dass er bequem wie ein Buch durchblättert werden kann.

Der Besuch des Limnimeters geschieht täglich zum Aufziehen der Uhr, Nachspitzen der Stifte, Verstellen der Schwimmerstange und des Kupferbandes infolge Steigens oder Fallens des Seespiegels und zur Kontrolle des Apparates überhaupt. Bei jedem Besuch wird überdies der genaue Stand des Stiftes auf der Kurve und die genaue Zeit notiert. Zeigt sich eine regelmässige, schöne Serie von Bewegungen, so erfolgt die Kontrolle mehrmals täglich, um durch öftere Zeitmarken die Schwingungsperioden genau und zuverlässig zu ermitteln.

Sind zwei Apparate an verschiedenen Punkten des Sees aufgestellt zum Zwecke, den Zusammenhang bzw. die Ausdehnung der Schwingungen über den betreffenden See oder das Seebecken zu eruieren, so werden beim Eintritt regelmässiger, schöner und ausgiebiger Kurven besondere Kontrollversuche angestellt. Dabei wird so verfahren: der eine Beobachter ruft den andern ans Telephon und es bringen die beiden ihre Taschenuhren auf Minute und Sekunde in genaue Uebereinstimmung. Hierauf verständigen sie sich über die genauen Zeitpunkte, in denen sie ihre resp. Apparate besuchen wollen (wenn möglich stündlich) und markieren jedesmal die genaue Zeit auf dem Streifen. Diese Streifen mit den beidseitig absolut genauen und übereinstimmenden Zeitmarken werden nachher übereinander gelegt und es zeigt sich alsdann, ob und in welchem Zusammenhang die Seeschwingungen zu einander stehen. Auf diese Weise ist z. B. das interessante Kurvenbild für die Periode von 18 Minuten des Seebeckens Küssnach-Stansstad entstanden.

III. Ergebnisse der Untersuchungen.

Ich habe diesen Apparat nach und nach zuerst auf sieben Stationen des Genfersees, dann auf dem Züricher-, Neuenburger- und Thunersee installiert; ich habe ihn auch für längern Dienst zur Verfügung der internationalen Kommission für das Studium des Bodensees gestellt. Vor vier Jahren endlich haben die schweizerische limnologische Kommission, der anzugehören ich die Ehre habe, und die Kommission für das Studium des Vierwaldstättersees mir die Gunst erwiesen, mir denjenigen Teil

der Arbeit anzuvertrauen, der speziell das Studium der Schwingungen oder Seiches dieses schönen Sees betrifft. Ich habe mich seither daran gemacht mit der Beihilfe meiner vortrefflichen Freunde der Untersuchungskommission, der HH. Arnet, Amberg, Bachmann, Schumacher-Kopp und anderer. Dank ihren Bemühungen wurde meine Aufgabe ausserordentlich angenehm und leicht gemacht, um so mehr, als durch ihre verbindliche Intervention und ihr Ansehen wir auf jeder Station eifrige und fähige Leute zur Ueberwachung und Bedienung des Apparates gefunden haben, was viel Ausdauer und Sorgfalt erheischt, um zu einem befriedigenden Resultat zu gelangen. Ich werde ihrer einzeln bei Anlass der Reihenfolge ihrer Messungen gedenken, aber ich spreche ihnen gleich hier insgesamt meinen Dank aus.

Bevor ich auf die Ausführung der Resultate, welche mein selbstregistrierendes Limnimeter auf dem Vierwaldstättersee geliefert hat, eintrete, über die ich schon zum Teil in den Sitzungen der luzernischen naturforschenden Gesellschaft referiert habe, will ich an die ebenso exakten wie ausdauernden Beobachtungen erinnern, die Hr. Prof. Arnet lange vorher schon gemacht hatte und die ihn dazu geführt hatten, nicht nur klar die Schwingungen dieses Sees zu konstatieren, sondern auch deren näheres Mass anzugeben.

Arnet machte seine Beobachtungen von 1875—1878 teils mit dem von Forel vorgeschlagenen Pleinymeter, teils durch stundenlanges Ablesen des Pegelstandes an der Seebrücke und an dem alten Pegel vor dem Theater, teils mit einem eigens zu diesem Zwecke konstruierten Pegelmanometer, das an verschiedenen Punkten an der Luzernerbucht und einmal bei der Vitznauer Nase aufgestellt worden war.

„Im ganzen wurden 56 kleinere und grössere Beobachtungsreihen durchgeführt und dabei folgende Resultate erhalten: Die am häufigsten auftretenden, die 40mal beobachteten Perioden variieren zwischen 22 und 25 Minuten für die ganze Schwingung; der mittlere Wert war 24,2. Viermal wurde eine grosse Periode von 43 bis 40 Minuten gefunden, fünfmal eine kleine Periode von 10 bis 11 Minuten, einmal eine Periode von bloss $4\frac{1}{2}$ Minuten bei Aufstellung des Apparates in Vitznau. Die letztere Periode, die mit einer grössern Längsschwingung von $24\frac{1}{2}$ Mi-

nuten in störender Weise sich mischte, wurde von mir als eine transversale Schwingung des Sees zwischen Vitznau und dem Ufer am Bürgenberg aufgefasst. Bei meiner Beobachtung in Vitznau am 9. Februar 1877 machte Prof. J. Degen in Luzern am Registrierpegel an der Seebrücke eine Gegenbeobachtung, welche ziemlich die gleiche Schwingungsdauer (24,2 Minuten) ergab, wie die Beobachtung in Vitznau. Die Ausschläge erwiesen sich dabei als entgegengesetzt. Die Amplitude der Schwingungen war in Luzern 5 cm, in Vitznau bloss 1 cm. Die grössten Amplituden bei allen diesen Beobachtungsreihen in Luzern waren zwischen den Grenzen von 6—12 cm enthalten.

„Die gleichzeitigen Notierungen von Barometerständen und Witterung an den Tagen der Seiches-Beobachtungen ergaben, dass die Seiches unseres Sees bei tiefem, mittlerem und hohem Barometerstand sich einstellen. Die grösste beobachtete Amplitude von 12—13 cm wurde an einem Tage mit hohem und steigendem Barometerstand gefunden (735 mm). Wiederholt wurden aber auch bei föhnigem Wetter und rascher Barometerveränderung erhebliche Amplituden beobachtet.

„Ein mir unbekannter Beobachter berichtet im Oktober 1885 im Luzerner Tagblatt, dass er am 15. Oktober 1885 vormittags bei der Reuss am Ausfluss des Sees, eine starke Schwankung des Sees beobachtet habe. Die Schwankungen dauerten 5 bis 7 Minuten (vermutlich sind damit halbe Schwingungsdauern gemeint), und das Steigen und Fallen des Wassers betragen an der Reuss 20 bis 25 cm. Der Barometerstand betrug damals 718 mm und war bei Regenwetter in raschem Steigen begriffen. Am Abend desselben Tages stellte sich an vielen Orten in der Schweiz herum ein starker Föhnsturm ein. Es war also eine aufgeregte, unruhige Wettersituation, welche diese auffallend grossen Seiches hervorrief.“
Arnet.

Es war unmöglich, dieses Studium mit den unvollkommenen Mitteln, über die Hr. Arnet verfügte, weiter zu führen. Es hat mich deshalb die Untersuchungskommission dieses Sees beauftragt, die Untersuchung mit dem zu diesem Zwecke konstruierten Apparate von neuem aufzunehmen.

Ich will also einen flüchtigen Bericht über die bis heute

mit meinem transportablen selbstregistrierenden Limnimeter erhaltenen Ergebnisse erstatten.

Das Problem ist sehr kompliziert wegen der Form des an sich schon komplizierten und sehr unregelmässigen Sees, und ist noch nicht vollständig gelöst, obwohl lange Serien von Beobachtungen von sechs verschiedenen Stationen dieses schönen Sees vorliegen.

Die Hauptperioden der Longitudinalschwingung des ganzen Sees, uninodale und binodale, haben mit grosser Genauigkeit durch sehr übereinstimmende Beobachtungen erstellt werden können. Ebenso verhält es sich mit einer sehr regelmässigen, in einer Transversalaxe Küsnach-Stansstad liegenden Spezialschwingung. Die in den verschiedenen Armen des westlichen Seeteils Luzern, Küsnach, Vitznau, Hergiswil, auftretenden sekundären Schwingungen jedoch sind noch nicht entwirrt und die Beobachtungen in diesem Teil des Sees müssen zur Aufklärung verschiedener Punkte fortgesetzt werden.

Um Ordnung in die Darstellung der bisher erhaltenen Resultate zu bringen, behandle ich der Reihenfolge nach die einzelnen Stationen, auf denen der Apparat aufgestellt war.

Luzern.

Im Einverständnis mit der Lokalkommission¹⁾ habe ich die Beobachtungen in Luzern auf der Station Luzern begonnen, die vorteilhaft am einen Ende der grossen Axe des Sees gelegen ist, wo sich ein Schwingungsmaximum befinden muss. Die Wahl dieser Station drängte sich für den Anfang der Untersuchungen deswegen auf, weil auf diesem Punkte die einzigen alten Seichesbeobachtungen des Sees gemacht worden waren; auf diesem Punkte hatte Hr. Prof. Arnet von 1875 bis 1877 seine ersten und mühsamen Versuche für die Bestimmung der Periode angestellt. In Luzern befand sich auch der Apparat am ehesten im Bereiche meiner liebenswürdigen Mitarbeiter von

¹⁾ Ich schulde hier meinen aufrichtigen Dank den Herren dieser Kommission, welche sich ganz besonders um diese Untersuchungen interessiert haben: Herren Prof. Arnet, Amberg und Bachmann von Luzern, welche schätzenswerte und treue Mitarbeiter waren.

der Kommission, die seinen Gang auf diesem See von Anfang an verfolgen und sich mit ihm vertraut machen wollten.

Mein Apparat ist den 14. Juli 1897 auf dem rechten Ufer der Reuss installiert worden, ungefähr 50 m vom Austritt der letztern aus dem See in einer an den Aufstieg zur alten gedeckten Brücke (Kapellbrücke) angebauten Hütte, die in sehr verbindlicher Weise durch die Stadtbehörden bis zum folgenden 15. Dezember zu meiner Verfügung gestellt wurde, zu welcher Zeit sie dem neuen Quai, der dem Fluss entlang erstellt wurde, weichen musste. Während dieser fünf Monate hat der Limnograph ununterbrochen auf dieser Station marschiert unter der Ueberwachung der HH. Prof. Arnet und Bachmann und des Hrn. Dr. Steiger. Die Kurve, die er gezeichnet, ist im allgemeinen ziemlich kompliziert und nimmt selten die Form einer regelmässigen, etwas langen Sinuslinie von dauernder rythmischer Bewegung an.

Man findet immerhin sehr rein eine Maximalperiode von 44 bis 45 Minuten, die später als die uninodale erkannt wurde. Nichtsdestoweniger ist die Sinuslinie dieses letztern Typus selten einfach, sondern kombiniert sich meistens mit Perioden von kürzerer Dauer, die sie festonnieren. Desgleichen ist es unmöglich, aus den Zeichnungen von Luzern ein genaues Zeitmass für diese Seiches abzuleiten. Wir notieren einfach beispielshalber:

16. Juli 1897 4. 50 h morgens bis 16. Juli 7. 50 h morgens 4 Schwingungen in 180 Min., Periode 45 Min.

Der Typus, der hier am häufigsten in regelmässiger Reihenfolge erscheint, ist eine Seiche von 24 Minuten Dauer, die ich auf Tafel I, Fig. 1 wiedergebe. Ich kann mehrere Serien anführen, die eine ziemlich befriedigende erste Messung dieser Periode ergeben:

3. Sept. 1897 9. 41 h abends bis 4. Sept. 11. 41 h morgens 35 Schwingungen in 840 Min., Periode 24 Min.

15. Okt. 1897 2. 35 h abends bis 10. 04 h abends 20 Schwingungen in 481 Min., Periode 24 Min.

19. Okt. 1897 11. 46 h abends bis 20. Okt. 11. 06 h abends 60 Schwingungen in 1440 Min., Periode 24,3 Min.

21. Nov. 1897 7. 45 h morgens bis 22. Nov. 3. 38 h morgens 50 Schwingungen in 1213 Min., Periode 24,26 Min.

27. Nov. 1897 9. 22 h morgens bis 28. Nov. 5. 28 h morgens 50 Schwingungen in 1206 Min., Periode 24,12 Min.

Man konnte gleich von Anfang an mit grosser Aussicht auf Wahrscheinlichkeit die Maximalperiode von 44 Minuten als die Uninodale des ganzen Sees betrachten, also Schwingung Luzern-Flüelen und diese letztere oder die Uninodale des Beckens Luzern-Vitznau. Endlich hat Luzern auf diesen beiden kürzere Schwingungen geliefert, deren gewöhnlichste gut erkenntlich 10 Minuten Dauer hat (Tafel I, Fig. 2) und häufig die Binodale halbiert (plurinodale Longitudinalschwingungen).

In Luzern kombinieren sich diese Typen meistens, legen sich übereinander, so dass sie eine oft sehr schwer zu entziffernde Kurve bilden. Diese Verwicklung rührt offenbar von der sehr komplizierten Form der westlichen Hälfte des Sees mit seinen zahlreichen Buchten und Sekundärbecken her.

Flüelen.

Das einfache Resultat sollte sich finden am andern Ende des Sees und in seiner östlichen Hälfte, die von der Seeenge bei den Nasen bis Flüelen einen langen, ziemlich regelmässigen Darm bildet, der nur bei Brunnen eine Biegung hat. Ich habe den Apparat am 4. Mai 1898 in Flüelen in einem Badhause in der Nähe des alten „Urnerhofes“ installiert, der ein eidgen. Dépôt für Ambulanzmaterial geworden ist. Hr. Gisler, Verwalter dieses Dépôts, dessen wertvoller Mithilfe Hr. Prof. Bachmann sich vorgängig versichert hatte, hat mehr als ein Jahr lang über den Gang des Instrumentes die hingebendste und einsichtsvollste Ueberwachung ausgeübt. Wir schulden ihm dafür grossen Dank.

Während in Luzern die Periode von 44 Minuten fast nie in Form einer einfachen Sinuslinie erschienen war, sondern immer vom Typus von 24 Minuten und noch kürzern begleitet, fand in Flüelen das Gegenteil statt, wo diese Periode den Normalbestand bildet und sich fast beständig mit ausserordent-

licher Regelmässigkeit in sehr langen Serien zeigt. So hat gleich am Anfang der Beobachtungen, vom 6. Mai abends bis zum 8. Mai morgens, diese rythmische Schwingung, die mit Ausschlägen von 8 bis 10 cm im Augenblicke, wo ein heftiger Sturm über Luzern wehte, während mehr als 36 Stunden vollständige Gleichmässigkeit gezeigt. Der Beweis, dass diese Periode wohl die der einfachen Schwingung Luzern-Flüelen (uninodale des ganzen Sees) ist, liess nicht auf sich warten. Beobachtungen, die gleichzeitig in Luzern am Limnimeter des Quais durch Hrn. Bachmann am 22. Juni 1898, durch Hrn. Amberg am 3. Januar und 12. April 1899 vorgenommen wurden, haben mit aller Deutlichkeit für diesen Schwingungsmodus den Gegensatz der Bewegungen an beiden Enden des Sees erzeugt. Fig. 1 und 2, Tafel II, zeigen die Kurven dieser Art, gezeichnet in Flüelen an beiden letztern Daten mit Gegenübersetzung der gleichzeitig in Luzern erhaltenen Kurven. Die Gegenseitigkeit ist vollkommen sichtbar.

Als Masse geben wir:

- 3. Januar 1899 8. 10 h morgens bis 6. Januar 9. 52 h morgens
100 Schwingungen in 4422 Min., Periode 44.22 Min.
- 27. Januar 1899 7. 53 h morgens bis 28. Januar 8. 41 h abends
50 Schwingungen in 2208 Min., Periode 44. 16 Min.
- 5. Februar 1899 8. 36 h morgens bis 8. Februar 10. 27 h morgens
100 Schwingungen in 4431 Min., Periode 44. 31 Min.
- 11. April 1899 9. 02 h morgens bis 13. April 9. 55 h morgens
50 Schwingungen in 2213 Min., Periode 44. 26 Min
- 16. April 1899 7. 37 h abends bis 19. April 9. 09 h morgens
100 Schwingungen in 4412 Min., Periode 44. 12 Min.
- 25. April 1899 5. 42 h morgens bis 28. April 7. 09 h morgens
100 Schwingungen in 4407 Min., Periode 44. 07 Min.

Die Periode von 24 Minuten, die wir mit Grund als die binodale betrachten dürfen, ist in Flüelen selten. Sie hat nur einige wenig ausgesprochene Serien geliefert, die sich schwer für exakte Messungen eignen; ein einziges Mal, am 20. und 21. Mai 1899, hat sie 50 aufeinanderfolgende Schwingungen geliefert. Fig. 5, Tafel I, zeigt einen Teil dieser Serie:

- 20. Mai 1899 3 h abends bis 21. Mai 11. 48 h morgens 50
Schwingungen in 1210 Min., Periode 24. 20 Min,

Die einfache Pendelbewegung herrscht hier unumschränkt und man hat Grund, überrascht zu sein, dass sie sich mit einer so vollkommenen Beharrlichkeit in einem im allgemeinen so komplizierten Becken bildet. Ungeachtet dieser Unregelmässigkeit der Form, bildet der See einen gut geregelten, gut gestimmten Vibrationsapparat, was an der günstigen Stellung, welche die Seeenge der Nasen einnimmt, liegen muss, diesem starken Knoten, der gut mit dem natürlichen Knotenpunkt der Schwingungen der beiden Seehälften, die sich gegenseitig das Gleichgewicht halten, zusammenfällt. Es ist dies das Gegenteil von dem, was ich auf dem Zürichersee konstatiert habe, einem See mit unregelmässigem und wenig konstantem Schwingen, das gestört wird durch die leidige Lage des starken Knotens bei Rapperswil, der mit dem natürlichen Knotenpunkt des Sees nicht zusammenfällt und ihn zu einem durch den Musiker falsch gestimmten Instrument macht.

Seeenge bei den Nasen.

Nach Feststellung dieser so gut regulierten Schwingungsbewegung war es von Interesse, das Instrument möglichst nahe an der Seeenge der Nasen, dem vermuteten Knotenpunkt zu plazieren. Das geschah am 10. Juni 1899 in der Schiffshütte einer dem Hrn. Kohler von Vitznau gehörenden, an der Schibern, ganz nahe an der Spitze der einen der Nasen (obern Nase) gelegenen Villa. Er verblieb dort bis zum 27. Juni 1900 unter der Obhut des Pächters der Beszung, Hrn. Zimmermann, dem, wie Hrn. Kohler, wir unsern vollen Dank zollen.

In Uebereinstimmung mit der Hypothese, die wir oben über die Rolle der Seeenge der Nasen in der Lage des Ellbogenknotens aufgestellt haben, waren die Schwingungen dieser Station im allgemeinen wenig ausgesprochen und haben nie die lange (uninodale) Periode gezeigt. Dagegen bildet dort die 24 Minuten-Schwingung eine ständige Erscheinung und von vollkommener Reinheit, wie ich sie in Fig. 4 und 5, Tafel I wiedergebe, wo die Abnahme unmerklich ist. Die Amplitude der Bewegungen auf Schibern hat selten die in Fig. 4 enthaltene überstiegen.

Ich notiere wirklich:

- 2. Dezember 1899, 8. 30 h morgens bis 3. Dezember 8. 18 h morgens 60 Schwingungen in 1445 Min., Periode 24.25 Min.
- 19. Januar 1900, 6. 47 h abends bis 20. Januar 2. 57 h abends 50 Schwingungen in 1210 Min., Periode 24.20 Min.
- 29. Januar 1900, 5. 37 h abends bis 30. Januar 1. 45 h abends 50 Schwingungen in 1209 Min., Periode 24.18 Min.
- 14. Februar 1900, 4. 08 h abends bis 16. Februar 8. 34 h morgens 100 Schwingungen in 2426 Min., Periode 24.26 Min.
- 13. April 1900, 8. 32 h abends bis 14. April 4. 45 h abends 50 Schwingungen in 1213 Min., Periode 24.25 Min.

Ich leite aus der Gesamtheit dieser Masse für die Uninodale ab 44.20 Minuten oder 44 Minuten 12 Sekunden, für die Binodale 24.25 Minuten oder 24 Minuten 15 Sekunden. Die Binodale ist somit ein wenig länger als die Hälfte der Uninodalen, wie dies der Fall ist bei allen bis jetzt studierten Seen, mit Ausnahme des Genfersees.

Küssnach-Stansstad.

Nach den sehr befriedigenden Ergebnissen der Stationen Flüelen und der Nasen für die Bestimmung der Fundamentalbewegungen des Sees, uninodale und binodale, hatte es ein gewisses Interesse, zu untersuchen, in welchem Masse die Sekundärbecken an dieser allgemeinen Bewegung teilnehmen oder ob sie im Gegensatz dazu ihre eigene Schwingung haben, zu untersuchen auch, ob die Sekundärbecken, namentlich wenn sie günstige Bedingungen aufweisen, wie der Arm Küssnach-Stansstad, Normalschwingungen in der Längsaxe des Sees ergeben könnten, also eine Art Transversalschwingungen nach Art derer, die Hr. Forel als solche in Morges beschrieben hatte (Seiches von 10 Minuten), bloss dass sie hier beschränkt wären durch eine Art Kanal, statt, wie dies in Morges der Fall, auf einer weiten Seefläche, die keine konstanten Breiten präsentiert und deshalb auch nicht in allen ihren Teilen identische Perioden.

Zur Aufklärung des wahrscheinlichen Schwingens Küssnach-Stansstad bedurfte es zweier auf diesen beiden Stationen gleichzeitig funktionierenden Apparate. Ich habe in der Tat

einen zweiten erwerben können, der von der Société genevoise gleichzeitig mit den für Italien und Bayern bestimmten erstellt wurde. Auf Wunsch seiner Freunde von Luzern hat Hr. Landschaftreiber Trutmann, ein eifriger Naturfreund, die Güte gehabt, die Ueberwachung des alten Instrumentes zu übernehmen, das in Küsnach aufgestellt wurde, und ich habe die Besorgung desjenigen in Stansstad dem Hrn. Jenny, Mechaniker, übertragen. Ich halte sehr darauf, dem einen wie dem andern für die geschickte und ausdauernde Besorgung, die sie diesen Beobachtungen gewidmet, zu danken¹⁾. Die Apparate haben gleichzeitig seit 1. Juli 1900 funktioniert. Vom 4. Juli an enthüllt die Doppelzeichnung isochrone Schwingungen von 18 Minuten Dauer, entgegengesetzt auf beiden Stationen (Fig. 1, Tafel III) und durch diese Tatsache eine Schwingung zwischen ihnen andeutend, die unabhängig ist von den andern Schwingungen des Sees. Am 27. August hat diese Seiche sehr ausnahmsweise Proportionen angenommen; ich gebe sie in Fig. 2, Tafel II. Der blaue Strich ist die Zeichnung von Küsnach, der rote die von Stansstad. Die Schwingungen, die auf der ersten der beiden Stationen nahezu 30 cm Amplitude erreicht haben, gehören zu den schönsten, die auf den schweizerischen Seen beobachtet worden sind. Beide Beobachter waren für interessante Fälle eingeladen worden, sich miteinander in Beziehung zu setzen, ihre Uhren sehr genau zu richten und die Stunde fleissig auf der Kurve zu notieren. Die Genauigkeit, mit der sie sich dieser Aufgabe entledigt, erlaubt, die beiden Kurven genau aufeinander zu legen, wie wir das auf Tafel III getan haben und die vollkommene Wechselbeziehung der beiden Zeichnungen, die wohl darlegt, dass es sich hier um eine Uninodale Küsnach-Stansstad handelt. Die Amplitude ist grösser in Küsnach, dem Ende eines engen und wenig tiefen Beckens, schwächer in

¹⁾ Der Küsnacher Apparat wurde in einem der kürzlich errichteten „Kur-anstalt“ gehörigen und uns in verbindlicher Weise zur Verfügung gestellten Badehaus untergebracht, derjenige von Stansstad wurde zuerst im Badhause des Hôtels Winkelried sehr liebenswürdig und gastlich aufgenommen, hernach in demjenigen des Hôtels Freihof und letztlich in einer Schiffshütte im Alpachersee nahe bei seinem Austritt in den grossen See.

Stansstad, einem breiten und tiefen Golf. Als Mass der Dauer haben wir:

27. Juli 1900, von 10.53 h morgens bis 7.57 h abends 30
Schwingungen in 544 Min., Periode 18.13 Min.

Am 9. bis 12. Januar hat sich in Küsnach eine Seiche von geringerer Amplitude, aber grösserer Dauer, die sich besser zur Vornahme einer exakten Messung der Periode eignet, gezeigt. Man kann in der Tat an diesen Tagen eine sehr reine Sinuslinie von mehr als 200 Schwingungen verfolgen, die bloss eine schwache Abnahme zeigt. Ich notiere:

9. Januar 1900, 1.47 h abends bis 12. Januar 2.40 h morgens
200 Schwingungen in 3653 Min., Periode 18.26 Min.

Am 24. August zeigte sich eine Serie sehr reiner Schwingungen von der halben Periode der vorigen (Tafel III, Fig. 3).

24. August 1900, 12.03 h morgens bis 8.05 h morgens 52
Schwingungen in 482 Min., Periode 9.27 Min.

Der Synchronismus mit Stansstad konnte in diesem Falle nicht sicher dargetan werden, aber es handelt sich offenbar um die Binodale Küsnach-Stansstad, die auch hier wieder eine längere Periode hätte, als die Hälfte der Uninodalen.



