

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1912. Heft III

November- und Dezembersitzung

München 1912

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

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



Vibrationsbeobachtungen in den oberbayerischen Seen und analoge Erscheinungen in den Meeren.

Von **A. Endrös.**

Mit 2 Tafeln.

Vorgelegt von H. Ebert in der Sitzung am 7. Dezember 1912.

Durch die Munifizienz der K. Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München wurde im Jahre 1900 die Anschaffung zweier Linnimeter Sarasinscher Konstruktion ermöglicht. Mit diesen registrierenden Pegelapparaten unternahm erstmalig Herr Hermann Ebert die Untersuchung eines bayerischen Sees, des Würmsees, auf jene eigentümlichen pendelartigen Schwingungen der gesamten Wassermasse eines Sees, die man nach dem Beispiele der am Genfersee beobachteten Seespiegelschwankungen „Seiches“ genannt hat. Unter seiner Leitung und weiterhin unterstützt durch die genannte Akademie wurden seitdem an den verschiedensten Punkten einer großen Reihe von Seen mit diesen Instrumenten Beobachtungen angestellt, wozu der Verfasser noch ein sehr empfindliches Zeigerlinnimeter und ein leicht transportables registrierendes Linnimeter konstruierte, so daß außer den Periodendauern der Schwingungen auch die Lage der Knotenlinien festgelegt werden konnten. In dieser Weise wurden untersucht: Der Würmsee von H. Ebert und Ph. Schnitzlein, der Chiemsee, Waginger-Tachingensee, Simssee,¹⁾ Königsee¹⁾ und Tüttensee¹⁾ vom Verfasser, wozu noch kürzerdauernde Beobachtungen an 18 weiteren Seen¹⁾ kommen. Zur Zeit werden die gleichen Beob-

¹⁾ Die Ergebnisse sind noch nicht veröffentlicht.

achtungen am Ammersee weitergeführt, welche schon H. Ebert im Jahre 1904 begonnen hatte.

Durch diese Untersuchungen ist ein außerordentlich reiches Kurvenmaterial gewonnen worden. Schon das erste Studium desselben zeigte, daß außer den eigentlichen Grund- und Oberschwingungen, welche man als stehende Wellenbewegungen, also als eigentliche Seiches zu deuten hatte, noch zahlreiche Schwingungen kürzerer Dauer auftreten, welche das Limnogramm zackenförmig erscheinen lassen. Auf diese kurzperiodischen Wasserstandsschwankungen hat F. A. Forel, der Begründer der modernen Seenforschung, schon aufmerksam gemacht und sie zum Unterschiede von den Seiches Vibrationen genannt.¹⁾ Auf Grund seiner Beobachtungen in Morges am Genfersee glaubte er auch in ihnen Seiches, also stehende Schwingungen des ganzen Sees suchen zu müssen. Zugleich hat er schon damals auf die ganz analogen Erscheinungen an den Meeresküsten hingewiesen, welche die Flutkurven der Mareographen auszacken und schon lange unter dem Namen „sekundäre Gezeiten“, oder an manchen Küstenpunkten, wo sie unter Umständen mit enormen Amplituden auftreten können, unter lokalen Namen bekannt waren. Die diesbezüglichen Beobachtungen Forels am Genfersee hat G. H. Darwin²⁾ besonders beachtet und als die merkwürdigsten Forschungsergebnisse Forels bezeichnet. Zugleich erkannte er, daß die Vibrationen der Seen zu lokalen Charakter haben, als daß sie eigentliche Seiches sein können, daß darin vielmehr fortschreitende Wellen großer Länge zu suchen seien, wie sie durch einen einzigen Impuls gleichzeitig mit solchen kurzer Länge entstehen, was sich durch unsere Beobachtungen alles bestätigt. An der gleichen Stelle weist er auf dieses Forschungsgebiet mit den noch nicht geklärten Fragen als interessantes Arbeitsfeld für künftige Untersuchungen hin.

¹⁾ F. A. Forel, *Le Léman II*. Lausanne 1895, p. 213 ff.

²⁾ G. H. Darwin, *Ebbe und Flut, sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem*. Leipzig 1902, p. 36 ff. und Leipzig 1911, p. 38 ff.

Das Verdienst, die Untersuchungen der Vibrationen in neuester Zeit wieder angeregt zu haben, gebührt G. Chrystal,¹⁾ der am Schlusse seiner Seichesuntersuchungen in den schottischen Seen auch die Vibrationen mit seinem „Statolimnographen“ beobachtete und sie auf Grund der Ergebnisse nicht für stehende Schwingungen des ganzen Sees hielt, sondern für lokale, von der Uferbeschaffenheit abhängige Erscheinungen, die teils durch Stauwirkungen des Windes teils durch fortschreitende, wellenförmige Störungen verursacht werden.

Inzwischen waren die analogen Erscheinungen in den Meeren, zum Teil angeregt durch Forels Beobachtungen am Genfersee, von den Ozeanographen allseits untersucht worden, wobei sich übereinstimmend ergeben hatte, daß die sogenannten sekundären Gezeiten Resonanzschwingungen von Meeresbuchten sind, welche an der Mündung der Bucht einen Schwingungsknoten haben, und daß diese stehenden Schwingungen durch Wellen großer Länge ausgelöst werden, die vom offenen Meere kommen und teils atmosphärischen teils seismischen Ursprungs sein können.²⁾ Diesen Ergebnissen in den Seen und Meeren gegenüber wies Forel darauf hin, daß die Vibrationen nicht nur in abgeschlossenen Buchten sondern auch an der offenen Küste vorkommen, wo, wie er glaubte, keine Resonanz möglich sei. Er hielt deshalb an seiner Hypothese fest, daß in diesen Schwingungen auch Seiches zu suchen seien und zwar mehrknotige Seiches, die quer zur Uferstelle schwingen.³⁾

Aus dem an den bayerischen Seen gewonnenen Kurvenmateriale und demjenigen der Literatur, sowie durch neue Beobachtungen und Versuche an kleineren Wasserbecken und Weihern konnte ich dagegen nachweisen, daß ein Vorkommen von sechsknotigen Seiches schon sehr selten ist und daß an

¹⁾ G. Chrystal, An investigation of the seiches of loch Earn by the Shottish Lake Survey, Trans. R. Soc. Edinburgh 1908. Bd. 46, III, No. 20, p. 490.

²⁾ O. Krümmel, Ozeanographie, Bd. II. Stuttgart 1911, p. 168 ff.

³⁾ F. A. Forel, Vibrations de la mer et des lacs. Arch. de Gen. IV, 27, 1909, p. 161.

korrespondierenden Uferpunkten des nämlichen Sees gleichzeitig ganz andere periodische Schwankungen auftreten.¹⁾ Obwohl nun auch Querseiches im Sinne Forels an günstigen Punkten in Seen möglich sind, wie ich solche in einzelnen Fällen mit Sicherheit nachweisen konnte,²⁾ so war doch die Annahme solcher für die Mehrzahl der Stationen unmöglich, da sie bis 20 und mehr Knoten haben müßten.

Es legte vielmehr eine genaue Analyse dieser kurzperiodischen Schwingungen alsbald eine andere Vermutung nahe, nämlich daß man es bei den Vibrationen mit einer allgemeineren Erscheinung zu tun habe, wovon die Seiches nur einen speziellen Fall bilden, daß nämlich in diesen kurzperiodischen Schwankungen Wasserwellen von großer Länge zu suchen seien, die im See fortschreiten und an den Küsten reflektiert werden. Wenn nun so viele Wellen gleicher Periodendauer und Amplitude aufeinanderfolgen, daß sie die doppelte Seelänge oder Seebreite ausfüllen, so hat man die bekannte Interferenzerscheinung der stehenden Wellenbewegung, also eigentliche Seiches, im anderen Falle nur im See fortschreitende Wellen. Kommen ferner die Wellen an eine Bucht, so bringen sie dieselbe zur Resonanz, wenn die Periodendauern der Wellen den Eigenschwingungsdauern der Bucht nahekommen, wobei sich noch das weitere Phänomen zeigte, daß auch eine Wassermasse, die nicht so vollständig begrenzt ist wie das Buchtenwasser, zu einem schwingungsfähigen Gebilde von bestimmter Periodendauer werden kann.³⁾

Bei den besprochenen Untersuchungen waren aber zum größten Teile nur Beobachtungen benützt worden, welche zunächst zum Studium der langperiodischen Seichesschwingungen angestellt worden waren, wobei ein langsamer Streifengang verwendet wurde und die Beobachtungspunkte dem Zwecke

¹⁾ A. Endrös, Die Vibrationen der Seen. Programm des humanistischen Gymnasiums Freising, 1911, 52 S. und 13 Fig.

²⁾ A. Endrös, Vergleichende Zusammenstellung der Hauptseichesperioden. Pet. Mitt., 1903, Heft III, p. 63.

³⁾ Die Vibrationen etc., zit. unter 1), p. 38.

entsprechend ausgewählt waren. Dazu kommt, daß unsere Vibrationen zunächst nur bei windigem Wetter auftreten und wegen des Zusammenwirkens verschiedener Wasserstandsschwankungen eine äußerst komplizierte Erscheinung darstellen. Es haben nämlich Beobachtungen an kleinen Wasserflächen ergeben, daß jeder Windstoß solche lange Wellen auslöst;¹⁾ nun kann aber der Entstehungsort der Wellen auf großen Wasserflächen fern vom Beobachtungsorte liegen, dann werden stets mehrere Systeme solcher Wellen entstehen und im Linnogramme des Beobachtungspunktes sich überlagern, endlich treten bei windigem Wetter periodische und aperiodische Stauwirkungen des Wassers auf, schließlich kommen noch die stets vorhandenen Oberflächenwellen dazu, die bei großen Amplituden auch in den Schutzbehälter dringen und welche die weitere Erscheinung der sogenannten Kombinationswellen verursachen können. Als Beispiel eines solchen komplizierten Linnogrammes füge ich in Tafel II, Fig. 15 ein durch ein Sarasinsches Linnimeter aufgezeichnetes Kurvenbild an, das H. Ebert im Jahre 1904 bei starkem Weststurm in Breitbrunn am Ostufer des Ammersees (vgl. Tafel I, Nr. 12) erhalten hatte. Die Vibrationen weisen darin Amplituden bis 110 mm auf, wie sie die Seichesschwingungen am Ammersee bis jetzt nicht einmal erreicht haben und wie ich sie in keinem See angenähert so groß gefunden habe, und enthalten gleichzeitig alle erwähnten Schwankungen.

Da nun die früheren Ergebnisse speziell am Chiemsee gezeigt hatten, daß auch im See verkehrende Dampfschiffe nicht nur die gleichen Erscheinungen der kurz dauernden Schwankungen verursachen,²⁾ sondern daß diese geringen Mengen kinetischer Energie der fahrenden oder stoppenden Dampfer an dem nämlichen Orte auch dieselben Periodendauern auslösen, wie der Wind,³⁾ so bietet die Beobachtung dieser sogenannten

¹⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 50.

²⁾ A. Endrös, Seeschwankungen (Seiches), beobachtet am Chiemsee. Traunstein 1903, p. 101.

³⁾ Die Vibrationen etc., zit. p. 44.

„Dampfervibrationen“ ein viel günstigeres Mittel, das interessante Phänomen der Vibrationen der Seen weiter zu verfolgen. Man kennt hierbei nämlich nicht nur den Entstehungsort, sondern auch die Zeit der Entstehung und sogar die angenäherte Größe des wellenerregenden Impulses, die sich aus dem Tonnengehalt und der Fahrgeschwindigkeit ergibt, außerdem eilen diese langen Wellen den Oberflächenwellen der Dampfer voraus und es gelangen letztere bei größerer Entfernung überhaupt nur ganz schwach zum Beobachtungspunkte.

Zu den neuen Untersuchungen wurde der Ammersee ausgewählt, an dem die Seichesbeobachtungen des Herrn H. Ebert fortgesetzt wurden. Das ungewöhnlich ruhige Wetter des Sommers 1911 begünstigte die Vibrationsbeobachtungen derart, daß innerhalb eines Monats von 15 verschiedenen Punkten zum Teil ganz reine und interessante Limnogramme von Dampferstörungen erhalten wurden, während im darauffolgenden Sommer 1912 nicht eine günstige Beobachtung bei dem unruhigen Wetter gelang. Die Windvibrationen nämlich, die sich schon bei geringer Windstärke zeigen, überlagern die vom Dampfer herrührenden Wellen und machen das Limnogramm unbrauchbar. Aus diesem Grunde sind diesbezügliche Beobachtungen, wie schon Forel¹⁾ erwähnt, nicht leicht zu erhalten.

Die Beobachtungspunkte sind in der beiliegenden Tiefenkarte des Sees (siehe Tafel I), welche der verdienstvollen Arbeit von Herrn W. Ule²⁾ entnommen ist, eingezeichnet. Die gestrichelten Linien in der Karte zeigen die Kurse der im See verkehrenden Dampfer. Es verkehren regelmäßig zwei Schiffe (im Texte mit „Andechs“ bezeichnet), von denen das eine von Diessen am Südwestende, das andere von Stegen am Nordende ausgeht. Beide sind 40 m lang, 11 m breit und haben eine Wasserverdrängung von 130 Tonnen und eine Fahrge-

¹⁾ Forel, Le Léman II, p. 219.

²⁾ W. Ule, Studien am Ammersee. Landeskundliche Forschungen. Heft I. München 1906.

schwindigkeit von 21 km pro Stunde. Manchmal verkehrt ein drittes Schiff „Gisela“, das 53 m lang und 13 m breit ist, einen Tonnengehalt von 210 Tonnen und eine Stundengeschwindigkeit von 22 km hat.

Die Beobachtungsergebnisse an den einzelnen Punkten.

Als Beobachtungsinstrumente wurden ein selbstregistrierendes transportables Limnimeter¹⁾ und ein Zeigerlimnimeter²⁾ benützt. Von Wichtigkeit ist bei der Beobachtung von Schwankungen kurzer Dauer die passende Wahl des Zuflusses, da, wie G. Chrystal auch theoretisch gezeigt hat,³⁾ die Schwingungen durch denselben nicht nur gedämpft werden sondern auch Phasenänderungen erleiden. Vor allem mußten die Oberflächenwellen der Dampfer ganz abgehalten werden; dadurch wurden aber auch die Vibrationen unter 0.3 Min. Dauer ganz abgedämpft, was zur Vermeidung zu komplizierter Kurvenbilder geradezu notwendig ist. Als Streifengang wurde gewöhnlich ein solcher von 3 mm pro Minute und bei Nacht von 1 mm pro Minute benützt. Das zu Vergleichsbeobachtungen verwendete Zeigerlimnimeter ließ die Amplituden in fünffacher Vergrößerung ablesen. Die Beobachtungen mit diesem Instrumente gelangen im Gegensatze zu den früheren⁴⁾ sämtliche sehr gut, nachdem durch passende Regulierung des Zuflusses die störenden Schwankungen kürzester Dauer abgehalten wurden. Die Ablesungen des Wasserstandes erfolgten alle 10 Sekunden. Die Eigenschwingungen des Behälters, der gleichsam eine Bucht bildet, welche mit dem See durch den Zufluß kommuniziert, hatten beim transportablen Limnimeter eine Dauer von 0,3 Min. und beim

1) Vgl. die Beschreibung desselben in der Zeitschrift für Instrumentenkunde. Berlin 1904, S. 180.

2) A. Endrös, Seeschwankungen, beobachtet am Chiemsee. Traunstein 1903, S. 5.

3) G. Chrystal, Trans. R. Soc. Edinburgh, 45, II, No. 14, p. 373.

4) A. Endrös, Die Vibrationen der Seen, zit. S. 518, p. 30.

Zeigerlimnimeter eine solche von 0,5 Min. bis 0,06 Min. je nach Wahl des Zuflusses. Die Dauer läßt sich bei ruhigem See durch taktmäßiges Heben und Senken des Behälters leicht bestimmen, wobei die Wasserstandsschwankungen im Behälter am größten werden, wenn man mit dem Intervall der Eigenschwingungsdauer nahe kommt.

Auf diesem Wege gelang es, an 15 verschiedenen Küstenpunkten die Störungen des landenden oder vorbeifahrenden Dampfers zu registrieren. Eine Auswahl der erhaltenen Kurven gibt die Tafel II in den Fig. 1—14. Eine Hauptaufgabe war nun, aus den Limnogrammen die darin enthaltenen Wellen nach Periodendauer, Amplitude und Beginn der einzelnen Schwingungen herauszuschälen. Die Schwierigkeit einer genauen Bestimmung der Periodendauern ist hier besonders groß, da die Periodendauern nur klein sind und einander oft nahe kommen, ferner da die Anzahl aufeinanderfolgender Schwingungen nur gering ist und die Perioden und Amplituden rasch wechseln. Es gelang mir daher auch öfters erst bei einer zweiten und dritten Durcharbeitung des Kurvenmaterials weniger hervortretende Schwingungen herauszufinden. Eine exakte Analyse der Limnogramme durch die Chrystal'sche Restmethode¹⁾ war nämlich nur bei wenigen Kurvenbeispielen möglich und zwar nur bei solchen, die nach den Ablesungen mit dem Zeigerlimnimeter in vergrößertem Maßstab gezeichnet werden konnten und dazu keine raschen Änderungen der Amplituden enthielten. Unter den erwähnten Umständen war daher nur selten eine genauere Periodendauermessung als auf $\pm 0,1$ Min. zu erreichen.

Die Ergebnisse der Kurvenanalyse sind im folgenden ausführlich mitgeteilt, da auf Einzelheiten der Kurven und der einzelnen Schwingungen, wie Zeitpunkt der Entstehung, Periodendauer, Anzahl der aufeinanderfolgenden Schwingungen, Amplituden und Reihenfolge der ankommenden Wellen wiederholt in der Ausführung Bezug genommen werden muß. Zudem

¹⁾ G. Chrystal, An investigation of the seiches etc., zit. S. 517, 45, II, No. 14, p. 382.

liegt in der Literatur bis jetzt keine so eingehende Analyse der Limnogramme von Vibrationen vor. An der Hand der beigegebenen Kurven können außerdem die Ergebnisse der Vermessung von wichtigen Einzelheiten nachgeprüft werden.

I. Fischen.

In Fischen (1), der südöstlichsten Haltestelle des Dampfers am Ostufer des Sees, stand das transportable Limnimeter etwa 20 m südlich des Dampfersteiges vom 29. August 11²⁰ bis 30. August 9²². Der verwendete Streifengang betrug 1 mm pro Minute. In die Beobachtungszeit fällt eine dreimalige Landung des Dampfers, wovon ein Kurvenbeispiel (Tafel II, Fig. 1) mitgeteilt ist. Die Schiffe landen am Ende des 185 m langen Steges, wo die Wassertiefe nur 2 m beträgt. Die Tiefe nimmt rasch ab und beträgt in 100 m Uferabstand nur 0,5 m. Die Uferlinie ist gegen den See zu konkav, so daß sich eine flache Bucht dort befindet. Die Störung des Dampfers beginnt hier plötzlich mit einer Stoßwelle von 80 mm Doppelamplitude, von der das Limnimeter nur 50—60 mm verzeichnete und der mehrere Schwingungen verschiedener Periodendauer folgen, welche nach zwei Stunden unmerklich werden.

Die Messungen im einzelnen sind in folgender Tabelle enthalten, wobei unter „Schiff“ der Name desselben sowie die Fahrzeiten nach dem Kursbuche, unter „Beginn“ der Zeitpunkt des Beginnes der Schwingung, unter „*T*“ die gemessene Schwingungsdauer in Minuten, unter „*n*“ die Anzahl aufeinanderfolgender Schwingungen, unter „*a*“ die größte Amplitude in Millimeter, gemessen vom höchsten bis zum tiefsten Punkte, steht, wobei „+“ bedeutet, daß die Schwingung mit Steigen, und „—“, daß sie mit Fallen des Wasserstandes beginnt, ferner „±“, daß durch Steigen und verstärktes Fallen und „∓“ durch Fallen und darauffolgendes verstärktes Steigen die erste Welle beginnt.

Fischen (1).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	α in mm	Bemerkungen
1. „Andechs“ 29. VIII.	2 ²⁰	2,0	9	+ 52	Die 2. Welle hat 14 mm Amplitude.
Diessen ab 2 ⁰⁵	2 ²⁰	3,0	6	— 10	Hierauf zeigt das Lim-
Fischen ab 2 ²⁰	2 ²⁰	1,5	4	14	nogramm ein aperi-
Wartaweil ab 2 ²⁷	2 ²⁵	0,75	4	5	odisches Fallen von
	2 ³¹	2,0	2	— 4	8 Min. Dauer.
	2 ³¹	1,0	6	4	
	2 ⁴⁰	1,0	6		
	2 ⁵²	3,0	25	3	Beginnt 32 Min. nach Abfahrt des Dampfers.
	2 ⁵⁸	1,5	2	1	
2. „Andechs“ 29. VIII.	6 ⁰⁴	2,0	4	+ 1	Vgl. Kurvenbeispiel
Wartaweil ab 6 ⁰⁰	6 ⁰⁸	2,5	1	+ 62	Tafel I, 1.
Fischen ab 6 ⁰⁸	6 ¹⁰	1,5	4		
Diessen an 6 ²²	6 ¹⁶	1,0	4		
	6 ²⁰	1,5	4	— 10	
	6 ²⁰	1,0	4		
	6 ³⁹	3,0	12	— 4	Beginnt wie oben 32 Min. nach Abfahrt.
3. „Andechs“ 30. VIII.					Dieselben Wellen wie in 1., wegen atmosphärischer Störung aber nicht zu messen.

2. Fischen-Nord.

Während das Limnimeter in Wartaweil (3) stand, machte ich mit dem Zeigerlimnimeter eine Vergleichsbeobachtung etwa 500 m nördlich Fischen (1), an dem Ufervorsprung, welcher die Bucht bei Fischen nach Norden begrenzt. Die Uferzone ist auch hier sehr seicht und bis 80 m Entfernung mit Schilf bewachsen. Das Schiff, von Diessen kommend, hatte eine Fahrtrichtung fast genau gegen den Beobachtungspunkt. Das Limnogramm zeigte aber keine Dampfervibrationen, sondern die Störungen beginnen erst zwei Minuten nach der Abfahrt von Fischen (vgl. Tafel II, Fig. 2). Nach leichtem Fallen des

Niveaus zeigt die Kurve eine aperiodische Stauwirkung von 10 mm Höhe, die nur von kleinen Wellen überlagert ist. Bei der Vorbeifahrt des Dampfers tritt eine plötzliche aperiodische Senkung von 50 mm von einer Dauer von $\frac{1}{2}$ Minute auf, erst hierauf zeigen sich Vibrationen, die allmählich eine Amplitude bis 6 mm aufweisen.

Fischen-Nord (2).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	"	a in mm	Bemerkungen
Andechs 29. VIII.	8 ⁴²			— 8	Vgl. Fig. 2, Tafel I.
	8 ⁴³	9	1	+ 25	Vorausgehende leichte
	8 ⁴³	2,0	2	— 10	Undulationen von
	8 ⁴⁶	0,5	1	— 50	$\frac{1}{2}$ mm Amplitude.
	8 ⁴⁷	0,4	3	3	8 ⁵⁴ wurde die Beob-
	8 ⁵¹	1,0	4	6	achtung beendet.

3. Wartaweil.

Etwa 400 m nördlich der Haltestelle Wartaweil und 1600 m nördlich von Station 2 stand das Limnimeter vom 28. August 5²⁴ bis 29. August 10⁰³ und zwar zunächst, um die Knotenlinie einer Seichesschwungung aufzusuchen, weshalb ein langsamer Streifengang benützt wurde (20 mm = 1^h). Während der Vergleichsbeobachtung in Station 2 wurde ein rascher Streifengang eingeschaltet (1 mm = 1 Min.) und die in Fig. 3, Tafel II mitgeteilten Limnogramme von je einer Fahrt in beiden Richtungen erhalten. Die Uferlinie verläuft an der Beobachtungsstelle fast ganz geradlinig und die Uferzone ist nicht so seicht, wie an den meisten Beobachtungspunkten. Die Kurve hat hier und an der nächsten Station ein ganz anderes Aussehen, wie an anderen Punkten und läßt beim Vergleiche mit dem vorausgehenden Limnogramme schon erkennen, wie sehr die Störung von der Uferbeschaffenheit abhängt. Die Schwingungen nehmen nur allmählich an Amplitude ab und es treten regel-

mäßigere Schwingungen auf. Merkwürdig ist besonders, daß die Schwingungen längere Zeit nach Vorbeifahrt des Dampfers, etwa 12 Min. nachher, wieder an Amplitude zunehmen.

Wartaweil (3).

Schiff	Be- ginn	<i>T</i> in Min.	<i>n</i>	<i>a</i> in mm	Bemerkungen
1. „Andechs“ 29. VIII.	8 ³²	2,0	3	— 1	Vgl. Fig. 3a, Tafel II.
Diessen ab 8 ²⁵	8 ³²	1,0	3	+ 0,5	
Fischen ab 8 ³⁹	8 ⁴⁸	2,0	2	— 10	Vom Anhalten in Wartaweil.
Wartaweil ab 8 ⁴⁷	8 ⁵²	1,0	3	+ 35	Die „a“ nehmen zu 10, 20, 35.
Am Limnimeter 8 ⁵²	8 ⁵²	3,5	1	+ 10	
Herrsching an 9 ⁰⁵	8 ⁵⁴	1,5	9	25	
	9 ⁰⁵	1,0	4	1	
		1,5	8	3	a nimmt wieder zu.
2. „Andechs“ 29. VIII.	9 ²⁷	3,5	1	— 20	Vgl. Fig. 3b, Tafel II.
Herrsching ab 9 ¹¹		0,9	8	10	Langsam an Ampli- tude abnehmend.
Limnimeter 9 ²⁷	9 ³⁴	1,9	5	6	Von 3 mm auf 6 mm allmählich zuneh- mend.
Wartaweil ab 9 ²⁹	9 ⁴⁴	0,7	10	3	
Fischen ab 9 ³⁷		0,8	5	+ 8	
Diessen an 9 ⁵¹	9 ⁵⁰	1,5	4	+ 8	

Vom gleichen Schiffe und der gleichen Fahrtrichtung wie von 2 ist noch ein Linnogramm aufgezeichnet, aber bei lang-samerem Streifengange, weshalb sich die einzelnen Wellen nicht messen lassen. Doch ist deutlich zu ersehen, daß die nämlichen Perioden und gleichen Amplituden darin enthalten sind und in der gleichen Reihenfolge. Die ganze Störung des betreffenden Dampfers dauert 75 Min. und klingt in einer regelmäßigen Schwingung von 3,0 Min. Periodendauer in 13 aufeinander-folgenden Einzelschwingungen aus, also der gleichen Dauer, wie sie in Fischen (1) gefunden wurde und zwar zur selben Zeit, nur tags zuvor.

4. Wartaweil-Nord.

Zum Vergleiche mit dem in Herrsching (5) aufgestellten Linnimeter beobachtete ich am 26. August etwa 400 m nördlich Wartaweil (3) mit dem Zeigerlinnimeter. Das Ufer weist hier eine schwache Ausbuchtung auf. Die Tiefe ist am Ufer sehr gering, in 70 m Entfernung betrug sie erst 0,5 m. Die Störung des Dampfers, der in südnördlicher Richtung parallel zum Ufer etwa 150 m entfernt den Punkt passierte, gehört wegen der fast reinen Schwingungen zu den interessantesten Linnogrammen, die ich überhaupt gesehen habe (vgl. Fig. 4, Tafel II). Dem Dampfer voraus eilen 3 Wellen von rund 0,7 Min. Periodendauer und zwar kommt die letzte mit einer Amplitude von 20 mm zugleich mit dem Dampfer an. Gleichzeitig beginnt das Niveau zu fallen und fällt in 0,8 Min. um 15 mm, wodurch eine reine Schwingung von nahe 1,6 Min. Periodendauer entsteht, deren Amplitude die ungewöhnliche Höhe von 34 mm erreicht. Nahe 4 Min. nach Vorbeifahrt des Dampfers setzt eine neue Schwingung mit Fallen des Wasserstandes ein und verstärkt die Amplitude der ersten Schwingung auf 45 mm. Die neue Welle hat eine etwas größere Dauer von 1,9 Min. und bildet mit der ursprünglichen Schwingung eine schöne „Schwebung“, wobei auf sechs Perioden à 1,6 Min. fünf solche von 1,9 Min. kommen. Durch Anwendung der Chrystalschen Restmethode konnte ich noch eine verborgene Schwingung von 1,0 Min. Dauer finden in 12 aufeinanderfolgenden Schwingungen. Die Ergebnisse der Analyse seien in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

4. Wartaweil-Nord.

Schiff	Beginn	T in Min.	"	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“ 26. VIII.	8 ⁵¹	0,7	3	4	Vgl. Fig. 4, Tafel II.
Wartaweil ab 8 ⁴⁷	8 ^{52,5}	1,6	12	— 34	Die einfachste bisjetzt erhaltene Kurve.
Linnimeter 8 ⁵³	8 ⁵⁷	1,9	8	— 20	
Herrsching an 9 ⁰⁵		1,0	12	6	

5. Mühlfeld.

Zum Vergleich mit den in Herrsching auftretenden Vibrationen wurde eine gleichzeitige Beobachtung mit dem Zeigerlimnimeter, etwa 150 m seewärts der Mühle und 700 m vom Limnimeter in Herrsching (7) entfernt, angestellt. Das Ufer hat hier eine leichte konvexe Krümmung gegen den See zu und die 5 Meter-Isobathe tritt nahe an das Ufer heran, so daß auch das Schiff dem Ufer sich bis 100 m nähern kann.

Die hier erhaltene Kurve, welche mit der gleichzeitig vom Limnimeter verzeichneten über der nämlichen Zeitabszisse in Fig. 5a mitgeteilt ist, hat eine sehr unregelmäßige Form; es folgen nämlich nur wenige Schwingungen der nämlichen Dauer aufeinander und die Dauern und Amplituden wechseln rasch in ihrer Größe. Unter den Schwingungen ist eine von größerer Periodendauer, von etwa 3,3 Min., verborgen — in der Kurve gestrichelt —, welche auch in Herrsching zu erkennen ist. Im zweiten Teile überlagern sich die Wellen zweier Dampfer, des abfahrenden Süddampfers und des ankommenden Norddampfers.

Mühlfeld (5).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“ 28. VIII.	8 ⁵⁵	0,8	4	2	Zuerst Steigen + 11, dann Fallen — 19.
Wartaweil ab 9 ⁴⁷	9 ⁰⁰	1,0	2	± 30	
Limnimeter 9 ⁰⁰	9 ⁰⁰	0,7	3	8	Fast ruhiges Niveau.
Herrsching an 9 ⁰⁵	9 ⁰³			2	
Herrsching ab 9 ⁰⁷	9 ⁰⁴	0,4	4	— 11	Von kürzer dauernden überlagert.
„Diessen“	9 ⁰⁴	3,3	4	4	
Utting ab 8 ³²	9 ⁰⁹	1,0	2	+ 15	
Herrsching an 9 ⁰⁹	9 ¹⁴	0,5	5	— 26	
		1,1	4	8	

6. Herrsching-Südecke.

Nachdem die Schwingungen in Herrsching (7) gefunden waren, war es von Interesse, die gleichzeitig in der 200 m davon entfernten Südostecke des Herrschinger Winkels auftretenden Wellen zu beobachten, besonders um die Breitenausdehnung der Vibrationen zu finden. Da aber dort sich Anschwemmungen befanden, welche durch die Oberflächenwellen des Dampfers aufgewühlt wurden und so in den Behälter drangen, füllte sich der untere Teil desselben so damit, daß der Schwimmer bei stärkerer Abwärtsbewegung aufstand. Aus der Kurve kann man aber dennoch die Periodendauern der Wellen größerer Dauer messen. Die Kurve ist über die gleiche Zeitabszisse der Herrschinger Beobachtung Nr. 7 gezeichnet. Vgl. Fig. 6 a.

Herrsching-Südecke (6).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“ 28. VIII.	7 ⁴⁰	3,0	1	(-) + 36	Ankunft der Oberflä- chenwellen 1,6 Min. nach der 1. Störung.
Riederau ab 7 ²⁴	7 ⁴³	1,1	8	+ 8	
Limnimeter 7 ⁴⁰	7 ⁴³	0,7	5	4	

7. Herrsching.

In Herrsching war der erste Aufstellungsort des Limnimeters 400 m südlich des Dampfersteges, wo es vom 26. August 6³³ bis 29. August 21¹⁰ über 20 Dampferstörungen verzeichnete. Leider sind die Kurven nur zum Teil für eine Diskussion geeignet, da dort jedesmal zwei Schiffe, der Nord- und Süddampfer, nahe gleichzeitig ankommen und nach 5 bis 10 Min. wieder abfahren. Wenn der Süddampfer vorher ankommt, sind die Limnogramme einfacher, da derselbe am Südufer der Bucht von Herrsching entlang fährt und etwa 250 m vom Ufer entfernt einen Bogen beschreibt, um parallel zum Ostufer an den Steg zu fahren. Die Wassertiefe nimmt hier rascher zu als

an dem vorausgehenden Punkte und beträgt in etwa 30 m Entfernung bereits 1 m. Die Dämpfung der Schwingungen erfolgt daher langsam, wie die beigegebenen Kurvenbeispiele zeigen (vgl. Fig. 5 b, 6 b und 7). Neun Limnogramme sind vermessen worden. Der Einfachheit halber ist hier in der Tabelle der Beginn einer Welle derart angegeben, daß die Zeit vor der Ankunft des Schiffes am Limnimeter mit „—“, die nach derselben mit „+“ ausgedrückt ist.

Herrsching (7).

Schiff	Be- ginn	<i>T</i> in Min.	<i>n</i>	<i>a</i> in mm	Bemerkungen
	Minuten				
1. „Andechs“ 26. VIII.	— 18	1,0	5	+ 1	
	— 9	1,6	4	+ 2	
von Holzhausen 5 ²⁹	0	0,8	7	± 10	
von Riederau 5 ³²	+ 7	0,8	8	± 18	
	+ 20	0,7	6	3	
		0,6	3	2	
	+ 36	1,5	4	5	
2. „Andechs“ 27. VIII.	0	0,5	6	4	
7 ³⁹ von Holzhausen		1,3	6	8	
	+ 4	0,8	3	+ 18	
	+ 8	0,7	13	12	
	+ 12	1,2	5	4	
3. „Andechs“ 9 ⁰²	— 25	0,8	3	+ 2	Fig. 7, Tafel II.
27. VIII. 12.	— 16	0,5	3	± 1	
von Wartaweil 9 ⁰⁴	— 13	0,9	13	— 2	
von Holzhausen 9 ⁰⁹	0	2,2	4	+ 10	
		0,8	4	5	
4. „Gisela“ 10 ¹⁰	+ 2	0,7	10	10	Am Sonntag verkehrt der große Dampfer „Gisela“. Das Limnimeter wurde an die Punkte 8, 9 und 10 gebracht.
von Holzhausen	— 15	1,6	3	+ 1	
28. VIII.	— 6	1,5	4	— 5	
	0	0,4	3	+ 4	
	+ 2	0,7	6	— 12	
5. „Andechs“ 23. VIII.	— 17	2,0	6	± 3	5. Nach der Beobach- tung in 8, 9 und 10. Streifengang 1 mm = 1 Min.
von Holzhausen 6 ⁵⁹	0	1,0	4	+ 13	
		0,7	4	10	
	+ 6	1,0	10	1	

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
	Minuten				
6. „Gisela“ 28. VIII.	— 32	1,6	7	+ 1	
von Riederau 8 ⁰⁹	— 20	1,5	10	+ 5	
	0	3,0	1	+ 31	Die übrigen Schwin- gungen sind bei dem Streifengang nicht zu messen.
		0,7	12	12	
7. „Andechs“ 29. VIII.	0	1,0	1	— 12	Vgl. die gleichzeitige Beobachtung in Sta- tion 6. Fig. 6 b, Tafel II.
von Riederau 7 ⁴⁰	+ 1	0,6	6	+ 15	
	+ 2	1,1	3	3	
	+ 8	0,6	3	+ 3	
	+ 9	1,1	5	2	
8. „Andechs“ 29. VIII.	— 12	1,0	2	— 1	Vgl. die gleichzeitige Beobachtung in Sta- tion 5. Fig. 5 b, Tafel II.
von Wartaweil 9 ⁰²	— 9	0,8	4	— 2	
	— 4	0,7	2	+ 1	
	0	2,0	2	+ 11	
	0	0,7	3	— 3	
	+ 2	1,0	9	+ 12	
	+ 5	0,7	5	— 17	
	+ 8	0,4	5	5	
		0,7	8	12	
	+ 15	1,5	4	— 5	
	+ 16	0,7	3	+ 6	
	+ 17	0,4	3	+ 4	
9. „Andechs“	+ 27	0,8	5	— 1	
von Holzhausen 11 ¹⁰	— 4	0,8	5	1	
von Riederau 11 ⁴⁴	0	1,0	4	11	
	+ 4	0,6	9	17	
	+ 14	0,6	3	12	
	+ 16	0,8	4	20	

8. Herrsching-Nord.

Am 28. August, einem windstillen, klaren Tage, wurde das transportable Limnimeter an den folgenden drei Punkten nacheinander aufgestellt, um die Dampferstörungen an möglichst verschiedenen gelegenen Punkten zu erhalten. In Herrsching-Nord, das an der nordöstlichsten Stelle des Herrschinger Win-

kels liegt, wurde von 4^{27} bis 5^{49} beobachtet. Bei Beginn der Beobachtung zeigten sich nur ganz schwache Undulationen von $1\frac{1}{4}$ bis $3\frac{3}{4}$ mm Höhe, obwohl der Dampfer um 4^{00} erst von Herrsching nach Diessen abgefahren war. Erst als die beiden Dampfer, die um 5^{30} in Herrsching ankommen, in die Bucht einfuhren, zeigten sich deutliche Vibrationen von 3 mm Höhe, die sich etwa 5 Min. nach Landen des ersten Dampfers auf 10 mm steigerte. Die Schwingungen sind dabei regelmäßig und haben längere Zeit gleiche Amplitude (vgl. Fig. 10).

Herrsching-Nordostecke (8).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“					
1. 4^{00} ab Herrsching	4^{27}	2,3	3	0,5	Von 4^{27} bis 5^{19} nur leichte Undulationen, welche auch von lokalem Winde herrühren können.
4^{26} ab Diessen	4^{42}	0,7	3	0,5	
4^{39} ab Riederau	4^{44}	1,1	3	0,5	
4^{54} ab Utting	4^{47}	0,8	3	0,25	
2. 4^{53} ab Diessen	5^{02}	0,8	3	0,5	
5^{00} ab St. Alban	5^{19}	1,2	6	0,25	Vgl. Fig. 10, Taf. II.
5^{11} ab Riederau	5^{30}	0,5	3	1	Vom heranfahrenden Dampfer.
5^{32} an Herrsching		1,5	7	1	
3. 5^{09} ab Utting	5^{32}	0,7	3	1	
5^{18} ab Holzhausen	5^{34}	0,6	3	0,5	
5^{29} an Herrsching		0,8	5	2	
	5^{41}	0,5	3	4	
	5^{43}	1,0	2	10	
		0,8	6	8	

9. Lochschwab.

Unmittelbar vor der Beobachtung in Punkt 8 wurden die Vibrationen an dem Ufervorsprung bei Lochschwab beobachtet und zwar von 2^{19} bis 3^{37} . Der Beobachtungspunkt befindet sich 100 m seewärts von der dort befindlichen Badeanstalt. Das Ufer ist sehr seicht, so daß in 100 m Entfernung vom Ufer 40 cm Tiefe gemessen wurde. Dieser Punkt wurde

gewählt, weil sich an dem Ufervorsprung keine stehenden Wellen bilden konnten und deshalb die wirklichen Periodendauern der ankommenden Wellen sich bestimmen lassen mußten. Die erhaltene Kurve zeigt auch wirklich nur immer zwei bis drei bis vier aufeinanderfolgende Wellen der gleichen Periodendauer, welchen solche anderer Periode folgen. Wir werden darin im See fortschreitende Wellen erkennen, welche an dem Ufer reflektiert werden. Außerdem finden sich hier lange vor Ankunft eines Dampfers (31 Min.) deutliche Vibrationen (vgl. Fig. 8, Tafel II).

Lochschwab (9).

Schiff	Be- ginn	T' in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“					
1. 205 ab Diessen	219	1,1	4	2	Vgl. Fig. 8, Tafel II.
219 ab Fischen	236	0,7	3	+ 5	
227 ab Wartaweil	239	0,5	6	1	
	243	0,8	3	3	
245 an Herrsching	247	2,0	1	— 6	245 Passieren des Dampfers.
300 ab Herrsching	250	3,0	5	— 18	
321 ab Holzhausen		1,0	3	— 7	
329 an Utting		0,5	5	6	
2. 221 ab Utting	253	0,6	4	5	
229 ab Holzhausen	301	0,9	2	2	
		0,7	2	4	
250 an Herrsching	320	2,0	3	8	
300 ab Herrsching	327	3,0	2	3	
321 ab Riederau	335	0,5	4	1	
332 St. Alban					

10. Ried.

Vor der Beobachtung in Lochschwab war das Linnimeter in der leichten Seeausbuchtung bei Ried, etwa 1800 m nördlich Lochschwab, aufgestellt. Die Vermutung, daß die Uferstelle die Entstehung stehender Schwingungen begünstigt ähnlich Wartaweil-Nord, hat sich nicht bestätigt. Es zieht sich

nämlich ein unterseeischer Rücken vom Ufervorsprung von Lochschwab aus etwa 500 m weit in den See, der bei dem tiefen Sommerwasserstand stellenweise bis 20 cm unter Wasser sich erhebt. Hinter dem Rücken erreicht die Tiefe wieder 5 m. Die Bucht selbst ist sehr seicht, so daß mit dem Kahne nicht gelandet werden konnte. In dieser unregelmäßigen Gestaltung der Uferzone, die die Ulesche Karte auch erschen läßt, ist jedenfalls der Grund zu suchen, daß die Wellen des Dampfers so schwach auftreten und nur in wenigen aufeinanderfolgenden Wellen am Ufer reflektiert werden, ohne stehende Schwingungen auszulösen (vgl. Fig. 9, Tafel II).

Ried (10).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	"	a in mm	Bemerkungen
1. 11 ¹¹ ab Utting	11 ²¹	1,5	3	+ 2	Fig. 9. Dampfer von Holz- hausen.
11 ¹⁹ ab Holzhausen	11 ²⁵	0,5	5	+ 1	
11 ⁴⁰ an Herrsching	11 ²⁷	1,3	3	+ 1,5	
11 ⁵⁰ ab Herrsching	11 ⁴³	3,0	2	+ 3	
12 ¹¹ ab Riederau	11 ⁵⁵	1,1	3	+ 5	
2. 11 ¹² ab St. Alban		3,0	2	+ 4	Dampfer von Riederau.
11 ²³ ab Riederau	12 ⁰⁵	0,7	3	+ 5	
11 ⁴⁴ an Herrsching		0,7	3	+ 2	
11 ⁵² ab Herrsching		0,5	4	0,5	
12 ¹³ ab Holzhausen					

II. Utting.

Während das Linnimeter in Stegen (14) stand, beobachtete ich mit dem Zeigerlinnimeter in der Ausbuchtung südlich von Utting gleichzeitig den Wasserstand und zwar am 31. August 11¹⁰ bis 11⁴². Die Vibrationen, die der von Utting nach Holzhausen quer durch die 1½ km breite Ausbuchtung fahrende Dampfer auslöste, sind hier interessant wegen der regelmäßigen Schwingung von 2,5 Min. Dauer, die beim Vorübergang des Dampfers durch Fallen entsteht (vgl. Fig. 12 a).

Utting (II).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“	11 ¹³	0,5	1	+ 13	Um 11 ¹³ fährt der
11 ⁰⁷ an Utting	11 ¹⁴	2,5	6	— 6	Dampfer an der Be-
11 ¹¹ ab Utting		1,25	4	— 5	obachtungsstelle
11 ¹⁹ an Holzhausen		0,7	5	3	vorbei in einer Ent-
	11 ¹⁹	0,7	12	2	fernung von 250 m
	11 ²¹	0,5	10	1	und 30 Sek. nachher
					beginnt die Störung.

12. Breitbrunn.

Die Beobachtungen dieser Station sind den wertvollen Linnogrammen entnommen, welche Herr Professor Dr. H. Ebert mittels eines Sarasinschen Linnimeters im Herbst 1904 erhalten hatte und mir gütigst zur Verfügung gestellt hat. Das Linnimeter stand etwa 200 m nördlich vom Landungssteg. Der Streifengang betrug 1 mm pro Minute. Von besonderem Interesse ist hier einmal der große Unterschied der Störungen der Dampfer, welche von Schondorf kommen und derjenigen, welche von Utting ankommen (vgl. Fig. 12 a und b). Ferner sind die verschiedenen Störungen der Schiffe „Gisela“ und „Andechs“ sehr schön verzeichnet (vgl. Fig. 12 a und c). Endlich finden sich deutliche Wellen, welche dem Dampfer bis 45 Min. vorangehen und nach Abfahrt entstehen. Der Zeitpunkt der Entstehung der einzelnen Schwingungen ist von der Ankunft der ersten Stoßwelle aus angegeben, so daß die negativen Zahlen der folgenden Tabelle die Anzahl der Minuten vor, die positiven nach der Ankunft des Dampfers bedeuten.

Breitbrunn (12).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“					
1. 10 ¹⁰ ab Stegen	— 9	1,2	5	+ 1	1. X. 04. 10 ⁵⁵ .
10 ²⁵ ab Buch	0			+ 46	Kleinere Wellen.
10 ⁴⁰ ab Schondorf	+ 15	1,2	12	2	
11 ⁵⁵ ab Breitbrunn	+ 17	1,1	2	— 3	
11 ¹⁰ ab Utting					
11 ⁵⁵ an Herrsching					
2. 6 ³⁰ ab Stegen	— 18	1,2	6	+ 6	
6 ⁴⁵ ab Buch	— 7	1,0	4	13	
7 ⁰⁰ ab Schondorf					Durch auftretende
7 ¹⁵ ab Breitbrunn					Windwellen undeut-
7 ³⁰ ab Utting					lich.
3. (Wie 1.)	— 45	1,1	4	3	2. X. 04. 10 ⁵⁰ .
„Gisela“					
	— 32	1,2	5	— 0,5	Vgl. Fig. 12 c.
	— 24	1,0	1	+ 2	
	— 21	1,7	3	— 4	
		0,8	8	2	
	— 14	1,7	1	+ 8	
	— 13	1,2	1	8	
	— 10	0,75	4	8	
	— 8	1,7	2	2	
	0			+ 100	
	+ 1	1,2	5		
	+ 15	1,3	7	— 4	
	+ 23	1,1	5	— 3,5	
	+ 32	1,7	3	+ 3	11 ²⁵ ab Riederau.
	+ 51	1,5	4	+ 1,5	
4. „Gisela“	— 32	1,0	5	— 2	2. X. 04. 4 ⁵⁰ .
4 ⁰⁵ ab Stegen	— 23	1,7	6	— 5	
4 ²⁰ ab Buch	— 11	1,1	6	+ 10	
4 ³⁵ ab Schondorf	— 6	1,3	4	3	
4 ⁵⁰ ab Breitbrunn	— 0			+ 135	
5 ⁰⁵ ab Utting	+ 5	1,2	5	— 14	
5 ³⁰ an Herrsching	+ 12	0,75	4	— 6	
	+ 16	1,0	5	— 3	
	+ 22	1,2	5	± 7	
	+ 35	1,7	10	— 3	

Schiff	Be- ginn	T' in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
5. „Andechs“ (wie 3)	— 13	0,8	3	+ 2	2. X. 04. 6 ¹⁶ .
	— 7	1,7	2	+ 1	Vgl. Fig. 12 a.
	0			+ 77	
	+ 2	0,8	4	15	
	+ 12	1,2	5	5	
	+ 21	1,4	10	+ 5	
		1,2	10		
	+ 35	1,0	4	+ 2	
	+ 41	1,5	5	2	
	+ 50	2,0	3	— 1	
6. (Wie 4.)	+ 17	0,8	5	— 1	11. X. 04. 4 ⁵⁵ .
	+ 17	1,2	6	+ 1	
7. Von Utting	0			+ 3; — 5	
	+ 2	1,1	2	15	29. IX. 04. 6 ²⁵ .
	+ 4	0,6	2	7	
	+ 12	1,0	4	1	
	+ 15	1,2	2	1	
	+ 23	1,2	4	+ 2	
8. „ „	— 17	1,5	5	+ 2	1. X. 04. 9 ⁰⁰ .
	0			— 10	
	+ 12	1,2	5	2	
	+ 15	1,2	2	+ 2	
	+ 22	1,5	2	— 1	
9. „ „	— 12	1,2	5	1	2. X. 04. 12 ³⁰ .
	0			+ 2; — 5	
	+ 15	1,4	6	+ 1	
	+ 40	0,6	4	1	
10. „Gisela“ „ „	— 5	1,0	5	1	2. X. 04. 9 ¹⁵ .
	0			— 17	
	0	0,8	6	— 9	
	+ 12	1,0	5	4	
	+ 14	1,4	10	+ 3	
	+ 46	1,0	3	+ 1	
11. „ „	0			— 10	3. X. 04. 6 ²⁵ .
	+ 17	0,9	6	2	
	+ 40	1,6	1	— 1	
12. „ „	0			± 16	4. X. 04. 9 ⁰⁰ .
	+ 14	1,2	3	+ 1	
	+ 22	1,4	3	— 2	

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
13. Von Utting	0			— 8	4. X. 04. 6 ²⁵ .
	+ 15	1,1	2	+ 3	
	+ 16	1,6	2		
	+ 40	1,2		+	
14. " "	+ 0			— 14	10. X. 04. 6 ¹⁵ . Vgl. Fig. 12 b.
	+ 14	0,8	3		
	+ 16	1,4	4	+ 3	
	+ 17	0,8	10	— 2	
	+ 23	0,8	3	+	

13. Schondorf.

Unmittelbar vor der Beobachtung in Utting (11) von 8⁵² bis 9⁵⁷ wurde ungefähr 200 m nördlich des Landungssteges von Schondorf mit dem Zeigerlimnimeter die Störung des von Utting über Schondorf nach Buch fahrenden Dampfers beobachtet, während das Limnimeter in Stegen aufgestellt war. Die Kurve weist die kleinste Amplitude sämtlicher Dampfer-vibrationen auf und eine deutliche Uferschwingung von größerer Dauer, welche mit der Abfahrt des Dampfers von Schondorf beginnt (vgl. Fig. 11 b, Tafel II).

Schondorf (13).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
9 ³² ab Utting	9 ⁴⁶	0,5	2	+ 1	Die Wellen von der Landungsstelle sind unmerklich.
9 ⁴⁶ ab Schondorf	9 ⁴⁷	0,5	5	+ 2	
9 ⁴⁷ ab Limnimeter	9 ^{47 1/2}	2,2	3	— 4	
9 ⁵⁷ ab Buch		1,0	5	1	

14. Stegen.

Das transportable Limnimeter war in Stegen am Nordende des Sees etwa 50 m östlich des Landungssteges vom 30. August bis 30. September 1911 zunächst zur Beobachtung der Seiches

aufgestellt. Es wurde daher gewöhnlich ein langsamer Streifengang von $1 \text{ mm} = 3 \text{ Min.}$ verwendet. Nur zur Registrierung der Dampfervibrationen wurde ein rascherer Streifengang von $1 \text{ mm} = 1 \text{ Min.}$ und $3 \text{ mm} = 1 \text{ Min.}$ eingeschaltet. Die Wassertiefe betrug an der Landungsstelle 2 m , nahm gegen den Aufstellungspunkt des Limnimeters rasch ab und war in 50 m Entfernung nur 30 cm . Wir haben hier die charakteristische Störung des landenden Dampfers, wie wir sie in Fischen schon erhalten haben. Mit dem Nahen des Dampfers kommt eine mächtige Stoßwelle an, welche stehende Uferschwingungen von jedesmal derselben Dauer auslöst. Da die Amplituden der Seiches am Nordende stets groß sind, so sind die vorauslaufenden Wellen selten zu erkennen. Die nachfolgenden Vibrationen werden durch die Abfahrt des Dampfers, welche gewöhnlich nach 10 bis 15 Min. erfolgt, gestört, wobei neue Vibrationen erzeugt werden. Bei der Abfahrt wendet der Dampfer in einer Entfernung von 200 m , wodurch abermals neue Schwingungen ausgelöst werden. (Vgl. Fig. 13 a, Fig. 14 a und b, Tafel II).

Stegen Limnimeter (14).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	"	a in mm	Bemerkungen
1. „Andechs“ 31. VIII.	10^{07}	1,7	4	+ 56	Streifengang $1 \text{ mm} =$ 1 Min. Fig. 14 a.
10^{07} an Stegen	10^{14}	1,5	4	5	
10^{18} ab Stegen	10^{20}	1,6	5		
10^{20} wendet		1,7	3	10	
	10^{47}	2,0	4	3	
	11^{10}	2,0	6	2	
2. „Andechs“ 31. VIII.					
12^{47} ab Schondorf	12^{20}	1,7	2	3	
12^{58} ab Buch	12^{40}	1,5	4	2	
1^{08} an Stegen	12^{55}	1,7	5	6	
1^{25} ab Stegen	1^{08}	1,7	4	+ 60	
		2,0	3		
	1^{27}	1,0	3		
		1,1	7		
	1^{30}	1,7	3	12	

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
3. 10^{07} an Stegen	10^{07}	1,7	5	+ 60	9. IX. 11; Streifengang
10^{18} ab Stegen	10^{10}	0,7	3	4	3 mm = 1 Min.
	10^{15}	2,3	3	5	S. gleichzeitig in 15.
	10^{23}	2,0	2	12	
4. 1^{07} 2. IX.	1^{07}	5,5	6	10	Streifengang 3 Min. = 1 mm.
4^{10} 2. IX.	4^{05}	5,4	6	10	Streifengang 3 Min. = 1 mm.
9^{38} 2. IX.	9^{38}	6,0	6	8	Die Wellen kürzerer
9^{38} 4. IX.	9^{38}	5,6	9	5	Periodendauer sind nicht zu messen.
9^{38} 10. IX.	9^{38}	5,5	3	5	Diese Schwingung ist bei dem langsamen
9^{38} 25. IX.	9^{38}	5,5	6		Streifengänge und deutlich nur beim
9^{38} 26. IX.	9^{38}	5,5	6		letzten Dampfer des Tages zu messen.

15. Stegen (Bucht).

Zwischen dem Aufstellungsorte des Limnimeters und dem Damme zum Dampfersteg befindet sich ein kleiner, wellengeschützter Hafen für die Fischerkähne. Diese abgeschlossene, viereckige Bucht ist rund 20 m lang und 60 m breit und durch einen 3 m breiten Eingang mit dem See verbunden. Außerhalb der Bucht ist die Einfahrt etwa 40 m weit in den See hinaus auf beiden Seiten durch Pfähle gegen Wellengang gesichert. Das Ganze bildet daher eine kleine Bucht, die durch die Einengung in zwei Teile abgeschnürt ist. An dieser Einschnürung fielen mir die periodischen Strömungen auf, welche auf Eigenschwingungen dieser Bucht schließen ließen. Ich beobachtete daher in derselben mit dem Zeigerlimnimeter und später einmal mit dem registrierenden Limnimeter die Dampferstörungen. Die erhaltenen Kurven ergaben ganz andere Schwingungen als sie gleichzeitig an dem nur 40 m entfernten Limnimeter aufgezeichnet wurden.

Stegen Bucht (15).

Schiff	Be- ginn	T in Min.	n	a in mm	Bemerkungen
„Andechs“					Zeigerlimnimeter. Fig. 13 a.
1. 10 ⁰⁷ an Stegen	10 ⁰⁷	2,00	4	+ 100	9. IX. 11, Pegelstand + 26 cm.
10 ¹⁸ ab Stegen	10 ⁰⁹	0,7	5	10	
	10 ⁰⁹	3,6	3	15	
		2,0	2	20	
2. 10 ⁰⁸ an Stegen	10 ⁰⁸	2,0	2	+ 80	Transportables Limni- meter, 30. IX. 11, 3 mm = 1 Min., Pegelstand + 33 cm. Gleichzeitig atmo- sphärische Störun- gen.
„Andechs“		3,0	4	16	
		2,0	4	12	

16. Stegener Pegel.

In Stegen befindet sich seit Juni 1911 ein selbstregistrierender Pegel, System Albrecht, des Hydrotechnischen Bureaus. Der Vorstand des Bureaus, Herr Ministerialrat Hensel, hat mich auf die Aufzeichnungen des Pegels aufmerksam gemacht und mir dieselben gütigst zur Verfügung gestellt, wofür ich auch an dieser Stelle ergebensten Dank sage. Diese enthalten schöne Seiches und zugleich ist jeder ankommende Dampfer mit seiner Stoßwelle aufgezeichnet. Da aber der Streifengang des Schreibpegels nur 2 mm pro Stunde beträgt, sind die Seichedauern nur schwer zu bestimmen, die Vibrationen daher nur in der Höhe der ersten Stoßwelle zu messen. Die Höhe schwankt zwischen 120 mm und 300 mm, je nachdem die Schiffe an der Ostseite des Steges in einer Entfernung von 30 m vom Pegel oder an der Westseite in einer Entfernung von 15 m anlegen. Die Störungen des Dampfers Andechs sind hierbei 120 mm und 240 mm und die des Dampfers Gisela 160 mm und 300 mm.

Die Periodendauern nach

Periodendauer in Min.	5,5		3,6		3,3		3,0		2,5		2,3		2,2		2,0		1,9		1,8		1,7		1,6	
n Anzahl der Schwingungen, r der Reihen	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r
1. Fischen							37	2							14	2								
2. Fischen-Nord															2	1								
3. Wartaweil							13	1							6	2	5	1						
4. Wartaweil-Nord																	8	1					12	1
5. Mühlfeld					3	1																		
6. Herrsching-Süd																								
7. Herrsching													4	1	8	2							10	2
8. Herrsching-Nord											3	1												
9. Lochschwab							7	2							4	2								
10. Ried							2	2																
11. Utting									6	1														
12. Breitbrunn																					32	5		
13. Schondorf													3	1										
14. Stegen Bucht			3	1			4	1							12	4								
15. Stegen Limni- meter	27	6									6	1			15	4			8	2	18	5	9	2
Summa	27	6	3	1	3	1	59	7	6	1	9	2	7	2	61	17	13	2	8	2	50	10	31	5
Anzahl der Sta- tionen	1		1		1		5		1		2		2		7		1		1		2		3	
Anzahl der Reihen		6		1		1	7		1		2		2		17		2		2		10			5

Zusammenstellung der Periodendauern.

Das reichhaltige, komplizierte Beobachtungsmaterial, wie es die Kurvenanalyse ergeben hat, ordnen wir nach der Größe der gefundenen Periodendauern, wie ich es schon bei den Vibrationen der Seen¹⁾ getan habe, um einen Überblick über die Gesamtzahl der aufgetretenen Schwingungen und über die Anzahl von Schwingungen an den einzelnen Punkten zu be-

¹⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 34 ff.

der Grösse geordnet.

1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	Zahl der Peri- oden	Beob- ach- tun- gen										
n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r										
17	4					20	4		4	1		5	6										
						4	1				3	1	1										
25	3					10	3	8	1			6	2										
						12	1		3	1		4	1										
				5	1	4	2		4	1	3	1	7	2									
				5	1				5	1		2	1										
4	1	6	1	8	2	3	1	21	4	13	1	28	7	91	13	15	3	13	3	11	3	13	9
7	1			6	1	3	1	2	1			11	3	6	2			6	2			8	1
				4	1	3	1	3	1			4	1	3	1	4	1	11	2			8	2
3	1	3	1			3	1					6	2			9	2					6	2
		4	1									17	2			11	2					4	1
19	4	10	1	7	2	106	15	22	5	32	7	13	3	23	4	10	2	3	1			11	12
				5	1															7	2	3	1
																5	1					4	2
4	1					7	1	3	1					3	1							10	9
79	15	10	1	20	5	125	20	52	12	111	25	34	5	70	16	166	29	22	5	62	15	18	5
7	15	1	4		4	8	12	10	25	3	5	16	13	29	3	7	15	3	5				

kommen, ferner um das Vorkommen der nämlichen Schwin-
gungen an den verschiedenen Stationen und die Häufigkeit
des Auftretens an bestimmten Punkten vergleichen zu können.
in der obigen Tabelle steht unter „n“ die Anzahl der
an der nämlichen Station beobachteten Wellen der betreffenden
Periodendauer und unter „r“, wie viele Reihen solcher Schwin-
gungen gemessen werden konnten.

Im ganzen sind sonach 24 verschiedene Perioden-
dauern gefunden worden, welche in etwa 200 Reihen mit im

ganzen 1000 Einzelschwingungen auftraten. Berücksichtigt man aber, daß die Messungen auf Zehntelminuten abgekürzt sind, daß also die Periodendauern in derselben Rubrik voneinander etwas verschieden sein können, so ist die Anzahl der Schwingungen eine sehr große. Dabei sind die Schwingungen unter 0,4 Min. ganz weggeblieben. Aus der unter der Tabelle bei jeder Periodendauer angefügten Zahl von Stationen, an denen die betreffende Schwingung beobachtet wurde, erkennt man, daß bestimmte Periodendauern, wie diejenige von 0,7 Min., von 1,1 bis 1,0 Min., 2,0 Min., 1,5 Min. und 0,5 Min., an mehr als der Hälfte der Beobachtungspunkte auftraten, dagegen andere Schwingungen, wie diejenige von 5,5 Min., 3,6 Min., 3,3 Min., 2,5 Min., 1,9 Min., 1,8 Min. und 1,4 Min., nur an einer einzigen Station gefunden wurden. Das ganz lokale Auftreten dieser Schwingungen muß daher in der Uferbeschaffenheit des betreffenden Beobachtungspunktes bei sonst gleichem Verhalten des Dampfers seine Ursache haben. Und in der Tat lassen sich diese isoliert auftretenden Wellen übereinstimmend als stehende Uferschwingungen deuten, wobei am Ufer selbst der Schwingungsbauch und parallel zum Ufer in bestimmter Entfernung, die von der Periodendauer abhängt, der Schwingungsknoten sich befindet. In den häufig beobachteten Schwingungen dagegen müssen wir fortschreitende Wellen großer Länge suchen, die vom Schiffe selbst oder von schwingenden Uferstellen ausgehen und im See hin- und herlaufen, wobei sie an den Ufern reflektiert werden.

Stehende Uferschwingungen.

Beim Studium der Vibrationen des Chiemsees konnte ich auch an freigelegenen Stationen bestimmte, kurzdauernde Schwankungen beobachten, welche mit einer Regelmäßigkeit und Häufigkeit auftraten, daß man an Seiches denken mußte.¹⁾ Eine solche Regelmäßigkeit hatten auch manchmal die Vibrationen in Morges am Genfersee, weshalb Forel die Vibrationen

¹⁾ Die Vibrationen, zit. S. 518, p. 38.

überhaupt für mehrknotige Seiches hielt. Wie nun aus der kurzen Dauer dieser Schwingungen geschlossen werden muß, hätten diese Seiches bis 20 Knoten und mehr. Ich konnte aber an anderer Stelle zeigen, daß schon mehr als sechsknotige Seiches in regelmäßigen Seen zu einer Seltenheit gehören, weil die Entwicklung so vieler aufeinanderfolgender Wellen von gleicher Periode, wie sie zur Bildung stehender Wellen des ganzen Beckens notwendig wären, ganz regelmäßige, periodische Impulse voraussetzt, wie sie in der Natur wohl kaum einmal vorkommen.¹⁾ Einzelne Störungen eines Wasserniveaus erzeugen nur wenige aufeinanderfolgende Wellen gleicher Periode. Bei diesbezüglichen Experimenten an einem Weiher bei Freising erhielt ich bei einmaligem Impulse 1 bis 4 aufeinanderfolgende Wellen, von denen die letzten häufig nicht mehr die gleiche Periodendauer hatten. Nur bei taktmäßigen Störungen waren Seiches von höherer Knotenzahl zu erzeugen. Gegen die Annahme von so vielknotigen Längs- und Querseiches sprechen auch die Beobachtungsergebnisse an korrespondierenden Punkten des nämlichen Sees, wo die nämlichen Vibrationen gleichzeitig nie auftraten, sondern immer andere lokale Schwingungen.

Die große Regelmäßigkeit, mit der diese Schwingungen zeitweise an offenen Küstenpunkten auftraten, und die langsame Abnahme der Amplituden aufeinanderfolgender Schwingungen wiesen mich schon bei den Vibrationsbeobachtungen am Chiemsee auf die Vermutung hin, daß wir in diesen Schwingungen stehende Wellenbewegungen suchen müssen, analog den Resonanzschwingungen von Buchten, wie ich sie an den Buchten des Chiemsees und im Experimentierbecken beobachten konnte.²⁾ Auch wenn einer Wassermasse die seitliche Begrenzung fehlt, wie sie das Wasser in einer Bucht hat, kann sie ihre Eigenschwingungen haben, deren Entstehung durch besondere lokale Konfigurationen, wie konkave Uferlinie, Vorhandensein einer

¹⁾ Die Vibrationen, zit. S. 518, p. 24.

²⁾ Ebenda, p. 36.

tieferen Rinne, plötzliche Änderung der Tiefe u. a. m., besonders begünstigt sein kann. Diese meine Vermutung findet nun durch die Beobachtungen der Dampfervibrationen am Ammersee eine Bestätigung, indem die obengenannten, nur lokal auftretenden Schwingungen sich übereinstimmend als solche Resonanzschwingungen ergeben.

Da aber bei solchen Uferschwingungen die Lage des Knotens nicht durch Vergleichsbeobachtungen aufgefunden werden kann, wie es bei den Seiches und den eigentlichen Buchtenschwingungen möglich ist, so ist man auf die theoretische Berechnung der Periodendauer für bestimmte Lagen der Knotenlinie angewiesen. Nun versagen aber hier alle bisher verwendeten Annäherungsformeln, in welchen die mittlere Tiefe der schwingenden Fläche vorkommt, da die Breitenausdehnung der beteiligten Wasserfläche nicht bekannt ist. In gleicher Weise kann auch die exakte Chrystalsche Theorie auf unsere Uferschwingungen nicht angewendet werden, da sich die sogenannte Normalkurve nicht konstruieren läßt, wie bei abgeschlossenen Seen und Buchten. Das ganze Auftreten dieser Schwingungen deutet vielmehr darauf hin, daß man die nämliche Wasserbewegung vor sich hat wie bei den vollständigen Querschwingungen in Seen, wo also die Schwingungsbewegungen der Wasserteilchen in derselben Querschnittsebene vor sich gehen. Man darf daher, wie dort, die Breite als konstant annehmen und die Berechnungen an dem Profil senkrecht zur Uferlinie des Beobachtungspunktes vornehmen. Falls dieser Schnitt sich an eine Parabel annähern läßt, wie das Profil des Golfes von Alaska (siehe Tafel I, Fig. 6), so darf man nur die Länge l in Meter, das ist der vermutliche Abstand des Knotens vom Ufer, und die Tiefe h an dieser Stelle messen und erhält dann die Dauer T in Sekunden nach der Chrystalschen Formel¹⁾ für ein symmetrisch parabolisches Becken:

¹⁾ G. Chrystal, On the hydrodynamical theory of seiches. Trans. R. Soc. Edinburgh 1905, 41, III, p. 622 und 638.

$$T = \frac{2\pi l}{\sqrt{2gh}} = 0,709 \frac{2l}{\sqrt{h}} \text{ (Sek.)} \quad \text{I}$$

und bei geradlinigem Talwege, wie beim Profil von Schondorf und Utting (siehe Tafel I, Fig. 2 und 3), ist:

$$T = \frac{4\pi l}{2,405 \sqrt{gh}} = 0,834 \frac{2l}{\sqrt{h}} \text{ (Sek.)} \quad \text{II}$$

Unsere Formel I gibt sehr gute Annäherungen für die Hauptschwingung stark konkaver Seen, besonders wenn der Knoten mit der breitesten und tiefsten Stelle des Sees zusammenfällt, wie ich an anderer Stelle gezeigt habe.¹⁾ In gleicher Weise erhält man sehr brauchbare Werte für die Dauern von Buchtenschwingungen, wenn die größte Breite und Tiefe an die Mündung der Bucht fällt, was bei der Mehrzahl der Buchten auch der Fall ist. So hat G. Platania²⁾ nach unserer Formel I für die Schwingung der Bucht von Mazzara an der Südwestküste Siziliens eine ebenso gute Annäherung erhalten, wie durch die mühsamen Berechnungen an der sogenannten Normalkurve nach der exakten Chrystalschen Theorie. Der Grund ist, daß das Uferprofil sich wirklich einer Parabel nähert, wie Fig. 5, Tafel I zeigt. Nach meinen Berechnungen paßt genannte Formel auch für die Mehrzahl der japanischen Buchten und gibt besonders auch raschen Aufschluß, ob eine bestimmte Lage des Knotens für eine beobachtete Dauer möglich ist, da verschiedene Lagen der Knoten bei manchen Buchten angenommen werden können. Endlich ist die parabolische Annäherung besonders geeignet zur Berechnung der Dauer der Querseiches, so daß sich in allen mir bekannten Fällen die berechnete Dauer vollständig mit der beobachteten deckt. Die gute Übereinstimmung ist, wie schon oben kurz erwähnt, theoretisch dadurch begründet, daß der Querschnitt der Seen gewöhnlich

¹⁾ Zusammenstellung der Hauptseichesperioden. Petermanns Mitteilungen 1908, Heft II, p. 45.

²⁾ G. Platania, Oscillazioni del mare nelle coste di Sicilia. Modena 1911, p. 46.

parabolische Form hat (vgl. den Querschnitt bei Schondorf, Tafel I, Fig. 2) und an einer Querschwingung eine Wassermasse von nahe überall konstanter Breite teilnimmt, also die Bewegung der Wasserteilchen nur in der Querschnittsebene vor sich geht. Auch bei unseren stehenden Uferschwingungen kann nur eine Wassermasse von bestimmter Breite teilnehmen, so dass die Querschnitte dieser schwingenden Wassermassen überall gleiche Breite und Tiefe haben, also der ideale Fall von Chrystals Theorie vorliegt, in dem der See konstante Breite und überall rechteckigen Querschnitt hat, ganz wie bei den Querseiches. Ist ein parallel laufendes Gegenufer vorhanden, so können unsere Uferschwingungen auch in Querseiches übergehen; in einem solchen speziellen Falle können die Vibrationen also Querseiches sein, wie Forels Hypothese annimmt. Während aber die ganzen Querschnitte von Seen sich sehr gut an eine Parabel annähern lassen und daher ihre uninodale Seichedauer sich nach Formel I berechnen läßt (vgl. Tafel I, Fig. 2), nähern sich die Querschnittskurven an den Ufern, den sogenannten Schelfen, erfahrungsgemäß mehr einer geneigten Geraden. Es muß daher die Formel II bessere Annäherungen für die Dauern solcher Uferschwingungen geben; bei größerer Entfernung des Knotens vom Ufer oder Vorhandensein einer Rinne nur wird die Dauer mehr dem Formelwert I entsprechen, sie wird somit gewöhnlich zwischen beiden Werten bleiben müssen. In Fällen, wo das Profil sich über die gerade Linie stark erhebt (vgl. Fig. 4, Tafel I), wird die Dauer auch nach Formel II zu klein werden.

Die im folgenden näher besprochenen Einzelbeobachtungen von Uferschwingungen am Ammersee tragen einmal die deutlichen Kennzeichen von stehenden Schwingungen an sich, nämlich es folgen mehrere Schwingungen gleicher Periode aufeinander und die Amplituden derselben nehmen regelmäßig ab. Außerdem konnte ich die Entstehung derselben persönlich beobachten und Lage und Entfernung des die Schwingungen auslösenden Dampfers bestimmen. Es ergibt sich übereinstimmend bei allen folgenden Uferschwingungen, daß der Knoten genau

in einer Entfernung vom Ufer zu suchen ist, in der das Schiff den Beobachtungspunkt passiert. Es entstehen sonach die Schwingungen dadurch, daß das Schiff eine horizontale Bewegung des Wassers senkrecht zum Ufer auslöst, ganz ähnlich, wie es sich aus den Versuchen im Experimentierbecken und im Weiher ergeben hatte, wo ein horizontaler Impuls an der Stelle eines Schwingungsknotens am leichtesten die betreffende Schwingung erzeugt.¹⁾

Am Ammersee waren folgende Uferschwingungen am deutlichsten zu beobachten:

1. Die 2,5 Minuten-Schwingung in Utting (11) (vgl. Tafel II, Fig. 11 a). Diese Schwingung beginnt 30 Sek. nachdem das Schiff den Beobachtungspunkt passiert hat, und klingt in sechs aufeinanderfolgenden Wellen aus. Der Dampfer ist nahe 250 m vom Ufer entfernt und die Tiefe an dieser Stelle beträgt nach der Uleschen Karte (Profil VII) nahe 7 m (vgl. Tafel I, Fig. 3), so daß für $l = 250$ m, $h = 7$ m die Formel I 2,2 Min. und die Formel II 2,6 Min. ergibt, also eine gute Annäherung nach Formel II. Die Entstehung einer Uferschwingung ist hier begünstigt durch die konkave Uferlinie zwischen Utting und Holzhausen. Da die Schwingung mit Fallen des Niveaus beginnt, wird das Wasser am Knoten zuerst ostwärts gegen den See zu bewegt, obwohl das Schiff fast parallel zum Ufer fährt.

2. Die 2,2 Minuten-Schwingung in Schondorf (13) (vgl. Tafel II, Fig. 11 b). Auch diese Schwingung beginnt etwa 30 Sek. nach Vorbeifahrt des Schiffes und mit Fallen des Niveaus und hat langsam abnehmende Amplitude. Das Schiff fuhr ziemlich steil vom Ufer weg und hatte am Beobachtungspunkte eine Entfernung von ungefähr 400 m, wo sich eine Tiefe von 25 m befindet. Es berechnet sich sonach für $l = 400$ m, $h = 25$ m $T_I = 1,9$ Min. und $T_{II} = 2,2$ Min. Das Querschnittsprofil läßt sich auch wirklich sehr nahe durch eine gerade Linie ersetzen, wie aus Fig. 2, Tafel I zu ersehen ist.

Da Ost- und Westufer hier fast parallel laufen, so kann

¹⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 23.

die obige Schwingung sich auch an das Gegenufer fortsetzen und nach der Reflexion die ganze Breite des Sees einnehmen. Die uninodale Querseiche an dieser Stelle berechnet sich aus dem Querprofil Fig. 2, Tafel I für $l = 2400$ m, $h = 50$ m nach I zu 4,0 Min. und ist an dieser Stelle auch wirklich zu 4,06 Min. beobachtet. Aus der parabolischen Form des Querschnittes berechnet sich nach Chrystal die binodale Querseiche zu 2,3 Min. Dauer, so daß die vom Dampfer ausgelöste Schwingung hier wirklich auch Querseiche im Sinne Forels sein kann.

3. Die 1,6 Minuten-Schwingung in Wartaweil-Nord (4). Die mit dem Vorübergang des Schiffes an der Beobachtungsstelle beginnende Schwingung von 1,6 Min. Periodendauer hat eine ungewöhnlich große Amplitude und tritt in 12 aufeinanderfolgenden Schwingungen auf mit regelmäßig abnehmender Amplitude (Tafel II, Fig. 4). Die rasche Abnahme der Amplitude in dem Linnogramm ist verursacht durch Überlagerung der 1,9 Minuten-Schwingung, welche mit ersterer eine sogenannte Schwebung bildet. Das Schiff fuhr in einer Entfernung von nahe 150 m an einer Tiefe von 5 bis 6 m parallel zum Ufer, in der Richtung von Süden nach Norden. Die parabolische Annäherung ergibt für $l = 150$ m, $h = 5,5$ m 1,50 Min. und die Formel II 1,70 Min., also die beobachtete Dauer. Die große Amplitude von 33 mm ist jedenfalls in der Nähe des Schiffes, der Seichtheit der Uferzone und vielleicht der guten Schwingungsfähigkeit derselben begründet, da dort eine deutliche, wenn auch flache Ausbuchtung sich befindet. Außerdem braucht das Schiff entsprechend seiner Fahrtgeschwindigkeit ungefähr die halbe Periodendauer, um an der Bucht entlang zu fahren und wenn die Zeit der Einwirkung der Störung der halben Periodendauer gleich ist, so ist die Amplitude am größten, wie G. Chrystal am Earnsee beobachtet und auch theoretisch begründet hat¹⁾ und ich selbst bei den Versuchen am Fischweiher bei der Erregung langer Wellen zeigen konnte.²⁾ Wie

¹⁾ G. Chrystal, An investigation of the seiches of loch Earn III, IV, V. Trans. R. Soc. Edinburgh 1908, S. 487 und S. 502.

²⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 23.

in Utting beginnt auch hier die Schwingung mit Fallen des Seespiegels, jedoch im Gegensatz zu den Schwankungen in Utting und Schondorf schon 0,5 Min. bevor das Schiff den Ort passiert. Dieser Umstand spricht für die Vermutung, daß die ganze Bucht in dem Takte schwingt und die Amplitude erhöht wird durch das Vorbeifahren in 0,8 Min., der halben Periodendauer der Uferschwingung.

Erst vier Minuten nach Vorübergang des Dampfers beginnt die zweite Schwingung von 1,9 Min. Dauer ebenfalls mit Fallen des Seespiegels und bildet mit der vorhandenen eine schöne Schwebung (Fig. 4). Diese Schwingung ist auch stehende Uferschwingung, wie das regelmäßige Abnehmen der Amplitude schließen läßt. Doch ist die Lage der Knotenlinie nicht bekannt, auch läßt sich die nachträgliche Entstehung dieser Welle zu einer Zeit, wo das Schiff bereits in die Herrschinger Bucht eingebogen hat, schwer erklären. Am wahrscheinlichsten ist, daß die Uferschwingung in Wartaweil (3), welche dort die gleiche Periodendauer hat, nach Norden sich ausdehnt oder auch ans Westufer sich fortpflanzt und dort reflektiert nach dieser Zeit an unseren Punkt kommt.

4. Die 1.7 Minuten-Schwingung am Limnimeter in Stegen. Die häufigste und regelmäßigste Schwingung in Stegen (Limnimeter) hat eine Dauer von 1.7 Min. und regelmäßig abnehmende Amplitude (Fig. 14 a). Sie wird durch die Stoßwelle des Dampfers beim Landen ausgelöst. Ihre Dauer berechnet sich ebenfalls gut aus den obigen Formeln. Die Entfernung des heranfahrenden Dampfers ist rund 100 m, die Tiefe dort 2 bis 3 m, so daß $T_I = 1,5$ Min. und $T_{II} = 1,70$ Min. sich berechnet.

5. Die Schwingungen der Bucht in Stegen (Fig. 13 b). Die künstlich geschaffene Bucht in Stegen bot die günstige Gelegenheit eigentliche Buchtenschwingungen zu beobachten, welche vom Dampfer ausgelöst werden. Schon der Umstand, daß an dem nur 40 m entfernten Aufstellungspunkt des Limnimeters die in der Bucht beobachteten Schwingungen nicht auftraten, zeigt, daß wir Eigenschwingungen der Bucht vor uns

haben. Die Schwingung von 3,7 Min. Dauer kann nur die uninodale Buchtenschwingung sein, mit einem Knoten an der Mündung der Bucht, das ist der Beginn der Zufahrt zu derselben. Die Länge l ist 70 m, die Tiefe war bei dem niedrigen Wasserstand nur 20 bis 30 cm, so daß sich für $l = 70$ m und $h = 0,25$ m $T = 3,4$ Min. berechnet. Die Abnahme der Dauer bei Zunahme des Wasserstandes um 7 cm auf 3,0 Min. entspricht auch gut den veränderten Dimensionen $l = 70$ m, $h = 0,32$ m, woraus sich $T = 2,9$ Min. berechnet.

Eine zweite Schwingung von 2,0 Min. Dauer wurde als Oberschwingung mit einem Knoten an der inneren Einengung aus der starken Strömung an dieser Stelle direkt beobachtet. Unsere Formel ist für diese Form der Buchten nicht brauchbar. Ich habe bei starker Einengung am Knoten Chrystals Formel für konvex parabolische Becken mit Erfolg benützt,¹⁾ welche lautet:

$$T = \frac{\pi l}{\sqrt{2,77 \cdot g \cdot h}} = \frac{2 l}{\sqrt{h}} \cdot 0,603, \quad \text{III}$$

wobei l die Länge der Bucht in Metern und h die mittlere Tiefe des kleinsten Querschnittes an der Einengung bedeuten. Die Länge der Bucht ist 20 m, die mittlere Tiefe etwa 10 cm, woraus sich 1,5 Min. berechnet, ein Wert, der übereinstimmend mit den früheren Ergebnissen (für Plattensee, Chiemsee etc.) zu klein ist, besonders da die Tiefe von der Einengung bis gegen das Ende der Bucht nicht zunimmt, wie die Theorie verlangt. Diese Schwingung hatte bei dem um 7 cm höheren Wasserstand fast die gleiche Dauer.

Die dritte in der Bucht noch beobachtete Schwingung hat eine Dauer von 0,7 Min. Da die Welle durch die starke Einengung nicht als fortschreitende Welle in die Bucht dringen kann, so muß sie eine Eigenschwingung der inneren Bucht sein, welche sich aus $2l = 18$ m und $h = 0,10$ m nach der parabolischen Annäherung zu 0,67 Min. berechnet. Die beobachteten

¹⁾ Petermanns Mitteilungen 1908, Heft 2, S. 46.

Schwingungen der Bucht zeigten sich auch bei Wind, wie ich hier noch bemerken möchte.

6. Die 3,0 Minuten-Schwingung in Fischen (1). Der Dampfersteg ist in Fischen 185 m lang, die Tiefe an der Landungsstelle 2,0 m; hieraus berechnet sich die Dauer der Uferschwingung mit dem Knoten an der Störungsstelle zu 3,08 Min. An dieser Station tritt auch wirklich eine Schwingung von dieser Dauer (3,0 Min.), verursacht durch die Störung des Dampfers, auf und ist die regelmäßigste und am längsten anhaltende Schwingung, da 25 Wellen zu messen waren (Fig. 1). Zu beachten ist, daß auch hier eine flache Ausbuchtung des Sees ist, an deren Ende das Linnimeter stand. Solche Ausbuchtungen begünstigen nicht nur die Entstehung solcher Schwingungen, wie wir in Wartaweil-Nord und Utting gesehen haben, sondern machen die Schwingungen stabiler als an geradlinigen Uferstellen. Diese Schwingung tritt am nächsten Tage unmittelbar nach Landen des Dampfers in Fischen auch in Wartaweil auf, woraus vielleicht folgt, daß die 3,0-Schwingung nicht auf den Seeteil beschränkt bleibt, sondern sich einem größeren Teile des Sees mitteilt. Die Schwingungsunterteilung läßt sich aber nicht näher angeben.

7. Die 5,5 Minuten-Schwingung in Stegen (14) (vgl. Tafel II, Fig. 14 b). — Diese Schwingung ist aus sieben Kurvenbeispielen mit langsamem Streifengange deutlich zu messen und ist verursacht durch den dort landenden Dampfer. Während diese Schwingung aus den Störungen der während eines Tages fünf- bis achtmal ankommenden Dampfer nur zweimal zu messen ist und da nur bei ruhigem Wetter, findet sie sich fünfmal nach der Ankunft des letzten Dampfers um 9³⁸ abends. Die Schwingung scheint darnach durch den abfahrenden Dampfer wieder vernichtet zu werden. Jedenfalls ist es sehr merkwürdig, daß eine Schwingung von so großer Dauer von den Dampfern ausgelöst wird. Daß die Schwingung eine stehende Schwingung ist, sieht man aus der größeren Zahl (bis 9) aufeinanderfolgender Wellen mit regelmäßig abnehmender Amplitude (vgl. Fig. 14 b). Nach dem Vorausgehenden ist es auch

möglich, daß der von Buch kommende Dampfer beim Passieren der Knotenlinie dieser Schwingung dieselbe auslöst. Die Schwingung müßte aber dann vor Ankunft des Dampfers beginnen, was nicht der Fall ist. Eine zweite Möglichkeit ist, daß der Abfluß des Sees, die Amper, von der Landungsstelle bis zum Stauwehr in Schwingung versetzt wird. Dieser Teil, als Bucht betrachtet, gibt auch ungefähr bei der parabolischen Annäherung eine Periodendauer von 4 bis 6 Min., je nach Annahme des Knotens. Durch eine Vergleichsbeobachtung am Wehr selbst müßte sich die Frage entscheiden lassen.

8. Die übrigen regelmäßigen Schwingungen der einzelnen Stationen. Außer den im vorausgehenden Kapitel besprochenen Schwingungen tritt noch eine große Zahl Vibrationen an den einzelnen Beobachtungspunkten so regelmäßig und in längeren Reihen auf, daß man auch in diesen Wellen stehende Uferschwingungen suchen muß. Da aber in diesen Fällen die Lage des Knotens nicht angegeben werden kann, weil keine näheren Beobachtungen über den Zeitpunkt der Entstehung, die Entfernung des Schiffes und die genauen Tiefen der betreffenden Uferstellen vorliegen, können diese Schwingungen nicht näher diskutiert werden. Ich stelle die beobachteten Perioden nur in folgender Tabelle nach der Größe geordnet zusammen und füge unter jeder Beobachtung neben „ n “ die größte Anzahl aufeinanderfolgender Einzelwellen und unter $T_n : T_1$ das Verhältnis der Periodendauer zu derjenigen der größten dort beobachteten Dauer an. Die Periodendauern, welche in weniger als fünf aufeinanderfolgenden Wellen auftraten, sind weggeblieben, da wir sie gewöhnlich als fortschreitende Wellen betrachten müssen, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden.

Die Verhältnisse der Schwingungsdauern zur Hauptschwingungsdauer in den beiden Stationen Herrsching und Breitbrunn, wo längere Beobachtungsreihen vorliegen, lassen erkennen, daß ein Ufer in den verschiedensten Periodendauern schwingen kann, daß also der Schwingungsknoten in jede beliebige Entfernung vom Ufer fallen kann. Doch

Regelmässige Schwingungen.

Fischen	$T =$	3,0	2,0	1,5	1,0				
	$n =$	25	9	5	12				
	$T_n : T_1$	1	0,67	0,5	0,33				
Wartaweil	$T =$	1,9	1,5	0,9	0,7				
	$n =$	5	8	8	10				
	$T_n : T_1$	1	0,8	0,5	0,37				
Wartaweil N.	$T =$	1,9	1,6	1,0					
	$n =$	8	12	12					
	$T_n : T_1$	1	0,84	0,53					
Herrsching	$T =$	2,0	1,6	1,5	1,3	1,0	0,9	0,7	
	$n =$	6	7	10	6	10	13	12	
	$T_n : T_1$	1	0,8	0,75	0,65	0,5	0,45	0,35	
Herrsching N.	$T =$	1,5	1,2	0,8					
	$n =$	7	6	6					
	$T_n : T_1$	1	0,8	0,53					
Utting	$T =$	2,5	1,3	0,7					
	$n =$	6	4	12					
	$T_n : T_1$	1	0,52	0,28					
Breitbrunn	$T =$	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
	$n =$	10	6	10	20	8	5	5	8
	$T_n : T_1$	1	0,88	0,82	0,7	0,64	0,6	0,53	0,47
Schondorf	$T =$	2,2	1,2						
	$n =$	3	5						
	$T_n : T_1$	1	0,55						
Stegen	$T =$	2,0	1,7	1,6	1,1				
	$n =$	6	5	5	7				
	$T_n : T_1$	1	0,85	0,8	0,55				
Stegen Bucht	$T =$	3,6	2,0	0,7					
	$n =$	3	4	5					
	$T_n : T_1$	1	0,56	0,2					

treten manche Schwingungen, wie aus der Tabelle S. 542 ersichtlich ist, an derselben Station viel häufiger auf, woraus sich ergibt, daß Uferstellen auf bestimmte Schwingungen gleichsam besser abgestimmt sind, was sich auch bei den Windvibrationen der Seen beobachten ließ.¹⁾ An Punkten, wo der Dampfer immer denselben Uferabstand hat, entstehen Kurvenbilder, die vollständig gleich sind, wie in Stock am Chiemsee.²⁾ Dagegen ändern sich die Limnogramme je nach der Entfernung des Schiffes vom Limnimeter, wie besonders in Herrsching bei den von Wartaweil, Riederau und Holzhausen kommenden Dampfern. Der auffallend große Unterschied der Dampferstörungen in Breitbrunn bei den von Schondorf und den von Utting ankommenden Schiffen, wobei durch letztere Wellen von sehr kurzer Periodendauer entstehen, erklärt sich daraus, daß in Breitbrunn das Schiff dem Ufer beim Landen am nächsten kommt, da der Landungssteg nur 50 m lang ist und daher nur Wellen kurzer Periodendauer entstehen, die sich bis zum Limnimeter fortpflanzen; dagegen hat das Schiff von Schondorf kommend eine Entfernung von etwa 200 m vom Limnimeter und löst daher Schwingungen längerer Periodendauer aus. Auch an den übrigen Stationen, an denen mehrere Kurvenbilder des nämlichen Dampfers vorliegen, sind dieselben nicht vollständig gleich, da je nach Windrichtung und Windstärke der Kurs der Schiffe etwas verschieden ist.

Die Frage, ob auch mehrknotige Uferschwingungen vorkommen, läßt sich aus unseren Beobachtungen nicht mit Sicherheit beantworten. Nach dem Verhältnisse der Periodendauern zu schließen, kann die 1,3 Minuten-Schwingung in Utting und diejenige von 1,2 Minuten in Schondorf erste Oberschwingung zur gleichzeitig auftretenden Hauptschwingung sein. Es muß bei dieser Oberschwingung ein Schwingungsbauch mit dem Knoten der Hauptschwingung zusammenfallen und der Knoten in weniger als der halben Entfernung vom Ufer liegen.

¹⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 38.

²⁾ Seeschwankungen etc., zit. S. 519, p. 102.

Auch die 1,0 Minuten-Schwingung in Wartaweil-Nord kann erste Oberschwingung zu der 1,6 Minuten-Schwingung sein, da das Verhältniß $T_2 : T_1 = 0,63$ ist. Nach der Chrystalschen Theorie kann nämlich das Verhältniß variieren von 0,5 bei gleichmäßiger Tiefe bis 0,63 bei geradlinigem Profile, wenn wir von konvexen Profilen absehen. Größere Verhältnisse als 0,63 kommen in Seen vor, wenn der Knoten der Oberschwingung mit einer Einengung zusammenfällt, was auch bei Buchtenschwingungen vorkommen kann, ferner wenn das Uferprofil einer sogenannten Parabel vierten Grades sich nähert, wo dann die Oberschwingung gleiche Dauer wie die Grundschiwingung haben kann, worauf ich bei dem Uferprofil von Catania zurückkommen möchte.

Da die drei genannten Schwingungen gleichzeitig mit ihrer Hauptschwingung auftreten, so ist die Annahme, daß in denselben erste Oberschwingungen beobachtet sind, nicht unmöglich. Doch kann der Nachweis hierfür durch Vergleichsbeobachtungen nicht erbracht werden. Es ist daher noch weniger möglich weitere Oberschwingungen zu diskutieren, obwohl auch Schwingungen vorkommen, deren Dauern im Verhältniß der trinodalen Oberschwingung stehen. Bemerkt sei noch, daß eigentlich eine solche Schwingung nicht drei, sondern nur zwei Knoten besitzt und die erste Oberschwingung nur einen, da wir nur die Hälften von schwingenden Flächen vor uns haben.

Aus dem Vorausgehenden ist zu ersehen, daß die Periodendauern der stehenden Uferschwingungen gewöhnlich durch die Entfernung des Schiffes vom Ufer und die Konfiguration des Ufers bedingt werden. Es treten jedoch auch Resonanzschwingungen vor Ankunft des Schiffes und nach Passieren der Beobachtungsstelle auf. Diese werden durch ankommende Wellen, die fern von dem Punkte entstanden sind, ausgelöst und sind eigentlich Resonanzschwingungen, ähnlich denjenigen der Akustik. Auf diese Schwingungen werden wir bei den „fortschreitenden“ Wellen zurückkommen.

Vergleichsbeobachtungen an benachbarten Punkten.

Nachdem sich, wie wir im vorausgehenden gesehen haben, die Vibrationen eines jeden Punktes als ganz lokale Erscheinung erwiesen haben, ist es von Interesse zu untersuchen, wie groß die lokale Ausdehnung speziell der stehenden Uferschwingungen ist. Zu diesem Zwecke habe ich drei gleichzeitige Beobachtungen in benachbarten Punkten angestellt. Am nächsten liegen sich die beiden Beobachtungspunkte Stegen Linnimeter und Stegen Bucht; die Entfernung beträgt nur 40 m. Die gleichzeitigen Linnogramme sind in Fig. 13 a und 13 b auf Tafel II über die gleiche Zeitabszisse gezeichnet. Die Periodendauern der Schwingungen an beiden Punkten sind gleichzeitig ganz andere, worauf ich schon aufmerksam gemacht habe. Die Ursache ist hier das Vorhandensein einer Bucht, welche nur in ihren Eigenschwingungsdauern schwingen kann und Wellen anderer Periodendauer abhält. Merkwürdig ist nur, daß die Schwingung von 3,7 Min. Dauer, die ihren Knoten außerhalb der Bucht haben muß, sich am Linnimeter gar nicht zeigt. Eine weitere Vergleichsbeobachtung habe ich in Mühlfeld angestellt, einem Punkte, der noch im Herrschinger Winkel liegt, in einer Entfernung von 700 m von dem registrierenden Linnimeter. Die gleichzeitigen Kurven sind in Fig. 5 a und b, Tafel II über derselben Zeitabszisse mitgeteilt. An beiden Orten sind die zwei Schwingungen von 0,7 und 0,5 Min. vorhanden, aber nicht gleichzeitig; wir werden in diesen Schwingungen fortschreitende Wellen erkennen. Die übrigen Perioden sind verschieden. Dagegen scheint eine Schwingung längerer Dauer von etwa 3,3 Min. gleichzeitig an beiden Orten aufzutreten und am Linnimeter entgegengesetzte Phase zu haben. Da diese Schwingung so große Periodendauer hat, scheint sie sich über den ganzen Herrschinger Winkel auszubreiten und stehende Schwingung dieser ganzen Bucht zu sein. Doch läßt sich die Schwingungsunterteilung nicht näher angeben. Eine weitere Vergleichsbeobachtung zu dem Linnogramme in Herrsching habe ich in der nur 200 m entfernten Südecke dieses Winkels

angestellt (vgl. die beiden Limnogramme in Fig. 5, Tafel II); leider sind die Schwingungen kürzerer Dauer etwas gedämpft, da durch die Oberflächenwellen Anschwemmungen aufgewühlt wurden und in den Behälter drangen. Doch sind die Wellen noch gut zu messen. Darnach zeigt sich die regelmässigste Schwingung dieser Ecke von 1,1 Min. auch am Limnimeter, hat aber dort entgegengesetzte Phase. Die regelmässigste Schwingung am Limnimeter ist diejenige von 0,6 Min. Dauer, welche sich in der Ecke gleichzeitig nicht zeigt; dagegen tritt dort etwa $1\frac{1}{2}$ Min. später eine solche von etwas größerer Dauer von 0,7 Min. auf.

Soweit diese wenigen Beobachtungen eine Verallgemeinerung zulassen, breiten sich lokale Uferschwingungen auch über größere Flächen aus, wenn sie selbst größere Periodendauer haben und die Flächen abgegrenzt sind wie die Herrschinger Bucht. Es scheinen sich die Schwingungen auch dem Ufer entlang auszudehnen; es wäre dann darin der Grund zu erblicken, warum diese Schwingungen nicht so stabil sind, wie die Buchtenschwingungen, wo die Begrenzung eine seitliche Ausbreitung der Wellenbewegung unmöglich macht. Doch sind hier noch weitere Beobachtungen notwendig.

Fortschreitende Wellen.

Außer den regelmäßigen Schwingungen, die wir als stehende Schwingungen erkannt haben, finden sich an fast allen Beobachtungspunkten ganz unregelmäßige wellenförmige Störungen. Dieselben bestehen nur aus höchstens drei bis vier aufeinanderfolgenden Wellen, von denen selten die erste Schwingung die größte Amplitude hat, gewöhnlich die zweite und auch die letzte und deren Periodendauern manchmal nicht vollständig gleich sind, sondern in den letzten Wellen etwas kleiner werden. Die gleiche Beobachtung hatte ich an den Windvibrationen der freigelegenen Küstenpunkte der Seen gemacht und ich habe in diesen unregelmäßigen Wellen am Ufer aufstoßende und dort reflektierte Wellen großer Länge vermutet. Versuche an einer Wellenrinne und an einem Weiher bestä-

tigten, daß ein einzelner Impuls nur wenige aufeinanderfolgende Wellen erzeugt, die dann in dem Wasserbecken wiederholt hin- und herliefen, indem sie an den Enden und Seitenwänden reflektiert wurden.¹⁾ Auch der Umstand, daß diese unregelmäßigen Störungen in den Buchten der Seen fehlten und sich dort immer regelmäßige Schwingungen vorfanden, bestätigte die Annahme fortschreitender Wellen als Ursache dieser Störungen. In den Buchten lösen nämlich solche ankommende Störungen nur die Eigenschwingungen aus und werden selbst abgehalten in dieselben einzudringen, wenn sie nicht die gleichen Periodendauer wie die Eigenschwingungen haben, an freigelegene Uferpunkte jedoch können Wellen jeder Dauer gelangen, wo sie dann reflektiert werden. Da aber auch solche Uferstellen in stehende Schwingungen versetzt werden können und diese Schwingungen mit ihrer größeren Amplitude die fortschreitenden Wellen verdecken können, habe ich bei den Beobachtungen am Ammersee solche Uferpunkte ausgesucht, welche wegen der konvexen Form der Uferlinie keine Eigenschwingungen besitzen konnten, wo sich also die besprochenen Wellen deutlich zeigen mußten. Solche Punkte sind Lochschwab (9), Ried (10), Mühlfeld (5) und Fischen-Nord (2).

Das ganze Limnogramm in Lochschwab (Fig. 8, Tafel II) enthält nur solche unregelmäßige Wellen, bis auf eine Schwingung von 0,5 Min. Dauer, welche an dem seichten Uferstreifen noch stehende Uferschwingung sein kann, und eine verborgene Schwingung von größerer Dauer (3,0 Min.), die eine Seiche des ganzen Herrschinger Winkels sein dürfte. Am deutlichsten ist die Störung um 2³⁶, also 10 Min. vor Ankunft des Schiffes verzeichnet und hat das typische Aussehen solcher Wellengruppen. Die erste Welle beginnt mit Steigen und hat etwas kleinere Amplitude als die zweite Welle. Der dritten Welle, die zugleich die letzte dieser Gruppe ist, ist eine neu ankommende Welle von etwa 0,5 Min. Dauer aufgesetzt, die auch mit Steigen beginnt, aber in mehreren regelmäßigen

¹⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 42, Fig. 10.

Schwingungen, wie es scheint, als stehende Schwingung ausklingt. Diese Wellen von 0,7 Min. und 0,5 Min. Dauer sind dabei zwei Wellen von größerer Periodendauer aufgesetzt, von etwa 2 Min. Periodendauer. So besteht das ganze Limnogramm aus lauter Gruppen von zwei bis drei, höchstens vier Wellen (siehe die Analyse auf S. 533), die sich zum Teil überlagern und eine komplizierte Interferenzkurve bilden. Im ganzen sind acht Wellen verschiedener Periodendauer sicher darin zu erkennen. Ferner sind im Limnogramme von Ried (10) (vgl. Fig. 9, Tafel II) zwei charakteristische Störungen der vorbeifahrenden Dampfer enthalten, auf welche nur schwache Undulationen folgen, so daß die eigentlichen Störungen so deutlich hervortreten. Zwei Wellen von nahe 3 Min. Dauer, wovon die zweite jedesmal größere Amplitude hat, werden von drei solchen kürzerer Dauer überlagert, welche das eine Mal 1,1 Min., das andere Mal 0,7 Min. Dauer haben. Ähnliche unregelmäßige Störungen finden sich noch deutlich im Limnogramme von Mühlfeld (Fig. 5, Tafel II) und demjenigen von Fischen-Nord (Fig. 2, Tafel II).

Wenn die an solchen konvexen, nicht schwingungsfähigen Uferstellen gefundenen Wellen nicht lokalen Ursprunges sind, sondern von im See fortschreitenden Wellen herrühren, dann müssen sich die dort gefundenen Periodendauern auch an anderen Uferpunkten zeigen. Und in der Tat finden sich die speziell in Lochschwab gemessenen Wellenperioden an den meisten anderen Uferpunkten, wie die Tabelle S. 542 ersehen läßt, und zwar die 0,7 Minuten-Schwingung an 13 von den 15 Beobachtungspunkten, die von 1,0 bis 1,1 Min. in 12 derselben, die von 2,0 und 0,5 Min. in 8 Stationen und die von 3,0 bis 0,8 Min. in 5 derselben. Die 0,7 Minuten-Welle ist überhaupt die am häufigsten beobachtete. An drei Stationen, nämlich in Wartaweil, Herrsching und Utting, finden wir sie zeitweise als stehende Uferschwingung in bis 12 aufeinanderfolgenden Wellen, an den übrigen Punkten aber nur in drei bis vier bis fünf Schwingungen. Diese Welle scheint unmittelbar vom fahrenden Dampfer auszugehen, wofür besonders noch die Beobachtung spricht, daß die Welle in

Wartaweil-Nord, Mühlfeld und Lochschwab etwa $\frac{1}{2}$ bis 1 Min. vor dem Dampfer ankommt. Ebenso scheint die Schwingung von 1,0 bis 1,1 Min. Dauer vom fahrenden Dampfer an jeder Seestelle auszugehen. An Punkten, wo das Ufer in dieser Periodendauer schwingen kann, bringen die ankommenden Wellen die betreffende Wassermasse zur Resonanz, das ist in Fischen, Wartaweil-Nord und Breitbrunn, an anderen Punkten löst die Welle die ihrer Periodendauer nahekommende Schwingung aus, wie in Schondorf eine solche von 1,2 Min. und in Utting von 1,3 Min., an den übrigen Punkten endlich kommt sie in wenigen aufeinanderfolgenden Schwingungen an das Ufer und wird dort reflektiert, wie in Fischen-Nord, Mühlfeld, Lochschwab und Ried. Die übrigen häufiger beobachteten Periodendauern, die auch als fortschreitende Wellen an konvexen Uferstellen gefunden wurden, werden sehr wahrscheinlich nur durch die Beckendimensionen an der Entstehungsstelle bestimmt und breiten sich von dort aus über den See aus. Besonders ist dies bei der großen Stoßwelle der Fall, die beim Landen der Dampfer an das Ufer geworfen wird. Die Periodendauer derselben konnten wir aus den Uferdimensionen in Stegen und Fischen berechnen. Da aber die darauffolgende zweite Welle bedeutend kleinere Amplitude hat, so muß die reflektierte Stoßwelle sich vom Ufer aus zum Teil auch ausbreiten und zwar als fortschreitende Welle. Die an einzelnen Punkten deutlich bestimmte Zeit vor und nach Ankunft des Dampfers auftretenden Wellen weisen auf die benachbarten Stationen als Entstehungsorte hin, von wo die Landungswellen sich bis zu der betreffenden Station ausbreiten, wie wir im folgenden sehen werden.

An freigelegenen Uferpunkten finden sich nämlich bis 45 Min. vor Ankunft des Schiffes deutliche ankommende Wellen, die in größerer Entfernung durch das Schiff erzeugt sein müssen. Forel hat bereits auf diese interessante Beobachtung aufmerksam gemacht und zwei schöne Kurvenbeispiele solcher „vibrations antecedentes“ in seinem Léman II mitgeteilt.¹⁾

¹⁾ Forel, Le Léman II, p. 217.

Da nun das Ufer bei Morges mit den betreffenden Perioden schwingen kann und zur Resonanz kommt, bleiben die ankommenden Wellenperioden unter den stehenden Schwingungen verborgen.¹⁾ In unseren Kurvenbeispielen sieht man dagegen fast immer die neu ankommenden Wellen deutlich verzeichnet, wie in Lochschwab (Fig. 8), in Breitbrunn (Fig. 12 c), Herrsching-Nord (Fig. 10) und Herrsching (Fig. 7), und da die wenigen aufeinanderfolgenden Wellen am Ufer reflektiert werden, verläuft das Linnogramm nachher wieder ruhiger.

Sämtliche vorausgehende Wellen sind aus den Tabellen der Kurvenanalyse zu ersehen und zwar ist dort der Zeitpunkt der Ankunft, die Anzahl aufeinanderfolgender Wellen, die Periodendauer und Amplitude enthalten. Es wäre nun für die Hydrodynamik dieser langen Wasserwellen von Interesse, Ort und Zeit der Entstehung der einzelnen Wellengruppen genau zu wissen um die Geschwindigkeit der Fortpflanzung, das Verhalten bei der Wanderung usw. zu untersuchen. Da aber die Schiffe nicht die Fahrzeit so genau einhalten können und diesbezügliche Vergleichsbeobachtungen nicht angestellt wurden, so können nur die Wellen nach der Zeit ihrer Ankunft vor dem Schiffe geordnet werden. Ich habe das für die beiden Fahrrichtungen in Breitbrunn getan, wo die meisten Kurvenbeispiele vorliegen. Nach diesbezüglichen Zusammenstellungen finden sich zweimal in Breitbrunn 32 Min. vor Ankunft des Schiffes ankommende Wellen, das eine Mal solche von 1,2 Min. Periodendauer und 0,5 mm Amplitude, das andere Mal von 1,0 Min. und 2 mm und beginnen in Breitbrunn mit Fallen des Niveaus. Diese Wellen können nur in Stegen bei der Abfahrt etwa 38 Min. vor Eintreffen in Breitbrunn entstanden sein, so daß als Wanderungsdauer sich etwa 6 Min. ergeben. Viermal treten Wellen etwa 21 bis 24 Min. vor Ankunft des Schiffes auf, bei deren Entstehung das Schiff sich an der Landungsstelle Buch befand. Die 13 bis 14 Min. vorher auftretenden Schwingungen weisen auf eine Entstehung in Schondorf hin, wobei etwa 3 Min.

¹⁾ Forel, Le Léman II, p. 217.

Wanderungsdauer sich ergibt, und diejenigen, die 10 bis 6 Min. vorher ankommen, können nur vom fahrenden Schiffe selbst ausgegangen sein. In Herrsching ferner finden sich 15 bis 17 Min. vor Ankunft des Schiffes von Holzhausen deutlich vor-
ausgehende Vibrationen, welche in Holzhausen entstanden sein dürften, wobei die Wellen in nahe 6 Min. den See überquert haben müssen. Endlich treten in Wartaweil zweimal genau 20 Min. vor Eintreffen des Dampfers von Diessen solche Störungen auf. Der Zeit nach zu schließen sind diese etwa 3 bis 4 Min. nach Abfahrt von Diessen vom Schiffe ausgegangen, zu welcher Zeit dasselbe um die Mündung des See-Zuflusses, der Ammer, biegt.

Wie vor Ankunft des Schiffes, so kommen auch nach der Abfahrt desselben neue Störungen an und vergrößern die Amplituden der am Orte noch vorhandenen Schwingungen. So finden sich 15 bis 17 Min. nach Ankunft des Schiffes von Schondorf in Breitbrunn fast jedesmal neue Wellen von 1,0 bis 1,3 Min. Periodendauer. Es kann nur die beim Landen in Utting entstandene Welle nach der Reflexion sich nach Breitbrunn fortgepflanzt haben. Diese sämtlichen Störungen beginnen im Linnogramme mit Fallen des Niveaus. Außerdem treten achtmal bei umgekehrter Fahrtrichtung in Breitbrunn nachfolgende Vibrationen auf und zwar 14 bis 16 Min. nach der größten Welle, wobei sämtliche Störungen mit Steigen beginnen und 1,1 bis 1,4 Min. Periodendauer haben. Sie können nur in Schondorf entstanden sein.

Während die oben besprochenen Störungen durch den landenden Dampfer entstanden sein müssen, ist aus den Linnogrammen zu ersehen, daß an allen Stationen vor Vorübergang des Schiffes auch Störungen ankommen, die von dem in Fahrt befindlichen Schiffe ausgegangen sein müssen und dem Schiffe vorausgeeilt sind. So müssen die zwischen 6 bis 10 Min. vor den Dampfern in Breitbrunn auftretenden Wellen von dem von Schondorf nach Breitbrunn fahrenden Schiffe ausgegangen sein, ferner rühren die in Herrsching-Nord (vgl. Fig. 10) ab 5³¹ auftretenden Wellen von dem von Holzhausen nach Herrsching fahrenden Dampfer her, ebenso können die in Lochschwab

10 Min. vor Vorüberfahrt des Schiffes ankommenden Wellen nur vom fahrenden Dampfer erzeugt sein und ihm vorausgeeilt sein. Doch läßt sich in diesem Falle die Stelle nicht angeben, von der die Wellen ausgegangen sind, aus einigen Beobachtungen nur ergibt sich, daß diese Wellen nicht in der Kursrichtung vom Schiffe ausgehen, sondern schief zu denselben. Es traten nämlich in Fischen-Nord keine Vibrationen vor Ankunft des Dampfers auf, obwohl derselbe fast genau Kurs gegen den Beobachtungspunkt hatte, ebenso finden sich in Breitbrunn keine vorausgehenden Wellen, wenn das Schiff von Utting kommt, von wo es steil gegen die Station zufährt. Ist die Fahrtrichtung parallel zum Ufer und zwar in der Nähe des Ufers, wie in Utting und Wartaweil-Nord, so kommen nur wenige Minuten vor dem Schiffe Wellen an, da die auf der Uferseite des Schiffes erzeugten Wellen an das Ufer stoßen und gegen den See zu reflektiert werden. Mit der Vorbeifahrt des Schiffes aber beginnen die im vorausgehenden behandelten stehenden Uferschwingungen.

Was nun die Erzeugung dieser Schiffswellen großer Länge während der gleichmäßigen Fahrt betrifft, so haben unsere Beobachtungen ergeben, daß nicht eine ganze Schar von Wellen vom Schiffe ausgeht, wie bei den Oberflächenwellen, sondern nur zwei bis vier Wellen gleicher Periode. Durch Versuche am Fischweiher, wobei durch gleichmäßiges Entlangziehen eines schwimmenden Gegenstandes solche Wellen erregt wurden, konnte ich schon früher solche Vibrationen nachahmen und es entstanden dabei wirklich nur bis vier Wellen gleicher Periodendauer.¹⁾ Da aber bei der geringen Breite des Weihers die seitliche Ausbreitung der Wellen unmöglich war, sind die dort gewonnenen Ergebnisse im einzelnen nicht auf unseren Fall anwendbar. Angestellte vorläufige Versuche an einer Experimentierwanne von 90 cm Länge und 60 cm Breite ergaben für den Fall, daß die Schiffgeschwindigkeit kleiner ist als diejenige der Wellen, zu beiden Seiten des Vorderteiles des Fahr-

¹⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 42.

zeuges senkrecht zur Schiffswand sich ausbreitende Wellen und zwar zwei bis vier an der Zahl, wobei ein Wellenberg vorausging. Die Wellenkämme waren bei gleichmässiger Tiefe geradlinig und liefen mit ihren Enden dem Schiffe voraus, so daß die Wellenkämme mit der Kursrichtung spitze Winkel bildeten. Beim raschen Anfahren und Anhalten dagegen gingen kreisförmig sich ausbreitende Wellen aus, die bedeutend größere Amplituden hatten, doch auch nur wenige Wellen gleicher Periode.

Es wäre von besonderem Werte exakte Beobachtungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser langen Wasserwellen zu erhalten um die bis jetzt benützten Formeln zu prüfen. Da aber über den Ort und die genaue Zeit der Entstehung die erforderlichen Beobachtungen nicht gemacht wurden, was späteren Untersuchungen vorbehalten bleibt, so lassen sich die in Betracht kommenden Größen nur schätzen. Aus der Lagrangeschen Formel der Fortpflanzungsgeschwindigkeit v von langen Wasserwellen:

$$v = \sqrt{g \cdot h}, \quad \text{IV}$$

wobei g die Erdbeschleunigung und h die gleichmäßige Tiefe in Metern bedeuten, läßt sich die Wellenlänge der beobachteten Wellen ungefähr angeben und zwar berechnet sich für die tiefste Stelle von 80 m bei einer Periodendauer von 0,5 Min. $v = 25,2 \text{ m sec.}^{-1}$ und $\lambda = 800 \text{ m}$. Die Wellenlänge λ ist also bei der kleinsten Dauer noch zehnmal so groß als die Wassertiefe und an seichteren Stellen ist das Verhältnis noch größer, denn $\lambda : h = t \sqrt{g} : \sqrt{h}$. Wir haben also sogenannte „lange Wellen“ vor uns. Zur Bestimmung der Wanderungsdauer in einem See mit wechselnder Tiefe ist aber die Lagrangesche Formel nicht brauchbar und auch die Einführung der mittleren Tiefe führt besonders bei großen Änderungen der Tiefe, wie sie in den Seen vorkommen, zu ganz unrichtigen Werten, wie auch in neuester Zeit O. Krümmel für die Meere gezeigt hat.¹⁾

¹⁾ O. Krümmel, Ozeanographie II, p. 152 ff.

Es paßt hier vielmehr die sogenannte P. du Boyssche Formel, wie sie zur Berechnung der Seichesdauern der Seen angewendet wurde, wobei mit derselben die Wanderungsdauer einer Welle berechnet wird beim Durchlaufen der doppelten Seelänge.¹⁾ Während nun diese Formel für die ein- und zweiknotigen Seiches stark konkaver und konvexer Seen ganz unrichtige Werte der Periodendauern ergibt, erhält man für die Schwingungen höherer Nodalität gute Annäherungen. Es nähert sich auch theoretisch das Produkt aus der Seichesdauer und der Knotenzahl ($n \times T_n$) der Wanderungsdauer nach P. du Boys und einige günstige Beobachtungen an regelmäßigeren Seen bestätigen dies, wo im See hin- und herlaufende Wellen zu beobachten waren.²⁾ Es läßt sich daher z. B. die Zeit, die eine Welle braucht, um den See zu überqueren, aus der Dauer einer Querschwingung rasch angenähert ermitteln, da man nach der Chrystalschen Theorie sofort das Produkt $n \cdot T_n$ je nach der Gestalt der Querprofile aus den Chrystalschen Formeln entnehmen kann. Auf diese und verwandte andere Fragen soll erst näher eingegangen werden, wenn exakte Beobachtungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen vorliegen, welche zugleich mit der Untersuchung der Seichesschwingungen zur Zeit noch am Ammersee weitergeführt werden.

Analoge Erscheinungen in den Meeren.

F. A. Forel, der zuerst die kurz dauernden Schwankungen der Seen beobachtete, hat sofort auf die analogen Erscheinungen in den Meeren hingewiesen, wo diese Schwankungen an fast allen Punkten die Gezeitenkurve auszacken und unter dem Namen „sekundäre Gezeiten“ schon lange bekannt waren: Die von Forel dadurch angeregten diesbezüglichen Untersuchungen beschäftigten sich aber fast ausschließlich mit den Buchtenschwingungen, wobei speziell die systematischen Forschungen

¹⁾ Forel, Le Léman II, p. 83.

²⁾ Die Vibrationen etc., zit. S. 518, p. 12 und 29.

der Japaner¹⁾ ergaben, daß jede Bucht in stehende Schwingungen versetzt werden kann, welche an der Mündung einen Schwingungsknoten haben, daß also eine Bucht wie ein Resonator durch die von außen kommenden Wellen zum Mitschwingen gebracht wird. C. Börgen²⁾ hat sich zuerst mit den Schwankungen an solchen Küstenpunkten beschäftigt, welche an keiner abgeschlossenen Bucht liegen; nach seiner Ansicht können solche nicht von stehenden Schwingungen herrühren. Er hat vielmehr die Vermutung ausgesprochen, daß diese Schwankungen als eine Interferenzerscheinung zweier Systeme von Windwellen mit verschiedener Periodendauer aufgefaßt werden können, als sogenannte Kombinationswellen entsprechend den Helmholtz'schen Differenzwellen. Forel dagegen hat in seiner letzten Publikation über die Vibrationen³⁾ die Hypothese Börgens, der sich auch G. Chrystal zum Teil angeschlossen hatte, ganz abgelehnt, andererseits den Ergebnissen der Japaner gegenüber nochmals mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß die Meeresvibrationen, wie diejenigen der Seen, nicht nur in Buchten, sondern ebenso häufig an offenen Küstenpunkten sich finden. Allerdings hat er dann diese Tatsache als Beweisgrund für seine Annahme benützt, daß diese Schwankungen mehrknotige stehende Schwingungen, also Seiches seien und nicht bloß Resonanzschwingungen. R. A. Harris allein hat in seinem Handbuche der Gezeiten⁴⁾ gelegentlich der Einteilung der periodischen Schwankungen, die er sämtliche mit Seiches bezeichnet wissen will, auf das Vorkommen solcher stehender Küstenschwingungen, wie wir sie am Ammersee gefunden haben, aufmerksam gemacht und dieselben mit Schelfseiches (shelving seiches) bezeichnet. Er führt auch Beispiele solcher Seiches

¹⁾ K. Honda, T. Terada, Y. Yoshida and D. Isitani, An investigation of the secondary undulations of oceanic tides. Journal of the College of Science, Bd. 24. Tokyo 1908.

²⁾ C. Börgen, Annal. de Hydrogr., Januar 1890, p. 10.

³⁾ Forel, Vibrations etc., zit. S. 5, p. 3.

⁴⁾ R. A. Harris, Manual of tides V. (U. S. Coast Survey Rep. 1907). Washington 1908, S. 472 u. ff.

an, von denen aber einzelne auch als fortschreitende und am Ufer aufstoßende Wellen angesehen werden können, weshalb O. Krümmel die reale Bedeutung derartiger Schwingungen noch nicht für sicher erwiesen hält.¹⁾

Harris erwähnt speziell als Schelfseiches die Schwankungen, welche durch die Seewogen des Krakatau-Ausbruches an vielen Küstenpunkten ausgelöst wurden. Von diesen dürften jedoch die im Bengalischen Busen speziell in Negapatan, Madras und Vizagapatan aufgezeichneten ersten drei bis vier Wellen dem von der Störungsstelle sich ausbreitenden Wellenzug fortschreitender Wellen angehören. Dafür spricht einmal die geringe Zahl aufeinanderfolgender Wellen gleicher Periodendauer, dann auch besonders der Umstand, daß diese Wellen an den drei genannten Stationen die nämliche Periodendauer von rund 110 Min. aufweisen, endlich noch die Beobachtung, dass auch in Batavia, der der Ausbruchstelle nächsten Station, die ersten vier Wellenzüge die gleiche Periodendauer haben, während die darauffolgenden Schwingungen, zehn an der Zahl, eine Dauer von im Mittel 128 Min. haben und deutlich den Typus lokaler stehender Schwingungen aufweisen. Als Schelfseiches dagegen muß die isoliert in Negapatan auftretende Schwingung von 55 Min. Dauer, die in zehn regelmäßigen Schwingungen ausklingt, und die in Madras regelmäßig verzeichnete Schwingung von 70 Min. Dauer in zehn aufeinanderfolgenden Wellen angesehen werden. Die in Port Elisabeth mit großer Amplitude beobachtete Schwingung von 71 Min. Dauer, welche in achtzehn Einzelschwingungen zu messen ist, dürfte mehr als Resonanzschwingung der Algoabucht zu betrachten sein, denn als Schelfseiche im Sinne Harris. Für $l = 25$ km und $h = 75$ m, wie ich sie aus Andrees Handatlas entnehme, gibt unsere Formel I wirklich als uninodale Periodendauer 71 Min.²⁾

¹⁾ O. Krümmel, Ozeanographie II, p. 168.

²⁾ Obige Wellenperioden entnehme ich dem Kurvenmateriale des wertvollen Werkes der Japaner (K. Honda etc., zit. S. 568), Tafel 49, 51 und 52.

Zu den ausgesprochenen Schelfseiches zu rechnen ist eine in Catania, am Ostufer Siziliens besonders häufig beobachtete Schwingung von 15 bis 17 Min. Periodendauer, deren eingehende Untersuchung wir G. Platania verdanken.¹⁾ Die konkave Form der Uferlinie bei Catania begünstigt nach unseren Ergebnissen am Ammersee die Entstehung und das längere Fortschwingen von stehenden Uferschwingungen. Das häufige Auftreten einer bestimmten Schwingung muß in den besonderen Eigentümlichkeiten des Uferprofiles begründet sein und in der Tat weicht dasselbe, wie die nach Andrees Handatlas in Fig. 4, Tafel II gezeichnete Figur ersehen läßt, merklich von den bisher betrachteten ab. Während sich dasselbe bei der Lage des Knotens in der Entfernung der 2000 Meter-Isobathe noch an eine gerade Linie annähern läßt und für $l = 25$ km und $h = 2000$ m aus Formel II $T = 15,6$ Min. ergibt, erhebt sich für alle Lagen des Knotens zwischen der 1000 und 100 Meter-Isobathe die Profillinie über eine gerade Linie, so daß die nach Formel II berechneten Werte $T_{1000} = 11,8$ Min., $T_{200} = 11,8$ Min., $T_{100} = 14,6$ Min. nach Chrystalscher Theorie um 10 bis 20% zu klein werden, so daß also die Dauern etwa 14 Min., 14 Min. und 16,5 Min. sein dürften. Das Profil nähert sich nämlich sehr der Form einer Parabel vierten Grades und bei einer solchen Normalkurve nähern sich nach Chrystal die Dauern der Oberschwingungen derjenigen der Hauptschwingung.²⁾ Für die Lage des Knotens in der Entfernung der 50 Meter-Isobathe erhält man wirklich nahe dieselbe Dauer wie bei der Knotenannahme an der Tiefe von 2000 m. Hierin dürfte das vorwiegende Auftreten der genannten Schwingung seinen Grund haben, wobei der Knoten sich um große Entfernungen verschieben kann, ohne daß die Dauer sich um mehr als 2 Min. ändert.

Noch häufiger und regelmäßiger treten die Schelfseiches in Buchten auf, wo dann die einzelne Bucht die Entstehung

¹⁾ G. Platania, *Le Librazioni del mare con particolare riguardo al Golfo di Catania*. V. Congr. geogr. It. 1904.

²⁾ Chrystal, zit. S. 546, p. 642.

einer stehenden Uferschwingung begünstigt und noch stabiler macht, als sie an nur schwach konkaven, offenen Küstenpunkten sein würden. Hierfür liefern die Beobachtungen der Japaner ein reiches Material, wie die vielen verschiedenen Periodendauern in jeder Bucht ersehen lassen.¹⁾ Von allen Schwingungen, welche eine größere Periodendauer haben als die Hauptschwingung, müssen die Knoten außerhalb der Bucht liegen und lassen sich mittels unserer Formeln I oder II aus dem Uferprofil angenähert bestimmen. Diese Schelfseiches haben aber gewöhnlich viel kleinere Amplituden als die Eigenschwingungen der Buchten und bleiben daher unter diesen verborgen, wie man aus jedem Diagramm des wertvollen Kurvenmaterials der Japaner ersehen kann. Die große Veränderlichkeit der Periodendauern dieser Schwingungen ist aus dem leichten Wechsel der Knotenlage verständlich. Harris selbst gibt ein Beispiel solcher Schelfseiches in der im Hafen von Galle auf Ceylon anlässlich der Krakatauwoen auftretenden regelmäßigen Schwingung von 24 Min. Dauer, die ihren Knoten außerhalb der dort befindlichen kleinen Bucht haben muß.²⁾ Auch G. Platania findet in der Bucht von Mazzara außer der schon erwähnten Buchtenschwingung von im Mittel 14 Min. (vgl. S. 547) noch eine weitere häufiger auftretende Schwingung von 21 bis 26 Min. Dauer, welche ihren Knoten außerhalb der Bucht haben muß,³⁾ also Schelfseiche ist. Wie das auf Tafel I, Fig. 6 gezeichnete Profil ersehen läßt, paßt hierfür die Annäherung an eine Parabel auch für eine Lage des Knotens außerhalb der Bucht, wo die Tiefe fast gleichmäßig 30 bis 35 m beträgt, und man erhält für $l = 6$ km und $h = 35$ m nach Formel I wirklich eine Dauer von 24 Min. In dem Mareogramm S. 27 der Schrift finden sich noch mehrere Schwingungen größerer Dauer, welche ebenfalls Schelfseiches sein dürften, wie eine solche von 40 Min. in zehn aufeinanderfolgenden Wellen und eine von 53 Min. in 9 Schwingungen.

1) K. Honda, An investigation etc., zit. S. 568, p. 17 u. ff.

2) R. A. Harris, Manual etc., zit. S. 568, p. 482.

3) G. Platania, Oscillationi etc., zit. S. 547, p. 32.

Wegen der großen Anzahl auftretender Schwingungen sind die Beobachtungen von Isthmia am Ostende des korinthischen Kanals von Interesse, welche G. Wegemann¹⁾ zuerst untersucht hat. Aus den Mareogrammen, die der genannte Forscher mir freundlichst überlassen hat,²⁾ finde ich durch zum Teil exakte Analyse folgende ausgeprägten 14 Schwingungen: von 4,0 — 9,6 — 10,0 — 13,0 bis 14,0 — 18 — 25 — 30 bis 35 — 46 — 75 bis 80 — 135 bis 138 — 165 — 180 — 260 und 320 Min. Periodendauer. Es ist dies meines Wissens die größte Anzahl Schwingungen, wie sie bis jetzt in einer Bucht gefunden wurden. Eine Berechnung der einzelnen Perioden aus den Beckendimensionen wäre wegen der komplizierten Form des Saronischen Meerbusen eine Arbeit für sich. Das in Betracht kommende Becken zerfällt nämlich in mehrere Teilbuchten und durch die vielen Inseln in Teilbecken, so daß in den gefundenen Schwingungen fast sämtliche Arten von Seiches, wie sie R. A. Harris³⁾ aufgestellt hat und zwar eigentliche Seiches (open lake-seiches), ein- und mehrknotige Buchtenschwingungen (cul de sac s.), Querseiches (parallel-wall s.) und Schelfseiches (shelving s.) vorkommen dürften, wovon die Schwingungen großer Dauer ihre Knoten außerhalb des Golfes haben, also Schelfseiches sein müssen.

Die angeführten Beispiele von Uferschwingungen an den Meeresküsten lassen erkennen, daß das Vorkommen dieser Art von stehenden Schwingungen ein ebenso häufiges ist, wie das der Resonanzschwingungen von Buchten. Doch ist hier nicht Raum auf weitere Beispiele einzugehen, welche sich in der

¹⁾ G. Wegemann, Beiträge zu den Gezeiten des Mittelländischen Meeres. Annalen d. Hydrogr., August 1907.

²⁾ Auch an dieser Stelle sei ihm nochmals dafür aufrichtig gedankt. Die Mareogramme sind von Admiral Makaroff sehr genau kopiert. Der Streifengang beträgt 2 cm pro h. Die Schreibtrommel machte eine Umdrehung pro Tag, weshalb der Schreibstift täglich verstellt werden mußte, um mehrere Tage auf einen Streifen zu bringen, was täglich zwischen 8 und 12 Uhr geschah.

³⁾ R. A. Harris, Manual etc., zit. S. 568, p. 472.

Literatur so zahlreich finden lassen. Ich möchte vielmehr noch auf ein anderes Ergebnis unserer Beobachtungen am Ammersee zurückkommen, das zur Bestimmung der Entfernung eines Seebebenherdes in der Nähe einer Küste vielleicht von Vorteil sein könnte. Die größte Periodendauer der Uferschwingungen eines Punktes wurde nämlich durch den Abstand der Störungsstelle vom Ufer bestimmt, da an die betreffende Stelle der Knoten zu liegen kam. Es liegt daher nahe, auch aus der größten beobachteten Periodendauer bei Seebeben in der Nähe der Küste den Abstand des Herdes zu bestimmen, was in günstigen Fällen, wie ich glaube, möglich sein dürfte. Auf ein Beispiel nur möchte ich hinweisen, nämlich auf die größte Periodendauer des Seebebens von Sanriku östlich von Japan. In Choschi,¹⁾ einer freigelegenen Mareographenstation, wo sich keine Resonanzschwingungen bilden konnten, findet sich unter den ankommenden Wogen eine regelmäßige Schwingung von 65 Min. Dauer neben vielen anderen Schwingungen kürzerer Dauer. Die Japaner geben nun die Entfernung des Bebenherdes von der Küste zu 150 km an,²⁾ in welcher Entfernung sich eine Tiefe von 3000 m befindet, so daß wir nach unserer Formel I genau 65 Min. Periodendauer für eine Uferschwingung gegen die Küste Japans mit einem Knoten an der Störungsstelle erhalten. Ähnlich wird auch die größte Periodendauer der anlässlich des Krakatau-Ausbruches beobachteten Wellen von etwas über 2 Stunden als stehende Querschwingung der Sundastraße von den Japanern, von Harris u. a. gedeutet.

Wenn nun solche stehende Uferschwingungen durch einmaligen Impuls meteorologischer oder seismischer Störungen ausgelöst werden, so müssen periodisch wirkende Kräfte, wie es die Gezeitenkräfte sind, an jedem nur einigermaßen geeigneten Ufer stehende Schwingungen in ihrem Takte auslösen und besonders an konkaven Uferstellen. Dort müssen dann wenigstens nochmal so hohe Flutwellen auftreten, als

¹⁾ K. Honda, An investigation etc., zit. S. 568, Tafel 55, Fig. 2.

²⁾ Ebenda, p. 90.

sonst zu erwarten wären und es müssen außerdem längs der betreffenden Küste gleiche Flutstunden sich zeigen. Ich möchte nur drei solche Uferstellen hier anführen, wo die genannten Bedingungen alle zutreffen,¹⁾ nämlich den Alaskagolf, dann die Südostküste Nordamerikas und die Nordwestküste Vorderindiens längs des Arabischen Meeres. Sämtliche Profile lassen sich an eine Parabel annähern (vgl. das Profil vom Alaskagolf Fig. 6, Tafel I), so daß bei einem Knotenabstande von 2500 km und einer Tiefe von 6000 m für die beiden ersten Uferschwingungen eine Periodendauer von 12,8 Stunden und bei der Uferschwingung im Arabischen Meere für $l = 2250$ km und eine Tiefe von 4800 m die gleiche Dauer der halbtägigen Gezeitenwelle sich ergibt. Diese Uferschwingungen hat Harris in seiner Einteilung der Ozeane in schwingende Flächen (oscillating area bzw. fractional area) bereits angenommen¹⁾ und die von ihm eingezeichneten Knotenlinien in Tafel 23 seines Handbuches fallen auch genau in die oben angenommenen Uferentfernungen. Solche stehende Uferschwingungen, die durch periodische Kräfte andauernd fortschwingen, müssen umgekehrt auch den Ozean in stehende Schwingungen versetzen und ihn also in schwingende Flächen abteilen, so daß man auf Grund obiger Ergebnisse zu der Annahme kommen muß, daß stehende Schwingungen den Charakter des Flutphänomens wesentlich mitbedingen, eine Annahme, welche schon Newton ausgesprochen, W. Ferrel weiter verfolgt und in neuester Zeit R. A. Harris in ganz selbständiger Weise zu einer eigenen neuen Gezeiten-theorie ausgearbeitet und in seinem mehrerwähnten großen Handbuche der Gezeitenkunde niedergelegt hat.

Bei den fortschreitenden Wellen haben die Beobachtungen am Ammersee ergeben, daß nur wenige Wellen gleicher Periodendauer aufeinanderfolgen. Ähnliche Beobachtungen sind auch von den Meeresküsten in der Literatur zu finden. So besteht die bekannte Erscheinung des Seebären nach dem ein-

¹⁾ R. A. Harris, Manual of tides IV A. Washington 1901. Auf Tafel 25 ist dies besonders deutlich zu sehen.

gehenden Berichte von Br. Doss¹⁾ aus ein bis zwei, manchmal bis drei aufeinanderfolgenden Wellen und zwar nur an der offenen Küste, während an schwingungsfähigen Ufern Resonanzschwingungen auftreten. Wir dürfen daher nach obigen Ergebnissen schließen, daß ein einziger Impuls die Wellen auslöst und zwar muß derselbe nicht gerade seismischen Ursprungs sein, was schon S. Günther frühzeitig erkannt und ausgesprochen hat,²⁾ sondern dieselben Ursachen, welche in allseits geschlossenen Seebecken exzessive Seeschwankungen auslösen, werden auf großen Wasserflächen solche fortschreitende Wellen erzeugen. In gleicher Weise treten auch die durch seismische Störungen entstandenen Wogen nach dem Berichte der Japaner über die großen historischen Wogen³⁾ und der diesbezüglichen Zusammenstellung O. Krümmels⁴⁾ in ein bis drei aufeinanderfolgenden Wellen auf. Übrigens läßt sich auch aus den Amplituden von Buchtenschwingungen darauf schließen, daß die ankommenden Störungen nicht aus einer ganzen Schar von Wellen gleicher Periode bestehen haben, sonst müßten die Resonanzschwingungen regelmäßig nacheinander immer höhere Amplituden aufweisen oder wenn die Periodendauern der ankommenden Wellen verschieden sind von den Eigenschwingungsdauern, die Amplituden rasch zerstört und wieder neu erzeugt werden. Gewöhnlich zeigen aber die Buchtenschwingungen nach wenigen Störungen regelmäßig abnehmende Amplituden. Außerdem finden sich unter dem reichen Kurvenmateriale der Japaner Aufzeichnungen von freigelegenen Uferstellen, welche keine Resonanzschwingungen besitzen können und daher ganz ähnliche unregelmäßige Form aufweisen wie das Limnogramm in Lochswab am Ammersee. So finde ich aus dem Mareogramme von Shionomisaki (Tafel 19,

¹⁾ Br. Doss, Über ostbaltische Seebären. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. VIII, H. 3/4.

²⁾ S. Günther, Von den rythmischen Schwankungen des Spiegels geschlossener Meeresbecken. Mitt. Geogr. Ges. Wien 31, 1888, p. 510.

³⁾ K. Honda, An investigation etc., zit. S. 568, p. 102.

⁴⁾ O. Krümmel, Ozeanographie II, p. 137.

Fig. 3) neun Schwingungen verschiedener Dauer, wovon acht nur in zwei bis drei aufeinanderfolgenden Wellen auftreten, worin also fortschreitende Wellen sich aufgezeichnet haben. Dasselbe Ergebnis erhalte ich aus einer Analyse der Kurven vom Kap Inuboye (Tafel 12, Fig. 3), Omaezaki (Tafel 18, Fig. 2) und anderen acht Punkten. Daraus ist ersichtlich, daß auch die langen Wellen im Meere gewöhnlich nicht in großen Scharen auftreten, wie häufig angenommen wurde, ferner daß sie gewöhnlich durch einen einzigen Impuls ausgelöst werden und selten nur durch periodische Kräfte, wie atmosphärische Luftwogen, welche letztere man früher als die eigentlichen Ursachen der Vibrationen in den Seen und Meeren anzusehen geneigt war.

Man wäre versucht, auf weitere Fragen der Dynamik langer Wasserwellen unsere Ergebnisse anzuwenden, wie die Frage, an welchen Stationen ein Wellenberg und an welchen ein Wellental vorausgeht, ferner wie sich die Wellen auf ihrer Wanderung verändern, endlich wie sich die Wandlungsdauer mittels der obenerwähnten Formeln berechnet. Da jedoch hierfür nur vorläufige Ergebnisse an den Seen vorliegen, soll durch weitere Untersuchungen auch diesen Fragen nachgegangen werden, worauf ich an anderer Stelle zurückkommen werde.

Ergebnisse.

Die Ergebnisse der bisherigen Vibrationsbeobachtungen lassen sich, wie folgt, zusammenstellen:

1. Die kurzperiodischen Wasserstandsschwankungen an den Küsten der Seen rühren gewöhnlich von im See fortschreitenden Wellen großer Länge her. Dieselben folgen aber nicht in großen Scharen gleichperiodischer Wellen, wie die Oberflächenwellen, aufeinander, sondern nur in ein bis vier Einzelwellen.

2. Diese Wellen erzeugen an den einzelnen Uferstellen ganz lokale periodische Schwankungen, indem sie eine bestimmte Wassermasse des Uferstreifens zur Resonanz bringen. Es erwiesen sich dabei nicht nur Buchten als schwingungsfähig,

sondern es genügt schon eine leicht konkave Uferlinie, um die Stelle zu einem schwingungsfähigen Gebilde zu machen.

3. Solche Uferstellen können nicht nur in bestimmten Periodendauern schwingen, wie nach drei Seiten begrenzte Buchten, sondern je nach dem Impulse einer ankommenden Störung kann eine größere oder kleinere Wassermasse in stehende Schwingung versetzt werden, deren Knoten parallel zum Ufer in eine der Periodendauer entsprechende Entfernung zu liegen kommen.

4. Die Periodendauern dieser Uferschwingungen lassen sich aus den Dimensionen des Uferprofils berechnen, indem man den Teil des Profils bis zum Knoten als Hälfte der sogenannten Chrystalschen Normalkurve betrachten darf. Für die meisten Ufer gibt die Berechnung nach Chrystals Formeln für ein symmetrisch geradliniges oder parabolisches Becken gute Annäherungen.

5. Ist das Gegenufer eines Sees parallel zu dem schwingenden Uferstreifen, so kann die Uferschwingung auch Querseiche im Sinne Forels werden, ebenso können abgegrenzte Seeteile ganz in schwingende Flächen abgeteilt werden.

6. Fortschreitende Wellen gehen sowohl vom fahrenden Dampfer aus als auch von Uferschwingungen, wenn sie große Amplituden erreichen. Die Höhe der Wellen nimmt mit der Entfernung rasch ab. Werden Wellen in der Nähe eines schwingungsfähigen Ufers erregt, so entsteht immer auch diejenige Schwingung, welche an der Störungsstelle ihren Knoten hat.

7. Die Ergebnisse am Ammersee bestätigen die Annahme von R. A. Harris, daß diese Uferschwingungen, von ihm Schelfseiches genannt, eine ganz allgemeine Erscheinung an den Meeresküsten sind. Speziell lassen sich bekannte periodische Schwankungen an bestimmten Küstenpunkten als Schelfseiches auffassen und deren Periodendauern aus den Uferdimensionen berechnen. Als Schelfseiches müssen auch die Schwingungen in Meeresbuchten angesehen werden, welche größere Periodendauer als die Hauptschwingung der betreffenden Bucht haben.

8. Wenn schon ein einzelner Impuls eines Windstoßes

oder eines fahrenden Dampfers mit geringer kinetischer Energie merkliche stehende Uferschwingungen auslöst, so müssen um so mehr periodisch auftretende Kräfte, wie es die Gezeitenkräfte sind, an allen nur einigermaßen schwingungsfähigen Ufern die Bildung stehender Schwingungen veranlassen und können so ganze Wasserflächen in schwingende Flächen abteilen. Insofern können die Ergebnisse am Ammersee als eine Bestätigung von Harris neuer Gezeitentheorie angesehen werden.

9. Auch in den Mareogrammen von nicht schwingungsfähigen Küstenpunkten der Meere finden sich gewöhnlich nur Gruppen von ein bis vier Einzelwellen, die als fortschreitende Wellen anzusehen sind, wozu besonders auch die Erscheinung des Seebären an der Küste der Ostsee gehört. Es müssen demnach auch diese Wellen durch einen einzigen Impuls, sei es meteorologischer, sei es seismischer Kräfte, erzeugt worden sein.

Freising, November 1912.

Am Schlusse dieser Schrift wollte ich Herrn Geheimrat Professor Dr. Hermann Ebert für die wertvolle Förderung der vorliegenden Arbeit danken, da kommt bei Beendigung der Drucklegung die Trauerkunde von dem Tode des Forschers und ich kann an dieser Stelle nur noch auf die Verdienste hinweisen, die H. Ebert besonders um die bayerische Seichesforschung sich erworben hat. Er hat den ersten bayerischen See, den Würmsee, auf seine Seiches untersucht und die weitere Erforschung bayerischer Seen nicht nur angeregt, sondern durch Überlassung der nötigen Apparate und Beschaffung der Mittel überhaupt ermöglicht, die Untersuchungen selbst geleitet und ständig durch wertvolle Anregungen gefördert. Sein Name muß daher in der Geschichte der bayerischen Seichesforschung immer an erster Stelle genannt werden.

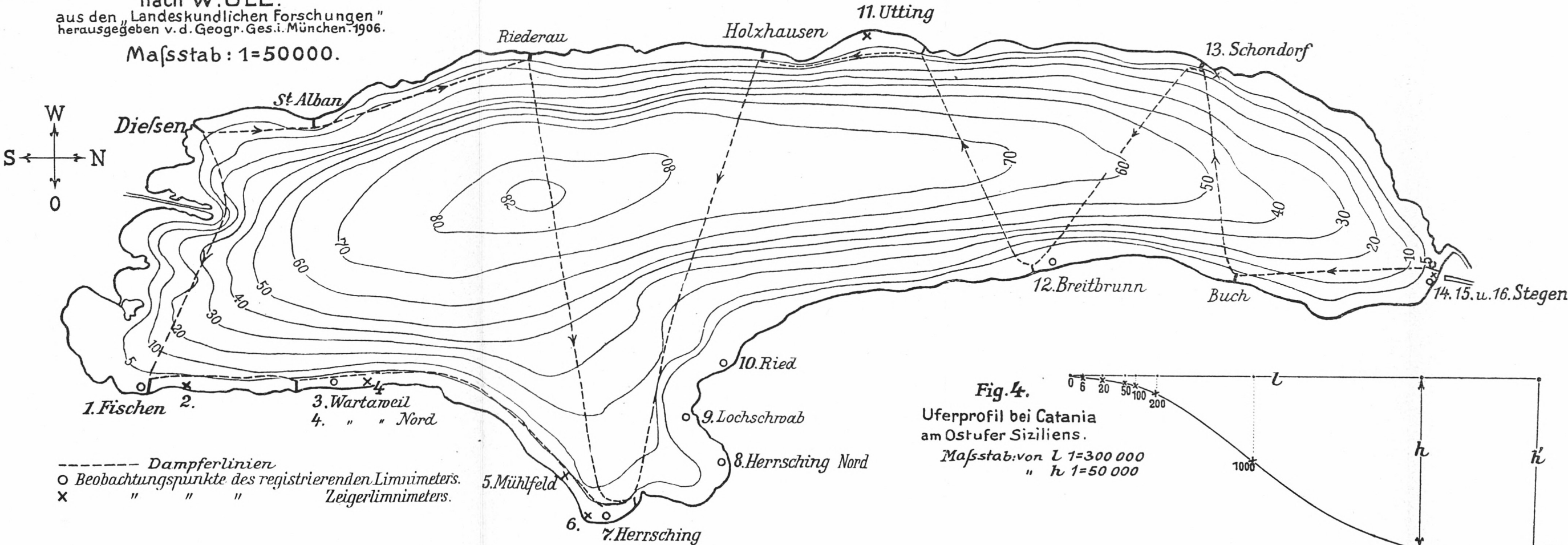
Der Verlust ist um so schwerer, als unser Forschungsgebiet seit kaum einem Jahre vier hervorragende Vertreter verloren hat, nämlich G. Chrystal, F. A. Forel, O. Krümmel und G. H. Darwin, Forscher, auf deren Arbeiten ich gerade in vorliegender Schrift besonders verweisen mußte und denen ich auch wertvolle persönliche Anregungen verdanke.

Fig. 1. AMMERSEE-TIEFENKARTE

nach W. ULE.

aus den „Landeskundlichen Forschungen“
herausgegeben v. d. Geogr. Ges. i. München 1906.

Maßstab: 1=50000.



----- Dampferlinien
○ Beobachtungspunkte des registrierenden Limnimeters.
x " " " Zeigerlimnimeters.

Fig. 4.

Uferprofil bei Catania
am Ostufer Siziliens.

Maßstab: von L 1=300 000
" h 1=50 000

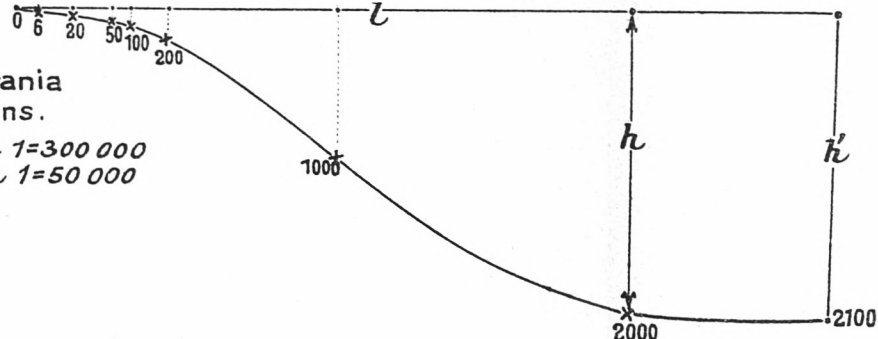
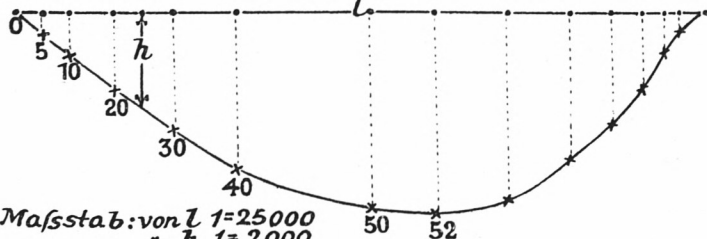
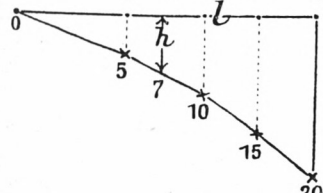


Fig. 2. Querprofil des Ammersees bei Schondorf (13)



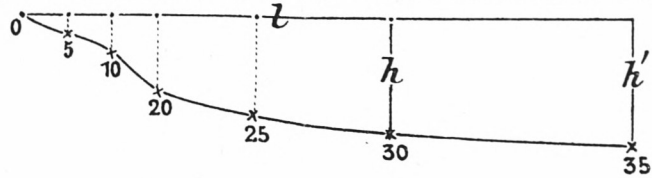
Maßstab: von L 1=25000
" h 1=2000

Fig. 3. Uferprofil bei Utting (11)



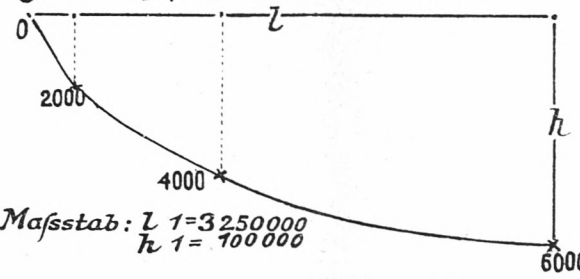
Maßstab: von L 1=12500
" h 1=1000

Fig. 5. Uferprofil von Mazzara a. d. Südwestküste Siziliens.

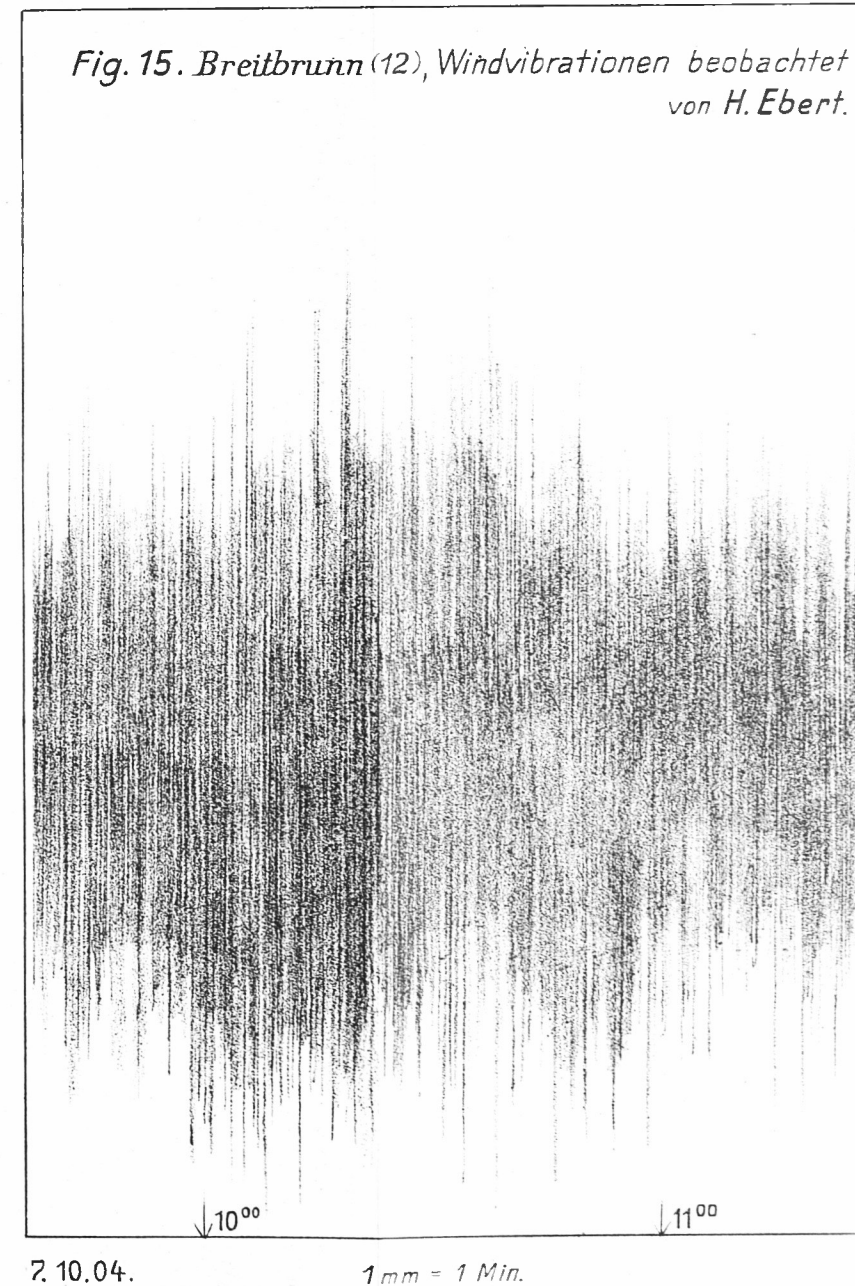
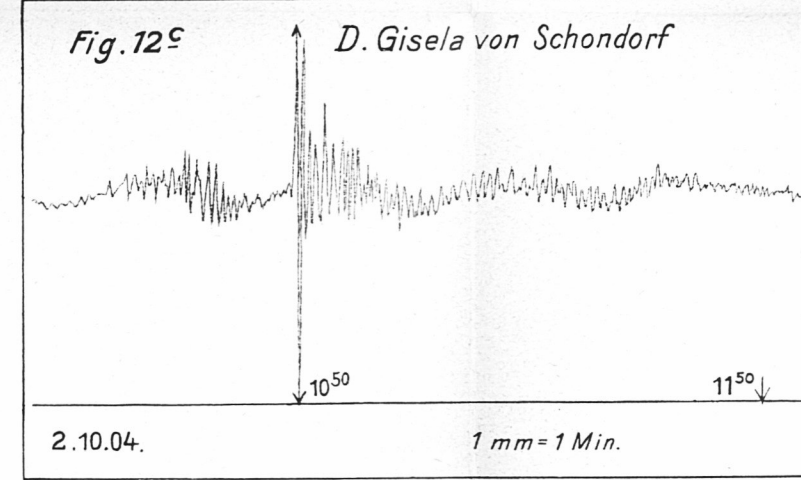
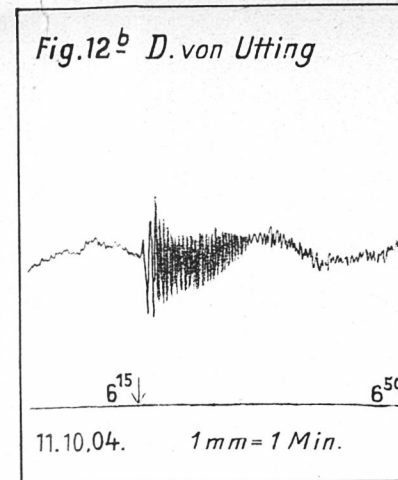
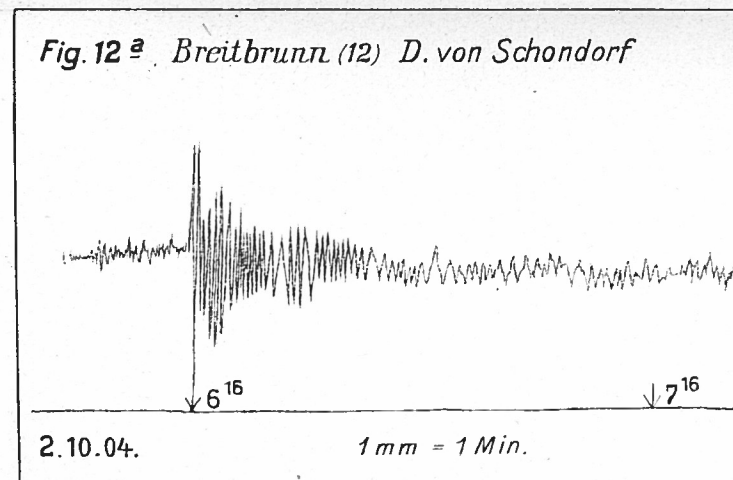
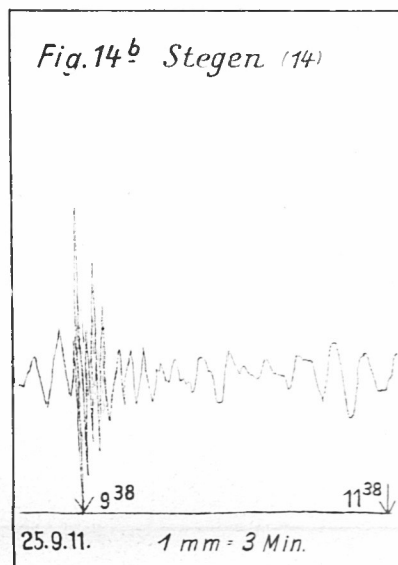
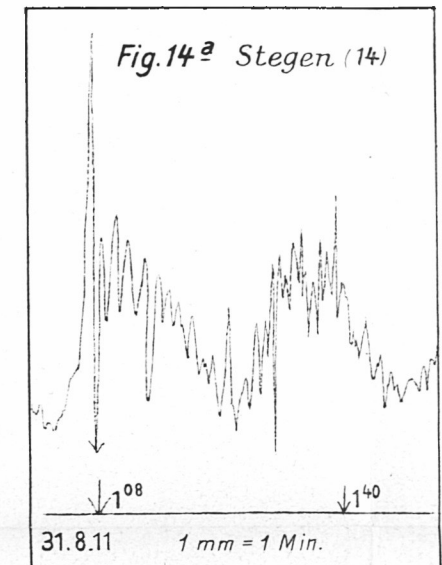
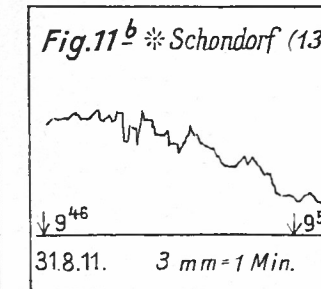
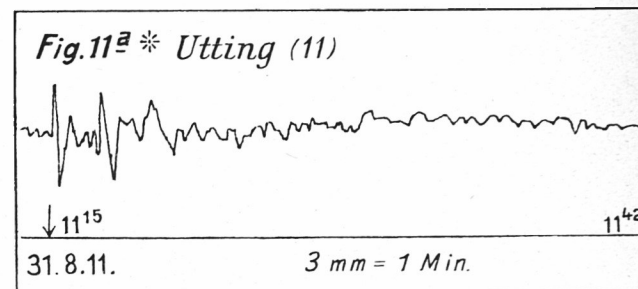
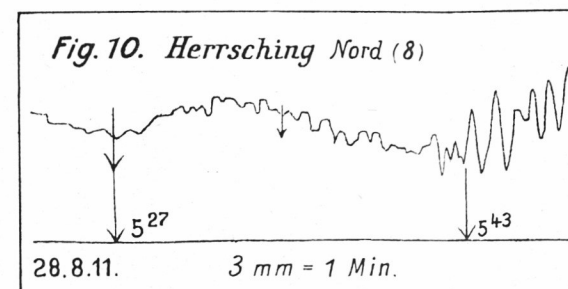
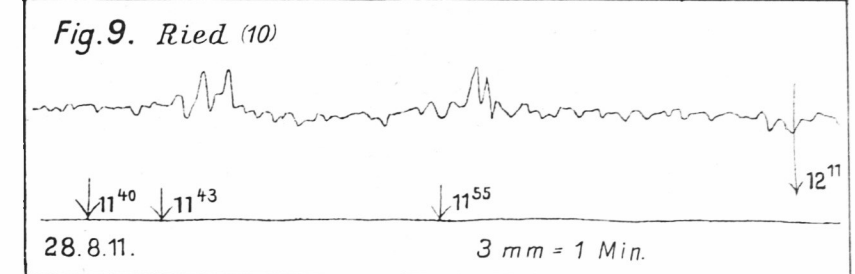
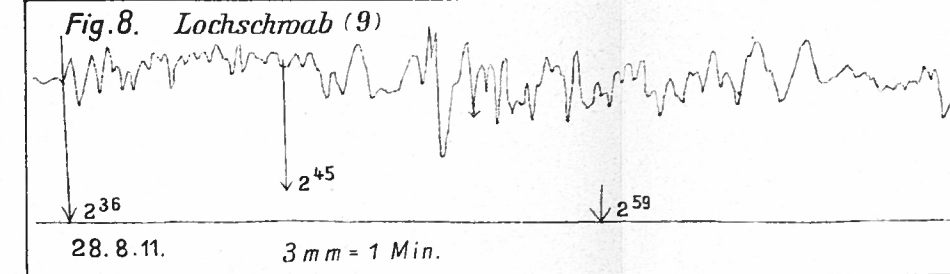
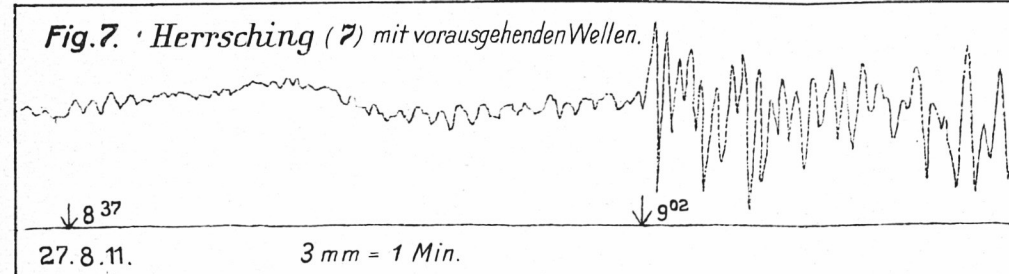
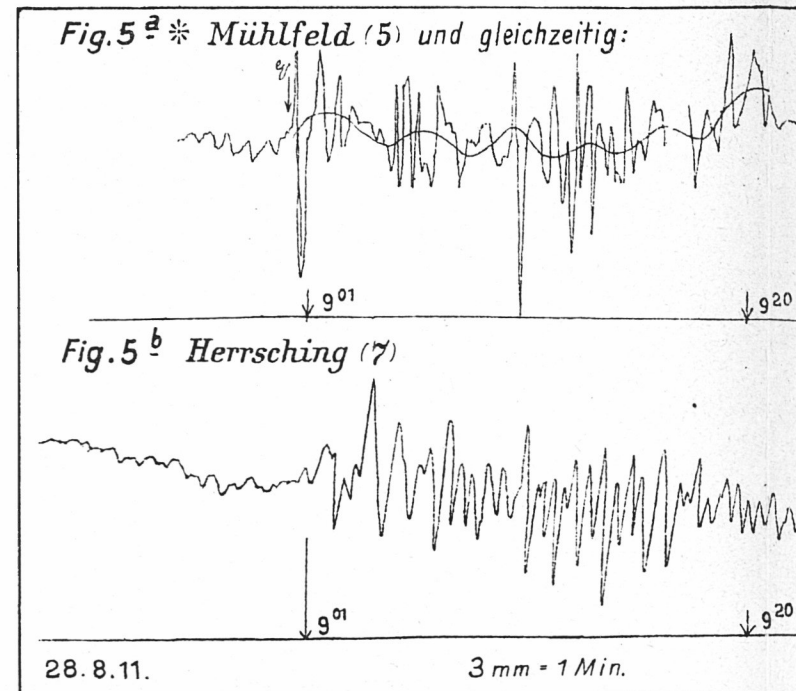
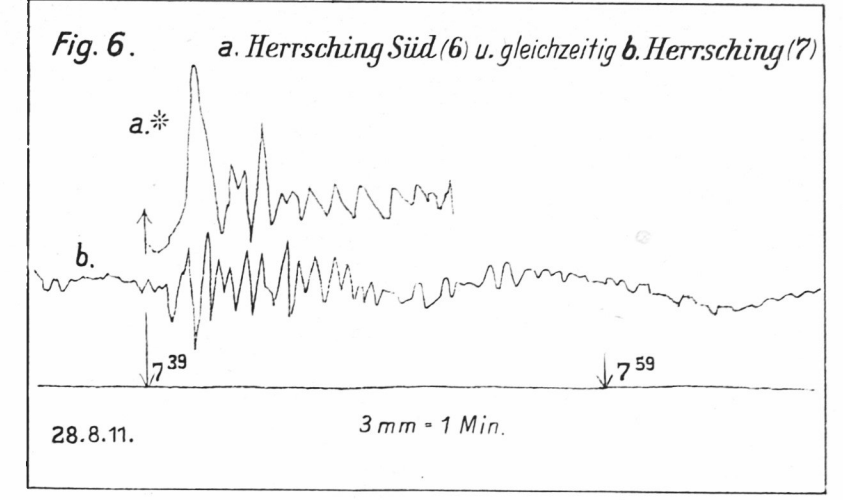
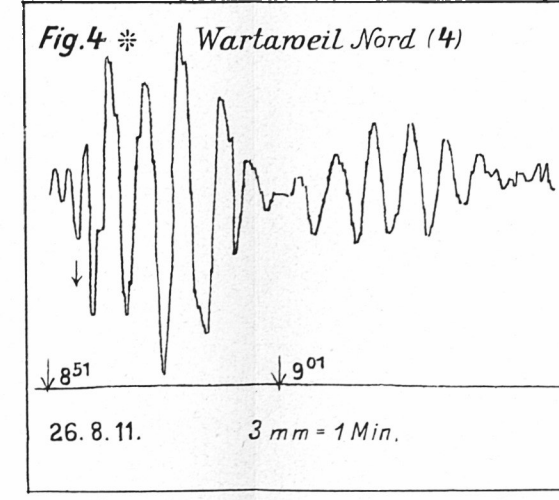
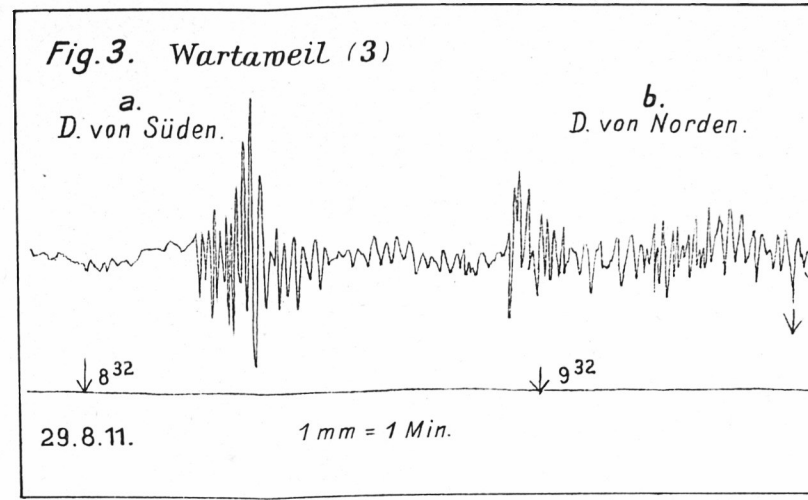
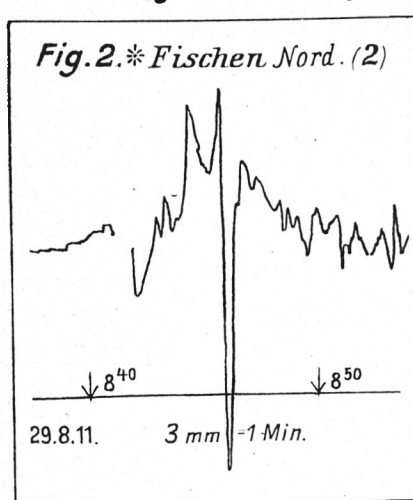
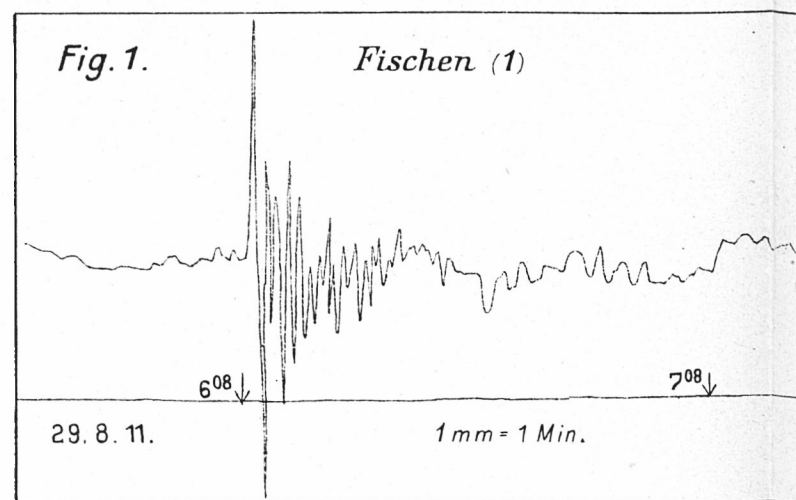


Maßstab: von L 1=75000
" h 1=2000

Fig. 6. Längsprofil des Golfes von Alaska.



Maßstab: L 1=3250000
" h 1=100000



Limnogramme von 15 verschiedenen Punkten des Ammersees.

Die Ordinaten sind in
natürlicher GröÙe reproduziert.

Die mit * bezeichneten Figuren
sind Beobachtungen mit dem
Zeigerlimnimeter.

Lith. Anst. v. Hub. Köhler, München.